



ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ
ΤΕΧΝΩΝ ΚΑΙ ΒΙΩΣΙΜΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
Π.Μ.Σ. «ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΤΕΧΝΕΣ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ
(ΑΙ) ΚΑΙ ΤΟΥ INDUSTRY 4.0/5.0 ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ
ΤΩΝ ΕΚΤΥΠΩΣΕΩΝ: ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ
ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ
ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ**

ΒΕΡΓΟΠΟΥΛΟΥ ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΔΡ. ΠΟΛΙΤΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ

ΚΑΒΑΛΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2026

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία της φοιτήτριας («Βεργοπούλου Αλεξάνδρας») που την εκπόνησε. Η διάθεση της εργασίας γίνεται υπό την άδεια Creative Commons Αναφορά – Μη Εμπορική Χρήση – Όχι Παράγωγα 4.0 Διεθνές (CC BY-NC-ND 4.0). Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης η συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος της αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και της ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας της συγγραφέως/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση της συγγραφέως / δημιουργού. Η συγγραφέας / δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



Οι εφαρμογές της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) και
του Industry 4.0/5.0 στη βιομηχανία των
εκτυπώσεων: μελέτη των επιπτώσεων για την
ανάπτυξη του ανθρώπινου κεφαλαίου

Βεργοπούλου Αλεξάνδρα

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Δρ. Αναστάσιος Πολίτης

Μέλος ΣΕΠ ΕΑΠ ΓΤΠ60

Τεχνολογία Γραφικών Τεχνών

Ερευνητής, Εργαστήριο Τεχνολογίας

Γραφικών Τεχνών & Μέσων Οπτικής

Επικοινωνίας- GRAPHMEDLAB,

ΠΑΔΑ Επιστημονικός Διευθυντής,

Κέντρου Έρευνας, Ανάπτυξης και

Εκπαίδευσης Συσκευασίας,

Εκτυπώσεων, Γραφικής Επικοινωνίας-

PackPrint Science

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

Δρ. Νικόλαος Κουρνιατής

Μέλος ΣΕΠ ΕΑΠ ΘΕ IGD51

Γεωμετρικές έννοιες στον

αλγοριθμικό σχεδιασμό 1

Αναπληρωτής Καθηγητής,

Σχεδιασμός & Κατασκευή

Αρχιτεκτονικού Χώρου με

Γεωμετρικές Μεθόδους και με

Σύγχρονα Παραμετρικά Εργαλεία

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών &

Εσωτερικής Αρχιτεκτονικής, ΠΑΔΑ

Καβάλα, Μάρτιος 2026

Ευχαριστίες

Η ολοκλήρωση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας καθίσταται εφικτή μέσω της σημαντικής συμβολής και υποστήριξης εκ μέρους του Α Επιβλέποντος Καθηγητή Δρ. Αναστασίου Πολίτη, ο οποίος παράσχει μια σταθερή υποστήριξη και συμπαράσταση, κατά την εκπόνηση κάθε σταδίου της εργασίας, από την αρχή ως το πέρας της συγγραφής, συμβάλλοντας σημαντικά μέσω της παροχής σπάνιου αρχειακού υλικού, άρθρων, συγγραμμάτων, μελετών, σχολίων και συστάσεων που διατηρούν πλήρη σαφήνεια. Η υποστήριξη και η εμπιστοσύνη του Δρ. Αναστασίου Πολίτη στο πρόσωπο μου, με κάνει να αισθάνομαι ευγνώμων που έχω την τύχη και την τιμή να γνωρίζω και να συνεργάζομαι με έναν υψηλά καταρτισμένο «Τεχνολόγο Γραφικών Τεχνών» (Print Media Engineer) και ένα διεθνώς καταξιωμένο ακαδημαϊκό και ερευνητή, ο οποίος είναι επίσης ένας πολύ σπάνιος άνθρωπος με βαθιά οξυδέρκεια, μόρφωση, παιδεία, ευγένεια, εν συνείδηση και εν συναίσθηση.

Είναι πολύ σημαντικό επίσης να αναφέρω και τη βαθιά εκτίμηση μου προς το πρόσωπο του Β' Επιβλέποντος Καθηγητή και συγγραφέως του βιβλίου «Geometric Principles in Generative Design», Δρ. Νικόλαου Κουρνιατή, καθώς και ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όσους συμβάλουν με την παρατήρηση, τη στήριξη, την εμπιστοσύνη ή την αντικειμενική τους γνώμη (όπως στην πολυαγαπημένη μου γιαγιά Αλεξάνδρα, στην αδερφή μου και «στήριγμα» μου Ελισσάβετ, στους θείους μου Αναστασία και Εμμανουήλ, στη μητέρα μου Αναστασία, στον Ιωάννη, στους πατέρες Χερουβείμ και Θωμά, στον Ιωάννη, στην Αναστασία, στην Ελευθερία, στην Αθανασία, στον Ιωάννη και στην υπέροχη κυρία Αγάπη), ενώ αφιερώνω την παρούσα Διπλωματική Εργασία στο μικρό Φώτιο – Δημήτριο, ο οποίος συνιστά τον πιο φωτεινό λόγο που με κάνει να επιμένω, να προσπαθώ και να γίνομαι καλύτερη κάθε μέρα.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία μελετά την εφαρμογή της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI), των τεχνολογικών καινοτομιών και εφαρμογών του Industry 4.0 (4η Βιομηχανική Επανάσταση) και του 5.0 (5η Βιομηχανική Επανάσταση), στη βιομηχανία των εκτυπώσεων, εστιάζοντας στο φάσμα των αυτοματισμών, της βελτιστοποιημένης ροής εργασιών, των βελτιώσεων στις εκτυπωτικές τεχνολογίες, την ενίσχυση της απόδοσης μέσω καινοτομιών (σε σχεδίαση και παραγωγή εκτυπώσεων) και των ψηφιακών και των βιώσιμων πρακτικών, σε συνδυασμό με τη δομή, τα χαρακτηριστικά και τις εξελίξεις του κλάδου και της βιομηχανίας των Γραφικών Τεχνών και των Εκτυπώσεων. Στην εργασία παρουσιάζεται η τεχνολογία του AI (ιστορία, είδη, χαρακτηριστικά και εξέλιξη, Machine Learning - ML, Deep Learning – DL, υπό πεδία και τεχνολογίες που συντελούν στην ανάπτυξη, PredictiveAI, GenerativeAI και AgenticAI), προσδιορίζεται το τεχνολογικό φάσμα του Industry 4.0 (additive Manufacturing, 3D Printing, AI Integration, ML, DL, cobots, cybersecurity, blockchain, big data analytics, cloud, edge και fog computing, horizontal & vertical system integration, IoT, IIoT και IIoP, CPS, smart manufacturing, supply chain management, machine-machine collaboration, νέα επιχειρηματικά μοντέλα, τεχνολογίες προσομοίωσης μέσω των digital twins, 3D modeling, VR,AR) και η φιλοσοφία του Industry 5.0 (autonomy, human-centricity, resilience, sustainability, human-machine collaboration), για να διαπιστωθεί η πρακτική τους εφαρμογή τους βιομηχανία. Στη μελέτη εξετάζονται και οι παράμετροι που επηρεάζουν τις εκτυπώσεις (ψηφιακός μετασχηματισμός, lean manufacturing, continuous improvement, βιωσιμότητα και κυκλική οικονομία), ενώ δίδεται ιδιαίτερη έμφαση στην επίδραση όλων στο ανθρώπινο κεφάλαιο (Human Capital – HC), στις επιπτώσεις σε εργασία, απασχόληση και ανάπτυξη, καθώς μέσω της ανασκόπησης στο Industry 4.0, επισημαίνεται πως ο κύριος παράγοντας του ψηφιακού μετασχηματισμού έγκειται στην ανάπτυξη του ανθρώπινου κεφαλαίου (HCD). Η εν λόγω συνθήκη συντελεί διαμόρφωση νέων δεξιοτήτων, νέων ειδικοτήτων και των hybrid skills (ως συνδυασμός τεχνικών, δημιουργικών, διοικητικών, επιχειρηματικών ικανοτήτων), καθώς το Industry 4.0 σχετίζεται με την ανάδυση μετασχηματιστικών αλλαγών επί των δυνατοτήτων / προοπτικών για την εργασιακή απασχόληση και αυτό εντείνεται λόγω της μετάβασης των επιχειρήσεων στο Industry 5.0, γεγονός που υπογραμμίζει και τη σημασία του HCD ως κύριο παράγοντα της αναπτυξιακής προόδου μέσω της ανάπτυξης νέων γνώσεων, δεξιοτήτων και ικανοτήτων (ως απαιτούμενα προσόντα, προϋποθέσεις εργασίας). Τέλος, παρουσιάζεται και αναλύεται μια ολιστική HCD, μέσω της συγκρότησης λειτουργικών μοντέλων στο επίπεδο του κλάδου και της βιομηχανίας των Γραφικών Τεχνών - Εκτυπώσεων, γεγονός που επιτρέπει και την αέναη - συνεχή ανάπτυξη του ανθρώπινου παράγοντα (ανθρώπινου κεφαλαίου) στον κλάδο.

Λέξεις-Κλειδιά: Τεχνητή Νοημοσύνη (AI), Industry 4.0, Industry 5.0, Ανθρώπινο Κεφάλαιο (HC), Ανάπτυξη Ανθρώπινου Κεφαλαίου (HCD), Ολιστική HCD στρατηγική, Αυτοματισμοί, βελτιώσεις σε ροή εργασιών και εκτυπωτικές τεχνολογίες, AI-driven workflows, cloud print management, Lean manufacturing, Continuous improvement, Digital transformation, Sustainability, Circular Economy, human-machine collaboration enterprise intelligence.

Abstract

The present thesis undertakes a comprehensive review of the applications of Artificial Intelligence (AI), along with the technological innovations and applications of Industry 4.0 (4th Industrial Revolution) and Industry 5.0 (5th Industrial Revolution) in the contemporary printing industry. The study places particular emphasis on automation, optimized workflows, advancements in printing technologies, modern approaches and practices for enhancing performance through innovations in print design and production, as well as digital and sustainable practices. All of the abovementioned factors are examined in conjunction with the structure, characteristics, and advances of the graphic arts and printing industry. This paper presents an overview of artificial intelligence (AI), encompassing its subfields, the technologies contributing to its development, and the specific applications of Predictive AI, Generative AI, and Agentic AI. It then proceeds to explore the technological spectrum of Industry 4.0, addressing such topics as Additive Manufacturing, 3D Printing, AI Integration, Machine Learning (ML), Deep Learning (DL), cobots, big data analytics, cloud, edge, and fog computing, cybersecurity, blockchain, horizontal and vertical system integration, IoT, IIoT, and IIoP, CPS, smart manufacturing, supply chain management, machine-machine collaboration, new business models, and simulation technologies: digital twins, 3D modeling, VR, AR). The paper then moves on to the philosophy of Industry 5.0, which is characterised by autonomy, human-centricity, resilience, sustainability, and human-machine collaboration. The final section of the paper assesses the practical application of these concepts in industry. The study also examines the factors that influence manufacturing (digital transformation, lean manufacturing, continuous improvement, sustainability, and the circular economy), while placing particular emphasis on their impact on human capital (Human Capital – HC), the implications for work, employment, and development; and, through a review of Industry 4.0, it highlights that the main driver of digital transformation lies in the development of human capital (HCD). The present situation is conducive to the development of new skills, new specializations, and hybrid skill sets combining technical, creative, managerial and entrepreneurial competencies. The advent of Industry 4.0 is associated with transformative changes in employment opportunities, a phenomenon that is intensified by businesses' transition to Industry 5.0. This development underscores the importance of HCD as a key driver of developmental progress, but also regarding the spectrum of knowledge, skills, and competencies required as pivotal qualifications within the current working conditions. A holistic approach to HCD is finally presented and analyzed through the development of operational models at the sector and industry levels of the graphic arts and printing sector. This enables the continuous development of the human factor within the sector.

Keywords: Artificial Intelligence (AI), Industry 4.0, Industry 5.0, Human Capital (HC), Human Capital Development (HCD), Holistic HCD strategy, automation, enhancements in workflow & printing technologies, AI-driven workflows, cloud print management, lean manufacturing, continuous improvement, digital transformation, sustainability, circular economy, human-machine collaboration, enterprise intelligence.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Ευχαριστίες

Περίληψη (λέξεις –κλειδιά) / Abstract (keywords)

Λεξικό Όρων (Glossary)

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή.....	σελίδα 1
1.1 Ερευνητικό πεδίο και σπουδαιότητα εκπόνησης της έρευνας.....	σελίδα 50
1.2 Σκοπός, στόχοι και προσδοκώμενα αποτελέσματα.....	σελίδα 52
1.3 Μεθοδολογία Έρευνας (Research design & Research Methodology)	σελίδα 54
1.4. Ερευνητικά Ερωτήματα.....	σελίδα 58
1.4 Διάρθρωση δομής της διπλωματικής μελέτης.....	σελίδα 62
1.5 Συμβολή της μελέτης στο πεδίο της γνώσης και στόχοι ανά κεφάλαιο.....	σελίδα 63
Κεφάλαιο 2. Κλάδος και βιομηχανία Γραφικών Τεχνών και Εκτυπώσεων.....	σελίδα 66
2.1 Η ιστορική εξέλιξη του κλάδου των Γραφικών Τεχνών - Εκτυπώσεων.....	σελίδα 80
2.2 Ορισμοί των Γραφικών Τεχνών.....	σελίδα 94
2.2.1 Ο όρος Γραφικές Τέχνες (ιστορική ανασκόπηση).....	σελίδα 95
2.3 Η παραδοσιακή και η σύγχρονη δομή του κλάδου των Γραφικών Τεχνών...σελίδα	97
2.4 Η διαχείριση παραγωγής των έντυπων.....	σελίδα 99
2.5 Η εκτύπωση ως το κεντρικό στάδιο για την παραγωγή των έντυπων.....	σελίδα 103
2.6 Οι κύριες εκτυπωτικές μέθοδοι.....	σελίδα 109
2.7 Τα έντυπα ως κύριο προϊόν και ο κλάδος της Συσκευασίας.....	σελίδα 113
2.8 Επιστήμη και Τεχνολογία.....	σελίδα 116
2.9 Χαρακτηριστικά: Σύγχρονος Κλάδος, Βιομηχανία – Επιχειρήσεις.....	σελίδα 119
2.10 Έρευνα, ανάπτυξη και εξελίξεις.....	σελίδα 121
2.11 Εφαρμογή AI σε εκτυπώσεις και ψηφιακός μετασχηματισμός.....	σελίδα 127

2.12 Οι παράμετροι που επηρεάζουν τις εκτυπώσεις.....σελίδα	131
2.12.1 Lean Manufacturing & Continuous Improvement.....σελίδα	141
2.12. 2 Η φιλοσοφία του open innovation και των hype cycles.....σελίδα	155
2.12.3 Η βιομηχανική συμβίωση και η βιομηχανική οικολογία.....σελίδα	159
2.13 Νέες τάσεις και το μέλλον του κλάδου.....σελίδα	162
Κεφάλαιο 3. Το ανθρώπινο κεφάλαιο στις Γραφικές Τέχνες – Εκτυπώσεις.....σελίδα	173
3.1 Η έννοια του ανθρώπινου κεφαλαίου.....σελίδα	182
3.2 Το ανθρώπινο κεφάλαιο στον κλάδο και στη βιομηχανία των Γραφικών Τεχνών, των Εκτυπώσεων και της Συσκευασίας.....σελίδα	185
3.3 Οι έννοιες της Διαχείρισης των Ανθρώπινων Πόρων (HRM) και της Ανάπτυξης των Ανθρώπινων Πόρων (HRD).....σελίδα	189
3.4 HRM, HRD και HPO.....σελίδα	192
3.5 Ανθρώπινο κεφάλαιο: ιστορική αναδρομή και πρώιμοι ορισμοί.....σελίδα	195
3.6 Το ανθρώπινο κεφάλαιο και η έννοια της εργασίας (labor).....σελίδα	199
3.7 Ανθρώπινο κεφάλαιο: η εξέλιξη της θεωρίας στο σήμερα.....σελίδα	209
3.8 Οι κύριες κατηγορίες του εταιρικού κεφαλαίου (company capital)σελίδα	207
3.9 Τα χαρακτηριστικά του ανθρώπινου κεφαλαίου.....σελίδα	212
3. 10 Ορισμός και χαρακτηριστικά μιας ολιστικής στρατηγικής HCD.....σελίδα	219
3.11 Η διαχείριση του ανθρώπινου κεφαλαίου.....σελίδα	223
3.12 Στρατηγική Ανάπτυξης Ανθρώπινου Κεφαλαίου: ολιστική, εστιασμένη στον κλάδο στρατηγική προσέγγιση (sector-oriented holistic approach).....σελίδα	236
3.13 Η ολιστική στρατηγική HCD, με έμφαση στον κλάδο και στη βιομηχανία των Γραφικών Τεχνών, των Εκτυπώσεων και της Συσκευασίας στην Ελλάδα: η ίδρυση του PackPrint Science Center το 2024.....σελίδα	242
Κεφάλαιο 4. Νέες Τεχνολογίες και Εφαρμογές (ολιστική προσέγγιση).....σελίδα	243
4.1. Τεχνητή Νοημοσύνη (AI): Ορισμοί και χαρακτηριστικά.....σελίδα	249

4.2. Τεχνητή Νοημοσύνη (AI): Ιστορία AI και σημαντικές προσωπικότητες....σελίδα	252
4.3. Παράμετροι και τεχνολογίες ανάπτυξης και κύρια είδη συστημάτων AI....σελίδα	257
4.4. Ενσωμάτωση σε επιχειρήσεις: Generative AI και Έξυπνοι Πράκτορες.....σελίδα	258
4.5 Industry 4.0.....σελίδα	259
4.6 Ο ψηφιακός μετασχηματισμός και το Industry 4.0.....σελίδα	284
4.7 Το AI και η Μηχανική Μάθηση στο Industry 4.0.....σελίδα	289
4.8 Το smart manufacturing.....σελίδα	300
4.9 Pyramid Five-Layer Automation, ISA95, ISA95 extended activity model..σελίδα	303
4.10 Οι 11 βασικοί άξονες (11 pillars) του Industry 4.0.....σελίδα	314
4.11 Industry 4.0 - Packaging 4.0.....σελίδα	316
4.12 smart packaging, intelligent packaging, active Packaging.....σελίδα	320
4.13 Η συμβολή των στόχων της βιωσιμότητας.....σελίδα	324
4.14 Industry 5.0 (Βιομηχανία 5.0).....σελίδα	327
4.15 Οι 3 πυλώνες του Industry 5.0.....σελίδα	340
4.16 Το Industry 5.0 στη βιομηχανία των Εκτυπώσεων.....σελίδα	342
Κεφάλαιο 5. Επιπτώσεις σε κλάδο από την εφαρμογή νέων τεχνολογιών.....σελίδα	352
5.1 Industry 4.0: επιπτώσεις / λύσεις σε κλάδο Εκτυπώσεων - Συσκευασίας....σελίδα	353
5.2. Industry 5.0: επιπτώσεις / λύσεις σε κλάδο Εκτυπώσεων - Συσκευασίας...σελίδα	354
5.3 Industry 4.0/ 5.0: επιπτώσεις / λύσεις σε ανθρώπινο κεφάλαιο.....σελίδα	355
Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα.....σελίδα	360
6.1 Σύνοψη συμπερασμάτων.....σελίδα	362
6.2 Συμπεράσματα ως σύνοψη απαντήσεων σε ερευνητικά ερωτήματα.....σελίδα	365
6.3 Γενικά συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....σελίδα	375
Βιβλιογραφία.....σελίδα	378

ΓΛΩΣΣΑΡΙ - ΛΕΞΙΚΟ ΟΡΩΝ (GLOSSARY)

Artificial Intelligence (AI): ο όρος Τεχνητή Νοημοσύνη (TN ή AI) αφορά την ανάλυση και τη διαμόρφωση υπολογιστών / μηχανών που προσομοιώνουν την ανθρώπινη νοημοσύνη, καθώς έχουν την ικανότητα να εκτελούν πολλές διαφορετικές εργασίες (από χειρωνακτικές έως αρκετά πιο σύνθετες διενέργειες), χωρίς σημαντική ανθρώπινη επίβλεψη, μαθαίνοντας εμπειρικά και βελτιώνοντας την απόδοση τους βάσει της αξιοποίησης ενός μεγάλου όγκου δεδομένων (data), ενώ οι ενδεικτικές τεχνολογίες που επιτρέπουν την εξέλιξη του AI είναι η Επεξεργασία Φυσικής Γλώσσας (NLP) και το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT).

AI – οι τεχνολογίες που συντελούν στην ανάπτυξη της τεχνολογίας του AI: περιλαμβάνουν την Υπολογιστική Όραση (Computer Vision), την Επεξεργασία Φυσικής Γλώσσας (NLP), τις Μονάδες Επεξεργασίας Γραφικών, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), καθώς και τον Προγραμματισμό Εφαρμογών (application programming).

AI integration: αφορά την «ενσωμάτωση / ενοποίηση» του AI, που επιτυγχάνεται μέσω της απρόσκοπτης ενσωμάτωσης των καινοτόμων τεχνολογιών και εφαρμογών του AI, όπως είναι η Μηχανική Μάθηση (ML), η Επεξεργασία Φυσικής Γλώσσας (Natural Language processing- NLP) και η υπολογιστική όραση (Computer Vision), σε υφιστάμενα λογισμικά, συστήματα και ροές εργασιών, επιτρέποντας έτσι την ενίσχυση του βαθμού της επιχειρησιακής αποδοτικότητας, την αυτοματοποίηση των λειτουργιών και των παραγωγικών διαδικασιών και ειδικά όλων των επαναλαμβανόμενων ή των χρονοβόρων εργασιών / καθηκόντων, συντελώντας στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων βάσει των δεδομένων και προωθώντας την καινοτομία, παρέχοντας σημαντικές πληροφορίες που είναι βασισμένες σε δεδομένα, με τις οποίες τα στατιστικά εργαλεία ανάλυσης μετατρέπονται σε προσαρμοστικά συστήματα.

AI integration technological framework: οι κύριες έννοιες σχετίζονται με τη χρήση των κυβερνοφυσικών συστημάτων (CPS), του υπολογιστικού νέφους (cloud computing), του cognitive computing (γνωστική υπολογιστική), του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IOT), του Βιομηχανικού Διαδικτύου των Πραγμάτων (Industrial Internet of Things - IIOT), τις τεχνολογίες και τις εφαρμογές προσομοίωσης (simulation) μέσω της αξιοποίησης των ψηφιακών διδύμων (digital twins), της τρισδιάστατης μοντελοποίησης (3D modeling), της τεχνολογίας της Εικονικής Πραγματικότητας (Virtual Reality - VR) και της Επαυξημένης Πραγματικότητας (Augmented Reality - AR), της τρισδιάστατης εκτύπωσης (Additive Manufacturing και 3D Printing), της τεχνολογίας αναγνώρισης ραδιοσυχνοτήτων (RFID), της κυβερνοασφάλειας, της ρομποτικής (αναφέροντα στη χρήση των cobots, των drones και των automated guided vehicles), της αυτοματοποίησης, της ενσωμάτωσης του AI (AI Integration), της οριζόντιας και της κάθετης ενοποίησης, της έλευσης των νέων επιχειρηματικών μοντέλων, της τεχνολογίας του blockchain, της αξιοποίησης των αλγόριθμων της μηχανικής μάθησης και της βαθιάς μάθησης, αλλά και των νευρωνικών δικτύων και της ανάλυσης των μεγάλων δεδομένων (Big Data).

AI integration στη βιομηχανία των Εκτυπώσεων: αναφέρεται στην αξιοποίηση των IoT, ML, VR, 3D εκτύπωση, προσομοίωση, Big Data, RFID, κυβερνοασφάλεια (cyber-security), στην ενίσχυση της «αλληλεπίδρασης μηχανών - μηχανών» (machine-to-machine interaction), στη ρομποτική, στη νανοτεχνολογία, στην «επιχειρηματική νοημοσύνη» (enterprise intelligence), στην αυτοματοποίηση και στην απρόσκοπτη ενσωμάτωση των τεχνολογιών, των εφαρμογών και των εργαλείων του AI.

AI integration στη βιομηχανία των Εκτυπώσεων και της Συσκευασίας: αναφέρεται στις 3 διακριτές μορφές / τύπους του AI που εμφανίζονται μεταξύ του 2023 και του 2025 και συγκεκριμένα στα Predictive AI (Προγνωστικό AI: εμφανίζεται υπό τη μορφή του ChatGPT το 2023, επιτρέποντας την άμεση αξιοποίηση όλων των δυνατοτήτων του ML), το Generative AI (Γενεσιουργό AI: εμφανίζεται το 2024 λόγω της εξάπλωσης των εργαλείων και των εφαρμογών του πεδίου του Generative AI, επεκτείνοντας σε σημαντικό βαθμό με τον καιρό το φάσμα του βαθμού της «αλληλεπίδρασης ανθρώπου-μηχανής», δηλαδή των επιπέδων του «human-machine

interaction»), καθώς και το Agentic AI (το οποίο βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο, δεδομένου πως εμφανίζεται κατά τη διάρκεια του 2025).

AI- οι τομείς που εφαρμόζονται στην παραγωγή: η εφαρμογή των υπό τομέων του AI (όπως είναι τα ML και NLP), για τον αυτοματισμό και τη βελτιστοποίηση (optimization) της παραγωγής μέσω της ενσωμάτωσης των τεχνολογιών και των εφαρμογών της ρομποτικής (robotics) και των συστημάτων εμπειρογνομοσύνης που βασίζονται στο AI (γνωστά ως «expert systems»), τα οποία βελτιστοποιούν σε σημαντικό βαθμό τον προγραμματισμό και την εποπτεία της παραγωγής (PPC), τη διενέργεια του ποιοτικού ελέγχου (QM), την προγνωστική συντήρησης (MM) και τη διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού (SCM).

Agentic AI: τύπος AI που μπορεί σε αντίθεση με τα συμβατικά συστήματα AI που εκτελούν αποκλειστικά και μόνο όσα αιτούνται από τον άνθρωπο-χρήστη, μπορεί να λειτουργεί αυτόνομα, θέτοντας αυτόνομα στόχους, λαμβάνοντας αποφάσεις και προσαρμόζοντας τις διενέργειες που εκπονεί βάσει της συλλογής νέων δεδομένων, επισημαίνοντας πως ο συγκεκριμένος τύπος AI αναφέρεται στα αυτόνομα συστήματα AI που μπορούν με πλήρη αυτονομία να αντιλαμβάνονται, να συλλογίζονται, να σχεδιάζουν και να ενεργούν ανεξάρτητα για την επίτευξη συγκεκριμένων στόχων, δεδομένου πως χρησιμοποιούν τα επονομαζόμενα «μεγάλα γλωσσικά μοντέλα» (large language models) για τη διαχείριση των σύνθετων ροών εργασίας, τη χρήση εργαλείων και τη άμεση λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων, χωρίς να απαιτείται σημαντική ανθρώπινη επίβλεψη.

Application programming (Προγραμματισμός εφαρμογών): αυτή η τεχνολογία επιτρέπει σε δύο ή σε περισσότερα προγράμματα υπολογιστών να επικοινωνούν μεταξύ τους.

Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IIoT): σχετίζεται με τη διασύνδεση όλων των συσκευών, των αισθητήρων και των μηχανών, που αξιοποιούνται εντός ενός βιομηχανικού χώρου παραγωγής, μέσω του διαδικτύου και η εν λόγω διενέργεια βελτιστοποιεί τις επεξεργασίες και τις διαδικασίες της παραγωγής μέσω της συλλογής και ανάλυσης των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, στο φάσμα του Industry 4.0.

CAGR (Compound Annual Growth Rate): σύνθετος ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης.

Capital: ο όρος «capital» («κεφάλαιο») σχετίζεται με τα περιουσιακά στοιχεία και την αξία μιας επιχείρησης και οι κύριες κατηγορίες εταιρικού κεφαλαίου περιλαμβάνουν τα financial capital, physical capital και intellectual capital, ενώ η ικανότητα ενός οργανισμού να επιδεικνύει σταθερή ανθεκτικότητα και να μπορεί να εξελίσσεται με την πάροδο του χρόνου, διατηρώντας οικονομική ευημερία, εξαρτάται από τη στρατηγική αξιοποίηση διαφόρων μορφών κεφαλαίου, κυρίως για την ενίσχυση της αξίας της εν λόγω επιχείρησης.

Chatbot (Διαλογικός Πράκτορας): εφαρμογή AI που συνομιλεί με χρήστες, αξιοποιείται ως interactive interface (διαδραστική διεπαφή) και ταυτόχρονα συνιστά παράδειγμα της «έξυπνης αλληλεπίδρασης ανθρώπου-υπολογιστή» (intelligent HCI) και αποτελεί ένα σημαντικό δείγμα των intelligent agent, ενώ συντελεί στη διαχείριση της εξυπηρέτησης πελατών, των διαδικασιών του ηλεκτρονικού εμπορίου (e-commerce) και της παρακολούθησης των παραγγελιών.

Cloud Computing (υπολογιστικό νέφος): παροχή κάποιων υπολογιστικών υπηρεσιών (όπως είναι η αποθήκευση των δεδομένων, οι servers, οι βάσεις δεδομένων, τα δίκτυα και το λογισμικό) μέσω του Διαδικτύου - τοπικά ή και σε απομακρυσμένα κέντρα δεδομένων.

Cloud ERP (Cloud Enterprise Resource Planning): Σύστημα Διαχείρισης Επιχειρησιακών Πόρων μέσω της αξιοποίησης του υπολογιστικού νέφους (Cloud).

Cognitive Computing (Γνωστική Υπολογιστική): σημαντικός κλάδος του AI που επιτρέπει στους υπολογιστές να μπορούν να σκέφτονται, να μαθαίνουν να αλληλεπιδρούν με τον άνθρωπο, ενώ λειτουργούν σα να τη λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου.

CRM (Customer Relationship Management): σύστημα για τη Διαχείριση / Εξυπηρέτηση των Πελατών, με πεδίο εφαρμογής την εποπτεία των πωλήσεων, της διανομής των προϊόντων, αλλά και της αξιολόγησης του βαθμού της εξυπηρέτησης και της ικανοποίησης των πελατών.

Computer Vision: οι υπολογιστές αναγνωρίζουν αντικείμενα / άτομα σε εικόνες / φωτογραφίες.

Γραφικές Τέχνες (Graphic Arts, Graphic Arts Technology, Media engineering, Graphic communication, Graphic Media): σχετίζεται κατά βάση με το σύνολο όλων διαδικασιών σχεδιασμού, επιμέλειας, διαχείρισης, παραγωγής και τελικής περάτωσης κάθε είδους εντύπων, ενώ επισημαίνεται πως ο όρος «Γραφικές Τέχνες» προσδιορίζει κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο, τη σύνθετη δομή των αισθητικών, διοικητικών, των τεχνολογικών, των επιχειρηματικών και των παραγωγικών χαρακτηριστικών και των διαδικασιών που συνδυάζονται μεταξύ τους αρμονικά και ολοκληρώνονται στο τελικό έντυπο προϊόν.

Γραφικές Τέχνες – ορισμοί (Graphic Arts, Graphic Arts Technology, Graphic communication, Printing, Graphic Media, Print media, Media engineering, Media production, Print media production): άρρηκτη σύνδεση με τον όρο «Γραφικές Τέχνες» διατηρούν οι έννοιες της Τυπογραφίας, των Εκτυπώσεων και των Εκδόσεων, της Γραφικής Βιομηχανίας / Επικοινωνίας, οι οποίες αξιοποιούνται και για να προσδιορίσουν το συγκεκριμένο κλάδο, ενώ επισημαίνεται πως ο χαρακτηρισμός ως «Γραφικές Τέχνες», κρίνεται ως η πλέον δόκιμη για τον προσδιορισμό του κλάδου, δεδομένου πως εκφράζει με ακρίβεια όλες τις επεξεργασίες που λαμβάνουν χώρα, έτσι ώστε να μετατραπούν οι ιδέες και τα χειρόγραφα, τα σχέδια και εικόνες, σε συγκροτημένη ενιαία μορφή, για το τελικό έντυπο σε βιομηχανική παραγωγή, ωστόσο εκτός από τον εν λόγω όρο χρησιμοποιούνται και οι όροι εκδόσεις και εκτυπώσεις για να προσδιορίσουν τη διαδικασία της έκδοσης και της παραγωγής ενός εντύπου και σε άλλες χώρες αξιοποιούνται οι όροι «Graphic / Media industry, Graphic communication, Media engineering, Printing and Publishing, Print and electronic media, Polygraphic, Polygraphie, Druck und Elektronik Medien».

Enterprise intelligence ή Enterprise business intelligence (BI): αναφέρεται κατά βάση στην έννοια της «επιχειρηματικής νοημοσύνης» (BI), η οποία έγκειται στην αξιοποίηση πολλών καινοτόμων εργαλείων και τεχνολογιών που συλλέγουν, αναλύουν και απεικονίζουν τα επιχειρηματικά δεδομένα, για να βοηθήσουν τις επιχειρήσεις να μπορούν να λαμβάνουν άμεσα τεκμηριωμένες αποφάσεις βάσει δεδομένων, τα οποία συλλέγονται από διάφορα συστήματα μιας ορισμένης επιχείρησης και παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες αναφορικά με τη βελτίωση των λειτουργιών, των παραγωγικών διαδικασιών, συντελώντας στην ενίσχυση του βαθμού της αποδοτικότητας, της κερδοφορίας και της παραγωγής προϊόντων με υψηλή ποιότητα.

Εκτύπωση (Printing, Print media, Print media production): η κύρια – κεντρική μεταποιητική παραγωγική διαδικασία της “εγγραφής, αποτύπωσης μεταφοράς κειμένων και εικόνων σε ένα υπόστρωμα με τη χρήση μελανιού και εκτυπωτικής μηχανής, καθώς κάθε είδος που εκτυπώνεται (π.χ. εφημερίδες, περιοδικά, βιβλία, διαφημιστικά και εμπορικά έντυπα, αφίσες, συσκευασίες, μέταλλο, πλαστικά) σχεδιάζεται και παράγεται μέσα από επιμέρους μεθοδολογίες, μεθόδους και τεχνικές – τεχνολογίες της έντυπης επικοινωνίας, με τις Γραφικές Τέχνες.

Εκτύπωση όφσετ: καταλαμβάνει το μεγαλύτερο ποσοστό των εκτυπώσεων παγκόσμια (κυρίως σε χαρτί και σε χαρτόνι, βάρους από 50 έως 800 γραμμάρια/ τετραγωνικό μέτρο - gr/m^2 - όλα τα έντυπα), ενώ η εκτύπωση γίνεται με την μεταφορά του εκάστοτε θέματος από την μεταλλική εκτυπωτική πλάκα στον ελαστικό τάπητα (καουτσούκ) και από εκεί, με την εξάσκηση πίεσης (καζάνι) στο εκτυπωτικό υπόστρωμα, συνιστώντας αφενός μια έμμεση (offset) μορφή εκτύπωσης, καθώς ανάμεσα στην πλάκα εκτύπωσης και το εκτυπωτικό υπόστρωμα, μεσολαβεί το καουτσούκ που δέχεται μέσω της μελάνης το θέμα από την πλάκα και το μεταφέρει στο υπόστρωμα και μια επιπεδότυπη μέθοδο εκτύπωσης, καθώς τόσο τα μέρη της εκτυπωτικής πλάκας που τυπώνουν, όσο και αυτά που δεν τυπώνουν, βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο.

Εργασίες και καθήκοντα για τη διαχείριση της παραγωγής του εντύπου (tasks in workflow): σχετίζεται με την ανάλυση, ταξινόμηση και περιγραφή της επεξεργασίας των πρωτοτύπων

(κείμενα, εικόνες, σχέδια και μακέτες), την επιλογή σχήματος αναπαραγωγής / μηχανής εκτύπωσης, την παραγγελία του χαρτιού εκτύπωσης, του προσδιορισμού του αριθμού των τυπογραφικών φύλλων, της προεκτυπωτικής επεξεργασίας (αριθμός αναπαραγωγών – φιλμ, βηματοεπανάληψης, αριθμός εκτυπωτικών πλακών), της επιλογής του τρόπου αναφορικά με το μοντάζ και την εκτύπωση (π.χ. τούμπα γωνία, τούμπα δόντια), του προσδιορισμού των βιβλιοδετικών εργασιών (π.χ. κοπές, διπλώσεις, σύνθεση και συναφείς εργασίες).

ERP (Enterprise Resource Planning): «ενοποιημένο / ολοκληρωμένο» σύστημα διαχείρισης των επιχειρησιακών πόρων, που αξιοποιείται για την παρακολούθηση και την καταγραφή του διαθέσιμου όγκου των αποθεμάτων, των διενεργειών αναφορικά με την τιμολόγηση και την οικονομική διαχείριση, σε χρηματοοικονομικό και σε λογιστικό επίπεδο.

Engagement (Customer Engagement): προσδιορίζει τα επίπεδα αναφορικά με τη δέσμευση / αφοσίωση ή την εμπιστοσύνη εκ μέρους των πελατών μιας επιχείρησης.

Entrepreneurial Intellectual Capital (EIC): αναφέρεται στο επονομαζόμενο «επιχειρηματικό διανοητικό κεφάλαιο», το οποίο συντελεί στην ενίσχυση του βαθμού της ανταγωνιστικότητας και της απόδοσης, ενώ τα βασικά συστατικά του EIC περιλαμβάνουν το κοινωνικό, το πελατειακό και το τεχνολογικό κεφάλαιο (social, customer & technological capital), ενώ κύριο ρόλο στην ενίσχυση της απόδοσης των μικρών ή μικρομεσαίων επιχειρήσεων (SMEs) διαδραματίζουν το πελατειακό και το τεχνολογικό κεφάλαιο.

Εμπειρογνωμοσύνης ή έμπειρα συστήματα (expert systems): τα συστήματα / εφαρμογές που βασίζονται στο AI, τα οποία μιμούνται τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων βάσει του τρόπου σκέψης των ανθρώπων που είναι ειδικοί (εμπειρογνώμονες) σε ορισμένους τομείς, ενώ αυτά διαφέρουν από τον παραδοσιακό προγραμματισμό, καθώς χρησιμοποιούν τις βάσεις γνώσης και τους λογικούς κανόνες (κυρίως των "if-then") για την επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων.

Financial capital: αναφέρεται στο χρηματοοικονομικό κεφάλαιο, το οποίο περιλαμβάνει τα χρηματικά περιουσιακά στοιχεία των επενδυτών και τα συσσωρευμένα χρηματοοικονομικά αποθέματα (monetary assets of investors & accumulated financial reserves).

Generative AI (Γενεσιουργό AI): τύπος AI για τη δημιουργία πρωτογενούς ψηφιακού περιεχόμενου (κείμενα, εικόνες/φωτογραφίες, οπτικοακουστικό περιεχόμενο), ως απόκριση στο γραπτό αίτημα (prompt) ενός ανθρώπου - χρήστη.

Human Capital (HC): αναφέρεται στο «Ανθρώπινο Κεφάλαιο» και υποδηλώνει το σύνολο των δεξιοτήτων, των γνώσεων και της εργασιακής εμπειρίας που διαθέτει το προσωπικό ενός οργανισμού ή μιας επιχείρησης, το οποίο οφείλει να αξιοποιείται, να ενισχύεται και σταδιακά να εδραιώνεται μέσω των οργανωτικών διαδικασιών και στρατηγικών προσεγγίσεων, ενώ η έννοια του εν λόγω όρου ανάγεται σε έργο του 18ου αιώνα του οικονομολόγου Adam Smith, ο οποίος επιδιώκει να διασαφηνίσει τις αλληλεξαρτήσεις και τις δυναμικές που υφίστανται μεταξύ των εργαζομένων εντός των επιχειρήσεων και των οργανωτικών πλαισίων.

Human Capital Development (HCD): μπορεί να οριστεί ως το σύνολο των στρατηγικών πρωτοβουλιών και των προσεγγίσεων που σχεδιάζονται με σχολαστική προσοχή και κυρίως αποσκοπούν στην ενίσχυση των πνευματικών ικανοτήτων, των πρακτικών ή των τεχνικών δεξιοτήτων, καθώς και των θεμελιωδών ηθικών αξιών και συμπεριφορικών χαρακτηριστικών του ανθρώπινου κεφαλαίου μιας επιχείρησης, ενώ η στρατηγική ανάπτυξης του ανθρώπινου κεφαλαίου (HCD) προάγει τη μακροπρόθεσμη επίτευξη των επιμέρους στόχων της κυκλικής οικονομίας και της βιώσιμης ανάπτυξης.

HCD holistic strategy: αναφέρεται σε μια ολιστική στρατηγική HCD, η οποία οφείλει να υιοθετεί ένα αμιγώς ανθρωποκεντρικό πλαίσιο, προκειμένου να σχεδιάζεται και να μπορεί να εφαρμόζεται σε επίπεδο επιχειρήσεων και κλάδων, καθώς και να επιτρέπει την απρόσκοπτη εμπλοκή όλων των ενδιαφερομένων μελών και των φορέων, τόσο σε επίπεδο επιχειρήσεων όσο και σε επίπεδο κλάδων, καθώς και να λαμβάνει υπόψη την κομβική σημασία αναφορικά με την εκπαίδευση και την κατάρτιση σε όλες τις διαστάσεις τους, παρέχοντας κατευθύνσεις και

προτάσεις για τα υφιστάμενα προγράμματα σπουδών (εκπαίδευσης και κατάρτισης) και τα αντίστοιχα προγράμματα που πρέπει να μελετώνται εκτενώς και να αναδιαμορφώνονται ανά περίπτωση βάσει των προγενέστερων μαθησιακών αποτελεσμάτων, ενώ η στρατηγική HCD θα πρέπει να βασίζεται αφενός στη σύγκλιση πολλών διαφορετικών συνιστωσών (π.χ. πρόσληψη, εκπαίδευση και κατάρτιση) και αφετέρου σε κοινές περιγραφές επαγγελματικών προφίλ και οι πρωταρχικοί στόχοι της εν λόγω πρωτοβουλίας πρέπει να περιλαμβάνουν την ενσωμάτωση διαφορετικών και εγγενώς αλληλένδετων, στοιχείων σε μια ενοποιημένη πλατφόρμα, για να επιτευχθεί μια ενοποιημένη, ολιστική προσέγγιση HCD.

HC – 3 κομβικές συνιστώσες: αναφέρεται στα 3 σημαντικά χαρακτηριστικά του HC, δηλαδή στη δεξιότητα, στην αντίληψη και στην πνευματική ευελιξία (competence, attitude, intellectual agility), με το competence να αφορά πιδέξια εφαρμογή της γνώσης και της συσσωρευμένης πρακτικής εμπειρίας, το attitude να καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά της προσωπικότητας και το intellectual agility να υποδηλώνει την ικανότητα να αξιοποίησης της μεμονωμένης (ατομικής) εξειδίκευσης και των δεξιοτήτων για την αντιμετώπιση υπαρκτών, υφιστάμενων δυσχερών καταστάσεων και την επακόλουθη βελτίωση μέσω της υιοθέτησης της δια βίου μάθησης.

HC –αξία HC: επιτυγχάνεται και προσδιορίζεται μέσω της δια βίου μάθησης, εκπαίδευσης και κατάρτισης (continuous education & training), ενώ τα κύρια μοντέλα δεξιοτήτων (models of skills) περιλαμβάνουν το μοντέλο των ευέλικτων επαγγελματικών ή εννοιολογικών δεξιοτήτων (model of flexible professional or conceptual skills), το μοντέλο των ευέλικτων εξατομικευμένων δεξιοτήτων (model of flexible tailored skills) και το μοντέλο των ευέλικτων πρακτικών ή των αναλυτικών δεξιοτήτων (model of flexible dexterous or analytical skills).

HC management (HCM): ο στόχος της διαχείρισης του HC (HCM) είναι η ευθυγράμμιση των μοναδικών δεξιοτήτων των εργαζομένων με τους στόχους και σκοπούς μιας επιχείρησης, ενώ το HCM αφορά τη διαχείριση των ταλέντων (talent management), τη διοίκηση του ανθρώπινου δυναμικού (HR administration) και την ενίσχυση του βαθμού της ανάπτυξης και της απόδοσης (performance development), ενώ συχνά κρίνεται επιτακτική η ανάγκη να αναγνωριστεί πως το HCM αποτελεί ένα σύνολο επιμέρους μηχανισμών για την προώθηση μιας ολοκληρωμένης επιχειρηματικής στρατηγικής, διαμορφώνοντας το μοντέλο ή πλαίσιο του HCM.

HC model (HCM): αποτελεί στρατηγικό σχέδιο για τη διαχείριση και το συντονισμό όλων των επιχειρηματικών λειτουργιών που σχετίζονται με την ανάπτυξη του ανθρώπινου κεφαλαίου (HCD), ενώ οι πιο διαδεδομένοι τύποι HCM περικλείουν το τυπικό αιτιολογικό μοντέλο HRM (standard causal model of HRM), το μοντέλο 8 πλαισίων HRM (8-box HRM), το μοντέλο της αλυσίδας αξίας ανθρώπινων πόρων (the HR value chain model), το μοντέλο και πλαίσιο HR του Χάρβαρντ (the Harvard HR model & framework) και το μοντέλο Ulrich (the Ulrich model), ενώ το the Harvard HR model & framework συνιστά ένα στρατηγικό μοντέλο HRM που έγκειται κυρίως στη φιλοσοφία του HCD.

Human Resource (HR): αναφέρεται στον τομέας της Διαχείρισης Ανθρώπινου Δυναμικού, που προηγείται χρονικά της έννοιας της Διαχείρισης του Ανθρώπινου Κεφαλαίου (HC) για πάνω κατά από έναν αιώνα, ενώ η εμφάνιση της έννοιας του HC συμπίπτει χρονικά με την ανάδυση της έννοιας της αυτοματοποίησης που τελείται κατά τη δεκαετία του 1960, δηλαδή τη στιγμή που οι επιχειρήσεις ξεκινούν να αναγνωρίζουν τους εργαζομένους ως ανεκτίμητους εταιρικούς πόρους.

Human Resource Management (HRM): αναφέρεται σε αρκετές από τις προσεγγίσεις της Διαχείρισης του Ανθρώπινου Δυναμικού που περιλαμβάνουν το soft HRM και το hard HRM, όπου το soft HRM συνεπάγεται την αξιολόγηση της απόδοσης όλων των εργαζομένων και την παροχή σχολίων ανατροφοδότησης, ενώ αντίθετα το hard HRM προσανατολίζεται κατά βάση στα εργασιακά καθήκοντα και συχνά αγνοεί τις ανάγκες των εργαζομένων.

Human Resource Development (HRD): αναφέρεται στις προσεγγίσεις για την ανάπτυξη του Ανθρώπινου Δυναμικού, ενώ τα κρίσιμα ζητήματα των HRM και HRD βασίζονται στην αξία της στρατηγικής της ανάπτυξης του Ανθρώπου Κεφαλαίου (Human Capital Development – HCD),

επιτρέποντας έτσι με την ανάπτυξη των επονομαζόμενων «οργανισμών και επιχειρήσεων υψηλής απόδοσης» (High-Performance Organizations - HPO).

High-Performance Organization (HPO): ένας οργανισμός ή μια επιχείρηση που επιτυγχάνει σημαντική οικονομική ανάπτυξη / ευρωστία σε εκτεταμένο χρονικό διάστημα, επιδεικνύοντας σταθερή απόδοση και υιοθετώντας στρατηγικό σχεδιασμό, καθώς και υψηλή προσαρμοστικότητα λόγω της ολοκληρωμένης και εναρμονισμένης δομής της επιχειρησιακής διαχείρισης, ενώ το ανθρώπινο κεφάλαιο (HCI) αναγνωρίζεται ως το κύριο περιουσιακό στοιχείο (primary asset) εντός κάθε HPO, επιτρέποντας τη συνεχή βελτίωση των ικανοτήτων των εργαζομένων.

HPO Comprehensive architecture: αναφέρεται στην ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική HPO, η οποία βασίζεται στο intellectual capital, το οποίο με τη σειρά του ταξινομείται στα client capital, process ή organizational capital, financial capital και human capital.

Information Capital: αναφέρεται στην έννοια του κεφαλαίου των πληροφοριών που κρίνεται πολύτιμο αποκλειστικά και μόνο στο πλαίσιο μιας ορισμένης επιχειρηματικής στρατηγικής και περιλαμβάνει εφαρμογές της πληροφορικής και τη σχετική τεχνολογική υποδομή, ενώ η ανάπτυξη του έγκειται στην ανάπτυξη του Ανθρώπινου Κεφαλαίου (HC).

Intellectual capital: ο όρος επινοείται από τον John Kenneth Galbraith το 1969 για να προσδιορίσει το σύνολο των πνευματικών δραστηριοτήτων που αποσκοπούν στη δημιουργία αξίας, ενώ βάσει του Keenan (2000) ο όρος αντιπροσωπεύει ένα από τα τρία κεφάλαια για την επίτευξη της οικονομικής ευρωστίας και σύμφωνα με τη Scandia AFS (1996) συνιστά το σύνολο της γνώσης και των ικανοτήτων (knowledge & competencies), καθώς και του ανθρώπινου και του δομικού κεφαλαίου (HC & structural capital) μιας επιχείρησης.

IoT (Internet of Things): αναφέρεται στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων και προσδιορίζει ένα δίκτυο συσκευών, οχημάτων και αντικειμένων με ενσωματωμένους αισθητήρες, λογισμικό, συνδεσιμότητα δικτύου, τα οποία συλλέγουν και μοιράζονται δεδομένα.

Industry 4.0: αναφέρεται στη 4η Βιομηχανική Επανάσταση (Βιομηχανία 4.0), η έλευση της οποίας σχετίζεται με την ανάδυση έντονων μετασχηματιστικών αλλαγών επί των δυνατοτήτων και προοπτικών ως προς την εργασιακή απασχόληση και την απόκτηση των hybrid skills sets, που εντείνεται περαιτέρω λόγω της μετάβασης των σύγχρονων επιχειρήσεων στο Industry 5.0.

Industry 4.0 pillars: αναφέρεται στους 11 βασικούς πυλώνες του Industry 4.0, δηλαδή στα Additive Manufacturing & 3D Printing, AI (εργαλεία, εφαρμογές, PredictiveAI, GenerativeAI, AgenticAI), ML και DL, Αυτόνομα ρομπότ (cobots / collaborative robots), Big Data Analytics, cloud, edge και fog computing, cybersecurity, blockchain, οριζόντια και κάθετη ενοποίηση (horizontal & vertical system integration), IoT, IIoT και Internet of People (IIoP), στα νέα επιχειρηματικά μοντέλα, αλλά και στις τεχνολογίες και τις εφαρμογές της προσομοίωσης (όπως είναι τα digital twins, 3d modeling και η αξιοποίηση των τεχνολογιών AR και VR).

Industry 5.0: αναφέρεται στη 5η Βιομηχανική Επανάσταση (Βιομηχανία 5.0), που εστιάζει κατά βάση στην ενίσχυση του βαθμού της εξατομίκευσης (personalization), της απόδοσης (efficiency) και της παραγωγικότητας, διατηρώντας συνειδητά μια πλήρως «ανθρωποκεντρική προσέγγιση» (anthropocentric approach), γεγονός που υπογραμμίζει και τη κομβική σημασία και συμβολή της υιοθέτησης μια ολιστικής στρατηγικής για την ανάπτυξη του ανθρώπινου κεφαλαίου (HCD) ως τον πιο καθοριστικό παράγοντα της αναπτυξιακής προόδου κάθε σύγχρονης επιχείρησης.

Industry 5.0 - πεδία εστίασης: αυτονομία (autonomy), ανθρωποκεντρική προσέγγιση (human-centricity), resilience (ανθεκτικότητα / αντοχή, υπό την έννοια της διατήρησης μιας σταθερής απόδοσης / ποιότητας), sustainability (βιωσιμότητα / αειφόρος ανάπτυξη), «αλληλεπίδραση ανθρώπου-μηχανής» (human-machine collaboration), αλλά και σημαντική ενίσχυση του βαθμού της εξατομίκευσης, της απόδοσης και της παραγωγικότητας.

Industry 5.0 human-centricity: υιοθέτηση μιας ανθρωποκεντρικής προσέγγισης στο φάσμα της Βιομηχανίας 5.0 (Industry 5.0), τονίζοντας έτσι και τη σημασία του σχεδιασμού με επίκεντρο τον άνθρωπο -χρήστη (HCD) ως κομβικό παράγοντα στη βελτίωση των παραγωγικών διαδικασιών.

Lean Management & Kaizen: το Kaizen, γνωστό ως rapid improvement processes (αναφέρεται στις διαδικασίες ταχείας βελτίωσης), αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό στοιχείο όλων των μεθόδων της λιτής παραγωγής, εστιάζοντας κατά βάση στην εξάλειψη της σπατάλης, στη βελτίωση της παραγωγικότητας και στην επίτευξη μιας βιώσιμης και συνεχούς βελτίωσης σε συγκεκριμένες λειτουργίες και διαδικασίες μιας σύγχρονης επιχείρησης, ενώ η χρήση των όρων «Lean» και «Kaizen» αναφέρεται αντιστοίχως στις μεθόδους που επιτρέπουν τη μείωση του όγκου των δαπανών / σπαταλών και της επίτευξης της συνεχούς βελτίωσης (continuous improvement).

Machine Learning & Deep Learning: το ML είναι υποσύνολο του AI που αποτελείται από την εποπτευόμενη και τη μη εποπτευόμενη μάθηση και βασίζεται σε αλγόριθμους που εκπαιδεύονται σε μοτίβα δεδομένων, ενώ το DL είναι υπό τομέας του ML που περιλαμβάνει σύνθετους αλγόριθμους που βασίζονται στα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (Neural Networks) που μιμούνται το πως οι νευρώνες του ανθρώπινου εγκεφάλου επικοινωνούν μεταξύ τους.

MIS (Management Information Systems): τα Συστήματα Πληροφοριών Διοίκησης ή τα πληροφοριακά συστήματα διοίκησης που περιλαμβάνουν hardware, λογισμικό, δεδομένα και το ανθρώπινο δυναμικό μιας επιχείρησης, τα οποία συλλέγουν, επεξεργάζονται και αναλύουν τα επιχειρηματικά δεδομένα, επιτρέποντας τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων, την ενίσχυση του βαθμού της αποδοτικότητας και της επιχειρηματικής στρατηγικής, καθώς τα εν λόγω συστήματα συνδέουν την τεχνολογία με τις επιχειρηματικές διαδικασίες, παρέχοντας αναφορές σχετικά με τις πωλήσεις, τα αποθέματα, τις επιχειρησιακές λειτουργίες και τις παραγωγικές διαδικασίες.

Μονάδες Επεξεργασίας Γραφικών: τσιπ υπολογιστών που επιτρέπουν στους υπολογιστές να σχηματίζουν γραφικά/εικόνες μέσω της χρήσης μαθηματικών υπολογισμών.

Narrow AI: Αδύναμα συστήματα AI που έχουν την ικανότητα να μπορούν να εκτελούν ορισμένη εργασία, χωρίς να φέρουν γενική νοημοσύνη.

Natural Language Processing (NLP): αναφέρεται στον όρο Επεξεργασία Φυσικής Γλώσσας που προσδιορίζει την τεχνολογία που επιτρέπει στους υπολογιστές να κατανοούν περισσότερες από μια ανθρώπινες γλώσσες.

Physical capital: τα περιουσιακά στοιχεία (δηλαδή σε εγκαταστάσεις, εξοπλισμό και εργαλεία).

Predictive Analytics: αναφέρεται στα Προγνωστικά μοντέλα για την ανάλυση βάσει δεδομένων, τα οποία συντελούν στον προσδιορισμό μελλοντικών τάσεων (trends).

Print on Demand - PoD: αναφέρεται στην έννοια της «εκτύπωσης κατά ζήτηση».

Prompts: Εντολές/προτροπές προς τα μοντέλα AI για τη δημιουργία περιεχομένου.

RPA (Robotic Process Automation): αναφέρεται στους αυτοματισμούς των ροών εργασιών και κατά βάση στις εργασίες / καθήκοντα που επαναλαμβάνονται σε τακτικό βαθμό ή είναι κοπιαστικές και χρονοβόρες, οι οποίες απλουστεύονται σε σημαντικό βαθμό μέσω της άμεσης αξιοποίησης των λογισμικών της ρομποτικής.

Ροή παραγωγής ή Ροή εργασίας (Γραφικών Τεχνών – παραγωγής εντύπων / Workflow, print media production workflow): ροή παραγωγής ή εργασίας (προσδιορίζεται ως «workflow») περιγράφει τη διαγραμματική απεικόνιση των επιμέρους φάσεων, μέσω των οποίων γίνεται η παραγωγή του προϊόντος – στην εν λόγω περίπτωση της παραγωγής των εντύπων, εκκινώντας από την παραγγελία του πελάτη και την πρώτη ύλη και φτάνοντας ως τη «δεματοποίηση» και την παράδοση / μεταφορά του προϊόντος στον πελάτη.

SMEs (Small and Medium-sized Enterprises): αναφέρεται στις μικρές και στις μικρομεσαίες επιχειρήσεις του κλάδου των Γραφικών Τεχνών, των Εκτυπώσεων και της Συσκευασίας.

Τιράζ (Tirage): το εν λόγω λήμμα ορίζει τον αριθμό των φύλλων εκτύπωσης μιας ορισμένης εργασίας και ο εν λόγω όρος προέρχεται από το γαλλικό «tirage» και ως έννοια αξιοποιείται για να προσδιορίσει το τράβηγμα των φύλλων από το πατάρι της τροφοδοσίας στην εκτυπωτική μηχανή, ώστε να ακολουθήσει η εκτύπωση του φύλλου μιας ορισμένης εκτυπωτικής εργασίας.

Variable Data Printing - VDP: αφορά την έννοια της «εκτύπωσης μεταβλητών δεδομένων».

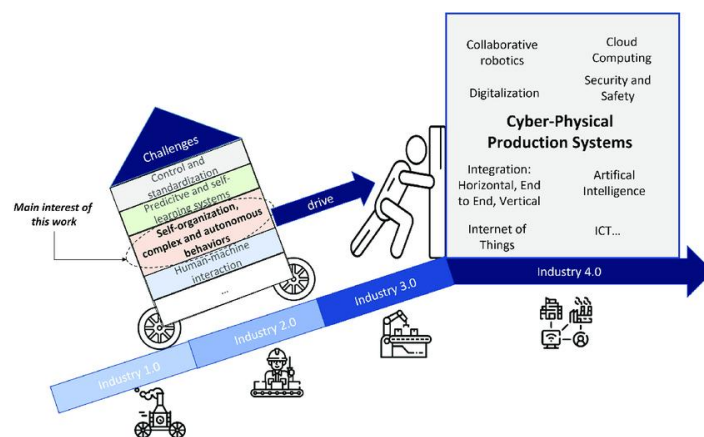
Χαρακτηριστικά της παραγωγής των εντύπων (Print media production – specific characteristics): συνιστούν τις σύνθετες και τις κατά βάση απόλυτα διαφορετικές παραγωγικές διαδικασίες, οι οποίες ποικίλλουν από το δημιουργικό σχεδιασμό και την εφαρμογή ενός εξειδικευμένου λογισμικού, ενώ καταλήγουν έως τη λειτουργία ενός σύγχρονου εργοστασίου και τη μεταφορά με φορτηγό πολλών χιλιάδων εντύπων σε παλέτες, ενώ οι παραγωγικές διαδικασίες χαρακτηρίζονται από πολυπλοκότητα στις επεξεργασίες, την πληθώρα των αντίστοιχων υλικών που χρησιμοποιούνται, αλλά και την ύπαρξη σημαντικών διαφορών από έντυπο σε έντυπο (όπως είναι οι διαστάσεις, ο αριθμός των αντιτύπων, τα χρώματα που τυπώνονται ανά εργασία, αλλά και τη μέθοδο της βιβλιοδεσίας).

Ψηφιακά δίδυμα (digital twins): αναφέρεται κατά βάση στα «εικονικά» (και τρισδιάστατα) ψηφιακά αντίγραφα των εκάστοτε φυσικών αντικειμένων, συστημάτων ή διαδικασιών, τα οποία τροφοδοτούνται με τα δεδομένα που συλλέγονται μέσω των αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο και χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της υφιστάμενης λειτουργίας ή των συστημάτων της παραγωγής μιας επιχείρησης, τη διάγνωση ενδεχόμενων προβλημάτων και την πρόβλεψη της συμπεριφοράς όλων των προαναφερθέντων σε διάφορα «υποθετικά / μελλοντικά σενάρια».

Ψηφιακή εκτύπωση (Digital printing): με τον όρο "ψηφιακή εκτύπωση" περιγράφεται κατά βάση η διαδικασία κατά την οποία, μία μηχανή ή εκτυπωτικό σύστημα εκτυπώνει / αποτυπώνει δεδομένα στο υπόστρωμα, χωρίς όμως να μεσολαβούν τα παραγωγικά στάδια της κατασκευής του φύλλμ – της φωτομεταφοράς και της κατασκευής / διαμόρφωσης της εκτυπωτικής πλάκας, ενώ επισημαίνεται πως η ψηφιακή εκτύπωση μπορεί να οριστεί ως σύστημα «εξόδου δεδομένων», ενώ τα χαρακτηριστικά των μηχανών, οι τεχνολογίες παραγωγής και οι δυνατότητές τους συντελούν στη διαφοροποίηση από τα φωτοτυπικά μηχανήματα και τους εκτυπωτές γραφείου.

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Στη σύγχρονη εποχή παρατηρείται μια ριζική μετάβαση του «τρόπου με τον οποίο παράγονται» όλα τα προϊόντα (industrial production & manufacturing), η οποία προωθείται από την ανάδυση των τεχνολογικών καινοτομιών και των εφαρμογών της ψηφιακής τεχνολογίας και της ραγδαίας ενσωμάτωσης της στο σύγχρονο κλάδο της μεταποίησης και της βιομηχανικής παραγωγής. (Marr, 2019). Η εν λόγω μετάβαση αντιπροσωπεύει την έλευση της 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης (εικόνα 1), που χαρακτηρίζεται και ως Industry 4.0 («Βιομηχανία 4.0»), καθώς αφορά την ανάπτυξη και την ενσωμάτωση των ψηφιακών τεχνολογιών και των καινοτόμων εφαρμογών ως το κύριο και το πιο σημαντικό μέσο της αυτοματοποίησης όλων των επεξεργασιών και των διαδικασιών της παραγωγής. (Dodd, 2022) (Marr, 2019).

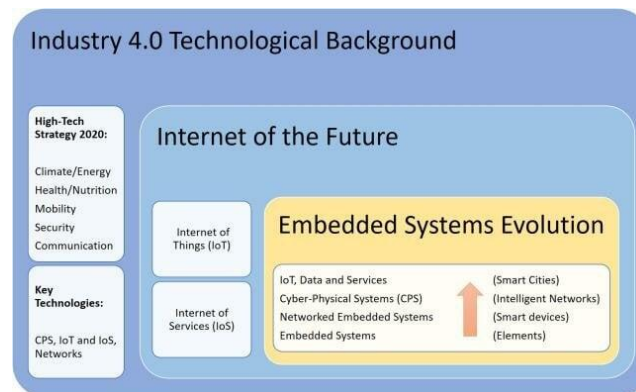


Εικόνα 1. Οι προκλήσεις κατά τη μετάβαση προς την 4η Βιομηχανική Επανάσταση.

(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Challenges-towards-the-fourth-industrial-revolution-transition_fig10_367563762).

Ο όρος «Industry 4.0» αναδύεται στη Γερμανία το 2006 ως σημαντική παράμετρος του Γερμανικού Στρατηγικού Σχεδίου για την αξιοποίηση όλων των σύγχρονων ψηφιακών τεχνολογιών αιχμής (10-point high-tech German strategic plan), ενώ το 2010 το Γερμανικό Υπουργικό Συμβούλιο συνεχίζει την εν λόγω στρατηγική μέσω της θέσπισης της επονομαζόμενης «Στρατηγικής της Υψηλής Τεχνολογίας» (High - Strategy 2020). Το «High - Tech Strategy 2020» (εικόνα 2) εστιάζει στο τομέα της ερευνητικής και της τεχνολογικής ανάκαμψης του κράτους της Γερμανίας μέσω της

θέσπισης μιας σειράς αναπτυξιακών έργων και δράσεων, οι οποίες συντελούν στην προώθηση και στην ανάπτυξη των πεδίων της επιστήμης και της τεχνολογίας στη Γερμανία, για τα επόμενα δέκα με δεκαπέντε έτη. (Lydon, 2016). Η Στρατηγική Υψηλής Τεχνολογίας στοχεύει κατά βάση στη δημιουργία μιας σταθερής βάσης για την επιστημονική πρόοδο της Γερμανίας, εστιάζοντας στη φιλοσοφία του «Industrie 4.0» και δίδοντας μεγάλη έμφαση στις μικρές και στις μικρομεσαίες επιχειρήσεις (γνωστές και ως ΜμΕ ή SMEs). (Wanka, 2017).

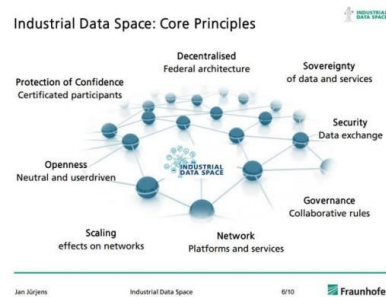


Εικόνα 2. Τα βασικά στοιχεία του Industry 4.0 (GTAI): High-Tech Strategy 2020.

(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/The-fourth-industrial-revolution-principal-components-GTAI_fig2_348357940).

Οι SMEs αν και αντιπροσωπεύουν την κύρια βάση της Γερμανικής οικονομίας, συχνά επιδεικνύουν έντονη διστακτικότητα αναφορικά με τη χρήση των αισθητήρων (sensors), οι οποίοι επιτρέπουν την «ολοκλήρωση ή ενοποίηση» (integration) των συσκευών, του εξοπλισμού, των προϊόντων και των υπηρεσιών, στα επονομαζόμενα «διασυνδεδεμένα ψηφιακά δίκτυα» (interconnected digital networks). Η Στρατηγική Υψηλής Τεχνολογίας περικλείει και κάθε δράση και πρωτοβουλία της Γερμανίας για τη συγκρότηση του επονομαζόμενου «Βιομηχανικού Χώρου Δεδομένων» (Industrial Data Space – IDS), που παρουσιάζεται στην εικόνα 3. (Wanka, 2017). Σύμφωνα με τους Usländer & Teuscher (2022), ο όρος «χώρος των δεδομένων» (data spaces) εμφανίζεται πριν από δεκαπέντε χρόνια στα πεδία της επιστήμης της πληροφορικής, ως μια νέα προσέγγιση για την «ενοποίηση των δεδομένων» (data integration), η οποία αντιτίθεται στις παρελθούσες προσεγγίσεις της ενσωμάτωσης δεδομένων, όπως

είναι οι επονομαζόμενοι «κόμβοι ενοποίησης των δεδομένων» (data consolidation hubs) που παρουσιάζονται στην εικόνα 4. (Usländer & Teuscher, 2022).



Εικόνα 3. Οι βασικές αρχές του Industrial Data Space – IDS.

(πηγή: <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/industrial-data-space/>).

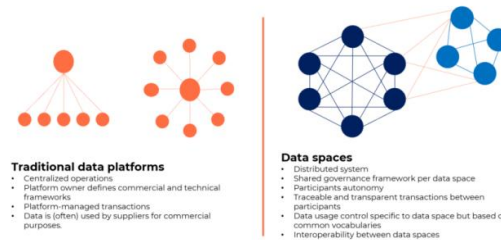


Εικόνα 4. Ενδεικτικό παράδειγμα των κόμβων ενοποίησης δεδομένων (data consolidation hubs).

(πηγή: <https://cribl.io/glossary/data-consolidation/>).

Η νέα προσέγγιση δεν αφορά τη φυσική ενοποίηση όλων των δεδομένων, καθώς τα δεδομένα αποθηκεύονται στην κύρια πηγή προέλευσης τους, ενώ δεν απαιτείται να υπάρχει ένα κοινό σχήμα μιας κοινής και ενιαίας βάσης δεδομένων, όπου γίνεται η συλλογή και η διαχείριση των δεδομένων που προέρχονται από διάφορες πηγές (εικόνα 5), καθώς η έννοια της φιλοσοφίας της επονομαζόμενης «ψηφιοποίησης» (digitalization) βασίζεται στη συλλογή, στη διαχείριση και στη δόκιμη χρήση των ψηφιακών δεδομένων. Εντός της υφιστάμενης κοινωνικής, πολιτικής, οικονομικής και τεχνολογικής εξέλιξης, τα δεδομένα μετατρέπονται σε ένα αυτόνομο προϊόν,

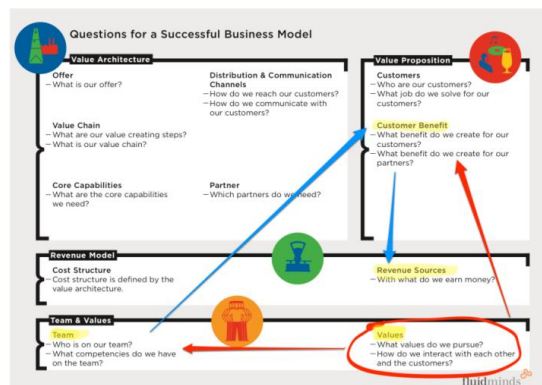
ακόμη και αν αυτά αξιοποιούνται ως «εργαλεία» της βιομηχανικής παραγωγής και της «έξυπνης κατασκευής» (smart manufacturing). (Usländer & Teuscher, 2022).



Εικόνα 5. Decoding: Data Space or Data Platform.

(πηγή: <https://www.gaia-x-hub.fr/en/decoding-data-space-or-data-platform/>).

Όταν τα ψηφιακά δεδομένα ιδωθούν ως «οικονομικό αγαθό» (economic asset), τότε αυτά αποτελούν τη βάση για την ανάπτυξη των νέων διαδικασιών που οδηγούν με τη σειρά τους στη διαμόρφωση της επονομαζόμενης «νέας προστιθέμενης αξίας» (new value - added processes) των παραχθέντων προϊόντων και των παρεχόμενων υπηρεσιών, συντελώντας στην έλευση των «νέων επιχειρηματικών μοντέλων» (new business models), που εμφανίζονται στην εικόνα 6. (Kvalvik et al., 2026).

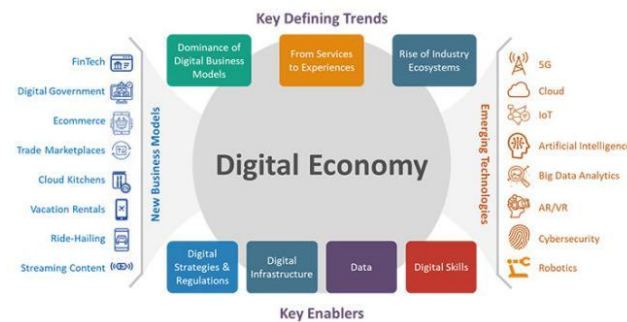


Εικόνα 6. Value creation through values in Business Models.

(πηγή: <https://blog.business-model-innovation.com/2014/08/value-creation-through-values-in-business-models/>).

Σύμφωνα με τους Kvalvik et al. (2026), η έννοια της επονομαζόμενης «ψηφιακής οικονομίας» (digital economy) που παρουσιάζεται στην εικόνα 7, χρίζει τα δεδομένα

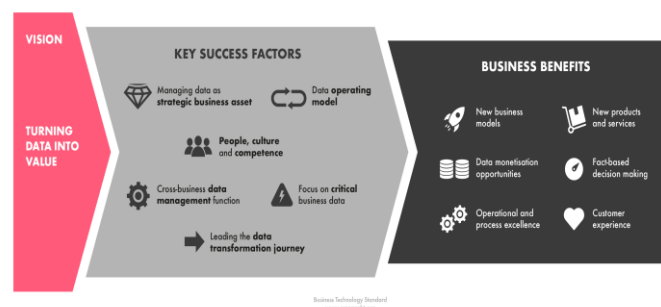
ως ένα πολύ σημαντικό περιουσιακό στοιχείο / πόρο (asset), το οποίο μετασχηματίζει ριζικά τους επιχειρηματικούς κλάδους, το πλαίσιο της παγκόσμιας διακυβέρνησης και την τεχνολογική καινοτομία, ενώ αποτελεί σημαντική παράμετρο στην παροχή ενός υψηλού ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος σε όλους τους τομείς της παγκόσμιας παραγωγής. (Kvalvik et al., 2026).



Εικόνα 7. Η έννοια της «ψηφιακής οικονομίας» (digital economy).

(πηγή: <https://e.huawei.com/ua/blogs/industries/insights/2021/accelerating-digital-economy>).

Η εξάπλωση των «τεχνολογιών που παράγουν τα δεδομένα» (data - generating technologies), όπως είναι το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT) και τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης (social media), μετατρέπει τα δεδομένα σε σημαντικό στρατηγικό πόρο (εικόνα 8), όπου παρατηρείται και η επονομαζόμενη «διττή φύση» των δεδομένων (data's dual nature), ως τύπος «περιουσιακού στοιχείου» (asset) και ως μια «μορφή εμπορεύματος» (commodity). (Kvalvik et al., 2026).

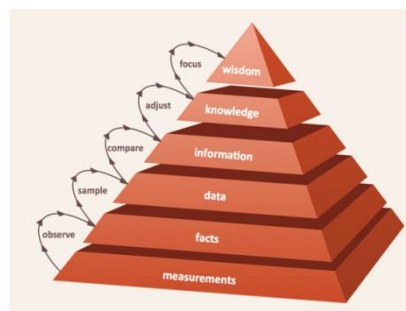


Εικόνα 8. Τα δεδομένα ως σημαντικός πόρος για τη διαμόρφωση της προστιθέμενης αξίας και της έλευσης των νέων επιχειρηματικών μοντέλων.

(πηγή: <https://www.managebt.org/book/demand/data-assets-and-integration/>).

Σύμφωνα με τον Tebbutt (2017), ο βασικός στόχος του συστήματος «Διαχείρισης Δεδομένων» (Data Asset Management - DAM), που παρουσιάζεται στην εικόνα 9, είναι να συγκεντρώνει, να οργανώνει και να αξιοποιεί τα σημαντικά δεδομένα μιας επιχείρησης (Enterprise Data Assets), δηλαδή τα επιχειρησιακά δεδομένα (Enterprise Data) και τις σχετικές υπηρεσίες. Αυτά θεωρούνται απαραίτητα για τη δημιουργία της επονομαζόμενης «επιχειρηματικής αξίας» (business value), η οποία αντλείται από τα επιχειρησιακά δεδομένα και τις υπηρεσίες, τα οποία διαχειρίζονται ως εξής:

- ως μορφές περιουσιακών στοιχείων, οι οποίες επιτρέπουν την «καινοτομία στον τομέα των δεδομένων» (Data Innovation) και διευκολύνουν την κυκλοφορία νέων προϊόντων και νέων υπηρεσιών στο πεδίο της επονομαζόμενης «οικονομίας των δεδομένων» (Data Economy)
- μέσω του επονομαζόμενου «Σχεδιασμού Επίτευξης της Ανταγωνιστικότητας (Competitive Achievement Planning – CAP), ο οποίος εξασφαλίζει τη βέλτιστη δυνατή επιχειρησιακή απόδοση και τα ταχύτερα επιχειρηματικά αποτελέσματα ως προς την επίτευξη ορισμένων στόχων. (Tebbutt, 2017).

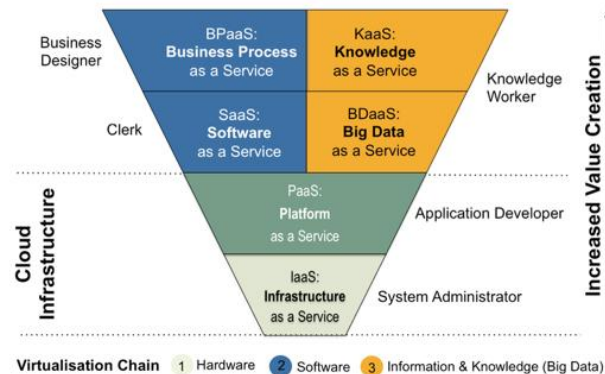


Εικόνα 9. Data Asset Management (DAM) – Information Maturity Model (IMM).

(πηγή: <https://www.thedigitaltransformationpeople.com/channels/delivery/data-asset-management-dam/>).

Σύμφωνα με την «Ευρωπαϊκή Επιτροπή - Ψηφιακή Στρατηγική» (2019), οι όροι «οικονομία των δεδομένων» (Data Economy) και «καινοτομία των δεδομένων» (Data Innovation) αναφέρονται από κοινού σε ένα σύστημα, εντός του οποίου τα δεδομένα λειτουργούν ως το πιο «βασικό προϊόν», ενώ αξιοποιούνται για τη δημιουργία της οικονομικής αξίας, βελτιώνουν σε σημαντικό βαθμό τις διαδικασίες της λήψης των

αποφάσεων και επίσης προωθούν την εξέλιξη της τεχνολογίας και την προώθηση της καινοτομίας. Το «Data Economy» (εικόνα 10) προσδιορίζει το «παγκόσμιο ψηφιακό περιβάλλον» που επιτρέπει τη συλλογή, την επεξεργασία, το διαμοιρασμό και την πώληση των δεδομένων, καθώς μετασχηματίζει όλα τα δεδομένα που συλλέγονται σε πολύ σημαντικές πληροφορίες που μπορούν να αξιοποιηθούν ευρέως στους τομείς της υγειονομικής περίθαλψης και του εμπορίου. (European Commission, 2019).



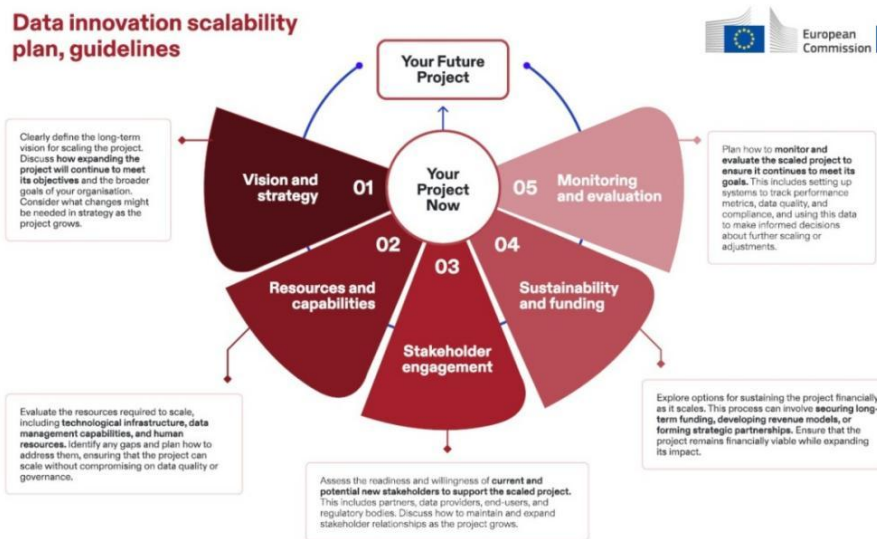
Εικόνα 10. To Data Economy.

(πηγή: <https://dataeconomy.eu/>).

Το Data Innovation (εικόνα 11) βασίζεται στη χρήση των προηγμένων δεδομένων και της Τεχνητής Νοημοσύνης (Artificial Intelligence –AI) και της Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning – ML), για να διαμορφώνει πιο καινοτόμα και «έξυπνα» προϊόντα και υπηρεσίες, ενισχύοντας έτσι σημαντικά την αποδοτικότητα των περισσότερων επιχειρήσεων. (European Commission, 2019). Οι Usländer & Teuscher (2022) αναφέρουν πως σε αρκετές καθημερινές επιχειρηματικές πρακτικές, τα δεδομένα αν και χρησιμοποιούνται συχνά, ανταλλάσσονται σχετικά σπάνια, ενώ οι περισσότερες επιχειρήσεις ανησυχούν για την απώλεια του ελέγχου επί των δεδομένων τους και για να αποφευχθεί αυτό είναι αναγκαίο να αξιοποιηθούν οι επονομαζόμενοι «Διεθνείς Χώροι Δεδομένων» (International Data Spaces -IDS). (Usländer & Teuscher, 2022).

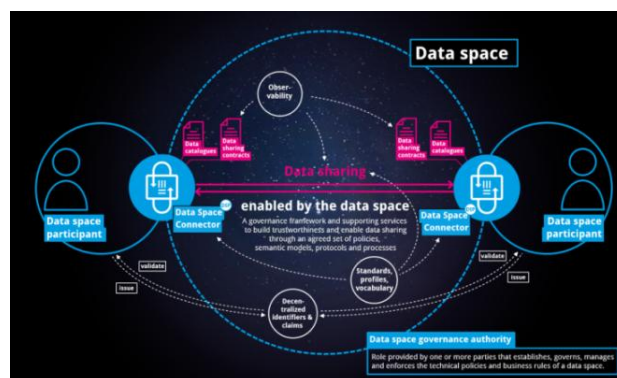
Τα IDS (εικόνες 12 και 13) συνιστούν την «αρχιτεκτονική δομή εικονικών χώρων δεδομένων» (virtual data spaces), που επιτρέπουν την ασφαλή ανταλλαγή όλων των δεδομένων που αξιοποιούνται από τις περισσότερες επιχειρήσεις. (Usländer & Teuscher, 2022). Η Ευρωπαϊκή Στρατηγική για τα Δεδομένα στηρίζεται στα εξής:

1. Πλαίσιο διακυβέρνησης για την πρόσβαση και τη χρήση των δεδομένων
2. Επενδύσεις στις Ευρωπαϊκές δυνατότητες και στις υποδομές των δεδομένων
3. Ικανότητες και δεξιότητες του ανθρώπινου κεφαλαίου και των SMEs για την ορθή συλλογή, διαχείριση και αξιοποίηση των δεδομένων
4. Οι Κοινοί Ευρωπαϊκοί Χώροι Δεδομένων που εστιάζουν σε εννέα στρατηγικούς τομείς, όπως είναι η βιομηχανική παραγωγή, η κινητικότητα, η υγεία και η ενέργεια (manufacturing, mobility, health & energy). (Mertens et al., 2022).



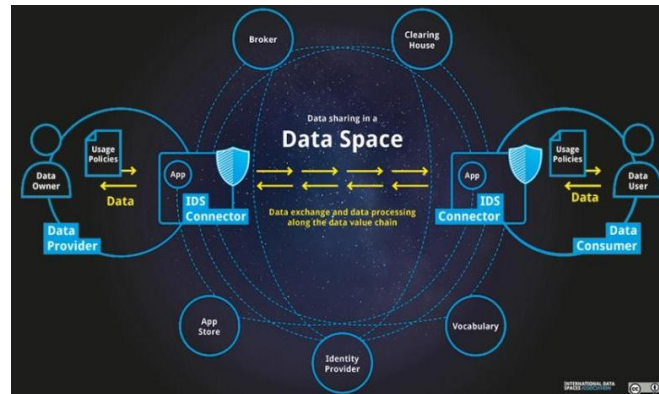
Εικόνα 11. To Data Innovation.

(πηγή: <https://interoperable-europe.ec.europa.eu/collection/european-commission-digital-innovation-framework/solution/digital-innovation-lab-ilab/data-innovation-toolkit>).



Εικόνα 12. Data spaces - International Data Spaces.

(πηγή: <https://internationaldataspaces.org/why/data-spaces/>).



Εικόνα 13. International Data Spaces (IDS).

(πηγή: <https://www.iese.fraunhofer.de/en/reference/ids-data-exchange.html>).

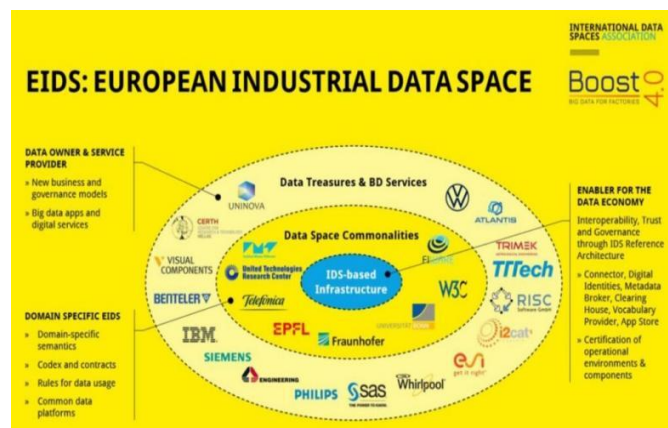
Το σημαντικό έργο «BOOST 4.0» (εικόνα 14), που ορίζεται και ως «Ευρωπαϊκός Βιομηχανικός Χώρος Δεδομένων» (European Industrial Data Space - EIDS), συνιστά ένα πρότυπο που σχεδιάζεται ειδικά για τη σύγχρονη βιομηχανική παραγωγή, ενώ το EIDS (εικόνα 15) βασίζεται στο μοντέλο αναφοράς της αρχιτεκτονικής δομής του IDS. Το IDS αναπτύσσεται από το «International Data Spaces Association – IDSA», το οποίο είναι ένας μη κερδοσκοπικός οργανισμός που επιχειρεί να επαναφέρει τον πλήρη έλεγχο των δεδομένων στις επιχειρήσεις, μέσω του IDS. (Mertens et al., 2022).

Το «DataSpace 4.0» (εικόνα 16) είναι μια διακλαδική σύμπραξη (sectoral alliance), η οποία αποσκοπεί στην ενοποίηση όλων των εθνικών πρωτοβουλιών και των δράσεων που σχετίζονται με το φάσμα του Industry 4.0, όλων των ευρωπαϊκών ομάδων της έρευνας και της ανάπτυξης στο πεδίο των χώρων δτων εδομένων, όλων των δικτύων για την προώθηση της καινοτομίας και όλων των πρωτοβουλιών για την τυποποίηση όλων των υφιστάμενων μοντέλων δεδομένων (data model standardization). Ο κύριος στόχος του Datarpace 4.0 σχετίζεται κατά βάση με τη διαμόρφωση ενός «κοινού πλαισίου διακυβέρνησης», για την ανταλλαγή όλων των «βιομηχανικών δεδομένων» (industrial data) σε Ευρωπαϊκό επίπεδο. Το «κοινό πλαίσιο διακυβέρνησης» αξιοποιεί τις πρόσφατα υιοθετηθείσες οδηγίες και τους κανονισμούς που αφορούν τη δόκιμη διαχείριση και την αξιοποίηση των δεδομένων, συντελώντας έτσι και στην έλευση των νέων επιχειρηματικών μοντέλων, αλλά και των επονομαζόμενων «υψηλής αξίας αλυσίδων των δεδομένων» (valuable data chains) όλων των βιομηχανικών προϊόντων, των εργοστασίων και των αλυσίδων εφοδιασμού. (DataSpace 4.0, 2024).



Εικόνα 14. BOOST 4.0.

(πηγή: <https://boost40.eu/>).



Εικόνα 15. European Industrial Data Space – EIDS.

(πηγή: <https://internationaldataspaces.org/european-industrial-data-space-data-sovereignty-is-key-to-facilitate-new-ways-of-manufacturing/>).



Εικόνα 16. Στιγμιότυπο που παρουσιάζει το DataSpace 4.0.

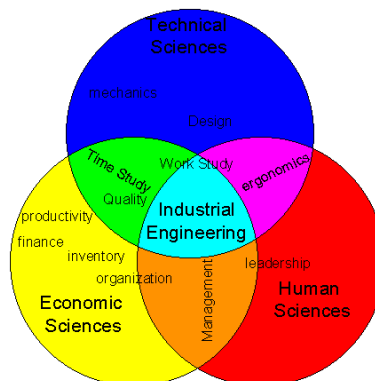
(πηγή: https://digitalfactoryalliance.eu/wp-content/uploads/2022/11/DATASPACE_leaflet.pdf).

Η Snow (2025) υπογραμμίζει πως ο όρος «digital manufacturing» αναφέρεται κατά βάση στο πλαίσιο της σύγχρονης ψηφιακής βιομηχανικής παραγωγής, που ορίζεται και ως «Βιομηχανική Μηχανική» (Industrial Engineering, όπως εμφανίζεται και στην εικόνα 18), δεδομένου πως επιτρέπει στις επιχειρήσεις του κλάδου των Γραφικών Τεχνών - Εκτυπώσεων να σχεδιάζουν, να προσομοιώνουν και να μοντελοποιούν όλες τις δραστηριότητες τους σε παγκόσμια κλίμακα, πριν να γίνει η «φυσική» κατασκευή (παραγωγή) των τελικών προϊόντων - έντυπων. Η δόκιμη αξιοποίηση των ψηφιακών τεχνολογιών και των καινοτόμων εφαρμογών συντελεί επίσης και στη βελτίωση όλων των επεξεργασιών και διαδικασιών του κύκλου της παραγωγής, στην ενίσχυση του βαθμού της λειτουργικής απόδοσης, στη σύντμηση του όγκου των αποβλήτων (waste) και των δαπανών, στη βελτιστοποίηση της διενέργειας του ποιοτικού ελέγχου (quality control) και στην ενίσχυση του βαθμού της διαφάνειας της εφοδιαστικής αλυσίδας (supply chain visibility). (Snow, 2025).



Εικόνα 17. Η φιλοσοφία του digital manufacturing.

(πηγή: <https://www.swri.org/markets/industrial-robotics-automation/blog/how-small-companies-implement-digital-manufacturing>).



Εικόνα 18. Industrial Engineering.

(πηγή: <https://muhendislik.sdu.edu.tr/endustri/en/about-ie/what-is-ie-3517s.html>).

Η φιλοσοφία του «digital manufacturing» εδράζεται στους εξής πυλώνες:

1. «Διαχείριση του κύκλου ζωής των προϊόντων» (product lifecycle management)

- αποτελεί τη ραχοκοκαλιά του συστήματος, επιτρέποντας στις επιχειρήσεις να βελτιστοποιούν κάθε φάση και κάθε στάδιο της παραγωγής, εκκινώντας από τη σύλληψη της ιδέας (το στάδιο του ιδεασμού και της σχεδίασης) και φτάνοντας έως την «απόσβεση» των τελικών προϊόντων, μέσω της χρήσης των ψηφιακών εργαλείων και της ανάλυσης των δεδομένων (digital tools & data analysis)

2. «Εξυπνες λειτουργίες των εργοστασίων» (smart factory operations)

- μεταμορφώνει τις παραδοσιακές εγκαταστάσεις / εργοστασιακές υποδομές της παραγωγής μέσω της αξιοποίησης της τεχνολογίας του υπολογιστικού νέφους (cloud computing), αλλά και του επονομαζόμενου «Βιομηχανικού Διαδικτύου των Πραγμάτων» (Industrial Internet of Things - IIoT)
- μέσω της συλλογής και της ανάλυσης όλων των δεδομένων που προκύπτουν από τους συνδεδεμένους αισθητήρες όλων των συσκευών ή του μηχανολογικού εξοπλισμού, γίνεται η δόκιμη εποπτεία του συνολικού βαθμού της απόδοσης του εξοπλισμού / συσκευών, αλλά και η έγκαιρη πρόβλεψη ενδεχόμενων απαιτήσεων αναφορικά με τη συντήρηση του εξοπλισμού σε πραγματικό χρόνο

3. «Ενοποίηση της αλυσίδας αξίας των προϊόντων» (value chain integration)

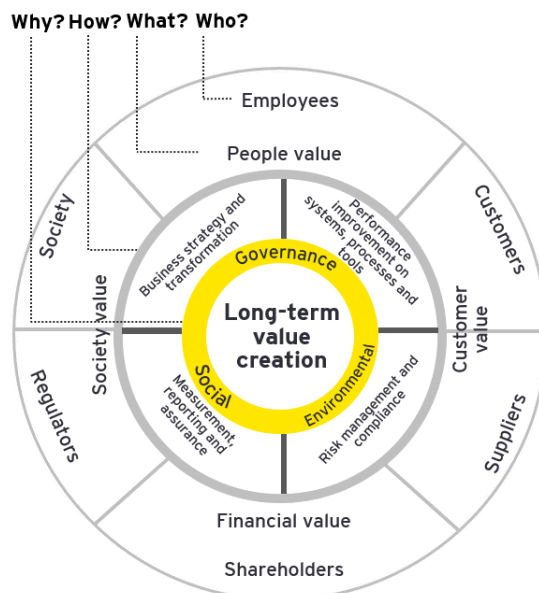
- αφορά τη διαμόρφωση ενός αδιάσπαστου «ψηφιακού άξονα» (digital axis / thread) μεταξύ των προμηθευτών, των κατασκευαστών / επιχειρήσεων και των πελατών / καταναλωτών, για τη δόκιμη διαχείριση και το συντονισμό όλων των «αλυσίδων εφοδιασμού που έχουν υψηλό βαθμό πολυπλοκότητας», ενώ αυτό συντελεί και στη διατήρηση ενός υψηλού βαθμού διαφάνειας στο σύνολο των επεξεργασιών και των διαδικασιών του κύκλου της παραγωγής. (Snow, 2025).

Σύμφωνα με τη Snow (2025), παρατηρούνται πολλά και αξιοσημείωτα οικονομικά οφέλη που προκύπτουν από τις επενδύσεις των επιχειρήσεων στη «ψηφιοποίηση της παραγωγής», μέσω της φιλοσοφίας του «digital manufacturing». Οι επιχειρήσεις που εφαρμόζουν τις προαναφερθείσες λύσεις, αναφέρουν πως οδηγούνται σε αύξηση του

βαθμού της παραγωγικότητας σε ποσοστό της τάξεως του 10% έως 20%, καθώς και σε σημαντική μείωση του όγκου των δαπανών, ήδη από τον 1^ο χρόνο της εφαρμογής τους. Η αξιοποίηση των δυνατοτήτων της προληπτικής συντήρησης επίσης επιφέρει σημαντική σύντμηση του χρόνου αδράνειας του εξοπλισμού, έως 50%. (Snow, 2025).

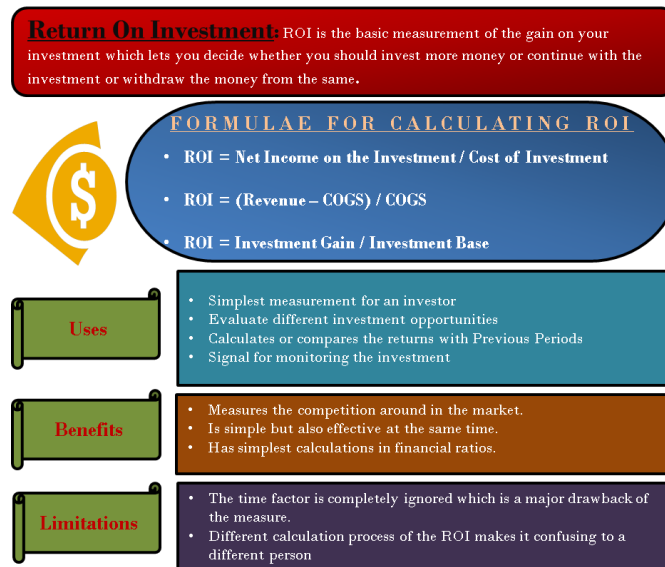
Η διαμόρφωση της «μακροπρόθεσμης αξίας» (long-term value creation) εκτείνεται πέρα από την άμεση και έγκαιρη εξοικονόμηση του συνολικού όγκου των δαπανών (εικόνα 19), δεδομένου πως η βελτιωμένη ανάλυση των δεδομένων οδηγεί στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων, σε αυξημένη ικανοποίηση των πελατών, ενώ συντελεί και στη ταχύτερη παραγωγή και διάθεση νέων προϊόντων στην παγκόσμια αγορά. Οι επιχειρήσεις μπορούν επίσης να οδηγηθούν σε θετικές αποδόσεις εντός της χρονικής περιόδου των δώδεκα έως δεκαοκτώ μηνών, ενώ ορισμένες εξ' αυτών αναφέρουν επίσης και πολύ αξιόλογα ποσοστά του επονομαζόμενου «δείκτη της απόδοσης της επένδυσης» (return on investment – ROI, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 20), που υπερβαίνουν το ποσοστό του 2000%, ειδικά όταν αυτά συνυπολογίζονται μαζί με τα στοιχεία που αφορούν την ενίσχυση της λειτουργικής απόδοσης και τη σύντμηση των ποσοστών της εμφάνισης των ενδεχόμενων ανθρώπινων σφαλμάτων. (Snow, 2025).

Long-term value creation across stakeholders



Εικόνα 19. Η φιλοσοφία του long-term value creation.

(πηγή: https://www.ev.com/en_my/insights/climate-change-sustainability-services/why-esg-centricity-is-vital-for-the-future-of-organizations).



Εικόνα 20. Ο δείκτης της απόδοσης της επένδυσης (return on investment – ROI).

(πηγή: <https://efinancemanagement.com/financial-analysis/return-on-investment>).

Η «απόδοση της επένδυσης» (ROI) που επιτυγχάνεται μέσω της δόκιμης αξιοποίησης του ΠoT, συντελεί στη μετατροπή όλων των σημαντικών δεδομένων αναφορικά με τα επίπεδα της εξοικονόμησης (measurable savings) και της αυξημένης αποδοτικότητας (increased efficiency), σε νέες μετρήσιμες τιμές. Ο «παράγοντας – κλειδί» της επιτυχίας (εικόνα 21) συνίσταται στην εστίαση στους κάτωθι βασικούς τομείς:

- μείωση κόστους συντήρησης εξοπλισμού (reduction of maintenance costs)
- βελτιστοποίηση βαθμού της απόδοσης (optimize performance - OEE)
- έξυπνη διαχείριση ενέργειας (smart energy management). (Szwarcoka, 2025).

Η «κατανόηση του ROI» είναι πολύ σημαντική για την αξιολόγηση του κατά πόσον τα «αυτοματοποιημένα συστήματα» (automated systems) της παραγωγής συνιστούν τη βέλτιστη επιλογή για τη διαμόρφωση μιας μακροπρόθεσμης στρατηγικής όλων των επιχειρήσεων. Το ROI του βαθμού του δείκτη της αυτοματοποίησης καθορίζεται από διάφορους παράγοντες και η κατανόηση των εν λόγω παραγόντων βοηθάει τις επιχειρήσεις να λάβουν τεκμηριωμένες αποφάσεις. Τα «αρχικά επενδυτικά κόστη» (initial investment costs), συμπεριλαμβανομένων εκείνων της αγοράς μηχανολογικού εξοπλισμού, της ενσωμάτωσης των νέων συστημάτων, αλλά και της εκπαίδευσης του

ανθρώπινου δυναμικού («ανθρώπινο κεφάλαιο»), αποτελούν τη μεγαλύτερη αρχική δαπάνη. Η μείωση τους υνολικού όγκου των δαπανών στους τομείς της ανθρώπινης εργασίας, της ενεργειακής απόδοσης και της χρήσης των υλικών και των πρώτων υλών, συντελεί σε σημαντικό βαθμό και στην εξοικονόμηση όλων των λειτουργικών εξόδων και σε μακροπρόθεσμα οικονομικά οφέλη των επιχειρήσεων. (White, 2025).

Table: Key Sources of ROI in Industrial IoT

Area	How does it generate savings?	How to estimate potential ROI?	Proven Market Data
Predictive Maintenance	Instead of reacting to breakdowns, you predict them and schedule repairs, eliminating costly unplanned downtime.	(Number of unplanned downtimes per year) x (Avg. cost of downtime/hour) x (70% downtime reduction)	25-30% reduction in maintenance costs and 70-75% decrease in downtime (Source: Deloitte, "Predictive Maintenance Position Paper"; Oxmant, "Predictive Maintenance in Manufacturing: ROI Guide," 2025)
OEE Optimization	You identify and eliminate hidden micro-stops, slowdowns, and quality issues, producing more in the same amount of time.	(Value of production/hour) x (15-20% OEE increase) x (Number of operating hours per year)	20-30% increase in productivity and significant OEE improvement (Source: Source: IIoT World, "Use of IoT and OEE for Improving the performance of production," 2025)
Energy Management	You monitor energy consumption by individual machines and processes, identifying areas of excessive use and optimizing them.	(Annual energy cost) x (Potential 5-15% reduction in consumption)	Manufacturing companies can reduce energy costs by up to 15% (Source: Pima Controls, IIoT implementation analyses).

Εικόνα 21. Στιγμιότυπο που παρουσιάζει τις κύριες πηγές ROI στο IIoT.

(πηγή: <https://dbr77.com/from-data-to-dividends-how-to-measure-and-maximize-roi-from-iiot-in-manufacturing/>).

Η αυξημένη παραγωγική απόδοση, λόγω των ταχύτερων χρόνων διεκπεραίωσης της παραγωγής και της μείωσης των χρόνων της ενδεχόμενης «διακοπής της λειτουργίας» του μηχανολογικού εξοπλισμού (minimized downtime), συντελεί στην ενίσχυση της παραγωγής και των εσόδων. Ο υπολογισμός του ROI (εικόνα 22) αφορά τα εξής:

1. «Προσδιορισμός του συνολικού κόστους της επένδυσης»

- «Κεφαλαιουχικές δαπάνες» (Capital expenditure) – ως το κόστος εξοπλισμού
- Εκπαίδευση και αναβάθμιση (που επιτυγχάνεται μέσω της παροχής νέων προγραμμάτων επιμόρφωσης και κατάρτισης, τα οποία αφορούν την ενίσχυση των γνώσεων και δεξιοτήτων του ανθρώπινου κεφαλαίου μιας επιχείρησης)
- Ενσωμάτωση νέων συστημάτων και εγκατάσταση του αντίστοιχου λογισμικού (System integration & software implementation)

2. «Εκτίμηση της ετήσιας εξοικονόμησης κόστους»

- Μείωση του κόστους της απαιτούμενης ανθρώπινης εργασίας
- Εξοικονόμηση ενέργειας, λόγω της «βελτιστοποιημένης κατανάλωσης ισχύος» (optimized power consumption)
- Μείωση του όγκου των αποβλήτων των υλικών που αξιοποιούνται (material waste), αλλά και σύντμηση του κόστους των αποβλήτων (scrap costs)

3. «Συνυπολογισμός της αύξησης των συνολικών εσόδων μιας επιχείρησης»

- Υψηλότερη παραγωγή απόδοση και επέκταση σε νέες αγορές
- Πραγματοποιείται κατά βάση λόγω της βελτιστοποιημένης απόδοσης

4. Υπολογισμός της επανομαζόμενης «περιόδου της απόσβεσης» (payback period) και του «σημείου του ισοζυγίου» (break-even point)

- η περίοδος απόσβεσης αναφέρεται στο χρόνο που απαιτείται για την «ανάκτηση» της αρχικής επένδυσης μέσω της δόκιμης εξοικονόμησης του όγκου των δαπανών (συνολικού κόστους), αλλά και των πρόσθετων εσόδων
- μια βραχυπρόθεσμη περίοδος απόσβεσης συνιστά μια ενδιαφέρουσα επένδυση
- μια μακροπρόθεσμη περίοδος απόσβεσης ίσως απαιτείται σε κάποιες περιπτώσεις για να δικαιολογηθεί η αρχική επένδυση. (White, 2025).

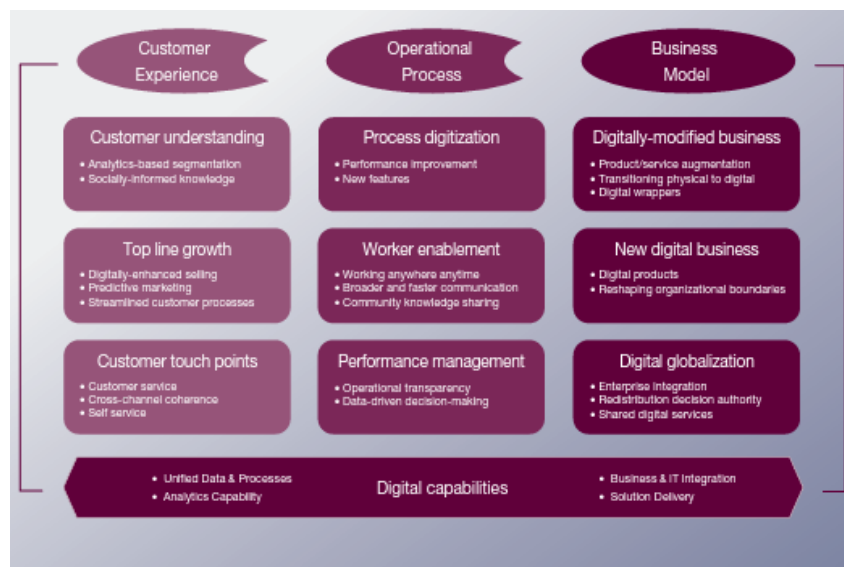


Εικόνα 22. Παράδειγμα των δεδομένων που προκύπτουν μέσω του υπολογισμού του ROI.

(πηγή: <https://www.whappy.it/en/practical-guide-to-calculating-the-roi-of-digitization/>).

Η Jenkins (2024) αναφέρει πως το ζήτημα του «ψηφιακού μετασχηματισμού» (digital transformation) αποτελεί θέμα έντονων διαβουλεύσεων σε παγκόσμιο επίπεδο για

πάνω από μια δεκαετία, κατά νάση από τη χρονική στιγμή που το «Κέντρο Ψηφιακών Επιχειρήσεων του Τεχνολογικού Ινστιτούτου της Μασαχουσέτης» (MIT Center for Digital Business) σε συνεργασία με την εταιρεία «Capgemini Consulting» επιχειρεί μεταξύ του 2010 και του 2011 (εικόνα 23), να διερευνήσει όλους τους τρόπους με τους οποίους κάποιες συμβατικές μεγάλες επιχειρήσεις ανά τον κόσμο επωφελούνται από την έλευση του ψηφιακού μετασχηματισμού, κατά βάση μέσω της ενσωμάτωσης των ψηφιακών τεχνολογιών στο πλαίσιο λειτουργίας τους. (Jenkins, 2024).

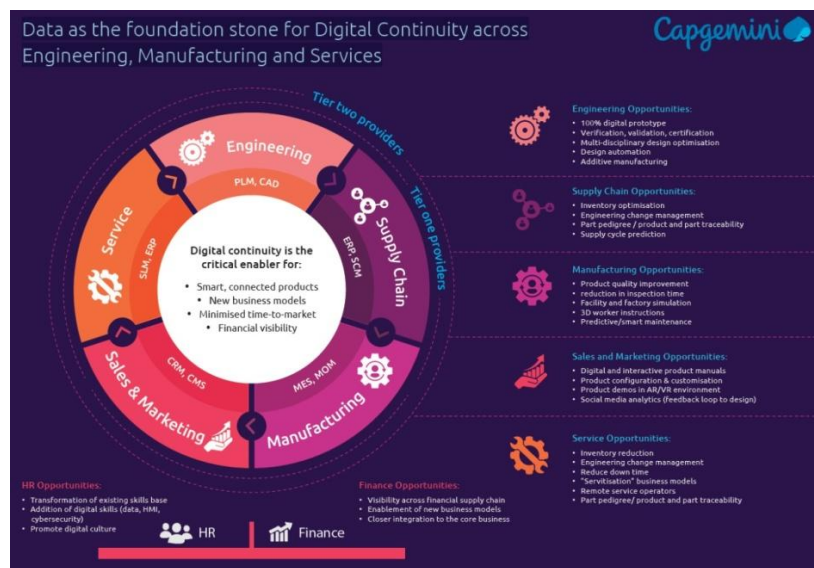


Εικόνα 23. MIT- Capgemini digital transformation framework.

(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/MIT-Capgemini-digital-transformation-framework_fig1_367740163).

Ο ψηφιακός μετασχηματισμός όμως σχετίζεται και με το λήμμα «digital continuity», το οποίο αναφέρεται στην έννοια της «ψηφιακής συνέχειας», ειδικά υπό το πρίσμα της απρόσκοπτης ενσωμάτωσης των πληροφοριών / δεδομένων και των διαδικασιών σε ολόκληρη την επιχείρηση, μέσω της διασφάλισης της έννοιας της επονομαζόμενης «δια λειτουργικότητας» (interoperability) όλων των δεδομένων και της ενίσχυσης του βαθμού της διαφάνειας της εφοδιαστικής αλυσίδας, γεγονός που εξαλείφει και κάθε ενδεχόμενο εμπόδιο που ίσως να επιβραδύνει την προώθηση της καινοτομίας και της συνεργασίας (innovation & cooperation). Το digital continuity (εικόνα 24) προσφέρει σημαντικές πρακτικές και πληροφορίες / δεδομένα που βοηθούν τις επιχειρήσεις να

αντιμετωπίσουν άμεσα και αποτελεσματικά τις ενδεχόμενες προκλήσεις, όπως είναι τα επονομαζόμενα «σιλό» των δεδομένων (data silos) που παρουσιάζονται στην εικόνα 25 ή το ενδεχόμενο της εμφάνισης της απουσίας ως προς τη συμβατότητα των υφιστάμενων συστημάτων με τα νέα συστήματα, επιτρέποντας έτσι και την ενίσχυση των δεικτών του ανταγωνισμού (competitiveness) και της προσαρμοστικότητας (adaptability), αλλά και συντελώντας στη συγκρότηση ενός «ενιαίου και απόλυτα διασυνδεδεμένου ψηφιακού πλαισίου λειτουργίας». Όσο οι επιχειρήσεις επιχειρούν να ανταποκριθούν ολοένα και πιο άμεσα και αποτελεσματικά στις απαιτήσεις της «Βιομηχανίας 4.0», όλα τα προαναφερθέντα «εμπόδια / προκλήσεις» γίνονται με τη σειρά τους όλο και πιο έντονα, γεγονός που καθυστερεί σημαντικά τις προσπάθειες του ψηφιακού μετασχηματισμού και έτσι αφήνει τις επιχειρήσεις αρκετά ευάλωτες σε ενδεχόμενα ζητήματα που ίσως προκύπτουν ως κύριο αποτέλεσμα των «οικονομικών διακυμάνσεων» (crunch economy) της παγκόσμιας αγοράς. (Gertz, 2025).

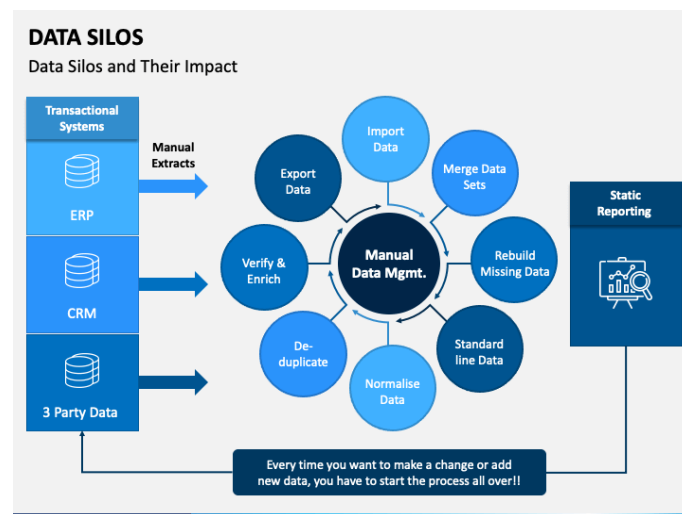


Εικόνα 24. Η φιλοσοφία του Digital continuity.

(πηγή: <https://www.themanufacturer.com/articles/what-exactly-is-digital-continuity-and-why-is-it-so-important-for-industrial-businesses/>).

Η Capgemini αντιμετωπίζει τις εν λόγω προκλήσεις παρέχοντας ένα νέο στρατηγικό πλαίσιο επίτευξης του «digital continuity», το οποίο εστιάζει στην αξιοποίηση των σύγχρονων τεχνολογιών και εφαρμογών, όπως είναι η τεχνολογία του AI, τα ψηφιακά δίδυμα (digital twins), το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT) και το

cloud computing. Μέσω αυτών οι επιχειρήσεις μπορούν με ευκολία και αμεσότητα να εξορθολογήσουν αποτελεσματικά όλες τις λειτουργίες τους, να βελτιώσουν το βαθμό της «ιχνηλασιμότητας» (tracing) των προϊόντων και να προωθήσουν και άλλες νέες βελτιώσεις που συντελούν στην ενίσχυση της ποιότητας των παραχθέντων προϊόντων και των παρεχόμενων υπηρεσιών. Όσες επιχειρήσεις υιοθετούν τις αρχές του digital continuity αναφέρουν σημαντικά οφέλη, όπως είναι η μείωση του χρόνου διάθεσης των προϊόντων στην αγορά κατά 30%, η αύξηση της παραγωγικότητας κατά 40% και η μείωση των τεχνικών δαπανών σε ποσοστό της τάξεως του 25%. (Gertz, 2025).



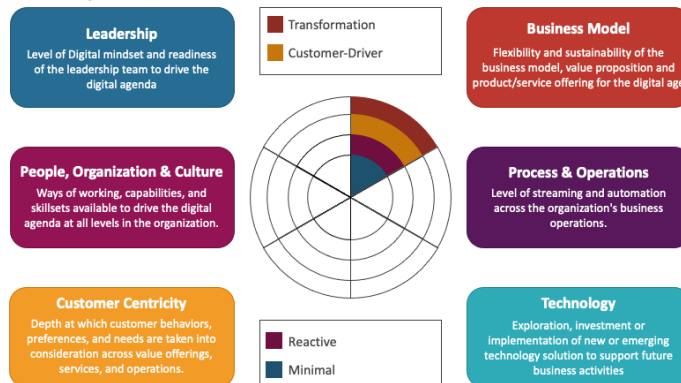
Εικόνα 25. Η επίδραση Data Silo στις σύγχρονες επιχειρήσεις.

(πηγή: <https://www.fanruan.com/en/glossary/big-data/data-silo>).

Οι Westerman & McAfee (2012), συγγραφείς της συνοπτικής έκθεσης της έρευνας του MIT και της Capgemini, με τίτλο «The Digital Advantage: How Digital Leaders Outperform Their Peers in Every Industry», αναφέρουν πως οι επιχειρήσεις που διαθέτουν την επονομαζόμενη «ψηφιακή ωριμότητα» (digital maturity), όπως παρουσιάζεται στις εικόνες 26 και 27, για να μπορούν να προωθούν τη φιλοσοφία του ψηφιακού μετασχηματισμού σε κάθε τμήμα και σε κάθε στάδιο της παραγωγής και της λειτουργίας τους, προσδιορίζονται ως «Digirati» (εικόνα 28). Η «ψηφιακή ωριμότητα» προκύπτει από τη σύζευξη της επονομαζόμενης «ψηφιακής έντασης» (digital intensity) με την έννοια της «διαχείρισης των επιπτώσεων του προκύπτουν λόγω του μετασχηματισμού, οι οποίες είναι αποτέλεσμα της ψηφιακής έντασης» (transformation management intensity) (εικόνα 29). (Westerman & McAfee, 2012).

DIGITAL MATURITY

Digital Maturity Assessment

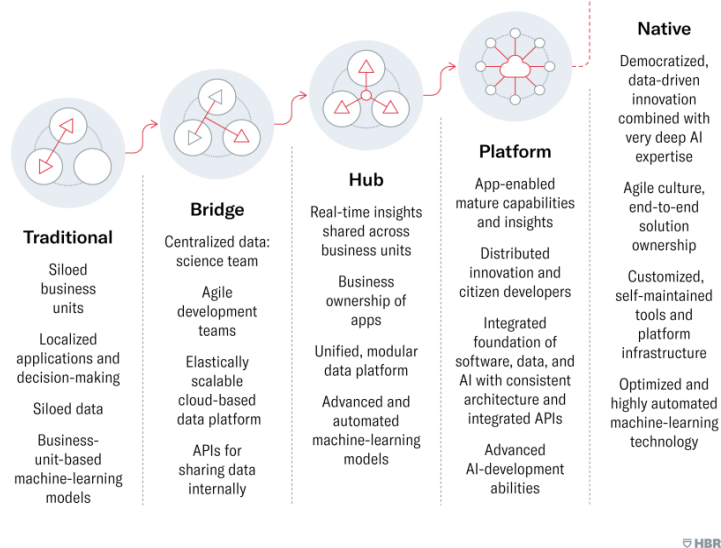


Εικόνα 26. Η φιλοσοφία της ψηφιακής ωριμότητας (digital maturity).

(πηγή: <https://www.collidu.com/presentation-digital-maturity>).

The Stages of Digital Maturity

Digital maturity is made up of these characteristics of organizational structure, process, tech architecture, and tech deployment. How does your company stack up?

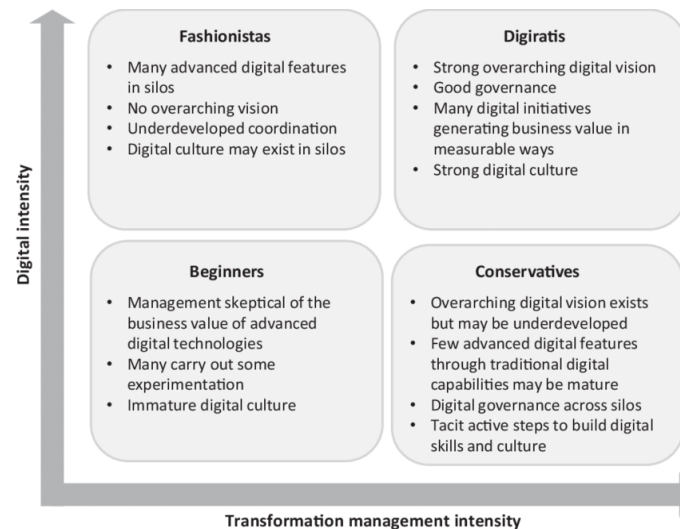


Εικόνα 27. Τα στάδια της ψηφιακής ωριμότητας (digital maturity).

(πηγή: <https://hbr.org/data-visuals/2022/05/the-stages-of-digital-maturity>).

Η «ψηφιακή ένταση» αφορά κατά βάση τις επενδύσεις των επιχειρήσεων σε δράσεις αναφορικά με τη χρήση της ψηφιακής τεχνολογίας για τη ριζική αναδιαμόρφωση του τρόπου της λειτουργίας τους, εστιάζοντας στις σχέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ

των επιχειρήσεων και των πελατών, στις «εσωτερικές» επιχειρησιακές λειτουργίες και στα επιχειρηματικά μοντέλα, ενώ η φιλοσοφία του «transformation management intensity» σχετίζεται με τις δράσεις που οδηγούν στη διαμόρφωση μιας στενότερης σχέσης συνεργασίας μεταξύ των επιχειρήσεων και της επονομαζόμενης «τεχνολογίας των πληροφοριών» (Information Technology - IT), συντελώντας έτσι και στη ριζική αναδιαμόρφωση του τρόπου της λειτουργίας τους. (Westerman & McAfee, 2012).

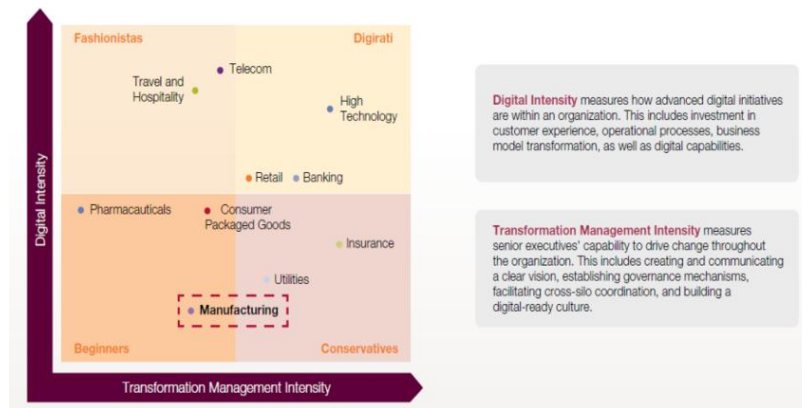


Source(s): Adapted from Westerman *et al.* (2014)

Εικόνα 28. Digital maturity matrix & Digirati.

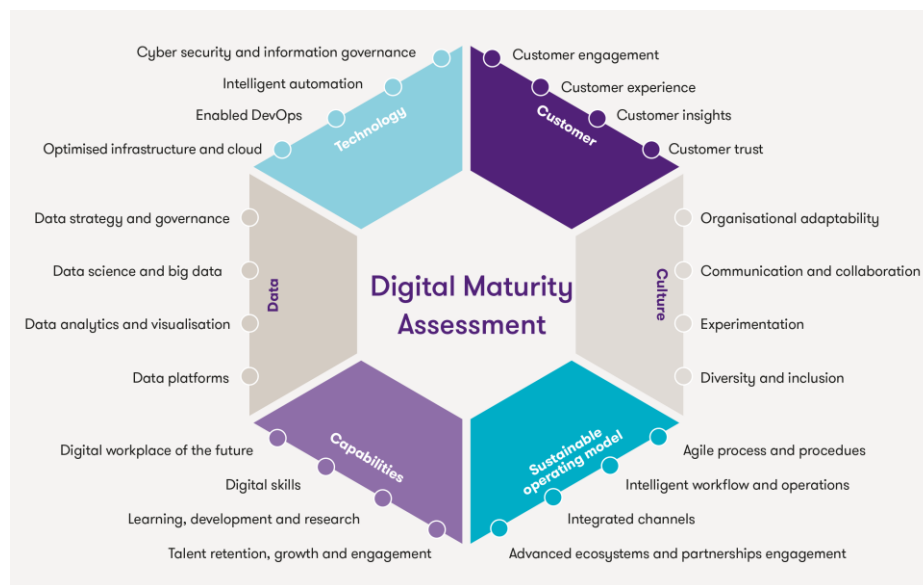
(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Digital-maturity-matrix_fig1_341578867).

Η «ψηφιακή ωριμότητα» αποτελεί ένα σημαντικό βασικό παράγοντα του ψηφιακού μετασχηματισμού, καθώς συνιστά τη συνεχώς εξελισσόμενη διενέργεια της ψηφιακής μεταμόρφωσης μιας επιχείρησης, ενώ σχετίζεται με το προσδιορισμό (σε μετρήσιμες τιμές) του βαθμού αναφορικά με το πόσο έτοιμη είναι μια επιχείρηση να αξιοποιήσει το σύνολο όλων των ψηφιακών τεχνολογιών και εφαρμογών, καθώς και ποια είναι η ικανότητα της στο να δημιουργεί μεγαλύτερη αξία στα παραχθέντα προϊόντα και στις παρεχόμενες υπηρεσίες, μέσω της δόκιμης αξιοποίησης των «ψηφιακών διαύλων» (create value through digital avenues). Κάθε επιχείρηση συνήθως φέρει διαφορετικό επίπεδο ψηφιακής ωριμότητας, ενώ ο δόκιμος προσδιορισμός της επονομαζόμενης «προκαταρκτικής βαθμολογίας της ψηφιακής ωριμότητας» υπολογίζεται μέσω ενός ειδικού εργαλείου αξιολόγησης, γνωστό και ως «Εργαλείο Ψηφιακής Ωριμότητας» (Digital Maturity Tool), που παρουσιάζεται στην εικόνα 30. (Koenigsberg, 2024).



Εικόνα 29. Digital maturity by industry - digital intensity & transformation management intensity.

(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Digital-maturity-by-industry-Capgemini-Consulting-2014-This-figure-compares-the_fig6_298722633).



Εικόνα 30. Digital Maturity Tool.

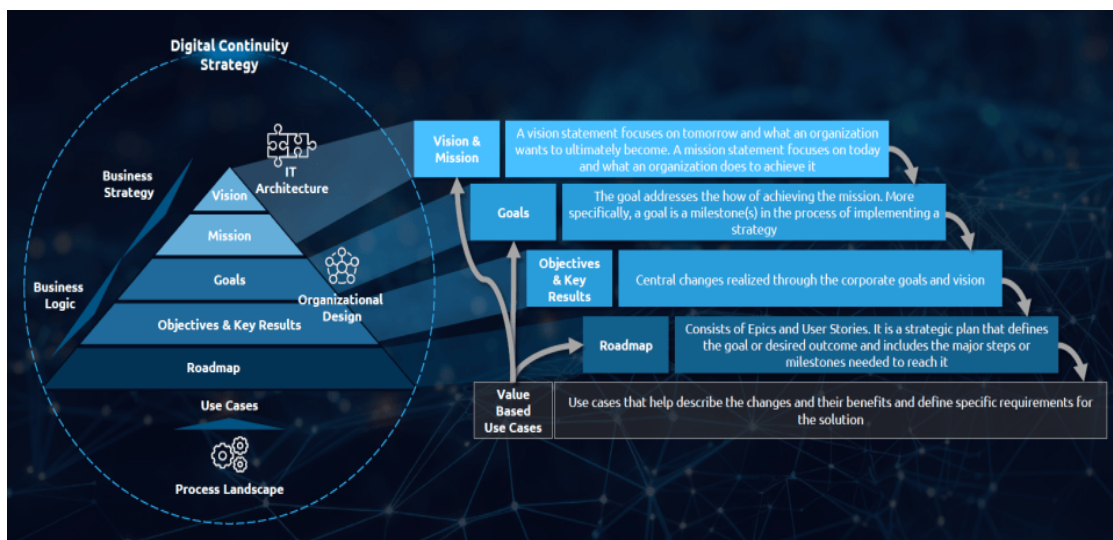
(πηγή: <https://www.grantthornton.co.uk/services/advisory/business-risk-services/data-regtech-and-digital-advisory/digital-maturity-assessment/>).

Η στρατηγική της ψηφιακής μεταμόρφωσης σχετίζεται με τα εξής:

- Αλλαγή τρόπου διαχείρισης των εσωτερικών διαδικασιών (internal processes)
- Εξωτερική ψηφιοποίηση (external digitalization)

- Αλλαγή του τρόπου της διεξαγωγής των επιχειρηματικών δραστηριοτήτων
- Δημιουργία νέων ψηφιακών προϊόντων. (Koenigsberg, 2024).

Απαραίτητο στοιχείο για τον άμεσο και τον επιτυχή ψηφιακό μετασχηματισμό μιας επιχείρησης είναι να υπάρχει το επονομαζόμενο «σταθερό ψηφιακό οικοσύστημα» (stable digital ecosystem), ενώ η στρατηγική του ψηφιακού μετασχηματισμού της Capgemini καθοδηγεί τις επιχειρήσεις σε κάθε στάδιο / βήμα, ξεκινώντας από τον προσδιορισμό ενός ορισμένου πεδίου εφαρμογής και τη δημιουργία πρωτοτύπων και φτάνοντας στην πλήρη βιομηχανοποίηση της παραγωγής (εικόνα 31). (Gertz, 2025).

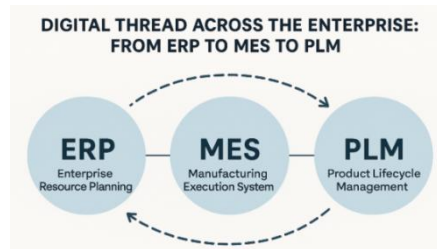


Εικόνα 31. Η στρατηγική της ψηφιακής μεταμόρφωσης της εταιρείας Capgemini.

(πηγή: <https://www.capgemini.com/de-de/insights/blog/digital-continuity-the-backbone-of-digital-transformation/>).

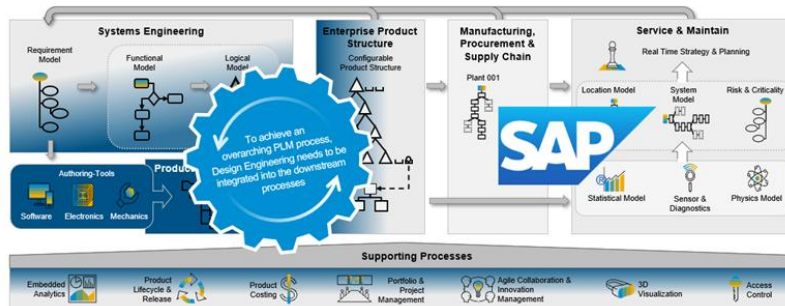
Η αρχική φάση αφορά την επικύρωση και τη διενέργεια δοκιμών, μετά ακολουθεί η ανάπτυξη των πληροφοριακών συστημάτων, η υιοθέτηση των τεχνολογιών και των δράσεων που οδηγούν στη διαμόρφωση ενός συνδεδεμένου επίπεδου συνεργασίας, υποστηρίζοντας περισσότερους από 15.000 χρήστες. Η εν λόγω προσέγγιση οδηγεί στην απρόσκοπτη «ψηφιακή συνέχεια» και ενισχύει το βαθμό της αποδοτικότητας και της προώθησης της καινοτομίας, ενώ τελείται μέσω της χρήσης των συστημάτων λογισμικού (εικόνες 32 και 33) που αξιοποιούνται για τη διαχείριση των διαδικασιών και επεξεργασιών της παραγωγής, των προϊόντων / υπηρεσιών και των πόρων μιας επιχείρησης, δηλαδή μέσω των εξής συστημάτων:

- Σύστημα για τη Διαχείριση του Κύκλου τη Ζωής του Προϊόντος (Product Lifecycle Management – PLM)
- Σύστημα για την Εκτέλεση της Παραγωγής (Manufacturing Execution System – MES)
- Σύστημα για τη Διαχείριση των Επιχειρησιακών Πόρων (Enterprise Resource Planning -ERP). (Gertz, 2025).



Εικόνα 32. PLM, MES, ERP.

(πηγή: <https://www.linkedin.com/pulse/digital-thread-across-enterprise-from-erp-mes-plm-ramasamy-phd--sannn?tl=vi&originalSubdomain=vn>).



Εικόνα 33. Η επίτευξη της ψηφιακής συνέχειας μέσω των PLM, MES, ERP.

(πηγή: <https://www.linkedin.com/pulse/embracing-digital-continuity-integrating-plm-mes-erp-product-nguyen>).

Η «ψηφιακή ωριμότητα» αναφέρεται στην ικανότητα μιας επιχείρησης να μπορεί να αξιοποιεί πολύ αποτελεσματικά τις ψηφιακές τεχνολογίες για την επίτευξη όλων των στρατηγικών στόχων της, ενώ ως διαδικασία περιλαμβάνει την υιοθέτηση των ψηφιακών εργαλείων και των συστημάτων, την ανάπτυξη νέων «ψηφιακών δεξιοτήτων» του ανθρώπινου κεφαλαίου, τη βελτιστοποίηση του βαθμού της ψηφιακής διαχείρισης

των παραγωγικών διαδικασιών και την αλλαγή της φιλοσοφίας της επονομαζόμενης «επιχειρηματικής κουλτούρας» (corporate ή business culture), σε μια νέα και πιο ολιστικά ψηφιακή και ψηφιοποιημένη μορφή της παραγωγής. Μια «ψηφιακά ώριμη επιχείρηση» κατά βάση ακολουθεί μια «ολοκληρωμένη / ενοποιημένη» προσέγγιση (comprehensive & integrated approach) στο ψηφιακό της μετασχηματισμό και επίσης οφείλει να μπορεί να αναγνωρίζει τη σημασία και την αξία του ρόλου των ψηφιακών τεχνολογιών και των εφαρμογών στην προώθηση της καινοτομίας, στη βελτίωση της αποδοτικότητας και στην ενίσχυση της ικανοποίησης και της αφοσίωσης εκ μέρους των πελατών. Η ψηφιακή ωριμότητα αποτελείται από ορισμένες διακριτές φάσεις, οι οποίες παρουσιάζονται στην εικόνα 34. (Corporater, 2023).



Εικόνα 34. Οι τρεις φάσεις της ψηφιακής ωριμότητας.

(πηγή: <https://corporater.com/resources/the-3-phases-of-digital-maturity/>).

Οι διακριτές φάσεις της «ψηφιακής ωριμότητας» προσδιορίζονται με τους όρους «digitization», «digitalization» και «digital transformation», ενώ αν και οι όροι συχνά χρησιμοποιούνται εναλλακτικά, διαφέρουν αρκετά μεταξύ τους και συνήθως υπάρχει σύγχυση αναφορικά με το τί προσδιορίζουν, αλλά και με το ποιες είναι οι επιπτώσεις που επιφέρουν. Οι εν λόγω όροι είναι αλληλένδετες έννοιες και καθεμία αναφέρεται σε μια ξεχωριστή προσέγγιση ως προς τη χρήση της ψηφιακής τεχνολογίας ως το

κύριο μέσο για την προώθηση της «ψηφιακής μεταμόρφωσης και της ανάπτυξης» μιας επιχείρησης (εικόνα 35), ενώ η κατανόηση των διαφορών τους είναι ζωτική για τις επιχειρήσεις που θέλουν να έχουν ανταγωνιστικό προβάδισμα. (Winikoff, 2024).

	DIGITIZATION	DIGITALIZATION	DIGITAL TRANSFORMATION
Definition	The process of converting analog data into a digital format	The use of digital technologies and data to improve business processes, operations, and customer experiences	A strategic, organization-wide initiative that reshapes culture, structure, processes, and governance using digital technologies
Scope	Limited to data conversion (analog → digital)	Focused on enhancing existing processes and workflows through digital tools	Broad and comprehensive, as it redefines the entire organization and how it delivers value
Impact	Task-level changes	Operational and workflow improvements	Organization-wide transformation
End goal	Make data more accessible, storable, and usable	Increase efficiency and productivity	Complete organizational transformation and creation of new business models

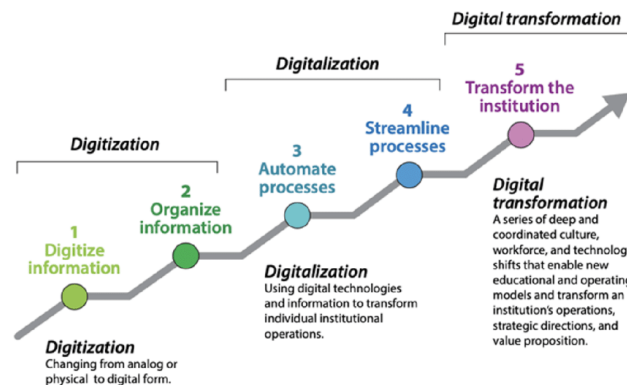
Εικόνα 35. Στιγμιότυπο με τις διαφορές των όρων digitization, digitalization και digital transformation.

(πηγή: <https://www.channelinsider.com/channel-business/running-an-msp/digitization-vs-digitalization/>).

Στο Industry 4.0, ο όρος «digitization» προσδιορίζει τη διαδικασία που αφορά τη μετατροπή των απτών (έντυπων) δεδομένων σε ψηφιακές μορφές αρχείων, ο όρος «digitalization» σχετίζεται με την αξιοποίηση των δεδομένων για τη βελτιστοποίηση και την αυτοματοποίηση των επεξεργασιών και των διαδικασιών της παραγωγής, ενώ ο όρος «digital transformation» συνιστά το ψηφιακό μετασχηματισμό που οδηγεί στη ριζική μεταμόρφωση των υφιστάμενων επιχειρηματικών μοντέλων, επιτρέποντας τη δημιουργία των «νέων ροών αξίας» (value streams) των παραχθέντων προϊόντων και των παρεχόμενων υπηρεσιών μιας επιχείρησης (εικόνα 36). (Winikoff, 2024).

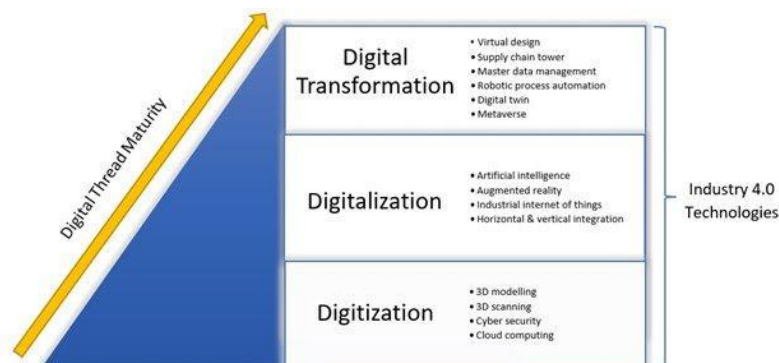
Βάσει όλων των παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα πως το Industry 4.0 (εικόνα 37) αναφέρεται στη «μετασχηματιστική αναδιαμόρφωση» του δευτερογενούς τομέα / μεταποίησης και έχει ως κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα την άμεση και απρόσκοπτη ενσωμάτωση των επονομαζόμενων «ευφυών (smart) και αυτόνομων (autonomous) συστημάτων», που τροφοδοτούνται από την τεχνολογία της επεξεργασίας δεδομένων και της Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning – ML). (Marr, 2019). Οι κύριες παράμετροι του φάσματος του Industry 4.0 βασίζονται στα σημαντικά επιτεύγματα της 3^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης (Industry 3.0), στους τομείς της επονομαζόμενης

«μαζικής παραγωγής» (mass production) και των «γραμμών συναρμολόγησης» (assembly lines). (Marr, 2019) (Xu, Lu, Vogel-Heuser, & Wang, 2021).



Εικόνα 36. Οι διαφορές των digitization, digitalization και digital transformation στο Industry 4.0.

(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Difference-between-digitization-digitalization-and-digital-transformation_fig2_359722719).



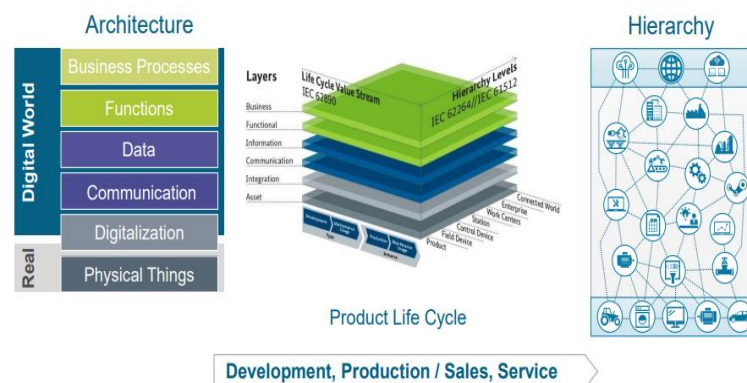
Εικόνα 37. Industry 4.0 .

(πηγή: <https://www.innovmarine.com/resource-center/the-chart-room/may-2023-edition/>).

Το μοντέλο της αρχιτεκτονικής δομής του «Industrie 4.0», γνωστό και ως «Reference Architecture Model Industrie 4.0 - RAMI4.0» (εικόνα 38), αναπτύσσεται από τη Γερμανική Ένωση των Κατασκευαστών Ηλεκτρολογίας και Ηλεκτρονικών Ειδών (ZVEI), ενώ αποτελεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο συντεταγμένων των συστημάτων του Industry 4.0. (Marr, 2019) (Xu, Lu, Vogel-Heuser, & Wang, 2021). Η έλευση του Industry 4.0 (εικόνα 39) διαμορφώνεται μέσω της ενσωμάτωσης των υπολογιστικών

συστημάτων, των λογισμικών και του Διαδικτύου, ενώ βασίζεται στα κάτωθι στάδια μετάβασης του προτύπου της παραγωγής (που τελούνται ανά τα χρόνια):

- μετάβαση από το πρότυπο του Industry 1.0 (1^η Βιομηχανική Επανάσταση), το οποίο βασίζεται στη μηχανολογική λειτουργία της παραγωγής, μέσω της χρήσης της ενέργειας του νερού και του ατμού (water & steam power)
- μετάβαση στο Industry 2.0 (2^η Βιομηχανική Επανάσταση), που σηματοδοτεί την έναρξη της μαζικής παραγωγής και τις γραμμές συναρμολόγησης
- μετάβαση στο Industry 3.0 (3^η Βιομηχανική Επανάσταση), που σκιαγραφεί το ψηφιακό μετασχηματισμό της βιομηχανικής παραγωγής και περιλαμβάνει τους αριθμητικούς ελέγχους των εργαλειομηχανών (machine tool numerical control), τους προγραμματισμένους υπολογιστικούς φορείς ελέγχου (programmable logic controllers - PLC), την άμεση ψηφιακή διαχείριση (digital control) και οργάνωση, αλλά και τη διαχείριση των επιχειρησιακών πόρων (ERP). (Lydon, 2016).

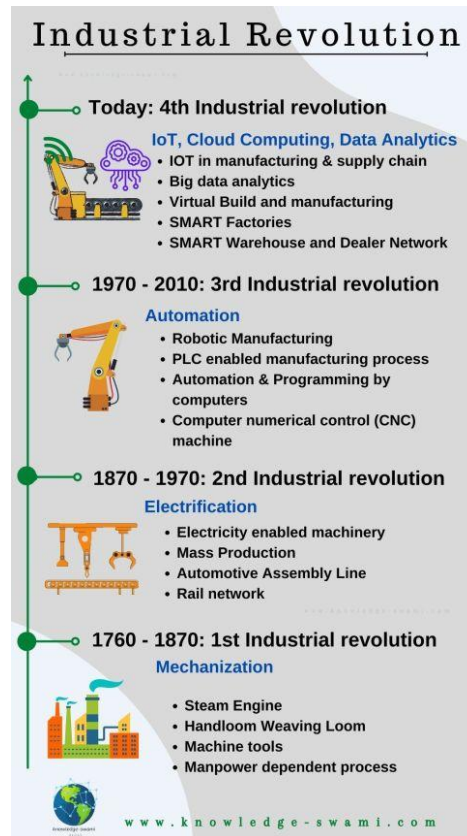


Εικόνα 38. Reference Architecture Model Industrie 4.0 ή RAMI4.0.

(πηγή: <https://www.linkedin.com/pulse/reference-architecture-model-industry-40-rami-dhruv-gheewala-rmp->).

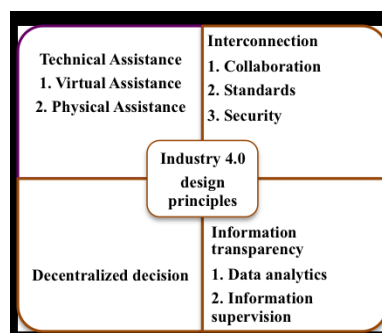
Το Industry 4.0 σχετίζεται και με την υιοθέτηση της έννοιας της «αποκεντρωμένης» (decentralised) παραγωγής, μέσω της αξιοποίησης των κοινόχρηστων εγκαταστάσεων παραγωγής (shared facilities), για την επίτευξη της «on-demand» (κατά παραγγελία) παραγωγής και της βέλτιστης διαχείρισης των διαθέσιμων (υλικών και μη) πόρων (resources efficiency). (Duan & Da Xu, 2021). Οι επανομαζόμενες «βασικές αρχές της σχεδίασης» (design principles) του Industry 4.0 (εικόνα 40), περιλαμβάνουν τις

έννοιες της «δια συνδεσιμότητας» (interconnectivity) και της «δια λειτουργικότητας» (interoperability), της «διαφάνειας των πληροφοριών» (information transparency), της «τεχνικής υποστήριξης» (technical assistance) και της «αποκεντρωμένης λήψης αποφάσεων» (decentralised decision-making). (Calcetero, 2018) (Koh, 2023).



Εικόνα 39 . Η μετάβαση στο Industry 4.0.

(πηγή: <https://knowledge-swami.com/what-is-the-industry-4-0/>).



Εικόνα 40. Τα design principles του Industry 4.0.

(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/industry-40-design-principles-Source-Hermann-et-al-2016_fig1_335449600 https://www.researchgate.net/figure/industry-40-design-principles-Source-Hermann-et-al-2016_fig1_335449600).

Οι «έντεκα πυλώνες» (11 pillars) του Industry 4.0 (εικόνα 41) είναι τα εξής:

1. Additive Manufacturing και τρισδιάστατη εκτύπωση (3D Printing)
2. AI (εργαλεία και εφαρμογές, οι υποκατηγορίες των Predictive AI, Generative AI και Agentic AI που αναλύονται στη συνέχεια)
3. Machine Learning (ML) και Βαθιά Μάθηση (Deep Learning -DL)
4. αυτόνομα ρομπότ (cobots ή collaborative robots)
5. ανάλυση μεγάλων δεδομένων (big data analytics)
6. cloud computing, edge computing και fog computing
7. κυβερνοασφάλεια και τεχνολογία blockchain (cybersecurity & blockchain)
8. οριζόντια και κάθετη ενοποίηση (horizontal & vertical system integration)
9. IoT, IIoT και Διαδίκτυο των Ανθρώπων (Internet of People -IIoP)
10. νέα επιχειρηματικά μοντέλα
11. τεχνολογίες προσομοίωσης (simulation), μέσω των:
 - ψηφιακών διδύμων (digital twins)
 - τρισδιάστατης μοντελοποίησης (3d modeling)
 - των τεχνολογιών και των εφαρμογών της Επαυξημένης Πραγματικότητας (Augmented Reality – AR) και της Εικονικής Πραγματικότητας (Virtual Reality – VR). (Haiston, 2023).

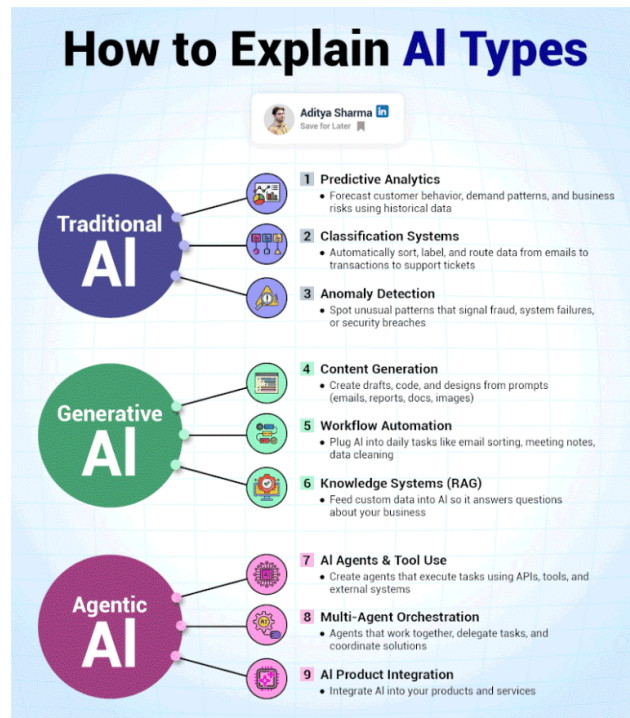
Η τεχνολογία του AI εξελίσσεται τα τελευταία χρόνια ραγδαία, προχωρώντας από τα συμβατικά και αρκετά τυποποιημένα συστήματα που βασίζονται σε κανόνες, στα νέα και πιο εξελιγμένα μοντέλα AI που έχουν υψηλό βαθμό «δημιουργικότητας, λογικής σκέψης και πλήρους αυτονομίας». Όσο ο τομέας της AI τεχνολογίας αναπτύσσεται ανά την πάροδο των χρόνων, σταδιακά εμφανίζονται και οι νέοι και διακριτοί όροι (εικόνα 42) της «Παραδοσιακής Τεχνητής Νοημοσύνης» (Traditional AI), της «Προγνωστικής Τεχνητής Νοημοσύνης» (Predictive AI), της «Μηχανικής Μάθησης» (ML), της «Γενεσιουργού Τεχνητής Νοημοσύνης» (Generative AI, γνωστή και ως GenAI) και της φιλοσοφίας της «Τεχνητής Νοημοσύνης υπό τη μορφή των AI

πρακτόρων» (AI Agents), οι οποίοι αν και σε αρκετές περιστάσεις συνδέονται με τον όρο «Agentic AI», διαφέρουν αρκετά μεταξύ τους. (Gupta, 2025).



Εικόνα 41. Οι έντεκα βασικοί πυλώνες (11 pillars) του Industry 4.0.

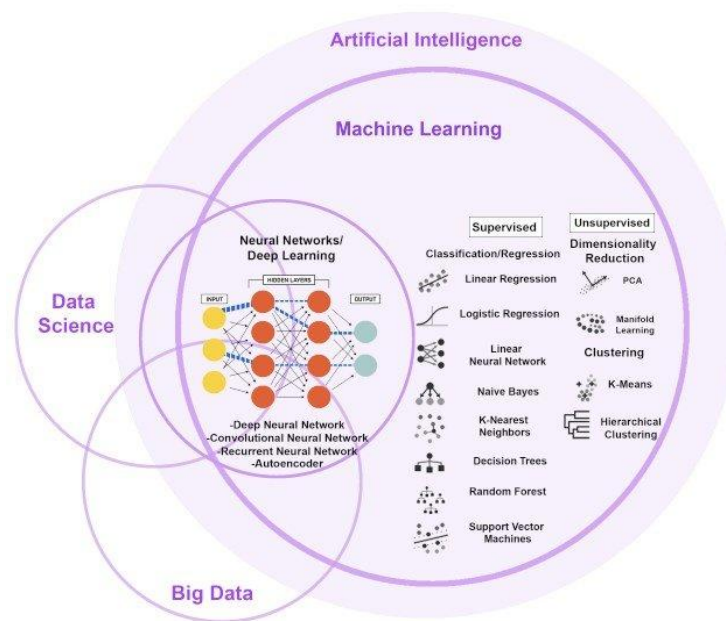
(πηγή: <https://www.symmetryelectronics.com/blog/11-pillars-of-industry-4-0/?srsltid=AfmBOoqP2Bec-txwziDa4lFSVjzpftvOLjWPS9K47zBM-Axxi5LOQyS6>).



Εικόνα 42. Traditional AI, Generative AI & Agentic AI.

(πηγή: https://www.linkedin.com/posts/aditya-hicounselor_ai-ml-genai-activity-7425523712352980992-12iA).

Η έλευση των AI πρακτόρων σχετίζεται άμεσα με το σύνολο των εφαρμογών που βασίζονται στο AI και αναπτύσσονται με στόχο να λαμβάνουν αποφάσεις και να πραγματοποιούν με μεγάλη ευελιξία και αξιοπιστία πολλές διαφορετικές διεργασίες, χωρίς σημαντική ανθρώπινη εποπτεία. Είναι δόκιμο να επισημανθεί πως και αν όλοι οι ανωτέρω όροι σχετίζονται με διαφορετικές έννοιες και πεδία, συχνά αξιοποιούνται εναλλακτικά, προκαλώντας σύγχυση αναφορικά με τις διαφορές τους. Το AI (εικόνα 43) χρησιμοποιεί αλγόριθμους και υπολογιστικά μοντέλα για να μπορεί να αναλύει τα δεδομένα, να εντοπίζει μοτίβα, να κάνει προβλέψεις και να λαμβάνει τεκμηριωμένες αποφάσεις σε πραγματικό χρόνο, ενώ το ML συνιστά ένα υποσύνολο του AI που επιτρέπει στα υπολογιστικά συστήματα να μαθαίνουν από τα δεδομένα, χωρίς να απαιτείται «σαφής προγραμματισμός» και έτσι διαμορφώνονται τα μοντέλα που προκύπτουν μέσω της εκπαίδευσης ενός ML αλγορίθμου, ώστε το εν λόγω μοντέλο να κάνει προβλέψεις ή να λάβει αποφάσεις βάσει των δεδομένων. (Gupta, 2025).



Εικόνα 43. AI, Machine Learning, Deep Learning & Neural Networks.

(πηγή: <https://community.deeplearning.ai/t/difference-between-ai-ml-and-dl/709691>).

Η βαθιά μάθηση (Deep Learning - DL) συνιστά ένα προηγμένο υποσύνολο του ML που αξιοποιεί τα επονομαζόμενα «πολύ - επίπεδα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα»,

δηλαδή τα επονομαζόμενα «βαθιά νευρωνικά δίκτυα» (Deep Neural Networks - DNNs), τα οποία αξιοποιούνται κατά βάση για τη μοντελοποίηση και την επίλυση πιο σύνθετων προβλημάτων, μέσω της προσομοίωσης όλων των διαδικασιών και των διασυνδέσεων της διενέργειας της νόησης και της λήψης των αποφάσεων που γίνεται από τον ανθρώπινο εγκέφαλο. Τα νευρωνικά δίκτυα αξιοποιούνται συνήθως όταν απαιτείται η διαχείριση των επονομαζόμενων «δεδομένων υψηλής διάστασης» (high-dimensional data) και η εξαγωγή των ιεραρχικών τους χαρακτηριστικών (hierarchical features), για την επίτευξη στόχων σε απαιτητικούς τομείς, όπως είναι τα εξής:

1. Επεξεργασία Φυσικής Γλώσσας (Natural Language Processing - NLP)

- σχετίζεται με την κατανόηση, την παραγωγή και τη μετάφραση της ανθρώπινης γλώσσας με αρκετές εφαρμογές, όπως είναι οι διαλογικοί πράκτορες (chatbots), τα γλωσσικά μοντέλα (language models), όπως το GPT, η ανάλυση των συναισθημάτων (sentiment analysis) και η αυτόματη μετάφραση (εικόνα 44)



Εικόνα 44. Επεξεργασία Φυσικής Γλώσσας (Natural Language Processing – NLP).

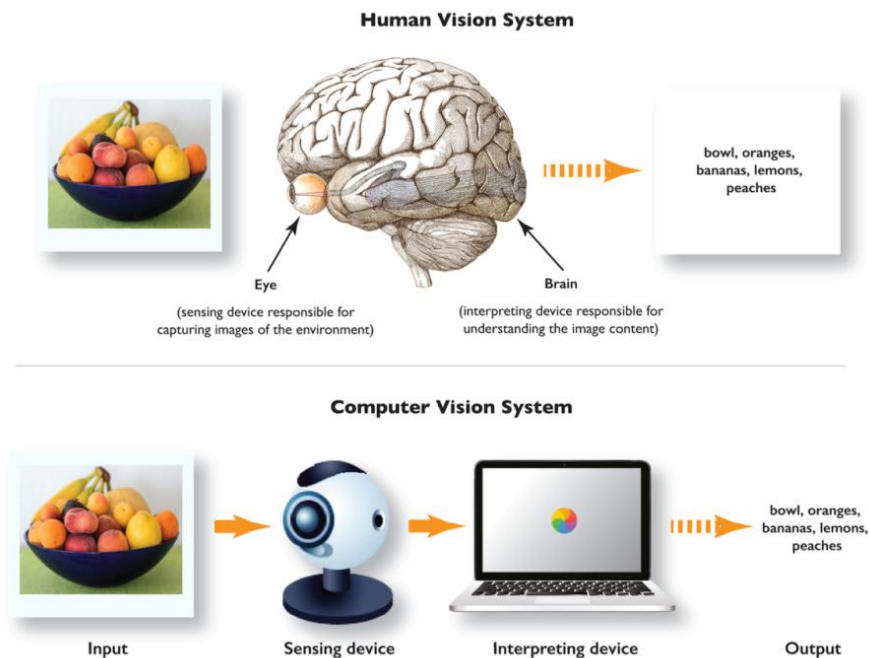
(πηγή: <https://www.shaip.com/blog/what-is-nlp-how-it-works-benefits-challenges-examples/>).

2. Υπολογιστική Όραση (Computer Vision)

- αφορά την ερμηνεία και την ανάλυση των οπτικών πληροφοριών (εικόνα 45), για πολλές διαφορετικές εργασίες, όπως είναι η ταξινόμηση εικόνων (image classification), η ανίχνευση αντικειμένων (object detection), η αναγνώριση προσώπου (facial recognition) και η αυτόνομη οδήγηση (autonomous driving)

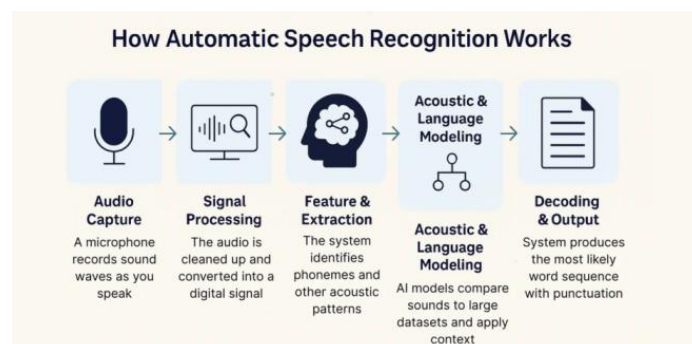
3. Αναγνώριση Ομιλίας (Speech Recognition)

- σχετίζεται με τη μετατροπή της ανθρώπινης φυσικής γλώσσας (εικόνα 46) που εκφέρεται προφορικά ή σε κείμενο, μέσω των εφαρμογών που βασίζονται στους εικονικούς βοηθούς (virtual assistants), στη μεταγραφή (transcription) και στις διεπαφές ελέγχου φωνής (voice-controlled interfaces). (Gupta, 2025).



Εικόνα 45. Υπολογιστική Όραση (Computer Vision).

(πηγή: <https://zilliz.com/learn/what-is-computer-vision>).



Εικόνα 46. Αναγνώριση Ομιλίας (Speech Recognition).

(πηγή: <https://www.balto.ai/blog/automatic-speech-recognition-meaning/>).

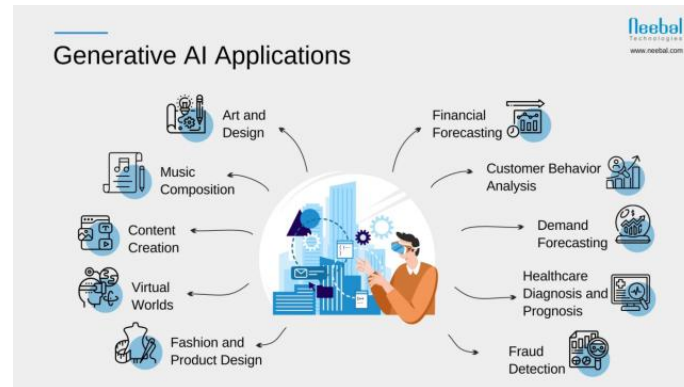
Το Predictive AI (εικόνα 47) χρησιμοποιεί πληροφορίες από το πρόσφατο ιστορικό αρχείο πωλήσεων μιας επιχείρησης, για να προβλέψει μελλοντικά δεδομένα και να οδηγήσει σε τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με τους πελάτες, τα προϊόντα και τις αλυσίδες εφοδιασμού. Η χρήση του Predictive AI είναι πάρα πολύ σημαντική για την πρόβλεψη της μελλοντικής καταναλωτικής ζήτησης / τάσης, την παρακολούθηση των υφιστάμενων αγοραστικών τάσεων και τη βελτιστοποίηση όλων των επιχειρησιακών λειτουργιών και των παραγωγικών διαδικασιών. (Northeastern.edu, 2025).



Εικόνα 47. Παραδείγματα της εφαρμογής του Predictive AI.

(πηγή: <https://www.n-ix.com/generative-ai-vs-predictive-ai/>).

Το Generative AI (εικόνα 48) χρησιμοποιεί αρκετά πιο προηγμένους αλγόριθμους για τη δημιουργία πρωτογενούς περιεχομένου (όπως κείμενο, εικόνες, βίντεο και κώδικα), ενώ αξιοποιείται ή για τη διαμόρφωση εξατομικευμένων απαντήσεων σε ερωτήσεις που τίθενται εκ μέρους των πελατών ή για την υποστήριξη της δημιουργίας πρωτογενούς υλικού αναφορικά με την εμπορική προώθηση πολλών διαφορετικών στόχων του κλάδου του μάρκετινγκ, βελτιώνοντας έτσι και το βαθμό της παραγωγικότητας του ανθρώπινου δυναμικού (ανθρώπινου παράγοντα) μιας επιχείρησης. Κάθε εταιρεία μπορεί να αξιοποιήσει το Generative AI για να σχεδιάσει εξατομικευμένες παρτίδες προϊόντων βάσει των νέων καταναλωτικών τάσεων και των εξατομικευμένων προδιαγραφών των πελατών, για να δημιουργήσει ένα διαδραστικό περιεχόμενο σε πραγματικό χρόνο αυστηρά προσαρμοσμένο στις ανάγκες των καταναλωτών ή να παράγει εξατομικευμένο υλικό σε μορφή εικόνας ή οπτικοακουστικού περιεχομένου. (Northeastern.edu, 2025).



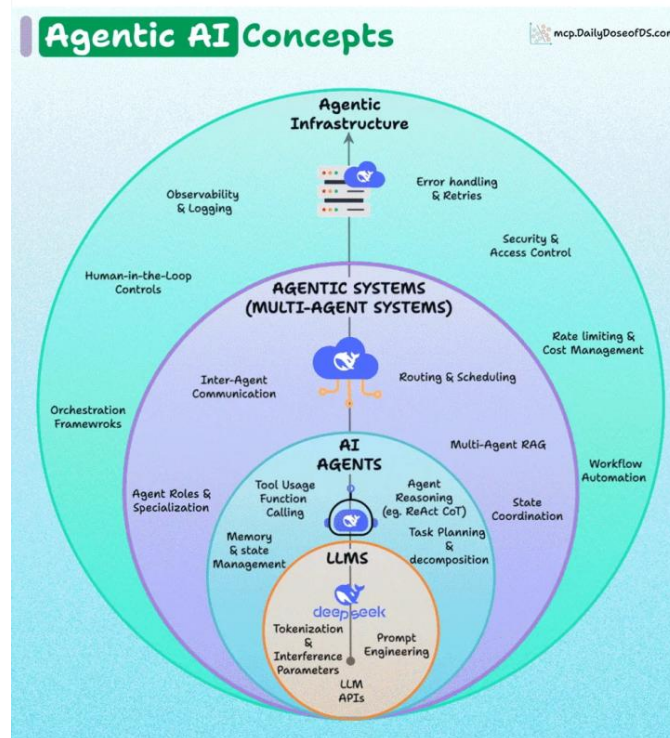
Εικόνα 48. Ενδεικτικά παραδείγματα της εφαρμογής του Generative AI.

(πηγή: <https://emergeandrise.org/news/generative-ai-a-game-changer-for-entrepreneurs>).

Αν και δεν υπάρχει ένας ομόφωνα αποδεκτός ορισμός του «Agentic AI» (εικόνα 49), υφίστανται κάποια γενικά χαρακτηριστικά που συνδέονται με αυτόν. Σύμφωνα με τις προσεγγίσεις του καθηγητή του MIT Sloan, John Horton (2025), αν και το Generative AI αυτοματοποιεί τη δημιουργία των περίπλοκων κειμένων, εικόνων και βίντεο βάσει της ανθρώπινης γλωσσικής αλληλεπίδρασης, οι AI πράκτορες ενεργούν πιο άμεσα και λαμβάνουν αποφάσεις με τρόπο όμοιο με εκείνο του ανθρώπου. Οι «οικονομικές» επιπτώσεις των AI πρακτόρων και των συναλλαγών που εκπονούνται μέσω του AI (AI agents & AI-mediated transactions) σχετίζεται με μια κατηγορία AI πρακτόρων που αφορά τα αυτόνομα συστήματα λογισμικού που αντιλαμβάνονται, συλλογίζονται και ενεργούν αυτόνομα σε ψηφιακά περιβάλλοντα για την επίτευξη ορισμένων στόχων και σκοπών που τίθενται μέσω εντολών (prompts) που ορίζουν οι άνθρωποι / χρήστες, εσωκλείοντας όλες τις δυνατότητες της αξιοποίησης των εργαλείων, των οικονομικών συναλλαγών και των στρατηγικών αλληλεπίδρασης. Οι AI πράκτορες χρησιμοποιούν διάφορα τυποποιημένα δομικά στοιχεία, όπως είναι η επονομαζόμενη «Διεπαφή Προγραμματισμού Εφαρμογών» (Application Programming Interface – API), για να επικοινωνούν είτε με άλλους AI πράκτορες ή με τους ανθρώπους / χρήστες, να λαμβάνουν και να «στέλνουν χρήματα» ή να έχουν πρόσβαση και να αλληλοεπιδρούν με τις τεχνολογίες / εφαρμογές του Διαδίκτυου. (Stackpole, 2026).

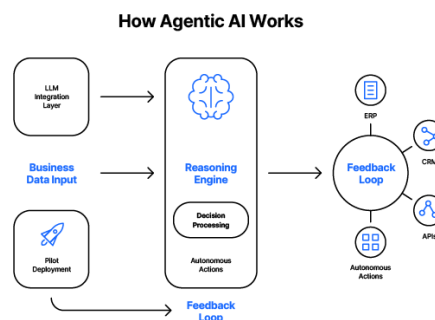
Η καθηγήτρια του MIT Sloan Kate Kellogg (2025) και οι συνεργάτες της, αναφέρουν πως οι AI πράκτορες (εικόνα 50) βελτιώνουν τα επονομαζόμενα «μεγάλα γλωσσικά

μοντέλα» (large language models - LLM) και τα γενικά μοντέλα AI, γεγονός που τους επιτρέπει να αυτοματοποιούν τις πολύπλοκες διαδικασίες. Οι AI πράκτορες εκτελούν εργασίες / καθήκοντα πολλών βημάτων, χρησιμοποιούν τα εξωτερικά εργαλεία και αλληλοεπιδρούν με τα ψηφιακά περιβάλλοντα, λειτουργώντας ως ισχυρά στοιχεία των ροών εργασίας όλων των σύγχρονων επιχειρήσεων. (Stackpole, 2026).



Εικόνα 49. Agentic AI concepts.

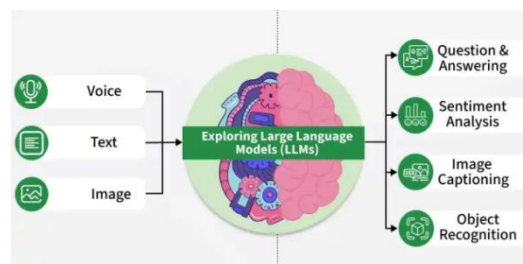
(πηγή: <https://blog.dailydoseofds.com/p/4-layers-of-agentic-ai-systems>).



Εικόνα 50. Η φιλοσοφία της λειτουργίας του Agentic AI.

(πηγή: <https://www.opentext.com/what-is/agentic-ai>).

Τα LLM, τα οποία παρουσιάζονται στις εικόνες 51 και 52, είναι μια κατηγορία των βασικών μοντέλων που εκπαιδεύονται σε τεράστια σύνολα δεδομένων, γεγονός που τους επιτρέπει να μπορούν να κατανοούν, να παράγουν και να επεξεργάζονται τη «φυσική ανθρώπινη γλώσσα» και συναφείς μορφές λεκτικού ή γραπτού περιεχομένου με μεγάλη ακρίβεια και ευελιξία. Τα LLM λειτουργούν κατά βάση ως μια θεμελιώδης τεχνολογία που τροφοδοτεί ένα φάσμα πολλών διαφορετικών εφαρμογών (από τους «διαλογικούς πράκτορες - chatbots» έως τη δημιουργία ενός περιεχομένου σε μορφή σύνοψης ή μετάφρασης ή και την παραγωγή υπολογιστικού κώδικα). (Gupta, 2025).



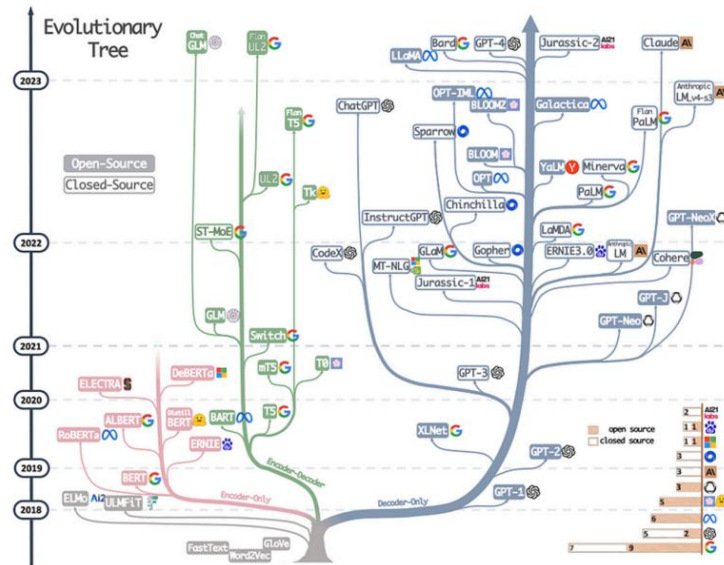
Εικόνα 51. Τα μεγάλα γλωσσικά μοντέλα (LLM).

(πηγή: <https://www.geeksforgeeks.org/artificial-intelligence/large-language-model-llm/>).

Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές προσεγγίσεις που απαιτούν την ανάπτυξη και την εκπαίδευση ξεχωριστών μοντέλων για κάθε εργασία, τα LLM προσφέρουν μια «ενοποιημένη και επεκτάσιμη λύση» που μειώνει την ανάγκη της ύπαρξης σημαντικών επενδύσεων για τη διαμόρφωση της απαιτούμενης τεχνολογικής υποδομής (technological infrastructure), επιτρέποντας έτσι τη μεταφορά της γνώσης, καθώς η «γνώση» που αποκτάται από την «προ-εκπαίδευση» (pre-training) σε σύνολα δεδομένων «μεγάλης κλίμακας», μπορεί εύκολα και άμεσα να προσαρμοστεί εκ νέου για εφαρμογή σε συγκεκριμένες εργασίες. (Gupta, 2025).

Είναι δόκιμο να αναφερθεί πως ο ψηφιακός μετασχηματισμός και η ενσωμάτωση των αρχών του Industry 4.0, προϋποθέτει την υιοθέτηση ενός προμελετημένου πλαισίου δράσης που διαιρεί μεθοδικά το εν λόγω εγχείρημα σε διακριτά στάδια που επιτρέπουν την ευέλικτη και αποτελεσματική διαχείριση τους. (Standing, 2019). Ο ψηφιακός μετασχηματισμός αποτελεί είτε μια «καθολική και διεξοδική πρόταση υλοποίησης» (comprehensive & all-encompassing approach) είτε μια «βαθμιαία και σταδιακή ενσωμάτωση» (incremental & step-by-step implementation), στο πλαίσιο

της οποίας οι κύριοι καταλύτες είναι οι «εφαρμογές λογισμικού και οι άξονες της ψηφιοποίησης» που αφορούν τη βέλτιστη επιχειρησιακή λειτουργία (optimisation of operations), την ενίσχυση του βαθμού της εξυπηρέτησης των πελατών, αλλά και την αξιοποίηση της ανάλυσης των «μεγάλων δεδομένων» (Big Data). (Olmstead, 2022).

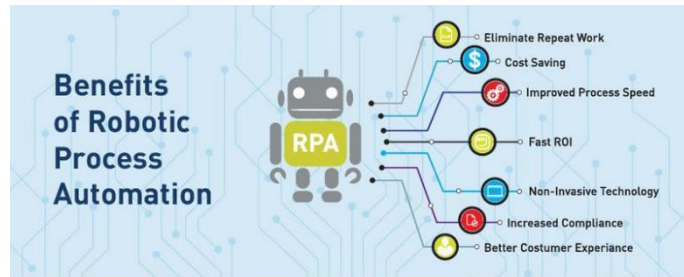


Εικόνα 52. Η εξελικτική πρόοδος των LLM.

(πηγή: <https://abiarvan.com/posts/intro-llms/>).

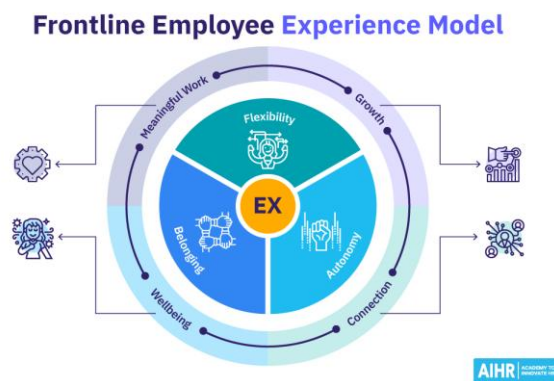
Ανάμεσα στα σημαντικότερα παραδείγματα των τεχνολογιών του ψηφιακού μετασχηματισμού περιλαμβάνονται τα εξής:

- ρομποτικές τεχνολογίες αυτοματοποίησης (Robotic Process Automation – RPA), που εμφανίζονται στην εικόνα 53
- εφαρμογές κινητής τηλεφωνίας για τη διαχείριση εργατικού δυναμικού πρώτης γραμμής (Frontline Employee Management), που εμφανίζονται στην εικόνα 54
- τρισδιάστατη εκτύπωση (3D printing & Additive manufacturing)
- ERP, όπως παρουσιάζονται στην εικόνα 55
- αυτοματοποίηση του «γνωστικού φόρτου για τη διαχείριση της παραγωγής» (knowledge work), που παρουσιάζεται στην εικόνα 56. (Olmstead, 2022).



Εικόνα 53. Τα πλεονεκτήματα του Robotic Process Automation (RPA).

(πηγή: <https://tavtechnologies.aero/en-EN/review/pages/robotics-process-automation>).



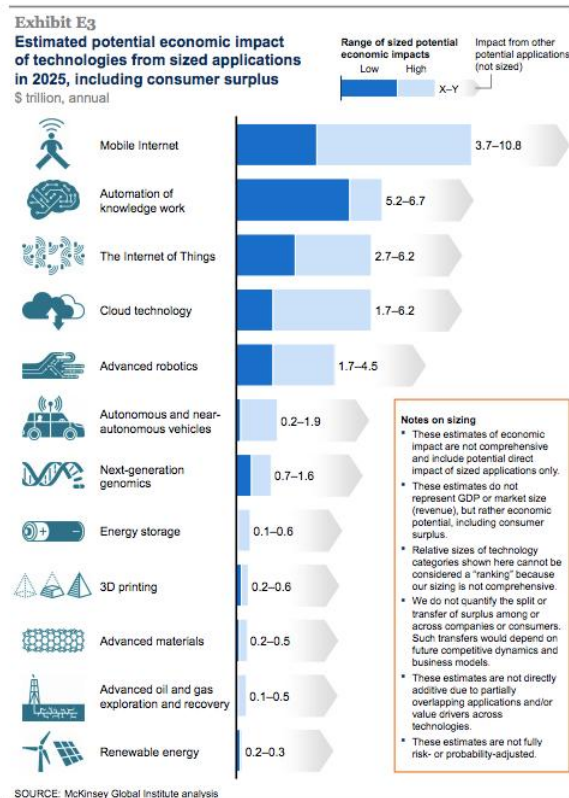
Εικόνα 54. Frontline Employee Management.

(πηγή: <https://www.aihr.com/blog/frontline-employee-experience/>).



Εικόνα 55. Enterprise Resource Planning – ERP.

(πηγή: <https://www.linkedin.com/pulse/enterprise-resource-planning-erp-software-transforming-santanu-das-pusrf>).



Εικόνα 56. Αυτοματοποίηση του «knowledge work», βάσει της στατιστικής ανάλυσης της έκθεσης «Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, & the global economy» εκ μέρους του McKinsey Global Institute, η οποία πραγματοποιείται το 2013.

(πηγή: <https://marshallk.com/the-unsung-massive-10-year-disruptor-automation-of-knowledge-work>).

Τα ERP επιτρέπουν τη βέλτιστη απόδοση και ενοποίηση σε κάθε τμήμα και στάδιο της παραγωγής, καθώς αυτά «δια συνδέουν» τα διαφορετικά τμήματα / στάδια της παραγωγής, τις παραγωγικές διαδικασίες και τις επιχειρησιακές διεργασίες, αλλά και τα «εμπλεκόμενα μέλη / φορείς» (stakeholders), προσδίδοντας έτσι μια πρωτοφανή «ορατότητα» (end-to-end visibility) στην αλυσίδα εφοδιασμού (supply chain) και συντελώντας στη δόκιμη διαχείριση των αποθεμάτων (inventory management), στη διενέργεια προγνωστικών ελέγχων για την ενδεχόμενη ζήτηση κάποιων προϊόντων (demand forecasting), στην οργάνωση των παραγωγικών διαδικασιών (production planning). Είναι δόκιμο να αναφερθεί πως τα ERP εξελίσσονται διαρκώς ανά τα χρόνια, βάσει των προόδων του πλαισίου του Industry 4.0. (YCS TechSoft, 2023).

Οι εξελίξεις της έννοιας της επονομαζόμενης «συνδεσιμότητας» (connectivity) στο Industry 4.0 σχετίζεται και με τον όρο του «disruptive mobility» (προσδιορίζεται ως η

κινητικότητα που ανατρέπει τον τρόπο λειτουργίας), προσδίδοντας υψηλής ακρίβειας πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο (accurate real time information) και παρέχοντας επίσης τη δυνατότητα της «ευέλικτης διαχείρισης» πολλών διαφορετικών εργασιών / καθηκόντων μιας επιχείρησης του κλάδου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι και η αξιοποίηση της τεχνολογίας του «υπολογιστικού νέφους» (cloud computing), που επιτρέπει στις επιχειρήσεις (ανεξαρτήτως μεγέθους) να αξιοποιούν τις «μεθόδους ανάλυσης των μεγάλων δεδομένων» (big data analytics) και του AI. (Koh, 2023).

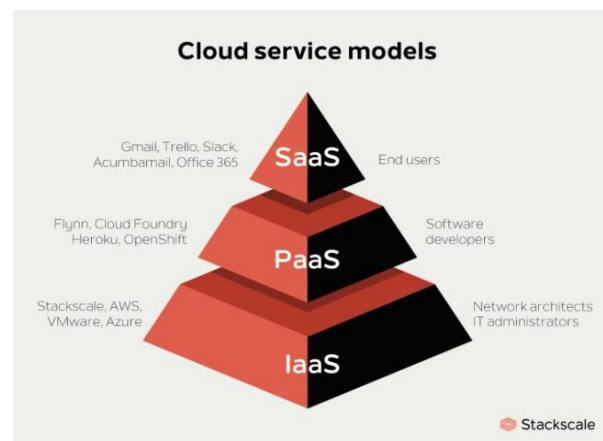
Τα κύρια «cloud computing πρότυπα» (εικόνα 57) είναι τα κάτωθι:

1. Infrastructure as a Service – IaaS

- on demand πρόσβαση σε cloud resources
- physical ή virtual servers, storage, networking)
- διευκολύνει τη διαχείριση των υπηρεσιών βάσει των ειδικών απαιτήσεων

2. Platform as a Service- PaaS

3. Software as a Service - SaaS. (Soni, 2024).

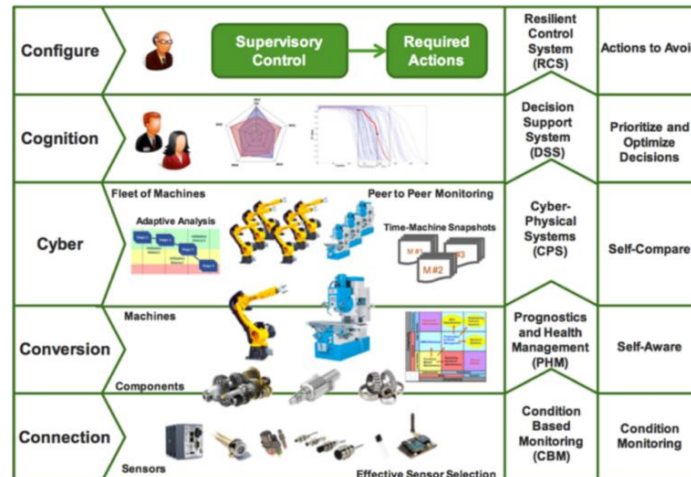


Εικόνα 57. Τα κύρια cloud computing πρότυπα.

(πηγή: <https://www.stackscale.com/blog/cloud-service-models/>).

Ο πολύ σημαντικός ρόλος του AI (εικόνα 58) στην εξέλιξη και στην αναβάθμιση των επανομαζόμενων «κυβερνοφυσικών συστημάτων» (Cyber-Physical Systems - CPS)

κρίνεται σημαντικός, καθώς το AI επιτρέπει την επίτευξη της βέλτιστης αυτονομίας, αλλά και την ουσιαστική μείωση των ποσοστών αναφορικά με την ανάγκη παροχής της ενδεχόμενης «ανθρώπινης παρέμβασης» (human intervention). (Koh, 2023).



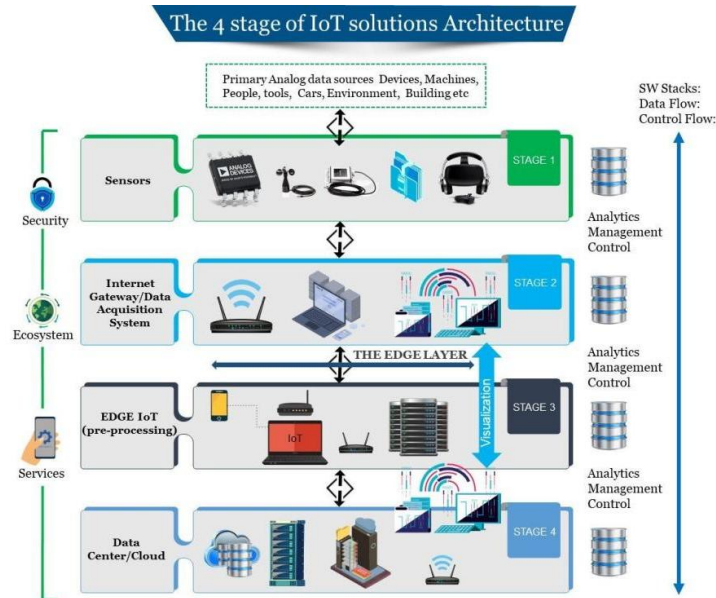
Εικόνα 58. Artificial intelligence in cyber physical systems | AI & SOCIETY |.

(πηγή: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00146-020-01049-0>).

Η αξιοποίηση της «δια συνδεσιμότητας» στο Industry 4.0, επιδρά καταλυτικά στην εξέλιξη των συστημάτων του αυτοματισμού, της ρομποτικής, των εφαρμογών της της τεχνολογίας της Επαυξημένης και της Εικονικής Πραγματικότητας (AR και VR), της τεχνολογίας του «blockchain» και κάθε άλλης ψηφιακής τεχνολογίας ή πρακτικής που σχετίζεται με τη φιλοσοφία του Industry 4.0. (Koh, 2023). Η έννοια της «δια λειτουργικότητας» αναφέρεται κατά βάση στη δυνατότητα των μηχανών, των συσκευών, των αισθητήρων και του ανθρώπινου δυναμικού μιας επιχείρησης, να μπορούν να συνδέονται και να επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω της αξιοποίησης των IoT (εικόνα 59) ή του επονομαζόμενου «Διαδικτύου των Ανθρώπων (Internet of People –IoP) (εικόνα 60). (Calcetero, 2018).

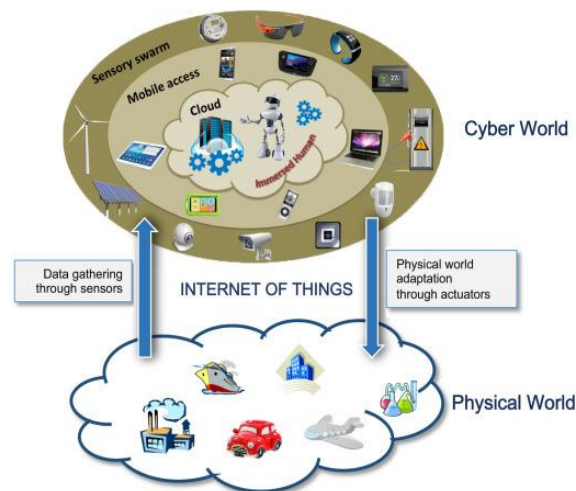
Το IoT αποτελεί ένα δίκτυο από απτές μηχανές, συσκευές, οχήματα ή ηλεκτρονικά αντικείμενα που διαθέτουν αισθητήρες, λογισμικό και συνδέονται με το Διαδίκτυο, γεγονός που τους επιτρέπει να συλλέγουν και να ανταλλάσσουν μεταξύ τους τα εν λόγω δεδομένα. (IBM, 2023). Το IoP είναι ένα «ψηφιακό οικοσύστημα» (digital ecosystem) που αναπτύσσεται κυρίως βάσει των ανθρώπινων αλληλεπιδράσεων, των συσχετισμών ή των μεμονωμένων βιωματικών εμπειριών. Σε αντίθεση με το IoT που

δια συνδέει τις «smart» συσκευές, το IoP συνιστά μια πολύ «ευφυή και διανοητική μορφή Διαδικτύου» (intelligent & intuitive internet) που εστιάζει κατά βάση στην ανάλυση και στη μελέτη της ανθρώπινης συμπεριφοράς και αλληλεπίδρασης (εικόνα 61). (Hosafci, 2025).



Εικόνα 59. Internet of Things (IoT).

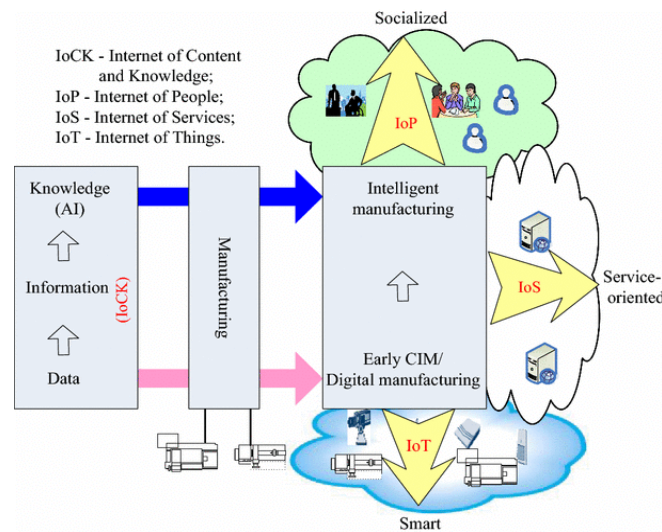
(πηγή: <https://medium.com/@shijin.jose10/stages-of-internet-of-things-architecture-marlabs-ca98483df7ef>).



Εικόνα 60. Internet of People (IoP).

(πηγή: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574119217303723>).

Είναι δόκιμο να επισημανθεί πως η φιλοσοφία του Industry 4.0 υπερβαίνει τις συμβατικές δυνατότητες της διασύνδεσης των μηχανημάτων/ συσκευών και των προϊόντων μέσω του Διαδικτύου, καθώς περικλείει ένα ευρύ σύνολο διαφορετικών τεχνολογιών αιχμής, όπως είναι η τεχνολογία των digital twins, το AI, τα ασύρματα δίκτυα υψηλών ταχυτήτων (high speed wireless networks), τα ενσύρματα δίκτυα (deterministic wired networks), τα cloud computing και edge computing, αλλά και οι τεχνολογίες οπτικοποίησης (virtualization) μέσω του AR. (Winter, 2022).

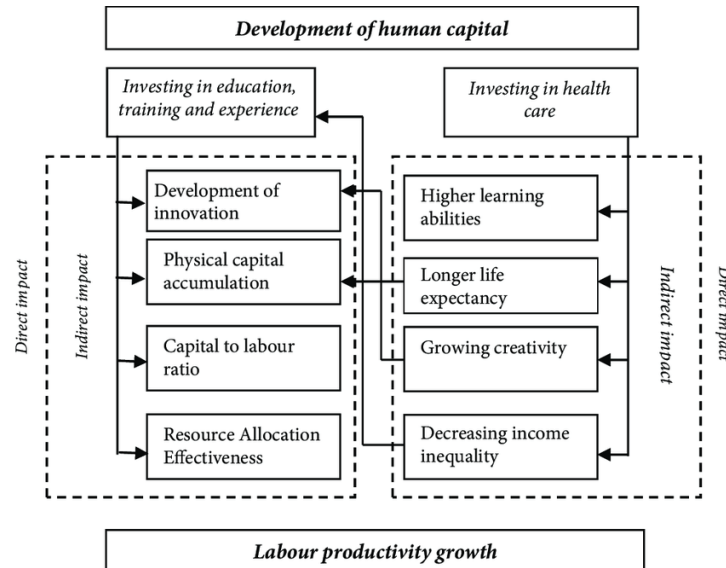


Εικόνα 61. The impacts of the IoT, IoS and IoP on integrated manufacturing.

(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/The-impacts-of-the-IoT-IoS-and-IoP-on-integrated-manufacturing_fig6_322112340).

Βάσει των δεδομένων που αναφέρονται παραπάνω επισημαίνεται πως η παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρεί μέσω της ολιστικής ανασκόπησης στις καινοτόμες τεχνολογίες και εφαρμογές του Industry 4.0, να υπογραμμίσει πως η πιο σημαντική παράμετρος του ψηφιακού μετασχηματισμού του κλάδου των Γραφικών Τεχνών – Εκτυπώσεων, σχετίζεται άμεσα με τη διαμόρφωση μιας «ολιστικής και εστιασμένης στον κλάδο στρατηγικής για την ανάπτυξη του ανθρώπινου κεφαλαίου» (Human Capital Development - HCD), που μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε επιχείρηση (ανεξαρτήτως μεγέθους) του κλάδου (εικόνα 62). Η έννοια του HCD σχετίζεται με τη διαμόρφωση των νέων γνώσεων και των δεξιοτήτων του ανθρώπινου κεφαλαίου (Human Capital – HC) μιας επιχείρησης, καθώς οι ψηφιακές ροές εργασιών (digital

workflows) συντελούν με τη σειρά τους και στην εμφάνιση των νέων ειδικοτήτων και επιτείνουν την αναγκαιότητα της απόκτησης των επονομαζόμενων «interdisciplinary teamwork-based competencies» και των «hybrid skills sets». (Politis et al., 2025).



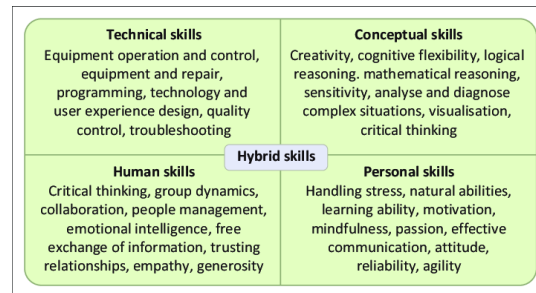
Εικόνα 62. The model of human capital development impact on labour productivity.

(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/The-model-of-human-capital-development-impact-on-labour-productivity-made-by-authors_fig1_325604029).

Τα «hybrid skills sets» (εικόνα 63) αναφέρονται στο σύνολο των νέων, υβριδικών δεξιοτήτων, που αποτελούν το συνδυασμό των τεχνικών, των δημιουργικών, των διοικητικών και των επιχειρηματικών ικανοτήτων του HC μιας επιχείρησης. Το Industry 4.0 σχετίζεται επίσης άμεσα και με την ανάδυση πολλών και αρκετά έντονων «μετασχηματιστικών αλλαγών» ως προς τις προοπτικές της εργασιακής απασχόλησης στον κλάδο, επιδρώντας και στην αναγκαιότητα για την απόκτηση των «hybrid skills sets», η οποία εντείνεται ολοένα και πιο πολύ, λόγω της σταδιακής μετάβασης όλων των επιχειρήσεων στο Industry 5.0 (εικόνα 64). (Politis et al., 2025).

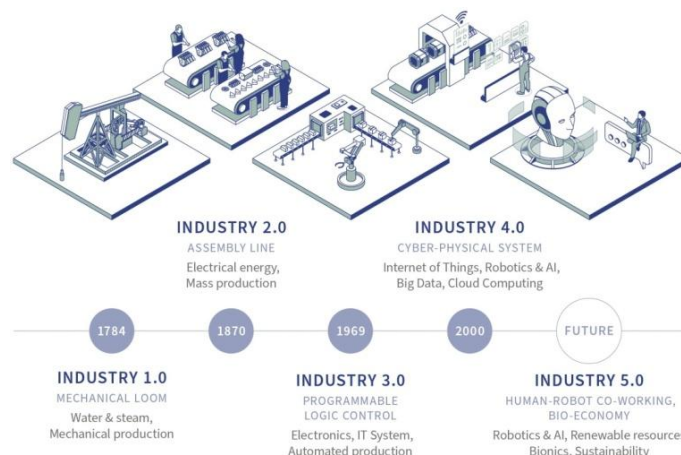
Το Industry 5.0 αντιπροσωπεύει την έλευση της 5^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης και σηματοδοτεί τη «ριζική μεταμόρφωση» του κλάδου της μεταποίησης και του βιομηχανικού τρόπου παραγωγής σε παγκόσμιο επίπεδο. Η έννοια του Industry 5.0 (εικόνα 65) προσδιορίζεται και ως το «ζενίθ της αυτοματοποίησης», το οποίο επιτυγχάνεται μέσω της ραγδαίας ενσωμάτωσης των ψηφιακών τεχνολογιών και των

καινοτόμων εφαρμογών του Industry 4.0, ωστόσο με μια διαφοροποίηση ο φάσμα της εστίασης της επονομαζόμενης «σχέσης αλληλεπίδρασης μεταξύ του ανθρώπου / χειριστή και της μηχανής / υπολογιστικού συστήματος» (Human-Machine Collaboration - HMC), όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 66. (Kyriakakis, 2024).



Εικόνα 63. Τα hybrid skills sets στο πλαίσιο του Industry 4.0.

(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Hybrid-skills-set-for-Industry-40_fig1_391522977).



Εικόνα 64. Η σταδιακή μετάβαση των επιχειρήσεων στο Industry 5.0.

(πηγή: <https://www.rothschildandco.com/en/newsroom/insights/2024/10/the-dawn-of-industry-5.0/>).

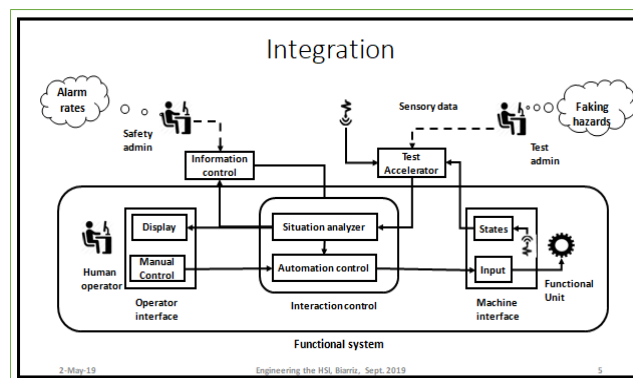
Το Industry 5.0 (εικόνα 67) αντιπροσωπεύει μια «νέα πραγματικότητα» (ως μια «νέα τάξη πραγμάτων»), στο πλαίσιο της οποίας σκιαγραφούνται οι σημαντικές αρχές που σχετίζονται με την ενίσχυση της περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης, της κοινωνικής ευαισθησίας, αλλά και της δόκιμης διοικητικής διαχείρισης (environmental, social & governance issues) μιας σύγχρονης επιχείρησης του κλάδου των Γραφικών Τεχνών - Εκτυπώσεων. (Kyriakakis, 2024). Η κύρια εστίαση του πυρήνα της φιλοσοφίας του

Industry 5.0 έγκειται στην ενίσχυση των επιπέδων του βαθμού της εξατομίκευσης (personalization), της απόδοσης (efficiency) και της παραγωγικότητας, διατηρώντας μια πιο «ανθρωποκεντρική προσέγγιση» (anthropocentric approach), γεγονός που υπογραμμίζει και την πολύ σημαντική αξία του HCD ως τον καθοριστικό παράγοντα της αναπτυξιακής προόδου κάθε επιχείρησης του κλάδου. (Politis et al., 2025).



Εικόνα 65. Industry 5.0.

(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Core-values-of-Industry-50-9_fig2_355391185).



Εικόνα 66. Human-Machine Collaboration - HMC.

(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Integration-Human-Machine-Collaboration-HMC_fig1_335929301).

Όλα τα δεδομένα που παρουσιάζονται παραπάνω αναφορικά με τα Industry 5.0 και Industry 4.0, επισημαίνουν πως ο κύριος στόχος της παρούσας μελέτης είναι μέσω της ανασκόπησης στα Industry 5.0 και Industry 4.0, να διαπιστωθεί η πρακτική τους

εφαρμογή στον κλάδο και στη βιομηχανία των Γραφικών Τεχνών - Εκτυπώσεων, ενώ εξετάζονται και οι παράμετροι που επηρεάζουν τις εκτυπώσεις, δηλαδή ο ψηφιακός μετασχηματισμός, οι έννοιες των «lean manufacturing», «continuous improvement», η βιωσιμότητα και η κυκλική οικονομία. Στην εργασία αναλύεται και η επίδραση όλων στο HC, στις επιπτώσεις στην εργασία, στην απασχόληση και στην ανάπτυξη νέων γνώσεων, δεξιοτήτων και ικανοτήτων, τα οποία αντιπροσωπεύουν τα κύρια απαιτούμενα προσόντα και τις προϋποθέσεις για την εργασία στον κλάδο.



Εικόνα 67. Οι αρχές του Industry 5.0 .

(πηγή: <https://isg-one.com/articles/how-do-we-define-industry-5.0>).

Τέλος, παρουσιάζεται και αναλύεται η φιλοσοφία και τα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει μια νέα ολιστική HCD στρατηγική για τον κλάδο, η οποία διαμορφώνεται μέσω της συγκρότησης των λειτουργικών μοντέλων στο επίπεδο του κλάδου και της βιομηχανίας των Γραφικών Τεχνών - Εκτυπώσεων, για να επιτευχθεί έτσι η αέναη - συνεχής ανάπτυξη του HC στον κλάδο, ενώ επίσης επισημαίνεται και ο πάρα πολύ σημαντικός ρόλος της διαμόρφωσης και της υιοθέτησης της εν λόγω ολιστικής HCD στρατηγικής για την εύρωστη μετάβαση των επιχειρήσεων στο Industry 5.0.

1.1. Ερευνητικό πεδίο και σπουδαιότητα εκπόνησης της έρευνας

Το ερευνητικό πεδίο προσδιορίζει το επιστημονικό πλαίσιο της εκάστοτε μελέτης, οριοθετώντας τη θεματική ενότητα και τις έννοιες, ενώ η σπουδαιότητα της έρευνας αιτιολογεί γιατί η εν λόγω έρευνα αξίζει να εκπονηθεί, παραθέτοντας τη συνεισφορά της μελέτης στην επίλυση αρκετών υφιστάμενων προβλημάτων, στην ενίσχυση της

επιστημονικής προόδου ή στην κάλυψη ενδεχόμενων σημαντικών «κενών» στην υφιστάμενη βιβλιογραφία. Η τεκμηρίωση των προαναφερθέντων, πολύ σημαντικών πυλώνων, διαμορφώνεται βάσει του ερευνητικού πεδίου και των παραμέτρων που συγκροτούν τη σπουδαιότητα ως προς την εκπόνηση μιας μελέτης. (Τσακίρη, n.d.).

Το «ερευνητικό πεδίο» (research field) προσδιορίζει το πλαίσιο του αντικειμένου που εντάσσεται η μελέτη, καθώς αφορά την οριοθέτηση της θεματικής, τη συνάφεια του με τις υφιστάμενες θεωρητικές προσεγγίσεις ή τα μοντέλα πάνω στα οποία εδράζεται η δομή της συγκρότησης για την εκπόνηση μιας μελέτης και συντελεί επίσης στον προσδιορισμό των διακριτών ορίων αναφορικά με τα ερευνητικά πεδία / τομείς που αναλύονται στο πλαίσιο της μελέτης. Στο πλαίσιο της «σπουδαιότητας» εκπόνησης (significance / rationale) γίνεται σκοπίμως σαφές το κατά πόσο μια μελέτη έχει αξία και συμβολή στο πεδίο της γνώσης και σε κάθε περίπτωση προσδιορίζεται είτε η επιστημονική είτε η θεωρητική της συμβολή στην κάλυψη «κενών ή ελλειμμάτων» στην υφιστάμενη βιβλιογραφία, καθώς και η πρακτική ή η κοινωνική της συμβολή στο κατά πόσο τα ερευνητικά πορίσματα που αντλούνται με το πέρας της μελέτης, παράσχουν σημαντικά οφέλη στην κοινωνία, στις επιχειρήσεις ή στους επαγγελματίες (στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης τα οφέλη σχετίζονται κατά βάση με τον κλάδο και των Γραφικών Τεχνών, των Εκτυπώσεων και της Συσκευασίας). (Τσακίρη, n.d.).

Η παρούσα εργασία αφορά τη μελέτη της ενσωμάτωσης του AI, των τεχνολογιών και των εφαρμογών των Industry 4.0 και Industry 5.0 στον κλάδο και στη βιομηχανία των Γραφικών Τεχνών - Εκτυπώσεων, εστιάζοντας στο σύνολο των αυτοματισμών, της βελτιστοποιημένης ροής εργασιών, των βελτιώσεων στις εκτυπωτικές τεχνολογίες, των σύγχρονων προσεγγίσεων και των πρακτικών που σχετίζονται με την ενίσχυση της απόδοσης μέσω των καινοτομιών της σχεδίασης και της παραγωγής των εκτυπώσεων, καθώς και μέσω των ψηφιακών και των βιώσιμων πρακτικών.

Η μελέτη περικλείει τη μελέτη και ανάλυση των κάτωθι παραμέτρων:

- εφαρμογή της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) στη βιομηχανία των εκτυπώσεων
- καινοτομίες της εκτύπωσης και των βελτιώσεων στις εκτυπωτικές τεχνολογίες
- προσδιορισμός και πρακτική εφαρμογή των: AI, ML, των τεχνολογιών και των εφαρμογών του Industry 4.0 (δηλαδή των IoT, IoP, AI, AR,VR, cobots, αυτοματισμοί, horizontal & vertical integration, smart manufacturing, big data,

digital twin, blockchain, cloud, edge, fog computing), καθώς και των τεχνολογιών και των εφαρμογών του φάσματος του Industry 5.0

- φιλοσοφία του φάσματος του Industry 4.0, παρουσίαση του RAMI4.0, των SMS και CPS, προσδιορισμός των καινοτόμων αρχών της διαχείρισης, της αυτόνομης οργάνωσης, της εκπαίδευσης, της συνεργασίας, της διαμόρφωσης των δικτύων της διασύνδεσης μεταξύ των μηχανημάτων, του ανθρώπινου δυναμικού και των επιχειρήσεων, καθώς και της έλευσης των στρατηγικών ανοιχτής καινοτομίας
- δόκιμους προσδιορισμούς των όρων: «digitization», «digitalization», «digital transformation», «digital manufacturing», «smart manufacturing», «automation», «supply chain», «optimization», «machine-machine collaboration» και «enterprise intelligence», ενώ δίδεται σημαντική εστίαση στο φάσμα των αυτοματισμών και της βελτιστοποιημένης ροής εργασιών.

1.2. Σκοπός, στόχοι και προσδοκώμενα αποτελέσματα

Ο κύριος σκοπός της εργασίας έγκειται στη μελέτη της ενσωμάτωσης του AI, των εφαρμογών και εργαλείων της ρομποτικής (robotics) και των επονομαζόμενων «συστημάτων εμπειρογνωμοσύνης που βασίζονται στο AI» (expert systems), στο σύγχρονο κλάδο των Γραφικών Τεχνών - Εκτυπώσεων, όπου όλα αξιοποιούνται με στόχο την ενίσχυση και τη βελτιστοποίηση της παραγωγής. Η παρούσα εργασία εστιάζει στους έντεκα πυλώνες του Industry 4.0 και μελετά την αξιοποίηση των κυβερνοφυσικών συστημάτων (CPS), του cloud computing, των IoT και IIoT, των τεχνολογιών και εφαρμογών της προσομοίωσης (όπως είναι τα: digital twins, 3d modeling, VR και AR), της τρισδιάστατης εκτύπωσης (Additive Manufacturing και 3D Printing), της επονομαζόμενης «τεχνολογίας της αναγνώρισης των ραδιοσυχνοτήτων» ή της «ταυτοποίησης μέσω των ραδιοσυχνοτήτων» (Radio Frequency Identification – RFID), της κυβερνοασφάλειας, της ρομποτικής, της αυτοματοποίησης, αλλά και της έννοιας της «ενσωμάτωσης του AI» (AI integration) σε κάθε στάδιο και σε κάθε τμήμα της παραγωγής.

Η εργασία επίσης μελετά και τα εξής:

- υβριδικές τεχνολογίες εκτύπωσης (hybrid printing technologies)

- υβριδικές τεχνολογίες εκτύπωσης και περάτωσης (hybrid printing & finishing)
- εφαρμογή καινοτόμων υλικών (novel materials)
- εκτύπωση διαδραστικών πληροφοριών (printing of interactive information)
- εκτύπωση διαδραστικών δεδομένων μέσω του AR (printing of interactive data)
- εκτύπωση μεταβλητών δεδομένων (Variable Data Printing - VDP)
- βιομηχανική εκτύπωση και λειτουργική εκτύπωση (αναφέρεται κατά βάση στη λειτουργική συσκευασία και στη 3D εκτύπωση)
- εκτύπωση 6, 7 και 8 χρωμάτων
- εκτύπωση εφέ (όπως μοτίβα μωσαϊκού)
- καινοτομίες στη «ψηφιακή εκτύπωση υφασμάτων» (direct-to-garment).

Οι κύριοι σκοποί και οι στόχοι της μελέτης εστιάζουν στα κάτωθι:

- πλεονεκτήματα επί της απόδοσης, της λειτουργίας, της βέλτιστης ροής της παραγωγής, της μελέτη των παραμέτρων του ψηφιακού μετασχηματισμού και των παραγόντων που επηρεάζουν σημαντικά τις εκτυπώσεις (όπως είναι τα lean manufacturing, continuous improvement, sustainability, circular economy)
- εξετάζεται το πολύ σημαντικό στοιχείο για το «ανθρώπινο κεφάλαιο και την ανάπτυξη του» ως προς τα απαιτούμενα προσόντα και τις προϋποθέσεις για εργασία, ενώ επισημαίνονται οι προκλήσεις και οι λύσεις για να διαμορφωθεί ένα νέο, πλήρως λειτουργικό μοντέλο προσβασιμότητας και αφομοίωσης των τεχνολογιών, ακόμη και από χρήστες μη εξοικειωμένους με τα πεδία της ΔΕ
- μέσω της ανασκόπησης στο Industry 4.0, διαφαίνεται πως η εξέλιξη και η ουσιαστική ανάπτυξη του ανθρώπινου κεφαλαίου, αποτελεί καίριο καταλύτη του ψηφιακού μετασχηματισμού που επιτυγχάνεται μέσω της ανάδυσης νέων δεξιοτήτων και των ειδικοτήτων, υπογραμμίζοντας την ανάγκη της απόκτησης των «interdisciplinary teamwork-based competencies» και των «hybrid skills»

- το Industry 4.0 συνδέεται με νέες μετασχηματιστικές αλλαγές ως προς την εργασιακή απασχόληση και την αναγκαιότητα απόκτησης των hybrid skills, μια συνθήκη που εντείνεται επιπλέον από την μετάβαση στο Industry 5.0, το οποίο αφορά την διεύρυνση των επιπέδων της εξατομίκευσης, της απόδοσης και της παραγωγικότητας, φέροντας μια ανθρωποκεντρική προσέγγιση που χρίζει το HCD ως τον πλέον καθοριστικό παράγοντα της αναπτυξιακής προόδου
- μελετάται και η εφαρμογή των «Industry 4.0/5.0» στον κλάδο, εξετάζονται οι παράμετροι που επηρεάζουν τις εκτυπώσεις και στη συνέχεια προσδιορίζεται η επίδραση όλων στο ανθρώπινο κεφάλαιο, στις επιπτώσεις στην εργασία, αλλά και στην ανάπτυξη των νέων γνώσεων, δεξιοτήτων και ικανοτήτων
- παρουσιάζεται και αναλύεται μια «νέα στρατηγική προσέγγιση της ολιστικής ανάπτυξης του ανθρώπινου κεφαλαίου», μέσω της συγκρότησης λειτουργικών μοντέλων στο επίπεδο του κλάδου και της βιομηχανίας, γεγονός που επιτρέπει τη συνεχή ανάπτυξη του ανθρώπινου κεφαλαίου και σκιαγραφείται ο ρόλος της ολιστικής HCD στρατηγικής στην εύρωστη μετάβαση στο Industry 5.0.

1.3. Μεθοδολογία Έρευνας (Research design & Research Methodology)

Η ερευνητική μεθοδολογία (research methodology) και ο ερευνητικός σχεδιασμός (research design) συνιστούν δύο διακριτές και διαφοροποιημένες συνιστώσες που υιοθετούνται στα πλαίσια της διεξαγωγής των περισσότερων ερευνητικών μελετών (εικόνα 68). Ο ερευνητικός σχεδιασμός συνιστά μια πιο συγκεκριμένη και πιο «απτή πτυχή» της ερευνητικής διαδικασίας σε σύγκριση με την μεθοδολογία που είναι μια «περισσότερο γενική έννοια και προσέγγιση», καθώς ο ερευνητικός σχεδιασμός αποτελεί την πρακτική εφαρμογή της μεθοδολογίας που επικεντρώνεται στον τρόπο της διεξαγωγής μιας ορισμένης μελέτης. Η ερευνητική μεθοδολογία παρέχει το πλαίσιο και τις αρχές της έρευνας, ενώ ο ερευνητικός σχεδιασμός είναι η πρακτική εφαρμογή των αρχών κατά την εκπόνηση μιας μελέτης. (National University, 2025).

Ο ερευνητικός σχεδιασμός αφορά τον προσδιορισμό των ερευνητικών ερωτημάτων και την επιλογή της ενδεδειγμένης μεθοδολογίας (υπάρχουν ποιοτικές, ποσοτικές ή

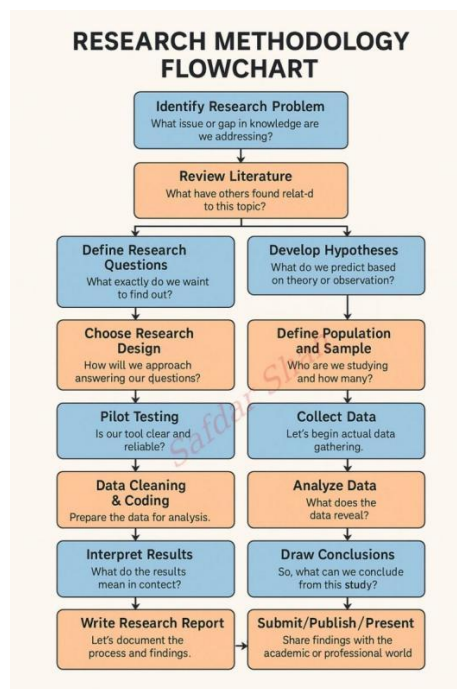
μικτές μέθοδοι), την επιλογή των σωστών μεθόδων για τη συλλογή των δεδομένων και τον προσδιορισμό των καταλληλότερων μεθόδων της ανάλυσης τους, τη μελέτη των ηθικών ζητημάτων, τον προσδιορισμό των διαθέσιμων πόρων / εξοπλισμού και τη σκιαγράφηση του χρονοδιαγράμματος αναφορικά με τη διεξαγωγή της μελέτης. (Libguides, 2018). Στην ερευνητική μεθοδολογία (εικόνα 69) όμως περιλαμβάνονται οι σχεδιασμοί της έρευνας που χωρίζονται σε πειραματικούς, σε ημι-πειραματικούς, σε συσχετιστικούς, σε περιγραφικούς και σε διερευνητικούς τύπους. (Sreekumar, 2023).

Research design	Research methodology
Concentrates on the end result of the study. The central question in this regard is what type of research is to be executed and what type of research findings are expected	Concentrates on the entire research procedure and instruments to be employed to carry out the study. The focus is around data collection
Research design is geared towards addressing the 'research question'	Research methodology focuses on the gathering of data and draws a sample for the study
Concentrates on the logical order of the study. Among other things, a research design plans the type of evidence relevant to the study	Concentrates on the unit of analysis

Sources: (Mouton 2009:107; 2005:56 and Babbie and Mouton 2005:75)

Εικόνα 68. Research design & Research Methodology.

(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Comparison-between-research-design-and-research-methodology_tbl2_368988184).



Εικόνα 69. Ενδεικτική διαγραμματική απεικόνιση του Research Methodology.

(πηγή: https://www.linkedin.com/posts/safdar-shah-33a252214_researchmethodology-academicwriting-graduateresearch-activity-7350075472061284352-c0Bx).

Η ερευνητική μεθοδολογία μπορεί να είναι ποσοτική, ποιοτική και μεικτή, ενώ η επιλογή της καταλληλότερης μεθοδολογίας συγκροτείται βάσει των δεδομένων και των σκοπών που συντελούν στη λήψη τεκμηριωμένων ερευνητικών πορισμάτων / συμπερασμάτων. Τα ερευνητικά εργαλεία επιλέγονται βάσει της αξιολόγησης και της αιτιολόγησης των μεθόδων συλλογής των δεδομένων και κατά βάση η επιλογή μιας συγκεκριμένης μεθόδου περιλαμβάνει τη χρήση ορισμένων εργαλείων έρευνας (όπως έρευνες, μελέτης περίπτωσης και συνεντεύξεις). (Sreekumar, 2023).

Η ανάλυση των δεδομένων πρέπει να εδράζεται στη δόκιμη επιλογή και τη σωστή αιτιολόγηση των κατάλληλων μεθόδων που αξιοποιούνται για την ανάλυση όλων των δεδομένων, ενώ οι ερευνητικοί περιορισμοί αναφέρονται σε τυχόν περιορισμούς ή προκλήσεις, μιας και η εγκυρότητα όλων των δεδομένων που μελετώνται οδηγούν σε δόκιμα ερευνητικά πορίσματα / συμπεράσματα, τα οποία λαμβάνονται εντός του προκαθορισμένου χρονοδιαγράμματος της μελέτης. (Sreekumar, 2023). Στο πλαίσιο κάθε μελέτης πρέπει να γίνεται αξιοποίηση των ποσοτικών ή / και των ποιοτικών μεθόδων, ενώ ο τύπος της έρευνας υιοθετείται αρχικά βάσει των προκαθορισμένων σκοπών, των πεδίων εφαρμογής και του συνόλου των δεδομένων που λαμβάνονται κατά τη διενέργεια μιας ορισμένης μελέτης. Μια μελέτη μπορεί να αντιπροσωπεύει μια θεωρητική ή μια εφαρμοσμένη έρευνα, ενώ οι τρόποι διεξαγωγής της περιλαμβάνουν τη διερευνητική, την περιγραφική, αλλά και την πειραματική μεθοδολογία. (Salomão, 2023) (Τροχούτσος, 2025). Η κατηγοριοποίηση της μελέτης βάσει του είδους / τύπου των δεδομένων που συλλέγονται χαρακτηρίζεται και ως μεικτή έρευνα, όταν αφορά το συνδυασμό της ποιοτικής και της ποσοτικής έρευνας. (Salomão, 2023).

Αναφορικά με το πλαίσιο της διεξαγωγής της παρούσας διπλωματικής μελέτης επισημαίνεται πως κατά βάση μια έρευνα που εστιάζει στη μελέτη της ανάπτυξης του ανθρώπινου κεφαλαίου στον κλάδο των Γραφικών Τεχνών - Εκτυπώσεων μπορεί να είναι είτε θεωρητική είτε εφαρμοσμένη, σύμφωνα με τους σκοπούς, τη μεθοδολογία και τους τρόπους με τους οποίους προσεγγίζεται η θεματική της έρευνας από κάθε ερευνητή. Η «θεωρητική έκφραση» επικεντρώνεται στην ανάλυση των εννοιών και μοντέλων, καθώς και στην ανασκόπηση στο σύνολο της υφιστάμενης βιβλιογραφίας,

χωρίς να γίνεται συλλογή πρωτογενών δεδομένων αναφορικά με στατιστικές αναλύσεις ή στοιχεία που σχετίζονται με την αγορά και τη δυναμική του κλάδου. Μια μελέτη δε μπορεί να αξιολογηθεί ως απόλυτα θεωρητική όταν βασίζεται και στην αξιοποίηση των προαναφερθέντων πρωτογενών και «πραγματικών» δεδομένων, καθώς αυτό μπορεί να αξιολογηθεί ως εξής:

1. Ποσοτική έρευνα

- πραγματοποιείται μέσω της διανομής κάποιων ερωτηματολογίων (τα οποία διαμορφώνονται από τον ερευνητή) σε εργαζόμενους ή σε στελέχη των επιχειρήσεων του κλάδου, για να προσδιοριστεί για παράδειγμα το υφιστάμενο επίπεδο της εκπαίδευσης και της κατάρτισης του ανθρώπινου δυναμικού, να σκιαγραφηθούν οι επονομαζόμενες «ελλείψεις ως προς τις δεξιότητες» (skills gap) και να σκιαγραφηθούν οι ανάγκες εκπαίδευσης

2. Ποιοτική έρευνα

- γίνεται μέσω της διεξαγωγής συνεντεύξεων (που πραγματοποιούνται από τον ερευνητή) σε ιδιοκτήτες επιχειρήσεων ή σε εργαζόμενους του κλάδου, για να προσδιοριστούν οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι επιχειρήσεις ως προς την εύρεση «εξειδικευμένου προσωπικού» και οι εργαζόμενοι αναφορικά με τις προοπτικές εργασίας και τα απαιτούμενα προσόντα για την εργασία στον κλάδο

3. Μελέτες περίπτωσης (case studies)

- μια μελέτη περίπτωσης είναι μια μέθοδος έρευνας που μελετά εστιασμένα πολλές διαφορετικές παραμέτρους μιας υφιστάμενης επιχείρησης (όπως ένα υπαρκτό επιχειρησιακό ή επιχειρηματικό συμβάν, κάποιον εργαζόμενο ή στέλεχος ή διευθυντή, μια ομάδα εργαζομένων ή τις συνθήκες εργασίας ή το πλαίσιο λειτουργίας ενός χώρου εργασίας και συναφή στοιχεία), ώστε να προσδιορίσει σε βάθος ένα πραγματικό γεγονός, πρόσωπο, ομάδα ή κατάσταση μέσα εντός του χώρου εργασίας (στο φυσικό περιβάλλον)
- οι μελέτες περίπτωσης αξιοποιούνται από τον ερευνητή για γίνει μια πιο εστιασμένη ανάλυση του τρόπου με τον οποίο μια ορισμένη επιχείρηση

του κλάδου μπορεί να αξιοποιεί για παράδειγμα ένα πρόγραμμα «εκ νέου εκπαίδευσης» (upskilling) για να αναβαθμίσει το σύνολο των δεξιοτήτων του υφιστάμενου εργατικού δυναμικού και έτσι να μπορέσουν να σκιαγραφηθούν τα πλεονεκτήματα που αυτό παρέχει στην ενίσχυση του βαθμού της παραγωγικότητας.

Η παρούσα μελέτη όμως εστιάζει κατά βάση στο πάρα πολύ σημαντικό ζήτημα της ανάπτυξης του ανθρώπινου κεφαλαίου (HC) και χαρακτηρίζεται περισσότερο ως θεωρητική έρευνα, καθώς η διαμόρφωση των ερευνητικών πορισμάτων προκύπτει μέσα από τη συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση και επισκόπηση, τη μελέτη και την ανάλυση των πιο σημαντικών όρων και εννοιών που αναπτύσσονται ανά τα χρόνια, ενώ αν και παρατίθενται κάποια στοιχεία και τάσεις του κλάδου, αυτά δε παίζουν καθοριστικό ρόλο στον «πυρήνα» των συμπερασμάτων. Στόχος της μελέτης είναι να διευρυνθεί το πλαίσιο της αξιολόγησης του πολύ σημαντικού ρόλου και της θέσης που διαδραματίζει το HC, αλλά και του συνόλου των πλεονεκτημάτων που παρέχει η διαμόρφωση μιας νέας, ολιστικής και απόλυτα εστιασμένης στον κλάδο στρατηγικής ανάπτυξης του HC, η οποία αντιπροσωπεύει και μια από τις κύριες παραμέτρους της αναπτυξιακής προόδου κάθε επιχείρησης (ανεξαρτήτως μεγέθους) του κλάδου των Γραφικών Τεχνών – Εκτυπώσεων.

1.4. Ερευνητικά Ερωτήματα

Η διατύπωση ενός δόκιμου ερευνητικού ερωτήματος αποτελεί ένα σημαντικό βήμα κάθε μελέτης και επίσης μια μελέτη είναι σημαντικό να εδράζεται σε ένα ή σε περισσότερα ερωτήματα που διαμορφώνονται μέσω μια σταδιακής προσέγγισης, αλλά και βάσει του ακρωνυμίου «FINERMAPS», το οποίο υποστηρίζει πως κάθε ερευνητικό ερώτημα πρέπει να έχει ως χαρακτηριστικά γνωρίσματα τα εξής:

- feasible (εφικτό)
- interesting (ενδιαφέρον)
- novel (καινοτόμο ή πρωτοπόρο)

- ethical (ηθικό)
- relevant (με αιτιατή συσχέτιση)
- manageable (με ευκολία διαχείρισης)
- appropriate (με καταλληλότητα)
- potential value (με δυνητική αξία)
- publishability (με δυνατότητα δημοσίευσης)
- systematic (συστηματικό). (Ratan et al., 2019).

Το ερευνητικό ερώτημα διαμορφώνεται βάσει της ανάλυσης των μεταβλητών και των παραμέτρων που συγκροτούν το πλαίσιο της συγγραφής της μελέτης, ενώ η διαφοροποίηση μεταξύ της βιβλιογραφικής επισκόπησης και της βιβλιογραφικής ανασκόπησης έγκειται στο γεγονός πως η βιβλιογραφική επισκόπηση αφορά την ολιστική, συγκεντρωτική μελέτη και ανάλυση της υφιστάμενης βιβλιογραφίας για να διαμορφωθεί δοκίμως το θέμα (θεματική) της μελέτης, ενώ η βιβλιογραφική ανασκόπηση γίνεται αφού προσδιοριστεί το ερευνητικό θέμα. (Στάμου, n.d.). Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης διαμορφώνονται τα κάτωθι ερευνητικά ερωτήματα:

Ερευνητικό Ερώτημα 1

Πως προσδιορίζονται οι καινοτόμες τεχνολογίες και εφαρμογές του κλάδου των Γραφικών Τεχνών και των Εκτυπώσεων;

- αναφορά σε AI (υπό πεδία, εργαλεία /εφαρμογές, Predictive AI, Generative AI, Agentic AI), ρομποτική (cobots, drones, automated guided vehicles), συστήματα εμπειρογνωμοσύνης (expert systems), CPS
- αναφορά σε αρχές και σε χαρακτηριστικά των Industry 4.0 / 5.0
- αναφορά στις υβριδικές τεχνολογίες εκτύπωσης, στις υβριδικές τεχνολογίες εκτύπωσης και περάτωσης, στη χρήση καινοτόμων υλικών, στην εκτύπωση διαδραστικών δεδομένων μέσω του AR, στην εκτύπωση διαδραστικών πληροφοριών, στην εκτύπωση μεταβλητών δεδομένων, στη βιομηχανική και

στη λειτουργική εκτύπωση, στην εκτύπωση 6, 7 και 8 χρωμάτων, στην εκτύπωση εφέ, αλλά και στις καινοτομίες της εκτύπωσης σε υφάσματα.

Ερευνητικό Ερώτημα 2

Πως οι τεχνολογίες και οι εφαρμογές των Industry 4.0 και Industry 5.0, καθώς και των αντίστοιχων καινοτόμων τεχνολογιών και εφαρμογών της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) δύναται να επηρεάζουν ή/και να επιτρέπουν την ενίσχυση και τη βελτιστοποίηση της παραγωγής των εντύπων; Ποιες είναι οι συνέπειες και οι επιπτώσεις (θετικές ή αρνητικές) που παρατηρούνται στη σύγχρονη βιομηχανία των εκτυπώσεων, κυρίως στο φάσμα των αυτοματισμών, των σύγχρονων προσεγγίσεων και των πρακτικών για την ενίσχυση της απόδοσης μέσω των καινοτομιών της σχεδίασης και της παραγωγής των εκτυπώσεων, αλλά και των ψηφιακών και των βιώσιμων πρακτικών; Με ποιο τρόπο η ανάπτυξη και η ενσωμάτωση του AI (AI integration) επηρεάζει το σύγχρονο κλάδο και τη βιομηχανία των Γραφικών Τεχνών και των Εκτυπώσεων;

- αναφορά στις αρχές, στις τεχνολογίες και εφαρμογές του Industry 4.0
- αναφορά στα χαρακτηριστικά και στις αρχές του Industry 5.0
- αναφορά στους αυτοματισμούς, στις βελτιστοποιημένες ροές εργασιών, στις βελτιώσεις στις εκτυπωτικές τεχνολογίες, αλλά και στις έννοιες των «AI-driven workflows» και «cloud print management».

Ερευνητικό Ερώτημα 3

Πόσο κομβική είναι η επίδραση του ψηφιακού μετασχηματισμού και των κύριων συνιστωσών που επηρεάζουν τις Εκτυπώσεις (δηλαδή οι συνιστώσες των Lean Manufacturing, Continuous Improvement, Βιωσιμότητα, Κυκλική Οικονομία) στην ανάπτυξη του ανθρώπινου κεφαλαίου (HCD) στον κλάδο και στη βιομηχανία των Γραφικών Τεχνών και των Εκτυπώσεων και ποιες είναι οι ανάγκες και οι προκλήσεις ανάπτυξης του ανθρώπινου κεφαλαίου και όλων όσων ασχολούνται με τις Γραφικές Τέχνες και τις Εκτυπώσεις (ολιστική προσέγγιση);

- αναφορά στην πρακτική εφαρμογή των Industry 4.0/5.0 στον κλάδο
- αναφορά στην επίδραση του ψηφιακού μετασχηματισμού, της «λιτής

παραγωγής» (lean manufacturing), της «συνεχούς βελτίωσης» (continuous improvement), της βιωσιμότητας, της κυκλικής οικονομίας

- προσδιορισμός της επίδρασης όλων (τα οποία συνιστούν το σύνολο των πιο σημαντικών παραμέτρων που επιδρούν στις εκτυπώσεις) στο HC, στις επιπτώσεις σε εργασία και απασχόληση, στην ανάπτυξη των νέων γνώσεων, δεξιοτήτων και ικανοτήτων (τα οποία συνιστούν τα απαιτούμενα προσόντα, τις προϋποθέσεις εργασίας, τις νέες ειδικότητες και την αναγκαιότητα για την απόκτηση των «hybrid skills»)
- αναφορά στις προκλήσεις και στις λύσεις για ένα λειτουργικό μοντέλο προσβασιμότητας και αφομοίωσης των νέων τεχνολογιών ακόμη και από χρήστες μη εξοικειωμένους με τα πεδία της ΔΕ
- επισημαίνεται και το πολύ σημαντικό ζήτημα της αναγκαιότητας για τη διαμόρφωση και την υιοθέτηση μιας νέας, ολιστικής και εστιασμένης στον κλάδο στρατηγικής αναφορικά με την ανάπτυξη του HC.

Ερευνητικό Ερώτημα 4

Ποια είναι τα νέα σχήματα των οργανισμών / δομών για την ανάπτυξη του ανθρώπινου κεφαλαίου (HCD) και ποια είναι τα κύρια χαρακτηριστικά μιας ολιστικής HCD στρατηγικής για την ανάπτυξη του ανθρώπινου κεφαλαίου στο σύγχρονο κλάδο και στη βιομηχανία των Γραφικών Τεχνών και των Εκτυπώσεων; Ποιος είναι ο ρόλος που διαδραματίζει στο Industry 4.0 και στη μετάβαση των σύγχρονων επιχειρήσεων στο Industry 5.0 σε ότι αφορά τον παράγοντα Άνθρωπο;

- αναφορά στο λειτουργικό μοντέλο προσβασιμότητας/ αφομοίωσης των εφαρμογών και τεχνολογιών των Industry 4.0 και Industry 5.0
- αναφορά σε νέα σχήματα οργανισμών / δομών για την ανάπτυξη του HC
- προσδιορισμός των χαρακτηριστικών και των πλεονεκτημάτων που προκύπτουν από την υιοθέτηση μιας νέας ολιστικής HCD στρατηγικής
- προσδιορισμός της επίδρασης όλων στην ανάπτυξη του HC

- προσδιορισμός του ρόλου και της αξίας της ολιστικής HCD στρατηγικής στο Industry 4.0 και στη μετάβαση των επιχειρήσεων στο Industry 5.0.

1.5.Διάρθρωση δομής της διπλωματικής μελέτης

Το κεφάλαιο 1 της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι το εισαγωγικό κεφάλαιο που περιλαμβάνει τους ερευνητικούς σκοπούς και στόχους, το σχεδιασμό της έρευνας, τη διαδικασία επιλογής της ερευνητικής μεθοδολογίας, τη διαμόρφωση των ερευνητικών ερωτημάτων και το προσδιορισμό της δομής των κεφαλαίων και υπό κεφαλαίων της μελέτης που επιτρέπουν τη διαμόρφωση των ερευνητικών πορισμάτων. Το κεφάλαιο 2 εστιάζει στη μελέτη και ανάλυση του κλάδου και της βιομηχανίας των Γραφικών Τεχνών - Εκτυπώσεων, μέσω της παράθεσης των πιο σημαντικών ορισμών, του προσδιορισμού της έννοιας και των αρχών της επιστήμης και της τεχνολογίας των Γραφικών Τεχνών - Εκτυπώσεων, αλλά και της παρουσίασης των υφιστάμενων χαρακτηριστικών του κλάδου και της Βιομηχανίας (κυρίως στο επίπεδο των επιχειρήσεων), τον προσδιορισμό των υφιστάμενων τάσεων και εξελίξεων στο πεδίο της έρευνας και της ανάπτυξης του κλάδου, εστιάζοντας και στην ανάπτυξη του κλάδου και της έντυπης παραγωγής στη ψηφιακή εποχή.

Το κεφάλαιο 3 αφορά την παρουσίαση του HC στις Γραφικές Τέχνες - Εκτυπώσεις, εστιάζοντας στην παράθεση των κύριων ορισμών, στον προσδιορισμό των όρων «Intellectual capital», «HCD», «ολιστική HCD στρατηγική», καθώς και στη διερεύνηση της συσχέτισης του HCD με τα Industry 4.0 και Industry 5.0, αλλά και στην ανάλυση της έννοιας και των χαρακτηριστικών που πρέπει να έχει μια ολιστική και εστιασμένη στο κλάδο HCD στρατηγική (HCD holistic strategy). Το κεφάλαιο 4 αφορά την παρουσίαση των νέων τεχνολογιών, περιλαμβάνοντας τις έννοιες, τις αρχές, τις τεχνολογίες και τις εφαρμογές των Industry 4.0 και Industry 5.0, τις νέες τάσεις, τις υβριδικές τεχνολογίες, τους στόχους της κυκλικής οικονομίας και της βιώσιμης ανάπτυξης, των νέων επιχειρηματικών μοντέλων και του προσδιορισμού των όρων «Lean manufacturing», «Industrial ecology» και «Industrial symbiosis».

Στο κεφάλαιο 4 μελετώνται και οι «τεχνολογίες εξειδίκευσης» στις Γραφικές Τέχνες-Εκτυπώσεις, εστιάζοντας κατά βάση στην επίδραση του ψηφιακού μετασχηματισμού

και στην ανάγκη απόκτησης των hybrid skills. Το κεφάλαιο 5 σχετίζεται κατά βάση με τον προσδιορισμό όλων των επιπτώσεων σε επίπεδο κλάδου, οι οποίες συνιστούν το αποτέλεσμα της πρακτικής εφαρμογής των νέων τεχνολογιών και των εφαρμογών, ενώ αναδεικνύεται και η σημασία της ανάπτυξης του HC στον κλάδο. Στο κεφάλαιο 5 επιχειρείται και η ανάλυση αναφορικά με τα προβλήματα προς την υφιστάμενη εκπαίδευση και κατάρτιση, με στόχο να μπορέσουν να σκιαγραφηθούν οι νέες απαιτήσεις και οι προσεγγίσεις που επιτρέπουν την ανάπτυξη του HC στον κλάδο.

Στο κεφάλαιο 6 παρατίθεται το σύνολο των συμπερασμάτων που προκύπτουν μέσω της ανασκόπησης στο σύνολο της υφιστάμενης βιβλιογραφίας, τα οποία συντελούν σημαντικά και στη λήψη τεκμηριωμένων πορισμάτων στα ερευνητικά ερωτήματα που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 1. Τέλος, στο κεφάλαιο 7 γίνεται παράθεση των βιβλιογραφικών αναφορών που αξιοποιούνται στη συγγραφή της εν λόγω μελέτης.

1.6. Συμβολή της μελέτης στο πεδίο της γνώσης και στόχοι ανά κεφάλαιο

Η εργασία αφορά τη μελέτη των εφαρμογών της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI), των τεχνολογικών καινοτομιών και των εφαρμογών του Industry 4.0 και του Industry 5.0 στη βιομηχανία των εκτυπώσεων, εστιάζοντας επί των αυτοματισμών, της βελτιστοποιημένης ροής εργασιών, των βελτιώσεων στις εκτυπωτικές τεχνολογίες, των σύγχρονων προσεγγίσεων και των πρακτικών για την ενίσχυση της απόδοσης μέσω της αξιοποίησης των καινοτομιών της σχεδίασης και της παραγωγής των εκτυπώσεων, καθώς και στο σύνολο των ψηφιακών και των βιώσιμων πρακτικών.

Η εργασία εστιάζει στη μελέτη των αρχών του Industry 4.0, στην παρουσίαση των RAMI4.0, SMS CPS, καθώς και των καινοτόμων αρχών διαχείρισης (management principles), αυτόνομης οργάνωσης (self-organization), εκπαίδευσης και προώθησης της συνεργασίας, των δικτύων διασύνδεσης (networking) μεταξύ του ανθρώπινου δυναμικού και των επιχειρήσεων και των στρατηγικών της επονομαζόμενης «ανοιχτής καινοτομίας» (open innovation). Ο κύριος σκοπός της εργασίας αφορά τη μελέτη του AI και των υπό πεδίων του, αλλά και την ενσωμάτωση των AI, robotics και expert systems, ώστε να ενισχυθεί και να βελτιστοποιηθεί στο μέγιστο δυνατό βαθμό το σύνολο των επεξεργασιών και των διαδικασιών της παραγωγής.

Στην εργασία αναλύεται η αξιοποίηση των CPS, cloud computing, IoT, IIoT, των digital twins, 3d modeling, VR και AR, της τρισδιάστατης εκτύπωσης, του RFID, της κυβερνοασφάλειας, της ρομποτικής, της αυτοματοποίησης και της φιλοσοφίας «AI integration» στον κλάδο των Γραφικών Τεχνών - Εκτυπώσεων. Η συμβολή της παρούσας εργασίας στο πεδίο της γνώσης διαφαίνεται μέσω της σχολαστικής έρευνας που γίνεται στο σύνολο της υφιστάμενης βιβλιογραφίας στα εξής πεδία:

- Εφαρμογή AI στη βιομηχανία των Γραφικών Τεχνών – Εκτυπώσεων
- Αυτοματισμοί, ροή εργασιών, βελτιώσεις σε εκτυπωτικές τεχνολογίες
- AI-driven workflows & decision-making, cloud print management
- Industry 4.0: διερεύνηση στο σύνολο των τεχνολογιών που το απαρτίζουν
- Industry 5.0: διερεύνηση των νέων στοιχείων που εισάγει
- Παράγοντες που επηρεάζουν τις Εκτυπώσεις
 - Digital transformation
 - Lean manufacturing και Continuous improvement
 - Sustainability και Circular Economy
- Κλάδος, βιομηχανία Γραφικών Τεχνών - Εκτυπώσεων
 - δομή, χαρακτηριστικά, νέες τάσεις και εξελίξεις
- Μελέτη των αναγκών του HC
 - στη βιομηχανία των Γραφικών Τεχνών – Εκτυπώσεων
 - σχετικά με την εκπαίδευση, την κατάρτιση, την ανάπτυξη
 - ειδική αναφορά στα απαιτούμενα προσόντα και στις προϋποθέσεις για την εργασία σε συναφείς τομείς / πεδία
- Προκλήσεις αναφορικά με την ανάδειξη των προσόντων όλων των ανθρώπων

που ασχολούνται με τις Γραφικές Τέχνες - Εκτυπώσεις (ολιστική προσέγγιση)

- Διερεύνηση και ανάλυση των νέων, ολιστικών στρατηγικών για την ανάπτυξη του HC στις Γραφικές Τέχνες και στις Εκτυπώσεις
- Αναφορά σε νέα σχήματα οργανισμών / δομών για την ανάπτυξη του HC
- Μελέτη των χαρακτηριστικών και των πλεονεκτημάτων που παρέχει η υιοθέτηση μιας νέας, ολιστικής, εστιασμένης στον κλάδο HCD στρατηγικής
- Αναφορά στα χαρακτηριστικά της ολιστικής HCD στρατηγικής, αλλά στο ρόλο που διαδραματίζει αυτή στη μετάβαση των επιχειρήσεων στο Industry 5.0.

Η εργασία επιχειρεί μέσω της ανασκόπησης στο Industry 4.0, να υπογραμμίσει πως η επίτευξη των στόχων του ψηφιακού μετασχηματισμού σχετίζονται άμεσα με την ανάπτυξη του ανθρώπινου κεφαλαίου (HCD) με στόχο τη διαμόρφωση των νέων δεξιοτήτων του ανθρώπινου δυναμικού μιας επιχείρησης του κλάδου, καθώς οι ψηφιακές ροές εργασιών οδηγούν στην εμφάνιση νέων ειδικοτήτων και επιτείνουν περισσότερο την αναγκαιότητα της απόκτησης των «interdisciplinary teamwork-based competencies» και των υβριδικών δεξιοτήτων. Το Industry 4.0 επιφέρει ένα σύνολο έντονων μετασχηματιστικών αλλαγών στις προοπτικές της εργασιακής απασχόλησης και αυτό στο σήμερα εντείνεται ακόμη πιο πολύ λόγω της μετάβασης των επιχειρήσεων του κλάδου στο Industry 5.0. Το Industry 5.0 εστιάζει στην ενίσχυση της εξατομίκευσης, της απόδοσης και της παραγωγικότητας, διατηρώντας μια ανθρωποκεντρική προσέγγιση, γεγονός που υπογραμμίζει και τη σημασία του HCD ως το πιο καθοριστικό παράγοντα της ευρύτερης αναπτυξιακής προόδου.

Η εργασία επιδιώκει μέσω της ανασκόπησης στα Industry 5.0 και Industry 4.0, να διαπιστωθεί η πρακτική εφαρμογή των τεχνολογιών και των εφαρμογών τους στη βιομηχανία των εκτυπώσεων, ενώ όπως ήδη αναφέρεται ανωτέρω, γίνεται αναφορά και στις παραμέτρους που επηρεάζουν τις εκτυπώσεις, προκειμένου να αναδειχθεί η επίδραση όλων στο ανθρώπινο κεφάλαιο, στις επιπτώσεις στην εργασία, στην απασχόληση και την ανάδυση νέων γνώσεων, δεξιοτήτων και ικανοτήτων, τα οποία αντιμετωπίζονται ως τα απαιτούμενα προσόντα και ως οι βασικές προϋποθέσεις για την εργασία σε συναφείς πεδία και τομείς του κλάδου. Τέλος, το πολύ σημαντικό στοιχείο που αναδεικνύει την αξία και τη συμβολή της εν λόγω μελέτης στο πεδίο της

γνώσης διαφαίνεται και μέσα από την εστίαση στο σημαντικό ζήτημα του HC και στην ανάπτυξη του στο πλαίσιο της ψηφιακής εποχής και των αρχών των Industry 4.0 και Industry 5.0. Η ανάπτυξη της ολιστικής HCD στρατηγικής, διαμορφώνεται μέσω λειτουργικών μοντέλων στο επίπεδο του κλάδου και της βιομηχανίας, συντελώντας έτσι και στη συνεχή ανάπτυξη του HC. Επίσης, αναδεικνύεται και η σημαντική αξία της υιοθέτησης μιας ολιστικής HCD στρατηγικής, για την «εύρωστη μετάβαση» των επιχειρήσεων του κλάδου στο φάσμα του Industry 5.0.

Κεφάλαιο 2. Κλάδος και βιομηχανία Γραφικών Τεχνών και Εκτυπώσεων

Σύμφωνα με τον Πολίτη (2019), ο όρος «Γραφικές Τέχνες» αναφέρεται σε όλες τις διαδικασίες που σχετίζονται με το σχεδιασμό, την επιμέλεια, την παραγωγή και την τελική επεξεργασία όλων των έντυπων, καθώς μέσω αυτού του όρου τελείται ο ορθός προσδιορισμός της σύνθετης δομής των διοικητικών, των διαχειριστικών, των οικονομικών, των αισθητικών, των δημιουργικών, των τεχνολογικών και των παραγωγικών στοιχείων που συνδέονται αρμονικά μεταξύ τους και φτάνουν στο τελικό προϊόν – έντυπο (εικόνα 70). Το λήμμα «Γραφικές Τέχνες» περικλείει τα στάδια του δημιουργικού σχεδιασμού και της διαχείρισης των αρχείων και των δεδομένων που προορίζονται για εκτύπωση, ενώ επίσης εσωκλείει και το σύνολο όλων των τεχνολογικών και των παραγωγικών δομών που αξιοποιούνται για τη βέλτιστη παρουσίαση του περιεχομένου, των μηνυμάτων ή των πληροφοριών σε έντυπη και ηλεκτρονική μορφή. (Πολίτης, 2019) (Τροχούτσος, 2024).

Η αξιοποίηση του όρου «Γραφικές Τέχνες» προτιμάται λόγω της ακριβείας που παρέχει στην ορθή περιγραφή της πολύπλοκης διάστασης των επεξεργασιών και των παραγωγικών διαδικασιών που συντελούν στη μετατροπή των ιδεών σε χειρόγραφα, σχέδια ή εικόνες, επιτρέποντας τη διαμόρφωση μιας ενιαίας μορφής ως το τελικό έντυπο που παράγεται σε αρκετά αντίγραφα (τιράζ). (Πολίτης, 2019) (Τροχούτσος, 2024). Σύμφωνα με τους Γεωργιάδου & Πολίτης (2025), ο εν λόγω όρος προσδιορίζει με τον καλύτερο τρόπο όλες τις δραστηριότητες του σχεδιασμού, της επιμέλειας, της παραγωγής και της τελικής περάτωσης όλων των έντυπων, περικλείοντας τα στάδια του δημιουργικού, της προεκτύπωσης, της εκτύπωσης και της μετεκτύπωσης. (Γεωργιάδου & Πολίτης, 2025). Τα στάδια της παραγωγής είναι η προεκτύπωση

[illegible]

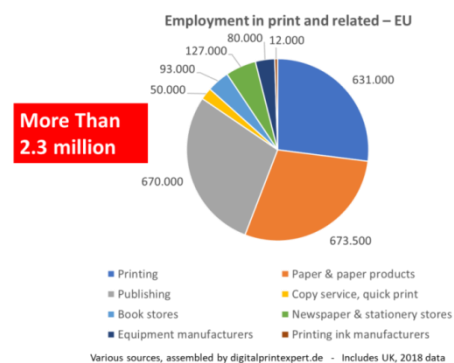
(πηγή: <https://kr.pinterest.com/pin/468233692532201658/>).

67

στην παγκόσμια βιομηχανία των Γραφικών Τεχνών - Εκτυπώσεις. Αναφορικά με τον τομέα της απασχόλησης ο κλάδος στην ΕΕ περιλαμβάνει περίπου 120.000 επιχειρήσεις που απασχολούν κατά βάση σχεδόν 770.000 εργαζόμενους και η πιο πολλές επιχειρήσεις είναι οι οικογενειακές, μικρές ή μικρομεσαίες επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται σε εγχώριες αγορές. (European Commission, n.d.).

Εστιάζοντας στο πεδίο της οικονομίας της ΕΕ, οι ευρωπαϊκές επιχειρήσεις έχουν ετήσιο κύκλο εκτυπωτικών εργασιών που ανέρχεται συνολικά σε αξία στο ποσό των 88 δισεκατομμυρίων ευρώ, από την εκτύπωση σε χαρτί, πλαστικά ή υφάσματα, ενώ αναφορικά με τη ζήτηση των παραχθέντων προϊόντων και των υπηρεσιών, αν και ο κλάδος ανταποκρίνεται στις εξειδικευμένες αγορές και στις καταναλωτικές ανάγκες, οι σύγχρονες τεχνολογίες αυξάνουν την παραγωγικότητα του κλάδου και την ικανότητα του να παρέχει πολλά είδη διαφορετικών προϊόντων και υπηρεσιών, καθώς η αυτοματοποίηση των επεξεργασιών και των παραγωγικών διαδικασιών σηματοδοτεί τη ριζική αλλαγή της εργασιακής απασχόλησης του κύριου δυναμικού (HC) μιας επιχείρησης, από συμβατικούς τεχνίτες σε εξειδικευμένους τεχνικούς (craftsmen to technicians). (European Commission, n.d.).

Ο εκτυπωτικός κλάδος, όπως ορίζεται από επίσημες στατιστικές βάσει της Eurostat (2018), απασχολεί 631.000 εργαζόμενους στην ΕΕ, συμπεριλαμβανομένου του Ηνωμένου Βασιλείου (εικόνα 71) και σε αυτόν τον αριθμό αν και περιλαμβάνονται τα στάδια της προεκτύπωσης και της μετεκτύπωσης, δε περικλείονται μεγάλα τμήματα της εκτύπωσης των συσκευασιών, του κλάδου του μάρκετινγκ και της άμεσης αλληλογραφίας (direct mail agencies). (digitalprintexpert, 2021).



Εικόνα 71. EU print industry sizing.

(πηγή: <https://digitalprintexpert.eu/2021/06/29/print-not-a-small-industry/>).

Η European Commission (n.d.) αναφέρει πως οι προκλήσεις αφορούν τα εξής:

1 «Αλλαγή συνηθειών»

- οι έντονες αλλαγές σε αναγνωστικές συνήθειες καταναλωτών (reading habits) και η στροφή σε ηλεκτρονικά, ψηφιακά και διαδικτυακά μέσα (web-based media & e-solutions), οδηγούν σε μειώσεις στη συνολική ζήτηση για την παραγωγή έντυπων, σύντμηση των εσόδων από τη διαφήμιση σε έντυπη μορφή (κυρίως χαρτί) και η παραγωγή περιορίζεται κυρίως στις εργασίες που αφορούν τα προϊόντα συσκευασίας και τον τομέα των ψηφιακών εκτυπώσεων

2 «Ανταγωνισμός»

- προκύπτει από τις επιχειρήσεις που βρίσκονται εκτός ΕΕ, δηλαδή από τις επονομαζόμενες χώρες χαμηλού κόστους (low-cost countries), σε συνδυασμό με τα ευρωπαϊκά πρότυπα για τους καταναλωτές και την έντονη πίεση στη διαμόρφωση των τιμών των παραχθέντων έντυπων, καθώς οι εισαγωγές από την Κίνα έχουν υπέρ τετραπλασιαστεί την τελευταία δεκαετία

3 «Μειωμένη ζήτηση για την παραγωγή των έντυπων»

- η οικονομική κρίση επιδρά καταλυτικά στη σύντμηση της συνολικής καταναλωτικής ζήτησης για την παραγωγή των έντυπων και εντείνει και τη «διστακτικότητα» των χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων στο να χορηγούν δάνεια σε μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις (SMEs)

4 «Κόστος παραγωγής»

- το αυξανόμενο κόστος της ενέργειας, των πρώτων υλών και της εργασίας (energy, raw materials & labour) στην Ευρώπη, οδηγεί σε σημαντική μείωση στα περιθώρια κέρδους των ευρωπαϊκών εκτυπωτικών επιχειρήσεων

5 «Ανθρώπινο δυναμικό (Ανθρώπινο Κεφάλαιο)»

- ο επιζήμιος κίνδυνος της ανεργίας εντείνεται λόγω της επονομαζόμενης «χαμηλής κινητικότητας του εργατικού δυναμικού» (workforce's low mobility), που οφείλεται στις επονομαζόμενες «εξειδικευμένες και μη μεταβιβάσιμες δεξιότητες του» (specialised & non-transferable skills), ενώ οι

ευκαιρίες που προκύπτουν από τις τεχνολογικές εξελίξεις μεταβάλλουν ριζικά τις απαιτήσεις του ευρωπαϊκού κλάδου σε επίπεδο δεξιοτήτων, καθιστώντας αναγκαία τη μακροπρόθεσμη αντικατάσταση του γηράσκοντος και ψηφιακά μη καταρτισμένου εργατικού δυναμικού (ageing workforce), αλλά και του συνόλου των παραδοσιακών δεξιοτήτων (traditional skills)

6 «Αυστηροί νόμοι και προδιαγραφές για προστασία περιβάλλοντος»

- ο εκτυπωτικός κλάδος στην ΕΕ λειτουργεί υπό αυστηρές περιβαλλοντικές προδιαγραφές και παίρνει φιλόδοξες πρωτοβουλίες για να δείξει τη δέσμευση στη βιωσιμότητα και στην κυκλική οικονομία. (European Commission, n.d.).

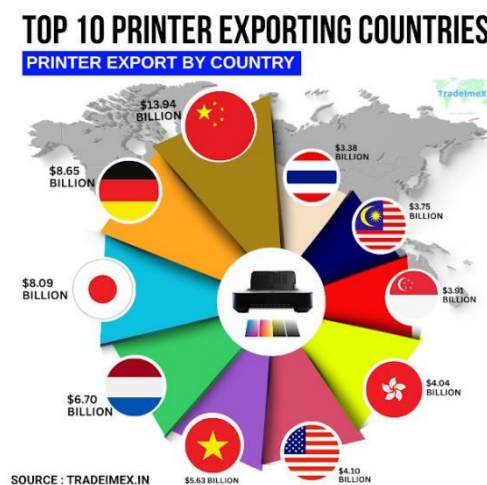
Σύμφωνα με τα δεδομένα του TradeImeX (2025), η ψηφιακή εποχή χαρακτηρίζεται από την εξέλιξη της εκτυπωτικής τεχνολογίας, οδηγώντας την παγκόσμια αγορά των εξαγωγών του εκτυπωτικού κλάδου στο να σημειώνει σημαντική ανάπτυξη, καθώς τα ποσοστά ζήτησης των εκτυπωτικών εργασιών από επιχειρήσεις και ιδιώτες είναι επί του παρόντος υψηλότερα από ποτέ, όπως αναδεικνύεται και από το σύνολο των στατιστικών που προκύπτουν από τις εκθέσεις του Παγκόσμιου Φόρουμ Εκτύπωσης και Επικοινωνίας (World Print & Communication Forum). (TradeImeX, 2025).

Βάσει των εν λόγω στοιχείων (εικόνα 72), το παγκόσμιο εμπόριο και οι εξαγωγές του εκτυπωτικού κλάδου (printer export data) ανέρχονται για το 2024 – 2025, στο ποσό των 81,18 δισεκατομμυρίων δολαρίων, σημειώνοντας αύξηση 2% σε σχέση με το προηγούμενο έτος. Οι 10 κορυφαίες χώρες εξαγωγής που εδραιώνονται ως ηγέτες στη βιομηχανική παραγωγή σε μαζική κλίμακα και στην εξαγωγή των εκτυπωτικών εργασιών σε παγκόσμιο επίπεδο, σύμφωνα με την έκθεση με τίτλο «Printer Export by Country», είναι η Κίνα και η Ιαπωνία (ως χώρες χαμηλού κόστους), αλλά και η Γερμανία που αντιπροσωπεύει τη μοναδική χώρα από την ΕΕ. Στην εικόνα 73 παρουσιάζεται το σύνολο των στατιστικών δεδομένων που αφορούν τις παγκόσμιες εξαγωγές του κλάδου τα τελευταία 10 χρόνια, (yearly printer export data), ενώ οι κύριες τάσεις σε παγκόσμιο επίπεδο για το 2025 είναι τα εξής:

- Οι παγκόσμιες εξαγωγές παρουσιάζουν μέτρια αύξηση στις αρχές του 2025 και ο συνολικός αριθμός των παγκόσμιων εξαγωγών πλήττεται κατά βάση λόγω της ψηφιοποίησης και των έντονων εμπορικών διαπραγματευτικών διαβουλεύσεων

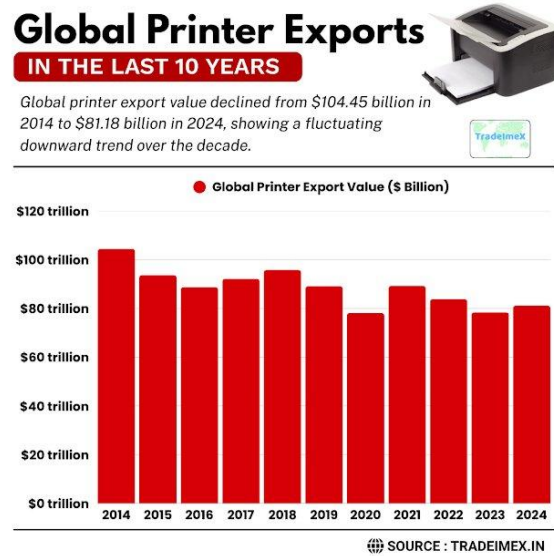
- Οι τομείς της τρισδιάστατης εκτύπωσης και της εκτύπωσης ψεκασμού μελάνης / ψηφιακής εκτύπωσης (inkjet / digital) έχουν ισχυρή παγκόσμια ζήτηση σε σχέση με τους παραδοσιακούς εκτυπωτές γραφείου (office printers)
- Το AI, το cloud, η βιωσιμότητα και η συμμόρφωση με νομοθετικούς κανονισμούς αποτελούν κύριες τάσεις του παγκόσμιου εκτυπωτικού κλάδου, επιφέροντας επιπτώσεις στα εξαγόμενα έντυπα και στην υιοθέτηση της τεχνολογίας
- Οι εμπορικές πολιτικές και οι δασμοί (trade policies & tariffs) έχουν αυξημένους κινδύνους, καθώς οι δασμοί των ΗΠΑ και οι εντάσεις μεταξύ της Κίνας και των ΗΠΑ επηρεάζουν τις παγκόσμιες αλυσίδες εφοδιασμού. (TradeImeX, 2025).

Βάσει του TradeImeX (2025), η παγκόσμια αγορά εκτυπωτικών εξαγωγών σημειώνει σημαντική ανάπτυξη το 2025, χάρη στις τεχνολογικές εξελίξεις, στις μεταβαλλόμενες προτιμήσεις των καταναλωτών και στις αναδυόμενες τάσεις, ενώ οι κύριες χώρες εξαγωγών (ΗΠΑ, Κίνα και Γερμανία), πρωτοστατούν με τα καινοτόμα προϊόντα και τις ανταγωνιστικές προσφορές και ως σημαντικές ανερχόμενες δυνάμεις ξεχωρίζουν το Βιετνάμ και η Ινδία, με δυνατότητα έντονης επέκτασης τα επόμενα έτη. Η ψηφιακή τεχνολογία (AI, cloud, αυτοματοποίηση) και η επίτευξη της βιωσιμότητας δεν είναι απλώς προαιρετικά στοιχεία, καθώς συνιστούν τα βασικά στοιχεία των επιπέδων της ανταγωνιστικότητας στις εξαγωγές του κλάδου. (TradeImeX, 2025). Είναι δόκιμο επίσης να προσδιοριστεί και ο όρος «workforce's low mobility», αλλά και η συσχέτιση των λημμάτων «older workforce» και «traditional skills».



Εικόνα 72. Οι κορυφαίες χώρες εξαγωγής ως ηγέτες στη βιομηχανική παραγωγή σε μαζική κλίμακα και στην εξαγωγή εκτυπωτικών εργασιών σε παγκόσμιο επίπεδο, βάσει του «Printer Export by Country».

(πηγή: <https://www.tradeimex.in/blogs/global-printer-export-market-2025-top-exporting-countries>).



Εικόνα 73. Διαγραμματική απεικόνιση των στατιστικών δεδομένων για τις παγκόσμιες εξαγωγές του εκτυπωτικού κλάδου τα τελευταία 10 χρόνια, (yearly printer export data).

(πηγή: <https://www.tradeimex.in/blogs/global-printer-export-market-2025-top-exporting-countries>).

Ο όρος «workforce's low mobility» αναφέρεται στη μειωμένη ικανότητα ή στην απροθυμία των εργαζομένων να αλλάξουν θέση εργασίας, επάγγελμα ή γεωγραφική τοποθεσία και η εν λόγω οικονομική πρόκληση προκαλεί την έλλειψη δεξιοτήτων, σταματά την αύξηση των μισθών και εγκλωβίζει τους εργαζόμενους σε θέσεις εργασίας που βρίσκονται σε ύφεση ή που δεν τους ικανοποιούν. (Edwards, 2022). Το Ινστιτούτο Καριέρας του Πανεπιστημίου του Φοίνιξ δημοσιεύει τον ετήσιο «Δείκτη Αισιοδοξίας Καριέρας» (Career Optimism Index), ο οποίος αποτελεί μια περιοδική εθνική έρευνα για το ανθρώπινο κεφάλαιο που γίνεται από τις 21 Ιανουαρίου έως τις 6 Φεβρουαρίου του 2026, στην οποία συμμετέχουν 5.000 ενήλικες εργαζόμενοι στις ΗΠΑ και 1.000 εργοδότες (εικόνα 74). (University of Phoenix, 2026).

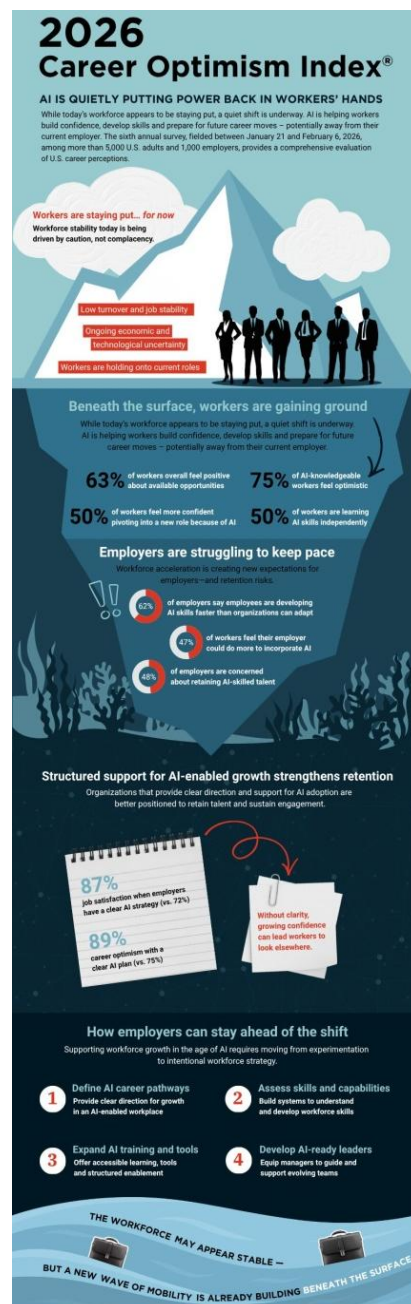
Βάσει της εν λόγω μελέτης, προκύπτει πως ενώ οι εργαζόμενοι φαίνεται να εμμένουν στη διατήρηση της τρέχουσας θέσης εργασίας τους και μάλιστα σε μια αγορά εργασίας που αν και σταθεροποιείται (stabilizing labor market), η κινητικότητα της παραμένει αρκετά περιορισμένη. Πολλοί από τους ερωτηθέντες αναφέρουν πως συνήθως χρησιμοποιούν το AI για να αναπτύξουν τις υφιστάμενες δεξιότητες τους,

να ενισχύσουν την αυτοπεποίθηση τους ή να για να αποκτήσουν μια μεγαλύτερη επαγγελματική κινητικότητα (greater career mobility). Τα σημαντικότερα ευρήματα που προκύπτουν από το Career Optimism Index του 2026 περικλείουν τα εξής:

- Το AI ενισχύει την αυτοπεποίθηση των εργαζομένων στην επαγγελματική τους κινητικότητα, καθώς το 50% των εργαζομένων δηλώνει πως η χρήση του AI τους κάνει να αισθάνονται σίγουροι για τη μετάβαση σε μια νέα θέση εργασίας, ενώ οι εργαζόμενοι που διαθέτουν γνώσεις για το AI εκφράζουν αισιοδοξία για τις ευκαιρίες εργασίας σε σύγκριση με τους υπόλοιπους (ως 75% έναντι του 63%)
- Οι εργαζόμενοι μαθαίνουν το AI ανεξάρτητα (το 50% δηλώνει ότι μαθαίνει να χρησιμοποιεί το AI ανεξάρτητα), γεγονός που υποδηλώνει μια ισχυρή ζήτηση των εργαζομένων για την ανάπτυξη των δεξιοτήτων στο AI, ακόμη και χωρίς να έχουν επίσημη υποστήριξη από τον εργοδότη τους
- Οι εργαζόμενοι αναζητούν καθοδήγηση για το AI και αρκετοί αναφέρουν ότι η υποστήριξη από τον εργοδότη συχνά δε συμβαδίζει με τις ανάγκες τους, με το 47% να δηλώνει πως ο εργοδότης οφείλει να προσπαθεί για την ενσωμάτωση του AI στην εργασία, ενώ το 60% επιθυμεί περισσότερη καθοδήγηση στην εκμάθηση των σύγχρονων εργαλείων AI
- Αύξηση της ανησυχίας για τη διατήρηση του προσωπικού, καθώς σχεδόν το ήμισυ των εργοδοτών (48%) ανησυχεί ότι ίσως να μην καταφέρει να διατηρήσει εργαζόμενους με άριστη γνώση του AI, καθώς η ζήτηση για αυτές τις δεξιότητες αυξάνεται, ενώ το 62% δηλώνει πως οι εργαζόμενοι αναπτύσσουν δεξιότητες στο AI, ταχύτερα από ό,τι μπορεί να προσαρμοστεί στη χρήση του AI μια επιχείρηση
- Η διαμόρφωση μιας σαφούς στρατηγικής για το AI βελτιώνει την ικανοποίηση, καθώς οι εργαζόμενοι των οποίων ο εργοδότης διαθέτει ένα σαφές σχέδιο για ανάπτυξη μέσω του AI, είναι πιθανό να είναι ικανοποιημένοι από την τρέχουσα θέση εργασίας, σε σύγκριση με εκείνους των οποίων ο εργοδότης δεν έχει τέτοιο σχέδιο (διαφορές στα ποσοστά 87% έναντι 72%). (University of Phoenix, 2026).

Η «συνύπαρξη ενός εργατικού δυναμικού μιας μεγαλύτερης ηλικίας, αλλά και των παραδοσιακών δεξιοτήτων» (intersection of older workforce & traditional skills) δημιουργεί ένα μοναδικό σύνολο οργανωτικών προκλήσεων και ευκαιριών (εικόνα 75) και για να διαχειριστεί κανείς επιτυχώς αυτή τη δυναμική, πρέπει να εξετάσει τη σημασία του ρόλου και της αξίας των παραδοσιακών δεξιοτήτων, δεδομένου πως οι

εργαζόμενοι μεγαλύτερης ηλικίας διαθέτουν ένα ευρύ σύνολο «παραδοσιακών» δεξιοτήτων που είναι πολύτιμες, όπως είναι η βαθιά εξειδίκευση στον κλάδο, η οργανωτική μνήμη και οι ικανότητες επίλυσης των σύνθετων προβλημάτων που δεν μπορούν να καταγραφούν σε εγχειρίδια ή σε ψηφιακά προγράμματα επιμόρφωσης και κατάρτισης. Το εργατικό δυναμικό μιας μεγαλύτερης ηλικίας επίσης διαθέτει σημαντικές διαπροσωπικές δεξιότητες και ασπάζεται την επονομαζόμενη «φιλοσοφία της ανθεκτικότητας». (Business in the Community, 2020).



Εικόνα 74. Career Optimism Index 2026.

(πηγή: <https://phys.org/news/2026-04-workers-leveraging-ai-career-mobility.html>).



Εικόνα 75. Engage older workers in reskilling efforts? | World Economic Forum.

(πηγή: <https://www.weforum.org/stories/2021/05/how-can-we-engage-older-workers-in-reskilling-efforts-jobs-reset-summit-ageing-workforce-longevity-upskilling/>).

Οι διαπροσωπικές δεξιότητες (soft skills) και η «φιλοσοφία της ανθεκτικότητας» (resilience) αφορούν την προσωπική επικοινωνία, τη διαπραγμάτευση, αλλά και τη διαχείριση των συγκρούσεων, που αν και είναι όλο και πιο ζωτικής σημασίας, συχνά παρατηρείται πως στις νεότερες (ηλικιακά) ομάδες εργαζομένων που εργάζονται κυρίως εξ αποστάσεως, αυτά υστερούν ή εκλείπουν παντελώς. Αναφορικά με τη τεχνική δεξιότητα και τις ειδικές γνώσεις (εξειδικευμένες τεχνικές ή χειρωνακτικές δεξιότητες) σε διαφορετικούς τομείς, όπως ο δευτερογενής τομέας, η διαμόρφωση των «παραδοσιακών» δεξιοτήτων απαιτεί πολλές δεκαετίες εργασιακής εμπειρίας και κατάρτισης για να συγκροτηθεί. (Business in the Community, 2020). Βάσει των δεδομένων που παρατίθενται από τη European Commission (n.d.) επισημαίνεται πως οι πιο σημαντικές προοπτικές για τον κλάδο αφορούν τα εξής:

1. «Νέες υπηρεσίες και προϊόντα»

- η εμφάνιση των νέων τεχνολογιών και εφαρμογών ενθαρρύνει τη δημιουργία στενότερων σχέσεων με τους πελάτες, αλλά και τη δημιουργία μεγαλύτερης προστιθέμενης αξίας των παραχθέντων προϊόντων μέσω της χρήσης διαφοροποιημένων υπηρεσιών

- οι νέες υπηρεσίες περιλαμβάνουν την παροχή διαφορετικών υπηρεσιών με τη διαχείριση των εργασιών βάσεων των δεδομένων, ενώ οι καινοτόμες διαδικασίες (όπως εκτύπωση 3D, έξυπνες ετικέτες ή φλεξογραφική εκτύπωση) δίνουν νέες δυνατότητες στις υπηρεσίες που παρέχονται στους καταναλωτές

2. «Δημόσια εικόνα»

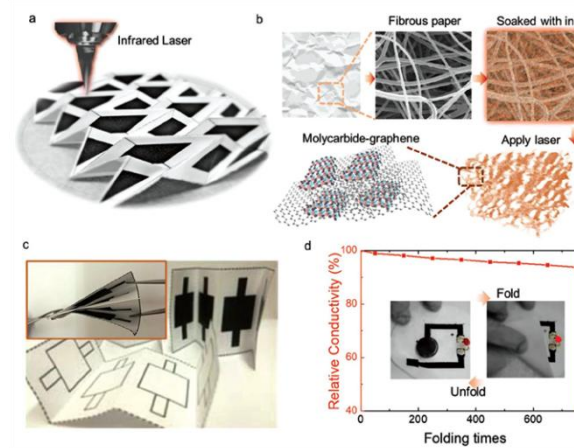
- ο κλάδος μπορεί να επωφεληθεί σε σημαντικό βαθμό από την υψηλή ευαισθητοποίηση των καταναλωτών για τη βιωσιμότητα, καθώς διαθέτει ένα σημαντικό ιστορικό σημαντικών περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιδόσεων, υποδηλώνοντας πως αυτό είναι που διαφοροποιεί τις επιχειρήσεις της ΕΕ από τους ανταγωνιστές των χωρών χαμηλού κόστους
- η ενσωμάτωση των υπηρεσιών επικοινωνίας πολυμέσων διευρύνει τη γκάμα των προϊόντων που μπορούν να παραχθούν και επίσης μπορεί να αυξήσει την ελκυστικότητα του κλάδου για νέους εργαζόμενους

3. «Έρευνα και καινοτομία»

- απαιτούνται ολοένα και πιο καινοτόμα, εξειδικευμένα και νέα προϊόντα με βάση το χαρτί, αλλά και με πρόσθετα χαρακτηριστικά στα έντυπα αναφορικά με τη λειτουργικότητα, όπως είναι τα ηλεκτρονικά που τυπώνονται σε χαρτί (paper-printed electronics, που παρουσιάζονται στην εικόνα 76)
- τα εν λόγω νέα προϊόντα μπορούν να ανοίξουν νέες αγορές και να προσφέρουν υψηλότερη προστιθέμενη αξία για όλα τα προϊόντα της ευρωπαϊκής εκτυπωτικής βιομηχανίας. (European Commission, n.d.).

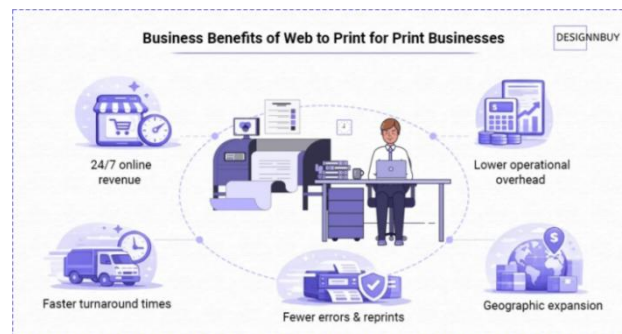
Η σύγχρονη βιομηχανία εκτυπώσεων χαρακτηρίζεται και διαμορφώνεται από την επίδραση τριών συνιστωσών που επιφέρουν μετασχηματιστικές αλλαγές, δηλαδή από το ψηφιακό μετασχηματισμό, την αυτοματοποίηση και τη βιωσιμότητα. Η εν λόγω συνθήκη εντείνεται από την ανάπτυξη της τεχνολογίας, των εργαλείων και των εφαρμογών του AI, της επικράτησης των επονομαζόμενων πλατφορμών «web-to-print» (εικόνα 77), της υιοθέτησης των οικολογικών / φιλικών προς το περιβάλλον υλικών ή πρώτων υλών και έτσι ο κλάδος μεταβαίνει από τη μαζική παραγωγή σε ένα νέο περιβάλλον με εξατομικευμένες υπηρεσίες και προϊόντα που παράγονται «κατά παραγγελία», συντελώντας σημαντικά και στη μείωση του όγκου των αποβλήτων και

του συνολικού λειτουργικού κόστους όλων των επιχειρήσεων του κλάδου. (Drupa, 2024a) (Drupa, 2024b) (Tavakoli, 2024).



Εικόνα 76. Παράδειγμα των paper-printed electronics.

(πηγή: <https://www.advancedsciencenews.com/printed-paper-electronics/>).



Εικόνα 77. Τα πλεονεκτήματα των πλατφορμών «web-to-print» για τις επιχειρήσεις του κλάδου.

(πηγή: <https://www.designnbuy.com/blog/web-to-print-guide/>).

Οι βασικές τεχνολογικές τάσεις / εξελίξεις περιλαμβάνουν τα εξής:

1. Ψηφιακή εκτύπωση και «εκτύπωση κατά παραγγελία» (POD)

- οι τεχνολογίες inkjet και λέιζερ επιτρέπουν τις γρήγορες και οικονομικά πιο αποδοτικές μικρές σειρές παραγωγής έντυπων και τις πλήρως εξατομικευμένες εκτυπώσεις, καθώς η εκτύπωση κατά παραγγελία (POD) μειώνει την ανάγκη για μεγάλα αποθέματα και αποθήκευση ενός μεγάλου όγκου προϊόντων

2. «Υβριδικά συστήματα εκτύπωσης»

- αναφέρεται στα συστήματα που συνδυάζουν δοκίμως την ευελιξία των ψηφιακών εκτυπωτικών μηχανών με την υψηλή οικονομική αποδοτικότητα της παραδοσιακής εκτύπωσης όφσσετ για τις μεγάλες σειρές παραγωγής (παρτίδες) προϊόντων υψηλής ποιότητας

3. «Αυτοματοποίηση και Industry 4.0»

- τα AI και IoT είναι πλήρως ενσωματωμένα στην παραγωγή, μιας και οι αυτοματοποιημένες εκτυπωτικές μηχανές διαθέτουν έξυπνους αισθητήρες που αξιοποιούνται για τη χρωματική διαχείριση, τον αυτοματοποιημένο έλεγχο των αρχείων / δεδομένων που προορίζονται για εκτύπωση και για την προληπτική συντήρηση των μηχανημάτων / μηχανολογικού εξοπλισμού

4. «Τρισδιάστατη εκτύπωση (3D Printing & Additive Manufacturing)»

- χρησιμοποιείται σε πολλούς διαφορετικούς κλάδους, από τη μεταποίηση έως την υγειονομική περίθαλψη ή την αρχιτεκτονική, για τη δημιουργία εξαιρετικά εξειδικευμένων πρωτοτύπων, αλλά και διαφορετικών ειδών προϊόντων τελικής χρήσης (end-use products)

5. «Βιωσιμότητα (αειφόρος ανάπτυξη)»

- ο εκτυπωτικός κλάδος υιοθετεί ολοένα και πιο δυναμικά τα οικολογικά υλικά, μελάνια και υποστρώματα, τα βιοδιασπώμενα μελάνια (biodegradable inks), τα ανακυκλώσιμα υποστρώματα, καθώς και τα εκτυπωτικά μηχανήματα υψηλής ενεργειακής απόδοσης, τα οποία επιτρέπουν τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος (environmental footprint)

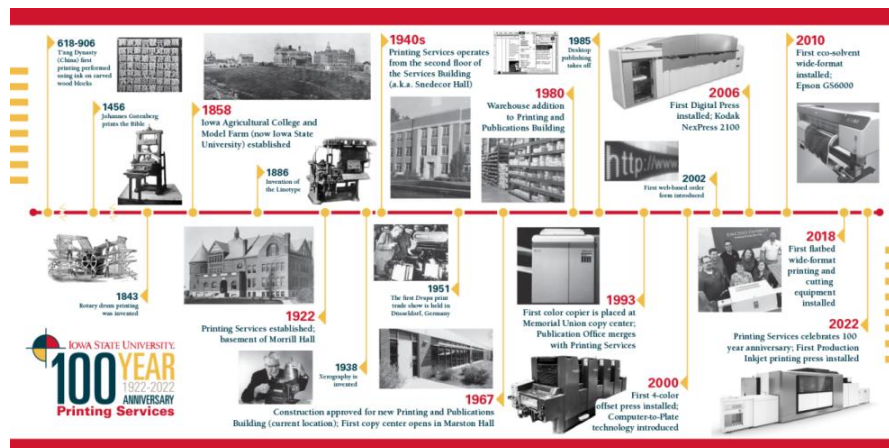
6. «Web-to-Print (W2P)»

- η υψηλή ενσωμάτωση των σύγχρονων πλατφορμών ηλεκτρονικού εμπορίου (E-commerce) επιτρέπει στους πελάτες να παραγγέλνουν, να σχεδιάζουν και να εξατομικεύουν εύκολα τις εργασίες εκτύπωσης μέσω του Διαδικτύου

7. «Εξυπνες συσκευασίες (smart packaging), Επαυξημένη Πραγματικότητα (AR)»

- η ενσωμάτωση των έντυπων μέσων με τις «ψηφιακές εμπειρίες», όπως είναι η αξιοποίηση των «έξυπνων κωδικών QR» που σαρώνονται μέσω των συσκευών κινητής τηλεφωνίας, καθώς και η αξιοποίηση του AR στις συσκευασίες των προϊόντων, γεφυρώνει το χάσμα μεταξύ του φυσικού κόσμου (σε απτή, έντυπη μορφή) με τον κόσμο του επονομαζόμενου «ψηφιακού μάρκετινγκ». (Drupa, 2024a) (Drupa, 2024b) (Tavakoli, 2024).

Είναι δόκιμο να αναφερθεί πως η εξέλιξη της εκτυπωτικής τεχνολογίας αποτελεί μια διαρκή διεργασία ανάπτυξης που ανάγεται σε προϊστορικούς χρόνους, μιας και οι παλαιότερες αποτυπώσεις εμφανίζονται μέσω της ζωγραφικής των σπηλαίων και καταλήγουν σήμερα στη ριζική αναδιαμόρφωση (ψηφιακός μετασχηματισμός) της εκτυπωτικής βιομηχανίας, η οποία πρέπει να εναρμονίζεται με τα συνεχώς μεταβαλλόμενα χαρακτηριστικά της ψηφιακής εποχής. Η εξέλιξη της εκτυπωτικής τεχνολογίας (εικόνα 78) συντελεί σε μεγάλο βαθμό και στην ιστορική εξέλιξη του ανθρώπινου πολιτισμού, δεδομένου πως διαμορφώνει τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι ανά τα χρόνια είναι σε θέση να επικοινωνούν μεταξύ τους και μέσω «της ανταλλαγής της γνώσης», μπορούν να μεταβαίνουν στην εξέλιξη της γραφής, στην μείωση του αναλφαριθμητισμού και στην πρόοδο της εκπαίδευσης. (Adair, 2024).



Εικόνα 78. Η εξέλιξη της εκτυπωτικής τεχνολογίας ανά την πάροδο των χρόνων.

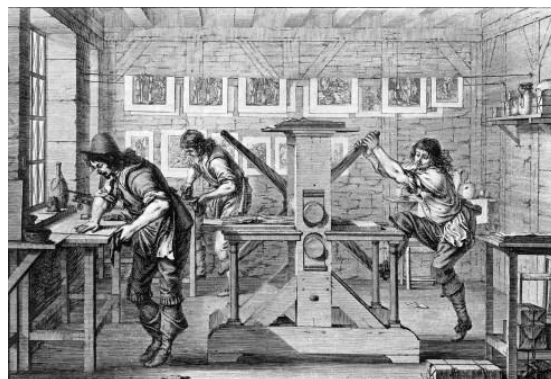
(πηγή: <https://www.print.iastate.edu/aboutus/history/>).

Οι σύγχρονες μέθοδοι εκτύπωσης (laser εκτυπωτές, ψηφιακές εκτυπωτικές μηχανές) είναι αποτέλεσμα της μακροχρόνιας προόδου, στο πλαίσιο της οποίας η εκτυπωτική

τεχνολογία μεταβαίνει από τις συμβατικές μεθόδους αποτύπωσης (αποτυπώσεις μέσω stencil), στις σύγχρονες, περίπλοκες ψηφιακές εκτυπώσεις. Η κατανόηση της εξέλιξης του κλάδου είναι απαραίτητη και για την κατανόηση της εξέλιξης του ανθρώπινου πολιτισμού, καθώς ο όρος «printing» (εκτύπωση) χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει τη διαδικασία της αποτύπωσης ή αναπαραγωγής κειμένου, εικόνων ή σχεδίων σε κάποια επιφάνεια (χαρτί ή ύφασμα), για τη γρήγορη διάδοση ενός όγκου πληροφοριών, ενώ η ανάπτυξη της τεχνολογίας των εκτυπώσεων είναι μια από τις σημαντικότερες τεχνολογικές εξελίξεις του ανθρώπινου πολιτισμού. (Adair, 2024).

2.1 Η ιστορική εξέλιξη του κλάδου των Γραφικών Τεχνών - Εκτυπώσεων

Σύμφωνα με την ενότητα «World of Printing» του Pixartprinting (2018), η εξέλιξη του κλάδου των Γραφικών Τεχνών - Εκτυπώσεων εκτείνεται για πάνω από 15 αιώνες και σκιαγραφείται μέσω μιας επισκόπησης στα κύρια και πιο σημαντικά γεγονότα που τη διέπουν. (Pixartprinting, 2018). Είναι δόκιμο όμως να αναφερθεί και ο όρος «Printmaking» που προσδιορίζεται ως η διαδικασία της παραγωγής των εκτυπώσεων (εικόνα 79), ενώ ως διαδικασία αφορά την εφαρμογή ενός στρώματος μελανιού σε μια επιφάνεια (υπόστρωμα) και την αποτύπωση (εκτύπωση) σε μια άλλη επιφάνεια, περικλείοντας πολλούς τύπους και τεχνικές, ενώ προϋποθέτει και να υπάρχει ο σωστός εξοπλισμός, αλλά και κατάλληλη πίεση του μελανιού στο υπόστρωμα. (Tribeca Printworks, 2023).



Εικόνα 79. Printing Techniques; 17th century printing (etching/engraving), A. Bosse (1645).

(πηγή: https://www.gallerease.com/en/magazine/articles/difference-between-print-engraving-etching-woodcut-silkscreen-and-lithography-in-print_c7936f213cac).

Οι κύριοι τύποι / τεχνικές του «Printmaking» (εικόνα 80), αφορούν την εφαρμογή ενός στρώματος μελάνης σε μια επιφάνεια και τη μεταφορά σε μια άλλη, αλλά διαφέρουν ως προς τον τρόπο μεταφοράς της μελάνης, περικλείοντας τα εξής:

1. «Ανάγλυφη εκτύπωση (Relief)»

- χάραξη του «αρνητικού» χώρου ενός σχεδίου (η εικόνα εκτυπώνεται από ένα σχέδιο που είναι ανυψωμένο στην επιφάνεια ενός μπλοκ), έτσι ώστε οι ανυψωμένες, μη χαραγμένες περιοχές να απορροφούν το μελάνι
- συνήθως αξιοποιείται ένας κύλινδρος (γνωστός και ως «brayer») για την εφαρμογή του μελανιού στην ανυψωμένη επιφάνεια του υποστρώματος, η οποία πιέζεται πάνω στο χαρτί
- ανάμεσα στις κύριες τεχνικές εντάσσεται η ξυλογραφία, στην οποία το μπλοκ είναι ένα κομμάτι ξύλου, αλλά και η λιθογραφία, στην οποία το μπλοκ είναι ένα φύλλο από λινόλεουμ

2. «Εγχάρακτη εκτύπωση (Intaglio)»

- ως διαδικασία είναι το αντίθετο της ανάγλυφης εκτύπωσης
- ο χαράκτης/ καλλιτέχνης χαράζει, σκαλίζει ή χαράζει με οξύ μια εικόνα / σχέδιο σε μια μεταλλική ή πλαστική πλάκα, το μελάνι απλώνεται σε ολόκληρη την επιφάνεια της πλάκας και μετά σκουπίζεται η περίσσεια του μελανιού από την επιφάνεια, αφήνοντας έτσι μελάνι μόνο μέσα στις αυλακώσεις και τις εγχοπές της επιφάνειας
- οι κύριες τεχνικές αφορούν τις κατηγορίες των «etching», «engraving», «drypoint» και «aquatint»

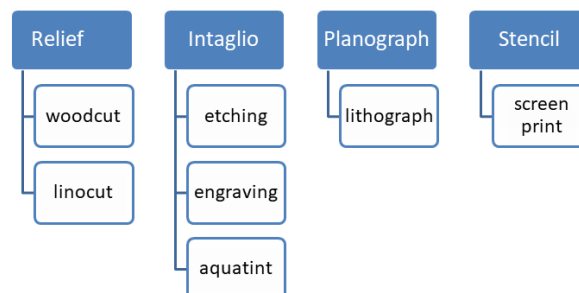
3. «Πλανογραφική εκτύπωση (Planographic)»

- σχετίζεται με την εκτύπωση επάνω σε μια επίπεδη επιφάνεια
- ως κύρια τεχνική αναγνωρίζεται η λιθογραφία (εικόνα 81) που βασίζεται στην επιστημονική αρχή της απώθησης του ύδατος (ως υδρόφιλο και υδρόφοβο, το οποίο προσδιορίζει τη φυσική και τη χημική ιδιότητα ενός υλικού να μπορεί να απωθεί το νερό), που βασίζεται στη θερμοδυναμική και στη μοριακή δομή, επισημαίνοντας πως το έλαιο (δηλαδή μια λιπαρή ουσία) και το νερό δεν αναμιγνύονται
- στη λιθογραφία ο χαράκτης / καλλιτέχνης σχεδιάζει μια εικόνα / σχέδιο πάνω σε μια πλάκα που συνιστά ένα κομμάτι ασβεστόλιθου (limestone

block) ή σε μια μεταλλική πλάκα (metal plate), χρησιμοποιώντας ένα «λιπαρό μέσο» (greasy medium) και στη συνέχεια επεξεργάζεται χημικά την επιφάνεια, τη νοτίζει με νερό και οι νοτισμένες με νερό περιοχές της πλάκας απωθούν το μελάνι, ενώ η λιπαρή ουσία προσελκύει τη μελάνη

4. «Στένσιλ (Stencil)»

- συνεπάγεται την πίεση της μελάνης μέσω ενός «ειδικά διαμορφωμένου πλέγματος» (prepared screen) ή «υλικού με εγκοπές» (cut-out material) πάνω στο εκτυπωτικό υπόστρωμα, καθώς οι περιοχές που προορίζονται για εκτύπωση προκειμένου να μπορούν να εμποδίσουν τη διέλευση της μελάνης «σφραγίζονται» (sealed), ενώ οι ανοιχτές περιοχές επιτρέπουν τη διέλευση της μελάνης (εικόνες 82 και 83)
- οι κύριες τεχνικές περιλαμβάνουν τη μεταξοτυπία (προσδιορίζεται ως silkscreen - serigraphy), το στένσιλ, και τη τεχνική του «ποσουάρ» (pochoir). (Art and Design 101, 2021) (Chandler, 2013) (clarkart.edu, n.d.) (Didonato, 2024) (Tribeca Printworks, 2023).



Εικόνα 80. Οι κύριοι τύποι και τεχνικές του λήμματος «Printmaking».

(πηγή: <https://artanddesign101.com/printmaking/>).

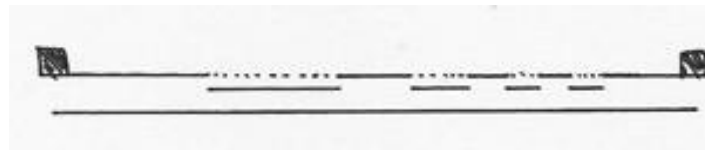


Εικόνα 81. Reprint of the lithograph 'The Potato Eaters', by Van Gogh using flat polished sandstone.

(πηγή: https://www.gallerease.com/en/magazine/articles/difference-between-print-engraving-etching-woodcut-silkscreen-and-lithography-in-print_c7936f213cac).

Είτε πρόκειται για εκτυπώσεις έργων τέχνης για τις πωλήσεις B2B («επιχείρηση προς επιχείρηση») είτε για αναπαραγωγές υψηλής ποιότητας για ιδιώτες συλλέκτες, η διενέργεια της παραγωγής των εκτυπώσεων χρησιμοποιεί μια τεχνική που εμπίπτει σε μία από τις προαναφερθείσες κύριες κατηγορίες που προέρχονται από τους κάτωθι παραδοσιακούς τύπους χάραξης (αποτύπωσης-εκτύπωσης):

- Χαρακτική (Engraving)
- Λιθογραφία (Lithography, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 84)
- Ξυλογραφία (Woodcut)
- Οξυγραφία, γνωστή και ως χάραξη με οξύ (Etching). (Art and Design 101, 2021) (clarkart.edu, n.d.) (Didonato, 2024) (Tribeca Printworks, 2023).



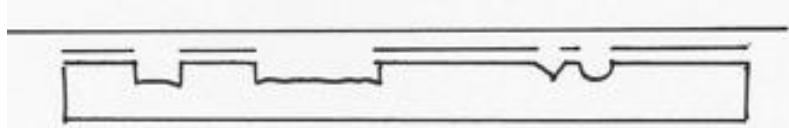
Εικόνα 82. Making a screen print. From top to bottom: the screen frame, the ink and the paper. A squeegee presses the ink through the mesh onto the paper.

(πηγή: https://www.gallerease.com/en/magazine/articles/difference-between-print-engraving-etching-woodcut-silkscreen-and-lithography-in-print_c7936f213cac).



Εικόνα 83. Screen printing, also known as silkscreen print.

(πηγή: https://www.gallerease.com/en/magazine/articles/difference-between-print-engraving-etching-woodcut-silkscreen-and-lithography-in-print_c7936f213cac).



Εικόνα 84. Printing a lino or woodcut, from top to bottom: paper, ink and printing form.

(πηγή: https://www.gallerease.com/en/magazine/articles/difference-between-print-engraving-etching-woodcut-silkscreen-and-lithography-in-print_c7936f213cac).

Βάσει της ενότητας «World of Printing», στην ιστοσελίδα Pixartprinting (2018), η εξέλιξη του κλάδου σκιαγραφείται μέσω μιας συνεκτικής επισκόπησης επί των σημαντικότερων γεγονότων που τη διέπουν, τα οποία περικλείουν τα εξής:

Woodblock printing (ορίζεται και ως «ξυλογραφία»)

- Οι αποτυπώσεις (εκτύπώσεις) γίνονται για πρώτη φορά σε χαρτί γύρω στο 7^ο αιώνα, ενώ το παλαιότερο σωζόμενο έργο είναι μια ξυλογραφία που τυπώνεται σε μετάξι και που χρονολογείται μεταξύ του 206 π.Χ. και του 220 μ.Χ.
- η χάραξη σε ξύλο μέσω της τεχνικής του woodblock printing (προσδιορίζεται ως ξυλογραφία και σχετίζεται με τη χάραξη σχεδίων ή κειμένων πάνω σε ξύλινα μπλοκ και παρουσιάζεται στην εικόνα 85) ανάγεται στην Αρχαία Κίνα κατά τη διάρκεια του 6^{ου} αιώνα, συνιστώντας κύριο επίτευγμα της δυναστείας των Han
- η ξυλογραφία χρησιμοποιεί ξύλινα καλούπια, τα οποία χαράζονται, βάφονται με μελάνι και μετά η ξύλινη πλάκα τοποθετείται με πίεση πάνω στο υπόστρωμα (συνήθως χαρτί), για να αποτυπωθεί το χαραγμένο σχέδιο στο υπόστρωμα
- η αρχική μορφή της μεθόδου αφορά την αξιοποίηση μιας μικρής ξύλινης σανίδας ως μήτρα (wooden board as matrix), για την αποτύπωση σε ύφασμα ή σε χαρτί
- το παλαιότερο βιβλίο που τυπώνεται με «ξυλογραφικές πλάκες» (γνωστές και ως ξύλινα κλισέ) είναι το «Diamond Sutra» (868 μ.Χ.), που παρουσιάζεται στην εικόνα 86 και συνιστά έναν πάπυρο έξι φύλλων (μήκους άνω των πέντε μέτρων), ενώ πρόσφατα ανακαλύπτεται και μια κορεατική βουδιστική παγόδα (pagoda) που

εμφανίζει ένα αρκετά παλαιότερο κείμενο που αποτυπώνεται με την ίδια τεχνική και χρονολογείται μεταξύ του 750 και 751 μ.Χ.

- οι Κινέζοι εισάγουν τα κινητά στοιχεία (movable type), μεταξύ του 1041 - 1048, ενώ βελτιώνουν το σχεδιασμό τους επόμενους αιώνες και η τεχνική εξαπλώνεται σε όλο τον κόσμο, εξυπηρετώντας πολλούς σκοπούς από καλλιτέχνες / χαράκτες
- το 1041, ο τυπογράφος Bi Sheng δημιουργεί τα επονομαζόμενα «κινητά πήλινα στοιχεία» (movable clay type), τα οποία έχουν το μειονέκτημα πως σπάει εύκολα
- το 1298, ο εφευρέτης Wang Zhen αξιοποιεί τα πιο ανθεκτικά ξύλινα στοιχεία και διαμορφώνει ένα πολύπλοκο σύστημα περιστρεφόμενων τραπεζιών που βελτιώνει την ποιότητα της εκτύπωσης. (Pixartprinting, 2018) (Tribeca Printworks, 2023).



Εικόνα 85. Η ξυλογραφία (woodblock printing).

(πηγή: http://www.seeyangzhou.com/2019-11/18/c_425092.htm).



Εικόνα 86. Diamond Sutra (Kongō-kyō), Kaizō-ji edition, Japan Momoyama period, 1577 © Harvard Art Museums/Arthur M. Sackler Museum, Bequest of the Hofer Collection of the Arts of Asia.

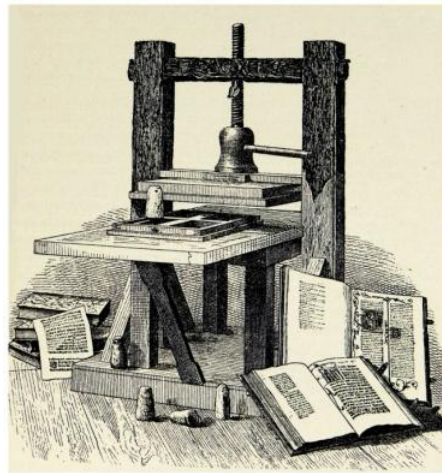
(πηγή: <https://buddhismnow.com/2019/02/17/why-the-name-of-tathagata/18758942-diamond-sutra-345/>).

Νέες τεχνικές (διάφορα στυλ χαρακτηρισκής) κατά το 15^ο αιώνα στην Ευρώπη

- Ξυλογραφίες (Woodcuts)
 - αρχικά αξιοποιούνται για κατασκευή χαρτοπαικτικών καρτών στη Γερμανία και η τεχνική μετά υιοθετείται από καλλιτέχνες που την χρησιμοποιούν για να αποδώσουν έντονες μορφές πάνω σε λευκό φόντο και να διαμορφώσουν πιο περίπλοκα σχέδια, με αρχιτεκτονικά στοιχεία και τοπία, καθώς και με περίτεχνα περιγράμματα
- Χάραξη πάνω σε μέταλλο
 - Είναι η παλαιότερη μορφή εκτύπωσης με εγχάρακτη τεχνική (σε μεταλλική επιφάνεια), η οποία γίνεται με τον καιρό η πιο δημοφιλής τεχνική χαρακτηριστικής, χάρη στα αποτελέσματα αποτύπωσης που παρέχει και μετά εξαπλώνεται στην Ιταλία και σε ολόκληρη την Ευρώπη
 - οι εικόνες που τυπώνονται φέρουν μικροσκοπικές κουκκίδες και μικρές εγκοπές που χαράσσονται επάνω στην επιφάνεια και σε αντίθεση με τις ξυλογραφίες, οι εσοχές της μεταλλικής μήτρας συγκρατούν το μελάνι, το οποίο μεταφέρεται στο χαρτί, ενώ η παλαιότερη εκτύπωση με την εγχάρακτη τεχνική είναι η γερμανική εκτύπωση του 1446, με τίτλο «The Flagellation». (Pixartprinting, 2018) (Tribeca Printworks, 2023).
- Το τυπογραφικό πιεστήριο του Ιωάννη Γουτεμβέργιου
 - η εν λόγω εφεύρεση φέρνει επανάσταση στην τέχνη και τον πολιτισμό και αν και ο Γουτεμβέργιος δεν είναι ο αρχικός εφευρέτης, αυτός είναι που τελειοποιεί το τυπογραφικό πιεστήριο (εικόνα 87) με τα μεταλλικά κινητά στοιχεία το 1450 και η εν λόγω εφεύρεση εξαπλώνεται με τον καιρό σε ολόκληρη την Ευρώπη, ενώ τα πιο γνωστά κείμενα που τυπώνονται από το Γουτεμβέργιο είναι τα αντίγραφα της Βίβλου των 1.300 σελίδων (εικόνα 88), τα οποία διαθέτουν γοθτικούς χαρακτήρες γραμματοσειρών και σχεδιάζονται με τρόπο όμοιο με τη χειρόγραφη καλλιγραφία. (Pixartprinting, 2018) (Tribeca Printworks, 2023).
 - το τυπογραφικό πιεστήριο διευκολύνει σημαντικά τη μαζική παραγωγή, επιτρέποντας σε κάθε άτομο να μένει ενήμερο για γεγονότα που τελούνται εκτός των συνόρων της εγγύς κοινωνίας του. (Adair, 2024).
 - η μαζική παραγωγή και διανομή του έντυπου υλικού παίζει σημαντικό ρόλο στην Προτεσταντική Μεταρρύθμιση του 16^{ου} αιώνα και αυτό το καταδεικνύεται και μέσα από τη μαζική κυκλοφορία των «95 Θέσεων»

του Μαρτίνου Λούθηρου (εικόνα 89), αλλά και άλλων κειμένων επίσης θρησκευτικού χαρακτήρα, ενώ η εν λόγω προσέγγιση εντείνεται σε πολύ σημαντικό βαθμό κατά τη διάρκεια του 17^{ου} και του 18^{ου} αιώνα

- η ραγδαία εξάπλωση των έντυπων σε συνδυασμό με την ταχεία διάδοση της γνώσης και της πληροφορίας, λειτουργούν ως κύριο έναυσμα για την ανάπτυξη σημαντικών κινημάτων, όπως είναι η Αναγέννηση, που ως η επονομαζόμενη «περίοδος του Διαφωτισμού» βγάζει την Ευρώπη από το σκοταδισμό του Μεσαίωνα και αναβιώνει σημαντικά το ενδιαφέρον των ανθρώπων για τα αρχαία ελληνικά, αλλά και για τα ρωμαϊκά κείμενα. (Adair, 2024) (Slaydon, 2022).



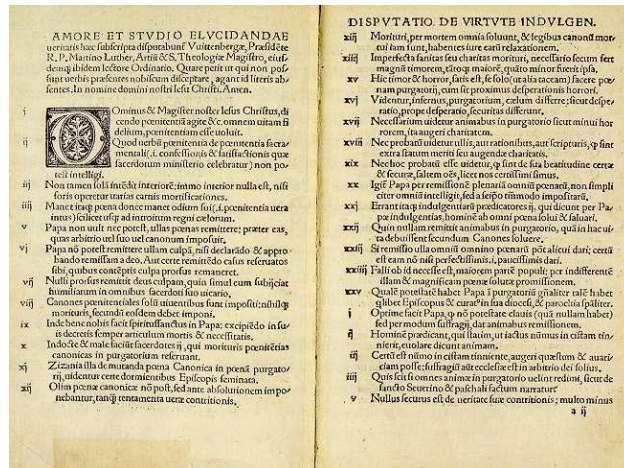
Εικόνα 87. Το τυπογραφικό πιεστήριο του Γουτεμβέργιου.

(πηγή: <https://www.hearstnetworks.com/>).



Εικόνα 88. Τα αντίγραφα της Βίβλου των 1.300 σελίδων του Γουτεμβέργιου.

(πηγή: <https://www.tribecaprintworks.com/history-of-printmaking/>).



Εικόνα 89. Οι 95 Θέσεις του Μαρτίνου Λούθηρου.

(πηγή: <https://www.timesnews.gr/95-theseis-graftikan-apo-ton-martino-loythiro/>).

Νέα δεδομένα κατά το 16^ο αιώνα

- στις αρχές του 16^{ου} αιώνα εμφανίζονται οι μεγάλοι δάσκαλοι της χαρακτηριστικής (Albrecht Dürer, Albrecht Altdorfer, Hendrik Goltzius, Marcantonio Raimondi)
- κατά το δεύτερο μισό του 16^{ου} αιώνα, οι εκδοτικοί οίκοι και οι εξειδικευμένοι τεχνίτες επικρατούν στον κόσμο της εκτύπωσης και εμφανίζονται οι παλαιότεροι τυπωμένοι χάρτες που γίνονται σύντομα δημοφιλείς στο κοινό / καταναλωτές
- οι εκδότες αγοράζουν εκτυπωτικές πλάκες από τους καλλιτέχνες και τυπώνουν με αυτές σε μαζική κλίμακα, καταστρέφοντας όμως, σχεδόν τις περισσότερες φορές, τις αρχικές πλάκες κατά τη διαδικασία της μαζικής εκτύπωσης

Ανάπτυξη κατά το 17ο αιώνα

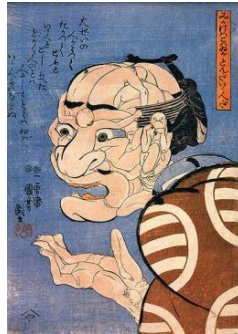
- οι καλλιτέχνες του 17^{ου} αιώνα συνειδητοποιούν πως η χαρακτηριστική συνιστά μια πολύ κερδοφόρα μέθοδο αποτύπωσης και εστιάζουν σε μια μορφή χαρακτηριστικής, που είναι γνωστή και ως «οξυγραφία», ενώ η Ιταλία μετατρέπεται σε ένα από τους πιο βασικούς πυλώνες της εν λόγω μεθόδου και τον ίδιο αιώνα εμφανίζεται και η ιαπωνική μορφή τέχνης «ukiyo-e» (εικόνα 90). (Tribeca Printworks, 2023).

Νέα δεδομένα το 19^ο αιώνα

- εισάγονται πολλά ρεύματα στον κόσμο της τέχνης και κάθε ένα έχει τους

δικούς της «μεγάλους δημιουργούς χαρακτηρισής», ενώ εμφανίζονται τα εξής:

1. Λιθογραφία: γερμανική εφεύρεση ως νέο μέσο στους καλλιτέχνες, ενώ η γαλλική επιρροή κυριαρχεί στον ευρωπαϊκό κόσμο της χαρακτηρισής
2. Σχολή του Μπαρμπιζόν: οι χαράκτες δημιουργούν χαρακτηρισά τοπίων που θέτουν τα θεμέλια για τους μετέπειτα ιμπρεσιονιστές.
3. Ιμπρεσιονισμός: με καλλιτέχνες όπως οι Édouard Manet, Edgar Degas, Camille Pissarro δημιουργούν χαρακτηρισά, λιθογραφίες και μονοτυπίες
4. Ιαπωνικές ξυλογραφίες: εισχωρούν στη δυτική συνείδηση και οι Ιάπωνες καλλιτέχνες αναπτύσσουν νέες τεχνικές χαρακτηρισής



Εικόνα 90. Ukiyo-E: Japanese Art of Late Tokugawa Period - Monash University Museum of Art.

(πηγή: <https://www.monash.edu/muma/exhibitions/previous/1982/glimpses-of-ukiyo-e-japanese-art-of-the-late-tokugawa-period>).

- Το περιστροφικό πιεστήριο (rotary press)
 - το 1843 στις ΗΠΑ ο Richard March Hoe αναπτύσσει το περιστροφικό πιεστήριο (εικόνα 91) που κατοχυρώνεται με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1847, ενώ αν και στην αρχή αυτό το σύστημα τροφοδοτείται χειροκίνητα με μεμονωμένα φύλλα, το 1863 ο William Bullock αναπτύσσει με τον καιρό ένα νέο πιεστήριο που τροφοδοτείται από ρολό χαρτιού, στο οποίο το χαρτί περνά μέσα από έναν κύλινδρο, ασκώντας όμως μεγαλύτερη πίεση
 - χάρη στη «μηχανοποίηση» της διαδικασίας, αλλά και στην εισαγωγή των συνεχών ρολών χαρτιού, οι περιστροφικές μηχανές μπορούν να τυπώνουν

ως 8.000 φύλλα την ώρα και το 1846 το εν λόγω περιστροφικό πιεστήριο αρχίζει να αξιοποιείται και για την εκτύπωση της εφημερίδας «Philadelphia Public Ledger». (Pixartprinting, 2018) (Tribeca Printworks, 2023).

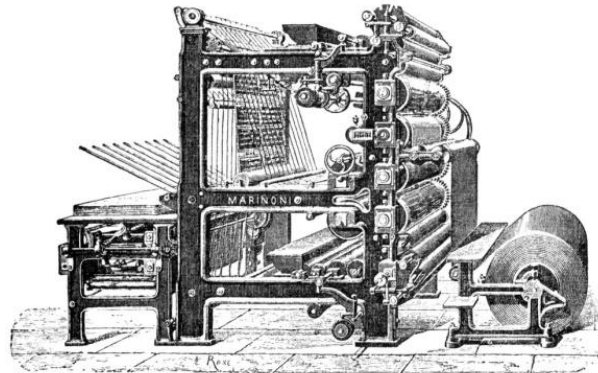


Fig. 6. Machine rotative.

oldbookillustrations.com

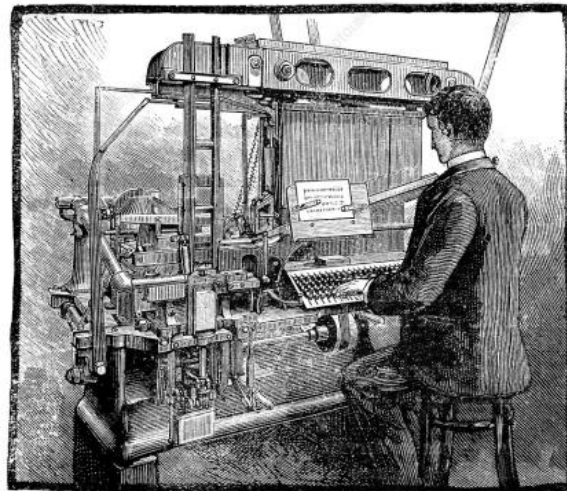
Εικόνα 91. Το περιστροφικό πιεστήριο (rotary press).

(πηγή: <https://www.oldbookillustrations.com/illustrations/rotary-printing-press/>).

- Η εκτύπωση όφσσετ
 - το 1875 ο Robert Barclay αναπτύσσει την εκτυπωτική μηχανή όφσσετ για την εκτύπωση εργασιών σε μέταλλο και το 1904 ο Ira Washington Rubel προσαρμόζει την εν λόγω τεχνολογία για χρήση / εκτύπωση σε χαρτί
 - στη συγκεκριμένη «έμμεση μέθοδο εκτύπωσης» εκτυπώνονται πάρα πολύ ευκρινείς εικόνες, κατά βάση για υψηλής ποιότητας εκτυπώσεις και σε κάθε είδος χαρτιού, ακόμη και αν η επιφάνεια δεν είναι απόλυτα λεία
 - οι μηχανές όφσσετ της εν λόγω περιόδου είναι αρκετά ογκώδεις και επίσης απαιτούν μια μεγάλη και χρονοβόρα διαδικασία συντήρησης
- Η λινοτυπική μηχανή (linotype machine)
 - το 1885 ο Ottmar Mergenthaler αναπτύσσει τη λινοτυπική μηχανή (εικόνα 92) που συνιστά μια μηχανή στοιχειοθεσίας και το κύριο πλεονέκτημα του

συστήματος είναι πως συνθέτει αυτόματα γραμμές κειμένου και λειτουργεί με τρόπο παρόμοιο με αυτόν μιας γραφομηχανής

- ο χειριστής συνθέτει τις γραμμές του κειμένου / αρχείου που προορίζεται για εκτύπωση, πατώντας τα πλήκτρα που βρίσκονται σε ένα πληκτρολόγιο που είναι τοποθετημένο μπροστά του και το πάτημα κάθε πλήκτρου απελευθερώνει μια μήτρα για τον αντίστοιχο χαρακτήρα και μετά αυτή η μήτρα ευθυγραμμίζεται με τις άλλες και στη σειρά των μητρών γίνεται η χύτευση τους με λιωμένο μόλυβδο, ακολουθεί η μελάνωση τους και μετά γίνεται η αποτύπωση των χαρακτήρων σε φύλλα χαρτιού
- μέσω της λινοτυπικής μηχανής, οι στοιχειοθέτες πλέον δε χρειάζεται να συνθέτουν τις γραμμές του κειμένου με το χέρι και ένα χαρακτήρα τη φορά, ενώ το 1886 η μηχανή αξιοποιείται στην εκτύπωση της εφημερίδας «New York Tribune». (Pixartprinting, 2018) (Tribeca Printworks, 2023).



Εικόνα 92. Η λινοτυπική μηχανή (linotype machine).

(πηγή: <https://www.sciencephoto.com/media/470677/view/linotype-typesetting-machine-1889>).

Η σταδιακή ανάπτυξη των τυπογραφικών πιεστηρίων, έχοντας όμως ως αφετηρία την εποχή του Γουτεμβέργιου, συνιστά μια περίοδο πολύ σημαντικής ανάπτυξης των εκτυπωτικών τεχνολογιών, η οποία σηματοδοτείται, όπως αναφέρεται και ανωτέρω, μέσω της ανάδυσης της εκτυπωτικής μεθόδου της λιθογραφίας, του κυλινδρικού πιεστηρίου (cylinder press) και του περιστροφικού πιεστηρίου (rotary press). Οι λόγω

τεχνολογικές καινοτομίες συντελούν σε μια πολύ σημαντική μεταβολή στο ρυθμό της ταχύτητας και της απόδοσης της παραγωγής, επιφέροντας έτσι και μια μεγαλύτερη δυνατότητα πρόσβασης του κοινού στα διάφορα είδη των έντυπων της περιόδου και επίσης συντελούν και στην ανάδυση νέων «πολιτιστικών και κοινωνικών νορμών» που διαμορφώνουν την ευρύτερη κοινωνικοπολιτική συνείδηση. (Biswal, 2024).

Η λιθογραφία επινοείται το 1796 από τον Alois Senefelder ως μια απλή και αρκετά οικονομική μέθοδος εκτύπωσης που χρησιμοποιείται σκοπίμως για την έκδοση των θεατρικών του έργων, ενώ είναι δόκιμο να αναφερθεί πως ο όρος «λιθογραφία» προέρχεται από τις λέξεις «λίθος» και «γραφή». (Vlahos, 2020). Ο Senefelder χρησιμοποιεί αρχικά χαλκό για να δημιουργήσει μεταλλικές πλάκες και μετά αρχίζει να αξιοποιεί πλάκες που είναι κατασκευασμένες από ασβεστόλιθο και μέσω αυτών πραγματοποιεί έναν πολυετή πειραματισμό σε πολλές και διαφορετικές λιθογραφικές εκτυπώσεις, ενώ το 1799 κατοχυρώνει την εφεύρεση του με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας (Halconrui, 2022). Η λιθογραφία όφσσετ (offset printing) κατοχυρώνεται με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από το John Strather το 1853 και αναγνωρίζεται ως η πλέον δόκιμη λύση για την παραγωγή έντυπων με υψηλή ποιότητα σε μαζική κλίμακα (όπως για εφημερίδες, περιοδικά και αφίσες). Η παραδοσιακή λιθογραφία διαφέρει από τη λιθογραφία όφσσετ, καθώς δεν απαιτείται σχεδίαση με το χέρι στην πλάκα, μιας και χρησιμοποιείται ένας κύλινδρος από καουτσούκ, που μεταφέρει το αρχείο που προορίζεται για εκτύπωση στο αντίστοιχο εκτυπωτικό υπόστρωμα (όπως σε χαρτί, ύφασμα, ξύλο ή μέταλλο). (Vlahos, 2020).

Η εκτύπωσης όφσσετ (εικόνα 93) είναι ένα σημαντικό τεχνολογικό επίτευγμα που πραγματοποιείται το 19^ο αιώνα και ως διαδικασία περικλείει τη μεταφορά του μελανιού από την εκτυπωτική πλάκα σε ένα «ελαστικό κάλυμμα / κύλινδρο» (rubber blanket), το οποίο μεταφέρεται πάνω στο υπόστρωμα. Οι εξελίξεις του κλάδου κατά τη διάρκεια του 18^{ου} έως τα μέσα του 19^{ου} αιώνα, σχετίζονται με την εμφάνιση των ατμοκίνητων τυπογραφικών μηχανών (steam-powered presses) και τη μετάβαση στη μηχανική στοιχειοθεσία (mechanical typesetting). (Slaydon, 2022) (Wagner, 2023).

Η παλαιότερη «χειροκίνητη εκτυπωτική μηχανή» που διαθέτει αυτόματο σύστημα μελάνης αναπτύσσεται το 1803 από το Friedrich Koenig, ενώ το 1814 οι Koenig και Andreas Bauer αναπτύσσουν το «ατμοκίνητο πιεστήριο των διπλών κυλίνδρων» που

παράγει έως 400 έντυπα φύλλα ανά ώρα. (Lorée, 2024). Το 1865 ο William Bullock αναπτύσσει τη μηχανή Bullock που αξιοποιεί ρολά χαρτιού και όχι σελίδες και μπορεί να εκτυπώσει και στις δύο πλευρές του χαρτιού (12.000 σελίδες ανά ώρα), αλλά και να παρέχει τη δυνατότητα κοπής στο ενδεδειγμένο μέγεθος. (Biswal, 2024).



Εικόνα 93. Μια εκτυπωτική μηχανή όφσετ.

(πηγή: <https://fotolio.gr/offset-printing/axiopoieiste-thn-ektyposh-offset/>).

Το 1938 ο Chester Carlson αναπτύσσει τη μέθοδο του «xerographic process», που ως διαδικασία εκτύπωσης έγκειται στην εφαρμογή του στατικού ηλεκτρισμού για την μεταφορά / αποτύπωση της εικόνας / κειμένου στο υπόστρωμα, ενώ επισημαίνεται πως η εν λόγω μέθοδος συντελεί στην ανάπτυξη των φωτοτυπικών μηχανημάτων και των laser εκτυπωτών. Η Xerox αναπτύσσει το 1959 το Xerox 914, το οποίο είναι ένα «αυτόματο φωτοαντιγραφικό μηχάνημα απλού χαρτιού», ενώ το 1977 ο Gary Starkweather αναπτύσσει τον εκτυπωτή λέιζερ, δηλαδή το Xerox 9700. (Adair, 2024).

Στο τέλος του 20^{ου} αιώνα παρατηρείται επίσης μια πολύ σημαντική εξέλιξη στον τομέα της ψηφιακής εκτύπωσης (digital printing), η οποία ως μέθοδος εκτύπωσης δεν προϋποθέτει να κατασκευάζονται και να αξιοποιούνται πλάκες και με τον καιρό χρησιμοποιείται ως η βέλτιστη επιλογή για τις εκτυπώσεις «μικρού όγκου με υψηλή απόδοση και με χαμηλότερο κόστος». (Wagner, 2023). Χαρακτηριστικά δείγματα της ανάπτυξης της τεχνολογίας της ψηφιακής εκτύπωσης είναι οι εκτυπωτές inkjet και laser, ενώ η ψηφιακή μηχανή εκτύπωσης Indigo E-Print 1000 που κυκλοφορεί το 1993, αναπτύσσεται από τον Benny Landa και έγκειται στην αξιοποίηση του «υγρού

μελανιού», δηλαδή αξιοποιείται ένα υγρό μελάνι με «πολλά μικρά τροποποιημένα σωματίδια», το οποίο είναι γνωστό και ως ElectroInk. (Adair, 2024) (Carozza, 2022).

Τέλος, επισημαίνεται πως από το 1990 και μετά εμφανίζεται και το επονομαζόμενο «λογισμικό της επιτραπέζιας εκτύπωσης» (desktop publishing), ενώ η τεχνολογική ανάπτυξη και η επικράτηση του Διαδικτύου αναδεικνύουν με τον καιρό τη ψηφιακή εκτύπωση ως τη δημοφιλέστερη επιλογή. (Adair, 2024) (Dillon, 2022).

1.2. Ορισμοί των Γραφικών Τεχνών

Ο όρος Γραφικές Τέχνες αξιοποιείται για να προσδιορίσει στο μέγιστο δυνατό βαθμό, τη σύνθετη δομή των τεχνικών, των διοικητικών, των τεχνολογικών και των παραγωγικών χαρακτηριστικών, τα οποία συνδυάζονται με δόκιμο τρόπο και πολύ αρμονικά μεταξύ τους για να ενσωματωθούν στο τελικό έντυπο. (Πολίτης, 2013). Η βιομηχανία των Γραφικών Τεχνών - Εκτυπώσεων αντιπροσωπεύει ένα πολύ ευρύ πεδίο δραστηριότητας πολλών διαφορετικών τομέων παραγωγής, που εκτείνεται από τους τομείς της καλλιτεχνικής έκφρασης και της σχεδίασης και φτάνει στις αρκετά σύνθετες διεργασίες της βιομηχανικής παραγωγής / μεταποίησης. (Politis, 2004).

Ο όρος «Γραφικές Τέχνες» αξιοποιείται κατά βάση για να προσδιορίζει το σύνολο των διαδικασιών σχεδιασμού, επιμέλειας, παραγωγής και τελικής επεξεργασίας όλων των έντυπων, καθώς προσδιορίζει κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο, τη σύνθετη δομή των επιμέρους διοικητικών, διαχειριστικών, οικονομικών, αισθητικών, δημιουργικών, τεχνολογικών και παραγωγικών χαρακτηριστικών που συνδυάζονται μεταξύ τους αρμονικά και ενσωματώνονται στο τελικό έντυπο. (Πολίτης, 2015).

Η ανασκόπηση στην ιστορία και στην εξέλιξη των Γραφικών Τεχνών -Εκτυπώσεων που γίνεται ανωτέρω, καταδεικνύει πως αρχικά η εκτύπωση είναι μια χειρωνακτική διεργασία και σήμερα αποτελεί ένα πολύ επίπεδο επιστημονικό και τεχνολογικό πεδίο, που σχετίζεται με σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις και καινοτομίες, με συνεισφορές επιστημονικών και επιχειρηματικών φορέων, αλλά και με την ανάπτυξη όλων των Μέσων του πεδίου της Οπτικής Επικοινωνίας, των εκδόσεων, καθώς και της βιομηχανίας της πληροφόρησης. (Πολίτης, 2013).

2.2.1. Ο όρος «Γραφικές Τέχνες» (ιστορική ανασκόπηση)

Οι «Γραφικές Τέχνες» αφορούν τις διαδικασίες της σχεδιαστικής, της διοικητικής, της τεχνολογικής, της παραγωγικής και της επιχειρηματικής δραστηριότητας που επιτρέπει την παραγωγή κάθε είδους έντυπου και στο σήμερα η εν λόγω προσέγγιση αναγνωρίζεται ως σημαντική παράμετρος για όλες τις επιχειρήσεις στους τομείς της επικοινωνίας, της διαχείρισης και της επεξεργασίας των πληροφοριών σε έντυπη και σε ηλεκτρονική μορφή. (Πολίτης, 2015). Ο όρος «Γραφικές Τέχνες» αξιοποιείται από το 18^ο αιώνα (1814), καθώς τότε εμφανίζονται οι καινοτόμες τεχνικές που προωθούν την ανάπτυξη της Τυπογραφίας, διαμορφώνοντας τον όρο ως «Γραφικές Τέχνες - Graphic Arts - Graphische Kuenste» (εικόνα 94). (Πολίτης, 2013) (Πολίτης, 2015).



Εικόνα 94. Η χρήση του όρου «Graphische Kuenste» στο έντυπο της Βασιλικής Ακαδημίας των Γραφικών Τεχνών και της Βιβλιοδεσίας της Λειψίας, το 1914.

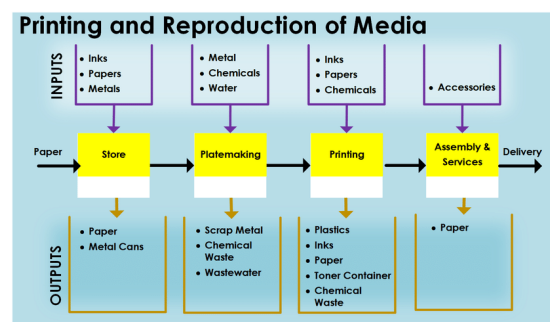
(πηγή:<https://www.ebay.de/itm/151931062364?srsId=AfmBOorM5hwUaMoOL0vAn79Q4pgTZJsnRsMqwcx4DAYz8Mj9eOSAlvE8>).

Ο όρος «Γραφικές Τέχνες» αποτελεί τον επικρατέστερο ορισμό που χρησιμοποιείται και στο σήμερα, καθώς προσδιορίζει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τις διαδικασίες της δημιουργικής σχεδίασης, της επιμέλειας των αρχείων/ δεδομένων / εγγράφων, των τεχνολογιών και των δομών της παραγωγής που συντελούν στη διαμόρφωση της αισθητικής άρτιας και ποιοτικά δόκιμης παρουσίαση του αρχείου που προορίζεται

για εκτύπωση, σε έντυπη και ηλεκτρονική μορφή. Ο όρος «Γραφικές Τέχνες» συνιστά σήμερα την πιο δόκιμη ορολογία στο πεδίο της διεθνούς και της εγχώριας, μιας και αξιοποιείται ως ο επικρατέστερος όρος στο πλαίσιο της βιομηχανίας, της εκπαίδευσης και της επιστημονικής έρευνας, καθώς αποτελεί έναν «οικουμενικά αποδεκτό όρο» που αξιοποιείται για να περιγράψει με τον πλέον δόκιμο τρόπο τον αρκετά σύνθετο κλάδο (με την έντονη οικονομική δυναμική) των εκτυπώσεων, των εκδόσεων, του τύπου, της τυπογραφίας και των τομέων της διαχείρισης και της επεξεργασίας όλων των Μέσων της Οπτικής Επικοινωνίας, των εκδόσεων, της βιομηχανίας της πληροφόρησης. (Πολίτης, 2013) (Πολίτης, 2015).

Σε διεθνές επίπεδο αξιοποιούνται και οι εξής όροι:

1. Graphic Arts
2. Print Media industry (εικόνα 95)
3. Graphic Communication
4. Printing and Publishing
5. Polygraphic
6. Polygraphie (Ανατολική Ευρώπη)
7. Druck – Medien (γερμανόφωνες χώρες). (Πολίτης, 2013) (Πολίτης, 2015).



Εικόνα 95. Process flow diagram for the printing and reproduction of media industry.

(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Process-flow-diagram-for-the-printing-and-reproduction-of-media-industry_fig22_340770054).

2.3 Η παραδοσιακή και η σύγχρονη δομή του κλάδου των Γραφικών Τεχνών

Η παραδοσιακή δομή του κλάδου αποτελεί ίσως το πιο σημαντικό τομέα της προώθησης της επιχειρηματικότητας και των επιχειρηματικών δραστηριοτήτων του δευτερογενούς τομέα / μεταποίησης, τόσο λόγω της μεγάλης κλίμακας ως προς το μέγεθος του και της επίδρασης του στα πεδία της επικοινωνίας, της διαφήμισης, της ενημέρωσης και της βιομηχανίας της πληροφόρησης. (Πολίτης, 2013) (Τροχούτσος, 2024). Η διάρθρωση της οικονομίας κάθε χώρας έγκειται στη σύγκλιση τριών τομέων τομείς παραγωγής, δηλαδή στον πρωτογενή, στον δευτερογενή και στον τριτογενή τομέα (εικόνα 96). Ο πρωτογενής τομέας περιλαμβάνει την παραγωγή των προϊόντων (αγαθών) που προέρχονται απευθείας από τη φύση (όπως φρούτα, γάλα, ξύλο, μέλι, ψάρια και κρέας) και περιλαμβάνει τη γεωργία, την κτηνοτροφία, την αλιεία και τη δασοκομία, ενώ η εξόρυξη κατά βάση εντάσσεται ή στον πρωτογενή τομέα ή στον δευτερογενή τομέα. (Ebooks.edu, 2026).

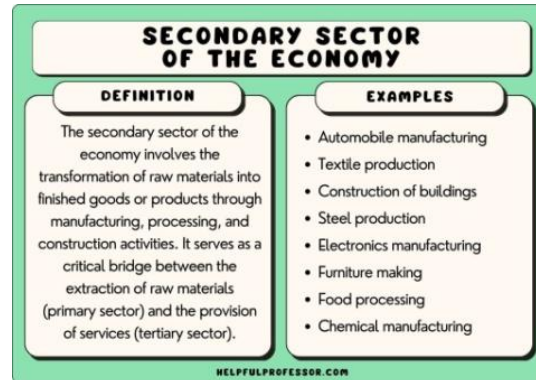


Εικόνα 96. Η διάκριση των τριών τομέων της παραγωγής.

(πηγή: <https://texngym.blogspot.com/2015/11/>).

Ο δευτερογενής τομέας (εικόνα 97) περικλείει την παραγωγή των προϊόντων που διαμορφώνονται μέσω της επεξεργασίας των προϊόντων του πρωτογενούς τομέα (όπως είναι το καθαρό μέταλλο που εξάγεται από το μέταλλευμα, το τυρί ή το γιαούρτι που παράγεται από το γάλα), περικλείοντας τη χειροτεχνία, τη βιομηχανία και τις κατασκευές. Ο τριτογενής τομέας (εικόνα 98) δε σχετίζεται με την παραγωγή προϊόντων (όπως συμβαίνει με τον πρωτογενή και το δευτερογενή τομέα), καθώς αφορά την παροχή υπηρεσιών για την κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών (όπως για την υγειονομική / φαρμακευτική περίθαλψη, τη νομική συμβουλευτική και την εκπαίδευση), ενώ περικλείει πολλά διαφορετικά πεδία εφαρμογής, όπως είναι οι

τομείς του εμπορίου, των μεταφορών, των επικοινωνιών, των χρηματοοικονομικών, του τουρισμού, των εξαγωγών και των εισαγωγών (προϊόντων και υπηρεσιών), σε διεθνές και σε εγχώριο επίπεδο. (Ebooks.edu, 2026).



Εικόνα 97. Ο δευτερογενής τομέας.

(πηγή: <https://helpfulprofessor.com/secondary-sector-of-economy-examples/>).



Εικόνα 98. Ο τριτογενής τομέας.

(πηγή: <https://www.geeksforgeeks.org/upsc/tertiary-sector/>).

Ο σύγχρονος κλάδος και η βιομηχανία των Γραφικών Τεχνών, των Εκτυπώσεων και της Συσκευασίας χαρακτηρίζεται από τον υψηλό βαθμό της αυτονομίας, καθώς διαθέτει εξειδικευμένα μηχανήματα, συστήματα και υλικά, αλλά και προμηθευτές και εξειδικευμένες επιχειρήσεις.(Πολίτης, 2013) (Τροχούτσος, 2024). Ο σύγχρονος κλάδος αποτελεί ένα αυτόνομο και εξειδικευμένο επιστημονικό και επιχειρηματικό πεδίο, με σημαντική δράση στην επεξεργασία και στην παραγωγή όλων των οπτικών και γραφικών μέσων επικοινωνίας, των εφαρμογών των ηλεκτρονικών ή κινητών μέσων, καθώς και των εφαρμογών του Διαδικτύου. (Σακκάτος, 2023).

Σύμφωνα με τους Γεωργιάδου & Πολίτης (2025), ο κλάδος αποτελεί το κύριο πεδίο εφαρμογής του δευτερογενούς τομέα / μεταποίησης, εσωκλείοντας τις επιχειρήσεις και τις διαδικασίες που αξιοποιούνται για την αναπαραγωγή κειμένων, εικόνων και γραφικών σε πολλά είδη υποστρωμάτων (χαρτί, πλαστικό, ύφασμα, μέταλλο και άλλα), ενώ η δραστηριότητα του κλάδου είναι βασικό τμήμα της παγκόσμιας οικονομίας, το οποίο προωθεί την ανάπτυξη των τομέων των εκδόσεων, της διαφήμισης, της εκπαίδευσης, της ασφάλειας, της συσκευασίας και άλλων παρόμοιων πεδίων δραστηριότητας. Η εξέλιξη του κλάδου λόγω της ανάπτυξης της ψηφιακής τεχνολογίας, οδηγεί σε υψηλά επίπεδα του βαθμού της αποτελεσματικότητας και της προσαρμογής, αλλά και σε μικρότερους χρόνους που απαιτούνται για την παραγωγή μιας ορισμένης εκτυπωτικής εργασίας. (Γεωργιάδου & Πολίτης, 2025).

Οι Γεωργιάδου & Πολίτης (2025) αναφέρουν πως αν και υπάρχουν σημαντικά προβλήματα και επιπτώσεις αναφορικά με την παραγωγή των παραδοσιακών ειδών των έντυπων στο φάσμα της ψηφιακής εποχής, η εκτυπωτική βιομηχανία παραμένει μέχρι σήμερα εύρωστη, ειδικά στους τομείς της συσκευασίας, των εκτυπώσεων μεγάλης κλίμακας (wide format printing) και στα πεδία των ειδικών εφαρμογών εκτύπωσης. (Γεωργιάδου & Πολίτης, 2025).

2.4. Η διαχείριση παραγωγής των έντυπων

Σύμφωνα με τους Γεωργιάδου & Πολίτης (2026), ο όρος «διαχείριση παραγωγής εντύπων» περιγράφει επαρκώς και με τον καλύτερο δυνατό τρόπο όλες τις λειτουργίες, τις διαδικασίες, αλλά και για τις διεργασίες που αξιοποιούνται για τη διαχείριση των εργασιών των εκτυπώσεων και των Γραφικών Τεχνών. Στο παρελθόν, η διαχείριση της παραγωγής εντύπων (εικόνα 99) αφορά την οργάνωση και τον προγραμματισμό των εργασιών της προεκτύπωσης, της εκτύπωσης και της μετεκτύπωσης εντός της συμβατικής / παραδοσιακής ροής εργασιών των Γραφικών Τεχνών. Στο σήμερα, η «διαχείριση της παραγωγής των εντύπων» (εικόνα 100) εντάσσεται σε νέα πεδία και έχει τα εξής γνωρίσματα:

- από τους καταναλωτές έως τις καινοτόμες τεχνολογίες
- από τα επιχειρηματικά μοντέλα στις διαδικτυακές εφαρμογές στο διαδίκτυο

- από τον αυτοματισμό των συστημάτων και των εφαρμογών του Industry 4.0
- από τα συστήματα για τη διαχείριση των πληροφοριών στα αντίστοιχα νέα επιχειρηματικά μοντέλα «web-to print». (Γεωργιάδου & Πολίτης, 2026).

Παραδοσιακή διαχείριση εργασιών γραφικών τεχνών για την παραγωγή εντύπων

- ΠΕΛΑΤΗΣ - ΑΙΤΗΜΑ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΤΥΠΟΥ
- ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ
- ΠΡΟΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ
- ΕΚΔΟΣΗ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ
- ΑΠΟΔΟΧΗ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΕΛΑΤΗ
- ΕΙΣΟΔΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ
- ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ - ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
- ΠΑΡΑΓΩΓΗ - ΠΡΟΕΚΤΥΠΩΣΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ ΠΕΡΑΤΩΣΗ
- ΜΕΤΑΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ - ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ
- ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗ

Εικόνα 99. Στιγμιότυπο με τη συμβατική διαχείριση εργασιών.

(πηγή: Γεωργιάδου & Πολίτης, 2026).

Η «διαχείριση της παραγωγής» όλων των μέσων της οπτικής επικοινωνίας σχετίζεται με το πεδίο των media και είναι σημαντική παράμετρος της διαχείρισης, της σχεδίασης και της παραγωγής των μέσων οπτικής επικοινωνίας, επισημαίνοντας πως στο σήμερα πρέπει να αναπτυχθεί μια νέα και συστηματική προσέγγιση για την ολιστική διαχείριση όλων των λειτουργιών, των διαδικασιών / εργασιών που αφορούν την παραγωγή των μέσων οπτικής επικοινωνίας. (Γεωργιάδου & Πολίτης, 2026).

Σύγχρονα χαρακτηριστικά της διαχείρισης παραγωγής εντύπων και ψηφιακών μέσων οπτικής επικοινωνίας

- Ηλεκτρονικό εμπόριο
- Παραγγελίες μέσω διαδικτύου
- Διεύρυνση της διαχείρισης παραγωγής σε περιβάλλον cross-media publishing
- Διαχείριση εργασιών Premedia
- Συστήματα Web-to-Print

Εικόνα 100. Στιγμιότυπο που παρουσιάζει τη σύγχρονη διαχείριση εργασιών.

(πηγή: Γεωργιάδου & Πολίτης, 2026).

Σε κάθε επιχείρηση Γραφικών Τεχνών παρατηρούνται και τα κάτωθι:

1. το εξωτερικό περιβάλλον, το οποίο σχετίζεται με:

- τον προσανατολισμό και τη θέση της επιχείρησης στην αγορά
- το σύνολο των συνεργατών – δικτύων συνεργασίας
- τα άτυπα δίκτυα και τους υπεργολάβους
- τους καταναλωτές, τους προμηθευτές και τον ανταγωνισμό

2. η εσωτερική δομή, η οργάνωση και η σωστή λειτουργία, τα οποία αφορούν:

- την ιδιοκτησία
- την ηγετική υπεροχή
- την επιχειρηματική νοημοσύνη
- τη δομή / οργάνωση
- τις λειτουργίες που σχετίζονται με τη διοίκηση και τη διαχείριση.
(Γεωργιάδου & Πολίτης, 2026).

Το σύνολο των μέσων και των πόρων μιας επιχείρησης του κλάδου σχετίζονται με το ανθρώπινο κεφάλαιο, τα μέσα και τους πόρους που αξιοποιούνται για τη διενέργεια της επιχειρηματικής και της παραγωγικής διαδικασίας, το μηχανολογικό εξοπλισμό και το σύνολο των παραγωγικών συστημάτων, τις υποδομές / εγκαταστάσεις, τα συστήματα επικοινωνίας και των μέσων μεταφοράς. Η διοίκηση και διαχείριση σχετίζονται με την οικονομική διαχείριση, το λογιστήριο, το σύνολο των τμημάτων της παραγωγής και των αποθηκών, καθώς και του προσδιορισμού της ροής εργασιών, των συστημάτων διαχείρισης της παραγωγής και των εργασιών, των συστημάτων της διαχείρισης των πληροφοριών και των δεδομένων των εργασιών, της διαχείρισης της αποθήκης, των υλικών και των πρώτων υλών, της διαχείρισης των προμηθευτών, της διοίκησης και της διαχείρισης της ποιότητας. (Γεωργιάδου & Πολίτης, 2026).

Το σύνολο των εργασιών που σχετίζονται με την οργάνωσης της παραγωγής εκκινούν με την ανάληψη των προς εκτέλεση εργασιών, την παραγγελία και τη προμήθεια των πρώτων υλών και των υλικών, τη διενέργεια προσδιορισμού των χρόνων παράδοσης (προθεσμία παραγωγής) των τελικών έντυπων, τη σχεδίαση της ροής της παραγωγής, του προσδιορισμού των χρόνων της παραγωγής, την κατανομή των εργασιών στις μηχανές, την ανάθεση των εργασιών στα τμήματα της παραγωγής, την εποπτεία της

ροής της παραγωγής των εργασιών καθ' όλη τη διαδικασία της παράγωγης, τη διασφάλιση της δόκιμης «περάτωσης» των εργασιών, τη διανομή των παραχθέντων (τελικών) προϊόντων εντός των χρονοδιαγραμμάτων που ορίζονται εκ των προτέρων, τη συλλογή των δεδομένων που αφορούν την παραγωγή για μια ορισμένη εργασία αναφορικά με το χρονικό πλαίσιο της παραγωγής και την κατανάλωση των υλικών, καθώς και τη διαβίβαση τους στο λογιστήριο. (Γεωργιάδου & Πολίτης, 2026).

Στην εικόνα 101 παρουσιάζεται το σύνολο των εργασιών που αφορά τη διαχείριση της παραγωγής των έντυπων, ενώ κάθε σύστημα προγραμματισμού της παραγωγής συγκροτείται μέσω τυποποιημένων εντύπων ή μέσω εξειδικευμένου λογισμικού, εντός των οποίων καταγράφεται κάθε διενέργεια του εκάστοτε τμήματος και τα εν λόγω εργαλεία περικλείουν οδηγίες, προδιαγραφές και ενημερώσεις για τα δεδομένα που προκύπτουν από τη γραμμή παραγωγής. Τα δεδομένα που συλλέγονται είναι χρήσιμα για την κοστολόγηση και την τιμολόγηση της εκάστοτε εργασίας, για την ενημέρωση των αποθηκών και των προμηθευτών, για την παραγγελία των πρώτων υλών και των υλικών, ενώ η διεξαγωγή της στατιστικής ανάλυσης των δεδομένων επιτρέπει και τον έγκαιρο εντοπισμό τους, την ανίχνευση ενδεχόμενων αδυναμιών ή των ελλειμμάτων ή των σημείων «συμφόρησης» της παραγωγής, επιτρέποντας τη διεξαγωγή βελτίωσης και αναδιοργάνωσης. (Γεωργιάδου & Πολίτης, 2026).

Εργασίες στη διαχείριση της παραγωγής του εντύπου

- Ανάλυση, ταξινόμηση και περιγραφή επεξεργασίας των πρωτοτύπων (Κείμενα, Εικόνες, Γραφικά, Μακέτες).
- Επιλογή σχήματος αναπαραγωγής / μηχανής εκτύπωσης.
- Παραγγελία χαρτιού εκτύπωσης.
- Προσδιορισμός αριθμού τυπογραφικών φύλλων.
- Προσδιορισμός προεκτυπωτικής επεξεργασίας.
- Αριθμός αναπαραγωγών – βηματοεπανάληψης.
- Αριθμός εκτυπωτικών πλακών.
- Επιλογή τρόπου μοντάζ και εκτύπωσης (Τούμπα γωνία, τούμπα δόντια).
- Προσδιορισμός βιβλιοδετικών εργασιών (κοπές, διπλώσεις, σύνθεση λοιπές εργασίες).

Εικόνα 101. Στιγμιότυπο με τις εργασίες στη διαχείριση της παραγωγής του έντυπου.

(πηγή: Γεωργιάδου & Πολίτης, 2026).

Τα δεδομένα επίσης δίνουν σημαντικά στοιχεία για τη λειτουργία του εξοπλισμού, την ορθή κατανομή του ανθρώπινου κεφαλαίου στη διαδικασία της παραγωγής,

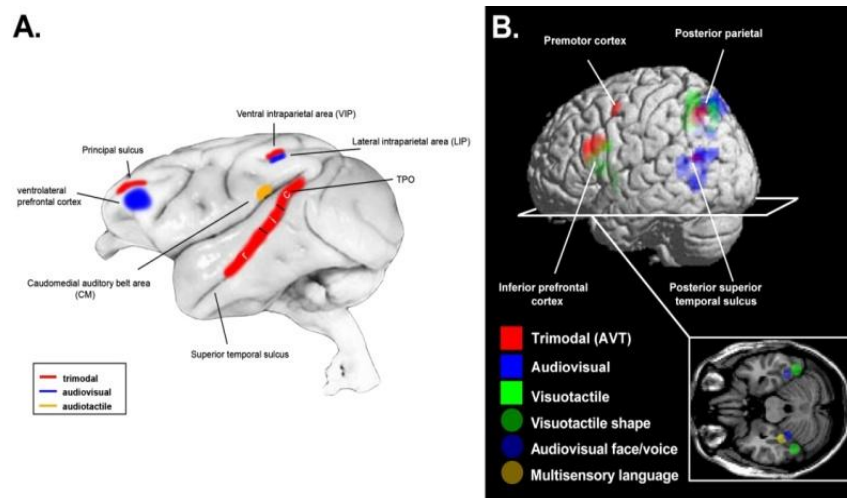
σκιαγραφώντας καίριες παραμέτρους για το σύνολο των νεκρών χρόνων (χρόνων αδράνειας, διακοπής λειτουργίας), των χρόνων προετοιμασίας και του καθαρού χρόνου της παραγωγής. Τα δομικά στοιχεία του συστήματος του προγραμματισμού της παραγωγής διαμορφώνονται βάσει της συγκεκριμένης παραγωγικής διαδικασίας και βάσει της ροής της παραγωγής (workflow) αυτά συμπληρώνονται από το τμήμα των πωλήσεων και του προγραμματισμού, από τους υπεύθυνους ή τα τμήματα της παραγωγής, ενώ η δομή τους πρέπει να διαθέτει λιτότητα, συνοχή, λακωνικότητα και να περικλείει μόνο απαραίτητα δεδομένα που συμπληρώνονται με ευκολία. Η σχεδίαση των δομικών στοιχείων του συστήματος (έντυπης ή ηλεκτρονικής μορφής), οφείλει να διαμορφώνεται με τρόπο που να επιτρέπεται η ορθή ταξινόμηση, η απρόσκοπτη, και αποτελεσματική καταγραφή, η επεξεργασία όλων των δεδομένων που αφορούν την παραγωγή, η μελέτη σχεδίασης του συστήματος προγραμματισμού της παραγωγής είναι μια σημαντική στρατηγική. (Γεωργιάδου & Πολίτης, 2026).

2.5. Η εκτύπωση ως το κεντρικό στάδιο για την παραγωγή των έντυπων

Η εκτύπωση, η περάτωση / φινιρίσμα και η συσκευασία (printing, finishing & packaging) είναι οι καίριοι πυλώνες που επιτρέπουν την αποτελεσματική επικοινωνία των εμπορικών σημάτων, των προϊόντων και των υπηρεσιών. Στο πλαίσιο της συμβατικής δομής της βιομηχανίας των έντυπων, η εκτύπωση αποτελεί το πιο βασικό «προϊόν» που χρησιμοποιείται ως «αναπόσπαστο και καίριο στοιχείο της διαδικασίας της επικοινωνίας». Η αλληλεπίδραση μεταξύ των έντυπων και των ψηφιακών μέσων (print & digital media) στο σήμερα προάγει νέες και πολύ διαφοροποιημένες μορφές επικοινωνίας που αξιοποιούνται ανά περίπτωση για την προώθηση, τη διαφήμιση και τις πωλήσεις των προϊόντων και των υπηρεσιών. (Politis, 2019).

Οι νέες τεχνολογίες του φινιρίσματος σε συνδυασμό με τις καινοτόμες εφαρμογές της εκτύπωσης, συγκροτούν το πλαίσιο του επανομαζόμενου μοντέλου της «Υβριδικής Επικοινωνίας» (Hybrid Communication model). Στόχος αυτού του μοντέλου είναι η δόκιμη «διέγερση» και ενεργοποίηση ενός «πολυδιάστατου φάσματος» αναφορικά την έκφανση της «αισθητικής απόκρισης και αντίληψης» του καταναλωτή, που είναι γνωστό ως «multisensory activation - interplay» (εικόνα 102), ενώ διαμορφώνεται μέσω της ενσωμάτωσης των χρωμάτων, των οπτικών δεδομένων και των γραφικών

στοιχείων, των οσμών και των απτικών ερεθισμάτων στα τελικά έντυπα (color, visual elements, olfactory and haptic stimuli onto printed products). (Politis, 2019).



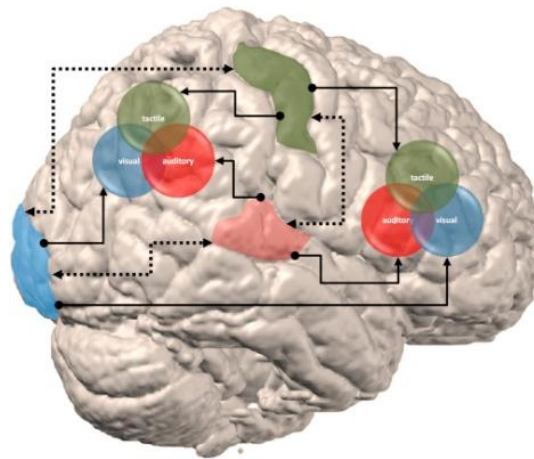
Εικόνα 102. Multisensory Interplay Reveals Crossmodal Influences on 'Sensory-Specific' Brain Regions, Neural Responses, and Judgments.

(πηγή: <https://www.cell.com/neuron/fulltext/S0896-6273%2807%2901019-7>).

Αν και η όραση αντιπροσωπεύει την «κύρια δίοδο» για την παρατήρηση και την αντίληψη των πληροφοριών, τα διαφορετικά και διαφοροποιημένα ερεθίσματα που υφίστανται στο φυσικό και στο ψηφιακό περιβάλλον του σύγχρονου ανθρώπου χαρακτηρίζονται συνήθως στις περισσότερες περιπτώσεις ως «πολύ αισθητηριακά» (multimodal). (Marucci et al., 2021) (Driver & Noesselt, 2008). Η επονομαζόμενη «πολύ αισθητηριακή ενοποίηση ή ενσωμάτωση» (multisensory integration), όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 103, αντιπροσωπεύει τη διαδικασία μέσω της οποίας ο ανθρώπινος εγκέφαλος συνδυάζει τις πληροφορίες που προέρχονται από πολλά και κατά βάση ανεξάρτητα, αλλά την ίδια στιγμή «χρονικά ευθυγραμμισμένα σήματα – ερεθίσματα», τα οποία προέρχονται από πολλές «αισθητηριακές εκφάνσεις» (όπως η όραση ή η ακοή), οι οποίες διαμορφώνονται σε μια «συνεκτική αναπαράσταση της ευρύτερης δομής της ανθρώπινης αισθητηριακής απόκρισης». (Marucci et al., 2021).

Η ενοποίηση των οπτικών και των ακουστικών ερεθισμάτων, η οποία προκύπτει λόγω του φαινομένου της επονομαζόμενης «χώρο χρονικής σύμπτωσης» (spatio temporal concurrence), μπορεί στις περισσότερες περιπτώσεις να ενισχύει επιπλέον

τις «νευρωνικές αποκρίσεις» του ανθρώπινου εγκεφάλου, ενώ η «ενισχυμένη» (δηλαδή η «πολύ αισθητηριακή») ενεργοποίηση αντανακλάται στο επίπεδο της ανθρώπινης συμπεριφοράς και της ανθρώπινης αντίληψης. Τα «πολύ τροπικά» (multimodal) ερεθίσματα, είναι γνωστά και ως «πολύ αισθητηριακά ερεθίσματα», προκαλούν αρκετά ταχύτερες και ακριβέστερες «νευρωνικές και αισθητηριακές» αποκρίσεις σε σύγκριση με την επονομαζόμενη «αθροιστική πιθανότητα της σύγκλησης δύο μόνο αισθητηριακών ερεθισμάτων» και μειώνουν σημαντικά τους «χρόνους καθυστέρησης της οπτικής αναζήτησης», όχι αποκλειστικά και μόνο όταν παρέχουν κάποια «χωρική πληροφορία», αλλά και όταν βρίσκονται στην ίδια θέση παρουσιάζοντας οπτικούς στόχους. (Marucci et al., 2021).



Εικόνα 103. Multisensory Integration (MSI).

(πηγή: https://web.education.wisc.edu/edneurolab/?page_id=2263).

Η εν λόγω συνθήκη υπογραμμίζει πως η «πολύ αισθητηριακή ενοποίηση» μπορεί να ενισχύσει την ικανότητα της ανίχνευσης του επονομαζόμενου «ερεθίσματος – στόχου» (stimuli – target), μιας και οι άνθρωποι μέσω της ενεργοποίησης των μηχανισμών του φυσικού και βιολογικού φορέα, δηλαδή μέσω των μηχανισμών του «αυτόνομου νευρικού συστήματος» (ως συνέργεια του συμπαθητικού και του παρασυμπαθητικού συστήματος) του ανθρώπινου σώματος, το οποίο αν και κατά βάση ρυθμίζει τις ακούσιες λειτουργίες του σώματος, επιδρά σημαντικά και στον τρόπο με τον οποίον προσλαμβάνει και επεξεργάζεται ο άνθρωπος τα περισσότερα «αισθητηριακά ερεθίσματα» μέσω των μηχανισμών των αισθητηρίων οργάνων και

έτσι διαμορφώνεται η έκφανση της «αισθητηριακής αντίληψης». (Marucci et al., 2021) (MGI/Konica Minolta, 2021).

Η «αισθητηριακή αντίληψη» τροφοδοτεί και συγκροτεί την απόκριση του αισθητήριου οργάνου της ανθρώπινης νόησης, καθώς επιτρέπει την «αντανάκλαση της πολύ αισθητηριακής απόκρισης» μέσω του ανθρώπινου εγκεφάλου. (Marucci et al., 2021) (MGI/Konica Minolta, 2021). Αν η προαναφερθείσα προσέγγιση ιδωθεί από την οπτική γωνία του κλάδου του μάρκετινγκ, τότε θα πρέπει να γίνει αναφορά στην ανάπτυξη των νέων ψηφιακών τεχνικών της επονομαζόμενης «απτικής εκτύπωσης», η οποία προσδιορίζεται στα αγγλικά ως «haptic printing» ή ως «tactile printing» (εικόνες 104 και 105). (MGI/Konica Minolta, 2021).



Εικόνα 104. Παράδειγμα του “haptic printing”.

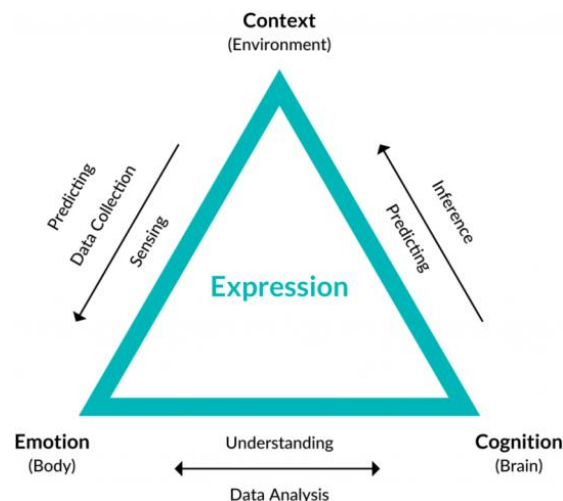
(πηγή: <https://tocco.earth/article/huafeng-haptic-coating-technology>).



Εικόνα 105. Ενδεικτικό παράδειγμα του tactile printing.

(πηγή: <https://www.watermarx.net/good-news-tactile-printing/>).

Οι εν λόγω «απτικές» κατηγορίες εκτύπωσης επιτρέπουν το γεγονός το να μπορέσουν να διαμορφωθούν πιο ενδιαφέρουσες, πρωτότυπες και σε αρκετές περιστάσεις πιο διαδραστικές και αποτελεσματικές μέθοδοι για τη βέλτιστη ή την εναλλακτική εμπορική προώθηση όλων των μηνυμάτων ενός εμπορικού σήματος (brand), αλλά και την ανάπτυξη «εγγύτερων σχέσεων» ως προς τα επίπεδα της εξυπηρέτησης και της ικανοποίησης εκ μέρους των πελατών. Ο όρος «haptics» μπορεί να προσδιοριστεί στα ελληνικά ως «απτική ικανότητα» (εικόνα 106) και αναφέρεται στη διέγερση της αίσθησης της αφής, η οποία ενεργοποιείται κυρίως μέσω της απτικής αντίληψης (μέσω της ψηλάφησης) των φυσικών (απτών) επιπρόσθετων χαρακτηριστικών των επονομαζόμενων «έντυπων» ερεθισμάτων. (MGI/Konica Minolta, 2021).



Εικόνα 106. Tactile behavior (expression) is modulated by the relationship between emotional feelings (body), cognition (brain), and context (environment).

(πηγή: <https://www.immersion.com/what-are-haptics/>).

Το «haptic printing» μπορεί να προσδιοριστεί ως μια εναλλακτική και καινοτόμος διαδικασία εκτύπωσης, η οποία επιχειρεί κατά βάση να αναβαθμίσει το φάσμα των συμβατικών δυνατοτήτων της «παραδοσιακής απόδοσης» (αποτύπωσης) της μελάνης και του χαρτιού στα έντυπα, διαμορφώνοντας έτσι τη δίοδο για τη μετάβαση σε νέες «τρισδιάστατες υφές, μοτίβα και ειδικά εφέ», ενώ συχνά αυτά συνοδεύονται και από επιπλέον νέες «πολύ αισθητηριακές» βελτιώσεις στα έντυπα, όπως είναι τα μεταλλικά φύλλα, οι χημικές επικαλύψεις, αλλά και οι μεμβράνες πλαστικοποίησης (metallic foils, chemical coatings & lamination films). (MGI/Konica Minolta, 2021).

Η εκτύπωση και οι συναφείς τεχνολογίες έχουν σημαντικό ρόλο και στη διανομή των προϊόντων και στην προώθηση των πωλήσεων, όπου η συσκευασία λειτουργεί ως κύριος και αναπόσπαστος παράγοντας της έννοιας της «αποτελεσματικής εμπορικής προώθησης». Η επονομαζόμενη «ολιστική προσέγγιση του σχεδιασμού των ειδών της συσκευασίας» (holistic packaging design) συνιστά μια πολυδιάστατη ενσωμάτωση των δεδομένων ενός ορισμένου προϊόντος συσκευασίας, των προδιαγραφών των εμπορικών σημάτων και της συγκρότησης ενός «ολιστικού στρατηγικού πλαισίου πρωτοβουλιών» του κλάδου του μάρκετινγκ, οι οποίες σχετίζονται κατά βάση με το προϊόν και διαμορφώνονται σύμφωνα με τα συνεχώς εξελισσόμενα χαρακτηριστικά / τάσεις των καταναλωτών και της παγκόσμιας εκτυπωτικής αγοράς. (Politis, 2019).

Στη συμβατική δομή του κλάδου, το κεντρικό στάδιο για τη δημιουργία ενός έντυπου είναι εκτύπωση, δηλαδή η μετατροπή των επεξεργασμένων πρωτοτύπων σε αντίτυπα, ενώ οι τομείς των τεχνικών και παραγωγικών επεξεργασιών είναι οι εξής:

1. Προεκτύπωση: διαδικασίες πριν την εκτύπωση

- Τυπογραφικός σχεδιασμός και επιμέλεια του εντύπου
- Επεξεργασία κειμένων, εικόνων και σελίδων
- Έξοδος δεδομένων σε φιλμ, ή εκτυπωτική πλάκα
- Φωτομεταφορά, κατασκευή εκτυπωτικών πλακών ή κυλίνδρων

2. Εκτύπωση: με τις κάτωθι κύριες κατηγορίες της βιομηχανικής εκτύπωσης

- Λιθογραφία - Όφσετ
- Βαθυτυπία
- Φλεξογραφία
- Μεταξοτυπία
- Ψηφιακή Εκτύπωση
- Εκτύπωση Ταμπόν

- Ξηρά όφσσετ

3. Μετεκτύπωση - Περάτωση: τα τυπωμένα φύλλα / ρόλοι, μετατρέπονται σε «ολοκληρωμένα έντυπα» και οι κύριες διαδικασίες είναι οι εξής:

- Βιβλιοδεσία (βιομηχανική ή καλλιτεχνική)
- Κυτιοποιία
- Επεξεργασία χαρτιού - χαρτονιού και λοιπών υποστρωμάτων.
- Ειδικές εργασίες Γραφικών Τεχνών. (Πολίτης, 2013).

Η σύγχρονη ψηφιακή εποχή χαρακτηρίζεται από τη σύμπλευση των έντυπων και των ηλεκτρονικών μέσων στην παγκόσμια παραγωγή των έντυπων και των συσκευασιών, συντελώντας στη διαμόρφωση πολλών διαφορετικών εφαρμογών πολυμέσων, διαφημιστικών δαπανών, αλλά και στη διανομή τους σε διαφορετικά μέσα, στην εισχώρηση της διαφήμισης στο Διαδίκτυο, στα νέα επιχειρηματικά μοντέλα και στις επενδύσεις στη βιομηχανία του χαρτιού, του μηχανολογικού εξοπλισμού και των εκτυπωτικών συστημάτων. (Πολίτης, 2013) (Politis, 2018).

2.6. Οι κύριες εκτυπωτικές μέθοδοι

Η εκτύπωση είναι η βασική μεταποιητική διαδικασία του κλάδου των Γραφικών Τεχνών - Εντυπώσεων, αντιπροσωπεύοντας την τεχνική διαδικασία στο πλαίσιο της οποίας τα πρωτότυπα που επεξεργάζονται σε μακέτες και φιλμ, μεταφέρονται στις εκτυπωτικές πλάκες ή στους κυλίνδρους και αποτυπώνονται (εκτυπώνονται) μέσω της χρήσης των μελανιών και της άσκηση πίεσης επί των διαφορετικών τύπων των υποστρωμάτων. Η εκτύπωση (ως διαδικασία) αξιοποιείται κατά βάση για την παραγωγή ενός μεγάλου αριθμού αντίτυπων (ορίζεται ως μεγάλο τираζ) μιας ορισμένης εκτυπωτικής εργασίας, ενώ τα πρωτότυπα που επεξεργάζονται σε μορφή ψηφιακού αρχείου, μεταφέρονται σε πλάκες / κυλίνδρους και τυπώνονται μέσω των εκτυπωτικών μηχανών και των μελανιών στα υποστρώματα, με την αξιοποίηση των κύριων εκτυπωτικών τεχνολογιών. (Τροχούτσος, 2025).

Οι εκτυπώσεις διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- καλλιτεχνικές εκτυπώσεις (ως αποτύπωση του «καλλιτεχνικού γίνεσθαι»)
- παραγωγικές εκτυπώσεις (ως οι κατηγορίες που διαμορφώνουν το σύνολο των προϊόντων των Γραφικών Τεχνών). (Γεωργιάδου & Πολίτης, n.d.).

Οι καλλιτεχνικές εκτυπώσεις περιλαμβάνουν κατά βάση τη λιθογραφία (lithography), τη χαλκογραφία (etching), τη ξυλογραφία (woodcut) και τη μεταξοτυπία (screenprint), ενώ οι παραγωγικές εκτυπώσεις διαφέρουν σημαντικά από τις καλλιτεχνικές, μιας και έχουν πολύ μεγαλύτερο αριθμό συνολικού τираζ και επίσης διαφοροποιούνται και βάσει της τεχνικής της κατασκευής της εκτυπωτικής μήτρας ως εξής:

- επίπεδη πλάκα στη μέθοδο της εκτύπωσης όφσετ
- κύλινδρος στη βαθυτυπία
- εύκαμπτη πλάκα στη φλεξογραφία
- τελάρo στη μεταξοτυπία. (Γεωργιάδου & Πολίτης, n.d.).

Οι παραγωγικές εκτυπώσεις είναι η «βασική μεταποιητική διαδικασία» του κλάδου που επιτρέπει τη μεταφορά των πρωτοτύπων που έχουν ήδη επεξεργαστεί (σε ψηφιακές μακέτες ή / και φιλμ) στις πλάκες ή στους κυλίνδρους και στη συνέχεια η εκτύπωση γίνεται μέσω της χρήσης των εκτυπωτικών μελανιών και της εφαρμογής πίεσης επί των υποστρωμάτων, για την παραγωγή πολλών αντιτύπων μιας ορισμένης εργασίας, μόνο από μια πλάκα ή κύλινδρο. Στο σύνολο των παραγωγικών εκτυπώσεων αξιοποιούνται τα εξής:

- Μηχανή ή σύστημα εκτύπωσης
- Εκτυπωτική πλάκα
- Μηχανισμός πίεσης
- Εντυπωτικά Μελάνια
- Εκτυπωτικό υπόστρωμα. (Γεωργιάδου & Πολίτης, n.d.).

Όλα όσα αξιοποιούνται στις συμβατικές εκτυπωτικές μεθόδους, διαφοροποιούνται σε κάποια σημεία στην περίπτωση της ψηφιακής εκτύπωσης, όπου δε γίνεται χρήση της εκτυπωτικής πλάκας, ενώ η επιλογή μιας μεθόδου έναντι μιας άλλης σχετίζεται με το είδος του υποστρώματος και με τον αριθμό των αντίτυπων (τιράζ) που πρέπει να παραχθεί σε μια ορισμένη εργασία. Οι εκτυπωτικές μέθοδοι κατατάσσονται σύμφωνα με τη μορφή της πλάκας (εικόνα 107), στα κάτωθι είδη:

1. Ανάγλυφες πλάκες (Υψιτυπία)

- υψιτυπικές μέθοδοι (τυπογραφία και φλεξογραφία)
- το μέρος της εκτυπωτικής πλάκας ή του κυλίνδρου που εκτυπώνει βρίσκεται υψηλότερα από τα υπόλοιπα μέρη της πλάκας ή του κυλίνδρου

2. Επίπεδες πλάκες (Επιπεδοτυπία)

- επιπεδοτυπικές μέθοδοι (λιθογραφία όφσσετ και μεταλλοτυπία)
- οι μη εκτυπούμενες θέσεις της πλάκας βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο

3. Εσώγλυφες πλάκες (Βαθυτυπία)

- βαθυτυπικές μέθοδοι (βαθυτυπία και εκτύπωση ταμπόν)
- το μέρος της πλάκας που τυπώνει είναι πιο χαμηλά από την επιφάνεια της πλάκας ή του κυλίνδρου (είναι χαραγμένο στην πλάκα ή στον κύλινδρο)

4. Διάτριτες πλάκες (Διατυπία)

- η πλάκα έχει ένα πλαίσιο που συγκρατείται μέσω πλέγματος/γάζας (τελάρο) και οι θέσεις του πλέγματος που πρόκειται να τυπωθούν είναι διαπερατές από τα μελάνια. (Γεωργιάδου & Πολίτης, n.d.).

Οι εκτυπωτικές μέθοδοι μπορούν να κατανεμηθούν σε κατηγορίες και σύμφωνα με το αν η εκτυπωτική πλάκα ή ο κύλινδρος έρχεται σε επαφή ή όχι με το εκτυπωτικό υπόστρωμα, ως εξής:

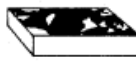
1. Άμεση εκτύπωση

- η πλάκα ή ο κύλινδρος είναι σε άμεση επαφή με το υπόστρωμα και το θέμα που έχει η πλάκα είναι μη αναγνώσιμο, δηλαδή είναι αντεστραμμένο, για να τυπωθεί ως αναγνώσιμο στο υπόστρωμα
- η μεταξοτυπία αν και είναι άμεση εκτύπωση, το θέμα (stencil) που έχει στην πλάκα (τελάρο) είναι αναγνώσιμο, αντίθετα με τις άλλες μεθόδους

2. Έμμεση εκτύπωση

- ένα ενδιάμεσο σύστημα υποδοχής του θέματος και της μεταφοράς των μελανιών βρίσκεται μεταξύ της πλάκας ή κύλινδρου και του υποστρώματος, μιας και το θέμα που έχει η είναι αναγνώσιμο, μεταφέρεται στον ενδιάμεσο κύλινδρο ως μη αναγνώσιμο για να αποτυπωθεί ως αναγνώσιμο στο υπόστρωμα. (Γεωργιάδου & Πολίτης, n.d.).

Original Graphic Arts Processes:

PROCESS:	RELIEF	INTAGLIO	PLANOGRAPHIC	STENCIL
Common Name:	(A) Woodcut Linocut Embossing (B) Wood Engraving	Engraving Drypoint Mezzotint Etching Aquatint	Lithograph	Serigraph (Silkscreen)
	COLLOGRAPH			
				
What area prints:	Prints what is left of the original surface	Prints what is below the surface of the plate	Prints what is drawn on the surface	Prints open areas of the stencil
Type of Press:	(A) Household tabletop press (B) Washington Press or Letterpress	Etching Press (Clotheswinger type)	Litho Press (Sliding, scraping pressure)	Original Serigraphs are usually hand screened
				
Materials:	(A) Plank-grain wood Linoleum (B) End-grain wood	Copper Zinc Plastics, etc.	Limestone Zinc Aluminum Plates, etc.	Silk Organdy Nylon, etc.
Basic Tools:	Knife Gouge Burin, etc.	Etching Needles Burners Acids Grounds, etc.	Litho Crayon Tusche Litho Rubbing Ink, etc.	Squeegee Screen Mylar Glue Tusche, etc.

Εικόνα 107. Η ταξινόμηση των εκτυπωτικών μεθόδων βάσει της εκτυπωτικής πλάκας.

(πηγή: <https://printworlddirectory.com/content/glossary.html>).

Οι εκτυπωτικές μηχανές εντάσσονται στις εξής κατηγορίες:

- μηχανές που τυπώνουν μόνο ένα χρώμα μελανιού (μονόχρωμες)

- μηχανές που τυπώνουν πάνω (από ένα) μελάνια (δίχρωμες, τετράχρωμες, εξάχρωμες, δωδεκάχρωμες)
- αμφίπλευρες μηχανές που τυπώνουν την ίδια στιγμή και στις δύο πλευρές
- μηχανές φύλλων ή ρολών χαρτιού. (Γεωργιάδου & Πολίτης, n.d.).

Σε όλους τις μεθόδους, το κάθε χρώμα τυπώνεται σε μια βασική μονάδα που είναι γνωστή ως πύργος και περικλείει ένα σύστημα μελάνωσης, ένα σύστημα πίεσης, ένα σύστημα μεταφοράς του υποστρώματος και την εκτυπωτική πλάκα. Κατά τη διαδικασία της εκτύπωσης τα πρωτότυπα, τα οποία επεξεργάζονται στο στάδιο της προεκτύπωσης, μεταφέρονται στις πλάκες ή στους κυλίνδρους και εκτυπώνονται μέσω των εξής κύριων εκτυπωτικών μεθόδων:

1. Offset
2. Ξηρη offset
3. Τυπογραφία
4. Μεταλλοτυπία
5. Βαθυτυπία
6. Φλεξογραφία
7. Μεταξοτυπία
8. Εκτύπωση ταμπον
9. Ψηφιακή εκτύπωση. (Γεωργιάδου & Πολίτης, n.d.).

2.7. Τα έντυπα ως κύριο προϊόν και ο κλάδος της Συσκευασίας

Τα έντυπα ως τα βασικά προϊόντα των Γραφικών Τεχνών, κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με το Kirrhan (2001) με γνώμονα του ποια είναι η συχνότητας έκδοσης, στις εμπορικές εκτυπώσεις (με υψηλή συχνότητα έκδοσης) και στα έντυπα που

τυπώνονται σε ειδικές παρτίδες (με ορισμένη ή περιορισμένη συχνότητα έκδοσης, όπως είναι οι κατάλογοι, τα φυλλάδια και οι κάρτες). Οι βασικές κατηγορίες των έντυπων είναι τα βιβλία, οι εφημερίδες, τα περιοδικά, οι διαφημιστικές έντυπες καταχωρίσεις, τα φυλλάδια και οι κατάλογοι (εικόνα 108). (Politis, 2004). Άλλες κατηγορίες έντυπου υλικού είναι οι αφίσες, τα ημερολόγια, τα εισιτήρια, τα έντυπα ασφαλείας, οι ετικέτες, οι χάρτες και άλλες συναφείς κατηγορίες διαφημιστικών και εμπορικών φυλλαδίων. (Πολίτης, 2013) (Πολίτης, 2015).

Κατηγορίες εντύπων

Κατηγορία	Τύποι Εντύπων	Παράδειγμα / Περιγραφή	Σύγχρονη Χρήση
Βιβλία	Λογοτεχνικά, Εκπαιδευτικά, Επιστημονικά	Κλασική ή ψηφιακή έκδοχή	Print-on-demand, e-books με έντυπη έκδοση
Εφημερίδες	Ημερήσιες, Εβδομαδιαίες, Τοπικές, Διεθνείς	Παραδοσιακές και περιοδικές εκδόσεις	Συνδυασμός με online περιεχόμενο, διαδραστικές σελίδες
Περιοδικά / Magazines	Lifestyle, Μόδα, Επιχειρήσεις, Τεχνολογία	Glossy ή ψηφιακά έντυπα	Διαδραστικά PDF, QR για video ή AR περιεχόμενο
Φυλλάδια / Brochures	Ενημερωτικά, Τουριστικά, Διαφημιστικά	Τυπωμένα ή ψηφιακά	Interactive brochures, personalization με δεδομένα χρήστη
Κατάλογοι / Catalogues	Προϊόντων ή υπηρεσιών	Κατάλογοι εμπορικών brands	Digital catalogs, e-commerce συνδεδεμένα
Αφίσες / Posters	Εκδηλώσεων, Διαφημιστικές, Εκπαιδευτικές	Τοίχου ή standee	QR codes, AR integration, eco-friendly υλικά
Κάρτες	Επαγγελματικές, Πρόσκλησης, Ευχετήριες	Τυπικές ή premium	NFC / smart cards, personalized designs
Συσκευασίες & Ετικέτες	Προϊόντων, Τροφίμων, Ποτών, Φαρμάκων κ.ά.	Τυπωμένες με γραφικά	Smart packaging με NFC/QR, eco-friendly υλικά
Pop-up / 3D έντυπα	Παιδικά βιβλία, Εκπαιδευτικά, Προωθητικά	Κινοούμενα ή τρισδιάστατα στοιχεία	Marketing campaigns, premium διαφημιστικά
Digital print-on-demand	Βιβλία, Portfolio, Κατάλογοι	Τυπώνονται κατά παραγγελία	Μείωση αποθεμάτων, custom περιεχόμενο
Custom art books / Portfolio books	Designers, Φωτογράφοι, Καλλιτέχνες	Premium έντυπα	Portfolio, limited edition, high-end presentations
Διαδραστικά έντυπα / Interactive print	Flyers, Brochures, Magazines	QR, AR, embedded video	Modern marketing, experiential campaigns
Eco-friendly έντυπα	Βιβλία, Brochures, Packaging	Ανακυκλώσιμα ή βιοδιασπώμενα υλικά	Sustainability projects, green branding

Εικόνα 108. Στιγμιότυπο με τις κατηγορίες των εντύπων.

(πηγή: Γεωργιάδου & Πολίτης, 2025).

Ο κλάδος της συσκευασίας είναι ένας πολύ σημαντικός τομέας παραγωγής, ο οποίος αντιπροσωπεύει το 55% της παγκόσμιας έντυπης παραγωγής. (Πολίτης, 2013). Η Συσκευασία και οι Γραφικές Τέχνες είναι σε παγκόσμια εμβέλεια δύο αυτόνομοι κλάδοι που περιλαμβάνουν επιχειρήσεις, υλικά και προμηθευτές, αλλά και οι κατασκευαστές των μηχανημάτων, του εξοπλισμού, του λογισμικού και των παραγωγικών συστημάτων. (Politis, 2004) (Πολίτης, 2023). Οι κύριες κατηγορίες των επιχειρήσεων του κλάδου στην Ελλάδα είναι οι εξής:

- μικρές επιχειρήσεις Γραφικών Τεχνών (τυπογραφεία, λιθογραφεία)
- επιχειρήσεις παροχής υπηρεσιών Γραφικών Τεχνών και επικοινωνίας

- επιχειρήσεις προεκτύπωσης ή εκτύπωσης
- βιβλιοδετεία
- εταιρείες που ειδικεύονται στη φλεξογραφία ή στη βαθυτυπία
- κυτιοποιίες
- μεταξοτυπίες (με υψηλό επίπεδο εξειδίκευσης)
- επιχειρήσεις λαμινάρισματος και επίστρωσης βερνικιών
- εταιρείες επεξεργασίας του χαρτιού και του χαρτονιού. (Ιωαννίδου, 2024)
(Σακκάτος, 2023).

Υπάρχουν και μεμονωμένοι ιδιώτες που παρέχουν συμπληρωματικές υπηρεσίες, οι οποίες είναι βασικό τμήμα μέρος της παραγωγής των Γραφικών Τεχνών, όπως είναι τα διαφημιστικά γραφεία ή οι επιχειρήσεις, τα δημιουργικά γραφεία, οι γραφίστες και οι φωτογράφοι, οι κατασκευαστές υλικών και εξοπλισμού, οι αντιπροσωπεΐες και οι πωλητές μηχανημάτων, εξοπλισμού και υλικών, αλλά και οι βιομηχανίες κατασκευής και διανομής μηχανημάτων, εξοπλισμού, υλικών. (Σακκάτος, 2023). Στο σήμερα ο κλάδος βρίσκεται μέσα σε μια πάρα πολύ έντονη μετασχηματιστική φάση που εντείνεται από τις καινοτομίες των τεχνολογιών, υποδηλώνοντας έτσι τη μετάβαση από τη χειροκίνητη / χειρωνακτική επεξεργασία στη σύγχρονη και πολύ επίπεδη βιομηχανική παραγωγή. (Ιωαννίδου, 2024).

Το λήμμα «Graphic Arts» περιγράφει σήμερα τον επιστημονικό και τεχνολογικό κλάδο που εστιάζει στη μελέτη του design, στην επιμέλεια και διαχείριση της ροής εργασιών, αλλά και στην οργάνωση και περάτωση της παραγωγής. Η πραγματική έννοια του γνωστικού αντικείμενου των Γραφικών Τεχνών σχετίζεται με το σύνολο όλων των παραμέτρων που αφορούν τη μελέτη του design, τη διαχείριση της διοικητικής και της επιχειρηματικής υποδομής των επιχειρήσεων του κλάδου, αλλά και τις τεχνολογικές και τις βιομηχανικές μεθόδους και πρακτικές της παραγωγής, τα οποία αποτελούν διαχρονικά τις βασικές διενέργειες της παραγωγής του δευτερογενούς τομέα. (Ιωαννίδου, 2024).

Ο κλάδος περικλείει τα εξής στάδια:

- δημιουργικό στάδιο (στάδιο γραφιστικής σχεδίασης - Graphic Design)
- στάδιο της προεκτύπωσης
- στάδιο της εκτύπωσης
- στάδιο της μετεκτύπωσης /περάτωσης, το οποίο περιλαμβάνει τη βιβλιοδεσία, τη κυτιοποιία, τη σχεδίαση, την παραγωγή ετικετών, την επεξεργασία χάρτινων ή άλλων ειδών υποστρωμάτων και τις ειδικές εργασίες περάτωσης. (Σακκάτος, 2023).

2.8 Επιστήμη και Τεχνολογία

Ο Κλάδος, η Επιστήμη και η Τεχνολογία των Γραφικών Τεχνών, των Εκτυπώσεων και της Συσκευασίας διαφοροποιούνται επί του παρόντος λόγω της ενσωμάτωσης των τεχνολογικών καινοτομιών και των εφαρμογών της επονομαζόμενης «εποχής της πληροφορίας» (Information Age), που παρουσιάζεται στις εικόνες 109 και 110), δηλαδή της επονομαζόμενης «ψηφιακής εποχής» (Digital Age). (Biscontin, 2025) (Dewey, 2024). Η «εποχή της πληροφορίας» χαρακτηρίζεται από την ταχεία και ευρεία διάδοση της γνώσης μέσω της αξιοποίησης των επιτευγμάτων των πεδίων της επικοινωνίας και της ψηφιακής τεχνολογίας, καθώς τα δεδομένα που παράγονται, μπορούν να διαμοιράζονται με μεγάλη ευελιξία και είναι εύκολα στην πρόσβαση, μέσω της επικράτησης των ηλεκτρονικών υπολογιστών, αλλά και της τεχνολογίας και των εφαρμογών του Διαδικτύου. (TeachThought, 2023).

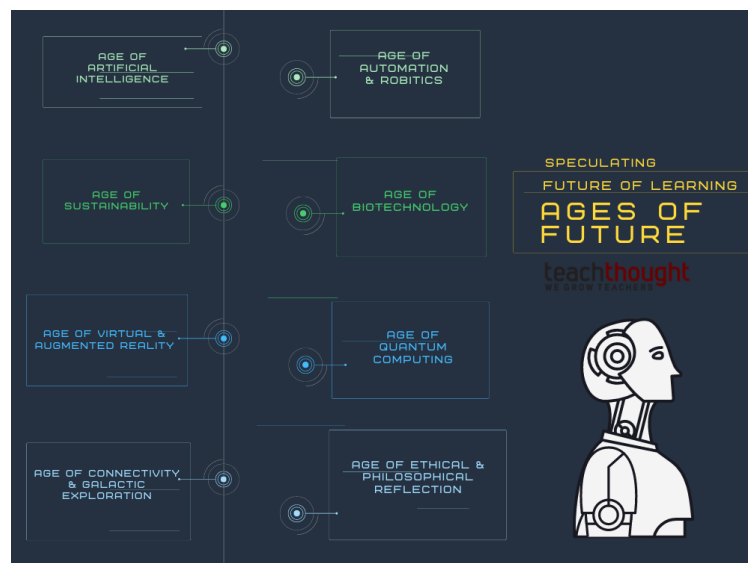
Η «εποχή της πληροφορίας» συντελεί στο να αναπτυχθούν διάφορες κοινωνικές, πολιτισμικές, οικονομικές και πολιτικές αλλαγές, ενώ επίσης σχετίζεται και με την ανάδυση νέων και πολύ σημαντικών προκλήσεων αναφορικά με την προστασία των δεδομένων, την «υπερφόρτωση» των πληροφοριών και την «αξιοπιστία» των σύγχρονων διαδικτυακών πηγών. (TeachThought, 2023). Οι «αυτοματοποιημένες ψηφιακές τεχνολογίες και εφαρμογές» δεν αξιοποιούνται στη σύγχρονη εποχή αποκλειστικά και μόνο για τη συμβατική μεταφορά και την επεξεργασία των

πληροφοριών / δεδομένων ενός αρχείου που προορίζεται για εκτύπωση σε ένα ορισμένο υπόστρωμα. (Dewey, 2024).



Εικόνα 109. Impacts of the information age on Society.

(πηγή: <https://www.knowcomputing.com/impacts-of-information-age-on-society/>).



Εικόνα 110. Τα στάδια της εξελικτικής προόδου της εποχής της πληροφορίας.

(πηγή: <https://www.teachthought.com/the-future-of-learning-posts/what-comes-after-the-information-age/>).

Αυτό επισημαίνει πως η σύγχρονη δομή του κλάδου εσωκλείει ένα μεγάλο σύνολο αρκετά σύνθετων και διαφοροποιημένων διαδικασιών αναφορικά με την ανάληψη και τη διαχείριση των παραγγελιών των πελατών, αλλά και όλων των διοικητικών και

των διαχειριστικών διαδικασιών που σχετίζονται με τις προδιαγραφές και τα ειδικά στοιχεία που πρέπει να διαθέτει το τελικό έντυπο, καθώς και την εκτύπωση και τη διαχείριση των δεδομένων της εργασίας, τη διοικητική οργάνωση και την οικονομική διαχείριση της επιχείρησης, την κοστολόγηση της εκτυπωτικής εργασίας, την οργάνωση της παραγωγής και τη διαχείριση των τεχνικών και των τεχνολογικών διαδικασιών. (Ιωαννίδου, 2024).

Οι τεχνικές και οι τεχνολογικές διαδικασίες αφορούν το επονομαζόμενο «στάδιο του ιδεασμού» (δηλαδή τη «σύλληψη» της σχεδιαστικής ιδέας) και τη γραφιστική σχεδίαση, την επιμέλεια και τη σχεδίαση της παραγωγής, την προεκτύπωση, την κατασκευή των πλακών / κυλίνδρων (για τις μη ψηφιακές εκτυπώσεις), την εκτύπωση, την τελική επεξεργασία και τη δημιουργία ορισμένου αριθμού αντιτύπων. (Σακκάτος, 2023).

Σύμφωνα με το Nils Enlund (2013), *«το ακαδημαϊκό και το επιστημονικό πεδίο της τεχνολογίας των Γραφικών Τεχνών συνιστά μια τεχνική επιστήμη που παρουσιάζει μια εκτεταμένη γκάμα διαφορετικών τεχνολογιών και παραγωγικών διαδικασιών που αποσκοπούν στη συλλογή και προσαρμογή των δεδομένων για τη βιομηχανική παραγωγή σε μαζική κλίμακα, τη μέτα-επεξεργασία και μετάδοση των πληροφοριών, η οποία στο παρελθόν είναι σε έντυπη μορφή (κυρίως σε χαρτί) και σήμερα κυρίως σε ψηφιακή μορφή»*. (Enlund, 2013) (Ιωαννίδου, 2024). Η επιστημονική και η τεχνολογική έκφραση της έννοιας του όρου των «Γραφικών Τεχνών» αφορά τον εκτεταμένο και πολύ σημαντικής αξίας τομέα παροχής υπηρεσιών και παραγωγής όλων των προϊόντων του τομέα της Οπτικής Επικοινωνίας, γεγονός που κρίνει το σύγχρονο κλάδο των Γραφικών Τεχνών, των Εκτυπώσεων και της Συσκευασίας σε ένα πολύ σύνθετο τομέα παραγωγής, ο οποίος έχει ως βασικά πεδία εφαρμογής τους τομείς των τεχνών, των βιομηχανιών, της επιχειρηματικής δράσης και της επιστημονικής και της εφαρμοσμένης έρευνας. (Σακκάτος, 2023).

Τα πιο βασικά επιστημονικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα των «Γραφικών Τεχνών» προσδιορίζονται με τη βοήθεια της χρήσης ενός νέου λήμματος που προσδιορίζει τον κλάδο ως «Επιστήμες των Γραφικών Τεχνών, των Εκτυπώσεων και της Συσκευασίας» (Graphic Arts & Packaging Sciences), εσωκλείοντας έτσι και τα πεδία της μηχανικής (engineering). (Σακκάτος, 2023). Σύμφωνα με τον Enlund (2013), *«Οι*

Επιστήμες των Γραφικών Τεχνών, των Εκτυπώσεων και της Συσκευασίας, αναφέρονται σε πολλές και πάρα πολύ διαφορετικές τεχνολογίες και παραγωγικές διαδικασίες, που αξιοποιούνται για να επιτευχθεί η προετοιμασία, η προσαρμογή, η διαχείριση, η μαζική βιομηχανική παραγωγή, η μετα-επεξεργασία, ο διαμοιρασμός των πληροφοριών, ενώ περιλαμβάνουν και τις τεχνολογίες των υλικών, τη σχεδίαση των περιεκτών, της ανώτερης εξειδίκευσης επεξεργασίες και μορφοποιήσεις όλων των ψηφιακών αρχείων, τις εκτυπώσεις, στις περατώσεις και στις ειδικές εργασίες της Συσκευασίας». (Enlund, 2013).

2.9. Χαρακτηριστικά: Σύγχρονος Κλάδος, Βιομηχανία – Επιχειρήσεις

Ο σύγχρονος κλάδος είναι ένα «αυτόνομο και πολύ εξειδικευμένο επιστημονικό και επιχειρηματικό πεδίο», που διαθέτει πολύ καίριο ρόλο στην επεξεργασία και στην παραγωγή των οπτικών και γραφικών μέσων επικοινωνίας, μέσω της εφαρμογής των ηλεκτρονικών ή των κινητών μέσων, αλλά και της τεχνολογίας και των εφαρμογών του Διαδικτύου. (Πολίτης, 2013) (Politis, 2018). Το κέντρο έρευνας, ανάπτυξης και εκπαίδευσης, εκτυπώσεων και γραφικής επικοινωνίας PackPrint Science (2024) αναφέρει πως η πολύ υψηλή αξία και σημασία των κλάδων της Συσκευασίας, των Εκτυπώσεων και των Γραφικών Τεχνών, στην εξέλιξη της παραγωγής και της επιχειρηματικότητας, μπορεί να αναδειχθεί μέσω της ευρείας χρήσης των βασικών εκτυπωτικών μεθόδων (δηλαδή της όφσσετ, της φλεξογραφίας, της βαθυτυπίας, της μεταξοτυπίας, της ξηρής όφσσετ και της ψηφιακής εκτύπωσης) για την παραγωγή πολλών διαφορετικών έντυπων, που τυπώνονται σε μαζική παραγωγή. Αυτό επίσης συντελεί και στην αναπτυξιακή πρόοδο της αγροτικής παραγωγής, του τουρισμού, της πολιτισμικής ανάκαμψης σε εγχώρια κλίμακα και ενισχύει σημαντικά και τις εξαγωγές εγχώριων προϊόντων στη διεθνή αγορά. (PackPrint Science, 2024).

Οι πάρα πολλές και πολύ διαφοροποιημένες εκτυπωτικές μέθοδοι, σε συνδυασμό με τις συνεχώς τροποποιημένες τάσεις των καταναλωτών, οδηγούν και στη διαμόρφωση νέων πεδίων ειδίκευσης και νέων επιχειρήσεων που αναλαμβάνουν όλους τους τομείς (στάδια) της παραγωγής. (Πολίτης, 2013) (Πολίτης, 2015). Οι τεχνολογικές εξελίξεις συγκροτούν ένα «νέο επιστημονικό και τεχνολογικό τομέα εφαρμογής», στο πλαίσιο του οποίου οι «Γραφικές Τέχνες» αφορούν πλέον την επεξεργασία των έντυπων και

των ηλεκτρονικών μέσων και εσωκλείονται στο γενικευμένο πλαίσιο που σχετίζεται με τη διαχείριση και την επεξεργασία των δεδομένων / πληροφοριών, αλλά και με την επονομαζόμενη «βιομηχανία της επικοινωνίας». (Πολίτης, 2015). Τα κύρια πεδία εφαρμογής σχετίζονται κατά βάση με τους τομείς των εκδόσεων, της διαφήμισης, της συσκευασίας, ενώ η συμβατική κατάταξη των διακριτών σταδίων της παραγωγής, όπως αναφέρεται και ανωτέρω, χωρίζεται, στα τρία διακριτά στάδια της προεκτύπωσης, της εκτύπωσης και της μετεκτύπωσης. (Politis, 2004).

Ο Politis (2004) αναφέρει πως ένας αρκετά μεγάλος αριθμός πολλών παραδοσιακών επιχειρήσεων επικεντρώνεται κατά βάση σε ένα τομέα παραγωγής μιας και αυτό είναι η πιο αποτελεσματική και επικερδής επιλογή, που δε προϋποθέτει την ύπαρξη διαφορετικών μηχανημάτων για την παραγωγή πολλών διαφορετικών ειδών έντυπου υλικού. Οι επιχειρήσεις όμως που καλύπτουν όλα τα στάδια της παραγωγής, δηλαδή αυτές που εκτός από τη διεκπεραίωση των εκτυπωτικών εργασιών, προσφέρουν και άλλες επιπρόσθετες υπηρεσίες, όπως είναι η σχεδιαστική επιμέλεια των έντυπων, η κατασκευή ιστοσελίδων και άλλα παρεμφερή είδη υπηρεσιών. (Politis, 2004).

Σύμφωνα με τους Γεωργιάδου & Πολίτης (2025), η πλειοψηφία των Ελληνικών επιχειρήσεων είναι οι «μικρές ή οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις - βαθμού κεφαλαίου και επιπέδου γνώσης», οι οποίες χρίζουν την ανάγκη του να υπάρχει και η παρουσία ενός υψηλού αριθμού κεφαλαίου και επίσης προϋποθέτουν και την παρουσία ενός πολύ «εξειδικευμένου ανθρώπινου κεφαλαίου» για να επιτευχθεί με αποτελεσματικό τρόπο η εύρωστη λειτουργία τους, παρουσιάζοντας όμως αρκετά διαφορετικό βαθμό εξειδίκευσης ως προς τη ροή της παραγωγής (των εντύπων και των ηλεκτρονικών μέσων). Οι Γεωργιάδου & Πολίτης (2025) αναφέρουν πως ο κλάδος των Γραφικών Τεχνών και της Εκτυπωτικής βιομηχανίας είναι «διευρυμένος» και αναπτύσσεται συνεχώς λόγω της ανάπτυξης και της επικράτησης των νέων τεχνολογιών και των καινοτόμων εφαρμογών, όπως είναι το AI. (Γεωργιάδου & Πολίτης, 2025).

Ο πυρήνας της σύγχρονης εκτυπωτικής βιομηχανίας (εικόνα 111) απαρτίζεται από τα τεχνικά και τα παραγωγικά επαγγέλματα (των σταδίων της προεκτύπωσης, της εκτύπωσης και της μετεκτύπωσης), ενώ τα υπόλοιπα εντάσσονται γύρω από το πεδίο των Γραφικών Τεχνών και του design, λειτουργώντας πλέον στο σήμερα «παράλληλα ή συνδυαστικά» με την εκτύπωση, καθώς η βάση όλων είναι η εκτύπωση, ενώ το

δημιουργικό / διαφημιστικό τμήμα είναι πάντα σε συνεργασία με την παραγωγή και οι βιομηχανίες υποστήριξης τροφοδοτούν τον κλάδο με χαρτί, μηχανές, λογισμικό (software), υλικά και αλλά και έτσι η ενσωμάτωση του AI συντελεί σε σημαντικό βαθμό και στην επίτευξη των στόχων / σκοπών της προώθησης της καινοτομίας και του υψηλού αυτοματισμού της παραγωγής. (Γεωργιάδου & Πολίτης, 2025).

	ΣΤΑΔΙΟ	Επαγγέλματα / Οργανισμοί
Graphic Design Δημιουργικό	Δημιουργία περιεχομένου	Γραφίστας, Εικονογράφος, Φωτογράφος, Σχεδιαστής Σελιδοποίησης, Επιμελητής κειμένων, Motion Graphics Designer, Video Editor, UX/UI Designer, 3D Designer
	Μάρκετινγκ & Επικοινωνία	Διαφημιστικά γραφεία/εταιρίες, Media Agencies, Brand Consultants, Ειδικοί κοστολόγησης
Printing Industry (Πυρήνας Παραγωγής)	Προεκτύπωση	Prepress Specialist (χρωματική διαχείριση, PDF management), Χειριστής CTP, Χειριστής RIP
	Εκτύπωση	Τυπογράφος, Λιθογράφος/Χειριστής εκτυπωτικών μηχανών (Offset, Flexo, Digital κ.ά.)
	Μετεκτύπωση	Βιβλιοδέτης, Ειδικός Φινιρίσματος (Finishing Specialist), Τεχνικός Εκτύπωσης Συσκευασίας και Ετικετών (Packaging & Label Printing Technician)
	Τεχνική Υποστήριξη	Τεχνικός συντήρησης εκτυπωτικών μηχανών
Βιομηχανία & Υποστηρικτικοί Κλάδοι	Υλικά	Βιομηχανίες χαρτιού, χαρτονιού & εκτυπωτικών υποστρωμάτων
	Μηχανές & Εξοπλισμός	Κατασκευαστικές εταιρίες μηχανολογικού εξοπλισμού, Προμηθευτές εκτυπωτικών υλικών & μηχανών
	Software & Hardware	Παραγωγοί λογισμικού DTP, ροής εργασιών (workflow), χρωματικής διαχείρισης κ.ά, καθώς και hardware (εκτυπωτές, 3D printers κ.ά.)
AI & Νέες Τεχνολογίες	Δημιουργία Περιεχομένου	AI Prompt Designer/Generative AI Visual Designer (ειδικός στη δημιουργία prompts για εικόνες, layouts, γραφικά μέσω AI, DALL-E, Midjourney, Stable Diffusion)
	Αυτοματισμός & Ανάλυση	Τεχνικός Αυτοματισμού Προεκτύπωσης με Τεχνητή Νοημοσύνη (AI Prepress Automation Specialist), Τεχνικός Προληπτικής/Προγνωστικής Συντήρησης (Predictive Maintenance Technician)
	Data & Branding	Data-driven Designer, Σύμβουλος Μάρκετινγκ και Branding που αξιοποιεί τεχνητή νοημοσύνη για στρατηγικές και καινοτομία (AI Marketing & Branding Consultant)
	Νέες "Εκτυπώσεις"	Χειριστής 3D Printers, AR/VR Visual Designer με AI

Εικόνα 111. Στιγμιότυπο με τον κεντρικό πυρήνα της σύγχρονης εκτυπωτικής βιομηχανίας.

(πηγή: Γεωργιάδου & Πολίτης, 2025).

2.10. Έρευνα, ανάπτυξη και εξελίξεις

Η εκτυπωτική διαδικασία είναι αρχικά μια απόλυτα χειρωνακτική διαδικασία και στο σήμερα αναφέρεται σε ένα «σύνθετο και σημαντικό επιστημονικό και τεχνολογικό γνωστικό πεδίο». (Σακκάτος, 2023). Αν και η εξελικτική πρόοδος εντείνεται μέσω της ενσωμάτωσης των νέων τεχνολογικών καινοτομιών και των συστημάτων και προωθείται λόγω της επικράτησης των ψηφιακών μεθόδων επεξεργασίας, ο όρος «Γραφικές Τέχνες» μέχρι σήμερα σχετίζεται και με τις πολύ σημαντικές έννοιες της «τυπογραφίας», της εκτύπωσης, των εκδόσεων, της «Γραφικής Επικοινωνίας», της λιθογραφίας και της εκτυπωτικής βιομηχανίας. (Πολίτης, 2013).

Οι τεχνολογικές εξελίξεις και οι καινοτομίες μετατρέπουν ριζικά το σύνολο των μεθοδολογιών της σχεδίασης, της διαχείρισης, της διοίκησης και της παραγωγής και η πιο σημαντική παράμετρος του εν λόγω μετασχηματισμού συνδέεται άμεσα με την εφαρμογή της επονομαζόμενης «βασικής και εφαρμοσμένης έρευνας» (fundamental & applied research) σε διάφορους κλάδους, οδηγώντας έτσι και σε σημαντικές εξελίξεις στην τυπογραφία και στο ρόλο της στο σύνολο των ψηφιακών μέσων, στις τεχνολογίες και στις καινοτομίες των βασικών τάσεων των Γραφικών Τεχνών, στις βιομηχανίες των εκτυπώσεων και της συσκευασίας, αλλά και στο «ψηφιακό μετασχηματισμό της παραγωγής» μέσω της αξιοποίησης των τεχνολογιών και των εφαρμογών της «Βιομηχανίας 4.0» και της 3D εκτύπωσης, στο πεδίο της επονομαζόμενης «βιομηχανικής εκτύπωσης» (Industrial Printing). (Politis, 2018).

Όλα τα δεδομένα που αναφέρονται ανωτέρω οδηγούν και σε ένα πολύ σημαντικό συμπέρασμα, το οποίο αφορά την αναγκαιότητα του προσδιορισμού της θέσης και του ρόλου των Γραφικών Τεχνών στην επονομαζόμενη «μεταβιομηχανική κοινωνία» (post-industrial society), ενώ οι πιο σημαντικές εξελίξεις στο πεδίο της έρευνας των Γραφικών Τεχνών, των Εκτυπώσεων και της συσκευασίας, συντελεί και στην ανάπτυξη νέων προσεγγίσεων αναφορικά με τον τρόπο λειτουργίας και παραγωγής των βιομηχανιών και των επιχειρήσεων του κλάδου, καθώς υπάρχουν πλέον αρκετές νέες απαιτήσεις που αφορούν την εκπαίδευση και κατάρτιση όλων των εργαζομένων και των επιχειρήσεων του κλάδου. (Politis, 2018).

Οι βασικές κατηγορίες των καινοτόμων εφαρμογών αφορούν τα κάτωθι:

- υιοθέτηση των υβριδικών τεχνολογιών εκτύπωσης ως συνδυασμός μεθόδων εκτύπωσης (όφσσετ και ψηφιακή εκτύπωση, φλεξογραφία και μεταξοτυπία)
- ενσωμάτωση των υβριδικών τεχνολογιών εκτύπωσης και φινιρίσματος ως συνδυασμός της εκτύπωσης και της μετεκτύπωσης
- χρήση νέων υλικών (χρήση φθορίζοντων υποστρωμάτων)
- εφαρμογή εκτυπώσεων με διαδραστικό περιεχόμενο που είναι τυπωμένο ηλεκτρονικά, ετικέτες RFID και NFC, εκτυπώσεις χρωμο-θερμοκρασιακών δεικτών (thermo/time indicators). (Politis, 2019).

Στις καινοτόμες εφαρμογές εκτύπωσης εντάσσονται τα εξής:

- χρήση του AR για εκτυπώσεις με interactive δεδομένα
- εκτύπωση μεταβλητών δεδομένων (Variable Data Printing - VDP)
- εκτυπώσεις με τη χρήση 6,7 ή 8 χρωμάτων
- εκτύπωση ειδικών εφέ (μοτίβα μωσαϊκού)
- ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών στα πεδία της ψηφιακής εκτύπωσης σε υφάσματα. (Politis, 2019).

Οι εξελίξεις των τεχνολογιών των περατώσεων περικλείουν τα εξής:

- κοπή με καλούπια (die-cutting)
- δημιουργία ανάγλυφων (embossing)
- εφαρμογές χρυσοτυπίας (hot & cold foil)
- θερμομεταφορά (thermotransfer)
- καλανδράρισμα (calendaring)
- εφαρμογή τοπικού βερνικιού (spot)
- χρήση των εφέ μεταλλοποίησης (metallization effects)
- εφαρμογή νέων τεχνολογιών επίστρωσης των ειδικών βερνικιών για τη δημιουργία οσμής στα έντυπα. (Politis, 2019).

Ανάμεσα στις κύριες, καινοτόμες εφαρμογές εντάσσονται η λειτουργική εκτύπωση (functional printing), η λειτουργική συσκευασία (functional packaging) και η τρισδιάστατη εκτύπωση, ενώ οι καινοτομίες που δίνουν επιπλέον αξία στα προϊόντα της Γραφικής επικοινωνίας, των εκτυπώσεων και της συσκευασίας είναι αποτέλεσμα της εστιασμένης έρευνας σε νέες τεχνολογίες και υλικά, οι οποίες είναι πάρα πολύ σημαντικά επιτεύγματα του πεδίου της μηχανολογικής ανάπτυξης των «Επιστήμων των Γραφικών Τεχνών, των Εκτυπώσεων και της Συσκευασίας» (Politis, 2019).

Σύμφωνα με τους Γεωργιάδου & Πολίτης (2025), το σύγχρονο πεδίο των Γραφικών Τεχνών σχετίζεται με τις εξής παραμέτρους:

- Ανταγωνισμός από τα νέα ψηφιακά μέσα
- Ψηφιακό και αυτοματοποιημένο πλαίσιο σε όλο το φάσμα της παραγωγής
- Προσανατολισμός στον πελάτη και νέες ολιστικές υπηρεσίες branding, marketing και design
- Φιλική προς το περιβάλλον και βιώσιμη συνείδηση, καθώς είναι αναγκαίο να αξιοποιούνται οικολογικά υλικά και διαδικασίες
- Καινοτομία και ευελιξία, χάρη στις νέες τεχνολογίες (AR, AI, 3D printing)
- Διεθνές και ανταγωνιστικό περιβάλλον, το οποίο απαιτεί νέες δεξιότητες και συνεχείς επενδύσεις στην ανάπτυξη του ανθρώπινου κεφαλαίου, αλλά και της προώθησης της τεχνολογίας. (Γεωργιάδου & Πολίτης, 2025).

Οι παράμετροι που σκιαγραφούν τη δομή και τα χαρακτηριστικά του κλάδου των Γραφικών Τεχνών – Εκτυπώσεων σχετίζονται με τις εξής παραμέτρους:

1. Ανταγωνισμός από τα νέα ψηφιακά μέσα
 - η παραδοσιακή εκτύπωση αντιμετωπίζει έντονο ανταγωνισμό από τα ψηφιακά κανάλια επικοινωνίας
 - υπάρχει επικράτηση από social media, websites, mobile apps και ψηφιακά διαφημιστικά μέσα
 - τα έντυπα διατηρούν την αξία τους, αλλά οφείλουν να συνδυάζονται με τις νέες ψηφιακές στρατηγικές του marketing, τα QR codes, το interactive print ή τις AR / VR εμπειρίες
2. Πλήρης επικράτηση ψηφιακού περιβάλλοντος στις παραγωγικές διαδικασίες
3. Βασική προϋπόθεση να αξιοποιούνται τα σύγχρονα ψηφιακά εργαλεία και τα συστήματα διαχείρισης παραγωγής (MIS - Management Information Systems)

4. Η προεκτύπωση, η εκτύπωση, το φινιρίσμα και η διανομή παρακολουθούνται ψηφιακά, με πλήρη αυτοματοποίηση, προγνωστική συντήρηση (predictive maintenance) και αναφορά σε πραγματικό χρόνο (real-time reporting)
5. Η ψηφιοποίηση συντελεί στην ενίσχυση της ακρίβειας της ταχύτητας της παραγωγής και του υψηλού βαθμού της ευελιξίας (προσαρμοστικότητας) ως προς την αντιμετώπιση των ειδικών παραγγελιών ή των μικρών τираζ
6. Νέος προσανατολισμός των επιχειρήσεων
 - οι επιχειρήσεις μετασχηματίζονται από τις «συμβατικές και καθαρά παραγωγικές μονάδες» σε «επιχειρήσεις παροχής περισσότερο ολιστικών υπηρεσιών οπτικής επικοινωνίας»
 - όλα τα ανωτέρω προσφέρουν νέες υπηρεσίες στους τομείς των «branding», «packaging design», «digital content», «marketing consulting», αλλά και των νέων ειδών των «integrated campaigns»
 - επίσης αναπτύσσονται τμήματα πωλήσεων, μάρκετινγκ και σχέσεων με τους πελάτες, καθώς η επιχείρηση αναγνωρίζεται ως ο κύριος στρατηγικός συνεργάτης των πελατών
7. Προσαρμογή σε νέες τεχνολογίες και τάσεις
 - 3D Printing και ειδικές εκτυπώσεις: ανάπτυξη premium προϊόντων, prototyping, λειτουργική εκτύπωση (industrial & functional printing)
 - AR και «Interactive Print»: τα έντυπα οφείλουν πλέον να μπορούν να συνδέονται με το ψηφιακό περιεχόμενο για να παρέχουν άμεσα στους καταναλωτές μια πιο «εμπλουτισμένη εμπειρία»
 - «AI και Data-driven design»: αναφέρεται στα σύγχρονα AI εργαλεία σχεδιασμού, στην αυτοματοποίηση του layout, στη φιλοσοφία του «marketing personalization» και σε συναφή χαρακτηριστικά
8. «Sustainability», «Πράσινες τεχνολογίες» και «Κυκλική Οικονομία»

- «Eco-friendly» υλικά - διαδικασίες: αξιοποιούνται ανακυκλώσιμα χαρτιά, βιοδιασπώμενα μελάνι, επιχειρείται η εξοικονόμηση ενέργειας
- «Green branding»: αναφέρεται σε μια νέα στρατηγική προσέγγιση με πολύ «υψηλή φιλικότητα» προς το περιβάλλον, παρέχοντας έτσι ένα πολύ σημαντικό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα

9. Ευελιξία και εξατομίκευση (customization)

- Print-on-demand, μικρά τιράζ: καθώς στο σήμερα προτιμώνται τα μικρά αποθέματα και η παραγωγή γίνεται μόνο όταν χρειάζεται
- Προσωποποιημένα έντυπα (targeted personalized marketing)

10. Παγκοσμιοποίηση και δίκτυα διασύνδεσης (Globalization & Networking)

- Υψηλός διεθνής ανταγωνισμός: ο οποίος εντείνει την ανάγκη για την ποιοτική παραγωγή και να υφίσταται μια νέα φιλοσοφία αναφορικά με το branding, η οποία να μπορεί να ξεχωρίζει διεθνώς
- Νέα δίκτυα διασύνδεσης ως συνεργασίες μεταξύ των freelancers, των agencies και των πλατφορμών: έχει ως κύρια και βασική προϋπόθεση να υπάρχει ένα ευέλικτο ανθρώπινο δυναμικό και να γίνεται ανάθεση των εξειδικευμένων υπηρεσιών σε εξωτερικούς φορείς (outsourcing)

11. Εκπαίδευση και νέες δεξιότητες

- Η φιλοσοφία του «Cross-skilling»: οι σχεδιαστές και οι επαγγελματίες του κλάδου πρέπει να γνωρίζουν τα νέα εργαλεία και δεδομένα που αφορούν τους τομείς των marketing, UX, ψηφιακών εργαλείων
- Συνεχής Εκπαίδευση – Κατάρτιση (Continuous learning): καθώς οι ταχείες και ραγδαίες εξελίξεις της τεχνολογίας απαιτούν να υφίσταται και η διαρκής ενημέρωση, εκπαίδευση, επιμόρφωση και κατάρτιση του ανθρώπινου κεφαλαίου. (Γεωργιάδου & Πολίτης, 2025).

2.11 Εφαρμογή AI σε εκτυπώσεις και ψηφιακός μετασχηματισμός

Οι μετασχηματιστικές αλλαγές του κλάδου σε παγκόσμια εμβέλεια, εντείνονται από την ανεξέλεγκτη ανάπτυξη των τεχνολογιών των πληροφοριών, των οποίων η εφαρμογή προσδιορίζει το πλαίσιο του Industry 4.0 και συντελεί στην εξέλιξη του κλάδου των Γραφικών Τεχνών-Εκτυπώσεων και του τρόπου της λειτουργίας των αλυσίδων εφοδιασμού. Το Industry 4.0, που συχνά συνδέεται με την έννοια της επονομαζόμενης «έξυπνης παραγωγής» (smart manufacturing), αναφέρεται στο ψηφιακό μετασχηματισμό του κλάδου, ο οποίος χαρακτηρίζεται από τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο (real-time decision-making), την ενίσχυση της παραγωγικότητας (enhanced productivity) και τα υψηλά επίπεδα της ευελιξίας και της προσαρμογής (agility) της παραγωγής, της απόδοσης, αλλά και της διανομής των τελικών προϊόντων. (Ιωαννίδου, 2024). Το Industry 4.0 αφορά τη χρήση του AI (εικόνες 112 και 113) και του ML (εικόνα 114), ενώ υπάρχουν και άλλες εννέα τεχνολογίες που επιτρέπουν την ανάπτυξη των επονομαζόμενων «αυτόνομων και ευφών βιομηχανικών μονάδων της παραγωγής» (autonomous & smart industries). (IBM, 2021) (Vyawahare & Sonawwanay, 2021).



Εικόνα 112. Trending AI Tools for Printing Business in 2026.

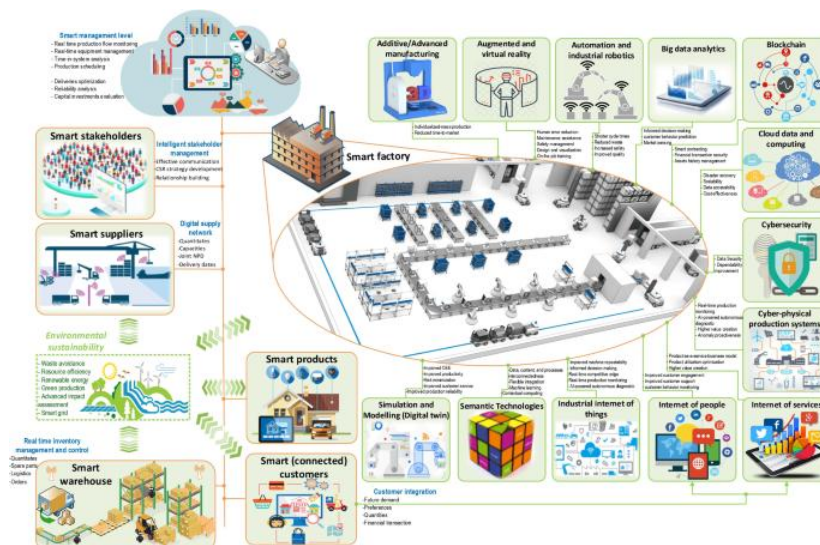
(πηγή: <https://startuptalky.com/best-ai-tools-for-printing-businesses/>).

Οι βιομηχανίες, οι επιχειρήσεις του κλάδου και οι αλυσίδες εφοδιασμού βασίζονται συνήθως στη χρήση μόνο κάποιων από τις εν λόγω τεχνολογίες, όμως οι Vyahware & Sonawwanay (2021) αναφέρουν πως αν όλες εξ' αυτών αξιοποιηθούν μαζί, τότε οι επιχειρήσεις μπορούν να επωφεληθούν σε πάρα πολύ μεγαλύτερο βαθμό από τα πλεονέκτημα του Industry 4.0. (Vyahware & Sonawwanay, 2021).



Εικόνα 113. Continuous progress in digital and AI transformation.

(πηγή: https://www.linkedin.com/posts/antgrasso_digitaltransformation-ai-businessstrategy-activity-7395400487933575169-9w_m).



Εικόνα 114. Machine learning techniques in additive manufacturing.

(πηγή: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10845-022-02029-5>).

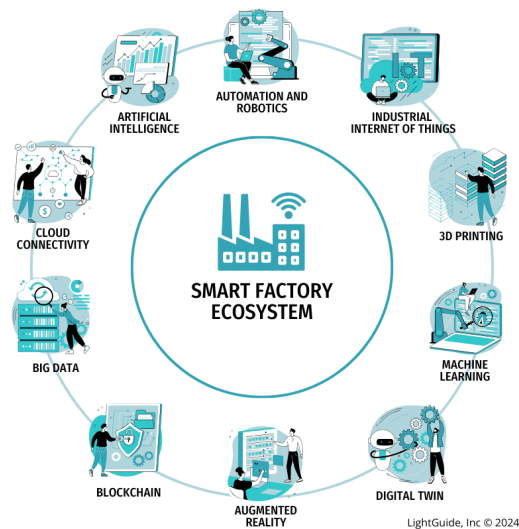
Οι εν λόγω τεχνολογίες αφορούν τα εξής:

- Επαυξημένη Πραγματικότητα (AR)
- διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT)
- αυτόνομα ρομπότ (autonomous robots)
- κυβερνοασφάλεια (cybersecurity)
- μεγάλα δεδομένα και ανάλυση τους (big data & analytics)
- υπολογιστικό νέφος (διακρίνεται στα SaaS, IaaS, PaaS) και edge computing
- Additive Manufacturing (AM) μέσω των rapid prototyping, 3D εκτύπωση
- οι τεχνολογίες προσομοίωσης (simulation)
 - με σημαντικό επίτευγμα το επονομαζόμενο «virtual ή digital twin», δηλαδή την «εικονική / ψηφιακή αναπαράσταση» της απτής μηχανής, του συστήματος ή της διαδικασίας παραγωγής
- οριζόντια και κάθετη ενοποίηση συστημάτων (horizontal & vertical system integration). (IBM, 2021) (Vyawhare & Sonawwanay, 2021).

Τα κύρια στοιχεία στη λειτουργία ενός σύγχρονου «smart factory» (εικόνα 115), είναι οι παράμετροι που αξιοποιούνται για να προβλέπουν εγκαίρως την ανάλυση όλων των δεδομένων που συλλέγονται για τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων (data analysis for optimal decision making), η ενσωμάτωση του IT-OT με το ERP ή με άλλα λογισμικά διαχείρισης, η υιοθέτηση της φιλοσοφίας της «εξατομικευμένης παραγωγής» μέσω της χρήσης των προηγμένων εφαρμογών και των «τεχνολογιών της προσομοίωσης», η αξιοποίηση των νέων υλικών και των τεχνολογιών (3D printing), ο «υψηλός βαθμός της διαφάνειας και η ενίσχυση της απόδοσης της αλυσίδας εφοδιασμού» (transparent, efficient supply chain) που επιτυγχάνεται μέσω της τεχνολογίας του «blockchain». (IBM, 2021) (Vyawhare & Sonawwanay, 2021).

Το Industry 4.0 στον κλάδο των Γραφικών Τεχνών – Εκτυπώσεων οδηγεί και στην ανάδυση των όρων «Εκτύπωση 4.0», «Φινίρισμα 4.0», «Συσκευασία 4.0», «Χαρτί

4.0», ενώ συντελεί και στην επίτευξη του υψηλού αυτοματισμού κάθε σταδίου της παράγωγης, μιας και τα ψηφιακά δεδομένα είναι όσο αναγκαία είναι τα εκτυπωτικά υποστρώματα και μελάνια, ενώ αποτελούν μια νέα «δίοδο για τη διασύνδεση» των μηχανημάτων ως μια νέα «αλυσιδωτή αλληλουχία διαδικασιών και συστημάτων διαχείρισης», όπου αυτά οργανώνουν την παραγωγή της ροής εργασιών και της διαχείρισης με ευέλικτο και οικονομικό τρόπο. Ο ψηφιακός μετασχηματισμός του κλάδου είναι η ψηφιοποίηση της παράγωγης (ψηφιακή εκτύπωση / προεκτύπωση), των μέσων ενημέρωσης (ψηφιακά ή κινητά μέσα) και του τρόπου λειτουργίας της παράγωγης, των επιχειρηματικών μοντέλων και της διαχείρισης (σχετίζεται με τα Industry 4.0, 3D printing και additive manufacturing). (Σακκάτος, 2023).



Εικόνα 115. Τα χαρακτηριστικά ενός σύγχρονου smart factory.

(πηγή: <https://www.lightguidesys.com/resource-center/blog/your-guide-to-smart-factories-and-industry-4-0/>).

Τα επιχειρηματικά μοντέλα του κλάδου σύμφωνα με το Bohan, είναι αναγκαίο να δημιουργούνται με στόχο την κερδοφορία και την άμεση επίλυση προκλήσεων προς την προσέγγιση των μικρότερων μηκών εκτύπωσης, την επίτευξη συντομότερου χρόνου ανακύκλωσης με λιγότερο κόστος, τις σταθερές τιμές εκτύπωσης υπό το πρίσμα των υψηλότερων τιμών των αναλωσίμων. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί αν υπάρχει μια προηγμένη ροή εργασιών που αναλύει και αναγνωρίζει το σύνολο των θετικών ή αρνητικών επιπτώσεων στους εξής τομείς:

- ενίσχυση της σχέσης αλληλεπίδρασης με τους καταναλωτές
- μείωση των σημείων επαφής
- προσδιορισμός παραγωγικότητας και διαθεσιμότητας των προϊόντων
- σύντμηση του όγκου των δαπανών και των αποθεμάτων
- ενίσχυση του βαθμού επαναληψιμότητας
- ενίσχυση των επιπέδων της επιχειρηματικής ευφυΐας. (Σακκάτος, 2023).

2.12 Οι παράμετροι που επηρεάζουν τις εκτυπώσεις

Το λήμμα «digitation» αναφέρεται στη διαδικασία μετατροπής των απτών (έντυπων) δεδομένων σε ψηφιακή μορφή, όπως είναι η διαδικασία της σάρωσης (scanning) των έντυπων και η μετατροπή τους σε νέα «ψηφιακή μορφή» (σε αρχείο PDF ή άλλων τύπων ψηφιακών αρχείων), ενώ το λήμμα «digitalization» αφορά τη διαδικασία της «κωδικοποίησης των δεδομένων σε μονάδες δεδομένων» (units of data), δηλαδή σε «bits», όπου γίνεται η κωδικοποίηση όλων των δεδομένων σε μια ψηφιακή σειρά από μηδενικά και μονάδες, τα οποία αποτελούν τα δομικά στοιχεία της γλώσσας των υπολογιστών. Το «digitalization» αν κατανοηθεί ως μια «στρατηγική ψηφιοποίησης» αποτελεί τη πιο σημαντική προσέγγιση των σύγχρονων τεχνολογιών και εφαρμογών, οι οποίες αξιοποιούνται βάση για να αναπτυχθούν νέες πρακτικές που προωθούν τη βελτίωση της ροής εργασιών, αλλά και την αυτοματοποίηση όλων των παραγωγικών διαδικασιών, κάθε επιχείρησης του κλάδου. (Monton, 2023).

Η φιλοσοφία του «digitalization» αφορά κατά βάση τις προσεγγίσεις που προωθούν την ενίσχυση της παραγωγικότητας, της λειτουργικής απόδοσης, της μείωσης των δαπανών και τη σωστή διαχείριση των πόρων, υπό τη μορφή μιας «νέας, βελτιωμένης εκδοχής της υφιστάμενης λειτουργίας ή παραγωγικής διαδικασίας» και όχι της ριζικής τροποποίησης ή του μετασχηματισμού της. (Sen Gupta, 2020). Ο ψηφιακός μετασχηματισμός έχει άμεση σχέση με τα «digitization και digitalization», δεδομένου πως ως διαδικασία αφορά την απρόσκοπτη ενσωμάτωση των ψηφιακών τεχνολογιών και εφαρμογών στο σύνολο των παραγωγικών δραστηριοτήτων και των λειτουργιών,

για να επιτευχθεί η ενίσχυση της λειτουργικής απόδοσης, της παραγωγικότητας και του ανταγωνισμού. (Monton, 2023). Ο ψηφιακός μετασχηματισμός και η φιλοσοφία του Industry 4.0, προϋποθέτει την υιοθέτηση ενός «προμελετημένου πλαισίου δράσης» που διαιρεί / κατανέμει με συνετό και μεθοδικό τρόπο το εγχείρημα, σε διακριτά στάδια που είναι εύκολα στη διαχείριση. (Standing, 2019).

Ο ψηφιακός μετασχηματισμός αποτελεί, όπως ήδη αναφέρεται και στο εισαγωγικό κεφάλαιο, μια καθολική και διεξοδική προσέγγιση ή μια βαθμιαία και κλιμακωτά (βήμα προς βήμα) αναπτυσσόμενη πρόταση ενσωμάτωσης, όπου κύριοι καταλύτες είναι οι εφαρμογές λογισμικού και η ψηφιοποίηση. Οι άξονες του «digitalisation» είναι η βέλτιστη λειτουργία των επιχειρήσεων, η ενίσχυση της εξυπηρέτησης και της ικανοποίησης των πελατών, η αξιοποίηση της ανάλυσης των επανομαζόμενων «μεγάλων δεδομένων» (big data), ενώ επίσης σχετίζεται και με τη χρήση κάποιων «digitalisation» τεχνολογιών, όπως είναι οι ρομποτικές τεχνολογίες αυτοματισμού, οι εφαρμογές κινητής τηλεφωνίας για τη διαχείριση του εργατικού δυναμικού πρώτης γραμμής, η τρισδιάστατη εκτύπωση, τα ERP και η φιλοσοφία της αυτοματοποίησης του knowledge work. (Olmstead, 2022).

Ο ψηφιακός μετασχηματισμός στον κλάδο αντιστοιχεί σε συνολική αξία στο ποσό των 263 δισεκατομμυρίων δολαρίων για το 2020 και αναμένεται να παρουσιάσει μέσα στην επόμενη πενταετία ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης (CAGR) 19,48%, δηλαδή να αγγίζει το ποσό των 767 δισεκατομμυρίων δολαρίων έως το 2026. Αυτό μπορεί να γίνει σε μια επιχείρηση, όταν παρατηρούνται τα εξής:

- αυτοματοποίηση των επαναλαμβανόμενων εργασιών (repetitive tasks), μέσω της αξιοποίησης της αυτοματοποιημένης ρομποτικής διαχείρισης (RPA)
- διαχείριση των frontline employees μέσω των mobile εφαρμογών
- χρήση της 3D εκτύπωσης για άμεση δημιουργία πρωτοτύπων (rapid prototyping) ή για παραγωγή εκτυπώσεων βάσει εξατομικευμένων προδιαγραφών
- χρήση των ERP στη διαχείριση πόρων, υλικών και λειτουργιών. (Antino, 2025).

Το Industry 4.0 αντιπροσωπεύει το επανομαζόμενο «ευφύες πλαίσιο της παραγωγής της επόμενης γενιάς» (next- generation smart framework), προωθώντας την πλήρη αυτοματοποίηση, την ενοποίηση των διεργασιών της παραγωγής και την ενίσχυση της επιχειρηματικής λειτουργίας, με στόχο την εξάλειψη ή την ελαχιστοποίηση των

δυσχερειών των συναλλαγών και της λήψης αποφάσεων (transactional & decision-making impediments), μέσω της αξιοποίησης των συστημάτων που προβαίνουν σε «ευφυείς αποφάσεις» και διαδοχικά ενεργούν βάσει αυτών. Στη δεκαετία του 1960 εμφανίζεται το MRP (Materials Requirements Planning) που σχεδιάζεται κατά βάση για να μπορεί να περιορίζει τη «δυσαναλογία» μεταξύ των πωλήσεων και των λειτουργιών (minimise discord between sales & operations), εφαρμόζοντας ένα πολύ «μεθοδικό πρόγραμμα» σχετικά με τις προμήθειες και την παραγωγή των προϊόντων, σύμφωνα με την αντίστοιχη ζήτηση (εικόνα 116). (Standing, 2019).



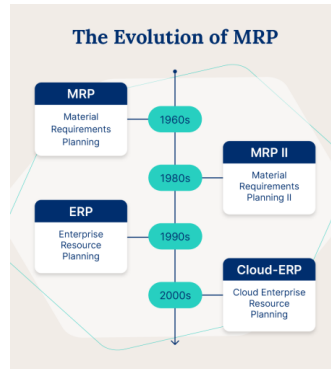
Εικόνα 116. MRP (Materials Requirements Planning).

(πηγή: <https://www.investopedia.com/terms/m/mrp.asp>).

Οι μεταγενέστερες εξελίξεις (εικόνα 117) που πραγματοποιούνται στο πεδίο της διαχείρισης των επιχειρησιακών πόρων οδηγούν και στην εμφάνιση του ERP, που αντιμετωπίζει αποτελεσματικά τις προκλήσεις αναφορικά με τις «οικονομικές και τις λογιστικές μονάδες» (finance & accounting), ενσωματώνοντας με δόκιμο τρόπο όλες τις επιχειρησιακές συναλλαγές με τις λειτουργίες της εμπονομαζόμενης «γενικής λογιστικής» (general ledger), των πληρωτέων λογαριασμών (accounting payable) και των εισπρακτέων λογαριασμών (accounting receivable). (Standing, 2019).

Τα ERP (εικόνα 118) αποτελούν την «κινητήρια δύναμη» για την επίτευξη του βέλτιστου βαθμού της απόδοσης και της ενοποίησης (efficiency & integration) σε κάθε τομέα του Industry 4.0, μιας και συνδέουν μεταξύ τους τα διαφορετικά τμήματα της παραγωγής, τις διεργασίες και τα εμπλεκόμενα μέλη (stakeholders), προσδίδοντας μια πρωτόγνωρη «end-to-end visibility» (ορατότητα) στην αλυσίδα εφοδιασμού. Η συγκεκριμένη μέθοδος επιτρέπει την αποτελεσματική διαχείριση όλων των αποθεμάτων, τη δόκιμη διενέργεια των προγνωστικών ελέγχων για τη ζήτηση των

προϊόντων (demand forecasting), καθώς και για την οργάνωση των διαδικασιών της παραγωγής, ενώ όσο εξελίσσεται η τεχνολογία στο πλαίσιο του Industry 4.0, οι ERP λύσεις αναπτύσσονται συνεχώς για να ανταποκριθούν στις νέες απαιτήσεις που προκύπτουν διαρκώς από τις τεχνολογικές προόδους. (YCS TechSoft, 2023).



Εικόνα 117. Η εξέλιξη των MRP.

(πηγή: <https://www.cin7.com/blog/what-is-mrp/>).



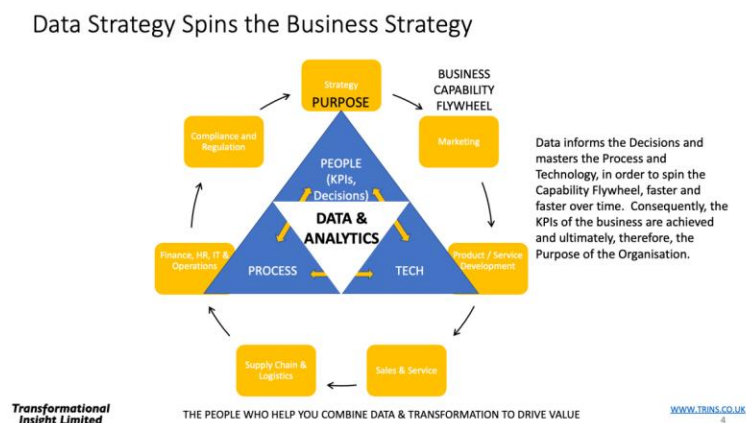
Εικόνα 118. Τα ERP στο Industry 4.0.

(πηγή: <https://www.ximplesolution.com/blog/industry-4-0-cloud-erp-your-way-to-success/>).

Το σύνολο των προηγμένων τεχνολογιών (IoT, AI, Big Data), επιταχύνει την εξέλιξη των ERP για να επιτευχθεί η άμεση «ενοποίηση των δεδομένων» (data integration), να εκτελείται με δόκιμο τρόπο η ανάλυση των data σε πραγματικό χρόνο (real-time analytics) και να καταγράφεται ο μέγιστος δυνατός βαθμός αυτοματοποίησης. Το γεγονός αυτό επιτρέπει στις επιχειρήσεις του κλάδου να οδηγούνται σε περισσότερο

δόκιμες λήψεις αποφάσεων, να διαχειρίζονται αποτελεσματικά την παραγωγή και να οργανώνουν με σύνεση την επιχειρηματική τους λειτουργία. (YCS TechSoft, 2023).

Η θέσπιση μιας «βασισμένης στα δεδομένα στρατηγικής» (data-driven strategy) σε μια επιχείρηση (εικόνα 119), προϋποθέτει την ενσωμάτωση αρκετών προηγμένων τεχνολογιών και εφαρμογών (robotics, simulation, AR), τον επαναπροσδιορισμό των στοιχείων που αφορούν τα παραχθέντα προϊόντα και τις υπηρεσίες βάσει της χρήσης των big data και της επονομαζόμενης «αιτιακής ανάλυσης των δεδομένων» (causal analytics), δηλαδή της ανάλυσης των δεδομένων βάση της σχέσης αιτίας και αιτιατού για να προσδιοριστεί η «αιτία μιας επιχειρησιακής συνθήκης» (εικόνα 120) και για να ενισχυθεί η συνολική επιχειρησιακή απόδοση μέσω της χρήσης του IoT. Οι εν λόγω παράμετροι υπογραμμίζουν και την αναγκαιότητα του δόκιμου επαναπροσδιορισμού της λειτουργίας, όπου η αυτοματοποίηση γίνεται μέσω των «Cyber-Physical Systems - CPS» και με την ανταλλαγή δεδομένων (data exchange) μέσω του IoT. (Hall, 2020).

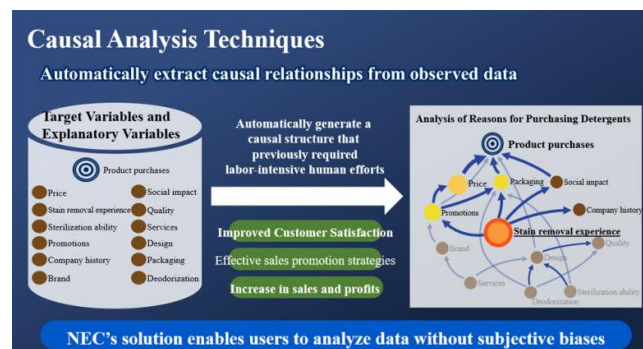


Εικόνα 119. Manifesto for the Data Driven Organisation aka The Intelligent Business.

(πηγή: <https://www.linkedin.com/pulse/manifesto-data-driven-organisation-aka-intelligent-business-short>).

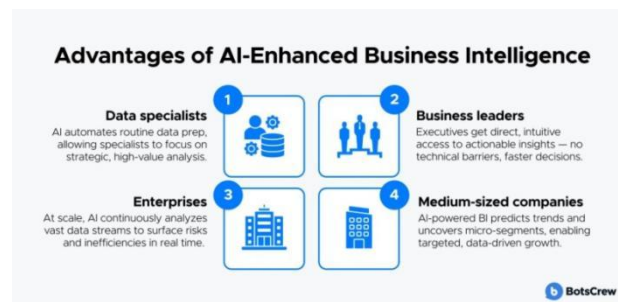
Σύμφωνα με τον Short (2023), η φιλοσοφία της επονομαζόμενης «επιχείρησης που βασίζεται στα δεδομένα» (data driven business) αντιπροσωπεύει την πρακτική εφαρμογή της έννοιας της «έξυπνης επιχείρησης» (intelligent business), η οποία αναφέρεται στον οργανισμό (εικόνα 121) που αξιοποιεί δοκίμως τις προγνωστικές πληροφορίες και όλα τα δεδομένα που μπορούν να αξιοποιηθούν με ευέλικτο τρόπο

(predictive & adaptive insight) για να αναδιαμορφώνεται προβλέψεις που είναι άμεσα ανταποκρινόμενες στις ανάγκες των πελατών και στις αλλαγές και τα γεγονότα του περιβάλλοντος της εργασίας και της παγκόσμιας αγοράς. Τα δεδομένα αποτελούν τόσο ένα στοιχείο «εισροής» (input) όσο και «εκροής» (output) για το επιχειρησιακό μοντέλο, επιτρέποντας κάποιες νέες τροποποιήσεις που αφορούν τις διαδικασίες της παραγωγής και τους τρόπους που διαμορφώνονται οι ροές εργασίας με πραγματικά ευέλικτο τρόπο, μέσα σε λίγες εβδομάδες και όχι μήνες ή χρόνια. (Short, 2023).



Εικόνα 120. Causal analysis technology.

(πηγή: <https://www.nec.com/en/global/rd/technologies/202008/index.html>).



Εικόνα 121. AI in Business Intelligence: Unlocking Enterprise-Scale Value.

(πηγή: <https://botscrew.com/blog/ai-in-business-intelligence/>).

Μια επιχειρηματική στρατηγική που είναι βασισμένη στα δεδομένα και αφορά τον κλάδο της εκτύπωσης (data-driven business strategy in printing sector) χρησιμοποιεί τα στατιστικά στοιχεία (μετρικές) αναφορικά με το επίπεδο χρήσης (usage metrics), τα αναλυτικά δεδομένα (analytics) και την αυτοματοποίηση, για να μπορέσει να

μετατρέψει την εκτυπωτική διαδικασία από τη σταθερή γενική έξοδο (fixed overhead expense) σε ένα μετρήσιμο και βελτιστοποιημένο περιουσιακό στοιχείο (asset). Οι κύριοι πυλώνες της εν λόγω στρατηγικής σχετίζονται με τα εξής:

1. Βελτιστοποίηση λειτουργίας και χρήσης (fleet & usage optimization)

- παρακολούθηση των αναλυτικών στοιχείων των συσκευών σε πραγματικό χρόνο (real-time device analytics) για τον εντοπισμό των συσκευών που δεν αξιοποιούνται πλήρως
- προσδιορισμό των εμπομαζόμενων σημείων της συμφόρησης (bottlenecks) και σωστή τοποθέτηση του εξοπλισμού (right-size equipment placement) στο περιβάλλον εργασίας

2. Αυτοματοποιημένη διαχείριση αναλωσίμων (automated supply management)

- χρήση της προγνωστικής παρακολούθησης (predictive tracking) για τα επίπεδα του τόνερ και του μελανιού, με στόχο την αποφυγή των έκτακτων και αναγκαίων παραγγελιών και τη μείωση της σπατάλης από το να υπάρχουν μεγάλα αποθέματα

3. Εξατομικευμένη εκτύπωση και μάρκετινγκ (VDP)

- αξιοποιούνται τα δεδομένα πελατών που προέρχονται από τα συστήματα εξυπηρέτησης των πελατών (Customer Relationship Management – CRM) για να χρησιμοποιηθούν δοκίμως στις εκτυπώσεις VDP, με βάση το πραγματικό ιστορικό αγορών

4. Προληπτική συντήρηση (predictive maintenance)

- αξιοποιούνται τα δεδομένα των μηχανημάτων και οι προβλέψεις μέσω AI για να προσδιοριστούν οι βλάβες στον εξοπλισμό πριν αυτές συμβούν, μειώνοντας έτσι τον απροσδόκητο χρόνο διακοπής της λειτουργίας των εκτυπωτικών μηχανών

5. Παρακολούθηση σχέσης κόστους - ροής εργασίας (cost & workflow tracking)

- παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο για τη χρήση των υλικών και τους χρόνους της ρύθμισης των εργασιών, προκειμένου να

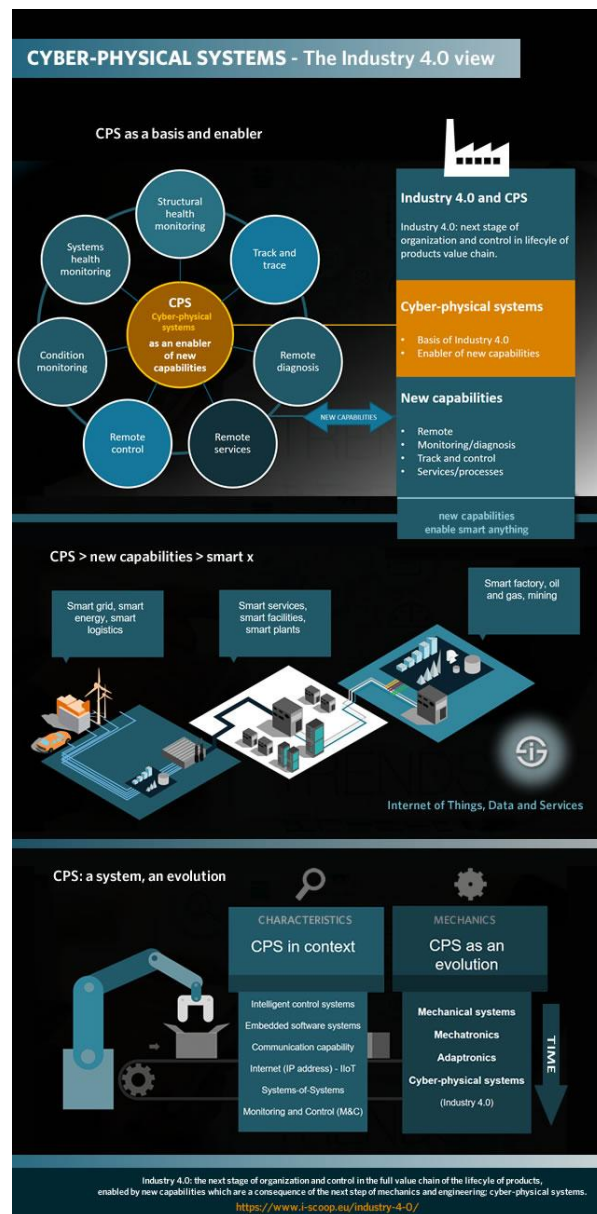
διαφυλαχθούν ακέραια τα περιθώρια κέρδους από την αύξηση του κόστους της τιμής των αναλωσίμων. (Short, 2023) (Snap Print Solutions, 2023) (Tavakoli, 2024).

Τα CPS (εικόνα 122) επιτρέπουν την άμεση (δηλαδή χωρίς διακοπές) αλληλεπίδραση των ψηφιακών (virtual) και των απτών/υπαρκτών (physical) πεδίων, όπως συμβαίνει σε περιπτώσεις όπου οι υπολογιστικοί αλγόριθμοι (computer algorithms) καθοδηγούν διαφορές μηχανολογικές διεργασίες. Το CPS έχει ένα physical layer που περικλείει τα απτά / υπαρκτά αντικείμενα ή τις μονάδες / εγκαταστάσεις της παραγωγής και ένα digital layer που περικλείει τους υπολογιστικούς αλγορίθμους, τα πρωτόκολλα της επεξεργασίας των πληροφοριών, αλλά και όλα τα δεδομένα των συστημάτων που αποθηκεύονται στο cloud. (Vilmate, 2023).

Η αλληλεπίδραση μεταξύ των εν λόγω layers επιτυγχάνεται μέσω της αξιοποίησης των αισθητήρων και των μηχανισμών ελέγχου (control mechanisms), ενώ η διαδοχική αλληλεπίδραση του ανθρώπου (χειριστή) με το σύστημα (human-system interaction) επιτρέπει την άμεση εμπλοκή του χειριστή με το CPS. (Vilmate, 2023). Τα CPS διακρίνονται στις κατηγορίες των stationary (σταθερά) και mobile (κινητά), με τα stationary CPS να μπορούν να ενσωματώνονται σε ορισμένα συστήματα (εργοστάσια παραγωγής ή smart homes), να συνδέονται σε τοπικά δίκτυα, αλλά και είναι λιγότερο ευάλωτα σε cyber attacks (κυβερνοεπιθέσεις). Τα mobile CPS λειτουργούν καλύτερα σε οριοθετημένο χώρο (spatial operations), όπως συμβαίνει στις δύο περιπτώσεις των αυτόνομων ρομπότ (autonomous robots) και των αυτόματης οδήγησης (self-driving) οχημάτων, ενώ συνδέονται σε διάφορες κατηγορίες δικτύων (τοπικά, ασύρματα και cellular), τα οποία έχουν όμως μειωμένη ασφάλεια και μεγαλύτερο κίνδυνο ως προς ενδεχόμενα «cyberattacks», ενώ μπορούν να συλλέγουν και να μεταδίδουν δεδομένα σε «απομακρυσμένες» (remote) τοποθεσίες. Ο ρόλος του AI στην εξέλιξη των CPS είναι πολύ σημαντικός, καθώς επιτρέπει την επίτευξη της βέλτιστης αυτονομίας και την μείωση της αναγκαιότητας για την ανθρώπινη παρέμβαση. (Vilmate, 2023).

Το βασικό χαρακτηριστικό της αξιοποίησης του AI είναι του ML (εικόνα 123), είναι πως οι υπολογιστές / υπολογιστικά συστήματα εκπαιδεύονται δοκιμώς επάνω σε μεγάλες ποσότητες δεδομένων με τη μέθοδο των πειραματικών διεργασιών μέσω της επανομαζόμενης διεργασίας εκπαίδευσης «δοκιμής και λάθους» (trial & error). Η εν

λόγω διαδικασία παρέχει στα CPS ένα υψηλότερο επίπεδο νοημοσύνης (heightened intellect) και μια μεγαλύτερη ικανότητα ως προς την ευέλικτη προσαρμογή σε όλες τις ενδεχόμενες συνθήκες που μπορεί να εμφανιστούν μελλοντικά σε μια επιχείρηση, βάσει της κεκτημένης εμπειρίας (accumulated experience) που αποκτούν από τις συνεχείς «trial & error διεργασίες» της εκπαίδευσης των μοντέλων μηχανικής μάθησης μέσω του «reinforcement learning (εικόνα 124). (Vilmate, 2023).



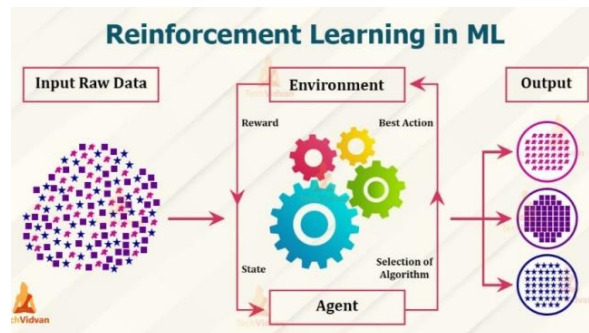
Εικόνα122. Cyber-Physical Systems - CPS.

(πηγή: <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/>).



Εικόνα 123. AI και ML.

(πηγή: <https://learningspiral.ai/ai-makes-daily-life-easier/>).



Εικόνα 124. Reinforcement Learning: Art of Trial and Error.

(πηγή: <https://www.linkedin.com/pulse/reinforcement-learning-how-ai-masters-art-trial-error-joan-waweru-a3s2f>).

Η μηχανική μάθηση (ML) προσδιορίζεται ως η ικανότητα των μηχανών να μιμούνται την ανθρώπινη νοητική λειτουργία, ενώ τα συστήματα AI αξιοποιούνται για την εκτέλεση διάφορων πολύπλοκων εργασιών και λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο με εκείνον που ακολουθούν οι άνθρωποι για να μπορούν να επιλύουν προβλήματα ή να σκέφτονται όπως ο άνθρωπος. Ο εν λόγω όρος επινοείται από τον Arthur Samuel (εικόνα 125) τη δεκαετία του 1950 για να προσδιορίσει το επιστημονικό πεδίο που σκιαγραφεί το πως οι υπολογιστές μπορούν να εκπαιδεύονται, να ενεργούν βάσει όσων μαθαίνουν, παρουσιάζοντας ευφυείς συμπεριφορές. (Brown, 2021).



Εικόνα 125. Arthur Samuel.

(πηγή: <https://www.aiinnovationsunleashed.com/deep-dive-the-man-who-taught-machines-to-learn-arthur-samuel-checks-and-the-invention-of-machine-learning/>).

Η επικράτηση των Big data, IoT, των περίπλοκων αλγορίθμων, μετατρέπουν το ML σε καίριο παράγοντα για το παγκόσμιο υπολογιστικό χρηματοοικονομικό σύστημα (computational finance, με ενδεικτικά παραδείγματα να είναι τα credit scoring και algorithmic trading, το computer vision, το computational biology (υπό τη μορφή του DNA sequencing για την ανίχνευση όγκων σε εγκέφαλο και την ανακάλυψη νέων φαρμάκων), την επεξεργασία φυσικής γλώσσας (όπως είναι η αναγνώριση της φωνής), καθώς και τους τομείς της αυτοκινητοβιομηχανίας, της αεροδιαστημικής και της μεταποίησης, όπου αξιοποιούνται κατά βάση οι προγνωστικές υπηρεσίες συντήρησης. (Kanade, 2022).

2.12.1. Lean Manufacturing & Continuous Improvement

Η έννοια της φιλοσοφίας του «manufacturing flexibility» αναφέρεται στην ικανότητα του επαναπροσδιορισμού των διαθέσιμων πόρων, για τη διαχείριση της παραγωγής προϊόντων υψηλής ποιότητας και απόδοσης, ενώ η έννοια του λιτού και ευέλικτου τρόπου παραγωγής συνδέεται με την Ιαπωνική φιλοσοφία του «lean manufacturing» (εικόνα 126) που εστιάζει στην εξάλειψη κάθε σπατάλης (waste) που υφίσταται εντός της αλυσίδας εφοδιασμού. Η φιλοσοφία της lean στρατηγικής είναι αποτέλεσμα των

δράσεων της Ιαπωνικής μεταποιητικής βιομηχανίας, η οποία συσχετίζεται με τις δράσεις της εταιρείας Toyota (εικόνα 127). (ARS, 2020).



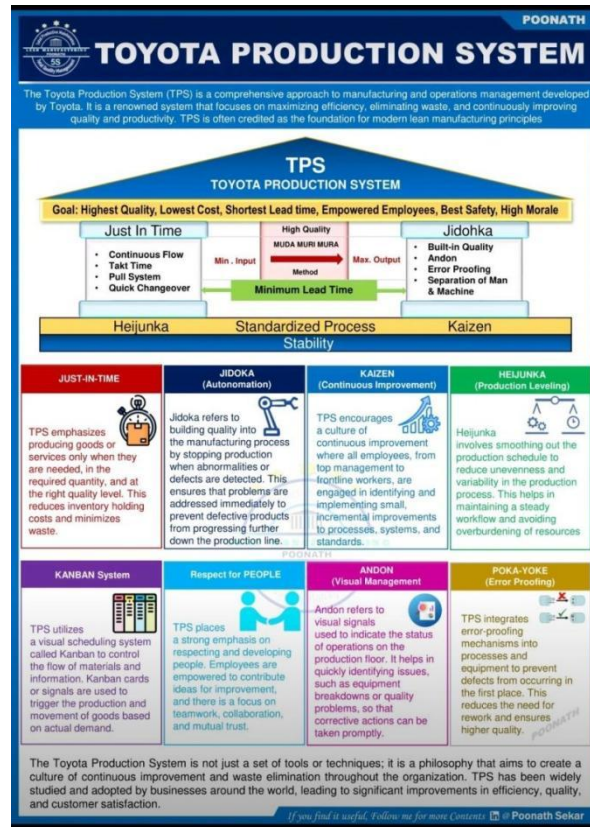
Εικόνα 126. Η φιλοσοφία του «lean manufacturing».

(πηγή: <https://gkwbusinesssolutions.com/why-is-implementation-of-lean-manufacturing-practices-difficult-to-sustain/>).

Στο πλαίσιο της έννοιας του «manufacturing flexibility», η έμφαση στρέφεται στην ευθυγράμμιση (aligning) όλων των διαδικασιών παραγωγής με τις μεταβαλλόμενες επιταγές της δυναμικής της αγοράς (dynamic market) για τη μαζική εξατομίκευση (mass customization). Η εν λόγω προσέγγιση δεν καθοδηγείται μόνο από παράγοντες που αφορούν το κόστος, αλλά και από την ανάγκη της δόκιμης διαχείρισης των συνθηκών ανταγωνισμού της παγκόσμιας αγοράς (global marketplace). Αυτός ο αυτοματισμός συνδέεται με την ταχεία αντικατάσταση των εργαλείων (tool change-over), τον έλεγχο των παρτίδων της παραγωγής (batch control), την ανίχνευση των εξαρτημάτων (part sensing) και την ενίσχυση του ρυθμού ενοποίησης. (ARS, 2020).

Η lean φιλοσοφία παραγωγής υιοθετείται από τη δεκαετία του 1980 και αποτελεί για καιρό ένα κοινό στόχο αρκετών φορέων, ωστόσο οι σύγχρονες τεχνολογίες και εφαρμογές ενισχύουν την επίτευξη της λιτής παραγωγής. (ARS, 2020). Ο όρος «lean production» προσδιορίζει κατά βάση το συστηματοποιημένο βιομηχανικό πρότυπο της παραγωγής (systematised production model) που στοχεύει στη βέλτιστη απόδοση και στον περιορισμό των σπαταλών, ως τη φιλοσοφία του «minimizing waste», δηλαδή του Ιαπωνικού όρου «Muda». Το «Muda» (εικόνα 128), ως βασικό στοιχείο του Toyota Production System, μπορεί να μεταφραστεί στα ελληνικά ως «σπατάλη»,

ή ως «απουσία χρησιμότητας» ή ως «κάτι που δεν είναι επωφελές» (ως «έλλειψη ωφελιμότητας»), καθώς αναφέρεται στο επίσημο στοιχείο ως προς την κατανάλωση πόρων, υλικών και χρόνου, που δεν επιφέρει αξία στους καταναλωτές. (Pohl, 2024).



Εικόνα 127. Η φιλοσοφία της lean στρατηγικής της εταιρείας Toyota.

(πηγή: https://www.linkedin.com/posts/sami-nasraldien-03452b187_toyotas-lean-manufacturing-guide-the-activity-7261617151441043457-AuH-).

Η εφαρμογή της φιλοσοφίας του «lean production» (εικόνα 129) στις επιχειρήσεις αξιολογείται βάσει επτά παραμέτρων που αφορούν τα εξής:

- χρόνος παράδοσης (lead time)
- διάρκεια του κύκλου της παραγωγής (cycle time)
- παραγωγικές σχέσεις ισχύος (throughput)
- αξιοποίηση των πόρων (utilization)

- συντελεστές εμφάνισης σφαλμάτων (error rate)
- αναλογία προστιθέμενης αξίας (value-added ratio)
- συντελεστής απόδοσης συστημάτων / μηχανολογικού εξοπλισμού (equipment effectiveness- OEE). (Pohl, 2024).



Εικόνα 128. Toyota 3M Model: Muda, Mura, Muri.

(πηγή: <https://x.com/QualityCouncil/status/1050282173180387329>).

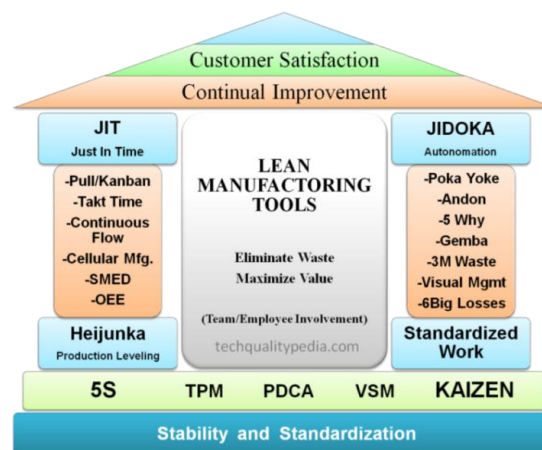


Εικόνα 129. Lean Tools | Lean Manufacturing Tools |.

(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Lean-manufacturing-tools-and-practices-2_fig7_318353654).

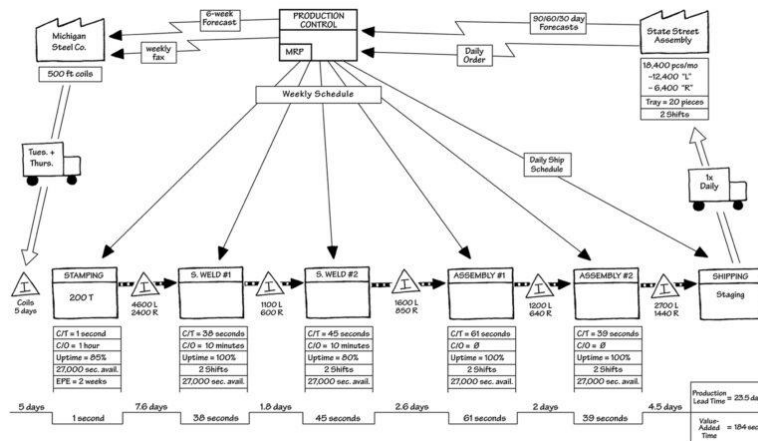
Οι πρακτικές του «lean production», που είναι γνωστές και ως «lean techniques» (εικόνα 130) του κλάδου, είναι τα εξής:

1. Value Stream Mapping – VSM (εικόνα 131), το οποίο αντιπροσωπεύει μια γραφική αναπαράσταση των διεργασιών / δραστηριοτήτων και της ροής των πληροφοριών, δεδομένου πως αμφότερα από κοινού συμβάλλουν σημαντικά στη διαμόρφωση της προστιθέμενης αξίας ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας και έτσι αυτό συνεπάγεται την αναλυτική χαρτογράφηση της έννοιας του «entire value stream», το οποίο ξεκινάει από την παραλαβή των πρώτων υλών και καταλήγει έως την παράδοση του τελικού προϊόντος στους καταναλωτές. (Griffiths, 2023) (Vela, 2023).
2. Μέθοδος των 5S (εικόνες 132 και 133), όπου είναι δόκιμο να αναφερθεί πως οι αρχές του 5S προκύπτουν από τις εξής ιαπωνικές λέξεις
 - Seiri (στα αγγλικά ως Sort)
 - Seiton (στα αγγλικά ως Set in Order)
 - Seiso (στα αγγλικά ως Shine)
 - Seiketsu (στα αγγλικά ως Standardise)
 - Shitsuke (στα αγγλικά ως Sustain). (Griffiths, 2021).



Εικόνα 130. Lean Tools | Lean Manufacturing Tools |.

(πηγή: <https://techqualitypedia.com/lean-tools/>).



Εικόνα 131. Value Stream Mapping – VSM.

(πηγή: <https://www.kaufmanglobal.com/glossary/value-stream-mapping/>).

Στις αρχές του συστήματος 5S τα πέντε στοιχεία εφαρμόζονται ως εξής:

1. Seiri (Sort): αμφίδρομη διαδικασία που προτρέπει τους εργαζόμενους να εντοπίσουν τα πλεονάζοντα στοιχεία και επιτρέπει στους προϊσταμένους να δρομολογήσουν την απόσυρση τους
2. Seiton (Set in Order): αφορά την οργάνωση των στοιχείων με τρόπο που να βελτιστοποιεί την απόδοση των υπαλλήλων και να οδηγεί στη διαμόρφωση ενός καθαρού και οργανωμένου περιβάλλοντος / χώρου εργασίας
3. Seiso (Shine): σχετίζεται με τον εντοπισμό και την εξάλειψη των ρύπων (σκόνη, βρωμιά, λάδια) σε χώρους εργασίας, οι οποίοι ίσως προκαλέσουν ελαττώματα στα προϊόντα, βλάβες στον εξοπλισμό ή στη λειτουργία ή και κινδύνους (hazards) αναφορικά με την ασφάλεια των εργαζομένων
4. Seiketsu (Standardise): η διαδικασία διατήρησης ενδεδειγμένου επιπέδου τάξης και καθαριότητας του χώρου / περιβάλλοντος εργασίας
5. Shitsuke (Sustain): συνεπάγεται τη συντήρηση της διενέργειας του Seiketsu (Standardise) και αποσκοπεί στη συνεχή βελτίωση των συνθηκών του χώρου / περιβάλλοντος εργασίας μιας επιχείρησης. (Griffiths, 2021).



Εικόνα 132. Μέθοδος των 5S.

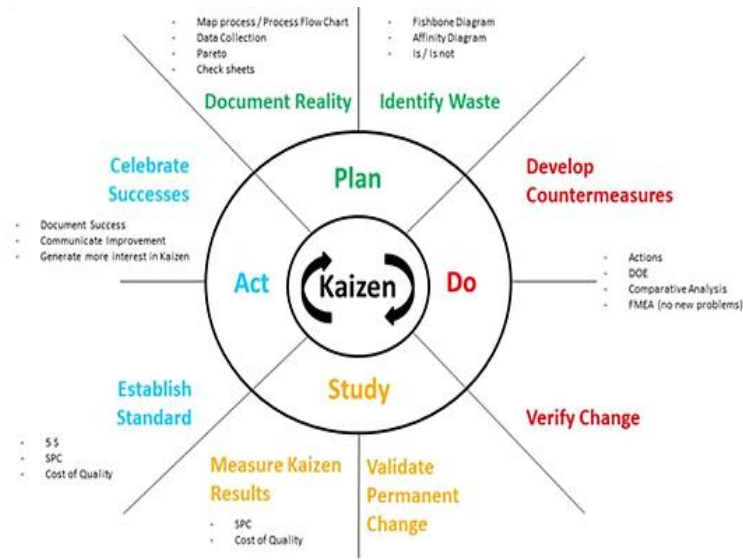
(πηγή: https://paragon.com.vn/en/5s-framework-paragon/?srsltid=AfmBOopOrkfCSRXR2_KjG4BEqv1vjhGz5Ud2b8EhaPHN5adpujr5ArGn).

Η συνεχής βελτίωση (Continuous improvement), γνωστή και ως «Kaizen» (εικόνα 134), είναι μια φιλοσοφία και ένα σύνολο αρχών που εστιάζει στην πραγματοποίηση μικρών, σταδιακών αλλαγών σε διαδικασίες, συστήματα και δραστηριότητες, με σκοπό τη συνεχή βελτίωση τους. Στόχος της συνεχούς βελτίωσης είναι η εξάλειψη του όγκου της σπατάλης (εικόνα 135) και η αύξηση της αποδοτικότητας, της ποιότητας και της ικανοποίησης των πελατών. (Lean Enterprise Institute, n.d.).



Εικόνα 133. Οι αρχές του συστήματος 5S.

(πηγή: https://www.linkedin.com/posts/ibrahim-hawsawi-473a2b171_in-aviation-maintenance-5s-is-often-reduced-activity-7406761269925548032-ZiMY).



Εικόνα 134. Το μοντέλο της συνεχούς βελτίωσης (Continuous improvement), ως «Kaizen».

(πηγή: <https://www.theexcellencecenter.org/single-post/2018/02/25/kaizen-continuous-improvement-model>).

Οι ρίζες της φιλοσοφίας της συνεχούς βελτίωσης ανάγονται στις τεχνικές του «lean manufacturing», όπως αναπτύσσονται από την Toyota τη δεκαετία του 1950, έχοντας ως βασικές αρχές τα εξής:

1. η έννοια της «ροής» (flow)

- η εργασία πρέπει να οργανώνεται και να εκτελείται με τρόπο που να επιτρέπει την ομαλή και αποδοτική μετάβαση από το ένα στάδιο στο επόμενο, χωρίς διακοπές ή καθυστερήσεις
- εστιάζει στη δημιουργία μιας ομαλής ροής εργασίας, ώστε οι επιχειρήσεις να μπορούν να μειώσουν τη σπατάλη και να βελτιώσουν τη συνολική απόδοση των διαδικασιών

2. η έννοια του «pull»

- η εργασία πρέπει να εκτελείται μόνο όταν υπάρχει πραγματική ζήτηση για αυτήν, αντί να προωθείται μέσα στην παραγωγική διαδικασία και ανεξάρτητα από το αν είναι απαραίτητη
- τα συστήματα «pull» στις επιχειρήσεις μπορούν να μειώσουν πολύ σημαντικά τα αποθέματα και να αποφύγουν τη σπατάλη που προκύπτει από την «υπερπαραγωγή». (Lean Enterprise Institute, n.d.).



Εικόνα 135. Continuous Improvement.

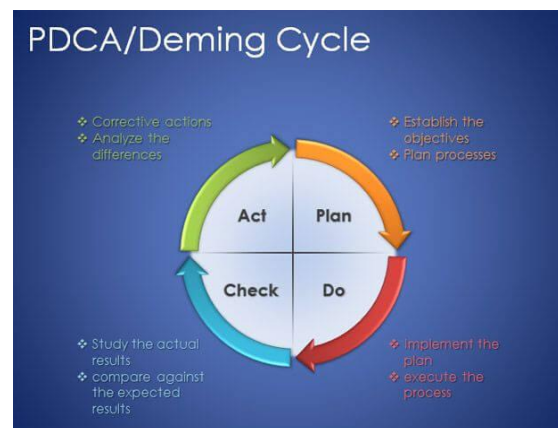
(πηγή: <https://practicalleansolutions.com/benefits/continuous-improvement/>).

Η συνεχής βελτίωση τονίζει τη σημασία της συμμετοχής και της ενδυνάμωσης των εργαζομένων στη διαδικασία βελτίωσης, επιτρέποντας τον εντοπισμό και την άμεση αντιμετώπιση των προβλημάτων, γεγονός που επιτρέπει στις επιχειρήσεις να μπορούν να αξιοποιήσουν τη συλλογική γνώση και την εμπειρία τους (collective knowledge & experience) για να προωθήσουν τους στόχους της συνεχούς βελτίωσης. Υιοθετώντας την εν λόγω φιλοσοφία, οι επιχειρήσεις μπορούν να προωθήσουν διαρκείς βελτιώσεις στις διαδικασίες, τα συστήματα και τις δραστηριότητές τους, οδηγώντας σε αυξημένη αποδοτικότητα, ποιότητα και εξυπηρέτηση, ικανοποίηση και αφοσίωση εκ μέρους των πελατών. (Lean Enterprise Institute, n.d.).

Η συνεχής βελτίωση, ως η διαρκής προσπάθεια βελτίωσης προϊόντων, υπηρεσιών ή διαδικασιών μέσω μικρών, σταδιακών αλλαγών αντί για ριζικές αναδιαρθρώσεις, όπως αναφέρεται και παραπάνω, βασίζεται στην ιαπωνική φιλοσοφία του Kaizen και σε πλαίσια όπως είναι ο κύκλος «Plan-Do-Check-Act», γνωστός ως PDCA (εικόνα 136), που στοχεύουν κατά βάση στην εξάλειψη της σπατάλης, στην ενίσχυση της αποδοτικότητας και στη δημιουργία προστιθέμενης αξίας για τους πελάτες. Οι βασικές αρχές είναι τα εξής:

1. Σταδιακές αλλαγές (incremental changes): εστίαση σε μικρές και σε σταθερές προσαρμογές αντί για τεράστιες, επικίνδυνες αλλαγές

2. Ενδυνάμωση εργαζομένων (employee empowerment): ενθάρρυνση εργαζομένων σε κάθε επίπεδο μεθοδικά, για να μοιράζονται ιδέες και να επιλύουν προβλήματα
3. εστίαση στη διαδικασία (process focus): εξέταση του τρόπου με τον οποίο εκτελείται η εργασία και όχι μόνο του τελικού αποτελέσματος
4. προσανατολισμός στον πελάτη (customer-driven): ευθυγράμμιση κάθε αλλαγής με τις πραγματικές ανάγκες του χρήστη ή του πελάτη. (Lean Enterprise Institute, n.d.) (Nguyen, 2019) (Rehkopf, 2024) (Walter, 2025).



Εικόνα 136. Ο κύκλος «Plan-Do-Check-Act», γνωστός ως PDCA.

(πηγή: <https://edrawmax.wondershare.com/project-tips/what-is-plan-do-check-act.html>).

Η τεχνολογική πρόοδος επιδρά καθοριστικά στο ευρύτερο πεδίο, κάθε σταδίου που σχετίζεται με τον κύκλο της παραγωγής των προϊόντων των εκτυπώσεων και της συσκευασίας, υπερβαίνοντας τα τυπικά πλεονεκτήματα που παρέχει το φάσμα του αυτοματισμού, των άλλοτε κοπιαστικών και χρονοβόρων διαδικασιών. Η αύξηση της χρήσης των νέων λογισμικών (σχεδίασης, λειτουργικής υποστήριξης και διαχείρισης των επιχειρήσεων), των εργαλείων με βάση το AI, των εφαρμογών των IoT και IoP, των πρακτικών των AR και VR, των cobots, επιτρέπουν τη διαχείριση των big data για τον ποιοτικό έλεγχο και τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων, τον εντοπισμό των δυσχερειών της παραγωγής, τον προσδιορισμό και τη διόρθωση των σφαλμάτων και των σημείων συμφόρησης, τη διεύρυνση της έννοιας του «traceability», τον εκσυγχρονισμό της λειτουργίας και της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας, την επίτευξη των στόχων της βιώσιμης ανάπτυξης, τη διεύρυνση των χαρακτηριστικών της επονομαζόμενης «έξυπνης και εξατομικευμένης συσκευασίας» (smart packaging

personalized), την ανάπτυξη της αξιοποίησης των συσκευασιών στο e-commerce, καθώς και την αναβάθμιση των επιπέδων της εξυπηρέτησης και της ικανοποίησης των καταναλωτών. (Politis et al.,2025).

Η εν λόγω συνθήκη μεταμορφώνει το ρόλο και τις αρμοδιότητες που καλείται να εκπληρώσει το ανθρώπινο κεφάλαιο μιας επιχείρησης, μεταβαίνοντας από το «ρόλο του συμβατικού υπεύθυνου / χειριστή», δηλαδή του βασικού πυρήνα της διαχείρισης της παραγωγής και της διανομής των προϊόντων, σε μια πιο «εποπτική και ευέλικτη» θέση που ξεχωρίζει για την υψηλή αλληλεπίδραση του υπεύθυνου / χειριστή με τα «συνεργατικά ρομπότ» (cobots), αλλά και με τα πλεονεκτήματα της χρήσης όλων των τεχνολογικών καινοτομιών και των εφαρμογών. Αυτό εκ πρώτης όψεως δε είναι μια απόλυτα «δυσμενής τάση», δεδομένης της αύξησης της παραγωγής και της μείωσης του χρόνου της διάθεσης προϊόντων και υπηρεσιών στην αγορά, επιτρέποντας έτσι την ενσωμάτωση πιο δημιουργικών στοιχείων στη ροή εργασιών. (Politis et al.,2025).

Όλες οι εξελίξεις που αναφέρονται ανωτέρω, επιδρούν στο ανθρώπινο κεφάλαιο, το οποίο στον κλάδο χρίζει «άμεσης εξοικείωσης και εκ νέου κατάρτισης» με όλα τα νέα προγράμματα λογισμικού και των τεχνολογιών αιχμής. Αυτό μπορεί να επιλυθεί μέσα από την παρακολούθηση ειδικών σεμιναρίων και επιμορφώσεων / κατάρτισης για τις νέες τεχνολογίες και την ανάληψη νέων πρωτοβουλιών για την επίτευξη της βιώσιμης ανάπτυξης (αειφόρας ανάπτυξης), αλλά και για την ενίσχυση του βαθμού της «οικολογικής συνείδησης». Στο πλαίσιο της τεχνολογικής προόδου και της υψηλής ενσωμάτωσης των καινοτόμων τεχνολογιών και των εφαρμογών εντός των «smart factories», προκύπτουν και αρκετές νέες λειτουργικές διατάξεις που διευκολύνουν την εξομάλυνση της ενίσχυσης του βαθμού της απόδοσης και της ανέλιξης των επιπέδων της ποιότητας, εξαλείφοντας έτσι την ύπαρξη των «repetitive tasks» και επιτρέποντας στο ανθρώπινο δυναμικό να μπορέσει να στραφεί σε πιο δημιουργικού περιεχομένου εργασίες ή να επιζητήσει την ενίσχυση των υφιστάμενων γνώσεων και δεξιοτήτων του, ακόμη και μέσα από «online tutorial» ή από αντίστοιχα δωρεάν ή επί πληρωμή προγράμματα επιμορφώσεων.(Politis et al.,2025).

Όλες οι παραπάνω προσεγγίσεις σχετίζονται με τη φιλοσοφία του επονομαζόμενου «ψηφιακού αλφαριθμητισμού/ γραμματισμού» (digital literacy), ο οποίος συνιστά ένα πολύ βασικό κινητήριο μοχλό του Industry 4.0, παρέχοντας στο ανθρώπινο κεφάλαιο

τις απαραίτητες δεξιότητες για τη λειτουργία των αυτοματοποιημένων συστημάτων, την ανάλυση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και την ασφαλή αλληλεπίδραση τους με την τεχνολογία των έξυπνων εργοστασίων (εικόνα 137). Χωρίς να υφίσταται μια βασική ή αναπτυγμένη βάση της επονομαζόμενης «ψηφιακής ευχέρειας» (digital fluency), όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 138, η μετάβαση στα κυβερνοφυσικά συστήματα και στην αυτοματοποιημένη παραγωγή στις περισσότερες περιπτώσεις καθυστερεί. (Furbani et al., 2025) (Kabir & Reem, 2025) (Yashaswi Group, 2026).

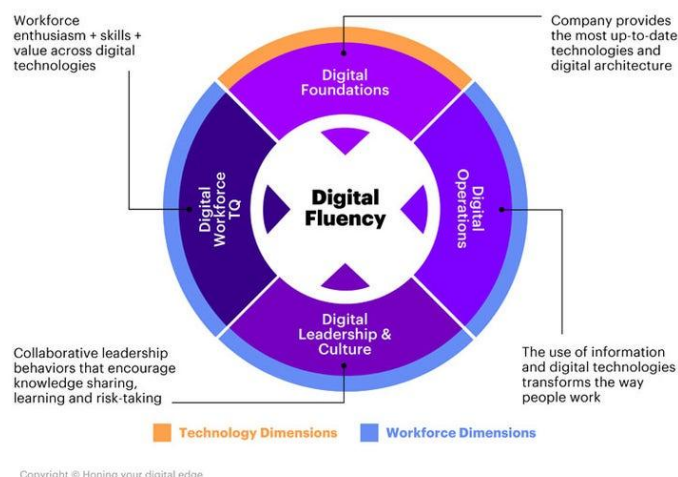
UNESCO FRAMEWORK FOR DIGITAL LITERACY

BASIC ELEMENTS OF DIGITAL LITERACY		
Elements	Definitions	Competencies
Access	Knowing about and knowing how to collect and/or retrieve information.	Search, find, and retrieve information in digital environments.
Manage	Applying an existing organizational or classification scheme.	Conduct a rudimentary and preliminary organization of accessed information for retrieval and future application.
Integrate	Interpreting and representing information - summarizing, comparing, and contrasting.	Interpret and represent information by using ICT tools to synthesize, summarize, compare, and contrast information from multiple sources.
Evaluate	Making judgments about the quality, relevance, usefulness, or efficiency of information.	Judge the currency, appropriateness, and adequacy of information and information sources for a specific purpose (including determining authority, bias, and timelines of materials).
Create	Generating information by adapting, applying, designing, inventing, or authoring information.	Adapt, apply, design, or invent information in ICT environments (to describe an event, express an opinion, or support a basic argument, viewpoint or position).
Communicate	Communicate information persuasively to meet needs of various audiences through use of an appropriate medium.	Communicate, adapt, and present information properly in its context (audience, media) in ICT environments and for a peer audience.

Note: International and national digital literacy frameworks and assessment instruments all share these common elements.

Εικόνα 137. UNESCO: Digital Literacy.

(πηγή: <https://www.internetforallnow.org/digital-literacy-2>).



Εικόνα 138. Η ψηφιακή ευχέρεια (digital fluency).

(πηγή: <https://newsroom.accenture.com/news/2020/companies-with-a-digitally-fluent-workforce-lead-their-peers-in-revenue-growth-and-better-worker-satisfaction-accenture-report-finds>).

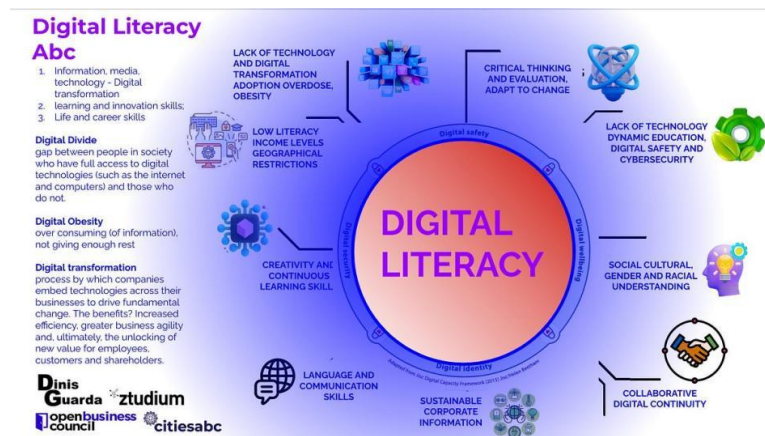
Σύμφωνα με το Guarda (2023), ο ψηφιακός αλφαριθμητισμός αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά ζητήματα για κάθε άνθρωπο και για κάθε σύγχρονη κοινωνία, καθώς στο σήμερα παρατηρείται μια νέα τάξη πραγμάτων, εντός της οποίας ο φυσικός (απτός) και ο ψηφιακός κόσμος συγχωνεύονται σε μια ενιαία ροή και η βιολογική φύση του ανθρώπινου γένους συνυπάρχει με τα αντίστοιχα ψηφιακά της αντίγραφα (organic nature of humans & its digital twins' manifestation). Αυτό αποκτά μια μεγαλύτερη σημασία, καθώς η ανάπτυξη και επικράτηση των AI και Industry 4.0 αναδιαμορφώνει την ανθρώπινη κοινωνικοοικονομική συμπεριφορά. Ο ψηφιακός αλφαριθμητισμός όμως σχετίζεται και με την ικανότητα του σύγχρονου ανθρώπου που ζει σε ένα ψηφιακό περιβάλλον, να εντοπίζει, να αξιολογεί, να επικοινωνεί και να διαμοιράζεται πληροφορίες / δεδομένα, αξιοποιώντας πολλαπλές και ολοένα και πιο υβριδικές αλληλεπιδράσεις (multiple & increasingly hybrid interactions) με όλα τα τεχνολογικά εργαλεία και τις πλατφόρμες, περικλείοντας την ηλεκτρολόγηση, τη διαχείριση των ψηφιακών μέσων, εφαρμογών, υλικού, λογισμικού, κοινωνικών μέσων, αισθητήρων, χωρικής πληροφορικής (spatial computing), των υβριδικών πλατφορμών των τεχνολογιών των AR, VR και της Μικτής Πραγματικότητας (MR). (Guarda, 2023).

Όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 139, ο «ψηφιακός αλφαριθμητισμός» στο πλαίσιο του ψηφιακού μετασχηματισμού, πρέπει να σχετίζεται με τις εξής παραμέτρους:

- Ψηφιακή ταυτότητα, ζωή, ευεξία και επαγγελματικές δεξιότητες (Digital ID, life, wellbeing & career skills)
- Ιδιοκτησία και διαχείριση των δεδομένων ψηφιακού αποτυπώματος (Digital footprint data ownership & management)
- Πληροφορίες, μέσα επικοινωνίας, δεδομένα, τεχνολογία, γνώση (Information, media, data, technology & knowledge)
- Ψηφιακός μετασχηματισμός 360, κοινωνικοοικονομικές και εργασιακές δεξιότητες (Digital transformation 360, socio-economic & working skills)
- Δεξιότητες μάθησης και καινοτομίας (Learning & innovation skills)
- Ψηφιακή ευθύνη, ηθική και συμπεριφορά (Digital responsibility, ethics & behaviour). (Guarda, 2023).

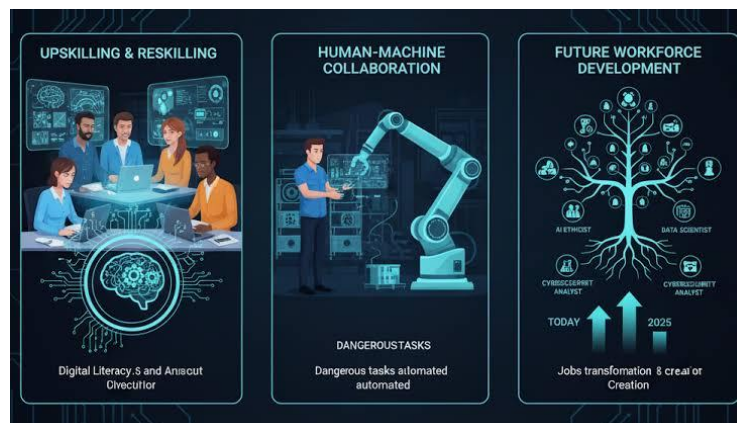
Αν και η επισκόπηση της τεχνολογικής επίδρασης του Industry 4.0 στη βιομηχανία των Γραφικών Τεχνών, των Εκτυπώσεων και της Συσκευασίας, σκιαγραφεί ένα

ελπιδοφόρο πλαίσιο ανάπτυξης για το εγγύς μέλλον, υπάρχει επίσης πολύ έντονος φόβος για την ορθή διαχείριση όλων των τεχνολογικών προόδων, αναφορικά με το κατά πόσο αυτές υποκαθιστούν το ανθρώπινο κεφάλαιο ή αν μελλοντικά μπορεί να οδηγήσουν ακόμη στη πλήρη εξαφάνιση των ανθρώπων (εργαζομένων) από τον κύκλο της παραγωγής. Η βιώσιμη και μελλοντικά πιο αποδοτική προσέγγιση της εν λόγω «νέας τάξης των πραγμάτων» (εικόνα 140) έγκειται στη σύμπλευση των νέων τεχνολογιών με την εκ νέου επιμόρφωση και κατάρτιση του ανθρώπινου κεφαλαίου, δεδομένου πως η ενίσχυση του δημιουργικού και εφευρετικού «στοιχείου» της παραγωγής τελείται από τον ίδιο τον άνθρωπο, ενώ οι ψηφιακές τεχνολογίες και οι εφαρμογές επιτρέπουν την ενίσχυση και την εξυγίανση αναφορικά με όλες της μονάδες και τα στάδια του κύκλου της παραγωγής.(Politis et al.,2025).



Εικόνα 139. Η φιλοσοφία του «ψηφιακού αλφαριθμητισμού» (digital literacy).

(πηγή: <https://dinisguarda.medium.com/digital-literacy-abc-6fa542ba189a>).

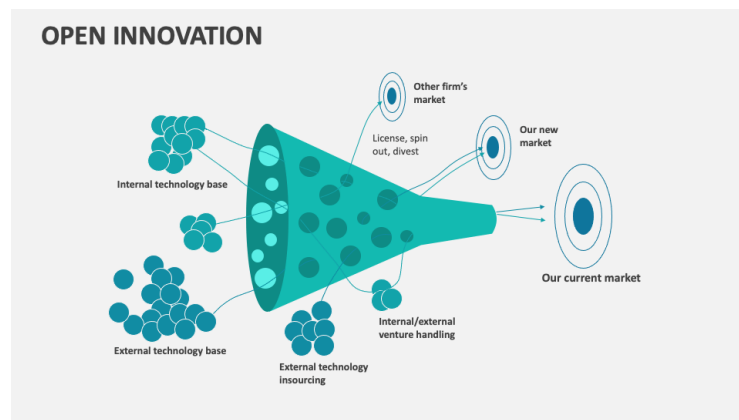


Εικόνα 140. Η σύμπλευση του Industry 4.0 με την ανάπτυξη του ανθρώπινου κεφαλαίου.

(πηγή: <https://ingsol.in/industry-4-0-the-future-of-smart-manufacturing/>).

2. 12.2 Η φιλοσοφία του open innovation και των hype cycles

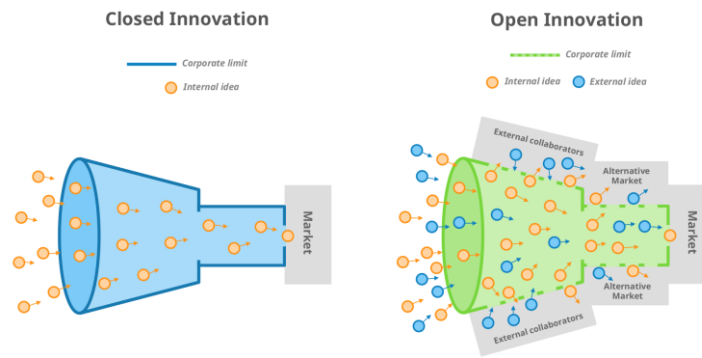
Η φιλοσοφία της «ανοιχτής καινοτομίας» (open innovation, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 141) είναι σημαντική παράμετρος της αναπτυξιακής προόδου, επιτρέποντας τη ενίσχυση της συνεργασίας, της ανταλλαγής πληροφοριών και της «επιχειρηματικής σύμπραξης» (partnership), ενώ σχετίζεται και με την αξιοποίηση των «εξωγενών» (external) ιδεών, των τεχνολογιών και της εμπειρογνομοσύνης, για την ενίσχυση των προσπαθειών μιας επιχείρησης για την αναπτυξιακή της πρόοδο. (Staley, 2023).



Εικόνα 141. Η φιλοσοφία του open innovation.

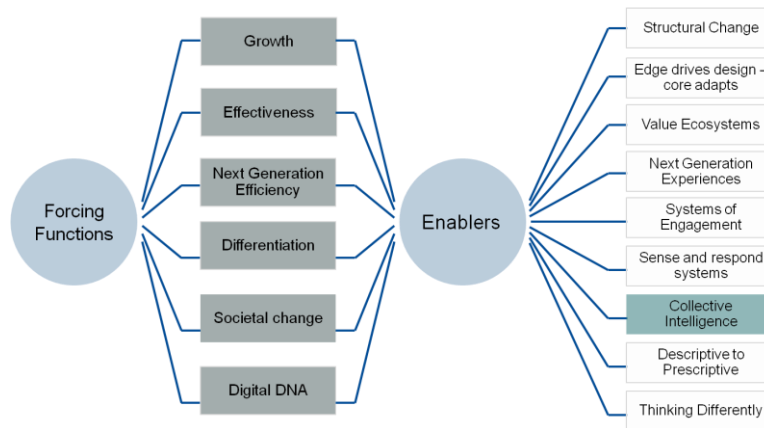
(πηγή: <https://www.collidu.com/presentation-open-innovation>).

Σε αντίθεση με τα επονομαζόμενα «μοντέλα της κλειστής καινοτομίας» (closed innovation models), που περιορίζουν τις δραστηριότητες της καινοτομίας εντός της επιχείρησης, το open innovation έγκειται κατά βάση στη συνεργασία ενός αρκετά μεγάλου δικτύου εμπλεκόμενων φορέων, συμπεριλαμβανομένων των ακαδημαϊκών ιδρυμάτων, των προμηθευτών, των υφιστάμενων και των νεοσύστατων επιχειρήσεων και άλλων φορέων, συντελώντας έτσι και στη διαμόρφωση νέων προοπτικών και πρακτικών για την αποτελεσματική επίλυση των επιχειρησιακών προβλημάτων και την προώθηση της επονομαζόμενης «συλλογικής νοημοσύνης του οικοσυστήματος» (collective intelligence of ecosystem) στο πλαίσιο μιας επιχείρησης του κλάδου. (εικόνες 142 και 143). (Staley, 2023).



Εικόνα 142. Η φιλοσοφία του open innovation.

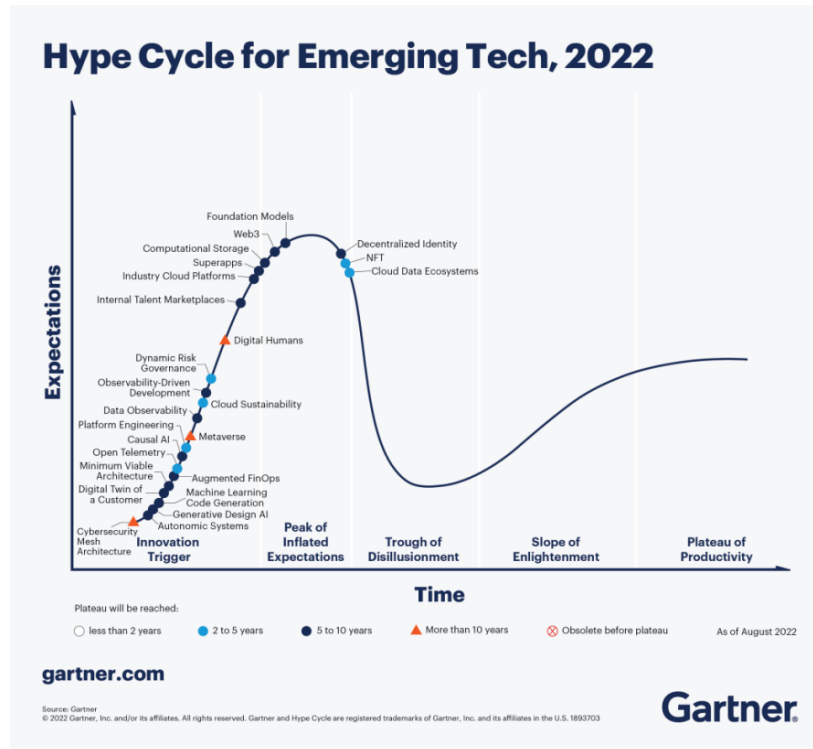
(πηγή: <https://www.viima.com/blog/open-innovation>).



Εικόνα 143. Η φιλοσοφία της συλλογικής νοημοσύνης του οικοσυστήματος.

(πηγή: <https://frankdiana.net/2013/09/23/a-closer-look-at-transformation-collective-intelligence/>).

Η στρατηγική του open innovation είναι μια σημαντική παράμετρος του «slope of enlightenment» (κλίση διαφώτισης), όπως παρουσιάζεται στο Gartner's hype cycle (κύκλος καινοτομίας) για το 2022, στην εικόνα 144. (Staley, 2023). Τα Gartner's hype cycles συνιστούν τις γραφικές απεικονίσεις που καταδεικνύουν το βαθμό της αναπτυξιακής ωρίμανσης (maturity), αλλά και τα επίπεδα της υιοθέτησης των καινοτόμων τεχνολογιών και των εφαρμογών, προσδιορίζοντας έτσι τους τρόπους της συμβολής τους στην άμεση επίλυση αρκετών υφιστάμενων επιχειρηματικών προβλημάτων, αλλά και στην προώθηση νέων λύσεων για την επιχειρηματική και την επιχειρησιακή ανάπτυξη. (Gartner, 2025).



Εικόνα 144. Gartner's hype cycle, 2022.

(πηγή: <https://www.gartner.com/en/articles/what-s-new-in-the-2022-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies>).

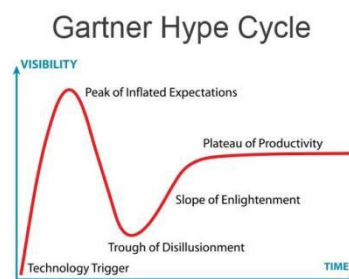
Η αξιοποίηση των «Gartner's hype cycles» επιτρέπει τη διαμόρφωση μιας ολιστικής ανασκόπησης των τρόπων που μια καινοτόμος τεχνολογία ή εφαρμογή μπορεί ανά τα χρόνια να εξελιχθεί, ενώ συνιστά και μια αξιόπιστη πηγή τεκμηριωμένων δεδομένων για τη διαχείριση της τεχνολογίας / εφαρμογής στην επίτευξη ορισμένων στόχων, εντός ενός προκαθορισμένου χρονοδιαγράμματος. Η διαμόρφωση κάθε Gartner's hype cycle έγκειται στην ανάλυση πέντε φάσεων που ορίζουν τον επονομαζόμενο «κύκλο ζωής μιας τεχνολογίας» (technology's life cycle). (Gartner, 2025).

Οι πέντε φάσεις κάθε Gartner's hype cycle (εικόνα 145) αφορούν τα εξής στοιχεία:

- «Innovation trigger»: προσδιορίζει τα εγγενή χαρακτηριστικά της τεχνολογικής καινοτομίας ή εφαρμογής που δίνει το έναυσμα της αναπτυξιακής προόδου
- «Peak of inflated expectations»: προσδιορίζει μια πρώιμη σειρά ιστοριών επιτυχούς αξιοποίησης της τεχνολογικής καινοτομίας ή εφαρμογής, που συχνά

συνοδεύεται από πολυάριθμες ιστορίες μη επιτυχούς έκβασης και μέσω αυτού οι επιχειρήσεις προσδιορίζουν τις προβληματικές περιοχές και αναλαμβάνουν κάποια δράση, όχι όμως σε μεγάλο βαθμό

- «trough of disillusionment»: προσδιορίζει τα επίπεδα που καταδεικνύουν τη μείωση του ενδιαφέροντος για την υιοθέτηση της τεχνολογικής καινοτομίας ή εφαρμογής, τα οποία είναι αποτέλεσμα της μη επιτυχούς αξιοποίησης της στο πλαίσιο της λειτουργίας μιας επιχείρησης και οδηγούν στην απομάκρυνση των επιχειρηματικών επενδύσεων, κυρίως αν τα παραχθέντα προϊόντα δεν ικανοποιούν όλους τους εμπλεκόμενους φορείς (επιχειρήσεις και καταναλωτές)
- «slope of enlightenment»: προσδιορίζουν τα δεδομένα που επιτρέπουν στην τεχνολογική καινοτομία ή εφαρμογή να παρέχει οφέλη στο πλαίσιο λειτουργίας μιας επιχείρησης, τα οποία διαμορφώνονται μέσω συστηματικής ανάλυσης και παρουσιάζονται με κατανοητό τρόπο, γεγονός που οδηγεί κάποιες επιχειρήσεις ή στην εκ νέου χρηματοδότηση νέων πιλοτικών προγραμμάτων για την ανάπτυξη της συγκεκριμένης τεχνολογίας ή εφαρμογής είτε στην εγκατάλειψη της χρήσης της και στην αναζήτηση νέων λύσεων και προσεγγίσεων
- «plateau of productivity»: προσδιορίζει τα επίπεδα που καταγράφουν το μέγιστο δυνατό βαθμό της παραγωγικότητας μιας επιχείρησης, που επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης της τεχνολογικής καινοτομίας ή εφαρμογής και συντελεί στη διαμόρφωση των κριτηρίων αξιολόγησης για την επιτυχή και δόκιμη έκβαση της επονομαζόμενης «ευρείας εφαρμογής και της συνάφειας της τεχνολογίας» (technology's market applicability & relevance), ενισχύοντας την παραγωγικότητα και το δείκτη του ανταγωνισμού. (Gartner, 2025).



Εικόνα 145. Οι πέντε κύριες φάσεις ενός Gartner's hype cycle.

(πηγή: <https://peterhdiamandis.medium.com/5-stages-of-the-hype-cycle-5fbae2daf821>).

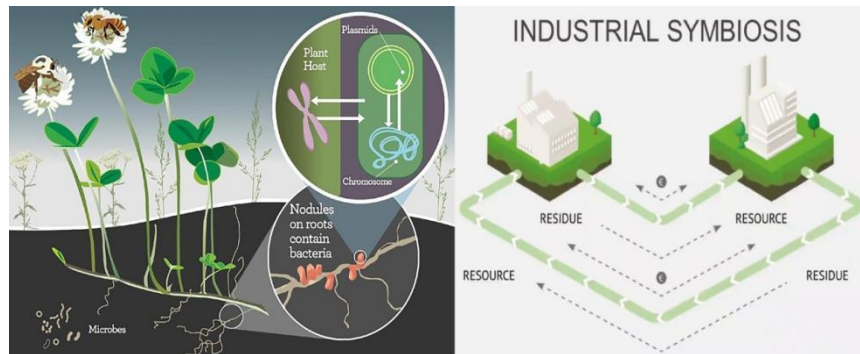
Οι τρεις πυλώνες της ανάπτυξης του open innovation φορούν τα εξής:

- Ταχεία τεχνολογική πρόοδος: ως βασικός καταλύτης της προώθησης της παραγωγικότητας και του ανταγωνισμού μιας επιχείρησης, ενώ η φιλοσοφία του open innovation έγκειται στην ευέλικτη πρόσβαση σε τεχνολογίες αιχμής και σε εξειδικευμένες γνώσεις, χωρίς την προϋπόθεση υψηλών επενδύσεων εκ μέρους των επιχειρήσεων στα πεδία της έρευνας και της ανάπτυξης
- Παγκοσμιοποίηση και δυναμική της αγοράς: οι επιχειρήσεις εντάσσονται στο πλαίσιο μιας παγκόσμιας αγοράς που έχει πολύ υψηλό βαθμό πολυπλοκότητας και χαρακτηρίζεται από τις συνεχείς διακυμάνσεις των αναγκών καταναλωτών, ενώ η φιλοσοφία του open innovation αξιοποιείται για να διευκολύνει την απρόσκοπτη και ταχεία προσαρμογή κάθε επιχείρησης μέσω των συνεργατικών συμπράξεων σε εγχώριο και σε διεθνές επίπεδο
- Μείωση επίπεδων κινδύνου (risk mitigation): η φιλοσοφία του open innovation αξιοποιείται για την ανάλυση, την καταγραφή και την κατανομή των ενδεχόμενων κινδύνων και των διαθέσιμων πόρων που αφορούν εξωτερικούς εταίρους, γεγονός οδηγεί σε μείωση των οικονομικών δαπανών της καινοτομίας, ειδικά σε έργα υψηλού κινδύνου (high-risk) ή έργα υψηλής απόδοσης (high-reward) που ίσως να εμποδίσουν την αναπτυξιακή πρόοδο μιας επιχείρησης. (Staley, 2023).

2.12.3. Η βιομηχανική συμβίωση και η βιομηχανική οικολογία

Ο όρος «industrial symbiosis» (βιομηχανική συμβίωση), που παρουσιάζεται στην εικόνα 146, είναι η πλέον βασική παράμετρος της επονομαζόμενης «βιομηχανικής οικολογίας» (industrial ecology - IE). (Chertow, 2000). Το IE (εικόνα 147) προσδιορίζει τη μεταστροφή από τις συμβατικές «end of pipe» μεθόδους που αξιοποιούνται για τον έλεγχο των επίπεδων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, προς την υιοθέτηση (εικόνα 148) νέων, ολιστικών στρατηγικών για την πρόληψη και το

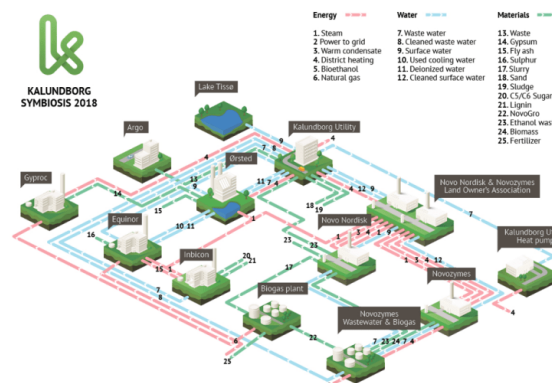
σχεδιασμό μιας περιβαλλοντικά πιο ηθικής ανάπτυξης της σύγχρονης βιομηχανικής παραγωγής. (O'Rourke, Connelly, & Koshland, 1996).



Εικόνα 146. Ο όρος industrial symbiosis.

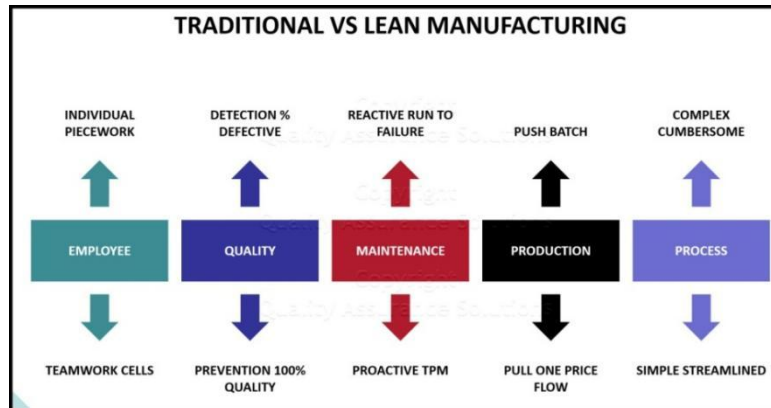
(πηγή: <https://www.linkedin.com/pulse/what-can-industrial-symbiosis-learn-from-natural-simon-miller-phd>).

Οι πρακτικές της φιλοσοφίας του «end-of-pipe (EOP) treatment» περιορίζουν τις πιθανότητες διαμόρφωσης ενός τεκμηριωμένου κίνητρου αιτιολόγησης των κύριων στόχων και επιδιώξεων που οφείλουν να διέπουν το πλαίσιο της πρόληψης, της σύντηξης και της αποφυγής της δημιουργίας ενός υψηλού όγκου αποβλήτων (waste), ο οποίος προκύπτει μέσω του κύκλου της βιομηχανικής παραγωγής, ενώ υποβαθμίζει την ανάγκη ανάπτυξης νέων τεχνικών και μηχανισμών πρόληψης και ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τις επιχειρήσεις. (Dutt & King, 2014).



Εικόνα 147. Η φιλοσοφία του industrial ecology (IE).

(πηγή: <https://huynhbaongocbk.wordpress.com/2020/03/07/ie-01-overview-on-industrial-ecology-and-circular-economy/>).



Εικόνα 148. Οι αρχές των Lean Manufacturing και Lean Production.

(πηγή: <https://www.quality-assurance-solutions.com/Lean-manufacturing.html>).

Το βασικό παραγωγικό πρότυπο της επονομαζόμενης «σύγχρονης βιομηχανικής παραγωγής» (industrial production paradigm) σχετίζεται με το φαινόμενο της «Παγκοσμιοποίησης» (Globalization), που συντελεί στη διαμόρφωση μιας σταθερά αυξητικής κλίμακας του όγκου της παραγωγής (production volumes) και της διεύρυνσης της πολυπλοκότητας των παραχθέντων προϊόντων που διαμορφώνονται για την άμεση κάλυψη όλων των καταναλωτικών αναγκών. Οι βασικές παράμετροι της σύγχρονης βιομηχανικής παραγωγής, είναι οι αρχές των «lean manufacturing» και «lean production» (προσδιορίζεται και ως «λιτή παραγωγή»), που αξιοποιούνται ως βασικό εργαλείο της δόκιμης διαχείρισης του «customer value» των προϊόντων, αποτελώντας κατά βάση μια σειρά μεθόδων και πρακτικών που αξιοποιούνται για τη σύντμηση των δαπανών και την αποτελεσματική χρήση των διαθέσιμων πόρων, συντελώντας έτσι στην επίτευξη συγκεκριμένων στόχων. (Ioppolo et al., 2014).

Η βιομηχανική συμβίωση έγκειται στη δόκιμη διαχείριση των πρώτων υλών και των ενεργειακών πόρων, καθώς αφορά τη συλλογική δράση μεταξύ βιομηχανικών εγκαταστάσεων ή επιχειρήσεων που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση ή εντός βιομηχανικών πάρκων, για την ανταλλαγή υλικών, ενεργειακών πόρων, νερού και υποπροϊόντων, με στόχο την εκ νέου χρήση τους ως υποκατάστατα προϊόντων ή

πρώτων υλών. (Chertow, 2000) (Berlina, Mikkola, & Teräs, 2016). Στόχος της βιομηχανικής συμβίωσης, είναι μέσα από τη δόκιμη διαχείριση των πόρων και τη μείωση των δαπανών και των αποβλήτων, να επιφέρει μια σειρά οικονομικών και περιβαλλοντικών πλεονεκτημάτων. (Berlina, Mikkola, & Teräs, 2016).

2.13. Νέες τάσεις και το μέλλον του κλάδου

Οι προβλέψεις της έκθεσης «2025 Printing Industry Outlook» επισημαίνουν πως τα συνολικά έσοδα του παγκόσμιου κλάδου των εκτυπώσεων ανέρχονται στα 960 δισεκατομμύρια δολάρια, με CAGR 2,5%. Οι παράμετροι που συμβάλλουν σε αυτή την ανάπτυξη σχετίζονται με τα εξής:

- ενσωμάτωση του AI
- τεχνολογικές εξελίξεις στη ψηφιακή εκτύπωση
- αύξηση της ζήτησης για τις εκτυπώσεις κατά παραγγελία (on-demand), με μεταβλητά δεδομένα (VDP), αλλά και της τρισδιάστατης εκτύπωσης
- χρήση των κωδικών QR, του AR και της τεχνολογίας NFC, ώστε τα έντυπα και συσκευασίες να έχουν πάρα πολύ υψηλή «διά δράση» με τους καταναλωτές (interaction – interactive data). (Reed, 2025) (Politis et al., 2025).

Σύμφωνα με τη Reed (2025), τα κύρια παραδείγματα της έκθεσης «2025 Printing Industry Outlook» (εικόνα 149) περιλαμβάνουν τα εξής:

- «ροές εργασιών που είναι βασισμένες στο AI» (AI- driven workflows)
- «συστήματα διαχείρισης των εκτυπώσεων που βασίζονται στο cloud» (cloud-based print management systems)
- «οικολογική διαχείριση που είναι βασισμένη στα δεδομένα» (data-driven eco-management)
- αξιοποίηση ανακυκλωμένων υλικών, βιοδιασπώμενων μελανιών, συστημάτων σκλήρυνσης LED-UV

- χρήση ενδεδειγμένων προτύπων ανακύκλωσης κλειστού κύκλου
- χρήση των ρομπότ και των αυτόματα κατευθυνόμενων οχημάτων (AGV) για τις βαριές και τις επαναλαμβανόμενες εργασίες των έξυπνων εργοστασίων
- αξιοποίηση της ανάλυσης των δεδομένων, όπου τα δεδομένα που προκύπτουν από τα μηχανήματα, τις συσκευές, το μηχανολογικό εξοπλισμό των έξυπνων εργοστασίων που έχουν αισθητήρες και συνδέονται στο IoT, χρησιμοποιούνται για σκοπούς προληπτικής συντήρησης. (Reed, 2025) (Politis et al.,2025)
- άνοδος της υβριδικής εκτύπωσης (ως συνδυαστική χρήση των αναλογικών και των ψηφιακών τεχνολογιών εκτύπωσης). (Lee, 2021) (Politis, 2019).

Trend	Details	Impact
Market Growth	Projected at \$960 billion, 2.5% annual growth	Stable, diversified industry
AI Integration	Predictive maintenance, personalized printing	Improved efficiency, reduced costs
Digital Dominance	Digital presses over 50% market share	Faster, customized printing solutions
Sustainability	Eco-friendly inks, recyclable materials	Meeting consumer expectations, regulatory compliance
Strategic Expansion	Diversifying into packaging, textiles, promotions	Reduced risk, increased revenues
M&A Activity	Xerox-Lexmark acquisition at \$1.5 billion	Market consolidation, enhanced capabilities
Cloud & Security	Cloud management, enhanced cybersecurity	Efficient workflows, data protection
3D & On-Demand	Rapid adoption in aerospace, automotive, healthcare	Lower logistics costs, higher customization

Εικόνα 149. Printing Industry Trends 2025.

(source: <https://www.printingwatch.com/printing-industry-outlook-2025-how-digitization-sustainability-and-automation-are-reshaping-the-market>).

Οι τεχνολογίες της υβριδικής εκτύπωσης και του φινιρίσματος αποτελούν ένα πολύ σημαντικό παράδειγμα της παράλληλης αξιοποίησης των τεχνολογιών και των διαδικασιών της εκτύπωσης και της μετεκτύπωσης. (Politis, 2019). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την έρευνα της MarketsAndMarkets (2025), η παγκόσμια αγορά της υβριδικής εκτύπωσης ανέρχεται έως το 2028 στα 10,2 δισεκατομμύρια δολάρια, με CAGR 13,2% (εικόνα 150). (Hrinya, 2025).



Εικόνα 150. MarketsAndMarkets research for the global hybrid printing market by 2028.

(πηγή: <https://www.labelandnarrowweb.com/breaking-news/assessing-the-growing-hybrid-printing-market>).

Οι Γεωργιάδου & Πολίτης (2025) αναφέρουν πως οι δεκατέσσερις κύριες εκτυπωτικές τάσεις στην Ευρώπη (14 mega trends EU) περικλείουν τα κάτωθι:

1. τεχνολογία και υπερσύνδεση (technology & hyperconnectivity)
2. σπανιότητα φυσικών πόρων (scarcity of natural resources)
3. αλλαγή στον κόσμο της εργασίας (change in world of work)
4. αλλαγή παραδείγματος ασφάλειας (changing security paradigms)
5. κλιματική, περιβαλλοντική υποβάθμιση (climate & environmental degradation)
6. αύξηση της αστικοποίησης (growing urbanization)
7. διαφοροποίηση εκπαίδευσης-κατάρτισης (education & training diversification)
8. αύξηση των ανισοτήτων (increased inequality)
9. επιρροή της ανατολής και του νότου (influence of the east & south)
10. αύξηση κατανάλωσης (consumption growth)
11. αύξηση δημογραφικών ανισοτήτων (growing demographic gaps)

12. επιρροή νέων συστημάτων διακυβέρνησης (new systems of government)
13. αλλαγή στις στρατηγικές προτεραιότητες (changing strategic priorities)
14. εξέλιξη της τεχνολογίας του AI και αυτοματοποίηση (AI & automation).
(Γεωργιάδου & Πολίτης, 2025).

Τα 14 mega trends επηρεάζουν βαθιά τη βιομηχανία της εκτύπωσης σε πολλαπλά επίπεδα, από την παραγωγή και τις διαδικασίες μέχρι το marketing και τις υπηρεσίες προς τον πελάτη, ενώ η ανάλυση για κάθε mega trend με παράδειγμα της επιρροής στη βιομηχανία της εκτύπωσης διαμορφώνεται ως εξής:

1. «Τεχνολογία - Υπερσύνδεση (εικόνα 151)»

- αυξάνει την ανάγκη για τη ψηφιακή ενοποίηση / ολοκλήρωση της παραγωγής, τις «web-to-print» λύσεις, τις παραγγελίες μέσω διαδικτύου (online order), τη διαχείριση της ροής των εργασιών και τη διαχείριση της παραγωγής (workflow)
- οι πελάτες ανεβάζουν τα αρχεία που θέλουν να εκτυπώσουν και μετά παρακολουθούν την εκτύπωση των παραγγελιών σε πραγματικό χρόνο

2. «Σπανιότητα φυσικών πόρων» (εικόνα 152)»

- αυξάνει τη ζήτηση για τα «eco-friendly» μελάνια, τα οικολογικά ή ανακυκλώσιμα χαρτιά και τις βιώσιμες διαδικασίες, όπως είναι η χρήση των ανακυκλώσιμων υλικών και η μειωμένη κατανάλωση ενέργειας

3. «Αλλαγή σε κόσμο εργασίας»

- ευέλικτο «workforce και outsourcing», μέσω των εξειδικευμένων εργασιών
- αυξανόμενη ανάγκη για πιο «multi-skilled» εργαζόμενους
- ζήτηση για «freelancers» που αναλαμβάνουν τα «graphic design ή digital prepress» και εστίαση σε remote εργασία για το project management

4. «Αλλαγή παραδείγματος ασφάλειας»

- ασφάλεια των δεδομένων και προστασία της πνευματικής ιδιοκτησίας κατά τη ψηφιακή διαχείριση αρχείων, μέσω της κρυπτογράφησης και των ασφαλών cloud συστημάτων για τα εκάστοτε αρχεία εκτύπωσης

5. «Κλιματική και περιβαλλοντική υποβάθμιση» (εικόνα 153)

- οι έντονες πιέσεις για πιο οικολογική / πράσινη εκτύπωση και για μειωμένο αποτύπωμα άνθρακα, μπορεί να γίνει κυρίως στις ψηφιακές εκτυπώσεις κατά παραγγελία για τη μείωση του όγκου των αποβλήτων

6. «Αύξηση του φαινομένου της Αστικοποίησης» (εικόνα 154)

- ζήτηση για τοπικές, γρήγορες και μικρές σειρές εκτύπωσης
- μάρκετινγκ και διαφήμιση κοντά (με έμφαση) στον καταναλωτή, όπως είναι οι εκτυπώσεις τοπικών φυλλαδίων ή banners

7. «Διαφοροποίηση της εκπαίδευσης και της κατάρτισης»

- η ανάγκη για τη συνεχή εκπαίδευση των εργαζομένων σε νέες τεχνολογίες εκτύπωσης, στο AI και στη φιλοσοφία του αυτοματισμού της ροής εργασιών και της διαχείρισης της παραγωγής (workflow automation)

8. «Αύξηση των ανισοτήτων»

- αλλαγή στο κοινό-στόχο, κατά βάση για «premium vs low cost printing»
- εστίαση στην εξυπηρέτηση για τις «εξειδικευμένες αγορές» (niche), όπως η «premium» εκτύπωση για συλλεκτικά βιβλία ή περιορισμένες εκδόσεις

9. «Επιρροή Ανατολής και Νότου»

- υψηλός ανταγωνισμός από χώρες με χαμηλότερο κόστος παραγωγής
- έντονη ανάγκη για διαφοροποίηση μέσω της παροχής των «premium» υπηρεσιών ή της υψηλής τεχνογνωσίας

10. «Αύξηση της κατανάλωσης»

- υψηλή ζήτηση για «customized printing, packaging, marketing materials»

11. «Αύξηση των δημογραφικών ανισοτήτων»

- προσαρμογή των προϊόντων εκτύπωσης σε διαφορετικές ηλικιακές ομάδες
- επικράτηση του «digital integration» για τις νεότερες γενιές

12. «Επιρροή των νέων Συστημάτων Διακυβέρνησης»

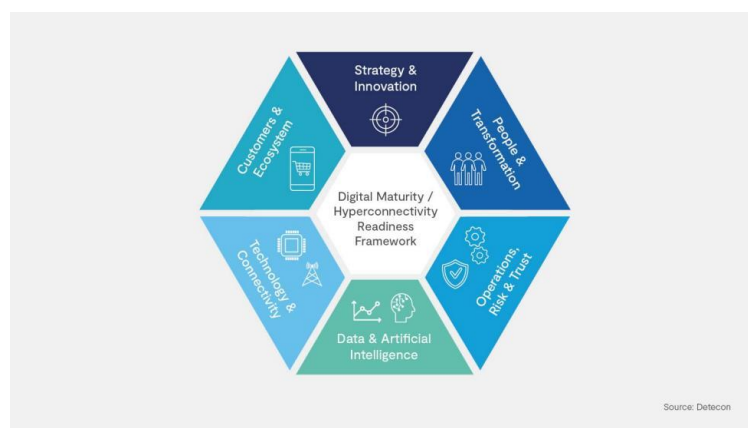
- πλήρης συμμόρφωση με τους αυστηρούς νομοθετικούς κανονισμούς, αλλά και με τα ενδεδειγμένα περιβαλλοντικά πρότυπα και το «GDPR» για τη διαχείριση των δεδομένων των πελατών

13. «Αλλαγή στις στρατηγικές προτεραιότητες»

- ριζική μεταστροφή εταιρειών από τη «συμβατική / απλή παραγωγή» σε «ολοκληρωμένες υπηρεσίες οπτικής επικοινωνίας και branding»

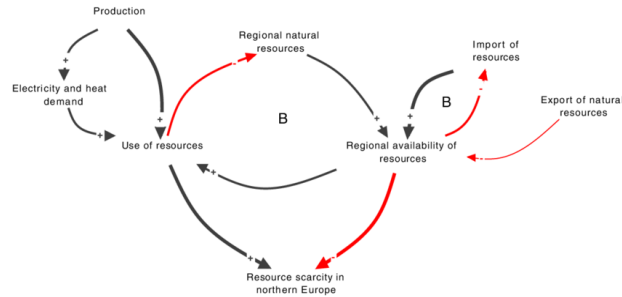
14. «Εξέλιξη της τεχνολογίας του AI και του βαθμού της αυτοματοποίησης»

- η έλευση των «αυτοματοποιημένων ροών εργασιών της προεκτύπωσης» (prepress workflows), της αυτοματοποιημένης προγνωστικής συντήρησης (predictive maintenance) στις εκτυπωτικές μηχανές και η επικράτηση των «data driven marketing print campaigns». (Γεωργιάδου & Πολίτης, 2025).



Εικόνα 151. Technology & Hyperconnectivity.

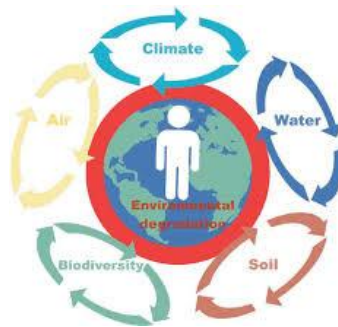
(πηγή: <https://www.detecon.com/en/insights/article/why-should-you-care-about-hyperconnectivity>).



Εικόνα 152. Scarcity of Natural Resources.

(πηγή: researchgate.net/figure/An-excerpt-from-the-model-showing-the-central-factor-resource-scarcity-in-northern

Europe_fig29_321314585?__cf_chl_f_tk=6hNOQWuP_ZRYejFYwNb3QkthhD01qq329thUDBZHw8s-1782748097-1.0.1.1-jsreLD6qAPv_Yhgv4IIstrlPr05qUIzX2UxcVId.dVw).



Εικόνα 153. Climate & Environmental Degradation.

(πηγή: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-93377-6_14).



Εικόνα 154. Η έννοια της Αστικοποίησης.

(πηγή: <https://study.com/academy/lesson/urban-population-growth-and-compact-development.html>).

Οι εν λόγω τάσεις και καινοτομίες είναι δόκιμο όμως να εξεταστούν στο πλαίσιο της ψηφιοποίησης της εκτυπωτικής παραγωγής (όπως σε «Βιομηχανία 4.0», τρισδιάστατη εκτύπωση), υπογραμμίζοντας την κυρίαρχη θέση της βιομηχανίας της εκτύπωσης και

της συσκευασίας στη ψηφιακή εποχή, αν και με πολλές και πολύ σημαντικές αλλαγές στην έρευνα, στη βιομηχανία, αλλά και στην εκπαίδευση (Politis, 2018). Σύμφωνα με τη Sheresheva (2021), η «ψηφιοποίηση της εκτυπωτικής βιομηχανίας» συνεπάγεται και αυξημένους οικονομικούς κινδύνους, ενώ υπάρχουν και σημαντικές αλλαγές στις περισσότερες συμβατικές επιχειρήσεις λόγω της ενσωμάτωσης της τεχνολογίας της ψηφιακής εκτύπωσης. (Politis, 2001) (Sharara, Simuka, & Zimucha, 2023). Η ανάπτυξη του ανθρώπινου κεφαλαίου (Human Capital Development - HCD) αποτελεί βασική παράμετρο για το ψηφιακό μετασχηματισμό, ενώ η απόκτηση των «υψηλής ανταγωνιστικότητας δεξιοτήτων του ανθρώπινου κεφαλαίου» επιτυγχάνεται μέσω των νέων εξελίξεων / τάσεων της τεχνολογίας της ψηφιακής εκτύπωσης. (Khubulova, Smagina, Ivanchenko, & Marfutenko, 2022) (Politis, 2001) (Politis et al., 2025).

Όπως αναφέρεται ανωτέρω, οι τάσεις στον εκτυπωτικό κλάδο περιλαμβάνουν τα εξής:

1. Τεχνολογικές εξελίξεις
2. Ψηφιακός μετασχηματισμός
 - προσδιορίζει τη μετάβαση από την όφσσετ στη ψηφιακή εκτύπωση
 - μικρότερα τιράζ, δυνατότητες εκτύπωσης μεταβλητών δεδομένων
3. Εξελίξεις σε ψηφιακή εκτύπωση / inkjet
 - σχετίζεται με υψηλή ταχύτητα της παραγωγής
 - οδηγεί σε βελτιωμένη ακρίβεια της αναπαραγωγής των χρωμάτων
4. Τρισδιάστατη εκτύπωση
 - νέες δυνατότητες παραγωγής και προτυποποίησης
5. Υβριδική εκτύπωση
 - σύγκληση παραδοσιακών και ψηφιακών τεχνολογιών
6. Αυτοματοποίηση, «Βιομηχανία 4.0/5.0»(Industry 4.0/5.0) και AI
 - σκιαγραφεί το γενικό σύνολο των αυτοματισμών, της ανάλυσης των

δεδομένων, της αξιοποίησης των IoT και AI, το οποίο οδηγεί και σε πάρα πολύ υψηλή αποτελεσματικότητα, σε μείωση της εμφάνισης των ανθρώπινων λαθών και σε περιορισμό του κόστους της παραγωγής

- αναφέρεται σε βελτιώσεις στις διαδικασίες παραγωγής, στη διαχείριση της ροής εργασιών, στη διαχείριση του χρώματος και στον ποιοτικό έλεγχο, οδηγώντας σε σταθερή ποιότητα των τελικών προϊόντων

7. Βιωσιμότητα

- σχετίζεται με τα φιλικά προς το περιβάλλον υλικά και τις πρακτικές

8. Ενσωμάτωση του ηλεκτρονικού εμπορίου

- απλοποίηση παραγγελιών και διανομής των προϊόντων στους πελάτες

9. Εφαρμογές και λύσεις, που έχουν ως «επίκεντρο τον πελάτη / καταναλωτή»

- σχετίζεται με την υψηλή εξατομίκευση και με την εκτύπωση κατά παραγγελία, συνήθως σε μικρά τираζ του «Print-on-Demand»
- επιτρέπει τη μείωση των αποβλήτων και του κόστους των αποθεμάτων

10. «Πολύ κানাλο μάρκετινγκ» (Omni channel)

- αναφέρεται στο συνδυασμό της εκτύπωσης με τα ψηφιακά κανάλια

11. AR και QR

- αφορά την υψηλή διαδραστικότητα των ειδών που παράγονται και την ενίσχυση του δείκτη της δέσμευσης (αφοσίωσης) του καταναλωτή

12. «Εξυπνη συσκευασία»

- χρήση τεχνολογιών της «έξυπνης συσκευασίας» (smart & intelligent packaging), με στόχο την υψηλή αλληλεπίδραση με τον καταναλωτή
- σχετίζεται με την παρακολούθηση του προϊόντος και με τη βελτίωση της «εμπειρίας χρήστη», όπως συμβαίνει με τα τυπωμένα ηλεκτρονικά

13. Εκτυπώσεις ασφαλείας

- σχετίζεται με τις ειδικές τεχνικές εκτύπωσης, οι οποίες συντελούν σε σημαντικό βαθμό στην πρόληψη του φαινομένου της «παραχάραξης», ενώ αυτές αξιοποιούνται και για την «αυθεντικοποίηση» όλων των παραχθέντων προϊόντων. (Γεωργιάδου & Πολίτης, 2025).

Ανεξαρτήτως από το σύνολο όλων των παραπάνω στοιχείων, το ανθρώπινο κεφάλαιο στις Γραφικές Τέχνες – Εκτυπώσεις αποτελεί την κρίσιμη και την πολύ απαραίτητη παράμετρο που επιτρέπει την εύρωστη μετάβαση από την παραδοσιακή μηχανική λειτουργία των εκτυπωτικών μηχανών προς την προηγμένη ψηφιακή παραγωγή, την εκτύπωση των μεταβλητών δεδομένων και την υψηλού βαθμού αυτοματοποίηση του κύκλου της παραγωγή. Ο ριζικός μετασχηματισμός του κλάδου και η εξέλιξη των τεχνολογιών και εφαρμογών, σηματοδοτεί και την αναγκαιότητα για τη συγκρότηση μιας νέας στρατηγικής ανάπτυξης του ανθρώπινου κεφαλαίου, όπου ο άνθρωπος παράγοντας έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- «δια τομεακή κατάρτιση» (highly cross-trained workforce)
- υψηλή εξειδίκευση στη διαχείριση των δεδομένων της προεκτύπωσης
- «υψηλή γνώση και ικανοποιητική κατάρτιση στη μηχανική μάθηση, στο AI και στη χρωματομετρία», καθώς όλα αυτά συντελούν και στην επίτευξη των στόχων της «επιχειρηματικής καινοτομίας». (Couckuyt, 2019) (Mariz-Pérez, Teijeiro-Alvarez, & García-Alvarez, 2012).

Τα νέα χαρακτηριστικά και απαιτήσεις που επιτρέπουν την ανάπτυξη του ανθρώπινου κεφαλαίου του κλάδου, διαμορφώνονται μέσω των εξής παραμέτρων:

1. Μετατόπιση δεξιοτήτων (skill set shift)

- η έμφαση μετατοπίζεται από το χειροκίνητο χειρισμό των εκτυπωτικών μηχανημάτων προς τη ψηφιακή προετοιμασία όλων των δεδομένων της προεκτύπωσης, τη διαχείριση των χρωμάτων μέσω των προηγμένων λογισμικών, αλλά και με το προγραμματισμό ελέγχου ποιότητας

2. Χάσμα «ηλικίας – ταλέντου» (age & talent gap, όπως φαίνεται σε εικόνα 155)

- αρκετές περιοχές, συμπεριλαμβανομένης της Ελλάδας και συναφών χωρών

της ΕΕ, αντιμετωπίζουν έντονη αδυναμία στη δόκιμη ψηφιακή κατάρτιση (ψηφιακός εξωραϊσμός), αλλά και στη διαχείριση των δυνατοτήτων της εξοικείωσης του ανθρώπινου δυναμικού μιας μεγαλύτερης ηλικίας με τις σύγχρονες τεχνολογίες και εφαρμογές

- υφίστανται και κάποια προγράμματα για την αναβάθμιση των δεξιοτήτων που διοργανώνονται κατά βάση από σχετικούς φορείς, όπως συμβαίνει με το Hellenic Union of Graphic Arts & Media Technology Engineers και το κέντρο έρευνας και ανάπτυξης PackPrintScience, που έχουν ως κύριο στόχο τη «γεφύρωση του εν λόγω δυσμενούς χάσματος»

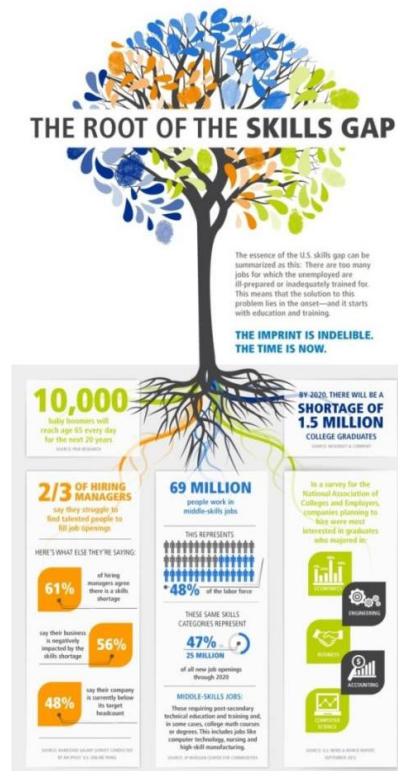
3. «Τεχνολογική συνέργεια» (technological synergy)

- στις περισσότερες επιχειρήσεις του κλάδου, το ανθρώπινο κεφάλαιο λειτουργεί ως συνδετικός κρίκος που μετατρέπει όλες τις τεχνολογικές δυνατότητες σε οργανωτική αξία, μιας και οι εργαζόμενοι ενεργούν ως «συντονιστές της παραγωγής», όχι ως χειριστές μηχανημάτων. (Couckuyt, 2019) (Mariz-Pérez, Teijeiro-Alvarez, & García-Alvarez, 2012).

Τα επόμενα χρόνια αναμένεται επίσης να τελείται και μια συνεχής μετατόπισης της επονομαζόμενης «ανθρώπινης εμπλοκής» (shift of human intervention), μεταβαίνοντας από το «βασικό / συμβατικό χώρο της παραγωγής», προς όλα τα στάδια που πραγματοποιούνται πριν και μετά την παραγωγή, καθώς ήδη στην αυτοκινητοβιομηχανία τα συνεργατικά ρομπότ αναλαμβάνουν κατά βάση όλες τις επαναλαμβανόμενες εργασίες της παραγωγικής διαδικασίας, αυξάνοντας έτσι την αποδοτικότητα και την παραγωγικότητα. Ο «ανθρώπινος παράγοντας» (ανθρώπινο κεφάλαιο) μετατοπίζεται πλέον προς την προσθήκη της «προστιθέμενης αξίας της δόκιμης ανάπτυξης του προγραμματισμού της παραγωγής» (added value of production program development), τον έλεγχο της παραγωγικής διαδικασίας και το συντονισμό των λειτουργιών πριν και μετά την παραγωγή. (Couckuyt, 2019).

Την προαναφερθείσα λογική του τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας ακολουθούν και πολλοί άλλοι κλάδοι, συμπεριλαμβανομένου εκείνου της εκτυπωτικής βιομηχανίας, καθώς η «ψηφιοποίηση της εκτύπωσης» (ως παραγωγική διαδικασία) μετατοπίζει τη ζήτηση από τις «δεξιότητες της εκτύπωσης» (press skills) προς τις «δεξιότητες της

προεκτύπωσης» (pre-press skills) και κάνει απολύτως σαφές πως δε χρειάζεται λείον αρκετός «δρόμος» για να γίνει στο εγγύς μέλλον και η μετάβαση στα νέα ρομπότ που παράγουν προϊόντα ή στα ρομπότ που εκτελούν διαδικασίες ελέγχου, ρύθμισης ή / και διόρθωσης, αλλά και στην ολιστική αξιοποίηση των ML και AI, όπου τα ρομπότ θα είναι ικανά να προσαρμόζονται άμεσα, αποτελεσματικά και αυτόνομα βάσει των δεδομένων που συλλέγουν και επεξεργάζονται. Ο κύριος μελλοντικός στόχος είναι η «μηχανή» να μπορεί να μαθαίνει από τα δεδομένα και να μεγιστοποιεί την απόδοση της σε μια εκτυπωτική εργασία, ενώ η αξιοποίηση του ML θα συνιστά μελλοντικά μια πολύ σημαντική πτυχή της παραγωγικής διαδικασίας. (Couckuyt, 2019).



Εικόνα 155. The Root of the Skills Gap.

(πηγή: <https://elearninginfographics.com/the-root-of-the-skills-gap-infographic/>).

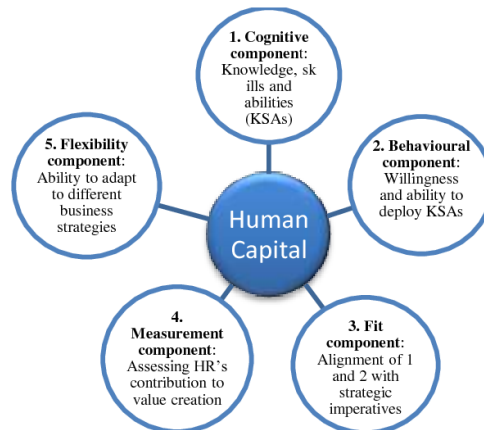
Κεφάλαιο 3. Το ανθρώπινο κεφάλαιο στις Γραφικές Τέχνες – Εκτυπώσεις

Ο κλάδος της εκτύπωσης περικλείει ένα μεγάλο σύνολο πολλών τομέων παραγωγής και οι κύριες εφαρμογές του κλάδου αφορούν τις εκδόσεις, τη διαφήμιση και τη συσκευασία. Όπως ήδη αναφέρεται και στο κεφάλαιο 2 τα διακριτά στάδια της

παραγωγής ταξινομούνται παραδοσιακά στην προεκτύπωση, στην εκτύπωση και στην μετεκτύπωση, ενώ στο σήμερα η εκτυπωτική βιομηχανία βρίσκεται («διαβαίνει») σε μια περίοδο ‘έντονων και πολύ σημαντικών «μετασχηματισμών», που πηγάζουν από τις τεχνολογικές εξελίξεις και που επηρεάζουν όλες τις παραγωγικές διαδικασίες, την οργανωτική δομή των επιχειρήσεων, καθώς και τα προϊόντα και τη δυναμική τους στο πλαίσιο της παγκόσμιας οικονομίας. (Politis, 2004) (Politis et al.,2025).

Το πιο χαρακτηριστικό γνώρισμα της εν λόγω συνθήκης είναι η μετάβαση από «ένα μοντέλο προσανατολισμένο στην παραγωγή / κατασκευή», σε μια «νέα προσέγγιση που είναι προσανατολισμένη στις υπηρεσίες», η οποία επιταχύνει τις αλλαγές τόσο στις επιχειρήσεις όσο και στο ανθρώπινο κεφάλαιο (Human Capital – HC, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 156). Η πλειονότητα των επιχειρήσεων του κλάδου είναι οι μικρές και οι μεσαίες επιχειρήσεις, ενώ σύμφωνα με τα στοιχεία που προκύπτουν από την Intergraf (2000), ο κλάδος ταξινομείται και σε πέντε μικρότερους κλάδους (υπό κλάδους), δηλαδή στην προεκτύπωση, στην εκτύπωση, στη μετεκτύπωση / φινίρισμα, στη συσκευασία, στα πολυμέσα και στις εφημερίδες. (Politis, 2004).

Figure 1: The HC definition



Εικόνα 156. Το ανθρώπινο κεφάλαιο (Human Capital – HC).

(πηγή: <https://www.semanticscholar.org/paper/HUMAN-CAPITAL-MANAGEMENT%3A-THE-NEW-COMPETITIVE-Hossain/d3d92b0540258f078f2acf4628342fe6c682f2ca>).

Η εξέλιξη της «τεχνολογίας των πληροφοριών» (information technology – IT, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 157) επιταχύνει περισσότερο τη δημιουργία ενός νέου περιβάλλοντος, το οποίο ενσωματώνει αποτελεσματικά εντός ενός «κοινού πλαισίου»

τη ψηφιακή τεχνολογία, τις διαδικασίες της παραγωγής, αλλά και όλες τις πολιτικές της διαχείρισης. (Politis, 2004). Η εισαγωγή και η ενσωμάτωση της τεχνολογίας της ψηφιακής εκτύπωσης στις περισσότερες παραδοσιακές επιχειρήσεις του κλάδου συχνά επιφέρει σημαντικές αλλαγές στην παραγωγή και στη διαχείριση της ροής εργασιών, ενώ οι «νέες τεχνικές δυνατότητες» και τα χαρακτηριστικά των «ψηφιακά τυπωμένων προϊόντων απαιτούν και την «όσο το δυνατόν πιο άμεση» ανάπτυξη νέων στρατηγικών μάρκετινγκ για την ενημέρωση των πελατών. (Politis, 2003).



Εικόνα 157. Ορισμός της τεχνολογίας των πληροφοριών (information technology – IT).

(πηγή: <https://www.cloudavize.com/information-technology/>).

Μια σημαντική πτυχή της παραγωγής του τομέα της ψηφιακής εκτύπωσης, όσον αφορά την επιπλέον ανάπτυξη της, είναι οι «ικανότητες και οι δεξιότητες» που απαιτούνται αναφορικά με το ανθρώπινο κεφάλαιο, προκειμένου να επιτευχθεί η «μέγιστη δυνατή προστιθέμενη αξία», που γίνεται μεσως της καθιέρωσης και της εφαρμογής αυτής της νέας τεχνολογίας εκτύπωσης. (Politis, 2003). Ο επονομαζόμενος «ανθρώπινος παράγοντας» (human factor) αρχίζει σιγά σιγά να καθορίζει όλες τις προοπτικές, τις μορφές και τους τρόπους της διαμόρφωσης της επονομαζόμενης «μεταβιομηχανικής πραγματικότητας» (post-industrial reality) και στο εν λόγω θεωρητικό πεδίο, διαμορφώνεται με τον καιρό και η έννοια του «δημιουργικού κεφαλαίου» (creative capital concept), όπως παρουσιάζεται στις εικόνες 158 και 159. (Horban, Dolbenko, Yaroshenko, Sokol, & Miatenko, 2021).

Από τη μία πλευρά, το «δημιουργικό κεφάλαιο» αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα της παραγωγής, αλλά και ένα ζωτικό πόρο της οικονομικής δραστηριότητας, ενώ από την άλλη είναι ένα «ανεξάρτητο στοιχείο των οικονομικών και των διαχειριστικών

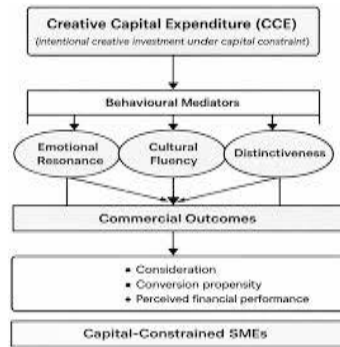
σχέσεων» μιας επιχείρησης, εντός της οποίας η ικανότητα της δημιουργίας και της αποτελεσματικής αξιοποίησης του δημιουργικού κεφαλαίου αποτελεί μια σημαντική παράμετρο για τη «χρηματοοικονομική δυναμική» της επιχείρησης. Το ανθρώπινο κεφάλαιο αποτελεί τη μεγαλύτερη αξία της εθνικής οικονομίας στα πλαίσια όλων των οικονομικών συνθηκών της παγκόσμιας αγοράς. Η «διαμόρφωση του ανθρώπινου κεφαλαίου» (manifestation of human capital) υλοποιείται ως το επονομαζόμενο «πνευματικό κεφάλαιο» (intellectual capital), και ως το «δημιουργικό κεφάλαιο» (creative capital), ενώ η διαμόρφωση του πνευματικού κεφαλαίου τελείται μέσω της ερευνητικής δημιουργικότητας των επιστημόνων και των ερευνητών, μιας και το δημιουργικό κεφάλαιο εκδηλώνεται μέσω των καλλιτεχνών ή στοχαστών. (Horban, Dolbenko, Yaroshenko, Sokol, & Miatenko, 2021).



Εικόνα 158. Η έννοια του δημιουργικού κεφαλαίου (creative capital concept).

(πηγή: <https://www.tetaumatatoiaiwi.org.nz/resources/creativecapitalcourtneymayhewandchelseawinstanley>).

Η έννοια της δημιουργικότητας στο πλαίσιο της αγοράς αποτελεί μια ξεχωριστή πηγή εισοδήματος και ένα πολύ βασικό στοιχείο στη διαμόρφωση του ΑΕΠ της εθνικής οικονομίας (GDP). Ο παράγοντας του ανθρώπινου κεφαλαίου κρίνεται ως βασική προϋπόθεση για την ανάπτυξη της δημιουργικότητας στις επονομαζόμενες «πολιτιστικές βιομηχανίες» (creativity development in the cultural industries), ενώ θα πρέπει να σκιαγραφηθούν και τα στοιχεία που οφείλουν να προσδιορίζουν οποιαδήποτε σύγχρονη μορφή δημιουργικού κεφαλαίου (modern form of creative capital), ειδικά για τις πολιτιστικές και τις δημιουργικές βιομηχανίες (cultural & creative industries). (Horban, Dolbenko, Yaroshenko, Sokol, & Miatenko, 2021).



Εικόνα 159. Η συμβολή του δημιουργικού κεφαλαίου (creative capital).

(πηγή: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/26437015.2026.2637731>).

Σύμφωνα με τους Horban, Dolbenko, Yaroshenko, Sokol, & Miatenko (2021), η έννοια του ανθρώπινου κεφαλαίου εισάγεται στην επιστήμη τη δεκαετία του 1960 από τους μελετητές Becker και Shultz, ενώ αν και υπάρχουν μελέτες σχετικά με τη θεωρία και τη μεθοδολογία της «ανθρώπινης ανάπτυξης» (human development theory & methodology), δεν υπάρχει επαρκής «συναίνεση» (ορίζεται ως η «αποδοχή της σημαντικότητας του ρόλου») της έννοιας της ανάπτυξης του ανθρώπινου κεφαλαίου (no consensus on human capital development). Η πλειοψηφία των συγγραφέων αναφέρει πως το ανθρώπινο κεφάλαιο χρησιμοποιείται κατά βάση ως κύριος δείκτης της οικονομικής και της κοινωνικής ανάπτυξης (key indicator of economic & social development) και μέσω της ανάπτυξης και της επικράτησης της επονομαζόμενης «δημιουργικής οικονομίας» (creative economy development), η έννοια της ενσωμάτωσης του δημιουργικού κεφαλαίου βρίσκει σταδιακά ολόένα και πιο ευρεία εφαρμογή. (Horban, Dolbenko, Yaroshenko, Sokol, & Miatenko, 2021).

Η «δημιουργικότητα» (creativity) μπορεί να προσδιοριστεί με μετρήσιμες τιμές από την οπτική γωνία της «πνευματικής ιδιοκτησίας» (intellectual property), η οποία ανακλάται στα έσοδα που προκύπτουν από διπλώματα ευρεσιτεχνίας, παρατηρείται σε εφευρέσεις, εμφανίζεται στα τεχνικά σχέδια και στις εκδόσεις – εκτυπώσεις, ενώ συχνά δε λαμβάνει υπόψη τη σημαντική συμβολή του συνολικού «δημιουργικού έργου καλλιτεχνών – καινοτόμων» του καλλιτεχνικού και του πολιτιστικού χώρου, αλλά και το «κενό που υπάρχει στο σύστημα της επιστημονικής έρευνας» σχετικά με τη δημιουργική οικονομία και την ανάπτυξη των πολιτιστικών και των δημιουργικών

βιομηχανιών. Αξίζει επίσης να σημειωθεί πως η «ποσοτική δομή της διαμόρφωσης του ανθρώπινου κεφαλαίου και του δημιουργικού κεφαλαίου» (quantitative structure of human & creative capital formation), σχετίζεται κατά βάση με το να δίδεται κύρια έμφαση στον πολύ σημαντικό ρόλο της «εκπαίδευσης και της δημιουργικότητας» στην «αναδιαμόρφωση της δημιουργικότητας όλων των βιομηχανιών της τέχνης και του πολιτισμού». (Horban, Dolbenko, Yaroshenko, Sokol, & Miatenko, 2021).

Η «εκπαίδευση και η δημιουργικότητα» είναι οι πιο καθοριστικοί παράγοντες των σύγχρονων πολιτιστικών και δημιουργικών βιομηχανιών, επιτρέποντας την ανάπτυξη της κοινωνίας στο πλαίσιο των δυσμενών συνθηκών της παγκόσμιας αγοράς. Θα πρέπει όμως η «κοινή γνώμη» να επικεντρωθεί στην εκτίμηση της ανάπτυξης όλων των παραγόντων που επηρεάζουν τις πολιτιστικές και τις δημιουργικές βιομηχανίες, σε ομάδες χωρών με ικανοποιητικό επίπεδο οικονομικής ανάπτυξης, δεδομένου πως η «δημιουργικότητα της κοινωνικής σφαίρας» αξιολογείται επί του παρόντος μόνο στις ανεπτυγμένες χώρες και είναι σκόπιμο να εκτιμηθεί και η συμβολή της στο ΑΕΠ των ανεπτυγμένων χωρών, από όλους τους εργαζόμενους στον κλάδο των Γραφικών Τεχνών – Εκτυπώσεων. (Horban, Dolbenko, Yaroshenko, Sokol, & Miatenko, 2021).

Αναφορικά με την εκπαίδευση στον κλάδο των Γραφικών Τεχνών - Εκτυπώσεων επισημαίνεται πως παρά τη ριζική αναδιάρθρωση των υφιστάμενων ακαδημαϊκών προγραμμάτων σπουδών και την εμφάνιση νέων μαθημάτων και ενοτήτων κατά τις τελευταίες δεκαετίες, ιδίως στα ανώτερα επίπεδα εκπαίδευσης, η πλειονότητα των εκπαιδευτικών και των επιμορφωτικών ιδρυμάτων δυσκολεύεται να προσαρμοστεί και έτσι παρατηρείται αύξηση των εσωτερικών προγραμμάτων κατάρτισης και των εξειδικευμένων σεμιναρίων σχετικά με τα σύγχρονα συστήματα, τα μηχανήματα και τις τεχνολογίες και των εφαρμογών. (Politis & Gatsou, 2016) (Sofias & Politis, 2024).

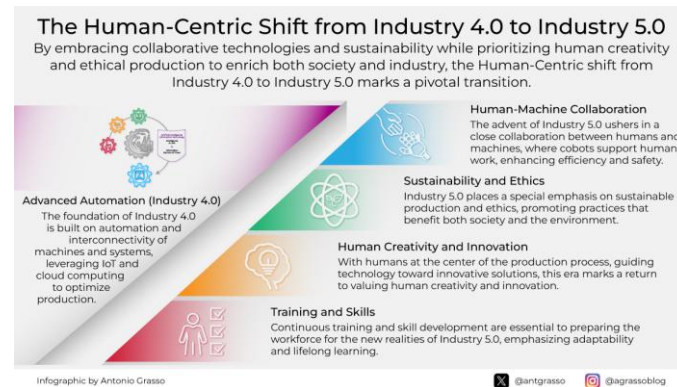
Είναι δόκιμο επίσης να αναφερθεί πως «αρκετές εξέχουσες προσωπικότητες» της παγκόσμιας ακαδημαϊκής και ερευνητικής κοινότητας του κλάδου, συμμετέχουν το 2024 στην κορυφαία παγκοσμίως έκθεση της τεχνολογίας των εκτυπώσεων, δηλαδή στη Drupa 2024, μέσω του International Circle (IC) και του περιπτέρου της HELGRAMED στην αίθουσα DNA-Drupa Next Age, ενώ οι κύριες ερωτήσεις που τίθενται από τους επισκέπτες σκιαγραφούν ένα ιδιαίτερα έντονο ενδιαφέρον για τις υφιστάμενες ευκαιρίες εργασιακής απασχόλησης και αποκαλύπτουν πολλά «σημεία

που χωλαίνουν» σχετικά με τις εμφανείς ελλείψεις στα υφιστάμενα εκπαιδευτικά και επιμορφωτικά ιδρύματα, με χαρακτηριστικό δείγμα τη μείωση των δεξιοτήτων και της εμπειρογνωμοσύνης του ανθρώπινου κεφαλαίου για την κάλυψη διαφορετικών θέσεων εργασίας σε όλα τα επίπεδα, εντός των σχετικών τομέων. Σύμφωνα με τους Sofias & Politis (2024), οι εκπαιδευτικές και επιμορφωτικές ελλείψεις που οδηγούν στη μείωση των δεξιοτήτων και της εμπειρογνωμοσύνης του ανθρώπινου κεφαλαίου (που είναι πολύ ζωτικής σημασίας για την κάλυψη θέσεων σε σχετικούς τομείς), σε συνδυασμό με τις ανεπαρκείς υφιστάμενες εκπαιδευτικές προσεγγίσεις επιδεινώνουν αρκετά το «χάσμα μεταξύ των πεδίων των θεωρητικών γνώσεων και της πρακτικής εφαρμογής τους», ιδίως στους πάρα πολύ ανταγωνιστικούς τομείς του κλάδου των Γραφικών Τεχνών, των Εκτυπώσεων και της συσκευασίας. (Sofias & Politis, 2024).

Είναι σημαντικό όμως να επισημανθεί πως η έλευση του Industry 4.0 προκαλεί σημαντικές και έντονες τροποποιήσεις στις ευκαιρίες εργασιακής απασχόλησης, καθιστώντας απαραίτητη την απόκτηση των νέων και πολύ υψηλής εξειδίκευσης γνώσεων, καθώς και των υβριδικών δεξιοτήτων. Οι σύγχρονες επιχειρήσεις του κλάδου μεταβαίνουν σταδιακά προς το πρότυπο του Industry 5.0 (εικόνα 160), που αποτελεί μια παρά πολύ σημαντική αλλαγή παραδείγματος ως προς τα επίπεδα της αποδοτικότητας, της αυτοματοποίησης, της εξατομίκευσης και της ακρίβειας των παραχθέντων προϊόντων και των παρεχόμενων υπηρεσιών. (Gryczka, 2024).

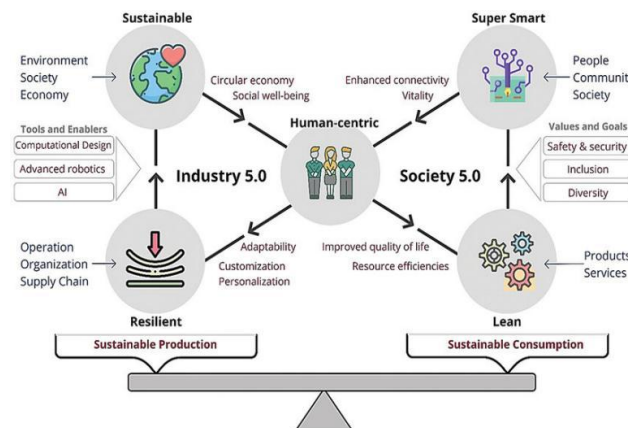
Η έμφαση που δίνει το Industry 5.0 στο ανθρώπινο κεφάλαιο και στην ανάπτυξη του (μιας και έχει ως «επίκεντρο τον ανθρώπινο παράγοντα», όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 161) υπογραμμίζει και τη σημασία της ενίσχυσης του βαθμού της συνεργασίας μεταξύ ανθρώπου – ρομπότ / μηχανής (human - robot collaboration), με στόχο την ενίσχυση της δημιουργικής και της κριτικής σκέψης, αλλά και των διαπροσωπικών και των τεχνικών δεξιοτήτων του ανθρώπινου κεφαλαίου. Η έλευση του Industry 5.0 αναδεικνύει επίσης και τη σημασία της επονομαζόμενης «ηθικής ευθύνης στη χρήση των δεδομένων», διασφαλίζοντας έτσι το να μπορούν να διατηρούνται αποκλειστικά και μόνο τα «ωφέλιμα χαρακτηριστικά» της αξιοποίησης του AI, αλλά και όλων των συναφών τεχνολογιών και εφαρμογών, εστιάζοντας κατά βάση στην «ανάπτυξη του ανθρώπινου παράγοντα». (Gryczka, 2024). Ένα αξιοσημείωτο παράδειγμα της εν λόγω φθίνουσας (ή και πρακτικά απύουσας) ύπαρξης των «με δόκιμο τρόπο συγκροτημένων υφιστάμενων πλαισίων εκπαίδευσης και κατάρτισης», παρατηρείται

στην Ελλάδα, γεγονός που δίνει το έναυσμα για τη δημιουργία του κέντρου έρευνας και ανάπτυξης «PackPrint Science» το 2024, το οποίο συγκροτείται από σημαντικούς βιομηχανικούς και ερευνητικούς φορείς του κλάδου των Γραφικών Τεχνών, των Εκτυπώσεων και της συσκευασίας στην Ελλάδα. (PackPrint Science, 2024).



Εικόνα 160. The Human-Centric shift from Industry 4.0 to Industry 5.0.

(πηγή: <https://antgrasso.medium.com/industry-5-0-will-bridge-automation-to-human-machine-collaboration-63e170cffe3d>).



Εικόνα 161. Industry 5.0 is aligning with the values of Society 5.0 (super-smart, lean, diverse, inclusive), and Industry 5.0 (sustainability, resilience, flexibility, customizability, and eco-friendly production).

(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/An-integrated-industry-50-society-50-perspective-The-human-centred-element-is-the_fig1_390597184).

Το PackPrint Science (εικόνα 162) ενσαρκώνει μια νέα, εθνική και πλήρως ολιστική στρατηγική ανάπτυξης του ανθρώπινου κεφαλαίου, με κύριο στόχο την ενοποίηση

των τριών βασικών πυλώνων των κλάδων των Γραφικών Τεχνών, των Εκτυπώσεων και της συσκευασίας, δηλαδή ως τη βιομηχανία και τις επιχειρήσεις, τους ερευνητικούς οργανισμούς και τα εκπαιδευτικά ιδρύματα, ώστε να καλλιεργηθεί εκ νέου ένα περιβάλλον συνεργασίας που ευνοεί σε σημαντικό βαθμό την εκπαίδευση και την κατάρτιση όλων των ατόμων (ανθρώπινου παράγοντα / κεφαλαίου) που δραστηριοποιούνται ή που επιθυμούν επιθυμούν να εμπλακούν μελλοντικά με τους εν λόγω τομείς στην Ελλάδα. (PackPrint Science, 2024).



Εικόνα 162. Το λογότυπο του κέντρου PackPrint Science.

(πηγή: <https://www.packprintscience.org/to-kentro>).

Η νέα ολιστική στρατηγική της ανάπτυξης του ανθρώπινου κεφαλαίου (HCD, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 163), οφείλει να είναι εστιασμένη στον κλάδο (δηλαδή στις ανάγκες και στις απαιτήσεις του ανθρώπινου κεφαλαίου και των επιχειρήσεων) και θα πρέπει να διαφέρει ριζικά από όλες τις συμβατικές προσεγγίσεις που αναπτύσσονται τα προηγούμενα χρόνια και να είναι περισσότερο ανθρωποκεντρική, επιτρέποντας την ολιστική ανάπτυξη όλων των ατόμων που εργάζονται ή δύναται να εργαστούν σε όλα τα επίπεδα του κλάδου, ιδίως αντιμετωπίζοντας αποτελεσματικά όλες τις νέες ανάγκες και απαιτήσεις που μπορεί να προκύψουν και που εντοπίζονται σε συναφείς τομείς, σε εγχώριο και σε διεθνές επίπεδο. (Sofias & Politis, 2024).



Εικόνα 163. Η ανάλυση της δομής της στρατηγικής ανάπτυξης του ανθρώπινου κεφαλαίου (HCD).

(πηγή: <https://www.talentalign.com/knowledge-base-2/human-capital-strategy-an-approach-to-creating-a-human-capital-strategy-plan/>).

3.1.Η έννοια του ανθρώπινου κεφαλαίου

Το «ανθρώπινο κεφάλαιο» (εικόνα 164) είναι σημαντική έννοια της επιστήμης της οικονομίας (concept in economics) που αναφέρεται στις γνώσεις, στις δεξιότητες, στην εμπειρία (εμπειρογνωμοσύνη, επαγγελματική κατάρτιση), στην υγεία, καθώς και στη δημιουργικότητα που συνεισφέρουν οι εργαζόμενοι στις επιχειρήσεις, στις οικονομικές διαδικασίες και στην ανάπτυξη της κοινωνικής ζωής. Ο εν λόγω όρος γίνεται γνωστός τον 20^ο αιώνα και έκτοτε αξιοποιείται σε πολλές εφαρμογές, εκκινώντας από την επονομαζόμενη «θεωρία της οικονομικής ανάπτυξης» (theory of economic growth) και καταλήγοντας στις αντίστοιχες πρακτικές για τη διαχείριση του ανθρώπινου παράγοντα στις περισσότερες επιχειρήσεις. (Rabczuk, 2026).

Το ανθρώπινο κεφάλαιο αντιπροσωπεύει έναν ειδικό τύπο κεφαλαίου (special type of capital) και σε αντίθεση με το υλικό / απτό – φυσικό κεφάλαιο (μηχανήματα ή εργαλεία), είναι άυλο (intangible) και συνιστά ένα εγγενές χαρακτηριστικό της ανθρώπινης ύπαρξης. Αν και το υλικό κεφάλαιο (tangible capital) ενδέχεται να μπορεί (περιοδικά) να καταστεί μη επαρκώς αξιοποιήσιμο (ίσως γιατί κρίνεται ως μη χρήσιμο), το ανθρώπινο κεφάλαιο έχει την ικανότητα να μαθαίνει, να εξελίσσεται και να προσαρμόζεται χάρη στην εν λόγω διαδικασία, ενώ οι γνώσεις και οι δεξιότητες που αποκτώνται με τα χρόνια, βρίσκουν πολλές εφαρμογές στο πλαίσιο της εργασιακής απασχόλησης και της λειτουργίας των επιχειρήσεων και αποφέρουν υψηλό όφελος από τις επενδύσεις σε υλικά αγαθά. Σε αντίθεση με το υλικό κεφάλαιο, το ανθρώπινο κεφάλαιο αφορά τους ίδιους τους εργαζομένους μιας επιχείρησης, καθώς και τον ρόλο που διαδραματίζουν αυτοί στη λειτουργία μιας επιχείρησης. Τα βασικά χαρακτηριστικά του ανθρώπινου κεφαλαίου (εικόνα 165) αφορούν τα εξής:

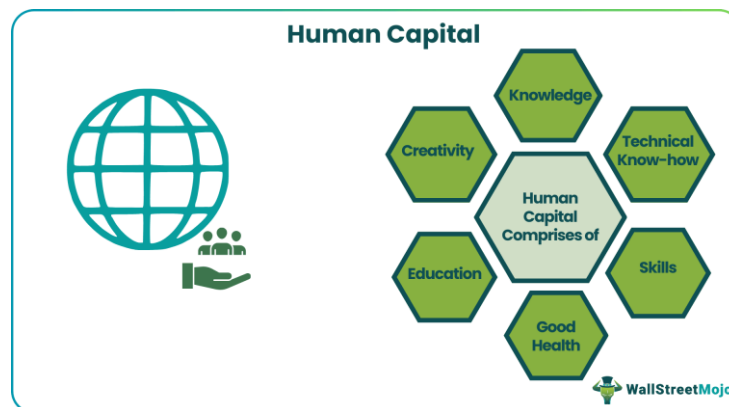
- τις ατομικές ικανότητες και τις προσωπικές προδιαθέσεις
- τα προσόντα που αποκτώνται μέσω της εκπαίδευσης, της κατάρτισης, αλλά και της εμπειρίας
- την υγεία και τη φυσική κατάσταση
- την προθυμία αναζήτησης νέων λύσεων και καινοτομιών
- την ευελιξία στις αλλαγές που γίνονται στο περιβάλλον. (Rabczuk, 2026).



Εικόνα 164. Το ανθρώπινο κεφάλαιο.

(πηγή: <https://www.investopedia.com/terms/h/humancapital.asp>).

Οι εργαζόμενοι που είναι καταρτισμένοι, αφοσιωμένοι και έχουν υψηλή εγρήγορση και εργασιακό / επαγγελματικό κίνητρο (qualified, engaged & well-motivated), τα τελευταία χρόνια θεωρούνται ολοένα και περισσότερο ως η κύρια και ως η πιο σημαντική πηγή ανάπτυξης μιας επιχείρησης. (Rabczuk, 2026).



Εικόνα 165. Τα βασικά χαρακτηριστικά του ανθρώπινου κεφαλαίου.

(πηγή: <https://www.wallstreetmojo.com/human-capital/>).

Είναι δόκιμο να αναφερθεί πως η έννοια της ανάπτυξης του ανθρώπινου κεφαλαίου (HC) πραγματοποιείται μέσω των επενδύσεων στην εκπαίδευση, την κατάρτιση, την υγεία και τις συνθήκες εργασίας και η εν λόγω επένδυση που είναι εστιασμένη κατά βάση στον ανθρώπινο παράγοντα, οφείλει να περιλαμβάνει όχι μόνο τη βελτίωση των υφιστάμενων προσόντων, αλλά και την ανάπτυξη των κοινωνικών δεξιοτήτων, τη διατήρηση της ισορροπίας μεταξύ της επαγγελματικής και της προσωπικής ζωής των

εργαζομένων μιας επιχείρησης, καθώς και την ενίσχυση των σχέσεων μέσα στην ομάδα στο πλαίσιο της εργασίας. Στην πράξη, αυτό σημαίνει και σχετίζεται, μεταξύ άλλων με τα κάτωθι:

- τυπική και άτυπη εκπαίδευση
- προγράμματα υγείας και πρόληψης
- μαθήματα (επιμορφώσεις και συναφείς δράσεις) βελτίωσης για την αναβάθμιση των επαγγελματικών προσόντων
- ανάπτυξη ικανοτήτων στον τομέα της εξυπηρέτησης πελατών και της ποιότητας των υπηρεσιών
- διαχείριση ανθρώπινου δυναμικού που αξιοποιεί το δυναμικό ολόκληρης της ομάδας. (Rabczuk, 2026).

Από την πλευρά όμως της «μικροοικονομίας» (microeconomic terms), δηλαδή από τη σκοπιά μιας μεμονωμένης επιχείρησης, το HC αποτελεί το σύνολο των γνώσεων, των δεξιοτήτων, της εμπειρίας, των στάσεων και της υγείας των εργαζομένων, επιδρώντας άμεσα και στην ποιότητα των προϊόντων και των υπηρεσιών, αλλά και παρέχοντας ένα σημαντικό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα. Όσο καλύτερα αναπτύσσεται ο εν λόγω πόρος, τόσο πιο γρήγορα μια επιχείρηση μαθαίνει και εφαρμόζει αποτελεσματικά τις νέες τεχνολογίες, μπορεί να βελτιώνει το βαθμό της εξυπηρέτησης των πελατών και να ανταποκρίνεται στις αλλαγές της παγκόσμιας αγοράς. Δεν πρόκειται για έναν πόρο «παράλληλο» με τα μηχανήματα και το λογισμικό, αλλά και για έναν παράγοντα που καθορίζει αν αυτά τα εργαλεία θα αξιοποιηθούν στο έπακρο. (Rabczuk, 2026).

Η διαχείριση του HC βασίζεται στην πρόσληψη ατόμων που έχουν το κατάλληλο σύνολο δυνατοτήτων, στη διαμόρφωση νέων πρακτικών και καινοτόμων ενεργειών που επιτρέπουν την ανάπτυξη των υφιστάμενων ικανοτήτων τους, καθώς και στη δημιουργία νέων συνθηκών που ευνοούν την παραμονή τους στην εταιρεία και επίσης οδηγούν στην επίτευξη ενός υψηλού βαθμού αποδοτικότητας. Η εν λόγω συνθήκη αναφέρεται στην αντιστοίχιση των ρόλων με το ταλέντο, αλλά και στην πρόσβαση στη μάθηση μέσω της εργασίας, στους σαφείς στόχους, στη δίκαιη ανατροφοδότηση, στη δίκαιη αμοιβή και στο να υφίσταται ένα περιβάλλον εργασίας που υποστηρίζει

την υγεία των εργαζομένων. Οι δοκίμως συγκροτημένες πρακτικές για την ανάπτυξη του HC συνδέουν κατά βάση τα εν λόγω στοιχεία αποτελεσματικά σε ένα ενιαίο και συνεκτικό σύνολο, καθώς η πρόσληψη συντελεί στην επιλογή των πλέον κατάλληλων ατόμων, η επιχειρησιακή ανάπτυξη αυξάνει την παραγωγικότητα τους, αλλά και όταν υφίσταται μια δόκιμη καθημερινή κουλτούρα εργασίας, αυτό κρατά τους εργαζόμενους αφοσιωμένους αναφορικά με το να παραμείνουν στην επιχείρηση και στο μέλλον να μην αναζητήσουν αλλού εργασία. (Rabczuk, 2026).

3.2 Το ανθρώπινο κεφάλαιο στον κλάδο και στη βιομηχανία των Γραφικών Τεχνών, των Εκτυπώσεων και της Συσκευασίας

Ο κλάδος της εκτύπωσης καλύπτει ένα μεγάλο πεδίο πολλών διαφορετικών τομέων παραγωγής, που ξεκινούν από τις διαδικασίες του σχεδιασμού και φτάνουν έως τις αρκετά πιο σύνθετες διαδικασίες της κατασκευής και της παραγωγής. Οι κύριες εφαρμογές αφορούν τις εκδόσεις, τη διαφήμιση και τη συσκευασία, ενώ τα στάδια της συμβατικής παραγωγής ταξινομούνται στην προεκτύπωση, στην εκτύπωση και στη μετεκτύπωση. Όπως ήδη αναφέρεται και στο κεφάλαιο 2, οι επιχειρήσεις του κλάδου κατηγοριοποιούνται και σύμφωνα με τις κατηγορίες των έντυπων που παράγουν (περιοδικά, χαρτοκιβώτια, κατάλογοι, βιβλία, εφημερίδες, ετικέτες, εκτύπωση σε μέταλλο, εκτύπωση ασφαλείας), ενώ η εκτυπωτική βιομηχανία μεταμορφώνεται χάρη στις τεχνολογικές εξελίξεις που επιδρούν στις διαδικασίες της παραγωγής, αλλά και της οργανωτικής δομής όλων των επιχειρήσεων, καθώς και στα παραχθέντα προϊόντα, μεταβάλλοντας συνεχώς τις απαιτήσεις για να ανταποκριθούν στις δυναμικές της παγκόσμιας αγοράς. (Politis, 2004).

Ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτής της αναδιάρθρωσης είναι η μετάβαση από ένα μοντέλο που είναι προσανατολισμένο στην κατασκευή / παραγωγή σε μια νέα προσέγγιση που είναι προσανατολισμένη στις υπηρεσίες (from a manufacturing-oriented model to a service-oriented approach), η οποία εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τη συνεχή υιοθέτηση της τεχνολογίας της ψηφιακής εκτύπωσης και από τη συμβιωτική σχέση αλληλεπίδρασης που αφορά τη συνύπαρξη των έντυπων και των ηλεκτρονικών μέσων, προκαλώντας πολύ έντονες και σημαντικές αλλαγές σε όλες επιχειρήσεις και στο HC που εμπλέκεται (εργάζεται) σε αυτές. (Politis, 2004).

Η Intergraf (2000) αναφέρει πως ο κλάδος χωρίζεται στους εξής υπό κλάδους:

1. Προεκτύπωση

- όπου οι επαγγελματίες της προεκτύπωσης ασχολούνται με τις διαδικασίες του σχεδιασμού των έντυπων ή των ηλεκτρονικών μέσων, αλλά και με την προετοιμασία της εκτυπωτικής πλάκας, κυλίνδρου ή τελάρου στη μεταξοτυπία

2. Εκτύπωση

- όπου οι εργαζόμενοι της εκτύπωσης είναι υπεύθυνοι για τη λειτουργία των εκτυπωτικών μηχανών και την εκτέλεση των διαδικασιών της εκτύπωσης (στις εκτυπωτικές μεθόδους της λιθογραφίας, της βαθυτυπίας, της φλεξογραφίας, της μεταξοτυπίας, αλλά και της ψηφιακής εκτύπωσης)

3. Φινίρισμα

- όπου το προσωπικό της μετεκτύπωσης είναι υπεύθυνο για την κοπή, τη δίπλωση και τη στερέωση των τυπωμένων φύλλων ή σελίδων
- οι εν λόγω εργασίες διαμορφώνουν το τελικό προϊόν – έντυπο

4. Συσκευασία

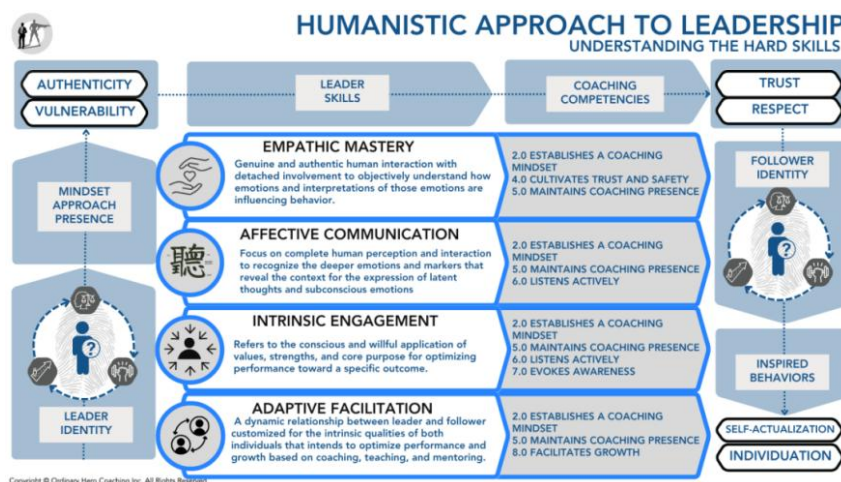
- οι επαγγελματίες της συσκευασίας ασχολούνται με την παραγωγή των προϊόντων συσκευασίας (χαρτοκιβώτια, φάκελοι και κουτιά)
- η διαδικασία περιλαμβάνει τα στάδια της προεκτύπωσης, της εκτύπωσης και της μετεκτύπωσης, ενώ κάθε στάδιο παρουσιάζει διακριτά χαρακτηριστικά όσον αφορά τη συσκευασία ως μια παραγωγική διαδικασία, καταλήγοντας στο τελικό προϊόν -συσκευασία

5. Πολυμέσα και εφημερίδες. (Politis, 2004).

Σύμφωνα με τον Politis (2004), τα τελευταία χρόνια οι εργαζόμενοι στον τομέα της εκτύπωσης και της συσκευασίας έρχονται αντιμέτωποι με σημαντικές επιπτώσεις που

προκύπτουν από τις προαναφερθείσες αλλαγές, οι οποίες επηρεάζουν ριζικά τις ικανότητες (competencies) τους, τα χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις για την πρόσληψη και τη διατήρηση της θέσης εργασίας, αναφορικά με τους υφιστάμενους εργαζόμενους και το νέο προσληφθέν προσωπικό. Οι αλλαγές εξαρτώνται από την αυξανόμενη σημασία του πολύ σημαντικού ρόλου του ανθρώπινου παράγοντα (HC), ιδίως υπό το πρίσμα της σημασίας των επονομαζόμενων «διαπροσωπικών δεξιοτήτων» (soft skills), οι οποίες αναγνωρίζονται ως καίρια προϋπόθεση και αναγκαιότητα στη ψηφιακή εποχή. (Politis, 2004).

Παρά την προφανή σημασία των επονομαζόμενων «τεχνικών δεξιοτήτων» (hard skills) που αποκτώνται μέσω των υφιστάμενων συμβατικών εκπαιδευτικών και επιμορφωτικών προγραμμάτων (εικόνα 166), κάποιες διαπροσωπικές δεξιότητες σε συνδυασμό με το σύνολο των τεχνικών δεξιοτήτων (εικόνα 167), διευκολύνουν την επαγγελματική εξέλιξη κάθε ατόμου, συμβάλλοντας στη διαμόρφωση ενός εργατικού δυναμικού (ανθρώπινου κεφαλαίου), το οποίο διαθέτει ένα πολύ υψηλό επίπεδο ικανοτήτων (highly competent workforce). (Peterson, 2017).



Εικόνα 166. Η σημασία των «τεχνικών δεξιοτήτων» (hard skills).

(πηγή: <https://www.linkedin.com/pulse/its-soft-skill-professional-coaching-developing-really-roncoroni-wpc6e>).

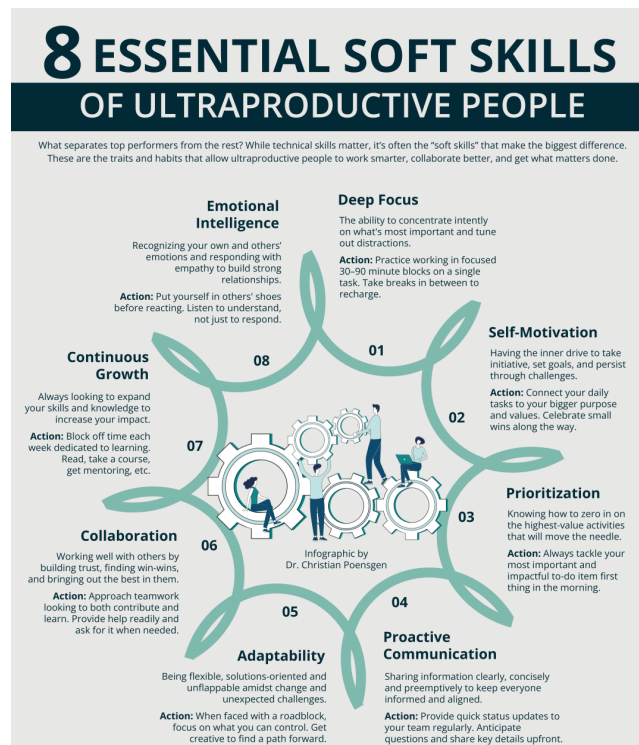
Οι διαπροσωπικές δεξιότητες (εικόνα 168) αναφέρονται στα χαρακτηριστικά της προσωπικότητας κάθε ατόμου, τα οποία σχετίζονται με την έννοια της επονομαζόμενης «συναισθηματικής νοημοσύνης» (emotional intelligence -EQ), που

παρουσιάζεται στην εικόνα 169. Οι διαπροσωπικές δεξιότητες υποδηλώνουν την ικανότητα του ατόμου να μπορεί να αναγνωρίζει και να διαχειρίζεται με δόκιμο τρόπο όλες τις συναισθηματικές πτυχές του εαυτού του και των άλλων εργαζόμενων, προσαρμόζοντας έτσι δοκίμως τη σκέψη και τη συμπεριφορά του. (Peterson, 2017).



Εικόνα 167. Implementation of hard skills and soft skills within workplace.

(source: <https://cloverleaf.me/blog/hard-skills-vs-soft-skills/>).



Εικόνα 168. Σημαντικά παραδείγματα των «διαπροσωπικών δεξιοτήτων» (soft skills).

(πηγή: <https://ultra-labs.com/how-to-be-successful-8-essential-soft-skills/>).



Εικόνα 169. Η «συναισθηματική νοημοσύνη» (emotional intelligence -EQ).

(πηγή: https://www.linkedin.com/posts/stephenbaines_are-you-in-the-top-36-only-36-of-people-activity-7243159997692485632-JDBc).

3.3 Οι έννοιες της Διαχείρισης των Ανθρώπινων Πόρων (HRM) και της Ανάπτυξης των Ανθρώπινων Πόρων (HRD)

Οι εργαζόμενοι της εκτύπωσης και της συσκευασίας καλούνται στο σήμερα να μπορούν να λειτουργούν, να αποδίδουν και να προσαρμόζονται άμεσα και αποτελεσματικά σε ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον εργασίας. Η απόκτηση των νέων ικανοτήτων (που σχετίζονται με τις σύγχρονες έννοιες της παραγωγής και της διαχείρισης) είναι απαραίτητη, γεγονός που συνεπάγεται το να μπορεί επίσης να γίνεται και η διαρκής βελτίωσης όλων των υφιστάμενων δεξιοτήτων τους. (Politis, 2004). Η βάση για όλες τις επιχειρησιακές και τις παραγωγικές δραστηριότητες μιας σύγχρονης «επιχειρηματικής οντότητας» (operational activities within business entity) σχετίζεται με τους επονομαζόμενους «Ανθρώπινους Πόρους» (Human Resources – HR), οι οποίοι καθορίζουν τη βιωσιμότητα και την ανάπτυξη μιας σύγχρονης επιχείρησης (εικόνα 170). (Richman, 2015).

Η αξία του πολύ σημαντικού ρόλου των «Ανθρώπινων Πόρων» συχνά παραμένει υποτιμημένη, ενώ οι σύγχρονες αντιλήψεις στο εν λόγω πλαίσιο συχνά περιορίζουν τη σύγκληση της επονομαζόμενης «Διαχείρισης των Ανθρώπινων Πόρων» (Human

Resource Management - HRM) με την έννοια της «Ανάπτυξης των Ανθρώπινων Πόρων» (Human Resource Development - HRD), αποκλειστικά και μόνο στις κάτωθι βασικές εκφάνσεις της διοίκησης κάθε επιχείρησης:

- πρόσληψη (recruitment),
- αμοιβή (compensation)
- νομοθεσία (legislation). (Richman, 2015).



Εικόνα 170. Οι Ανθρώπινοι Πόροι (Human Resources – HR).

(πηγή: <https://www.greenpeace.org/mena/en/job-description/>).

Οι αρμοδιότητες των τμημάτων HR περιλαμβάνουν τα εξής:

- πρόσληψη του προσωπικού
- διευκόλυνση της επικοινωνίας μεταξύ των εργοδοτών
- εποπτεία της εφαρμογής των νομικών υποχρεώσεων
- αξιολόγηση των επιπέδων της εμπειρογνωμοσύνης, της απόδοσης και της παραγωγικότητας των εργαζομένων. (Mankin, 2022).

Οι κύριες προσεγγίσεις του HRM (εικόνα 171) περιλαμβάνουν τα εξής:

1. «ήπια» (soft) HRM

- περιλαμβάνει την αξιολόγηση της απόδοσης των εργαζομένων
- σχετίζεται και με την παροχή ανατροφοδότησης

2. «σκληρή» (hard) HRM

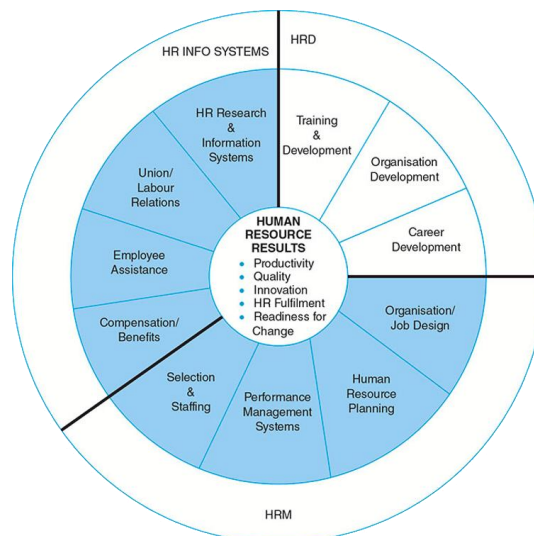
- είναι προσανατολισμένη στα καθήκοντα
- δίνει προτεραιότητα στην επίτευξη της οικονομικής κερδοφορίας
- αγνοώντας συχνά τις ανάγκες των εργαζομένων για την επαγγελματική τους εξέλιξη και ανάπτυξη.(Mankin, 2022).

Characteristics	Soft HRM	Hard HRM
Employer Attitude	People Oriented, Considers HR as biggest assets	Task Oriented, Employee to just do the jobs as directed
Recruitment	Based on attitude, Potential, and integration with team	Based on ability to do the job, or to be trained
an ideal supervisor	People Manager, works with the team	Task Manager, delegation oriented
Objective Setting / flow	Cascading, Team members understands the bigger picture,	Employee know what needs to be done for the role.
Work Design	Continuous improvement, Redesign	Done in the ways as it has always been done.
Work place culture	Shared Culture. Smart Work	Usually Hierarchical, High Pressure, Hard Work,
Career Progression	Employee can plan career growth, has platform for advancement	Monotonous jobs, lack of career planning,
System & Tools	Effective and Smart systems	Manual / lack of focus to improve systems

Εικόνα 171. Soft HRM and hard HRM.

(source: <https://chetanspurohit.blogspot.com/2014/04/hrm-characteristic-approach-vs-soft.html>).

Τα κρίσιμα ζητήματα των HRM και HRD βασίζονται στην αξία του HRD (εικόνα 172), αναφορικά με τις δυνατότητες που προσφέρει στον τομέα της εκπαίδευσης και της κατάρτισης, οι οποίες επίσης εξαρτώνται και από τη σχετική αυτονομία των επονομαζόμενων «οργανισμών υψηλής απόδοσης» (high-performance organizations - HPOs), όσον αφορά τα HRM και το HRD. (Richman, 2015).



Εικόνα 172. The 7 elements of HRD with a HR department.

(source: <https://www.workhuman.com/blog/human-resource-development-hrd/>).

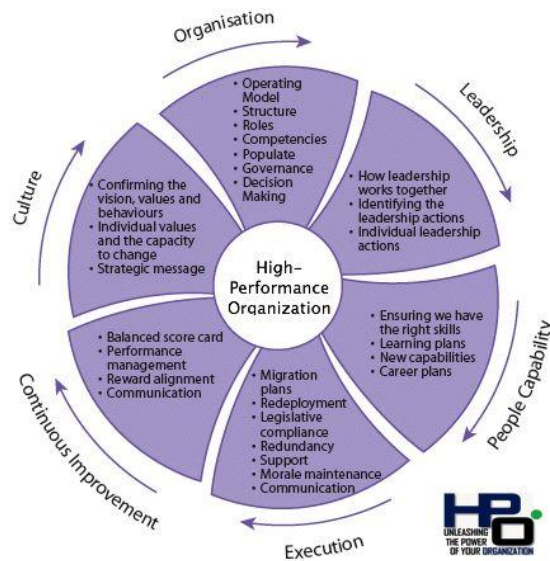
Το HRM αναφέρεται στη «στρατηγική της διαχείρισης του ανθρώπινου κεφαλαίου» (δηλαδή στην πρόσληψη, στις αμοιβές και στη σχετική νομοθεσία), παρουσιάζοντας μια βασική διάκριση από το HRD, ενώ οι επισημαίνεται πως οι όροι HRM, HRD και HPO, συχνά συγχέονται ως ορισμοί, παρά τις σαφείς διαφορές τους. Το HRD αφορά ένα «ολοκληρωμένο φάσμα στρατηγικών πρωτοβουλιών» αναφορικά με τη δόκιμη εκπαίδευση και την ανάπτυξη, την αξιολόγηση και την εκτίμηση του βαθμού της απόδοσης, τον επαγγελματικό προσανατολισμό και την εξέλιξη, τη διαχείριση των «μεταβάσεων», καθώς όλα μαζί ενισχύουν σημαντικά το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα της επιχείρησης, διασφαλίζοντας πως το εργατικό δυναμικό διαθέτει τις απαιτούμενες δεξιότητες και την ανθεκτικότητα (ορίζεται ως αντοχή και ευκολία προσαρμογής) για να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις του επιχειρηματικού τοπίου. (Richman, 2015).

3.4 HRM, HRD και HPO

Το HPO (εικόνα 173) αναφέρεται σε κάθε οργανισμό / επιχείρηση που οδηγείται σε σημαντική οικονομική ανάπτυξη σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα, παρουσιάζοντας μια σταθερή απόδοση, δόκιμο στρατηγικό σχεδιασμό, καθώς και προσαρμοστικότητα στις αλλαγές χάρη στην ολοκληρωμένη και συντονισμένη διοικητική του δομή (integrated & aligned management structure). Η δημιουργία μιας τέτοιας δομής επιτρέπει τη συνεχή ενίσχυση των βασικών ικανοτήτων του οργανισμού με τα χρόνια, με το ανθρώπινο κεφάλαιο να είναι το πιο σημαντικό περιουσιακό στοιχείο της επιχείρησης (human capital as primary asset). (Richman, 2015).

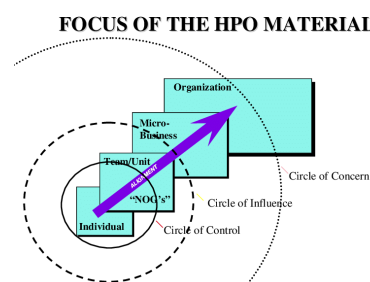
Σύμφωνα με τους Slobodan, Lazić και Cvijanović (2005), το μοντέλο HPO (εικόνα 174) αναπτύσσεται ως ένα «ολοκληρωμένο πλαίσιο» της βελτίωσης της οργανωτικής απόδοσης, όπως διαμορφώνεται από τους John W. Pickering και Gerald S. Brokaw, που διαθέτουν δύο δεκαετίες εμπειρίας στο Ομοσπονδιακό Εκτελεστικό Ινστιτούτο των ΗΠΑ (Federal Executive Institute - FEI) και που έχουν ειδικευτεί πάνω στην εκπαίδευση υψηλόβαθμων αξιωματούχων. (Slobodan, Lazić & Cvijanović, 2005). Το μοντέλο «HPO SCORES®» (εικόνα 175), το οποίο διαμορφώνεται από τους Drs.

Carew, Kandarian, Parisi-Carew και Stoner, εστιάζει στη δυναμική της «σχέσης αλληλεπίδρασης» που υφίσταται μεταξύ των HPOs και του HC, ενώ το «SCORES» αποτελεί το ακρωνύμιο που περιλαμβάνει τα έξι βασικά στοιχεία που υπάρχουν σε κάθε HPO. (Blanchard, 2019). Είναι δόκιμο επίσης να αναφερθεί πως η διαμόρφωση κάθε HPO θα πρέπει να αποτελεί το κύριο και το βασικό επιδιωκόμενο αποτέλεσμα όλων των αποτελεσματικών διαδικασιών του HRM και του HRD. (Richman, 2015).



Εικόνα 173. HPO.

(πηγή: <https://gr.pinterest.com/pin/387661480397033029/>).

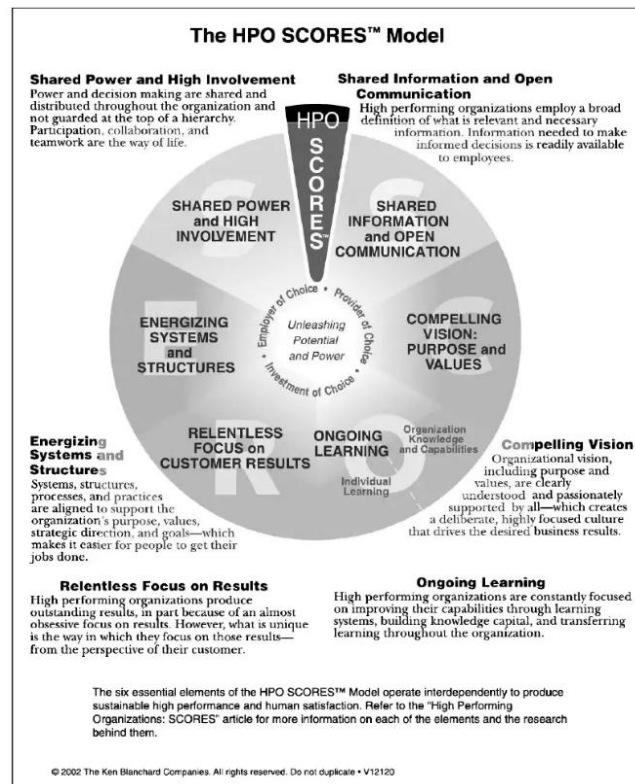


Εικόνα 174. Diagram of the HPO model focuses and circles.

(πηγή: https://www.researchgate.net/publication/277070826_High_performance_organization_model).

Όπως υποστηρίζει ο Politis (2004), η εφαρμογή των στρατηγικών των HRM και HRD επικρατεί στις μεγάλες επιχειρήσεις (large-scale corporate entities), με την

πλειονότητα των λύσεων του HRM να είναι ειδικά σχεδιασμένες για τις μεσαίες και για τις μεγάλες επιχειρήσεις (medium-sized & large-scale businesses). Ελάχιστη προσοχή δίνεται και στις στρατηγικές του HCD για τις πολύ μικρές, τις μικρές και τις μεσαίες επιχειρήσεις (micro-sized, small & medium-sized entities), καθώς και στους «ελεύθερους επαγγελματίες» (sole proprietorships) ή «ανεξάρτητους εργολάβους» (independent contractors). Είναι προφανές ότι η διαχείριση του HC έχει κεντρικό και πάρα πολύ σημαντικό ρόλο σε όλες τις «ολοκληρωμένες αναπτυξιακές στρατηγικές», δίνοντας μεγαλύτερη προτεραιότητα σε όλες τις κρίσιμες πτυχές, όπως είναι κατά βάση η διαχείριση των σχέσεων και των πελατών, η συναισθηματική νοημοσύνη και η προώθηση της έννοιας της επονομαζόμενης «στρατηγικής δικτύωσης» (strategic networking). (Politis, 2004) (Politis et al., 2025).



Εικόνα 175. The HPO SCORES® model and the six pivotal parameters of the SCORES acronym.

(πηγή: <https://www.scribd.com/doc/271548515/Blanchard-Scores-Perform>).

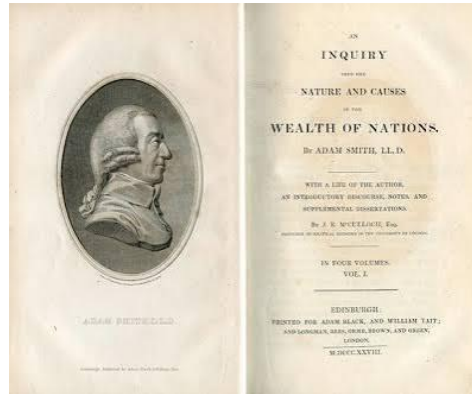
Η αξία της γνώσης και της εξειδίκευσης (knowledge & expertise) γίνεται ολοένα και πιο εμφανής / αισθητή, ενώ γίνεται εστίαση στην αυξανόμενη σημασία του πολύ

σημαντικού ρόλου του HCD, αλλά και στην αναγκαιότητα για την απόκτηση των τεχνικών και των διαπροσωπικών δεξιοτήτων (hard & soft skills) στο πλαίσιο όλων των υφιστάμενων επιχειρηματικών μοντέλων (knowledge-based society's businesses' models) και των παραγωγικών περιβαλλόντων που αφορούν τη σύγχρονη κοινωνία της γνώσης. (Politis, 2004).

3.5 Ανθρώπινο κεφάλαιο: ιστορική αναδρομή και πρώιμοι ορισμοί

Το ανθρώπινο κεφάλαιο (HC) αντιπροσωπεύει την οικονομική αξία της εμπειρίας (εμπειρογνομοσύνης) και των δεξιοτήτων ενός εργαζομένου, το οποίο ενισχύεται από την εκπαίδευση, την κατάρτιση, τη νοημοσύνη, τις δεξιότητες, την υγεία και άλλες ιδιότητες που εκτιμούν οι εργοδότες, όπως είναι για παράδειγμα η αφοσίωση ή η ακρίβεια. Το HC αποτελεί άυλο περιουσιακό στοιχείο που δεν εμφανίζεται στον ισολογισμό μιας επιχείρησης, αυξάνοντας την παραγωγικότητα και την κερδοφορία. Το 18^ο αιώνα, ο οικονομολόγος Adam Smith αναφέρεται στην έννοια του HC στο βιβλίο του «An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations» (εικόνα 176), στο οποίο διερεύνα αμφίσημες και διφορούμενες έννοιες, όπως τον πλούτο, τη γνώση, την κατάρτιση, τα talέντα ή τις εμπειρίες ενός έθνους, υποστηρίζοντας πως η ανάπτυξη του HC, η οποία μπορεί να διαμορφώνεται μέσω της κατάρτισης και της εκπαίδευσης, οδηγεί με τον καιρό σε μια κερδοφόρα επιχείρηση. (Kenton, 2025).

Τη δεκαετία του 1960, ο οικονομολόγος Theodore Schultz αναλύει την αξία των ανθρώπινων ικανοτήτων και συγκρίνει το HC με άλλες μορφές / είδη κεφαλαίου (τα οποία αναφέρονται κατωτέρω), που βελτιώνουν την ποιότητα και τη λειτουργία του κύκλου της παραγωγής, επισημαίνοντας πως οι επιχειρήσεις πρέπει να επενδύουν στην εκπαίδευση, την κατάρτιση των εργαζομένων τους. (Kenton, 2025). Ως το 1976, οι περισσότεροι οικονομολόγοι δε συμφωνούν πως το HC αυξάνει άμεσα την παραγωγικότητα και το 1976 ο οικονομολόγος του Χάρβαρντ, Richard Freeman, υποστηρίζει ότι το HC αποτελεί μόνο την ένδειξη του talέντου και της ικανότητας, ενώ η παραγωγικότητα πηγάζει από την κατάρτιση, την παρακίνηση και από τον κατάλληλο μηχανολογικό εξοπλισμό που διαθέτει μια επιχείρηση. Σύμφωνα με το Freeman (1976), το HC δεν πρέπει να θεωρείται βασική παράμετρος του κύκλου της παραγωγής. (Ross, 2024).



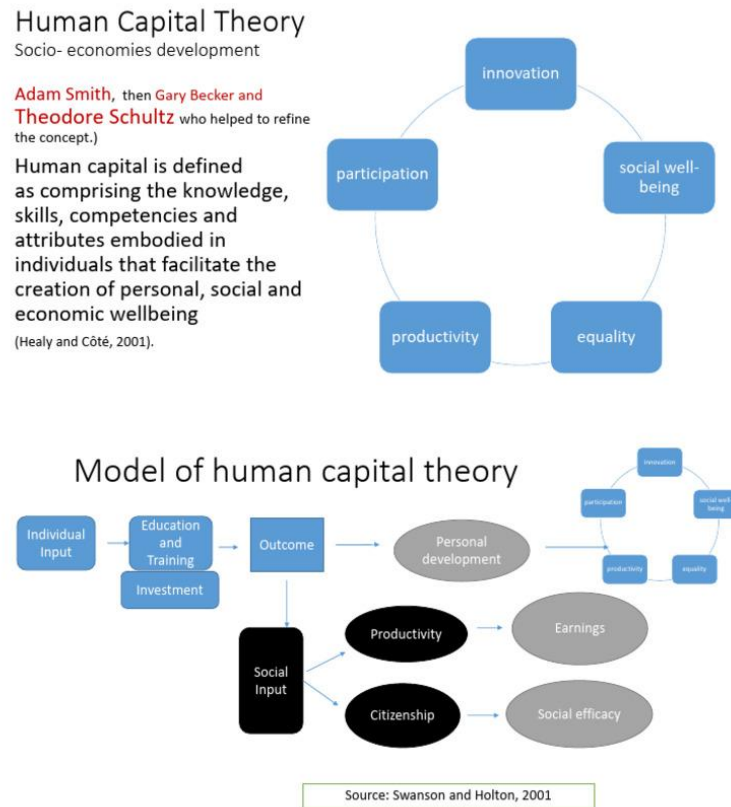
Εικόνα 176. Adam Smith «An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations».

(πηγή: <https://oll.libertyfund.org/titles/smith-an-inquiry-into-the-nature-and-causes-of-the-wealth-of-nations-cannan-ed-in-2-vols>).

Οι μαρξιστές οικονομολόγοι Samuel Bowels και Herbert Gintis υποστηρίζουν πως η αντιμετώπιση των ανθρώπων, δηλαδή του HC, ως μια ειδική μορφή κεφαλαίου, αγνοεί και υποβαθμίζει το φαινόμενο της ταξικής σύγκρουσης, γεγονός που υπονομεύει τα δικαιώματα όλων των εργαζομένων. Τις δεκαετίες του 1980 και του 1990, οι συμπεριφορικοί οικονομολόγοι (behavioral economists) επικρίνουν έντονα τη θεωρία του HC (εικόνα 177), καθώς οι εν λόγω προσεγγίσεις προσδιορίζουν τους ανθρώπους ως μη ορθολογικούς φορείς. (Ross, 2024). Οι συμπεριφορικοί οικονομολόγοι αξιοποιούν αποτελεσματικά και συνδυαστικά την οικονομική επιστήμη με τις έννοιες της επιστήμης της ψυχολογίας και εστιάζουν στη μελέτη (εικόνα 178) του τρόπου που ο άνθρωπος οδηγείται στη λήψη οικονομικών αποφάσεων, υποδεικνύοντας πως οι εν λόγω αποφάσεις ωθούνται κατά βάση από τη συναισθηματική έκφραση του ψυχισμού του ατόμου, αλλά και από το σύνολο των γνωστικών του προκαταλήψεων, ενώ δε βασίζονται στον ορθολογισμό που υπάρχει εντός των περισσότερων υφιστάμενων οικονομικών μοντέλων. (Witynski, 2024).

Η θεωρία του HC φέρει τα «ίδια ελαττώματα και τους ίδιους περιορισμούς» όταν προσπαθεί να εξηγήσει κοινωνικά / συμπεριφορικά φαινόμενα, καθώς αποδεικνύεται πως οι παραδοχές της για τα ανθρώπινα κίνητρα, τους στόχους και τις αποφάσεις δεν είναι ούτε δόκιμες ούτε τεκμηριωμένες. Οι σύγχρονες κριτικές που διαμορφώνονται από τους κοινωνιολόγους και τους ανθρωπολόγους υποστηρίζουν πως η θεωρία του HC απλοποιεί τις σχέσεις και τις συσχετίσεις μεταξύ των εννοιών της μισθοδοσίας,

της παραγωγικότητας και του HC. Όταν όμως οι ερευνητές εξετάζουν το θέμα προσεκτικά, διαπιστώνουν πως οι διαφορές που σχετίζονται με το βαθμό της παραγωγικότητας μεταξύ των διαφορετικών εργαζομένων (δηλαδή του HC μιας επιχείρησης), αυτές δεν μπορούν να μετρηθούν αντικειμενικά. (Ross, 2024).

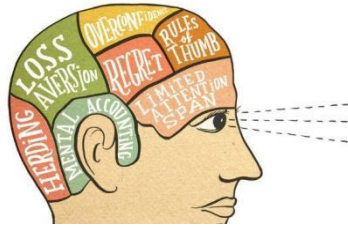


Εικόνα 177. Η θεωρία του ανθρώπινου κεφαλαίου.

(πηγή: <https://www.scribd.com/document/837679034/HRD>).

Μια μελέτη που δημοσιεύεται το 2018 υποστηρίζει ότι οι ισχυρισμοί για τη σύνδεση μεταξύ του εισοδήματος και του βαθμού της παραγωγικότητας βασίζεται σε μια κυκλική λογική που δεν οδηγεί πουθενά, καθώς οι μελετητές περιορίζονται στην αντικειμενική μέτρηση της παραγωγικότητας και έτσι διαπιστώνουν πως οι διαφορές στην παραγωγικότητα κάθε εργαζόμενου μεμονωμένα είναι συστηματικά πολύ περιορισμένες για να καταφέρουν να εξηγήσουν αποτελεσματικά τα επίπεδα της οικονομικής / εισοδηματικής ανισότητας. (Ross, 2024). Οι όροι HC και HR (εικόνα 179), επικρίνονται σημαντικά ανά τα χρόνια, καθώς υποβαθμίζουν σημαντικά τους

εργαζομένους σε άλλους υλικούς και μη πόρους μιας επιχείρησης, όπως είναι τα βοηθητικά μέσα (εργαλεία / εξοπλισμός) ή η τεχνολογία. (Kenton, 2025).



Εικόνα 178. Η μελέτη της ανθρώπινης συμπεριφοράς ως συνιστώσα των behavioral economics.

(πηγή: <https://medium.com/@SimmieH/what-is-behavioral-economics-and-why-does-it-matter-to-marketers-637790d5251d>).



Εικόνα 179. Οι όροι HC και HR.

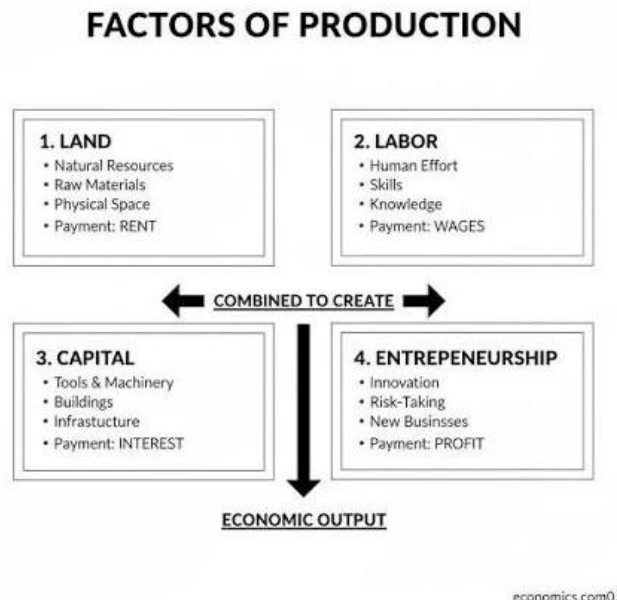
(πηγή: <https://www.cultureworkshr.com/the-difference-between-human-capital-and-human-resources/>).

Ορισμένοι οργανισμοί του τομέα της υποστήριξης της εργασιακής απασχόλησης, συνιστούν να ακολουθείται η χρήση των όρων «συνεργάτες» ή «άνθρωποι», για να

αποθαρρύνουν τον ανώνυμο τόνο που προσδίδουν τα HC και HR όταν αξιοποιούνται για να προσδιορίσουν τα ενήλικα άτομα που έχουν οικογένειες και προσωπική ζωή και έρχονται σε μια επιχείρηση για εργασία. (Kenton, 2025).

3.6 Το ανθρώπινο κεφάλαιο και η έννοια της εργασίας (labor)

Το HC θεωρείται βασικός μοχλός της οικονομικής προόδου των εθνών, ενώ μεταξύ των κύριων και οικουμενικά αναγνωρισμένων παραμέτρων που αφορούν τη δόκιμη λειτουργία της παραγωγής, η εργασία (labor) αποτελεί ένα μεταβλητό κόστος και το κόστος που σχετίζεται με το υλικό κεφάλαιο αναγνωρίζεται ως μια μορφή επένδυσης στη συνάρτηση με τις διενέργειες ολόκληρου του κύκλου της παραγωγής (εικόνα 180). Αργότερα, υποστηρίζεται πως η παραγωγή δεν είναι απλώς μια συνάρτηση της εργασίας με άλλους παράγοντες και δεν μπορεί να προσδιοριστεί μόνο βάσει του αριθμού των εργαζομένων ή των ωρών που αυτοί εργάζονται, καθώς αυτό εξαρτάται από την ποιότητα της εργασίας. Η ποιότητα της εργασίας καθορίζεται κυρίως από τις γνώσεις και τις δεξιότητες που σχετίζονται με την εργασία, ενώ είναι μια παράμετρος που μπορεί δυνητικά βελτιώνεται / αναπτύσσεται με το καιρό. (Devadas, 2015).



Εικόνα 180. Η εργασία και το ανθρώπινο κεφάλαιο ως παράγοντες της παραγωγής.

(πηγή: <https://www.facebook.com/groups/552134887054923/posts/740046918263718/>).

Το HC αντιπροσωπεύει την επονομαζόμενη «συσσωρευμένη γνώση» (accumulated knowledge), τις δεξιότητες (skills), την εκπαίδευση (education) και τη ψυχική και σωματική ευεξία / υγεία (health) των εργαζομένων, τα οποία συνδυαστικά συντελούν και στην ανάπτυξη της οικονομίας. Η έννοια της «εργασίας» (labor) είναι ο φυσικός ή ο πνευματικός χρόνος και η προσπάθεια που καταβάλλει κάθε εργαζόμενος για την παραγωγή των αγαθών και των υπηρεσιών, ενώ το HC αποτελεί την αξία (value), την εξειδίκευση (expertise) και την παραγωγική ικανότητα (productivity) του εν λόγω ατόμου, η οποία κρύβεται πίσω από τη συνολική διαδικασία της προσπάθειας της εκπόνησης της έννοιας της εργασίας. (Arxiv.org, 2026) (Giziene & Simanaviciene, 2015) (Deming & Silliman, 2024) (World Bank, 2023).

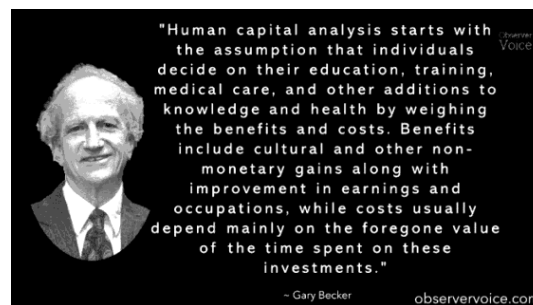
Η συσχέτιση των δύο όρων (HC & labor) σχετίζεται με τη σχέση αλληλεπίδρασης που αφορά τις εξής παραμέτρους:

1. «Διαμόρφωση ενός υψηλότερου εισοδήματος»
 - βάσει των κλασσικών προσεγγίσεων των Mincer και Becker (που αναλύονται στη συνέχεια), οι επενδύσεις στο HC (όπως είναι η εκπαίδευση και η κατάρτιση στο χώρο εργασίας) οδηγούν σε υψηλότερη παραγωγικότητα (higher marginal productivity), την οποία η αγορά εργασίας ανταμείβει με υψηλότερους μισθούς
2. «Μετάβαση από το εμπορεύσιμο προϊόν στην επονομαζόμενη φιλοσοφία της πολυτέλειας» (commodity to premium)»
 - η βασική εργασία είναι κατά βάση εναλλάξιμη (interchangeable) παράμετρος
 - όσο προωθείται η έννοια της ανάπτυξης του HC τόσο η φύση της συμβατικής εργασίας μετασχηματίζεται και μετατρέπεται από μια εμπορευματοποιημένη εισροή σε μια εξειδικευμένη τεχνογνωσία που έχει μεγάλη ζήτηση
3. «Επίδραση της συνέργειας αμφοτέρων σε παγκόσμια κλίμακα»
4. αν αυτό ιδωθεί σε μια απόλυτα «μακροοικονομική κλίμακα», δηλαδή σαν αυτή που σκιαγραφείται από το επονομαζόμενο «Πρόγραμμα του Ανθρώπινου Κεφαλαίου της Παγκόσμιας Τράπεζας» (World Bank Human Capital Project),

οι ανισότητες στο HC είναι η κύρια παράμετρος του εισοδηματικού χάσματος μεταξύ ανεπτυγμένων και αναπτυσσόμενων χωρών. (Arxiv.org, 2026) (Giziene & Simanaviciene, 2015) (Deming & Silliman, 2024) (World Bank, 2023)

Ο Gary Becker (1976) συγκροτεί μια μεθοδική προσέγγιση για τη «μοντελοποίηση» της έννοιας του HC (εικόνα 181), διακρίνοντας τις επενδύσεις στις εξής κατηγορίες:

1. γενικής εκπαίδευσης (general training)
 - μέσω της αποδοχής των μειωμένων μισθών κατά την εκπαίδευση
2. ειδικής κατάρτισης (specific training)
 - ως απόκτηση δεξιοτήτων για μια ορισμένη επιχείρηση
 - ως μορφή επένδυσης που εσωκλείει την επαγγελματική κατάρτιση, τις δαπάνες για την υγεία, τη μετανάστευση και την αναζήτηση πληροφοριών στην αγορά εργασίας. (Becker, 1962) (Polachek, 2007) (Simona, 2014) (Teixeira, 2014).



Εικόνα 181. Ο Gary Becker και η έννοια του ανθρώπινου κεφαλαίου.

(πηγή: <https://observoice.com/top-12-gary-becker-quotes-42879/>).

Ο Jacob Mincer (1958) επιχειρεί μια άλλη διατύπωση της έννοιας του HC που έχει πιο πρακτική εφαρμογή και διαμορφώνεται μέσω της συγκρότησης της συνάρτησης των επονομαζόμενων «εισοδημάτων του Mincer» (Mincer Earnings Function), όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 182, που αξιοποιείται για να προσδιοριστεί η απόδοση της εκπαίδευσης και της εργασιακής εμπειρίας ως προς τις οικονομικές απολαβές κάθε εργαζομένου, υπογραμμίζοντας πως κάθε επιπλέον έτος βασικής εκπαίδευσης οδηγεί σε συγκεκριμένη ποσοστιαία αύξηση της μισθοδοσίας του εν λόγω εργαζομένου. (Becker, 1962) (Polachek, 2007) (Simona, 2014) (Teixeira, 2014).

Η ανάπτυξη του HC (Human Capital Development – HCD), αποτελώντας μέχρι και στο σήμερα το βασικό εργαλείο στην «εμπειρική μικροοικονομία», απαιτεί νέες στρατηγικές και μακροπρόθεσμες επενδύσεις από ιδιώτες, εταιρείες και κυβερνήσεις, ενώ διαμορφώνεται μέσω των εξής δεδομένων:

1. παροχή συμβατικής εκπαίδευσης

- ως απόκτηση πτυχίων και πιστοποιητικών

2. παροχή επαγγελματικής κατάρτισης

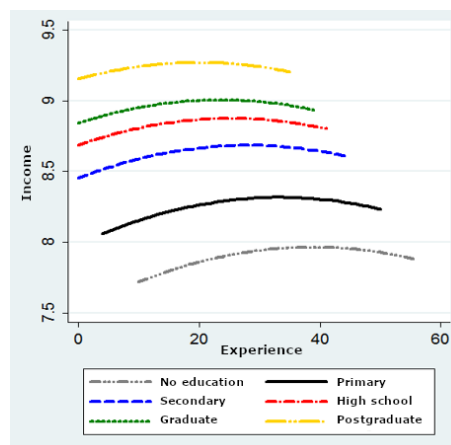
- ως αναβάθμιση των δεξιοτήτων
- ως επιμόρφωση ή συμμετοχή σε σεμινάρια

3. συγκρότηση δράσεων για τη βελτίωση της υγείας του εργαζομένου

- ως πρόσβαση σε επαρκή διατροφή, υγειονομική περίθαλψη
- για τη βελτίωση της σωματικής, της πνευματικής, της ψυχικής ευεξίας και της γνωστικής παραγωγικότητας

4. ενίσχυση της έννοιας της «κουλτούρας σε χώρο εργασίας» (workplace culture)

- για τη διαμόρφωση ενός περιβάλλοντος εργασίας, το οποίο συνειδητά προάγει την καθοδήγηση και τη συνεχή μάθηση. (Arxiv.org, 2026) (Giziene & Simanaviciene, 2015) (Deming & Silliman, 2024) (World Bank, 2023).



Εικόνα 182. Mincer Earnings Function.

(πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Mincer_earnings_function).

Αναφορικά με το ιστορικό πλαίσιο της εξέλιξης των ανωτέρω προσεγγίσεων που αφορούν την οικονομική μεταμόρφωση πολλών δυτικών χωρών και των ΗΠΑ, είναι δόκιμο να αναφερθεί πως στις ανεπτυγμένες κοινωνίες των πιο σημαντικών βιομηχανικών περιοχών, η γνώση και οι δεξιότητες είναι πολύ βασικές παράμετροι για την ενίσχυση της παραγωγικότητας σε μικροοικονομικό και μακροοικονομικό επίπεδο. Ο ανθρώπινος πολιτισμός εξαρτάται από την εκπαίδευση και πάντοτε μαζί με άλλους παράγοντες, ενώ οι προοδευτικές οικονομίες της Δύσης και των ΗΠΑ, επενδύουν τεράστια ποσά για την προώθηση της εκπαίδευσης. Το λόγω φαινόμενο αποτελεί αντικείμενο έρευνας ήδη από τα τέλη της δεκαετίας του 1950 και αρκετές εμπειρικές μελέτες της εν λόγω περιόδου διεξάγονται, έχοντας ως κύρια βάση την εκπαίδευση ή τις μεταβλητές που σχετίζονται με την εκπαίδευση. (Devadas, 2015).

Ο Schultz (1961) αναγνωρίζει την «εκπαίδευση ως μια μορφή κεφαλαίου», μετά από την ασαφή παρατήρηση του πως οι δεξιότητες και η γνώση αποτελούν ή όχι μορφή κεφαλαίου, μέσα από τις μελέτες που κάνει μεταξύ του 1960 και 1964. (Devadas, 2015). Ο Becker διατυπώνει επισήμως με τη σειρά του και εκείνος τη θεωρία του για το HC το 1964 και η εν λόγω θεωρία διαμορφώνεται μέσα από τα εξής βήματα:

- το 1962 κυκλοφορεί το άρθρο «Investment in Human Capital: A Theoretical Analysis», το οποίο παρουσιάζει το βασικό οικονομικό μοντέλο της θεωρίας
- το 1964 κυκλοφορεί το βιβλίο του «Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis, with Special Reference to Education». (Becker, 1964).

Ο Becker (μεταξύ του 1962 και 1954) διατυπώνει τη θεωρία του για τη συσχέτιση που υφίσταται μεταξύ της εκπαίδευσης και της οικονομικής ανάπτυξης ή των υψηλών εισοδημάτων, χρησιμοποιώντας τον εξωτερικό συντελεστή της απόδοσης του βαθμού της εκπαίδευσης και τον εσωτερικό συντελεστή της απόδοσης του δείκτη της εκπαίδευσης. Με την εμφάνιση αυτής της νέας ιδεολογικής προοπτικής, ο όρος HC αξιοποιείται (ή σε ορισμένες περιπτώσεις έχει καταχραστεί) στη βιβλιογραφία και στην πράξη και έτσι η εξέλιξη της θεωρίας του HC εξετάζεται στο πλαίσιο των κάτωθι περιόδων (εικόνα 183):

- της κλασικής οικονομικής σκέψης για το HC
- των θεμελιωδών οικονομικών μελετών για το HC
- των μελετών για τη διαμόρφωση της θεωρίας του HC
- των σύγχρονων απόψεων για το HC. (Devadas, 2015).

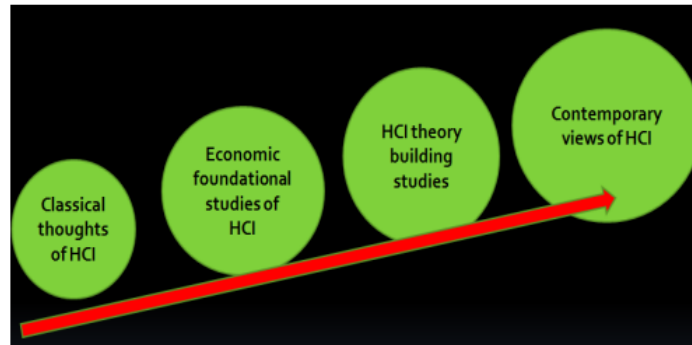


Figure 01: Evolution of Human Capital Investment Theory

Εικόνα 183. Η εξέλιξη της θεωρίας του ανθρώπινου κεφαλαίου (HC).

(πηγή: <https://pdfs.semanticscholar.org/8fb3/0ec556d01cc0535d06524502e9c63c7c6417.pdf>).

Ο Sweetland (1996) επιχειρεί μια συνοπτική ανασκόπηση στη βασική βιβλιογραφία για το HC, βάσει των εξής παραμέτρων:

- πρώιμες οικονομικές απόψεις
- μελέτες για τα οικονομικά θεμέλια
- βασικές μελέτες της θεωρίας του ανθρώπινου κεφαλαίου. (Devadas, 2015).

Οι μελέτες του Sweetland μετά το 1996 και το έργο του μετά τη δεκαετία του 1990, φαίνεται να παίρνει «διαφορετική μορφή και ροή», εστιάζοντας στην ενσωμάτωση πιο ακριβών δεικτών του προσδιορισμού της έννοιας του HC, περιγράφοντας νέα οφέλη αναφορικά με το γενικό σύνολο των επενδύσεων επάνω στο HC και επισημαίνοντας ορισμένα αξιοσημείωτα «όρια της θεωρίας των επενδύσεων» σε αυτό. Η έννοια του HC αποτελεί ένα πολύ σημαντικό αντικείμενο διερεύνησης από

τις απαρχές της οικονομικής επιστήμης και ο Smith, γνωστός και ως πατέρας της οικονομικής επιστήμης, αναγνωρίζει την ανθρώπινη εργασία ως τη ρίζα / αιτία κάθε πλούτου, όπως αναφέρει ο Sweetland (1996). (Devadas, 2015).

Σύμφωνα με το Devadas (2015), όπως ο Smith, έτσι και άλλοι οικονομολόγοι, όπως είναι οι John Stuart Mill, Alfred Marshall και Irving Fisher, ασχολούνται με το θέμα του HC, ενώ αν και οι κλασικές σκέψεις για το HC αποδίδονται κατά βάση στην περιγραφή της έννοιας του «προσωπικού πλούτου» που συνιστά τη μορφή κεφαλαίου που αποτελεί μια βασική αιτία της «συσσώρευσης του πλούτου ενός έθνους», αυτή δε μελετάται από τους κλασικιστές, δηλαδή μέχρι να γίνει η έναρξη των βασικών οικονομικών μελετών για το HC στα επόμενα χρόνια. Ορισμένες μελέτες που γίνονται από τους Jacob Mincer (1958), Soloman Fabricant (1959), Gary Becker (1960) και Theodore Schultz (1961) αναγνωρίζονται μετά από το Sweetland (1996) ως πάρα πολύ σημαντικές μελέτες, ενώ οι περισσότερες εξ αυτών διεξάγονται πριν από την επίσημη καθιέρωση της θεωρίας του HC, που πραγματοποιείται στις αρχές της δεκαετίας του 1960. (Devadas, 2015).

Ο Mincer (1958) αναπτύσσει ένα μοντέλο για τη μελέτη της φύσης και των αιτίων των ανισοτήτων στο ατομικό εισόδημα και καταλήγει στο συμπέρασμα πως η εκπαίδευση και οι δεξιότητες του HC επηρεάζουν σημαντικά τις διακυμάνσεις στο ατομικό εισόδημα. Ο Fabricant (1959) εστιάζει στη μελέτη της παραγωγικότητας στις ΗΠΑ από το 1889 έως το 1957 και διαπιστώνει πως οι μέθοδοι και οι υποθέσεις που αφορούν σχεδόν τα περισσότερα στοιχεία της παραγωγικότητας προωθούν την υποτίμηση των επενδύσεων σε άυλο κεφάλαιο, με αποτέλεσμα να συντελείται η υπερεκτίμηση της έννοιας της παραγωγικότητας. (Devadas, 2015).

Ο Becker (1960) εστιάζει στη μελέτη των διαφορών (ανισοτήτων) που σχετίζονται με τα προσωπικά εισοδήματα μεταξύ των αποφοίτων του πανεπιστημίου και των αποφοίτων λυκείου στις ΗΠΑ και η αρχική του υπόθεση είναι πως ένα υψηλότερο ποσοστό της απόδοσης των επενδύσεων στην τριτοβάθμια εκπαίδευση σε σχέση με το ποσοστό που αποφέρει το υλικό κεφάλαιο, υποδηλώνει πως υπάρχει πολύ πιο μειωμένη επένδυση στην τριτοβάθμια εκπαίδευση, ενώ ένα χαμηλότερο ποσοστό απόδοσης των επενδύσεων στην τριτοβάθμια εκπαίδευση σε σχέση με αυτό του υλικού κεφαλαίου μπορεί να αποδοθεί / προσδιοριστεί ως μια μορφή «υπέρ

επένδυσης» στην τριτοβάθμια εκπαίδευση. (Devadas, 2015).

Ο Schultz (1961) εστιάζει στον προσδιορισμό της σχέσης της εκπαίδευσης με τη διαμόρφωση του HC και αναφέρει πως οι δεξιότητες και οι γνώσεις των ανθρώπων αποτελούν μια μεμονωμένη μορφή κεφαλαίου, ακόμη και αν και αυτό δεν είναι πάντα προφανές, ενώ υπογραμμίζει πως η εκπαίδευση αποτελεί μια μορφή δαπάνης που γίνεται για την κατανάλωση και για την επένδυση, αποδίδοντας την αύξηση του αποθέματος της εκπαίδευσης ως αριθμητικά διπλάσια, σε σχέση με την τιμή της αύξησης του εθνικού εισοδήματος μεταξύ του 1900 και του 1956. Ο Schultz (1961) απαριθμεί τις εξής πέντε βασικές κατηγορίες ανθρώπινων δραστηριοτήτων, δηλαδή των επενδύσεων, που οδηγούν στη βελτίωση των ανθρώπινων ικανοτήτων:

- εγκαταστάσεις και υπηρεσίες υγείας
- κατάρτιση στο χώρο εργασίας
- επίσημα οργανωμένη δομή εκπαίδευσης (αναφέρεται σε πρωτοβάθμια, σε δευτεροβάθμια και σε τριτοβάθμια εκπαίδευση)
- προγράμματα σπουδών για ενήλικες
- μετανάστευση ατόμων /οικογενειών για προσαρμογή στις μεταβαλλόμενες ευκαιρίες αναφορικά με την εργασία. (Devadas, 2015).

Οι βασικές οικονομικές μελέτες επίσης δε σχετίζονται άμεσα με το HC σε «εμπειρικό επίπεδο», αντιθέτως θέτουν τα θεμέλια για την ανάπτυξη της θεωρίας του HC, επισημαίνοντας και την αξία της εκπαίδευσης (κατάρτιση και δεξιότητες) στα εξής:

- διαφορές που αυτές προσδίδουν σε ατομικό εισόδημα κάθε εργαζομένου, δεδομένου πως η εν λόγω προσέγγιση γίνεται από το Mincer (1958)
- σημασία άυλου κεφαλαίου, ως προσέγγιση του Fabricant (1959)
- κατάλληλες μεθοδολογίες για μελέτη του HC, σύμφωνα με Becker (1960)
- σχέση εκπαίδευσης με HC και άλλους τύπους κεφαλαίου, ως προσέγγιση του Schultz (1961). (Devadas, 2015).

Οι μελέτες για τη διαμόρφωση της θεωρίας του HC εστιάζουν στην εξήγηση της άμεσης συσχέτισης μεταξύ του HC και της ανάπτυξης του εισοδήματος, ενώ ο Sweetland (1996) υπογραμμίζει τη συμβολή των Denison (1962), Schultz (1963) και Becker (1964) στις μετέπειτα μελέτες που οδηγούν στην ανάπτυξη της θεωρίας του HC. Η σύνθεση της θεωρίας του HC αποτελεί πολύ σημαντικό αντικείμενο συζήτησης ακόμη και στο πλαίσιο των πιο σημαντικών οικονομικών μελετών του HC, ενώ η εκπαίδευση είναι στο επίκεντρο της ανάλυσης του HC σε όλες τις χρονικές περιόδους και σε ορισμένες ποσοτικές και ποιοτικές πτυχές που παρουσιάζονται σε μεταγενέστερες μελέτες αναδεικνύονται ως αντιπροσωπευτικές προσεγγίσεις του «πιο δόκιμου προσδιορισμού της έννοιας του HC». (Devadas, 2015).

Ο Smith (1776) παρουσιάζει τον «κύριο δείκτη του HC» ως το επονομαζόμενο «μορφωμένο άτομο» (educated man), ενώ άλλοι περιγράφουν γενικά την επένδυση στους ανθρώπους ή στην εργασία ως μορφή κεφαλαίου και σύμφωνα με τις βασικές οικονομικές μελέτες, το HC επίσης προσδιορίζεται ως εξής:

1. τυπική εκπαίδευση σε όρους που σχετίζονται με το σύνολο των ετών φοίτησης και την άτυπη εκπαίδευση (εργασιακή εμπειρία), βάσει του Mincer (1958)
2. βασική επιστήμη, τεχνολογία, διοίκηση επιχειρήσεων, καθώς και ως εκπαίδευση και κατάρτιση, βάσει του Fabricant (1959)
3. απόδοση της επένδυσης στην εκπαίδευση, βάσει του Becker (1960)
4. δραστηριότητες σε εγκαταστάσεις και σε υπηρεσίες υγείας, ως κατάρτιση στο χώρο της εργασίας, ως επίσημη οργανωμένη εκπαίδευση σε επίπεδο πρωτοβάθμιας, δευτεροβάθμιας και τριτοβάθμιας εκπαίδευσης, καθώς και σε προγράμματα σπουδών για ενήλικες, βάσει του Sultz (1961).

Οι μελέτες για τη διαμόρφωση της θεωρίας του HC περιορίζονται αυστηρά και μόνο στην εκπαίδευση και στις γνώσεις που αποκτώνται μέσω της τυπικής εκπαίδευσης, αποτελώντας τη βάση της συζήτησης για το HC στις εμπειρικές μελέτες των Denison (1962) και Sultz (1963), ενώ ο Becker (1964) αξιοποιεί με μοναδικό τρόπο την απόδοση της έννοιας της επένδυσης στην εκπαίδευση σε σχέση με το κόστος της εκπαίδευσης, ώστε να εξηγήσει σωστά τη θεωρία του HC. Ο λόγος για τη χρήση της

εκπαίδευσης ως την κύρια επένδυση στο HC για την εμπειρική ανάλυση, οφείλεται κατά βάση στις εξής προσεγγίσεις:

- η εκπαίδευση συμβάλλει στη βελτίωση της υγείας, σύμφωνα με Schultz (1963)
- η εκπαίδευση μπορεί να μετρηθεί πιο εμπειρικά σε ποσοτικά κόστη και έτη φοίτησης κάθε εργαζόμενο, σύμφωνα με Johnes (1993). (Devadas, 2015).

Η βιβλιογραφία σχετικά με τη θεωρία του HC εστιάζει σε διάφορους τύπους και μέσα εκπαίδευσης, τα οποία διαμορφώνονται ως εξής:

- τυπική εκπαίδευση σε πρωτοβάθμιο, δευτεροβάθμιο και ανώτερο επίπεδο, βάσει της θεώρησης των Cohn & Geske (1990)
- άτυπη εκπαίδευση στο σπίτι και στην εργασία, βάσει του Schultz (1981)
- εξειδικευμένη επαγγελματική εκπαίδευση σε δευτεροβάθμιο και σε ανώτερο εκπαιδευτικό επίπεδο, βάσει της θεώρησης του Corazzini (1967)
- κατάρτιση στο χώρο εργασίας και μαθητεία, βάσει της θεώρησης του Mincer (1974). (Devadas, 2015).

Στη σύγχρονη βιβλιογραφία, το HC ορίζεται με μια πιο ολιστική προσέγγιση, ώστε να περικλείει περισσότερες ποιοτικές μεταβλητές. (Devadas, 2015). Η θεωρία του HC υποστηρίζει πως η εκπαίδευση, η κατάρτιση και η υγεία αποτελούν επενδύσεις που αυξάνουν άμεσα την παραγωγικότητα ενός ατόμου και τις μελλοντικές προοπτικές των ενδεχόμενων οικονομικών του απολαβών. Ως πρωτοπόροι για τη διαμόρφωση της εν λόγω θεωρίας αναγνωρίζονται οι Gary Becker και Theodore Schultz, που αντιμετωπίζει το HC ως πολύτιμο περιουσιακό στοιχείο που διαθέτει συσσωρευμένη γνώση και οι δεξιότητες του αποφέρουν μετρήσιμες οικονομικές αποδόσεις καθ' όλη τη ζωή του. (Awu, Darius, & Chimele, 2025) (Ross, 2024) (Wuttaphan, 2020).

Οι βασικές έννοιες αφορούν τα εξής:

1. την εκπαίδευση και την κατάρτιση
2. την υγεία και την ευεξία
3. την προώθηση της γενικής κατάρτισης έναντι της ειδικής κατάρτισης

- η γενική κατάρτιση ενισχύει σε σημαντικό βαθμό την αξία ενός εργαζομένου στην ευρύτερη αγορά
- η ειδική κατάρτιση παρέχει κατά βάση τις δεξιότητες που είναι ειδικά προσαρμοσμένες αποκλειστικά και μόνο στις ανάγκες της εκάστοτε επιχείρησης που εργάζεται το άτομο

4. την οργανωτική απόδοση της επένδυσης

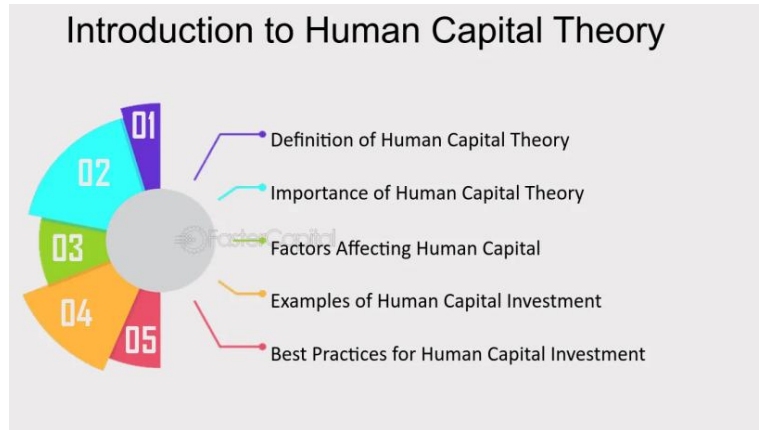
- στις επιχειρήσεις, η επένδυση στην ανάπτυξη του HC και στην αναβάθμιση των δεξιοτήτων θεωρείται στρατηγικός μοχλός της ενίσχυσης του βαθμού της κερδοφορίας, της ανθεκτικότητας και της δημιουργίας μακροπρόθεσμης αξίας. (Awu, Darius, & Chimele, 2025) (Ross, 2024) (Wuttaphan, 2020).

3.7 Ανθρώπινο κεφάλαιο: η εξέλιξη της θεωρίας στο σήμερα

Η θεωρία του HC (Human Capital Theory) αποτελεί μια αποδεκτή οικονομική θεωρία που εξηγεί τη σημασία της επένδυσης στον ανθρώπινο παράγοντα για την ανάπτυξη και την επιτυχία κάθε επιχείρησης, δεδομένου πως η εν λόγω θεωρία υπογραμμίζει τη σημασία της εκπαίδευσης, της κατάρτισης και της ανάπτυξης των δεξιοτήτων όλων των εργαζομένων, οδηγώντας σε αυξημένη παραγωγικότητα και κερδοφορία της επιχείρησης. Η ιδέα πίσω από τη θεωρία του HC είναι πως οι εργαζόμενοι αποτελούν περιουσιακό στοιχείο για κάθε επιχείρηση, ενώ οι δεξιότητες και οι γνώσεις των εργαζομένων αποτελούν πολύτιμους πόρους που αξιοποιούνται για τη δημιουργία αξίας για την επιχείρηση. Πρόκειται για μια οικονομική έννοια που αναφέρεται στις δεξιότητες, τις γνώσεις και την εμπειρία των εργαζομένων που συμβάλλουν στην ανάπτυξη και την επιτυχία μιας επιχείρησης, ενώ η επένδυση στην εκπαίδευση και την κατάρτιση είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τη μακροπρόθεσμη επιτυχία της επιχείρησης (εικόνα 184). (FasterCapital, 2025).

Η επένδυση στο HC δίνει σημαντικό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στην επιχείρηση, βελτιώνοντας την παραγωγικότητα και την αποδοτικότητα όλων των εργαζομένων. Η θεωρία του HC (εικόνα 185) είναι πολύ σημαντική για την ανάπτυξη και την εξέλιξη κάθε επιχείρησης, καθώς μέσω της επένδυσης στην εκπαίδευση και στην κατάρτιση των εργαζομένων, οι επιχειρήσεις που μπορούν εύκολα και άμεσα να βελτιώσουν την

παραγωγικότητα, την αποδοτικότητα και την καινοτομία τους, ενώ αυτό συμβάλλει στην προσέλκυση και στη διατήρηση ταλαντούχων εργαζομένων, κάτι που είναι καθοριστικό για την εύρωστη λειτουργία της επιχείρησης. (FasterCapital, 2025).



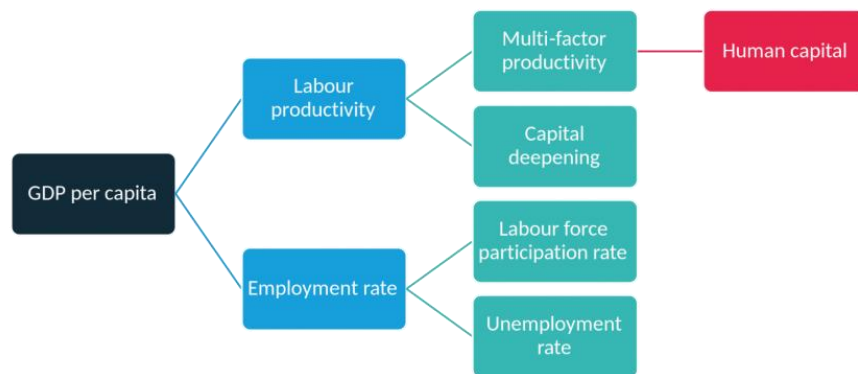
Εικόνα 184. Η θεωρία του ανθρώπινου κεφαλαίου (Human Capital Theory).

(πηγή: <https://fastercapital.com/content/Human-capital-theory--Investing-in-Talent-for-Firm-Performance.html>).

Διάφοροι παράγοντες επηρεάζουν την ανάπτυξη του HC, όπως είναι η εκπαίδευση, η κατάρτιση, η εμπειρία και οι δεξιότητες. Το επίπεδο της επένδυσης στην εκπαίδευση και την κατάρτιση των εργαζομένων επηρεάζει και την ανάπτυξη του HC. Η διαθεσιμότητα των πόρων, όπως είναι ο χρόνος και τα χρήματα, παίζει επίσης καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη του HC, ενώ η οργανωτική κουλτούρα και το στυλ ηγεσίας επηρεάζουν την ανάπτυξη του HC. Πολλές σύγχρονες επιχειρήσεις έχουν επενδύσει επίσης σημαντικά ποσά στην ανάπτυξη του HC, παρατηρώντας θετικά αποτελέσματα, όπως συμβαίνει με τη Google που παρέχει στους υπαλλήλους της δωρεάν πρόσβαση σε διαδικτυακά μαθήματα και σε εκπαιδευτικά προγράμματα, γεγονός που οδηγεί σε πολύ αυξημένα επίπεδα της αφοσίωσης των εργαζομένων και προωθεί την καινοτομία. Ένα άλλο παράδειγμα είναι η Zappos, που ακολουθεί μια μοναδική προσέγγιση στην εκπαίδευση εργαζομένων, όπου οι νέο προσληφθέντες εργαζόμενοι παρακολουθούν ένα εκπαιδευτικό πρόγραμμα τεσσάρων εβδομάδων που εστιάζει στην κουλτούρα και τις αξίες της εταιρείας. (FasterCapital, 2025).

Η επένδυση στο HC απαιτεί μια στρατηγική και συστηματική προσέγγιση και οι εταιρείες πρέπει να επικεντρωθούν στον προσδιορισμό όλων των δεξιοτήτων και των

γνώσεων που απαιτούνται για να μπορούν να εκτελούν οι υπάλληλοί τους αποτελεσματικά τις εργασίες τους, ενώ οφείλουν να παρέχουν και αρκετές συνεχείς ευκαιρίες εκπαίδευσης και ανάπτυξης στους υπαλλήλους, αλλά και να είναι σε θέση να μπορούν να αναπτύξουν μια κουλτούρα μάθησης και ανάπτυξης, όπου οι υπάλληλοι ενθαρρύνονται συνεχώς να μαθαίνουν και να αναπτύσσουν ολοένα και περισσότερες γνώσεις και δεξιότητες. Η θεωρία του HC τονίζει και τη σημασία της επένδυσης στην εκπαίδευση και την κατάρτιση των εργαζομένων για την ανάπτυξη και την επιτυχία, ενώ μέσω αυτής της επένδυσης οι επιχειρήσεις μπορούν να βελτιώσουν την παραγωγικότητα, την αποδοτικότητα και την καινοτομία τους, κάτι που οδηγεί και σε αυξημένη κερδοφορία. (FasterCapital, 2025).



Εικόνα 185. Η θεωρία του ανθρώπινου κεφαλαίου (Human Capital Theory).

(πηγή: <https://fiveable.me/sociology-of-education/unit-1/human-capital-theory/study-guide/fhhpItzjV3jllKK4>).

Οι σύγχρονες επιχειρήσεις που επενδύουν στην εκπαίδευση και την κατάρτιση των εργαζομένων τους έχουν περισσότερες πιθανότητες να προσελκύσουν και να καταφέρουν να διατηρήσουν ταλαντούχους εργαζομένους, κάτι που είναι πολύ σημαντικό για τη μακροπρόθεσμη επιτυχία, την ευρωστία και την κερδοφορία τους. (FasterCapital, 2025). Οι περισσότερες στρατηγικές HCD κατά βάση δεν τυγχάνουν της προσοχής που τους αξίζει, ενώ η δυσμενώς παραγκωνισμένη αξία της γνώσης και της εμπειρογνομοσύνης αποκτά στο σήμερα μεγαλύτερη σημασία και η εστίαση δίδεται στην αυξανόμενη σημασία του HCD (όπως αναφέρεται και ανωτέρω), καθώς και στην απόκτηση των τεχνικών και των διαπροσωπικών δεξιοτήτων στο πλαίσιο

των επιχειρηματικών μοντέλων και των παραγωγικών υποδομών που διέπουν το φάσμα της κοινωνίας της γνώσης. (A. Politis et al., 2025) (Politis, 2004).

Η ικανότητα μιας επιχείρησης να μπορεί να επιδεικνύει ανθεκτικότητα εν μέσω αντιξοοτήτων, να ευδοκιμεί σε δυναμικά περιβάλλοντα, να εξελίσσεται με τα χρόνια και να διατηρεί οικονομική ευημερία, εξαρτάται σε πολύ σημαντικό βαθμό από τη στρατηγική της ικανότητα ως προς την αξιοποίηση πολλών διαφορετικών μορφών κεφαλαίου, που χρησιμοποιούνται κατά βάση για την ενίσχυση της αξίας, επιτυγχάνοντας επίσης αρκετούς μακροπρόθεσμους, μη επιχειρησιακούς σκοπούς και συναφείς οικονομικούς στόχους. (A. Politis et al., 2025) (Politis, 2004).

3.8 Οι κύριες κατηγορίες του εταιρικού κεφαλαίου (company capital)

Ο όρος «κεφάλαιο» (capital) συνδέεται με τα περιουσιακά στοιχεία και την αξία και όχι με τα έξοδα, ενώ οι κατηγορίες του «εταιρικού κεφαλαίου» (company capital), δηλαδή του κεφαλαίου μιας σύγχρονης επιχείρησης, περικλείουν τα κάτωθι:

1. «χρηματοοικονομικό κεφάλαιο (financial capital)»
 - τα χρηματικά περιουσιακά στοιχεία των επενδυτών και τα συσσωρευμένα χρηματοοικονομικά αποθέματα μιας επιχείρησης (investors & accumulated financial reserves), συμπεριλαμβανομένης της αξίας εκκαθάρισης της εν λόγω εταιρικής οντότητας (entity's liquidation value)
2. «υλικό κεφάλαιο (physical capital)»
 - τα απτά και υλικά περιουσιακά στοιχεία, τα οποία περιλαμβάνουν τις εγκαταστάσεις, τον εξοπλισμό, τα εργαλεία και τα βοηθητικά περιουσιακά στοιχεία (plant, equipment, tools & ancillary assets)
 - ανεξάρτητα από την ορατότητα και τον υλικό / απτό χαρακτήρα αμφότερων ειδών κεφαλαίου (δηλαδή το χρηματοοικονομικό και το υλικό κεφάλαιο), η αξία τους εξαρτάται από την αμερόληπτη αξιολόγηση και τη διορατική κρίση που οδηγεί στη δόκιμη αξιολόγηση του ρόλου και της αξίας του ανθρώπινου παράγοντα, τόσο εντός όσο και εκτός της εταιρικής δομής

3. «πνευματικό κεφάλαιο (intellectual capital)»

- ο όρος «πνευματικό κεφάλαιο», ο οποίος επινοείται από τον οικονομολόγο John Kenneth Galbraith (1969)
- προσδιορίζεται ως το σύνολο όλων των πνευματικών δραστηριοτήτων που αποσκοπούν στη δημιουργία αξίας, αποτελώντας τη συμβατική μορφή περιουσιακού στοιχείου μιας ορισμένης επιχείρησης. (A. Politis et al., 2025) (Politis, 2004).

Μια ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική του HPO βασίζεται κατά βάση στο πνευματικό κεφάλαιο, το οποίο ταξινομείται στις παραμέτρους (εικόνα 186):

- «κεφάλαιο πελατών» (client capital)
- «κεφάλαιο διαδικασιών» (process capital) ή «οργανωτικό κεφάλαιο» (organizational capital)
- «χρηματοοικονομικό κεφάλαιο» (financial capital)
- «ανθρώπινο κεφάλαιο» (human capital). (Evalex, 2016).

Σύμφωνα με τον Keenan (2000), τα κρίσιμα στοιχεία για την οικονομική ευημερία εντός του πνευματικού κεφαλαίου των επιχειρήσεων περιλαμβάνουν τα εξής:

- «βασικό κεφάλαιο» (core capital) ή «οργανωτικούς παράγοντες» (organizational actors)
- «κεφάλαιο επικοινωνίας» (communication capital) ή «κεφάλαιο των πληροφοριών» (information capital)
- «κοινοτικό κεφάλαιο» (community capital) ή «κοινωνικό κεφάλαιο» (community or social capital). (A. Politis et al., 2025) (Politis, 2004).

Ο Keenan (2000) επισημαίνει ότι το πνευματικό κεφάλαιο περιλαμβάνει στοιχεία από διάφορες μορφές κεφαλαίου, όπως είναι τα εξής:

1. «το ανθρώπινο κεφάλαιο» (HC)

2. «το κεφάλαιο εσωτερικής δομής» (internal structure capital)

3. «το κεφάλαιο εξωτερικής δομής» (external structure capital)

- γνωστό και ως «κεφάλαιο πελατών» (customer capital)
- γνωστό και ως «κεφάλαιο καινοτομίας» (innovation capital)
- γεγονός επίσης που του επιτρέπει και να μπορέσει με τον καιρό να αναδειχθεί ως ένα από τα τρία βασικά και πλέον αναπόσπαστα κεφάλαια για την οικονομική ευημερία και εξέλιξη. (Politis, 2004).



Εικόνα 186. Intellectual capital: client capital, process capital, financial capital, human capital.

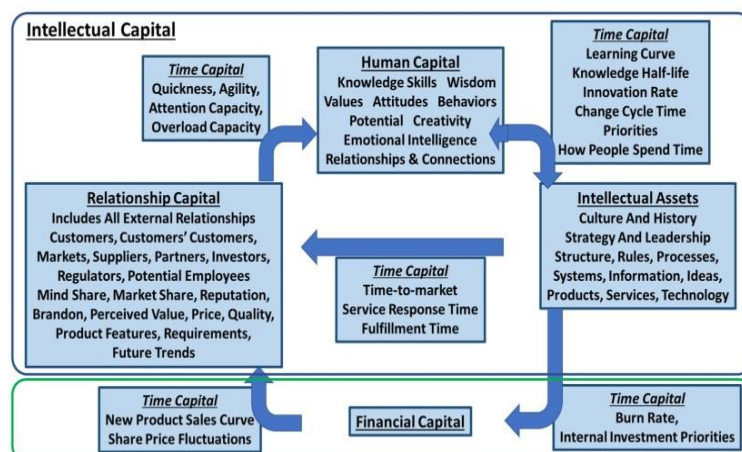
(πηγή: <https://www.evalex.com/frameworks/architecture-high-performance-organisations/>).

Τα υλικά και τα χρηματοοικονομικά περιουσιακά στοιχεία των επιχειρήσεων είναι σχετικά απτά (relatively tangible) και η μετάβαση από ένα μοντέλο πωλήσεων που είναι επικεντρωμένο στο προϊόν σε ένα νέο πρότυπο που είναι προσανατολισμένο στις υπηρεσίες συντελεί στην ανάδειξη της γνώσης και της πληροφορίας ως μορφές θεμελιωδών πόρων (knowledge & information as pivotal resources), καθιστώντας έτσι να είναι πολύ σημαντικό και αναγκαίο να αναπτυχθούν και νέες θεωρίες ως προς τη δόκιμη διαχείριση όλων των διαφορετικών ειδών/ τύπων κεφαλαίων μιας επιχείρησης. Οι προαναφερθείσες θεωρίες απαιτούν την ενίσχυση και την αξιοποίηση της γνώσης και την αποτελεσματική χρήση και την ποσοτικοποίηση της (utilization & quantification), ενώ όπως παρουσιάζεται και στην εικόνα 187 είναι πολύ επιτακτική και η ανάγκη να διαφοροποιηθούν πλήρως

οι διαφορετικές μορφές του πνευματικού κεφαλαίου, αλλά και να χαρτογραφηθούν και όλες οι «αλληλεξαρτήσεις» που υφίστανται μεταξύ τους. (Politis, 2004).

Η Scandia AFS (1996) προτείνει την έννοια του πνευματικού κεφαλαίου ως συσσώρευση της γνώσης, των ικανοτήτων, του HC και του δομικού κεφαλαίου (knowledge, competencies, HC & structural capital), ενώ ο Brooking (1996) υποστηρίζει ότι το πνευματικό κεφάλαιο αφορά τα εξής:

1. περιουσιακά στοιχεία της αγοράς (market assets)
2. κεφάλαιο καινοτομίας (innovation capital)
 - όπως είναι τα πνευματικά δικαιώματα, τα διπλώματα ευρεσιτεχνίας, τα εμπορικά σήματα και συναφή δεδομένα
3. τα περιουσιακά στοιχεία, τα οποία εστιάζουν στον ανθρώπινο παράγοντα (human-centered assets), ή το HC
4. τα περιουσιακά στοιχεία της υποδομής (infrastructure assets) ή το κεφάλαιο διαδικασιών (process capital)
 - όπως είναι για παράδειγμα οι διαδικασίες, οι τεχνολογίες και άλλες συναφείς δομές και υποδομές. (A. Politis et al., 2025) (Politis, 2004).



Εικόνα 187. Forms of intellectual capital.

(πηγή: <https://businessinnovationmanagement.com/browse-content/book-table-of-contents/chapter-23-knowledge-management-and-intellectual-capital/>).

Το HC αφορά το σύνολο των δεξιοτήτων, των γνώσεων και της εμπειρίας που διαθέτει το προσωπικό ενός οργανισμού, το οποίο θα πρέπει να αξιοποιείται, να ενισχύεται και με τον καιρό να μπορεί να εδραιώνεται μέσω της συγκρότησης και της βελτίωσης των οργανωτικών διαδικασιών. Η έννοια του HC, η οποία ανάγεται σε έργα του 18^{ου} αιώνα του Smith, επιδιώκει να διασαφηνίσει τις αλληλεξαρτήσεις και τις δυναμικές που υφίστανται μεταξύ των εργαζομένων εντός των επιχειρήσεων και των οργανωτικών πλαισίων. (A. Politis et al., 2025) (Politis, 2004).

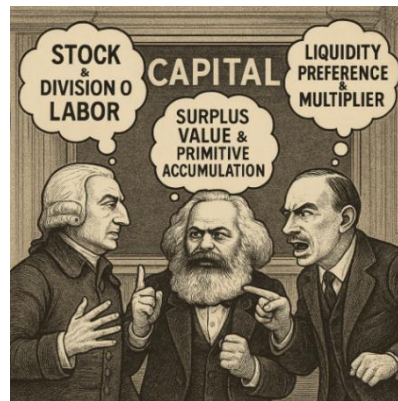
Ο Keenan (2000) προτείνει πως το HC (εικόνα 188) περιλαμβάνει τα εξής:

- σύνολο δεξιοτήτων εργαζομένων (employees' skill sets) μιας επιχείρησης
- σχετική ηλικία των εργαζομένων (relative age)
- επίπεδο εκπαίδευσης των εργαζομένων
- επαγγελματική εμπειρογνωμοσύνη (professional expertise) εργαζομένων
- ηθική ευθυγράμμιση (ethical alignment) των εργαζομένων
- παρακίνηση και κίνητρα (motivation) των εργαζομένων
- αναπτυξιακή ευημερία (developmental prosperity) των εργαζομένων
- παρουσία των εργαζομένων στο χώρο εργασίας (workplace attendance)
- επιλογές του τρόπου ζωής των εργαζομένων, εντός και εκτός της εργασίας (work-non-work lifestyle choices). (Politis, 2004).

Η ταξινόμηση των επονομαζόμενων «άυλων περιουσιακών στοιχείων» (intangible assets) περιλαμβάνει τα εξής:

1. «πνευματικά περιουσιακά στοιχεία» (intellectual assets)
2. «ιδιόκτητη τεχνολογία» (proprietary technology)
3. «διαχείριση του εργατικού δυναμικού» (workforce management)
4. «βάση του προσωπικού» (personnel base). (Politis, 2004).

Ο Papadopoulos (2003) υποστηρίζει ότι οι δεξιότητες και οι ικανότητες (skills & competencies) του HC είναι πάρα πολύ σημαντικές για τη «δημιουργία αξίας», ενώ η «πληροφορία» αποτελεί επίσης το πιο σημαντικό στοιχείο για την ανάπτυξη του επανομαζόμενου «πληροφοριακού κεφαλαίου», γνωστού και ως «κεφαλαίου της πληροφορικής» (information capital). Το πληροφοριακό κεφάλαιο (εικόνα 189), όπως και το ανθρώπινο κεφάλαιο, έχει αξία αποκλειστικά και μόνο στο πλαίσιο μιας συγκεκριμένης επιχειρηματικής στρατηγικής, η οποία περιλαμβάνει τις εφαρμογές της πληροφορικής (IT) και τη σχετική τεχνολογική τους υποδομή. (Politis, 2004).



Εικόνα 188. Mike Munger juxtaposing Smith's economic perspective with that of Marx, and elucidating capital allocation in fostering productivity and modern prosperity.

(πηγή: <https://www.adamsmithworks.org/speakings>).

Το HC αποτελείται από εξής τρεις βασικές παραμέτρους:

1. «την ικανότητα» (competence)

- η ενοποίηση όλων των τεχνικών δεξιοτήτων και η σύγκληση της ακαδημαϊκής εξειδίκευσης των εργαζομένων
- περιλαμβάνει την εφαρμογή της γνώσης που αποκτάται με τα χρόνια
- περικλείει την εφαρμογή της συσσωρευμένης πρακτικής εμπειρίας

2. «τη στάση ή τη διάθεση (attitude)»

- καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά της προσωπικότητας

- η τάση να αξιοποιεί τις δεξιότητες προς όφελος της επιχείρησης
- η κινητοποίηση για την εμπλοκή του εργατικού δυναμικού
- επιδρά σημαντικά στην επίτευξη των στόχων της επιχείρησης

3. «την πνευματική ευελιξία» (intellectual agility)

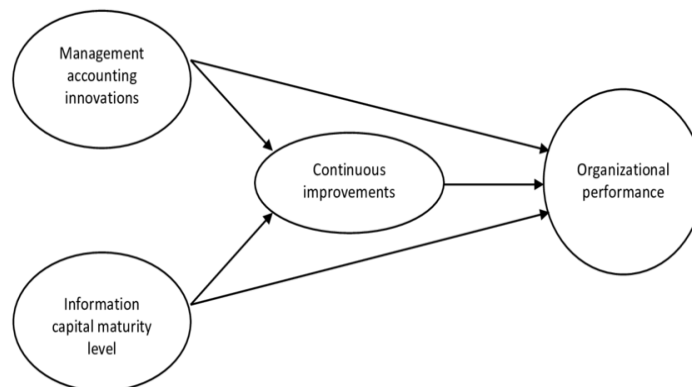
- η ικανότητα για τη δόκιμη αξιοποίηση της εξειδίκευσης και των ικανοτήτων, όπου αυτά εφαρμόζονται σε πραγματικά σενάρια, ενώ αυτό πραγματοποιείται σε σημαντικό βαθμό μέσω της επονομαζόμενης «συνεχούς εκπαίδευσης» (continuous education), όπως εμφανίζεται στην εικόνα 190. (Politis, 2004).

Source: Kaplan and Norton (2004).

Information capital category	Description
Transformational application	Systems and networks that change the prevailing business model of the enterprise
Analytic applications	Systems and networks that promote analysis, interpretation, and sharing of information knowledge
Technology infrastructure	The shared technology and managerial expertise required to enable effective delivery and use of information Capital Applications
Transaction processing applications	Systems that automate the basic repetitive transactions of the enterprise

Εικόνα 189. Το information capital.

(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Information-capital-category_tbl1_327448344).



Εικόνα 190. Effect of continuous improvements on management accounting innovations-information capital maturity level-organizational performance relationships.

(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Information-capital-category_tbl1_327448344).

3.9 Τα χαρακτηριστικά του ανθρώπινου κεφαλαίου

Το HC προσδιορίζεται ως οι «γνωστικές ικανότητες και δεξιότητες» του ανθρώπινου δυναμικού (cognitive abilities & skills of personnel), ενώ το πνευματικό κεφάλαιο αντιπροσωπεύει τη δυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ του ανθρώπινου, του δομικού και του πελατειακού κεφαλαίου (interaction between human, structural & customer capital). Αυτή η δυναμική ασκεί σημαντική επίδραση στην αποτελεσματικότητα και την προσαρμοστικότητα μιας επιχείρησης, ενώ η αξία της επένδυσης στο HC πρέπει να συνδέεται με την παραγωγή και όχι με την κατανάλωση. (Politis, 2004).

Η ικανότητα, δηλαδή η δυνατότητα της αξιοποίησης όλων των δεξιοτήτων και των γνώσεων, καλύπτει δοκίμως τα γνωστά και τα εξελισσόμενα επαγγελματικά σενάρια και τις απαιτήσεις, δεδομένου πως οι δεξιότητες περιλαμβάνουν τις γνώσεις, την εξειδίκευση, την εκπαίδευση και την κατάρτιση, αποτελώντας δηλαδή τις τεχνικές ικανότητες (technical aptitude), αλλά και τις γενικές δεξιότητες (generic skills, όπως φαίνονται στην εικόνα 191). Οι γενικές δεξιότητες περιλαμβάνουν τις δεξιότητες της ανάγνωσης, της γραφής και της αριθμητικής, την αποτελεσματική επικοινωνία που γίνεται κατά βάση μέσω της συνεργασίας όλων των εργαζομένων ως ομάδα, την ευελιξία στην επίλυση προβλημάτων, στη λήψη αποφάσεων, τη δημιουργική σκέψη, τις δεξιότητες χειρισμού υπολογιστών και τη συνεχή μάθηση. Οι μεταβιβάσιμες δεξιότητες (transferable skills) σχετίζονται με τη μεγάλη προσαρμοστικότητα στα τεχνολογικά ή στα πολύ ανταγωνιστικά εταιρικά περιβάλλοντα. (Politis, 2004).



Εικόνα 191. Generic skills and technical expertise in the 21st century.

(source: <https://21stcenturypublicservant.wordpress.com/2014/09/17/we-need-to-recruit-and-reward-for-generic-skills-as-well-as-technical-expertise/>).

Το HC βασίζεται στον προσδιορισμό των ικανοτήτων που θεωρούνται καθοριστικές για την επιτυχία μιας επιχείρησης και υπάρχουν οι εξής κατηγορίες ικανοτήτων:

- «βασικές δεξιότητες» (commodity skills, μη ειδικές για την επιχείρηση)
- «αξιοποιήσιμες δεξιότητες» (leverage skills, μη ειδικές για την εταιρεία, αν και κρίνονται ως πολύ σημαντικές για τον κλάδο)
- «αποκλειστικές δεξιότητες» (proprietary skills, ως τα ειδικά ταλέντα για την εταιρεία που συμβάλλουν στην επιτυχία της). (Politis, 2004).

Η αξία του HC αναπτύσσεται μέσω της συνεχούς εκπαίδευσης και της κατάρτισης (continuous education and training), επιτρέποντας την ενίσχυση των δεξιοτήτων, ενώ τα τρία μοντέλα δεξιοτήτων είναι τα εξής:

1. «το μοντέλο των ευέλικτων επαγγελματικών δεξιοτήτων» (model of flexible professional skills) ή «το μοντέλο των εννοιολογικών δεξιοτήτων» (model of conceptual skills)
 - αυστηρά κριτήρια κατάρτισης (εκπαίδευση, εξειδίκευση)
 - διανοητικές ικανότητες (περιλαμβάνουν τα εξής: αφηρημένη σκέψη, γνωστική ανταπόκριση, κατανόηση των διαδικασιών της παραγωγής, αναγνώριση και διάγνωση αναδυόμενων ζητημάτων)
 - εξοικείωση με νέες τεχνολογίες και προσαρμοστικότητα (αυτόκινητοποίηση, ευελιξία, άμεση, αποτελεσματική ανταπόκριση)
2. «το μοντέλο των ευέλικτων και εξατομικευμένων δεξιοτήτων» (model of flexible tailored skills)
 - εξειδίκευση που είναι συγκεκριμένη για την εργασία
 - εξοικείωση με τις νέες τεχνολογίες
 - αποτελεσματική επικοινωνία και υψηλή προσαρμοστικότητα στις απαιτήσεις μιας εξατομικευμένης παραγωγικής διαδικασίας
3. «το μοντέλο των ευέλικτων πρακτικών δεξιοτήτων» (model of flexible dexterous skills) ή «το μοντέλο των αναλυτικών δεξιοτήτων» (model of analytical skills)
 - κυριαρχεί στους τομείς της μαζικής παραγωγής

- περιλαμβάνει όλες τις «χειρωνακτικές δεξιότητες του μεσαίου επιπέδου» (mid-level manual skills, ως «επιδεξιότητα»)
- περιλαμβάνει τις «διανοητικές δεξιότητες μεσαίου επιπέδου» (mid-level intellectual skills, ως «ικανότητα διάγνωσης προβλημάτων»)
- αναφέρεται σε όλα τα «προ απαιτούμενα στοιχεία» αναφορικά με την κατάρτιση, τα οποία σχετίζονται με τα επονομαζόμενα «χαρακτηριστικά σε επίπεδο τομέα» (training prerequisites with sectoral characteristics, ως την «επαγγελματική κατάρτιση», την «εμπειρία» και την «τεχνική εξειδίκευση»), αλλά και την έννοια της «προσαρμοστικότητας» (adaptability, ως την «ευελιξία» και τη «συνεργασία»). (A. Politis et al., 2025) (Politis, 2004).

Η αξιολόγηση των ικανοτήτων ενός ατόμου (ειδικές γνώσεις, εξειδίκευση, πρακτική εμπειρία, προσωπική κρίση, διαπροσωπικές σχέσεις) αποσκοπεί στον προσδιορισμό της συνάφειας και της συμβολής του ατόμου σε μία επιχείρηση. Οι πιο σημαντικές παράμετροι της οικονομικής ευημερίας και των ευκαιριών εργασιακής απασχόλησης στο ευρωπαϊκό εργατικό δυναμικό είναι οι μικρές και μεσαίες επιχειρήσεις (SMEs), όμως η πλειοψηφία των SMEs κατά βάση προσφέρει ευκαιρίες απασχόλησης που χαρακτηρίζονται από ένα ανεπαρκές επίπεδο δεξιοτήτων και από την απουσία της εργασιακής ασφάλειας, ενώ σημαντικό ποσοστό των νεαρών ηλικιακά εργαζομένων επιλέγει να παραιτηθεί μετά την ολοκλήρωση των προγραμμάτων κατάρτισης, λόγω των αυξημένων ποσοστών των μεροληπτικών πολιτικών πρόσληψης των SMEs, του ανεπαρκούς μακροπρόθεσμου σχεδιασμού ανάπτυξης του ανθρώπινου δυναμικού, αλλά της μειωμένης δέσμευσης για τη συνεχή επαγγελματική κατάρτιση (continuous vocational training - CVT). (A. Politis et al., 2025) (Politis, 2004).

Το CVT προάγει τη συνάφεια μεταξύ δεξιοτήτων και βραχυπρόθεσμων απαιτήσεων, κάτι που εκδηλώνεται σε άτυπα πλαίσια κατά την άσκηση του επαγγέλματος. Οι μικρές επιχειρήσεις υψηλής τεχνολογίας ή αυτές που διευθύνονται από τα στελέχη δίνουν ολοένα μεγαλύτερη προτεραιότητα σε επίσημες στρατηγικές CVT. Οι εν λόγω στρατηγικές περικλείουν τη χρήση δικτύων συνεργασίας, εξωτερικών εκπαιδευτικών ιδρυμάτων και νέων εκπαιδευτικών μοντέλων που υποστηρίζονται κατά βάση από τις επονομαζόμενες «Τεχνολογίες των Πληροφοριών και των Επικοινωνιών» (Information & Communication Technologies - ICTs). (Politis, 2004).

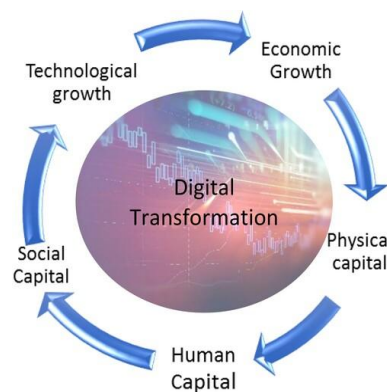
Είναι δόκιμο να αναφερθεί πως η έλευση της Industry 4.0, που αξιοποιεί εκτενώς τις συνιστώσες του ICTs σε όλη τη διαδικασία παραγωγής και σε ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού, δημιουργεί τα νέα επιχειρηματικά μοντέλα, τα οποία βασίζονται στις ψηφιακές τεχνολογίες, με κύριο στόχο την επίτευξη της αποδοτικότητας και της βελτίωσης της ποιότητας των παραχθέντων προϊόντων. Κατά συνέπεια, οι εταιρείες του κλάδου της εκτύπωσης και της συσκευασίας υποχρεώνονται στο σήμερα να μπορούν να διαχειρίζονται και να αξιοποιούν άμεσα και πολύ αποτελεσματικά το επονομαζόμενο «Επιχειρηματικό Πνευματικό Κεφάλαιο» (Entrepreneurial Intellectual Capital - EIC) εντός των επιχειρησιακών τους πλαισίων, για να ενισχύσουν την ανταγωνιστικότητα και την απόδοσή τους. Το EIC περιλαμβάνει τα εξής:

- «κοινωνικό κεφάλαιο» (social capital)
- «κεφάλαιο των πελατών» (customer capital)
- «τεχνολογικό κεφάλαιο» ή «κεφάλαιο της τεχνολογίας» (technological capital). (Aisyah, Hutagalung, & Afifuddin, 2019).

Η έννοια του «κοινωνικού κεφαλαίου» υπογραμμίζει και τη σημασία των δικτύων της επικοινωνίας στη διευκόλυνση των καθημερινών εργασιών, στην αντιμετώπιση των αναγκών, στην πρόσβαση σε διαθέσιμους πόρους, στην αξιοποίηση των ευκαιριών και στην αναβάθμιση του «κοινωνικού κύρους». Το «τεχνολογικό κεφάλαιο» υπογραμμίζει την αποτελεσματική επικοινωνία, τη διάδοση των πληροφοριών, τη συνετή λήψη αποφάσεων, την απλοποιημένη διαχείριση των δεδομένων και την αξιοποίηση της γνώσης, με στόχο την ανάπτυξη πιο κερδοφόρων στρατηγικών μάρκετινγκ και την απόκτηση ενός ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος. Το πελατειακό και το τεχνολογικό κεφάλαιο έχουν καθοριστικό ρόλο στη συνολική βελτίωση της απόδοσης των SMEs. (Aisyah, Hutagalung, & Afifuddin, 2019).

Η έλευση και επικράτηση των νέων «κοινωνικοοικονομικών πλαισίων» (novel socio-economic frameworks), η ανάδυση των νέων βιομηχανικών τομέων, αγορών και κοινωνιών επιταχύνει με απίστευτα πρωτοφανείς ρυθμούς αρκετούς σημαντικούς μετασχηματισμούς εντός της παγκόσμιας οικονομίας. Τα αυξανόμενα επίπεδα της αναζήτησης ενός ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος, σε συνδυασμό με την ενίσχυση των «διακρατικών και των δια τομεακών σχέσεων» (transnational & intersectional relations), καθιστούν αναγκαία την επανεκτίμηση του «συμβατικού παραδείγματος

της ανάπτυξης του ανθρώπινου δυναμικού» (HRD paradigm) μέσα σε ένα νέο και ολιστικό, παγκόσμιο πλαίσιο, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 192. Είναι επιτακτική όμως και η ανάγκη να αναγνωριστεί επαρκώς η εν λόγω εξέλιξη, για να διαπιστωθεί η αποτελεσματικότητα των επικρατουσών εννοιών στα HRM και HRD όσον αφορά τη «δόκιμη διευκόλυνση» της ανάπτυξης όλων των εργαζομένων εντός όλων των επιχειρησιακών περιβαλλόντων ή αν πρέπει να γίνει η μετάβαση προς τη διαμόρφωση μιας «νέας, ολιστικής στρατηγικής HCD», η οποία εστιάζει κυρίως στον ανθρώπινο παράγοντα, κατά βάση σε επίπεδο τομέα. (A. Politis et al., 2025) (Politis, 2004).



Εικόνα 192. Cycle of sustainable development.

(πηγή: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02681102.2023.2282269#d1e279>).

3. 10 Ορισμός και χαρακτηριστικά μιας ολιστικής στρατηγικής HCD

Οι όροι HR και HC παρουσιάζουν ομοιότητες και σημαντικά κοινά χαρακτηριστικά, γεγονός που επισημαίνει πόσο αναγκαία είναι να πραγματοποιηθεί μια αποσαφήνιση των διακριτών χαρακτηριστικών τους. Ο όρος HR προηγείται της ανάπτυξης του HC κατά περισσότερο από έναν αιώνα, ενώ η εμφάνιση του HC συμπίπτει χρονολογικά με την εμφάνιση της έννοιας της «αυτοματοποίησης» στη δεκαετία του 1960 (εικόνα 193), δηλαδή από όταν οι επιχειρήσεις αρχίζουν να αναγνωρίζουν τους εργαζομένους ως «ανεκτίμητους εταιρικούς πόρους». Το «παράδειγμα του HC» (HC paradigm) βασίζεται στην ενίσχυση της αξίας που προκύπτει από τις επενδύσεις, το οποίο έχει ως κύριο αποτέλεσμα να ωφελούνται οι εργαζόμενοι και οι οργανισμοί. Αυτό το παράδειγμα υπογραμμίζει και τη σημασία της κατανομής όλων των πόρων προς το προσωπικό, τονίζοντας έτσι και τη διασύνδεση τους με το οικονομικό κέρδος. Το HR

εστιάζει στο «συμβιωτικό οικοσύστημα εργατικού δυναμικού-εργοδότη» (symbiotic workforce-employer ecosystem), στο οποίο οι επιχειρήσεις πρέπει να καθιερώνουν ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο, για τη βέλτιστη κατανομή των πόρων, τη δίκαιη αμοιβή των εργαζομένων, αλλά και την παροχή υποστηρικτικής βοήθειας. (Viljoen, 2023).

<i>Dimension</i>	<i>Human Resource</i>	<i>Human Capital</i>
Job description	Detail, clear/rigid	Flexible
Orientation	Process	Output
Characteristic	Routine, transactional	Varied, transformational
Output or output between	Clearly defined	Align with the vision and mission of the organization
Required competencies	Knowledge, skills, motivation, and commitment	Knowledge, skills, motivation, commitment, creativity, and innovativeness
Organizational views	Sources of costs	Sources of profit (added value)
Organizational actions	Exploit	Nurture and develop

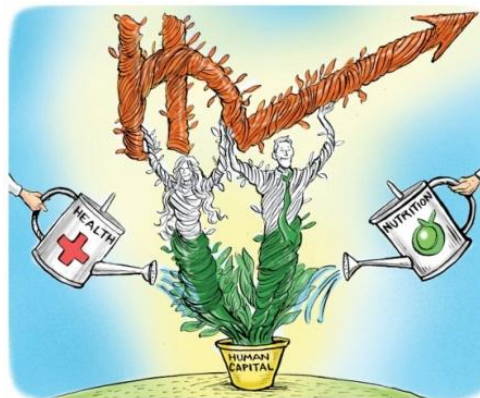
Εικόνα 193. The differences between HR and HC within organizational level.

(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Comparison-between-Human-Resources-and-Human-Capital-at-the-Organizational-Level_tbl2_366259582).

Η βασική αρχή του HC (εικόνα 194) υπογραμμίζει τη «συμβιωτική σχέση» μεταξύ των επενδύσεων στην εκπαίδευση και στην ενίσχυση της οικονομικής δυναμικής μέσω του παραδείγματος του HCD. Το HC κατά βάση διαμορφώνεται συνήθως μέσω του εύρους των γνώσεων και των δεξιοτήτων που αποκτώνται μέσω της εκπαίδευσης, οι οποίες έχουν σημαντικές κοινωνικές επιπτώσεις (όπως μείωση της φτώχειας, του υποσιτισμού, της υπό γονιμότητας και της εγκληματικότητας), ασκώντας όμως μια θετική επίδραση στην «κοινωνική ευημερία και στο Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν – ΑΕΠ». Η κύρια προσέγγιση περιλαμβάνει μια συνετή ανάλυση της απόδοσης των επενδύσεων στην εκπαίδευση, με την εξέταση όλων των διακυμάνσεων ως προς τις απαιτούμενες δεξιότητες που παρατηρούνται σε διάφορους τομείς της εργασίας, των υφιστάμενων ρυθμιστικών πλαισίων σχετικά με τις αμοιβές της εργασίας, της δυναμικής όλων των εργαζομένων σε μακροοικονομικό επίπεδο, αλλά και της εμφάνισης των ενδεχόμενων ευκαιριών στο πεδίο της «μερικής απασχόλησης» και της «βραχυπρόθεσμης εργασίας». (Shukla, 2018).

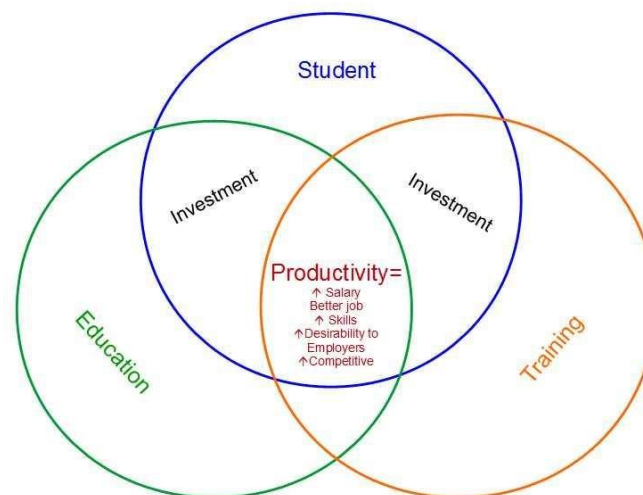
Η έννοια του HC γίνεται γνωστή μέσω της «ανάπτυξης της θεωρίας του HC» από το Gary Becker το 1964, η οποία παρουσιάζει μια σημαντική διάκριση μεταξύ γενικών

δεξιοτήτων και ειδικών δεξιοτήτων για κάθε επιχείρηση. (Kessler & Lulfesmann, 2002) (Shukla, 2018). Ο Becker (1964) προτείνει (εικόνα 195) την άποψη πως οι εργοδότες συχνά δείχνουν «απροθυμία» επένδυσης σε πιο ολιστικές - ολοκληρωμένες πρωτοβουλίες κατάρτισης, για τα «ιδιαίτερος ανταγωνιστικά περιβάλλοντα» της παγκόσμιας αγοράς εργασίας και συνήθως επιλέγουν την εξειδικευμένη κατάρτιση, κατά βάση γιατί η κατάρτιση αυτής της φύσης είναι «μη μεταβιβάσιμη σε εξωτερικά εταιρικά πλαίσια». (Kessler & Lulfesmann, 2002).



Εικόνα 194. HC concept through the scope of knowledge and skills being acquired through education.

(πηγή: <https://www.linkedin.com/pulse/making-human-capital-theory-historical-investigation-anurag-shukla>).



Εικόνα 195. Graphical overview of the HC theory framework, as defined by Gary Becker.

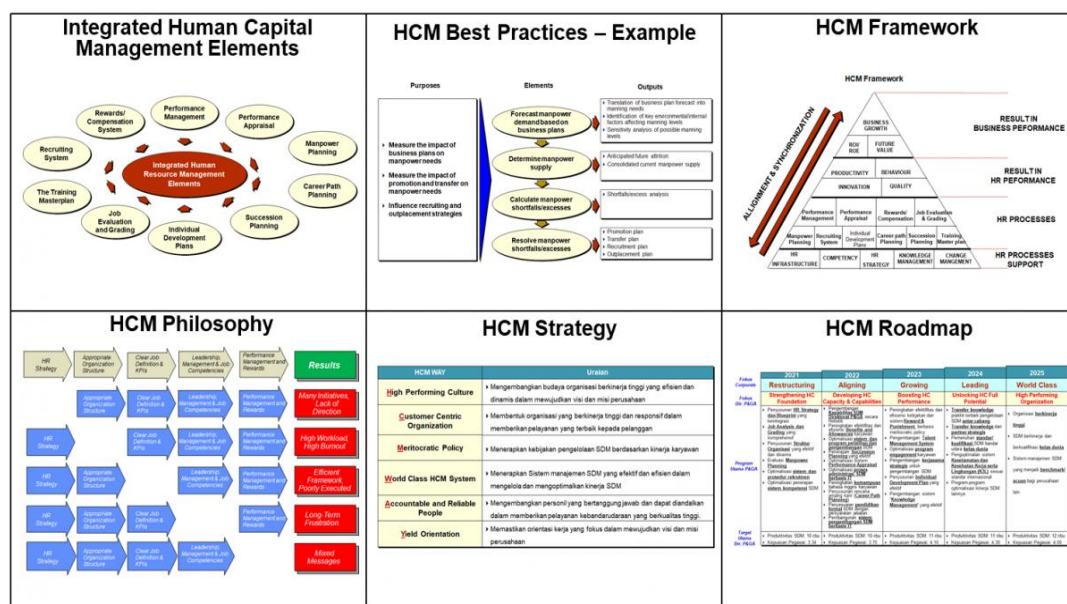
(source: https://www.researchgate.net/figure/illustration-of-the-basic-premise-of-human-capital-theory-as-defined-by-Becker-2008_fig1_342106096).

Η δυνατότητα της μεταφοράς των δεξιοτήτων που αποκτώνται επιτρέπει τη διάκριση μεταξύ των γενικών και των ειδικών επενδύσεων στο HC, μέσω της συγκρότησης της επαγγελματικής κατάρτισης που χρηματοδοτείται από τις επιχειρήσεις. Η απόδοση των εξειδικευμένων προγραμμάτων κατάρτισης συνήθως παρουσιάζει πολύ έντονη συσχέτιση με την επιχείρηση που τα παρέχει, ενώ τα γενικά προγράμματα κατάρτισης διευκολύνουν την προσαρμοστικότητα ενός ορισμένου εργαζομένου σε διαφορετικές επιχειρήσεις. Ο Becker (1964) επισημαίνει πως οι επενδύσεις σε δεξιότητες που είναι ειδικές για μια επιχείρηση θα πρέπει να κατανέμονται ισότιμα μεταξύ των εργοδοτών και των εργαζομένων, υποδηλώνοντας έτσι ότι η απροθυμία των ανταγωνιστικών φορέων της παγκόσμιας αγοράς της εργασίας στο να επενδύσουν στην απόκτηση των γενικές γενικών δεξιοτήτων πηγάζει κατά βάση από την αδυναμία που έχουν ως προς το να αποκομίσουν σημαντικά οικονομικά οφέλη από τις επενδύσεις και έτσι η οικονομική υποχρέωση για την εν λόγω κατάρτιση γίνεται από τους ίδιους τους εργαζομένους. (Kessler & Lüllesmann, 2002).

Η επονομαζόμενη «Διαχείριση του HC» (Human Capital Management – HCM, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 196) αναφέρεται στο σύνολο των μεθόδων και των πρακτικών που συνήθως χρησιμοποιούνται για την πρόσληψη, την ανάπτυξη και τη μακροπρόθεσμη διαχείριση των ικανοτήτων και των δεξιοτήτων του ανθρώπινου δυναμικού. Ο κύριος στόχος του HCM είναι η ευθυγράμμιση όλων των «μοναδικών δεξιοτήτων» των εργαζομένων με τους «γενικούς στόχους και τους σκοπούς» της επιχείρησης, ενώ το HCM περιλαμβάνει τη διαχείριση των ταλέντων, τη διοίκηση ανθρώπινου δυναμικού και την ενίσχυση της συνολικής απόδοσης. Η διαχείριση των ταλέντων περιλαμβάνει την πρόσληψη ενός προσωπικού υψηλής ειδίκευσης, το οποίο προσαρμόζεται εύκολα στις αλλαγές, ενώ η διοίκηση του ανθρώπινου δυναμικού περιλαμβάνει την αυτοματοποίηση των πολύπλοκων εργασιών. Η ανάπτυξη της απόδοσης συνεπάγεται το να υπάρχει συνεχής εκπαίδευση και κατάρτιση, αλλά και η παροχή των «μηχανισμών» της ανατροφοδότησης και της αξιολόγησης για τη δόκιμη εκτίμηση και τη βελτίωση της «ατομικής και της οργανωτικής απόδοσης». Το HCM είναι ένα σύνολο μηχανισμών της προώθησης της ολοκληρωμένης επιχειρηματικής στρατηγικής, διαμορφώνοντας έτσι «το μοντέλο ή πλαίσιο του HC». (Viljoen, 2023).

Το «μοντέλο ή πλαίσιο HC» (HC model or framework) συνιστά το στρατηγικό σχέδιο μιας επιχείρησης για τη δόκιμη διαχείριση και το συντονισμό των επιχειρηματικών

λειτουργιών που σχετίζονται με το HCD. Ο κύριος στόχος του εν λόγω πλαισίου είναι να διευκολύνει τις επιχειρήσεις στη διαχείριση του HC τους με απόλυτα παραγωγικό και αποδοτικό τρόπο, επιτρέποντας έτσι την επίτευξη προκαθορισμένων στόχων. Ένα σημαντικό ποσοστό των ερευνητών το ορίζει και ως «μοντέλο HC» (HCM) και σύμφωνα με τη Viljoen (2023), οι πέντε διακεκριμένοι τύποι HCM περιλαμβάνουν το «τυπικό αιτιώδες μοντέλο HRM» (standard causal model of HRM), το «μοντέλο HRM των 8 πλαισίων» (8-box HRM), το «μοντέλο αλυσίδας αξίας των ανθρώπινων πόρων» (HR value chain model), το «μοντέλο και πλαίσιο HR του Χάρβαρντ» (Harvard HR model & framework) και το «μοντέλο Ulrich». (Viljoen, 2023).



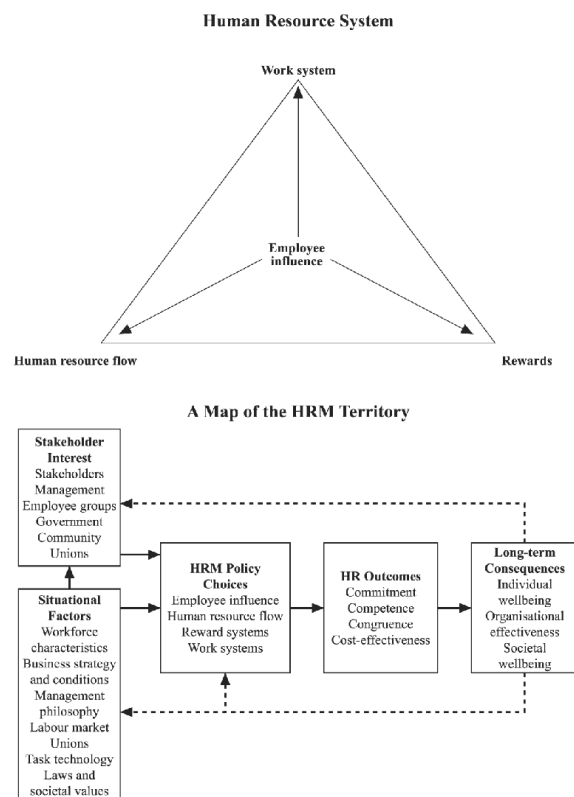
Εικόνα 196. Human Capital Management (HCM).

(πηγή: <https://prosva.com/services/human-capital-management-hcm/>).

Το «standrad causal μοντέλο» διευκολύνει την ευθυγράμμιση όλων των στρατηγικών ανθρώπινου δυναμικού με τους εταιρικούς στόχους, το «8-box HRM» εξετάζει την επίδραση των εξωτερικών παραγόντων στην ανάπτυξη του HC, ενώ το «HR value chain μοντέλο» περιλαμβάνει την αξιοποίηση των δεικτών του HR για τη δόκιμη ευθυγράμμιση με συγκεκριμένες οργανωτικές απαιτήσεις και στόχους. Το «Harvard HR model & framework» (εικόνα 197) ενσωματώνει μια πιο ολιστική προσέγγιση στην ανάπτυξη του HC, εστιάζοντας στο μακροπρόθεσμο στρατηγικό σχεδιασμό, ενώ

το «μοντέλο Ulrich» εστιάζει στην επίδραση των ενδιαφερόμενων μερών στο πλαίσιο των στόχων της εταιρικής ευημερίας και ευρωστίας. (Viljoen, 2023).

Το «μοντέλο του Harvard» στοχεύει στο να μπορέσει να διευκολύνει τη διαμόρφωση μιας αποτελεσματικής HR στρατηγικής, δίνοντας τη δυνατότητα στις εταιρείες να υιοθετήσουν μια στρατηγική για την ευθυγράμμιση και την αξιοποίηση του HC σύμφωνα με τους δικούς τους στόχους. Το εν λόγω μοντέλο παρουσιάζεται το 1984 από το Harvard Business School με στόχο τη διαμόρφωση καινοτόμων μεθόδων για τον «ορθολογισμό» της διαχείρισης του ανθρώπινου δυναμικού. Το εν λόγω μοντέλο θεωρεί τους εργαζόμενους ως «σημαντικά / πολύτιμα εταιρικά περιουσιακά στοιχεία» και όχι ως «οικονομικά βάρη», ενδυναμώνοντας και ενθαρρύνοντας έτσι τα άτομα να επιτύχουν βέλτιστη απόδοση. Η μεγάλη αποτελεσματικότητα του εν λόγω μοντέλου είναι εμφανής από την εκτεταμένη εφαρμογή του σε διάφορους οργανισμούς, διευκολύνοντας έτσι και τη βέλτιστη αξιοποίηση και ανάπτυξη του HC. (Jackson, 2024). Το «μοντέλο του Harvard» αποτελεί ένα στρατηγικό πλαίσιο για τη διαχείριση HC που βασίζεται ιδιαίτερα στην ανάπτυξη του HC (HCD).



Εικόνα 197. Το μοντέλο του Harvard.

(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Harvard-model-of-HRM_fig6_242336318).

Το σύγχρονο περιβάλλον εργασίας του κλάδου των Γραφικών Τεχνών – Εκτυπώσεων χαρακτηρίζεται συχνά από τη σύγκλιση σημαντικών οικονομικών δυνάμεων, έντονων τεχνολογικών εξελίξεων και σημαντικών διακυμάνσεων που τελούνται εντός των παγκόσμιων ανταγωνιστικών αγορών και στο συγκεκριμένο περίπλοκο περιβάλλον, το HC αναδεικνύεται ως κεντρικό στοιχείο που επιτρέπει την άμεση διευκόλυνση της υλοποίησης όλων των καινοτομιών που επιτρέπουν τη συνολική ανάπτυξη και την ανταγωνιστικότητα των περισσότερων επιχειρήσεων. Ο κεντρικός και ο πιο σημαντικός ρόλος του HC είναι εμφανής σε κάθε στάδιο του επονομαζόμενου «κύκλου της ζωής της καινοτομίας», δεδομένου πως περιλαμβάνει τις γνώσεις, τις δεξιότητες και την εμπειρογνωμοσύνη όλων των εργαζομένων. (Penkala, 2024).

Τα προαναφερθέντα στοιχεία αποτελούν σημαντικά πλεονεκτήματα στην αναζήτηση καινοτόμων λύσεων που οδηγούν στην οικονομική ευημερία και στην απόκτηση ενός ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος για κάθε επιχείρηση του κλάδου (ανεξαρτήτως μεγέθους). Όπως αναφέρεται και παραπάνω, οι διακεκριμένοι μελετητές G.S. Becker, T.W. Schultz και J. Mincer, δηλαδή οι πρωτοπόροι μελετητές της σύγχρονης έννοιας του HC (εικόνα 198), συμβάλλουν στο να επιτευχθεί μια σειρά από νέους και πολυάριθμους ορισμούς του HC. Οι εν λόγω ορισμοί του HC παρέχουν ένα δόκιμο πλαίσιο για την κατανόηση του όρου μέσα από το πρίσμα της έννοιας «των δαπανών, των πόρων ή των επενδύσεων». Η κύρια έμφαση όμως πρέπει να δοθεί στα προσόντα των εργαζομένων, στις κοινωνικές τους δεξιότητες, καθώς και στις στάσεις τους σε σχέση με το «υφιστάμενο οργανωτικό περιβάλλον». (Penkala, 2024).

Η έννοια της «καινοτομίας» (innovation) συνδέεται κατά πάσα πιθανότητα με την εμφάνιση όλων των νέων χαρακτηριστικών, τις εξελίξεις που γίνονται εντός των επιχειρήσεων, τις τεχνολογικές καινοτομίες και τις μεταβολές που παρατηρούνται στα κοινωνικά πρότυπα. Αυτή η αλλαγή του παραδείγματος οδηγεί με τα χρόνια στον πολλαπλασιασμό του βαθμού της παραγωγής των νέων προϊόντων, των υπηρεσιών, των πρακτικών και των επιχειρηματικών μοντέλων. Τα εν λόγω στοιχεία όμως κατά βάση συμβάλλουν και στην αναγκαιότητα της «μετάβασης» προς την υιοθέτηση μιας νέας ολιστικής προσέγγισης HCD. (Penkala, 2024).

Ο όρος HCD προσδιορίζει το σύνολο όλων των στρατηγικών πρωτοβουλιών και των προσεγγίσεων που σχεδιάζονται με προσοχή, με κύριο σκοπό την ενίσχυση των επιπέδων των διανοητικών ικανοτήτων, των πρακτικών δεξιοτήτων, καθώς και των ηθικών αξιών και των συμπεριφορικών χαρακτηριστικών του ανθρώπινου δυναμικού μιας επιχείρησης. Όμως, καθώς οι ανησυχίες σχετικά με τη βιωσιμότητα, οι οποίες οφείλονται κατά βάση στις επιπτώσεις των υφιστάμενων βιομηχανικών πρακτικών και της απουσίας της δόκιμης οικολογικής συνείδησης των ανθρώπων (στο παρελθόν κυρίως) γίνονται όλο και πιο διαδεδομένες. Η εν λόγω συνθήκη επισημαίνει πως η εφαρμογή των καινοτόμων στρατηγικών της κατάρτισης και της ανάπτυξης πρέπει να δίνει προτεραιότητα στην έννοια της βιώσιμης οικονομίας. (Atiku & Lawal, 2021).

Table 1. Selected definitions of human capital

Author (year)	Definition of human capital
Begg (1992)	"Knowledge and skills embodied in people"
Bratnicki (1999)	People who have lasting connections with the company and identify with its mission, demonstrating the ability to cooperate, creativity, competence, motivation, and the ability to think logically.
OECD (2001)	Knowledge, skills, abilities, and other individual attributes that facilitate the creation of personal, social, and economic well-being.
Edvinsson (2001)	"The combined knowledge, skills, innovation and ability of individual company employees to efficiently perform tasks".
Gilejko (2002)	"Qualification resources, level of education, adaptability, and universality of innovative attitudes of employees".
Dziuba (2005)	"Source of innovation and development".
The World Bank (2017)	Human capital encompasses the knowledge, skills, and health that individuals invest and accumulate over the course of their lives, enabling them to realize their full potential as productive members of society.
Gierszewska (2017)	The skills of managers and employees, their knowledge, abilities, and motivation, as well as their behavior and attitudes towards work.

Source: own study based on the literature.

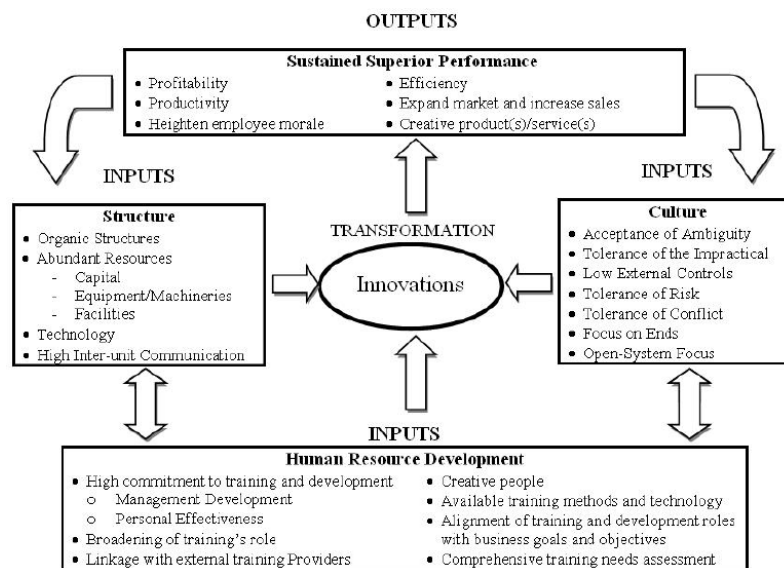
Εικόνα 198. Ορισμοί για το HC.

(πηγή: <https://www.researchgate.net/publication/385500449> **THE ROLE OF HUMAN CAPITAL IN THE INNOVATION MANAGEMENT PROCESS**).

Το HCD αποτελεί σημαντική παράμετρο για την προώθηση της «μακροπρόθεσμης βιωσιμότητας» του «κυκλικού και βιώσιμου φάσματος της παγκόσμιας οικονομίας», ενώ ο κύριος στόχος των καινοτόμων προσεγγίσεων είναι η συνεχής βελτίωση των γνώσεων των ατόμων και η ενίσχυση των εγγενών βασικών ηθικών και μη αξιών τους (αρχές βιωσιμότητας, ακεραιότητα και αφοσίωση), προκειμένου να ενθαρρυνθούν με τον καιρό πιο φιλικές προς το περιβάλλον πρακτικές, στο πλαίσιο της επιδίωξης των στόχων της βιώσιμης ανάπτυξης (εικόνα 199). Το HCD αναδεικνύεται ως σημαντική

παράμετρος και για την πρόοδο και την ενίσχυση της αποδοτικότητας των «micro-level» επιχειρήσεων στους συναφείς τομείς τους και έτσι η δόκιμη επένδυση στο HCD, σε συνδυασμό με την αποτελεσματική αξιοποίηση του HC, αποβαίνει προς όφελος των εργαζομένων, των εργοδοτών και των κοινωνιών. (Atiku & Lawal, 2021).

Το HCD συντελεί επίσης στην αποτελεσματική «μετάβαση σε μια πιο βιώσιμη οικονομία», ενώ οι στρατηγικές που αφορούν τις παρεμβάσεις για το HCD πρέπει να ευθυγραμμίζονται σχολαστικά με τους στόχους της βιώσιμης ανάπτυξης. (Atiku & Lawal, 2021). Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Κέντρο της Ανάπτυξης της Επαγγελματικής Κατάρτισης (CEDEFOP), η ανάγκη της επανεκτίμησης του στρατηγικού πλαισίου για το HC του 2013 ανοίγει το δρόμο για τη θέσπιση της επονομαζόμενης «Στρατηγικής για την Υπεύθυνη Ανάπτυξη» (SOR) το 2017 και ο κύριος στόχος της εν λόγω τροποποίησης είναι να διασφαλιστεί η επίτευξη όλων των στόχων, ο προσδιορισμός των τομέων παρέμβασης και η σκιαγράφηση των πρωτοβουλιών και των δράσεων για το HCD, όπως ορίζονται σύμφωνα με το SOR (εικόνα 200). (CEDEFOP, 2023).



Εικόνα 199. The operational framework on HCD for innovation.

(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Operational-Framework-on-Human-Capital-Development-for-Innovation_fig1_228667689).

Η «στρατηγική για το HCD» βασίζεται στην αναγνώριση όλων των σημαντικών προκλήσεων που αντιμετωπίζει η Πολωνία στις προσπάθειες της να υποστηρίξει το

HCD και να ενισχύσει την κοινωνική συνοχή. Στο πλαίσιο αυτών των προκλήσεων, η εν λόγω στρατηγική ορίζει μια σειρά νέων στόχων, που περιλαμβάνουν τη βελτίωση των πλαισίων της «τυπικής και της μη τυπικής εκπαίδευσης», τη δέσμευση στις νέες βελτιώσεις στα συστήματα της υγείας, μια συνειδητή προσπάθεια για την αύξηση των ποσοστών της γονιμότητας, την υποχρέωση για τη θέσπιση όλων των απαραίτητων πρωτοκόλλων σχετικά με τις διαδικασίες της γήρανσης, καθώς και μια συντονισμένη πρωτοβουλία για τον περιορισμό των επιπέδων του φαινομένου «της φτώχειας και του κοινωνικού αποκλεισμού». (CEDEFOP, 2023).

Οι γενικοί στόχοι της νέας στρατηγικής για το HCD περικλείουν τη βελτίωση όλων των συμβατικών δεξιοτήτων, των ψηφιακών δεξιοτήτων και των πιστοποιήσεων, την προώθηση της δημόσιας υγείας, αλλά και την ενίσχυση της αποτελεσματικότητας του υφιστάμενου συστήματος της υγείας. Αυτή η στρατηγική αποσκοπεί στην ενίσχυση των προοπτικών της απασχόλησης των εργαζομένων στον τομέα της υγείας, στη μείωση του βαθμού της φτώχειας και του φαινομένου του κοινωνικού αποκλεισμού, αλλά και στη διεύρυνση της πρόσβασης στις υπηρεσίες, κατά βάση ως μια «δόκιμη απάντηση στις επικείμενες δημογραφικές μεταβολές». (CEDEFOP, 2023).



Εικόνα 200. HCD strategy - CEDEFOP.

(πηγή: <https://www.cedefop.europa.eu/en/tools/timeline-vet-policies-europe/search/44941>).

Ένας τομέας που απαιτεί την άμεση υιοθέτηση μιας «νέας, καινοτόμου, ολιστικής και εστιασμένης (σε επίπεδο κλάδου) στρατηγικής για το HCD», είναι ο κλάδος και η βιομηχανία των Γραφικών Τεχνών, των Εκτυπώσεων και της συσκευασίας, μιας και

αν και ο σύγχρονος κλάδος της εκτύπωσης και της συσκευασίας μένει «ακμαίος» και να παρουσιάζει υψηλά επίπεδα παραγωγής, οικονομικής ευρωστίας και μέσω αυτών να αναπτύσσεται να μπορεί να αναπτύσσεται συνεχώς παρά την επικράτηση της «ψηφιακής εποχής», συχνά παρατηρούνται και άλλες πολύ σημαντικές αλλαγές στους τομείς της έρευνας, της βιομηχανίας και της εκπαίδευσης. (Politis, 2024).

3.11 Η διαχείριση του ανθρώπινου κεφαλαίου

Οι εργαζόμενοι στον τομέα των Γραφικών Τεχνών, των Εκτυπώσεων και της συσκευασίας υπόκεινται ολοένα και με πιο έντονο ρυθμό στις προαναφερθείσες ριζικές και πολύ σημαντικές αλλαγές, οι οποίες επηρεάζουν άμεσα τις δεξιότητες και τις απαιτήσεις, επιταχύνοντας έτσι και την υψηλή σημασία του ρόλου της δόκιμης αξιοποίησης των «διαπροσωπικών δεξιοτήτων» στην εποχή της πληροφορίας, ενώ η προώθηση της φιλοσοφίας του HCD συνιστά μια πολύ βασική παράμετρο σε όλες τις αναπτυξιακές στρατηγικές προσεγγίσεις κάθε επιχείρησης (ανεξαρτήτως μεγέθους) του κλάδου. (Politis, 2004). Το HCM είναι ένα σύνολο πρακτικών και εργαλείων, τα οποία χρησιμοποιούνται για την προσέλκυση, την πρόσληψη, την εκπαίδευση, την ανάπτυξη, τη διαχείριση και τη διατήρηση των εργαζομένων, με στόχο την επίτευξη όλων των επιχειρηματικών στόχων και σκοπών. Οι επιχειρήσεις που βασίζονται κυρίως στους εργαζομένους για την επίτευξη των στόχων τους, κατά βάση διαθέτουν πόρους για την ανάπτυξη όλων των βασικών δεξιοτήτων και των ικανοτήτων που είναι απαραίτητο να έχει το εργατικό δυναμικό τους, ώστε να μπορέσει να επιτύχει σημαντικά «μακροπρόθεσμα και μη αποτελέσματα / στόχους». (IBM, 2021).

Η διαχείριση του HC συμβάλλει στον εντοπισμό όλων των κενών που αφορούν τις ικανότητες των εργαζομένων και σχετίζονται με την εστίαση των προσπαθειών της πρόσληψης στην κάλυψη αυτών των αναγκών. Η χρήση των πρακτικών εφαρμογών του HCM μπορεί να συμβάλει στη δημιουργία μιας νέας και πάρα πολύ ισχυρής οργανωτικής κουλτούρας, η οποία προάγει την ανάπτυξη όλων των εργαζομένων και ενισχύει τη δέσμευσή τους στην επίτευξη όσο το δυνατόν περισσότερων στόχων μιας εταιρείας, καθώς έτσι οι εργαζόμενοι έχουν μεγαλύτερο έλεγχο αναφορικά με την επίτευξη των προσωπικών στόχων της επαγγελματικής τους σταδιοδρομίας τους και μέσω αυτού μπορούν να ενθαρρύνονται σε μεγαλύτερο βαθμό ως προς το να

αφιερώνουν τις δεξιότητες και το ταλέντο τους στον εργοδότη μακροπρόθεσμα. Το HCM εστιάζει στην προσθήκη μιας νέας μορφής «αξίας» στους υπαλλήλους μιας επιχείρησης, ώστε να μπορούν με τον καιρό να επιτυγχάνουν τα «καλύτερα δυνατά αποτελέσματα», ενώ επίσης καλύπτει και τις λειτουργίες των ανθρώπινων πόρων, τις αμοιβές και άλλους βασικούς τομείς, οι οποίοι είναι εξίσου σημαντικοί για το όραμα και τις επιδιώξεις κάθε σύγχρονης επιχείρησης του κλάδου. (IBM, 2021).

Το HCM παρέχει μια διαδικασία για τη «βελτιστοποίηση του βαθμού της απόδοσης και της αποδοτικότητας» του εργατικού δυναμικού μιας εταιρείας, προσφέροντας μια νέα και περισσότερο ολιστική στρατηγική που καθοδηγεί την προσέλκυση νέων ταλέντων, την πρόσληψη τους, την ένταξη και την κατάρτιση τους, καθώς και τη διαχείριση των παροχών και την υποβολή συναφών εκθέσεων. Τα κύρια στοιχεία της διαχείρισης του ανθρώπινου κεφαλαίου (HCM) περιλαμβάνουν τα εξής:

1. «Διαχείριση των ταλέντων» (talent management)

- ενθαρρύνει τους υπαλλήλους να αναπτύξουν νέες δεξιότητες και να βελτιώσουν την απόδοσή τους στην εργασία
- ξεκινά από τη στιγμή που γίνεται η πρώτη επαφή ενός υποψηφίου με μια εταιρεία και ουσιαστικά δεν τελειώνει ποτέ

2. «Πρόσληψη και επιλογή προσωπικού» (recruitment & hiring)

- μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους είναι η «προσέλκυση» και η πρόσληψη νέων ταλέντων που βοηθούν την επιχείρηση να επιτύχει τους στόχους της, καθώς η εν λόγω προσέγγιση μπορεί να παρέχει τα εργαλεία που χρειάζεται κάθε τμήμα της παραγωγής για να αναδείξει την εν λόγω επιχείρηση ως ένα ιδανικό εργασιακό περιβάλλον για τους υπαλλήλους, ενώ αυτό συντελεί και στην βελτιστοποίηση της διαδικασίας πρόσληψης.

3. «Ενσωμάτωση και εκπαίδευση» (onboarding & training)

- απαιτεί την αποτελεσματική και την άμεση ενσωμάτωση όλων των νέων εργαζομένων, μιας και η εν λόγω προσέγγιση εισάγει τους εργαζόμενους στην υφιστάμενη «εταιρική κουλτούρα», στις απαιτήσεις, αλλά και στις

προσδοκίες της θέσης εργασίας και δημιουργεί ένα περιβάλλον που τους βοηθά να προσαρμοστούν πιο γρήγορα και ευέλικτα στους ρόλους τους

- σχετίζεται με την εκπαίδευση των εργαζομένων, ώστε αυτοί να μπορούν να αποδίδουν τις «καλύτερες δυνατές επιδόσεις για την επιχείρηση».

4. «Διαχείριση παροχών» (administration benefits)

- απλοποιεί τη πάρα πολύ σύνθετη διαδικασία της διαχείρισης των παροχών του προσωπικού και επίσης διευκολύνει τον προγραμματισμό και τη λήψη δόκιμων αποφάσεων που σχετίζονται με τους υπαλλήλους
- επιτρέπει τη δόκιμη ρύθμιση στα υφιστάμενα προγράμματα των παροχών, διευκολύνοντας την εγγραφή και τις κρατήσεις σε όλο το σύστημα

5. «Χρόνος, παρουσία και μισθοδοσία» (time, attendance & payroll)

- διαχείριση των προγραμμάτων της εργασίας, των ωρών της εργασίας και των αδειών των εργαζομένων, η οποία ως προσέγγιση είναι μια πολύ σημαντική προσέγγιση για την ακρίβεια / συμμόρφωση της μισθοδοσίας
- η δόκιμη διαδικασία του HCM κατά βάση μπορεί να διευκολύνει την παρακολούθηση και τη διαχείριση των ωρών της εργασίας, των αιτήσεων των αδειών και των απαιτήσεων της ασφαλείας, ενώ επίσης μπορεί να αυτοματοποιήσει τη διαδικασία της μισθοδοσίας

6. «Υπηρεσίες για τους υπαλλήλους» και η επανομαζόμενη «αυτοεξυπηρέτηση» (employee service & self-service)

- προσφέρει τα συστήματα της «αυτόματης και αυτόνομης εξυπηρέτησης», δηλαδή της αυτοεξυπηρέτησης και της παρακολούθησης για το χρόνο και την παρουσία των εργαζομένων εντός της επιχείρησης, την παροχή των υπηρεσιών, συμπεριλαμβανομένων των γραφείων της υποστήριξης του HR, των πύλων intranet, της αυτοεξυπηρέτησης των υπαλλήλων και της αυτοεξυπηρέτησης των διευθυντών

7. «Αναφορές και αναλυτικά στοιχεία» (reporting & analytics)

- παρέχει μια βάση δεδομένων με χρήσιμες πληροφορίες που βοηθούν τις επιχειρήσεις να προσφέρουν την επονομαζόμενη «προστιθέμενη αξία» στους υπαλλήλους τους
- τα δεδομένα που προέρχονται από τις αξιολογήσεις της απόδοσης, τις αιτήσεις για τις παροχές των εργαζομένων, τις δεξιότητες, τα ποσοστά της αποχώρησης και άλλα στατιστικά στοιχεία μπορούν να βοηθήσουν τις επιχειρήσεις να προσαρμόσουν τις υφιστάμενες πρακτικές, επιτρέποντας τη βελτίωση του εργασιακού περιβάλλοντος, αλλά και την επίτευξη των στόχων τους. (IBM, 2021).

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του HCM είναι ότι επιτρέπει στους οργανισμούς να αξιοποιούν στο μέγιστο δυνατό βαθμό τους υπαλλήλους τους, δεδομένου πως η εν λόγω προσέγγιση απλοποιεί σε σημαντικό βαθμό τα καθήκοντα του τμήματος του ανθρώπινου δυναμικού και προσφέρει πολλά άλλα οφέλη, όπως είναι η διενέργεια της αντιστοίχισης του κατάλληλου υπαλλήλου με τη σωστή θέση εργασίας, η αύξηση του βαθμού της παραγωγικότητας του εργατικού δυναμικού, η μείωση του κόστους και η αύξηση της απόδοσης της επένδυσης, καθώς και η ενίσχυση της ανάπτυξης των δεξιοτήτων και η αφοσίωση των υπαλλήλων. (IBM, 2021).

3.12 Στρατηγική Ανάπτυξης Ανθρώπινου Κεφαλαίου: ολιστική, εστιασμένη στον κλάδο στρατηγική προσέγγιση (sector-oriented holistic approach)

Όπως υποστηρίζει ο Politis (2024), στην παρουσίαση του με τίτλο «Το μέλλον της εκπαίδευσης στον τομέα των έντυπων μέσων: Μια ολιστική προσέγγιση με έμφαση στον κλάδο» («The Future of Print-Media Education: A Sector-Oriented Holistic Approach»), η οποία πραγματοποιείται στην έκθεση Drupa 2024, στην αίθουσα dna-next το 2024, η εγγενής πολύπλοκη και περίπλοκη δομή των σύγχρονων εκτυπωτικών επιχειρήσεων χαρακτηρίζεται από μια ιδιότυπα πολύπλευρη σχέση αλληλεπίδρασης μεταξύ διαφόρων παραμέτρων και κατά βάση οι εν λόγω παράμετροι περιλαμβάνουν τις εκφάνσεις που αφορούν τις επιχειρήσεις και τη διαχείριση, τις τεχνολογικές εξελίξεις / καινοτομίες και την αυτοματοποίηση, τα δεδομένα και τη ψηφιοποίηση,

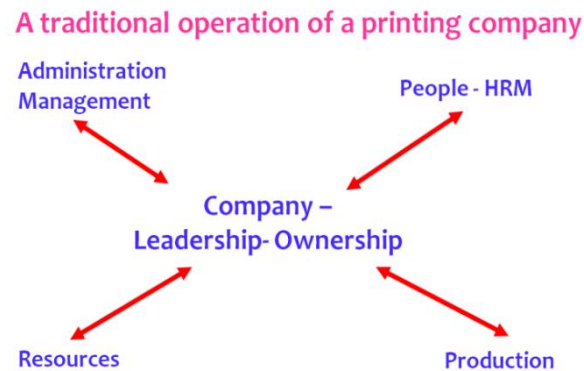
τις αρχές της κυκλικής οικονομίας και της βιωσιμότητας, καθώς και τους πελάτες, τους προμηθευτές, τα υλικά, τις αγορές και τα παραχθέντα προϊόντα. (Politis, 2024).

Σύμφωνα με τον Politis (2024), οι πιο σημαντικοί πυλώνες όλων των εκτυπωτικών επιχειρήσεων είναι η εκπαίδευση, η έρευνα και η βιομηχανία, ενώ στο σύγχρονο επιχειρηματικό τοπίο του παγκόσμιου εκτυπωτικού κλάδου, η απλή (συμβατική) αναδιαμόρφωση όλων των υφιστάμενων ακαδημαϊκών προγραμμάτων σπουδών δεν είναι δόκιμη (χαρακτηρίζεται ως μη επαρκής), μιας και αναδύεται όλο και πιο έντονα η ανάγκη για να αντιμετωπιστεί με τον πιο «ενδεδειγμένο τρόπο» η συνεχής εξέλιξη του κλάδου. Η εν λόγω συνθήκη επισημαίνει πως στο σήμερα πρέπει κανείς να μπορέσει να σκεφτεί και να δράσει «με μη συμβατικό τρόπο» και με τον καιρό να πραγματοποιηθεί η μετάβαση προς τη διαμόρφωση μιας νέας, ολιστικής στρατηγικής για το HCD (formation of a holistic strategy for HCD). (Politis, 2024).

Ο Politis (2024) υποστηρίζει ότι η νέα ολιστική στρατηγική για το HCD θα πρέπει να διαφέρει από όλες τις παραδοσιακές προσεγγίσεις και κατά βάση να υιοθετεί ένα περισσότερο «ανθρωποκεντρικό πλαίσιο» (anthropocentric framework), το οποίο τοποθετεί τους «ανθρώπους στο επίκεντρο» (ως ένα νέο πλαίσιο που εστιάζει στον ανθρώπινο παράγοντα), ανεξάρτητα από τον ρόλο ή τη θέση που αυτοί έχουν στους σχετικούς τομείς. Ο Politis (2024) αναφέρει επίσης πως είναι επιτακτική η ανάγκη να λαμβάνονται υπόψη και όλες οι ανάγκες και οι απαιτήσεις των σχετικών τομέων σε όλα τα επίπεδα. Η εν λόγω ολιστική HCD στρατηγική θα πρέπει να σχεδιαστεί και να εφαρμοστεί εντός των επιχειρήσεων και όλων των συναφών τομέων, λαμβάνοντας υπόψη όλους τους παράγοντες που αφορούν όλα τα άτομα που συνδέονται με τους σχετικούς τομείς (αναφέρεται κατά βάση σε επιχειρήσεις, εργοδότες, εργαζόμενοι, διευθυντικά στελέχη, ερευνητές, εκπαιδευτικό προσωπικό, επιχειρηματίες, ελεύθεροι επαγγελματίες και νέοι ηλικιακά εργαζόμενοι). (A. Politis et al., 2025) (Politis, 2024).

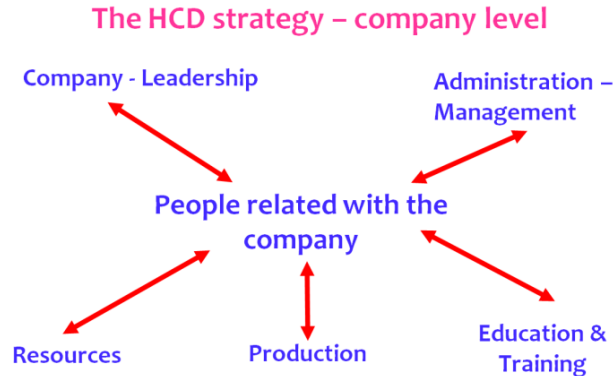
Σύμφωνα με τον Politis (2024), το πλαίσιο της νέας ολιστικής HCD στρατηγικής θα πρέπει να αναπτύξει «δύο διαφορετικές και ξεχωριστές αρχιτεκτονικές δομές σε επίπεδο επιχείρησης και σε επίπεδο κλάδου», αντί να καθιερώσει τη συμβατική δομή του HRM σε επίπεδο επιχείρησης και να δημιουργήσει φορείς σε επίπεδο κλάδου ή υπό κλάδου. (εικόνες 201 και 202). Η εν λόγω στρατηγική θα πρέπει να εμπλέκει όλους τους ενδιαφερόμενους φορείς και τους παράγοντες που αναδύονται σε επίπεδο

εταιρείας και κλάδου, αλλά και να εξετάζει «την εκπαίδευση και την κατάρτιση» σε όλες τις διαστάσεις τους και σε όλα τα επίπεδα κατά βάση από μια «γενική οπτική γωνία», καθώς και να παρέχει κατευθύνσεις και νέες προτάσεις για τα προγράμματα των σπουδών, αλλά και για τα προγράμματα που βασίζονται στα βέλτιστα μαθησιακά αποτελέσματα (εικόνα 203). (A. Politis et al., 2025) (Politis, 2024).



Εικόνα 201. The traditional operation of a printing company.

(πηγή: Politis, 2024).

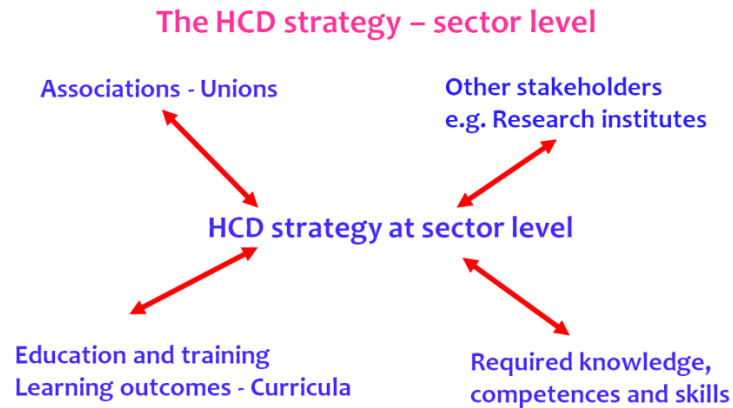


Εικόνα 202. The HCD strategy at a company level.

(πηγή: Politis, 2024).

Ο Politis (2024) υπογραμμίζει ότι το προτεινόμενο πλαίσιο για τη δημιουργία της εν λόγω νέας ολιστικής προσέγγισης του HCD στον κλάδο της εκτύπωσης και της συσκευασίας θα πρέπει να βασίζεται στην αρχική προσέγγιση που ο ίδιος εισάγει πριν χρόνια, σχετικά με μια πρώιμη έννοια της εν λόγω στρατηγικής για το HCD, όπως αυτή διατυπώνεται στη διδακτορική του διατριβή για τον τομέα της εκτύπωσης και

των έντυπων, υπό τον τίτλο «Human capital development and competence structures in changing media production environments», το 2004. (Politis, 2024).



Εικόνα 203. The HCD strategy at a sector level.

(πηγή: Politis, 2024).

Τα συμπεράσματα της εν λόγω διδακτορικής διατριβής υπογραμμίζουν κατά βάση την πολύ σημαντική ανάγκη του να μπορέσει να διαμορφωθεί μια νέα, ολιστική, που είναι περισσότερο «ανθρωποκεντρική και διακρατική / διεθνής στρατηγική προσέγγιση» για το HCD (overarching, anthropocentric, transnational approach), επισημαίνοντας όμως και την επιτακτική ανάγκη για μια ριζική αλλαγή του παραδείγματος που υπάρχει στο υφιστάμενο, συμβατικό μοντέλο της ανάπτυξης του ανθρώπινου παράγοντα, προωθώντας μια παγκόσμια προοπτική που βασίζεται στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κλάδου και της βιομηχανίας των Γραφικών Τεχνών, των Εκτυπώσεων και της Συσκευασίας. Η εν λόγω στρατηγική για την ανάπτυξη του HC θα πρέπει επίσης να βασίζεται στη σύγκλιση πολλών διαφορετικών παραμέτρων (όπως είναι η πρόσληψη, η εκπαίδευση και η κατάρτιση), καθώς και να τελείται μέσω της παρουσίας «κοινών περιγραφών» των επαγγελματικών προφίλ. (Politis, 2024).

Οι βασικοί και πάρα πολύ σημαντικοί στόχοι της εν λόγω νέας και ολιστικής πρωτοβουλίας περιλαμβάνουν την ενσωμάτωση πολλών διαφορετικών και εγγενώς αλληλένδετων στοιχείων, σε μια νέα και ενοποιημένη πλατφόρμα, για να μπορέσει να διευκολυνθεί η ανάπτυξη μιας «νέας ολοκληρωμένης και ολιστικής στρατηγικής» της ανάπτυξης του ανθρώπινου κεφαλαίου στον κλάδο. Μερικά από τα πιο αξιοσημείωτα παραδείγματα των πολιτικών που αξιοποιούνται για την ανάπτυξη του ανθρώπινου

δυναμικού στον κλάδο περιλαμβάνουν τα συμβούλια του κλάδου, ενώ σημαντική είναι και η παρουσία συναφών δράσεων από κοινωνικούς εταίρους, οργανισμούς και / ή ενώσεις, που εκδηλώνονται μέσω των συνεργασιών μεταξύ των συνομοσπονδιών, των «καντονιών» και των επαγγελματικών οργανώσεων ή και μέσω της συνεργασίας μεταξύ των εταιρειών της υποδοχής, των σχολών ΕΕΚ, καθώς και των εκπαιδευτικών ιδρυμάτων του κλάδου (εικόνα 204). (Α. Politis et al., 2025) (Politis, 2024).



Εικόνα 204. The picture presents notable examples of sector councils.

(πηγή: Politis, 2024).

Τα πιο σημαντικά παραδείγματα πρωτοβουλιών που πραγματοποιούνται για το HCD στην ευρωπαϊκή βιομηχανία των εκτυπώσεων περιλαμβάνουν τα προγράμματα των EGIN, Intergraf και UNI Europa graphical & packaging που γίνονται για το 2014 και το 2015, καθώς και το πρόγραμμα της ΕΕ με θέμα «Θέσεις εργασίας και δεξιότητες»

(EU project on Jobs & skills) το 2009, ενώ παρατηρούνται και άλλα σημαντικά περιστατικά από διαφορετικές περιοχές ανά τον κόσμο (εικόνα 205). (Politis, 2024).



Εικόνα 205. The picture presents notable examples of actions by social partners' organizations and/or associations, and noteworthy initiatives for HCD in the European printing industry, as well as significant incidents being reported from various locations around the world.

(πηγή: Politis, 2024).

Ο Politis (2024) ολοκληρώνει την παρουσίαση του υπογραμμίζοντας και τον καίριο ρόλο της έκθεσης Drupa ως μια πολύ σημαντική «πηγή έμπνευσης και κινήτρου» για όλα τα άτομα που εργάζονται σε όλες τις θέσεις και τα επίπεδα του κλάδου και της βιομηχανίας της εκτύπωσης και της συσκευασίας. Ανατρέχοντας στην Drupa του 1977, ο ίδιος επισημαίνει και τη σημαντική σημασία της «πιθανής υλοποίησης των εθνικών και των διεθνών πρωτοβουλιών για τις καινοτόμες», οι οποίες είναι κατά βάση εστιασμένες στον κλάδο και σταδιακά οδηγούν σε ολιστικές στρατηγικές HCD, που ίσως παρουσιαστούν κατά τη διάρκεια της Drupa του 2028. (Politis, 2024).

Είναι δόκιμο να επισημανθεί, όπως ήδη αναφέρεται και ανωτέρω, πως η πλειοψηφία των ερωτήσεων που τίθενται από τους συμμετέχοντες στη Drupa 2024, μέσω του dna-next, σκιαγραφεί σημαντικά κενά στα πλαίσια της υφιστάμενης εκπαίδευσης και

κατάρτισης, αλλά επισημαίνει και μια σημαντική μείωση στην κατοχή των πάρα πολύ απαραίτητων στο σήμερα, «υβριδικών δεξιοτήτων» του ανθρώπινου παράγοντα που εργάζεται σε όλα τα επίπεδα εντός των σχετικών τομέων. (Sofias & Politis, 2024).

3.13 Η ολιστική στρατηγική HCD, με έμφαση στον κλάδο και στη βιομηχανία των Γραφικών Τεχνών, των Εκτυπώσεων και της Συσκευασίας στην Ελλάδα: η ίδρυση του PackPrint Science Center το 2024

Ένα αξιοσημείωτο παράδειγμα του προαναφερθέντος φαινομένου, δηλαδή εκείνου περί ελλειμματικής – ενδεχομένως και εκλιπούσας - υφιστάμενης εκπαίδευσης και κατάρτισης είναι εμφανές στην Ελλάδα, υπογραμμίζοντας την κρίσιμη ανάγκη για τη θέσπιση μιας νέας εθνικής, ολιστικής και εστιασμένης στον κλάδο στρατηγικής για το HCD (national, sector-orientated holistic HCD strategy). Η εν λόγω στρατηγική για το HCD στην Ελλάδα τελείται μέσω της πρωτοβουλίας της ίδρυσης του κέντρου έρευνας και ανάπτυξης «PackPrint Science» το 2024, από εξέχοντες βιομηχανικούς και ερευνητικούς φορείς του Ελληνικού κλάδου και της βιομηχανίας των Γραφικών Τεχνών, των Εκτυπώσεων και της Συσκευασίας. (PackPrint Science, 2024).

Η ίδρυση του κέντρου «PackPrint Science» το 2024, πραγματοποιείται με στόχο την άμεση αντιμετώπιση της έλλειψης ενός εξειδικευμένου προσωπικού, αλλά και για την έγκαιρη αντιμετώπιση όλων των προκλήσεων που σχετίζονται με την έρευνα και την ανάπτυξη, καθώς αυτά είναι τα πιο σημαντικά προβλήματα που αντιμετωπίζουν κατά βάση οι εργαζόμενοι, οι επιχειρήσεις και οι κλάδοι της Συσκευασίας, της Εκτύπωσης και των Γραφικών Τεχνών στην Ελλάδα. Η αποστολή / στόχος της πρωτοβουλίας του «PackPrint Science» (2024) αφορά την «ολοκληρωμένη / ολιστική» ανάλυση και την αξιολόγηση όλων των απαιτήσεων και των αναγκών του HC, καθώς και τη διαμόρφωση μιας νέας, πιο ολιστικής και εστιασμένης στον κλάδο στρατηγικής, η οποία επιτρέπει την υλοποίηση αρκετών νέων εκπαιδευτικών και επιμορφωτικών προγραμμάτων, τα οποία κατά βάση σχεδιάζονται με μεγάλη προσοχή και δίδοντας «έμφαση στη λεπτομέρεια». Ο κύριος στόχος των εν λόγω προγραμμάτων είναι η δόκιμη «καλλιέργεια» της επόμενης γενιάς των νέων επαγγελματιών του κλάδου και της βιομηχανίας της Συσκευασίας, της Εκτύπωσης, των Γραφικών Τεχνών και της

Επικοινωνίας. Η πρωτοβουλία της ίδρυσης του εν λόγω κέντρου βασίζεται κυρίως στη δόκιμη συνεργασία σημαντικών επιστημονικών και επαγγελματικών ενώσεων / φορέων, όπως είναι οι ELSET, HELGRAMED, καθώς και η FESPA HELLAS ASSOCIATION. (A. Politis et al., 2025) (PackPrint Science, 2024).

Κεφάλαιο 4. Νέες Τεχνολογίες και Εφαρμογές (ολιστική προσέγγιση)

Ο κλάδος της εκτύπωσης διανύει ριζικές αλλαγές για το 2026, δεδομένου πως με αφορμή την ταχεία τεχνολογική καινοτομία, τις έντονες απαιτήσεις για την επίτευξη των στόχων της βιωσιμότητας και τις συνεχώς εξελισσόμενες προσδοκίες και τάσεις των πελατών, οι περισσότερες εκτυπωτικές επιχειρήσεις υιοθετούν ολοένα και περισσότερο «έξυπνες, οικολογικές και ευέλικτες» (smarter, greener & agile) πρακτικές και μεθόδους παραγωγής. Σύμφωνα με τα δεδομένα από τις αναλύσεις της Marketing Insights για το 2025, η παγκόσμια αγορά της ψηφιακής εκτύπωσης αναμένεται να φτάσει τα 87,21 δισεκατομμύρια δολάρια έως το 2030, με ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης της τάξεως του 11,9% (2023–2030). (Rootes, 2025).

Για τις εκτυπωτικές επιχειρήσεις που επιδιώκουν να παραμείνουν ανταγωνιστικές, να μειώνουν επίσης τα λειτουργικά τους κόστη και να επιτύχουν εξαιρετική «νέα αξία», το γεγονός του να μπορέσουν να συμβαδίζουν με τις τελευταίες τάσεις του κλάδου δεν είναι πλέον προαιρετικό, αντιθέτως είναι απολύτως απαραίτητο. Οι κύριες τάσεις που καθορίζουν το μέλλον της εκτυπωτικής βιομηχανίας για το 2026 είναι τα εξής:

1. η αξιοποίηση του AI και η αυτοματοποίηση (AI & automation)

- από την προεκτύπωση έως την τελική επεξεργασία, όπου το AI αναγνωρίζεται ως ο βασικός πυρήνας όλων των περιβαλλόντων εργασίας της εκτύπωσης υψηλής απόδοσης και έτσι η παραγωγή διαμορφώνεται και διαχειρίζεται βάσει της συλλογής, της ανάλυσης και της αξιοποίησης των δεδομένων
- οι βασικές εξελίξεις στο AI που μετασχηματίζουν τον κλάδο περιλαμβάνουν
 - έξυπνο προγραμματισμό εργασιών (smart job scheduling), που συμβάλει στη διαχείριση της ουράς των εργασιών - queue jobs - βάσει της

διαθεσιμότητας των εκτυπωτικών μηχανών, του τύπου του εκτυπωτικού υποστρώματος, της συμβατότητας των εκτυπωτικών μελανιών και των προθεσμιών παράδοσης)

- έξυπνα συστήματα (intelligent systems), που διαχειρίζονται τους ελέγχους πριν την εκτύπωση, τη χρωματική διόρθωση, την τοποθέτηση σε φύλλα και τη βελτιστοποίηση της διάταξης, μόνο μέσα σε λίγα λεπτά
- ροές εργασίας «Web-to-print», που μπορούν να μεταφέρονται απευθείας στην παραγωγή και μάλιστα με ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση
- αξιοποίηση του Generative AI στη δημιουργία γραφικών σε συσκευασίες, στις διατάξεις των ετικετών, καθώς και στη διαμόρφωση του «πολύ γλωσσικού περιεχομένου», σύμφωνα με τις κανονιστικές απαιτήσεις
- «συνδεδεμένες συσκευές» (connected devices), από το εκτυπωτικό πιεστήριο / εκτυπωτική μηχανή, έως τα συστήματα της μετεκτύπωσης, καθώς όλα σήμερα συντονίζονται με δόκιμο τρόπο και σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας έτσι την ελαχιστοποίηση του συνολικού όγκου των αποβλήτων και την πρόληψη της εμφάνισης ενδεχόμενων σφαλμάτων
- «πλήρως αυτόνομα τμήματα εκτύπωσης», τα οποία βρίσκονται σε πιλοτικό στάδιο και σε συνεργασία με ειδικούς της HP Indigo και της Heidelberg, ενώ αυτά αναμένεται να γίνουν συνήθεις επιλογές ως το 2028

2. η υψηλή ζήτηση για πιο βιώσιμα υποστρώματα (sustainable substrates)

- η βιωσιμότητα καθίσταται ως μια πολύ σημαντική στρατηγική προτεραιότητα
- οι σύγχρονες επιχειρήσεις υιοθετούν περισσότερο φιλικά προς το περιβάλλον υποστρώματα, όπως είναι τα εξής:
 - τα ανακυκλωμένα χαρτιά και τα χαρτιά με πιστοποίηση FSC
 - τα επονομαζόμενα «ανακυκλωμένα χαρτόνια μετά την κατανάλωση» (post-consumer recycled - PCR) που αξιοποιούνται κατά βάση για τα πτυσσόμενα κουτιά

- οι «εναλλακτικές ίνες» στη σύσταση των υποστρωμάτων (όπως είναι το μπαμπού, η κάνναβη, το ζαχαροκάλαμο και τα φύκια)
- οι «δομές από ένα μόνο υλικό» (ως «mono-materia») που απλοποιούν τη διαδικασία της ανακύκλωσης
- οι «κομποστοποιήσιμες μεμβράνες» (compostable films)
- τα «βιοπλαστικά» (bioplastics)

3. τα οικολογικά μελάνια και οι επιστρώσεις (eco-friendly inks & coatings)

- οι εκτυπωτικές επιχειρήσεις στρέφονται ολοένα και περισσότερο προς τις νέες και πιο οικολογικές τεχνολογίες των μελανιών και των επιστρώσεων
- η βιώσιμη παραγωγή δεν αποτελεί μια νέα περιβαλλοντική ευθύνη, μιας και στο σήμερα εξελίσσεται σε ισχυρό παράγοντα διαφοροποίησης στην αγορά
- η μείωση του όγκου των αποβλήτων, η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και η σημαντική ελαχιστοποίηση της χρήσης των επιβλαβών χημικών ουσιών, τα οποία συμβάλλουν στη μείωση του λειτουργικού κόστους και στην ενίσχυση της εμπιστοσύνης εκ μέρους των καταναλωτών
- οι κύριες προσεγγίσεις περιλαμβάνουν τα εξής:
 - «μελάνια φυτικής προέλευσης» (vegetable-based inks)
 - «μελάνια με βάση τη σόγια» (soy-based inks)
 - «μελάνια με βάση το νερό (water-based inks), κατά βάση για τις εφαρμογές ασφαλείας, κυρίως στα τρόφιμα ή σε εύκαμπτες συσκευασίες
 - συστήματα σκλήρυνσης UV-LED, για μειωμένη κατανάλωση ενέργειας
 - «μελάνια χαμηλής διάχυσης» (low-migration inks), που συμμορφώνονται με τα παγκόσμια πρότυπα ασφάλειας
 - «βιοδιασπώμενες (biodegradable) επιστρώσεις» ή οι νέες «υδατικές επιστρώσεις» (aqueous coatings), που αντικαθιστούν τα βερνίκια που

έχουν ως βάση τους διαλύτες

4. τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα συσκευασίας και παραγωγής ετικετών

- η συνεχώς μεταβαλλόμενη συμπεριφορά των πελατών, οι προσδοκίες τους για τις ταχείες παραδόσεις, αλλά και η ανάπτυξη των σύγχρονων ψηφιακών ροών εργασίας μετασχηματίζουν ριζικά την παραγωγή των συσκευασιών και των ετικετών και τα πιο πρόσφατα στοιχεία δείχνουν ότι οι τομείς αυτοί αναμένεται να ηγηθούν της παγκόσμιας αγοράς της ψηφιακής εκτύπωσης, παρουσιάζοντας τον υψηλότερο μέσο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης (CAGR) έως το 2030
- η άνοδος του ηλεκτρονικού εμπορίου (e-commerce) τροφοδοτεί τη ζήτηση για περισσότερο ευέλικτες, εξατομικευμένες λύσεις ετικετών στους τομείς της συσκευασίας, της μόδας, της υγειονομικής περίθαλψης, αλλά και των logistics
- βασικοί παράγοντες που οδηγούν στην ανάπτυξη των τομέων της συσκευασίας και της ετικέτας είναι η αυξημένη ζήτηση για τις εκτυπώσεις μικρών σειρών με μεταβλητά δεδομένα, η ανάπτυξη του ηλεκτρονικού εμπορίου και όλων των εμπορικών σημάτων που απευθύνονται κατά βάση άμεσα και απευθείας στον καταναλωτή, οι αυστηρότεροι κανονισμοί για τη βιωσιμότητα και την ανακύκλωση, η αυξημένη εστίαση των επιχειρήσεων και των στρατηγικών του μάρκετινγκ στις απτικές, οπτικές και «unboxing» εμπειρίες (tactile, visual & “unboxing” experiences), καθώς και τα κυματοειδή και τα πτυσσόμενα που είναι πλέον πολύ πιο προσιτά, χάρη στις σημαντικές εξελίξεις στην τεχνολογία των εκτυπωτών inkjet και των υβριδικών εκτυπωτικών μηχανών
- η εκτύπωση των ετικετών συνεχίζει να εξελίσσεται, κατά βάση ωθούμενη από την αυξανόμενη ζήτηση για τα υλικά που είναι ειδικά σχεδιασμένα για την υψηλή συμβατότητα με τη ψηφιακή εκτύπωση inkjet, τις επιστρώσεις που δέχονται μελάνι και τις βελτιστοποιημένες κόλλες, αλλά και για τα οικολογικά «low-migration» μελάνια που είναι κατάλληλα για τις εφαρμογές στον τομέα της βιομηχανίας των τροφίμων και των φαρμάκων. (Rootes, 2025).

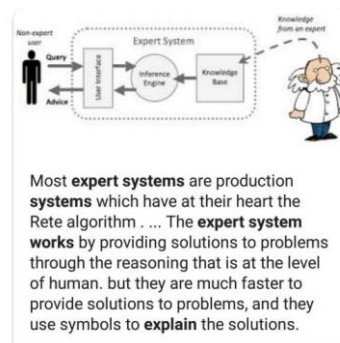
Τα εγγενή χαρακτηριστικά του κλάδου της εκτύπωσης (όπως είναι η υψηλή πολυπλοκότητα των διαδικασιών εκτύπωσης, η τήρηση όλων των επιχειρηματικών

αρχών και οι συνεχείς εξελίξεις στη σχετική εκτυπωτική τεχνολογία) επιτρέπουν την άμεση αξιοποίηση του AI, δημιουργώντας έτσι μια νέα συμβιωτική σχέση, στην οποία η λήψη των αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο μέσω του AI, προάγει την «ευέλικτη επιχειρηματικότητα», ενώ οι βασισμένες στα δεδομένα προβλέψεις μέσω της χρήσης του AI, δημιουργούν νέες προσεγγίσεις στις στρατηγικές απόδοσης της επένδυσης (ROI). Η ενσωμάτωση του AI διευκολύνει την αυτοματοποίηση της ροής εργασιών, καθιστώντας δυνατή τη διενέργεια προληπτικής συντήρησης και την ανάλυση και βελτιστοποίηση σε πραγματικό χρόνο. (Metcalf, 2025). Η ενσωμάτωση του AI διευκολύνει και την εφαρμογή διαφόρων «υπό τομέων του AI (όπως είναι η μηχανική μάθηση, η επεξεργασία φυσικής γλώσσας, η βελτιστοποίηση, η ρομποτική και η χρήση των συστημάτων εμπειρογνωμοσύνης που βασίζονται στο AI), κυρίως στους τομείς του σχεδιασμού και του ελέγχου της παραγωγής (PPC), της διαχείρισης της ποιότητας (QM), της διαχείρισης της συντήρησης (MM) και της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας (SCM). (Bin Masod & Zakaria, 2024). Οι συνδεδεμένες συσκευές, η ανάλυση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, οι αυτοματοποιημένες ροές εργασίας και η προληπτική συντήρηση είναι πολύ σημαντικές παράμετροι της ενσωμάτωσης του AI. (Mopria Alliance, 2025).

Το PPC χρησιμοποιεί αλγόριθμους που βελτιστοποιούν τον προγραμματισμό και την κατανομή των πόρων, επιτρέποντας έτσι την αύξηση της παραγωγικότητας. Το QM αξιοποιεί το ML και την υπολογιστική όραση για τον εντοπισμό προβλημάτων ως προς την ποιότητα και τη βελτίωση της εκτυπωτικής ακρίβειας, ενώ το MM μειώνει το χρόνο διακοπής της λειτουργίας, μέσω της χρήσης των πρωτοκόλλων προληπτικής συντήρησης του εξοπλισμού. (Bin Masod & Zakaria, 2024). Οι πιο σημαντικές έννοιες της εν λόγω προσέγγισης αφορούν τη χρήση των CPS, του cloud computing, την επονομαζόμενη «γνωστική πληροφορική» (cognitive computing), το IoT, το ML, το VR, την εκτύπωση 3D, τις τεχνολογίες προσομοίωσης, τα big data, την τεχνολογία RFID, την κυβερνοασφάλεια, την έννοια της ενίσχυσης της «σχέσης αλληλεπίδρασης μεταξύ των μηχανών» (machine-to-machine), τη χρήση των συνεργατικών ρομπότ ή των drones, τη νανοτεχνολογία, τη φιλοσοφία της επονομαζόμενης «επιχειρηματικής νοημοσύνης» (business intelligence), την αυτοματοποίηση και την ενσωμάτωση του AI. (Mopria Alliance, 2025) (Richnák & Čambalíková, 2022). Είναι δόκιμο όμως να

γίνει αναφορά και στο σύστημα εμπειρογνωμοσύνης που βασίζεται στο AI (expert system, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 206). (Mohn, 2022).

Το expert system συνιστά ένα εξελεγμένο πρόγραμμα υπολογιστή που βασίζεται στο AI και έχει σχεδιαστεί για να «μιμείται την ανθρώπινη λογική και τις δεξιότητες» ως προς τη διαδικασία της επίλυσης των προβλημάτων, αξιοποιώντας μια τεράστια βάση γνώσεων, αλλά και ένα σύνολο κανόνων ή αλγορίθμων. Τα εν λόγω συστήματα είναι πολύ «διαδραστικά», επιτρέποντας στους ανθρώπους / χρήστες / χειριστές μηχανών να εισάγουν πληροφορίες και μετά να λάμβάνουν ανατροφοδότηση ή λύσεις βάσει της λογικής των ερωτημάτων τους, ενώ το πολύ σημαντικό στοιχείο των συστημάτων είναι ο επονομαζόμενος «μηχανισμός εξαγωγής συμπερασμάτων» (inference engine), ο οποίος ερμηνεύει τα δεδομένα, χρησιμοποιώντας καθορισμένους κανόνες για να παρέχει ακριβείς απαντήσεις. (Mohn, 2022).



Εικόνα 206. Το σύστημα εμπειρογνωμοσύνης (expert system).

(πηγή: <https://brainly.in/question/9299858>).

Τα συστήματα εμπειρογνωμοσύνης που βασίζονται στο AI, έχουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών σε διαφορετικούς τομείς, όπως είναι η υγειονομική περίθαλψη, ο χρηματοοικονομικός κλάδος, οι μεταφορές, ο σύγχρονος κλάδος και η βιομηχανία των Γραφικών Τεχνών, των Εκτυπώσεων και της Συσκευασίας, όπου αυτά μπορούν να «διαγνώσουν» πάρα πολλές διαφορετικές συνθήκες / ανεπιθύμητες καταστάσεις, να καθοδηγήσουν με δόκιμο τρόπο επενδυτικές αποφάσεις ή να ελέγξουν πολύπλοκα μηχανήματα. Τα εν λόγω συστήματα αν και προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα (όπως συνέπεια, ταχύτητα και ικανότητα να αποθηκεύουν όλες τις πληροφορίες και μάλιστα χωρίς να τις ξεχνούν), συχνά μπορεί να αντιμετωπίζουν προκλήσεις μιας και

στερούνται «ανθρώπινης λογικής» και λόγω αυτού ίσως να παρέχουν λύσεις που είναι είτε μη πρακτικές είτε απόλυτα λανθασμένες, εάν τα υποκείμενα δεδομένα ή οι κανόνες είναι επίσης «ελαττωματικοί». (Mohn, 2022).

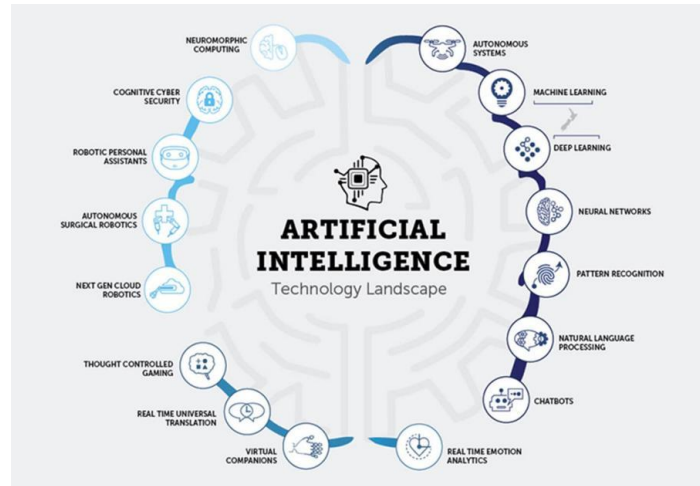
Αναφορικά με την ενσωμάτωση του AI στον κλάδο των Γραφικών Τεχνών, των Εκτυπώσεων και της Συσκευασίας, επισημαίνεται πως ο Adam Page (2025), αντιπρόεδρος της Smithers Reports, διεξάγει μια ανάλυση που είναι επικεντρωμένη στις παραμέτρους και στις πιο σημαντικές τάσεις που αφορούν την ενσωμάτωση του AI στον κλάδο της εκτύπωσης και της συσκευασίας, υπογραμμίζοντας πως η ενσωμάτωση του AI υποδιαιρείται σε τρία διακριτά κύματα που εκδηλώνονται μεταξύ του 2023 και του 2025. Σύμφωνα με το Page (2025), η εμφάνιση του ChatGPT το 2023 επιτρέπει την αξιοποίηση των δυνατοτήτων της μηχανικής μάθησης, εγκαινιάζοντας το 1^ο κύμα με τη μορφή του Predictive AI, ενώ η 2^η φάση έρχεται το 2024 λόγω της ραγδαίας εξάπλωσης του Generative AI, διευκολύνοντας την άμεση και απρόσκοπτη παραγωγή πολλών διαφορετικών κατηγοριών οπτικοακουστικού περιεχομένου, τα οποία διαμορφώνονται από τα υπολογιστικά συστήματα (computer-generated imagery). (Page, 2025).

Η επικράτηση του Generative AI όμως επιταχύνει και την εξέλιξη των νέων και αρκετά πιο πολύπλοκων συστημάτων της επονομαζόμενης «επικοινωνίας ανθρώπου – υπολογιστή», διευρύνοντας σημαντικά το πεδίο της «αλληλεπίδρασης ανθρώπου – μηχανής». Η εν λόγω συνθήκη εγκαινιάζει και το 3^ο κύμα με τη μορφή του Agentic AI κατά τη διάρκεια του 2025, το οποίο αν και βρίσκεται ακόμη στα αρχικά του στάδια, είναι έτοιμο να αντιμετωπίσει «προληπτικά και ανεξάρτητα» πολλά διαφορετικά πολύπλοκα, πολυδιάστατα προβλήματα. (Page, 2025).

4.1. Τεχνητή Νοημοσύνη (AI): Ορισμοί και χαρακτηριστικά

Η έννοια του όρου «Τεχνητή Νοημοσύνη» (AI, όπως παρουσιάζεται και στην εικόνα 207) σχετίζεται κατά βάση με τα υπολογιστικά συστήματα / υπολογιστές / μηχανές που μπορούν να εκτελούν σύνθετες εργασίες, οι οποίες στο παρελθόν γίνονται κατά βάση από τον άνθρωπο (όπως είναι η λογική σκέψη και η βέλτιστη λήψη των αποφάσεων), καθώς μέσω του AI τα εν λόγω υπολογιστικά συστήματα αναλύουν τα

δεδομένα και τις πληροφορίες, μαθαίνουν μέσω αυτών και ενεργούν με έναν ιδιότυπο «έξυπνο τρόπο (παρόμοια τον άνθρωπο), για να επιτευχθούν ορισμένοι στόχοι και σκοποί. (May, 2024) (Scott, 2023).



Εικόνα 207. Η Τεχνητή Νοημοσύνη (AI).

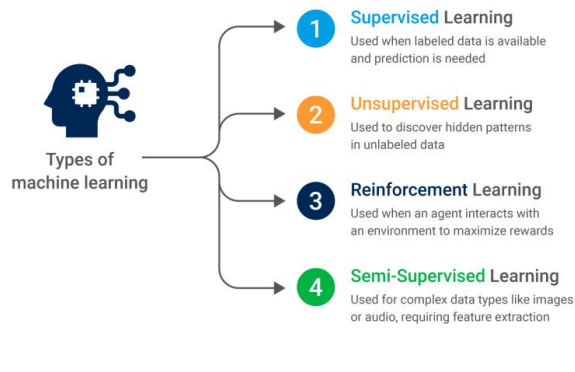
(πηγή: **What is Artificial Intelligence? (AI) · AI Time Journal**).

Σύμφωνα με το Oxford Dictionary το AI προσδιορίζει ως όρος, τη μελέτη και την ανάπτυξη των υπολογιστικών συστημάτων παρουσιάζουν «ευφυή / έξυπνη συμπεριφορά», υποδηλώνοντας έτσι πως ο όρος AI αναφέρεται κατά βάση στην ικανότητα ενός υπολογιστή /μηχανής να προσομοιώνει όλα τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του ανθρώπινου εγκεφάλου / ανθρώπινης σκέψης, αναπαράγοντας μιας ιδιότυπη μορφή μη ανθρώπινης νοημοσύνης νόησης, σκέψης, συμπεριφοράς και απόκρισης. (Ahmed, 2021). Η NASA υιοθετεί τον ορισμό που εμφανίζεται στην εκτελεστική διαταγή (EO) 13960, του National Defense Authorization Act (2019) και επισημαίνει πως το AI περικλείει τα εξής:

- τεχνικές, συμπεριλαμβανόμενες με εκείνες του ML (εικόνα 208), σύμφωνα με τις οποίες κάθε σύστημα σχεδιάζεται να τελει ορισμένη γνωστική διεργασία
- οποιοδήποτε «τεχνητό σύστημα» (artificial system) αναπτύσσεται με κύριο στόχο να λειτουργεί με ορθολογισμό (παρόμοια με τον άνθρωπο), το οποίο διαμορφώνεται σε κάποιο «computer software» ή «physical hardware» ή σε άλλο συναφές πλαίσιο και είναι ικανό να κάνει εργασίες που απαιτείται να

υφίσταται η έννοια της «νοημοσύνης», τόσο σε μεταβαλλόμενες όσο και σε μη προβλεπόμενες περιστάσεις και μάλιστα χωρίς να απαιτείται να υπάρχει κάποια ανθρώπινη εποπτεία, ενώ αυτό το σύστημα θα πρέπει να μπορεί να μάθει από την εμπειρία που αποκτά και να βελτιώνει την απόδοση του όταν τίθεται σε μεγάλα σύνολα δεδομένων. (May, 2024) (Federal Register, 2020).

What are types of machine learning?

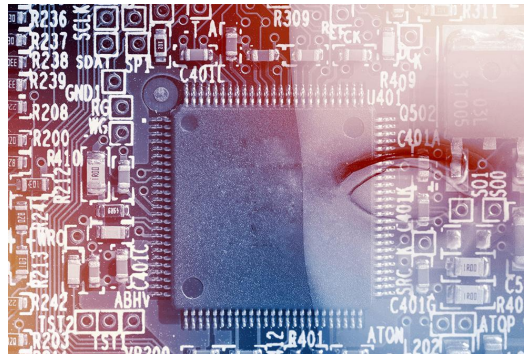


Εικόνα 208. Οι τεχνικές της Μηχανικής Μάθησης.

(πηγή: <https://www.akamai.com/glossary/what-is-machine-learning-ml>).

Το AI αξιοποιεί δεδομένα, αλγόριθμους και «υπολογιστική ισχύ» για να μιμηθεί ή να βελτιώσει την ανθρώπινη σκέψη, με στόχο να γίνει η επίλυση διαφορετικών προβλημάτων ή εργασιών. Το ML είναι υποσύνολο του AI και σύμφωνα με το Sloan Thomas W. Malone, καθηγητή, ιδρυτή και διευθυντή του Κέντρου Συλλογικής Νοημοσύνης του MIT, το ML είναι το πιο σημαντικό τρόπο μέσω του οποίου πραγματοποιείται το μεγαλύτερο μέρος της πρακτικής εφαρμογής του AI. (Brown, 2021) (Scott, 2023). Η εν λόγω συνθήκη οδηγεί συχνά πολλούς στο να αξιοποιούν τους όρους AI και ML ως ίδιες ή σχετικές έννοιες, δεδομένου πως οι εξελίξεις του AI είναι αποτέλεσμα των επιτευγμάτων του ML. (Brown, 2021) (Scott, 2023). Η σύγχυση ως προς το συνήθη παραλληλισμό των όρων AI, ML, Βαθιά Μάθηση (Deep Learning – DL, όπως εμφανίζεται στην εικόνα 209) και Νευρωνικά Δίκτυα (Neural Networks) αναφέρεται κατά βάση στο γεγονός πως αν και οι εν λόγω όροι αξιοποιούνται ως εναλλακτικές έννοιες, αυτές αναφέροντες σε σχετικές τεχνολογίες και ο πλέον δόκιμος τρόπος για το σωστό προσδιορισμό τους είναι να αναγνωριστούν

τους ως μια «σειρά συστημάτων AI». (May, 2024) (Frankenfield, 2019) (IBM Data and AI Team, 2023).



Εικόνα 209. AI, ML, Βαθιά Μάθηση (Deep Learning-DL).

(πηγή: [What Is Deep Learning AI? A Simple Guide With 8 Practical Examples | Bernard Marr](#) [What Is Deep Learning AI? A Simple Guide With 8 Practical Examples | Bernard Marr](#)).

Το AI αποτελεί το «γενικό σύστημα», το ML είναι το υποσύνολο του AI που βασίζεται σε αλγόριθμους που εκπαιδεύονται πάνω σε μοτίβα δεδομένων μέσω της διαδικασίας της επονομαζόμενης «εκπαίδευσης μοντέλου» (model training) και αποτελείται από την «εποπτευόμενη μάθηση» και τη «μη εποπτευόμενη μάθηση». Το DL είναι υπό τομέας του ML που περικλείει αρκετά πιο σύνθετους αλγόριθμους, σε σχέση με εκείνους του ML, οι οποίοι βασίζονται στα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, δηλαδή έχουν ως βάση τους τα «τεχνητά ή τα προσομοιωμένα νευρωνικά δίκτυα», που μιμούνται τον τρόπο που οι νευρώνες του ανθρώπινου εγκεφάλου επικοινωνούν μεταξύ τους. (IBM Data and AI Team, 2023) (IBM, 2021b) (Marr, 2021).

4.2. Τεχνητή Νοημοσύνη (AI): Ιστορία AI και σημαντικές προσωπικότητες

Η ιστορία του AI σχετίζεται άμεσα με τον τρόπο που οι υπό τομείς του (δηλαδή τα ML και DL), εξελίσσονται παράλληλα και σταδιακά, ενισχύοντας το αντίστοιχο πεδίο εξειδίκευσής τους. Η ιστορία του AI διακρίνεται στα εξής έξι στάδια:

1. Προϊστορία του AI (1700-1900)
2. Αρχή του Computational Era (1900-1950)

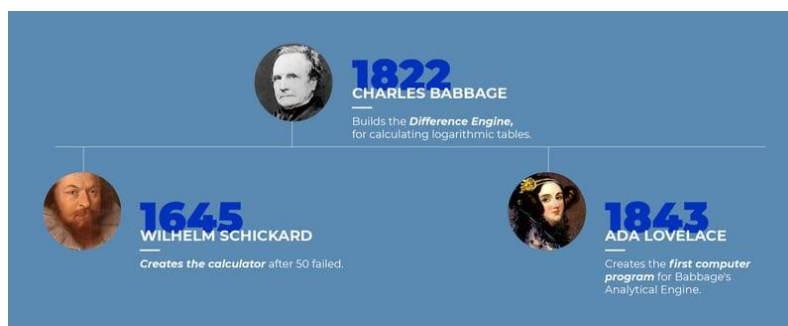
3. Αρχή του AI (1950 2000)
4. Εξέλιξη του AI (2000-2023)
5. Ιστορία του ML (1952-2014)
6. Ιστορία του DL (1943-2022). (algotive.ai, 2022).

Η ιστορία του AI, δεν είναι απόλυτα «γραμμική», μιας και υφίστανται και οι επονομαζόμενοι «περίοδοι των χειμώνων του AI» (AI winters), που αφορούν τη μείωση του ενδιαφέροντος, της έρευνας και των επενδύσεων στο συγκεκριμένο τομέα (εικόνες 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216 και 217). (algotive.ai, 2022).



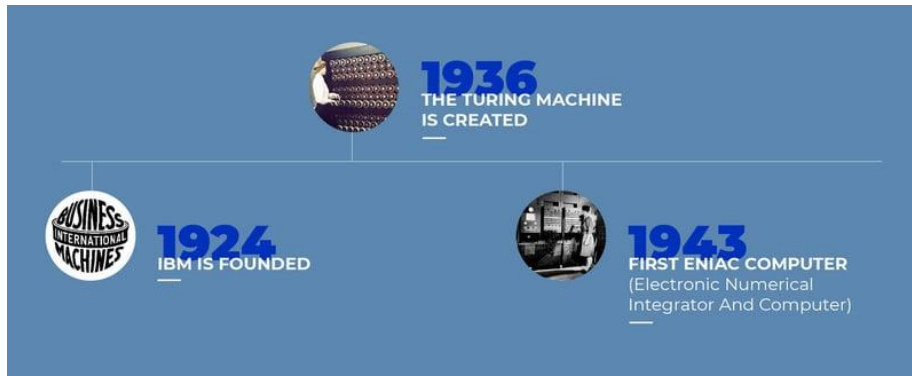
Εικόνα 210. Η ιστορία του AI .

(πηγή: The History of Artificial Intelligence, Machine Learning and Deep Learning).



Εικόνα 211. Η ιστορία του AI .

(πηγή: The History of Artificial Intelligence, Machine Learning and Deep Learning).



Εικόνα 212. Η ιστορία του AI .

(πηγή: The History of Artificial Intelligence, Machine Learning and Deep Learning).



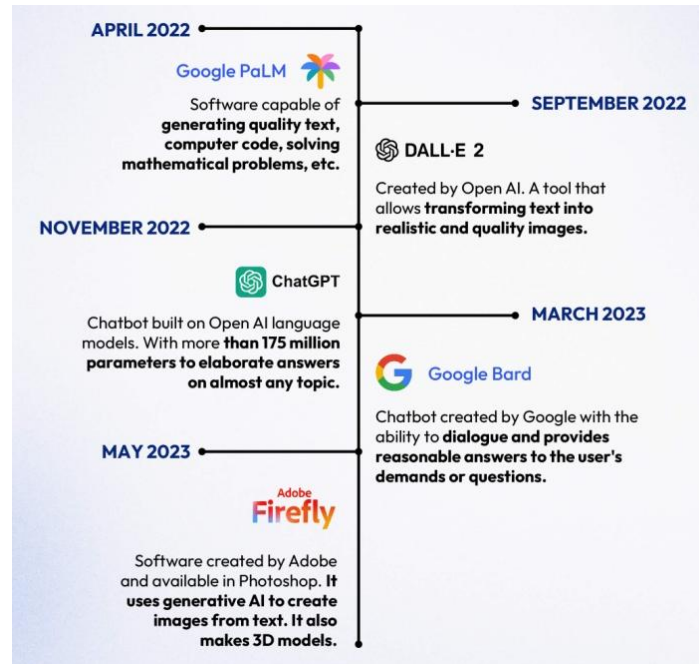
Εικόνα 213. Η ιστορία του AI .

(πηγή: The History of Artificial Intelligence, Machine Learning and Deep Learning).



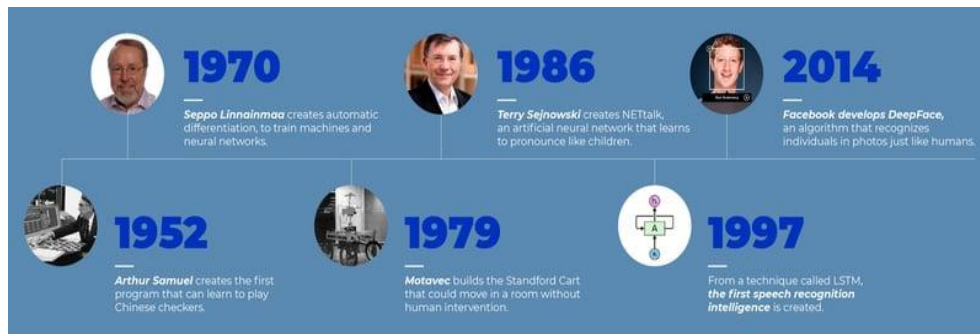
Εικόνα 214. Η ιστορία του AI .

(πηγή: The History of Artificial Intelligence, Machine Learning and Deep Learning).



Εικόνα 215. Η ιστορία του AI .

(πηγή: The History of Artificial Intelligence, Machine Learning and Deep Learning).

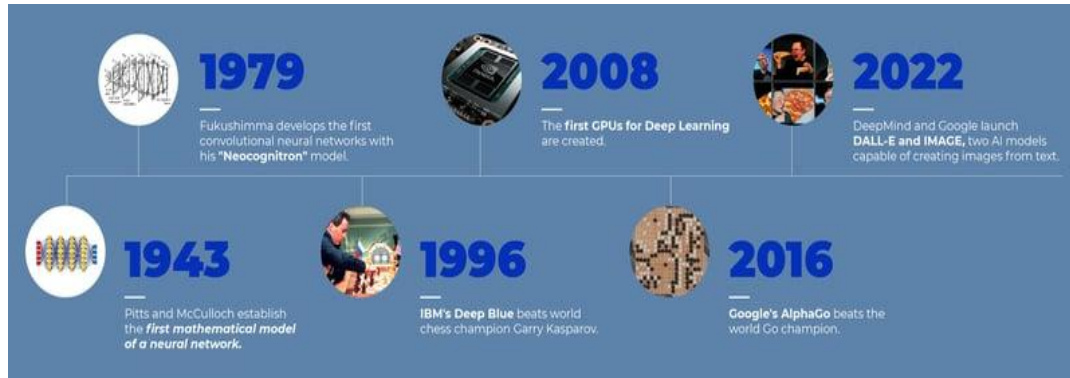


Εικόνα 216. Η ιστορία του AI .

(πηγή: The History of Artificial Intelligence, Machine Learning and Deep Learning).

Ο John McCarthy που χαρακτηρίζεται ως «πατέρας του AI» (father of AI), επινοεί τον όρο AI στα μέσα της δεκαετίας του 1950 και ορίζει το «AI ως την επιστήμη και τη μηχανική της κατασκευής των ευφύων μηχανών». Ο McCarthy είναι υπεύθυνος για τη δημιουργία της Lisp (γλώσσα προγραμματισμού), ενώ εργάζεται κατά βάση σε αυτόνομα αυτοκίνητα για να δημιουργήσει μετά τα υπολογιστικά προγράμματα που

μπορούν να κατανοούν και να μιμούνται τον τρόπο που οι άνθρωποι λαμβάνουν αποφάσεις. Οι εν λόγω προσεγγίσεις συντελούν και στην ανάπτυξη της τεχνολογίας του cloud computing που αξιοποιείται σε σημαντικό βαθμό στο σήμερα. (Ahmed, 2021) (IBM Data and AI Team, 2023) (IBM, 2021b) (Marr, 2021).



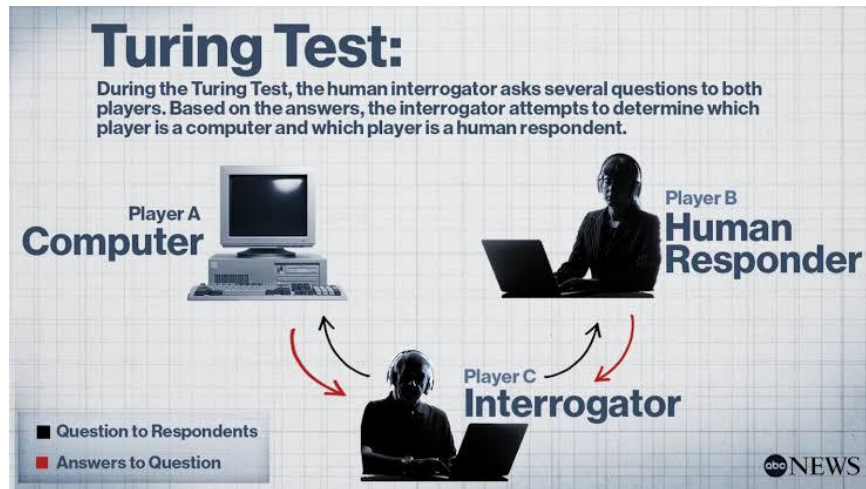
Εικόνα 217. Η ιστορία του AI .

(πηγή: The History of Artificial Intelligence, Machine Learning and Deep Learning).

Ο Alan Turing που επίσης χαρακτηρίζεται ως «πατέρας του AI», το 1936 δημιουργεί τη μηχανή Turing, η οποία αποτελεί ένα υπολογιστικό μοντέλο που αποθηκεύει και επεξεργάζεται δεδομένα «εικονικά», σηματοδοτώντας έτσι την έναρξη της ιστορίας της πληροφορικής. Η μηχανή Turing προσαρμόζει και προσομοιώνει τη λογική κάθε «είδους αλγορίθμου» και εκτελεί κάθε μαθηματικό υπολογισμό που αναπαρίσταται από έναν αλγόριθμο, ενώ συνιστά τη βάση για τη διαμόρφωση των ηλεκτρονικών υπολογιστών, των κινητών τηλεφώνων, των tablet, αλλά και άλλων συναφών τεχνολογιών. (IBM Data and AI Team, 2023) (IBM, 2021b) (Marr, 2021).

Το 1950 ο Turing, προτείνει το Turing Test («Can machines think?») που αποσκοπεί να καθορίσει κατά πόσο μια «μορφή τεχνητής νοημοσύνης» μπορεί να μιμηθεί τις ανθρώπινες συσχετίσεις και τις αλληλεπιδράσεις, το οποίο αντιπροσωπεύει μια συνομιλία μεταξύ ενός ανθρώπου, ενός υπολογιστή και ενός άλλου ατόμου, χωρίς όμως να είναι γνωστό ποιος συνομιλητής είναι μηχανή και μετά το πρώτο άτομο κάνει ερωτήσεις και σε περίπτωση που ο ίδιος δε μπορεί να διακρίνει βάσει των απαντήσεων που λαμβάνει ποιος συνομιλητής είναι ο άνθρωπος και ποιος είναι η

μηχανή, τότε ο υπολογιστής περνάει επιτυχώς το «Turing Test» (εικόνα 218). (IBM Data and AI Team, 2023) (IBM, 2021b) (Marr, 2021).



Εικόνα 218. Το «Turing Test».

(πηγή: <https://abcnews.com/US/turing-test-determines-computers/story?id=101486628>).

4.3. Παράμετροι και τεχνολογίες ανάπτυξης και κύρια είδη συστημάτων AI

Οι τεχνολογίες που επιτρέπουν την ανάπτυξη του AI περικλείουν τα εξής:

- Computer Vision (υπολογιστική όραση)
 - οι υπολογιστές μπορούν να αναγνωρίζουν αντικείμενα ή άτομα σε εικόνες
- Επεξεργασία Φυσικής Γλώσσας - NLP
 - οι υπολογιστές μπορούν να κατανοούν πάνω από μια ανθρώπινες γλώσσες
- Μονάδες Επεξεργασίας Γραφικών
 - αναφέρεται σε τσιπ υπολογιστών που αξιοποιούνται κατά βάση για τη δημιουργία γραφικών με μαθηματικούς υπολογισμούς
- IoT
 - ως ένα δίκτυο διαφορετικών συσκευών, οχημάτων και αντικειμένων, τα

οποία είναι ενσωματωμένα με αισθητήρες, λογισμικό και δυνατότητα σύνδεσης με το Διαδίκτυο, που συλλέγουν και διαμοιράζονται δεδομένα

➤ Προγραμματισμός Εφαρμογών

- επιτρέπει σε δύο ή περισσότερα συστήματα υπολογιστών να μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους. (Ahmed, 2021) (Scott, 2023).

Η ανάπτυξη του AI εξαρτάται από την πρόσβαση των υπολογιστικών συστημάτων σε μεγάλες ποσότητες δεδομένων και από την τεχνολογική εξέλιξη. (Ahmed, 2021) (Scott, 2023). Οι αλγόριθμοι διαδραματίζουν καίριο και πολύ σημαντικό ρόλο στη δομή των συστημάτων AI και οι κύριοι τύποι των συστημάτων AI είναι τα εξής:

1) Narrow AI

- γνωστό ως αδύναμο AI, σχεδιάζεται να εκτελεί συγκεκριμένη εργασία
- ενδεικτικά παραδείγματα είναι τα βιντεοπαιχνίδια και οι προσωπικοί βοηθοί (όπως τα Alexa της Amazon και Siri της Apple)

2) General AI

- ισχυρά συστήματα AI, εκτελούν πιο πολύπλοκες εργασίες
- συχνά αξιοποιούνται σε αυτόνομα αυτοκίνητα και χειρουργεία

3) Super AI

- είναι ένα αυστηρά θεωρητικός είδος, δεν έχει επιτευχθεί ακόμη
- αναφέρεται στην ικανότητα του AI να μπορεί να έχει ικανότητες που ξεπερνούν εκείνες των ανθρώπων. (Scott, 2023).

4.4. Ενσωμάτωση στις επιχειρήσεις: Generative AI και οι Έξυπνοι Πράκτορες

Το AI αξιοποιείται σχεδόν σε 35% των σύγχρονων επιχειρήσεων σε παγκόσμιο επίπεδο, ενώ η έντονη ανάπτυξη και η ευρεία αξιοποίηση του Generative AI (Gen AI)

επιταχύνει την απόδοση των επιχειρήσεων έως και 70% σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα και εργαλεία AI. Ο όρος Generative AI προσδιορίζει την κατηγορία AI που δημιουργεί πρωτογενές περιεχόμενο (κείμενο, εικόνες, βίντεο, ήχο ή κώδικα λογισμικού), ως απόκριση σε μια προτροπή ή λεκτικό αίτημα (prompt) που τίθεται από κάποιο άνθρωπο (χρήστη), ενώ βασίζεται σε εξελιγμένα μοντέλα αλγόριθμων DL που προσομοιώνουν τις διαδικασίες της μάθησης και της λήψης των αποφάσεων, με εκείνες που πραγματοποιούνται μέσω του ανθρώπινου εγκεφάλου. (Stryker & Scapicchio, 2024). Μέσω της ενσωμάτωσης του AI (AI integration) στις ροές εργασιών και στα συστήματα της παραγωγής, επιτυγχάνεται η αυτοματοποίηση όλων των λειτουργιών μιας επιχείρησης. Η ενσωμάτωση του AI σχετίζεται με την ανάπτυξη των επονομαζόμενων «έξυπνων λογισμικών και των υλικών» (intelligent software & hardware), που προσδιορίζονται ως «έξυπνοι πράκτορες» (intelligent agents), όπως για παράδειγμα είναι οι επονομαζόμενοι «διαλογικοί πράκτορες» (Chatbots). (Stryker & Scapicchio, 2024) (Adamopoulou & Moussiades, 2020).

Οι διαλογικοί πράκτορες (Chatbots) αποτελούν ένα πολύ σημαντικό παράδειγμα έξυπνων πρακτόρων, ενώ στο σύνολο της υφιστάμενης βιβλιογραφίας τα Chatbots ορίζονται και ως «smart bots», «interactive agents», «digital assistants» ή «artificial conversation entities». Το Chatbot είναι ένα πρόγραμμα υπολογιστή, το οποίο αναπτύσσεται κατά βάση για την προσομοίωση της συνομιλίας με τον άνθρωπο (χρήστη), συνήθως μέσω της αξιοποίησης του Διαδικτύου, ενώ επίσης συνιστά μια σημαντική πρακτική εφαρμογή της έννοιας της «έξυπνης Αλληλεπίδρασης Ανθρώπου Υπολογιστή» (Human Computer Interaction – HCI), μιας και αυτό αποτελεί ένα πρόγραμμα υπολογιστή που ανταποκρίνεται σαν «έξυπνη οντότητα» (smart entity) και μπορεί να συνομιλεί (μέσω κειμένου ή φωνής) με τον άνθρωπο (χρήστη), κατανοώντας πάνω από μια ανθρώπινες γλώσσες, μέσω της χρήσης της τεχνολογίας NLP. (Stryker & Scapicchio, 2024) (Adamopoulou & Moussiades, 2020).

4.5 Industry 4.0

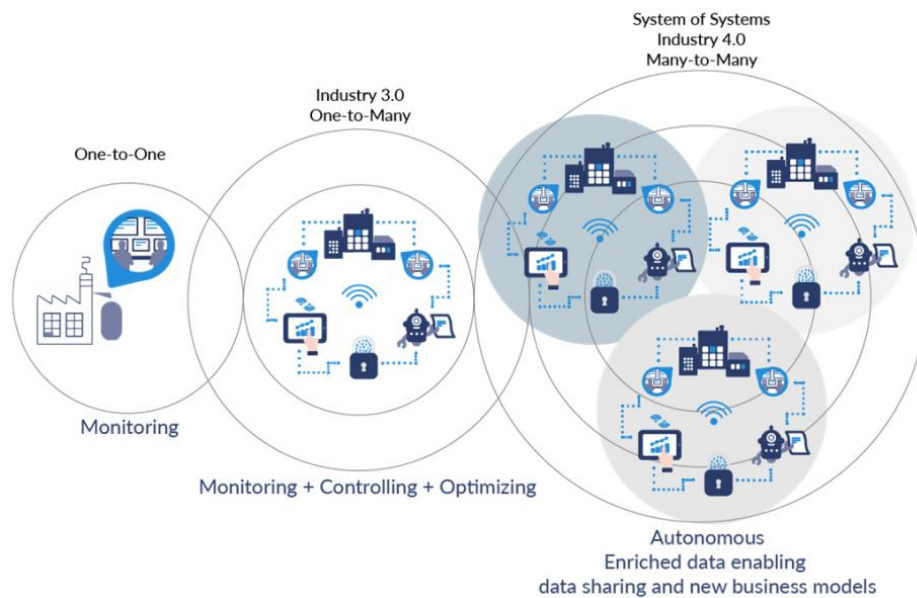
Όπως ήδη αναφέρεται και στην εισαγωγή της εν λόγω διπλωματικής εργασίας, ο όρος «Industry 4.0» αξιοποιείται για να προσδιορίζει την έντονη μετασχηματιστική «τροποποίηση / μεταμόρφωση» του δευτερογενούς τομέα και της μεταποίησης, η

οποία έχει ως κύριο γνώρισμα την ενσωμάτωση των ευφύων και αυτόνομων συστημάτων, που τροφοδοτούνται από την τεχνολογία της επεξεργασίας των δεδομένων και του ML, συνιστώντας το κύριο αποτέλεσμα των επιτευγμάτων της 3^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης (Industry 3.0), κυρίως στους τομείς της μαζικής παραγωγής και των γραμμών συναρμολόγησης (εικόνα 219). (Marr, 2019). Το Industry 4.0 σχετίζεται με την υιοθέτηση της «decentralised παραγωγής» μέσω της χρήσης των κοινόχρηστων εγκαταστάσεων παραγωγής, για την επίτευξη της λογικής του «on-demand manufacturing» και για τη βέλτιστη διαχείριση των διαθέσιμων πόρων. (Duan & Da Xu, 2021). Αν και σημαντική μερίδα του κοινού προσδιορίζει το «Industry 4.0» ως ένα νέο «διαφημιστικό σύνθημα» (buzzword) του κλάδου του marketing, η ανάδυση και επικράτηση των Industry 4.0 τεχνολογιών και εφαρμογών επιφέρουν ραγδαίες μεταβολές που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής. (Marr, 2019).

Η επιτυχής εφαρμογή και αξιοποίηση όλων των τεχνολογιών και εφαρμογών του Industry 4.0 συνιστά μια πολύ σημαντική παράμετρο για τη δόκιμη διαχείριση των συνθηκών του ανταγωνισμού των επιχειρήσεων στην παγκόσμια αγορά και η εν λόγω παραδοχή τεκμηριώνεται επίσης μέσω των αναλύσεων της μελέτης «Industry 4.0 Barometer» (2025) που πραγματοποιείται από την MHP. (MHP, 2025). Τα buzzwords «Industry 4.0», «smart factory» (ευφύες εργοστάσιο), «microservices» (ορίζεται ως η «οργανωτική προσέγγιση της ανάπτυξης των λογισμικών»), «DevOps» (ορίζεται ως η «ενοποίηση και οι αυτοματισμοί της έννοιας της ανάπτυξης του λογισμικού και των τεχνολογιών της πληροφορικής στο πλαίσιο λειτουργίας των επιχειρήσεων»), «AI» και «ML», συνιστούν τους πλέον βασικούς πυλώνες που αναδιαμορφώνουν ριζικά τους κλάδους της μεταποίησης και της βιομηχανικής παραγωγής. Η εν λόγω συνθήκη οδηγεί συνειδητά τις περισσότερες επιχειρήσεις στη στρατηγική ενσωμάτωση όλων των τεχνολογιών και εφαρμογών του Industry 4.0 στην παραγωγή. (Hazra, 2019).

Οι πιο «σημαντικές αρχές σχεδιασμού» του Industry 4.0, όπως αναφέρεται και στο κεφάλαιο 1, είναι η δια συνδεσιμότητα και η δια λειτουργικότητα, η διαφάνεια των πληροφοριών, η τεχνική υποστήριξη και η αποκεντρωμένη λήψη αποφάσεων. (Calcetero, 2018) (Koh, 2023). Μια σημαντική και μη επαρκώς αναγνωρισμένη παράμετρος του Industry 4.0 και της 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης (4IR) είναι ο πολύ έντονος μετασχηματισμός που επιφέρει η απρόσκοπτη ενσωμάτωση όλων των ψηφιακών τεχνολογιών αιχμής. Οι εν λόγω τεχνολογικές εφαρμογές ενδέχεται να

εγκαινιάσουν μια «νέα εποχή» (new era) που χαρακτηρίζεται ως «η Εποχή της Συνδεσιμότητας» (Age of Connectivity), καθώς αυτή συνδέεται με την αύξηση του όγκου των διαθέσιμων πληροφοριών (proliferation of information) στο πλαίσιο του επονομαζόμενου «data age» (εποχή των δεδομένων) και της εξέλιξης της σύγκλισης όλων των σταδίων και των τμημάτων της παραγωγής, μέσω των CPS. (Koh, 2023).



Εικόνα 219. Το Industry 4.0.

(πηγή: <https://gofore.com/en/industry-4-0-brings-a-paradigm-shift/>).

Τα CPS (cyber- physical systems) αντιπροσωπεύουν τα μηχανολογικά συστήματα που δημιουργούνται και εξαρτώνται από την αδιάλειπτη ενσωμάτωση των υπολογιστικών και των απτών / υπαρκτών στοιχείων ή μονάδων. Οι έντονες τεχνολογικές εξελίξεις των CPS επιφέρουν ένα νέο φάσμα στις δυνατότητες της απόδοσης των συστημάτων, της ευελιξίας και της προσαρμογής, της τροποποίησης βάσει των νέων παραμέτρων (scalability), της αντοχής τους στο χρόνο (resiliency), της διασφάλισης του επιπέδου της ασφάλειας, της εύκολης διαχείρισης (usability). (NSF, 2024). Οι εξελίξεις της έννοιας του «connectivity» επιτρέπουν την ανάδυση μιας «disruptive mobility» (ως υψηλή κινητικότητα που ανατρέπει ριζικά τον τρόπο λειτουργίας), προσδίδοντας υψηλής ακρίβειας πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο (accurate real-time info), καθώς και τη δυνατότητα μιας πολύ υψηλής ευελιξίας αναφορικά με τη λειτουργία πολλών

καθηκόντων του σύγχρονου βιομηχανικού και επιχειρηματικού περιβάλλοντος. Ένα πολύ χαρακτηριστικό παράδειγμα της εν λόγω προσέγγισης είναι η χρήση του υπολογιστικού νέφους, το οποίο επιτρέπει στις επιχειρήσεις (ανεξαρτήτως μεγέθους) να αξιοποιούν δοκίμως τις μεθόδους των Big Data Analytics και του AI. (Koh, 2023).

Το cloud computing αναδιαμορφώνει τον κλάδο, παρέχοντας τις «κατά παραγγελία υπηρεσίες computing», οι οποίες βελτιώνουν το βαθμό απόδοσης, διευρύνουν τις δυνατότητες του βαθμού της τροποποίησης και της προσαρμογής (scalability), ενώ επιφέρουν τη δημιουργία νέων καινοτόμων λύσεων που δεν προϋποθέτουν κάποια αξιόλογη επενδυτική δαπάνη εκ μέρους των επιχειρήσεων. Το cloud computing επιτρέπει σε πραγματικό χρόνο τη συνεργατική λειτουργία όλων των τμημάτων και των διαδικασιών της παραγωγής (κατά βάση βελτιστοποιεί όλες τις διαδικασίες που αφορούν το design, την παραγωγή, τις διενέργειες που σχετίζονται την αλυσίδα εφοδιασμού), μέσω της διαχείρισης των πληροφοριών (αναφορικά με τα logistics και τα διαθέσιμα αποθέματα) σε πραγματικό χρόνο. Σύμφωνα με τη στατιστική έκθεση που αφορά την έρευνα της αγοράς του βιομηχανικού κλάδου μεταξύ του 2024 και του 2032, η δυναμική του cloud computing στον κλάδο ανέρχεται συνολικά σε αξία στα 72,2 δισεκατομμύρια δολάρια για το 2024 και αναμένεται να αγγίξει το ποσό των 211,7 δισεκατομμυρίων δολαρίων ως το 2032. (Soni, 2024).

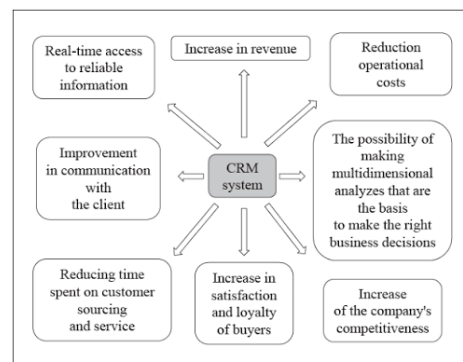
Τα σημαντικότερα cloud computing πρότυπα είναι τα IaaS, PaaS και SaaS. Το IaaS επιτρέπει την «on-demand» πρόσβαση σε cloud resources (δηλαδή την πρόσβαση σε physical ή virtual servers, storage & networking), γεγονός που διευκολύνει και τη διαχείριση αυτών των υπηρεσιών εκ μέρους των επιχειρήσεων, βάσει των ειδικών τους απαιτήσεων / αναγκών. Το PaaS διαθέτει ένα πιο «comprehensive cloud-based environment» για την ανάπτυξη, τη διαχείριση, τη διάθεση / παροχή των εφαρμογών (deployment of applications), ενώ επιτρέπει στις επιχειρήσεις να αναπτύσσουν και να χρησιμοποιούν τα «ειδικά software applications», που είναι διαμορφωμένα βάσει των αντίστοιχων λειτουργικών τους αναγκών. (Soni, 2024).

Το SaaS επιτρέπει στις επιχειρήσεις να έχουν πιο άμεση πρόσβαση σε μια σειρά πολλών διαφορετικών εφαρμογών μέσω της χρήσης του διαδικτύου (applications hosted online), τα οποία διατίθενται επί πληρωμής μέσω συνδρομής (subscription basis). Οι εν λόγω εφαρμογές σχετίζονται με το σύνολο των δραστηριοτήτων που

αφορούν την επονομαζόμενη «προστιθέμενη αξία της μεταποιητικής αλυσίδας» (manufacturing value chain) και που σχετίζονται κατά βάση με τη διαχείριση των αποθεμάτων (inventory management), τα συστήματα της παραγωγής (manufacturing systems), την οργάνωση των επιχειρηματικών δραστηριοτήτων μέσω διαδικτύου, αλλά και με τα συστήματα του «Relationship Management» ή CRM. (Soni, 2024).

Το CRM (εικόνα 220) είναι ένας συνδυασμός πρακτικών και στρατηγικών που σχετίζονται με την αξιοποίηση των τεχνολογιών, οι οποίες σκιαγραφούν, επιτηρούν, αναλύουν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των επιχειρήσεων και των καταναλωτών και έχουν στόχο τη βελτίωση του βαθμού της εμπιστοσύνης / αφοσίωσης εκ μέρους των πελατών (customer loyalty) και την ενίσχυση του βαθμού των πωλήσεων (sales growth). Το CRM software συγκεντρώνει όλα τα στοιχεία ενός ορισμένου πελάτη ή και όλων των πελατών σε μια ενιαία βάση δεδομένων (single database), για να παρέχει με πολύ υψηλή ακρίβεια πληροφορίες για τα προσωπικά στοιχεία, το ιστορικό των αγορών, αλλά και τις καταναλωτικές προτιμήσεις. (Polin, 2024).

Τα εν λόγω δεδομένα προκύπτουν από διάφορες πηγές (όπως από διαδικτυακές φόρμες, τηλεφωνικές κλήσεις, live chat, αλληλογραφία, e mail, social media), ενώ τα CRM συστήματα επιτρέπουν την πλήρη αυτοματοποίηση της ροής εργασιών, διευκολύνουν την παρακολούθηση των πωλήσεων (sales leads), προβαίνουν στην καταγραφή των πιο σημαντικών πληροφοριών του εργατικού δυναμικού (employee information), παρέχουν προγνωστικές αναφορές (predicting) περί ενδεχόμενης μελλοντικής συμπεριφοράς των πελατών μέσω του AI. Η CRM τεχνολογία παρέχεται μέσω on-premises (σε εγκαταστάσεις) και cloud-based συστημάτων. (Polin, 2024).



Εικόνα 220. Σημαντικά χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα ενός CRM.

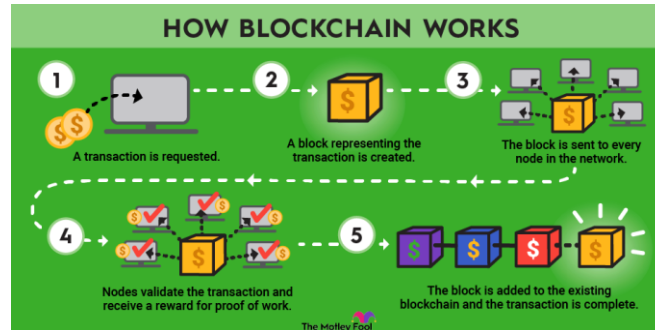
(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Figure-1-Benefits-of-Customer-Relationship-Management-CRM_fig1_381846555).

Η αξιοποίηση του «interconnectivity» ως βασική σχεδιαστική αρχή του Industry 4.0, έχει σημαντικό ρόλο και στην εξέλιξη των συστημάτων του αυτοματισμού, της ρομποτικής, των εφαρμογών των VR και AR, του συστήματος blockchain και κάθε τεχνολογίας ή πρακτικής που συνδέεται με τη φιλοσοφία του Industry 4.0. (Koh, 2023). Το blockchain (εικόνα 221) αποτελεί ένα «κατανεμημένο, προστατευμένο από ενδεχόμενες, δυνητικές παραβιάσεις στο ηλεκτρονικό σύστημα παρακολούθησης των συναλλαγών» (tamper-proof ledger of transactions) ή των λοιπών δεδομένων, καθώς οι συναλλαγές (transactions) πλέον καταγράφονται και αποθηκεύονται μέσα σε μια «αλυσίδα συνδεδεμένων blocks» (chain of linked blocks). Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του blockchain σχετίζεται με τη δυνατότητα παροχής ενός διεξοδικού (comprehensive), εξακριβωμένου (verified) και μη μεταβαλλόμενου (immutable) συστήματος καταγραφής κάθε συναλλαγής, που πραγματοποιείται σε ένα ορισμένο σύνολο συναλλασσόμενων. Τα blockchains κατηγοριοποιούνται σε δύο τύπους, στα δημόσια (public) και στα ιδιωτικά (private). (Jenkins, 2023).

Το «public blockchain» αξιοποιείται στις περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται τα επανομαζόμενα «κρυπτονομίσματα» (cryptocurrencies), όπου η πρόσβαση είναι εφικτή (επιτρέπεται) σε κάθε χρήστη ενός δικτύου. Τα «private blockchains» αξιοποιούνται κατά βάση στον κλάδο της μεταποίησης και άλλων βιομηχανιών, ενώ σε αυτή την περίπτωση «δικαίωμα πρόσβασης» έχουν μόνο οι «εξουσιοδοτημένοι χρήστες». Η αξιοποίηση του blockchain δίνει στις επιχειρήσεις τη δυνατότητα να εκσυγχρονίσουν τις λειτουργίες τους, να αποκτήσουν αυξημένη ορατότητα επί των αλυσίδων εφοδιασμού, αλλά και να έχουν τη δυνατότητα για την άμεση και δόκιμη παρακολούθηση (εποπτεία) των «assets», με πρωτοφανή ακρίβεια. (Jenkins, 2023).

Αναφορικά με το φάσμα του «interconnectivity», σημαντικές είναι και οι δράσεις της Σιγκαπούρης ως προς την ανάπτυξη μιας «εύρωστης digital οικονομίας», όπως παρουσιάζεται στο consultation paper της εταιρείας Infocomm Media Development Authority (IMDA) τον Μάιο του 2019. Το όραμα της IMDA προβλέπει το «ριζικό μετασχηματισμό» κάθε εταιρείας σε ένα νέο «digital entity» (ψηφιακή ενότητα), για την υποστήριξη κάθε εργαζομένου μέσω της φιλοσοφίας της επανομαζόμενης

«τεχνολογικής ενσωμάτωσης» (empowerment through integration), αλλά και με τη διευκόλυνση της «προσβασιμότητας» για κάθε πολίτη μέσω της αξιοποίησης της έννοιας της «διευρυμένης συνδεσιμότητας» (enhanced connectivity). (Koh, 2023).



Εικόνα 221. Η τεχνολογία του blockchain.

(πηγή: <https://www.fool.com/terms/b/blockchain/>).

Ο όρος «connectivity» (συνδεσιμότητα) αξιοποιείται για να προσδιορίζει το βαθμό της «δια σύνδεσης» (interconnectivity) μεταξύ των συσκευών, των μηχανημάτων, των computer-based συστημάτων, ο οποίος κατά βάση επιτρέπει τη σύνδεση και την ανταλλαγή των δεδομένων μεταξύ των διαφορετικών assets (πόρων). Για την επίτευξη της «δια σύνδεσης» απαιτείται η διασφάλιση της «δια λειτουργικότητας», η οποία ως έννοια σχετίζεται κυρίως με τη δυνατότητα της απρόσκοπτης, έγκαιρης και αποτελεσματικής πρόσβασης σε σημαντικά δεδομένα μεταξύ των διαφορετικών assets και των συστημάτων. (Koh, 2023). Ο όρος «interoperability» αναφέρεται στη δυνατότητα των μηχανών, των συσκευών, των αισθητήρων και του HC (μιας επιχείρησης) να μπορούν να συνδέονται και να επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω της αξιοποίησης των IoT και IoP. (Calcetero, 2018).

Το IoT συντελεί στην ομαλή επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων «smart devices» και των «internet-enabled devices», επιτρέποντας έτσι τη διαμόρφωση ενός πολύ μεγάλου «network of interconnected devices», τα οποία προσφέρουν και τη δυνατότητα της άμεσης ανταλλαγής των δεδομένων μεταξύ τους, αλλά και την αυτόνομη εκτέλεση αρκετών διαφορετικών εργασιών. Ενδεικτικά παραδείγματα του IoT είναι τα εξής:

- η παρακολούθηση (σκιαγράφηση) των περιβαλλοντικών συνθηκών στον

κλάδο της γεωργικής παραγωγής (agricultural field)

- η ανάπτυξη των «intelligent transportation systems» (ορίζονται ως τα έξυπνα συστήματα μεταφορών) στην αυτοκινητοβιομηχανία
- η περίπλοκη φύση του φαινομένου «της φιλοσοφίας της αυτοματοποίησης» του συστήματος / πρότυπου της σύγχρονης βιομηχανικής παραγωγής (industrial automation) και του κλάδου της μεταποίησης. (IBM, 2023).

Το IoP αποτελεί ένα «ψηφιακό οικοσύστημα» που διαμορφώνεται σύμφωνα με το σύνολο των ανθρώπινων αλληλεπιδράσεων, των συσχετισμών (συνδιαλλαγών) ή των ατομικών, βιοματικών εμπειριών και σε αντίθεση με το IoT που απλώς δια συνδέει τις «smart» συσκευές, το IoP συντελεί στις διασυνδέσεις μεταξύ των ανθρώπων και επιφέρει μια αναβάθμιση στον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι μπορούν ψηφιακά να επικοινωνούν, να αλληλοεπιδρούν, αλλά και να συνεργάζονται μεταξύ τους. Το IoP εκτός από τη συλλογή των δεδομένων από τους αισθητήρες και τις μηχανές, εστιάζει κατά βάση στη μελέτη και στο δόκιμο προσδιορισμό του βαθμού της «ανθρώπινης συμπεριφοράς και αλληλεπίδρασης». Οι κύριες τεχνολογίες του IoP είναι τα εξής:

- στρατηγική χρήση των AI και ML, κατά βάση υπό τη μορφή των «personal assistants» που υποβοηθούν το AI μέσω του συνόλου των επονομαζόμενων «recommendation engines» και έτσι μπορούν να επιτρέπουν στο IoP τη διεξαγωγή των επονομαζόμενων «ψηφιακών διαδράσεων» (digital interactions) που γίνονται μεταξύ των διαφορετικών χρηστών / ανθρώπων
- αποκέντρωση (decentralised networks), όπου οι χρήστες αποκτούν μια «μορφή κυριότητας στις ψηφιακές τους οντότητες» (digital identities' ownership)
- blockchain, μέσω της υιοθέτησης των τριών βασικών αρχών της φιλοσοφίας του «transparency-security-privacy», η οποία επιτρέπει στους χρήστες / ανθρώπους να έχουν πλήρη έλεγχο στην «online παρουσία τους»
- AR και VR, υπό τη μορφή των «virtual meetings» ή των «virtual interactions» που γίνονται μεταξύ των χρηστών / ανθρώπων
- τα τελευταία χρόνια εμφανίζεται και η καινοτομία των επονομαζόμενων

«Brain-Computer Interfaces – BCI», ως «δημιουργία διεπαφής ανθρώπινου εγκεφάλου και υπολογιστή», που επιτρέπει στους χρήστες να ελέγχουν και να θέτουν τις συσκευές σε λειτουργία με τη σκέψη / νου. (Hosafci, 2025).

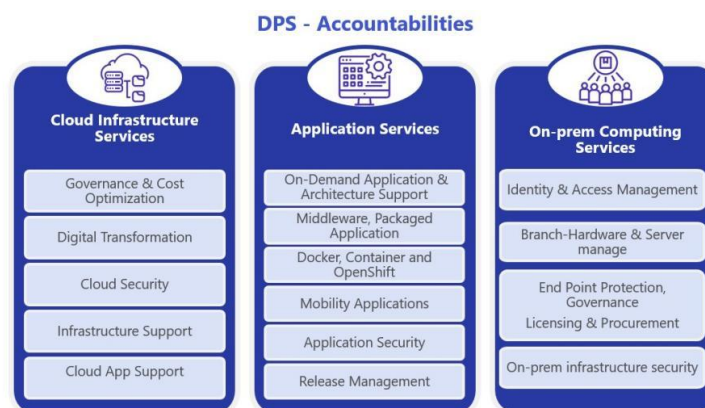
Η κύρια μελλοντική επιδίωξη του IoP είναι η δημιουργία ενός «ανθρωποκεντρικού διαδικτύου» (human-centered Internet), που έχει ως χαρακτηριστικό γνώρισμα την ομαλή σύζευξη και τη λειτουργία των επονομαζόμενων δίπολων «της καινοτομίας και της ηθικής» (innovation - ethics), «του αυτοματισμού και της αυτονομίας» (automation - autonomy), «της δια σύνδεσης των δεδομένων», «της προστασίας της ιδιωτικής ζωής», αλλά και «της διαφύλαξης όλων των προσωπικών δεδομένων» (interconnectivity -privacy). (Hosafci, 2025).

Η διαφάνεια των πληροφοριών αναφέρεται κατά βάση στην ικανότητα όλων των πληροφοριακών συστημάτων να διαμορφώνουν «ένα εικονικό αντίγραφο του φυσικού κόσμου» (virtual replica of the physical world), με αποτέλεσμα να εμφανίζονται και τα «ψηφιακά μοντέλα των συστημάτων παραγωγής» (digital plant models) και να εκτελείται η «συγκέντρωση» όλων των πρωτογενών δεδομένων που προέρχονται από τους αισθητήρες (raw sensor data), γεγονός που επιτρέπει και τη διαμόρφωση του επονομαζόμενου «πληροφοριακού πλαισίου μιας πολύ ανώτερης ποιότητας». (Calcetero, 2018).

Ως «digital plant (ψηφιακό εργοστάσιο), που είναι γνωστό και ως «digital factory» ή ως «smart manufacturing» (ευφυής βιομηχανική παραγωγή), ορίζεται η βιομηχανική λειτουργία που εστιάζει κατά βάση στη ψηφιοποίηση και στην αυτοματοποίηση της παραγωγής, αλλά και της επιχειρηματικής διαχείρισης. Μέσω της ενοποίησης των συστημάτων και του ανθρώπινου δυναμικού μιας επιχείρησης, το «digital plant» επιτρέπει τον περισσότερο αποδοτικό προγραμματισμό (efficient planning), τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων (informed decision-making), την ενίσχυση του βαθμού της λειτουργικής απόδοσης (enhanced operational performance), τα οποία συνήθως δε γίνονται μέσω των συμβατικών πρακτικών. Τα επονομαζόμενα «Digital Plant Services –DPS» (εικόνα 222) αξιοποιούν ένα τεχνολογικό «stack» για την ανάπτυξη πλήρως εξατομικευμένων προτάσεων που βελτιστοποιούν και αυτοματοποιούν τη βιομηχανική λειτουργία και την παραγωγή στο ευρύτερο πλαίσιο του ψηφιακού μετασχηματισμού. Οι εν λόγω υπηρεσίες ενσωματώνουν τις προηγμένες αναλύσεις

δεδομένων, μέσω της συγκέντρωσης και της ανάλυσης των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, τα οποία προέρχονται από διάφορες πηγές, όπως είναι οι συσκευές IIoT, τα PLC και οι «ψηφιακές φόρμες» (digital forms). (Brodeur, 2024).

Η υιοθέτηση της ψηφιοποίησης και των τεχνολογιών αιχμής, συνεπάγεται ένα υψηλό επίπεδο διαφάνειας και αξιοπιστίας κάθε σταδίου και κάθε τμήματος της παραγωγής. Οι επιχειρήσεις σήμερα διαθέτουν μια σημαντική πλειάδα διαθέσιμων δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (real-time data), γεγονός που τους επιτρέπει να έχουν πρωτοφανή ορατότητα κάθε σταδίου της παραγωγής, ξεκινώντας από την παραλαβή των πρώτων υλών και φτάνοντας έως την παράδοση των τελικών προϊόντων. Η διαφάνεια των πληροφοριών οδηγεί και στην άμεση και έγκαιρη ανίχνευση των εμπονομαζόμενων «σημείων της » (bottlenecks) και των αδυναμιών της παραγωγής διαδικασίας, καθώς οι εργαζόμενοι ρυθμίζουν ορισμένες παραμέτρους και διαμορφώνουν έτσι βέλτιστα τα χρονοδιαγράμματα της παραγωγής και επίσης μπορούν να απλοποιούν άμεσα τη λειτουργία, ενώ εντοπίζουν και αντιμετωπίζουν προβλήματα πριν αυτά κλιμακωθούν, γεγονός που επιφέρει ένα πολύ υψηλό επίπεδο ορατότητας. (Ghosh, 2023).



Εικόνα 222. Digital Plant Services –DPS.

(πηγή: <https://www.mol-it.com/Solutions/Digital-Platform-Services>).

Η δυνατότητα πρόσβασης σε δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, διευκολύνει τους εργαζομένους μιας επιχείρησης να μπορούν να έχουν ανά πάση στιγμή πρόσβαση σε σημαντικές πληροφορίες για όλες τις διεργασίες της παραγωγής, γεγονός που συμβάλει και στη διατήρηση ενός υψηλού βαθμού απόδοσης, αλλά συντελεί και στην

ελαχιστοποίηση του χρόνου της ενδεχόμενης αναστολής της λειτουργίας των μηχανημάτων / εξοπλισμού (minimise downtime). Η διαφύλαξη των εννοιών των «transparency & accountability», καλλιεργεί το «πνεύμα της υπευθυνότητας» και εξασφαλίζει την παροχή καίριων δεδομένων αναφορικά με το βαθμό της απόδοσης και τα επίπεδα της δυναμικής ισχύος της παραγωγής (productivity). (Ghosh, 2023).

Το Industry 4.0 εγκαινιάζει μια νέα περίοδο ως προς την «υπεύθυνη διαχείριση των αλυσίδων εφοδιασμού» (accountability in supply chains), καθώς οι επιχειρήσεις μπορούν να ελέγχουν άμεσα και αποτελεσματικά τα στοιχεία της προέλευσης των πρώτων υλών που χρησιμοποιούν (origin of raw material). Ο υψηλός βαθμός της διαφάνειας βοηθά τις επιχειρήσεις να διασφαλίζουν ότι οι πρώτες ύλες διατίθενται από προμηθευτές που ασπάζονται τα επονομαζόμενα «ηθικά πρότυπα προέλευσης» (ethically sourced) και στοχεύουν στη διατήρηση όλων των υψηλών προδιαγραφών της ποιότητας, ενώ αυτό μπορεί να αποτρέψει και το φαινόμενο της επονομαζόμενης «εργασιακής εκμετάλλευσης» (labour exploitation) και να διασφαλίσει την προστασία όλων των δικαιωμάτων του εργατικού δυναμικού (human rights). (Ghosh, 2023).

Η τεχνική υποστήριξη ορίζεται ως η ικανότητα των συστημάτων της υποστήριξης (assistance systems) να μπορούν να παρέχουν άμεσα και έγκαιρα την απαραίτητη βοήθεια στο ανθρώπινο δυναμικό, μέσω «της συγκέντρωσης και της αναλυτικής παρουσίασης των πληροφοριών» (aggregating & visualising information), ώστε να ακολουθήσει μετά η λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων και να αντιμετωπίζεται με ευκολία η επίλυση διάφορων έκτακτων ζητημάτων ή δυσχερειών σε μικρό σχετικά απαιτούμενο χρόνο διεκπεραίωσης. Η τεχνική υποστήριξη αναφέρεται και στην ικανότητα των CPS να υποβοηθούν με ευκολία το ανθρώπινο δυναμικό, μέσω της ανάληψης και της διαχείρισης πολλών διαφορετικών καθηκόντων, μιας και η λήψη των αποφάσεων από τα CPS χαρακτηρίζεται ως «αποκεντρωμένη» (decentralised), καθώς αυτές οι αποφάσεις εκτελούνται με «υψηλή αυτονομία και ανεξαρτησία» (autonomously & independently). (Calcetero, 2018).

Οι τεχνικές της «κεντρικής και της αποκεντρωμένης διαχείρισης» για τη διοίκηση, την καθοδήγηση, τη λήψη αποφάσεων εντός του οργανωτικού και του επιχειρηματικού πλαισίου λειτουργίας μιας ορισμένης επιχείρησης, διαμορφώνονται κυρίως βάσει του αντίστοιχου μεγέθους της. Μέσω της «αποκεντρωμένης λήψης

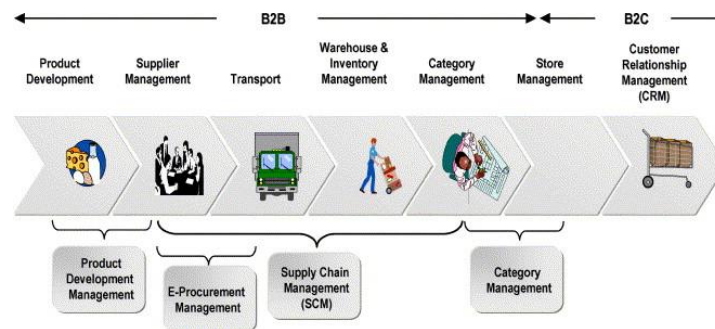
αποφάσεων» συντελείται με το βέλτιστο δυνατό και άμεσο τρόπο η ανάθεση πολλών διαφορετικών καθηκόντων από τα «ανώτερα διοικητικά στελέχη, στα κατώτερα ιεραρχικά επίπεδα» (lower-level managers). (Panou, 2018).

Ο όρος «αποκεντρώση» (decentralisation) στο Industry 4.0 υποδηλώνει ότι τα μηχανήματα δεν απαιτούν να υπάρχει η «ανθρώπινη παρέμβαση», καθώς τα απτά / φυσικά συστήματα έχουν ενσωματωμένους αισθητήρες που συνδέονται σε κάποιο δίκτυο, γεγονός που τους επιτρέπει να μπορούν να προβούν στη δόκιμη λήψη «αυτοματοποιημένων αποφάσεων» (automated decisions) βάσει των δεδομένων που αφορούν τις τιμές του βαθμού της επίδοσης (performance data). (Stefanini, 2019). Στο Industry 4.0, «η συγκέντρωση, η επεξεργασία και η ανάλυση των δεδομένων», τα οποία προέρχονται από διαφορετικές πηγές, διευκολύνει σημαντικά τη διαδικασία της λήψης δόκιμων αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο, παρέχοντας υψηλότερη ευελιξία και κινητικότητα στην επονομαζόμενη «αλυσίδα της αξίας» (value chain), όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 223. (Hoffmann Souza, Costa, Ramos, & Righi, 2020).

Σύμφωνα με τους Al-Mudimigh et al., (2004), η «διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας» (Supply chain management - SCM) αποτελεί μείζον ζήτημα σε πολλούς κλάδους, καθώς οι επιχειρήσεις αρχίζουν να συνειδητοποιούν πόσο σημαντική είναι η δημιουργία μιας «ενοποιημένης σχέσης συνεργασίας» (integrated relationship) με τους προμηθευτές, τους πελάτες τους και με όλους τους εμπλεκόμενους φορείς. Το SCM αναγνωρίζεται στο σήμερα ως βασικό μέσο βελτίωσης της ανταγωνιστικότητας και της παραγωγικότητας, επιτρέποντας και την ενίσχυση του βαθμού εξυπηρέτησης των πελατών μιας επιχείρησης, ενώ η έννοια της «διαχείρισης της αλυσίδας αξίας» (Value Chain Management - VCM) αποκτά όλο και μεγαλύτερη σημασία στον τομέα της βιομηχανικής παραγωγής (εικόνα 224). (Al-Mudimigh et al., 2004). Τα δεδομένα που συλλέγονται οδηγούν στη βέλτιστη διαχείριση του μηχανολογικού εξοπλισμού και των συσκευών, ενώ οι λήψεις των αποφάσεων πραγματοποιούνται με τη βοήθεια των επονομαζόμενων «μαθηματικών και υπολογιστικών μοντέλων» (mathematical & computational models). (Hoffmann Souza, Costa, Ramos, & Righi, 2020).

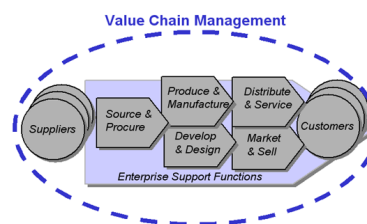
Τα «mathematical & computational models» βασίζονται στο σύνολο των δεδομένων που συλλέγονται / διαμορφώνονται (generated data), για να πραγματοποιήσουν τεκμηριώμενες λήψεις αποφάσεων βάσει των δεδομένων. Αυτό συντελεί και στην

ενίσχυση της απόδοσης της παραγωγής και έτσι όλοι οι καταναλωτές μπορούν να έχουν πρόσβαση σε προϊόντα και υπηρεσίες με υψηλή ποιότητα, ενώ μέσω αυτού επιτυγχάνεται και ένα υψηλότερο επίπεδο αναφορικά με την εξυπηρέτηση και την ικανοποίηση εκ μέρους των καταναλωτών. (Hoffmann Souza, Costa, Ramos, & Righi, 2020). Η φιλοσοφία του Industry 4.0 υπερβαίνει τις συμβατικές δυνατότητες των μηχανημάτων και των προϊόντων μέσω της αξιοποίησης του διαδικτύου, μιας και περικλείει ένα ευρύ σύνολο τεχνολογιών αιχμής, όπως είναι τα «digital twins», AI, «ασύρματα δίκτυα υψηλών ταχυτήτων», «καθοδηγούμενα ενσύρματα δίκτυα», cloud computing, edge computing και οι τεχνολογίες οπτικοποίησης (virtualization) μέσω της χρήσης του AR. (Winter, 2022). Είναι δόκιμο όμως να γίνει αναφορά και στους όρους «Mathematical optimisation – MO» και «Industrial Mathematics – IM».



Εικόνα 223. Extending the concept of supply chain: effective management of value chains.

(πηγή: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925527303002548>).



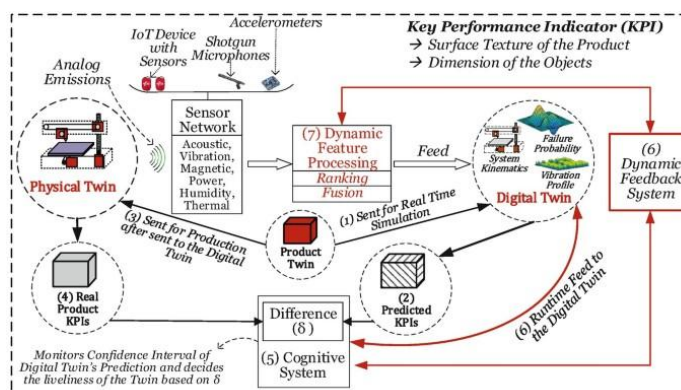
Εικόνα224. Value Chain Management – VCM.

(πηγή: <https://www.operationalexcellence.net/value-chain-management/>).

Ως «Mathematical optimisation» (MO) προσδιορίζεται το σύστημα των μεθόδων της μαθηματικής ανάλυσης (prescriptive analytics technique) που επιτρέπει στις

επιχειρήσεις να επιλύουν με ευκολία διάφορα πολύπλοκα επιχειρησιακά ζητήματα, ενώ το «Industrial Mathematics» (IM) αναφέρεται στην αξιοποίηση της επιστήμης των μαθηματικών ως το πιο σημαντικό μέσο επίλυσης πραγματικών προκλήσεων ή προβλημάτων ευρείας κλίμακας (real-world problems) στο πλαίσιο λειτουργίας της βιομηχανικής παραγωγής. Η λειτουργία του IM έγκειται στην μετατροπή όλων των δεδομένων του υπαρκτού κόσμου (real-world data) υπό τη μορφή ενός ιδιότυπου μοντέλου (model), όπου η επίλυση αυτού του μοντέλου γίνεται με τη βοήθεια των «υπολογιστικών δυνατοτήτων» και η ανάπτυξη του πραγματοποιείται μέσω των «commercially supported» ή των «cloud-based λογισμικών». Οι περισσότερες IM τεχνικές περιλαμβάνουν τη επονομαζόμενη «μαθηματική βελτιστοποίηση», την «προσομοίωση» και την «προηγμένη ανάλυση δεδομένων» (advanced analytics), ενώ παραδείγματα τεχνολογιών που αξιοποιούν το IM στους τομείς της παραγωγής είναι τα digital twins, τα συστήματα προσομοίωσης και το AI. (Sathasivam, 2025).

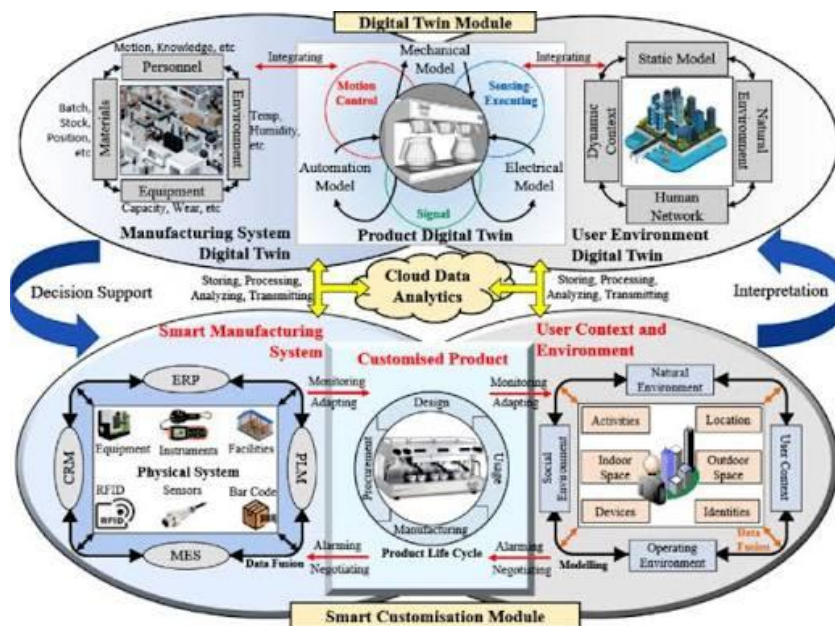
Ο όρος «digital twin» (ψηφιακό δίδυμο) αναφέρεται σε μια «λεπτομερή εικονική» (virtual) αναπαράσταση ενός συστήματος, δηλαδή σε μια «ρεαλιστική μορφή / δομή και ακριβή αποτύπωση» των υπαρκτών συνθηκών της λειτουργίας ενός πραγματικού περιβάλλοντος παραγωγής και μάλιστα σε πραγματικό χρόνο (real-time status). Η τεχνολογία των digital twins (εικόνα 225) ενισχύει τη λειτουργική απόδοση μιας επιχείρησης, διευκολύνει τις διαδικασίες της συντήρησης (predictive maintenance) και επιτρέπει την πραγματοποίηση «προσομοιώσεων» σε πραγματικό χρόνο (real-time simulations) για τη λήψη βέλτιστων αποφάσεων, αλλά και τη δόκιμη διαχείριση πολλών διαφορετικών κινδύνων / δυσχερειών (risk management). (Akbar, 2023).



Εικόνα 225. Τα digital twins.

(πηγή: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-37962-9_7).

Τα digital twins (εικόνα 226) επιτρέπουν την ενοποίηση των ψηφιακών και των φυσικών / απτών συστημάτων (digital & physical integration), μειώνοντας στο ελάχιστο το λειτουργικό κόστος, αλλά και ενδυναμώνοντας το συνολικό βαθμό της απόδοσης, μέσω της διαμόρφωσης των επονομαζόμενων «real-world scenarios», τα οποία ορίζονται ως τα υποθετικά σενάρια που βασίζονται σε ρεαλιστικά δεδομένα, έχουν μεγάλη ακρίβεια και σκιαγραφούν καταστάσεις ή δυσμενείς συνθήκες που ίσως προκύψουν μελλοντικά στην παραγωγή. (Akbar, 2023).



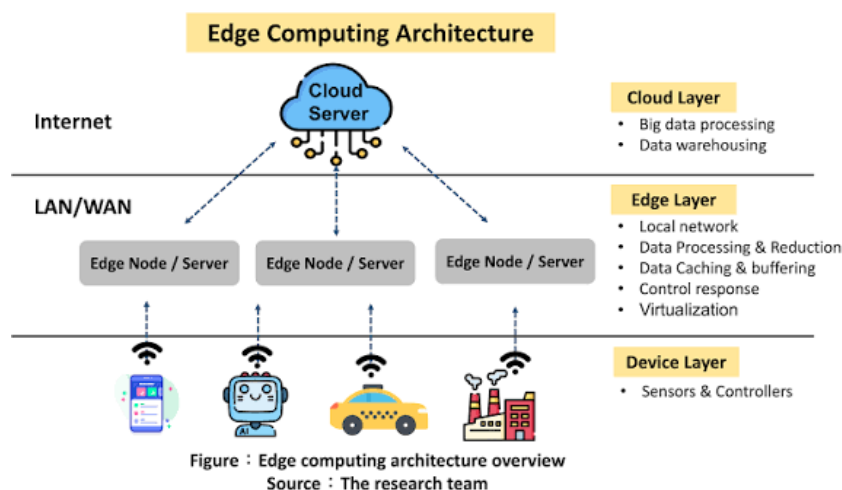
Εικόνα 226. Τα digital twins.

(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Data-driven-smart-customisation-framework-based-on-the-digital-twin_fig1_343673679).

Το edge computing είναι μια μορφή της επονομαζόμενης «distributed information technology – IT», στην οποία η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιείται περιφερειακά του δικτύου (periphery of network ή edge) και η εν λόγω διαδικασία συνεπάγεται τη μετακίνηση ενός μεριδίου των αποθηκευτικών ή υπολογιστικών πόρων (storage & computing resources) ενός νέου «centralized data center», δηλαδή τα δεδομένα που συλλέγονται βρίσκονται εγγύτερα στο σημείο προέλευσης τους (data origin). Το edge computing (εικόνα 227) αποτελεί μια ειδική κατηγορία του «data computing», στο οποίο τα δεδομένα διανέμονται σε ένα δίκτυο που απαρτίζεται

από «decentralised data centres» και διαδοχικά επιλέγονται ορισμένα στοιχεία για να αποθηκευτούν στο τοπικό δίκτυο. (Andrieiev, n.d.).

Σε αντίθεση με τα συμβατικά «cloud solutions» που αποθηκεύουν τα δεδομένα σε απομακρυσμένα σημεία (remote centres), τα «edge networks» αποθηκεύουν όλα τα δεδομένα σε «τοπικό χώρο αποθήκευσης» (local storage), γεγονός που επιτρέπει την αρκετά πιο εύκολη πρόσβαση σε αυτά, αλλά και τη δόκιμη αξιοποίηση τους. Στο cloud computing τα αιτήματα της παροχής των δεδομένων αποστέλλονται αρχικά σε «data center» και υποβάλλονται σε επεξεργασία, ενώ μετά επανέρχονται στο «local network». Στο edge computing δεν απαιτείται η δημιουργία των επονομαζόμενων «request loop» και έτσι εξαλείφεται η ανάγκη της έγκρισης των απομακρυσμένων «data centers», ενώ τα «local devices» επιτρέπουν την ανάπτυξη / παροχή δεδομένων σε «εκτός δικτύου» (offline) λειτουργία, παρέχοντας την επονομαζόμενη «μειωμένη απαιτούμενη κίνηση του εύρους ζώνης» (bandwidth traffic). (Andrieiev, n.d.).



Εικόνα 227. Το edge computing.

(πηγή: <https://www.fsp-group.com/en/knowledge-app-42.html>).

Συγκρίνοντας το cloud με το edge computing (εικόνα 228), επισημαίνεται πως αν και τα δύο στοχεύουν στην αποτροπή της αποθήκευσης των δεδομένων σε ένα «μεμονωμένο κέντρο αποθήκευσης των δεδομένων» (single - centre data storage) και στην κατανομή τους σε διαφορετικές τοποθεσίες (multiple locations), η κύρια διαφορά τους σχετίζεται με τον τρόπο που γίνεται η αξιοποίηση των μηχανισμών της

αποθήκευσης των δεδομένων. Το cloud computing αξιοποιεί κατά βάση τα «remote data centers», ενώ το edge computing βασίζεται κυρίως στην αποθήκευση στα «local drives». Στο πλαίσιο της «δια σύνδεσης» ενός δικτύου μιας επιχείρησης με το δίκτυο κάποιου «τρίτου φορέα παροχής» (third-party provider), η «υποκύπτουσα θέση» συχνά αναφέρεται και ως «άκρη του δικτύου» (network edge) και το εν λόγω δίκτυο απαρτίζεται από πολλά διαφορετικά τμήματα, τα οποία εξαρτώνται άμεσα από την τεχνολογική υποδομή (infrastructure) του αντίστοιχου πάροχου. (Andrieiev, n.d.).

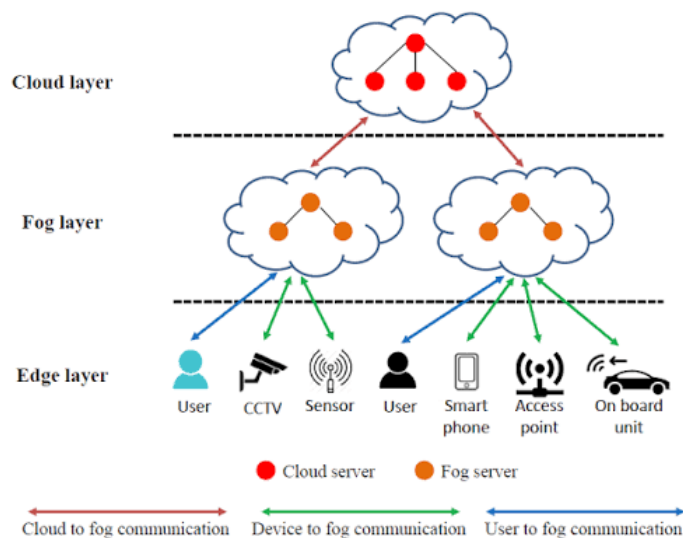
Feature	Edge Computing	Traditional Cloud Computing
Data Processing	Near data source (local)	Centralized data centers (remote)
Latency	Low latency, fast	High latency, slow
Real-Time Processing	Immediate processing	Delayed processing
Bandwidth Usage	Reduced bandwidth	Higher bandwidth
Decision-Making	Quick, local decisions	Slower, central decisions
Reliability	High, independent	Lower, cloud-dependent
Scalability	Local scalability, complex wide scale	Easy large-scale scalability
Security	Improved local security	Centralized security, more exposure
Costs	Lower for small deployments	Higher due to infrastructure maintenance
Best Use Cases	IoT, real-time analytics, autonomous	Large-scale storage, complex computations

Εικόνα 228. Οι διαφορές του cloud με το edge computing.

(πηγή: <https://siliconvalley.center/blog/edge-computing-revolutionizing-data-processing-in-iiot>).

Η αποθήκευση όλων των δεδομένων (ως διαδικασία) μπορεί να κατανέμεται σε «ασύρματα τοπικά δίκτυα» (wireless LAN), «εταιρικά τοπικά δίκτυα» (corporate LAN) και «ιδιωτικά δίκτυα» (private centers). Το γεγονός αυτό επισημαίνει πως το «network edge» αποτελεί μια νέα μορφή / βάση αποθήκευσης των δεδομένων που συνδυάζει την «τοπική αποθήκευση» (local storage) με την «απομακρυσμένη αποθήκευση σε τρίτους φορείς» (third-party remote storage). Το «network edge» είναι το πιο απομακρυσμένο τμήμα του δικτύου και αντιπροσωπεύει το σημείο σύνδεσης του δικτύου μιας επιχείρησης, το οποίο συνδέεται με το «infrastructure των third-party». (Andrieiev, n.d.). Η τεχνολογία του edge computing σχετίζεται με τις έννοιες των «cloud computing» και «fog computing». (Bigelow, 2021).

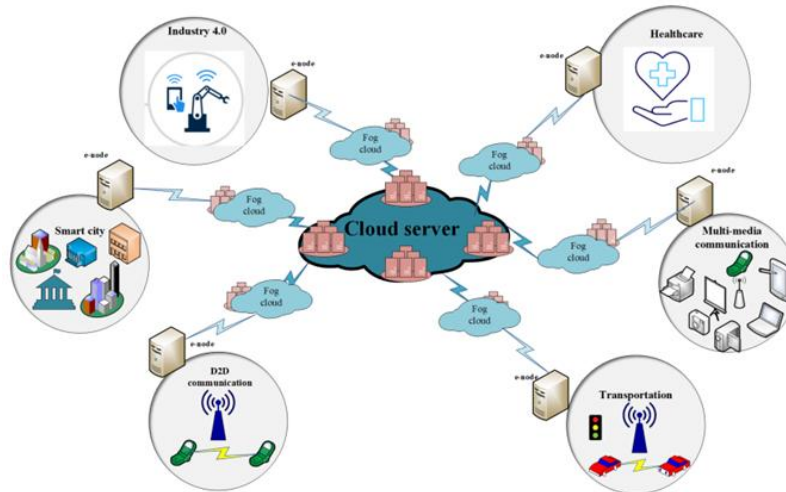
Το fog computing (εικόνες 229 και 230) αντιπροσωπεύει μια ειδική κατηγορία της «τεχνολογίας του υπολογιστικού νέφους» (cloud technology), εντός της οποίας τα δεδομένα που προκύπτουν από όλες τις «end devices» δεν αποθηκεύονται απευθείας στο cloud, μιας και υφίστανται μια διαδικασία «προ-επεξεργασίας» (preprocessed), για να διαμορφωθούν αρκετά, πολύ μικρότερα «decentralised data centres». Αυτό το εγχείρημα συνεπάγεται τη διαμόρφωση ενός «δικτύου που εκτείνεται κατά μήκος της περιφερειακής περιμέτρου του δικτύου», εντός του οποίου όλα τα δεδομένα που προκύπτουν είναι όσα συλλέγονται από τις IoT συσκευές και μετά καταλήγουν στο «τελικό σημείο της συλλογής των δεδομένων» (central data endpoint), που βρίσκεται σε «public cloud» (κοινόχρηστο) ή σε «private center» (ιδιωτικό). (IONOS, 2023).



Εικόνα 229. Το fog computing.

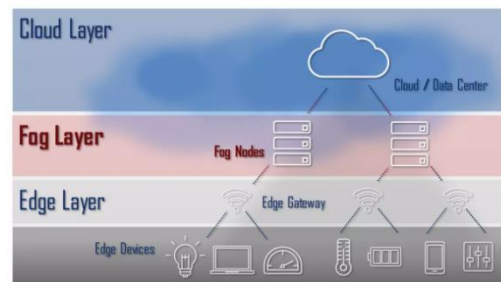
(πηγή: researchgate.net/figure/Three-layer-architecture-of-fog-computing_fig1_355671165?__cf_chl_tk=VsK2JeyASDgZ_0.twf.K6C_.S.cXcZUpXYiyI6_Xz.s-1787868352-1.0.1.1-2vbeKia25g.13pwwwB2QkZiNZYWsaplxOAdU4ifo_jo).

Το «fogging» αναφέρεται στη χρήση του cloud με κύριο στόχο τη σύντμηση των αποστάσεων που απαιτούνται για την «παροχή και τη διαβίβαση» των δεδομένων σε «εξωτερικά δίκτυα» (external networks). Τα επονομαζόμενα «fog nodes» (εικόνα 231) συνιστούν ένα ενδιάμεσο επίπεδο του δικτύου, στο οποίο επιλέγεται ποια από τα δεδομένα θα επεξεργαστούν τοπικά, ποια θα προωθηθούν στο cloud και ποια θα είναι αυτά που θα πρέπει να διαβιβαστούν στο «central data centre», για να γίνει εκ νέου η αξιολόγηση ή η επεξεργασία τους. (IONOS, 2023).



Εικόνα 230. Οι εφαρμογές του fog computing.

(πηγή: <https://medium.com/design-bootcamp/applications-of-fog-computing-7998d7e910d1>).



Εικόνα 231. Τα «fog nodes».

(πηγή: <https://www.ionos.co.uk/digitalguide/server/know-how/fog-computing/>).

Είναι δόκιμο να αναφερθεί πως η μελέτη του World Economic Forum και της εταιρείας McKinsey για το 2019 αποκαλύπτει πως αν και το 70% των σύγχρονων επιχειρήσεων αναγνωρίζει τη σημασία της ενσωμάτωσης των τεχνολογιών και των εφαρμογών του Industry 4.0, η πιθανότητα υιοθέτησης της εν λόγω προσέγγισης εντοπίζεται αποκλειστικά και μόνο στο 15% των επιχειρήσεων. (Gross, 2020). Ο όρος «Globalization 4.0», διατυπώνεται αρχικά από το Richard Baldwin στο πλαίσιο της ομιλίας του στο World Economic Forum το 2018 και αναφέρεται στην έννοια του φαινομένου της «Παγκοσμιοποίησης 4.0» (εικόνα 232), το οποίο σκιαγραφεί μια

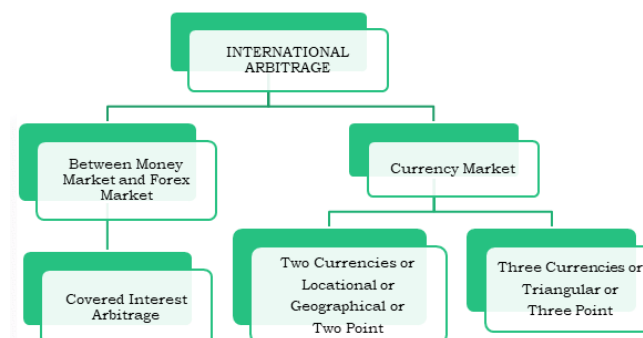
επικείμενη χρονική περίοδο που έχει ως γνώρισμα την επικράτηση του φαινομένου του επονομαζόμενου «International Arbitrage». (Forslid & Baldwin, 2020).



Εικόνα 232.Ο όρος «Globalization 4.0».

(πηγή: <https://www.weforum.org/stories/technological-innovation/globalization-4-alternative-view-guy-standing/>).

Το «International Arbitrage» (εικόνα 233) αναφέρεται κατά βάση στην έννοια της επονομαζόμενης «εξισορροπητικής κερδοσκοπίας», η οποία ως φαινόμενο πραγματοποιείται σε παγκόσμιο επίπεδο ως κύριο αποτέλεσμα της παροχής των υπηρεσιών εκ μέρους των επιχειρήσεων. Το «Globalization 4.0» σκιαγραφεί «μια νέα εποχή έντονης διάσπασης», η οποία διαμορφώνεται από το συγκερασμό του της επικράτησης φαινομένου της «Παγκοσμιοποίησης» (εικόνα 234) με τη συνεχή εξέλιξη και την υψηλή ενσωμάτωση της τεχνολογίας και των εφαρμογών της ρομποτικής στους περισσότερους τομείς της παγκόσμιας παραγωγής. Ο εν λόγω συγκερασμός προσδιορίζεται συνήθως ως «Globotics Upheaval», καθώς σκιαγραφεί την επικείμενη χρονική περίοδο της επονομαζόμενης «παγκόσμιας ρομποτικής ανατροπής» (εικόνα 235). (Forslid & Baldwin, 2020).



Εικόνα 233. Το «International Arbitrage».

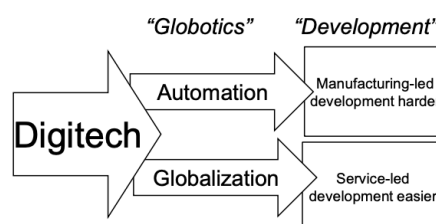
(πηγή: <https://edurev.in/t/371026/ugc-net-commerce-notes-international-arbitrage-capital-budgeting>).

Ο όρος «Globotics Upheaval» αναφέρεται στην αντικατάσταση του ανθρώπου από τα ρομπότ (προσδιορίζεται ως η φιλοσοφία της προώθησης της έννοιας των «globotics & development»), η οποία συνεπάγεται κατά βάση την «αποδυνάμωση» της μεθόδου του «διαρθρωτικού μετασχηματισμού των αναπτυσσόμενων οικονομιών» (traditional path of structural transformation). Ήδη από τη δεκαετία του 1950 η βασική θεωρία της επιχειρηματικής ανάπτυξης εστιάζει στο «industrialisation» (εκβιομηχανισμός) ως μια σημαντική παράμετρος του ρυθμού ανάπτυξης. (Forslid & Baldwin, 2020).



Εικόνα 234. Globalization 4.0: Evolution or Revolution?

(πηγή: <https://globalchallenges.ch/issue/3/>).

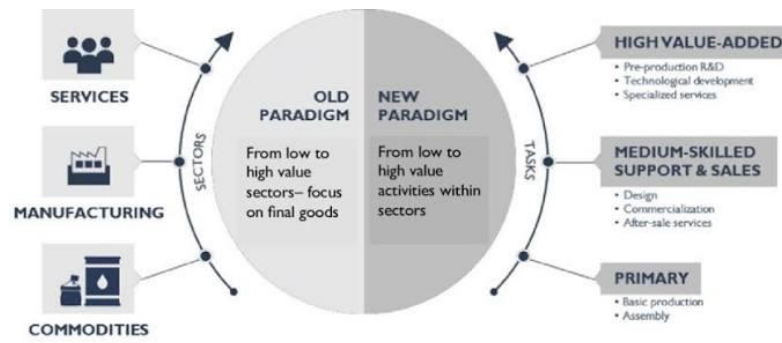


Εικόνα 235. «Globotics Upheaval».

(πηγή: <https://www.ceris.be/blog/covid-19-globotics-and-development/>).

Η Κίνα αντιπροσωπεύει το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα του «υποδείγματος ή του μοντέλου εμπορίου και ανάπτυξης» (trade-and-development paradigm) σε παγκόσμιο επίπεδο (εικόνα 236), το οποίο αναφέρεται στο κύριο οικονομικό και θεωρητικό

υπόβαθρο που επισημαίνει πως το διεθνές εμπόριο είναι σημαντικός παράμετρος της οικονομικής ανάπτυξης και του περιορισμού των επιπέδων της φτώχειας. (Forslid & Baldwin, 2020). Η Ινδία καταλαμβάνει επίσης ένα σημαντικό μέρος του παγκόσμιου διαλόγου περί «της πολιτικής και του επιστημονικού προβληματισμού» (policy & scholarly discourse), κατά βάση λόγω της ύπαρξης των υψηλών ποσοστών των εμπονομαζόμενων «εξαγωγών των υπηρεσιών της Ινδίας» (India's service exports). (Forslid & Baldwin, 2020) (India Brand Equity Foundation, n.d.).



Εικόνα 236. Rise of GVCs: old versus new paradigm for development.

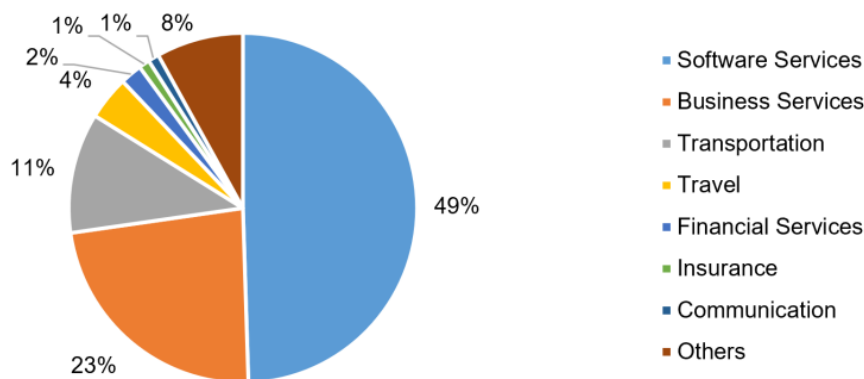
(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Rise-of-GVCs-Old-versus-New-Paradigm-for-Development_fig1_322339389).

Η έννοια των «India's service exports» (εικόνα 237) σχετίζεται με την πώληση άυλων υπηρεσιών από τις Ινδικές επιχειρήσεις και τους εργαζομένους σε πελάτες που βρίσκονται σε άλλες χώρες ανά τον κόσμο, αποφέροντας έτσι σημαντικό ξένο συνάλλαγμα (εισροή σημαντικών εσόδων από άλλες χώρες) στην Ινδική οικονομία. Οι κύριοι τομείς των εξαγωγών παρατηρούνται στους εξής τομείς:

- «Πληροφορική και παροχή λογισμικών (IT-BPM)»: αφορά σχεδόν το 50% των συνολικών εξαγωγών των υπηρεσιών, περιλαμβάνοντας την ανάπτυξη λογισμικού και την τεχνική υποστήριξη
- «Επαγγελματικές υπηρεσίες»: το οποίο περιλαμβάνει κατά βάση τη νομική, τη λογιστική, τη συμβουλευτική διοίκησης και την έρευνα-ανάπτυξη (R&D)
- «Ταξίδια και μεταφορές»: αναφέρεται σε υπηρεσίες που σχετίζονται κατά

βάση με τον τουρισμό, τις αερομεταφορές και τη ναυτιλία

- «Χρηματοοικονομικά και ασφάλειες»: αναφέρεται στις τραπεζικές και στις ασφαλιστικές εργασίες που προωθούνται (ως υπηρεσίες) στο εξωτερικό.
- «Παράγοντες επιτυχίας και εξειδικευμένο δυναμικό»: το οποίο αναφέρεται στη διαθεσιμότητα των πτυχιούχων με άριστη γνώση της αγγλικής γλώσσας
- «Ανταγωνιστικό κόστος»: σχετίζεται με την προσφορά πολλών διαφορετικών υπηρεσιών υψηλής ποιότητας σε χαμηλότερο οικονομικό κόστος συγκριτικά με τις χώρες της Ε.Ε και των Η.Π.Α. (India Brand Equity Foundation, n.d.).



Εικόνα 237. India's service exports.

(πηγή: <https://www.ibef.org/exports/services-industry-india>).

Οι αλλαγές που προκαλούν την άνθηση των «India's service exports» είναι κατά βάση αποτέλεσμα των εξής παραμέτρων:

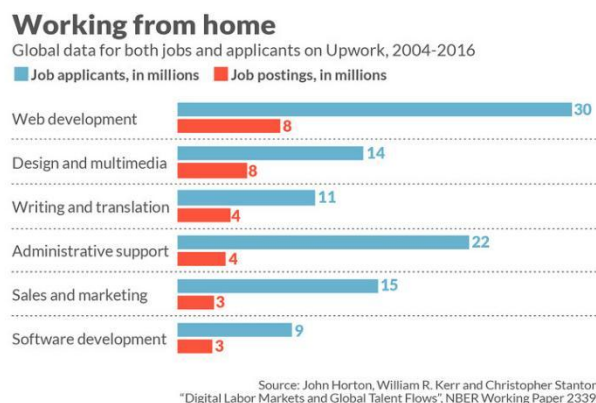
- της ανάπτυξης των εμπορικών συναλλαγών μέσω της παροχής υπηρεσιών (με ταχύτερο ρυθμό σε σχέση με αυτού των προϊόντων, ενώ σύμφωνα με το World Trade Report για το 2019, η εμπορία των προϊόντων έχει ένα ετήσιο ρυθμό της τάξεως του 4,6% και οι υπηρεσίες αντιστοιχούν στο ποσοστό του 5,4%)
- της ανάπτυξη της φιλοσοφίας του «telemigration», που παρουσιάζεται στην εικόνα 238 (τα G7 έθνη διαθέτουν εργαζομένους που εργάζονται από το σπίτι και σε απομακρυσμένες τοποθεσίες – «remote workers»- οι οποίοι που εκτελούν ένα

σύνολο πολλών διαφορετικών καθηκόντων)

- της αντικατάστασης των ανθρώπων από τα επονομαζόμενα «white - collar robots», (μιας και τα «virtual agents», τα «chatbots», οι εφαρμογές των «robotic process automation», αντικαθιστούν τους εργαζόμενους με έδρα την Ινδία με τα «local software robots»). (Forslid & Baldwin , 2020).

Τα «white - collar robots» , δηλαδή τα επονομαζόμενα «ρομπότ γραφείου ή ρομπότ λευκού κολάρου» αποτελούν προγράμματα λογισμικού ή AI συστήματα και εργαλεία αυτοματισμού, τα οποία αξιοποιούνται για να αναλάβουν καθήκοντα που απαιτούν «πνευματική εργασία», η οποία παραδοσιακά γίνεται από τους εργαζόμενους εντός των επιχειρήσεων (εικόνα 239). Τα «white - collar robots» αξιοποιούνται για τα εξής:

- διαχείριση δεδομένων: όπου αυτά χρησιμοποιούνται για να συλλέγουν, να αναλύουν και να οργανώνουν με δόκιμο τρόπο ένα μεγάλο όγκο δεδομένων
- αυτοματισμός των εργασιών: όπου αυτά αναλαμβάνουν κατά βάση τις επαναλαμβανόμενες διαδικασίες, όπως είναι η διαμόρφωση αναφορών βάσει των δεδομένων που συλλέγονται, έλεγχο αρχείων και εγγράφων, αλλά και την εξυπηρέτηση των πελατών με τη βοήθεια των chatbots
- λήψη δόκιμων αποφάσεων: όπου αυτά πραγματοποιούν προβλέψεις και προτείνουν λύσεις σε τομείς, όπως είναι η νομική, η λογιστική και η ανάλυση της δυναμικής και των καταναλωτικών τάσεων της παγκόσμιας αγοράς. (PBS NewsHour, 2015).



Εικόνα 238. Η φιλοσοφία του «telemigration».

(πηγή: <https://www.marketwatch.com/story/telemigrants-are-coming-for-your-white-collar-job-and-a-wall-wont-stop-them-2019-02-25>).

Αναφορικά με τις κύριες διαφορές των «white - collar robots» με τα περισσότερα παραδοσιακά ρομπότ, επισημαίνεται πως τα «white - collar robots» δεν αποτελούν τεχνολογικά εργαλεία ή εφαρμογές που βρίσκονται μέσα στις επιχειρήσεις ή στα εργοστάσια, δηλαδή δεν αποτελούν τα επονομαζόμενα «blue-collar robots» (εικόνα 240), μιας και αντιπροσωπεύουν μια μορφή κώδικα και εφαρμογών που υπάρχουν εντός των υπολογιστικών συστημάτων. Τα «white - collar robots» (εικόνα 241) αξιοποιούνται σε θέσεις εργασίας γραφείου, για να αντικαταστήσουν δικηγόρους, δημοσιογράφους, λογιστές και διοικητικό προσωπικό, μιας και επεξεργάζονται ιδέες και κείμενο και όχι υλικά αντικείμενα. (PBS NewsHour, 2015).



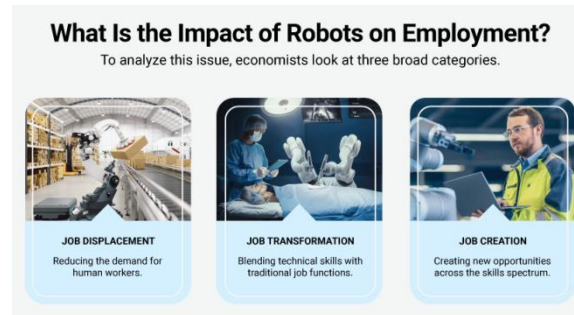
Εικόνα 239. White-Collar Jobs: AI, Automation, and the Future of Work.

(πηγή: <https://www.linkedin.com/pulse/50-white-collar-jobs-gone-2030-ai-automation-future-work-watson-kdvte>).



Εικόνα 240. Παράδειγμα της εφαρμογής των «blue-collar robots».

(πηγή: https://www.linkedin.com/posts/alvinfsc_proof-that-even-robots-can-find-their-groove-activity-7467953177158406144-0Xdc).



Εικόνα 241. Η επίδραση της ενσωμάτωσης της τεχνολογίας και των εφαρμογών της, αλλά και των «white - collar robots», στους τομείς της εργασίας.

(πηγή: <https://www.stlouisfed.org/open-vault/2024/sep/are-robots-helpers-or-substitutes-for-workers>).

Η εν λόγω συνθήκη σε συνδυασμό με τη μελέτη του World Economic Forum και της McKinsey (2019) για το Industry 4.0, υπογραμμίζει πως η αξιοποίηση του AI και των «ενοποιημένων συστημάτων» (integrated systems) στη διαχείριση των βιομηχανικών εγκαταστάσεων και των αποθηκών (industrial facilities & warehouses), κρίνεται συχνά αποθαρρυντική και έτσι αντιμετωπίζεται ως μια μη εφικτή προοπτική για την πλειοψηφία των επιχειρήσεων του κλάδου σε παγκόσμιο επίπεδο. (Gross, 2020).

4.6 Ο ψηφιακός μετασχηματισμός και το Industry 4.0

Ο ψηφιακός μετασχηματισμός του κλάδου των Γραφικών Τεχνών - Εκτυπώσεων (digital transformation in manufacturing) και η υψηλή ενσωμάτωση των Industry 4.0 τεχνολογικών καινοτομιών και εφαρμογών, προϋποθέτει και την υιοθέτηση ενός προμελετημένου πλαισίου δράσης που διαιρεί αυτό το εγχείρημα, σε διακριτά στάδια που είναι εύκολα και ευέλικτα ως προς τη διαχείριση. (Standing, 2019). Ο ψηφιακός μετασχηματισμός αποτελεί μια καθολική και διεξοδική πρόταση υλοποίησης ή μια βαθμιαία και κλιμακωτά (βήμα - βήμα) αναπτυσσόμενη πρόταση ενσωμάτωσης, όπου ως κύριοι καταλύτες αντιμετωπίζονται οι εφαρμογές λογισμικού και η φιλοσοφία της «ψηφιοποίησης» (digitalisation). Οι κύριοι άξονες του «digitalization» σχετίζονται με τη βέλτιστη λειτουργία των επιχειρήσεων, την ενίσχυση του βαθμού εξυπηρέτησης των πελατών και τη χρήση των big data, ενώ όπως και αναφέρεται στο κεφάλαιο 1, τα πιο σημαντικά παραδείγματα των εν λόγω τεχνολογιών είναι οι εφαρμογές της

κινητής τηλεφωνίας για τη διαχείριση του εργατικού δυναμικού πρώτης γραμμής, οι ρομποτικές τεχνολογίες της αυτοματοποίησης (RPA), τα ERP, η τρισδιάστατη εκτύπωση και η αυτοματοποίηση του «knowledge work». (Olmstead, 2022).

Ο ψηφιακός μετασχηματισμός στον κλάδο αντιστοιχεί σε συνολική αξία στο ποσό των 263 δισεκατομμυρίων δολαρίων για το 2020 και αναμένεται να παρουσιάσει τα επόμενα έτη CAGR της τάξεως του 19,48%, γεγονός που εκτιμάται στο ποσό των 767 δισεκατομμυρίων δολαρίων ως το 2026. Η φιλοσοφία του «digitalisation μιας επιχείρησης» σχετίζεται με την αυτοματοποίηση των επαναλαμβανόμενων εργασιών (repetitive tasks) μέσω του RPA, τη διαχείριση των frontline employees μέσω των mobile εφαρμογών, την υιοθέτηση της 3D εκτύπωσης για τη δημιουργία πρωτοτύπων (rapid prototyping) ή για την παραγωγή πολλών εργασιών βάσει εξατομικευμένων προδιαγραφών (customization) ή και μέσω των επονομαζόμενων «ολιστικών και ενοποιημένων ERP» (comprehensive ERP) που επιτρέπουν για την άμεση διαχείριση όλων των πόρων, των υλικών και των λειτουργιών της παραγωγής. (Antino, 2025).

Ένα «comprehensive ERP» (εικόνα 242) αποτελεί μια ενιαία πλατφόρμα λογισμικού που μπορεί να ενοποιεί και να διαχειρίζεται με το βέλτιστο δυνατό τρόπο, τις επιχειρηματικές διεργασίες και τις παραγωγικές διαδικασίες μιας επιχείρησης, καθώς αυτό μπορεί να συγκεντρώνει όλα τα δεδομένα σε μία κεντρική βάση δεδομένων, παρέχοντας μια «κοινή και αξιόπιστη πηγή δεδομένων»(single source of truth) για όλα τα τμήματα σε πραγματικό χρόνο. Κάθε «comprehensive ERP» αφορά τα εξής:

- οικονομική διαχείριση (όπως τις εργασίες που σχετίζονται με το λογιστήριο, την τιμολόγηση, τις χρηματοοικονομικές ροές)
- διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας και των αποθεμάτων, των προμηθειών, των logistics και των παραγγελιών
- διαχείριση παραγωγής (όπου το «MRP» αφορά τον προγραμματισμό της παραγωγής, τον έλεγχο των πρώτων υλών και τη κοστολόγηση)
- εξυπηρέτηση πελατών (όπου το «CRM» αναφορικά με τις πωλήσεις και το μάρκετινγκ εστιάζει στην παρακολούθηση των αιτημάτων των πελατών, στο ιστορικό της επικοινωνίας με αυτούς και στην υποστήριξη τους)
- HRM (όπου γίνεται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο η μισθοδοσία και η διαχείριση του εργατικού δυναμικού προσωπικού, ενώ πραγματοποιούνται

αξιολογήσεις και προσδιορίζονται οι ώρες που αφορούν την εργασία κάθε εργαζόμενου σε ορισμένο χρονικό πλαίσιο). (9altitudes , 2025) (Microsoft, 2025) (Orderwise.co.uk, 2025) (Sap, 2026).

Το Industry 4.0 προσδιορίζεται ως ένα «ευφυές πλαίσιο παραγωγής επόμενης γενιάς» που επιτρέπει την αυτοματοποίηση και την ενοποίηση όλων των επεξεργασιών και των διαδικασιών της παραγωγής και της επιχειρηματικής λειτουργίας, με κύριο στόχο την εξάλειψη ή και την ελαχιστοποίηση των δυσχερειών που σχετίζονται με το σύνολο των συναλλαγών και τη λήψη αποφάσεων μέσω της ενσωμάτωσης των συστημάτων που προβαίνουν σε ευφυείς αποφάσεις και ενεργούν βάσει αυτών. Όπως ήδη αναφέρεται και ανωτέρω, κατά τη δεκαετία του 1960 εμφανίζεται το MRP που αναπτύσσεται για να περιορίσει τη δυσαναλογία μεταξύ των πωλήσεων και των λειτουργιών, εφαρμόζοντας ένα μεθοδικό πρόγραμμα σχετικά με τις προμήθειες και την παραγωγή των προϊόντων σύμφωνα με την αντίστοιχη ζήτηση και με τα χρόνια οι εξελίξεις στο πεδίο της διαχείρισης επιχειρησιακών πόρων επιτρέπουν την έλευση του ERP, το οποίο αξιοποιείται για να επιλυθούν όλες οι προκλήσεις στις οικονομικές και στις λογιστικές μονάδες, καθώς αυτό οδηγεί στην εναρμονισμένη σύγκλιση όλων των συναλλαγών, όλων των πρακτικών της «γενικής λογιστικής», αλλά και του συνόλου «των πληρωτέων και των εισπρακτέων λογαριασμών». (Standing, 2019).



Εικόνα 242. Η φιλοσοφία του «comprehensive ERP».

(πηγή: <https://orases.com/custom-erp-software/>).

Τα ERP (εικόνα 243) συντελούν στην επίτευξη του βέλτιστου βαθμού της απόδοσης και της ενοποίησης σε κάθε τομέα του Industry 4.0, μιας και αυτά συνδέουν μεταξύ τους τα διαφορετικά τμήματα της παραγωγής, τις διεργασίες και τα εμπλεκόμενα μέλη, δίδοντας υψηλή ορατότητα της αλυσίδας εφοδιασμού, γεγονός που οδηγεί και

στην αποτελεσματική διαχείριση των αποθεμάτων, στη δόκιμη διενέργεια των προγνωστικών ελέγχων για τη ζήτηση των προϊόντων, αλλά και στην οργάνωση των διαδικασιών παραγωγής. (Standing, 2019).



Εικόνα 243. Τα βασικά στοιχεία ενός ERP.

(πηγή: <https://www.techtarget.com/enterprise-software/definition/ERP-enterprise-resource-planning>).

Το σύνολο όλων των καινοτόμων τεχνολογιών (όπως είναι τα IoT, AI και Big Data), επιταχύνει σε μεγαλύτερο βαθμό τη διαδικασία της αναδιαμόρφωσης των ERP, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται και η ενοποίηση των δεδομένων, να εκτελείται άμεσα και έγκαιρα η ανάλυση τους σε πραγματικό χρόνο (real-time analytics) και να καταγράφεται ο μέγιστος βαθμός της αυτοματοποίησης. Το γεγονός επιτρέπει στις επιχειρήσεις, να προχωρούν σε δόκιμες λήψεις αποφάσεων, να διαχειρίζονται με τον καταλληλότερο τρόπο την παραγωγή και να οργανώνουν δοκίμως την επιχειρηματική τους λειτουργία. (YCS TechSoft, 2023). Τα CPS (εικόνα 244) συντελούν και στη δόκιμη αλληλεπίδραση των ψηφιακών και των απτών πεδίων, όπως γίνεται όταν οι υπολογιστικοί αλγόριθμοι οδηγούν τις μηχανολογικές διεργασίες. (Vilmate, 2023).

Όπως αναφέρεται και στο κεφάλαιο 1, σε κάθε CPS (εικόνα 245) υπάρχουν τα εξής:

- physical layer: το οποίο αναφέρεται σε υπαρκτά / απτά αντικείμενα ή σε φυσικές παραγωγικές μονάδες ή εγκαταστάσεις της παραγωγής
- digital layer: το οποίο ενσωματώνει όλους τους υπολογιστικούς αλγορίθμους, τα πρωτόκολλα της επεξεργασίας των πληροφοριών, αλλά και τα δεδομένα των συστημάτων που αποθηκεύονται στο cloud. (Vilmate, 2023).

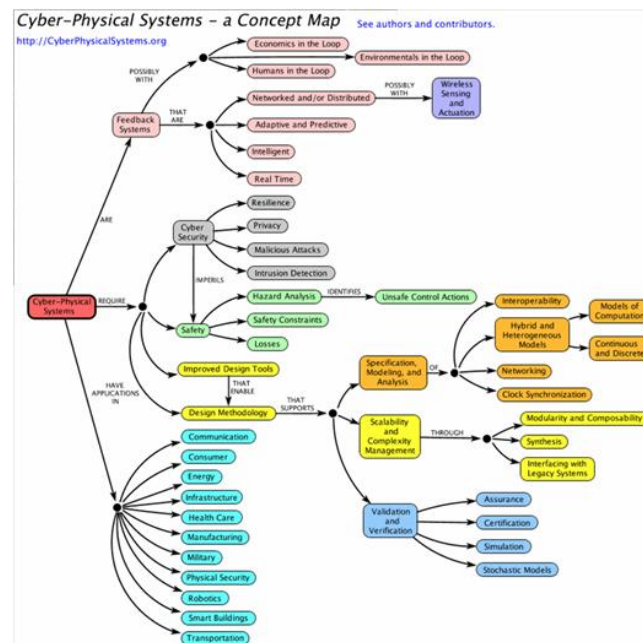
Η αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο διαφορετικών επιπέδων (layers) γίνεται μέσω της χρήσης των αισθητήρων και των μηχανισμών ελέγχου, ενώ η «αλληλεπίδραση του ανθρώπου – χειριστή» με το σύστημα (human-system interaction) συντελεί και στην άμεση εμπλοκή του χειριστή με το CPS. Τα CPS κατατάσσονται στα εξής είδη:

1. stationary συστήματα

- ενσωματώνονται σε ορισμένα συστήματα
- όπως σε εργοστάσια παραγωγής ή σε smart homes
- συνδέονται σε τοπικά δίκτυα
- είναι λιγότερο ευάλωτα σε κυβερνοεπιθέσεις

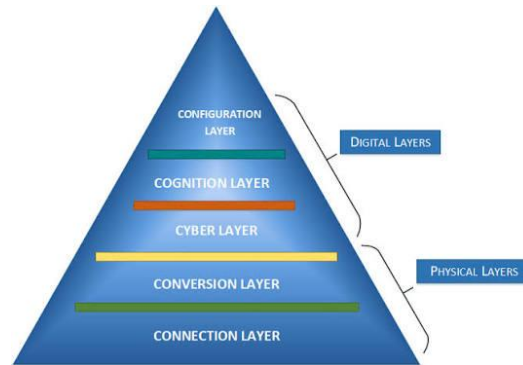
2. mobile συστήματα

- λειτουργούν καλύτερα σε οριοθετημένο χώρο
- στις περιπτώσεις των autonomous robots και των self-driving οχημάτων
- δυνατότητα σύνδεσης σε τοπικά, ασύρματα και cellular δίκτυα
- μειωμένη ασφάλεια και μεγαλύτερο κίνδυνο σε κυβερνοεπιθέσεις
- μπορούν να συλλέγουν και να διαμοιράζονται όλα τα δεδομένα ακόμη και σε απομακρυσμένες τοποθεσίες. (Vilmate, 2023).



Εικόνα 244. The concept map of CPS.

(πηγή: <https://ptolemy.berkeley.edu/projects/cps/>).



Εικόνα 245. Τα δύο επίπεδα που υπάρχουν σε κάθε CPS.

(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/C-architecture-of-a-Cyber-Physical-System_fig1_346143847).

4.7 Το AI και η Μηχανική Μάθηση στο Industry 4.0

Ο ρόλος του AI στην εξέλιξη των CPS κρίνεται πάρα πολύ σημαντικός, καθώς το AI συντελεί σε μια πρωτοφανή και απόλυτη αυτονομία, επιτρέποντας και τη μείωση του ποσοστού της αναγκαιότητας της ανθρώπινης παρέμβασης, ενώ η αξιοποίηση του AI και των αλγόριθμων του ML παρέχει στα CPS ένα «αρκετά πιο υψηλό επίπεδο νοημοσύνης» και ένα μεγαλύτερο βαθμό «ευέλικτης προσαρμογής» σε πολλές διαφορετικές μελλοντικές συνθήκες / σενάρια που μπορούν να επιλυθούν άμεσα και αποτελεσματικά βάσει της «κεκτημένης εμπειρίας» που αυτά αποκτούν μέσω των επακόλουθων «trial & error διεργασιών» της εκπαίδευσης των μοντέλων του ML. (Vilmate, 2023). Το ML (εικόνα 246) προσδιορίζεται ως η ικανότητα των μηχανών / υπολογιστικών συστημάτων να μπορούν «να μιμούνται την ανθρώπινη νοητική λειτουργία», ενώ τα συστήματα AI αξιοποιούνται για την εκτέλεση διάφορων σύνθετων εργασιών και λειτουργούν παρόμοια με το πώς οι άνθρωποι λύνουν τα ίδια προβλήματα. (Brown, 2021).

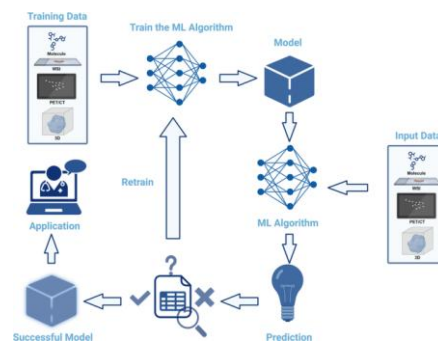
Το ML (εικόνες 247 και 248) προϋποθέτει τη συλλογή και την επεξεργασία ενός πολύ μεγάλου όγκου δεδομένων, τα οποία προέρχονται από τους αισθητήρες, τις οικονομικές εκθέσεις, τα στοιχεία των πωλήσεων, καθώς αυτά λειτουργούν ως τα «βασικά δεδομένα της εκπαίδευσης του ML μοντέλου». Οι προγραμματιστές προσδιορίζουν το επονομαζόμενο «ML μοντέλο εκπαίδευσης» (ML model) που θα αξιοποιηθεί ανά περίπτωση, παρέχουν τα δεδομένα και μετά επιτρέπουν στον

υπολογιστή να εκπαιδευτεί με αυτόνομο τρόπο πάνω στα δεδομένα και σταδιακά να μπορεί να είναι σε θέση να αναγνωρίσει κάποια μοτίβα ή να πραγματοποιήσει κάποιες προγνωστικές εκτιμήσεις. (Brown, 2021).



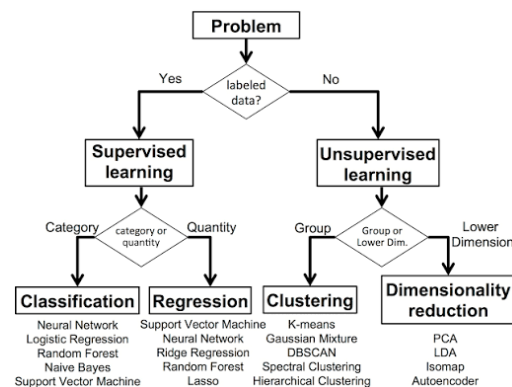
Εικόνα 246. Η φιλοσοφία του ML.

(πηγή: <https://stl.tech/blog/introduction-to-machine-learning-and-its-applications/>).



Εικόνα 247. Η εκπαίδευση ενός μοντέλου ML.

(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/The-process-of-training-and-applying-a-machine-learning-model-The-model-is-generated-by_fig1_398090414).



Εικόνα 248. Η φιλοσοφία της εκπαίδευσης των μοντέλων του ML.

(πηγή: <https://pythonnumericalmethods.studentorg.berkeley.edu/notebooks/chapter25.01-Concept-of-Machine-Learning.html>).

Στην εικόνα 249 παρουσιάζονται ορισμένοι αλγόριθμοι ML, ενώ οι βασικές έννοιες της εκπαίδευσης ενός μοντέλου ML αφορούν τις εξής παραμέτρους:

1. «Εποπτευόμενη μάθηση» (supervised learning)
 - διαδικασία εκπαίδευσης που επιτρέπει να αναγνωριστούν μοτίβα
 - στον αλγόριθμο παρέχεται η επονομαζόμενη «είσοδος και η σωστή έξοδος» (input & right output) και έτσι ο αλγόριθμος μαθαίνει από τα επονομαζόμενα «επισημασμένα δεδομένα» (labeled data)
2. «Μη εποπτευόμενη μάθηση» (unsupervised learning)
 - διαδικασία εκπαίδευσης που επιτρέπει την αναγνώριση των λανθανουσών δομών ή των μοτίβων (latent structures or patterns) στα επονομαζόμενα «μη επισημασμένα δεδομένα» (unlabeled data) και μάλιστα χωρίς να απαιτείται η χρήση κάποιων προκαθορισμένων κατευθυντήριων γραμμών ή ομάδων
3. «Μάθηση ενίσχυσης» (Reinforcement Learning)
 - διαδικασία εκπαίδευσης κατά την οποία «ανταμείβονται» όλες οι επιθυμητές ενέργειες (rewarding desired actions) και «επιβάλλονται κάποιες κυρώσεις» στις ανεπιθύμητες δράσεις (penalizing undesirable ones), με στόχο ένα σύστημα ή πράκτορας (agent) να εκπαιδευτεί με τρόπο που με το πέρασ της εκπαίδευσης του να μπορεί να λαμβάνει μια σειρά διαφορετικών αποφάσεων
4. Τα «χαρακτηριστικά» (features) και οι «ετικέτες» (labels)
 - οι ετικέτες είναι τα πραγματικά αποτελέσματα (outputs) που είναι επιθυμητό να προβλεφθούν ανά περίπτωση
 - τα χαρακτηριστικά είναι οι συγκεκριμένοι και οι υπαρκτοί μετρήσιμοι παράγοντες (inputs) που χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη
5. Η «υπέρ προσαρμογή έναντι της υπό προσαρμογής» (bias - variance trade of)
 - αναφέρεται στη δυσκολία της ελαχιστοποίησης όλων των συνολικών σφαλμάτων που γίνονται κατά τη διαδικασία της εκπαίδευσης, η οποία διαφαίνεται μέσω της εξισορρόπησης των «bias» και «variance»

- το «bias» αναφέρεται στην έννοια του «σφάλματος λόγω της υπερβολικής απλοποίησης», ενώ το «variance» σχετίζεται με την έννοια του «σφάλματος λόγω της υπερβολικής πολυπλοκότητας»
6. «Συνάρτηση της απώλειας» (loss function)
- αποτελεί ένα μαθηματικό τύπο που ποσοτικοποιεί τον βαθμό στον οποίο η πρόβλεψη ενός μοντέλου αποκλίνει από την πραγματικότητα
 - αξιοποιείται κατά την εκπαίδευση του μοντέλου
7. «Καθοδική κλίση» (gradient descent)
- αποτελεί μια διαδικασία βελτιστοποίησης που εντοπίζει τη χαμηλότερη τιμή της συνάρτησης απώλειας, μεταβάλλοντας επαναληπτικά τις παραμέτρους ενός ορισμένου μοντέλου που εκπαιδεύεται
8. «Νευρωνικά δίκτυα» και DL (Neural Networks & DL)
- αναφέρεται σε ένα κλάδο του ML που είναι κατά βάση «εμπνευσμένος από το σύνολο των δομών, των μηχανισμών και των εγγενών χαρακτηριστικών του τρόπου λειτουργίας του ανθρώπινου εγκεφάλου» (εικόνα 250)
 - ως διαδικασία χρησιμοποιεί διάφορα επίπεδα «τεχνητών νευρώνων» για να μπορέσει το μοντέλο εκπαίδευσης του του ML να κατανοήσει εξαιρετικά περίπλοκα μοτίβα στα δεδομένα της εκπαίδευσης
9. «Γενίκευση» (generalization)
- αναφέρεται στην ικανότητα ενός μοντέλου ML να μπορεί να κάνει ακριβείς προβλέψεις για «νέα, μη επαληθευμένα δεδομένα» (fresh, untested data), τα οποία δεν περιλαμβάνονται στο αρχικό σύνολο δεδομένων της εκπαίδευσης του ML μοντέλου. (Panwar, 2026).

Το ML εστιάζει στην ανάπτυξη ML αλγορίθμων που μπορούν να αναγνωρίσουν κάποια μοτίβα και που εκπαιδεύονται σε ένα πολύ μεγάλο όγκο δεδομένων μέσω της διενέργειας της επανομαζόμενης «επαναληπτικής διαδικασίας εκπαίδευσης των ML μοντέλων» (iterative training process). Οι ML αλγόριθμοι (εικόνα 251) αξιοποιούν τις υπολογιστικές μεθόδους για την επεξεργασία των δεδομένων και εκπαιδεύονται μέσω διαφόρων τρόπων, ενώ οι κύριες κατηγορίες είναι οι εξής:

1. supervised learning (τεχνική εποπτευόμενης εκπαίδευσης)

- εκπαίδευση που γίνεται με επίβλεψη, μέσω των «labelled datasets»

2. unsupervised learning (τεχνική μη εποπτευόμενης εκπαίδευσης)

- εκπαίδευση χωρίς επίβλεψη, μέσω των «unlabelled datasets»

3. semi-supervised learning (τεχνική ημι-εποπτευόμενης εκπαίδευσης)

- ως διαδικασία περιλαμβάνει συνδυαστικά κάποια από τα μεμονωμένα χαρακτηριστικά των ανωτέρω προσεγγίσεων, δηλαδή αυτό συνιστά το συνδυασμό της εποπτευόμενης και μη εποπτευόμενης εκπαίδευσης

4. reinforcement learning (εκπαίδευση ή μάθηση ενίσχυσης)

- αναφέρεται στη διαδικασία εκπαίδευσης, η οποία βασίζεται στην ανατροφοδότηση (feedback-based process). (Kanade, 2022).

S.No.	Algorithms	What?
1.	Linear Regression (Supervised - Regression)	Finds the best-fit straight line through data points to predict a continuous numerical value, for as when estimating home values based on square footage.
2.	Logistic Regression (Supervised - Classification)	Predicts the likelihood that an event will fall into one of two categories, such as identifying whether a bank transaction is "fraudulent" or "legitimate."
3.	Decision Trees (Supervised - Classification/Regression)	Divides input into branches until it arrives at a final judgment or value using a tree-like structure of "yes/no" questions.
4.	K-Nearest Neighbors/ KNN (Supervised - Classification)	Classifies a new data point according to how similar it is to its closest neighbors in the current dataset.
5.	K-Means Clustering (Unsupervised - Clustering)	Automatically creates "K" clusters from data by identifying commonalities between data points without the need for pre-established labels.
6.	Random Forest (Supervised - Ensemble)	Combines the results of several decision trees to produce a single, more reliable, and accurate consensus.

Εικόνα 249. Ορισμένοι αλγόριθμοι ML.

(πηγή: <https://www.craw.in/machine-learning-basics-explained-concepts-types-and-examples?srsId=AfmBOoqhWNkg1bex0pjpdz73mJkyGxu4HTj8v7IDYkMcGf6CKXOV2Olx>).

Σύμφωνα με τους Nassif et al. (2019), η εξέλιξη της τεχνολογίας στον εν λόγω τομέα οδηγεί στο να παρατηρούνται όχι τέσσερεις, αλλά συνολικά πέντε κύριες τεχνικές της εκπαίδευσης ML (εικόνα 252), οι οποίες είναι οι εξής:

1. εποπτευόμενη μάθηση (supervised learning)

- περιλαμβάνει σύνολα δεδομένων εκπαίδευσης, στα οποία τα δεδομένα παρουσιάζονται σε ζεύγη (data in pairs), ως μια είσοδο και ως την αντίστοιχη σωστή έξοδο (an input & its corresponding correct output)
- παράδειγμα αυτού είναι η πραγματική τιμή των ηλεκτρονικών συσκευών, δηλαδή των δεδομένων των χαρακτηριστικών που αφορούν κάθε συσκευή και που επηρεάζουν άμεσα την τιμή, ενώ η εν λόγω διαδικασία συμβάλλει στην εκπαίδευση του αλγορίθμου και στην ανάπτυξη ενός μοντέλου ικανού να προβλέπει την τιμή πολλών νέων συσκευών, οι οποίες δεν περιλαμβάνονται στο αρχικό σύνολο των δεδομένων της εκπαίδευσης του

2. μη εποπτευόμενη μάθηση (unsupervised learning)

- επιχειρεί να εντοπίσει κοινά σημεία μεταξύ των εισόδων στο σύνολο όλων των δεδομένων (common points between the inputs in the dataset)
- η διαδικασία μπορεί να περιγραφεί ως ομαδοποίηση εισόδων (clustering of inputs) που παρουσιάζουν ισχυρή συσχέτιση κάτω από μία γενική ετικέτα (general label), με βάση τις στατιστικές τους ιδιότητες

3. ημι-εποπτευόμενη μάθηση (semi-supervised learning)

- αποτελεί το συνδυασμό των δύο προαναφερθέντων τύπων
- ο αλγόριθμος εκπαιδεύεται χρησιμοποιώντας ένα σύνολο δεδομένων που έχει επισημασμένα (labeled) και μη επισημασμένα (unlabeled) σημεία εισόδου
- χρησιμοποιείται κατά βάση για τη βελτίωση της απόδοσης του αλγορίθμου μέσω της χρήσης και των δύο τύπων εισροών

4. μάθηση ενίσχυσης (reinforcement learning)

- βασίζεται στη διαδικασία της λογικής «δοκιμής και σφάλματος» (trial & error) για να ανακαλύψει το σύνολο όλων των ενεργειών που μεγιστοποιούν τον επονομαζόμενο «δείκτη σωρευτικής ανταμοιβής» (cumulative reward metric), που χρησιμοποιείται για να μπορέσει να κατανοήσει ο αλγόριθμος εάν κινείται προς τη σωστή κατεύθυνση ή όχι

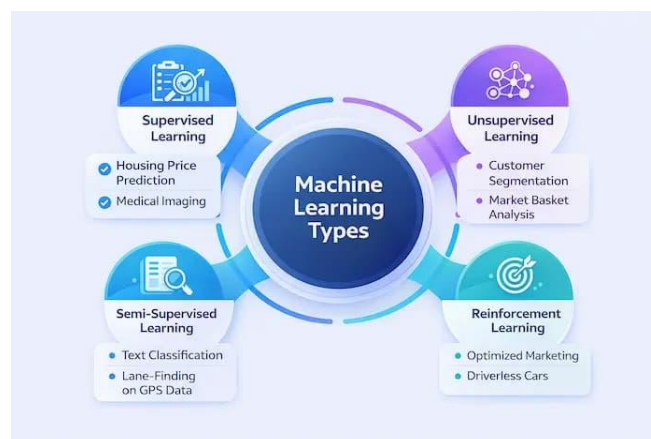
5. βαθιά μάθηση (DL)

- αυτός ο τύπος εκπαίδευσης επιχειρεί να μοντελοποιήσει τις επονομαζόμενες «αφαιρέσεις» που βρίσκονται στο σύνολο δεδομένων, χρησιμοποιώντας ένα γράφημα με πολλαπλά επίπεδα επεξεργασίας
- αυτά τα επίπεδα στοχεύουν να μιμηθούν το νευρωνικό δίκτυο που βρίσκεται στον ανθρώπινο εγκέφαλο. (Nassif et al., 2019).

Machine Learning vs Artificial Intelligence vs Deep Learning			
S.No.	Topics	Factors	What?
1.	Machine Learning	The Learning Method	A branch of artificial intelligence that focuses on educating computers to learn from data and grow from experience on their own, as opposed to adhering to pre-written instructions.
		Data Handling	Conventional machine learning (ML) is best suited for organized data, such as spreadsheets, and frequently necessitates "Feature Engineering," in which humans instruct the model on which data points, such as a house's size, are most crucial to consider.
2.	Artificial Intelligence	The Broad Goal	Artificial Intelligence (AI) is the broad discipline of computer science that aims to build machines that can do tasks like thinking, problem-solving, and language comprehension that normally need human intelligence.
		Methodology	It can be accomplished by more contemporary learning-based methods or "hard-coded" principles (if-then logic), in which humans program every conceivable event.
3.	Deep Learning	The "Brain" Approach	A specific branch of machine learning that processes data in a sophisticated, hierarchical manner using multi-layered Artificial Neural Networks modeled after the human brain.
		Power & Scale	DL is excellent at identifying patterns in vast volumes of unstructured data, such as text, audio, and photos, and it can automatically determine which elements are significant without human assistance.

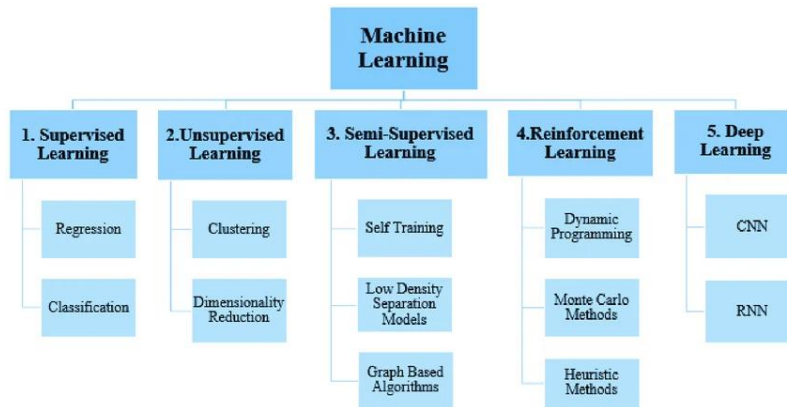
Εικόνα 250. Οι διαφορές στις προσεγγίσεις στους τομείς των AI, ML και DL.

(πηγή: <https://www.craw.in/machine-learning-basics-explained-concepts-types-and-examples?srsId=AfmBOoqhwNkg1bex0pdpdz73mJkyGxu4HTj8v7IDYkMcGf6CKXOV2Olx>).



Εικόνα 251. Οι κύριες τεχνικές της εκπαίδευσης ML.

(πηγή: <https://www.craw.in/machine-learning-basics-explained-concepts-types-and-examples?srsId=AfmBOoqhwNkg1bex0pdpdz73mJkyGxu4HTj8v7IDYkMcGf6CKXOV2Olx>).



Εικόνα 252. Οι πέντε κύριες τεχνικές της εκπαίδευσης ML.

(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Different-machine-learning-types-and-algorithms_fig6_330815113).

Η επικράτηση των Big data, IoT, των περίπλοκων αλγορίθμων, χρίζουν το ML σε μια πάρα πολύ σημαντική παράμετρο για το υπολογιστικό χρηματοοικονομικό σύστημα και ως κύρια παραδείγματα αναγνωρίζονται τα εξής:

1. η έννοια της επονομαζόμενης «πιστοληπτικής αξιολόγησης» (credit scoring) και η φιλοσοφία της «αλγοριθμικής συναλλαγής» (algorithmic trading)
 - και οι δύο όροι σχετίζονται με τις εφαρμογές της τεχνολογίας και των μαθηματικών μοντέλων στο σύγχρονο χρηματοπιστωτικό πεδίο
2. η «υπολογιστική όραση» (computer vision)
 - ως η αναγνώριση του προσώπου ή της κίνησης
 - ως η ανίχνευση των αντικειμένων
3. η επονομαζόμενη «υπολογιστική βιολογία» (computational biology)
 - είναι ένα διεπιστημονικό πεδίο που αξιοποιεί την επιστήμη των υπολογιστών, τα μαθηματικά και τις στατιστικές μεθόδους, για να αναλύσει και να κατανοήσει τη δομή των βιολογικών συστημάτων
 - αναφέρεται στο «DNA sequencing», όπου γίνεται η ανίχνευση των

όγκων στον εγκέφαλο ή η ανακάλυψη νέων φαρμάκων

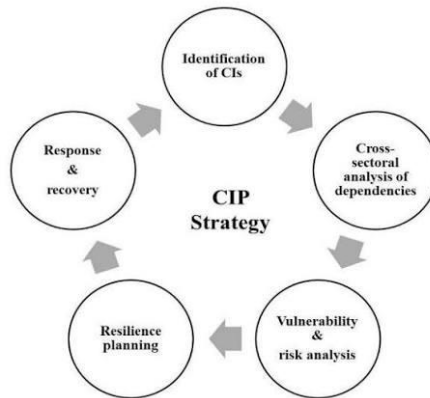
4. η «επεξεργασία φυσικής γλώσσας» (NLP)

- όπως είναι η αναγνώριση φωνητικών εντολών
- αξιοποιείται κατά βάση στους τομείς της αυτοκινητοβιομηχανίας, της αεροδιαστημικής και του δευτερογενούς τομέα / μεταποίηση
- ως ενδεικτικό παράδειγμα αναγνωρίζονται οι προγνωστικές υπηρεσίες συντήρησης (predictive maintenance). (Kanade, 2022).

Στον τομέα προστασίας των επονομαζόμενων «υποδομών της ζωτικής σημασίας» (Critical Infrastructure Protection - CIP), όπως παρουσιάζονται στην εικόνα 253, οι AI υπηρεσίες βοηθούν κυρίως στη βέλτιστη δυνατή διαχείριση των επιχειρησιακών δραστηριοτήτων και στη δόκιμη χρήση των διαθέσιμων πόρων. Η ενσωμάτωση του AI στο CPS επιτρέπει τη δόκιμη και έγκαιρη ανάλυση μεγάλων όγκων από δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες ή από άλλες πηγές, γεγονός που επιτρέπει στο CPS να μπορεί να κάνει προγνωστικές αναλύσεις για μελλοντικά σενάρια / συνθήκες, να βελτιστοποιεί το βαθμό της απόδοσης και να περιορίζει τις δυσμενείς καταστάσεις που ίσως συμβούν στο εγγύς μέλλον εντός της παραγωγής. (Vilmate, 2023). Ο όρος «data analytics» αντιστοιχεί σε ένα πολύ μεγάλο φάσμα πολλών διαφορετικών μεθοδολογιών που αναπτύσσονται για τη συλλογή των πιο σημαντικών πληροφοριών που προκύπτουν από έναν υψηλό όγκο δεδομένων, διευκολύνοντας έτσι τη λήψη δόκιμων αποφάσεων σχετικά με την παραγωγή. (Duan & Da Xu, 2021).

Το Industry 4.0 σκιαγραφεί ένα περισσότερο ολιστικό πρότυπο της διαχείρισης των συστημάτων της παραγωγής μέσω της αξιοποίησης της φιλοσοφίας της «ολιστικής αυτοματοποίησης» (holistic automation), της συγκέντρωσης και της διαχείρισης των δεδομένων των επιχειρήσεων, αλλά και μέσω των σύγχρονων τεχνολογιών για την ενίσχυση των παραγωγικών και λειτουργικών δραστηριοτήτων, κατά βάση μέσω της ενοποίησης όλων των παραμέτρων που αφορούν την παραγωγή και το εμπόριο, συντελώντας στην ενίσχυση της απόδοσης. Τα θεμελιώδη στοιχεία της φιλοσοφίας του Industrie 4.0, είναι εναρμονισμένα και ευθυγραμμισμένα με τις διεθνείς πολιτικές που σχετίζονται με τις έννοιες των «smart factories», IoT, «smart manufacturing» και

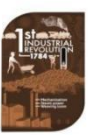
«advanced manufacturing» (το οποίο αναφέρεται στην έννοια της επονομαζόμενης «προηγμένης μεταποιητικής βιομηχανίας»). (Lydon, 2016).



Εικόνα 253. Critical Infrastructure Protection – CIP.

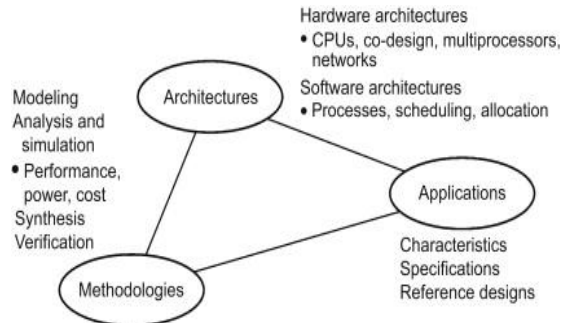
(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Process-of-critical-infrastructure-protection_fig1_319130983).

Το Industry 4.0 διαμορφώνεται κατά βάση μέσω της ενσωμάτωσης των «computing» τεχνολογιών, των software, των καινοτόμων τεχνολογιών και των εφαρμογών του διαδικτύου, γεγονός που σκιαγραφεί τη μεταστροφή (εικόνα 254) από το πρότυπο παραγωγής του Industry 1.0 (μέσω της χρήσης της ενέργειας του νερού και του ατμού), στη μετάβαση στο πρότυπο του Industry 2.0 (που σχετίζεται με τις έννοιες της «μαζικής παραγωγής» και των «γραμμών συναρμολόγησης»), στη μετάβαση στο πρότυπο του Industry 3.0 (αναφέρεται στο πλαίσιο του ψηφιακού μετασχηματισμού της βιομηχανικής παραγωγής και σχετίζεται με τους προγραμματισμένους υπολογιστικούς φορείς ελέγχου, την άμεση ψηφιακή διαχείριση και τη χρήση των ERP). Το Industry 4.0 εστιάζει στη χρήση των CPS και της επονομαζόμενης «ενσωματωμένης υπολογιστικής» (embedded computing) που παρουσιάζεται στην εικόνα 255. Όπως καταδεικνύεται από την «Εκθεση της Ομάδας Εργασίας του Industrie 4.0» (γνωστή ως «Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0»), η οποία καταγράφει όλες τις δυνατότητες αναφορικά με την αξιοποίηση του IoT και των διαδικτυακών υπηρεσιών (web services), επισημαίνεται πως αυτές οι τεχνολογίες συντελούν στην ανάπτυξη των νέων «δικτύων συνεργασίας» (networking) που καλύπτουν το σύνολο των διεργασιών της παραγωγής, μετατρέποντας έτσι όλα τα εργοστάσια σε «smart» περιβάλλοντα εργασίας. (Lydon, 2016).

				
	Industry 1.0	Industry 2.0	Industry 3.0	Industry 4.0
Timeline	18th Century (1784)	19th Century (1870)	20th Century (1969)	21st Century (Today)
Production System	First Mechanical Loom	First Production Line Cincinnati Slaughter House Car assembly	First Programmable Logic Controller (PLC) Modicon 084	Cyber Physical System (CPS)
Technology	Introduction of water and steam powered mechanical manufacturing system	Introduction of electrically powered mass production based on the division of labour	Uses electronics, IT and OT to achieve further automation of manufacturing	Convergence IT and OT, autonomous machine based on Cyber-Physical Systems (CPS)
Competitive Priorities Evolution	Quality, Cost	Quality, Cost, Time	Quality, Cost, Time, Flexibility	Quality, Cost, Time, Flexibility, Innovation, Adaptability
Manufacturing Concept	Mass Manufacturing	Moving Assembly Line	Mass Customisation	Mass Personalisation

Εικόνα 254. Industry 1.0 to Industry 4.0.

(πηγή: <https://www.precicon.com.sg/industry-4-0/what-is-industry-4-0-and-how-it-began-part-1/>).



Εικόνα 255. Η φιλοσοφία της «ενσωματωμένης υπολογιστικής» (embedded computing).

(πηγή: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/embedded-computing>).

Τέλος, ο όρος «smart manufacturing» (εικόνα 256) αναφέρεται σε μια προσέγγιση που συνδυάζει με δόκιμο τρόπο τις αρχές της συμβατικής βιομηχανικής παραγωγής με τις ψηφιακές τεχνολογίες, με κύριο στόχο την ενίσχυση της λειτουργίας των βιομηχανικών / παραγωγικών εγκαταστάσεων. Η φιλοσοφία της διαμόρφωσης ενός «smart factory» υιοθετείται ολοένα και περισσότερο σε παγκόσμιο επίπεδο και η

διεθνής αγορά του «smart manufacturing» αναμένεται να αγγίξει σε αξία το ποσό των 650 δισεκατομμυρίων δολαρίων μέχρι το 2029. (DuJack, 2023).



Εικόνα 256. Η φιλοσοφία του «smart manufacturing».

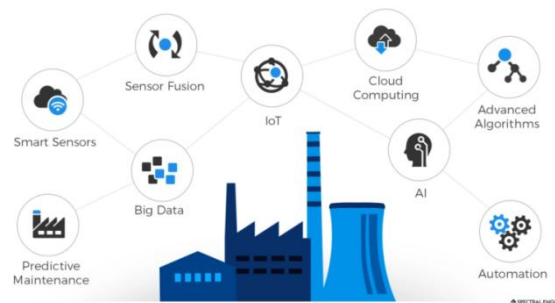
(πηγή: <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/manufacturing-industry/>).

4.8 To smart manufacturing

Το «smart manufacturing» ως διαδικασία παραγωγής αποφέρει σημαντικά οφέλη για κάθε μονάδα ενός εργοστασίου, επιτρέποντας την εποπτεία των μηχανημάτων σε πραγματικό χρόνο (real-time machine monitoring), διευκολύνοντας την ομαλή λειτουργία της προγνωστικής συντήρησης και περιορίζοντας τα ποσοστά του φαινομένου του «downtime» (διακοπή λειτουργίας). Τα «smart factories», σε σύγκριση με τα συμβατικά εργοστάσια, μπορούν να ενσωματώνονται άμεσα στα συστήματα τρίτων φορέων (vendors) και να προσαρμόζονται αποτελεσματικά και εγκαίρως στις απαιτήσεις των καταναλωτών. Η τεχνολογική υποδομή του επονομαζόμενου «ψηφιακού εργοστασίου» (digital factory), όπως είναι αυτή που εμφανίζεται στην εικόνα 257, περικλείει τα εξής:

- cloud computing
- ML (ως «predictive maintenance & process efficiency»)

- AR (ως «real-time information overlays»)
- χρήση των αισθητήρων (ως «real-time monitoring» των δυσλειτουργιών της παραγωγής, αλλά και έγκαιρο εντοπισμό τυχόν σφαλμάτων)
- additive manufacturing (ως κύρια πλεονεκτήματα του 3D printing)
- digital twins (ως «data driven» τροποποιήσεις και βελτιώσεις και ως «testing» των τροποποιήσεων πριν από την εφαρμογή). (DuJack, 2023).

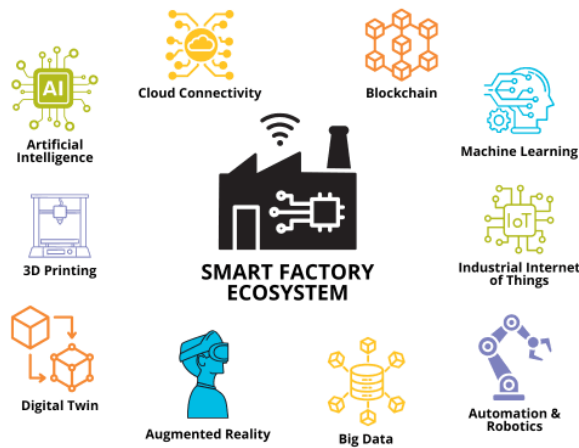


Εικόνα 257. Η τεχνολογική υποδομή του «ψηφιακού εργοστασίου» (digital factory).

(πηγή: <https://www.connecting-software.com/blog/why-the-digital-factory-is-now-within-everyone-reach/>).

Τα χαρακτηριστικά ενός «smart factory» είναι η ορατότητα, η συνδεσιμότητα και η αυτονομία, ενώ η υψηλή αξιοποίηση των αισθητήρων και του IoT επιτρέπει την άμεση και ευέλικτη διασύνδεση των μηχανημάτων, διευκολύνοντας έτσι και την ορατότητα ως προς τις συνθήκες και τις διεργασίες που γίνονται στο πλαίσιο της λειτουργίας του εργοστασίου, ενώ η εν λόγω εξέλιξη οδηγεί στην ανάπτυξη του IIoT. Η ανάπτυξη των εξελιγμένων «analytics» και των προηγμένων εφαρμογών που αξιοποιούν οι τεχνολογίες των AI και ML, μπορούν να διευθετούν με μεγάλη ευκολία και ευελιξία ένα μεγάλο αριθμό διάφορων καθημερινών καθηκόντων και έτσι οι εργαζόμενοι μπορούν να επικεντρώνονται στη διαχείριση έκτακτων περιστατικών ή στις αποφάσεις ενός υψηλότερου βαθμού δυσκολίας. Η χρήση των ρομπότ και των εφαρμογών και των εργαλείων της ρομποτικής σε ένα «smart factory» (εικόνα 258) σχετίζεται κατά βάση με τα επανομαζόμενα «routine tasks» (δηλαδή τα καθημερινά / τυπικά καθήκοντα ή εργασίες ρουτίνας), καθώς τα ρομπότ αλληλοεπιδρούν με το βέλτιστο δυνατό τρόπο με τους χειριστές τους. Ως βασικό χαρακτηριστικό των

«smart factories» αναγνωρίζεται η αξιοποίηση του «digital twin», το οποίο συντελεί στην ομαλή διασύνδεση όλων των προϊόντων και μάλιστα «καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου της ζωής (lifecycle) τους». (Hanna, n.d.).



Εικόνα 258. Παράδειγμα των πιο σημαντικών χαρακτηριστικών ενός smart factory.

(πηγή: <https://www.austcorpexecutive.com.au/blog/2025/01/industry-4-technologies-reshaping-landscape-future-manufacturing-workforce>).

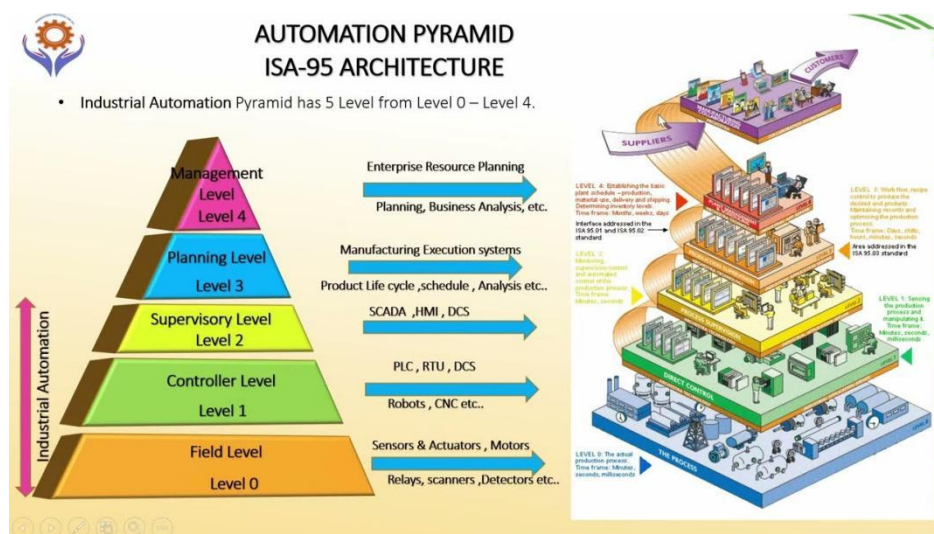
Οι διασυνδέσεις αφορούν κατά βάση την ενσωμάτωση των «smart machines», των «warehousing systems» (δηλαδή των συστημάτων φύλαξης και αποθήκευσης των εμπορευμάτων), των υποδομών της παραγωγής (production facilities) που χαρακτηρίζονται από ένα πάγιο πλαίσιο της φιλοσοφίας του «end-to-end integration» (αναφέρεται στην ενοποίηση από άκρη σε άκρη) και περιλαμβάνει τα «inbound logistic» (ως εισερχόμενα logistics), την έννοια του «manufacturing production & marketing» (ως διαχείριση παραγωγής και εμπορικής προώθησης), τα «outbound logistics» (ως εξερχόμενα logistics) και τις υπηρεσίες εξυπηρέτησης. (Lydon, 2016).

Τα επανομαζόμενα «διασυνδεδεμένα συστήματα» κοινοποιούν και διαμοιράζονται μεταξύ τους όλες τις πληροφορίες, τις διαβιβάζουν και τις αναλύουν, συντελώντας στη διεξαγωγή αυτοματοποιημένων λήψεων αποφάσεων που καταστρατηγούν την αναγκαιότητα της ενδεχόμενης ανθρώπινης παρέμβασης. (Lam, 2020). Είναι δόκιμο όμως να γίνει αναφορά στο μοντέλο της ιεραρχικής δομής των συστημάτων του βιομηχανικού αυτοματισμού, γνωστό ως «Pyramid Five-Layer Automation», το οποίο αποτελεί τη γραφική αναπαράσταση της ιεραρχικής δομής των συστημάτων στο

πλαίσιο του βιομηχανικού αυτοματισμού, που συνδέει ένα εργοστάσιο με την ανώτατη διοικητική βαθμίδα της ίδιας επιχείρησης. (Dwivedi, 2024).

4.9 Pyramid Five-Layer Automation, ISA95, ISA95 extended activity model

Το συμβατικό μοντέλο της ιεραρχικής δομής των συστημάτων του βιομηχανικού αυτοματισμού, δηλαδή το «Pyramid Five-Layer Automation» (εικόνα 259), είναι μια γραφική αναπαράσταση της ιεραρχικής δομής όλων των συστημάτων του βιομηχανικού αυτοματισμού, που συνδέει το εργοστάσιο με την ανώτατη διοικητική βαθμίδα της ίδιας επιχείρησης. (Dwivedi, 2024). Το λόγω μοντέλο βασίζεται στο πρότυπο ISA95 (Enterprise Control System Integration) και αποτελεί μια προσπάθεια της δόκιμης αντιμετώπισης όλων των επανομαζόμενων «τυποποιημένων πρακτικών ενοποίησης» (standardisation of integration) μεταξύ των ετερόκλητων «enterprise & control systems» (ορίζονται ως τα συστήματα του ελέγχου και της διαχείρισης) μιας επιχείρησης. (Brandl & Johnsson, 2022).



Εικόνα 259. Automation pyramid | Automation Pyramid | ANSI / ISA - 95 Architecture.

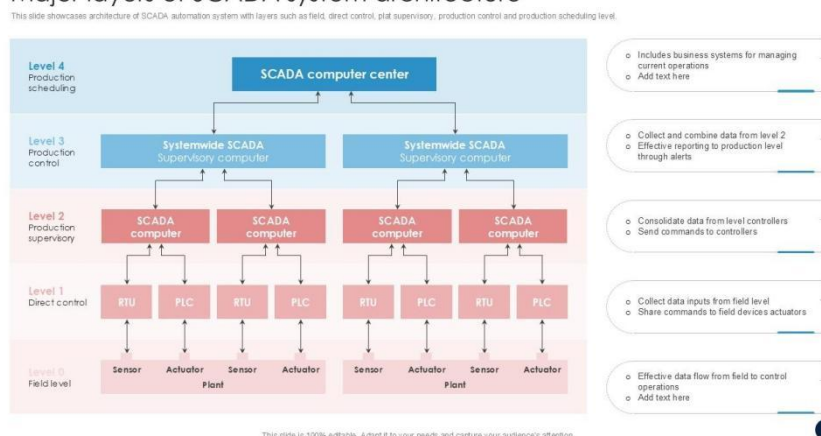
(πηγή: <https://www.youtube.com/watch?v=3bwAZPTBPGs>).

Το «Field Level» περιλαμβάνει τους αισθητήρες και τους επανομαζόμενους «μηχανισμούς ενεργοποίησης» (actuators) που αλληλοεπιδρούν απευθείας με τα

μηχανήματα. Οι αισθητήρες είναι υπεύθυνοι για τη συλλογή των δεδομένων, ενώ οι μηχανισμοί ενεργοποίησης είναι αρμόδιοι για τον έλεγχο των διεργασιών. Το «Control Level» περικλείει τα Programmable Logic Controllers (PLC), αλλά και τα διανεμημένα συστήματα ελέγχου (Distributed Control Systems - DCS), τα οποία είναι υπεύθυνα για τη δόκιμη ρύθμιση του μηχανικού ελέγχου και του αυτοματισμού σε πραγματικό χρόνο. Στο «Supervisory Level» εντοπίζονται και τα «συστήματα SCADA» (Supervisory Control & Data Acquisition), που εμφανίζονται στην εικόνα 260 και που αξιοποιούνται για την εποπτεία όλων των βιομηχανικών διεργασιών σε πραγματικό χρόνο, προσφέροντας στους χειριστές / εργαζομένους και τη δυνατότητα του επονομαζόμενου «visual interface». Το «SCADA» είναι ένα σύστημα ελέγχου των διεργασιών και δεν αποτελεί ειδική κατηγορία ενός MES. (Dwivedi, 2024).

Στο «Execution Planning Level» εμφανίζονται τα MES, των οποίων ρόλος είναι η γεφύρωση του χάσματος μεταξύ του εργοστασίου και των επιχειρησιακών συστημάτων (τα οποία βρίσκονται στο υψηλότερο επίπεδο), που είναι υπεύθυνα για τη διαχείριση των λειτουργιών της παραγωγής, τον προγραμματισμό και την εποπτεία του βαθμού της ποιότητας. Το «Enterprise Level» είναι η ανώτερη βαθμίδα και περιλαμβάνει τα ERP, τα οποία είναι υπεύθυνα για τη διαχείριση και την εποπτεία των δεδομένων που αφορούν τις επιχειρηματικές λειτουργίες και την επιχειρηματική δραστηριότητα (που αναφέρονται σε χρηματοοικονομικά δεδομένα ή σε στοιχεία που αφορούν τα αποθέματα). (Dwivedi, 2024).

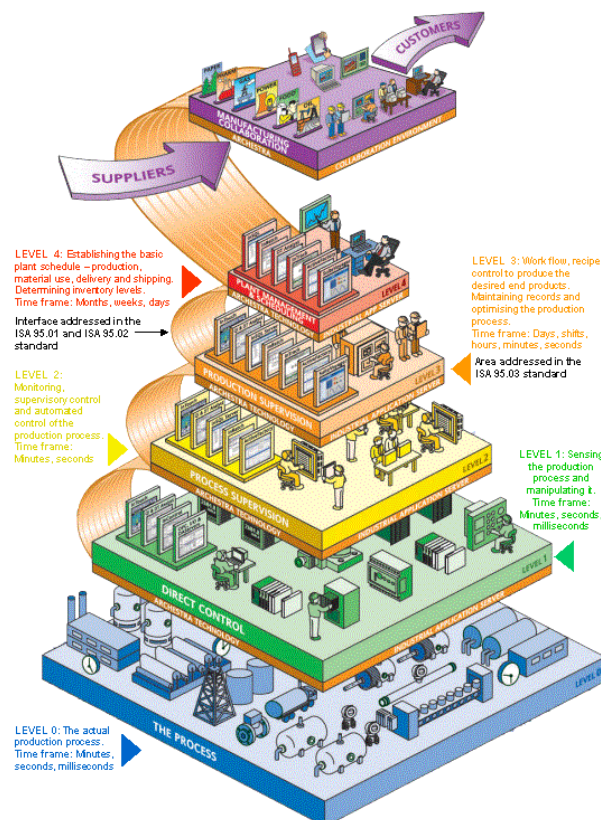
Major layers of SCADA system architecture



Εικόνα 260. Τα «συστήματα SCADA» (Supervisory Control & Data Acquisition).

(πηγή: <https://www.slideteam.net/top-10-major-layers-of-scada-system-architecture-powerpoint-presentation-templates>).

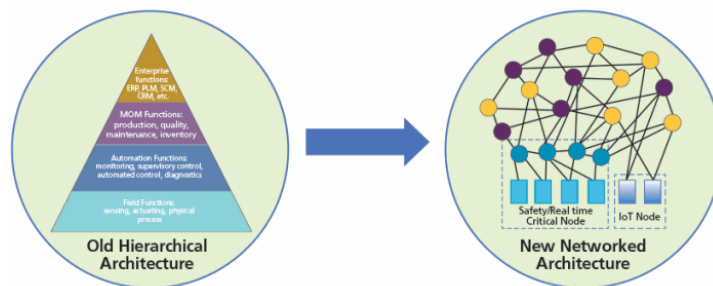
Το μοντέλο του «Pyramid Automation» βασίζεται στο πρότυπο ISA95, δηλαδή στο επανομαζόμενο «Enterprise Control System Integration». Το ISA95 (εικόνα 261) αντιπροσωπεύει το λειτουργικό μοντέλο που καθορίζει τις διεργασίες μιας βιομηχανικής μονάδας ως προς το επίπεδο της ιεραρχίας, καθώς διαιρεί το σύνολο των δραστηριοτήτων σε μικρότερους «κύκλους ζωής» (lifecycles) που αφορούν την αλυσίδα εφοδιασμού, το προϊόν που παράγεται, το «στοιχείο πάγιου ενδιαφέροντος» (asset), την εκτέλεση της παραγγελίας από όταν εκτελείται το αίτημα του πελάτη και καταλήγοντας έως το ταμείο (order to cash), τη διαχείριση των συστημάτων της ασφαλείας (security management) και τη συγχώνευση όλων των λειτουργιών σε επίπεδο λειτουργίας. (Brandl & Johnsson, 2022).



Εικόνα 261. Το ISA95.

(πηγή: <https://industry4blogs.wordpress.com/2016/11/16/cyberphysical-systems-and-isa95/>).

Το εν λόγω σύστημα προϋποθέτει όμως την ενίσχυση του βαθμού της απόδοσης μέσω της ενσωμάτωσης των «intelligent products» και των «smart διαδικασιών παραγωγής», καθώς και την κάθετη και οριζόντια ενοποίηση των παραγωγικών συστημάτων, γεγονός που το μετατρέπει σε μια πολύ σημαντική παράμετρο για τις περισσότερες εφαρμογές των «smart factories» και συντελεί στην ανάπτυξη του επανομαζόμενου «διευρυμένου μοντέλου ISA95», γνωστό και ως «ISA95 extended activity model» (εικόνα 262). (Brandl & Johnsson, 2022).



Εικόνα 262. Hierarchical pyramid structure (left), network structured architecture (right).

(πηγή: <https://www.isa.org/intech-home/2021/october-2021/features/beyond-the-pyramid-using-isa95-for-industry-4-0-an>).

Οι όροι «οριζόντια και κάθετη ενοποίηση» στο Industry 4.0 αναφέρονται στις τεχνολογίες, τις διαδικασίες και τα συστήματα που επιτρέπουν τη συλλογή, την ταξινόμηση, την ανταλλαγή και τη διαχείριση όλων των δεδομένων. Η κάθετη ενοποίηση αφορά την ενσωμάτωση όλων των επιχειρηματικών μονάδων και των διεργασιών, μέσω της σύγκλισης όλων των «επιχειρησιακών συστημάτων» (OT) στο «production level» με τις τεχνολογίες IT στο «enterprise level». Η οριζόντια ενοποίηση αφορά τη σύνδεση των τμημάτων της αλυσίδας εφοδιασμού, γεγονός που βελτιώνει τα επίπεδα των «visibility, flexibility, productivity, automation», ενώ η εν λόγω προσέγγιση πραγματοποιείται εντός των απτών εγκαταστάσεων της παραγωγής (δηλαδή σε δραστηριότητες που αφορούν «multi-site operations» και «third-party partners» εντός της αλυσίδας εφοδιασμού). (McLaughlin, 2020).

Τα «smart manufacturing reference μοντέλα» αξιοποιούνται για την οριοθέτηση των πιο σημαντικών παραμέτρων του Industry 4.0 και της φιλοσοφίας του «smart

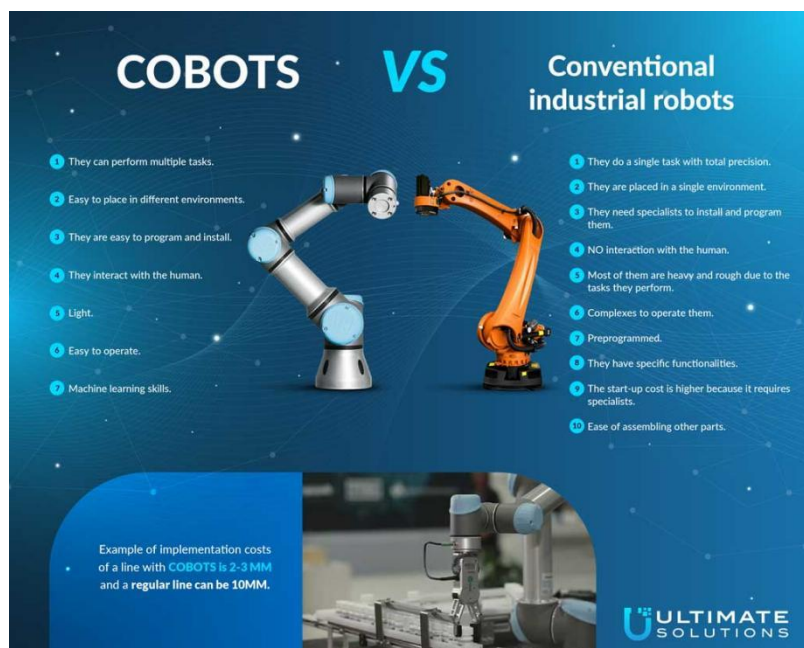
manufacturing», ενώ εμφανίζονται πολλά διαφορετικά πρότυπα αναφοράς σε παγκόσμιο επίπεδο, δηλαδή στη Γερμανία υπάρχει το πρότυπο RAMI 4.0, στη Σουηδία και στη Νορβηγία το πρότυπο Scandinavian Smart Industry Model, στην Ιαπωνία και στην Κίνα το Smart Value Chain Initiative και στις Η.Π.Α. το πρότυπο του NIST Model. (Brandl & Johnsson, 2022).

Το Industry 4.0 επιτρέπει την «ευφυή δια σύνδεση» όλων των μηχανών και των λειτουργιών μέσω της τεχνολογίας του CPS, γεγονός που διευκολύνει τον «ευφυή έλεγχο» (intelligent control), κατά βάση μέσω της χρήσης των «ενσωματωμένων και δικτυωμένων συστημάτων» (embedded networked systems). (Dodd, 2022). Ο όρος «EIoT», που προσδιορίζεται ως το «ενσωματωμένο διαδίκτυο των πραγμάτων» (embedded Internet of Things), αφορά τη διαδικασία ενοποίησης των «embedded» συσκευών, όπως είναι οι αισθητήρες και τα διαφορετικά είδη «hardware ανοικτού κώδικα», με τις πλατφόρμες ή τα κανάλια επικοινωνίας που λειτουργούν μέσω του IoT. Η εν λόγω διαδικασία επιτρέπει τη διεξαγωγή της έννοιας του επονομαζόμενου «real-time communication» για διαφοροποιημένες εφαρμογές. (Gaurav, 2022).

Το EIoT στο Industry 4.0 αποτελεί την τεχνολογική μεταστροφή του παραδοσιακού πρότυπου «του μηχανικού σχεδιασμού και πολιτικής διαχείρισης» (traditional engineering & governance») που αφορούν τις επονομαζόμενες «ευφυείς εφαρμογές» (intelligent deployments). Οι κύριοι τεχνολόγοι πυλώνες της φιλοσοφίας των αρχών της «συνδεσιμότητας, της νοημοσύνης και της ευέλικτης αυτοματοποίησης» (connectivity, intelligence & flexible automation), προσδιορίζονται με τον όρο «4th Industrial Revolution of Embedded Devices», το οποίο ως έννοια ορίζεται ως η «4^η Βιομηχανική Επανάσταση των ενσωματωμένων συσκευών». (Gaurav, 2022).

Μερικά παραδείγματα των «smart τεχνολογιών» που αυτοματοποιούν την παραγωγή είναι τα «προηγμένα ρομποτικά συστήματα» (advanced robotics), η κατασκευή των προσθετικών ή των εξαρτημάτων (additive manufacturing), τα AI και AR, η τεχνολογίες και οι εφαρμογές της προσομοίωσης, οι υπηρεσίες cloud, η ενίσχυση του βαθμού της κυβερνοασφάλειας (cybersecurity) και τα «cobots». (Dodd, 2022) (Lam, 2020). Τα «Collaborative robots» ή «cobots» (δηλαδή τα «συνεργατικά ρομπότ» που παρουσιάζονται στην εικόνα 263) αντιπροσωπεύουν τα ρομπότ που είναι ειδικά σχεδιασμένα για να μπορούν να εργάζονται και να λειτουργούν σε συνεργασία με

τους ανθρώπους (χειριστές) στον επονομαζόμενο «κοινόχρηστο χώρο εργασίας» (shared workspace). Σύμφωνα με την «Παγκόσμια Έκθεση Ρομποτικής του 2017» (World Robotics Report 2017) που πραγματοποιείται εκ μέρους της «Διεθνούς Ομοσπονδίας Ρομποτικής» (IFR) προβλέπεται μια «μέση ετήσια τάση ανάπτυξης» της τάξεως του 15%, η οποία οδηγεί στη συνολική αξία των 3 εκατομμυρίων «εν λειτουργία ρομπότ» έως το 2020, ενώ η έκθεση Collaborative Robots Market για το 2019, επισημαίνει πως η αγορά των cobots θα ανέλθει μελλοντικά στο ποσό των 4,28 δισεκατομμυρίων δολαρίων, έχοντας σύνθετο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης της τάξεως του 56,94%. (Esa Automation, 2019).



Εικόνα 263. Οι διαφορές των «Collaborative robots» ή «cobots» με τα συμβατικά ρομπότ.

(πηγή: <https://uscglobal.com/collaborative-robots-cobots-pharmaceutical-industry/>).

Η εν λόγω τεχνολογική εξέλιξη συμβάλλει και στη δημιουργία μιας «intelligent» (έξυπνης) παραγωγής» εντός του πλαισίου των εξής παραμέτρων:

- «interoperability» και χρήσης του IoT, όπου τα cobots αλληλοεπιδρούν με άλλες συσκευές και συστήματα, σε οποιοδήποτε βιομηχανικό περιβάλλον
- Big Data, όπου τα cobots συλλέγουν και προωθούν όλα τα δεδομένα σε άλλα συστήματα, ενώ αυτά διευκολύνουν σε σημαντικό βαθμό και τη μεγάλη ροή

της επονομαζόμενης «διαφανούς πληροφόρησης» (transparent information)

- εύκολη / ευέλικτη χρήση, όπου τα cobots διαθέτουν τις επονομαζόμενες «διαδραστικές διεπαφές» (interactive interface) και μέσω αυτών μπορούν να διευκολύνουν τις «decentralised» ή τις «horizontal» λήψεις αποφάσεων
- αύξηση της παραγωγικότητας, όπου τα cobots διατηρούν μια ανοδική τάση του βαθμού της συνολικής τους απόδοσης κάτι που ενισχύει και τη συνολική παραγωγικότητα μιας επιχείρησης του κλάδου. (Esa Automation, 2019).

Στο παρελθόν, όλα τα προϊόντα που παράγονται πριν από την έλευση της 1^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης, κατασκευάζονται μέσω του πρότυπου παραγωγής «end-to-end», εντός του οποίου κάθε προϊόν κατασκευάζεται «χειροκίνητα μέσω μια γραμμής παραγωγής» που διαθέτει ξεκάθαρη αρχή και τέλος και η οποία δε διακόπτεται. Στη σύγχρονη εποχή, αν και καταγράφονται αρκετές περιπτώσεις των «πλήρως αυτοματοποιημένων γραμμών συναρμολόγησης», η πλειονότητα των επιχειρήσεων κατά βάση υιοθετεί συνδυαστικά το πρωτόκολλο της δόκιμης αξιοποίησης του ανθρώπινου δυναμικού με τις πρακτικές της επονομαζόμενης «αυτοματοποιημένης εργασίας» (automated labour). Ο άνθρωπος παράγοντας αναλαμβάνει τις εργασίες που απαιτείται μεγαλύτερη δεξιοτεχνία και σύνθετη ικανότητα σκέψης και δόκιμης διαχείρισης, ενώ οι μηχανές επιστρατεύονται για την εκτέλεση εργασιών που έχουν επαναλαμβανόμενο χαρακτήρα ή για άλλα καθήκοντα που παρουσιάζουν στις περισσότερες περιπτώσεις μεγαλύτερους κινδύνους στην εμφάνιση ενδεχόμενων ανθρώπινων σφαλμάτων. (Klaess, 2021).

Οι διαδικασίες της συναρμολόγησης χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

1. «manual assembly»

- αναφέρεται στη χειροκίνητη συναρμολόγηση
- βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην ανθρώπινη εργασία
- ενδείκνυται σε περιπτώσεις που αφορούν τη δημιουργία προϊόντων μικρής κλίμακας όγκου παραγωγής ή προϊόντων που έχουν πολύπλοκα σχέδια ή όταν υπάρχουν ειδικές προδιαγραφές εκ μέρους των πελατών

2. «automated assembly»

- αναφέρεται στην αυτοματοποιημένη συναρμολόγηση και ως διαδικασία απαιτεί τη χρήση ειδικών μηχανών ή ρομπότ για τη συναρμολόγηση
- ενδείκνυται σε περιπτώσεις παραγωγής προϊόντων με υψηλή κλίμακα όγκου, με επαναλαμβανόμενα μοτίβα σχεδίασης ή με τυποποιημένες προδιαγραφές (standard requirements)

3. «hybrid assembly»

- αναφέρεται στην «υβριδική» συναρμολόγηση
- ως συνδυαστική χρήση των «manual» και των «automated» μεθόδων
- ενδείκνυται σε περιπτώσεις που είναι επιθυμητή η παραγωγή προϊόντων με εξειδικευμένες προδιαγραφές, οι οποίες δε μπορούν να καλυφθούν μόνο από τη μεμονωμένη χρήση των δύο άλλων μεθόδων

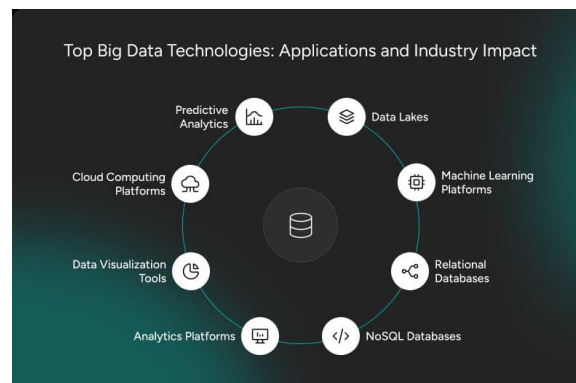
4. «continuous flow assembly»

- προϋποθέτει την ύπαρξη μιας «σταθερής ροής συναρμολόγησης», εντός μιας «ενιαίας βιομηχανικής γραμμής παραγωγής» (production line)
- ενδείκνυται σε περιπτώσεις που είναι επιθυμητή η παραγωγή προϊόντων με υψηλή κλίμακα όγκου παραγωγής ή για τα προϊόντα με τυποποιημένα σχέδια ή με ορισμένες προδιαγραφές. (Faster Capital, n.d.).

Η αξιοποίηση της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών υπολογιστών στο Industry 3.0 επιτρέπει στις επιχειρήσεις να αναβαθμίσουν την επιχειρηματική τους λειτουργία και να βελτιστοποιήσουν τις διενέργειες της παραγωγής μέσω της αξιοποίησης «της τεχνολογίας μεγάλων δεδομένων» (Big data technology), που εμφανίζεται στην εικόνα 264, αλλά και του ML, αναπτύσσοντας με τον καιρό τα σύγχρονα «αυτόνομα και έξυπνα συστήματα παραγωγής» (autonomous & smart systems). (Lam, 2020). Ο

όρος «big data» προσδιορίζει τα επονομαζόμενα «σύνθετα σύνολα των δεδομένων» (complex data sets), των οποίων η επεξεργασία και η ανάλυση μέσω των συμβατικών μεθόδων είναι αρκετά δυσχερής ως προς τη διεκπεραίωση. (Team Incorta, 2023).

Τα «complex data sets» μπορεί να είναι «structured data», όπως συμβαίνει στις συμβατικές βάσεις δεδομένων (traditional databases) ή «unstructured data», όπως είναι τα σύνολα των δεδομένων σε μορφή κειμένου, εικόνων και βίντεο). Μέσω της δόκιμης διαχείρισης των «data sets» « μπορούν να συλλέγονται όλες οι σημαντικές πληροφορίες που διευκολύνουν τη διαχείριση της παραγωγής, την πρόγνωση των καταναλωτικών τάσεων (trend prediction), την παραγωγή νέων προϊόντων, τη προσθήκη νέων χαρακτηριστικών στα υπάρχοντα προϊόντα και τη «λήψη βέλτιστων και τεκμηριωμένων αποφάσεων» (enhanced decision making). (Team Incorta, 2023).



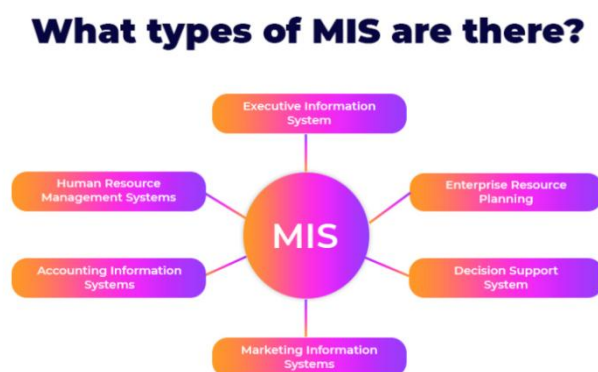
Εικόνα 264. Big data technology.

(πηγή: <https://www.stxnnext.com/blog/big-data-technologies-ranking-and-guide>).

Σύμφωνα με τα δεδομένα που παρουσιάζονται από τις αναλύσεις της εταιρείας Wakefield Research για το 2023, αναφέρεται πως τα 2/3 των επιχειρήσεων στην Ευρώπη και στις Η.Π.Α υποστηρίζουν πως έχουν προβεί σε πρωτοβουλίες που αποβλέπουν στην ενίσχυση των «data-driven» δυνατοτήτων και διατηρώντας ως βασικό γνώμονα τη συλλογή των δεδομένων για τη δόκιμη διαχείριση τους, μιας και η «data-driven φιλοσοφία» αποτελεί σημαντική παράμετρο της στρατηγικής του ψηφιακού μετασχηματισμού. Η προώθηση της επονομαζόμενης «data-driven κουλτούρας» επιτρέπει στις επιχειρήσεις να αξιοποιούν δοκίμως τα δεδομένα και να ενισχύουν το βαθμό της απόδοσης και της λειτουργίας τους. (Santos, 2023).

Το σύνολο των επανομαζόμενων «τεχνολογικών υποδομών» (infrastructure) που πρέπει να υπάρχουν σε κάθε «smart factory», αναφέρονται στη λογική του να εντάσσονται απρόσκοπτα στην παραγωγή όλα τα σύγχρονα συστήματα του αυτοματισμού, το AI, το IIoT, αλλά και να υιοθετούνται όλες οι πρακτικές που αφορούν τη βελτίωση του βαθμού της απόδοσης και της δόκιμης διαχείρισης της ροής εργασιών και της διεξαγωγής όλων των παραγωγικών διαδικασιών των συσκευασιών ή των εκτυπώσεων. Αυτό μπορεί να επιφέρει σημαντική μείωση στο συνολικό κόστος της λειτουργίας των επιχειρήσεων και έτσι να ενισχύσει και το επίπεδο της παραγωγικότητας, με αποτέλεσμα να ενισχυθεί με τον καιρό σημαντικά και ο δείκτης της οικονομικής τους ευρωστίας. Η αξιοποίηση των επανομαζόμενων «συστημάτων διαχείρισης των πληροφοριών» (Management Information System – MIS) και των ERP είναι σημαντική παράμετρος για την επίτευξη του βέλτιστου βαθμού της απόδοσης μιας επιχείρησης. (Lafler, 2021).

Τα MIS (εικόνα 265) και ERP είναι δύο είδη «πληροφοριακών συστημάτων» που παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στη διαχείριση και στην οργάνωση όλων των επιχειρηματικών δραστηριοτήτων, ενώ αν και υπάρχει συχνά συσχέτιση των MIS και ERP (εικόνα 266), αυτά αντιπροσωπεύουν δύο πολύ διαφορετικά συστήματα που έχουν διακριτά χαρακτηριστικά και που εξυπηρετούν διαφορετικούς σκοπούς μέσα σε μια επιχείρηση. Το MIS αναφέρεται σε μια «ευρύτερη και πιο ολιστική έννοια» που περιλαμβάνει τη χρήση της τεχνολογίας, του ανθρώπινου παράγοντα και των διαδικασιών που αξιοποιούνται για τη συλλογή, την αποθήκευση, την ανάλυση και το διαμοιρασμό των δεδομένων, για τη λήψη αποφάσεων και τη δόκιμη διαχείριση μιας επιχείρησης. (Snap Print Solutions, 2023) (StrategicERP, 2023).



Εικόνα 265. Management Information System –MIS.

(πηγή: <https://www.avasam.com/what-is-a-management-information-system-mis/>).

Το MIS εστιάζει στην παροχή των απαραίτητων πληροφοριών και αναφορών στους διευθυντές, προκειμένου να υποστηρίξει τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων σε διάφορα επίπεδα μιας επιχείρησης. Από την άλλη πλευρά, τα ERP αποτελούν ένα «συγκεκριμένο τύπο επιχειρηματικού λογισμικού», ο οποίος ενσωματώνει με δόκιμο τρόπο τις διαφορετικές επιχειρηματικές λειτουργίες και διαδικασίες σε ένα «ενοποιημένο σύστημα». (Snap Print Solutions, 2023) (StrategicERP, 2023).



Εικόνα 266. Οι διαφορές και η συσχέτιση των MIS και ERP.

(πηγή: <https://havi.com.au/blog/erp-mis>).

Τα ERP περιλαμβάνουν συνήθως ενότητες με σημαντικά δεδομένα για διαφορετικούς τομείς, όπως είναι τα οικονομικά στοιχεία, αλλά και οι πληροφορίες για τους εργαζομένους, για τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, για τη διαχείριση των πελατειακών σχέσεων, για την παραγωγή και για άλλα συναφή πλαίσια. Ο σκοπός ενός ERP είναι ο «εξ ορθολογισμός» και η αυτοματοποίηση των επιχειρηματικών διαδικασιών, η διευκόλυνση της ανταλλαγής των δεδομένων μεταξύ διαφορετικών τμημάτων και η διαμόρφωση μιας «κεντρικής βάσης δεδομένων» για να παρέχονται πιο ακριβείς πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο. Τα ERP παρέχουν ένα πιο «ολιστικό σύνολο δεδομένων» που μπορεί να αξιοποιηθεί από το MIS για τη δημιουργία των

αναφορών, την ανάλυση της απόδοσης και την παροχή δόκιμων πληροφοριών στους διευθυντές της επιχείρησης. (Snap Print Solutions, 2023) (StrategicERP, 2023).

Ένα «ολοκληρωμένο» (comprehensive) MIS / ERP σε συνδυασμό με ένα σύστημα MES που διασυνδέει τις μηχανές και τις διαδικασίες και που επίσης επιτρέπει τη δυνατότητα του προσδιορισμού των προβλημάτων που αφορούν την ποιότητα, αλλά και την αντιμετώπιση όλων των δυσλειτουργιών σε πραγματικό χρόνο. Η ανάδειξη όλων των προβλημάτων που προκύπτουν στη ροή εργασιών πριν αυτά εξελιχθούν σε σοβαρές δυσλειτουργίες διευκολύνεται επίσης με αυτόν τον τρόπο. (Lafler, 2021).

4.10 Οι 11 βασικοί άξονες (11 pillars) του Industry 4.0

Όπως αναφέρεται και στο κεφάλαιο 1, οι άξονες του Industry 4.0 αφορούν τα additive manufacturing, AI, big data analytics, cloud computing, cybersecurity (κυβερνοασφάλεια), την οριζόντια και την κάθετη ενοποίηση των συστημάτων, το IIoT, την ανάπτυξη νέων επιχειρηματικών μοντέλων, τη χρήση των AR και VR, καθώς και κάθε νέα τεχνολογία ή καινοτόμο εφαρμογή που μεταμορφώνει τη λειτουργία της αλυσίδας εφοδιασμού. Στο additive manufacturing υπάγονται οι τεχνολογίες του 3D Printing για τη γρήγορη παραγωγή των πρωτοτύπων ή για την παραγωγή εξατομικευμένων προϊόντων (customized products), ενώ η εν λόγω διαδικασία επιφέρει και σημαντική μείωση του χρονοδιαγράμματος της παραγωγής, συντελεί στην ενίσχυση της αντοχής των προϊόντων και στην έγκαιρη διαμόρφωση των περίπλοκων σχεδίων / μοτίβων ή στην άμεση προσθήκη νέων χαρακτηριστικών σε ήδη υπάρχοντα προϊόντα, μάλιστα χωρίς αυξημένο κόστος. (Haiston, 2023).

Η απρόσκοπτη εφαρμογή του AI μπορεί να βελτιστοποιήσει σημαντικά όλες τις διεργασίες της παραγωγής, να εξοικονομήσει πόρους ή να ενισχύσει το βαθμό της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών, καθώς τα AI συστήματα μπορούν να συσσωρεύουν πληροφορίες και να αναλύουν τα δεδομένα, ξεκινώντας από τα σημαντικά στοιχεία που αφορούν τις ακατέργαστες πρώτες ύλες και φτάνοντας ως τις παρατηρήσεις ή σχόλια εκ μέρους των πελατών. Τα cobots συνεργάζονται με τους ανθρώπους, αλληλοεπιδρούν με τις βιομηχανικές εφαρμογές και μελλοντικά μπορούν να εκπαιδευτούν και να εξελιχθούν περισσότερο στο εγγύς μέλλον μέσω της

«ανθρώπινης αλληλεπίδρασης». Τα big data analytics επιτρέπουν στις επιχειρήσεις να αναγνωρίζουν αξιόπιστα και δόκιμα μοτίβα ή τάσεις, ενώ όλα τα δεδομένα που συλλέγονται και που μπορεί να προέρχονται από το cloud, τους αισθητήρες και τις πλατφόρμες IIoT, συντελούν στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων. (Haiston, 2023).

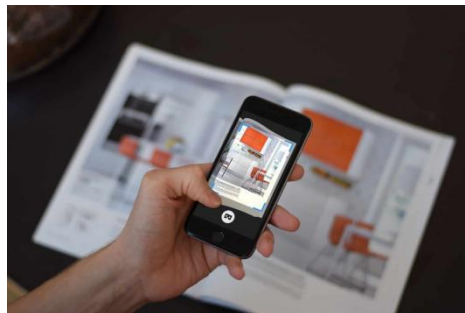
Η αξιοποίηση του cloud computing διευκολύνει την άμεση διαβίβαση / διαμοιρασμό των μηνυμάτων (messages) σε διάφορα δίκτυα και επίσης παρέχει σημαντικά οφέλη σε θέματα περί ασφάλειας, καθώς βασίζεται στη λογική της «συγκεντρωτικής αποθήκευσης των δεδομένων» (centralising data storage), στο «εύρος ζώνης» (bandwidth) και στην επεξεργασία των δεδομένων. Η «κυβερνοασφάλεια» (εικόνα 267) ορίζεται ως η διαδικασία της «θέσπισης ασφαλών και αξιόπιστων συνδέσεων», γεγονός που επιτρέπει τη διαφύλαξη των δεδομένων του «smart factory» και των γραμμών παραγωγής, από τις «απειλές του κυβερνοχώρου» (cyberthreats). (Haiston, 2023). Σύμφωνα με στοιχεία που παρουσιάζει το Ερευνητικό Ινστιτούτο Cargemini στις 30 Ιουνίου του 2022, το 51% των επιχειρήσεων αναφέρει πως η πιο σημαντική πηγή των «cyberthreats» στο πλαίσιο λειτουργίας των «smart factories», προκύπτει από τα δίκτυα των συνεργατών και των προμηθευτών. (i-SCOOP, 2024).



Εικόνα 267. Σημαντικά στάδια για την κυβερνοασφάλεια σε μια επιχείρηση.

(πηγή: <https://ainis.gr/cybersecurity-info/>).

Στο Industry 4.0, η «οριζόντια και κάθετη ενοποίηση» συντελεί στην καθιέρωση της λογικής του «interconnectivity» στο πλαίσιο λειτουργίας μιας επιχείρησης και οδηγεί στην εξάλειψη των διακοπών της σύνδεσης μεταξύ των τμημάτων ή των δικτύων των προμηθευτών. Το IoT επίσης διευκολύνει την επικοινωνία μεταξύ των μηχανών, των υπολογιστών και των αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο και η τεχνολογική πρόοδος συντελεί και στη δημιουργία των νέων επιχειρηματικών μοντέλων, στους τομείς των «fleet telematics», «asset tracking» και «retail environments». Η αξιοποίηση της φιλοσοφίας της «immersive» τεχνολογίας μέσω της χρήσης του AR (εικόνα 268) επιτρέπει τη προβολή των εικονικών (virtual) στοιχείων ή αναπαραστάσεων εντός του απτού / φυσικού περιβάλλοντος του χρήστη (καταναλωτή), οι AR προσομοιώσεις επιδρούν στον τρόπο με τον οποίο οι επιχειρήσεις διαμορφώνουν και αναπτύσσουν τα «prototype products», ενώ η αξιοποίηση του VR επιτρέπει την αλληλεπίδραση του χρήστη με τα «virtual environments» (προσομοιώσεις). (Haiston, 2023).



Εικόνα 78. Η φιλοσοφία της «immersive» τεχνολογίας μέσω της χρήσης του AR.

(πηγή: <https://replicaprinting.com/2019/04/augmented-reality-future-print/>).

4.11 Industry 4.0 - Packaging 4.0

Η ανάδυση των παραπάνω καινοτόμων τεχνολογιών και εφαρμογών επιτρέπει και την ανάπτυξη των επονομαζόμενων «ενοποιημένων οικοσυστημάτων» (integrated ecosystems) εντός των αλυσίδων εφοδιασμού, γεγονός που επιφέρει οφέλη κατά βάση στην ανάπτυξη των νέων προϊόντων, στις βελτιώσεις στις πρακτικές στον κλάδο του μάρκετινγκ, στα δεδομένα και στα προγνωστικά στοιχεία για το σύνολο των πωλήσεων και στη διανομή των τελικών προϊόντων στον καταναλωτή. (Haiston, 2023). Ο σύγχρονος κλάδος των εκτυπώσεων και της συσκευασίας υφίσταται αυξανόμενες πιέσεις και απαιτήσεις για την έγκαιρη παράδοση των προϊόντων, ενώ

είναι πολύ αναγκαία και η διατήρηση των τιμών σε ένα ανταγωνιστικό επίπεδο, αλλά πολύ σημαντική είναι και η συμμόρφωση όλων των επιχειρήσεων με τις «νομοθετικές διατάξεις» (regulatory requirements), αναφορικά με όλες τις παραγωγικές διαδικασίες και της διεργασίες της διανομής των προϊόντων. (Lafler, 2021).

Η εν λόγω πρόκληση μπορεί να επιλυθεί αποτελεσματικά μέσω των τεχνολογιών του αυτοματισμού και των εφαρμογών του Industry 4.0, που ενσωματώνονται στο φάσμα όλων των διεργασιών της παραγωγής των εκτυπώσεων, αλλά και των συσκευασιών, καθώς ο κλάδος της συσκευασίας αντιπροσωπεύει μια βιομηχανία που μπορεί να επωφεληθεί σημαντικά από την εφαρμογή των τεχνολογιών του Industry 4.0. (Lafler, 2021) (Usman, 2023). Ο όρος «Packaging 4.0» (που ορίζεται ως «Συσκευασία 4.0», όπως παρουσιάζεται και στην εικόνα 260) αφορά τη λογική της «ενοποίησης» της πρακτικής εφαρμογής των IoT, AI και της τεχνολογίας του blockchain, με κύριο στόχο την ενίσχυση του βαθμού της λειτουργίας, της απόδοσης και της «βιώσιμης» παραγωγής όλων των σταδίων του κύκλου της ζωής (lifecycle) του εκάστοτε παραχθέντος προϊόντος. (Pandey, 2024).



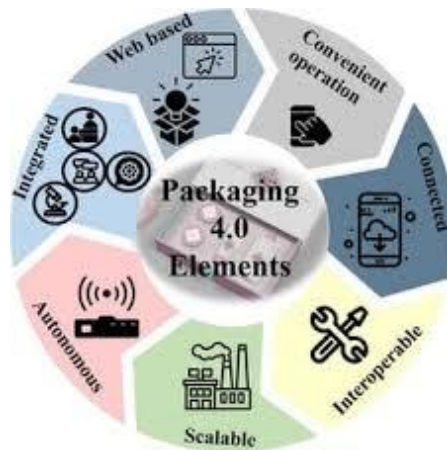
Εικόνα 269. Ο όρος «Packaging 4.0» («Συσκευασία 4.0»).

(πηγή: https://www.wh.group/int/en/company/research_development/packaging_4.0/).

Η κύρια κατεύθυνση αφορά τη «ψηφιοποίηση» και τον υψηλό αυτοματισμό των παραγωγικών διαδικασιών, για την ενίσχυση της ορατότητας επί της αλυσίδας εφοδιασμού, τη διασφάλιση της ποιότητας των παραχθέντων προϊόντων, αλλά και την παροχή υπηρεσιών που ικανοποιούν τον καταναλωτή. Η δυναμική της φιλοσοφίας του «Packaging 4.0» (εικόνες 270 και 271) εστιάζει κατά βάση στην άμεση ανταπόκριση και στη δόκιμη διαχείριση των συνεχώς μεταβαλλόμενων

αιτημάτων εκ μέρους των πελατών, αλλά και τη συμμόρφωση των επιχειρήσεων με τους νομοθετικούς κανονισμούς και τις βέλτιστες προδιαγραφές ποιότητας, γεγονός που επιτρέπει και την επίτευξη αρκετών στόχων της βιωσιμότητας (sustainability), συντελώντας έτσι και την ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας στο πεδίο της παραγωγής των συσκευασιών. (Pandey, 2024).

Η αξιοποίηση των αισθητήρων IoT και των «συστημάτων εποπτείας / ελέγχου» (monitoring systems) σε πραγματικό χρόνο, συνεπάγεται και τη βελτίωση της απόδοσης των συστημάτων ελέγχου, αλλά και τον περιορισμό του όγκου των αποβλήτων, γεγονός που οδηγεί σε ενίσχυση της παραγωγικότητας, στη βελτίωση του τρόπου που οργανώνεται το χρονοδιάγραμμα της παραγωγής και στην αναβάθμιση του βαθμού της ποιότητας των προϊόντων και μάλιστα με μειωμένο κόστος. Η ενίσχυση της «ευελιξίας» είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα των τεχνολογιών και εφαρμογών του Industry 4.0 στη βιομηχανία συσκευασίας, καθώς μέσω των AI και ML οι επιχειρήσεις προσαρμόζονται γρήγορα στις συνεχώς μεταβαλλόμενες απαιτήσεις της αγοράς, βελτιώνοντας έτσι και τα επίπεδα της άμεσης ανταπόκρισης και της έγκαιρης παράδοσης των παραγγελιών στους πελάτες. (Usman, 2023).

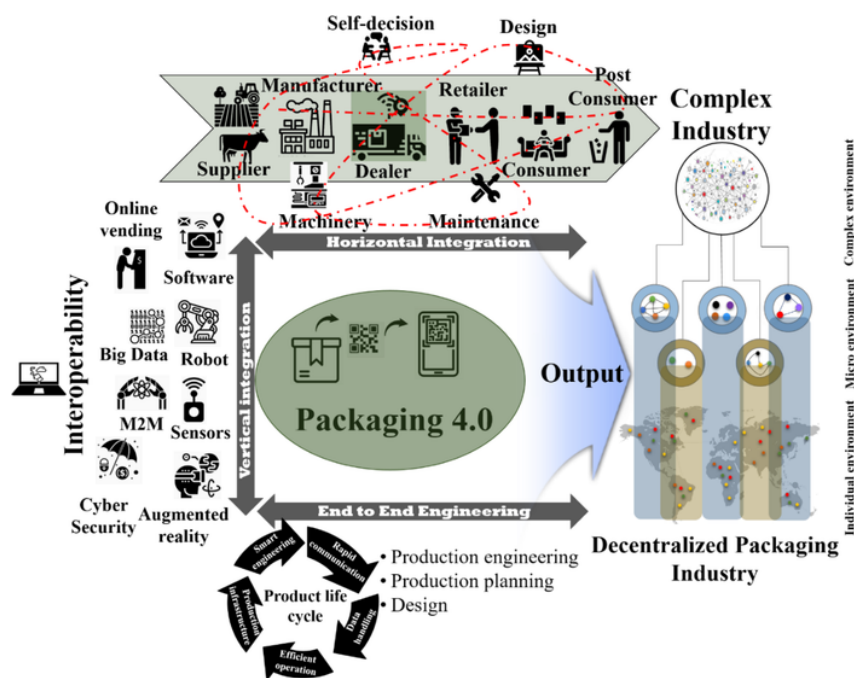


Εικόνα 270. «Packaging 4.0» («Συσκευασία 4.0»).

(πηγή:[https://www.researchgate.net/publication/359199619 Packaging 40 The threshold of an intelligent approach](https://www.researchgate.net/publication/359199619_Packaging_40_The_threshold_of_an_intelligent_approach)).

Οι επιχειρήσεις του κλάδου της συσκευασίας οφείλουν να έχουν υψηλή «ευελιξία» ως προς την άμεση παραγωγή των προϊόντων, την παροχή υψηλών δυνατοτήτων του

βαθμού της εξατομίκευσης, την προώθηση των μηχανισμών του ηλεκτρονικού εμπορίου και τη δυνατότητα παραγωγής μικρότερων παρτίδων παραγγελίας (smaller batch sizes). Οι εν λόγω επιδιώξεις παρουσιάζουν όμως και σημαντικές προκλήσεις που μπορούν να αντιμετωπιστούν μόνο αν οι επιχειρήσεις προβούν σε «επενδύσεις στο Industry 4.0», οι οποίες βελτιώνουν το βαθμό της απόδοσης μέσω του αυτοματισμού, αλλά και μέσω της ανάπτυξης των «software solutions», όπως είναι τα επανομαζόμενα «Matics manufacturing analytics». (Farooq, 2023).



Εικόνα 271. «Packaging 4.0» («Συσκευασία 4.0»).

(πηγή: https://www.researchgate.net/publication/359199619_Packaging_40_The_threshold_of_an_intelligent_approach).

Η επιδίωξη του «Packaging 4.0» σχετίζεται με την προώθηση και την ανάπτυξη του κλάδου της συσκευασίας ως προς την υψηλότερη απόδοση (efficiency) και εξατομίκευση (customization), αλλά και την επίτευξη των στόχων της βιωσιμότητας, ενώ σύμφωνα με εκτιμήσεις, η παγκόσμια αγορά της συσκευασίας (global packaging market) θα ανέλθει έως το 2032 στο ποσό των 1,45 τρισεκατομμυρίων δολαρίων και θα παρουσιάσει CAGR της τάξεως του 3,78%. Τα κύρια βήματα για το ψηφιακό μετασχηματισμό του κλάδου της συσκευασίας καθορίζονται βάσει πολλών διαφορετικών παραμέτρων, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται οι εντονότερες

«προσταγές / αιτήσεις» για την επίτευξη των στόχων της βιωσιμότητας, οι συνεχώς εντεινόμενες καταναλωτικές τάσεις για υψηλότερη εξατομίκευση κατά βάση στο πλαίσιο του ηλεκτρονικού εμπορίου και η υιοθέτηση της αυτοματοποίησης ως κύριο εργαλείο της επίλυσης ζητημάτων εντός της εφοδιαστικής αλυσίδας. (Adarsh, 2025).

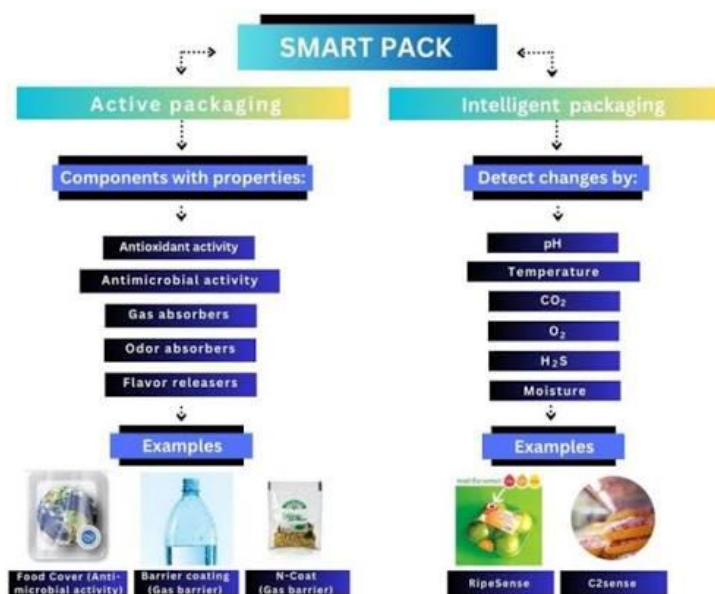
Είναι δόκιμο όμως να γίνει αναφορά και στους όρους των «smart packaging» (έξυπνη συσκευασία), «active packaging» (ενεργή συσκευασία) και «intelligent packaging» (ευφυής συσκευασία). Το «smart packaging» συνιστά μια καινοτόμο μεταστροφή αναφορικά με τα πρότυπα και τις μεθόδους της παραγωγής που υπάρχουν στον κλάδο της συσκευασίας, προσφέροντας μια νέα και περισσότερο ολιστική προσέγγιση αναφορικά με τη διάθεση των συσκευασιών στο φάσμα των επονομαζόμενων «ψηφιακών αγορών» (digital markets), με στόχο την ενίσχυση της λειτουργικότητας της συμβατικής συσκευασίας. (Madhurakavi, 2021).

4.12 Smart packaging, intelligent packaging, active packaging

Το «smart packaging» διακρίνεται στις δύο κατηγορίες των «active packaging» και «intelligent packaging» (εικόνα 272). (Madhurakavi, 2021). Το «active packaging» ενσωματώνει με δόκιμο τρόπο τα επονομαζόμενα «ενεργά στοιχεία» (reactive elements) που μπορεί να είναι μηχανικής ή χημικής (mechanical or chemical) προέλευσης, αλλά δεν εμπεριέχει «τα ψηφιακά ή τα υπολογιστικά» (digital or computational) στοιχεία. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η μπίρα «Coors» που διατίθεται σε κουτάκι που αλλάζει χρώμα όταν το υγρό στο φτάσει στη ιδανική θερμοκρασία που απαιτείται πριν να καταναλωθεί. (Jabil, 2021).

Τα είδη του «active packaging» είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο που να μπορεί να ενισχυθεί η επονομαζόμενη «διάρκεια της ζωής του προϊόντος στο ράφι» (shelf life lifecycle), η «διάρκεια ζωής του προϊόντος» (lifecycle), αλλά και «το επίπεδο της ποιότητας του προϊόντος κατά την αποθήκευση και τη μεταφορά» (storage & transportation). Τα κύρια υλικά που χρησιμοποιούνται στο «active packaging» είναι όσα είναι κατάλληλα για τον έλεγχο της θερμοκρασίας (control temperature), την προστασία από τους εξωτερικούς παράγοντες (guard against external factors) ή εκείνα που σχετίζονται με την αφαίρεση / απόλεια διαφόρων στοιχείων που ίσως

προκαλέσουν βλάβη στο προϊόν. Κάποια παραδείγματα του «active packaging» είναι η επανομαζόμενη «απορρόφηση αερίων» (gas-scavenging), η «ρύθμιση ποσοστού υγρασίας» (moisture control), το «μέτρο κατά της οξείδωσης» (anti-oxidation) και η «ρύθμιση της θερμοκρασίας» (temperature control). (Madhurakavi, 2021).



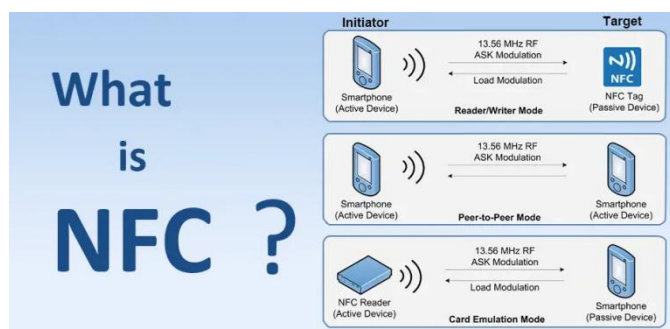
Εικόνα 272. Το «smart packaging».

(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/The-two-types-of-smart-packaging-active-and-intelligent-packaging-and-their-functions_fig1_376072023).

Το «intelligent packaging» αφορά την ενσωμάτωση όλων των δυνατοτήτων της έννοια της «διά δρασης» (interactivity) μέσω της αξιοποίησης των ηλεκτρονικών / ψηφιακών εργαλείων, τα οποία περικλείουν με δόκιμο τρόπο τα ψηφιακά και τα υπολογιστικά (digital & computational) στοιχεία, τους αισθητήρες και τις οθόνες αναπαραγωγής (displays). (Jabil, 2021). Η φιλοσοφία του «intelligent packaging» εστιάζει στην ενσωμάτωση των νέων, επιπρόσθετων «λειτουργικών» (functional) επί των συσκευασιών, τα οποία ενισχύουν σημαντικά την αξία του προϊόντος (augment product's value) και αναβαθμίζουν τα επίπεδα της εξυπηρέτησης των καταναλωτών (consumer experience). (Madhurakavi, 2021).

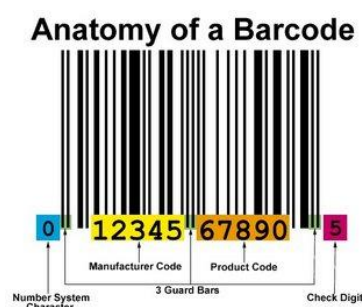
Χαρακτηριστικά παραδείγματα των «functional» δυνατοτήτων είναι η χρήση των ετικετών που βασίζονται στην τεχνολογία «της επικοινωνίας κοντινού πεδίου» (Near Field Communication – NFC), που παρουσιάζεται στην εικόνα 273 ή του

επονομαζόμενου «γραμμωτού κώδικα» (barcode), που εμφανίζεται στην εικόνα 274. Τα εν λόγω στοιχεία διευκολύνουν σε σημαντικό βαθμό τη μεταφορά όλων των συσκευασιών, αλλά και την έγκαιρη διανομή πολλών ειδών διαφημιστικού υλικού (marketing materials) στους καταναλωτές. (Madhurakavi, 2021). Η ανάπτυξη των προϊόντων με τη βοήθεια της τεχνολογίας NFC αναδεικνύει σε πάρα πολύ σημαντικό βαθμό και την απρόσκοπτη ενσωμάτωση της φιλοσοφίας του επονομαζόμενου «μηχανισμού της ηλεκτρονικής / ψηφιακής νοημοσύνης» (integration of electronic intelligence), που εμφανίζεται στην εικόνα 275, σε διαφορετικά «είδη καθημερινής χρήσης», όπως είναι οι ετικέτες συσκευασιών που αναπτύσσουν εταιρείες σαν τη Thin Film Electronics (Thinfilm). (Winters, 2015).



Εικόνα 273. Near Field Communication – NFC.

(πηγή: <https://www.rfidsilicone.com/blog/industry-news/what-is-nfc-near-field-communication-how-does-it-work.html>).



Εικόνα 274. Η ανατομία" ενός barcode.

(πηγή: <https://blogs.sch.gr/tgiakoum/archives/2918>).

Το Thinfilm είναι ένα «NFC-enabled smart label» που είναι ειδικά σχεδιασμένο για την έγκαιρη ανίχνευση της ενδεχόμενης υπέρβασης μιας ορισμένης τιμής

θερμοκρασίας (critical temperature threshold). Στην εν λόγω περίπτωση η ετικέτα εκπέμπει ένα σήμα με «λειτουργία NFC» (NFC-enabled signal) που μπορεί να ανιχνευθεί από κάποιο «NFC-enabled smartphone» που βρίσκεται σε κοντινή απόσταση, ενώ αυτό ενεργοποιεί στη συνέχεια την εμφάνιση μιας ειδοποίησης στην οθόνη του smartphone. (Winters, 2015).

Η έλευση των νέων τεχνολογιών και εφαρμογών οδηγεί και στο να διαμορφώνονται και αρκετές νέες ορολογίες στο σύγχρονο τομέα της συσκευασίας, όπως είναι τα προαναφερθέντα «smart packaging», «active packaging» και «intelligent packaging», αλλά και το «connected packaging» που αναφέρεται στην έννοια της «συνδεδεμένης συσκευασίας» (εικόνα 276). Αν και οι εν λόγω όροι έχουν διαφορετική σημασία και σχετίζονται με διαφορετικά είδη και χαρακτηριστικά συσκευασιών, κάθε ένας ενισχύει τη δυναμική των σύγχρονων συσκευασιών, μιας και μέσω αυτών παρέχονται στους καταναλωτές οι «αναβαθμισμένες καταναλωτικές εμπειρίες» (consumer experiences), επιφέροντας έτσι τη ριζική μεταστροφή της σχέσης αλληλεπίδρασης που αναπτύσσεται μεταξύ των brands και των καταναλωτών. (Jabil, 2021).

Approach	Advantages	Limitations	Strategic Impact
Build AI Internally	High control and full customization; ability to tailor models to unique business needs	Requires significant investment, specialized AI/ML talent, long development and iteration cycles	Strong long-term ownership but slow to scale; high operational burden
Buy Third-Party AI Products	Fast deployment; minimal development effort; predictable licensing model	Creates siloed tools; limited customization; often misaligned with enterprise architecture and business processes	Quick wins but weak strategic alignment; increases fragmentation across systems
Integrate AI Into Existing Systems	Aligns AI with current workflows and enterprise stack; leverages existing data and infrastructure	Requires careful planning, orchestration, and cross-system integration	High strategic value; scalable, cohesive, and supports long-term digital roadmap

Εικόνα 275. Η ενίσχυση της φιλοσοφίας του «μηχανισμού της ηλεκτρονικής / ψηφιακής νοημοσύνης».

(πηγή: <https://www.fingent.com/blog/intelligence-integration/>).

Το «connected packaging» (εικόνα 277) εντάσσεται στο πεδίο εφαρμογής του IoT και συνιστά μια νέα μέθοδο, κατά την οποία η «connected» συσκευασία διασυνδέεται με το cloud και επιτρέπει την αξιοποίηση νέων και διευρυνμένων δυνατοτήτων ως προς την επεξεργασία των δεδομένων (data processing), την παρακολούθηση (tracking), την κοινωνική δικτύωση (social media), την παράδοση, αλλά και την επονομαζόμενη

«εμπορική εκμετάλλευση» (commercial capabilities) της συσκευασίας. (Jabil, 2021). Είναι δόκιμο όμως να γίνει μια συνοπτική αναφορά και στο φάσμα της βιωσιμότητας στη σύγχρονη βιομηχανία των συσκευασιών.



Εικόνα 276. Η λογική του «connected packaging».

(πηγή: <https://polyflex.co.za/2024/08/19/5-things-you-should-know-about-connected-packaging/>).



Εικόνα 277. Παράδειγμα του «connected packaging».

(πηγή: https://epacflexibles.com/en-gb/connected-packaging-the-value-of-two-way-communication-between-brand-consumer/?srsltid=AfmBOogERwRc3yDvB3wSmG8_L0XR--vgPoOreO7BYBLrfAGg-ELHCw3).

4.13 Η συμβολή των στόχων της βιωσιμότητας

Η βιωσιμότητα εξελίσσεται στο σήμερα ως μια «πολύ σημαντική και αναγκαία παγκόσμια προτεραιότητα», γεγονός που οδηγεί στην υιοθέτηση περισσότερο

«φιλικών προς το περιβάλλον» πρακτικών στον κλάδο και στη βιομηχανία της συσκευασίας. (TETRIX, 2023). Οι νομοθετικές διατάξεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης αναφορικά με την επονομαζόμενη «διευρυμένη ευθύνη του παραγωγού» (Extended Producer Responsibility - EPR) που παρουσιάζεται στην εικόνα 278 και η νομοθεσία της Γαλλίας για τη διαχείριση των αποβλήτων (France's anti-waste law) προβλέπουν μια σημαντική μείωση της χρήσης του πλαστικού μέσω της εφαρμογής λεπτομερών μετρήσεων που αφορούν την ανακύκλωση και τη «διαφάνεια αναφορικά με την προμήθεια των υλικών» (precise recycling metrics & material sourcing transparency). (Adarsh, 2025).



Εικόνα 278. Extended Producer Responsibility – EPR.

(πηγή: <https://www.paramountglobal.com/knowledge/what-is-extended-producer-responsibility/>).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ως κύριο στόχο την επίτευξη του ποσοστού της τάξεως του 65% για την ανακύκλωση των «packaging waste» (δηλαδή των «αποβλήτων της παραγωγής του κλάδου της συσκευασίας») και τη μείωση της χρήσης των «πλαστικών συσκευασιών μιας χρήσης» (single-use plastic packaging) κατά 20% μέχρι το τέλος του 2025. (Adarsh, 2025). Η υψηλή ευαισθητοποίηση των καταναλωτών στα υφιστάμενα ζητήματα της περιβαλλοντικής συνείδησης και οι αυστηροί κρατικοί κανονισμοί που στοχεύουν στη μείωση του επονομαζόμενου «ανθρακικού αποτυπώματος» (carbon footprints), οδηγούν επίσης σε σημαντική ανάπτυξη ως προς τις επονομαζόμενες «βιώσιμες επιλογές των συσκευασιών» (sustainable packaging solutions). (Future Data Stats, 2024).

Η έλευση των Industry 4.0 τεχνολογιών και εφαρμογών ενισχύει την προώθηση των «βιώσιμων επιλογών συσκευασίας» (εικόνα 279), οι οποίες εστιάζουν κατά βάση στην ελαχιστοποίηση ή και στο πλήρη περιορισμό του «περιβαλλοντικού αντίκτυπου» (environmental impact). (TETRIX, 2023). Η αξία της παγκόσμιας αγοράς των «βιώσιμων επιλογών συσκευασίας» (Sustainable Packaging Solutions Market) αποτιμάται στο συνολικό ποσό των 224,56 δισεκατομμυρίων δολαρίων για το 2023 και προβλέπεται να αναπτυχθεί με CAGR 5,6%, αγγίζοντας το ποσό των 396,49 δισεκατομμυρίων δολαρίων έως το 2030. Η κύρια επιδίωξη των εν λόγω βιώσιμων λύσεων σχετίζεται με τη δόκιμη διαχείριση της επονομαζόμενης «κατανάλωσης των διαθέσιμων πόρων» (minimise resource consumption), του περιορισμού του όγκου των αποβλήτων (reduce waste generation), αλλά και τη μείωση των εκπομπών των επονομαζόμενων «αερίων του θερμοκηπίου» (lower greenhouse gas emissions). (Future Data Stats, 2024).

Τα κύρια υλικά που αξιοποιούνται στις «βιώσιμες» συσκευασίες είναι τα εξής:

- βιοδιασπώμενα πλαστικά (biodegradable plastics)
- ανακυκλωμένα υλικά (recycled materials)
- ανανεώσιμες πρώτες ύλες (renewable resources): όπως είναι το χαρτί, το χαρτόνι (cardboard) και το μπαμπού (bamboo). (Future Data Stats, 2024).



Εικόνα 279. Παραδείγματα ορισμένων «βιώσιμων επιλογών συσκευασίας» για το 2026.

(πηγή: <https://cn.hydepackage.com/info-detail/sustainable-food-packaging-trends-2026->).

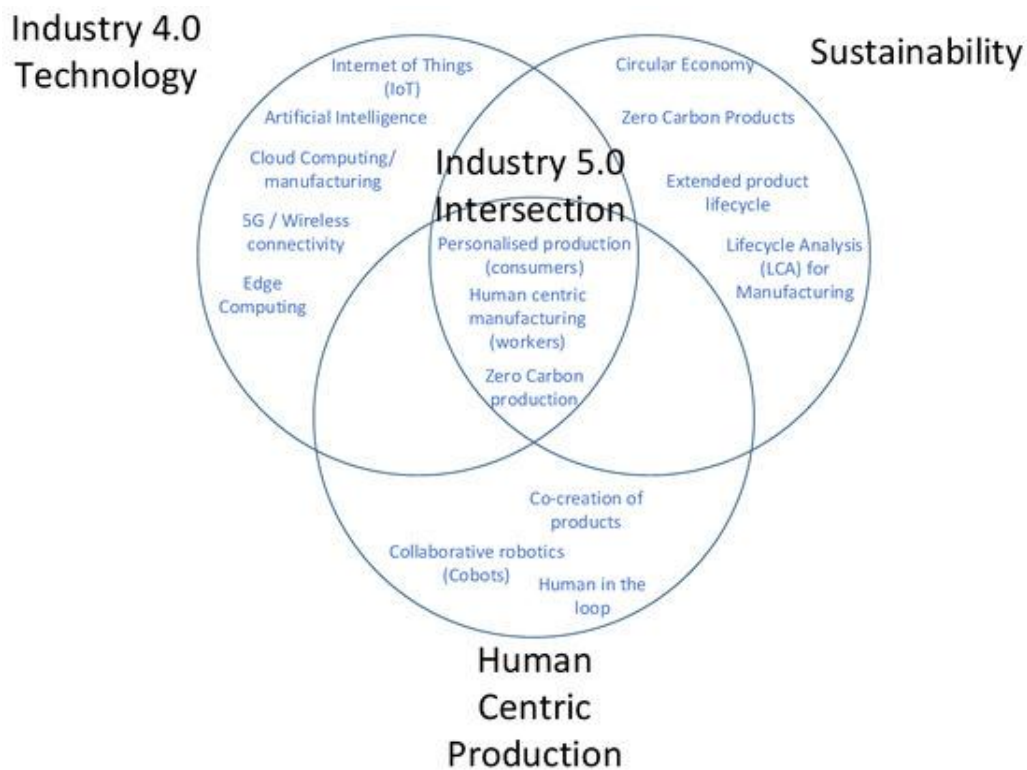
Η αξιοποίηση των βιοδιασπώμενων υλικών και των «πρωτοποριακών κατασκευών» (innovative designs), σε συνδυασμό με τη θέσπιση νέων σχετικών δράσεων και πρωτοβουλιών που αφορούν την ανακύκλωση (recycling initiatives), οδηγούν τον κλάδο της συσκευασίας σε μια περισσότερο «οικολογική προσέγγιση» που ανταποκρίνεται άμεσα και αποτελεσματικά στις ολοένα και πιο έντονες «eco-friendly» απαιτήσεις των καταναλωτών, επιτρέποντας έτσι και τη διαχείριση του συνολικού ανθρακικού αποτυπώματος. (TETRIX, 2023). Είναι δόκιμο όμως να γίνει αναφορά και στο πλαίσιο της μετάβασης της φιλοσοφίας του «Packaging 4.0» στο φάσμα του Industry 5.0, δηλαδή στη «Βιομηχανία 5.0», η οποία αναφέρεται στην έλευση της 5^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης.

4.14 Industry 5.0 (Βιομηχανία 5.0)

Η έννοια του Industry 5.0 είναι σχετικά νέα και ως ορολογία και ως φιλοσοφία, ενώ σύμφωνα με τα δεδομένα που αναρτώνται στις προσεγγίσεις που αφορούν την Ευρωπαϊκή Ένωση, το Industry 5.0 σκιαγραφεί ένα «νέο και καινοτόμο όραμα για τη βιομηχανία που δεν περιορίζεται μόνο στην ενίσχυση της αποδοτικότητας και της παραγωγικότητας, αλλά επιχειρεί να βελτιώσει το ρόλο και τη συμβολή της βιομηχανικής παραγωγής στην κοινωνία». Η λόγω νέα προσέγγιση (εικόνα 280) τοποθετεί την επονομαζόμενη «ευημερία κάθε εργαζομένου στο κέντρο της παραγωγικής διαδικασίας», εντός της οποίας κάθε επιχείρηση αξιοποιεί τις νέες τεχνολογίες και τις εφαρμογές για να προσφέρει μια «μεγαλύτερη ευημερία», η οποία υπερβαίνει το φάσμα των δυνατοτήτων της «συμβατικής εργασιακής απασχόλησης και της επιχειρησιακής ανάπτυξης», εστιάζοντας στη «βιώσιμη παραγωγή» και στην «υψηλότερη περιβαλλοντική προστασία». (Kraaijenbrink, 2022).

Σύμφωνα με τους Fogaça et al. (2025), το Industry 4.0 (I4.0), το οποίο εμφανίζεται ως έννοια πριν από πάνω από μια δεκαετία και αντιπροσωπεύει τα νέο πρότυπο για τον μετασχηματισμό όλων των παραδοσιακών πρακτικών που υιοθετούνται στον τομέα της μεταποίησης και της βιομηχανικής παραγωγής, μέσω της ενσωμάτωσης των καινοτόμων εφαρμογών και των προηγμένων ψηφιακών τεχνολογιών, οι οποίες αποσκοπούν στη βελτίωση των διαδικασιών της παραγωγής και στην ενίσχυση της αποδοτικότητας, της διαχείρισης των δεδομένων και του δείκτη του ανταγωνισμού

μιας επιχείρησης. Έκτοτε, η εν λόγω υιοθετείται με αυξανόμενο αριθμό και σε άλλους τομείς, οι οποίοι το ενσωματώνουν ως «φιλοσοφία» στα επιχειρηματικά τους μοντέλα και στις αλυσίδες αξίας. Πιο πρόσφατα, αναδύεται και το πρότυπο Industry 5.0 (I5.0), το οποίο βασίζεται στην έκθεση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για το 2021 (European Commission 2021 report) και σχετίζεται με την ενσωμάτωση των βασικών αρχών της βιωσιμότητας (sustainability), της «άνθρωπο κεντρικότητας» (human-centricity) και της «ανθεκτικότητας / αντοχής» (resilience). (Fogaça et al., 2025).



Εικόνα 280. Η έλωση του Industry 5.0 και το πλαίσιο των δυνατοτήτων του Industry 4.0.

(πηγή: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/13/10169>).

Το ερευνητικό ενδιαφέρον για το νέο πρότυπο του Industry 5.0 αυξάνεται ραγδαία και εκθετικά, δημιουργώντας νέες προκλήσεις, καθώς αυτό δεν στερείται ούτε «αντιφάσεων ούτε αμφισημιών», με αποτέλεσμα οι επιχειρήσεις που μόλις αρχίζουν να υιοθετούν τη φιλοσοφία του I4.0 να έρχονται αντιμέτωπες και μη δοκίμως προετοιμασμένες με την εν λόγω καινοτομία. Η κατανόηση των εν λόγω αλλαγών απαιτεί μια βαθύτερη συζήτηση σχετικά με τα εν λόγω φαινόμενα και έτσι η αρχική

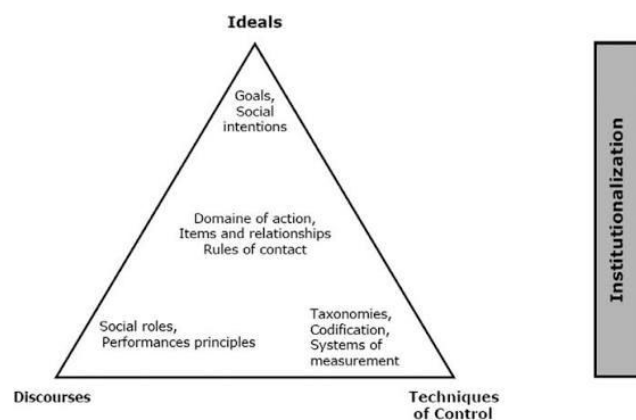
επιδίωξη είναι να μελετηθεί και να αναλυθεί «πιο εστιασμένα και πιο ολιστικά» η φιλοσοφία της φύσης της μετάβασης από το I4.0 στο I5.0, κάτι που επίσης είναι πολύ σημαντικό βήμα για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο πραγματοποιείται η μετάβαση μεταξύ αυτών των προτύπων / παραδειγμάτων. (Fogaça et al., 2025).

Σύμφωνα με τους Fogaça et al. (2025), μεγάλο μέρος της υφιστάμενης βιβλιογραφίας, ειδικά όσον αφορά την έννοια του I4.0, υιοθετεί μια «τεχνοκρατική οπτική γωνία» (techno-centric view), αγνοώντας σε μεγάλο βαθμό τη συμβολή του ζητήματος πως η τεχνολογία διαμορφώνεται κατά βάση από την κοινωνία και επηρεάζεται άμεσα από τις κοινωνικές αξίες, τις πεποιθήσεις και τα οικονομικά, κοινωνικά και πολιτικά συμφέροντα, μιας και απαρτίζεται από «κοινές έννοιες, δομές και πρακτικές» - πέρα από τις αντικειμενικές και τις ορθολογικές εκτιμήσεις — γεγονός που την τοποθετεί εννοιολογικά εγγύτερα στην έννοια της επονομαζόμενης «θεσμικής δομής / θεσμού» (institution). Αν και δεν υπάρχει ομοφωνία για την ύπαρξη ενός αποδεκτού ορισμού του «θεσμού», αυτό αναγνωρίζεται ως μια «κοινωνική και πολιτισμική κατασκευή (socio-cultural construction) που είναι απαραίτητη για την παροχή των σωστών προτύπων για τους οργανισμούς και την οργάνωση τους». (Fogaça et al., 2025).

Η έννοια της «θεσμοθέτησης» (Institutionalization), όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 281, αφορά μια «κοινωνική διαδικασία κατά την οποία όλα τα άτομα αποδέχονται μια οικουμενικά συλλογική αντίληψη της έννοιας της κοινωνικής πραγματικότητας, η οποία γίνεται αντιληπτή ως μια αντικειμενική πραγματικότητα» (social reality perceived as an objective reality), δηλαδή γίνεται αποδεκτή ως η επονομαζόμενη «εγγενής φύση των πραγμάτων και / ή ο κατάλληλος τρόπος για την επίτευξη τους» (inherent nature of things and / or the appropriate way of doing them). Ο εν λόγω ορισμός συνδέεται περισσότερο «εύκολα» με τη φιλοσοφία του I4.0 και είναι επίσης κεντρικής σημασίας για την κατανόηση του προτύπου του I5.0. (Fogaça et al., 2025).

Παρά τις προαναφερθείσες και πολύ αναγκαίες αιτήσεις αναφορικά με το να υπάρχει μια «λιγότερο τεχνοκρατική ερμηνεία» (techno-centric interpretation) της εν λόγω νέας Βιομηχανικής Επανάστασης, κατά βάση μέσα από ένα πιο «θεσμικό πρίσμα» (institutionalist lenses), μονάχα πάρα πολύ λίγες μελέτες ακολουθούν την εν λόγω προσέγγιση. Ο Reischauer (2018) προτείνει να ερμηνευθεί το I4.0 στη Γερμανία ως «ένας λόγος που καθοδηγείται από την πολιτική με κύριο στόχο τη θεσμοθέτηση των

συστημάτων καινοτομίας» (policy -driven discourse to institutionalize innovation systems). Ο U. Meyer (2019) περιγράφει το I4.0 στη Γερμανία ως «ένα επιθυμητό όραμα του μέλλοντος που βασίζεται στις διαδικασίες της νοηματοδότησης διαφόρων φορέων» (envisioned future based on the sense - making processes of different actors). Οι D. R. Fogaça et al. (2024) αναφέρονται σε ένα πλαίσιο που επιτρέπει τη συστηματική κατανόηση του λόγου που το I4.0 χρησιμοποιείται σε διαφορετικούς φορείς (framework for systematically understanding the discourse used by different stakeholders) και σε διάφορες χώρες ανά τον κόσμο, το οποίο μπορεί να αποτελέσει την κύρια βάση για την ουσιαστική μελέτη του I5.0. (Fogaça et al., 2025).



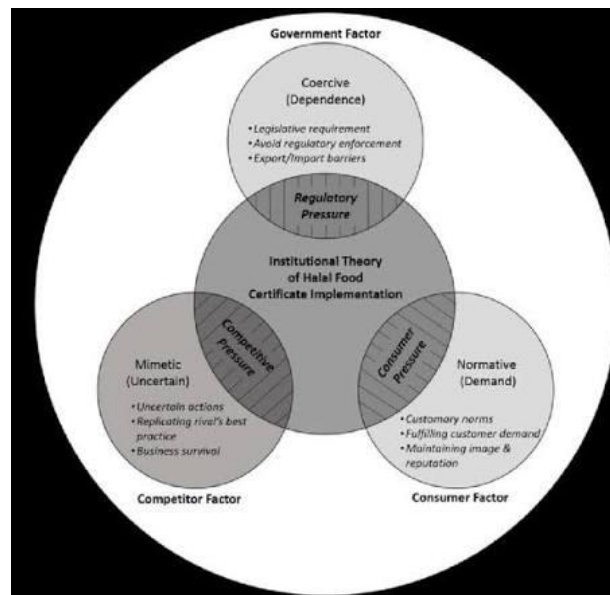
Εικόνα 281. Η έννοια της «θεσμοθέτησης» (Institutionalization).

(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/The-process-of-institutionalization_fig1_263123765).

Η προσέγγιση της επονομαζόμενης «Διαχείρισης της Μόδας» (Management Fashion - MF) συμβάλλει σε σημαντικό βαθμό στην κατανόηση της ανάδυσης των I4.0 και I5.0, υπογραμμίζοντας έτσι και τη συσχέτιση τους με την επονομαζόμενη «Θεωρία των Θεσμών» (Institutional Theory), όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 282. Στις εν λόγω μελέτες όμως απουσιάζει πλήρως και η ύπαρξη μιας «πιο ολοκληρωμένης προσέγγισης» (integrated perspective) ως προς τον τρόπο με τον οποίο οι διάφορες θεσμικές έννοιες και οι συναφείς μηχανισμοί συμβάλλουν στη διαμόρφωση των I4.0 και I5.0, καθώς και σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο αμφότερα μπορούν να «αλληλοσυνδέονται» μεταξύ τους ως έννοιες. (Fogaça et al., 2025).

Η φιλοσοφία του Industry 5.0 λειτουργεί ως μια αρκετά πιο βελτιστοποιημένη εκδοχή του Industry 4.0 (εικόνες 284 και 285), η οποία θέτει «την προώθηση της έρευνας και

της καινοτομίας ως σημαντική παράμετρο για την εύρωστη μετάβαση προς μια πιο βιώσιμη, εστιασμένη στον ανθρώπινο παράγοντα (ανθρωποκεντρική) και ανθεκτική ευρωπαϊκή βιομηχανική παραγωγή». Η έννοια του Industry 5.0 δεν περιορίζεται μόνο στο «βιομηχανικό τομέα», καθώς ισχύει και για κάθε τομέα και για κάθε οργανισμό, γεγονός που επισημαίνει πως η εφαρμογή της εν λόγω προσέγγισης είναι σημαντικά πιο «διευρυμένη» από εκείνη του Industry 4.0 και όταν γίνεται αναφορά για στις πρέπει να υιοθετείται μια «ευρεία και γενική προοπτική» που να μπορεί να έχει πρακτική εφαρμογή στους σύγχρονους κλάδους και τομείς. (Kraaijenbrink, 2022).

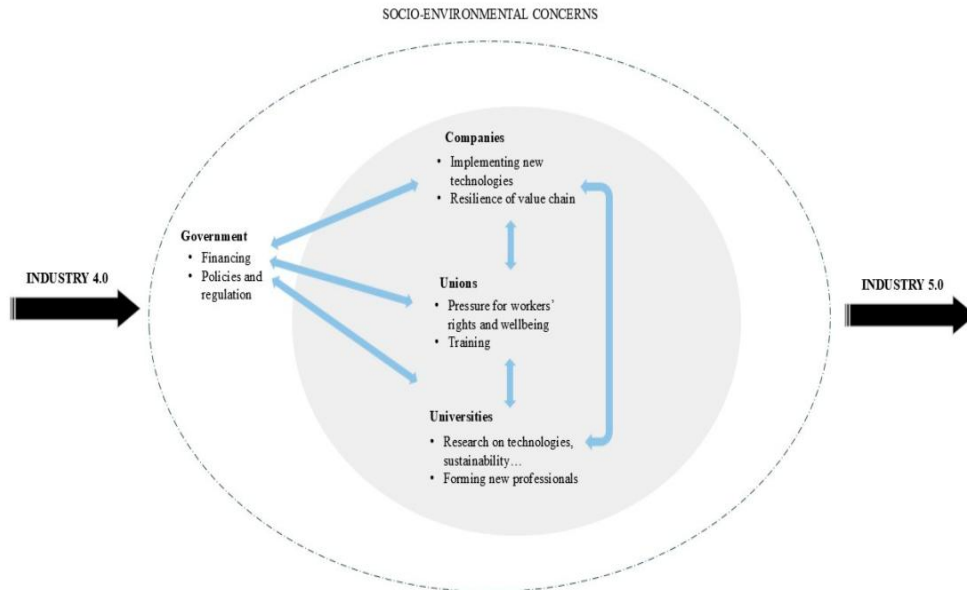


Εικόνα 283. Η «Θεωρία των Θεσμών» (Institutional Theory).

(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/nstitutional-Theory-IT-Di-Maggio-and-Powell-1983_fig2_336614155).

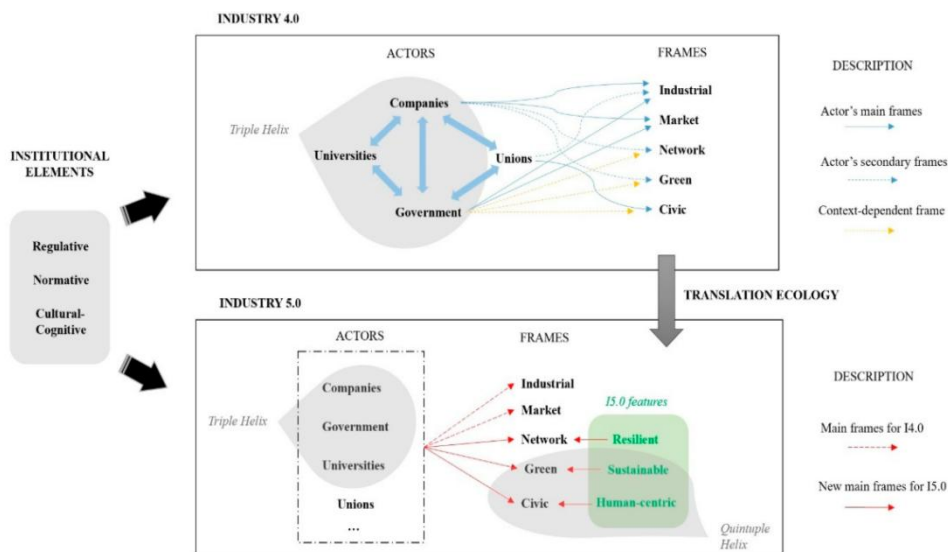
Ο Kraaijenbrink (2022) επισημαίνει πως η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παραθέτει σε ενημερωτικό γράφημα, πως το Industry 5.0 έχει τρεις πυλώνες (εικόνα 286) που έχουν πάρα πολύ σημαντικές επιπτώσεις στη στρατηγική των σύγχρονων επιχειρήσεων, οι οποίοι είναι οι εξής:

- «άνθρωπο κεντρικότητα»
- «ανθεκτικότητα / αντοχή»
- «βιωσιμότητα». (Kraaijenbrink, 2022).



Εικόνα 284. Το Industry 5.0 ως μια βελτιστοποιημένη εκδοχή του Industry 4.0.

(πηγή: <https://www.mdpi.com/2076-3387/15/4/118>).

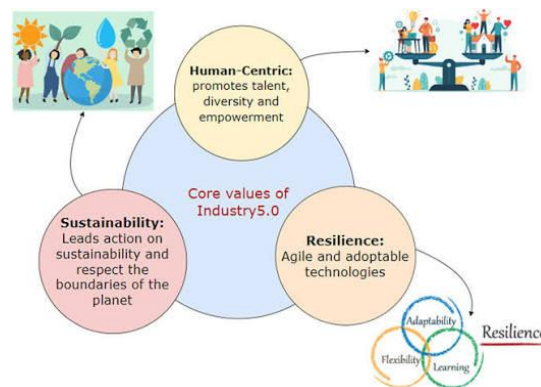


Εικόνα 285. Το Industry 5.0 ως μια βελτιστοποιημένη εκδοχή του Industry 4.0.

(πηγή: <https://www.mdpi.com/2076-3387/15/4/118>).

Μια νέα στρατηγική που έχει ως «έπικεντρο τον άνθρωπο», δηλαδή μια «ανθρωποκεντρική» στρατηγική, είναι εκείνη που σύμφωνα με το γράφημα της

Ευρωπαϊκής Επιτροπής, «προάγει τα talenta, τη διαφορετικότητα και την ενδυνάμωση του ανθρώπινου παράγοντα». Η σημαντικότερη αλλαγή που υποδηλώνει αυτό είναι η μετάβαση από την «αντίληψη των ανθρώπων ως μέσων» (η οποία συμβαίνει κατά βάση στον τομέα των ανθρώπινων πόρων) στην «αντίληψη των ανθρώπων ως αυτοσκοπών». Η εν λόγω μετάβαση αποτελεί μια «αλλαγή προοπτικής» από «τους ανθρώπους που υπηρετούν τους οργανισμούς, προς τους οργανισμούς που υπηρετούν τους ανθρώπους». (Kraaijenbrink, 2022).



Εικόνα 286. Οι βασικοί πυλώνες του Industry 5.0.

(πηγή: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bsd2.272>).

Αυτό είναι πιο ριζοσπαστικό από ό,τι μπορεί να φαίνεται με την πρώτη ματιά, μιας και συνάδει με το βέλτιστο δυνατό τρόπο με τις τρέχουσες εξελίξεις που παρατηρούνται στην παγκόσμια αγορά εργασίας. Σε πολλούς κλάδους και χώρες, η εύρεση, η εξυπηρέτηση και η διατήρηση των ταλέντων έχει αναγνωριστεί ως μια πολύ μεγαλύτερη πρόκληση από την εύρεση, την εξυπηρέτηση και τη διατήρηση των πελατών. Εάν αυτή η εξέλιξη συνεχιστεί, η υφιστάμενη φιλοσοφία της «επιχειρηματικής στρατηγικής» πρέπει να της δώσει τη δέουσα θέση, καθώς αυτό είναι το πραγματικό εγχείρημα που επιχειρεί να επιφέρει η ευρύτερη φιλοσοφία του Industry 5.0 (εικόνα 287). (Kraaijenbrink, 2022).

Το Industry 5.0 σκιαγραφεί μια πολύ σημαντική μεταστροφή από τον ανταγωνισμό μεταξύ των μηχανών και των ανθρώπων, προς τα σύγχρονα περιβάλλοντα της επονομαζόμενης «συνεργατικής παραγωγής». Αυτό το νέο και καινοτόμο πρότυπο βασίζεται κυρώς στα «ψηφιακά θεμέλια του Industry 4.0», τοποθετώντας όμως τον

ανθρώπινο παράγοντα στο κέντρο της τεχνολογικής προόδου και δεν ασπάζεται τη λογική της «πλήρους αντικατάστασης» του από την αυτοματοποίηση. Η εν λόγω έννοια εκτείνεται πέρα από τους παραδοσιακούς δείκτες απόδοσης, καθώς σύμφωνα με το Forbes, το Industry 5.0 «παρέχει ένα νέο όραμα για τη βιομηχανία που στοχεύει κατά βάση στις δυνατότητες που υπερβαίνουν τη λογική της ενίσχυσης του βαθμού της αποδοτικότητας και της παραγωγικότητας», έχοντας ως στόχο να ενισχύει «το ρόλο και τη συμβολή της βιομηχανίας στην κοινωνική πρόοδο». (Simio, 2025).



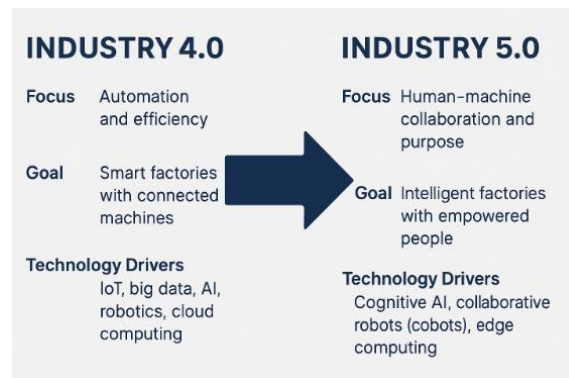
Εικόνα 287. Οι τρείς πυλώνες του Industry 5.0.

(πηγή: <https://www.forbes.com/sites/jeroenkraaijenbrink/2022/05/24/what-is-industry-50-and-how-it-will-radically-change-your-business-strategy/>).

Η μετάβαση από το Industry 4.0 στο Industry 5.0 (εικόνα 288), μπορεί ίσως να προσδιοριστεί και με την αξιοποίηση του όρου «Industry 4.0/5.0», ο οποίος αν και περικλείεται στον τίτλο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, δε χρησιμοποιείται στο σύνολο της υφιστάμενης βιβλιογραφίας. Λαμβάνοντας όμως υπόψη, στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, την αναγνώριση του όρου «Industry 4.0/5.0» ως τη διαδικασία της μετάβασης από το Industry 4.0 στο Industry 5.0, επισημαίνεται πως η εν λόγω μετάβαση προσδιορίζει τη μεταστροφή της παραγωγής στην «απόλυτη ψηφιοποίηση και στην αυτοματοποίηση», στην ενδυνάμωση των επιπέδων της συνεργασίας του ανθρώπου με τα συστήματα, τα εργαλεία και τις εφαρμογές της τεχνολογίας αιχμής, έχοντας ως κύρια επιδίωξη την επίτευξη των στόχων της βιώσιμης ανάπτυξης και τη διαμόρφωσης μιας υψηλότερης ανθεκτικότητας / αντοχής της παραγωγής.

Το Industry 4.0 εστιάζει στο «ψηφιακό αυτοματισμό» (digital automation) και στη συνδεσιμότητα, ενώ το Industry 5.0 βασίζεται στα εν λόγω θεμέλια για να δώσει μια

πιο μεγάλη εστίαση στο επίπεδο της «συνεργασίας μεταξύ του ανθρώπου και της μηχανής» (human - machine collaboration), στη βιωσιμότητα, αλλά και στη βελτίωση της επανομαζόμενης «κοινωνικής ανθεκτικότητας» (social resilience). Το Industry 4.0 εστιάζει στη βελτίωση της αποδοτικότητας, αλλά και στη βελτιστοποίηση και στην αυτοματοποίηση των παραγωγικών διαδικασιών, μέσω της χρήσης των IoT, cloud computing, big data και των CPS, καθώς οι εργαζόμενοι ενεργούν ως «επόπτες» (supervisors) ή «υπεύθυνοι» (monitors) της εποπτείας όλων των αυτοματοποιημένων συστημάτων και των αλγορίθμων. Ο στόχος του Industry 4.0 αφορά τη δημιουργία των «έξυπνων» εργοστασίων, τα οποία χρησιμοποιούν όλα τα σημαντικά δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για τη μείωση του λειτουργικού κόστους και την αύξηση της ταχύτητας της παραγωγής. (Caracol AM, 2026) (Morelli, 2025) (Pant et al., 2025).

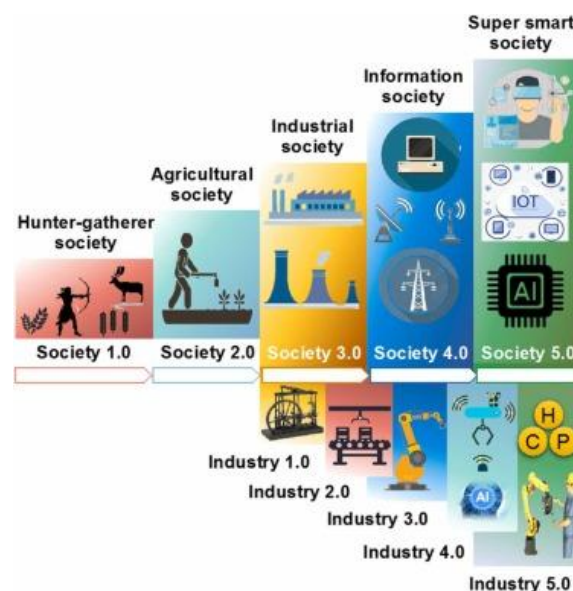


Εικόνα 288. Η μετάβαση από το Industry 4.0 στο Industry 5.0.

(πηγή: <https://twilightautomation.com/industry-5-0-the-future-of-human-centric-automation/>).

Το Industry 5.0 εστιάζει στην «ευημερία όλων των εργαζομένων», στην έννοια της «περιβαλλοντικής βιωσιμότητας (environmental sustainability) και στη φιλοσοφία της «επιχειρησιακής ανθεκτικότητας» (operational resilience), που επιτυγχάνεται κατά βάση μέσω της χρήσης της «προηγμένης τεχνητής νοημοσύνης» (advanced artificial intelligence), των cobots και του AR, καθώς οι εργαζόμενοι είναι «ενεργοί δημιουργοί» (active creators) και «συνεργάτες» (collaborators) που εργάζονται σε συνεργασία με τις «έξυπνες μηχανές». Αυτό συντελεί και στην διαμόρφωση της επανομαζόμενης «εξισορρόπησης της οικονομικής ανάπτυξης με την κοινωνική ευημερία, αλλά και με τους στόχους και σκοπούς που σχετίζονται με την προστασία του περιβάλλοντος». (Caracol AM, 2026) (Morelli, 2025) (Pant et al., 2025).

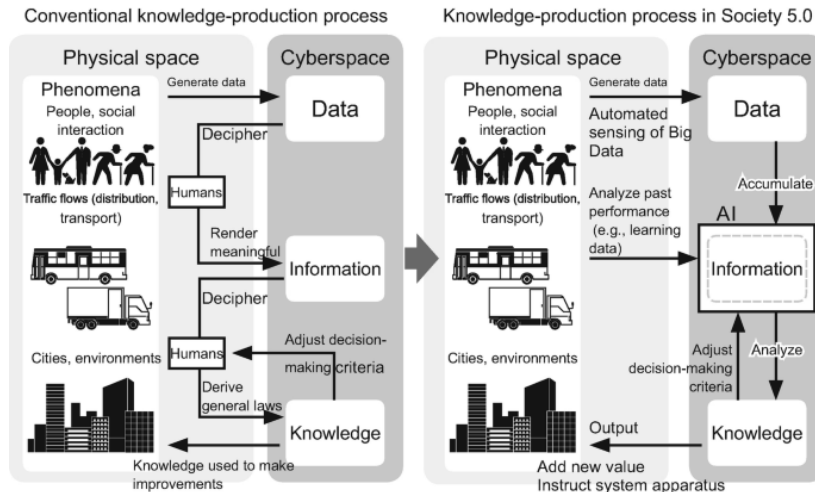
Σύμφωνα με τους Huang et al. (2022), η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προσδιορίζει το Industry 5.0 ως μια πρωτοβουλία για μια περισσότερο βιώσιμη, ανθρωποκεντρική και ανθεκτική Ευρωπαϊκή βιομηχανία (sustainable, human-centric & resilient European industry), ενώ ο όρος «Society 5.0» (που προσδιορίζεται ως «Κοινωνία 5.0») προτείνεται από το Υπουργικό Συμβούλιο της Ιαπωνίας με στόχο την «εξισορρόπηση της οικονομικής προόδου σε συνδυασμό με την επίλυση όσο το δυνατόν περισσότερων κοινωνικών προβλημάτων στην Ιαπωνία» (εικόνα 289). Γενικά, οι Βιομηχανικές Επανάστασεις και οι κοινωνικές μεταρρυθμίσεις που παρατηρούνται ανά τα χρόνια «αλληλοεπιδρούν» σημαντικά ως έννοιες και ως συνθήκες μεταξύ τους, ήδη από την εποχή της 1^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης. (Huang et al., 2022).



Εικόνα 289. Industry 5.0 και «Society 5.0».

(πηγή: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612522001224>).

Το «Society 5.0» (εικόνα 290) αντιπροσωπεύει ένα όραμα για να διαμορφωθεί μια «υπερ-έξυπνη κοινωνία» (super-smart society) που έχει ως επίκεντρο τον άνθρωπο, το οποίο προτείνεται από τη Γραμματεία του Υπουργικού Συμβουλίου της Ιαπωνίας (Japan Cabinet Office) και το οποίο επιδιώκει την εξισορρόπηση της οικονομικής προόδου με την επίλυση των κοινωνικών προκλήσεων, μέσω της ολοκλήρωσης / ενοποίησης του «κυβερνοφυσικού χώρου» (cyber-physical integration). (ASEM InfoBoard, 2024) (Cabinet Office, 2019) (Deguchi et al., 2020).

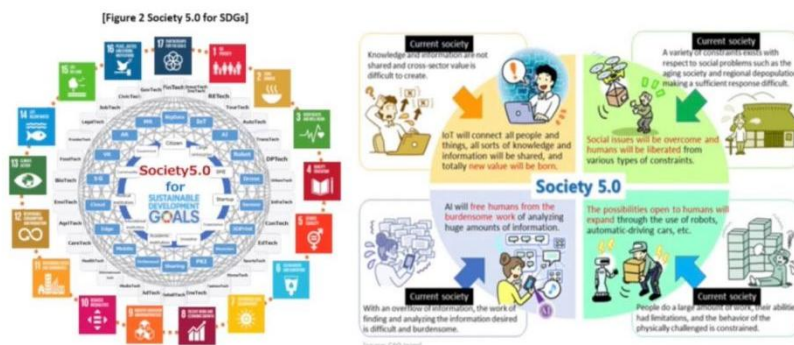


Εικόνα 290. Το «Society 5.0».

(πηγή: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-2989-4_1).

Οι βασικές αρχές του «Society 5.0» (εικόνα 291) είναι η «άνθρωπο κεντρικότητα» (στο πλαίσιο της οποίας η τεχνολογία εξυπηρετεί τους ανθρώπους και βελτιώνει την ποιότητα της ζωής, αντί να αποτελεί απλώς την κύρια κινητήρια δύναμη της ανάπτυξης), η «κυβερνοφυσική ενοποίηση» (όπου τα μεγάλα δεδομένα, το AI και το IoT γεφυρώνουν την «εικονική ανάλυση» με τη δράση στον πραγματικό κόσμο) και η «βιωσιμότητα» (η οποία θα πρέπει να ευθυγραμμίζεται ως προσέγγιση, με τους επανομαζόμενους «Στόχους της Βιώσιμης Ανάπτυξης» του ΟΗΕ, επιτρέποντας την επίλυση ζητημάτων, όπως είναι η γήρανση του πληθυσμού και η κλιματική αλλαγή. (ASEM InfoBoard, 2024) (Cabinet Office, 2019) (Deguchi et al., 2020).

Society 5.0 A New Humanism



Εικόνα 291. Το «Society 5.0».

(πηγή: <https://www.youtube.com/watch?v=org7Oeq9ANQ>).

Το «Society 5.0» (εικόνα 292) αποτελεί την εξέλιξη των κοινωνιών ως εξής:

- «Society 1.0» ως η «κοινωνία κυνηγών-συλλεκτών» (Hunter-gatherer society)
- «Society 2.0» ως η «αγροτική κοινωνία» (Agricultural society)
- «Society 3.0» ως η «βιομηχανική κοινωνία» (Industrial society)
- «Society 4.0» ως η «κοινωνία της πληροφορίας» (Information society)
- «Society 5.0» ως η «υπερ-έξυπνη, ανθρωποκεντρική κοινωνία (super-smart, human-centered society) που συγχωνεύει με το βέλτιστο τρόπο τον κυβερνοχώρο με τον φυσικό χώρο» (merging cyberspace & physical space). (ASEM InfoBoard, 2024) (Cabinet Office, 2019) (Deguchi et al., 2020).

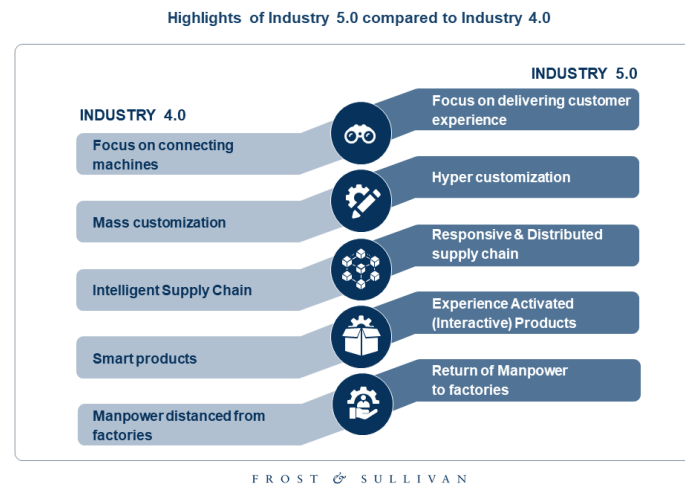


Εικόνα 292. Το «Society 5.0».

(πηγή: https://www.japan.go.jp/kizuna/2022/06/integrated_innovation_strategy.html).

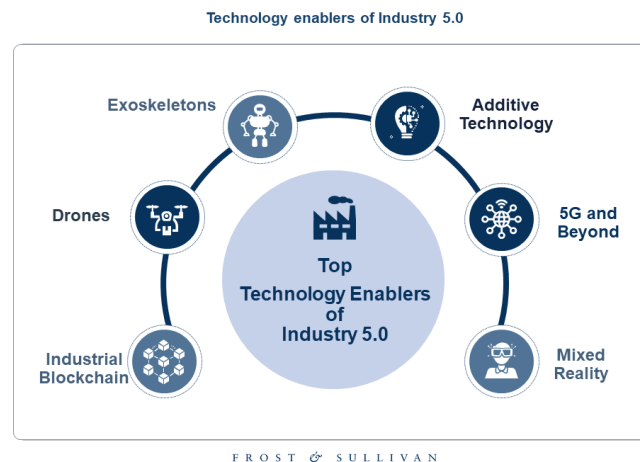
Το Industry 4.0 εστιάζει κατά βάση στη «ψηφιοποίηση» και στις αυτοματοποιημένες διαδικασίες (εικόνα 293), ενώ το Industry 5.0 (εικόνα 294) δίνει μια μεγαλύτερη προτεραιότητα στην «ευημερία του εργαζομένου που βρίσκεται στο κέντρο της παραγωγικής διαδικασίας». Η έννοια της «συνεργασίας μεταξύ του ανθρώπου και της μηχανής», οφείλει επίσης να ενισχύει σε ένα μεγαλύτερο βαθμό όλες τις δημιουργικές

ικανότητες του εργαζόμενου, αναφορικά με την επίλυση προβλημάτων και τη λήψη αποφάσεων σε όλες τις βιομηχανικές δραστηριότητες. (Simio, 2025).



Εικόνα 293. Το Industry 4.0 και η μετάβαση στο Industry 5.0.

(πηγή: https://www.sail4.it/industry_5-0_sail4-it/).



Εικόνα 294. Το Industry 5.0.

(πηγή: https://www.sail4.it/industry_5-0_sail4-it/).

Η «ανθρωποκεντρική προσέγγιση» (εικόνα 295) σηματοδοτεί και μια σημαντική «μεταστροφή» του προσανατολισμού / προτύπου της παραγωγής, μεταβαίνοντας από τη συμβατική θεώρηση «των εργαζομένων ως αντικαταστάσιμων πόρων», στην αναγνώριση τους ως «πολύτιμων περιουσιακών στοιχείων». Ο εν λόγω πυλώνας

δημιουργεί νέες «συνεργατικές σχέσεις», όπου η τεχνολογία αξιοποιείται για να ενισχύσει τις ανθρώπινες ικανότητες και όχι για να αντικαταστήσει την ανθρώπινη εργασία, γεγονός που βελτιώνει το βαθμό της παραγωγικότητας, δίνοντας πολύ υψηλή προτεραιότητα στην ανθρώπινη ευημερία. (Simio, 2025).



Εικόνα 295 .Στιγμιότυπο που παρουσιάζει τους τρεις πυλώνες της Βιομηχανίας 5.0.

(πηγή: <https://industry5-0.net/>).

Τα ρομπότ κατά βάση αναλαμβάνουν τις επαναλαμβανόμενες και τις χρονοβόρες εργασίες, ώστε οι άνθρωποι να μπορούν να επικεντρωθούν σε πιο δημιουργικές και καινοτόμες δραστηριότητες, ενώ η προηγμένη ενσωμάτωση του AI και των συνεργατικών ρομπότ επιτρέπει την υψηλότερη εξατομίκευση των προϊόντων, σύμφωνα με τις προτιμήσεις κάθε πελάτη, ενισχύοντας την ικανοποίηση και την αφοσίωση των πελατών. (Simio, 2025).

4.15 Οι 3 πυλώνες του Industry 5.0

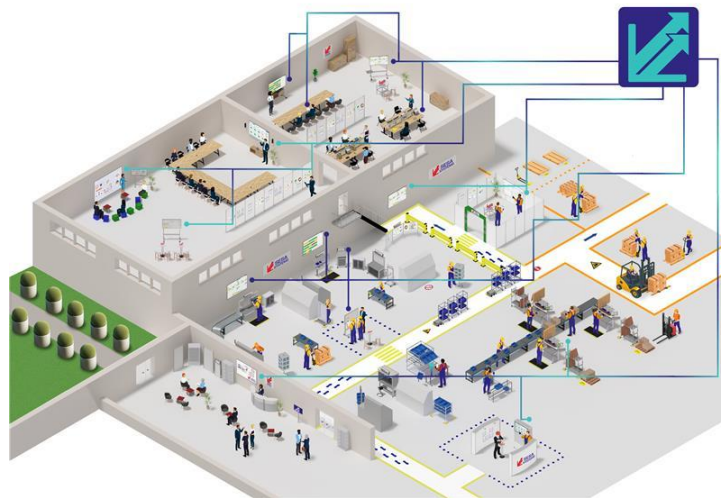
Το Industry 5.0 (εικόνες 296 και 297) αποτελεί την εξέλιξη της κεντρικής φιλοσοφίας του Industry 4.0, καθώς αντί να εστιάζει αποκλειστικά και μόνο στην παραγωγικότητα και στην τεχνολογία, τοποθετεί στο επίκεντρο τον άνθρωπο, το περιβάλλον και την κοινωνία, επιδιώκοντας κατά βάση να μπορούν οι «έξυπνες μηχανές» να συνεργάζονται απρόσκοπτα και ευέλικτα με τους ανθρώπους για να

ενισχύσουν τις δεξιότητες τους. (European Commission, 2024) (ESI Robotics , 2024) (Hexagon, 2025) (industry5-0.net, 2026) (Müller, 2026) (UST, 2024).



Εικόνα 296. Το Industry 5.0 («Βιομηχανία 5.0»).

(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/The-three-pillars-of-Industry-50-human-centricity-empowering-workers-and-prioritizing_fig1_391696514).



Εικόνα 297. Το Industry 5.0 («Βιομηχανία 5.0»).

(πηγή: https://www.sesa-systems.com/en-eu/blogs/bloglean/what-is-industry-5-0_).

Το Industry 5.0 βασίζεται σε τρεις κεντρικούς πυλώνες, οι οποίοι ορίζονται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και περικλείουν τα κάτωθι:

1. «Ανθρωποκεντρισμός» (Human-Centricity)

- οι τεχνολογίες και το AI σχεδιάζονται για να υπηρετούν και να ενισχύουν τον άνθρωπο και όχι για να τον αντικαθιστούν, δίδοντας προτεραιότητα στην ανάπτυξη των δεξιοτήτων και γνώσεων του ανθρώπινου παράγοντα, καθώς και στην ασφάλεια και στην ευημερία του στο χώρο εργασίας

2. «Βιωσιμότητα»

- σχετίζεται με την υψηλή δέσμευση για την προστασία του περιβάλλοντος και τη σημαντική σύντμηση του ενεργειακού και του περιβαλλοντικού αποτυπώματος, μιας και μέσω αυτών προωθείται και η επίτευξη των στόχων της «κυκλικής οικονομίας», η ανακύκλωση και η υπεύθυνη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων, για να επιτευχθεί ένα «πιο φιλικό προς το περιβάλλον και πιο βιώσιμο μέλλον»

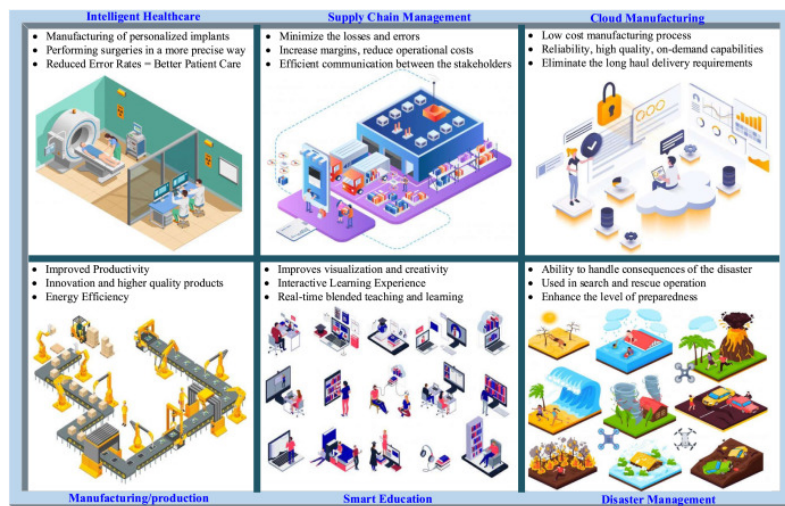
3. «Ανθεκτικότητα / αντοχή»

1. σχετίζεται με την ικανότητα των βιομηχανιών και των παραγωγικών μονάδων να προσαρμόζονται άμεσα, ευέλικτα και αποτελεσματικά σε ενδεχόμενα προβλήματα ή σε απαιτητικές παραγωγικές διαδικασίες ή σε απρόοπτα γεγονότα της παγκόσμιας αγοράς, διασφαλίζοντας το βέλτιστο δυνατό βαθμό της επιχειρησιακής, της λειτουργικής και της παραγωγικής ευρωστίας τους. (European Commission, 2024) (ESI Robotics , 2024) (Hexagon, 2025) (industry5-0.net, 2026) (Müller, 2026) (UST, 2024).

4.16 Το Industry 5.0 στη βιομηχανία των Εκτυπώσεων

Το Industry 5.0 (εικόνα 298) προάγει το να παρέχονται περισσότερες θέσεις εργασίες, οι οποίες απαιτούν πιο εξειδικευμένες δεξιότητες των εργαζομένων σε σύγκριση με το Industry 4.0, καθώς οι επαγγελματίες που έχουν τις επανομαζόμενες «πνευματικές δεξιότητες» (intellectual professionals) συνεργάζονται δοκίμως με τις μηχανές. Το Industry 5.0 εστιάζει κυρίως στη «μαζική εξατομίκευση» (mass customization) της παραγωγής, όπου οι άνθρωποι καθοδηγούν τα ρομπότ, ενώ αν και στο πλαίσιο του

Industry 4.0 τα ρομπότ συμμετέχουν ενεργά στην «παραγωγή μεγάλης κλίμακας», το Industry 5.0 είναι ειδικά σχεδιασμένο (ως φιλοσοφία) για να επιτρέψει την ενίσχυση του βαθμού της ικανοποίησης των πελατών. Το Industry 4.0 εστιάζει στη συνδεσιμότητα μέσω της αξιοποίησης των CPS, ενώ το Industry 5.0 συνδέεται με τις εφαρμογές του Industry 4.0 (εικόνα 299) και δημιουργεί μια νέα σχέση μιας υψηλότερης συνεργασίας του ανθρώπινου παράγοντα με τα cobots. Ένα πολύ ενδιαφέρον πλεονέκτημα του Industry 5.0 είναι και η παροχή πιο οικολογικών λύσεων, που ως προσέγγιση διαφέρει σε σημαντικό βαθμό σε σύγκριση με τις υφιστάμενες βιομηχανικές μετασχηματιστικές τάσεις, μιας καμιά από αυτές δεν εστιάζει στην προστασία του φυσικού περιβάλλοντος. (Maddikunta et al., 2021).

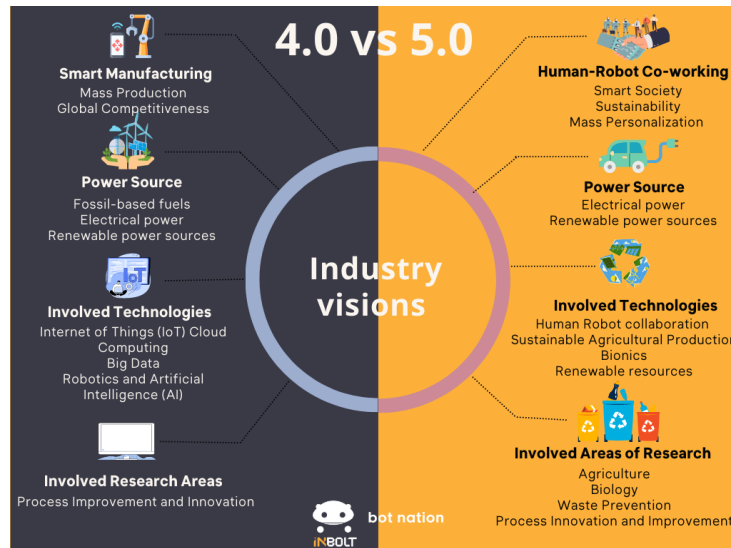


Εικόνα 298. Η εφαρμογή του Industry 5.0 σε διαφορετικούς τομείς.

(πηγή: <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S2452414X21000558-gr2.jpg>).

Όπως εμφανίζεται και στην εικόνα 299, η εξελικτική πρόοδος των cobots, ως είναι ένα σημαντικό επίτευγμα της τεχνολογίας της ρομποτικής, θα έχει βασικό ρόλο και στο πλαίσιο του Industry 5.0, μιας και τα cobots αναμένεται να αξιοποιούνται για τις επαναλαμβανόμενες εργασίες και έτσι ο ανθρώπινος παράγοντας θα επικεντρώνεται στις επονομαζόμενες «τεκμηριωμένες λήψεις αποφάσεων, οι οποίες βασίζονται στην ανθρώπινη αντίληψη» (perception-driven decisions). Τα cobots σχεδιάζονται με κύριο στόχο να βοηθούν και να βελτιώνουν την αποδοτικότητα των εργαζομένων, αντί να τους αντικαθιστούν. Ενώ η εστίαση του Industry 4.0 είναι η επονομαζόμενη «μαζική

παραγωγή με κάθε κόστος» (mass production at all costs) για την αύξηση του βαθμού της ανταγωνιστικότητας σε παγκόσμια κλίμακα, η οποία σε αρκετές περιστάσεις συνεπάγεται και τον ασπασμό της φιλοσοφίας της «εργασίας 24 ώρες το 24ωρο, 7 ημέρες την εβδομάδα», επισημαίνει πως το εν λόγω σύστημα συντελεί σε μειωμένα επίπεδα εξατομίκευσης και ευελιξίας της παραγωγής. (Inbolt, 2025).



Εικόνα 299. Το Industry 5.0 και η συσχέτιση του με τις εφαρμογές του Industry 4.0.

(πηγή: <https://www.inbolt.com/resources/blog/industry-5-0/>).

Το Industry 5.0 εστιάζει στη χρήση ενός υψηλού αριθμού από cobots, τα οποία θα χρησιμοποιούνται στις μεγάλες, στις μικρές και στις μικρομεσαίες επιχειρήσεις για να καλύψουν με δόκιμο τρόπο όλες τις «ανάγκες της εξατομίκευσης σε μεγάλη κλίμακα στον τομέα της παραγωγής», αξιοποιώντας τα AI και IoT. Οι ML αλγόριθμοι θα εκπαιδεύονται για να μπορούν να αναγνωρίζουν μοτίβα και να κάνουν προβλέψεις με βάση τα δεδομένα, επιτρέποντας έτσι σε όλες τις επιχειρήσεις να προσαρμόζουν το πρόγραμμα της παραγωγής, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα και συμβάλλοντας σημαντικά στη μείωση του όγκου των αποβλήτων. Το IoT παρέχει πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο (όπως είναι η παρακολούθηση της χρήσης των προϊόντων και η συλλογή σημαντικών δεδομένων σχετικά με τις προτιμήσεις των πελατών) για τη βελτίωση του σχεδιασμού και της εξατομίκευσης των προϊόντων. (Inbolt, 2025).

Το Industry 5.0 αποτελεί ένα πλαίσιο για τον επαναπροσδιορισμό του μέλλοντος της ενέργειας, της μεταποίησης, της κινητικότητας (mobility) και των εφοδιαστικών αλυσίδων, το οποίο βασίζεται στα επιτεύγματα του Industry 4.0 και επιχειρεί να συμπληρώσει σημαντικές παραμέτρους στο σύνολο των αρχών της φιλοσοφίας του Industry 4.0. Το Industry 5.0 χρησιμοποιεί τα cobots και το AI συνεργατικά για να προσδώσει μια περισσότερο «ανθρώπινη» (ανθρωποκεντρική) διάσταση στην έννοια του ψηφιακού μετασχηματισμού. Με την υποστήριξη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και άλλων κυβερνητικών φορέων, το Industry 5.0 δίνει έμφαση σε μια πιο ολιστική και «τριπλή προσέγγιση» του φάσματος του οικονομικού, του περιβαλλοντικού και του κοινωνικού αντίκτυπου, εισάγοντας την προοπτική και την ισορροπία της φιλοσοφίας του επονομαζόμενου «Environment, Social & Governance – ESG» (το οποίο ορίζεται ως η στρατηγική για το «Περιβάλλον, την Κοινωνία και τη Διακυβέρνηση») σε πολλές διαφορετικές επιλογές που συχνά καθοδηγούνται από τις παραμέτρους που αφορούν την ανάπτυξη της τεχνολογίας και της οικονομίας. (wp_214900, 2023).

Η φιλοσοφία του Industry 5.0 βασίζεται σε σημαντικό βαθμό στην αξιοποίηση της «προγνωστικής ανάλυσης δεδομένων» (predictive analytics) και της επονομαζόμενης «επιχειρησιακής νοημοσύνης» (operating intelligence), προωθώντας όμως τη λογική της ενσωμάτωσης της τεχνολογίας ένα βήμα παραπέρα από εκείνη του φάσματος του Industry 4.0. Αν και το Industry 4.0 εστιάζει στην αυτοματοποίηση, στα δεδομένα και στα «έξυπνα» εργοστάσια, το Industry 5.0 επαναφέρει τον ανθρώπινο παράγοντα στο επίκεντρο («ανθρωποκεντρικός χαρακτήρας»), δίνοντας έμφαση στη βιωσιμότητα και την ανθεκτικότητα. Στο εν λόγω πλαίσιο αυτό, τελούνται τα εξής:

1. Η «προγνωστική ανάλυση»

- αξιοποιεί τα δεδομένα, τους αλγορίθμους ML και το AI για να προβλέπει τις μελλοντικές τάσεις και τις καταναλωτικές συμπεριφορές, τις ενδεχόμενες βλάβες των μηχανημάτων (στο πλαίσιο της προληπτικής συντήρησης) ή τις ανάγκες / αιτήσεις της παγκόσμιας αγοράς
- αυτό επιτρέπει με τη σειρά του στους εργαζόμενους να λαμβάνουν δόκιμες και τεκμηριωμένες αποφάσεις, προλαμβάνοντας ενδεχόμενα προβλήματα πριν αυτά συμβούν ή πριν κλιμακωθούν

2. Η «επιχειρησιακή νοημοσύνη»

- προσδιορίζεται και ως «operating ή operational intelligence»

- εστιάζει στην ανάλυση όλων των σημαντικών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο αναφορικά με τις υφιστάμενες δραστηριότητες της παραγωγής
- αυτό επιτρέπει και την άμεση διαχείριση ενδεχόμενων δυσμενών συνθηκών ή «επιχειρησιακών κρίσεων» και τη βελτιστοποίηση των παραγωγικών διαδικασιών, συνδυάζοντας την «οξυδέρκεια» του ανθρώπινου παράγοντα με την υψηλή ταχύτητα των μηχανών (ως αναβαθμισμένη έννοια της «συνεργασίας ανθρώπου - cobots»). (Inbolt, 2025) (Maddikunta et al., 2021).

Στο Industry 5.0, το μεγαλύτερο μέρος της διαδικασίας της παραγωγής αναμένεται να είναι «αυτοματοποιημένο», καθώς θα λαμβάνονται όλα τα σημαντικά δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από τις μηχανές / εξοπλισμό και οι δόκιμες λήψεις αποφάσεων θα πραγματοποιούνται σε συνεργασία με τους εξειδικευμένους επαγγελματίες, οι οποίοι θα εργάζονται σε ένα περιβάλλον εργασίας που διαθέτει ένα προηγμένο τεχνολογικά μηχανολογικό εξοπλισμό. (Maddikunta et al., 2021). Το Industry 5.0 βασίζεται σε τεχνολογίες που σχετίζονται σε σημαντικό βαθμό με την «εναρμονισμένη σύγκλιση» της «ανθρώπινης νοημοσύνης» (human intelligence) με το φάσμα της «προηγμένης αυτοματοποίησης» (advanced automation), για τη διαμόρφωση μιας περισσότερο «ανθρωποκεντρικής», «βιώσιμης» και «ανθεκτικής» βιομηχανικής παραγωγής. Οι τεχνολογίες του Industry 5.0 (εικόνα 300) αφορούν τα εξής:

1. Cobots

- συνιστούν τα ρομπότ που είναι ειδικά σχεδιασμένα για να εργάζονται συνεργατικά με τους ανθρώπους σε κοινόχρηστους χώρους, αναλαμβάνοντας τις επαναλαμβανόμενες εργασίες, ενώ οι άνθρωποι ασχολούνται με πιο δημιουργικές δραστηριότητες

2. AI και ML

- καθώς οι επονομαζόμενοι «αναλυτικοί μηχανισμοί» (analytical engines) υποστηρίζουν την προληπτική συντήρηση, τον ποιοτικό έλεγχο και τη επονομαζόμενη «συναισθηματική τεχνητή νοημοσύνη» (γνωστή και ως «emotional AI») για την ερμηνεία των «ανθρώπινων προθέσεων» ή των «συναισθηματικών αποκρίσεων»

3. Digital Twins και τα «ανθρώπινα ψηφιακά δίδυμα» (Human Digital Twins)

- αναφέρεται σε «εικονικά» μοντέλα των παραγωγικών διαδικασιών ή της ανθρώπινης συμπεριφοράς, συντελώντας στην προσαρμογή των ροών εργασίας, αλλά και στη βελτιστοποίηση της απόδοσης όλων των εργαζομένων μιας επιχείρησης

4. IoT και αισθητήρες

- αναφέρεται στις συνδεδεμένες συσκευές που μεταδίδουν τα πιο σημαντικά δεδομένα της λειτουργίας της παραγωγής σε πραγματικό χρόνο, τα οποία συλλέγονται από τα μηχανήματα προς τους χειριστές

5. CPS

- αναφέρεται στα «ολοκληρωμένα / ενοποιημένα δίκτυα» που συνδέουν τα φυσικά / απτά μηχανήματα, μέσω της «υπολογιστικής όρασης / παρακολούθησης», για τον προσαρμοστικό έλεγχο της παραγωγής

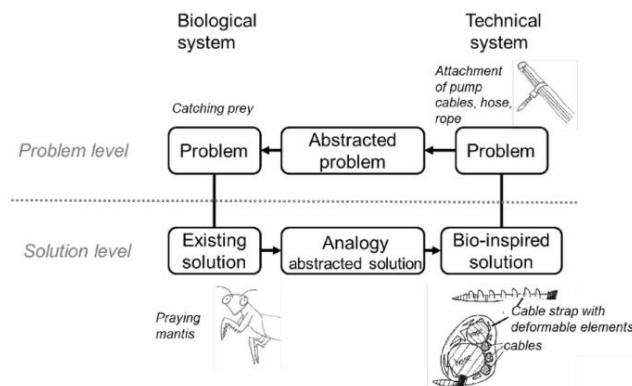
6. Τα επονομαζόμενα «Πολύπλοκα και Βιοεμπνευσμένα Συστήματα» (Complex & Bio-Inspired Systems), που παρουσιάζονται στην εικόνα 301

- αναφέρεται στα «έξυπνα υλικά» και στους επονομαζόμενους «βίο εμπνευσμένους αισθητήρες», που είναι ειδικά σχεδιασμένοι για να επιτρέπουν τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και να ενισχύουν το βαθμό «αλληλεπίδρασης ανθρώπου –μηχανής». (Acosta-Vargas et al., 2026) (Ansys Inc, 2026) (Bevywise, 2025) (Fraga-Lamas et al., 2021).



Εικόνα 300. Οι τεχνολογίες του Industry 5.0.

(πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Key-enabling-technologies-for-Industry-50_fig1_355226303).



Εικόνα 301. Η φιλοσοφία των Complex & Bio-Inspired Systems.

(πηγή: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00163-020-00333-w>).

Ένα «ψηφιακό δίδυμο ενός ανθρώπου», δηλαδή ένα «ανθρώπινο ψηφιακό δίδυμο» (Human Digital Twin - HDT) αντιπροσωπεύει ένα πολύ «δυναμικό, εξατομικευμένο εικονικό αντίγραφο ενός υπαρκτού ατόμου» (ενός ασθενούς ή ενός εξειδικευμένου εργαζομένου), το οποίο «επικαιροποιείται» συνεχώς με νέα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, με σκοπό την «προσομοίωση», την πρόβλεψη και τον καθορισμό ιατρικών ή συμπεριφορικών αποτελεσμάτων. Το HDT (εικόνα 302) αξιοποιείται για τα εξής:

1. συλλογή δεδομένων

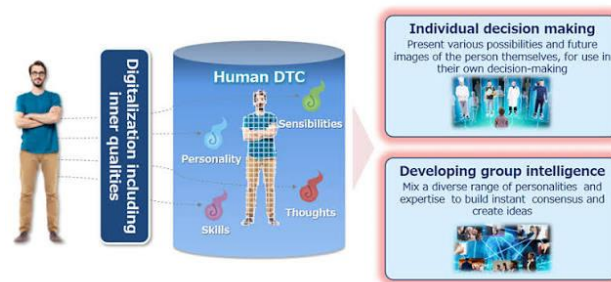
- παρέχονται από φορητούς αισθητήρες, ηλεκτρονικούς φακέλους υγείας και άλλων συναφών «ιατρικών σκιαγραφικών αναφορών / καταγραφών» (medical imaging)
- προσδιορίζουν τα «βιομετρικά» και τα «φυσιολογικά» δεδομένα της υγείας και της συμπεριφοράς του ατόμου σε πραγματικό χρόνο

2. διασύνδεση των δεδομένων με το ψηφιακό / εικονικό μοντέλο

- λειτουργεί ως δίαυλος της ενίσχυσης του βαθμού της επικοινωνίας
- μέσω αυτού γίνεται μεταφορά όλων των δεδομένων που συλλέγονται από το άτομο στο «ψηφιακό του μοντέλο»

3. AI και προσομοίωση

- τα ML μοντέλα επεξεργάζονται όλα τα δεδομένα για να δοκιμάσουν ενδεχόμενες λύσεις, όπως είναι οι θεραπείες για κάποιο ιατρικό ζήτημα ή να προβλέψουν την εξέλιξη μιας νόσου ή να υποστηρίξουν τη διαδικασία της «διαφοροποιημένης διάγνωσης» (differential diagnosis). (Arxiv, 2025) (Basu, 2024) (digital-strategy.ec.europa.eu, n.d.) (The Embassy of Good Science, 2026) (Tudor et al., 2025).



Εικόνα 302. Human Digital Twin – HDT.

(πηγή: <https://www.rd.ntt/e/ai/0004.html>).

Οι πιο σημαντικές εφαρμογές ενός HDT (εικόνες 303 και 304) αφορούν τα εξής:

1. «Εξατομικευμένη υγειονομική περίθαλψη»

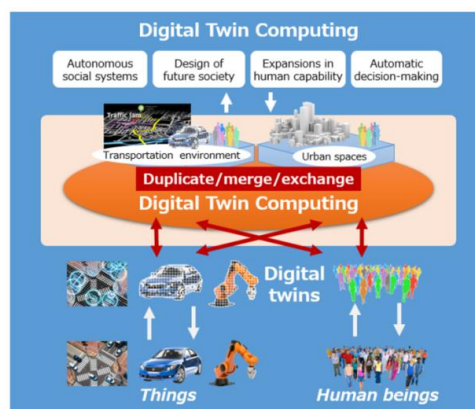
- οι γιατροί χρησιμοποιούν τα εν λόγω «εικονικά μοντέλα» για να προσδιορίζουν τους μηχανισμούς λειτουργίας της καρδιάς ή των πνευμόνων και έτσι μπορούν να δοκιμάζουν στο εικονικό μοντέλο συγκεκριμένα φάρμακα ή να αναπτύξουν το πλαίσιο της ενδεχόμενης χειρουργικής παρέμβασης με ασφάλεια
- αυτό τους επιτρέπει να καταγράψουν με προσοχή όλες τις επιπλοκές πριν προχωρήσουν στην επέμβαση ή στην ιατροφαρμακευτική αγωγή

2. «Ενίσχυση της ιατρικής έρευνας»

- οι ερευνητές του ιατροφαρμακευτικού κλάδου προσομοιώνουν τις κλινικές δοκιμές σε «ψηφιακά δίδυμα ομάδων ασθενών» για να επιταχύνουν την ανάπτυξη νέων θεραπειών ή συσκευών

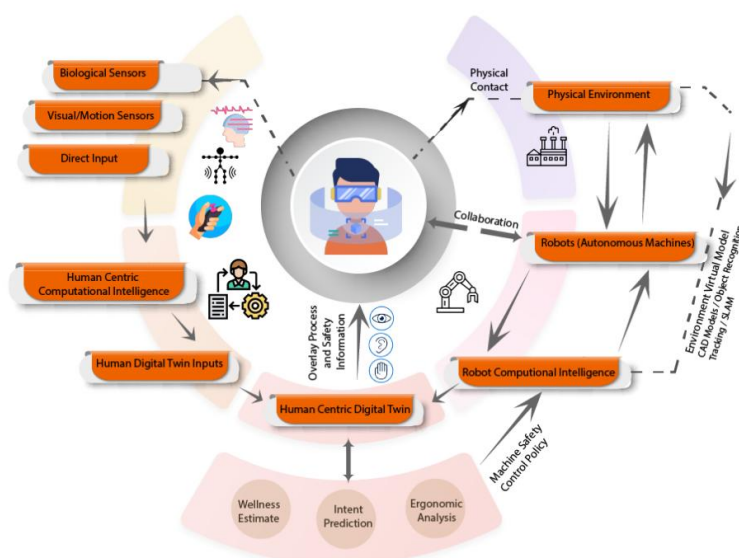
3. Η επονομαζόμενη «Βιομηχανική παραγωγή που έχει ως κέντρο τον άνθρωπο» (Human-Centric Manufacturing)

- τα εν λόγω συστήματα παρακολουθούν το επίπεδό της υγείας και της συμπεριφοράς ενός εργαζομένου στο πλαίσιο της παραγωγής, αναφορικά με το βαθμό της κόπωσης, της εργονομίας και της απόδοσης του ανθρώπινου παράγοντα, με στόχο τη βελτίωση της επονομαζόμενης «βιομηχανικής ασφάλειας» (industrial safety). (Arxiv, 2025) (Basu, 2024) (digital-strategy.ec.europa.eu, n.d.) (The Embassy of Good Science, 2026) (Tudor et al., 2025).



Εικόνα 303. Η εξέλιξη της τεχνολογίας του "Digital Twin Computing".

(πηγή: <https://www.rd.ntt/e/ai/0004.html>).



Εικόνα 304. Human-Centric Digital Twins in Industry.

(πηγή: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/8/3938>).

Το Industry 5.0 επαναπροσδιορίζει τη βιομηχανία των εκτυπώσεων, συνδυάζοντας την αυτοματοποίηση με την ανθρώπινη δημιουργικότητα, ενώ το Industry 4.0 δίνει έμφαση στην τεχνολογία και στη συνδεσιμότητα και έτσι η έλευση του Industry 5.0 τοποθετεί ξανά τον «άνθρωπο στο επίκεντρο», θέτοντας στο προσκήνιο ως βασικές παραμέτρους τη βιωσιμότητα και την ανθεκτικότητα. Η εν λόγω μετάβαση αφορά ορισμένες αλλαγές στον κλάδο που προσδιορίζονται μέσω των εξής παραμέτρων:

1. Αξιοποίηση των Cobots

- τα ρομπότ συνεργάζονται άμεσα με τους ανθρώπους στο ίδιο περιβάλλον, αναλαμβάνουν κατά βάση τις επαναλαμβανόμενες ή τις χρονοβόρες και κοπιαστικές εργασίες, όπως είναι η τροφοδοσία των εκτυπωτών, η ταξινόμηση των φύλλων και η κοπή, προστατεύοντας έτσι όλους τους εργαζομένους από τους τραυματισμούς και την εξάντληση

2. Εξατομίκευση και «on-demand» εκτύπωση

- η ζήτηση για μαζική παραγωγή μειώνεται, ενώ δίνεται σημαντική έμφαση στην «προσωποποιημένη εκτύπωση μικρών τираζ», μιας και οι προηγμένες ψηφιακές τεχνολογίες επιτρέπουν την ταχύτατη προσαρμογή ολόκληρου του σχεδιασμού της παραγωγής στις ανάγκες του πελάτη

3. Μειωμένο οικολογικό αποτύπωμα και βιωσιμότητα

- στο σήμερα αξιοποιούνται ολοένα και περισσότερο οι πρακτικές που συντελούν στην ελαχιστοποίηση της σπατάλης του χαρτιού, στον περιορισμό της συνολικής κατανάλωσης της ενέργειας, αλλά και στη χρήση των οικολογικών μελανιών
- η ανακύκλωση των υλικών και η εξοικονόμηση των διαθέσιμων πόρων αποτελούν το κεντρικό πυλώνα του σχεδιασμού της παραγωγής

4. «Δια δραστικά ανοιχτά οικοσυστήματα» (open ecosystems)

- τα διακριτά στάδια της παραγωγικής διαδικασίας (δηλαδή η προεκτύπωση, η εκτύπωση και η μετεκτύπωση) συνδέονται αρμονικά μεταξύ τους μέσω των «αυτοματοποιημένων ροών εργασίας», γεγονός που επιτρέπει και τη βελτιστοποίηση όλων των διαδικασιών, μειώνοντας σημαντικά και την πιθανότητα της παρουσίας ενδεχόμενων ανθρώπινων σφαλμάτων

5. «Αναβάθμιση του ρόλου του εργαζομένου» – εστίαση στο πάρα πολύ σημαντικό ζήτημα του ρόλου και της συμβολής του ανθρώπινου παράγοντα

- οι εργαζόμενοι μετατρέπονται από «απλοί / συμβατικοί χειριστές των μηχανών» σε «σημαντικούς επόπτες της παραγωγικής διαδικασίας», αλλά και σε «δημιουργικούς σχεδιαστές της παραγωγής», που έχουν μεγαλύτερη ελευθερία να εστιάσουν άμεσα και αποτελεσματικά στην ενίσχυση του βαθμού της ποιότητας των παραχθέντων ειδών και στην προώθηση της καινοτομίας. (Alumini, 2023) (praxi_2023, 2021) (Παπακώστα, 2021).

Κεφάλαιο 5. Επιπτώσεις σε κλάδο από την εφαρμογή των νέων τεχνολογιών

Η ανάδυση των προαναφερθέντων τεχνολογιών και των καινοτόμων εφαρμογών συντελεί και στην ανάπτυξη των «ενοποιημένων οικοσυστημάτων» (integrated ecosystems) εντός των αλυσίδων εφοδιασμού, γεγονός που επιφέρει πολλά οφέλη στην ανάπτυξη νέων προϊόντων, στη διαμόρφωση νέων προσεγγίσεων στον κλάδο του μάρκετινγκ, στις βελτιώσεις αναφορικά με τα προγνωστικά στοιχεία των πωλήσεων, αλλά και στη διεύρυνση του φάσματος της διανομής των προϊόντων στον καταναλωτή. (Haiston, 2023).

Η μετάβαση από το Industry 4.0 στο Industry 5.0, δηλαδή έννοια του «Industry 4.0 / 5.0» αναδιαμορφώνει ριζικά τον κλάδο και τη βιομηχανία των εκτυπώσεων, μεταβάλλοντας πλήρως τον τρόπο με τον οποίο παράγονται έντυπα προϊόντα και οι συσκευασίες. Όπως ήδη αναφέρεται και ανωτέρω, το Industry 4.0 εστιάζει στη ψηφιοποίηση και στον αυτοματισμό, ενώ το Industry 5.0 επαναφέρει στο προσκήνιο το πολύ σημαντικό ζήτημα του ανθρώπινου παράγοντα στο επίκεντρο και της σημασίας της ανάπτυξης του, δίνοντας μεγαλύτερη εστίαση και στις έννοιες της «βιώσιμης» και της «εξατομικευμένης» παραγωγής.

5.1. Industry 4.0: επιπτώσεις / λύσεις σε κλάδο Εκτυπώσεων και Συσκευασίας

Ο σύγχρονος κλάδος και η βιομηχανία των Γραφικών Τεχνών, των Εκτυπώσεων και της Συσκευασίας υφίσταται ολοένα και πιο έντονες πιέσεις αναφορικά με την έγκαιρη παράδοση των προϊόντων και των υπηρεσιών, ενώ κρίνεται αναγκαία η διατήρηση των τιμών σε ανταγωνιστικό επίπεδο και η συμμόρφωση με όλες τις νομοθετικές διατάξεις που σχετίζονται με τις διαδικασίες της παραγωγής και της διανομής των προϊόντων. (Lafler, 2021). Η εν λόγω πρόκληση μπορεί να επιλυθεί μέσω των τεχνολογιών και των εφαρμογών του Industry 4.0 επί των διεργασιών της παραγωγής των εκτυπώσεων και των συσκευασιών, καθώς ειδικά ο κλάδος της συσκευασίας αποτελεί μια βιομηχανία που μπορεί να επωφεληθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό από την απρόσκοπτη εφαρμογή / ενσωμάτωση του συνολικού φάσματος των τεχνολογιών και των καινοτόμων εφαρμογών του Industry 4.0. (Lafler, 2021) (Usman, 2023).

Όπως ήδη αναφέρεται και παραπάνω, όρος «Packaging 4.0» αφορά την ενοποίηση των εφαρμογών των IoT, AI, blockchain, για την ενίσχυση των δυνατοτήτων του βαθμού της λειτουργίας, της απόδοσης, της βιώσιμης παραγωγής κι μάλιστα στο σύνολο όλων των σταδίων του lifecycle ενός προϊόντος. Η κύρια κατεύθυνση αφορά τη ψηφιοποίηση και τον αυτοματισμό των διαδικασιών της παραγωγής, για να επιτευχθεί η ενίσχυση της «ορατότητας» της αλυσίδας εφοδιασμού, αλλά και για να διασφαλιστεί ο υψηλός βαθμός της ποιότητας των παραχθέντων προϊόντων σε συνδυασμό με την παροχή υπηρεσιών που ικανοποιούν πλήρως τα αιτήματα του καταναλωτή. (Pandey, 2024). Η αξιοποίηση των αισθητήρων των συσκευών IoT και των «συστημάτων εποπτείας» σε πραγματικό χρόνο, συνεπάγεται τη βελτίωση της απόδοσης και τον περιορισμό των αποβλήτων. (Usman, 2023).

Η ενίσχυση του βαθμού της «ευελιξίας / προσαρμοστικότητας» αντιπροσωπεύει ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα όλων των τεχνολογιών και των καινοτόμων εφαρμογών του Industry 4.0 στη σύγχρονη βιομηχανία των εκτυπώσεων και της συσκευασίας, καθώς μέσω των AI και ML οι επιχειρήσεις μπορούν πλέον να προσαρμόζονται άμεσα, ευέλικτα και πάρα πολύ αποτελεσματικά στις συνεχώς μεταβαλλόμενες απαιτήσεις της παγκόσμιας αγοράς, να βελτιώνουν τα επίπεδα ως προς την άμεση ανταπόκρισης στις καταναλωτικές απαιτήσεις, αλλά και να μειώνουν σε σημαντικό

βαθμό τους χρόνους που απαιτούνται για την παράδοση των εκάστοτε εκτυπωτικών παραγγελιών. (Usman, 2023).

5.2. Industry 5.0: επιπτώσεις /λύσεις σε κλάδο Εκτυπώσεων και Συσκευασίας

Το Industry 5.0 μετασχηματίζει ριζικά όλους τους τομείς της εκτύπωσης και της συσκευασίας, μεταβαίνοντας από τη φιλοσοφία της «απλής/ συμβατικής μαζικής παραγωγής» στην «πλήρη αυτοματοποίηση», η οποία πραγματοποιείται σε ένα «νέο οικοσύστημα με επίκεντρο τον άνθρωπο», που είναι περισσότερο βιώσιμο και εξαιρετικά ανθεκτικό. Αντί να αντικαθίστανται οι εργαζόμενοι (ανθρώπινος παράγοντας) από τα ρομπότ και από τα ψηφιακά συστήματα, τις τεχνολογίες και τις εφαρμογές του αυτοματισμού, οι εν λόγω νέες λύσεις εστιάζουν κατά βάση στην ενίσχυση της «συνεργασίας μεταξύ ανθρώπου – μηχανής», στην αξιοποίηση της «προγνωστικής νοημοσύνης» (predictive intelligence), στα υψηλά επίπεδα εξατομίκευσης των κατά παραγγελία εργασιών (on-demand personalization), αλλά και στην «αυστηρή πρόληψη» της παραγωγής του όγκου των αποβλήτων στο πλαίσιο της επίτευξης αρκετών στόχων της κυκλικής οικονομίας (strict circular-economy waste prevention). (Konicaminolta.eu, 2026) (Gervasoni, 2025) (Scott, 2025) (Pierce, 2021) (Visual Components, 2024).

Οι κύριες επιπτώσεις του Industry 5.0 αφορούν τα εξής:

1. Η μετάβαση από τη «μαζική παραγωγή στην εξατομικευμένη παραγωγή»
 - η υψηλή ζήτηση των καταναλωτών για πιο «μοναδικές», «εξατομικευμένες» συσκευασίες και έντυπα (όπως συμβαίνει κατά βάση με την εκτύπωση των μεταβλητών δεδομένων) αυξάνεται σε σημαντικό βαθμό τα τελευταία έτη, μιας και η φιλοσοφία του Industry 5.0 προσαρμόζει τις γραμμές παραγωγής ώστε να μπορούν να διαχειρίζονται μικρές παρτίδες παραγωγής, αλλά και γρήγορες αλλαγές, χωρίς να μειώνεται ο βαθμός της αποδοτικότητας
2. Μείωση της έλλειψης «εξειδικευμένου εργατικού δυναμικού»
 - με την έλλειψη - ή την πλήρη απουσία - αρκετά εξειδικευμένων χειριστών

/ εργαζόμενων, η οποία παρατηρείται σε σημαντικό βαθμό στο σήμερα και επιδρά καθοριστικά στο πλαίσιο λειτουργίας της σύγχρονης βιομηχανικής παραγωγής, δεδομένου πως το Industry 5.0 βασίζεται στο να αξιοποιούνται τα cobots για τη διαχείριση των επαναλαμβανόμενων εργασιών ή των επονομαζόμενων «βαρέων ανυψώσεων» (όπως είναι η διακίνηση υλικών και η «συσκευασία στο τέλος της γραμμής της παραγωγής»), ενώ αυτό με τη σειρά του επιτρέπει στους εργαζόμενους να αναλαμβάνουν άλλα ζητήματα που σχετίζονται με τον επονομαζόμενο «στρατηγικό έλεγχο της ποιότητας», αλλά και με τη «δημιουργική επίλυση των προβλημάτων»

3. Νομοθετικές διαταγές και υψηλές απαιτήσεις ESG

- οι αυστηρές περιβαλλοντικές απαιτήσεις, όπως είναι ο κανονισμός της ΕΕ για τις συσκευασίες και για τα «απορρίμματα των συσκευασιών» (PPWR), οδηγούν επίσης και στην αναγκαιότητα ενός ριζικού επανασχεδιασμού της παραγωγής των συσκευασιών, με στόχο την εξάλειψη των αποβλήτων και την προτεραιότητα σε ανανεώσιμα ή ανακυκλωμένα υλικά

4. Εξάλειψη των περιορισμών της παραγωγής του όγκου των αποβλήτων

- ως διαδικασία στοχεύει πιο ενεργά και πιο αποτελεσματικά στα απόβλητα που προκύπτουν μέσω της παραγωγικής διαδικασίας, καθώς τα συστήματα που βασίζονται στο AI παρακολουθούν με δόκιμο τρόπο το μηχανολογικό εξοπλισμό για να μπορέσουν να αποτρέψουν ενδεχόμενες και «δαπανηρές» μικρές διακοπές της λειτουργίας, ανεπιθύμητες «πιτσιλιές» του μελανιού και εσφαλμένες τροφοδοσίες χαρτιού εγκαίρως, δηλαδή αυτές συμβούν να συμβούν ή πριν να κλιμακωθούν. (Stall, 2025) (Konicaminolta.eu, 2026) (Gervasoni, 2025) (Scott, 2025) (Pierce, 2021) (Visual Components, 2024).

5.3 Industry 4.0/ 5.0: επιπτώσεις/λύσεις σε ανθρώπινο κεφάλαιο

Τα Industry 4.0 και Industry 5.0 αναδιαμορφώνουν ριζικά το ρόλο και την αξία της έννοιας του ανθρώπινου παράγοντα (ως «ανθρώπινο κεφάλαιο» - HC), καθώς ενώ το Industry 4.0 εστιάζει κατά βάση στην αυτοματοποίηση, στη ψηφιοποίηση και στα

κυβερνοφυσικά συστήματα με κύριο σκοπό και στόχο σύντμηση όλων των επαναλαμβανόμενων εργασιών. Το Industry 5.0 μετατοπίζει το «πρότυπο της παραγωγής» προς μια περισσότερο «ανθρωποκεντρική προσέγγιση», μιας και εμβαθύνει στη διαμόρφωση μιας στενότερης σχέσης συνεργασίας μεταξύ της έννοιας της «ανθρώπινης δημιουργικότητας» και της συνδυαστικής χρήσης των «έξυπνων μηχανών», δίνοντας προτεραιότητα στην αναβάθμιση των δεξιοτήτων του HC, στην ευημερία του και στο να υιοθετούνται ολοένα και πιο «βιώσιμες και φιλικές προς το περιβάλλον» πρακτικές. (Tamer El-Tonsy, 2024) (Aldrickzler, Saadoon, Kawad, & Chornomordenko, 2025) (McKinnon, 2025) (PackagingTechToday, 2024).

Το Industry 4.0 οδηγεί στον «εκτεταμένο ψηφιακό μετασχηματισμό» και μάλιστα σε όλες τις παγκόσμιες αλυσίδες εφοδιασμού, ενώ ο πιο σημαντικός αντίκτυπος του στο HC περιλαμβάνει τα κάτωθι:

1. Απώλεια των υφιστάμενων θέσεων εργασίας, σε συνδυασμό με την ανάδυση της έννοιας της «επαγγελματικής μετάβασης»

- μείωση της ζήτησης για την επονομαζόμενη «χειρωνακτική εργασία»
- η ρομποτική και το AI αναλαμβάνουν με μεγαλύτερη ευελιξία και με υψηλότερη συνέπεια όλες τις επονομαζόμενες «επαναλαμβανόμενες εργασίες μεγάλου όγκου»
- η «επαγγελματική μετάβαση» (career transition) αναφέρεται κατά βάση στη διαδικασία κατά την οποία ένα άτομο αλλάζει επαγγελματική κατάσταση, ρόλο, αντικείμενο εργασίας ή εργασιακό περιβάλλον, ενώ αυτό επισημαίνει πως στη σύγχρονη εποχή αυτό είναι ένα πολύ σημαντικό αποτέλεσμα της υψηλής ενσωμάτωση όλων των καινοτόμων τεχνολογιών και εφαρμογών, που «παραγκωνίζουν» το ρόλο και τη σημασία του ανθρώπινου παράγοντα στο πλαίσιο της παραγωγής

2. Ζήτηση για τις νέες δεξιότητες

- ο σύγχρονος εργασιακός χώρος απαιτεί την εντατική αναβάθμιση, αλλά και την εκ νέου διαμόρφωση όλων των υφιστάμενων δεξιοτήτων

- οι «βασικές ικανότητες» έχουν μετατοπιστεί πλέον προς την αξιοποίηση της φιλοσοφίας της «ψηφιακής παιδείας», της ανάλυσης των δεδομένων και της εναρμόνισης με την έννοια της «συστημικής σκέψης»

3. Διαδικασίες / καθήκοντα του HC που είναι βασισμένες στο AI

- τα τμήματα του ανθρώπινου δυναμικού χρησιμοποιούν σήμερα σε πολύ σημαντικό βαθμό το AI για να βελτιστοποιήσουν όλες τις διαδικασίες της πρόσληψης, της εκπαίδευσης και της αξιολόγησης της απόδοσης
- αυτό έχει κύριο σκοπό τη δημιουργία νέων στρατηγικών για το εργατικό δυναμικό, οι οποίες βασίζονται στα δεδομένα. (Aldrickzler, Saadoon, Kawad, & Chornomordenko, 2025) (Career In Progress, 2021) (McKinnon, 2025) (PackagingTechToday, 2024) (Tamer El-Tonsy, 2024).

Η φιλοσοφία του Industry 5.0 δεν «εγκαταλείπει» πλήρως την έννοια της «ψηφιακής προόδου» του φάσματος του Industry 4.0, αλλά ενσωματώνει σε αυτήν και τις «ανθρώπινες αξίες» και εστιάζει στα εξής:

1. Ενίσχυση της «συνεργασίας ανθρώπου – μηχανής»

- στο εν λόγω πλαίσιο παραγωγής αντί να «αντικαθίσταται» ο ανθρώπινος παράγοντας, χρησιμοποιούνται τα συνεργατικά ρομπότ για να εργάζονται με δόκιμο και πολύ αποτελεσματικό τρόπο δίπλα («συνεργατικά») με τους ανθρώπους, καθώς οι μηχανές αναλαμβάνουν τις «εργασίες ακριβείας» και τη «μεταφορά των βαρειών φορτίων», επιτρέποντας έτσι στους εργαζόμενους να επικεντρωθούν στην επίλυση των προβλημάτων «υψηλής αξίας» και στην προώθηση της καινοτομίας

2. Βελτιωμένη «εργονομία και ευεξία»

- υπάρχει μια αρκετά πιο υψηλή εστίαση στη «γνωστική υγεία», στην «εργονομία του χώρου εργασίας» και στη σημασία της «ασφάλειας»
- οι νέες τεχνολογίες και οι εφαρμογές προσαρμόζονται αποτελεσματικό τρόπο στις ανθρώπινες ικανότητες, αντί να αναγκάζουν τους ανθρώπους να πρέπει να προσαρμοστούν άμεσα και ενδεχομένως κάπως «απότομα» σε

αυτές, γεγονός που μπορεί να αποβεί μοιραίο και στην ενίσχυση του βαθμού της παραγωγικότητας και της λειτουργικής απόδοσης

3. Βιωσιμότητα και ηθική

- το «ανθρώπινο κεφάλαιο» και η ανάπτυξη του καθοδηγείται από την εστίαση στην επίτευξη της «βιώσιμης παραγωγής» και της αξιοποίησης των βασικών αρχών της «ηθικής Τεχνητής Νοημοσύνης»
- οι εργαζόμενοι εκπαιδεύονται ολοένα και περισσότερο για να μπορούν με δόκιμο και αποτελεσματικό τρόπο να διαχειρίζονται τις λειτουργίες που ελαχιστοποιούν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, διατηρώντας επίσης μια υψηλή ανθεκτικότητα του κύκλου της παραγωγής. (Adel, 2022) (Tamer El-Tonsy, 2024) (Aldrickzler, Saadon, Kawad, & Chornomordenko, 2025) (McKinnon, 2025) (PackagingTechToday, 2024).

Η έννοια της «ηθικής Τεχνητής Νοημοσύνης» (Ethical AI), όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 305, αναφέρεται στην πρακτική του σχεδιασμού, της ανάπτυξης και της αξιοποίησης των AI συστημάτων, με τρόπο που να συνάδει με τις ανθρώπινες αξίες (human values), την ασφάλεια (safety), τη δικαιοσύνη (fairness), καθώς και τη διαφύλαξη όλων των οικουμενικών και θεμελιωδών ανθρώπινων δικαιωμάτων (fundamental rights). Οι κύριες παράμετροι του Ethical AI αφορούν τα εξής:

1. Δικαιοσύνη (fairness)

- τα AI συστήματα πρέπει να αποφεύγουν τις «διακρίσεις / προκαταλήψεις» και να προλαμβάνουν έγκαιρα όλα τα ενδεχόμενα «μεροληπτικά» αποτελέσματα / διαμόρφωση συμπερασμάτων ή αποφάσεων, τα οποία λειτουργούν εις βάρος των ατόμων ή των ομάδων και που διαμορφώνεται με βάση της διάκρισης αναφορικά με τη φυλή, το φύλο ή το κοινωνικό υπόβαθρο

2. Διαφάνεια και δυνατότητα αιτιολογίας (transparency & explainability)

- οι χρήστες και οι προγραμματιστές πρέπει να μπορούν να κατανοήσουν πώς και γιατί ένα AI μοντέλο μπορεί να λαμβάνει μια συγκεκριμένη απόφαση

3. Λογοδοσία (accountability)

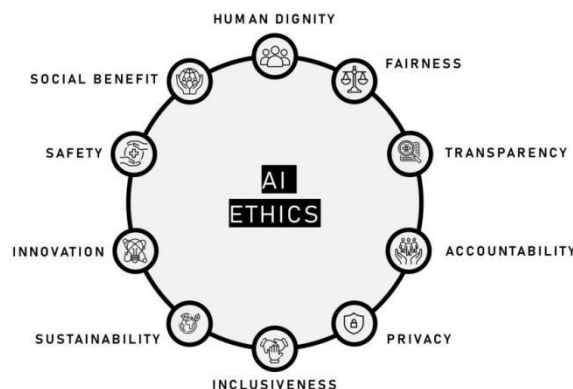
- είναι πολύ σημαντικό να καθορίζεται μια σαφής ευθύνη (λογοδοσία) για όλα τα αποτελέσματα του AI συστήματος, για τα ενδεχόμενα σφάλματα, αλλά και για κάθε ακούσια βλάβη που ίσως να προκληθεί από την AI τεχνολογία

4. Προστασία ιδιωτικής ζωής και ασφάλεια των δεδομένων (privacy & security)

- τα προσωπικά δεδομένα πρέπει να προστατεύονται αποτελεσματικά καθ' όλη τη διάρκεια του «κύκλου της ζωής τους», εξασφαλίζοντας έτσι υψηλά επίπεδα ανθεκτικότητας σε ενδεχόμενες κυβερνοεπιθέσεις ή παραβιάσεις

5. Ανθρώπινη εποπτεία (human oversight)

- οι άνθρωποι πρέπει να διατηρούν την τελική «εξουσία /κυριότητα» επί του AI συστήματος, αλλά και να παρακολουθούν, να παρακάμπτουν ή να παρεμβαίνουν σε διαδικασίες που βασίζονται στο AI. (Alation.com, 2025) (Iparsons, 2025) (Stanford.edu, 2019) (Van Otten, 2024).



Εικόνα 305. Η έννοια της «ηθικής Τεχνητής Νοημοσύνης» (Ethical AI).

(πηγή: <https://blogs.upm.es/inteligenciasresponsables/ai-ethical-values-and-principles/>).

Η «μεταμόρφωση» της έννοιας της ανάπτυξης του ανθρώπινου κεφαλαίου στο φάσμα της ψηφιακής εποχής συνήθως απαιτεί μια ριζική μεταστροφή από την «απόλυτα τεχνολογικά καθοδηγούμενη λειτουργική αποδοτικότητα» που παρατηρείται στο φάσμα του Industry 4.0, προς το να διαμορφωθούν τα περισσότερο ανθρωποκεντρικά και συνεργατικά εργασιακά περιβάλλοντα που αναμένεται να αναπτυχθούν στο φάσμα του Industry 5.0. Η εν λόγω προαναφερθείσα επαναπροσδιορίζει την έννοια

του «ανθρώπινου κεφαλαίου» ως προς την έκφραση του ρόλου, της θέσης και της συμβολής του στον κύκλο της παραγωγής, ενσωματώνοντας με αποτελεσματικό και δόκιμο τρόπο την έννοια της «προηγμένης αυτοματοποίησης» με τις «μοναδικές και μεμονωμένες ανθρώπινες γνώσεις και δεξιότητες», όπως είναι η δημιουργικότητα, η εν συναίσθηση και η ηθική λήψη αποφάσεων. (Kans & Campos, 2024).

Η εξέλιξη της φιλοσοφίας του Industry 4.0 (ως αυτοματοποίηση και υψηλή χρήση του AI), εστιάζει κατά βάση στη βελτιστοποίηση του δείκτη της λειτουργικής αποδοτικότητας, μέσω της χρήσης των IoT και των μεγάλων δεδομένων, καθώς και την «έξυπνη αυτοματοποίηση» για την ανάθεση των επαναλαμβανόμενων εργασιών στα ρομπότ. Το Industry 5.0 (αναφέρεται στην «εναρμονισμένη ενίσχυση του βαθμού της συνεργασίας ανθρώπου – μηχανής»), βασίζεται στο γενικό φάσμα της φιλοσοφίας και των αρχών του Industry 4.0, ενώ εστιάζει κατά βάση στη συνεργασία μεταξύ των «εργαζομένων που έχουν υψηλή ειδίκευση» με το σύνολο των «έξυπνων, ψηφιακών τεχνολογιών και εφαρμογών», δεδομένου πως δίνει προτεραιότητα στους στόχους της βιωσιμότητας, της κοινωνικής ευημερίας και της «επαναφοράς του ανθρώπινου παράγοντα στο επίκεντρο της παραγωγής». (Kans & Campos, 2024).

Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία μελετά την επίδραση των τεχνολογιών και των εφαρμογών του Industry 4.0/ 5.0 στο σύγχρονο κλάδο και στη βιομηχανίας των Γραφικών Τεχνών, των Εκτυπώσεων και της Συσκευασίας, με σκοπό τη σκιαγράφηση του τρόπου με τον οποίον οι εν λόγω τεχνολογίες και εφαρμογές αναδιαμορφώνουν ριζικά τον τρόπο λειτουργίας της παραγωγής, ενισχύοντας σημαντικά το βαθμό της απόδοσης και επιτρέποντας την εφαρμογή αρκετών καινοτομιών (ως προς τη σχεδίαση και την παραγωγή των συσκευασιών) και προωθώντας περισσότερο τη λογική της υιοθέτησης «των ψηφιακών και των βιώσιμων πρακτικών». Η εργασία εστιάζει στο φάσμα των Industry 4.0 τεχνολογιών (IoT, IoP, AI, AR,VR, cobots, αυτοματισμοί, horizontal & vertical integration, smart manufacturing, smart factories, real-time big data, cloud / edge / fog computing) και των εφαρμογών τους στις εκτυπώσεις και στη συσκευασία, με σκοπό την ανάδειξη των πολλών πλεονεκτημάτων τους επί της ενίσχυσης της απόδοσης, της λειτουργίας, καθώς και της επίτευξης της βέλτιστης

ροής της παραγωγής των διαφόρων προϊόντων των έντυπων και των συσκευασιών. Στόχος της εργασίας είναι η μελέτη των «Packaging 4.0», «smart packaging», «digital transformation in manufacturing», που «ενεργοποιούνται» από την υιοθέτηση των τεχνολογιών και των εφαρμογών του Industry 4.0 και μετασχηματίζουν τον κλάδο, ενώ προωθούν την υιοθέτηση των νέων τεχνολογιών και των βιώσιμων πρακτικών που θέτουν ένα πλαίσιο μιας πιο «ομαλής και εύρωστης» μετάβασης στο Industry 5.0.

Στην εργασία αναλύεται και η φιλοσοφία του Industry 4.0 στη βιομηχανία των Γραφικών Τεχνών, των Εκτυπώσεων και της Συσκευασίας, γίνεται επισκόπηση στο φάσμα των Industry 4.0 τεχνολογιών, σκιαγραφείται η πρακτική εφαρμογή τους στη παραγωγή έντυπων και συσκευασιών, ενώ αναλύονται τα οφέλη της υιοθέτησης, όπως είναι η ενίσχυση της απόδοσης, η βέλτιστη λειτουργία και η δόκιμη διαχείριση των διαδικασιών της παραγωγής. Στη συνέχεια διερευνάται η εξέλιξη των πρακτικών, αλλά και το σύνολο των τεχνολογιών και των εφαρμογών που εκσυγχρονίζουν τα είδη των σύγχρονων έντυπων και των συσκευασιών και μετά γίνεται ανασκόπηση στα πεδία της «έξυπνης συσκευασίας» και της «ψηφιακής καινοτομίας». Στόχος είναι να γίνει ολιστική ανασκόπηση στο φάσμα της θεωρίας και των χαρακτηριστικών του «ανθρώπινου κεφαλαίου» (HC), καθώς και του ρόλου της υιοθέτησης μιας νέας, ολιστικής και εστιασμένης στον κλάδο στρατηγικής ανάπτυξης του HC (HCD).

Στο τέλος, ακολουθεί μια συνοπτική ανασκόπηση όλων των συμπερασμάτων που προκύπτουν από την εκπόνηση της παρούσας εργασίας και παρουσιάζονται επιγραμματικά τα κύρια χαρακτηριστικά του τρόπου με τον οποίο οι τεχνολογίες και οι εφαρμογές των Industry 4.0/5.0, μετασχηματίζουν τη βιομηχανία των Γραφικών Τεχνών, των Εκτυπώσεων και της Συσκευασίας, ενώ παρατίθενται και συστάσεις / λύσεις αναφορικά με την υιοθέτηση των τεχνολογιών / εφαρμογών και σκιαγραφείται ο αντίκτυπος της «ενδεχόμενης μελλοντικής τροποποίησης» που επιφέρει η έλευση του Industry 5.0, αλλά το σύνολο των προκλήσεων της επονομαζόμενης «τεχνολογικής αλληλεξάρτησης» και παρατίθενται δυνητικές προτάσεις για την αποτελεσματική αντιμετώπιση τους.

Είναι δόκιμο να αναφερθεί πως ο «ψηφιακός μετασχηματισμός» του κλάδου καθορίζεται βάσει των παραμέτρων που σχετίζονται με τη βιώσιμη ανάπτυξη, τις μεταβαλλόμενες καταναλωτικές τάσεις, την παροχή υψηλής εξατομίκευσης στο e-

commerce, αλλά και της αυτοματοποίησης ως το κύριο μέσο της επίλυσης των προβλημάτων της εφοδιαστικής αλυσίδας. (Adarsh, 2025). Η ευαισθητοποίηση και περιβαλλοντική συνείδηση των καταναλωτών σε συνδυασμό με την ανάδυση των αυστηρότερων νομοθετικών πλαισίων αναφορικά με τη μείωση του «ανθρακικού αποτυπώματος», θέτουν μια νέα βάση στο φάσμα της ανάπτυξης των «sustainable packaging» επιλογών. (Future Data Stats, 2024).

Το φάσμα των Industry 4.0/ 5.0 τεχνολογιών εφαρμογών ενισχύει την προώθηση αρκετών «βιώσιμων επιλογών» συσκευασίας, μέσω της χρήσης των βιοδιασπώμενων υλικών και των «innovative designs» των συσκευασιών, αλλά μέσω της θέσπισης διαφόρων προσεγγίσεων σχετικά με τις πρωτοβουλίες του φάσματος της ανακύκλωσης, προσδίδοντας ένα «οικολογικό» και «πιο πράσινο πρόσημο», μιας και παράγονται προϊόντα που ανταποκρίνεται άμεσα στις «eco-friendly» αιτήσεις των καταναλωτών, ενώ αυτό περιορίζει και το ανθρακικό αποτύπωμα. (TETRIX, 2023).

Σημαντική τάση είναι και η επικράτηση του όρου «Packaging 5.0», ο οποίος προσδιορίζει μια νέα και συνεχώς εξελισσόμενη πτυχή της λειτουργίας και της παραγωγής στους τομείς της συσκευασίας, η οποία σηματοδοτείται και από την αυξανόμενη αίτηση των καταναλωτών για «μοναδικά, πρωτότυπα, και πολύ εξατομικευμένα προϊόντα συσκευασίας». Στο «Packaging 5.0», η παραγωγή πολύ εξατομικευμένων (personalised) προϊόντων συσκευασίας συνοδεύεται και από πολύ μειωμένα επίπεδα του όγκου των αποβλήτων, καταγράφοντας έτσι και ένα αυξημένο επίπεδο ως προς τη βιώσιμη παραγωγή, αλλά και σημαντική σύντμηση του κόστους της λειτουργίας των συστημάτων της παραγωγής. (Towards Packaging, 2025).

6.1 Σύνοψη συμπερασμάτων

Η παρούσα εργασία μελετά την επίδραση των τεχνολογιών του Industry 4.0 / 5.0 στον κλάδο και στη βιομηχανία των Γραφικών Τεχνών, των Εκτυπώσεων και της Συσκευασίας, με σκοπό τη σκιαγράφηση του τρόπου με τον οποίον οι εν λόγω τεχνολογίες και εφαρμογές αναδιαμορφώνουν ριζικά το πλαίσιο της παραγωγής, ενισχύοντας το βαθμό της συνολικής απόδοσης, επιτρέποντας την εφαρμογή των καινοτομιών στους τομείς της σχεδίασης και της παραγωγής των συσκευασιών, μέσω

της υιοθέτησης των ψηφιακών τεχνολογιών αιχμής και των βιώσιμων πρακτικών της παραγωγής. Όπως προκύπτει και από το σύνολο των κεφαλαίων της μελέτης, η τεχνολογική πρόοδος επιδρά καθοριστικά και στο σε κάθε στάδιο του κύκλου της παραγωγής των έντυπων και των προϊόντων της συσκευασίας, η οποία υπερβαίνει τα συμβατικά οφέλη που παρέχει το φάσμα του αυτοματισμού.

Η αύξηση της αξιοποίησης των ειδικών και των εκσυγχρονισμένων λογισμικών σχεδίασης, λειτουργικής υποστήριξης και διαχείρισης των επιχειρήσεων, αλλά και η χρήση των εργαλείων με βάση το AI, των εφαρμογών των IoT και IoP, των AR και VR και των cobots, επιτρέπουν την αποτελεσματική διαχείριση των «big data» για την εκπόνηση του ποιοτικού ελέγχου, τη διαμόρφωση τεκμηριωμένων αποφάσεων, τον άμεσο εντοπισμό των δυσχερειών, τη διόρθωση των σφαλμάτων και των «bottlenecks, τη διεύρυνση της έννοιας του «traceability», τον πλήρη εκσυγχρονισμό της λειτουργίας και της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας, την επίτευξη της βιώσιμης ανάπτυξης, τη διεύρυνση των χαρακτηριστικών των «smart packaging personalized» προϊόντων της συσκευασίας, την αξιοποίηση των «λειτουργικών» συσκευασιών στο e-commerce, αλλά και την αναβάθμιση των επιπέδων της εξυπηρέτησης και της ικανοποίησης των καταναλωτών.

Η εν λόγω συνθήκη μεταμορφώνει ριζικά και το ρόλο και τις αρμοδιότητες που καλείται να εκπληρώσει το ανθρώπινο δυναμικό μιας επιχείρησης, μεταβαίνοντας από το «συμβατικό ρόλο του υπεύθυνου / χειριστή» και του βασικού πυρήνα της υλοποίησης του ευρύτερου πλαισίου της παραγωγικής διαδικασίας / δημιουργίας, της παραγωγής και της διανομής των προϊόντων των έντυπων και της συσκευασίας σε μια «πιο εποπτική και ευέλικτη θέση» που συνοδεύεται από την έντονη αλληλεπίδραση του με τα cobots και το φάσμα των τεχνολογικών καινοτομιών. Είναι δόκιμο όμως να αναφερθεί πως η εν λόγω μεταστροφή εκ πρώτης όψεως δε φαίνεται να συνιστά απαραίτητως μια δυσμενή τάση, δεδομένης της αύξησης του βαθμού της απόδοσης της παραγωγής και της μείωσης του χρόνου της διάθεσης των αγαθών στην αγορά, η οποία επιτρέπει και την ενσωμάτωση πιο δημιουργικών στοιχείων στη ροή εργασιών.

Οι εν λόγω εξελίξεις επιδρούν καθοριστικά και στο HC που δραστηριοποιείται στον κλάδο, το οποίο χρίζει άμεσης ανάγκης περί μιας νέα «ψηφιακής» εξοικείωσης και κατάρτισης με όλα τα σύγχρονα προγράμματα λογισμικού και με την απρόσκοπτη

ενσωμάτωση των τεχνολογιών αιχμής. Η εν λόγω συνθήκη μπορεί να επιλυθεί μέσω της παρακολούθησης ειδικών σεμιναρίων και επιμορφώσεων για τις νέες τεχνολογίες, αλλά και με την ανάληψη πρωτοβουλιών αναφορικά με το πλαίσιο της βιώσιμης ανάπτυξης και της οικολογικής συνείδησης.

Στο πλαίσιο της τεχνολογικής προόδου και της ενσωμάτωσης των τεχνολογιών αιχμής για τη διαμόρφωση των «smart factories», προκύπτουν νέες λειτουργικές διατάξεις που διευκολύνουν την εξομάλυνση της απόδοσης και της ανέλιξης της ποιότητας της παραγωγής, καθώς τα συνεργατικά ρομπότ αναλαμβάνουν τα «repetitive tasks» και το HC στρέφεται σε πιο δημιουργικού περιεχομένου καθήκοντα ή μπορεί να και να επιζητήσει την ενίσχυση των γνώσεων του μέσα από «online tutorial» ή προγράμματα επιμορφώσεων που παρέχονται ακόμη και δωρεάν.

Αν και η επισκόπηση στο φάσμα της τεχνολογικής επίδρασης των Industry 4.0/ 5.0 στη βιομηχανία, σκιαγραφεί ένα πολύ ελπιδοφόρο μέλλον αναφορικά με την ανάπτυξη και τη ριζική μεταμόρφωση του κύκλου της παραγωγής, επίσης εγείρεται και έντονος φόβος αναφορικά με το κατά πόσο θα ακολουθείται στο μέλλον η φιλοσοφία της «δόκιμης διαχείρισης» των τεχνολογικών προόδων, αλλά και κατά πόσο αυτές ενδέχεται να «υποκαθιστούν» το HC ή ακόμη και να οδηγήσουν στον «πλήρη αφανισμό» του από την παραγωγή στο εγγύς μέλλον. Η «βιώσιμη και πιο αποδοτική» προσέγγιση της υφιστάμενης νέας τάξης των πραγμάτων στον κλάδο, επισημαίνει πως η «χρυσή τομή» έγκειται κατά βάση στην εναρμονισμένη σύμπλευση των νέων τεχνολογιών και εφαρμογών με την εκ νέου εκπαίδευση και κατάρτιση του ανθρώπινου δυναμικού σε αυτές, καθώς η ουσιαστική ενίσχυση του επονομαζόμενου «δημιουργικού και εφευρετικού πλαισίου» της παραγωγής τελείται από τον ανθρώπινο παράγοντα, ενώ οι εφαρμογές της τεχνολογίας επιτρέπουν την ενίσχυση και την εξυγίανση του ρόλου του HC σε όλες της μονάδες και τα στάδια του κύκλου της παραγωγής.

Είναι δόκιμο επίσης να αναφερθεί πως φάσμα του AI συνιστά μια μορφή «τεχνητής και όχι ανθρώπινης νοημοσύνης», η οποία αν και ενδέχεται μελλοντικά να παρουσιάζει πολύ υψηλή ομοιότητα με την ανθρώπινη νοημοσύνη, αυτό ίσως να αποβεί ιδιαίτερα επιζήμιο και με τον καιρό ίσως και να αντικαταστήσει πλήρως τον ανθρώπινο παράγοντα από τον κύκλο της παραγωγής, γεγονός που επίσης μπορεί να

«χειραγωγήσει» και το φάσμα της ηθικής αναφορικά με το «αν ο κόσμος θα είναι καλύτερος αν ο άνθρωπος σβήνει για πάντα και αντικαταστεί από τις μηχανές».

6.2. Συμπεράσματα ως σύνοψη απαντήσεων σε ερευνητικά ερωτήματα

Αναφορικά με τα ερευνητικά ερωτήματα της παρούσας διπλωματικής μελέτης προκύπτουν επιγραμματικά τα κάτωθι συμπεράσματα, τα οποία παρατίθενται με την εκ νέου παρουσίαση του ερευνητικού ερωτήματος και την επακόλουθη καταχώριση των συμπερασμάτων σε μορφή επιγραμματικών σχολίων.

Απάντηση σε ερώτημα 1

1) Πως προσδιορίζονται οι καινοτόμες τεχνολογίες και εφαρμογές του κλάδου των Γραφικών Τεχνών και των Εκτυπώσεων;

Αναφορικά με τις καινοτομίες αναφέρονται τα εξής:

- χαρακτηρίζονται από τη στροφή προς τα εξής:
 - το ψηφιακό μετασχηματισμό
 - την τεχνολογία των πληροφοριών
 - τη βιώσιμη ανάπτυξη
- τα ανωτέρω αξιολογούνται και ταξινομούνται με βάση τα ακόλουθα κριτήρια, τα οποία συνιστούν και τους βασικούς πυλώνες του «ορισμού της καινοτομίας»:
 1. Ευελιξία & Αυτοματοποίηση: αναφέρεται στο βαθμό με τον οποίο μια τεχνολογία επιτρέπει την «εκτύπωση κατά παραγγελία» και την ταχεία ανταλλαγή των δεδομένων, εξαλείφοντας έτσι ριζικά τις χρονοβόρες και τις επαναλαμβανόμενες διαδικασίες που απαιτούνται κατά βάση στο παρελθόν
 2. Βιωσιμότητα («Πράσινη Εκτύπωση»): αφορά τη χρήση περισσότερο φιλικών προς το περιβάλλον υλικών (όπως είναι τα ανακυκλωμένα εκτυπωτικά υποστρώματα ή τα μελάνια με βάση το νερό), με στόχο τη μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος και του ενεργειακού αποτυπώματος

3. Εξατομίκευση (VDP - Εκτύπωση Μεταβλητών Δεδομένων): αφορά τη δυνατότητα μαζικής παραγωγής έντυπων υλικών ή συσκευασιών όπου κάθε έντυπο αντίτυπο παρουσιάζει «εξατομικευμένα στοιχεία» (εικόνες, κείμενο)
4. Ενσωμάτωση έντυπων στο ψηφιακό κόσμο: αναφέρεται στη διασύνδεση της διαδικασίας εκτύπωσης με τα «ψηφιακά και διαδραστικά μέσα» (όπως είναι για παράδειγμα οι «δυναμικοί κωδικοί QR» και η αξιοποίηση του AR)
5. «Πολύ Αισθητηριακή εμπειρία» (αναφέρεται στην ενεργοποίηση όχι μόνο της όρασης, αλλά και της αφής, μέσω των νέων δυνατοτήτων του φινιρίσματος): σχετίζεται με τη χρήση των προηγμένων υλικών για την ανάγλυφη εκτύπωση, τη θερμοτυπία ή τις μεταλλικές υφές

Αναφορικά με τις κυρίαρχες καινοτόμες εφαρμογές ισχύουν τα εξής:

- Ψηφιακή Εκτύπωση και εκτυπώσεις inkjet υψηλής ανάλυσης: κυριαρχεί πλέον όχι μόνο στα μικρά τιράζ, αλλά και σε μεγαλύτερες παρτίδες παραγωγής, μειώνοντας έτσι σημαντικά και το κόστος της λειτουργίας και επιτρέποντας επίσης τη δόκιμη «φύλαξη» και διαχείριση των αποθεμάτων
- Έξυπνη Συσκευασία (Smart Packaging) και ετικέτες: αναφέρεται σε εφαρμογές «υψηλής προστιθέμενης αξίας», οι οποίες εξασφαλίζουν την πιστοποίηση της αυθεντικότητας των προϊόντων, καθώς αυτά περιέχουν αισθητήρες ή μπορούν να συνδέονται με εφαρμογές «smartphone»
- Τρισδιάστατη Εκτύπωση (3D Printing): η εν λόγω διαδικασία κατά βάση χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μακετών, δειγμάτων συσκευασίας, αλλά και «εξειδικευμένων εκτυπωτικών προϊόντων με όγκο».

Απάντηση σε ερώτημα 2

2) Πως οι τεχνολογίες και οι εφαρμογές των Industry 4.0 και Industry 5.0, καθώς και των αντίστοιχων καινοτόμων τεχνολογιών και εφαρμογών της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) δύναται να επηρεάζουν ή/και να επιτρέπουν την ενίσχυση και τη βελτιστοποίηση

της παραγωγής των εντύπων; Ποιες είναι οι συνέπειες και οι επιπτώσεις (θετικές ή αρνητικές) που παρατηρούνται στη σύγχρονη βιομηχανία των εκτυπώσεων, κυρίως στο φάσμα των αυτοματισμών, των σύγχρονων προσεγγίσεων και των πρακτικών για την ενίσχυση της απόδοσης μέσω των καινοτομιών της σχεδίασης και της παραγωγής των εκτυπώσεων, αλλά και των ψηφιακών και των βιώσιμων πρακτικών; Με ποιο τρόπο η ανάπτυξη και η ενσωμάτωση του AI (AI integration) επηρεάζει το σύγχρονο κλάδο και τη βιομηχανία των Γραφικών Τεχνών και των Εκτυπώσεων;

Τα βασικά συμπεράσματα επισημαίνουν τα εξής:

- Οι τεχνολογίες Industry 4.0 και 5.0, σε συνδυασμό με το AI μεταμορφώνουν την εκτυπωτική βιομηχανία, καθώς δημιουργούν έξυπνα, συνδεδεμένα περιβάλλοντα που βελτιστοποιούν τη ροή εργασιών από την προεκτύπωση έως το φινίρισμα, ενισχύοντας στο βέλτιστο δυνατό βαθμό την παραγωγικότητα και επιτρέποντας την υψηλή «εξατομίκευση» και την υιοθέτηση βιώσιμων πρακτικών
- Η μετάβαση από το Industry 4.0 στο Industry 5.0, επαναπροσδιορίζει τη θέση και το ρόλο του ανθρώπου εντός του κύκλου της παραγωγής, δεδομένου πως ο «ανθρώπινος παράγοντας» εργάζεται δίπλα (συνεργατικά) με τη μηχανική νοημοσύνη (μηχανές, ρομπότ, νέα συστήματα) και την τεχνητή νοημοσύνη (AI)

Αναλυτικότερα, ο αντίκτυπος και οι συνέπειες παρατηρούνται στους εξής τομείς:

1. Αυτοματισμός και ενίσχυση (βελτιστοποίηση) της παραγωγής
2. Προγνωστική συντήρηση (predictive maintenance)
3. Βελτιστοποιημένη ροή εργασιών (smart workflows)
4. Καινοτομίες σχεδίασης και εκτύπωσης, βελτιώσεις στους τομείς της χρωματικής διαχείρισης και της ποιότητας της αναπαραγωγής των χρωμάτων
 - τα σύγχρονα συστήματα μέσω του computer vision μπορούν να εντοπίζουν ατέλειες, μουτζούρες ή αποκλίσεις του χρώματος

- το AI μπορεί να προτείνει απολύτως αυτόματα βέλτιστους χρωματικούς συνδυασμούς και έτσι να είναι σε θέση να προσαρμόζει όλες τις σημαντικές παραμέτρους για τη βέλτιστη ευκρίνεια των χρωμάτων

5. Εξατομίκευση και μεταβλητά δεδομένα (VDP)

- καθώς το AI αναλύει άμεσα και αποτελεσματικά τα δεδομένα των καταναλωτών για να δημιουργήσει «εξατομικευμένες εκτυπώσεις» μαζί (όπως συμβαίνει με τις εξατομικευμένες καμπάνιες direct mail)

6. Ευελιξία στις μικρές παρτίδες στις εκτυπώσεις

- αναφέρεται στις αλλαγές διαφόρων παραμέτρων (τροποποιήσεων) που γίνονται άμεσα, επιτρέποντας τη «συμφέρουσα» παραγωγή των μικρών τираζ ή και την παραγωγή εξατομικευμένων εντύπων και συσκευασιών, χωρίς να παρατηρείται απώλεια υλικών και χρόνου

7. Ψηφιακές και βιώσιμες πρακτικές

- χρήση πιο οικολογικών και φιλικότερων προς το περιβάλλον υλικών, υποστρωμάτων, μηχανών με μειωμένη ενεργειακή απόδοση, οικολογικά μελάνια και συναφείς προσεγγίσεις
- οι προαναφερθείσες παράμετροι εφαρμόζονται συχνά σε συνδυασμό με τη μείωση του όγκου των απορριμμάτων και των αποβλήτων, αλλά με «στρατηγική» αξιοποίηση των AI δυνατοτήτων

Αναφορικά με τις επιπτώσεις (θετικές και αρνητικές) αναφέρονται τα εξής:

➤ Θετικές επιπτώσεις

- Εκσυγχρονισμός των περισσότερων συμβατικών επιχειρήσεων: οι οποίες εξελίσσονται από «απλούς προμηθευτές» σε «κέντρα παροχής δεδομένων» και σε «συνεργάτες ολοκληρωμένων υπηρεσιών μάρκετινγκ», παρουσιάζοντας υψηλή εστίαση στην έννοια της «εξατομίκευσης»
- Δημιουργικότητα (στο φάσμα του Industry 5.0): καθώς οι αυτοματισμοί, τα ρομπότ και το AI αναλαμβάνουν όλες τις επαναλαμβανόμενες και τις αρκετά χρονοβόρες εργασίες, και έτσι οι εργαζόμενοι μπορούν να ασχοληθούν με πιο δημιουργικές ή περισσότερο «στρατηγικές» εργασίες / καθήκοντα

➤ Αρνητικές επιπτώσεις και προκλήσεις

- Υψηλό κόστος επένδυσης: καθώς η αγορά ενός εξοπλισμού πολύ συμβατού με το φάσμα του Industry 4.0 και των σύγχρονων συστημάτων, εφαρμογών και εργαλείων του AI απαιτεί ένα πολύ σημαντικό κεφάλαιο επένδυσης, το οποίο συχνά δυσκολεύει τις μικρές και τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις
- Ανάγκη για νέες δεξιότητες (upskilling): οι εργαζόμενοι και οι χειριστές των μηχανών πρέπει πλέον να διαθέτουν τις νέες «ψηφιακές δεξιότητες», ενώ παρατηρείται επίσης και αυξημένη απαίτηση για περισσότερο «εξειδικευμένο προσωπικό», που είναι ικανό να διαχειρίζεται με δόκιμο τρόπο τα δεδομένα, τις υποδομές cloud και το γενικό πλαίσιο των αυτοματισμών

Απάντηση σε ερώτημα 3

3) Πόσο κομβική είναι η επίδραση του ψηφιακού μετασχηματισμού και των κύριων συνιστωσών που επηρεάζουν τις Εκτυπώσεις (δηλαδή οι συνιστώσες των Lean Manufacturing, Continuous Improvement, Βιωσιμότητα, Κυκλική Οικονομία) στην ανάπτυξη του ανθρώπινου κεφαλαίου (HCD) στον κλάδο και στη βιομηχανία των Γραφικών Τεχνών και των Εκτυπώσεων και ποιες είναι οι ανάγκες και οι προκλήσεις ανάπτυξης του ανθρώπινου κεφαλαίου και όλων όσων ασχολούνται με τις Γραφικές Τέχνες και τις Εκτυπώσεις (ολιστική προσέγγιση);

Τα βασικά συμπεράσματα επισημαίνουν τα εξής:

- Ο ψηφιακός μετασχηματισμός και οι αρχές της βιωσιμότητας είναι σημαντικές και βασικές παράμετροι για τον κλάδο, δεδομένου πως αυτές είναι που κατά βάση «επαναπροσδιορίζουν» τον ρόλο και τη σημασία του ανθρώπινου κεφαλαίου, μετατρέποντας τους εργαζομένους από τους «απλούς χειριστές των εκτυπωτικών μηχανών / εξοπλισμού» σε «εξειδικευμένους αναλυτές των δεδομένων» και σε «ενορχηστρωτές» του κύκλου της παραγωγής
- Η επίδραση στην ανάπτυξη του ανθρώπινου κεφαλαίου (HCD) αφορά τα εξής:
 - Αναβάθμιση δεξιοτήτων: δεδομένου πως ο ψηφιακός μετασχηματισμός αυτοματοποιεί τις χρονοβόρες χειροκίνητες εργασίες (όπως συμβαίνει στις περιπτώσεις με τις ψηφιακές ροές εργασίας, την προεκτύπωση που είναι βασισμένη στο cloud ή στο AI) και έτσι οι εργαζόμενοι καλούνται να

κατανοήσουν με δόκιμο και αποτελεσματικό τρόπο νέους τομείς, όπως είναι ο επονομαζόμενος «χρωματικός έλεγχος υψηλής ακρίβειας» ή η «διαχείριση των συστημάτων του αυτοματισμού»

- Continuous Improvement και επίτευξη της «lean» παραγωγής: καθώς πλέον αξιοποιούνται εργαλεία σαν το Kaizen και το 5S, τα οποία απαιτούν μια πιο «ενεργή και συνειδητοποιημένη συμμετοχή» του ανθρώπινου παράγοντα στην επίλυση των προβλημάτων και αυτό με τη σειρά του ενισχύει την κριτική του σκέψη και επίσης δημιουργεί μια «νέα κουλτούρα συλλογικής ευθύνης», η οποία συντελεί και στη μείωση της σπατάλης των διαθέσιμων πόρων (όπως σε μελάνια, χαρτί), της ενέργειας, των πρώτων υλών, αλλά και τη μείωση του όγκου των αποθεμάτων
- Βιωσιμότητα και κυκλική οικονομία: η υψηλή ζήτηση για πιο «πράσινες» εκτυπώσεις απαιτεί μια νέα και «περισσότερο περιβαλλοντικά και ψηφιακά» εξειδικευμένη κατάρτιση στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και στις νέες τεχνολογίες, καθώς ο ανθρώπινος παράγοντας πρέπει να γνωρίζει και να επιλέγει τα πιο φιλικά προς το περιβάλλον υλικά (όπως είναι τα οικολογικά μελάνια) και να εμβαθύνει και στη δόκιμη διαχείριση των απορριμμάτων / της ανακύκλωσης

Αναφορικά με τις κύριες ανάγκες και προκλήσεις επισημαίνονται τα εξής:

- Έλλειψη ψηφιακών και τεχνικών δεξιοτήτων: αποτελεί τη μεγαλύτερη πρόκληση, η οποία αφορά το χάσμα μεταξύ της υψηλής ταχύτητας της υιοθέτησης των νέων τεχνολογιών (όπως είναι το AI στη ροή εργασιών) και της διαθεσιμότητας ενός ψηφιακά εκπαιδευμένου προσωπικού, ενώ επίσης είναι επιτακτικό να υπάρχουν και προγράμματα της φιλοσοφίας της «εκ νέου κατάρτισης» (reskilling)
- Αλλαγή «κουλτούρας»: μιας και η μετάβαση σε ένα «lean» περιβάλλον συνεχούς βελτίωσης, αλλά και η διατήρηση των «ψηφιακών καινοτομιών» μπορεί να συναντήσει σημαντική αντίσταση από το ανθρώπινο δυναμικό και έτσι απαιτείται

να υπάρχει μια ισχυρή ηγεσία που να εξηγεί με δόκιμο και αποτελεσματικό τρόπο τα οφέλη και έτσι αυτό να ενθαρρύνει και τη συμμετοχή των εργαζομένων

- «Δια βίου μάθηση»: ο κλάδος δεν μπορεί να βασίζεται αποκλειστικά και μόνο στην τυπική εκπαίδευση, καθώς οι τεχνολογικές εξελίξεις κυλούν με γρήγορους ρυθμούς και έτσι οι επιχειρήσεις καλούνται ολοένα και με πιο γρήγορο ρυθμό στο να πρέπει να επενδύσουν στη «συνεχή εκπαίδευση» που μπορεί και κατά βάση να γίνεται εντός της επιχείρησης, αλλά και στο να παρέχονται επιμορφώσεις και να πραγματοποιούνται συνεργασίες με αντίστοιχα εκπαιδευτικά ιδρύματα

Η προαναφερθείσα ολιστική προσέγγιση τοποθετεί τον άνθρωπο στο «επίκεντρο» του μετασχηματισμού, δεδομένου πως η επένδυση σε ένα περιβάλλον που προωθεί την εκπαίδευση, μπορεί να προστατεύει με πάρα πολλούς διαφορετικούς και σημαντικά διαφοροποιημένους τρόπους το περιβάλλον εργασίας και με τον καιρό να αξιοποιεί τις τεχνολογίες με περισσότερο «έξυπνο τρόπο», ενώ η εν λόγω προσέγγιση είναι η μόνη λύση που μπορεί να επιφέρει τη «μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα» και την ενίσχυση του βαθμού της ανταγωνιστικότητας όλων επιχειρήσεων (ανεξαρτήτως μεγέθους) του κλάδου και της βιομηχανίας των Γραφικών Τεχνών, των Εκτυπώσεων και της Συσκευασίας.

Απάντηση σε ερώτημα 4

4) Ποια είναι τα νέα σχήματα οργανισμών/δομών για την ανάπτυξη του ανθρώπινου κεφαλαίου (HCD) και ποια είναι τα κύρια χαρακτηριστικά μιας ολιστικής HCD στρατηγικής για την ανάπτυξη του ανθρώπινου κεφαλαίου στο σύγχρονο κλάδο και στη βιομηχανία των Γραφικών Τεχνών και των Εκτυπώσεων; Ποιος είναι ο ρόλος που διαδραματίζει στο Industry 4.0 και στη μετάβαση των σύγχρονων επιχειρήσεων στο Industry 5.0 σε ότι αφορά τον παράγοντα Άνθρωπο;

Τα βασικά συμπεράσματα επισημαίνουν τα εξής:

- Τα νέα σχήματα HCD στις Γραφικές Τέχνες - Εκτυπώσεις εστιάζουν σε ευέλικτες οργανωτικές δομές που τοποθετούν τον άνθρωπο στο επίκεντρο, καθώς στο

Industry 4.0, ο άνθρωπος είναι ο πιο σημαντικός και ο πλέον «βασικός χειριστής της τεχνολογίας», ενώ στη μετάβαση στο Industry 5.0, ο κύριος στόχος σχετίζεται με το να μπορέσει να διαμορφωθεί μια περισσότερο «συμβιωτική και εύρωστη» σχέση συνεργασίας μεταξύ ανθρώπου και μηχανής, προωθώντας επίσης κατά βάση τη δημιουργικότητα, τη βιωσιμότητα και την εργασιακή ευεξία

- Αναφορικά με τα νέα σχήματα οργανισμών και δομών για το HCD (όπως είναι οι περιπτώσεις με τις ομάδες agile και cross-functional) επισημαίνεται πως στο σήμερα καταργούνται τα παραδοσιακά «στεγανά» τμήματα και αντίθετα δημιουργούνται νέες «ευέλικτες ομάδες» (όπως εκείνες από σχεδιαστές, τεχνικούς ψηφιακών εκτυπώσεων και προγραμματιστές) που πλέον συνεργάζονται πιο εστιασμένα και πιο δυναμικά για να υλοποιήσουν άμεσα και αποτελεσματικά τις απαιτητικές και «εξατομικευμένες» εκτυπωτικές παραγγελίες
- Αναφορικά με τα κέντρα συνεχούς μάθησης και εκπαίδευσης / επιμόρφωσης (όπως είναι τα κέντρα έρευνας και ανάπτυξης σαν εκείνο το PackprintScience ή τα corporate academies και τα συναφή hubs) επισημαίνεται πως ειδικά οι «δομές της εσωτερικής εκπαίδευσης» που προσαρμόζονται ταχύτατα στα νέα δεδομένα (όπως είναι η εκμάθηση τ AI, ML, cloud και IoT), μπορούν άμεσα και αποτελεσματικά να οδηγηθούν σε υψηλά επίπεδα του δείκτη της απόδοσης και της παραγωγικότητας, ενισχύοντας επίσης και το δείκτη του ανταγωνισμού
- Αναφορικά με τα «συνεργατικά δίκτυα (co-working ή sector-based partnerships) επισημαίνεται πως παρατηρείται μια σημαντική σύμπραξη των επιχειρήσεων του κλάδου με τα υφιστάμενα εκπαιδευτικά ιδρύματα, για την άμεση κάλυψη των «ποιοτικών» κενών στην πολύ απαιτητική παγκόσμια αγορά εργασίας

Τα πιο σημαντικά συμπεράσματα για τα κύρια χαρακτηριστικά της ολιστικής HCD στρατηγικής σχετίζονται με τις εξής παραμέτρους:

- «Ανθρωποκεντρική Προσέγγιση»: οι εργαζόμενοι δεν αντιμετωπίζονται πλέον ως «κόστος / βάρος», αλλά ως το «κυριότερο ανταγωνιστικό πλεονέκτημα» και ως ένας πολύ σημαντικός «φορέας της προώθησης της καινοτομίας»

- Η φιλοσοφία του «hybrid και lifelong learning»: η οποία αναφέρεται κατά βάση στην ανάπτυξη των υβριδικών / συνδυαστικών δεξιοτήτων, ενώ απαιτείται και ο «ψηφιακός γραμματισμός», πάντα σε στρατηγικό συνδυασμό με το σύνολο των «soft» δεξιοτήτων, όπως είναι η δημιουργικότητα, κριτική σκέψη και η υψηλή προσαρμοστικότητα του ανθρώπινου παράγοντα
- Διαφύλαξη της ευημερίας (well-being) και της ασφάλειας: η οποία αναφέρεται στην ενσωμάτωση πρακτικών που μειώνουν την εξουθένωση των εργαζομένων και προστατεύουν την υγεία, μέσω της αυτοματοποίησης (με συστήματα αυτοματισμού και ρομπότ) των επαναλαμβανόμενων και κοπιαστικών εργασιών

Τα πιο σημαντικά συμπεράσματα για το ρόλο του ανθρώπινου παράγοντα στο φάσμα των Industry 4.0 και Industry 5.0 επισημαίνονται τα εξής:

- Στο Industry 4.0: η κύρια έμφαση σχετίζεται με το ψηφιακό μετασχηματισμό, τον αυτοματοποιημένο έλεγχο παραγωγής, το cloud computing και το IoT, ενώ ο ρόλος του ανθρώπινου παράγοντα προσανατολίζεται στον έλεγχο των μηχανών (machine-to-machine) και στην ανάλυση των δεδομένων
- Στη μετάβαση στο Industry 5.0: η παρελθούσα συμβατική φιλοσοφία αλλάζει πλήρως κατεύθυνση, καθώς η τεχνολογία επαναπροσδιορίζεται ως κομβικό και σημαντικό εργαλείο που οφείλει να υπηρετεί τον άνθρωπο, καθώς στις σύγχρονες εκτυπώσεις και γραφικές τέχνες, εισάγονται με ολοένα και μεγαλύτερο ρυθμό τα cobots που αλληλοεπιδρούν δοκίμως με τον ανθρώπινο παράγοντα, παρουσιάζοντας μια παρά πολύ ιδιότυπα «πραγματική» αντίληψη, ενώ ο άνθρωπος μπορεί να λαμβάνει αποφάσεις «υψηλής προστιθέμενης αξίας», αξιοποιώντας τη διαίσθηση και τη δημιουργικότητα του και τα ρομπότ ή μηχανές αναλαμβάνουν το σύνολο των επαναλαμβανόμενων, χρονοβόρων και κοπιαστικών επεξεργασιών και διαδικασιών
- Η ενσωμάτωση του AI και των προτύπων των Industry 4.0 / 5.0: εντός της βιομηχανίας των εκτυπώσεων μετασχηματίζει ριζικά και την παραγωγή, η οποία από «μαζική» γίνεται «εξατομικευμένη», δεδομένου πως για την

ανάπτυξη του ανθρώπινου παράγοντα κρίνεται αναγκαία και η μετάβαση από τη «χειρωνακτική εργασία» στην επονομαζόμενη «ψηφιακή εποπτεία» των συστημάτων, εστιάζοντας κατά βάση στη διαρκή εκπαίδευση, αλλά και στη δημιουργική επίλυση των προβλημάτων.

Η κύρια επίπτωση και οι ενδεχόμενες θετικές εκβάσεις της εν λόγω ριζικής αλλαγής προσδιορίζονται βάσει των εξής παραμέτρων:

- AI και Industry 4.0 στις Εκτυπώσεις
 - Προγνωστική συντήρηση μέσω της αξιοποίησης των αισθητήρων IoT και των αλγορίθμων που αναλύουν τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για τον έγκαιρο προσδιορισμό και την επίλυση ενδεχόμενων προβλημάτων σε εκτυπωτικές μηχανές ή στη ροή εργασιών, μειώνοντας έτσι σημαντικά και τον ενδεχόμενο χρόνο διακοπής της λειτουργίας
 - Αυτοματοποιημένος έλεγχος ποιότητας, κατά τον οποίο αξιοποιούνται κατά βάση συστήματα με κάμερες που καθοδηγούνται από το AI και επιτρέπουν τον άμεσο προσδιορισμό και την επίλυση των σφαλμάτων, των χρωματικών αποκλίσεων / ατέλειών, των προβλημάτων κοπής
 - «Αυτοματοποιημένη διαχείριση ροής εργασιών», μέσω της χρήσης των cloud και AI που αυτοματοποιούν πλήρως τη διαδικασία ελέγχου των αρχείων και συντελούν στη δόκιμη διαχείριση των εργασιών βάσει του φόρτου εργασίας
 - Εξατομικευμένη παραγωγή, ειδικά στο πλαίσιο της μετάβασης στο Industry 5.0 όπου η μεγαλύτερη εστίαση δίδεται στην ανθρώπινη δημιουργικότητα και στις εξατομικευμένες εκτυπώσεις

Αναφορικά με τις επιπτώσεις στο «Ανθρώπινο Κεφάλαιο» επισημαίνονται τα εξής:

- Αναβάθμιση δεξιοτήτων (upskilling / reskilling): η διαδικασία της μετάβασης στο Industry 5.0 σχετίζεται με τη μετατροπή του «συμβατικού χειριστή των εκτυπωτικών μηχανών» στο ρόλο του ονομαζόμενου «Operator 5.0», ο οποίος

οφείλει να φέρει μια ουσιαστική και υψηλή γνώση στη διαχείριση και στην κατανόηση των δεδομένων (data literacy), ένα ικανοποιητικό επίπεδο σε γνώσεις αναφορικά με τη «ψηφιακή του εξοικείωση», αλλά και με τις παραμέτρους του προγραμματισμού και τις «διεπαφές ανθρώπου-μηχανής» (HMIs)

- Συνεργασία ανθρώπου και μηχανής: τα ρομπότ και τα αυτόνομα συστήματα κατά βάση αξιοποιούνται σε ευρεία κλίμακα για τις επαναλαμβανόμενες, κοπιαστικές ή χρονοβόρες εργασίες, ενώ το ανθρώπινο κεφάλαιο εστιάζει στη διαμόρφωση νέων στρατηγικών προσεγγίσεων, στη διαχείριση, αλλά και στην άμεση και αποτελεσματική επίλυση ενδεχόμενων ζητημάτων
- Βελτίωση εργασιακού περιβάλλοντος: το Industry 5.0 εστιάζει στην ευημερία, την ευμάρεια, την ευρωστία, την ολιστική ανάπτυξη του ανθρώπινου κεφαλαίου

Αναφορικά με τις στρατηγικές προκλήσεις των επιχειρήσεων αναφέρονται τα εξής:

- «Εκπαιδευτικό κενό» (skill gap): οι βιομηχανίες του κλάδου των εκτυπώσεων οφείλουν να επενδύσουν στη συνεχή κατάρτιση των υφιστάμενων εργαζόμενων, αλλά και να προσελκύσουν νέους επαγγελματίες, οι οποίοι έχουν κάποια «ψηφιακή εξοικείωση» και ένα μεγαλύτερο τεχνολογικό υπόβαθρο
- «Ανθρωποκεντρική προσέγγιση»: η έλευση του Industry 5.0 υπογραμμίζει ότι η τεχνολογία και οι καινοτόμες εφαρμογές πρέπει να εξυπηρετούν τον άνθρωπο και να ενισχύουν τη δημιουργικότητα του, διατηρώντας τον ανθρώπινο παράγοντα στον πυρήνα των παραγωγικών αποφάσεων. (Briken, Moore, Scholarios, Rose, & Sherlock, 2023) (Dessia Technologies, 2025) (Ελευθερία, 2026) (Hammad, Rahamaddulla, Muhamad Tamyez, & Fauzi, 2025) (Islam, Sepanloo, Woo, Woo, & Son, 2025) (kaartech, n.d.) (Sap.com, 2026) (Oliveira, 2024).

6.3. Γενικά συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η μετάβαση από το Industry 4.0 στο Industry 5.0 επαναπροσδιορίζει πλήρως τον κλάδο, μετατοπίζοντας το κύριο και βασικό πρόσημο της εστίασης από την επιδίωξη

για την «απόλυτη αυτοματοποίηση» στην εναρμονισμένη συνεργασία ανθρώπου και μηχανής. Είναι δόκιμο να αναφερθεί πως στο εν λόγω πλαίσιο η ανάπτυξη του ανθρώπινου κεφαλαίου αποτελεί το βασικό μοχλό για την εύρωστη λειτουργία, την ανάπτυξη και για την προώθηση της καινοτομίας όλων των σύγχρονων επιχειρήσεων (ανεξαρτήτως μεγέθους) του κλάδου. Το ανθρώπινο κεφάλαιο στο Industry 4.0 σχετίζεται κατά βάση με τη ψηφιοποίηση και την αυτοματοποίηση για την ενίσχυση της αποδοτικότητας, της δια συνδεσιμότητας και της πολύ υψηλής ταχύτητας της παραγωγής, ενώ είναι αναγκαίο να ενσωματωθούν κάποιες νέες δεξιότητες, πάντα σε συνδυασμό με το «ψηφιακό γραμματισμό» του ανθρώπινου παράγοντα.

Το ανθρώπινο κεφάλαιο όμως στο Industry 5.0, σχετίζεται κατά βάση με τη λογική της περισσότερο «ανθρωποκεντρικής σκοπιάς» και της υψηλότερης «συνεργασίας ανθρώπου και μηχανής», επιχειρώντας με ένα ιδιότυπο τρόπο να διορθώσει την «τεχνοκρατική» προσέγγιση του Industry 4.0, τοποθετώντας τον άνθρωπο ξανά στο επίκεντρο, μέσω της σύγκλησης της «ρομποτικής ακρίβειας» με την ανθρώπινη διαίσθηση και δημιουργικότητα, ενώ απαιτούνται και εδώ οι νέες δεξιότητες, υπάρχουν υψηλές επιδιώξεις για τη βιωσιμότητα και για την ενίσχυση του βαθμού της ασφαλούς και της περισσότερο αποδοτικής «συνύπαρξης» των cobots και των μηχανών με τον ανθρώπινο παράγοντα.

Οι Huang et al. (2022) επισημαίνουν πως η συνύπαρξη του Industry 5.0 και του «Society 5.0» ενδέχεται να δημιουργήσει τα επόμενα έτη και αρκετές σημαντικές «αμφιβολίες και προκλήσεις» που πρέπει να διευκρινιστούν, καθώς και να εγείρει μια σειρά πολύ σημαντικών ερωτημάτων που πρέπει επίσης να απαντηθούν, τα οποία σχετίζονται κατά βάση με τη «σύγκριση, τη συμπλήρωση και την παράλληλη εξέλιξη / ανάπτυξη» (comparison, complementation & co - evolution) μεταξύ του φάσματος του Industry 5.0 και της έννοιας του «Society 5.0», προκειμένου να μελετηθούν και να αναλυθούν με δόκιμο τρόπο τα κύρια επιχειρήματα σχετικά με τις παραμέτρους και τα χαρακτηριστικών των Industry 5.0 και Society 5.0. (Huang et al., 2022).

Τα εν λόγω δεδομένα θα μπορούσαν μελλοντικά να αποτελέσουν τη βασική πηγή για την εκπόνηση κάποιας μελέτης, δίνοντας έτσι και το έναυσμα για τη διαμόρφωση μιας νέας και πιο «ολιστικής προσέγγισης» αναφορικά με το πλαίσιο της ανάπτυξης

(εξελικτικής προόδου) και της ουσιαστικής ανάλυσης των ενδεχόμενων μακροπρόθεσμων επιπτώσεων των Industry 5.0 και Society 5.0. (Huang et al., 2022).

Μελλοντικά θα έχει επίσης ιδιαίτερο ενδιαφέρον και η σκιαγράφηση του κατά πόσο το Industry 5.0 διατηρεί, όσο εξελίσσεται στο εγγύς και μη μέλλον, έναν «πλήρως ανθρωποκεντρικό προσανατολισμό», καθώς και αν το μέλλον του έντυπου και το πολύ σημαντικό ζήτημα της παρουσίας του ανθρώπινου παράγοντα εντός του κύκλου της παραγωγής δε θα συνιστά μόνο μια «ουτοπική συνιστώσα» των επιδιώξεων του Industry 5.0, αλλά όντως θα αποτελεί σημαντική παράμετρο της παραγωγής.

Βιβλιογραφία

- 9altitudes. (2025). What is ERP and what does it do for your business. Retrieved March 5, 2026, from 9altitudes | From digitalization to digital transformation website website: <https://9altitudes.com/insights-events/articles/what-is-erp>
- A. S., A.-M., Zairi, & A. M. M., A. (2004). Extending the concept of supply chain. *International Journal of Production Economics*, 87(3), 309–320.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2003.08.004>
- Acosta-Vargas, P., Laura, Cuadrado, T., & Salvador-Ullauri, L. (2026). Mapping the industry 5.0 landscape: Enabling technologies, human-centered systems, sectoral applications, and SDG alignment—A PRISMA-ScR review. *Technologies*, 14(5), 268.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/technologies14050268>
- Adamopoulou, E., & Moussiades, L. (2020). An overview of chatbot technology. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 584(1), 373–383.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-49186-4_31
- Adel. (2022). Future of industry 5.0 in society: Human-centric solutions, challenges and prospective research areas. *Journal of Cloud Computing*, 11(1).
<https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s13677-022-00314-5>
- Ahmed, N. A. (2021, March 10). What is artificial intelligence? (AI). Retrieved April 5, 2026, from AI Time Journal website: <https://aitimejournal.com/what-is-artificial-intelligence-ai>
- Akbar, F. (2023, August 22). How digital twins and IoT work together [with example]. Retrieved March 5, 2026, from Toobler website: <https://www.toobler.com/blog/digital-twin-iot>

- Alation. (2025). What is ethical AI? Definition, principles & best practices from Alation. Retrieved April 5, 2026, from Alation.com website website:
<https://www.alation.com/glossary/ethical-AI/>
- Aldrickzler, R., Saadoon, M. Y., Kawad, R. T., & Chornomordenko, I. (2025). Transforming human capital for the digital age: Industry 4.0 and 5.0. *Encuentros. Revista de Ciencias Humanas, Teoría Social Y Pensamiento Crítico*, (23 (enero-abril)), 438–455. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14291566>
- algotive. (2022, July 29). The history of artificial intelligence, machine learning and Deep Learning. Retrieved March 5, 2026, from Algotive AI Blog website:
<https://www.algotive.ai/blog/the-history-of-artificial-intelligence-machine-learning-and-deep-learning>
- Alumini. (2023, October 3). Industry 5.0 – πέρα από την αυτοματοποίηση και την τεχνολογία. Retrieved March 5, 2026, from Alumini - Αλουμίνιο & Αρχιτεκτονική website: <https://alumini.gr/industry-5-0-pera-apo-tin-automatopoiisi-kai-tin-tehnologia/>
- Andrieiev. (n.d.). What is edge computing: Advantages, challenges, use cases. Retrieved March 5, 2026, from Jelvix website: <https://jelvix.com/blog/what-is-edge-computing>
- Ansys Inc. (2026, April 23). What is Industry 5.0? Retrieved May 5, 2026, from Ansys website: <https://ansys.synopsys.com/simulation-topics/what-is-industry-5-0>
- Antino. (2025). Digital transformation in manufacturing: Why, what, and how? Retrieved February 5, 2026, from Antino.com website website:
<https://www.antino.com/blog/digital-transformation-in-manufacturing>

- Art and Design 101. (2021, May 22). What is printmaking? Retrieved March 5, 2026, from Art and Design 101 website: <https://artanddesign101.com/printmaking/>
- ArXiv. (2025). Human Digital Twin: Data, Models, Applications, and Challenges. *arXiv.Org*. Retrieved from <https://arxiv.org/html/2508.13138v1>
- ArXiv.org. (2026). Labor, capital, and machine: Toward a labor process theory for HCI. *arXiv.Org*. Retrieved from <https://arxiv.org/html/2602.10548v1>
- ASEM InfoBoard. (2024, October 31). Society 5.0 - ASEM InfoBoard. Retrieved April 5, 2026, from ASEM InfoBoard website website: <https://aseminfoboard.org/community/society-5-0/>
- Atiku, S. O., & Lawal, I. O. (2021). Human Capital Development Strategy for a sustainable economy. In *Advances in human resources management and organizational development book series* (pp. 116–133). Retrieved from <https://doi.org/10.4018/978-1-79984522-5.ch007>
- Awu, E., Darius, & Chimele, P. (2025). Human capital theory: Viewing employees as organizational asset. *Management Science Research Journal*, 9(3), 370–375. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/390399383_Human_Capital_Theory_Viewing_Employees_As_Organizational_Asset
- B., S. (2014). The investment in human capital - more than an idea in present and future realities. *Annals of Faculty of Economics*, 1(1), 268–275. Retrieved from <https://ideas.repec.org/a/ora/journl/v1y2014i1p268-275.html>
- Basu, A. (2024). Human Digital Twins and machine learning applications in precision medicine and surgery: Current state and future directions. *Artificial Intelligence*. <https://doi.org/https://doi.org/10.5772/intechopen.114908>

- Becker, G. S. (1962). Investment in human capital: A theoretical analysis. *Journal of Political Economy*, 70(5, Part 2), 9–49. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/1829103>
- Bergman, D. (2021, September 22). What is machine learning? Retrieved February 5, 2026, from IBM Think website: <https://www.ibm.com/think/topics/machine-learning>
- Berlina, A., Mikkola, N., & Teräs, J. (2016). Industrial symbiosis: A key driver of green growth in nordic regions? *DIVA-Portal.Org*. Retrieved from <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:917631>
- Bevywise. (2025, October). What is industry 5.0? Human-centric manufacturing explained. Retrieved March 5, 2026, from Bevywise.com website: <https://www.bevywise.com/what-is-industry-5-0/>
- Bigelow, S. (2021, December). What is edge computing? Everything you need to know. Retrieved March 5, 2026, from Techtarget website: <https://www.techtarget.com/searchdatacenter/definition/edge-computing>
- Biscontini, T. (2025). Information age (Digital age). Retrieved February 5, 2026, from EBSCO website: <https://www.ebsco.com/research-starters/information-technology/information-age-digital-age>
- Biswal, M. (2024). From Gutenberg to the industrial revolution transformations in printing and their social impact. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 13(7), 1095–1098. <https://doi.org/https://doi.org/10.21275/sr24722082220>
- Blanchard, K. (2019). Is your organization high performing? *informIT Database Website*. Retrieved from <https://www.informit.com/articles/article.aspx?p=2952623&seqNum=3>

- Brandl, D., & Johnsson, C. (2022). Beyond the pyramid: Using ISA95 for industry 4.0 and smart manufacturing. *Automation.Com*. Retrieved from <https://www.automation.com/en-us/articles/january-2022/beyond-pyramid-isa95-industry-4-0>
- Briken, K., Moore, J., Scholarios, D., Rose, E., & Sherlock, A. (2023). Industry 5 and the human in human-centric manufacturing. *Sensors*, 23(14), 6416–6416. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s23146416>
- Brodeur, W. (2024, July 18). Comprehensive Guide to Digital Plant Services in industrial automation. Retrieved February 5, 2026, from Vertech.com website: <https://www.vertech.com/blog/comprehensive-guide-to-digital-plant-services-in-industrial-automation>
- Brown, S. (2021, April 21). Machine learning, explained. Retrieved March 5, 2026, from MIT Sloan website website: <https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/machine-learning-explained>
- Business in the Community. (2020). An ageing workforce in the digital era: Older workers, technology and skills. *Business in the Community*. Retrieved from <https://www.bitc.org.uk/report/missing-link-an-ageing-workforce-in-the-digital-era-older-workers-technology-and-skills/>
- Cabinet Office. (2019). Society 5.0. Retrieved March 5, 2026, from Cao.go.jp website website: https://www8.cao.go.jp/cstp/english/society5_0/index.html
- Calcetero, M. A. (2018, March 7). Design principles of the industry 4.0. Retrieved March 5, 2026, from Robotlab.com website: <https://www.robotlab.com/blog/design-principles-of-the-industry-4.0?srsId=AfmBOopn45GLwTk5FhUO2ljBsJAzesrlG5MMY2KZOnavJj6jDqf9wXq>

- Caracol AM. (2026, May 4). The shift from Industry 5.0 vs Industry 4.0 reflects a broader transformation. Retrieved June 5, 2026, from LinkedIn website: <https://www.linkedin.com/pulse/industry-50-vs-40-key-differences-what-changes-manufacturing-gfa0e>
- Career In Progress. (2021, November 5). Εργασιακή μετάβαση: Μια αλλαγή που μπορεί να χρωστάς στον εαυτό σου. Retrieved February 5, 2026, from Career In Progress website: <https://cip.gr/ergasiaki-metavasi-mia-allagi-poy-mporei-na-chrosta-ston-eayto-soy/>
- Carozza, K. (2022, December 27). The history and future of digital printing. Retrieved March 5, 2026, from BR Printers website: <https://www.brprinters.com/history-of-digital-printing/>
- CEDEFOP. (2023, April 2). Human capital development strategy. Retrieved March 5, 2026, from CEDEFOP website website: <https://www.cedefop.europa.eu/en/tools/timeline-vet-policies-europe/search/44941>
- Chandler, D. L. (2013, July 16). Explained: Hydrophobic and hydrophilic. Retrieved February 5, 2026, from MIT News | Massachusetts Institute of Technology website: <https://news.mit.edu/2013/hydrophobic-and-hydrophilic-explained-0716>
- Chertow, M. R. (2000). Industrial symbiosis: Literature and taxonomy. *Annual Review of Energy and the Environment*, 25(1), 313–337. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.25.1.313>
- clarkart edu. (n.d.). Printmaking techniques. Retrieved February 5, 2026, from Clark Art Institute website: <https://www.clarkart.edu/microsites/impressionist-line/about/printmaking-techniques>

- Corporater. (2023). The 3 phases of Digital Maturity. Retrieved March 5, 2026, from Infographics | Corporater website: <https://corporater.com/resources/the-3-phases-of-digital-maturity/>
- Couckuyt, A. (2019, November 14). Last month I attended the inaugural 2019 printing united exhibition in Dallas, Texas. The event was a resounding success attended by more than 30,000 attendants with more than 300 exhibitors. Retrieved March 5, 2026, from LinkedIn website: <https://www.linkedin.com/pulse/re-evolution-graphic-arts-industry-7-impacting-trends-couckuyt>
- DataSpace 4.0. (2024, March). DataSpace 4.0. Retrieved February 5, 2026, from Innovalia Association website website: <https://innovalia.org/en/portfolios/dataspace-4-0/>
- Deguchi, A., Hirai, C., Matsuoka, H., Nakano, T., Oshima, K., Tai, M., & Tani, S. (2020). What is society 5.0? In *Society 5.0* (pp. 1–23). Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-981-15-2989-4_1
- Deming, D., & Silliman, M. (2024). Skills and human capital in the labor market. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4950559>
- Dessia Technologies. (2025, June 10). Industry 4.0 vs Industry 5.0: Understanding the key shifts. Retrieved March 5, 2026, from Dessia.io website: <https://www.dessia.io/blog/industry-4-0-vs-industry-5-0-understanding-the-key-shifts>
- Devadas, U. M. (2015). Comprehensive Literature Review on human capital investments theory: What's in it? *Kelaniya Journal of Human Resource Management*, 10(1–2), 20. <https://doi.org/10.4038/kjhrm.v10i1-2.19>

- Dewey, J. (2024). Printing. Retrieved April 5, 2026, from EBSCO Information Services, Inc. website: <https://www.ebsco.com/research-starters/visual-arts/printing>
- Didonato, A. (2024, July 24). Back to basics: How to teach the 4 processes of printmaking for newbies. Retrieved March 5, 2026, from The Art of Education University website: <https://theartofeducation.edu/2024/07/back-to-basics-how-to-teach-printmaking-with-four-processes-for-newbies/>
- digital-strategy.ec.europa.eu. (n.d.). European virtual human twins initiative | shaping Europe's digital future. Retrieved September 5, 2026, from digital-strategy.ec.europa.eu website: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/virtual-human-twins>
- digitalprintexpert. (2021, June 29). Print – not a small industry. Retrieved March 5, 2026, from Ask the digitalprintexpert.de website: <https://digitalprintexpert.eu/2021/06/29/print-not-a-small-industry/>
- Dillon, M. (2022, September 20). The history of digital printing: A comprehensive timeline. Retrieved February 5, 2026, from Meyers Blog website: <https://meyers.com/meyers-blog/the-history-of-digital-printing-a-comprehensive-timeline/>
- Dodd, P. (2022, September 19). Τι είναι το industry 4.0; όλα όσα πρέπει να ξέρετε. Retrieved March 5, 2026, from Fiberroad Technology website: <https://fiberroad.com/el/resources/new-trends/what-is-industry-4-0/>
- Driver, J., & Noesselt, T. (2008). Multisensory interplay reveals crossmodal influences on “sensory-specific” brain regions, neural responses, and judgments. *Neuron*, 57(1), 11–23.
<https://doi.org/10.1016/j.neuron.2007.12.013>

Drupa. (2024a). Drupa print Media Messe. Retrieved February 5, 2026, from

Drupa.com website:

https://www.drupa.com/en/Media_News/drupa_blog/Digitalization/Data_and_Business_Intelligence_in_Printing/The_Transformation_of_the_Printing_Industry_Automation_and_Sustainability

Drupa. (2024b). Print technologies. Retrieved March 5, 2026, from Our articles about the print and packaging industry website:

https://www.drupa.com/en/Media_News/drupa_blog/Print_Technologies

Duan, L., & Xu, L. (2021). Data analytics in industry 4.0: A survey. *Information Systems Frontiers*. <https://doi.org/10.1007/s10796-021-10190-0>

DuJack, E. (2023, September 12). Smart manufacturing: Concept, technologies, and examples. Retrieved March 5, 2026, from L2L Blog website:

<https://www.l2l.com/blog/smart-manufacturing>

Dutt, N., & King, A. A. (2014). The judgment of garbage: End-of-pipe treatment and waste reduction. *Management Science*, 60(7), 1812–1828.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1287/mnsc.2013.1827>

Dwivedi, A. (2024, September 17). The five-layer automation pyramid model visually represents the hierarchical structure of systems within industrial automation, connecting the factory floor to high-level business management. Retrieved March 5, 2026, from LinkedIn website: <https://www.linkedin.com/pulse/5-layer-automation-pyramid-model-hierarchy-systems-akshay-dwivedi-uvGPC>

Ebooks.edu. (2026). Μάθημα 37 - οι τομείς παραγωγής της ευρωπαϊκής οικονομίας.

Retrieved 2026, from Ebooks.edu.gr website:

https://ebooks.edu.gr/ebooks/v/html/8547/2294/Geografia_B-Gymnasiou_html-empl/mat4_37.html

Edwards, K. A. (2022). Worker mobility in practice: Is quitting a right, or a luxury?

Retrieved March 5, 2026, from Economic Policy Institute website:

<https://www.epi.org/unequalpower/publications/worker-mobility-in-practice/>

El-Tonsy, T. (2024, August 19). The changing paradigm of HRM mirrors broader

industrial transformations from industry 4.0 to 5. Retrieved March 5, 2026,

from LinkedIn website: [https://www.linkedin.com/pulse/from-industry-40-50-](https://www.linkedin.com/pulse/from-industry-40-50-how-human-resource-management-has-tamer-el-tonsy-d7lhe)

[how-human-resource-management-has-tamer-el-tonsy-d7lhe](https://www.linkedin.com/pulse/from-industry-40-50-how-human-resource-management-has-tamer-el-tonsy-d7lhe)

Enlund, N. (2013, November). *Graphic arts technology — What is it? Statement on terms and definitions of Graphic Arts Technology*. Helsinki.

ESI Robotics. (2024). Industry 5.0: What are the pillars of this new industrial era?

Retrieved February 5, 2026, from ESI Robotics | Leaders in Industrial

Automation and Robotics website: [https://esirobotics.com/en/industry-50-](https://esirobotics.com/en/industry-50-what-are-the-pillars-of-this-new-industrial-era/)

[what-are-the-pillars-of-this-new-industrial-era/](https://esirobotics.com/en/industry-50-what-are-the-pillars-of-this-new-industrial-era/)

European Commission. (2019). Industry 5.0. Retrieved February 5, 2026, from

research-and-innovation.ec.europa.eu website: [https://research-and-](https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/industrial-research-and-innovation/industry-50_en)

[innovation.ec.europa.eu/research-area/industrial-research-and-](https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/industrial-research-and-innovation/industry-50_en)

[innovation/industry-50_en](https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/industrial-research-and-innovation/industry-50_en)

European Commission. (2024). Building a data economy - brochure | shaping

Europe's digital future. Retrieved February 5, 2026, from digital-

strategy.ec.europa.eu website: [https://digital-](https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/building-data-economy-brochure)

[strategy.ec.europa.eu/en/library/building-data-economy-brochure](https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/building-data-economy-brochure)

European Commission. (n.d.). Printing industry. Retrieved March 6, 2026, from

single-market-economy.ec.europa.eu website: [https://single-market-](https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/related-industries/forest-based-industries/printing-industry_en)

[economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/related-industries/forest-based-](https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/related-industries/forest-based-industries/printing-industry_en)

[industries/printing-industry_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/related-industries/forest-based-industries/printing-industry_en)

Evalex. (2016). Architecture of High Performance Organisations. Retrieved February 5, 2026, from Evalex website:

<https://www.evalex.com/frameworks/architecture-high-performance-organisations/>

Faster Capital. (n.d.). Assembly processes. Retrieved March 5, 2026, from Faster

Capital website: <https://fastercapital.com/keyword/assembly-processes.html>

FasterCapital. (2025). Human capital theory: Investing in talent for firm performance.

Retrieved February 5, 2026, from FasterCapital website:

<https://fastercapital.com/content/Human-capital-theory--Investing-in-Talent-for-Firm-Performance.html>

Federal Register. (2020a, December 8). Federal register :: Request access. Retrieved

March 5, 2026, from unblock.federalregister.gov website:

<https://www.federalregister.gov/documents/2020/12/08/2020-27065/promoting-the-use-of-trustworthy-artificial-intelligence-in-the-federal-government>

Federal Register. (2020b, December 8). Promoting the Use of Trustworthy Artificial

Intelligence in the Federal Government. Retrieved March 6, 2026, from

unblock.federalregister.gov website:

<https://www.federalregister.gov/documents/2020/12/08/2020-27065/promoting-the-use-of-trustworthy-artificial-intelligence-in-the-federal-government>

Fogaça, D. R., Grijalvo, M., & Sacomano Neto, M. (2025). What are industry 4.0 and industry 5.0 all about? An integrative institutional model for the new industrial paradigms. *Administrative Sciences*, 15(4), 118.

<https://doi.org/10.3390/admsci15040118>

- Fraga-Lamas, P., Varela-Barbeito, J., & Fernández-Caramés, T. M. (2021). Next generation auto-identification and traceability technologies for industry 5.0: A methodology and practical use case for the shipbuilding industry. *IEEE Access*, 9, 140700–140730. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3119775>
- Frankenfield, J. (2019). Machine learning. Retrieved March 5, 2026, from Investopedia website: <https://www.investopedia.com/terms/m/machine-learning.asp>
- Furbani, W., Purnawanti, F., Erni, A., Sari, N., & Thoriq, T. (2025). Digital literacy and critical thinking skills of students in the era industry 4.0. *Juwara Jurnal Wawasan Dan Aksara*, 5(1), 136–148. <https://doi.org/https://doi.org/10.58740/juwara.v5i1.382>
- Future Data Stats. . (2024, May 13). The global sustainable packaging solutions market size was valued at USD 224.56 billion in 2023 and is projected to expand at a compound annual growth rate (CAGR) of 5. Retrieved March 5, 2026, from LinkedIn website: <https://www.linkedin.com/pulse/sustainable-packaging-solutions-market-strategic-overview-dxprc>
- Gertz, V. (2025, March 11). Digital continuity: The backbone of digital transformation. Retrieved January 5, 2026, from Capgemini Germany website: <https://www.capgemini.com/de-de/insights/blog/digital-continuity-the-backbone-of-digital-transformation/>
- Gervasoni, C. (2025, January 23). The packaging sector: Industry 4.0 to transition 5.0. Retrieved March 5, 2026, from Smart Packaging Hub website: <https://www.smartpackaginghub.com/the-packaging-sector-from-industry-4-0-to-transition-5-0/>

- Ghosh, D. (2023, May 30). Unlocking the power of industry 4.0: How digitalization is revolutionizing transparency and accountability in business. Retrieved February 5, 2026, from Digi2 Industrial IoT Services website:
<https://digi2o.com/unlocking-the-power-of-industry-4-0-how-digitalization-is-revolutionizing-transparency-and-accountability-in-business/>
- Giziene, G., & Simanaviciene, Z. (2015). The impact of human capital on labour market: Lithuanian case. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 191, 2437–2442. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.04.331>
- Gross, J. (2020, July 2). 6 Steps to leap into industry 4.0 and digital transformation. Retrieved February 5, 2026, from Pemeco Consulting website:
<https://pemeco.com/steps-industry-4-digital-transformation/>
- Gryczka, S. (2024). Industry 5.0: Key differences and can you get a head-start? . Retrieved February 5, 2026, from www.markem-imaje.com website:
<https://www.markem-imaje.com/blog/post/from-industry-4.0-to-industry-5.0--what-will-bethe-key-differences-and-how-can-you-get-a-head-start>
- Guarda, D. (2023). Digital literacy ABC. Retrieved February 6, 2026, from Medium website: <https://dinisguarda.medium.com/digital-literacy-abc-6fa542ba189a>
- Gupta, P. (2025, July 7). AI evolution: Predictive AI, generative AI, and Agentic AI. Retrieved February 6, 2026, from Medium website:
<https://medium.com/@prashantgupta15/ai-evolution-predictive-ai-generative-ai-and-agentic-ai-7faa85f71b12>
- Haiston, J. (2023, October 4). What are the 11 pillars of industry 4.0? Retrieved March 5, 2026, from Symmetry Electronics website:
<https://www.symmetryelectronics.com/blog/11-pillars-of-industry-4>

- Halconrui, C. (2022, October 17). A brief history of lithography prints. Retrieved February 5, 2026, from Artsper Magazine website:
<https://blog.artsper.com/en/a-closer-look/a-brief-history-of-lithography-prints/>
- Hammad, M. Y., Rahamaddulla, S. R., Muhamad Tamyez, P. F., & Fauzi, M. A. (2025). From industry 4.0 to 5.0: Leveraging AI and IoT for sustainable and human-centric operations. *International Journal of Industrial Engineering and Operations Management*, 1–19. <https://doi.org/https://doi.org/10.1108/ijieom-04-2025-0070>
- Hanna, K. T. (n.d.). What is smart factory? | Definition from TechTarget. Retrieved January 5, 2026, from TechTarget website:
<https://www.techtarget.com/searcherp/definition/smart-factory>
- Harrison, J. (2024, January 4). Unveiling the differences between industry 4.0 and industry 5.0. Retrieved January 5, 2026, from Lineview Solutions website:
<https://lineview.com/en/unveiling-the-differences-between-industry-4-0-and-industry-5-0/>
- Hazra, S. (2019, May 30). We are living in the time of information overload. We get to know about buzzwords like industry 4. Retrieved April 5, 2026, from LinkedIn website: <https://www.linkedin.com/pulse/industry-40-only-buzzword-sandip-hazra>
- Hexagon. (2025). Industry 5.0. Retrieved April 5, 2026, from Hexagon.com website:
<https://aliresources.hexagon.com/operations-maintenance/industry-5-0-a-comprehensive-introduction>
- Hoffmann Souza, M. L., C. A. da, Ramos, G. de O., & R. da R. (2020). A survey on decision-making based on system reliability in the context of industry 4.0.

Journal of Manufacturing Systems, 56, 133–156.

<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.05.016>

Horban, Y., Dolbenko, T., Yaroshenko, T., Sokol, O., & Miatenko, N. (2021). Human capital as a development factor for cultural and creative industries.

Ukma.Edu.Ua. <https://doi.org/https://doi.org/10.22937/IJCSNS.2021.21.12.83>

Hoskins, B. (2024). 2025 Industry forecast. *Office Technology Magazine*. Retrieved from <https://www.bta.org/assets/pdf/Dec24CoverStory/>

Hoşafcı, A. (2025, March). The internet of people (IoP): A digital world built around us. Retrieved February 5, 2026, from LinkedIn Pulse website:

<https://www.linkedin.com/pulse/internet-people-iop-digital-world-built-around-us-alperen-ho%C5%9Fafc%C4%B1-bpgsf>

Hrinya, G. (2025, August 8). Assessing the growing hybrid printing market. Retrieved February 5, 2026, from Label and Narrow Web website:

<https://www.labelandnarrowweb.com/breaking-news/assessing-the-growing-hybrid-printing-market/>

Huang, S., Wang, B., Li, X., Zheng, P., Mourtzis, D., & Wang, L. (2022). Industry 5.0 and Society 5.0—Comparison, complementation and co-evolution. *Journal of Manufacturing Systems*, 64, 424–428.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.07.010>

i-SCOOP. (2024, March 18). Smart factory security challenges and threats as cyber attacks increase. *I-SCOOP*. Retrieved from <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/smart-factory-security/>

IBM. (2021, August 26). Human capital management. Retrieved January 5, 2026, from IBM.com website website: <https://www.ibm.com/think/topics/human-capital-management>

- IBM. (2023, May 12). What is the internet of things (IoT)? Retrieved April 5, 2026, from IBM Think website: <https://www.ibm.com/think/topics/internet-of-things>
- IBM Data and AI Team. (2023, July 6). AI vs. machine learning vs. deep learning vs. neural networks. Retrieved February 5, 2026, from IBM Think website: <https://www.ibm.com/think/topics/ai-vs-machine-learning-vs-deep-learning-vs-neural-networks>
- Inbolt. (2025, September 23). Industry 5.0. Retrieved March 5, 2026, from Inbolt website website: <https://www.inbolt.com/resources/blog/industry-5.0/>
- India Brand Equity Foundation. (n.d.). Services. Retrieved February 3, 2026, from [www.ibef.org](https://www.ibef.org/exports/services-industry-india) website: <https://www.ibef.org/exports/services-industry-india>
- industry5-0.net. (2026). Industry 5.0 - a new era of work, technology and sustainability. Retrieved 2026, from Industry 5.0 website website: <https://industry5-0.net/>
- IONOS. (2023, February 21). Fog computing. Retrieved January 5, 2026, from IONOS Digital Guide website: <https://www.ionos.com/digitalguide/server/know-how/fog-computing/>
- Ioppolo, G., Sara, Salomone, R., Saija, G., & Ciraolo, L. (2014). Industrial Ecology and Environmental Lean Management: Lights and Shadows. *Sustainability*, 6(9), 6362–6376. <https://doi.org/10.3390/su6096362>
- Islam, M. T., Sepanloo, K., Woo, S., Woo, S. H., & Son, Y.-J. (2025). A review of the industry 4.0 to 5.0 transition: Exploring the intersection, challenges, and opportunities of technology and human–machine collaboration. *Machines*, 13(4), 267. <https://doi.org/10.3390/machines13040267>
- Jackson, A. (2024, May 13). What is the importance of the Harvard model in talent management? Retrieved February 5, 2026, from Medium website:

<https://amelia-jackson743.medium.com/what-is-the-importance-of-the-harvard-model-in-talent-management-add918a90afd>

Jenkins, A. (2023, April 5). Blockchain in manufacturing: How tech is changing the industry. Retrieved March 5, 2026, from Oracle NetSuite website:

<https://www.netsuite.com/portal/resource/articles/inventory-management/blockchain-in-manufacturing.shtml>

Jenkins, A. (2024, October 10). What is Digital Manufacturing? Types & applications. Retrieved February 5, 2026, from Oracle NetSuite website:

<https://www.netsuite.com/portal/resource/articles/inventory-management/digital-manufacturing.shtml>

kaartech. (n.d.). *INDUSTRY 5.0 the human-centric transformation of industrial manufacturing*. Retrieved from <https://www.kaartech.com/wp-content/uploads/2024/11/Industry-5.0-The-Human-Centric-Transformation-of-Industrial-Manufacturing-1-1.pdf>

Kabir, M. S., & Reem, M. T. (2025). Impact of the fourth industrial revolution on society: A global perspective. *Asian Journal of Agricultural Extension Economics & Sociology*, 43(6), 150–158.

<https://doi.org/https://doi.org/10.9734/ajaees/2025/v43i62770>

Kanade, V. (2022, August 30). What Is Machine Learning? Definition, Types, Applications, and Trends for 2022. Retrieved April 5, 2026, from Spiceworks website: <https://www.spiceworks.com/tech/artificial-intelligence/articles/what-is-ml/>

Kans, M., & Campos, J. (2024). Digital Capabilities Driving Industry 4.0 and 5.0 transformation: Insights from an interview study in the maintenance domain.

Journal of Open Innovation Technology Market and Complexity, 100384–

100384. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2024.100384>

- Kenton, W. (2025, April 9). Human capital definition: Types, examples, and relationship to the economy. Retrieved March 5, 2026, from Investopedia website: <https://www.investopedia.com/terms/h/humancapital.asp>
- Kessler, A., & Lülfsmann, C. (2002). The theory of human capital revisited: On the interaction of general and specific investments. *Ifo.De*. Retrieved from https://www.ifo.de/DocDL/cesifo_wp776.pdf
- Khubulova, V. V., Smagina, M. V., Ivanchenko, I. V., & Marfutenko, T. A. (2022). Development of human capital in the era of digital transformation. *The European Proceedings of Social & Behavioural Sciences*.
<https://doi.org/10.15405/epsbs.2022.12.79>
- Klaess, J. (2021, February 4). The history and future of the assembly line. Retrieved February 5, 2026, from Tulip website: <https://tulip.co/blog/the-history-and-future-of-the-assembly-line/>
- Koenigsberg, S. (2024, October 9). The 4 stages of digital maturity. Retrieved March 5, 2026, from Mendix Blog website: <https://www.mendix.com/Blog/digital-maturity-taking-your-digital-transformation-next-steps/>
- Koh, C. (2023a, May 8). Connectivity & interoperability (part 1) - the ultimate enablers for industry 4.0. Retrieved March 5, 2026, from LKH Precicon website: https://www.precicon.com.sg/industry_4/industry-4-0-connectivity-interoperability-the-ultimate-enablers/
- Koh, C. (2023b, May 8). Connectivity & interoperability (part 1) - the ultimate enablers for industry 4.0. Retrieved April 5, 2026, from LKH Precicon

website: [https://www.precicon.com.sg/industry_4/industry-4-0-connectivity-
interoperability-the-ultimate-enablers/](https://www.precicon.com.sg/industry_4/industry-4-0-connectivity-
interoperability-the-ultimate-enablers/)

Konicaminolta.eu. (2026, January 22). Six trends shaping digital transformation in commercial and industrial print for 2026. Retrieved March 5, 2026, from Konicaminolta.eu website: <https://www.konicaminolta.eu/eu-en/igniting-print-possibilities-blog/commercial-printing/six-trends-shaping-digital-transformation-in-commercial-and-industrial-print-for-2026>

Kraaijenbrink, J. (2022, May 24). What is industry 5.0 and how it will radically change your business strategy? Retrieved February 5, 2026, from Forbes website: <https://www.forbes.com/sites/jeroenkraaijenbrink/2022/05/24/what-is-industry-50-and-how-it-will-radically-change-your-business-strategy/>

Kumawat, M. (2025, January 20). Exploring the effects of fourth industrial revolution. Retrieved March 5, 2026, from Fulminous Software website: <https://fulminoussoftware.com/exploring-the-effects-of-fourth-industrial-revolution>

Kvalvik, P. K., Misra, S. M., Mishra, B. M., & Dash, S. D. (2026). Data as an asset: Economic traits, market dynamics, and monetization challenges. *WIREs Data Mining and Knowledge Discovery*, 16(1). <https://doi.org/10.1002/widm.70072>

Kyriakakis, H. (2024, October 29). What does industry 5.0 mean today? Retrieved April 5, 2026, from Forbes website: <https://www.forbes.com/councils/forbestechcouncil/2024/10/29/what-does-industry-50-mean-today/>

Lafler, J. J. (2021, May 26). Leveraging automation and industry 4.0 in print and packaging manufacturing. Retrieved April 5, 2026, from WhatTheyThink

website: <https://whattheythink.com/articles/106104-leveraging-automation-industry-40-print-packaging-manufacturing/>

Lean Enterprise Institute. (n.d.). Continuous improvement aka “kaizen.” Retrieved March 5, 2026, from Lean Enterprise Institute website:

<https://www.lean.org/lexicon-terms/continuous-improvement/>

Lee, D. (2021). What is hybrid printing technology and what are the key benefits?

Retrieved April 5, 2026, from Focuslabel.com website:

<https://blog.focuslabel.com/the-benefits-of-hybrid-printing-technology>

Libguides. (2018). ECA Library & Learning Support: Research Methods: Research Design. . Retrieved February 3, 2026, from eca.libguides.com website:

<https://eca.libguides.com/c.php?g=968530&p=7110591>

lparsons. (2025, July 11). Ethics in AI: Why it matters. Retrieved February 5, 2026, from Professional & Executive Development | Harvard DCE website:

<https://professional.dce.harvard.edu/blog/ethics-in-ai-why-it-matters/>

Lydon, B. (2016). Industry 4.0: Intelligent and flexible production. Retrieved March 5, 2026, from ISA website: <https://www.isa.org/intech>

Maddikunta, P. K. R., Pham, Q.-V., P., N., D., Dev, K., Gadekallu, T. R., & Liyanage.

(2021). Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications. *Journal of Industrial Information Integration*, 26, 100257.

<https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100257>

Mankin, N. (2022, March 1). Soft HRM and hard HRM – what is the difference?

Retrieved March 5, 2026, from Firmbee website: <https://firmbee.com/soft-hrm-and-hard-hrm-what-is-the-difference>

Mariz-Pérez, R. M., Teijeiro-Alvarez, M. M., & García-Alvarez, M. T. (2012). The relevance of human capital as a driver for innovation. *Cuadernos de*

Economía, 35(98), 68–76. Retrieved from <https://www.elsevier.es/en-revista-cuadernos-economia-329-articulo-the-relevance-human-capital-as-X0210026612551071>

Marr, B. (2021, July 2). What is deep learning AI? A simple guide with 8 practical examples. Retrieved March 5, 2026, from Bernard Marr website: <https://bernardmarr.com/what-is-deep-learning-ai-a-simple-guide-with-8-practical-examples/>

Marucci, Di Flumeri, Borghini, Sciaraffa, Scandola, E. F., P., & P., A. (2021). The impact of multisensory integration and perceptual load in virtual reality settings on performance, workload and presence. *Scientific Reports*, 11. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84196-8>

Masod, B., M. Y., & Zakaria, S. F. (2024). Artificial intelligence in the printing industry: A systematic review of industrial applications, challenges and benefits. *International Journal of Research and Innovation in Social Science*, VIII(IX), 1713–1732. <https://doi.org/10.47772/IJRISS.2024.8090141>

May, K. (2024, May 13). What is artificial intelligence? Retrieved March 5, 2026, from NASA website: <https://www.nasa.gov/what-is-artificial-intelligence/>

McKinnon, D. (2025, July 11). From industry 4.0 to industry 5.0: A human-centered approach. Retrieved April 5, 2026, from Magnum Systems Inc website: <https://magnumsystems.com/2025/07/from-industry-4-0-to-industry-5-0-a-human-centered-approach/>

McLaughlin, S. (2020, August 19). Horizontal and vertical integration in industry 4.0 for pharmaceutical and medical device manufacturers. Retrieved February 5, 2026, from SL Controls website: <https://slcontrols.com/horizontal-and->

vertical-integration-in-industry-4-0-for-pharmaceutical-and-medical-device-manufacturers/

Mertens, C., Alonso, J., Lázaro, O., Palansuriya, C., Böge, G., Nizam, A., & Naeem.

(2022). A framework for big data sovereignty: The European Industrial Data Space (EIDS). *Data Spaces*, 201–226. https://doi.org/10.1007/978-3-030-98636-0_10

Metcalf, S. (2025, February 20). AI and printing: A match made in innovation heaven.

Retrieved April 5, 2026, from Printing Impressions website:

<https://www.piworld.com/post/ai-and-printing-a-match-made-in-innovation-heaven/>

MGI/Konica Minolta. (2021, April 9). Haptic printing. Retrieved April 5, 2026, from

Print Action website: <https://www.printaction.com/haptic-printing/>

Mi, Z., & Coffman, D. (2019). The sharing economy promotes sustainable societies.

Nature Communications, 10. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09260-4>

Microsoft. (2025). What is ERP? Retrieved February 5, 2026, from Microsoft

Dynamics 365 website: <https://www.microsoft.com/en-us/dynamics-365/resources/what-is-erp>

Mohn, E. (2022). Expert system (artificial intelligence). Retrieved March 6, 2026,

from EBSCO Information Services, Inc. website:

<https://www.ebsco.com/research-starters/computer-science/expert-system-artificial-intelligence>

Mopria Alliance. (2025, July 29). The impact of industry 4.0—And beyond—On

printing. Retrieved March 5, 2026, from Mopria Alliance Blog - Print. Scan.

Go. website: <https://blog.mopria.org/2025/07/29/the-impact-of-industry-4-0-and-beyond-on-printing/>

Muller, C. (2024, May 16). Connected packaging market overview, future outlook 2032. Retrieved April 5, 2026, from Packaging Web Wire website: <https://www.packagingwebwire.com/connected-packaging-industry-overview/>

Müller, R. (2026, April 20). What is industry 5.0? Definition, pillars, and manufacturing examples. Retrieved May 5, 2026, from Intelycx website: <https://www.intelycx.com/resources/industry-5-0/>

Nassif, A. B., Shahin, I., Attili, I., Azzeh, M., & Shaalan, K. (2019). Speech recognition using deep neural networks: A systematic review. *IEEE Access*, 7, 19143–19165. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2896880>

National University. (2025). LibGuides: Dissertation and Applied Doctoral Project Components: Method and Design. Retrieved April 5, 2026, from Nu.edu website: <https://resources.nu.edu/c.php?g=1446805&p=10752291>

Nguyen, T. (2019, November). 5S framework @ paragon. Retrieved March 5, 2026, from Paragon website: https://paragon.com.vn/en/5s-framework-paragon/?srsltid=AfmBOopQrkfCSRXR2_KjG4BEqv1vjhGz5Ud2b8EhaPHN5adpujr5ArGn

Northeastern.edu. (2025). Generative AI, agentic AI, and large language models explained: A guide to seven AI technologies powering business innovation. Retrieved February 6, 2026, from Institute for Experiential AI website: <https://ai.northeastern.edu/news/generative-ai-agentic-ai-and-large-language-models-explained-a-guide-to-seven-ai-technologies-powering-business-innovation>

- Oliveira de, A. (2024, January 23). Industry 5.0 in manufacturing: Bringing back humans. Retrieved February 6, 2026, from Proaction International Blog website: <https://blog.proactioninternational.com/en/industry-50-manufacturing-bringing-back-humans-in-the-factory>
- Olmstead, L. (2022, August 4). Digital transformation in manufacturing in 2023 (+8 examples). Retrieved March 5, 2026, from The Whatfix Blog | Drive Digital Adoption website: <https://whatfix.com/blog/digital-transformation-in-manufacturing/>
- Orderwise.co.uk. (2025). What is erp? ERP meaning & complete ERP system guide. Retrieved March 5, 2026, from Orderwise.co.uk website: <https://orderwise.co.uk/en/what-is-erp>
- O'Rourke, D., Connelly, L., & Koshland, C. (1996). Industrial ecology: A critical review. *ResearchGate*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/255598523_Industrial_Ecology_A_Critical_Review
- PackagingTechToday. (2024, May 29). Industry 5.0: The packaging paradigm shift. Retrieved March 5, 2026, from Packaging Technology Today website: <https://www.packagingtechtoday.com/machinery/robotics-automation/industry-5-0-the-packaging-paradigm-shift/>
- PackPrint Science. (2024). PrintPackScience. Retrieved February 2, 2026, from www.packprintscience.org/ website: <https://www.packprintscience.org/>
- Page, A. (2025). The impact of AI on printing and packaging. Retrieved February 5, 2026, from WhatTheyThink website: <https://whattheythink.com/articles/123299-impact-ai-printing-packaging/>

- Pandey, D. (2024, June 3). Packaging 4.0 market set to witness remarkable revenue growth By 2032. Retrieved April 5, 2026, from Towardspackaging.com website: <https://www.towardspackaging.com/insights/packaging-4-0-market-sizing>
- Panou, G. (2018, June 30). Why is decentralization of decision-making becoming more common in contemporary organizations? Retrieved March 5, 2026, from Medium website: <https://gpanou.medium.com/why-is-decentralization-of-decision-making-becoming-more-common-in-contemporary-organizations-33859fff0e8b>
- Pant, R., Singh, R., Gehlot, A., & Thakur, A. K. (2025). A systematic review of emerging industry 5.0 technologies: Enhancing agile manufacturing for sustainability. *Operations Research Forum*, 6(1).
<https://doi.org/10.1007/s43069-025-00427-y>
- Panwar, P. (2026, January 2). Machine learning basics explained: Concepts, types, and examples. Retrieved February 5, 2026, from Craw.in website:
<https://www.craw.in/machine-learning-basics-explained-concepts-types-and-examples?srsltid=AfmBOoqhWNkg1bex0pjpdz73mJkyGxu4HTj8y7IDYkMcGf6CKXOV2Olx>
- PBS NewsHour. (2015, May 22). 3 White collar jobs that robots are already mastering. *PBS NewsHour*. Retrieved from
<https://www.pbs.org/newshour/science/3-white-collar-jobs-robots-can-already-better>
- Penkala, M. (2024). The role of human capital in the innovation management process. *Humanities and Social Sciences Quarterly*, 31(3), 107–119.
<https://doi.org/10.7862/rz.2024.hss.34>

- Peterson, D. (2017, December 12). 5 “Soft skills” to look for in prospective packaging and printing employees. *Packaging Impressions*. Retrieved from <https://www.packagingimpressions.com/post/5-soft-skills-to-look-for-in-prospective-packaging-and-printing-employees/>
- Pierce, L. M. (2021). Packaging operations, meet industry 5.0. Retrieved March 5, 2026, from Packaging Digest website: <https://www.packagingdigest.com/sustainability/packaging-operations-meet-industry-5.0>
- Pixartprinting. (2018, March 28). A brief history of printing. From the 15th century to today. Retrieved March 6, 2026, from The Pixartprinting blog website website: <https://www.pixartprinting.co.uk/blog/brief-history-printing/>
- Pohl, S. (2024, September 4). Lean production: Basics of methodical process optimization. Retrieved March 5, 2026, from Greif-Velox website: <https://www.greif-velox.com/en/knowledge/lean-production-en>
- Polachek, S. W. (2007). Earnings over the life cycle: The mincer earnings function and its applications. *SSRN Electronic Journal*, 3181. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1048301>
- Polin, S. (2024). What is customer relationship management? Benefits of CRM software. Retrieved March 5, 2026, from Techtarget.com website: <https://www.techtarget.com/WhatIs/video/An-explanation-of-customer-relationship-management-CRM>
- Politis, A. (2003). Competence of human capital for digital printing. *Imaging*. Retrieved from <https://www.imaging.org/common/uploaded%20files/pdfs/Papers/2001/DPP-0-252/4761.pdf>

- Politis, A. (2018). Innovations in the graphic arts, media and packaging fields. *Proceedings of 9Th International Symposium on Graphic Engineering and Design*. <https://doi.org/https://doi.org/10.24867/grid-2018-p2>
- Politis, A. (2024, June). *The future of print-media education: A sector-oriented holistic approach* [Presentation]. Presented at the dna - drupa next age forum, Düsseldorf, Germany.
- Politis, A., & Gatsou, C. (2016). Evolution of curricula of graphic arts and media technology education- A comparative analysis. Retrieved March 5, 2026, from International Circle website: <https://www.internationalcircle.net/wp-content/uploads/2025/01/07-polits-Evolution-of-Curricula-of-Graphic-Arts-and-Media-Technology-Education-AComparative-Analysis.pdf>
- Politis, A., Tsigonias, M., Koutrouditsos, C., Vergopoulou, A., Gamprellis, G., Sofias, I., & Stasinopoulos, S. (2025). PackPrint science - the Hellenic Center for Research and education on packaging, print and graphic communication: A sector-oriented initiative from Greece. *56Th IC Annual Conference Proceedings*. Retrieved from https://www.internationalcircle.net/wp-content/uploads/2026/01/ic_proceedings_25.pdf
- Politis, A. E. (2004). Human capital development and competence structures in changing media production environments. *DIVA*. Retrieved from <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A8097&dswid=8891>
- Politis, A. E. (2019). Graphic communication and print media technology - enhancing innovation for media competition. *Polytechnic and Design*. Retrieved from <https://polytechnicanddesign.tvz.hr/index.php/ojs/article/view/271/246>

Polymathian. (2022, April 6). How industrial mathematics is changing the way heavy industry makes decisions. Retrieved April 5, 2026, from Polymathian website:

<https://polymathian.com/news-media/blogs/how-industrial-mathematics-is-changing-the-way-heavy-industry-makes-decisions/>

praxi_2023. (2021, February 14). Πρωτοβουλία “Βιομηχανία 5.0”: Η μετάβαση προς μια πιο βιώσιμη, ανθεκτική και ανθρωποκεντρική βιομηχανία. Retrieved April 5, 2026, from Δίκτυο ΠΡΑΞΗ website: <https://praxinetwork.gr/protovoulia-viomichania-5-0-i-metavasi-pros-mia-pio-viosimi-anthektiki-kai-anthropokentriki-viomichania/>

Rabczuk, D. (2026, January 22). Human capital - definition and characteristics.

Retrieved February 6, 2026, from LeasingTeam website:

<https://leasingteam.pl/en/blog/human-capital>

Ratan, S., Anand, T., & Ratan, J. (2019). Formulation of Research Question –

Stepwise Approach. *Journal of Indian Association of Pediatric Surgeons*, 24(1), 15–20. https://doi.org/10.4103/jiaps.JIAPS_76_18

Reed, N. (2025, April 28). Printing Industry Outlook in 2025: Key trends shaping the future. Retrieved April 5, 2026, from Printing Watch website:

<https://www.printingwatch.com/printing-industry-outlook-2025-how-digitization-sustainability-and-automation-are-reshaping-the-market>

Rehkopf, M. (2024). What is continuous improvement and which tools are needed?

Retrieved April 5, 2026, from Atlassian website:

<https://www.atlassian.com/agile/project-management/continuous-improvement>

Richman, N. M. (2015). Human resource management and human resource

development: Evolution and contributions. *ResearchGate*. Retrieved from

https://www.researchgate.net/publication/284216631_Human_Resource_Management_and_Human_Resource_Development_Evolution_and_Contributions

Richnák, P., & Čambalíková, A. (2022). Applying industry 4.0 and its impact in printing industry. *CER Comparative European Research*, 2022.

Rootes, L. (2025, November 27). The future of printing in 2026 – key trends in AI, packaging, labels & eco-friendly production. Retrieved April 6, 2026, from Kernow Coatings Ltd website: <https://kernowcoatings.com/blogs/blogs/the-future-of-printing-in-2026-key-trends-in-ai-packaging-labels-eco-friendly-production>

Ross, S. (2024, November 11). What is the human capital theory and how is it used? Retrieved April 6, 2026, from Investopedia website: <https://www.investopedia.com/ask/answers/032715/what-human-capital-and-how-it-used.asp>

Salomão, A. (2023, May 15). What are the types of research? Retrieved March 5, 2026, from Mind the Graph Blog website: <https://mindthegraph.com/blog/el/%CF%80%CE%BF%CE%B9%CE%B1-%CE%B5%CE%B9%CE%BD%CE%B1%CE%B9-%CF%84%CE%B5%CE%B9%CE%B4%CE%B7-%CF%84%CE%B7%CF%82-%CE%AE%CF%82%CE%B5%CF%85%CE%BD%CE%B1%CF%82/>

SAP. (2026). Τι είναι το ERP; ο βασικός οδηγός. Retrieved 2026, from SAP website: <https://www.sap.com/greece/resources/what-is-erp>

Sap.com. (2026). Industry 5.0: Adding the human edge to industry 4.0. Retrieved 2026, from SAP website: <https://www.sap.com/portugal/resources/industry-5-0>

Scott, G. (2023, April 9). Artificial intelligence: What it is and how it is used.

Retrieved March 5, 2026, from Investopedia website:

<https://www.investopedia.com/terms/a/artificial-intelligence-ai.asp>

Scott, R. (2025, November 18). Industry 5.0: The human-centric future of

manufacturing. Retrieved January 5, 2026, from Hexagon's Manufacturing

Intelligence Blog website: [https://blog.manufacturing.hexagon.com/digital-](https://blog.manufacturing.hexagon.com/digital-transformation-in-manufacturing/industry-5-0/)

[transformation-in-manufacturing/industry-5-0/](https://blog.manufacturing.hexagon.com/digital-transformation-in-manufacturing/industry-5-0/)

Short, E. (2023, August 24). I have seen lots of people try to define what it means to

be data-driven business, and most have failed to encapsulate it. Retrieved

March 5, 2026, from LinkedInEditors website:

[https://www.linkedin.com/pulse/manifesto-data-driven-organisation-aka-](https://www.linkedin.com/pulse/manifesto-data-driven-organisation-aka-intelligent-business-short)

[intelligent-business-short](https://www.linkedin.com/pulse/manifesto-data-driven-organisation-aka-intelligent-business-short)

Shukla, A. (2018, April 4). Introduction: Most of the countries have laws that mandate

for one or other form of mandatory schooling and in most of the cases,

schooling is provided free of cost by the state. Retrieved March 5, 2026, from

LinkedIn website: [https://www.linkedin.com/pulse/making-human-capital-](https://www.linkedin.com/pulse/making-human-capital-theory-historical-investigation-anurag-shukla)

[theory-historical-investigation-anurag-shukla](https://www.linkedin.com/pulse/making-human-capital-theory-historical-investigation-anurag-shukla)

Simio. (2025). Industry 5.0 explained: From human-machine rivalry to partnership.

Retrieved February 5, 2026, from Simio.com website:

[https://www.simio.com/blog/industry-5-0-explained-from-human-machine-](https://www.simio.com/blog/industry-5-0-explained-from-human-machine-rivalry-to-partnership)

[rivalry-to-partnership](https://www.simio.com/blog/industry-5-0-explained-from-human-machine-rivalry-to-partnership)

Slaydon, J. (2022, September 15). Swift printing. Retrieved February 5, 2026, from

Swift Printing website website: [https://www.swiftprinting.com/swift-](https://www.swiftprinting.com/swift-times/printing-in-gran-rapids-mi)

[times/printing-in-gran-rapids-mi](https://www.swiftprinting.com/swift-times/printing-in-gran-rapids-mi)

- Slobodan, A., Lazić, J., & Cvijanović, J. M. (2005). High performance organization model. *Industrija*, 33(2–3). Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/277070826_High_performance_organization_model
- Snap Print Solutions. (2023, October 11). In today’s fast-paced business environment, where every marketing dollar counts, data-driven decision-making is no longer just a buzzword; it’s a necessity. For professionals in the printing industry, leveraging analytics can be a game-changer in enhancing marketing return on investment (ROI). Retrieved February 5, 2026, from LinkedInEditors website: <https://www.linkedin.com/pulse/data-driven-printing-leveraging-analytics-better-b4woc>
- Snow, T. (2025, January 30). What is Digital Manufacturing? Retrieved February 5, 2026, from Dassault Systèmes blog website: <https://blog.3ds.com/brands/delmia/what-is-digital-manufacturing/>
- Sofias, I., & Politis, A. (2024). Human Capital Development in the printing industry: Investigation in sector-oriented approaches. *International Circle*. Retrieved from https://www.internationalcircle.net/wp-content/uploads/2024/09/IC2024_5B-3_Politis.pdf
- Soni, R. (2024). The role of cloud computing in industry 4.0 and beyond. *Automation*. Retrieved from <https://www.automation.com/en-us/articles/december-2024/role-cloud-computing-industry-4-0-beyond>
- Sreekumar, D. (2023, August 28). What is research methodology? Definition, types, and examples. Retrieved February 5, 2026, from Paperpal website website: <https://paperpal.com/blog/academic-writing-guides/what-is-research-methodology>

Stackpole, B. (2026). Agentic AI, explained. Retrieved 2026, from MIT Sloan Ideas

Made to Matter website: <https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/agentic-ai-explained>

Staley, T. (2023, September 22). The power of open innovation. Retrieved March 5,

2026, from TechUK website: <https://www.techuk.org/resource/the-power-of-open-innovation.html>

Stall, K. (2025). Embracing industry 5.0: Human-centric design of IIoT enabled

Digital Twins in the printing industry. *Scientific Papers of Silesian University of Technology Organization and Management Series*, 223(2025).

<https://doi.org/10.29119/1641-3466.2025.223.32>

Standing, G. (2019, January 7). An alternative view of globalization 4.0, and how to

get there. Retrieved February 5, 2026, from World Economic Forum website: <https://www.weforum.org/stories/2019/01/globalization-4-alternative-view-guy-standing/>

Stanford.edu. (2019). What is ethical AI? Retrieved April 5, 2026, from Stanford.edu

website website: <https://hai.stanford.edu/ai-definitions/what-is-ethical-ai>

Stefanini. (2019, July 8). Industry 4.0: A complete guide - stefanini. Retrieved

February 5, 2026, from Stefanini website:

<https://stefanini.com/en/insights/news/industry-4-a-complete-guide>
<https://stefanini.com/en/insights/news/industry-4-a-complete-guide>

Strategic ERP. (2023, June 3). What is the relation between MIS and enterprise

resource planning? Retrieved February 5, 2026, from LinkedIn website: <https://www.linkedin.com/pulse/what-relation-between-mis-enterprise>

- Stryker, C., & Scapicchio, M. (2024, March 22). What is generative AI? Retrieved March 5, 2026, from Ibm.com website website:
<https://www.ibm.com/think/topics/generative-ai>
- Szwarocka, K. (2025, September 18). From data to dividends: How to measure and maximize ROI from IoT in manufacturing. Retrieved February 5, 2026, from DBR77 Robotics website: <https://dbr77.com/from-data-to-dividends-how-to-measure-and-maximize-roi-from-iot-in-manufacturing/>
- Tashkinov, A. G. (2025). The application of industry 4.0 into the company's production activities through effective decision-making. *Scientific Reports*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-15688-0>
- Tavakoli, A. (2024, December 17). The 6 top print cost management strategies for 2025. Retrieved February 5, 2026, from Printepssw.com website:
<https://printepssw.com/insight/6-top-print-cost-management-strategies-for-2025>
- TeachThought. (2023, August 28). What comes after the information age? Retrieved February 5, 2026, from TeachThought website:
<https://www.teachthought.com/the-future-of-learning-posts/what-comes-after-the-information-age/>
- Team iNCORTA. (2023, September 18). Big data and industry 4.0: Solutions, challenges & examples. Retrieved February 5, 2026, from Incorta website:
<https://www.incorta.com/blog/big-data-and-industry-4.0>
- Tebbutt, N. (2017, June 27). Data asset management (DAM) - the digital transformation people. Retrieved March 5, 2026, from The Digital Transformation People website:

<https://www.thedigitaltransformationpeople.com/channels/delivery/data-asset-management-dam/>

Teixeira, P. N. (2014). Gary Becker's early work on human capital – collaborations and distinctiveness. *IZA Journal of Labor Economics*, 3(1).

<https://doi.org/10.1186/s40172-014-0012-2>

TETRIX. (2023, September 7). As industry 4.0 reshapes the business landscape, the packaging industry stands on the cusp of a profound transformation. Retrieved February 5, 2026, from LinkedIn website:

<https://www.linkedin.com/pulse/future-packaging-industry-40-tettix-robot-integrators>

The Embassy of Good Science. (2026, June 2). Ethics challenges of new technologies: Human digital twins. Retrieved June 5, 2026, from The Embassy of Good Science website website:

<https://embassy.science/wiki/Theme:89632ee4-3433-4fbd-84d1-0e51eb942bee>

Towardspackaging. (2025, February 5). Industry 5.0 in Packaging Market Advanced Packaging Technologies & Innovations. Retrieved March 5, 2026, from Towardspackaging.com website:

<https://www.towardspackaging.com/insights/packaging-5-0-market-sizing>

TradeImexX. (2025, July 19). Global printer export market 2025: Top exporting countries & printer trade trends. Retrieved February 6, 2026, from Infinite website: <https://www.tradeimex.in/blogs/global-printer-export-market-2025-top-exporting-countries>

Tribeca Printworks. (223C.E.). History of Printmaking - Tribeca Printworks.

Retrieved February 2, 2026, from www.tribecaprintworks.com website:

<https://www.tribecaprintworks.com/history-of-printmaking/>

- Tudor, B. H., Shargo, R., Gray, G. M., Fierstein, J. L., Kuo, F. H., Burton, R., &
Ahumada, L. M. (2025). A scoping review of human digital twins in
healthcare applications and usage patterns. *Npj Digital Medicine*, 8(1).
<https://doi.org/10.1038/s41746-025-01910-w>
- University of Phoenix. (2026, April 14). New research finds workers are leveraging
AI for career mobility as employers struggle to keep pace. *Phys.Org*.
Retrieved from <https://phys.org/news/2026-04-workers-leveraging-ai-career-mobility.html>
- Usländer, T., & Teuscher, A. (2022). Industrial data spaces. In *Designing data spaces*.
Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-3-030-93975-5_19
- Usman, M. (2023). Preparing the packaging industry for industry 4.0. *IEEE Future
Directions*. Retrieved from <https://cmte.ieee.org/futuredirections/tech-policy-ethics/january-2023/preparing-the-packaging-industry-for-industry-4-0/>
- UST. (2024, May 15). What is Industry 5.0? Retrieved March 5, 2026, from UST
website website: <https://www.ust.com/en/ust-explainers/what-is-industry-five-point-zero>
- Van Otten, N. (2024, July 30). Ethical AI explained: Key issues & practical how to
implement guide. Retrieved March 5, 2026, from Spot Intelligence website:
<https://spotintelligence.com/2024/07/30/ethical-ai-explained-key-issues-practical-how-to-implement-guide/>
- Vela, R. (2023, July 31). Value stream mapping in supply chain management.
Retrieved March 5, 2026, from LinkedIn website:
<https://www.linkedin.com/pulse/value-stream-mapping-supply-chain-management-rafael-a-vela>

- Viljoen, S. (2023). Holistic human capital: An Integrated Approach to aligning culture, talent, and leadership to improve employee engagement and sustainable business performance. Retrieved March 5, 2026, from uniselinus.education website:
<https://www.uniselinus.education/sites/default/files/2024-03/STEPHANIE%20VILJOEN.pdf>
- Vilmate. (2023, October 18). Cyber-physical systems & what they have to do with IoT. Retrieved February 5, 2026, from Vilmate website:
<https://vilmate.com/blog/cyber-physical-systems-cps-what-they-have-to-do-with-iot/>
- Visual Components. (2024, June 15). Introduction to industry 5.0 and the role of manufacturing simulation. Retrieved February 5, 2026, from Visual Components website: <https://www.visualcomponents.com/blog/introduction-to-industry-5-0-and-the-role-of-manufacturing-simulation/>
- Vlahos, J. (2020, July 22). What is lithography & how has it shaped modern printing? Retrieved March 5, 2026, from Printivity Insights website:
https://www.printivity.com/insights/2020/07/22/what-is-lithography-and-how-has-it-shaped-modern-printing/?srsltid=AfmBOopyfL3tscntjBTtCMT1MnGZHXL6HZTQ1BC-b8Y-xvvf8aKaBG_u
- Wagner, B. (2023, November 27). The evolution of modern printing technology. *Washtenaw Business Association*. Retrieved from
https://www.wwba.biz/content.aspx?page_id=2507&club_id=305223&item_id=4990

Walter, M. (2025). Continuous improvement process: Definition & methodologies.

Retrieved March 5, 2026, from BeeWaTec.com website:

<https://www.beewatec.com/en/blog/continuous-improvement-process-definition-methodologies>

Wanka, J. (2017, January 31). Germany's high-tech strategy 2020: Setting the stage.

Retrieved February 6, 2026, from Open Access Government website:

<https://www.openaccessgovernment.org/germanys-high-tech-strategy-2020/31361/>

White, D. (2025, March 12). Understanding return on investment in automated

manufacturing. Retrieved February 5, 2026, from Calvary Robotics website:

<https://calvaryrobotics.com/blog/understanding-roi-in-manufacturing>

Winikoff, P. (2024, October 2). What is digitization vs digitalization vs digital

transformation? Retrieved March 6, 2026, from Channel Insider website:

<https://www.channelinsider.com/channel-business/running-an-msp/digitization-vs-digitalization/>

Winter, J. (2022, August). Industry 4.0 and smart manufacturing. Retrieved April 5,

2026, from ISA Intelligent Automation website: <https://www.isa.org/intech-home/2022/august-2022/features/introduction-the-birth-of-industry-4-0-and-smart>

Winters, K. A. (2015). NFC labeling technology: An emerging opportunity for

flexible packaging. *Packaging Strategies*. Retrieved from

<https://www.packagingstrategies.com/articles/98882-nfc-labeling-technology-an-emerging-opportunity-for-flexible-packaging>

- Witynski, M. (2024). Behavioral economics, explained. Retrieved April 6, 2026, from news.uchicago.edu website: <https://news.uchicago.edu/explainer/what-is-behavioral-economics>
- World Bank. (2023). Human capital. Retrieved March 6, 2026, from World Bank website website: <https://www.worldbank.org/en/publication/human-capital>
- wp_214900. (2023, February 28). Industry 5.0 - sail4.It artificial intelligence corporate security safety environment cybersecurity. . Retrieved March 2, 2026, from SAIL4.IT Artificial Intelligence Virtual Reality Industry 5.0 Cybersecurity website website: https://www.sail4.it/industry_5-0_sail4-it/
- Wuttaphan, N. (2020). Human capital theory: The theory of human resource development, implications, and future. *ResearchGate Website*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/344166132_HUMAN_CAPITAL_THEORY_THE_THEORY_OF_HUMAN_RESOURCE_DEVELOPMENT_IMPLICATIONS_AND_FUTURE
- Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B., & Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, 61(1), 530–535. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.10.006>
- Yashaswi Group. (2026, April 13). Top 5 industry 4.0 skills for 2026: Every worker must learn. Retrieved May 6, 2026, from Yashaswi Group - website website: <https://yashaswigroup.in/blog/industry-4-0-skills-2026/>
- YCS TechSoft. (2023, June 2). The evolution of ERP in industry 4.0: Driving efficiency and integration. Retrieved April 6, 2026, from LinkedIn website: <https://www.linkedin.com/pulse/evolution-erp-industry-40-driving-efficiency-integration>

Zakaria, S. (2011). Transforming human resources into human capital. *Information Management and Business Review*, 2(2), 48–54.

<https://doi.org/10.22610/imbr.v2i2.882>

Γεωργιάδου, Δρ. Ε., & Πολίτης, Δρ. Α. (2025). *ΓΤΠ 60 Τεχνολογία Γραφικών Τεχνών 1Η ΟΣΣ 2025-2026* [Presentation]. Presented at the ΓΤΠ 60 Τεχνολογία

Γραφικών Τεχνών 1Η ΟΣΣ 2025-2026, Ε.Α.Π.

Γεωργιάδου, Δρ. Ε., & Πολίτης, Δρ. Α. (2026). *Διαχείριση παραγωγής εντύπων* [Presentation]. Presented at the Διαχείριση παραγωγής εντύπων, Ε.Α.Π.

Γεωργιάδου, Δρ. Ε., & Πολίτης, Δρ. Α. (n.d.). ΕΔΥ Τεχνολογία Γραφικών Τεχνών - ΓΤΠ60. In *Ε.Α.Π.* Ε.Α.Π.

Ελευθερία. (2026, June 29). Η τεχνητή νοημοσύνη αλλάζει τα δεδομένα στην παγκόσμια αγορά εργασίας. *Ελευθερία*. Retrieved from <https://www.eleftheria.gr/kosmos/i-techniti-noimosyni-allazei-ta-dedomena-stin-pagkosmia-agora-ergasias/>

Ιωαννίδου, Π. (2024, October 4). Βιομηχανία εκτυπώσεων και ψηφιακή ροή εργασιών: Συστήματα MIS (management information systems). Retrieved March 6, 2026, from Apothesis.eap.gr website: <https://apothesis.eap.gr/archive/item/213403?lang=el>

Παπακώστα, Β. (2021, September 16). Από το Industry 4.0 στο Industry 5.0: Ο άνθρωπος ξανά στο επίκεντρο! Retrieved April 6, 2026, from Μετάδοση Ισχύος website: <https://www.metadosi-ischios.gr/apo-to-industry-4-0-sto-industry-5-0-o-anthropos-xana-sto-epikentro/>

Πολίτης, Α. (2013, June). «*Η Σταδιοδρομία στις Γραφικές Τέχνες – χαρακτηριστικά και προοπτικές*» [Presentation]. Presented at the Εκδήλωση ΔΑΣΤΑ Ε.Α.Π., Εκδήλωση ΔΑΣΤΑ ΕΑΠ, Αίθουσα Τέχνης ΙΑΝΟΣ, Αθήνα .

Πολίτης, Α. (2015). *Κλάδος γραφικών τεχνών-συνοπτική παρουσίαση* [Presentation].

Presented at the Κλάδος γραφικών τεχνών-συνοπτική παρουσίαση. Διοίκηση
επιχειρήσεων., TEI (Τμήμα Τεχνολογίας Γραφικών Τεχνών) .

Πολίτης, Α. (2019). *Εισαγωγή στην επιστήμη και τεχνολογία γραφικών τεχνών*

[Presentation]. Presented at the Εισαγωγή στην επιστήμη και τεχνολογία
γραφικών τεχνών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής.

Πολίτης, Α. (2023). *Από την παραδοσιακή φωτοαναπαραγωγή στην ηλεκτρονική –
ψηφιακή προεκτύπωση.*

Σακκάτος, Χ. (2023, September 30). Οι εξελίξεις στον κλάδο των γραφικών τεχνών.

Retrieved March 6, 2026, from Apothesis.eap.gr website:

<https://apothesis.eap.gr/archive/item/197370?lang=el>

Στάμου, Λ. (n.d.). *Εισαγωγή στη μεθοδολογία της επιστημονικής έρευνας.*

Opencourses.uom.gr. Retrieved from

[https://opencourses.uom.gr/assets/site/content/courses/966/LymenesAskiseis.p
df](https://opencourses.uom.gr/assets/site/content/courses/966/LymenesAskiseis.pdf)

Τροχούτσος, Χ. (2025). Ψηφιακή εκτύπωση: Πιστοποίηση και τυποποίηση.

Apothesis.Eap.Gr. Retrieved from

<https://apothesis.eap.gr/archive/item/222757?lang=el>

Τσακίρη, Λ. Θ. (n.d.). *Εισαγωγή στη μεθοδολογία έρευνας.* Retrieved from

<http://dpms.csd.auth.gr/stuff/eis-meth-er.pdf>

