

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών και Βιώσιμου Σχεδιασμού

ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΤΕΧΝΕΣ - ΠΟΛΥΜΕΣΑ

Διπλωματική Εργασία

**Η 4η Βιομηχανική Επανάσταση και ο Ψηφιακός Μετασχηματισμός στη
Βιομηχανία Παραγωγής Εύκαμπτης Συσκευασίας με τη Μέθοδο της Βαθυτυπίας.
(Industry 4.0 and Digital Transformation in the Flexible Packaging Printing
through Rotogravure Printing Technology)**

Βιβικίδης Στέφανος

A.M. 152053

Επιβλέπων Καθηγητής : Αναστάσιος Πολίτης

Μάιος 2026

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Βιβικίδη Στέφανου που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και 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 για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/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 του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

**Η 4^η ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ Ο ΨΗΦΙΑΚΟΣ
ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΥΚΑΜΠΤΗΣ
ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΒΑΘΥΤΥΠΙΑΣ**

**INDUSTRY 4.0 AND DIGITAL TRANSFORMATION IN THE FLEXIBLE
PACKAGING PRINTING THROUGH ROTOGRAVURE PRINTING
TECHNOLOGY**

ΤΟΥ ΦΟΙΤΗΤΗ
ΒΙΒΙΚΙΔΗ ΣΤΕΦΑΝΟΥ
Α.Μ. 152053

Α΄ Επιβλέπων:

Δρ. Πολίτης Αναστάσιος
Καθηγητής Πανεπιστημίου Δυτικής
Αττικής
Μέλος ΣΕΠ ΕΑΠ ΓΤΠ60
Τεχνολογία Γραφικών Τεχνών

Β΄ Επιβλέπων:

Δρ. Βονιτσάνος Γεράσιμος
Διδάκτωρ Πανεπιστημίου Δυτικής
Αττικής Πατρών
Μεταδιδακτορικός Ερευνητής
Τεχνολογία Γραφικών Τεχνών
GRAPHMEDLAB -
Μέλος ΣΕΠ ΕΑΠ ΓΤΠ60
Τεχνολογία Γραφικών Τεχνών

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ
«Μάϊος 2026»

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες προς τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Δρ. Αναστάσιο Πολίτη, για την επιστημονική υποστήριξη και καθοδήγησή του για την ολοκλήρωση της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Θα ήθελα τέλος να ευχαριστήσω από καρδιάς τη σύζυγό μου, Νίκη, καθώς και τα παιδιά μου, Χρυσοστόμη και Θεοφανώ, για την υπομονή, την ενθάρρυνση και τη διαρκή τους στήριξη κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Περίληψη

Η εισαγωγή της βιομηχανίας γραφικών τεχνών στην ψηφιακή εποχή κατέρριψε κάθε πρόβλεψη για κακή επίπτωση στο μέλλον του βιομηχανικού κόσμου της εκτύπωσης. Λαμβάνοντας υπόψιν την ανάπτυξη των ψηφιακών μέσων προβλέφθηκε ένα δυσοίωνα μέλλον για την πορεία των έντυπων αλλά και του τομέα της συσκευασίας αρχικά. Όπως αποδείχτηκε όμως, ήταν αβάσιμη η πρόβλεψη, η ψηφιοποίηση ενίσχυσε όχι μόνο τον γενικό τομέα της βιομηχανίας αλλά αναβάθμισε επιπλέον κάθε ξεχωριστό κομμάτι και ειδικότερα του κλάδου των εκτυπώσεων κάθε μορφής.

Η αλλαγή στο παγκόσμιο βιομηχανικό προφίλ έχει ήδη προχωρήσει με γοργούς ρυθμούς. Η 4η Βιομηχανική Επανάσταση εισάγει τεχνολογίες και εργαλεία που δεν ενδυναμώνουν μόνο το τεχνολογικό και παραγωγικό κομμάτι της βιομηχανίας αλλά εμπλουτίζουν και ενισχύουν την συνεργασία της ανθρώπινης σκέψης και βούλησης με εφαρμογή τεχνολογίας, δίνοντας έτσι το έναυσμα για την εφαρμογή του προβλεπόμενου επιθυμητού παραγωγικού τεχνολογικού προτύπου που θέλει να εφαρμόσει. Η Τεχνητή Νοημοσύνη (AI), το Internet of Things (IoT), τα Big Data και η ρομποτική στην παραγωγική και όχι μόνο διαδικασία, είναι μερικά παραδείγματα τεχνολογιών που με την εισαγωγή, εξέλιξη και εφαρμογή τους μεταμόρφωσαν ριζικά τον τρόπο λειτουργίας της βιομηχανίας και ειδικότερα των βιομηχανιών εκτυπώσεων της συσκευασίας. Παράλληλα, προωθείται η μετάβαση σε βιώσιμες τεχνολογίες με σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη. Ο ψηφιακός μετασχηματισμός δεν αποτελεί απλώς τεχνολογική αναβάθμιση, αλλά μια ολιστική προσέγγιση που επηρεάζει το σχεδιασμό, τον προγραμματισμό, την παραγωγή, τον ποιοτικό έλεγχο και τη μετέπειτα επεξεργασία του προϊόντος ως αρχική βάση με την εκτυπωτική μέθοδο της βαθυτυπίας.

Η παρούσα διπλωματική εργασία στοχεύει στη μελέτη και κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η 4η Βιομηχανική Επανάσταση (Industry 4.0) και ο ψηφιακός μετασχηματισμός επηρεάζουν τη βιομηχανία παραγωγής και ειδικότερα της εύκαμπτης συσκευασίας με τη

μέθοδο της βαθυτυπίας. Εξετάζεται η ενσωμάτωση τεχνολογιών, όπως Τεχνητή Νοημοσύνη (AI), το Internet of Things (IoT), τα Big Data, τα έξυπνα αυτοματοποιημένα συστήματα, η εισαγωγή λογισμικού και αυτοματισμών που σχετίζονται με τον ποιοτικό έλεγχο, τη διαχείριση χρώματος και την παρακολούθηση της παραγωγής (για παράδειγμα ColorCert, AVT συστήματα). Επιπλέον εξετάζεται το πως οι νέες τεχνολογίες μετασχηματίζουν τις εκτυπωτικές διαδικασίες και επηρεάζουν τη γενικότερη λειτουργία των παραγωγικών μονάδων.

Αναλύονται οι πρακτικές εφαρμογές των τεχνολογιών του Industry 4.0 στις μονάδες βαθυτυπίας, με έμφαση στη βελτίωση της αποδοτικότητας, τη μείωση των αποβλήτων, της ποιότητας στην εκτύπωση και τη μετάβαση προς βιώσιμες και περιβαλλοντικά φιλικές πρακτικές. Παράλληλα, επιδιώκεται να αναδειχθούν οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι επιχειρήσεις του κλάδου κατά την υιοθέτηση αυτών των τεχνολογιών, όπως το κόστος επένδυσης, η ανάγκη εξειδικευμένου προσωπικού και η διαχείριση δεδομένων.

Οι δυνατότητες που αναδύονται για το εργατικό δυναμικό στο πλαίσιο της 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης είναι ιδιαίτερα εκτεταμένες, η αξιοποίησή τους προϋποθέτει την αναδιάρθρωση των συστημάτων κατάρτισης και εκπαίδευσης, την άσκηση κατάλληλων πολιτικών για την αγορά εργασίας, τη διαμόρφωση νέων επιχειρηματικών στρατηγικών, καθώς και την ενίσχυση των δεξιοτήτων των εργαζομένων και των υφιστάμενων κοινωνικών συμβολαίων.

Στην εφαρμογή της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης, στην οποία συμμετέχει ενεργά και η βιομηχανία Γραφικών Τεχνών, αναδεικνύονται οι αρχές και οι πρακτικές της ψηφιοποιημένης και αυτοματοποιημένης παραγωγικής διαδικασίας. Κυβερνο-φυσικά συστήματα παραγωγής, δεδομένα και λογισμικές εφαρμογές, το cloud computing και συναφή εργαλεία συμβάλλουν στην αύξηση της αποδοτικότητας και της λειτουργικής αποτελεσματικότητας, οδηγώντας σταδιακά προς την υλοποίηση και εφαρμογή του «έξυπνου εργοστασίου».

Ο κλάδος των Γραφικών Τεχνών και της συσκευασίας βρίσκεται πλέον, σε μια συνεχή διαδικασία μετασχηματισμού και ανάπτυξης, ανταποκρινόμενος στις απαιτήσεις και τις προκλήσεις του νέου βιομηχανικού προτύπου.

Abstract

The introduction of the graphic arts industry into the digital era dispelled all predictions of negative consequences for the future of the industrial printing sector. Considering the rapid growth of digital media, an initially bleak future had been forecast both for printed materials and the packaging sector. However, these predictions proved unfounded, as digitalization not only strengthened the industrial sector but also enhanced every individual segment, particularly the field of printing in all its forms.

The transformation of the global industrial landscape has already advanced rapidly. The Fourth Industrial Revolution introduces technologies and tools that not only reinforce the technological and production capabilities of industry but also enrich and strengthen the collaboration between human cognition and technological application, thus initiating the implementation of the desired production and technological model it envisions. Artificial Intelligence (AI), the Internet of Things (IoT), Big Data, and robotics within the production process are examples of technologies whose adoption, evolution, and application have radically transformed industrial operations, especially in printing and packaging manufacturing. At the same time, the Fourth Industrial Revolution promotes the transition to sustainable technologies with significant environmental benefits. Digital transformation is not merely a technological upgrade but a holistic approach affecting design, planning, production, quality control, and the post-processing of printed products produced through the rotogravure printing method.

This thesis aims to investigate and understand how the Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0) and digital transformation influence the manufacturing industry—and more specifically, the flexible packaging sector using the rotogravure printing method. It examines the integration of technologies such as Artificial Intelligence (AI), the Internet of Things (IoT), Big Data, smart automated systems, and software and automation tools related to quality control, color management, and production monitoring (e.g., ColorCert,

AVT systems). Furthermore, it explores how these emerging technologies are transforming printing processes and affecting the overall operation of production units.

The practical applications of Industry 4.0 technologies in rotogravure units are analyzed, with emphasis on efficiency improvement, waste reduction, print quality enhancement, and the transition toward sustainable and environmentally friendly practices. Additionally, the study seeks to highlight the challenges faced by businesses in the sector during the adoption of such technologies, including investment costs, the need for specialized personnel, and data management requirements.

The opportunities arising for the workforce within the context of the Fourth Industrial Revolution are substantial; however, their effective utilization requires the restructuring of training and education systems, the implementation of appropriate labor-market policies, the development of new business strategies, and the strengthening of workers' skills and existing social frameworks.

In the implementation of the Fourth Industrial Revolution—an area in which the graphic arts industry is also actively engaged—the principles and practices of digitized and automated production processes are brought to the forefront. Cyber-physical production systems, data and software applications, cloud computing, and related tools contribute to increased productivity and operational efficiency, gradually leading to the realization and application of the “smart factory.”

The graphic arts and packaging sectors are therefore undergoing continuous transformation and development, responding to the demands and challenges of the new industrial paradigm.

Περιεχόμενα

1.	Εισαγωγή.....	19
1.1	Στόχοι και Προσδοκώμενα Αποτελέσματα	22
1.2	Μεθοδολογία.....	24
1.3	Δομή της Εργασίας (Ανάλυση των Κεφαλαίων).....	26
2.	Κλάδος Εκτυπώσεων	29
2.1	Ιστορική Εξέλιξη του Κλάδου των Εκτυπώσεων.....	29
2.1.1	Η Σημασία της Εξέλιξης του Γραπτού λόγου Προς την Εκτύπωση	29
2.1.2	Η Εξέλιξη και Ανάπτυξη των Εκτυπωτικών Μεθόδων.....	32
2.1.3	Η Είσοδος της Ψηφιακής Εποχής.....	34
2.1.4	Ο Ρόλος της Εκτύπωσης στη Βιομηχανία Συσκευασίας	36
2.2	Κατηγορίες Εκτυπώσεων	38
2.2.1	Υψιτυπία, Letterpress Printing – Τυπογραφία, Φλεξογραφία (Flexography).....	41
2.2.2	Επιπεδοτυπία, Λιθογραφία - Offset Εκτύπωση (Offset Lithography)	42
2.2.3	Βαθυτυπία (Gravure Printing).....	44
2.2.4	Μεταξοτυπία (Screen Printing)	46
2.2.5	Εκτύπωση Ταμπόν (Pad Printing).....	48
2.2.6	Ψηφιακή Εκτύπωση (Digital Printing)	50
	<i>Inkjet Printing (Μέθοδος Εκτύπωσης Ψεκασμού)</i>	51
	<i>Laser Printing (Ηλεκτροφωτογραφική Εκτύπωση).</i>	51
2.3	Ο Ρόλος του Κλάδου των Εκτυπώσεων στις Βιομηχανικές Εφαρμογές	54
2.3.1	Η Εκτύπωση ως Κρίκος στη Βιομηχανική Αλυσίδα και η Σημασία της Εμπορικής Αξίας των Προϊόντων	55
2.3.2	Λειτουργικές Εκτυπώσεις και Βιομηχανικές Εφαρμογές Υψηλής Τεχνολογίας, Συμβολή στη Βιωσιμότητα και την Καινοτομία	58
2.3.2	Εκτύπωση και Βιομηχανία 4.0	62
2.4	Τάσεις, Προκλήσεις και η Στρατηγική Σημασία του Κλάδου Εκτυπώσεων	64
2.4.1	Παγκόσμιες Τάσεις και Τεχνολογικές Εξελίξεις.....	65
2.4.2	Προκλήσεις: Βιωσιμότητα, Ψηφιοποίηση και Κόστος Παραγωγής.....	67

2.4.3	Η Στρατηγική Σημασία του Κλάδου στην Παγκόσμια Οικονομία.....	69
3.	Η 4 ^η Βιομηχανική Επανάσταση.....	71
3.1	Η Έννοια και τα Βασικά Χαρακτηριστικά της 4ης Βιομηχανικής Επανάστασης .	72
3.1.1	Σύγκλιση Φυσικού, Ψηφιακού και Βιολογικού Κόσμου	74
3.1.2	Δικτύωση και Συνδεσιμότητα (IoT / HoT)	75
3.1.3	Αυτοματοποίηση και Τεχνητή Νοημοσύνη (AI).....	76
3.1.4	Μεγάλα Δεδομένα (Big Data) και Data Analytics.....	77
3.1.5	Προσαρμοστικότητα και Εξατομίκευση	78
3.1.6	Ταχύτητα και Συνεχής Αλλαγή	80
3.1.7	Κοινωνικές, Οικονομικές και Ηθικές Επιπτώσεις	81
3.2	Διαφοροποιήσεις από Προηγούμενες Βιομηχανικές Επαναστάσεις.....	83
3.2.1	Πρώτη Βιομηχανική Επανάσταση (τέλη 18ου αιώνα)	84
3.2.2	Δεύτερη Βιομηχανική Επανάσταση (1870 – αρχές 20ού αιώνα)	84
3.2.3	Τρίτη Βιομηχανική Επανάσταση (1960s – τέλη 20ού αιώνα).....	85
3.2.4	Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση (Αρχές 21ού αιώνα)	86
3.3	Κύριες Τεχνολογίες που Καθορίζουν την 4η Βιομηχανική Επανάσταση	89
3.4	Επιπτώσεις στη Βιομηχανία Παραγωγής.....	91
3.4.1	Πλεονεκτήματα και Ευκαιρίες της Ανάπτυξης της 4IR	91
	<i>Ανάπτυξη της 4IR και Δραστηριότητα Ευρεσιτεχνιών.....</i>	<i>92</i>
	<i>Μετασχηματισμός των Παραγωγικών Διαδικασιών με Ανάλυση Δεδομένων και</i>	
	<i>Βελτιστοποίηση Παραγωγής «Smart Industries»</i>	<i>95</i>
	<i>Μαζική Εξατομίκευση Προϊόντων με Ανάπτυξη Βιωσιμότητας και Περιβαλλοντική</i>	
	<i>Απόδοση.....</i>	<i>96</i>
3.4.2	Μειονεκτήματα και Προκλήσεις της Ανάπτυξης της 4IR.....	97
	<i>Επιδράσεις στο Παγκόσμιο Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠ) και στην Αγορά</i>	
	<i>Εργασίας.....</i>	<i>98</i>
4.	Βασικά Concepts Ανάπτυξης της 4IR στη Βιομηχανία (Industry 4.0 Digital Transformation).	101
4.1	Αυτοματοποιημένα Συστήματα	102
4.1.1	Κυβερνο Φυσικά συστήματα, Cyber Physical Systems (CPS).....	104
4.1.2	Inline και Offline Quality Control (Ποιοτικός Έλεγχος Παραγωγής).....	105
4.2	Διαδίκτυο των Πραγμάτων, IoT (Internet of Things).....	107
4.3	Τεχνητή Νοημοσύνη.....	112
4.3.1	Η Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence) στη Βιομηχανία Εκτύπωσης και στο Converting Εύκαμπτης Συσκευασίας.....	113

4.4	Big Data.....	115
4.5	Ρομποτική	120
4.6	Ψηφιοποίηση και Διασυνδεσιμότητα, Έξυπνα Εργοστάσια «Smart Factories» ..	125
4.7	Εφαρμογές στον Σύγχρονο Βιομηχανικό Κλάδο.....	127
5.	Ο Ρόλος της Σύγχρονης Εύκαμπτης Συσκευασίας.....	130
5.1	Προτερήματα Ανάπτυξης Εύκαμπτης Συσκευασίας.....	131
5.1.1	Επικοινωνιακός Ρόλος της Συσκευασίας	133
5.2	Βιομηχανία Εύκαμπτης Συσκευασίας	138
5.3	Σκοπός της Βιομηχανίας της Εύκαμπτης Συσκευασίας	141
5.3.1	Τεχνολογική Ανάπτυξη και Υλικά	142
	<i>Πολυμερή Εύκαμπα Υλικά Συσκευασίας</i>	<i>142</i>
	<i>Συσκευασίες από Χαρτί</i>	<i>143</i>
5.3.2	Σύγχρονες Τάσεις και Προκλήσεις	145
5.4	Εξέλιξη της Βιομηχανίας Εύκαμπτης Συσκευασίας.	146
5.5	Η Βιωσιμότητα στη Βιομηχανία Εύκαμπτης Συσκευασίας	150
6.	Η Μέθοδος της Βαθυτυπίας στην Παραγωγή της Εύκαμπτης Συσκευασίας	153
6.1	Τι είναι η Βαθυτυπία (Rotogravure Printing)	153
6.2	Εισαγωγή στη Μέθοδο της Βαθυτυπίας.....	155
6.2.1	Εφαρμογή και Αξία της Βαθυτυπίας στην παραγωγή Αγαθών.....	156
6.3	Βασικά Χαρακτηριστικά της Μηχανής Εκτύπωσης Βαθυτυπίας (Rotogravure Printing)	157
6.3.1	Χαρακτηριστικά και Περιγραφή της Μηχανής Εκτύπωσης	160
6.4	Βασικοί Παράγοντες της Μηχανής Βαθυτυπίας.....	164
6.4.1	Ο κύλινδρος Βαθυτυπίας	164
	<i>Ηλεκτρομηχανική Χάραξη Κυλίνδρων Βαθυτυπίας (Electromechanical Engraving EME)</i>	<i>164</i>
6.4.2	Διαχωρισμός - Προεκτύπωση.....	167
6.4.3	Μαχαίρι Καθαρισμού (Doctor Blade)	171
6.5	Διαδικασία Μεταποίησης (Offline και Inline Converting) στον Τομέα της Βαθυτυπικής Εκτύπωσης Συσκευασίας	174
6.5.1	Πλεονεκτήματα της Βαθυτυπικής Εκτύπωσης (Rotogravure)	175
6.5.2	Μειονεκτήματα της Βαθυτυπικής Εκτύπωσης (Rotogravure)	176
6.5.3	Ο Ρόλος της Βαθυτυπίας στη Μαζική Παραγωγή και Προβλέψεις Ανάπτυξης.....	177
6.5.4	Αναδυόμενες Καινοτόμες Εφαρμογές.....	179
7.	Ψηφιακός Μετασχηματισμός στη Βιομηχανία Εκτυπώσεων Βαθυτυπίας	182

7.1 Ορισμός και Σημασία του Ψηφιακού Μετασχηματισμού	182
7.2 Στρατηγικές και Τεχνολογίες Ψηφιακού Μετασχηματισμού.....	184
7.2.1 Συστήματα Διαχείρισης Επιχειρησιακών Πόρων (ERP, Enterprise Resource Planning)	185
7.2.2 Συστήματα Εκτέλεσης Παραγωγής (MES, Manufacturing Execution Systems)	187
7.2.3 Cloud Computing	189
7.2.4 Edge Computing	193
7.2.4 Blockchain	195
7.3 Επιπτώσεις στην Παραγωγή, στο Ανθρώπινο Δυναμικό και στην Επιχειρησιακή Ενεργότητα	200
7.4 Μετασχηματισμός της Βαθουτυπίας μέσω Ψηφιακών Τεχνολογιών, Προκλήσεις και Εμπόδια	203
7.4.1 Επίδραση στην Παραγωγή της Βαθουτυπίας και του Converting	204
8. Σύνδεση με τον Κλάδο των Εκτυπώσεων και Συσκευασίας και Μελέτη Περίπτωσης Βιομηχανικής Μονάδας Converting.	208
8.1 Σημασία του Ψηφιακού Μετασχηματισμού στο Συνολικό Converting	208
8.2 Γνωριμία με τη Μονάδα Converting	210
8.3 Παραγωγική και Τεχνολογική Υποδομή πριν την Ένταξη Καινοτομιών του Ψηφιακού μετασχηματισμού	213
8.3.1 Προεκτύπωση - Prepress	214
8.3.2 Χάραξη Κυλίνδρων	216
8.3.3 Rotogravure Printing – Βαθουτυπία	218
8.3.4 Lamination – Λαμινάρισμα	224
8.3.5 Slitting Process - Ρολλοκοπή	229
8.3.6 Συμπεράσματα Συνολικού Converting πριν την Ένταξη Καινοτομιών του Ψηφιακού μετασχηματισμού	234
8.4 Παραγωγική και Τεχνολογική Υποδομή Μετά την Ένταξη Καινοτομιών του Ψηφιακού Μετασχηματισμού	236
8.4.1 Ψηφιακός Μετασχηματισμός, Αναβαθμίσεις και Τεχνολογικές Παρεμβάσεις στην Μονάδα Converting	237
Ανάπτυξη και Εφαρμογή Συστήματος Επιχειρησιακού Σχεδιασμού «ERP»	238
Data Analytics για Ασφαλή Real-time Monitoring και Εξαγωγή Δεικτών Παραγωγικότητας.	240
Ενσωμάτωση Cloud και Edge Computing.....	242
Εξασφάλιση Big Data και Αυτόματων Διαγνωστικών και Επεμβατικών Συστημάτων AI .	243
Εισαγωγή Αυτοματοποιημένων Συστημάτων Inline Ποιοτικού Ελέγχου	246

<i>Χρήση Αισθητήρων IoT και Edge Computing στη Παραγωγή για τη Σύσταση Φόρμουλας με Ανίχνευση Προληπτικής Συντήρησης και Τεχνικής Υποστήριξης.</i>	247
<i>Ρομποτικά Συστήματα Υποστήριξης Παραγωγής - Εκτύπωση έως Τελικό προϊόν</i>	248
<i>Ανάπτυξη Smart factory Ανάκτησης του Διαλύτη Μελανιών χρήσης στη Βαθουτυπία</i>	249
8.4.2 Επιπτώσεις στην Παραγωγή, Ανθρώπινο Δυναμικό και την Επιχειρησιακή Ευελιξία μετά τον Ψηφιακό Μετασχηματισμό	249
<i>Επιπτώσεις στην Παραγωγική Διαδικασία και Ποιότητα</i>	250
<i>Επιπτώσεις στο Ανθρώπινο Δυναμικό</i>	255
<i>Επιπτώσεις στην Επιχειρησιακή Ευελιξία</i>	258
<i>Βιωσιμότητα και Κυκλική Οικονομία στον Κλάδο της Εκτύπωσης</i>	260
<i>Συμπεράσματα</i>	264
<i>Βιβλιογραφικές Αναφορές</i>	268
<i>Εικονογραφικές Αναφορές</i>	294

Εικόνες

ΕΙΚΟΝΑ 1. ΤΥΠΟΓΡΑΦΙΚΟ ΠΙΕΣΤΗΡΙΟ ΓΟΥΤΕΜΒΕΡΓΙΟΥ	30
ΕΙΚΟΝΑ 2. INTELLIGENT PRINT WORKFLOW	35
ΕΙΚΟΝΑ 3. LETTERPRESS PRINTING	41
ΕΙΚΟΝΑ 4. FLEXOGRAPHY PRINTING	42
ΕΙΚΟΝΑ 5. OFFSET PRINTING.....	43
ΕΙΚΟΝΑ 6. ROTOGRAPHY PRINTING.....	45
ΕΙΚΟΝΑ 7. SCREEN PRINTING	47
ΕΙΚΟΝΑ 8. PAD PRINTING.....	49
ΕΙΚΟΝΑ 9. INKJET DIGITAL PRINTING	51
ΕΙΚΟΝΑ 10. LASER DIGITAL PRINTING	52
ΕΙΚΟΝΑ 11. ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ΌΓΚΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΕΩΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ.....	57
ΕΙΚΟΝΑ 12. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ RFID LABELS.....	59
ΕΙΚΟΝΑ 13. PRINTING CONTROL	60
ΕΙΚΟΝΑ 14. PRINTING CONTROL	60
ΕΙΚΟΝΑ 15. 4IR. HOW TO EXPLOIT THE FOURTH INDUSTRIAL REVOLUTION	71
ΕΙΚΟΝΑ 16. SMART FACTORIES	73
ΕΙΚΟΝΑ 17. HOW DOES IIOT WORK?	75
ΕΙΚΟΝΑ 18. ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΕΙΣ	88
ΕΙΚΟΝΑ 19. 4IR RELATED TECHNOLOGIES	90
ΕΙΚΟΝΑ 20. 4IR TECHNOLOGIES VS ALL TECHNOLOGY FIELDS.....	93
ΕΙΚΟΝΑ 21. GROWTH OF IPFS IN 4IR TECHNOLOGIES BY GLOBAL INNOVATION CENTERS.....	94
ΕΙΚΟΝΑ 22. MULTI-MATERIAL AND MONO-MATERIAL PACKAGES.....	97
ΕΙΚΟΝΑ 23. ΚΥΒΕΡΝΟ ΦΥΣΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΗΧΑΝΩΝ	104
ΕΙΚΟΝΑ 24. THE INTERNET OF THINGS, IIOT	108
ΕΙΚΟΝΑ 25. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ & ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ IIOT	111
ΕΙΚΟΝΑ 26. SMART FACTORIES	112
ΕΙΚΟΝΑ 27. BIG DATA ANALYTICS.....	118
ΕΙΚΟΝΑ 28. BIG DATA USE U.S & WORLDWIDE.....	119
ΕΙΚΟΝΑ 29. ΠΟΜΠΟΤΙΚΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ.....	121
ΕΙΚΟΝΑ 30. ROBOTICS FOR REEL HANDLING	124
ΕΙΚΟΝΑ 31. FLEXIBLE PACKAGING MARKET (2026-2033).....	132
ΕΙΚΟΝΑ 32. FLEXIBLE PACKAGING STRUCTURE MATERIALS.....	135
ΕΙΚΟΝΑ 33. BENEFITS OF FLEXIBLE PACKAGING.....	136
ΕΙΚΟΝΑ 34. STRUCTURE OF PACKAGING.....	140
ΕΙΚΟΝΑ 35. RE MATERIALS	141
ΕΙΚΟΝΑ 36. FLEXIBLE PACKAGING MARKET OVERVIEW	147
ΕΙΚΟΝΑ 37. FLEXIBLE PACKAGING MARKET BY MATERIAL	147
ΕΙΚΟΝΑ 38. FLEXIBLE PACKAGING CIRCULAR ECONOMY.....	151
ΕΙΚΟΝΑ 39. ROTOGRAPHY PRINTING.....	154

ΕΙΚΟΝΑ 40. ROTOGRAVURE CYLINDER PRINTING PROCESS	156
ΕΙΚΟΝΑ 41. ΡΟΗ ΒΑΘΥΤΥΠΙΚΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ	161
ΕΙΚΟΝΑ 42. MISREGISTRATION IN PRINTING	162
ΕΙΚΟΝΑ 43. DRYING PROCESS IN ROTOGRAVURE PRINTING	163
ΕΙΚΟΝΑ 44. ΜΟΡΦΕΣ ΕΓΧΑΡΑΚΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΚΥΛΙΝΔΡΟΥ	165
ΕΙΚΟΝΑ 45. ELECTROMECHANICAL ENGRAVING	165
ΕΙΚΟΝΑ 46. FINGERPRINT SAMPLE	167
ΕΙΚΟΝΑ 47. SEPARATION IMAGES	169
ΕΙΚΟΝΑ 48. PREPRESS WORKFLOW	170
ΕΙΚΟΝΑ 49. DOCTOR BLADE	172
ΕΙΚΟΝΑ 50. ΒΑΣΙΚΑ ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΜΕΡΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ ΒΑΘΥΤΥΠΙΑΣ	173
ΕΙΚΟΝΑ 51. ΒΑΣΙΚΑ ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΜΕΡΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ ΒΑΘΥΤΥΠΙΑΣ	173
ΕΙΚΟΝΑ 52. ΠΟΡΕΙΑ ΑΓΟΡΑΣ ΒΑΘΥΤΥΠΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ	178
ΕΙΚΟΝΑ 53. ΕΝΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ERP	186
ΕΙΚΟΝΑ 54. END-TO-END DIGITALIZATION	198
ΕΙΚΟΝΑ 55. PRODUCTION WORKFLOW	214
ΕΙΚΟΝΑ 56. ΜΗΧΑΝΕΣ ΒΑΘΥΤΥΠΙΑΣ ADAPA GRK	218
ΕΙΚΟΝΑ 57. ΕΓΧΑΡΑΚΤΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΥΛΙΝΔΡΟΥ - ΜΟΡΦΗ ΚΟΥΚΙΑΣ ΧΑΡΑΞΗΣ	219
ΕΙΚΟΝΑ 58. ROTOGRAVURE PRINTING - MECHANICAL PROCESS	220
ΕΙΚΟΝΑ 59. REGISTER OPERATOR CONTROL - GRAFIKONTROL	221
ΕΙΚΟΝΑ 60. VISCOSITY PROBLEMS	223
ΕΙΚΟΝΑ 61. HAZING PROBLEMS	223
ΕΙΚΟΝΑ 62. ΜΗΧΑΝΗ LAMINATION	226
ΕΙΚΟΝΑ 63. ΜΗΧΑΝΕΣ LAMINATION ADAPA GRK	228
ΕΙΚΟΝΑ 64. SLITTING PROCESS - PRODUCT	230
ΕΙΚΟΝΑ 65. SLITTING MACHINE PREVIEW	231
ΕΙΚΟΝΑ 66. ΜΗΧΑΝΕΣ SLITTING ADAPA GRK	233
ΕΙΚΟΝΑ 67. ERP - SOFT1 ADAPA GRK	239
ΕΙΚΟΝΑ 68. PBI - MONITORING OPTIONS	240
ΕΙΚΟΝΑ 69. REAL MONITORING - ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΔΕΛΟΜΕΝΩΝ ΒΑΘΥΤΥΠΙΑΣ - ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ-ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ - ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	241
ΕΙΚΟΝΑ 70. ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΔΕΛΟΜΕΝΩΝ ΒΑΘΥΤΥΠΙΑΣ - SETUP WASTE – RUN ON WASTE - ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑ ΜΗΧΑΝΩΝ - UTILIZATION ΜΗΧΑΝΩΝ	241
ΕΙΚΟΝΑ 71. ΧΡΗΣΗ CLOUD ΓΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΡΧΕΙΩΝ PREPRESS ΜΕ PROOF SCOPE	242
ΕΙΚΟΝΑ 72. VISCOSITY CONTROL	243
ΕΙΚΟΝΑ 73. REGISTER CONTROL	244
ΕΙΚΟΝΑ 74. DOCTOR BLADE HOLDER CONTROL	244
ΕΙΚΟΝΑ 75. G-SCAN LAMINATION ADHESIVE SENSOR	245
ΕΙΚΟΝΑ 76. G-SCAN LAMINATION ADHESIVE CONTROL	245
ΕΙΚΟΝΑ 77. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ	245
ΕΙΚΟΝΑ 78. ΕΦΑΡΜΟΓΗ COLORCERT ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ SPOT COLOR	246
ΕΙΚΟΝΑ 79. ΕΦΑΡΜΟΓΗ COLORCERT ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ PROCESS COLOR	247
ΕΙΚΟΝΑ 80. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΟΤ - EDGE COMPUTING ΓΙΑ ΤΕΧΝΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ (MAINTAINX)	248
ΕΙΚΟΝΑ 81. ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑΣ 2020	251
ΕΙΚΟΝΑ 82. ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑΣ 2025	252
ΕΙΚΟΝΑ 83. ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΠΑΝΑΧΑΡΑΞΕΩΝ ΚΥΛΙΝΔΡΩΝ ΒΑΘΥΤΥΠΙΑΣ 2020	253

ΕΙΚΟΝΑ 84. ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΠΑΝΑΧΑΡΑΞΕΩΝ ΚΥΛΙΝΔΡΩΝ ΒΑΘΥΤΥΠΙΑΣ 2025	254
ΕΙΚΟΝΑ 85. DATA QUALITY PERFORMANCE - TOTAL ORDERS	255
ΕΙΚΟΝΑ 86. HEALTH & SAFETY ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΩΝ 2025.....	257
ΕΙΚΟΝΑ 87. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΗ ΑΤΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑΣ ΧΕΙΡΙΣΤΗ	257
ΕΙΚΟΝΑ 88. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΗΧΑΝΩΝ.....	258
ΕΙΚΟΝΑ 89. ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΔΟΜΩΝ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ	258
ΕΙΚΟΝΑ 90. ΜΕΙΩΣΗ ΠΑΡΑΠΟΝΩΝ ΠΕΛΑΤΩΝ.....	259
ΕΙΚΟΝΑ 91. ΠΟΣΟΣΤΑ ΦΥΡΑΣ 2023 - 2025	261

1. Εισαγωγή

Πόσες ερμηνείες έχει δώσει ιστορικά ο όρος «Βιομηχανική Επανάσταση», τί αλλαγές έχει προκαλέσει η επιβολή και εφαρμογή αυτών των βιομηχανικών επαναστάσεων στα βάθη της ιστορίας; Από τον ατμό και τη μηχανοκίνηση, έως τον ηλεκτρισμό, την αυτοματοποίηση και τη σύγχρονη ψηφιακή ολοκλήρωση, κάθε επανάσταση υπήρξε καταλύτης για μια νέα ιστορική τροχιά. Δύσκολα θα μπορούσε κανείς να φανταστεί πώς θα είχε εξελιχθεί η ανθρωπότητα χωρίς την εφαρμογή και ανάπτυξη αυτών των κρίσιμων τεχνολογικών καινοτομιών, οι οποίες διαμόρφωσαν την παραγωγική δραστηριότητα, τις κοινωνικές δομές και τη συνολική οικονομική πρόοδο.

Η δυναμική των βιομηχανικών επαναστάσεων δεν περιορίζεται στην απλή εισαγωγή νέων τεχνολογιών, επεκτείνεται στη θεμελιώδη αναδιοργάνωση της εργασίας, στην αναδιαμόρφωση των παραγωγικών μοντέλων και στην καλλιέργεια νέων μορφών οικονομικής ανάπτυξης. Η μετάβαση από τη χειροτεχνία στη μαζική παραγωγή, από τη μηχανική αυτοματοποίηση στη ρομποτική και πλέον, στην ψηφιακή και κυβερνοφυσική ολοκλήρωση, αποδεικνύει ότι κάθε επανάσταση αποτέλεσε απαραίτητο κρίκο στην εξελικτική πορεία της βιομηχανίας.

Θα μπορούσε ποτέ ο ανθρώπινος νους να αναλογιστεί την επίπτωση στην ανθρώπινη ιστορία που θα είχε η μη εφαρμογή και ανάπτυξη όλων των προηγούμενων επαναστάσεων; Θα ήταν άδικο να μην αναφερθεί πόσο σημαντική παραμένει η εναρκτήρια κίνηση του ανθρώπου για ανάπτυξη, τελειοποίηση και επιβολή της κάθε αλλαγής από την πρώτη μέχρι την τέταρτη επικρατέστερη βιομηχανική επανάσταση.

Ωστόσο, γεννάται το ερώτημα κατά πόσο ο άνθρωπος, στο ξεκίνημα αυτού του τεχνολογικού και βιομηχανικού ταξιδιού ανάπτυξης, διέθετε επίγνωση της μελλοντικής πορείας και των συνεπειών στο σύνολο της ανθρώπινης πραγματικότητας που θα προέκυπταν από τις διαδοχικές βιομηχανικές επαναστάσεις. Πολλές αναλύσεις υποστηρίζουν ότι ένα σημαντικό μέρος της τεχνολογικής προόδου προέκυψε μέσα από μια ακολουθία συγκυριών ή αλληλεπιδράσεων που δεν είχαν εξ αρχής προβλεφθεί, ενώ

παράλληλα ένα άλλο τμήμα της ανάπτυξης βασίστηκε σε εφαρμογές και τεχνολογίες σχεδιασμένες για συγκεκριμένους στόχους, οι οποίες τελικά απέκτησαν ευρύτερη επίδραση, θετική ή αρνητική, σε διαφορετικούς κλάδους και τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας. Η άποψη αυτή, αν και περιέχει στοιχεία αλήθειας, δεν αναιρεί το γεγονός ότι καμία σημαντική τεχνολογική ή βιομηχανική εξέλιξη δεν ήταν προϊόν αβάσιμης έρευνας.

Από την Πρώτη έως και τη σύγχρονη Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση, η πρόοδος υπήρξε αποτέλεσμα συστηματικής γνώσης, επιστημονικής μεθοδολογίας και εκτεταμένης μελέτης. Τα τεχνολογικά άλματα που χαρακτηρίζουν κάθε εποχή στηρίχθηκαν σε δεδομένα, δείκτες απόδοσης, ερευνητικά ευρήματα και τεχνικοοικονομικές αξιολογήσεις, οι οποίες καθόρισαν τις κατευθύνσεις της ανάπτυξης και επέτρεψαν την κατανόηση και αξιοποίηση της προηγμένης γνώσης. Η πορεία αυτή αντανakλά όχι μόνο την ανθρώπινη ικανότητα για καινοτομία, αλλά και την πρόθεση για συνεχή βελτίωση και εδραίωση συστημάτων που υπερβαίνουν τις δυνατότητες της καθημερινής εμπειρικής σκέψης.

Έτσι, ακόμη και αν οι αλληλεπιδράσεις, οι παρενέργειες και οι απρόβλεπτες συνέπειες των τεχνολογικών εξελίξεων διαμόρφωσαν, σε κάποιο βαθμό, την ιστορική πορεία, ο γενικός προσανατολισμός της βιομηχανικής ανάπτυξης δεν υπήρξε τυχαίος. Αντιθέτως, αποτελεί το αποτέλεσμα στοχευμένης έρευνας και συστηματικής προσπάθειας για την αξιοποίηση της γνώσης προς όφελος της παραγωγής, της κοινωνίας και της οικονομικής προόδου.

Μέσα σε αυτό το ιστορικό πλαίσιο, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο αντίκτυπος των βιομηχανικών επαναστάσεων στον τομέα των Γραφικών Τεχνών και ειδικότερα στη βιομηχανία της εκτύπωσης και της συσκευασίας. Από την πρώτη μηχανοποίηση της τυπογραφίας, η οποία κατέστησε εφικτή τη μαζική αναπαραγωγή εντύπων, έως την πλήρη ψηφιοποίηση και αυτοματοποίηση των σύγχρονων εκτυπωτικών διαδικασιών, η πορεία του κλάδου συνδέεται στενά με τις τεχνολογικές εξελίξεις της εκάστοτε εποχής. Η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση, με την έμφαση σε συστήματα υψηλού αυτοματισμού, έξυπνη παραγωγή, δεδομένα και ευέλικτες ψηφιακές πλατφόρμες,

αναδιαμορφώνει εκ νέου τις πρακτικές της βιομηχανίας συσκευασίας και γραφικών τεχνών, καθιστώντας την ακόμη πιο αποδοτική, προσαρμοστική και βιώσιμη.

Η συσκευασία έχει πλέον αναδειχθεί σε πολυδιάστατο αντικείμενο με ιδιαίτερη σημασία για την παραγωγή, το μάρκετινγκ και τη συνολική καταναλωτική εμπειρία. Περισσότερο από ένα απλό μέσο προστασίας και μεταφοράς, λειτουργεί ως φορέας νοήματος, εταιρικής ταυτότητας και αξιών, επηρεάζοντας τις αντιλήψεις των καταναλωτών και τη συμπεριφορά τους στο σημείο πώλησης. Η εξέλιξη των θεωριών συσκευασίας αντικατοπτρίζει τη μετάβαση από μια λειτουργική σε μια επικοινωνιακή και στρατηγική προσέγγιση, όπου η οπτική και δομική σύνθεση του περιβλήματος αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο της ταυτότητας του προϊόντος και του brand.

Παράλληλα, η βιομηχανική ανάπτυξη της συσκευασίας συνδέεται στενά με τις τεχνολογικές εξελίξεις στις εκτυπώσεις. Η βαθυτυπία, ως μία από τις πλέον καθιερωμένες μεθόδους εκτύπωσης για υλικά συσκευασίας, έχει επωφεληθεί ιδιαίτερα από την ψηφιοποίηση των παραγωγικών διαδικασιών. Η ενσωμάτωση ψηφιακών ροών εργασίας, προηγμένων συστημάτων ελέγχου και τεχνητής νοημοσύνης μετασχηματίζει το πλαίσιο παραγωγής, μειώνοντας τα σφάλματα, αυξάνοντας την ακρίβεια και προωθώντας λύσεις υψηλής ποιότητας και βιωσιμότητας.

Η σύζευξη συσκευασίας και ψηφιοποιημένης βαθυτυπίας διαμορφώνει πλέον ένα νέο θεωρητικό παράδειγμα στη βιομηχανία: η συσκευασία δεν αποτελεί μόνο τελικό αποτέλεσμα, αλλά ένα σύνολο διαδικασιών γνώσης, τεχνολογίας και σχεδιασμού που εξελίσσονται σε άμεση συνάρτηση με την πρόοδο των εκτυπωτικών τεχνολογιών. Ως εκ τούτου, ο ρόλος της στην αλυσίδα αξίας διευρύνεται, καθιστώντας την καθοριστικό στοιχείο της σύγχρονης βιομηχανικής καινοτομίας.

Επομένως, θα ήταν άδικο να μην αναγνωριστεί η καθοριστική σημασία της ανθρώπινης προσπάθειας για συνεχή βελτίωση, ανανέωση και προσαρμογή απέναντι σε κάθε τεχνολογικό μετασχηματισμό, από την πρώτη έως την τέταρτη και επικρατέστερη μορφή βιομηχανικής επανάστασης. Η ιστορική συνέχεια, η τεχνολογική πρόοδος και η επίδρασή τους στον κλάδο των Γραφικών Τεχνών συνθέτουν το απαραίτητο πλαίσιο για τη μελέτη της σύγχρονης μεταποιητικής πραγματικότητας και αποτελούν το θεμέλιο της παρούσας εργασίας.

1.1 Στόχοι και Προσδοκώμενα Αποτελέσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία στοχεύει στη μελέτη και κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η 4η Βιομηχανική Επανάσταση (Industry 4.0) και ο ψηφιακός μετασχηματισμός επηρεάζουν τη βιομηχανία παραγωγής εύκαμπτης συσκευασίας με τη μέθοδο της βαθυτυπίας. Έχει ως κύριο σκοπό τη συστηματική διερεύνηση της εξέλιξης και ανάπτυξης του ψηφιακού μετασχηματισμού στο πλαίσιο της 4ης βιομηχανικής επανάστασης, την εφαρμογή και αναγκαιότητα επιβολής των καινοτομιών της σήμερα καθώς και όλα τα τεχνολογικά επιτεύγματα που τη διακρίνουν και την επιβάλουν ως τη μοναδική επανάσταση που κατάφερε να αποτελέσει εκτός από τεχνολογικά λειτουργικό παράγοντα της βιομηχανίας και κοινωνικό θεσμικό καταλύτη για την οικονομοτεχνική πολιτική του βιομηχανικού και μη κόσμου.

Επικεντρώνεται σε τεχνολογίες που αφορούν τη βιομηχανία των γραφικών τεχνών και συγκεκριμένα την εκτύπωση με τη μέθοδο της βαθυτυπίας στον κλάδο της παραγωγής συσκευασιών. Από την προετοιμασία και σχεδιασμό του έργου, τη διαχείριση των ψηφιακών αρχείων, έως την τελική απόδοση του προϊόντος, την παρακολούθηση και συντήρηση του εξοπλισμού καθώς και την πράσινη ανάπτυξη. Αναλύονται οι κρίσιμες τεχνολογικές και ποιοτικές απαιτήσεις που επηρεάζουν την αξιοπιστία και τη συνέπεια της παραγωγής. Η ενσωμάτωση τεχνολογιών, όπως Τεχνητή Νοημοσύνη (AI), το Internet of Things (IoT), τα Big Data, τα έξυπνα αυτοματοποιημένα συστήματα, η εισαγωγή λογισμικού και αυτοματισμών που σχετίζονται με τον ποιοτικό έλεγχο, τη διαχείριση χρώματος και την παρακολούθηση παραγωγής (όπως ColorCert, AVT συστήματα) μετασχηματίζουν τις εκτυπωτικές διαδικασίες και επηρεάζουν τη γενικότερη λειτουργία και συντήρηση των παραγωγικών μονάδων.

Βασικός στόχος της παρούσας μελέτης είναι η διερεύνηση των πρακτικών εφαρμογών των τεχνολογιών του Industry 4.0 στις μονάδες βαθυτυπίας, με ιδιαίτερη έμφαση στη βελτίωση της παραγωγικής αποδοτικότητας, στη μείωση των αποβλήτων, στη διασφάλιση υψηλής ποιότητας εκτύπωσης και στην προώθηση βιώσιμων και περιβαλλοντικά υπεύθυνων πρακτικών. Παράλληλα, επιδιώκεται να αναδειχθούν οι προκλήσεις που ανακύπτουν κατά τη διαδικασία υιοθέτησης τέτοιων τεχνολογιών, όπως το υψηλό κόστος αρχικής επένδυσης, η ανάγκη εξειδικευμένου ανθρώπινου δυναμικού

και η αποτελεσματική διαχείριση δεδομένων που παράγονται από τις σύγχρονες ψηφιοποιημένες ροές εργασίας.

Ιδιαίτερη βαρύτητα αποδίδεται σε τεχνολογίες και λειτουργίες που δεν αποτελούν απλώς τεχνολογικά επιτεύγματα, αλλά συνιστούν πυλώνες προγνωστικών μοντέλων, ανάλυσης και λήψης αποφάσεων, λειτουργίες που μέχρι πρόσφατα θεωρούνταν εκτός των δυνατοτήτων της βιομηχανικής παραγωγής συσκευασίας. Η ανάλυση δεν περιορίζεται στη θεωρητική παρουσίαση των τεχνολογιών, αλλά εστιάζει στον πρακτικό τρόπο εφαρμογής τους στο περιβάλλον της βαθυτυπίας, στα πλεονεκτήματα που προσφέρουν σε επίπεδο παραγωγικότητας, ακρίβειας και σταθερότητας της ποιότητας, καθώς και στα εμπόδια που εμφανίζονται κατά την ενσωμάτωσή τους στην παραγωγική αλυσίδα.

Ο κλάδος των γραφικών τεχνών, ιδίως η εκτυπωτική παραγωγή και το συνολικό converting της συσκευασίας βρίσκεται σε ένα καθοριστικό σημείο μετάβασης, όπου ο ψηφιακός μετασχηματισμός, η αυτοματοποίηση, η εξατομίκευση και οι αυστηρές περιβαλλοντικές απαιτήσεις αναδιαμορφώνουν το σύνολο των επιχειρησιακών διαδικασιών. Η παρούσα εργασία εξετάζει μία μελέτη περίπτωσης βιομηχανίας του κλάδου στην οποία η ψηφιοποίηση αποκτά πλέον χειροπιαστή μορφή και εφαρμόζεται σε πολλαπλά στάδια της παραγωγικής διαδικασίας, από τον σχεδιασμό και την προεκτύπωση έως τον έλεγχο ποιότητας και την ετοιμασία του τελικού έργου. Στο πλαίσιο αυτό, η έρευνα επιδιώκει να προσφέρει μια επικαιροποιημένη και ουσιαστική εικόνα του σύγχρονου περιβάλλοντος της εκτυπωτικής βιομηχανίας, συμβάλλοντας παράλληλα στη διαμόρφωση ενός ευέλικτου και εφαρμόσιμου πλαισίου προδιαγραφών. Το πλαίσιο αυτό στοχεύει να καλύψει τόσο τις υφιστάμενες όσο και τις αναδυόμενες ανάγκες της παραγωγής, προωθώντας την τεχνογνωσία, ενισχύοντας την οργανωτική αποτελεσματικότητα και βελτιώνοντας τη συνολική ανταγωνιστικότητα των επιχειρήσεων του κλάδου.

Η παγκόσμια βιομηχανία των Γραφικών Τεχνών και της συσκευασίας βρίσκεται σε μια περίοδο έντονης προσαρμογής, καθώς διασπαστικές τεχνολογίες ωριμάζουν ταυτόχρονα και επιφέρουν έναν βαθύ ψηφιακό μετασχηματισμό στους αντίστοιχους κλάδους. Η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση αναδιαμορφώνει ταχύτατα το παραγωγικό και καταναλωτικό τοπίο, μεταβάλλοντας τη σχέση των Γραφικών Τεχνών με τον φυσικό

κόσμο, τον τρόπο με τον οποίο οι επιχειρήσεις οργανώνουν τις διαδικασίες τους, αλλά και τον τρόπο με τον οποίο οι καταναλωτές αλληλεπιδρούν με τα προϊόντα και τις υπηρεσίες. Το Διαδίκτυο, οι ψηφιακές πλατφόρμες, τα συστήματα αυτοματοποίησης και οι τεχνολογίες δεδομένων δημιουργούν νέα πρότυπα παραγωγής, διανομής πληροφορίας και επικοινωνίας, επηρεάζοντας άμεσα τη συσκευασία, τα λογισμικά συστήματα, τον εξοπλισμό και τις απαιτούμενες δεξιότητες του ανθρώπινου δυναμικού.

Οι αλλαγές αυτές συντελούνται με καταγιστικούς ρυθμούς και συνιστούν μια δυναμική διαδικασία η οποία εξελίσσεται διαρκώς, διαμορφώνοντας ένα πεδίο έρευνας με ιδιαίτερο επιστημονικό και πρακτικό ενδιαφέρον. Η διεθνής βιβλιογραφία παρουσιάζει σημαντικό πλούτο σύγχρονων και πολυδιάστατων πηγών, συμπεριλαμβανομένων εξειδικευμένων μελετών, ερευνητικών αναφορών, εταιρικών White Papers και εμπειριστωμένων εκθέσεων. Παράλληλα, ένας μεγάλος όγκος διαδικτυακών άρθρων και τεχνικών δημοσιεύσεων ενισχύει το ερευνητικό αντικείμενο, προσφέροντας πληθώρα πολύτιμων πληροφοριών. Υπό αυτό το πρίσμα, καθίσταται ιδιαίτερα σημαντική η συστηματική συγκέντρωση, οργάνωση και ανάλυση όσο το δυνατόν περισσότερων στοιχείων εντός του πλαισίου της παρούσας εργασίας. Στόχος είναι να διαμορφωθεί μια συνεκτική και επαρκής αναφορά σχετικά με τον ρόλο και τη σημασία της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης στους κλάδους των Γραφικών Τεχνών, με ειδική εστίαση στη βιομηχανία της εκτύπωσης, converting της συσκευασίας και συγκεκριμένα στη μέθοδο της βαθυτυπίας. Με τον τρόπο αυτό, η εργασία φιλοδοξεί να συμβάλει στην κατανόηση των τεχνολογικών, παραγωγικών και στρατηγικών αλλαγών που αναδύονται στο σύγχρονο περιβάλλον της εκτυπωτικής βιομηχανίας καθώς και να αποτελέσει ουσιαστική επιστημονική συμβολή στο πεδίο της τυποποίησης, της διαχείρισης ποιότητας και της στρατηγικής ανάπτυξης στις γραφικές τέχνες.

1.2 Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία της παρούσας διπλωματικής εργασίας βασίζεται σε έναν συνδυασμό διερευνητικής μεθόδου και μελέτης περίπτωσης. Ο συνδυασμός αυτός κρίνεται κατάλληλος τόσο για την αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης όσο και για τη

διαμόρφωση τεκμηριωμένων προτάσεων που μπορούν να υποστηρίξουν τη μελλοντική εξέλιξη της εκτυπωτικής βιομηχανίας και ειδικότερα, του κλάδου των γραφικών τεχνών και της βαθυτυπίας. Στόχος της μεθοδολογίας είναι η πλήρης κατανόηση των τεχνολογικών και οργανωτικών καινοτομιών που επηρεάζουν τη σύγχρονη παραγωγή, σε συνάρτηση με τις σημερινές τεχνολογικές, περιβαλλοντικές και επιχειρησιακές απαιτήσεις.

Η έρευνα αξιοποιεί δοκιμασμένα επιστημονικά εργαλεία και αναγνωρισμένες πηγές προκειμένου να συλλεχθούν, να αναλυθούν και να αποδοθούν τεκμηριωμένα δεδομένα. Περιλαμβάνει εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση, που στηρίζεται σε ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία, επιστημονικά άρθρα, τεχνικές εκδόσεις, επίσημα πρότυπα, εξειδικευμένες μελέτες, καθώς και σε τεχνική τεκμηρίωση λογισμικών και ψηφιακών εργαλείων που εφαρμόζονται πλέον στη βιομηχανία. Η έμφαση δόθηκε στις τεχνολογίες του Industry 4.0, τόσο σε θεωρητικό επίπεδο όσο και σε πρακτικό, με αναφορές σε εφαρμογές αυτοματοποίησης, συστήματα διαχείρισης δεδομένων, ψηφιακές πλατφόρμες, τεχνολογίες Τεχνητής Νοημοσύνης κ.α.

Ως αφετηρία η βιβλιογραφική ανασκόπηση κάλυψε θεματικές που αφορούν την ιστορική και τεχνολογική εξέλιξη της βιομηχανίας και τη σημασία της εκτυπωτικής βιομηχανίας, εστιάζοντας στη βαθυτυπία για την μέθοδο παραγωγής συσκευασίας. Εξετάστηκαν ζητήματα που σχετίζονται με την παραγωγική συνέπεια, τις απαιτήσεις διασφάλισης ποιότητας, τα συστήματα τυποποίησης, αλλά και τη συμμόρφωση με σύγχρονες περιβαλλοντικές προδιαγραφές και απαιτήσεις. Η ανάλυση επικεντρώθηκε στις νέες προκλήσεις που προκύπτουν από τη μετάβαση σε ένα τεχνολογικά προηγμένο μοντέλο λειτουργίας, το οποίο χαρακτηρίζεται από αυτοματοποίηση, ψηφιακό μετασχηματισμό και αυστηρότερους στόχους βιωσιμότητας συνυφασμένο με την ανάπτυξη της ψηφιοποίησης των νέων καινοτομιών της 4^{ης} βιομηχανικής επανάστασης.

Δόθηκε ιδιαίτερη σημασία στα ζητήματα που αφορούν στις αρχές της βιώσιμης ανάπτυξης και της κυκλικής οικονομίας, καθώς οι τάσεις αυτές διαμορφώνουν πλέον κρίσιμους δείκτες σχεδιασμού, παραγωγικότητας και ανταγωνισμού στη βιομηχανία συσκευασίας. Η μεθοδολογία επιτρέπει την αναγνώριση των σημείων στα οποία η μη εφαρμογή καινοτόμων τεχνολογιών είτε δεν καλύπτει επαρκώς τις σύγχρονες απαιτήσεις

είτε καταδεικνύει την ανάγκη περαιτέρω εκσυγχρονισμού. Με αυτόν τον τρόπο καθίσταται δυνατή η διατύπωση τεκμηριωμένων συμπερασμάτων και προτάσεων για την ενίσχυση της αποδοτικότητας, της ποιότητας και της βιωσιμότητας, στο πλαίσιο της μετάβασης προς μια πλήρως ψηφιοποιημένη και αυτοματοποιημένη εκτυπωτική βιομηχανική παραγωγή.

1.3 Δομή της Εργασίας (Ανάλυση των Κεφαλαίων)

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα εξεταστεί η επιρροή και δύναμη της 4ης βιομηχανικής επανάστασης μέσω της ψηφιοποίησης στη βιομηχανία των γραφικών τεχνών και ειδικότερα στην βιομηχανία παραγωγής συσκευασίας με τη μέθοδο της Βαθυτυπίας. Παρουσιάζεται η σημαντικότητα της εξέλιξης και η πρόοδος στην διαδικασία παραγωγής μέσα από την οποία αλλάζει το παραγωγικό μοτίβο δυναμικά στον κόσμο της βιομηχανίας των εκτυπώσεων της συσκευασίας και του συνολικού Converting. Θα μελετηθούν και θα εκτιμηθούν οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις και καινοτομίες που συνδέονται άμεσα με την εφαρμογή της ψηφιοποίησης και πως συνέργησαν στην ενίσχυση της αποδοτικότητας, της παραγωγικότητας και της καινοτομίας στη βιομηχανία της συσκευασίας. Θα δοθεί έμφαση στον τρόπο με τον οποίο οι εξατομικευμένες λύσεις που στηρίζονται στην εφαρμογή της κουλτούρας της 4ης επανάστασης, ενισχύουν τη δέσμευση παραγωγικών μονάδων, την αφοσίωση στην ποιότητα και τον τελικό στόχο που αποτελεί την άρτια ποιοτική απόδοση των βιομηχανικών μονάδων αλλά και την εφαρμογή βιώσιμων λύσεων προς όφελος του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Τέλος θα γίνει αναφορά σε συγκεκριμένη μελέτη περίπτωση μονάδας παραγωγής βαθυτυπίας σχετικά με την σημασία εφαρμογής και προοπτικές για την βιομηχανία συσκευασίας με την συμμετοχή νέων εφαρμογών και σύγχρονων καινοτομιών που συνδέονται με την εισαγωγή της ψηφιοποίησης.

Η συγγραφή της συγκεκριμένης εργασίας βασίστηκε στην ερευνητική μέθοδο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης πάνω σε εκτενή βιβλιογραφία και σε επιπλέον διαδικτυακές πηγές που προέρχονται από ιστοσελίδες του κλάδου των γραφικών τεχνών

και ειδικότερα του τομέα της εκτύπωσης, Converting της συσκευασίας, ανάλυσης της 4ης επανάστασης και των concepts αυτής που βασίζονται στην ψηφιοποίηση.

Η εργασία αποτελείται από 7 κεφάλαια εκτός από την εισαγωγή που αποτελούν τα παρακάτω:

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στον κλάδο των εκτυπώσεων με μια ιστορική αναδρομή από την πρώτη εμφάνιση της εφεύρεσης της διαδικασίας εκτύπωσης, την εκ βιομηχανοποίηση της και τις μορφές που έχει πάρει σήμερα. Αναλύονται οι κατηγορίες των τρόπων εκτύπωσης και οι εφαρμογές τους στη σημερινή βιομηχανία. Τη σημαντικότητα του ρόλου του κλάδου των εκτυπώσεων στον βιομηχανικό τομέα και τις τάσεις και προκλήσεις που παρουσιάζονται καθώς και τη στρατηγική σημασία της εκτύπωσης στη σημερινή εποχή.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται ο ορισμός και τα βασικά χαρακτηριστικά της 4ης βιομηχανικής επανάστασης, γίνεται ιστορική αναδρομή στις προηγούμενες βιομηχανικές επαναστάσεις και δίνεται έμφαση στις σημαντικές διαφοροποιήσεις που τις απαρτίζουν. Επισημαίνονται οι κύριες τεχνολογίες που καθορίζουν την 4η βιομηχανική επανάσταση και μελετώνται οι επιπτώσεις που έχει σήμερα η εφαρμογή των καινοτομιών που την αφορούν.

Στο τέταρτο κεφάλαιο εξετάζονται αναλυτικά τα σημαντικότερα concepts της 4ης βιομηχανικής επανάστασης καθώς και το τεχνολογικό, οικονομικό και διοικητικό αντίκτυπο στη λειτουργία των εργοστασίων. Αναφέρεται η σημαντικότητα μετατροπής των μέχρι τώρα σύνθετων διαδικασιών σε ευφυή συστήματα και πώς επηρεάζει την παραγωγική βιομηχανική κουλτούρα.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή ειδικά στην βιομηχανία εύκαμπτης συσκευασίας. Δίνεται αναλυτική περιγραφή της σημαντικότητας της βιομηχανικής παραγωγής της εύκαμπτης συσκευασίας. Αναφέρονται τα υλικά χρήσης, η σπουδαιότητα χρήσης και οι επιπτώσεις που έχει στην αγορά. Παρουσιάζεται η πορεία και εξέλιξη της συγκεκριμένης βιομηχανίας τα τελευταία χρόνια καθώς και την σπουδαιότητα που πρεσβεύει η παραγωγή και εφαρμογή της.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά συγκεκριμένα στην μέθοδο εκτύπωσης της Βαθυτυπίας στην παραγωγή της συσκευασίας. Ορισμός και ερμηνεία της έννοιας της

μεθόδου της βαθυτυπίας. Τονίζονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που εμφανίζει η εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου σε σχέση με τις υπόλοιπες κατηγορίες εκτύπωσης. Τη σημαντικότητα του ρόλου της στη μαζική παραγωγή και την ερμηνεία της εφαρμογής της στον τομέα της συσκευασίας.

Στο έβδομο κεφάλαιο αναλύεται ο ορισμός, η σημασία και η σημαντικότητα της εισαγωγής του ψηφιακού μετασχηματισμού στη βιομηχανία εκτυπώσεων με τη μέθοδο της βαθυτυπίας. Εξετάζεται επίσης η επίδραση της αυτοματοποίησης όπως και του διαδικτύου στη ροή εργασίας, Συστήματα Διαχείρισης Επιχειρησιακών Πόρων, Enterprise Resource Planning, ERP, Συστήματα Εκτέλεσης Παραγωγής, Manufacturing Execution Systems, MES, cloud computing, Edge Computing και Blockchain. Μελετώνται οι επιπτώσεις σε παραγωγή, ανθρώπινο δυναμικό και πως επιτυγχάνεται η επιχειρησιακή ευελιξία. Αναφέρονται προκλήσεις και εμπόδια που μπορεί να εμφανιστούν και καταλήγει με την αναφορά των επιπτώσεων που έχει η ίδια η βαθυτυπία με την είσοδο των τεχνολογικών καινοτομιών.

Στο όγδοο κεφάλαιο περιγράφεται η σύνδεση με τις αλλαγές από την ψηφιακή επανάσταση στην εκτυπωτική βιομηχανία που μετατρέπουν πολύπλοκες διαδικασίες παραγωγής και προγνωστικής συντήρησης σε ευφυή και έξυπνα εκτυπωτικά εργοστάσια. Τονίζεται η σπουδαιότητα των αλλαγών που επιφέρουν τα θέματα βιωσιμότητας, μείωσης αποβλήτων και κυκλικής οικονομίας. Παρουσιάζεται μελέτη περίπτωσης σε εργοστάσιο παραγωγής συσκευασιών με τη μέθοδο της βαθυτυπίας. Περιγράφονται εφαρμογές, αποτελέσματα, οφέλη αλλά και μειονεκτήματα των νέων καινοτομιών που εμφανίζονται με την υιοθέτηση του ψηφιακού μετασχηματισμού.

Η εργασία κλείνει με τα Συμπεράσματα, την ανακεφαλαίωση βασικών ευρημάτων, τις βασικές επιπτώσεις για τη βιομηχανία συσκευασίας και τον επίλογο.

2. Κλάδος Εκτυπώσεων

2.1 Ιστορική Εξέλιξη του Κλάδου των Εκτυπώσεων

Ο γραπτός λόγος, η αποτύπωση των χρωμάτων και των σχημάτων, καθώς και η εικαστική δημιουργία υπήρξαν διαχρονικά θεμελιώδη μέσα έκφρασης και επικοινωνίας του ανθρώπου (BritannicaEditors, 2026). Η εξέλιξη των γραφικών τεχνών και η σύνδεσή τους με τις καλλιτεχνικές, λογοτεχνικές και εμπορικές δραστηριότητες συνέβαλαν καθοριστικά στη διάδοση των ιδεών, αλλά και στη διαμόρφωση της αισθητικής αντίληψης κάθε εποχής (Tucker, 2026). Πολύ νωρίς, τα έντυπα και οι απεικονίσεις άρχισαν να αποκτούν εμπορική διάσταση, καθώς χρησιμοποιήθηκαν για την προώθηση αγαθών και υπηρεσιών, απευθυνόμενα τόσο στα ανώτερα κοινωνικά στρώματα όσο και στην ανερχόμενη αστική τάξη. Η σταδιακή μετάβαση από τη χειροποίητη παραγωγή στην οργανωμένη βιομηχανική παραγωγή κατά τον 18ο και 19ο αιώνα αποτέλεσε σημείο καμπής (BritannicaEditors, 2026). Η βιομηχανοποίηση όχι μόνο καθόρισε την ανάπτυξη νέων μεθόδων εκτύπωσης, αλλά και έδωσε το έναυσμα για τη συστηματική αξιοποίηση της εκτύπωσης ως μέσο επικοινωνίας, διάδοσης πληροφοριών και εμπορικής προώθησης (Tucker, 2026). Από τότε, ο κλάδος των εκτυπώσεων εξελίσσεται παράλληλα με τις κοινωνικές και τεχνολογικές μεταβολές, διατηρώντας πρωταγωνιστικό ρόλο στην πολιτιστική και οικονομική πρόοδο.

2.1.1 Η Σημασία της Εξέλιξης του Γραπτού λόγου Προς την Εκτύπωση

Η γραφή αποτέλεσε το σημαντικότερο κίνητρο εξέλιξης της εκτυπωτικής πρακτικής από τους αρχαίους χρόνους. Η ανάγκη του ανθρώπου για επικοινωνία οδήγησε σε ποικίλους τρόπους γραφής και κατά συνέπεια έκφρασης. Ο άνθρωπος χρησιμοποίησε αρχικά ποικιλία υλικών όπως πέτρα, πηλό, κερί και μέταλλα, πραγματοποίησε γραφή σε γύψινες πλάκες, δέρματα, πάπυρους καθώς και υφάσματα με αποτύπωση μελάνης. Η ανάπτυξη

των πολιτισμών είναι συνυφασμένη με την ανάπτυξη του γραπτού λόγου. Με την ανάγκη αυτή, η γραπτή επικοινωνία αναπτυσσόταν ολοένα και πιο πολύ. Η εφαρμογή της αντιγραφής της γραπτής επικοινωνίας, ενίσχυσε την εφαρμογή της ιδέας μηχανικά καθώς αποτέλεσε τον προάγγελο της σημερινής εκτύπωσης (Μπιτζένης, n.d.).

Το χειρόγραφο αποτέλεσε αρχικά την κατεξοχήν καλλιτεχνική, μη βιομηχανικά παραγόμενη μορφή μετάδοσης της πληροφορίας. Παρά την αισθητική τους αξία, τα αρχικά χειρόγραφα, σε αντίθεση με τη μετέπειτα εποχή, δεν μπόρεσαν να επηρεάσουν ουσιαστικά την κοινωνική και πνευματική ζωή της Ευρώπης καθώς δεν ήταν προσβάσιμα. Η κύρια αιτία αυτής της περιορισμένης επιρροής ήταν το απρόσιτο των συγκεκριμένων βιβλιοθηκών κυρίως σε μοναστήρια. Οι λεγόμενοι «κώδικες» φυλάσσονταν και παρέμεναν κλειδωμένοι. Ο χρόνος, ο τρόπος και κυρίως οι οικονομικοί πόροι που απαιτούνταν για την παραγωγή τους, φανερώνουν ότι τα χειρόγραφα αυτά ήταν εξαιρετικά πολύτιμα για να είναι διαθέσιμα στο ευρύ κοινό. Κατά συνέπεια, η αξιοποίησή τους για εκπαιδευτικούς σκοπούς ήταν περιορισμένη έως μηδαμινή. Κατά την περίοδο της Αναγέννησης, η Ευρώπη γνώρισε βαθιές αλλαγές τόσο στον τρόπο μετάδοσης της πληροφορίας όσο και στη σημασία της γραπτής επικοινωνίας. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, η εφεύρεση της τυπογραφίας από τον Johannes Gutenberg (όπως φαίνεται στην εικόνα 1) αποτέλεσε σημείο καμπής για τον ανθρώπινο πολιτισμό.



Εικόνα 1. Τυπογραφικό Πιεστήριο Γουτεμβέργιου

Note: [Γουτεμβέργιος \(1397-1468\)](#)

Με την ανάπτυξη της τυπογραφίας, η έννοια της γραφής αλλά και μετέπειτα της εκδοτικής παραγωγής μεταβλήθηκε ριζικά, τα πολύτιμα και απροσπέλαστα χειρόγραφα, αντικαταστάθηκαν σταδιακά από αναπαραγωγίμα έντυπα (Febvre & Martin, 1976). Η νέα αυτή τεχνολογία κατέστησε δυνατή την ταχύτερη και οικονομικότερη αναπαραγωγή κειμένων, επιτρέποντας τη μαζική διάδοση γνώσεων που μέχρι τότε ήταν προνόμιο λίγων (Eisenstein, 1983).

Όπως η εφεύρεση του αλφαβήτου αρχικά έτσι και της τυπογραφίας στη συνέχεια συνέβαλε καθοριστικά στην πρόοδο της γνώσης, της επιστήμης και της τεχνολογίας. Το αλφάβητο έδωσε τη δυνατότητα να εκφράζονται έννοιες με συστηματικό τρόπο, ενώ η τυπογραφία επέτρεψε και ενίσχυσε την αναπαραγωγή και διάδοσή τους, προσφέροντας ένα σταθερό υπόβαθρο για την ανάπτυξη της ανθρώπινης διανοήσης και του πολιτισμού (Cebrian, 1998). Η τυπογραφική επανάσταση επιτάχυνε τη διάδοση των κοσμικών κειμένων και ιδεών, δίνοντας ώθηση στην επιστημονική σκέψη και στις ανθρωπιστικές σπουδές (Κούρτης, 2003). Λειτουργήσε ως «καταλύτης» της ευρωπαϊκής πνευματικής αναγέννησης, επαναπροσδιορίζοντας τον ρόλο της γνώσης, της εκπαίδευσης και της πολιτιστικής επικοινωνίας. Τα μέσα (όπως το χαρτί, η μελάνη, η πρέσα) που χρησιμοποιήθηκαν κατά την τυπογραφική διαδικασία προσδιόρισαν τόσο την ανθεκτικότητα των εντύπων όσο και την αισθητική τους ποιότητα. Η τυπογραφία καθιστά εφικτή την ταυτόχρονη και πιστή αναπαραγωγή του περιεχομένου, εξασφαλίζοντας την αξιοπιστία των κειμένων και την πιστή μετάδοση των γνώσεων (Eisenstein, 1983).

Η τυπογραφία πέρα του ότι «καθήλωσε» τις λέξεις στον χώρο της όρασης, καθιστώντας τες ομοιόμορφες και ευανάγνωστες, ταυτόχρονα τις μετέτρεψε σε καταναλωτικό προϊόν. Το σημαντικότερο, ωστόσο, ήταν ότι ενίσχυσε την αίσθηση πως ό,τι κατείχε ο ανθρώπινος νους μπορούσε πλέον να υπάρχει σε έναν χώρο όπου η γνώση αποκτά υλική υπόσταση, αποθηκεύεται και επανέρχεται με συνέπεια και ακρίβεια. Δεν επηρέασε μόνο τον τρόπο αναπαραγωγής της γραφής, αλλά και τον ίδιο τον τρόπο που ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται, οργανώνει και μεταδίδει τη σκέψη του (Ong, 1997).

Η ακρίβεια και η συνέπεια της εκτυπωμένης σελίδας επιτρέπει τη διατήρηση της πνευματικής αξίας του έργου, διευκολύνοντας την αναπαραγωγή του για εκπαιδευτικούς,

επιστημονικούς, καλλιτεχνικούς και εμπορικούς σκοπούς. Τα έντυπα έργα (βιβλία, φυλλάδια, εφημερίδες κ.ά.) συνιστούν ουσιαστικά το υλικό θεμέλιο της τυπογραφικής γνώσης και επιτρέπουν την ευρύτερη διάχυση της πληροφορίας σε κοινό μεγαλύτερης εμβέλειας (Febvre & Martin, 1976). Η τυπογραφία δεν άλλαξε μόνο τον τρόπο αναπαραγωγής των κειμένων, αλλά και τη σχέση του ανθρώπου με τη συνολική γνώση αλλά και χρήση αυτής. Μπορεί να περιλαμβάνει την ανάπτυξη του πολιτισμού, την αναβάθμιση της εκπαίδευσης, την ευφορία της διακίνησης και του εμπόριου καθώς και πληθώρα άλλων κατηγοριών με τη συμμετοχή, επικοινωνία και δυνατότητα ανάπτυξης ιδεών (Ong, 1997).

2.1.2 Η Εξέλιξη και Ανάπτυξη των Εκτυπωτικών Μεθόδων

Η ανακάλυψη της ξυλογραφίας, πέρα από τον ρόλο που διαδραμάτισε ως μέσο οικονομικής αναπαραγωγής, έδωσε νέα ώθηση στη λεπτομερή απόδοση της πραγματικότητας μέσα από την εικόνα η οποία εξελίχθηκε σε μέσο καλλιτεχνικής απόδοσης της πραγματικότητας. Από εκεί προέκυψαν πιο σύνθετες τεχνικές, όπως η βαθυτυπία, η χαλκογραφία και η οξυγραφία, οι οποίες επέτρεψαν μεγαλύτερη λεπτομέρεια και ρεαλισμό στις εικονογραφήσεις (Eisenstein, 1983).

Ο χαρακτήρας, μέσω της δεξιοτεχνίας του, αποδίδει την υφή των μορφών χαράσσοντας λεπτές γραμμές που αναπαριστούν το φως και τη σκιά στην επιφάνεια κάθε υλικού. Με προσεκτικό χειρισμό των τόνων του γκρι, κατορθώνει να δώσει την αίσθηση του όγκου, να καθορίσει την ποιότητα και την κατεύθυνση του φωτισμού, και τελικά να δημιουργήσει μια πιο ρεαλιστική και εκφραστική απεικόνιση. Η τεχνική αυτή σηματοδότησε μια νέα εποχή για την τέχνη της εκτύπωσης, ανοίγοντας τον δρόμο για τη σταδιακή εξέλιξη και τελειοποίηση των μεθόδων χάραξης και εκτύπωσης. Οι εξελίξεις αυτές έθεσαν τα θεμέλια για την περαιτέρω ανάπτυξη των εκτυπωτικών τεχνολογιών (Κούρτης, 2003).

Η Βιομηχανική Επανάσταση του 18ου και 19ου αιώνα αποτέλεσε καθοριστικό σημείο για την ανάπτυξη του κλάδου των εκτυπώσεων. Μέχρι τότε, η παραγωγή εντύπων βασιζόταν κυρίως σε χειροκίνητα πιεστήρια και απαιτούσε σημαντική ανθρώπινη εργασία. Η εφεύρεση των ατμοκίνητων πιεστηρίων από τον Friedrich Koenig το 1814

έθεσε τις βάσεις για τη μηχανοποίηση και καθετοποίηση των διαδικασιών παραγωγής, αυξάνοντας την ταχύτητα παραγωγής και μειώνοντας το κόστος (Twyman, 1998). Η μετάβαση από την τεχνική χειροποίητης εκτύπωσης στη μαζική παραγωγή εντύπων οδήγησε στη διάδοση του έντυπου και της γνώσης, με αυτόματη αναπροσαρμογή στην σημαντικότητα σκέψης για βιομηχανική ανάπτυξη των εκτυπωτικών μεθόδων (Gascoigne, 2019).

Η εξέλιξη συνεχίστηκε με την ανάπτυξη των κυλινδρικών πιεστηρίων, τα οποία επέτρεψαν τη συνεχή εκτύπωση σε τροφοδοτούμενα ρολά, προσφέροντας ακόμα μεγαλύτερη ευελιξία και αποδοτικότητα (Chonet, 2019). Παράλληλα, η λιθογραφία, που επινοήθηκε από τον Alois Senefelder το 1796, εισήγαγε μια νέα μέθοδο εκτύπωσης με βάση τη χημική απώθηση νερού και λίπους, επιτρέποντας τη δημιουργία εικόνων υψηλής λεπτομέρειας. Η ανάπτυξη της εκτύπωσης δεν καθορίστηκε μόνο από τεχνολογικές και βιομηχανικές εξελίξεις, αλλά και από κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες που σχετίζονται με τη μαζική κατανάλωση και του marketing σε πλήθος προϊόντων. Από τον 19ο αιώνα και έπειτα, η παραγωγή αγαθών σε μεγάλη κλίμακα δημιούργησε την ανάγκη στις επιχειρήσεις να διαφοροποιούν τα προϊόντα τους στην αγορά μέσω της οπτικής τους ταυτότητας και της επικοινωνίας της αξίας προς τον καταναλωτή. Η εκτύπωση αποτέλεσε το βασικό μέσο υλοποίησης αυτής της στρατηγικής (Kotler & Keller, 2016).

Στις αρχές του 20ού αιώνα, η Offset εκτύπωση καθιερώθηκε ως η πιο αποδοτική τεχνική για μαζική παραγωγή εντύπων, χάρη στην ταχύτητα, την ευελιξία και τη σταθερότητα των αποτελεσμάτων (Parramon, 2015). Παράλληλα, αναπτύχθηκαν η βαθυτυπία και η φλεξογραφία, δύο μέθοδοι που επέτρεψαν την εκτύπωση σε μεγαλύτερη γκάμα υλικών, συνδέοντας πλέον την εκτύπωση με τη βιομηχανία συσκευασίας. Οι τεχνολογίες αυτές έθεσαν τις βάσεις για τη μετέπειτα βιομηχανική παραγωγή εύκαμπτης συσκευασίας και αποτέλεσαν το σημείο εκκίνησης για τον σημερινό βιομηχανικό μετασχηματισμό (Meggs & Purvis, 2016).

Η τυπογραφία, η εικονογράφηση και αργότερα οι έγχρωμες εκτυπώσεις έδωσαν νέα διάσταση στην εμπορική επικοινωνία. Από τις αφίσες και τα φυλλάδια έως τις ετικέτες και συσκευασίες προϊόντων, η εκτύπωση έγινε το κύριο όχημα μετάδοσης διαφημιστικών και προωθητικών μηνυμάτων (Twyman, 1998). Κατά τη διάρκεια του 20ού αιώνα, η

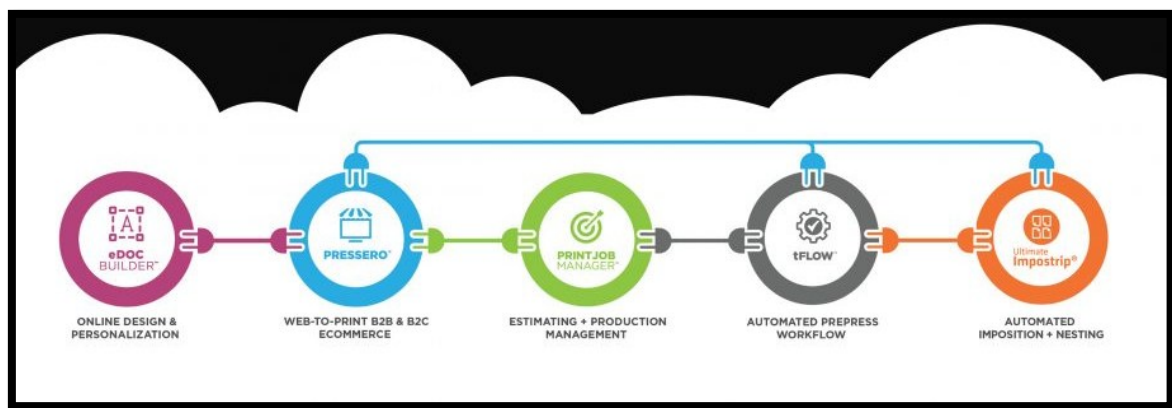
ραγδαία εξάπλωση του μαζικού marketing και η ανάπτυξη των brands δημιούργησαν τεράστια ζήτηση για εκτυπωμένο υλικό υψηλής ποιότητας και αισθητικής. Μεγάλες και επώνυμες εταιρείες αξιοποίησαν τις δυνατότητες της εκτύπωσης για να εδραιώσουν την αναγνωρισιμότητα των προϊόντων τους μέσω ετικετών, αφισών και συσκευασιών (Briggs & Burke, 2010). Η χρήση χρωμάτων, τυπογραφικών στοιχείων και εικονογραφικών προτύπων έγινε βασικό εργαλείο για την πρόκληση συναισθηματικής αντίδρασης του καταναλωτή και την ενίσχυση της αγοραστικής πρόθεσης. Έτσι, η εκτύπωση μετατράπηκε από καθαρά τεχνική διαδικασία σε στρατηγικό εργαλείο branding και προώθησης προϊόντων (Cosper, 2017). Η συσκευασία, πέρα από την αρχική κύρια λειτουργική της διάσταση δηλαδή την προστασία του προϊόντος, απέκτησε σταδιακά και επικοινωνιακή αξία. Η έντονη ανταγωνιστικότητα των αγορών του 20ού αιώνα ανέδειξε τη συσκευασία ως «σιωπηλό πωλητή», ως το μέσο που επικοινωνεί την ταυτότητα, την ποιότητα ενός προϊόντος καθώς και την προώθηση της ίδιας εταιρίας μέσα από αυτή (Ambrose & Harris, 2011). Η εξέλιξη της εκτύπωσης σε τεχνικές όπως η φλεξογραφία και η βαθυτυπία επέτρεψε την παραγωγή υψηλής ανάλυσης γραφικών, ζωντανών χρωμάτων και προσαρμοσμένων σχεδίων σε χαρτί και εύκαμπτα υλικά. Αυτό έδωσε τη δυνατότητα στους κατασκευαστές να ενσωματώνουν στο προϊόν πληροφορίες, λογότυπα, διαφημιστικά μηνύματα και στοιχεία διαφοροποίησης από τον ανταγωνισμό. Η εκτύπωση έγινε, επομένως, άρρηκτα συνδεδεμένη με τη λειτουργία του marketing, συμβάλλοντας στη διαμόρφωση της καταναλωτικής εμπειρίας και της αντιλαμβανόμενης αξίας (Kipphan, 2016).

2.1.3 Η Είσοδος της Ψηφιακής Εποχής

Από τη δεκαετία του 1980 και έπειτα, η εκτύπωση εισήλθε σε μια νέα εποχή. Η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών και των λογισμικών Desktop Publishing (DTP) μετέβαλε ριζικά τον τρόπο σχεδίασης, προεκτύπωσης και προετοιμασίας της παραγωγής (Romano, 2014). Με σχεδόν άμεση εφαρμογή της νέας τεχνολογίας υπήρχε και άμεση επιρροή στο κομμάτι της παραγωγής. Αρχικά οι ψηφιακές εκτυπωτικές μηχανές τεχνολογίας κατέστησαν αν και με όχι τόσο δυναμικό τρόπο στην αρχή, την απευθείας εκτύπωση από ψηφιακά αρχεία χωρίς την ανάγκη παραγωγής ενδιάμεσου βοηθητικού

μέσου εκτύπωσης, μειώνοντας σημαντικά τον χρόνο παραγωγής και το κόστος (Kırphan, 2016). Η ψηφιακή εκτύπωση παρόλη την παραγωγή μικρών ποσοτήτων επέτρεψε την εξατομίκευση περιεχομένου και την ταχεία ανταπόκριση στις ανάγκες της αγοράς (Brett, 2018). Παράλληλα, η σταδιακή ανάπτυξη της ενσωμάτωσης λογισμικών διαχείρισης ροής εργασιών και η αυτοματοποίηση των διαδικασιών έφεραν στον ίδιο χώρο τη βιομηχανική εκτύπωση με την πληροφορική. Αυτές οι εξελίξεις προετοίμασαν το έδαφος για τη μετάβαση και εισαγωγή στο Industry 4.0, όπου οι εκτυπώσεις σχεδόν κάθε μορφής πλέον μπορούν να λειτουργούν μέσα σε ένα περιβάλλον ψηφιακής διασυνδεσιμότητας, ευφυνούς αυτοματισμού και δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (Briggs & Burke, 2010).

Με την είσοδο της ψηφιακής εποχής, οι επιχειρήσεις απέκτησαν τη δυνατότητα να εφαρμόζουν στρατηγικές προσωποποιημένου marketing (one to one marketing), προσαρμόζοντας μια στρατηγική παραγωγής που εστιάζει στον κάθε καταναλωτή ξεχωριστά, αντί να απευθύνεται σε ένα μαζικό, απρόσωπο κοινό (όπως φαίνεται στην εικόνα 2) (Romano, 2014).



Εικόνα 2. Intelligent Print Workflow

Note: [Intelligent Print Workflow Delivers Increased Efficiency & Profitability at SGIA - Ultimate Tech](#)

Η συσκευασία δεν λειτουργεί μόνο ως φυσικό περίβλημα, αλλά και ως φορέας επικοινωνίας και αλληλεπίδρασης, ενισχύοντας τη συνολική εμπειρία του brand (Printify, 2024).

Η είσοδος στον κόσμο της ψηφιακής εποχής για την εκτύπωση αποτελεί την είσοδο του βιομηχανικού κόσμου σε μια νέα διάσταση. Πέρα από την εξέλιξη της ποιοτικής απόδοσης στο εκτυπωτικό αποτέλεσμα, επηρεάζει άμεσα την ροή τόσο της προετοιμασίας της παραγωγής, όσο και της ίδια της διαδικασίας της παραγωγής. Η εισαγωγή και χρήση της ψηφιακής εποχής δεν φέρνει απλώς μια επανάσταση στην ποιότητα, αλλά ανοίγει την πόρτα σε ατελείωτες δυνατότητες για ευκινησία σε όλο το κομμάτι της παραγωγής της εύκαμπτης συσκευασίας, πλέον για κάθε μορφή βιομηχανικής εκτύπωσης, όχι μόνο της ψηφιακής (LabelProfil, 2024).

2.1.4 Ο Ρόλος της Εκτύπωσης στη Βιομηχανία Συσκευασίας

Είτε πρόκειται για κείμενο, εικόνα ή σχέδιο, με ή χωρίς εικαστική διάσταση, η εκτύπωση σε κάθε μορφή και κάθε υλικό αποτελεί μια διαρκή πρόκληση και έναν καθρέφτη της ανθρώπινης δημιουργικότητας. Όπως πριν από χιλιάδες χρόνια η επινόηση της γραφής και των πρώτων μέσων αναπαραγωγής αποτέλεσαν επανάσταση που άλλαξε ριζικά την πορεία του πολιτισμού, έτσι και σήμερα η τεχνολογική εξέλιξη στις εκτυπωτικές τεχνικές συνεχίζει να επαναπροσδιορίζει τον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιείται η επικοινωνία, η δημιουργία, η παραγωγή, η διακίνηση, η συντήρηση στον τομέα την βιομηχανικής εκτύπωσης. Η ιστορική διαδρομή της εκτύπωσης δεν είναι απλώς μια αλληλουχία τεχνικών επιτευγμάτων, αλλά μια συνεχής διαδικασία προσαρμογής και καινοτομίας, που προμηνύει νέες, απρόσμενες μορφές έκφρασης και τεχνολογικής ανάπτυξης στο μέλλον (Studiolive, 2016).

Η εκτύπωση στη βιομηχανία συσκευασίας υπερβαίνει τον διακοσμητικό της ρόλο και αποτελεί βασικό λειτουργικό και τεχνολογικό στοιχείο. Κάθε μορφή βιομηχανικής εκτύπωσης συμβάλλει ουσιαστικά στη διαμόρφωση της ταυτότητας των προϊόντων, στη διασφάλιση της ποιότητας, στη βιώσιμη ανάπτυξη, αθροιστικά, στη συνολική απόδοση της συσκευασίας. Ως συνέπεια, η εκτύπωση αναδεικνύεται σε κρίσιμο παράγοντα για τη σύγχρονη βιομηχανία συσκευασίας, επηρεάζοντας τόσο την παραγωγική διαδικασία όσο και τη σχέση προϊόντος και καταναλωτή (Inkofix, 2025).

Τα εκτυπωτικά πιεστήρια και τα συστήματα εκτύπωσης αποτελούν τον βασικό τεχνολογικό πυρήνα της σύγχρονης βιομηχανίας συσκευασίας. Η εξέλιξή τους έχει

καθορίσει τη μετάβαση από την συμβατική, περιορισμένη, χειροκίνητη αναπαραγωγή στην σύγχρονη ψηφιοποιημένη και αυτοματοποιημένη, υψηλής ταχύτητας και μεγάλης κλίμακας παραγωγή. Στο πλαίσιο αυτό, τα συστήματα εκτύπωσης σχεδιάζονται πλέον ώστε να ανταποκρίνονται στις αυξημένες απαιτήσεις ποιότητας, ακρίβειας, επαναληψιμότητας, αξιοπιστίας και βιώσιμων λύσεων σε συνδυασμό με την υψηλή παραγωγικότητα που είναι απαραίτητες για τη μαζική παραγωγή συσκευασιών σε διαφορετικά υλικά και μορφές (Kipphan, 2001).

Η αλληλεπίδραση ανάμεσα στην τεχνολογική εξέλιξη της εκτύπωσης και στη στρατηγική του marketing υπήρξε καθοριστική για τη διαμόρφωση του σύγχρονου βιομηχανικού τοπίου της παραγωγής της συσκευασίας. Η εκτύπωση, από απλό μέσο έκφρασης και αναπαραγωγής, εξελίχθηκε σε ολοκληρωμένο εργαλείο επικοινωνίας και έκφρασης ενώ στη συσκευασία απέκτησε διπλή λειτουργία, προστατευτική και προωθητική. Μετά και τις 3 βιομηχανικές επαναστάσεις, πλέον στο πλαίσιο της 4ης Βιομηχανικής Επανάστασης, οι δύο αυτοί τομείς ενοποιούνται ακόμα περισσότερο, καθώς η ψηφιοποίηση και η ανάλυση δεδομένων δίνουν νέες δυνατότητες στην εξατομίκευση, στη διαδραστικότητα και στη βιωσιμότητα της εκτύπωσης της συσκευασίας σε βιομηχανικό επίπεδο (Cospers, 2017).

Στο πεδίο της εύκαμπτης συσκευασίας, το εικαστικό και τα χαρακτηριστικά του καθώς και η απόδοση της εκτύπωσης στηρίζονται με την ίδια βαρύτητα τόσο στην προετοιμασία της προεκτύπωσης όσο και στον παραγωγικό τρόπο διαδραματίζοντας καθοριστικό ρόλο τόσο στη λειτουργική επάρκεια όσο και στην επικοινωνιακή διάσταση της χρήσης της συσκευασίας. Η συμβολή τους δεν περιορίζεται μόνο στην αισθητική απόδοση μέσω χρώματος και γραφιστικών στοιχείων, αλλά επεκτείνεται στην ασφάλεια των προϊόντων, στη συμμόρφωση νομικών πλαισίων, στη βιωσιμότητα των υλικών και στη συνολική εμπειρία και σχέση επικοινωνίας με τον καταναλωτή. Ωστόσο τα χαρακτηριστικά της συσκευασίας, τόσο τα μηχανικά όσο και τα επικοινωνιακά καθώς και τα θέματα marketing αποτελούν βασικό παράγοντα στον σχεδιασμό και την παραγωγή σύγχρονων συστημάτων συσκευασίας που στόχο έχουν την αυξημένη παραγωγικότητα στον μικρότερο δυνατό χρόνο με το καλύτερο ποιοτικό αποτέλεσμα και πλέον με την προϋπόθεση επίτευξης της βιωσιμότητας (Inkofix, 2025). Η λειτουργία των εκτυπωτικών πιεστηρίων στη συσκευασία δεν περιορίζεται στην αναπαραγωγή μόνο εικαστικών και

γραφικών στοιχείων αναγνώρισης και διαφοροποίησης, αλλά συνδέεται άμεσα με τη συνολική απόδοση του συστήματος ως μέρος της βιομηχανικά παραγωγικής αλυσίδας. Η ενσωμάτωση καινοτομιών όπως των αυτοματισμών, των συστημάτων ελέγχου ποιότητας και των τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας καθιστά τα σύγχρονα εκτυπωτικά συστήματα κρίσιμους παράγοντες για την αποδοτικότητα, την ασφάλεια και τη βιωσιμότητα της παραγωγής. Αποτελούν θεμελιώδες στοιχείο της βιομηχανικής οργάνωσης και της τεχνολογικής εξέλιξης του κλάδου, διαμορφώνοντας τον τρόπο με τον οποίο η εκτύπωση εντάσσεται λειτουργικά και στρατηγικά στη βιομηχανία συσκευασίας (Kipphan, 2001).

Η ιστορική εξέλιξη της εκτύπωσης γενικότερα αλλά και πλέον ειδικά της συσκευασίας, ανέδειξε όχι μόνο τη σημασία της για τη διάδοση των αγαθών και της γνώσης, αλλά και τη συνεχή της προσαρμογή στις τεχνολογικές, πολιτισμικές, κοινωνικές, πολιτικές και οικονομικές αλλαγές παγκοσμίως. Στο πλαίσιο αυτής της πορείας, αναπτύχθηκαν διαφορετικές κατηγορίες και τεχνικές εκτύπωσης, καθεμία με τα δικά της χαρακτηριστικά, δυνατότητες και περιορισμούς. Η κατανόηση αυτών των μεθόδων είναι απαραίτητη για την εμβάθυνση στον τρόπο με τον οποίο ο κλάδος υποστήριξε τη βιομηχανική παραγωγή και διαμόρφωσε τη σύγχρονη αγορά εκτυπωτικών εφαρμογών.

2.2 Κατηγορίες Εκτυπώσεων

Η εξέλιξη των τεχνικών εκτύπωσης υπήρξε παράλληλη με την ανάπτυξη των τεχνολογιών της βιομηχανίας και των αναγκών της εκάστοτε εποχής. Καθώς η παραγωγή προϊόντων και εντύπων επεκτεινόταν σε παγκόσμια κλίμακα, δημιουργήθηκε η ανάγκη για ταχύτερες, αποδοτικότερες και ποιοτικότερες μεθόδους εκτύπωσης εικαστικών και κειμένων. Η διαφοροποίηση των υλικών, η ανάγκη εκσυγχρονισμού των μελανιών και της ποιότητας τους καθώς και η ανάπτυξη εξειδικευμένων μηχανών οδήγησαν στη δημιουργία πολλαπλών κατηγοριών εκτυπώσεων, καθεμία με τα δικά της τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά και κατ' επέκταση με τα δικά της ποιοτικά αποτελέσματα. Η αντίληψη των κατηγοριών αυτών είναι ουσιαστική για την κατανόηση των εφαρμογών του κλάδου και ειδικότερα για την εφαρμογή των τεχνολογιών εκτύπωσης στη βιομηχανία συσκευασίας (TGP, n.d.).

Για τον τελικό αποδέκτη η διαδικασία της εκτύπωσης φαίνεται σχετικά απλή και αυτοματοποιημένη, πολλές φορές δείχνει και αδιάφορη σαν διαδικασία μπροστά πάντα στον εντυπωσιασμό που εκπέμπει το τελικό αποτέλεσμα. Ωστόσο, στην πραγματικότητα, κάθε μέθοδος εκτύπωσης αποτελεί ένα πολύπλοκο σύστημα μηχανικών, χημικών και τεχνολογικών διαδοχικών διεργασιών, που προσαρμόζεται ανάλογα με το είδος του τελικού προϊόντος, το επιθυμητό αισθητικό αποτέλεσμα και τις λειτουργικές απαιτήσεις του. Κάθε στάδιο, από την προεκτύπωση, την εκτύπωση έως την επεξεργασία που μπορεί να υφίσταται, επηρεάζει καθοριστικά την ποιότητα και τα χαρακτηριστικά της τελικής μορφής. Στο σύγχρονο βιομηχανικό περιβάλλον, η ψηφιοποίηση έχει εισάγει μορφές τεχνολογίας που έχουν αναδιαμορφώσει ριζικά τις εκτυπωτικές πρακτικές, προσφέροντας απλούστερη προετοιμασία, ταχύτερο χρόνο πραγμάτωσης της παραγωγής και μεγαλύτερη ευελιξία προσαρμογής στην επίτευξη των απαιτούμενων χαρακτηριστικών του τελικού προϊόντος. Οι παράγοντες αυτοί αποτέλεσαν καθοριστικά κίνητρα για την ευρεία υιοθέτηση των ψηφιακών μεθόδων στη βιομηχανία, σηματοδοτώντας μια νέα εποχή όπου η παραγωγικότητα συνδυάζεται με την τεχνολογική καινοτομία (Romano, 2014).

Η επιλογή της κατάλληλης εκτυπωτικής μεθόδου αποτελεί κρίσιμη απόφαση στη διαδικασία παραγωγής, καθώς επηρεάζεται από πλήθος τεχνικών και λειτουργικών παραμέτρων, όπως το είδος του έργου, τα χρησιμοποιούμενα υποστρώματα, ο τρόπος εφαρμογής του μελανιού και τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Παράγοντες όπως ο όγκος παραγωγής, η επιθυμητή ανάλυση, η ταχύτητα εκτύπωσης, η υφή και η ανθεκτικότητα της εκτυπωμένης επιφάνειας καθώς και το κόστος, διαμορφώνουν το πλαίσιο επιλογής της εκάστοτε τεχνολογίας (Wolanowska, 2025). Σημαντικό κριτήριο διαφοροποίησης μεταξύ των μεθόδων εκτύπωσης αποτελεί η ύπαρξη και η λειτουργία του βοηθητικού μέσου μεταφοράς της εικόνας στο υπόστρωμα, όπως κλισέ, κύλινδροι, πλάκες κλπ. Η χρήση ή μη τέτοιων μέσων επηρεάζει τόσο τον βαθμό προετοιμασίας της διαδικασίας όσο και τη δυνατότητα ενσωμάτωσης καινοτομιών που στοχεύουν στη μείωση των επιμέρους σταδίων και του χρόνου ρύθμισης. Με βάση το κριτήριο αυτό, οι επικρατέστερες τεχνικές εκτύπωσης κατηγοριοποιούνται στις παρακάτω διακριτές ομάδες, γεγονός που επιτρέπει τη συστηματική σύγκριση και

αξιολόγησή τους ως προς την καταλληλότητά εφαρμογής σε διαφορετικά παραγωγικά περιβάλλοντα (Print24 Journal, n.d).

- Τυπογραφία, Φλεξογραφία (Υψιτυπία)
- Λιθογραφία - Offset (Επιπεδοτυπία)
- Βαθυτυπία (Εγχάρακτος Κύλινδρος)
- Μεταξοτυπία (Διάτρητη Πλάκα)
- Εκτύπωση Ταμπόν

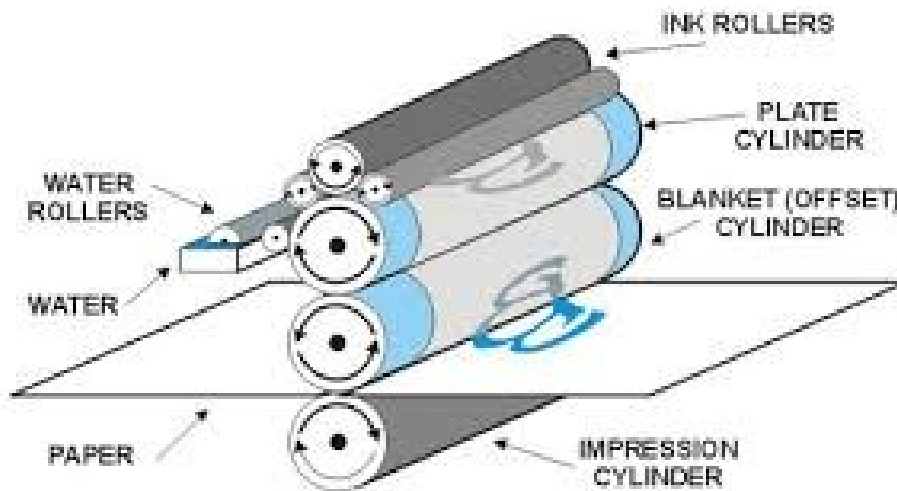
Εκτύπωση χωρίς τη χρήση βοηθητικού μέσου

- Ψηφιακή εκτύπωση

Στη βιομηχανία εκτύπωσης και μεταποίησης συσκευασίας, κυρίαρχη θέση κατέχουν τα συστήματα εκτύπωσης της βαθυτυπίας και φλεξογραφίας, τα οποία έχουν αναπτυχθεί ειδικά για συνεχή παραγωγή σε ρολά και για εκτύπωση σε εύκαμπτα υποστρώματα σε μεγάλα τираζ με σύνθετες δομές. Η βαθυτυπία χαρακτηρίζεται από υψηλή ποιότητα εικόνας και σταθερότητα σε μεγάλες εκτυπωτικές σειρές, γεγονός που την καθιστά ιδιαίτερα κατάλληλη για εύκαμπτες συσκευασίες μεγάλου όγκου. Αντίστοιχα, η φλεξογραφία προσφέρει ευελιξία, προσαρμοστικότητα και χαμηλότερο κόστος προετοιμασίας, στοιχεία που ευνοούν την παραγωγή ποικίλων τύπων συσκευασίας. Και τα δύο συστήματα ενσωματώνουν σύγχρονες μηχανολογικές και ψηφιακές λύσεις που βελτιώνουν τον έλεγχο της διαδικασίας και την ποιότητα του τελικού προϊόντος (Kirphan, 2001). Παρόλη την τεχνολογική υπεροχή που εμφανίζει η ψηφιακή εκτύπωση πλέον, τα χαρακτηριστικά της και η ποιότητα απόδοσης της δεν συμβαδίζουν με τα βιομηχανικά πρότυπα καθώς η παραγωγικότητα της είναι αντιστρόφως ανάλογη με την απόδοση ποιότητας. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος εφαρμογής υβριδικών καινοτομιών σε συμβατικές μεθόδους όπου η εισαγωγή στην ψηφιοποίηση κατάφερε να εκσυγχρονίσει και να ενσωματώσει στη φιλοσοφία του industry 4 την ίδια την βιομηχανία εκτύπωσης.

2.2.1 Υψιτυπία, Letterpress Printing – Τυπογραφία, Φλεξογραφία (Flexography)

Η υψιτυπία με την πιο γνωστή μέθοδο που είναι η τυπογραφία αποτελεί την παλαιότερη μηχανική μέθοδο εκτύπωσης, κατά την οποία το μελάνι εφαρμόζεται στις ανάγλυφες περιοχές μιας εκτυπωτικής πλάκας και μεταφέρεται με πίεση στο χαρτί ή άλλο υπόστρωμα (όπως φαίνεται στην εικόνα 3). Η τεχνική αυτή, έχει αφετηρία στα πιεστήρια του Γουτεμβέργιου, παρόλο που σαν τεχνική υπήρχε από την αρχαιότητα. Προσφέρει καθαρή αποτύπωση κειμένου και σταθερότητα στην παραγωγή (Meggs & Purvis, 2016). Η τεχνική αυτή κυριάρχησε για αιώνες στην παραγωγή βιβλίων, εφημερίδων και περιοδικών. Αν και έχει πλέον αντικατασταθεί από σύγχρονες μεθόδους, παραμένει σήμερα κυρίως για καλλιτεχνικές εκτυπώσεις και τυπογραφικές εφαρμογές μικρής κλίμακας (Κασιμάτη, n.d.).



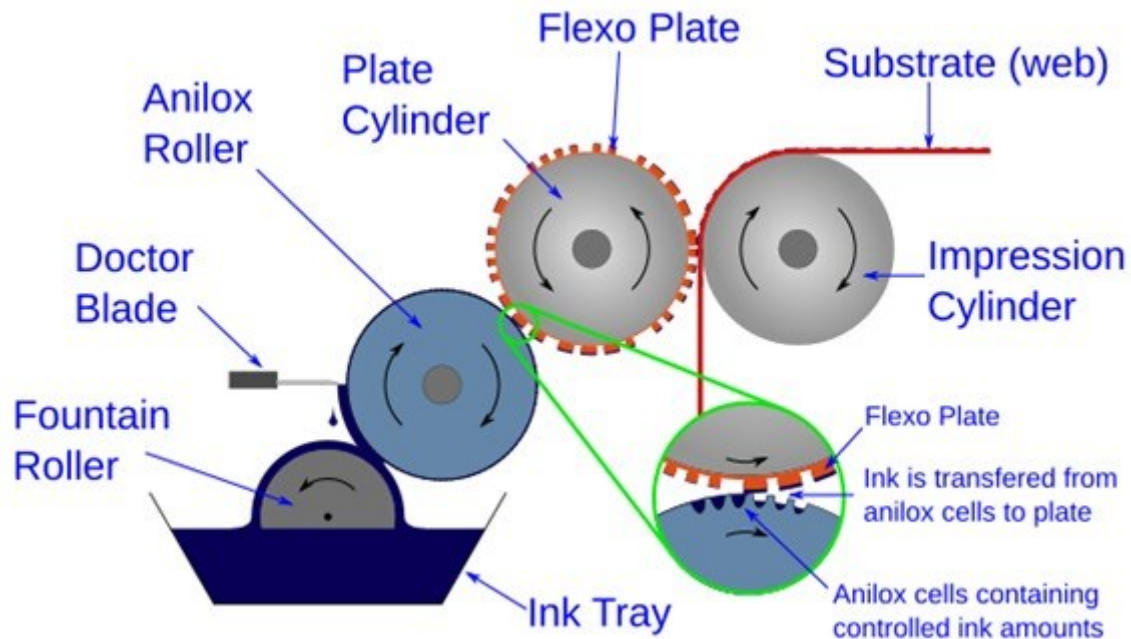
Εικόνα 3. LetterPress Printing

Note: [Qualities of Letterpress: How is it Different from Other Printing Methods? - theharebrainedpressproject](https://theharebrainedpressproject.com/qualities-of-letterpress-how-is-it-different-from-other-printing-methods/)

Η φλεξογραφία αποτελεί μια προηγμένη παραλλαγή της υψιτυπίας που χρησιμοποιεί εύκαμπτες εκτυπωτικές πλάκες «κλισέ» από καουτσούκ ή φωτοπολυμερές. Το μελάνι εφαρμόζεται μέσω κυλίνδρου και μεταφέρεται στα κλισέ, τυπώνοντας πάνω στο υπόστρωμα (όπως φαίνεται στην εικόνα 4). Χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία

συσκευασίας και ετικετών, ειδικά για εκτυπώσεις σε πολυμερή υλικά και χαρτί (Print24 Journal, n.d). Πρόκειται για ταχύτατη μέθοδο που επιτρέπει την εκτύπωση σε ποικιλία υλικών, ενώ τα τελευταία χρόνια η εξέλιξη των παραγόμενων ψηφιακά κλισέ έχει βελτιώσει σημαντικά την ποιότητα της εικόνας. Αποτελεί σήμερα μία από τις πιο δημοφιλείς τεχνικές στη βιομηχανία συσκευασίας τροφίμων και υγιεινής (Romano, 2014).

Τα πλεονεκτήματά της είναι η ευελιξία, η δυνατότητα εκτύπωσης σε μη απορροφητικά υλικά και η υψηλή ταχύτητα παραγωγής.



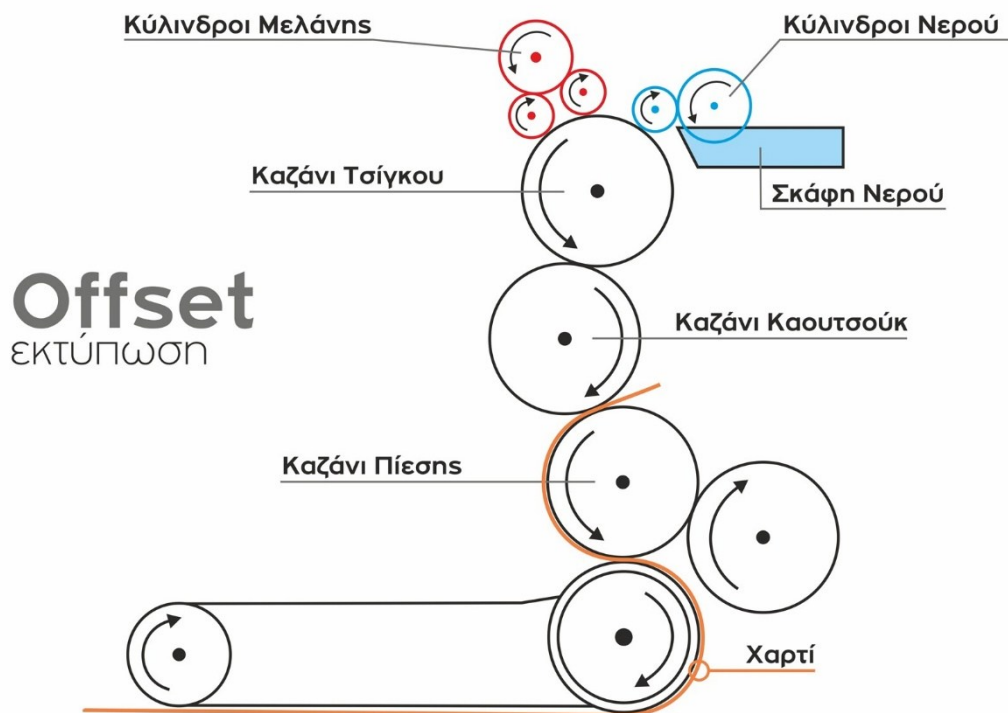
Εικόνα 4. Flexography Printing

Note: [Flexo Printing: A Breakdown of the Press & Process | BR Printers](#)

2.2.2 Επιπεδοτυπία, Λιθογραφία - Offset Εκτύπωση (Offset Lithography)

Βασικό γνώρισμα της επιπεδοτυπίας αποτελεί ότι οι εκτυπώσιμες και οι μη εκτυπώσιμες περιοχές βρίσκονται στο ίδιο υψομετρικό επίπεδο, χωρίς να παρατηρείται διαφοροποίηση ύψους. Η μέθοδος αποτελεί εξέλιξη της λιθογραφικής εκτύπωσης, η οποία αρχικά εφαρμόστηκε ως άμεση τεχνική εκτύπωσης και στη συνέχεια εξελίχθηκε

σε έμμεση. Η λειτουργία της βασίζεται στη φυσικοχημική αρχή της αμοιβαίας απόθησης νερού και λιπαρών ουσιών, μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η μεταφορά του μελανιού. Ο φορέας εκτύπωσης υφίσταται ειδική χημική κατεργασία, έτσι ώστε το λιπαρό μελάνι να προσκολλάται επιλεκτικά στις αντίστοιχες επιφάνειες, ενώ απομακρύνεται από εκείνες που συγκρατούν υγρασία. Στη συνέχεια, η εικόνα μεταφέρεται έμμεσα στο εκτυπωτικό υπόστρωμα μέσω κυλίνδρου καλυμμένου με ελαστικό μέσο (offset blanket) (όπως φαίνεται και στην εικόνα 5) (Print24 Journal, n.d).



Εικόνα 5. Offset Printing

Note: Εκτύπωση Offset - kartomania.gr - The printing company

Η μέθοδος της λιθογραφίας επινοήθηκε το 1796 από τον Alois Senefelder. Εξελέχθηκε στις αρχές του 20ού αιώνα στη λεγόμενη Offset εκτύπωση (Parramon, 2015). Θεωρείται μια από τις επικρατέστερες μεθόδους εμπορικής εκτύπωσης παγκοσμίως. Διακρίνεται για την υψηλή ποιότητα, ταχύτητα. Ενδείκνυται σε μεγάλες παραγωγές. Παρουσιάζει ακρίβεια απόδοσης χρωμάτων και καλύπτει αρκετά μεγάλη γκάμα υλικών εφαρμογής. Η

επίπεδη εκτύπωση παρέχει τη δυνατότητα χρήσης πολλαπλών χρωμάτων, καθώς και εκτύπωσης και στις δύο όψεις του υλικού στο πλαίσιο μίας ενιαίας παραγωγικής διαδικασίας. Χρησιμοποιείται ευρέως στην παραγωγή βιβλίων, περιοδικών, εφημερίδων και έντυπων marketing ενώ έχει μια αρκετά μεγάλη συμμετοχή και στον κλάδο της συσκευασίας (Grafo, 2018).

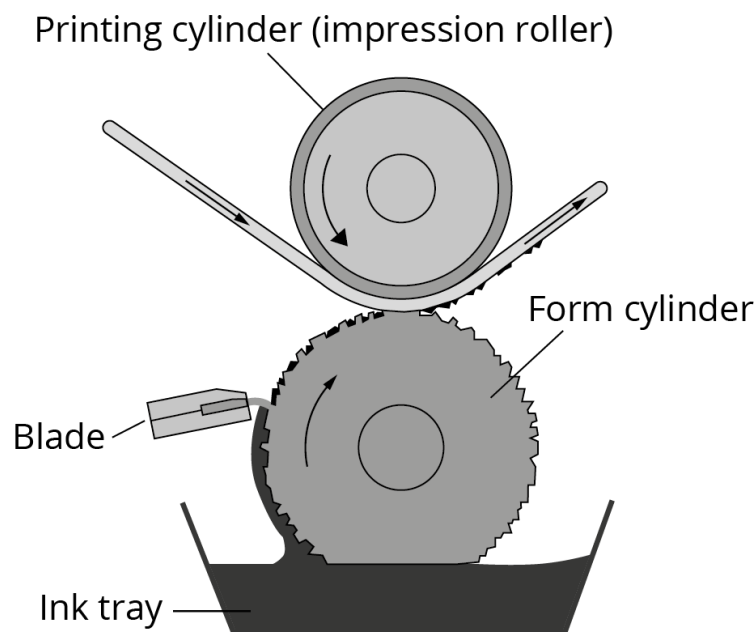
Η εκτύπωση offset σημείωσε σημαντική τεχνολογική πρόοδο και πέρασε στην ηλεκτρονική εποχή από το 1980 και έπειτα όπου ενώθηκε με τη φωτοστοιχειοθεσία μέσω υπολογιστή, με τον τρόπο αυτό προβάλλει εικόνες στηλών κειμένου σε φωτοευαίσθητο χαρτί. Οι εικονογραφήσεις μεγεθύνονται φωτογραφικά και προστίθενται ανάλογα με τις ανάγκες (Αζάρμσα, 2003). Η τεχνολογία Offset, χάρη στη σταθερότητα και την ευελιξία της, εξακολουθεί να αποτελεί τη βάση της εκτυπωτικής βιομηχανίας, σταδιακά αναβαθμίζεται συμπληρώνεται και εμπλουτίζεται σε νέα υβριδικά συστήματα εκτύπωσης.

2.2.3 Βαθυτυπία (Gravure Printing)

Η απαρχή της εκτύπωσης με “γκραβούρα” τοποθετείται στον 19ο αιώνα και συνδέεται άμεσα με την ανάπτυξη της τεχνικής της βαθυτυπίας, η οποία αποδίδεται στον Karel Klíč το 1890. Στα πρώτα στάδια εφαρμογής της, η μέθοδος περιοριζόταν κυρίως σε μικρής κλίμακας παραγωγές. Εντούτοις, η τεχνολογική πρόοδος που σημειώθηκε κατά τη διάρκεια του 20ού αιώνα συνέβαλε καθοριστικά στη μετάβασή της προς τη μαζική εκτύπωση, γεγονός που ευνόησε την ευρύτερη αξιοποίησή της σε τομείς όπως η συσκευασία και οι εκδοτικές εφαρμογές. Η πορεία εξέλιξης της αντικατοπτρίζει τις γενικότερες μεταβολές τόσο στον τεχνολογικό τομέα όσο και στις ανάγκες της αγοράς. Ιδιαίτερα κατά τις δεκαετίες του 1950 και 1960, η μέθοδος γνώρισε εκτεταμένη εφαρμογή και ανάπτυξη, ανταποκρινόμενη στην αυξανόμενη ζήτηση για καταναλωτικά προϊόντα και για εκτυπώσεις υψηλών ποιοτικών προδιαγραφών στη συσκευασία (Desai, 2026).

Η βαθυτυπία, όπως φανερώνει και η ονομασία της στηρίζεται στην χρήση της εγχαραγμένης επιφάνειας μεταλλικού επιχάλκωμένου και επιχρωμιωμένου κυλίνδρου, που αποτελεί και το βοηθητικό μέσο εκτύπωσης, όπου τα χαραγμένα σημεία, σε

κατάλληλο σχήμα και διάταξη, καθώς και με συγκεκριμένο βάθος ανάλογα το επιθυμητό αποτέλεσμα συγκρατούν το μελάνι και το μεταφέρουν στο υπόστρωμα μέσω πίεσης. Βασικά στοιχεία της τεχνικής της βαθυτυπίας (όπως φαίνονται και στην εικόνα 6), αποτελεί ο κύλινδρος, το μελάνι, το μαχαίρι καθαρισμού «doctor blade» και το μέσο ξήρανσης που αποτελεί ο εκτυπωτικός πύργος. Πρόκειται για μέθοδο μεγάλης ακρίβειας, κατάλληλη για βιομηχανικές εκτυπώσεις και εκτυπώσεις μεγάλης διάρκειας και όγκου, έντυπα, περιοδικά, καταλόγους και κυρίως εύκαμπτες συσκευασίες. Πλεονεκτεί στην ποιότητα των χρωμάτων και στη σταθερότητα των αποχρώσεων, γεγονός που την καθιστά ιδανική για προϊόντα όπου απαιτείται ομοιομορφία και αισθητική συνέπεια (Bobst, n.d.).



Εικόνα 6. Rotogravure Printing

Note: [ROTOGRAVURE PRINTING - ServoArtpack](#)

Η βαθυτυπία χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία εύκαμπτης συσκευασίας καθώς προσφέρει σταθερή ποιότητα με πλούσια γκάμα επιλογών σε διάφορα υλικά υποστρωμάτων, ειδικότερα όσων αφορά τις λύσεις εύκαμπτων βιώσιμων υλικών που αναπτύσσονται. Δίνεται η δυνατότητα ευκρινούς εκτύπωσης και απόδοσης χρωμάτων,

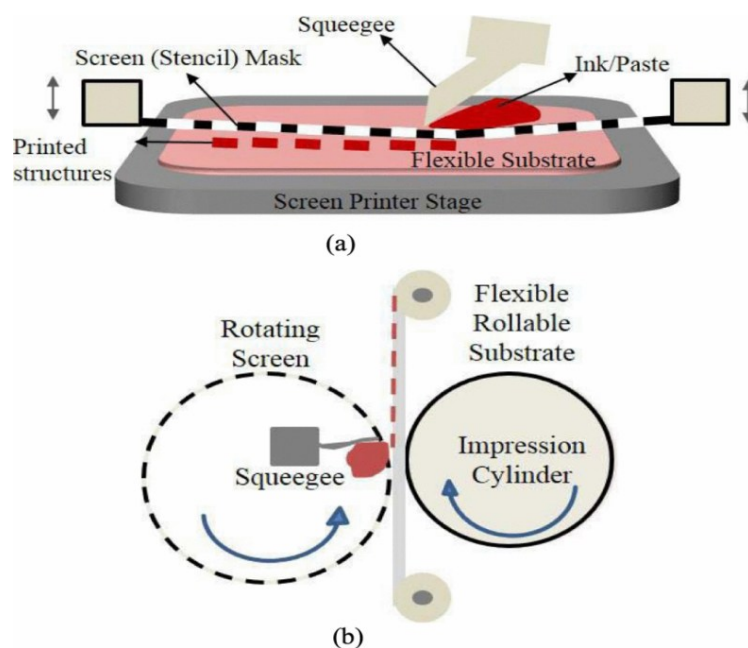
με τη χρήση τόσο Online όσο και offline μεθόδων ελέγχου καθώς και δυνατότητα παραγωγής τεράστιων τონάζ σε μεγάλες ταχύτητες, στοιχείο άκρως επιθυμητό για τη σχέση ανταγωνισμού σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μεθόδους εκτύπωσης. Στη σύγχρονη εποχή, η μέθοδος της βαθυτυπίας διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη βιομηχανία εκτύπωσης, ενσωματώνοντας νεότερες τεχνολογικές προσεγγίσεις, όπως η ψηφιοποίηση και αυτοματοποίηση, οι οποίες διευρύνουν περαιτέρω το πεδίο εφαρμογής της. Μέσα από αυτή τη διαχρονική εξέλιξη, η εκτύπωση με βαθυτυπία έχει μετασχηματιστεί από μια εξειδικευμένη διαδικασία σε μία από τις κυρίαρχες μεθόδους εκτύπωσης, κυρίως λόγω της υψηλής αποδοτικότητας και της ανώτερης ποιότητας που προσφέρει. Η προσαρμοστικότητά της στις σύγχρονες εκτυπωτικές απαιτήσεις, καθώς και στις σύγχρονες στρατηγικές βιωσιμότητας, διασφαλίζει τη διαρκή επικαιρότητά της (Desai, 2026).

2.2.4 Μεταξοτυπία (Screen Printing)

Η τεχνική της μεταξοτυπίας μεταφέρθηκε στη Δυτική Ευρώπη από την Ασία στα τέλη του 18ου αιώνα, η διάδοσή της παρέμεινε περιορισμένη για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η ευρύτερη αποδοχή της μεθόδου στην ευρωπαϊκή ήπειρο κατέστη δυνατή μόνον όταν το μεταξωτό πλέγμα άρχισε να διατίθεται ευκολότερα μέσω εμπορικών δικτύων από την Ανατολή και όταν έγιναν αντιληπτές οι εφαρμογές της με οικονομικό και παραγωγικό ενδιαφέρον. Αρχές της δεκαετίας του 1910, τυπογράφοι που διερευνούσαν τη χρήση φωτοαντιδραστικών χημικών ενώσεων αξιοποίησαν τις ιδιότητες σκλήρυνσης ουσιών ενεργοποιούμενων από την ακτινοβολία, όπως τα άλατα χρωμικού καλίου, νατρίου και αμμωνίου, σε συνδυασμό με συγκολλητικά υλικά και ενώσεις ζελατίνης. Στο πλαίσιο αυτό, οι Roy Beck, Charles Peter και Edward Owens πραγματοποίησαν συστηματικά πειράματα με γαλακτώματα, με άλατα χρωμικού οξέος, συμβάλλοντας καθοριστικά στην ανάπτυξη φωτοαντιδραστικών στένσιλ. Η συμβολή τους θεωρείται κομβικής σημασίας για τον μετασχηματισμό της εμπορικής μεταξοτυπίας, καθώς εισήγαγαν τη δυνατότητα αναπαραγωγής φωτογραφικών εικόνων. Στη σύγχρονη πρακτική, η εμπορική μεταξοτυπία βασίζεται σε ευαισθητοποιητές σημαντικά ασφαλέστερους και λιγότερο τοξικούς σε σύγκριση με τις παλαιότερες διχρωμικές ενώσεις, ενώ διατίθεται πλέον ευρύ

φάσμα προευσθητοποιημένων ή επιτόπου παρασκευαζόμενων χημικών γαλακτωμάτων για τη δημιουργία φωτοαντιδραστικών στένσιλ. Παράλληλα, κατά τη δεκαετία του 1930, μια ομάδα καλλιτεχνών που αργότερα συγκρότησε την Εθνική Εταιρεία Μεταξοτυπίας, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται οι Max Arthur Cohn, Anthony Velonis και Hyman Warsager, εισήγαγε τον όρο «μεταξοτυπία» προκειμένου να διακριθεί η καλλιτεχνική αξιοποίηση της τεχνικής από τις βιομηχανικές εφαρμογές της (Bommineedi και συν. 2023).

Η μεταξοτυπία χρησιμοποιεί ένα τεντωμένο πλέγμα (screen) μέσα από το οποίο περνά το μελάνι στα σημεία που δεν καλύπτονται από το φωτοευαίσθητο φιλμ (όπως φαίνεται στην εικόνα 7a). Πρόκειται για εξαιρετικά ευέλικτη μέθοδο η οποία απέκτησε βιομηχανικό χαρακτήρα χάρη στην δυνατότητα συνεχούς παραγωγής με την χρήση κυλίνδρου (rotating screen) (όπως φαίνεται και στην εικόνα 7b) (Dunlop-Potts, 2020).



Εικόνα 7. Screen Printing

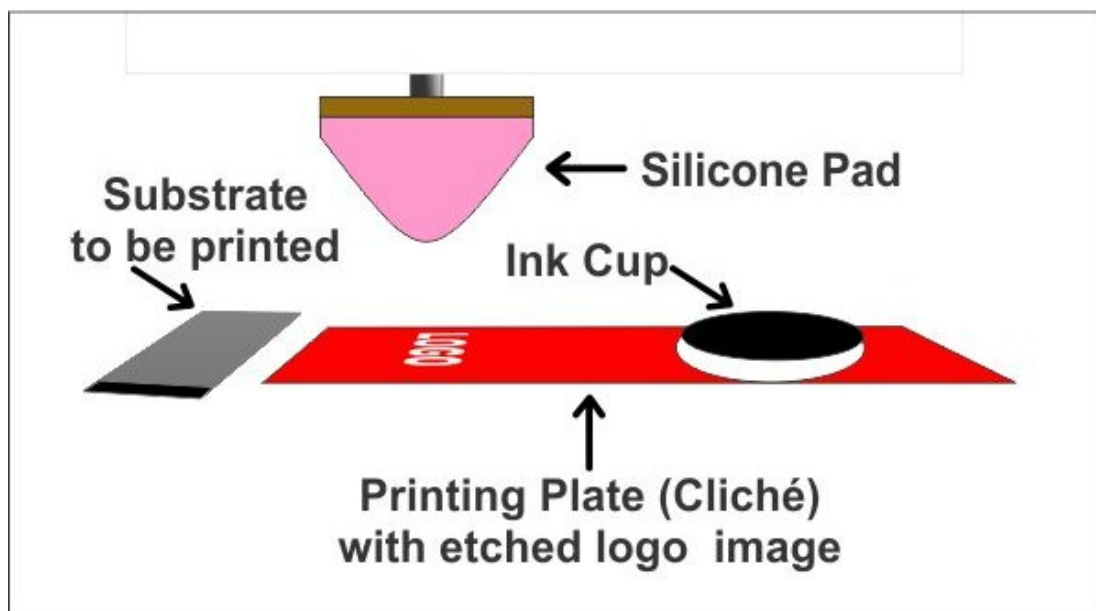
Note: [\(a\) The flatbed Screen printing with planar substrates under screen and...](#) | [Download Scientific Diagram](#)

Χρησιμοποιείται ευρέως στη διακόσμηση, την ένδυση, τη σήμανση προϊόντων, καθώς και στις λειτουργικές εκτυπώσεις (π.χ. αγωγή μελάνια για ηλεκτρονικά κυκλώματα). Χρησιμοποιείται σε διάφορα υλικά, όπως ύφασμα, γυαλί, πλαστικό και μέταλλο. Παρότι θεωρείται παλαιότερη μέθοδος, εξακολουθεί να έχει σημαντική εμπορική και διακοσμητική αξία, ειδικά για εκτυπώσεις πολυτελείας, διαφημιστικές εφαρμογές και ειδικές ετικέτες. Αν και είναι πιο αργή σε σχέση με τις υπόλοιπες μηχανικές μεθόδους, προσφέρει εξαιρετική κάλυψη χρώματος και έντονο οπτικό αποτέλεσμα (Meggs & Purvis, 2016).

2.2.5 Εκτύπωση Ταμπόν (Pad Printing)

Η εκτύπωση με ταμπόν (Pad Printing), γνωστή και ως ταμπογραφία, αποτελεί μια εξειδικευμένη τεχνική έμμεσης εκτύπωσης, η οποία διαφοροποιείται σημαντικά από τις υπόλοιπες μεθόδους ως προς την ικανότητά της να αποδίδει ευκρινείς και λεπτομερείς εικόνες σε μη επίπεδες επιφάνειες (Waykenrm, 2024). Η μέθοδος εκτύπωσης με ταμπόν (Pad Printing) αναπτύχθηκε στην Ελβετία κατά τα τέλη του 19ου αιώνα. Αντλεί στοιχεία από προϋπάρχουσες τεχνικές εκτύπωσης, όπως η μεταξοτυπία, η εκτύπωση με ελαστική σφραγίδα και η φωτομηχανική εκτύπωση. Μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1970, η χρήση της εκτύπωσης με ταμπόν δεν ήταν διαδεδομένη στον ευρωπαϊκό χώρο. Η εισαγωγή σχετικού εξοπλισμού στη Βόρεια Αμερική από επιλεγμένους κατασκευαστές συνέβαλε στη σταδιακή εξάπλωσή της, οδηγώντας σε έντονο ανταγωνισμό με άλλες μεθόδους βιομηχανικής εφαρμογής, όπως η μεταξοτυπία. Καθώς αναγνωρίστηκαν τα λειτουργικά της πλεονεκτήματα, διαμορφώθηκε μια εξειδικευμένη αγορά, η οποία εξελίχθηκε ταχύτατα σε αυτόνομο βιομηχανικό κλάδο. Ειδικότερα, η δυνατότητα ταχύτερης συνεχούς παραγωγής, η μειωμένη κατανάλωση υλικών και η αποτελεσματική εκτύπωση σε τρισδιάστατα αντικείμενα με σύνθετη γεωμετρία κατέστησαν την τεχνική ιδιαίτερα ελκυστική για πλήθος εφαρμογών. Η δυναμική ανάπτυξη του κλάδου αποτυπώθηκε και σε θεσμικό επίπεδο, καθώς από τις αρχές της δεκαετίας του 1990 οργανισμοί που σχετίζονταν με τη μεταξοτυπία διεύρυναν το αντικείμενό τους, ενσωματώνοντας και την εκτύπωση με ταμπόν στις δραστηριότητές τους.

Στα αρχικά στάδια εφαρμογής της, η διαδικασία βασιζόταν στη χάραξη εσοχών σε χάλκινες πλάκες. Οι πλάκες επικαλύπτονταν με μελάνι, το οποίο στη συνέχεια απομακρυνόταν από την επιφάνεια, παραμένοντας μόνο στις χαραγμένες περιοχές. Ένα ελαστικό ταμπόν συμπιεζόταν διαδοχικά πάνω στην πλάκα και στο εκτυπωτικό υπόστρωμα, επιτυγχάνοντας τη μεταφορά της εικόνας, διαδικασία που παρουσιάζει λειτουργικές ομοιότητες με την εκτύπωση μέσω σφραγίδας (Kaverman, 1999). Σε αντίθεση με τη μεταξοτυπία, που εφαρμόζεται αποκλειστικά σε επίπεδα υποστρώματα, η ταμπογραφία επιτρέπει την εκτύπωση σε αντικείμενα με καμπύλες, εσοχές ή κυρτότητες, αξιοποιώντας ένα εύκαμπτο ταμπόν από πυρίτιο το οποίο προσαρμόζεται στη μορφολογία του υποστρώματος χωρίς να αλλοιώνει την ποιότητα της εκτύπωσης (όπως φαίνεται στην εικόνα 8). Η ιδιαιτερότητα αυτή προσδίδει στη μέθοδο σημαντικό πλεονέκτημα σε βιομηχανικές εφαρμογές όπου απαιτείται ακρίβεια, λεπτομέρεια και αισθητική συνέπεια, όπως στην παραγωγή ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, διακοσμητικών αντικειμένων ή πλαστικών με περίπλοκη γεωμετρία (Waykenrm, 2024).



Εικόνα 8. Pad Printing

Note: [What is Pad Printing / How it Works](#)

Χαρακτηρίζεται από χαμηλότερο λειτουργικό κόστος και υψηλή ταχύτητα παραγωγής, καθιστώντας την μια οικονομικά αποδοτική επιλογή σε σύγκριση με τη μεταξοτυπία. Η ικανότητά της να επιτυγχάνει υψηλής ποιότητας εκτυπώσεις σε μικρές ή ανώμαλες επιφάνειες την καθιστά ιδιαίτερα ανταγωνιστική, σε ορισμένες περιπτώσεις, ανώτερη ως προς την ποιότητα και την ακρίβεια της εκτύπωσης. Η εκτύπωση με ταμπόν αποτελεί μια τεχνολογικά ευέλικτη και συμπληρωματική μέθοδο εκτύπωσης, ικανή να καλύψει το κενό που υφίσταται μεταξύ των συμβατικών τεχνικών επίπεδης εκτύπωσης και των σύγχρονων απαιτήσεων για προσαρμογή σε τρισδιάστατες επιφάνειες (Waykenrm, 2024). Η εκτύπωση με ταμπόν αποτελεί συνδυασμό τεχνικής δεξιοτήτας και επιστημονικής γνώσης. Αν και δεν απαιτείται εξειδικευμένο υπόβαθρο σε άλλες εκτυπωτικές διαδικασίες ή στη χημεία, η επιτυχής εφαρμογή της προϋποθέτει κατανόηση της λειτουργίας της διαδικασίας και έλεγχο των κρίσιμων παραμέτρων που επηρεάζουν την εκτυπωτική εφαρμογή.

Αξιοσημείωτη είναι η σταδιακή αναβάθμιση της μεθόδου όπως είναι η κάθετης, οριζόντιας και περιστροφικής διάταξης καθώς και η ενσωμάτωση των σύγχρονων καινοτομιών τόσο στην προσπάθεια εκσυγχρονισμού της μεθοδολογίας όσο και στην προσπάθεια τελειοποίησης αλλά και απλοποίησης της βιομηχανικής μεθόδου στα πλαίσια της εισαγωγής της ψηφιοποίησης του Industrial 4.0. (Kaverman, 1999).

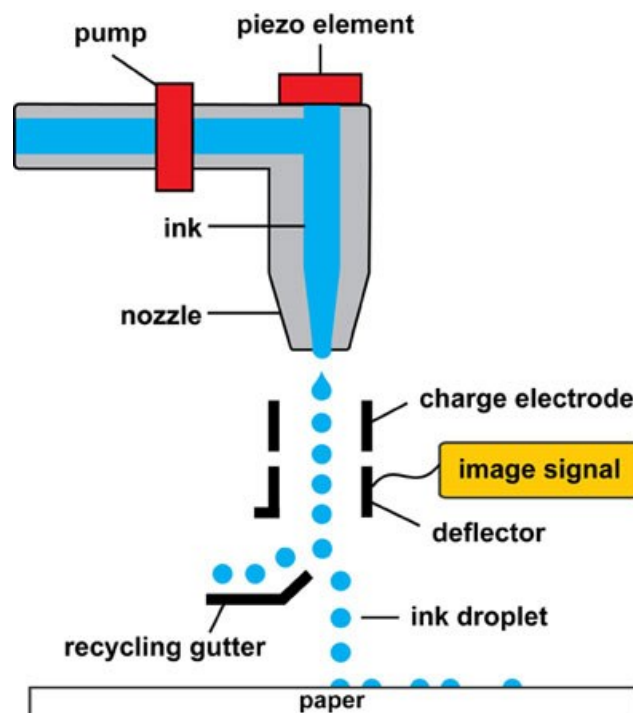
2.2.6 Ψηφιακή Εκτύπωση (Digital Printing)

Από τη δεκαετία του 1990 και έπειτα, η ψηφιακή εκτύπωση έχει εδραιωθεί ως σημαντικά ανερχόμενη μέθοδος στην εκτυπωτική αγορά, γεγονός που δικαιολογείται από το ιδιαίτερα περιορισμένο επίπεδο ανταγωνισμού που αντιμετωπίζει, ιδίως στον τομέα των μικρών τираζ. Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες συμβατικές εκτυπωτικές τεχνικές, η ψηφιακή εκτύπωση δεν προϋποθέτει την ύπαρξη βοηθητικού μέσου εκτύπωσης για την απόθεση του μελανιού, με αποτέλεσμα να εξαλείφεται η ανάγκη για χρονοβόρες προπαρασκευαστικές διαδικασίες και εξειδικευμένο εξοπλισμό. Καθίσταται δυνατή η παραγωγή εκτυπώσεων ακόμη και εξαιρετικά περιορισμένου αριθμού αντιτύπων, έως και ενός μοναδικού τεμαχίου, με ελάχιστο κόστος και οργανωτική επιβάρυνση. Πρακτικά η

εικόνα μεταφέρεται απευθείας από ψηφιακό αρχείο στο υπόστρωμα με τη χρήση τεχνολογιών inkjet ή laser (Print24 Journal, n.d.).

Inkjet Printing (Μέθοδος Εκτύπωσης Ψεκασμού)

Η εκτύπωση επιτυγχάνεται μέσω μικροσκοπικών ακροφυσίων που ψεκάζουν σταγονίδια μελανιού με ακρίβεια πάνω στο υλικό (όπως φαίνεται στην εικόνα 9). Χρησιμοποιείται ευρέως σε παραγωγή ετικετών, προσωποποιημένες εκτυπώσεις και ειδικές εφαρμογές στη συσκευασία.



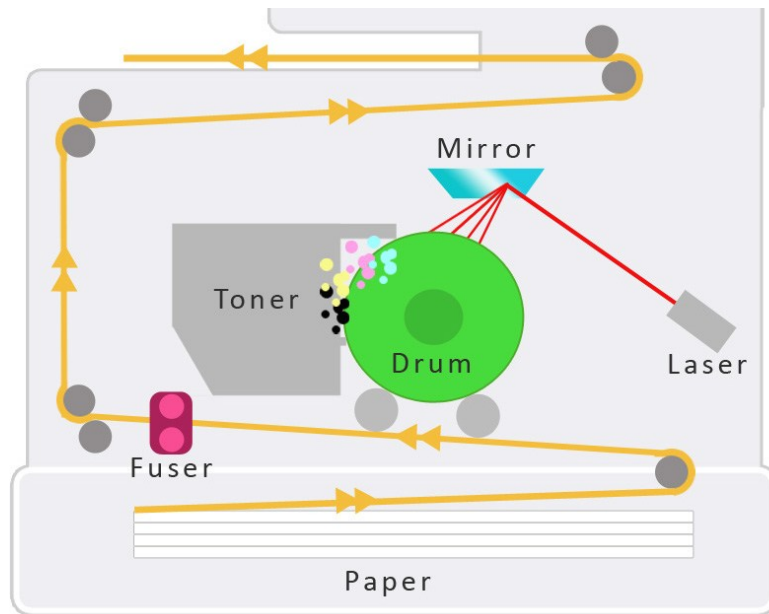
Εικόνα 9. Inkjet Digital Printing

Note: [Ink Jet Printing Methods High Resolution CIJ Printers For Codes And](#)

Laser Printing (Ηλεκτροφωτογραφική Εκτύπωση).

Βασίζεται στη εφαρμογή δέσμης λέιζερ για τη δημιουργία του σχεδίου πάνω σε τύμπανο, το οποίο στη συνέχεια μεταφέρει το μελάνι στο προς εκτύπωση υπόστρωμα (όπως

φαίνεται στην εικόνα 10). Εξασφαλίζει υψηλή ταχύτητα και ανώτερη ποιότητα εκτύπωσης.



Εικόνα 10.Laser Digital Printing

Note: [Best Laser Printers For Home Office in 2026](#)

Η εφαρμογή της ψηφιακής τεχνολογίας εκτύπωσης στη συσκευασία επιτρέπει τη δημιουργία μεταβλητών δεδομένων (Variable Data printing), όπου κάθε προϊόν μπορεί να φέρει μοναδικό σχέδιο, γραμμοτό κώδικα ή μήνυμα. Αυτή η δυνατότητα είναι ιδιαίτερα σημαντική για το προσωποποιημένο marketing και τη διαδραστική επικοινωνία με τον καταναλωτή (Brett, 2018). Αποτελεί καινοτομία που αν και με ευκολία εφαρμόστηκε στη μέθοδο της ψηφιακής εκτύπωσης, η εφαρμογή του στις υπόλοιπες συμβατικές μεθόδους φάνταζε αδύνατη, παρόλα αυτά πολλές καινοτομίες της ψηφιακής μεθόδου αποτέλεσαν έμπνευση και ανάπτυξη έρευνας και εφαρμογής στον εκσυγχρονισμό των υπόλοιπων συμβατικών μεθόδων και ιδιαίτερα της βαθυτυπίας για την βιομηχανική εφαρμογή παραγωγής της συσκευασίας.

Η ψηφιακή μέθοδος εκτύπωσης επιτρέπει παραγωγές μικρού τιράζ, προσωποποιημένα προϊόντα και παραγωγή κατ' απαίτηση, μειώνοντας τα αποθέματα και τους χρόνους

προετοιμασίας. Επιπλέον, η ψηφιακή εκτύπωση ενσωματώνεται ολοένα και περισσότερο στις βιομηχανικές διαδικασίες, προσφέροντας λύσεις για έξυπνες συσκευασίες, μεταβλητά δεδομένα και διασύνδεση με ψηφιακές πλατφόρμες παραγωγής (Mejtoft, 2006).

Οι παραπάνω κατηγορίες εκτυπωτικών τεχνικών αποτυπώνουν τη διαχρονική εξέλιξη της τεχνολογίας και τη συνεχή προσαρμογή του εκτυπωτικού κλάδου στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις της αγοράς. Από την υψιτυπία που καθιερώθηκε με την εφεύρεση του Γουτεμβέργιου και τις παραδοσιακές αναλογικές μεθόδους, οι οποίες βασίζονται στη μηχανική αναπαραγωγή της εικόνας, έως τις σύγχρονες ψηφιακές τεχνολογίες που προσφέρουν δυνατότητες εξατομίκευσης και άμεσης διασύνδεσης με τις παραγωγικές διαδικασίες, η εκτύπωση διατηρεί τον ρόλο της ως βασική τεχνολογία επικοινωνίας και βιομηχανικής παραγωγής. Ιδιαίτερα στον τομέα της συσκευασίας, η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εκτύπωσης συνιστά καθοριστικό παράγοντα, επηρεάζοντας τη λειτουργικότητα, την αισθητική ποιότητα και την εμπορική ανταγωνιστικότητα του τελικού προϊόντος.

Η σε βάθος κατανόηση των ανωτέρω κατηγοριών καθίσταται ουσιώδης για την αποτίμηση της σύγχρονης συμβολής του εκτυπωτικού κλάδου στις βιομηχανικές εφαρμογές και στη συνολική εξέλιξη της εκτύπωσης. Η τρέχουσα εποχή χαρακτηρίζεται από την αυξανόμενη σύγκλιση της ψηφιακής ανάπτυξης τεχνολογιών βιομηχανικής παραγωγής, γεγονός που αναδιαμορφώνει τον ρόλο της εκτύπωσης. Έννοιες όπως η έξυπνη εκτύπωση, η εφαρμογή της Τεχνητής νοημοσύνης και λοιπές σύγχρονες καινοτομίες διευρύνουν το πεδίο εφαρμογής του κλάδου, ενσωματώνοντας πρακτικές που σχετίζονται με νέες καινοτομίες που συνάδουν με την εφαρμογή επιβολής του industrial 4.0, όπως είναι η προηγμένη ρομποτική, επεξεργασία δεδομένων και χρήση τεχνητής νοημοσύνης σε κάθε τομέα της παραγωγής. Οι τεχνολογικές αυτές εξελίξεις υπερβαίνουν πλέον τα όρια της συμβατικής παραγωγής απλών εφαρμογών και συμβάλλουν ενεργά στη διαμόρφωση της βιομηχανικής κουλτούρας του μέλλοντος (Kipphan, 2016).

2.3 Ο Ρόλος του Κλάδου των Εκτυπώσεων στις Βιομηχανικές

Εφαρμογές

Ο κλάδος των εκτυπώσεων αποτελεί διαχρονικά έναν από τους βασικούς πυλώνες της βιομηχανικής παραγωγής, καθώς συνδέεται άμεσα με την επικοινωνία, την τυποποίηση και την προστιθέμενη αξία των παραγόμενων προϊόντων. Από τις πρώιμες μορφές μηχανικής αναπαραγωγής έως τις σύγχρονες ψηφιακές και ευφυείς τεχνολογίες, η εκτύπωση έχει εξελιχθεί από μια απλή διαδικασία αναπαραγωγής πληροφορίας σε ένα πολύ λειτουργικό εργαλείο βιομηχανικής εφαρμογής (Kipphan, 2016).

Στο σύγχρονο βιομηχανικό περιβάλλον, η εκτύπωση δεν περιορίζεται πλέον στην παραγωγή εντύπων, αλλά ενσωματώνεται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών που αφορούν τη συσκευασία, την επισήμανση προϊόντων, τη διακόσμηση καθώς και τη λειτουργική εκτύπωση. Ιδιαίτερα στον τομέα της συσκευασίας, η εκτύπωση διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο, καθώς συμβάλλει όχι μόνο στην αισθητική προβολή του προϊόντος, αλλά και στη μετάδοση πληροφοριών, στη συμμόρφωση νομικών πλαισίων και στη διαφοροποίηση στην αγορά. Η επιλογή της κατάλληλης εκτυπωτικής μεθόδου επηρεάζει άμεσα την αποδοτικότητα της παραγωγής, το κόστος, την ποιότητα και τη βιωσιμότητα του τελικού προϊόντος (Kipphan, 2001).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η χρήση ψηφιακής εκτύπωσης για την παραγωγή προσωποποιημένων συσκευασιών και μικρών τираζ, ιδίως σε προϊόντα τροφίμων και καλλυντικών, όπου απαιτείται ευελιξία και άμεση προσαρμογή της παραγωγής (Mejtoft, 2006). Παράλληλα, η ανάπτυξη και εισαγωγή των ψηφιακών καινοτομιών έχει μετασχηματίσει ριζικά τον χαρακτήρα του εκτυπωτικού κλάδου στις βιομηχανικές εφαρμογές. Η ευελιξία αυτή ανταποκρίνεται στις σύγχρονες απαιτήσεις της αγοράς για ταχύτητα, προσαρμοστικότητα και συνεχή ανάπτυξη, ενισχύοντας τη διασύνδεση της εκτύπωσης με τα ψηφιακά συστήματα διαχείρισης παραγωγής. Ο κλάδος των εκτυπώσεων διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη μετάβαση προς τη βιομηχανία 4.0. Οι έννοιες της έξυπνης, λειτουργικής εκτύπωσης επεκτείνουν το πεδίο εφαρμογής του κλάδου πέρα από την οπτική επικοινωνία, ενσωματώνοντας στοιχεία όπως αισθητήρες και μέσα κατανόησης και αντίληψης που δε καθιστούν το προϊόν ως ένα παθητικό δέκτη καταγραφής αλλά ως πομπό το ίδιο ενεργό με την ανθρώπινη αντίληψη και αντίδραση.

Μέσω αυτών των τεχνολογιών εφαρμογής, η εκτύπωση συνδέεται με τη ρομποτική, την ανάλυση δεδομένων και την αυτοματοποίηση, συμβάλλοντας ενεργά στη δημιουργία ευφών γραμμών παραγωγής και καινοτόμων βιομηχανικών λύσεων (Romano, 2014).

Τέλος, ο ρόλος του εκτυπωτικού κλάδου αποκτά ιδιαίτερη σημασία και στο πλαίσιο της βιώσιμης ανάπτυξης. Η βελτιστοποίηση των εκτυπωτικών διαδικασιών, η μείωση της σπατάλης υλικών, η χρήση φιλικότερων προς το περιβάλλον μελανιών και υλικών υποστρωμάτων, καθώς και η δυνατότητα παραγωγής μόνο της απαιτούμενης ποσότητας, καθιστούν την εκτύπωση σημαντικό παράγοντα για την επίτευξη βιώσιμων βιομηχανικών πρακτικών (Kipphan, 2001).

Συνολικά, ο κλάδος των εκτυπώσεων αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο της σύγχρονης βιομηχανικής παραγωγής, εξελισσόμενος διαρκώς ώστε να ανταποκρίνεται στις τεχνολογικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές προκλήσεις. Η συμβολή του δεν περιορίζεται στην υποστήριξη της παραγωγής, αλλά επεκτείνεται στη διαμόρφωση καινοτόμων βιομηχανικών μοντέλων, καθιστώντας την εκτύπωση βασικό μοχλό ανάπτυξης και ανταγωνιστικότητας.

2.3.1 Η Εκτύπωση ως Κρίκος στη Βιομηχανική Αλυσίδα και η Σημασία της Εμπορικής Αξίας των Προϊόντων

Η εκτύπωση αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο της σύγχρονης βιομηχανικής αλυσίδας, λειτουργώντας είτε ως τελικό είτε ως ενδιάμεσο στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας του Converting. Σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανικών προϊόντων, από τις ετικέτες τροφίμων και ποτών έως τις συσκευασίες καταναλωτικών αγαθών και τα διαφημιστικά περιβλήματα, η εκτύπωση προσδίδει προστιθέμενη αξία τόσο σε λειτουργικό όσο και σε επικοινωνιακό επίπεδο. Μέσω της τυπογραφικής απεικόνισης πληροφοριών, γραφικών στοιχείων και εμπορικών συμβόλων, η εκτύπωση μετατρέπεται σε βασικό μηχανισμό διασύνδεσης μεταξύ παραγωγής, διακίνησης και κατανάλωσης.

Ιδιαίτερη σημασία αποκτά ο ρόλος της εκτύπωσης στη βιομηχανία συσκευασίας, όπου συνδυάζονται αυξημένες τεχνικές απαιτήσεις με στρατηγικούς στόχους εμπορικής επικοινωνίας. Η συσκευασία καλείται να εξασφαλίσει την προστασία του προϊόντος, τη

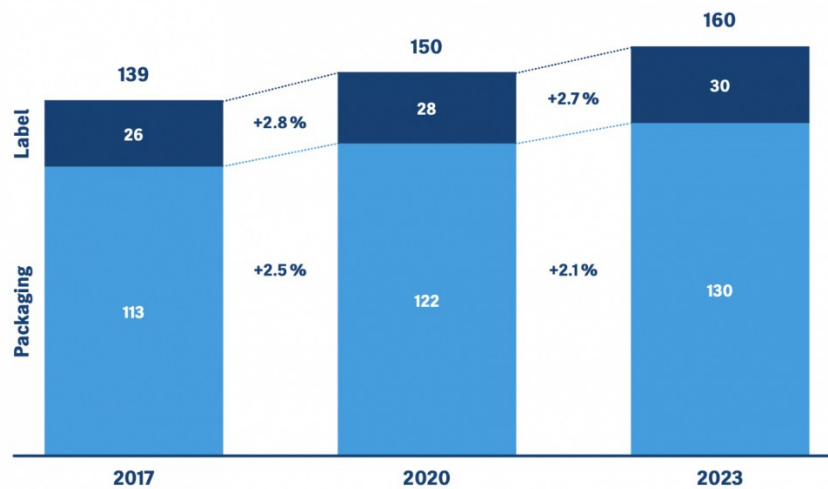
μηχανική αντοχή και τη διατήρηση της ποιότητας, ενώ ταυτόχρονα λειτουργεί ως φορέας πληροφόρησης, διαφοροποίησης και προώθησης. Η καθαρότητα της εικόνας, η χρωματική πιστότητα και η ανθεκτικότητα της εκτύπωσης αποτελούν κρίσιμους παράγοντες για την αποτελεσματική παρουσίαση του προϊόντος στο σημείο πώλησης. Ο κλάδος της συσκευασίας αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους τομείς εφαρμογής των εκτυπωτικών τεχνολογιών σε παγκόσμιο επίπεδο. Η εκτύπωση χρησιμοποιείται για την απεικόνιση λογοτύπων, γραφικών στοιχείων και υποχρεωτικών πληροφοριών, συμβάλλοντας στη διαδικασία ταυτοποίησης, ενημέρωσης και επηρεασμού της καταναλωτικής συμπεριφοράς (Kotler & Keller, 2016). Στη σύγχρονη αγορά, η εκτυπωμένη συσκευασία δεν εξυπηρετεί αποκλειστικά λειτουργικούς σκοπούς, αλλά ενσωματώνεται σε ολοκληρωμένες στρατηγικές επικοινωνίας και branding, προσδίδοντας ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στις επιχειρήσεις.

Η αξιοποίηση εκτυπωτικών τεχνικών όπως η φλεξογραφία και η βαθυτυπία επιτρέπει όπως προαναφέρθηκε, την παραγωγή πολύ μεγάλων τιράζ με υψηλή και σταθερή ποιότητα, διατηρώντας παράλληλα χαμηλό κόστος ανά μονάδα (Parramon, 2015). Στο πλαίσιο αυτό, η εκτύπωση λειτουργεί ως συνδετικός κρίκος μεταξύ της βιομηχανικής παραγωγής και των στρατηγικών marketing, μετατρέποντας τη συσκευασία σε μέσο έκφρασης της ταυτότητας του προϊόντος και του ίδιου του brand.

Η ιστορική εξέλιξη της συσκευασίας και των τεχνολογιών εκτύπωσης που τη συνοδεύουν έχει διαμορφώσει καθοριστικά την πορεία της βιομηχανικής παραγωγής. Η ανάπτυξη νέων υλικών, καινοτόμων εκτυπωτικών μεθόδων και προηγμένων μελανιών οδήγησε στη δημιουργία ενός σύνθετου βιομηχανικού οικοσυστήματος, στο οποίο αλληλεπιδρούν κλάδοι όπως η χημική βιομηχανία, η μηχανολογία, η γραφιστική και το marketing. Η εκτύπωση συσκευασίας δεν αποτελεί πλέον απομονωμένη δραστηριότητα, αλλά εντάσσεται σε ένα πολυεπίπεδο παραγωγικό και εμπορικό πλέγμα.

Η δυναμική του κλάδου αποτυπώνεται και σε οικονομικούς δείκτες. Σύμφωνα με διαθέσιμα στοιχεία, η παγκόσμια αγορά εκτύπωσης συσκευασιών παρουσίασε αύξηση περίπου 3% το 2023 (όπως φαίνεται στην εικόνα 11), καταγράφοντας τον υψηλότερο ρυθμό ανάπτυξης μεταξύ των επιμέρους τομέων των γραφικών τεχνών, παρά τις γενικότερες προκλήσεις της μεταποιητικής βιομηχανίας (GraphicaNews, 2021). Η τάση

αυτή συνδέεται με δημογραφικούς και κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες, όπως η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, η ενίσχυση της αγοραστικής δύναμης σε αναδυόμενες οικονομίες και η αλλαγή των καταναλωτικών προτύπων στις ανεπτυγμένες χώρες, που οδηγούν σε ζήτηση για πιο διαφοροποιημένες, ποιοτικές και εξατομικευμένες συσκευασίες.



Εικόνα 11. Αύξηση του Όγκου Παραγωγής Εκτυπώσεων Παγκοσμίως

Note: [Εκτύπωση Συσκευασίας 4.0. | Graphica News](#)

Παράλληλα, τα brands υψηλής προστιθέμενης αξίας διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη της αγοράς, επενδύοντας σε βιώσιμες, έξυπνες και καινοτόμες λύσεις συσκευασίας. Οι επενδύσεις αυτές ενισχύουν τη ζήτηση για εξειδικευμένες εκτυπωτικές εφαρμογές, ιδιαίτερα στους τομείς των τροφίμων, των φαρμακευτικών προϊόντων και των καλλυντικών (Packitup, 2021).

Η εμπορική διάσταση της εκτύπωσης αναδεικνύεται ως καθοριστικός παράγοντας για τη διαμόρφωση της αξίας των προϊόντων. Η μετάβαση της συσκευασίας από απλό προστατευτικό μέσο σε εργαλείο προώθησης και branding αποτέλεσε άμεσο αποτέλεσμα της εξέλιξης των εκτυπωτικών τεχνολογιών (Kotler & Keller, 2016). Η ποιότητα των χρωμάτων, η ακρίβεια των γραφικών και η συνολική αισθητική της εκτύπωσης επηρεάζουν άμεσα την αντίληψη του καταναλωτή σχετικά με την ποιότητα και την αξία

του προϊόντος (Landa, 2019). Επιπλέον, η αξιοποίηση προηγμένων τεχνικών, όπως η εκτύπωση UV, οι μεταλλικές μελάνες και τα ανάγλυφα εφέ, διευρύνει τις δυνατότητες σχεδιαστικής διαφοροποίησης, ενισχύοντας την ανταγωνιστικότητα των επιχειρήσεων σε ένα ιδιαίτερα απαιτητικό εμπορικό περιβάλλον.

Η πολυδιάστατη συμβολή της εκτύπωσης στη βιομηχανική παραγωγή και ειδικότερα στον τομέα της συσκευασίας αναδεικνύει τον στρατηγικό της ρόλο πέρα από τα παραδοσιακά όρια των γραφικών τεχνών. Καθώς η αγορά στρέφεται προς μεγαλύτερη ευελιξία, ταχύτητα και εξατομίκευση, οι εκτυπωτικές τεχνολογίες καλούνται να προσαρμοστούν σε ένα περιβάλλον αυξημένων απαιτήσεων και ψηφιακής ενοποίησης. Στο πλαίσιο αυτό, καθίσταται αναγκαία η διερεύνηση των σύγχρονων τεχνολογικών εξελίξεων και των νέων μορφών βιομηχανικής εκτύπωσης, οι οποίες επαναπροσδιορίζουν τον ρόλο του κλάδου στη σύγχρονη παραγωγική διαδικασία.

2.3.2 Λειτουργικές Εκτυπώσεις και Βιομηχανικές Εφαρμογές Υψηλής Τεχνολογίας, Συμβολή στη Βιωσιμότητα και την Καινοτομία

Πέρα από τις καθιερωμένες εφαρμογές στον τομέα της συσκευασίας και της γραφικής επικοινωνίας, οι εκτυπωτικές τεχνολογίες έχουν επεκτείνει το πεδίο εφαρμογής τους σε ένα ευρύ φάσμα λειτουργικών και υψηλής τεχνολογίας βιομηχανικών χρήσεων, οι οποίες διεθνώς προσδιορίζονται με τον όρο *functional printing*. Η λειτουργική εκτύπωση αναφέρεται στην αξιοποίηση εκτυπωτικών διεργασιών όχι μόνο για την απόδοση γραφικών στοιχείων, αλλά και για την κατασκευή λειτουργικών δομών, όπως ηλεκτρονικά κυκλώματα, αισθητήρες, οθόνες, φωτοβολταϊκά στοιχεία και άλλα τεχνολογικά εξαρτήματα (Kipphan, 2016).

Ιδιαίτερη σημασία αποκτά η εκτύπωση αγωγίμων και ημιαγωγίμων μελανιών πάνω σε εύκαμπτα ή λεπτόκοκκα υποστρώματα, γεγονός που έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη του τομέα των εύκαμπτων ηλεκτρονικών, *flexible electronics*. Μέσω αυτών των τεχνολογιών καθίσταται εφικτή η παραγωγή έξυπνων ετικετών, *Smart Labels*, αναγνωριστικών RFID, καθώς και διαδραστικών συσκευασιών που μπορούν να επικοινωνούν με τον καταναλωτή μέσω ψηφιακών συσκευών (όπως φαίνεται στην εικόνα 12). Η σύζευξη εκτύπωσης, ηλεκτρονικής και ψηφιακής διασύνδεσης αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό

της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης, αναδεικνύοντας τη μετάβαση από τις παραδοσιακές γραφικές εφαρμογές σε συστήματα ενσωματωμένα σε ευφρείς παραγωγικές αλυσίδες (Brett, 2018).



Εικόνα 12. Παράδειγμα RFID labels

Note: [RFID labels/smart labels](#)

Ένα αρκετά σημαντικό βήμα ανάπτυξης παρουσιάζεται επίσης παραγωγικά με την εφαρμογή καινοτομιών παρακολούθησης και διασφάλισης της σταθερής χρωματικής απόδοσης με την χρήση ηλεκτρονικού χρωματικού ελέγχου online καθώς και παρακολούθηση της ποιότητας της εκτύπωσης με την χρήση master προτύπων απευθείας από την ηλεκτρονική μορφή του αρχείου της εργασίας ώστε να εντοπιστεί η όποια διαφοροποίηση κατά την διάρκεια της παραγωγής (όπως φαίνεται στις εικόνες 13, 14). Οι συγκεκριμένες καινοτομίες αποτελούν επανάσταση στον τομέα της βιομηχανικής εκτύπωσης καθώς μπορούν να υποστηρίζονται πλέον και από εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης δίνοντας επιπλέον πληροφορία στον χειριστή για την συχνότητα εμφάνισης, την πηγή του προβλήματος καθώς και τον τρόπο αντιμετώπισής του, εκτός φυσικά από την ειδοποίηση παρουσίας του προβλήματος που ισχύει μέχρι τώρα. Εκτός από την inline εφαρμογή στην παραγωγή αρκετά σημαντικό ρόλο παίζει και στην έκδοση στατιστικών

και πορισμάτων κατά την διάρκεια ελέγχου προγραμματισμένων συντηρήσεων του βιομηχανικού εξοπλισμού.



Εικόνα 13. Printing Control

Note: [A Comprehensive Guide to Printing Inspection: Enhancing Quality Assurance - Arise](#)



Εικόνα 14. Printing Control

Note: [%% - AVT](#)

Παράλληλα, ο κλάδος των εκτυπώσεων διαδραματίζει ενεργό ρόλο στη μετάβαση προς πιο βιώσιμα μοντέλα βιομηχανικής παραγωγής. Η υιοθέτηση φιλικών προς το περιβάλλον μελανιών όπως είναι τα μελάνια πολυουρεθάνης έναντι των μελανιών νιτροκυτταρίνης που χρησιμοποιούνται μέχρι τώρα, η χρήση ανακυκλώσιμων ή βιοδιασπώμενων υποστρωμάτων και η εφαρμογή τεχνολογιών χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης συμβάλλουν στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των εκτυπωτικών διεργασιών (Meggs & Purvis, 2016).

Η Εφαρμογή της παραγωγής κατ' απαίτηση που εφαρμόζεται στην ψηφιακή μέθοδο εκτύπωσης περιορίζει την ανάγκη για μεγάλα αποθέματα, μειώνοντας τα απόβλητα και αυξάνοντας τη συνολική αποδοτικότητα της βιομηχανικής διαδικασίας. Ιδιαίτερα στον τομέα της συσκευασίας, η ψηφιακή εκτύπωση προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα ευελιξίας, επιτρέποντας την παραγωγή μικρών τираζ, την ταχεία προσαρμογή στις απαιτήσεις της αγοράς και την υλοποίηση προσωποποιημένων εφαρμογών (Romano, 2014).

Οι εκτυπωτικές τεχνολογίες έχουν, επίσης, ενσωματωθεί δυναμικά στον τομέα της διακόσμησης επιφανειών και της αρχιτεκτονικής, επιτρέποντας την αναπαραγωγή υφών, μοτίβων και σχεδιαστικών στοιχείων σε πληθώρα υλικών, όπως κεραμικά, γυαλί, ξύλο, μέταλλο, πλαστικά και υφάσματα (Landa, 2019). Τεχνικές όπως η μεταξοτυπία και εκτύπωση με ταμπόν εφαρμόζονται ευρέως στη διακόσμηση γυάλινων και μεταλλικών επιφανειών, ενώ η ψηφιακή inkjet εκτύπωση καθιστά πλέον δυνατή την παραγωγή εξατομικευμένων σχεδίων σε έπιπλα, πλακίδια και εσωτερικές επενδύσεις. Οι εφαρμογές αυτές επιπλέον δεν περιορίζονται αποκλειστικά στην αισθητική διάσταση, αλλά ενσωματώνουν και λειτουργικά χαρακτηριστικά, όπως αντιχαρακτικές ιδιότητες, φωτοευαίσθητες επιφάνειες και αντιβακτηριακές επιστρώσεις. Με τον τρόπο αυτό, η εκτύπωση μετατρέπεται σε κρίσιμο εργαλείο της σύγχρονης βιομηχανίας εσωτερικού σχεδιασμού και κατασκευών, συμβάλλοντας τόσο στη λειτουργικότητα όσο και στην καινοτομία των τελικών προϊόντων (Kipphan, 2016).

Ιδιαίτερη σημασία παρουσιάζει και η ψηφιακή εκτύπωση υφασμάτων, textile printing, η οποία έχει επιφέρει ουσιαστικές μεταβολές στη βιομηχανία της μόδας και του ρουχισμού.

Μέσω τεχνολογιών inkjet, τα γραφικά μοτίβα μεταφέρονται απευθείας στα υφάσματα με υψηλή ακρίβεια και ευκρίνεια, χωρίς την ανάγκη χρήσης καλουπιών ή παραδοσιακών εκτυπωτικών οθονών (Romano, 2014). Η μέθοδος αυτή διευκολύνει την εξατομίκευση των προϊόντων και τη μείωση των αποθεμάτων, ενώ παράλληλα περιορίζει την κατανάλωση νερού και μελανιών σε σύγκριση με τις συμβατικές διαδικασίες βαφής. Η χρήση οικολογικών μελανιών και βιώσιμων υλικών ενισχύει περαιτέρω την περιβαλλοντική υπευθυνότητα του κλάδου, καθιστώντας την εκτύπωση βασικό μοχλό καινοτομίας και βιώσιμης ανάπτυξης στη σύγχρονη βιομηχανία (Meggs & Purvis, 2016). Οι δυνατότητες αυτές οδηγούν σε περιορισμό της σπατάλης υλικών και σε βελτίωση του ανθρακικού αποτυπώματος των επιχειρήσεων, ενισχύοντας ταυτόχρονα τη βιωσιμότητα της παραγωγής.

2.3.2 Εκτύπωση και Βιομηχανία 4.0

Στο πλαίσιο της τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης (Industry 4.0), η εκτύπωση υφίσταται έναν ουσιαστικό τεχνολογικό και οργανωτικό μετασχηματισμό, καθώς ενσωματώνεται σε ψηφιακά, αυτοματοποιημένα και διασυνδεδεμένα συστήματα παραγωγής. Οι σύγχρονες εκτυπωτικές διεργασίες δεν λειτουργούν πλέον ως μεμονωμένα στάδια της παραγωγικής αλυσίδας, αλλά συνδέονται δυναμικά με ευφρείς βιομηχανικές υποδομές, αξιοποιώντας τεχνολογίες όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, Internet of Things, IoT, τα Μεγάλα Δεδομένα, Big Data και την τεχνητή νοημοσύνη, Artificial Intelligence, AI (Kipphan, 2016).

Οι σύγχρονες εκτυπωτικές μηχανές διασυνδέονται με συστήματα εκτέλεσης παραγωγής, Enterprise Resource Planning ERP, Manufacturing Execution Systems MES, Manufacturing Information System MIS, πλατφόρμες ανάλυσης δεδομένων, επιτρέποντας τη συνεχή παρακολούθηση της ποιότητας, της αποδοτικότητας και της κατανάλωσης πόρων σε πραγματικό χρόνο. Μέσω της ανάλυσης δεδομένων καθίσταται δυνατή η εφαρμογή πρακτικών προγνωστικής συντήρησης, η μείωση των αστοχιών και η βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας, ενισχύοντας τη συνολική αποδοτικότητα των βιομηχανικών μονάδων (Kagermann και συν. 2013). Η ενσωμάτωση

της εκτύπωσης στο ψηφιακό βιομηχανικό οικοσύστημα ενισχύει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ παραγωγής, εφοδιαστικής αλυσίδας και εμπορικής στρατηγικής. Η εκτύπωση λειτουργεί πλέον ως φορέας δεδομένων, συνδέοντας το φυσικό προϊόν με ψηφιακά συστήματα ιχνηλασιμότητας, ελέγχου ποιότητας και επικοινωνίας με τον τελικό καταναλωτή, συμβάλλοντας στη διαμόρφωση ευφυών και ευέλικτων παραγωγικών αλυσίδων (Kipphan, 2016).

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, ιδιαίτερη σημασία στο πλαίσιο της Βιομηχανίας 4.0 αποκτούν οι λειτουργικές εκτυπώσεις, functional printing, οι οποίες αξιοποιούν εκτυπωτικές τεχνολογίες για την εναπόθεση αγωγίμων μελανιών, ημιαγωγών και νανοϋλικών σε εύκαμπτα ή λεπτόκοκκα υποστρώματα. Μέσω αυτών των εφαρμογών καθίσταται εφικτή η κατασκευή ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, αισθητήρων, στοιχείων αναγνώρισης RFID, QR, έξυπνων ετικετών, διευρύνοντας τον ρόλο της εκτύπωσης πέρα από τη γραφική αναπαραγωγή (Brett, 2018). Οι λειτουργικές εκτυπώσεις αποτελούν βασικό πυλώνα της Industry 4.0, καθώς επιτρέπουν τη διασύνδεση φυσικών προϊόντων με πληροφοριακά συστήματα και εφοδιαστικές αλυσίδες. Ενδεικτικά, οι έξυπνες συσκευασίες που ενσωματώνουν εκτυπωμένους αισθητήρες θερμοκρασίας ή χημικής αλλοίωσης, καθώς και συστήματα ιχνηλασιμότητας μέσω RFID, βασίζονται σε τέτοιες τεχνολογίες. Μέσω αυτών των εφαρμογών, η συσκευασία μετατρέπεται σε ενεργό μέσο πληροφόρησης, γεφυρώνοντας τη φυσική και την ψηφιακή διάσταση του προϊόντος (Kipphan, 2016).

Παράλληλα, η τρισδιάστατη εκτύπωση, 3D printing, γνωστή και ως προσθετική κατασκευή, Additive Manufacturing, αποτελεί μια ακόμη κρίσιμη πτυχή της σύγχρονης βιομηχανικής εκτύπωσης. Η τεχνολογία αυτή βασίζεται στη δημιουργία αντικειμένων μέσω διαδοχικών στρώσεων υλικού, απευθείας από ψηφιακά αρχεία σχεδίασης, προσφέροντας αυξημένη σχεδιαστική ελευθερία και ταχεία πρωτοτυποποίηση (Parramon, 2015). Οι εφαρμογές της τρισδιάστατης εκτύπωσης εκτείνονται σε τομείς όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, η αεροναυπηγική, η ιατρική τεχνολογία και η βιομηχανία συσκευασίας, καταδεικνύοντας ότι η έννοια της εκτύπωσης έχει πλέον υπερβεί τα παραδοσιακά της όρια. Η ενσωμάτωσή της στο πλαίσιο της Βιομηχανίας 4.0 ενισχύει τη μαζική εξατομίκευση και τη βιώσιμη παραγωγή, μειώνοντας τη σπατάλη υλικών και χρόνου (Gibson και συν. 2015).

Ο κλάδος των εκτυπώσεων έχει εξελιχθεί σε στρατηγικό πυλώνα της σύγχρονης βιομηχανικής δραστηριότητας, συνδέοντας την παραγωγή με την ψηφιακή τεχνολογία, την αυτοματοποίηση και τη βιωσιμότητα. Η εκτύπωση, ιδιαίτερα στον κλάδο της συσκευασίας δεν αποτελεί πλέον απλώς ένα στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας, αλλά παράγοντα καινοτομίας και διαφοροποίησης, επιβεβαιώνοντας τον καθοριστικό της ρόλο στο πλαίσιο της τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης.

2.4 Τάσεις, Προκλήσεις και η Στρατηγική Σημασία του Κλάδου Εκτυπώσεων

Η παγκόσμια βιομηχανία εκτυπώσεων αποτελεί έναν από τους πλέον ανθεκτικούς και προσαρμοστικούς τομείς της παραγωγικής δραστηριότητας, παρουσιάζοντας υψηλό βαθμό τεχνολογικής εξέλιξης και διαφοροποίησης. Παρά τις έντονες προκλήσεις που απορρέουν από τον ψηφιακό μετασχηματισμό, τη συρρίκνωση των παραδοσιακών έντυπων μέσων και τις αυξανόμενες απαιτήσεις για περιβαλλοντική βιωσιμότητα, ο κλάδος διατηρεί ισχυρή στρατηγική σημασία τόσο για τη βιομηχανική παραγωγή όσο και για τη διεθνή οικονομία, με την αξία της παγκόσμιας αγοράς να υπερβαίνει τα 800 δισεκατομμύρια δολάρια στις αρχές της δεκαετίας του 2020. Η σύγχρονη εξέλιξη του κλάδου καθορίζεται από τρεις βασικούς άξονες, την τεχνολογική καινοτομία, τη μετάβαση προς πιο βιώσιμα μοντέλα παραγωγής και την αυξανόμενη ανάγκη για εξατομικευμένες και ευέλικτες εκτυπωτικές λύσεις, όλα ως απόφθεγμα επιρροής του Industrial 4.0. Οι άξονες αυτοί επηρεάζουν άμεσα τη δομή της αγοράς, τα επιχειρηματικά μοντέλα και τη σχέση των εκτυπωτικών επιχειρήσεων με τις ευρύτερες αλυσίδες αξίας.

Σύμφωνα με μακροπρόθεσμες προβλέψεις έως το 2030, η αγορά των εκτυπώσεων και της έντυπης συσκευασίας αναμένεται να συνεχίσει να μετασχηματίζεται, επηρεάζοντας παράλληλα τους συνδεδεμένους κλάδους προμήθειας εξοπλισμού, χαρτιού, υποστρωμάτων, μελανιών, βοηθητικών μέσων και χημικών υλικών. Ωστόσο, η αξιοπιστία κάθε πρόβλεψης επηρεάζεται από το γενικότερο επίπεδο αβεβαιότητας που χαρακτηρίζει το παγκόσμιο οικονομικό περιβάλλον. Για τον λόγο αυτό, οι αναλύσεις βασίζονται ολοένα και περισσότερο στη χρήση εναλλακτικών σεναρίων, τα οποία

επιτρέπουν την αποτύπωση διαφορετικών πιθανών εξελίξεων της αγοράς. Η πανδημία COVID-19 αποτέλεσε χαρακτηριστικό παράδειγμα εξωγενούς παράγοντα που επηρέασε δραστικά τον κλάδο. Η απότομη μείωση της εκτυπωτικής δραστηριότητας το 2020 αντικατοπτρίστηκε άμεσα στην κατανάλωση υποστρωμάτων, η οποία παρουσίασε σημαντική πτώση σε σύγκριση με τα προ πανδημίας επίπεδα. Το γεγονός αυτό ανέδειξε την ευαισθησία της βιομηχανίας εκτυπώσεων σε παγκόσμιες κρίσεις, αλλά ταυτόχρονα και την ικανότητά της να προσαρμόζεται σε νέες συνθήκες. Οι προβλέψεις έως το 2030 δείχνουν ότι τα όρια μεταξύ των επιμέρους τομέων της εκτύπωσης θα καταστούν λιγότερο διακριτά, καθώς περισσότερα προϊόντα θα ενσωματώνουν λειτουργικά και ψηφιακά χαρακτηριστικά. Ιδιαίτερα ο τομέας της συσκευασίας αναμένεται να ενισχύσει περαιτέρω τη θέση του, αντιπροσωπεύοντας σχεδόν τα δύο τρίτα της συνολικής παγκόσμιας αγοράς εκτυπώσεων. Αντίθετα, ο τομέας των εκδόσεων, παρότι θα εξακολουθεί να καταλαμβάνει σημαντικό ποσοστό του συνολικού όγκου εκτύπωσης, προβλέπεται να συνεχίσει τη φθίνουσα πορεία του, αποτελώντας τον μεγαλύτερο «χαμένο» της αγοράς.

Μέσα σε αυτό το μεταβαλλόμενο περιβάλλον, πολλές εκτυπωτικές επιχειρήσεις έχουν στραφεί στη στρατηγική διαφοροποίησης, επεκτείνοντας τις δραστηριότητές τους σε νέες καινοτομίες, εφαρμογές αλλά και νέες αγορές και υπηρεσίες. Αντί να περιορίζονται στην παραδοσιακή παροχή εκτυπωτικού έργου, επιδιώκουν να ενσωματωθούν βαθύτερα στις αλυσίδες αξίας των πελατών τους, προσφέροντας ολοκληρωμένες λύσεις που συνδυάζουν παραγωγή, τεχνολογία και επικοινωνία στο σύγχρονο βιομηχανικό περιβάλλον (Smithers, 2023).

2.4.1 Παγκόσμιες Τάσεις και Τεχνολογικές Εξελίξεις

Σύμφωνα με πρόσφατα στατιστικά δεδομένα, ο κλάδος της συσκευασίας απορροφά πλέον περισσότερο από το 60% της συνολικής παγκόσμιας παραγωγής εκτυπώσεων, γεγονός που καταδεικνύει τη μετατόπιση του ενδιαφέροντος από τις παραδοσιακές έντυπες εφαρμογές προς λειτουργικές και εμπορικά προσανατολισμένες λύσεις (Guirdham, 2024). Η τάση αυτή συνδέεται άμεσα με τη συνεχή αύξηση της κατανάλωσης συσκευασμένων προϊόντων, την ανάπτυξη του ηλεκτρονικού εμπορίου και την ανάγκη

για διαφοροποίηση και προστιθέμενη αξία στο τελικό προϊόν. Ιδιαίτερη δυναμική παρουσιάζει η ζήτηση για εύκαμπτες συσκευασίες, έξυπνες ετικέτες και υλικά φιλικά προς το περιβάλλον, τα οποία ανταποκρίνονται τόσο στις απαιτήσεις της εφοδιαστικής αλυσίδας όσο και στις σύγχρονες καταναλωτικές προσδοκίες. Οι εξελίξεις αυτές έχουν οδηγήσει στη διευρυμένη εφαρμογή προηγμένων βαθυτυπικών, φλεξογραφικών και ψηφιακών τεχνολογιών εκτύπωσης, οι οποίες προσφέρουν υψηλή ποιότητα απεικόνισης, σταθερότητα παραγωγής και δυνατότητα προσαρμογής σε ποικιλία υποστρωμάτων. Παράλληλα, η ευελιξία των τεχνολογιών αυτών επιτρέπει ταχεία εναλλαγή εργασιών και μικρότερους χρόνους προετοιμασίας, ενισχύοντας την αποδοτικότητα της παραγωγικής διαδικασίας (Parramon, 2015).

Παράλληλα, η ψηφιακή εκτύπωση συνολικά καταλαμβάνει ολοένα και μεγαλύτερο μερίδιο της παγκόσμιας εκτυπωτικής αγοράς. Το 2023 αντιπροσώπευε περίπου το ένα πέμπτο της συνολικής αξίας παραγωγής, με τις προβλέψεις να δείχνουν περαιτέρω αύξηση έως το 2030 (Smithers, 2023). Οι τεχνολογίες inkjet και laser κυριαρχούν στον τομέα αυτό, καθώς προσφέρουν υψηλό επίπεδο ευελιξίας, δυνατότητες προσωποποίησης και οικονομική αποδοτικότητα, ιδιαίτερα σε μικρές και μεσαίες παραγωγές.

Καθοριστικό ρόλο στις τεχνολογικές εξελίξεις διαδραματίζει και η ανάπτυξη νέων τύπων μελανιών και υλικών. Η εισαγωγή μελανιών πολυουρεθάνης (PU), UV-curable, υδατοδιαλυτών και βιοδιασπώμενων συνεισφέρει στη βελτίωση τόσο της ποιότητας εκτύπωσης όσο και της περιβαλλοντικής επίδοσης των εκτυπωτικών διαδικασιών, ανταποκρινόμενη στις αυστηρότερες κανονιστικές απαιτήσεις και στους στόχους βιωσιμότητας των επιχειρήσεων (Landa, 2019). Επιπλέον, η ενσωμάτωση τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης και ανάλυσης μεγάλων δεδομένων στις εκτυπωτικές γραμμές παραγωγής ενισχύει περαιτέρω τον ψηφιακό μετασχηματισμό του κλάδου. Οι τεχνολογίες αυτές επιτρέπουν την αυτοματοποίηση κρίσιμων διεργασιών, τη βελτιστοποίηση των χρωματικών προφίλ, καθώς και την εφαρμογή προγνωστικής συντήρησης του εξοπλισμού. Ως αποτέλεσμα, επιτυγχάνεται υψηλότερη παραγωγική αποδοτικότητα, μείωση του λειτουργικού κόστους και βελτίωση της συνολικής ποιότητας των εκτυπωτικών προϊόντων (Kipphan, 2016).

2.4.2 Προκλήσεις: Βιωσιμότητα, Ψηφιοποίηση και Κόστος Παραγωγής

Παρά τη σημαντική τεχνολογική πρόοδο που έχει σημειωθεί τις τελευταίες δεκαετίες, ο κλάδος των εκτυπώσεων και ειδικότερα η βιομηχανική εκτύπωση συσκευασίας καλείται να αντιμετωπίσει ένα σύνολο σύνθετων και αλληλένδετων προκλήσεων. Οι προκλήσεις αυτές σχετίζονται κυρίως με τη βιωσιμότητα των παραγωγικών διαδικασιών, την ανάγκη ψηφιακού μετασχηματισμού και τη διαχείριση του αυξανόμενου κόστους παραγωγής σε ένα ιδιαίτερα ανταγωνιστικό διεθνές περιβάλλον.

Η βιωσιμότητα αποτελεί πλέον κεντρικό άξονα στρατηγικού σχεδιασμού για τις επιχειρήσεις του κλάδου. Η παραγωγή συσκευασιών χαρτιού, πολυμερών και βιώσιμων πολυμερών υποστρωμάτων καθώς και η χρήση βιώσιμων μελανιών συνδέεται άμεσα με σημαντικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα, τόσο ως προς την κατανάλωση φυσικών πόρων όσο και ως προς τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Στο πλαίσιο αυτό, πλέον η Ευρωπαϊκή Ένωση αλλά και παγκόσμια έχει θεσπιστεί αυστηρό ρυθμιστικό πλαίσιο, μέσω αυστηρών περιορισμών όπως το Ευρωπαϊκό Πράσινο Σύμφωνο, το οποίο επιβάλλει τη σταδιακή μετάβαση προς ανακυκλώσιμα, επαναχρησιμοποιούμενα και βιοδιασπώμενα υλικά συσκευασίας (Trapani, 2021). Οι επεμβάσεις αυτές ασκούν σημαντική πίεση στις επιχειρήσεις, απαιτώντας επενδύσεις σε νέες πρώτες ύλες, τεχνολογίες και αναγκαίες πιστοποιήσεις. Παράλληλα, η επιταχυνόμενη ψηφιοποίηση του επιχειρηματικού και βιομηχανικού περιβάλλοντος δημιουργεί νέες απαιτήσεις σε επίπεδο υποδομών και ανθρώπινου δυναμικού. Η υιοθέτηση ολοκληρωμένων συστημάτων διαχείρισης ροής εργασιών (workflow management systems), η διασύνδεση των εκτυπωτικών μηχανών με πληροφοριακά συστήματα παραγωγής και η αξιοποίηση ψηφιακών εργαλείων παρακολούθησης και ελέγχου συνεπάγονται αυξημένο αρχικό κόστος επένδυσης. Επιπλέον, καθίσταται αναγκαία η συνεχής εκπαίδευση και κατάρτιση του προσωπικού, ώστε να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις των νέων ψηφιακών τεχνολογιών (Romano, 2014). Ωστόσο, τα διαθέσιμα ερευνητικά δεδομένα δείχνουν ότι η μετάβαση σε ψηφιακά μοντέλα παραγωγής μπορεί να αποδώσει σημαντικά οφέλη σε μεσοπρόθεσμο ορίζοντα. Σύμφωνα με μελέτες της Pira International, οι επιχειρήσεις που υιοθέτησαν πλήρως ψηφιοποιημένες ροές παραγωγής κατέγραψαν αύξηση της παραγωγικότητας κατά 20 με 25% και ταυτόχρονη μείωση του λειτουργικού κόστους κατά περίπου 15% εντός των δύο πρώτων ετών λειτουργίας. Τα ευρήματα αυτά

αναδεικνύουν τη στρατηγική σημασία της ψηφιοποίησης ως επένδυση και όχι απλώς ως λειτουργική δαπάνη (Smithers, 2023).

Η πορεία της βιομηχανικής εκτύπωσης συσκευασιών αντανακλά ευρύτερες τεχνολογικές και κοινωνικοοικονομικές εξελίξεις, με τη μετάβαση προς το μοντέλο της «Packaging Printing 4.0» να αποτελεί βασικό πυλώνα ανάπτυξης. Μέσω της ενσωμάτωσης τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης, αυτοματισμών και συστημάτων συνεχούς ροής δεδομένων, επιτυγχάνεται βελτιστοποίηση των παραγωγικών διαδικασιών, ο περιορισμός του ανθρώπινου λάθους και αύξηση της συνολικής αποδοτικότητας των μονάδων παραγωγής (GraphicaNews, 2021). Οι αυτοματοποιημένες ροές εργασίας συμβάλλουν επίσης στη μείωση των μη προγραμματισμένων διακοπών λειτουργίας, ενισχύοντας τη διαφάνεια και την αξιοπιστία της παραγωγής. Ιδιαίτερη πρόκληση αποτελεί και η αυξανόμενη απαίτηση για υψηλά επίπεδα ποιότητας, ασφάλειας και συμμόρφωσης με διεθνή πρότυπα, ιδίως στους τομείς των τροφίμων των φαρμακευτικών, καλλυντικών προϊόντων και των προϊόντων υγιεινής. Οι απαιτήσεις αυτές επιβάλλουν την εφαρμογή αυστηρών ελέγχων ποιότητας και την ενσωμάτωση συστημάτων επιθεώρησης σε πραγματικό χρόνο παραγωγής, οδηγώντας σε νέα πρότυπα παραγωγής που στοχεύουν στη μηδενική ανοχή ελαττωματικών προϊόντων. Παράλληλα, οι τάσεις βιωσιμότητας λειτουργούν πλέον ως βασικός παράγοντας διαφοροποίησης και ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος. Η σταδιακή απομάκρυνση από τα συμβατικά πολυμερή υλικά, η στροφή προς ανακυκλώσιμα νέας δομής υποστρώματα, καθώς και η αυξανόμενη χρήση τεχνικών όπως τα οικολογικά μελάνια, συνιστούν βασικά χαρακτηριστικά του σύγχρονου «πράσινου» σχεδιασμού συσκευασίας, η πορεία πλήρους υιοθέτησης των νέων αυτών εφαρμογών προϋποθέτει επιταχυνόμενη και ξεκάθαρη επιτυχία των τμημάτων research and development RND για την όσο γίνεται γρήγορη και επιτυχή εφαρμογή τους (allPackHellas, 2021). Η υιοθέτηση βιώσιμων λύσεων δεν βελτιώνει μόνο την περιβαλλοντική επίδοση των επιχειρήσεων, αλλά ενισχύει και την εταιρική τους εικόνα, λειτουργώντας ως στρατηγικό εργαλείο marketing και ενίσχυσης της εμπιστοσύνης των καταναλωτών.

Τέλος, η ανάπτυξη ψηφιακών υπηρεσιών και εργαλείων ανάλυσης δεδομένων καθιστά την εκτύπωση ολοένα και πιο «έξυπνη» και προσανατολισμένη στη διαχείριση της πληροφορίας. Η αξιοποίηση τεχνητής νοημοσύνης και τεχνικών μηχανικής μάθησης σε

στάδια πριν και μετά την εκτύπωση επιτρέπει την εφαρμογή προγνωστικής συντήρησης, τη συνεχή βελτίωση της ποιότητας και τη δραστική μείωση της φύρας υλικών. Οι εξελίξεις αυτές επαναπροσδιορίζουν τον ρόλο της εκτύπωσης, η οποία μετασχηματίζεται από μια κυρίως μηχανική διαδικασία σε ένα ολοκληρωμένο, ψηφιακό σύστημα παραγωγής και επικοινωνίας υψηλής προστιθέμενης αξίας (Packitup, 2021).

2.4.3 Η Στρατηγική Σημασία του Κλάδου στην Παγκόσμια Οικονομία

Πέραν της τεχνολογικής του εξέλιξης και της περιβαλλοντικής του διάστασης, ο κλάδος των εκτυπώσεων διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της παγκόσμιας οικονομικής δραστηριότητας, λειτουργώντας ως κρίσιμος κρίκος σε πολυεπίπεδες αλυσίδες αξίας. Η εκτυπωτική βιομηχανία δεν περιορίζεται μόνο στην παραγωγή έντυπου υλικού, αλλά ενσωματώνεται σε ένα ευρύ φάσμα οικονομικών δραστηριοτήτων που εκτείνονται από τη διαφήμιση και το marketing έως τη βιομηχανική παραγωγή και την εφοδιαστική αλυσίδα. Εκτιμάται ότι περισσότερες από 640.000 επιχειρήσεις δραστηριοποιούνται παγκοσμίως στον χώρο των εκτυπώσεων, προσφέροντας εργασία σε άνω των 5,4 εκατομμυρίων ατόμων (Smithers, 2023). Τα στοιχεία αυτά υπογραμμίζουν τη συμβολή του κλάδου τόσο στη δημιουργία θέσεων εργασίας όσο και στη συνολική οικονομική παραγωγή, επιβεβαιώνοντας τον ρόλο του ως παράγοντα σταθερότητας και ανάπτυξης.

Η εκτύπωση συνδέεται λειτουργικά με πολλούς στρατηγικούς τομείς της, όπως παραδοσιακά είναι οι εκδόσεις, η εκπαίδευση, η παραγωγή και μεταποίηση της συσκευασίας καθώς συνδέεται και με την ηλεκτρονική και όχι μόνο εμπορική επικοινωνία. Ως εκ τούτου, λειτουργεί ως «πολλαπλασιαστής» οικονομικής δραστηριότητας, ενισχύοντας τη ζήτηση σε συναφείς κλάδους, όπως η παραγωγή χαρτιού, μελανιών, υποστρωμάτων, μηχανολογικού εξοπλισμού και λογισμικού. Η διασύνδεση αυτή καθιστά τον κλάδο στρατηγικό όχι μόνο σε επίπεδο άμεσης προστιθέμενης αξίας, αλλά και ως υποστηρικτικό μηχανισμό της ευρύτερης βιομηχανικής και εμπορικής δραστηριότητας. Στο ευρωπαϊκό πλαίσιο, η εκτυπωτική βιομηχανία συμβάλλει ουσιαστικά στο ακαθάριστο εγχώριο προϊόν της Ευρωπαϊκής Ένωσης, με ετήσια συνεισφορά που εκτιμάται σε περίπου 80 δισεκατομμύρια ευρώ.

Παράλληλα, στη χώρα μας, ο κλάδος παρουσιάζει αξιοσημείωτη παρουσία, με περισσότερους από 15.000 εργαζομένους και πάνω από 1.200 ενεργές επιχειρήσεις, ενώ ιδιαίτερη δυναμική καταγράφεται στον τομέα της συσκευασίας, ο οποίος εμφανίζει σημαντική εξαγωγική δραστηριότητα (ΕΛΣΤΑΤ, 2024). Τα δεδομένα αυτά καταδεικνύουν ότι ο κλάδος διατηρεί ουσιαστική θέση τόσο σε εθνικό όσο και διεθνές επίπεδο.

Οι προβλέψεις για την επόμενη δεκαετία συγκλίνουν στην εκτίμηση ότι η εκτυπωτική βιομηχανία θα κινηθεί προς ένα μοντέλο παραγωγής βασισμένο σε ψηφιακά ολοκληρωμένες, βιώσιμες και εξατομικευμένες λύσεις. Η εξέλιξη αυτή μετατοπίζει τον ρόλο της εκτύπωσης από την παραδοσιακή αναπαραγωγή γραφικών σε πεδίο καινοτομίας. Επιπλέον, η στρατηγική σημασία του κλάδου εκτείνεται πέραν της υλικής παραγωγής και αγγίζει τον τομέα της διαχείρισης πληροφορίας και της οπτικής επικοινωνίας. Η εκτύπωση λειτουργεί ως μέσο μεταφοράς δεδομένων, ταυτότητας και εμπορικής αξίας, συμβάλλοντας ουσιαστικά στη δημιουργία ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος. Η εκτύπωση δεν αποτελεί πλέον απλώς τεχνολογία αναπαραγωγής, αλλά μέσο που επηρεάζει τον τρόπο σχεδιασμού, επικοινωνίας και παραγωγής στο σύγχρονο οικονομικό περιβάλλον (Kipphan, 2016).

Στο πλαίσιο της τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης, ο κλάδος βρίσκεται σε φάση τεχνολογικής μετάβασης και στρατηγικής αναδιάρθρωσης. Η ενοποίηση ψηφιακών τεχνολογιών με τις παραδοσιακές εκτυπωτικές μεθόδους, σε συνδυασμό με τις αυξανόμενες απαιτήσεις βιωσιμότητας, αναδεικνύουν την εκτύπωση ως κομβικό παράγοντα της οικονομίας της γνώσης και της επικοινωνίας. Η βασική πρόκληση των επόμενων ετών έγκειται στη διατήρηση ισορροπίας μεταξύ τεχνολογικής καινοτομίας και περιβαλλοντικής υπευθυνότητας, ώστε ο κλάδος να παραμείνει ανθεκτικός, ευέλικτος και στρατηγικά απαραίτητος στο διαρκώς μεταβαλλόμενο διεθνές περιβάλλον.

3. Η 4^η Βιομηχανική Επανάσταση

Η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση (Fourth Industrial Revolution, 4IR), ευρύτερα γνωστή ως Βιομηχανία 4.0, συνιστά μια νέα ιστορική φάση βαθιάς αναδιάρθρωσης των βιομηχανικών και τεχνολογικών συστημάτων. Πρόκειται για μια διαδικασία συστηματικής σύγκλισης τεχνολογιών αιχμής και ευφών ψηφιακών υποδομών, οι οποίες ενσωματώνονται οργανικά στις παραγωγικές διαδικασίες, στις οργανωτικές δομές και στις επενδυτικές στρατηγικές των επιχειρήσεων. Σε αντίθεση με τις προηγούμενες βιομηχανικές περιόδους, που επικεντρώνονταν κυρίως στη μηχανοποίηση ή στη βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας μέσω αυτοματισμών, η 4IR εισάγει έναν ολιστικό και συστημικό μετασχηματισμό, επηρεάζοντας ταυτόχρονα την οργάνωση της παραγωγής, τη διαχείριση της πληροφορίας και τη λειτουργία της διοίκησης (Schwab, 2017).



Εικόνα 15. 4IR. How to exploit the Fourth Industrial Revolution

Note: [4IR. How to exploit the Fourth Industrial Revolution - NNTC](#)

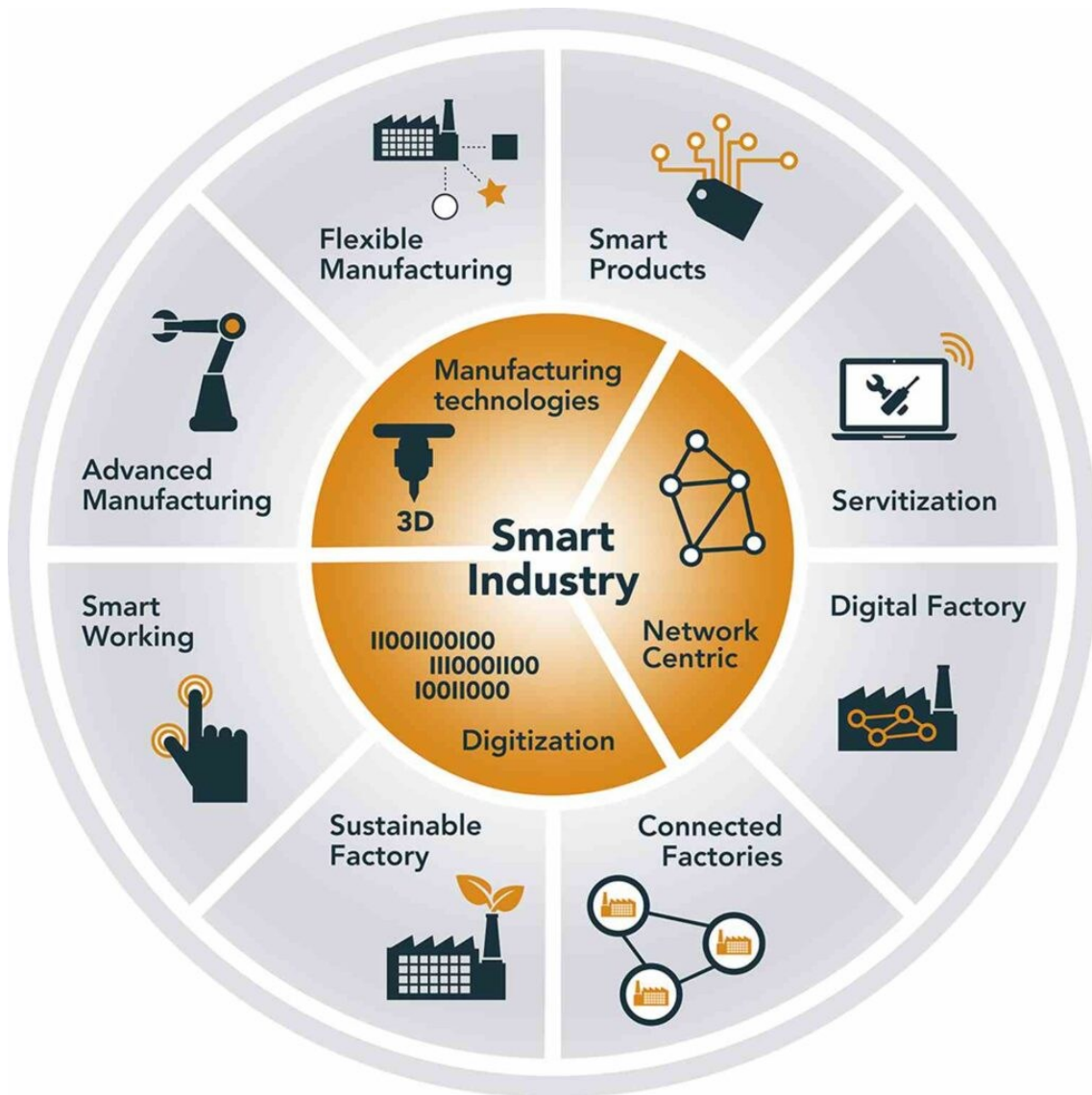
3.1 Η Έννοια και τα Βασικά Χαρακτηριστικά της 4ης Βιομηχανικής Επανάστασης

Ο όρος της 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης καθιερώθηκε από τον Klaus Schwab, ο οποίος υποστήριξε ότι η νέα αυτή φάση χαρακτηρίζεται από τη δυναμική διασύνδεση φυσικών και ψηφιακών συστημάτων σε παγκόσμια κλίμακα. Στο πλαίσιο αυτό, αναδεικνύεται ο κεντρικός ρόλος των κυβερνοφυσικών συστημάτων, τα οποία επιτρέπουν την αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ υλικών υποδομών και ψηφιακών δικτύων. Η σύζευξη του φυσικού και του εικονικού περιβάλλοντος δεν περιορίζεται στην τεχνολογική διάσταση, αλλά επεκτείνεται στη συνολική αναδιοργάνωση των παραγωγικών οικοσυστημάτων (Schwab, 2017).

Η εμβέλεια της 4IR υπερβαίνει την απλή διασύνδεση μηχανών ή την αυτοματοποίηση επιμέρους λειτουργιών. Αντιθέτως, εκτείνεται σε πολλαπλούς τεχνολογικούς τομείς, όπου παράλληλες και αλληλοσυμπληρούμενες καινοτομίες όπως η Νανοτεχνολογία, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και η κβαντική υπολογιστική συνδιαμορφώνουν ένα σύνθετο, διεπιστημονικό τεχνολογικό οικοσύστημα. Εκείνο που διαφοροποιεί ουσιαστικά τη σύγχρονη αυτή φάση από τις προηγούμενες βιομηχανικές επαναστάσεις είναι η συνδυαστική αξιοποίηση των τεχνολογιών, η οποία παράγει αποτελέσματα πολλαπλάσια σε επίπεδο παραγωγής, καινοτομίας και κοινωνικής οργάνωσης των βιομηχανικών μονάδων (Iberdrola, 2025).

Μία από τις πλέον χαρακτηριστικές εκφάνσεις της 4IR αποτελεί η ανάπτυξη των «έξυπνων εργοστασίων» (Smart factories). Πρόκειται για παραγωγικές μονάδες στις οποίες ο εξοπλισμός διασυνδέεται μέσω ψηφιακών δικτύων και εντάσσεται σε ολοκληρωμένα πληροφοριακά συστήματα, ικανά να παρακολουθούν και να αναλύουν σε πραγματικό χρόνο το σύνολο της αλυσίδας αξίας (όπως φαίνεται στην εικόνα 16). Τα συστήματα αυτά υποστηρίζουν ημιαυτόνομες ή πλήρως αυτόνομες διαδικασίες λήψης αποφάσεων, ενισχύοντας την ευελιξία, τη διαφάνεια και τη λειτουργική αποτελεσματικότητα. Παράλληλα, η αλληλεπίδραση φυσικών, ψηφιακών και βιολογικών τεχνολογιών μετασχηματίζει σε βάθος όλους τους τομείς της οικονομίας, επαναπροσδιορίζοντας όχι μόνο τα παραγωγικά πρότυπα αλλά και θεμελιώδεις

αντιλήψεις σχετικά με την εργασία και τον ρόλο του ανθρώπου στο τεχνολογικό περιβάλλον (Marr, n.d).



Εικόνα 16. Smart Factories

Note: [Smart Factory Industry 4.0: Revolutionizing Manufacturing with Advanced Technologies](#)

Το μέγεθος της αλλαγής με την 4η Βιομηχανική Επανάσταση καθρεφτίζει όχι μόνο στην βιομηχανική πρακτική αλλά στην ουσιαστική αλλαγή παρουσίας και συμμετοχής του ίδιου του ανθρώπου (Schwab, 2017).

Τα βασικότερα χαρακτηριστικά της 4IR που καθορίζουν σημαντικά την πρόοδο τόσο τμηματικά όσο και συνδυαστικά μεταξύ τους αφορούν:

3.1.1 Σύγκλιση Φυσικού, Ψηφιακού και Βιολογικού Κόσμου

Η σύγχρονη τεχνολογική πραγματικότητα χαρακτηρίζεται από τη διαρκώς εντεινόμενη ενοποίηση μηχανικών υποδομών, αισθητήρων, ρομποτικών συστημάτων, τεχνητής νοημοσύνης και βιοτεχνολογικών εφαρμογών, με στόχο την ανάπτυξη προηγμένων παραγωγικών και πληροφοριακών συστημάτων. Η ταχεία πρόοδος και η αλληλεξάρτηση τεχνολογικών πεδίων όπως η τεχνητή νοημοσύνη (AI), η Νανοτεχνολογία, η νευροτεχνολογία, η ρομποτική και η βιοτεχνολογία οδηγούν σε μια συστηματική σύντηξη του φυσικού, του ψηφιακού και του βιολογικού περιβάλλοντος. Η εξέλιξη αυτή δεν περιορίζεται στην απλή τεχνολογική αναβάθμιση επιμέρους εφαρμογών, αλλά συνιστά βαθύτερο μετασχηματισμό των παραγωγικών και γνωσιακών διαδικασιών.

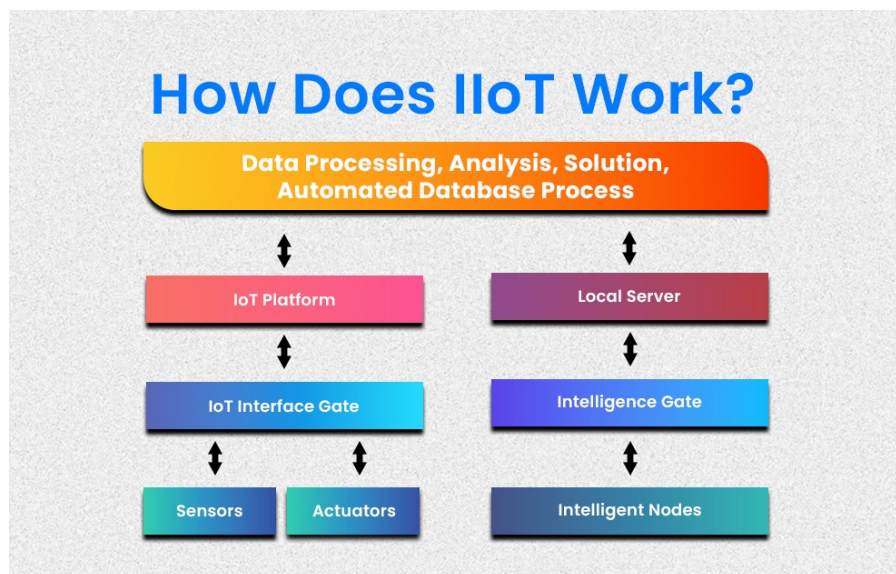
Στο πλαίσιο αυτό αναπτύσσονται υβριδικά συστήματα υψηλής πολυπλοκότητας, στα οποία μηχανές, αισθητήρες και ρομποτικοί μηχανισμοί λειτουργούν σε διασύνδεση με βιολογικές δομές και ψηφιακές πλατφόρμες, συλλέγοντας επεξεργασμένα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Η διάκριση μεταξύ ανθρώπινης παρέμβασης, υπολογιστικής επεξεργασίας και μηχανικής εκτέλεσης καθίσταται ολοένα και λιγότερο σαφής, καθώς οι λειτουργίες αυτές ενσωματώνονται σε ενιαία, διαλειτουργικά οικοσυστήματα. Η πρακτική ενσωμάτωση βιοτεχνολογικών διαδικασιών σε ψηφιακά υπολογιστικά πλαίσια, σε συνδυασμό με την εκτεταμένη αξιοποίηση αισθητηριακών δικτύων και αυτοματοποιημένης ρομποτικής παραγωγής, διαμορφώνει ένα νέο παραγωγικό υπόδειγμα, στο οποίο άνθρωπος, μηχανή και βιολογικό σύστημα αλληλεπιδρούν ως συνεκτικό σύνολο (Helbing & Lenca, 2024).

Ωστόσο, η τεχνολογική αυτή σύγκλιση υπερβαίνει τα όρια της τεχνικής καινοτομίας και εισάγει σύνθετες ηθικές, κοινωνικές και πολιτικές προκλήσεις. Η διεύρυνση των δυνατοτήτων παρέμβασης στον ανθρώπινο οργανισμό και στη συλλογή βιολογικών και ψηφιακών δεδομένων αναδεικνύει ζητήματα προστασίας ιδιωτικότητας, λογοδοσίας και διασφάλισης της ανθρώπινης αξιοπρέπειας. Όπως επισημαίνεται στη σχετική βιβλιογραφία, οι υφιστάμενοι θεσμικοί και ρυθμιστικοί μηχανισμοί εμφανίζονται συχνά

ανεπαρκείς για την αποτελεσματική διακυβέρνηση των νέων αυτών τεχνολογικών δυνατοτήτων, καθιστώντας αναγκαία τη διαμόρφωση συμμετοχικών και διαφανών πλαισίων ρύθμισης που θα διασφαλίζουν υπευθυνότητα και κοινωνική νομιμοποίηση (European Commission, 2019). Συνεπώς, η σύγκλιση φυσικού, ψηφιακού και βιολογικού κόσμου συνιστά όχι μόνο τεχνολογικό φαινόμενο, αλλά και βαθιά κοινωνικοπολιτική μεταβολή, η οποία απαιτεί διεπιστημονική προσέγγιση και συστηματικό αναστοχασμό ως προς τις επιπτώσεις της.

3.1.2 Δικτύωση και Συνδεσιμότητα (IoT / IIoT)

Οι διαδικασίες και οι μηχανές μπορούν να επικοινωνούν σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας επιτήρηση, έλεγχο, λήψη αποφάσεων και βελτιστοποίηση παραγωγής χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Η δικτύωση και συνδεσιμότητα αποτελούν ένα από τα κεντρικά στοιχεία της 4ης Βιομηχανικής Επανάστασης, καθώς οι διαδικασίες παραγωγής και οι μηχανές δεν λειτουργούν πλέον ως απομονωμένα στοιχεία, αλλά ως μέρη ενός ολοκληρωμένου συστήματος στο οποίο τα δεδομένα συλλέγονται, ανταλλάσσονται και αναλύονται σε πραγματικό χρόνο (όπως φαίνεται και στην εικόνα 17).



Εικόνα 17. How Does IIoT Work?

Note: [What Is Industrial IoT \(IIoT\)? Use Cases & Benefits](#)

Σύμφωνα με τον ορισμό της Cisco, το IIoT «είναι ένα οικοσύστημα συσκευών, αισθητήρων, δικτυακού εξοπλισμού και εφαρμογών που συλλέγουν, παρακολουθούν και αναλύουν δεδομένα από βιομηχανικές λειτουργίες». Με αυτόν τον τρόπο, η δυνατότητα λήψης αποφάσεων και παρέμβασης σε επίπεδο παραγωγής ενισχύεται σημαντικά, καθιστώντας δυνατή την πιο έγκαιρη και τεκμηριωμένη δράση (Cisco, n.d.).

Η εφαρμογή του IIoT σε βιομηχανικές επιχειρήσεις έχει ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση πόρων, τη βελτίωση της αποδοτικότητας και τη διαμόρφωση νέων επιχειρηματικών μοντέλων. Το IIoT επιτρέπει τη συλλογή, ανταλλαγή και ανάλυση δεδομένων, διευκολύνοντας τη βελτίωση της παραγωγικότητας και της αποδοτικότητας, της βιομηχανικής αυτοματοποίησης και των πλεονεκτημάτων της ψηφιακής μεταμόρφωσης. Επιπλέον, η δυνατότητα παρακολούθησης του εξοπλισμού μέσω αισθητήρων και η ενσωμάτωση έξυπνων μηχανών επιτρέπουν την εκτέλεση εργασιών με ελάχιστη ανθρώπινη παρέμβαση, γεγονός που μετασχηματίζει τη φύση της παραγωγικής διαδικασίας (Iotforall, 2025).

Παρά τα προφανή οφέλη και πλεονεκτήματα, η δικτύωση και συνδεσιμότητα στο πλαίσιο του IIoT επιφέρουν και σημαντικές προκλήσεις, όπως θέματα ασφάλειας, διαρροής προσωπικών και βιομηχανικών δεδομένων καθώς και διαλειτουργικότητας. Σύμφωνα με τη Huawei, το IIoT «συνδέει αισθητήρες και όργανα εφαρμογών βιομηχανικής φύσης με το Διαδίκτυο... μέσω της δικτύωσης και της επικοινωνίας με στόχο τη βελτιστοποίηση της παραγωγής, τη μείωση του κόστους και τη βελτίωση της ποιότητας». Η ανάγκη για ασφαλή σύνδεση, για έγκαιρη ανίχνευση δυνητικών προβλημάτων και για την αποφυγή υπερφόρτωσης των χρηστών από υπερβολικό όγκο ακατέργαστων δεδομένων υπογραμμίζει την σημασία της ολοκληρωμένης στρατηγικής υλοποίησης του IIoT (Tele2 IoT, 2022).

3.1.3 Αυτοματοποίηση και Τεχνητή Νοημοσύνη (AI)

Η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης, AI στις βιομηχανικές διαδικασίες έχει επιφέρει σημαντικές μεταβολές στον τρόπο εκτέλεσης εργασιών, επιτρέποντας υψηλή ακρίβεια, ταχύτητα και αυξημένη αυτονομία των συστημάτων, μειώνοντας παράλληλα την εξάρτηση από ανθρώπινη παρέμβαση. Οι σύγχρονες τεχνικές, όπως η μηχανική

μάθηση, η ρομποτική και η ανάλυση μεγάλων δεδομένων, Big Data, συνδυάζονται για τη δημιουργία αυτοματοποιημένων υποσυστημάτων που εκτελούν σύνθετες εργασίες με συνέπεια και αποτελεσματικότητα, χαρακτηριστικό που αποτελεί κεντρικό στοιχείο της αυτοματοποίησης.

Η εφαρμογή της ΑΙ περιλαμβάνει τη βελτιστοποίηση της προληπτικής συντήρησης, τη συνεργασία ανθρώπου και μηχανής μέσω ρομποτικών συστημάτων, την αυτοματοποιημένη προσαρμογή των παραγωγικών διαδικασιών και τη διαρκή βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων. Η δυνατότητα συνεχούς αυτορρύθμισης των συστημάτων οδηγεί σε σημαντική αύξηση της παραγωγικότητας και μείωση της ανάγκης ανθρώπινης παρέμβασης, ενώ οι βασικές περιοχές εφαρμογής περιλαμβάνουν αισθητήρες, επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και λήψη αποφάσεων από αυτοματοποιημένα υποσυστήματα.

Παρά τα πλεονεκτήματα, η υιοθέτηση της ΑΙ αντιμετωπίζει προκλήσεις, όπως η επιλογή κατάλληλων τεχνολογιών, η διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων, η ασφάλεια των συστημάτων και η διαλειτουργικότητα μεταξύ παραδοσιακών και νέων υποδομών. Επιπλέον, η μετάβαση σε αυτοματοποιημένα και «έξυπνα» συστήματα απαιτεί στρατηγικό σχεδιασμό σε επίπεδο οργανισμού και επενδύσεις σε δεξιότητες και εκπαίδευση προσωπικού. Σε αυτό το πλαίσιο, η τεχνητή νοημοσύνη δεν λειτουργεί απλώς ως πρόσθετο εργαλείο, αλλά ως καταλυτικός παράγοντας που επανασχεδιάζει και μετασχηματίζει ολόκληρα παραγωγικά μοντέλα (Mills, 2023).

3.1.4 Μεγάλα Δεδομένα (Big Data) και Data Analytics

Η συστηματική συλλογή και ανάλυση εκτεταμένων συνόλων δεδομένων αποτελεί πλέον θεμελιώδη παράγοντα ενίσχυσης της επιχειρησιακής στρατηγικής και της διαδικασίας λήψης αποφάσεων. Η ταχεία ανάπτυξη των τεχνολογιών Μεγάλων Δεδομένων, Big Data, έχει μετασχηματίσει τον τρόπο με τον οποίο οι οργανισμοί διαχειρίζονται την πληροφορία, επιτρέποντας την αποθήκευση και επεξεργασία μεγάλων, ετερογενών και ταχέως παραγόμενων δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά προέρχονται από ποικίλες πηγές, όπως βιομηχανικούς αισθητήρες, ψηφιακές συναλλαγές, μέσα κοινωνικής δικτύωσης και διαδικτυακές πλατφόρμες. Η δυνατότητα ανάλυσης σε πραγματικό χρόνο διευκολύνει

τον εντοπισμό προτύπων, την έγκαιρη διάγνωση δυσλειτουργιών και την πρόβλεψη μελλοντικών εξελίξεων, ενισχύοντας την προσαρμοστικότητα των επιχειρήσεων σε ένα διαρκώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον (Rahul, Suresh, & Singh, 2023).

Η αξιοποίηση των Data Analytics βασίζεται σε προηγμένες μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης, μέσω των οποίων εξάγεται αξιοποιήσιμη γνώση από τα συλλεγόμενα δεδομένα. Οι τεχνολογίες αυτές επιτρέπουν την τεκμηριωμένη υποστήριξη διοικητικών και επιχειρησιακών αποφάσεων, βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα των διαδικασιών και ενισχύοντας την ανταγωνιστικότητα (Yildiz, Aksoy, & Demir, 2024). Μέσω της αναλυτικής επεξεργασίας δεδομένων, οι οργανισμοί επιτυγχάνουν βελτιστοποίηση της παραγωγής, μείωση λειτουργικού κόστους και προσαρμογή προϊόντων και υπηρεσιών στις εξατομικευμένες ανάγκες των πελατών. Στο πλαίσιο της Βιομηχανίας 4.0, η ενσωμάτωση των Big Data συμβάλλει στη διαμόρφωση ενός διασυνδεδεμένου και «έξυπνου» παραγωγικού οικοσυστήματος, όπου οι αποφάσεις βασίζονται σε αναλυτικά δεδομένα και όχι αποκλειστικά στη διαισθητική κρίση ή την εμπειρία (Theodorakopoulos, Tsipis, & Fokaides, 2024).

Παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματα, η αξιοποίηση των Big Data συνοδεύεται από σύνθετες προκλήσεις που σχετίζονται με τη διαχείριση, την ποιότητα, την ασφάλεια και την προστασία των δεδομένων (Barzizza, Baglioni, & Ottaviano, 2023). Η διασφάλιση της αξιοπιστίας των πληροφοριών, η συμμόρφωση με κανονιστικά πλαίσια και η ενίσχυση της κυβερνοασφάλειας αποτελούν κρίσιμους παράγοντες για τη βιώσιμη αξιοποίησή τους. Επιπλέον, η ανάπτυξη αποτελεσματικών πολιτικών διακυβέρνησης δεδομένων και η καλλιέργεια αναλυτικών δεξιοτήτων στο ανθρώπινο δυναμικό συνιστούν βασικές προϋποθέσεις επιτυχούς ενσωμάτωσης (Hwang, 2024). Συνεπώς, η ορθολογική ενσωμάτωση των τεχνολογιών Big Data και Data Analytics στις επιχειρησιακές λειτουργίες αναδεικνύεται σε στρατηγικό μοχλό καινοτομίας και βιώσιμης ανάπτυξης στη σύγχρονη ψηφιακή οικονομία.

3.1.5 Προσαρμοστικότητα και Εξατομίκευση

Η μετάβαση στη νέα βιομηχανική πραγματικότητα χαρακτηρίζεται από τη σταδιακή απομάκρυνση από το παραδοσιακό μοντέλο της τυποποιημένης μαζικής παραγωγής προς

περισσότερο ευέλικτα και πελατοκεντρικά παραγωγικά σχήματα. Στο πλαίσιο της 4IR, η ανάπτυξη προϊόντων και υπηρεσιών προσαρμοσμένων στις ιδιαίτερες ανάγκες των χρηστών αναδεικνύεται σε βασικό άξονα στρατηγικής διαφοροποίησης. Η έννοια της μαζικής προσαρμογής επιτρέπει στις επιχειρήσεις να συνδυάζουν την αποδοτικότητα της μαζικής παραγωγής με την ευελιξία της εξατομίκευσης, ανταποκρινόμενες αποτελεσματικά στις διαφοροποιημένες προτιμήσεις των καταναλωτών (Tiihonen & Felfernig, 2017).

Η αξιοποίηση τεχνολογιών όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), η ρομποτική και τα συστήματα ανάλυσης δεδομένων ενισχύει τη δυνατότητα δυναμικής προσαρμογής των προϊόντων ακόμη και σε πραγματικό χρόνο. Η τεχνολογική αυτή υποδομή καθιστά εφικτή την παραγωγή μικρών παρτίδων με υψηλό βαθμό διαφοροποίησης, χωρίς να υπονομεύεται η λειτουργική αποδοτικότητα (Pech & Vrchota, 2022). Κατ' αυτόν τον τρόπο, η παραγωγή μετατρέπεται σε ευέλικτο και διασυνδεδεμένο σύστημα, ικανό να ανταποκρίνεται άμεσα στις μεταβολές της ζήτησης.

Πέραν της εξωτερικής διάστασης που αφορά την προσαρμογή στις απαιτήσεις των πελατών, η εξατομίκευση επιφέρει σημαντικές μεταβολές και στο εσωτερικό των οργανισμών. Οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις, ιδίως, δύνανται να αξιοποιήσουν συνεργατικά δίκτυα και ψηφιακές πλατφόρμες, συνδυάζοντας δυναμική διαμόρφωση προϊόντων με ευέλικτες παραγωγικές δυνατότητες, προκειμένου να υλοποιήσουν στρατηγικές μαζικής εξατομίκευσης. Επιπλέον, η έννοια της «μαζικής εξατομίκευσης» συνδέεται άμεσα με την ικανότητα των επιχειρήσεων να προσαρμόζονται σε μεταβαλλόμενες προτιμήσεις και να βελτιώνουν τη συνολική εμπειρία του καταναλωτή, στοιχείο που ενισχύει την ανταγωνιστικότητά τους (Grabowska και συν. 2020).

Ωστόσο, η εφαρμογή στρατηγικών προσαρμοστικότητας και εξατομίκευσης δεν στερείται προκλήσεων. Η επιτυχής υλοποίησή τους προϋποθέτει επαρκές επίπεδο τεχνολογικής ωριμότητας, ολοκληρωμένη διασύνδεση παραγωγικών και πληροφοριακών συστημάτων, καθώς και αποτελεσματικούς μηχανισμούς διακυβέρνησης. Οι οργανισμοί που κατορθώνουν να ενοποιήσουν τις λειτουργικές και ψηφιακές τους υποδομές αποκτούν σαφές πλεονέκτημα στην παροχή εξατομικευμένων λύσεων. Παράλληλα, η ενεργός συμμετοχή των πελατών στη διαδικασία σχεδιασμού, η

αποτελεσματική διαχείριση της ποικιλίας προϊόντων και ο έλεγχος του κόστους αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες για την ενίσχυση της προσαρμοστικότητας στο παραγωγικό περιβάλλον της Βιομηχανίας 4.0 (Pech & Vrchota, 2022).

Συνεπώς, η προσαρμοστικότητα και η εξατομίκευση δεν αποτελούν απλώς τεχνολογικές επιλογές, αλλά ολοκληρωμένες στρατηγικές μετασχηματισμού, οι οποίες επηρεάζουν τη δομή, τη λειτουργία και την ανταγωνιστική θέση των σύγχρονων επιχειρήσεων.

3.1.6 Ταχύτητα και Συνεχής Αλλαγή

Η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση χαρακτηρίζεται από πρωτοφανή επιτάχυνση στην ανάπτυξη και διάχυση των τεχνολογιών, γεγονός που μεταβάλλει ριζικά το παραγωγικό, οικονομικό και κοινωνικό περιβάλλον. Η ταχύτητα υιοθέτησης των τεχνολογιών Industry 4.0 δημιουργεί ένα δυναμικό πλαίσιο διαρκούς αναδιαμόρφωσης των οργανωτικών δομών και των επιχειρησιακών μοντέλων. Σε αντίθεση με προηγούμενες βιομηχανικές περιόδους, όπου οι μεταβολές εξελίσσονταν σταδιακά, η σύγχρονη τεχνολογική πρόοδος επιφέρει μετασχηματισμούς σε ιδιαίτερα σύντομους χρονικούς ορίζοντες, απαιτώντας άμεση προσαρμογή των στρατηγικών και λειτουργικών επιλογών των επιχειρήσεων (Arredondo-Mendez και συν., 2021).

Η ενσωμάτωση των ψηφιακών τεχνολογιών δεν συνιστά γραμμική ή αυτοματοποιημένη διαδικασία, αλλά πολυεπίπεδο μετασχηματισμό που επηρεάζει τόσο τις εσωτερικές διαδικασίες όσο και τις σχέσεις με το εξωτερικό περιβάλλον. Οι επιχειρήσεις καλούνται να αναπτύξουν μηχανισμούς ευελιξίας οργάνωσης και στρατηγικής προσαρμοστικότητας, προκειμένου να ανταποκρίνονται στις ταχύτατες τεχνολογικές εξελίξεις. Η ικανότητα διαχείρισης της αλλαγής αποτελεί κρίσιμο παράγοντα βιωσιμότητας και ανταγωνιστικότητας στο νέο βιομηχανικό τοπίο.

Η επιτάχυνση της τεχνολογικής προόδου έχει άμεσες επιπτώσεις και στην αγορά εργασίας. Παραδοσιακά επαγγελματικά πεδία μετασχηματίζονται ή αναδιαρθρώνονται, ενώ παράλληλα αναδύονται νέοι ρόλοι που απαιτούν συνδυασμό ψηφιακών, τεχνικών και αναλυτικών δεξιοτήτων. Ως εκ τούτου, η επένδυση στη συνεχή κατάρτιση αναδεικνύεται σε στρατηγική αναγκαιότητα. Η ενίσχυση βασικών ψηφιακών ικανοτήτων

και η συστηματική επανεκπαίδευση του ανθρώπινου δυναμικού αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες για τη διατήρηση της ανταγωνιστικής θέσης των επιχειρήσεων (McKinsey & Company, 2020). Στο πλαίσιο αυτό, η ικανότητα ταχείας προσαρμογής μετατρέπεται σε βασική προϋπόθεση επιβίωσης στην ψηφιακή οικονομία.

Παράλληλα, η συχνότητα και η ένταση των τεχνολογικών ανατροπών δημιουργούν ευρύτερες κοινωνικές και αναπτυξιακές προκλήσεις. Η πιθανή διεύρυνση κοινωνικών και περιφερειακών ανισοτήτων, καθώς και η ανάγκη ανασχεδιασμού εργασιακών πολιτικών, καθιστούν επιτακτική τη διαμόρφωση συνεκτικών στρατηγικών σε επίπεδο δημόσιας πολιτικής και εταιρικής διακυβέρνησης (Quintero, 2022). Η επιτυχής μετάβαση στην Industry 4.0 προϋποθέτει συνδυασμό τεχνολογικής και κοινωνικής καινοτομίας, ώστε η πρόοδος να συνοδεύεται από διασφάλιση κοινωνικής και εργασιακής συνοχής (Arredondo-Mendez και συν., 2021).

Συνολικά, η ταχύτητα και η διαρκής αλλαγή δεν αποτελούν απλώς τεχνολογικά χαρακτηριστικά της νέας εποχής, αλλά δομικούς παράγοντες που επαναπροσδιορίζουν τις στρατηγικές επιλογές, τα επιχειρησιακά μοντέλα και τον ρόλο των οργανισμών στο σύγχρονο οικονομικό και κοινωνικό σύστημα.

Η διαρκής επιτάχυνση της τεχνολογικής προόδου στο πλαίσιο της Industry 4.0 δεν περιορίζεται σε οργανωσιακές και παραγωγικές αναπροσαρμογές, αλλά διαμορφώνει ένα ευρύτερο μετασχηματιστικό περιβάλλον με πολυεπίπεδες συνέπειες. Η ανάγκη συνεχούς προσαρμογής επιχειρήσεων και εργαζομένων αναδεικνύει ότι η ταχύτητα της αλλαγής αποτελεί όχι μόνο στρατηγική πρόκληση, αλλά και κοινωνικοοικονομικό φαινόμενο με βαθύτερες προεκτάσεις. Ως εκ τούτου, η ανάλυση της δυναμικής της Industry 4.0 δεν μπορεί να εξαντλείται στη μελέτη των τεχνολογικών και επιχειρησιακών μεταβολών, αλλά οφείλει να επεκτείνεται στη διερεύνηση των κοινωνικών, οικονομικών και ηθικών επιπτώσεων που απορρέουν από αυτήν τη συνεχή διαδικασία μετασχηματισμού.

3.1.7 Κοινωνικές, Οικονομικές και Ηθικές Επιπτώσεις

Ως θεωρητικά επιτυχημένη εφαρμογή η 4IR επιφέρει εκτεταμένες μεταβολές που υπερβαίνουν το τεχνολογικό επίπεδο και επηρεάζουν ουσιαστικά τη δομή της εργασίας,

τις απαιτούμενες δεξιότητες και τη δυναμική των ανθρώπινων σχέσεων εντός και εκτός των επιχειρήσεων. Η ευρεία υιοθέτηση της αυτοματοποίησης και ειδικότερα των συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης αναδιαμορφώνει επαγγελματικούς ρόλους και καθιστά τη συνεργασία ανθρώπου μηχανής κεντρικό στοιχείο του σύγχρονου παραγωγικού προτύπου (Schwab, 2017). Η εξέλιξη αυτή συνεπάγεται αυξημένες ανάγκες προσαρμογής τόσο σε ατομικό όσο και σε θεσμικό επίπεδο, καθώς απαιτούνται πολιτικές που θα διασφαλίζουν ομαλή και δίκαιη μετάβαση, ιδίως για κοινωνικές ομάδες που πλήττονται δυσανάλογα από τις τεχνολογικές μεταβολές (Brynjolfsson & McAfee, 2014).

Σε οικονομικό επίπεδο, η ψηφιακή μετάβαση δημιουργεί νέες δυνατότητες καινοτομίας, επιχειρηματικής ανάπτυξης και αύξησης της παραγωγικότητας. Ωστόσο, η ίδια δυναμική μπορεί να εντείνει φαινόμενα συγκέντρωσης οικονομικής ισχύος και ανισοκατανομής του εισοδήματος, ιδιαίτερα σε αγορές όπου κυριαρχούν μεγάλοι τεχνολογικοί οργανισμοί. Η προσαρμογή στην οικονομία της γνώσης και των δεδομένων προϋποθέτει αναθεώρηση των εκπαιδευτικών και εργασιακών μοντέλων, ώστε να καλλιεργούνται δεξιότητες που ανταποκρίνονται στις ανάγκες των μελλοντικών αγορών εργασίας (OECD, 2020). Παράλληλα, η ανάδειξη των δεδομένων ως στρατηγικού πόρου ενισχύει τη σημασία της αποτελεσματικής διαχείρισής τους, αλλά ταυτόχρονα αυξάνει τους κινδύνους που σχετίζονται με την ιδιωτικότητα, την κυβερνοασφάλεια και τη μη ορθή χρήση τεχνολογικών εφαρμογών (European Commission, 2019).

Οι ηθικές διαστάσεις της Industry 4.0 αποκτούν ιδιαίτερη βαρύτητα στο πλαίσιο αυτό. Ζητήματα όπως η διαφάνεια των αλγοριθμικών συστημάτων, η αποφυγή μεροληψίας στις αυτοματοποιημένες αποφάσεις, η προστασία προσωπικών δεδομένων και η υπεύθυνη ανάπτυξη της τεχνητής νοημοσύνης αποτελούν βασικούς άξονες της σύγχρονης ακαδημαϊκής και πολιτικής συζήτησης (Jobin και συν., 2019). Η πρόκληση έγκειται στη διαμόρφωση πλαισίων διακυβέρνησης που θα επιτρέπουν την τεχνολογική πρόοδο χωρίς να υπονομεύονται θεμελιώδεις αξίες, όπως είναι η δικαιοσύνη, η ισότητα και η ανθρώπινη αξιοπρέπεια.

Η επίτευξη ενός βιώσιμου και χωρίς αποκλεισμούς μέλλοντος στο πλαίσιο της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης απαιτεί συνδυασμό τεχνολογικής και κοινωνικής

υπευθυνότητας. Η πρόοδος δεν μπορεί να αξιολογείται αποκλειστικά με όρους αποδοτικότητας και καινοτομίας, αλλά οφείλει να ενσωματώνει αρχές συμπερίληψης, ηθικής λογοδοσίας και μακροπρόθεσμης κοινωνικής ευημερίας (Schwab, 2017).

3.2 Διαφοροποιήσεις από Προηγούμενες Βιομηχανικές Επαναστάσεις

Η χρήση του όρου «βιομηχανική επανάσταση» δεν αποτελεί απλή ρητορική επιλογή, αλλά υποδηλώνει μια ριζική και συστημική μεταβολή που ανατρέπει τις κυρίαρχες παραγωγικές, οικονομικές και κοινωνικές δομές μιας εποχής. Ο χαρακτηρισμός «επανάσταση» αποδίδεται σε περιόδους κατά τις οποίες η τεχνολογική πρόοδος δεν επιφέρει απλώς σταδιακές βελτιώσεις, αλλά θεμελιώδη αναδιάρθρωση των τρόπων παραγωγής, της οργάνωσης της εργασίας και της κοινωνικής ζωής. Στο πλαίσιο αυτό, η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση διαφοροποιείται ποιοτικά από τις προηγούμενες τρεις, καθώς δεν περιορίζεται σε επιμέρους τεχνολογικές καινοτομίες, αλλά συνιστά ένα πολυδιάστατο φαινόμενο σύγκλισης ψηφιακών, φυσικών και βιολογικών συστημάτων (Marr, n.d.).

Η Πρώτη Βιομηχανική Επανάσταση (τέλη 18ου – αρχές 19ου αιώνα) θεμελιώθηκε στη μηχανοποίηση της παραγωγής μέσω της αξιοποίησης της ατμοκίνησης. Η ατμομηχανή, η οποία τελειοποιήθηκε και κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από τον James Watt το 1769, αποτέλεσε καταλύτη για τη μετάβαση από την αγροτική οικονομία στη βιομηχανική παραγωγή μεγάλης κλίμακας. Ο μετασχηματισμός αυτός συνοδεύτηκε από βαθιές κοινωνικές και οικονομικές αλλαγές, όπως η αστικοποίηση, η ανάπτυξη εργοστασιακών μονάδων και η αναδιάρθρωση της εργασίας. Για την εποχή της, επρόκειτο για έναν πρωτοφανή τεχνολογικό και κοινωνικό μετασχηματισμό (Iberdrola, 2025) Περισσότερο από δύο αιώνες αργότερα, η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση προκαλεί αναταραχή του ίδιου βεληνεκούς.

Το καθοριστικό ερώτημα όμως είναι, πώς προέκυψε η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση; Ανατρέχοντας στις προηγούμενες τρεις βιομηχανικές επαναστάσεις (όπως φαίνεται και στην εικόνα 18), παρουσιάζονται χαρακτηριστικά που άλλαξαν τη ζωή και τον κόσμο όταν συνέβησαν.

3.2.1 Πρώτη Βιομηχανική Επανάσταση (τέλη 18ου αιώνα)

Η Πρώτη Βιομηχανική Επανάσταση, η οποία τοποθετείται γύρω στο 1760–1840, σηματοδοτεί μια βαθιά μετάβαση από τις αγροτικές, χειρωνακτικές μορφές παραγωγής προς νέες μηχανοποιημένες διαδικασίες, αποτέλεσμα της αξιοποίησης του ατμού ως κινητήριας δύναμης (Mokyr, 1990). Η εφεύρεση της ατμομηχανής και η εισαγωγή μηχανοποιημένων εργαλειών, οδήγησαν σε πρωτοφανή αύξηση της παραγωγικότητας και σε μια συστηματική αναδιοργάνωση της εργασίας. Η μετάβαση αυτή αποτέλεσε το σημείο αφετηρίας για τη δημιουργία βιομηχανικών πόλεων και τη ραγδαία διεύρυνση των διεθνών εμπορικών δικτύων (Stearns, 2013).

Η τεχνολογική αυτή εξέλιξη διαμόρφωσε νέες κοινωνικές δομές, συγκέντρωση εργατικού δυναμικού σε εργοστάσια και τη γέννηση της βιομηχανικής εργατικής τάξης (Ashton, 1997). Παράλληλα, η ανάπτυξη του σιδηροδρόμου και οι βελτιώσεις στις μεταφορές ενίσχυσαν την κινητικότητα ανθρώπων και αγαθών, επιτρέποντας τη δημιουργία ευρύτερων αγορών. Οι αλλαγές αυτές δεν επηρέασαν μόνο την οικονομία, αλλά και την κοινωνική και πολιτισμική πραγματικότητα της εποχής, οδηγώντας σε έντονες συζητήσεις σχετικά με τις εργασιακές σχέσεις και τις νέες μορφές παραγωγής (Landes, 1969).

Η Πρώτη Βιομηχανική Επανάσταση αποτελεί καθοριστικό ιστορικό γεγονός, καθώς έθεσε τα θεμέλια για τη σύγχρονη βιομηχανική ανάπτυξη και άνοιξε τον δρόμο για τις μεταγενέστερες τεχνολογικές καινοτομίες που θα ακολουθούσαν. Η εδραίωση της μηχανοποίησης και της χρήσης νέων μορφών ενέργειας επέφερε μια μόνιμη αλλαγή στον τρόπο με τον οποίο παράγονται τα αγαθά και διαρθρώνονται οι οικονομίες (BritannicaEditors, 2026).

3.2.2 Δεύτερη Βιομηχανική Επανάσταση (1870 – αρχές 20ού αιώνα)

Η Δεύτερη Βιομηχανική Επανάσταση, που εκτείνεται περίπου από το 1870 έως τις αρχές του 20ού αιώνα, χαρακτηρίστηκε από την εκτεταμένη αξιοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία επέτρεψε την ανάπτυξη της μαζικής παραγωγής και των γραμμών συναρμολόγησης (Hobsbawm, 1999). Η ανάπτυξη της ηλεκτροδότησης επέφερε την

αυτοματοποίηση πολλών παραγωγικών διαδικασιών, οδηγώντας σε πρωτόγνωρα επίπεδα παραγωγικότητας και χαμηλότερο κόστος παραγωγής, πλέον ο χρόνος αποτελεί σημαντικό κίνητρο για την αύξηση της παραγωγικότητας. Επιπλέον, η εφεύρεση του εσωτερικού κινητήρα καύσης συνέβαλε στην ανάπτυξη της αυτοκινητοβιομηχανίας και των νέων μορφών μεταφορών που χαρακτηρίστηκαν ως ευέλικτες εφαρμογές (Gordon, 2016).

Η περίοδος αυτή χαρακτηρίστηκε επίσης από εντυπωσιακή τεχνολογική και επιστημονική πρόοδο. Η χημική βιομηχανία, η χαλυβουργία και η εφεύρεση του τηλέγραφου γνώρισαν ταχύτατη ανάπτυξη, ενώ η βελτίωση των επικοινωνιών συνέβαλε στη δημιουργία νέων διεθνών οικονομικών συστημάτων (Britannica, n.d.). Η χρήση της ταινίας συναρμολόγησης από τον Henry Ford το 1913 αποτελεί εμβληματικό παράδειγμα της ριζικής αλλαγής στην παραγωγή, οδηγώντας στη θεμελίωση του ως πρότυπου οργάνωσης και λειτουργίας της εκάστοτε νέας βιομηχανικής εργασίας. Παράλληλα, η Δεύτερη Βιομηχανική Επανάσταση έφερε σημαντικές κοινωνικές μεταβολές. Η αστικοποίηση επιταχύνθηκε, η εκπαίδευση βελτιώθηκε και νέες μορφές καταναλωτισμού άρχισαν να αναδύονται. Η περίοδος αυτή θεμελίωσε τη μαζική παραγωγή και κατανάλωση, στοιχεία που θα επηρέαζαν καθοριστικά τις κοινωνικοοικονομικές δομές του 20ού αιώνα (Stearns, 2013).

3.2.3 Τρίτη Βιομηχανική Επανάσταση (1960s – τέλη 20ού αιώνα)

Η Τρίτη Βιομηχανική Επανάσταση, γνωστή ως Ψηφιακή Επανάσταση, ξεκινά τη δεκαετία του 1960 και χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση και εξάπλωση των ηλεκτρονικών υπολογιστών, των μικροεπεξεργαστών και της αυτοματοποίησης (Rifkin, 2011). Η δυνατότητα προγραμματισμού των μηχανών σηματοδότησε μια ειδοποιό διαφορά σε σχέση με τις προηγούμενες επαναστάσεις, καθώς η ψηφιοποίηση επέτρεψε την εκτέλεση παραγωγικών διαδικασιών με πρωτοφανή ακρίβεια και ευελιξία. Οι τεχνολογίες πληροφορικής έγιναν το νέο υπόβαθρο για τη βιομηχανική παραγωγή και τις υπηρεσίες (Castells, 1996).

Η ανάπτυξη των δικτύων τηλεπικοινωνιών, και κυρίως του Διαδικτύου, ενίσχυσε περαιτέρω τη διασύνδεση ανθρώπων, επιχειρήσεων και συστημάτων σε παγκόσμια κλίμακα (Friedman, 2005). Η εισαγωγή των βιομηχανικών ρομπότ, ιδιαίτερα στις αυτοκινητοβιομηχανίες, άλλαξε ριζικά τον τρόπο με τον οποίο εκτελούνται οι εργασίες, εδραιώνοντας τον σύγχρονο αυτοματισμό ως βασικό παράγοντα παραγωγικής οργάνωσης (Brynjolfsson & McAfee, 2014). Η εξάπλωση των ηλεκτρονικών υπολογιστών, και αργότερα των έξυπνων συστημάτων, επέφερε ριζικές μεταβολές στην επιχειρηματικότητα, την επικοινωνία και την παγκόσμια οικονομία.

Η Τρίτη Βιομηχανική Επανάσταση αποτελεί τη θεμελιακή βάση για την Τέταρτη Επανάσταση, καθώς εισάγει τις ψηφιακές τεχνολογίες που επιτρέπουν τη συνδυασμένη χρήση δεδομένων, υπολογιστικής ισχύος και αυτοματισμού. Η βαθιά ψηφιοποίηση της κοινωνίας και των επιχειρήσεων ανέδειξε νέες μορφές εργασίας, γνώσης και κοινωνικής οργάνωσης, οι οποίες συνεχίζουν να εξελίσσονται στο πλαίσιο της τρέχουσας τεχνολογικής μετάβασης. Η εμφάνιση έξυπνων εργοστασίων και διαδικτυακής διαχείρισης παραγωγής το 2014 αποτέλεσε καταλυτική ‘‘στροφή’’ για την πορεία ανάπτυξης του βιομηχανικού κλάδου. Ο άνθρωπος πλέον βιώνει μια επανάσταση εντελώς διαφορετική από τις άλλες που αλλάζει θεμελιωδώς τον τρόπο ζωής, εργασίας καθώς και κοινωνικοπολιτικής τοποθέτησης (Schwab, 2017).

3.2.4 Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση (Αρχές 21ού αιώνα)

Η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση (4IR) δεν αποτελεί φαινόμενο που περιορίζεται αποκλειστικά σε τεχνολογικά ανεπτυγμένες κοινωνίες, αλλά εξελίσσεται σταδιακά σε παγκόσμιο επίπεδο, επηρεάζοντας κράτη και οικονομίες ανεξαρτήτως βαθμού ανάπτυξης. Η ένταση, η ταχύτητα και ο χρόνος υιοθέτησης των σχετικών καινοτομιών διαφοροποιούνται μεταξύ περιοχών, ωστόσο ο μετασχηματιστικός της χαρακτήρας είναι καθολικός. Η 4IR επιδρά ουσιαστικά στη βιομηχανική παραγωγή, στα επιχειρηματικά μοντέλα, στη δομή και την παροχή υπηρεσιών, καθώς και στις κοινωνικές αλληλεπιδράσεις. Στο πλαίσιο του ψηφιακού μετασχηματισμού που βρίσκεται σε εξέλιξη, δημιουργούνται νέες δυνατότητες και αναδιαμορφώνονται τα γεωγραφικά και οικονομικά όρια, ενώ καταβάλλεται προσπάθεια γεφύρωσης υφιστάμενων τεχνολογικών

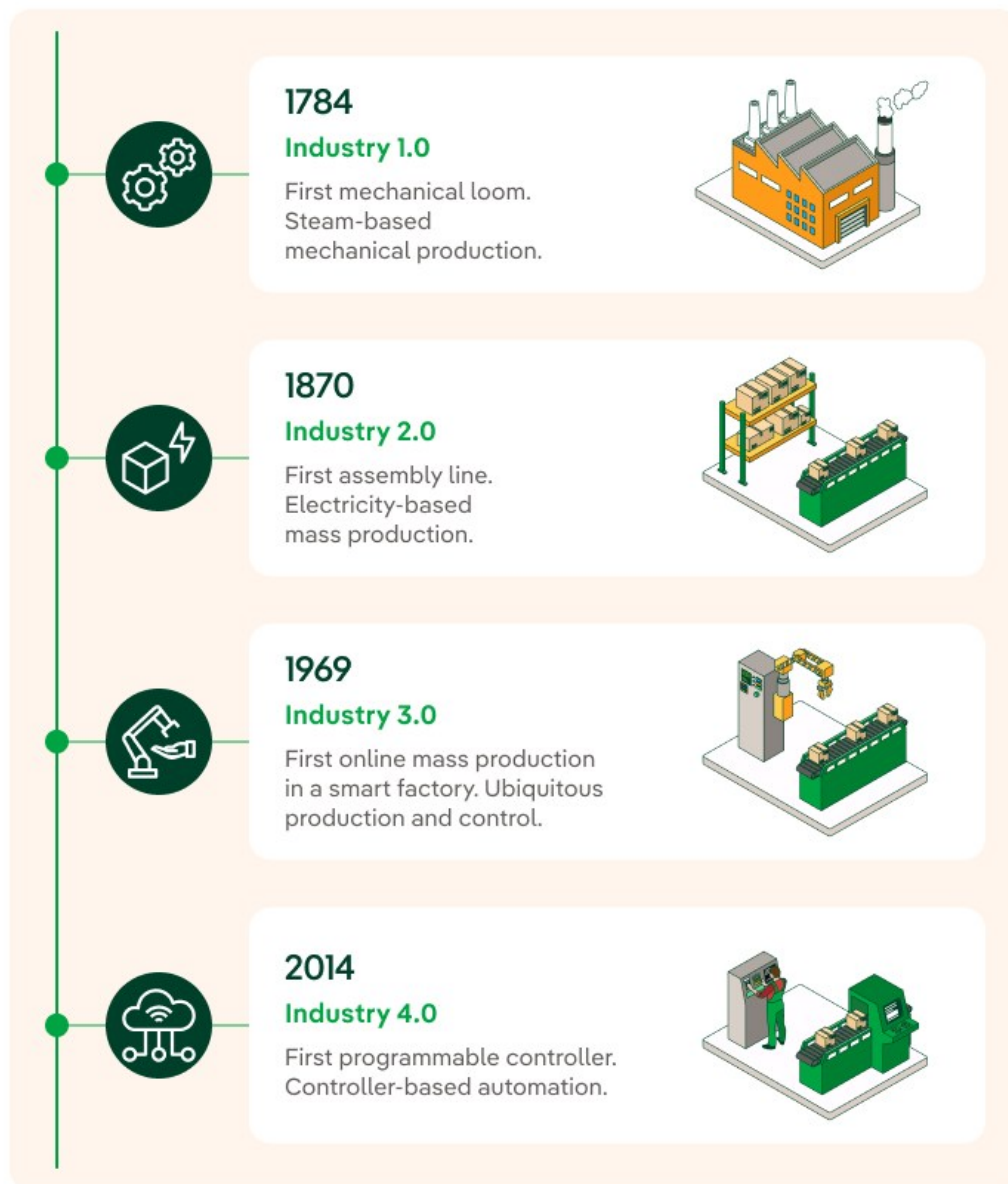
και ψηφιακών ανισοτήτων μεταξύ ανεπτυγμένων και αναπτυσσόμενων οικονομιών (European Commission, 2022).

Πέραν των οικονομικών επιπτώσεων, η 4IR συνδέεται άμεσα και με τη διάσταση της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας. Οι αναδυόμενες τεχνολογίες καθιστούν εφικτή την ανάπτυξη εξελιγμένων συστημάτων διαχείρισης φυσικών πόρων, «έξυπνων» ενεργειακών δικτύων και μηχανισμών παρακολούθησης περιβαλλοντικών δεικτών. Μέσω της αξιοποίησης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και της δυνατότητας πρόβλεψης και βελτιστοποίησης οικολογικών διεργασιών, ενισχύονται οι προοπτικές περιορισμού των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων και αποκατάστασης οικοσυστημάτων. Κατ' αυτόν τον τρόπο, οι τεχνολογικές καινοτομίες δύνανται να λειτουργήσουν αντισταθμιστικά ως προς τις επιπτώσεις που προκάλεσαν οι προηγούμενες φάσεις εκβιομηχάνισης, διαμορφώνοντας ένα νέο αναπτυξιακό πρότυπο που συνδυάζει την τεχνολογική πρόοδο με τις αρχές της αειφορίας και της οικολογικής ισορροπίας (Marr, n.d).

Σε ευρύτερο επίπεδο, η 4IR συνιστά μια βαθιά και πολυεπίπεδη μεταβολή στον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι ζουν, εργάζονται και αλληλεπιδρούν. Η σύγκλιση του φυσικού, του ψηφιακού και του βιολογικού κόσμου δημιουργεί ένα σύνθετο περιβάλλον, στο οποίο οι τεχνολογικές εξελίξεις επηρεάζουν όχι μόνο την παραγωγική διαδικασία αλλά και τις κοινωνικές δομές και τις πολιτισμικές αντιλήψεις. Η κλίμακα και η ταχύτητα των αλλαγών επιβάλλουν την επανεξέταση θεμελιωδών παραδοχών σχετικά με την οικονομική ανάπτυξη, τη δημιουργία και διανομή αξίας, καθώς και τον ρόλο του ανθρώπου σε ένα ολοένα και περισσότερο αυτοματοποιημένο περιβάλλον.

Υπό το πρίσμα αυτό, η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση δεν μπορεί να αντιμετωπίζεται αποκλειστικά ως τεχνολογική μετάβαση. Αντιθέτως, αποτελεί ευκαιρία αναστοχασμού και αναδιαμόρφωσης των κοινωνικών και οικονομικών θεσμών με γνώμονα τη συμπερίληψη, τη βιωσιμότητα και την ενίσχυση της ανθρώπινης ευημερίας. Η πρόκληση έγκειται στη διακυβέρνηση και αξιοποίηση των συγκλινουσών τεχνολογιών με τρόπο που θα ενδυναμώνει τον ανθρώπινο παράγοντα και θα προάγει την κοινωνική συνοχή. Όπως διαπιστώνεται η ουσιαστική δυναμική της 4IR δεν εξαντλείται στην καινοτομία αυτή καθαυτή, αλλά εντοπίζεται στη δυνατότητά της να διαμορφώσει ένα ανθρωποκεντρικό και βιώσιμο μέλλον (Schwab, 2017).

Industrial revolutions throughout history



Εικόνα 18. Βιομηχανικές Επαναστάσεις

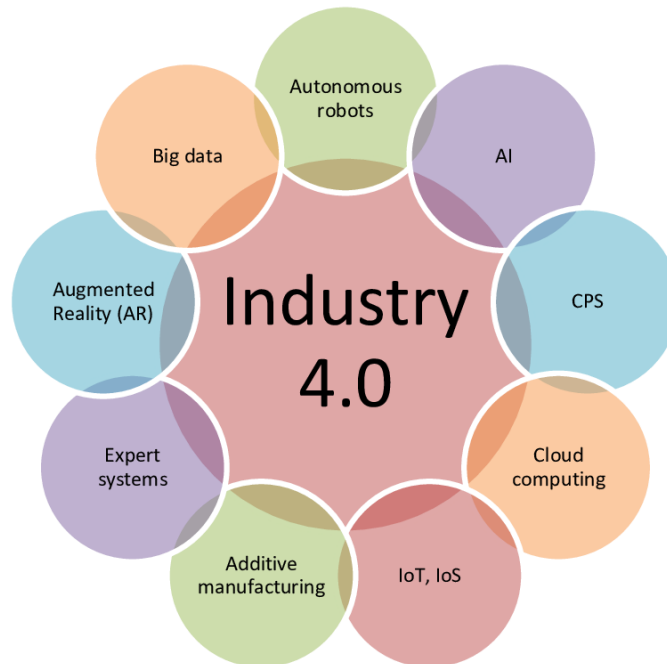
Note: [Εξωτερικός σύνδεσμος, ανοίγει σε νέο παράθυρο.](#)  [ΔΕΙΤΕ INFOGRAPHIC: Βιομηχανικές επαναστάσεις σε όλη την ιστορία \[PDF\]](#) [Εξωτερικός σύνδεσμος, ανοίγει σε νέο παράθυρο.](#)

3.3 Κύριες Τεχνολογίες που Καθορίζουν την 4η Βιομηχανική

Επανάσταση

Αυτή η σύγχρονη φάση της τεχνολογικής εξέλιξης που αφορά την 4IR χαρακτηρίζεται από βαθιές μεταβολές στη δομή των παραγωγικών συστημάτων και στον τρόπο οργάνωσης των βιομηχανικών μονάδων. Οι μεταβολές αυτές υπερβαίνουν το στάδιο της απλής ψηφιοποίησης και συνδέονται με την ενσωμάτωση ευφύων συστημάτων, τη συστηματική αξιοποίηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και την τελειοποίηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ ανθρώπου και μηχανής. Η σύγκλιση φυσικών, ψηφιακών και βιολογικών συστημάτων οδηγεί στη διαμόρφωση ενός νέου τεχνολογικού οικοσυστήματος, στο οποίο η παραγωγή, η διαχείριση πληροφοριών και οι διαδικασίες λήψης αποφάσεων αναδιοργανώνονται με αυξανόμενο βαθμό αυτοματοποίησης και διασύνδεσης (Schwab, 2017).

Σε αντίθεση με τις προηγούμενες βιομηχανικές επαναστάσεις, η 4IR δεν προσδιορίζεται από μία μεμονωμένη καινοτομία, αλλά από τη συνδυαστική ανάπτυξη και αλληλεπίδραση πολλαπλών καινοτομιών. Η λειτουργική τους σύγκλιση δημιουργεί ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ψηφιακής διασύνδεσης και αυτοματοποιημένης λειτουργίας, το οποίο επηρεάζει τόσο τις παραγωγικές διαδικασίες όσο και τη συνολική οργανωτική λειτουργία των επιχειρήσεων. Για τον λόγο αυτό, η κατανόηση των βασικών τεχνολογικών πυλώνων που συγκροτούν το σύγχρονο βιομηχανικό πρότυπο αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ερμηνεία των αλλαγών που παρατηρούνται σε παραγωγικά συστήματα (Lasi και συν., 2014). Οι κύριες τεχνολογίες που διαμορφώνουν το νέο βιομηχανικό περιβάλλον χαρακτηρίζονται από υψηλό βαθμό συνδεσιμότητας, προηγμένες δυνατότητες επεξεργασίας δεδομένων και αυξημένο επίπεδο αυτοματοποίησης. Σε αυτά συγκαταλέγονται το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things, IoT) και η βιομηχανική του εφαρμογή (Industrial Internet of Things, IIoT), η τεχνητή νοημοσύνη (Artificial Intelligence, AI), τα κυβερνο-φυσικά συστήματα (Cyber-Physical Systems, CPS) και οι τεχνολογίες ανάλυσης μεγάλων δεδομένων (Big Data) (όπως φαίνεται και στην εικόνα 19).



Εικόνα 19. 4IR Related Technologies

Note: [4IR related technologies \[11\]](#) | [Download Scientific Diagram](#)

Παράλληλα, σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν η ρομποτική νέας γενιάς, οι υποδομές cloud computing και οι τεχνολογίες επεξεργασίας δεδομένων edge computing, οι οποίες επιτρέπουν την αποθήκευση, επεξεργασία και αξιοποίηση μεγάλου όγκου πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο (Kagermann και συν. 2013). Η συνδυαστική αξιοποίηση των παραπάνω καθιστά δυνατή την ανάπτυξη ευφών και διασυνδεδεμένων συστημάτων παραγωγής, τα οποία είναι ικανά να παρακολουθούν συνεχώς τη λειτουργία τους, να προσαρμόζονται σε μεταβαλλόμενες συνθήκες και να βελτιστοποιούν τις παραγωγικές διαδικασίες. Η συνεχής συλλογή και ανάλυση δεδομένων ψηφιακά επιτρέπει την πρόβλεψη και πρόγνωση, έγκαιρη ανίχνευση αποκλίσεων, τη βελτίωση της αποδοτικότητας και την υποστήριξη τεκμηριωμένης λήψης αποφάσεων. Επιπλέον, τεχνολογίες όπως το blockchain, τα ψηφιακά δίδυμα, digital Twins και η προσθετική κατασκευή συμβάλλουν στην ενίσχυση της διαφάνειας, της ευελιξίας και της ανθεκτικότητας των σύγχρονων παραγωγικών συστημάτων (Xu και συν. 2018).

Η αποτελεσματική εφαρμογή και αξιοποίηση των συγκεκριμένων σύγχρονων τεχνολογιών προϋποθέτει, πέρα από την τεχνολογική αναβάθμιση και εφαρμογή, την

ανάπτυξη κατάλληλων οργανωτικών στρατηγικών, την προσαρμογή των παραγωγικών δομών και την ενίσχυση των δεξιοτήτων του ανθρώπινου δυναμικού. Η διαχείριση των μεταβολών αυτών αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας των επιχειρήσεων και για τη διαμόρφωση βιώσιμων μοντέλων ανάπτυξης στο σύγχρονο βιομηχανικό περιβάλλον (Schwab, 2017).

3.4 Επιπτώσεις στη Βιομηχανία Παραγωγής

3.4.1 Πλεονεκτήματα και Ευκαιρίες της Ανάπτυξης της 4IR

Η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση χαρακτηρίζεται από βαθιές τεχνολογικές και οργανωτικές μεταβολές που επηρεάζουν τον τρόπο λειτουργίας της σύγχρονης βιομηχανικής παραγωγής. Όπως και στις προηγούμενες βιομηχανικές επαναστάσεις, η μετάβαση αυτή συνοδεύεται πλέον τόσο από σημαντικές προκλήσεις όσο και από νέες ευκαιρίες για τις επιχειρήσεις και τα παραγωγικά αλλά και διοικητικά συστήματα. Η ενσωμάτωση ψηφιακών τεχνολογιών, συστημάτων αυτοματισμού και ανάλυσης δεδομένων οδηγεί σε αύξηση της παραγωγικότητας, της αποδοτικότητας και της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων, ενώ παράλληλα δημιουργεί νέες δυνατότητες καινοτομίας και ανταγωνιστικότητας (Schwab, 2017).

Στο πλαίσιο της βιομηχανίας και ειδικότερα στον κλάδο της παραγωγής της εύκαμπτης συσκευασίας μέσω τεχνολογιών converting και ειδικότερα στον κλάδο της βαθυτυπίας, η υιοθέτηση ψηφιακών συστημάτων προετοιμασίας και ελέγχου παραγωγής, αυτοματοποιημένων γραμμών εκτύπωσης και συστημάτων παρακολούθησης συμβάλλει σημαντικά στη βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας δημιουργώντας ένα σύγχρονο και ελπιδοφόρο περιβάλλον από πολλές απόψεις. Αναφορικά, το παράδειγμα χρήσης προηγμένων αισθητήρων και ψηφιακών πλατφορμών επιτρέπει την ακριβή παρακολούθηση πολλών κρίσιμων παραμέτρων εκτύπωσης, όπως είναι η βέλτιστη χρονικά και ποιοτικά ευθυγράμμιση συμπτώσεων των χρωμάτων, η σταθερότητα της μελάνωσης καθ' όλη τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας, η παρακολούθηση της παραγόμενης ποιότητας του υποστρώματος εκτύπωσης, μειώνοντας τα σφάλματα παραγωγής και τις απώλειες υλικών. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μεγαλύτερη

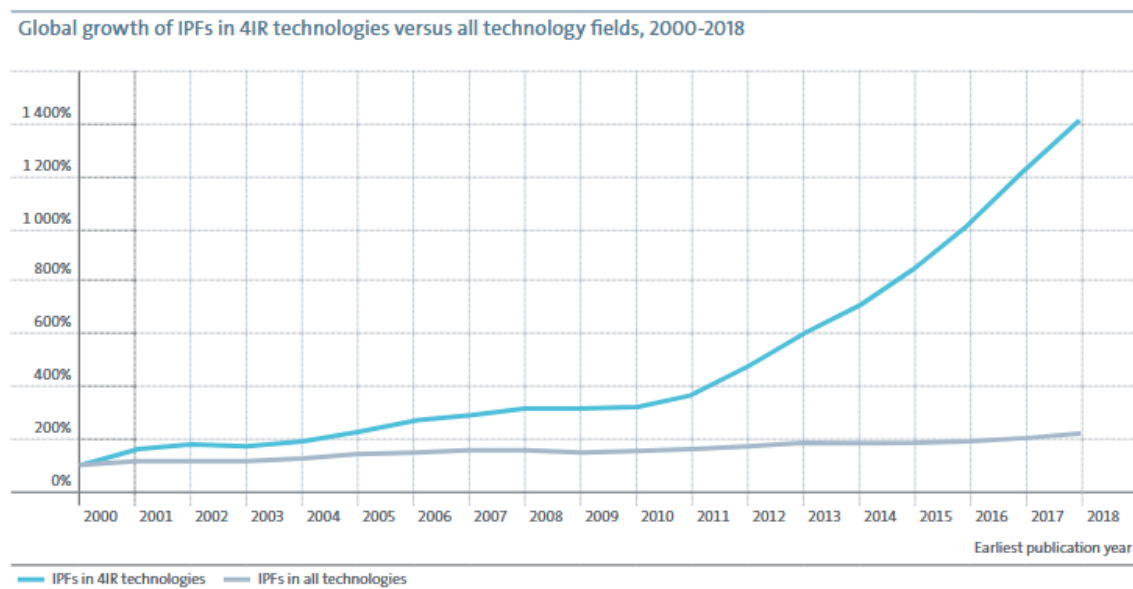
λειτουργική συνέπεια και ενισχύεται η ανταγωνιστικότητα των επιχειρήσεων στον διεθνή κλάδο της συσκευασίας (Kagermann και συν., 2013). Η αυτοματοποίηση συμβάλλει στη βελτίωση των συνθηκών εργασίας και στην ενίσχυση της ασφάλειας των εργαζομένων, σημαντική παράμετρος για την βιωσιμότητα της εταιρείας ειδικότερα στο σύγχρονο βιομηχανικό κόσμο. Σε σύγχρονες εγκαταστάσεις παραγωγής, ειδικότερα της βαθυτυπίας αλλά και του συνολικού converting, εργασίες υψηλού κινδύνου, όπως η μεταφορά βαρέων κυλίνδρων εκτύπωσης, η διαχείριση πρώτων υλών ή η λειτουργία μηχανών υψηλής ταχύτητας, μπορούν να εκτελούνται από ρομποτικά συστήματα ή αυτοματοποιημένες μονάδες διαχείρισης υλικών. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η ανθρώπινη έκθεση σε επικίνδυνα περιβάλλοντα και ενισχύεται η συνολική ασφάλεια του παραγωγικού χώρου (Lee και συν., 2015).

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα εφαρμογής των καινοτομιών της 4IR αφορά τη δυνατότητα αξιοποίησης μεγάλων όγκων δεδομένων για τη βελτίωση της λήψης επιχειρησιακών αποφάσεων. Η συστηματική συλλογή και ανάλυση δεδομένων παραγωγής επιτρέπει στις επιχειρήσεις να εντοπίζουν τάσεις, να προβλέπουν πιθανές δυσλειτουργίες και να βελτιστοποιούν τις παραγωγικές τους διαδικασίες που αφορούν τόσο την επιχειρηματική προσέγγιση όσο και την ανάπτυξη και της βιωσιμότητας. Στη βιομηχανία εύκαμπτης συσκευασίας, για παράδειγμα, η ανάλυση δεδομένων από τις γραμμές εκτύπωσης και μεταποίησης μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένη διαχείριση των αποθεμάτων, ενισχύοντας την «πράσινη» ανάπτυξη, αποτελεσματικότερο προγραμματισμό παραγωγής και μείωση του χρόνου διακοπής λειτουργίας των μηχανών.

Ανάπτυξη της 4IR και Δραστηριότητα Ευρεσιτεχνιών

Η έντονη ανάπτυξη των τεχνολογιών αντικατοπτρίζεται με σαφήνεια και στη σημαντική αύξηση της δραστηριότητας στον τομέα των διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας. Οι τεχνολογίες που σχετίζονται με το χώρο της Industry 4.0, τεχνητή νοημοσύνη, IoT, τα κυβερνο-φυσικά συστήματα και η ανάλυση Big Data καταγράψαν δυναμική εξέλιξη στο παγκόσμιο σύστημα καινοτομίας (Calvino και συν., 2025). Οι τεχνολογίες αυτές αντιπροσωπεύουν πλέον ποσοστό που προσεγγίζει το 10-12% της συνολικής παγκόσμιας δραστηριότητας ευρεσιτεχνιών, ενώ ο ετήσιος ρυθμός αύξησης των σχετικών αιτήσεων

υπολογίζεται ότι κυμαίνεται περίπου στο 18-22% σε καταγραφή που πραγματοποιήθηκε για το διάστημα 2000 έως 2018. Σημαντικά υψηλότερος από τον μέσο ρυθμό αύξησης των περισσότερων άλλων τεχνολογικών τομέων (όπως φαίνεται και στην εικόνα 20) (European Patent Office, 2020). Η δυναμική αυτή αντανάκλα τη ραγδαία ενσωμάτωση ψηφιακών τεχνολογιών στη βιομηχανική παραγωγή και ιδιαίτερα της εκτύπωσης και του converting.

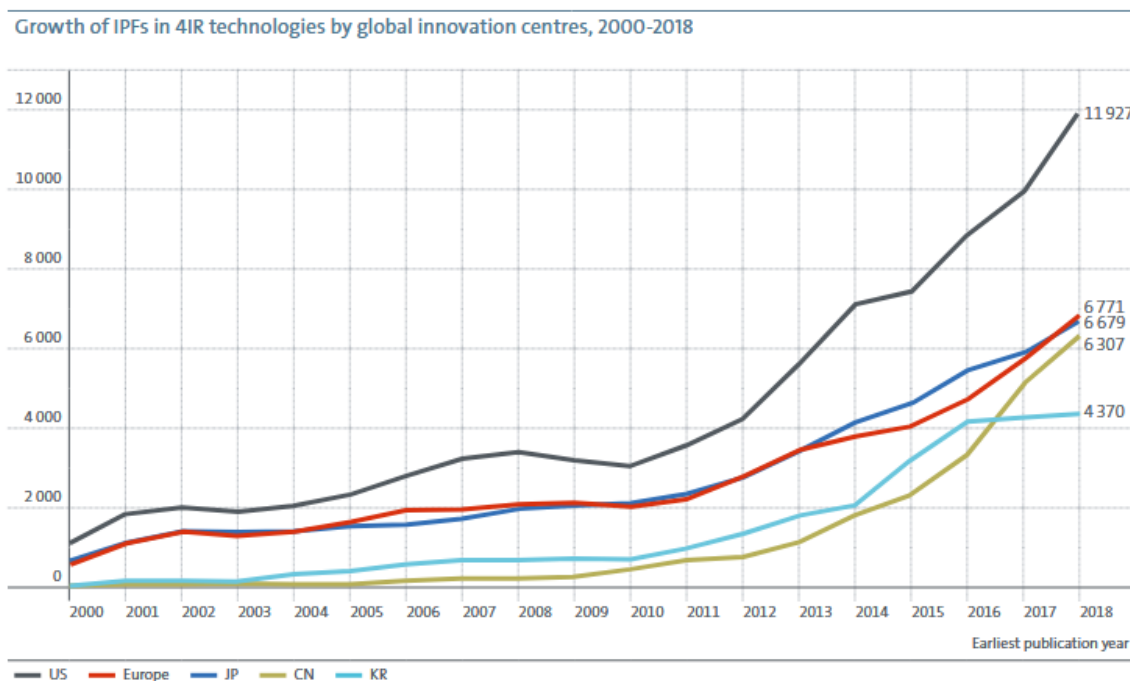


Εικόνα 20. 4IR technologies vs All technology fields

Note: [Patents and the Fourth Industrial Revolution](#)

Παγκοσμίως οι Ηνωμένες Πολιτείες διατηρούν ισχυρή παρουσία στην ανάπτυξη τεχνολογιών της Industry 4.0, παρουσιάζοντας υψηλά επίπεδα καινοτομίας σε πολλαπλά τεχνολογικά πεδία. Κατά την δεκαετία 2010 με 2020, ο ρυθμός αύξησης των ευρεσιτεχνιών που σχετίζονται με τεχνολογίες της 4IR στις Ηνωμένες Πολιτείες υπήρξε ιδιαίτερα έντονος, ξεπερνώντας σε αρκετές περιπτώσεις τον αντίστοιχο ρυθμό ανάπτυξης στην Ευρώπη και την Ιαπωνία. Παράλληλα, η Ευρώπη και η Ιαπωνία εξακολουθούν να αποτελούν σημαντικά κέντρα τεχνολογικής καινοτομίας, αντιπροσωπεύοντας έκαστη περίπου το 15-20% των διεθνών οικογενειών ευρεσιτεχνιών σε τεχνολογίες της 4IR

(European Patent Office, 2020). Οι αναδυόμενες τεχνολογικές δυνάμεις όπως η Κίνα και η Δημοκρατία της Κορέας παρουσιάζουν ιδιαίτερα ταχεία αύξηση της δραστηριότητας στον τομέα των ευρεσιτεχνιών, ιδίως σε τεχνολογίες υλικού, συστημάτων συνδεσιμότητας και ψηφιακών εφαρμογών (όπως φαίνεται και στην εικόνα 21) (WIPO, 2023). Η αυξανόμενη συμβολή των χωρών αυτών στο παγκόσμιο σύστημα καινοτομίας αποτυπώνει τη σταδιακή μετατόπιση του κέντρου βάρους της τεχνολογικής ανάπτυξης προς την Ασία, όπου παρατηρείται έντονη επένδυση σε έρευνα και ανάπτυξη καθώς και σε τεχνολογικές υποδομές (Santa Rita και συν., 2024).



Εικόνα 21. Growth of IPFs in 4IR technologies by Global Innovation centers

Note: [Patents and the Fourth Industrial Revolution](#)

Η συγκέντρωση της συγκεκριμένης δραστηριότητας και ανάπτυξης σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές συνδέεται στενά με την ύπαρξη ισχυρών βιομηχανικών clusters, στα οποία δραστηριοποιούνται μεγάλες πολυεθνικές επιχειρήσεις, ερευνητικά ιδρύματα και πανεπιστήμια με υψηλά επίπεδα επενδύσεων σε δραστηριότητες έρευνας και

ανάπτυξης. Σε αυτό το πλαίσιο, τα δεδομένα που προκύπτουν από τις αιτήσεις διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους δείκτες για την κατανόηση των τεχνολογικών τάσεων και της κατεύθυνσης της παγκόσμιας καινοτομίας (Benassi & Grinza, 2022). Η αυξανόμενη δραστηριότητα πατεντών στις τεχνολογίες της Industry 4.0 υποδηλώνει ότι η καινοτομία αποτελεί βασικό παράγοντα που διαμορφώνει τη μελλοντική εξέλιξη της παγκόσμιας οικονομίας και ενισχύει τον μετασχηματισμό των παραγωγικών συστημάτων στο πλαίσιο της ψηφιακής εποχής (Cannavacciuolo και συν., 2023).

Μετασχηματισμός των Παραγωγικών Διαδικασιών με Ανάλυση Δεδομένων και Βελτιστοποίηση Παραγωγής «Smart Industries»

Η 4IR οδηγεί στην ανάπτυξη των νέων «έξυπνων εργοστασίων», χαρακτηριστικό των οποίων είναι τα συστήματα παραγωγής να είναι πλήρως διασυνδεδεμένα και ικανά να λειτουργούν με υψηλό βαθμό αυτονομίας. Η ενσωμάτωση κυβερνοφυσικών συστημάτων «Cyber-Physical Systems», αισθητήρων Internet of Things (IoT) και ρομποτικών εφαρμογών επιτρέπει την αυτοματοποίηση σύνθετων παραγωγικών διαδικασιών και τη συνεχή παρακολούθηση της παραγωγής σε πραγματικό χρόνο (Kagermann και συν., 2013).

Στη βιομηχανία εκτύπωσης και μεταποίησης εύκαμπτης συσκευασίας, ο ψηφιακός μετασχηματισμός εκδηλώνεται μέσω της ενσωμάτωσης συστημάτων ελέγχου ποιότητας σε πραγματικό χρόνο, της αυτοματοποιημένης ρύθμισης των μηχανών βαθυτυπίας και της χρήσης λογισμικού διαχείρισης παραγωγής. Εξίσου ίδιας βαρύτητας είναι η ικανότητα προληπτικής συντήρησης, καινοτομία σημαντική για την ευημερία και ανάπτυξη των υπολοίπων εφαρμογών αλλά και της ίδιας της ανταγωνιστικότητας της βιομηχανικής μονάδας. Οι τεχνολογίες αυτές επιτρέπουν τη βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας, τη μείωση των απορριμμάτων και τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των εγκαταστάσεων.

Η αυξανόμενη χρήση αισθητήρων και συνδεδεμένων μηχανημάτων οδηγεί στη δημιουργία μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων παραγωγής. Η αξιοποίηση τεχνικών Big Data Analytics επιτρέπει την πρόβλεψη πιθανών βλαβών εξοπλισμού, τη βελτίωση της

συντήρησης των μηχανών και τη μείωση των απρογραμματίστων διακοπών λειτουργίας (Lee και συν., 2015). Επιπλέον, η ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο ενισχύει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων και συμβάλλει στη βελτίωση της συνολικής αποδοτικότητας των παραγωγικών συστημάτων.

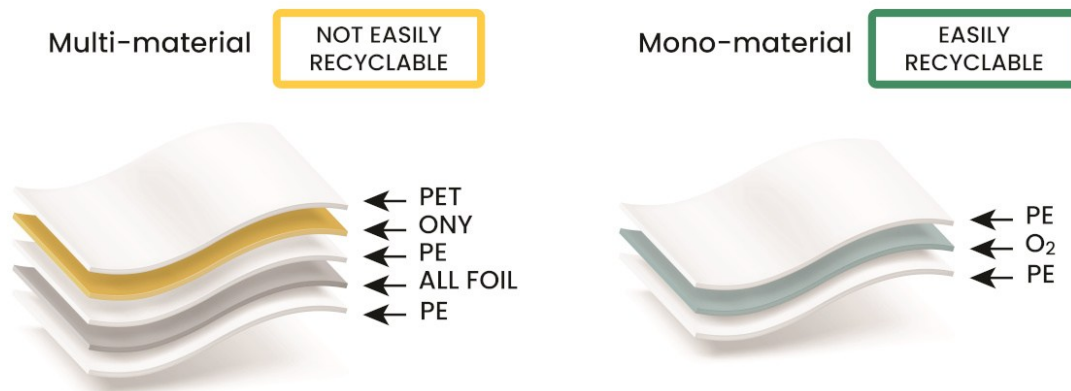
Μαζική Εξατομίκευση Προϊόντων με Ανάπτυξη Βιωσιμότητας και Περιβαλλοντική Απόδοση

Οι εφαρμογές των καινοτομιών επιτρέπουν συνδυαστικά την αποδοτικότητα της μαζικής παραγωγής με τη δυνατότητα εξατομίκευσης προϊόντων. Μέσω ψηφιακών εργαλείων σχεδιασμού, συστημάτων διαχείρισης δεδομένων και ευέλικτων γραμμών παραγωγής, οι επιχειρήσεις μπορούν να προσαρμόζουν τα προϊόντα τους στις ειδικές απαιτήσεις των πελατών χωρίς σημαντική αύξηση του κόστους παραγωγής (Tiihonen & Felfernig, 2017).

Στον τομέα της εύκαμπτης συσκευασίας, η τάση αυτή εκδηλώνεται μέσω της ικανότητας παραγωγής μικρότερων παρτίδων εκτύπωσης, χωρίς αύξηση του κόστους, της ταχύτερης εναλλαγής εργασιών και της δυνατότητας δημιουργίας εξατομικευμένων συσκευασιών για διαφορετικές αγορές ή προϊόντα, εργαλείο που αν και εφαρμόζεται πλήρως στην ψηφιακή εκτύπωση, γίνονται σημαντικά βήματα προόδου για την εφαρμογή και στην εκτύπωση με βαθυτυπία, ένα παράδειγμα είναι η εφαρμογή unique coding ανά τεμάχιο συσκευασίας, ακόμα και στην περίπτωση προμήθειας της εύκαμπτης συσκευασίας σε ρολά προς τον πελάτη. Η ευελιξία αυτή αποτελεί σημαντικό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα για τις επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται σε διεθνείς αγορές με μεγάλα τιράζ και με έντονο ανταγωνισμό (Torn & Vaneker, 2019).

Η εφαρμογή τεχνολογιών Industry 4.0 στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό στη βελτίωση της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας της βιομηχανικής παραγωγής. Μέσω συστημάτων παρακολούθησης κατανάλωσης ενέργειας και των πρώτων υλών, οι επιχειρήσεις μπορούν να εντοπίζουν ευάλωτα σημεία υπερκατανάλωσης και να βελτιώνουν τη διαχείριση των πόρων τους. Στη βιομηχανία εύκαμπτης συσκευασίας η βελτιστοποίηση της κατανάλωσης μελανιών, υποστρωμάτων υλικών, μείωση των αέριων ρύπων και ενέργειας συμβάλλει στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της παραγωγικής διαδικασίας (Stock & Seliger, 2016). Η ανάπτυξη και εφαρμογή νέων υλικών, μελανιών

καθώς και monomaterial συνθέσεων (όπως φαίνεται στην εικόνα 22) ενισχύει την επίτευξη της βιωσιμότητας και ανάπτυξης της βιομηχανίας παραγωγής και converting ειδικότερα για τον τομέα εκτύπωσης της βαθυτυπίας που εδώ και πολλά χρόνια βασιζόταν ποιοτικά στην χρήση υλικών και μέσων όχι πλέον επιτρεπτά για την πράσινη ανάπτυξη.



Εικόνα 22. Multi-material and Mono-material packages

Note: [Embracing Sustainable Packaging with Mono-Material Coding | Packaging Strategies](#)

3.4.2 Μειονεκτήματα και Προκλήσεις της Ανάπτυξης της 4IR

Παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματα που προσφέρουν οι καινοτομίες της 4IR, η εφαρμογή των νέων τεχνολογιών συνοδεύεται και από σημαντικές προκλήσεις για τις επιχειρήσεις, την οικονομία και την κοινωνία. Η ταχύτητα της τεχνολογικής εξέλιξης δημιουργεί αυξημένες απαιτήσεις για συνεχή αναβάθμιση δεξιοτήτων, γεγονός που ασκεί πίεση τόσο στους εργαζόμενους όσο και στις επιχειρήσεις που καλούνται να επενδύσουν σε προγράμματα κατάρτισης και εκπαίδευσης (Schwab & Davis, 2018).

Στο επίπεδο της βιομηχανικής παραγωγής, η υιοθέτηση προηγμένων ψηφιακών συστημάτων απαιτεί σημαντικές επενδύσεις σε εξοπλισμό, λογισμικό και υποδομές. Για πολλές επιχειρήσεις, ιδιαίτερα μικρομεσαίες μονάδες στον κλάδο της μεταποίησης και της εκτύπωσης, το υψηλό κόστος αρχικής επένδυσης αποτελεί σημαντικό εμπόδιο στην υιοθέτηση τεχνολογιών της Industry 4.0. Επιπλέον, η αυξανόμενη ψηφιακή διασύνδεση

των παραγωγικών συστημάτων ενισχύει τους κινδύνους κυβερνοασφάλειας. Οι διασυνδεδεμένες βιομηχανικές εγκαταστάσεις είναι περισσότερο εκτεθειμένες σε ψηφιακές επιθέσεις, γεγονός που καθιστά απαραίτητη την ανάπτυξη ισχυρών μηχανισμών προστασίας δεδομένων και συστημάτων ελέγχου πρόσβασης (Lee και συν., 2015).

Κυρίαρχο ζήτημα αποτελεί ο μετασχηματισμός της αγοράς εργασίας. Η αυτοματοποίηση πολλών επαναλαμβανόμενων εργασιών ενδέχεται να οδηγήσει στη μείωση της ζήτησης για εργαζομένους χαμηλής ειδίκευσης, ενώ παράλληλα αυξάνεται η ανάγκη για προσωπικό με ψηφιακές και τεχνολογικές δεξιότητες (OECD, 2020). Η μετάβαση αυτή ενδέχεται να δημιουργήσει προσωρινές ανισορροπίες στην αγορά εργασίας και να εντείνει το ψηφιακό χάσμα μεταξύ διαφορετικών κοινωνικών ομάδων. Η ραγδαία ανάπτυξη τεχνολογιών όπως η τεχνητή νοημοσύνη και η ρομποτική δημιουργεί νέους προβληματισμούς σχετικά με την ιδιωτικότητα, τον έλεγχο των δεδομένων και τις ηθικές διαστάσεις της τεχνολογικής ανάπτυξης (Brynjolfsson & McAfee, 2014). Η ενσωμάτωση ψηφιακών συστημάτων σε όλες τις πτυχές της παραγωγικής δραστηριότητας καθιστά ολοένα πιο δυσδιάκριτα τα όρια μεταξύ φυσικού και ψηφιακού κόσμου.

Παρά τις προκλήσεις αυτές, η ιστορική εμπειρία δείχνει ότι οι βιομηχανικές επαναστάσεις, αν και αρχικά προκαλούν αναταράξεις στην οικονομία και την αγορά εργασίας, τελικά οδηγούν στη δημιουργία νέων μορφών απασχόλησης και οικονομικής δραστηριότητας. Η επιτυχής προσαρμογή στις νέες συνθήκες προϋποθέτει την ανάπτυξη στρατηγικών που θα συνδυάζουν τεχνολογική καινοτομία με επενδύσεις στο ανθρώπινο κεφάλαιο, την εργασιακή απασχόληση, την εκπαίδευση και την έρευνα (Schwab και συν., 2018).

Επιδράσεις στο Παγκόσμιο Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠ) και στην Αγορά Εργασίας

Η ραγδαία εξέλιξη όλων των καινοτομιών και της τεχνολογίας που συνδέεται άμεσα με την εξέλιξη και εφαρμογή της 4IR όπως είναι η τεχνητή νοημοσύνη και των συναφών ψηφιακών τεχνολογιών, έχει ήδη συντελέσει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της παγκόσμιας οικονομίας. Η αξιοποίηση για παράδειγμα ειδικά της τεχνητής νοημοσύνης

δύναται να οδηγήσει σε σημαντική ενίσχυση του παγκόσμιου Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος έως το 2030. Η επίδραση αυτή αναδεικνύει ειδικά την τεχνητή νοημοσύνη όχι απλώς ως τεχνολογική εξέλιξη, αλλά ως στρατηγικό παράγοντα οικονομικής ανάπτυξης και μετασχηματισμού των παραγωγικών δομών.

Η οικονομική ενίσχυση προκύπτει από δύο βασικούς μηχανισμούς. Σημαντικό μέρος της αύξησης του ΑΕΠ αποδίδεται στην ανάπτυξη νέων προϊόντων και υπηρεσιών που δημιουργούνται μέσω της αξιοποίησης προηγμένων τεχνολογιών, συμβάλλοντας στη διεύρυνση των αγορών και στη δημιουργία νέων πηγών αξίας. Επιπλέον η ενίσχυση της παραγωγικότητας, μέσω της αυτοματοποίησης, της βελτιστοποίησης των διαδικασιών και της λήψης αποφάσεων βάσει δεδομένων, αποτελεί καθοριστικό παράγοντα αύξησης της οικονομικής αποδοτικότητας. Η συστηματική ενσωμάτωση συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης σε κρίσιμες επιχειρησιακές λειτουργίες ενισχύει τη λειτουργική αποτελεσματικότητα και επιταχύνει τον ψηφιακό μετασχηματισμό των οργανισμών.

Παράλληλα με τις θετικές επιδράσεις σε μακροοικονομικό επίπεδο, οι συγκεκριμένες εξελίξεις επιφέρουν σημαντικές μεταβολές στην αγορά εργασίας. Η αναδιάρθρωση των επαγγελματικών ρόλων αποτελεί διαχρονικό χαρακτηριστικό όλων των βιομηχανικών επαναστάσεων, στην συγκεκριμένη όμως παρατηρείται με ιδιαίτερη ένταση λόγω της ταχύτητας και του εύρους της τεχνολογικής αλλαγής. Η αυξανόμενη ικανότητα των συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης να εκτελούν τόσο χειρωνακτικές όσο και γνωσιακές εργασίες οδηγεί σε ανακατανομή της εργασίας, με ορισμένες θέσεις να αυτοματοποιούνται και νέες θέσεις με υψηλότερη εξειδίκευση, να δημιουργούνται (Brynjolfsson & McAfee, 2014).

Σημαντικό μέρος των υφιστάμενων επαγγελμάτων βρίσκεται σε υψηλό κίνδυνο αυτοματοποίησης, γεγονός που εντείνει την ανάγκη προσαρμογής των δεξιοτήτων του ανθρώπινου δυναμικού (Frey & Osborne, 2017). Παράλληλα, διεθνείς οργανισμοί επισημαίνουν ότι μεγάλο μέρος των μελλοντικών επαγγελμάτων δεν έχει ακόμη διαμορφωθεί, γεγονός που καθιστά την εκπαίδευση και τη δια βίου μάθηση κρίσιμους παράγοντες για την προσαρμογή στις νέες συνθήκες (World Economic Forum, 2020). Σημαντικός αριθμός εργαζομένων θα χρειαστεί να μετακινηθεί σε νέους

επαγγελματικούς ρόλους έως το 2030, εξαιτίας της εκτεταμένης αυτοματοποίησης (OECD, 2019).

Πέρα από την ανησυχία για τον κίνδυνο μέρους των θέσεων εργασίας, η ιστορία υποδεικνύει ότι οι τεχνολογικές μεταβάσεις συνοδεύονται συχνά από τη δημιουργία και νέων μορφών απασχόλησης. Η διάδοση των ψηφιακών τεχνολογιών τις προηγούμενες δεκαετίες οδήγησε τόσο στην κατάργηση όσο και στη δημιουργία σημαντικού αριθμού θέσεων εργασίας, επιβεβαιώνοντας ότι η καθαρή επίδραση της τεχνολογίας στην απασχόληση εξαρτάται από τον βαθμό προσαρμογής των οικονομιών και των θεσμών (McKinsey & Company, 2020).

Η ταχύτητα και η ένταση των σημερινών αλλαγών δημιουργούν πρόσθετες προκλήσεις. Η αυξανόμενη αυτοματοποίηση ενδέχεται να επιτείνει τις κοινωνικοοικονομικές ανισότητες, ιδίως μεταξύ εργαζομένων διαφορετικών επιπέδων δεξιοτήτων. Η ανάγκη επανασχεδιασμού της πολιτικής εργασιακής απασχόλησης είναι αναγκαία, προκειμένου να διασφαλιστεί μια ισορροπημένη και δίκαιη μετάβαση στη νέα ψηφιακή εποχή.

Η τεχνολογική μετάβαση επηρεάζει όχι μόνο την οικονομία, αλλά και τη δομή των κοινωνικών και θεσμικών συστημάτων σε μια επιχείρηση. Η κλίμακα και η ταχύτητα των αλλαγών υπερβαίνουν τα μέχρι τώρα γνωστά πρότυπα προσαρμογής. Η υιοθέτηση καινοτόμων επιχειρηματικών μοντέλων, η επένδυση στην έρευνα και ανάπτυξη και η ενίσχυση των δεξιοτήτων του ανθρώπινου δυναμικού αποτελούν βασικές προϋποθέσεις για την επιτυχή ενσωμάτωση των νέων τεχνολογιών καινοτομιών. Οι επιδράσεις της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης στο παγκόσμιο ΑΕΠ και στην αγορά εργασίας αναδεικνύουν μια διττή πραγματικότητα, από τη μία πλευρά δημιουργούνται σημαντικές ευκαιρίες για οικονομική ανάπτυξη και καινοτομία, ενώ από την άλλη ανακύπτουν σοβαρές προκλήσεις που σχετίζονται με την κοινωνική συνοχή, την απασχόληση και τη θεσμική προσαρμογή. Η αποτελεσματική διαχείριση αυτής της μετάβασης αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τη διασφάλιση ενός βιώσιμου και χωρίς αποκλεισμούς μέλλοντος (Marr, n.d.).

4. Βασικά Concepts Ανάπτυξης της 4IR στη Βιομηχανία (Industry 4.0 Digital Transformation).

Η ολοένα και αυξανόμενη ενσωμάτωση των νέων ψηφιακών τεχνολογιών και καινοτομιών στις παραγωγικές διεργασίες οδηγεί σε έναν ουσιαστικό ανασχηματισμό των βιομηχανικών συστημάτων, διαμορφώνοντας ένα πολυεπίπεδο περιβάλλον όπου ο φυσικός, ο ψηφιακός και ο κυβερνοφυσικός χώρος συνυπάρχουν και αλληλεπιδρούν δυναμικά. Η συγκεκριμένη εξέλιξη στηρίζεται σε τεχνολογίες όπως η ανάλυση μεγάλων δεδομένων (Big Data), διασυνδεδεμένα πληροφοριακά συστήματα και προηγμένες μορφές αυτοματοποίησης, επιφέρει ουσιαστικές μεταβολές τόσο στη λειτουργική πορεία όσο και στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων των επιχειρήσεων (Brynjolfsson & McAfee, 2014). Ο ψηφιακός μετασχηματισμός υπερβαίνει την έννοια της απλής τεχνολογικής αναβάθμισης που θα συναντούσαμε σε προηγούμενες ίσως μορφές επανάστασης, συνιστώντας μια ολοκληρωμένη στρατηγική μετάβαση προς ευέλικτα και αποδοτικότερα παραγωγικά συστήματα (Everllence, n.d.).

Η σημασία της μετάβασης αυτής γίνεται ιδιαίτερα εμφανής σε βιομηχανικούς κλάδους υψηλής τεχνολογικής ανάλυσης και ακρίβειας, όπως η βιομηχανία εκτύπωσης και converting με βαθυτυπία της εύκαμπτης συσκευασίας. Οι συγκεκριμένοι τομείς χαρακτηρίζονται από αυξημένες απαιτήσεις ως προς την ποιότητα εκτύπωσης, τη σταθερότητα των διεργασιών, ειδικότερα της αυξημένης απαίτησης άριστης επαναληπτικής προσέγγισης, την ταχύτητα παραγωγής και τη δυνατότητα προσαρμογής σε εξατομικευμένες προδιαγραφές προϊόντων. Η υιοθέτηση τεχνολογιών Industry 4.0, όπως τα αυτοματοποιημένα συστήματα ελέγχου εκτύπωσης, η ψηφιακή παρακολούθηση παραμέτρων παραγωγής π.χ. ιξώδες μελανιών, θερμοκρασία, τάση υλικών και η αξιοποίηση δεδομένων για ποιοτικό έλεγχο, τόσο των μηχανικών όσο και των εικαστικών ιδιοτήτων συμβάλλει καθοριστικά στη μείωση αποκλίσεων, στην ελαχιστοποίηση αποβλήτων και στη βελτιστοποίηση της συνολικής παραγωγικής απόδοσης. Παράλληλα,

η ενσωμάτωση συστημάτων ιχνηλασιμότητας και η ανάπτυξη «έξυπνων» υλικών συσκευασίας ανταποκρίνονται στις αυξανόμενες απαιτήσεις για βιωσιμότητα και συμμόρφωση με τα νέα πρότυπα (Νικολαΐδης, 2020).

Η αξιοποίηση των συγκεκριμένων τεχνολογιών όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), τα κυβερνοφυσικά συστήματα (Cyber Physical Systems) και οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης επιτρέπει τη μετάβαση σε προηγμένα μοντέλα παραγωγής, τα οποία χαρακτηρίζονται από αυξημένη αυτονομία και προσαρμοστικότητα. Στο περιβάλλον της βαθυτυπικής εκτύπωσης, οι τεχνολογίες αυτές καθιστούν εφικτή και την εφαρμογή προγνωστικής συντήρησης σε κρίσιμο εξοπλισμό π.χ. κυλίνδρους εκτύπωσης, συστήματα ξήρανσης, τανύσεις και λειτουργία αυτόματων ιξωδομέτρων, την έγκαιρη ανίχνευση ποιοτικών αποκλίσεων και τη δυναμική προσαρμογή των παραμέτρων παραγωγής σε πραγματικό χρόνο. Το αποτέλεσμα είναι η μείωση του κόστους λειτουργίας, η αύξηση της αξιοπιστίας των γραμμών παραγωγής και η ενίσχυση της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας μέσω περιορισμού των απορριμμάτων και της κατανάλωσης ενέργειας.

Ο κλάδος της εκτύπωσης και της εύκαμπτης συσκευασίας αναδεικνύεται ως χαρακτηριστικό παράδειγμα βιομηχανίας όπου ο ψηφιακός μετασχηματισμός δεν λειτουργεί απλώς υποστηρικτικά, αλλά αποτελεί κεντρικό στρατηγικό άξονα ανάπτυξης. Οι τεχνολογίες Industry 4.0 ενισχύουν την ικανότητα των επιχειρήσεων να ανταποκρίνονται σε σύνθετες απαιτήσεις της αγοράς, όπως η υψηλή ποιότητα, η ταχύτητα παραγωγής, η εξατομίκευση προϊόντων και η βιώσιμη λειτουργία, διαμορφώνοντας ένα νέο πρότυπο ανταγωνιστικότητας και καινοτομίας στον συγκεκριμένο βιομηχανικό τομέα (Kagermann και συν., 2013).

4.1 Αυτοματοποιημένα Συστήματα

Η ανάπτυξη και ενσωμάτωση αυτοματοποιημένων συστημάτων αποτελεί έναν από τους θεμελιώδεις πυλώνες της Industry 4.0, επιτρέποντας τη μετάβαση από τις συμβατικές χειροκίνητες γραμμές παραγωγής σε «ευφυή», δικτυωμένα βιομηχανικά κυκλώματα διεργασιών. Τα σύγχρονα συστήματα αυτοματισμού μπορεί να συνδυάζουν τεχνολογίες

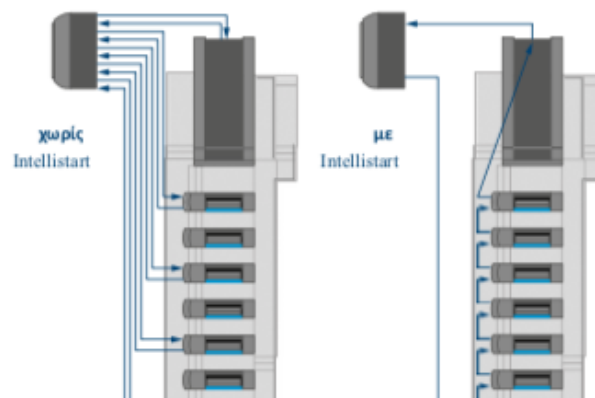
αισθητήρων, ρομποτικών μονάδων, λογισμικού ποιοτικού και ποσοτικού ελέγχου, και μηχανικής μάθησης για να επιτυγχάνουν υψηλά επίπεδα ακρίβειας, ταχύτητας και κυρίως επαναληψιμότητας, μειώνοντας ταυτόχρονα το ανθρώπινο σφάλμα και αυξάνοντας την παραγωγικότητα και τη διασφάλιση της ποιότητας (Monostori, 2014).

Σε αντίθεση με τον μέχρι πρότινος συμβατικό αυτοματισμό, όπου τα συστήματα λειτουργούν με προ-προγραμματισμένες εντολές, τα αυτοματοποιημένα συστήματα της 4ης Βιομηχανικής Επανάστασης έχουν δυνατότητες αντίληψης, προσαρμογής και λήψης «αυτόνομων» αποφάσεων, φυσικά με τον κατάλληλο σχεδιασμό και δημιουργία της σωστής βάσης δεδομένων. Η λειτουργία τους βασίζεται σε τεχνολογίες όπως αισθητήρες, ψηφιακές πλατφόρμες ελέγχου, edge computing και προηγμένα συστήματα SCADA, τα οποία δημιουργούν ένα περιβάλλον συνεχούς επικοινωνίας μεταξύ μηχανών, προϊόντων και ανθρώπων (Lee και συν., 2015). Έτσι, η παραγωγική διαδικασία αποκτά δυναμική, ευελιξία καθώς και δυνατότητα προγνωστικής συντήρησης, περιορίζοντας σημαντικά τους «νεκρούς» χρόνους και το κόστος επισκευών που αποτελεί εξίσου σημαντικό κομμάτι της παραγωγικότητας αλλά και κομμάτι της συντήρησης.

Στη βιομηχανία εκτύπωσης και συσκευασίας, ο αυτοματισμός έχει καταστεί κρίσιμη παράμετρος για τη βελτίωση της ποιότητας, της συνέπειας και της αποτελεσματικότητας της παραγωγής. Οι αυτοματοποιημένες γραμμές εκτύπωσης και μεταποίησης, όπως τα συστήματα παρακολούθησης inline Quality control, τα συστήματα αυτόματης μέτρησης και προσαρμογής ιξώδους ανάλογα με την χρωματική απόδοση, τα αυτόματα συστήματα προσαρμογής συμπτώσεων, οι ρομποτικοί βραχίονες για μεταφορά υλικών, οι έξυπνοι μετρητές χρώματος, επιτρέπουν την παραγωγή υψηλής ακρίβειας και ταχύτητας, εξυπηρετώντας τις σύγχρονες απαιτήσεις μικρών και μεγάλων παραγωγικών παρτίδων (Smyth, 2024). Παράλληλα, η ενσωμάτωση αυτοματισμών στην εφοδιαστική αλυσίδα, όπως συστήματα αυτόματης αποθήκευσης, παρακολούθηση παλετών RFID και ιχνηλασιμότητα υλικών, ενισχύει τη διαφάνεια και μειώνει τις καθυστερήσεις (Packagingeurope, 2018).

4.1.1 Κυβερνο Φυσικά συστήματα, Cyber Physical Systems (CPS)

Τα κυβερνο φυσικά συστήματα αποτελούν σημαντικό κομμάτι του πυρήνα της Βιομηχανίας 4.0, καθώς ενσωματώνουν φυσικές διεργασίες με υπολογιστική νοημοσύνη, επιτρέποντας την αυτονομία, δυνατότητα αυτοβελτιστοποίησης και αλληλεπίδρασης σε πραγματικό χρόνο. Η σύζευξη αυτών των στοιχείων δημιουργεί συστήματα παραγωγής που μπορούν να παρακολουθούνται, να προσαρμόζονται και να βελτιώνονται δυναμικά, ενισχύοντας την αποδοτικότητα και την ανθεκτικότητα των βιομηχανικών υποδομών. Κατά συνέπεια, στον τομέα της εκτύπωσης καθίσταται αναγκαία η υιοθέτηση ολοκληρωμένων λύσεων αυτοματοποίησης που καλύπτουν το σύνολο των σταδίων της παραγωγικής διαδικασίας και όχι μεμονωμένα για κάθε λειτουργία παραγωγής της μηχανής (όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα 23), με στόχο τη βελτιστοποίηση των ροών εργασίας, την ενίσχυση της λειτουργικής αποδοτικότητας και τη μείωση της επιβάρυνσης των χειριστών. Παράλληλα, ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δοθεί στον περιορισμό των μη προγραμματισμένων διακοπών λειτουργίας, στη βέλτιστη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων και στην ενίσχυση της ευελιξίας, ώστε να ανταποκρίνεται αποτελεσματικά στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις της αγοράς (allPackHellas, 2021). Η λειτουργικότητα των CPS επεκτείνεται στην προγνωστική συντήρηση, στην έξυπνη διαχείριση ενέργειας και στη μείωση ελαττωμάτων, γεγονός που τα καθιστά πυλώνα για τον ψηφιακό μετασχηματισμό (Lee και συν., 2015).



Εικόνα 23. Κυβερνο Φυσικά Συστήματα Μηχανών

Note: [White paper Εκτύπωση συσκευασιών 4.0. Ψηφιοποίηση και η επίδρασή της στη βιωσιμότητα, την ευελιξία και την ανάπτυξη. - Allpack Hellas](#)

Η ελληνική βιομηχανία εκτύπωσης και συσκευασίας, αν και χαρακτηρίζεται κυρίως από μικρομεσαίες επιχειρήσεις, έχει αρχίσει να υιοθετεί σταδιακά αυτοματοποιημένα συστήματα, ιδιαίτερα σε τομείς όπως η ετικετοποιία, η εκτύπωση και η μεταποίηση συσκευασιών. Μελέτες δείχνουν ότι οι επιχειρήσεις που επενδύουν σε αυτοματισμούς επιτυγχάνουν σημαντική μείωση του λειτουργικού κόστους, αύξηση του επιπέδου συμμόρφωσης με διεθνή πρότυπα ποιότητας και βελτιωμένη δυνατότητα ανταγωνισμού στις διεθνείς αγορές. Συνολικά, η εφαρμογή αυτοματοποιημένων συστημάτων αποτελεί βασικό καταλύτη του ψηφιακού μετασχηματισμού, προσφέροντας στις επιχειρήσεις του κλάδου τη δυνατότητα αναβάθμισης των παραγωγικών δυνατοτήτων τους και ενίσχυσης της στρατηγικής τους ευελιξίας (allPackHellas, 2021).

4.1.2 Inline και Offline Quality Control (Ποιοτικός Έλεγχος Παραγωγής)

Τα συστήματα inline ποιοτικού ελέγχου ενσωματώνουν ένα σύνολο προηγμένων εργαλείων αυτοματοποίησης και επιθεώρησης, τα οποία συμβάλλουν στη διασφάλιση της συνέπειας και της υψηλής ποιότητας εκτύπωσης σε όλο το φάσμα της παραγωγικής διαδικασίας (packworld, 2015).

Για τις βιομηχανίες εκτύπωσης μεγάλου όγκου και ειδικότερα για τη βαθυτυπία, ο έλεγχος ασφαλούς παραγωγής εντός των καθορισμένων προδιαγραφών χρωματικής και τεχνικής πιστότητας στο παρελθόν ήταν κάτι που θύμιζε περισσότερο διαπίστωση παρά προγνωστική προετοιμασία και έλεγχο κατά τη διάρκεια. Σε αντίθεση με τις μέχρι τώρα παραδοσιακές μεθόδους δειγματοληπτικού ελέγχου εκτός γραμμής (offline), ο inline έλεγχος πραγματοποιείται σε πραγματικό χρόνο κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας, επιτρέποντας την άμεση ανίχνευση αποκλίσεων και την ταχεία διόρθωσή τους.

Η λειτουργία του inline ποιοτικού ελέγχου στη βαθυτυπία βασίζεται κυρίως σε συστήματα οπτικής επιθεώρησης υψηλής ανάλυσης, τα οποία είναι ενσωματωμένα στο plc των εκτυπωτικών μηχανών. Τα συγκεκριμένα συστήματα χρησιμοποιούν κάμερες υψηλής ταχύτητας σε συνδυασμό με εξειδικευμένο λογισμικό επεξεργασίας εικόνας, προκειμένου να ελέγχουν συνεχώς κρίσιμες παραμέτρους της εκτύπωσης, όπως η πιστότητα των χρωμάτων, η ευθυγράμμιση των συμπτώσεων «register», η ομοιομορφία

της μελανώσεως, καθώς και η ύπαρξη ελαττωμάτων (π.χ. pinholes, streaks, missing dots, doctor blade lines). Η συνεχής παρακολούθηση καθιστά δυνατή την άμεση ειδοποίηση του χειριστή ή ακόμη και την αυτόματη ρύθμιση των παραμέτρων της μηχανής προκειμένου να διορθωθεί το πρόβλημα άμεσα (Avt-inc, 2025).

Κεντρικό στοιχείο αυτής της προσέγγισης αποτελεί η λειτουργία Offline Setup, η οποία επιτρέπει την τυποποίηση των παραμέτρων ποιότητας και τη δημιουργία ενιαίων προτύπων ελέγχου μεταξύ διαφορετικών γραμμών παραγωγής και εκτυπωτικών εργασιών. Μέσω της δυνατότητας καθορισμού κατώτατων ορίων αποδοχής και της αυτοματοποίησης των σχετικών ρυθμίσεων, το σύστημα ενισχύει τη συνολική ποιότητα εκτύπωσης και περιορίζει τις αποκλίσεις που οφείλονται σε διαφοροποιήσεις μεταξύ χειριστών. Παράλληλα, η κεντριοποιημένη διαχείριση των ρυθμίσεων επιτρέπει την εφαρμογή ομοιόμορφων πρακτικών σε όλα τα συστήματα επιθεώρησης, συμβάλλοντας στη βελτίωση της επαναληψιμότητας και της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων (Bsteltromat, n.d).

Αντίστοιχα στο πλαίσιο των offline διαδικασιών ποιοτικού ελέγχου, υπάρχουν βελτιώσεις και νέες καινοτομίες που προβάλλουν τον ποιοτικό τρόπο επανελέγχου του παραγόμενου προϊόντος σε μικρότερο χρόνο από πιθανό χειροκίνητο έλεγχο, το σύστημα SolidProof προσφέρει ολοκληρωμένη επιθεώρηση με στόχο την πλήρη διασφάλιση της ποιότητας εκτύπωσης. Η λειτουργία του βασίζεται στην καθολική επαλήθευση του παραγόμενου προϊόντος, εξασφαλίζοντας ότι δεν παραμένουν μη εντοπισμένα κρίσιμα ελαττώματα κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας. Η εφαρμογή του σε διαφορετικά εκτυπωτικά περιβάλλοντα, καθιστά το σύστημα ευέλικτο και ευρέως αξιοποιήσιμο. Επιπλέον, συμβάλλει ουσιαστικά στη μείωση των σφαλμάτων που σχετίζονται με τα επόμενα στάδια του converting, ενώ περιορίζει σημαντικά την ανάγκη χειροκίνητης επιθεώρησης, οδηγώντας σε αισθητή μείωση των αποβλήτων. Ενισχύεται περαιτέρω η ψηφιακή διαχείριση και η απομακρυσμένη παρακολούθηση της ποιότητας (Bsteltromat, n.d).

Στα πλαίσια του inline controlling αναπτύσσονται ψηφιακές λύσεις ελέγχου και αποκατάστασης σφαλμάτων εκτύπωσης. Τα συστήματα αυτά λειτουργούν με τη λογική κλειστού βρόχου (closed loop), επιτρέποντας τη συνεχή παρακολούθηση της ποιότητας

εκτύπωσης σε πραγματικό χρόνο και την άμεση αλληλεπίδραση με τον εκτυπωτικό εξοπλισμό. Μέσω της συνεχούς ανταλλαγής δεδομένων, καθίσταται δυνατή η αυτόματη προσαρμογή των παραμέτρων εκτύπωσης, ενισχύοντας τη σταθερότητα της διαδικασίας και τη διατήρηση των επιθυμητών ποιοτικών προδιαγραφών (packworld, 2015).

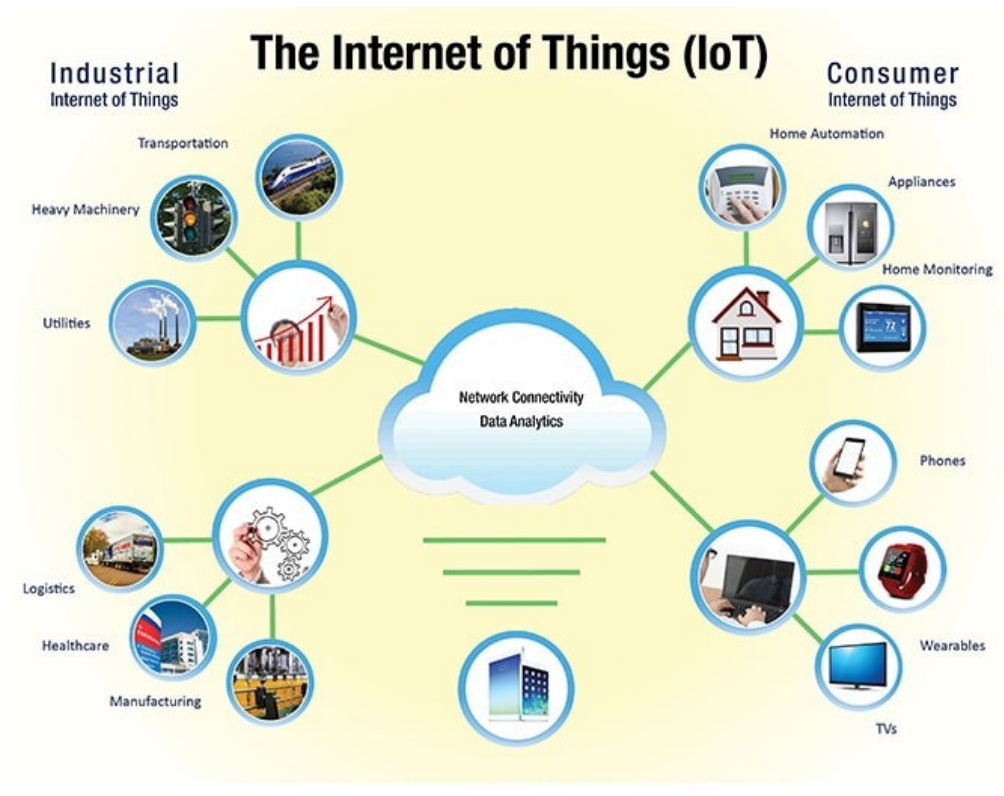
Η ανάπτυξη ολοκληρωμένων συστημάτων αυτοματοποιημένης επιθεώρησης, ενσωματώνει προηγμένες λειτουργίες επαλήθευσης σε ολόκληρη τη ροή εργασίας της εκτύπωσης. Το σύστημα αυτό ανταποκρίνεται στις σύγχρονες απαιτήσεις της αγοράς για διαχείριση μικρών και εξατομικευμένων εκτυπωτικών εργασιών, παρέχοντας τη δυνατότητα πλήρους και αυτόματης επιθεώρησης ακόμη και σε πολύ σύντομες παραγωγικές διαδρομές. Με τον τρόπο αυτό, επεκτείνεται το πεδίο εφαρμογής του ποιοτικού ελέγχου και σε περιπτώσεις που στο παρελθόν παρέμεναν χωρίς συστηματική επιθεώρηση, οδηγώντας σε συνολική αναβάθμιση του επιπέδου ποιότητας.

Συνολικά, τα συστήματα Quality control συνιστούν ένα ολοκληρωμένο οικοσύστημα ποιοτικού ελέγχου, το οποίο συνδυάζει offline και inline λειτουργίες, αξιοποιώντας αρχές αυτοματοποίησης και ψηφιακής διασύνδεσης. Η εφαρμογή τους στη βιομηχανία εκτύπωσης, και ιδιαίτερα στη βαθυτυπία εύκαμπτης συσκευασίας, συμβάλλει καθοριστικά στη βελτιστοποίηση της παραγωγής, στη μείωση των αποβλήτων και στην ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας των επιχειρήσεων.

4.2 Διαδίκτυο των Πραγμάτων, IoT (Internet of Things)

Η αξιοποίηση των σύγχρονων τεχνολογιών προϋποθέτει την ουσιαστική και εκτεταμένη εφαρμογή τους στο βιομηχανικό περιβάλλον, παράμετρος που εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την άμεση ανταλλαγή χρήσιμων πληροφοριών δημιουργώντας ένα ασφαλές και ουσιαστικό κύκλωμα χρήσιμων δεδομένων, προκειμένου να διασφαλιστεί μια βιώσιμη αποδοτική και τεχνολογικά ολοκληρωμένη παραγωγική διαδικασία. Στο πλαίσιο αυτό, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων «Internet of Things, IoT» αναδεικνύεται ως ένας από τους βασικούς πυλώνες του ψηφιακού μετασχηματισμού, καθώς επιτρέπει τη διασύνδεση φυσικών αντικειμένων μέσω αισθητήρων, λογισμικού και δικτυακών υποδομών,

καθιστώντας δυνατή τη συλλογή, ανταλλαγή και ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (όπως φαίνεται στην εικόνα 24).



Εικόνα 24. The Internet of Things, IoT

Note: [The Industrial Internet of Things \(IIoT\) and What it Means to Precision Machining - Pioneer Service Inc](#)

Στον τομέα της βιομηχανίας, η έννοια επεκτείνεται στο Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων «Industrial Internet of Things, IIoT», αφορά τη διασύνδεση μηχανών, παραγωγικών συστημάτων και υποδομών με στόχο τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας τους. Ειδικότερα χρησιμοποιείται ο όρος Internet of Manufacturing «IoM» εστιάζοντας στη συνολική ενοποίηση ανθρώπινων πόρων, εξοπλισμού και διαδικασιών στο περιβάλλον παραγωγής. Οι συγκεκριμένες τεχνολογίες εντάσσονται σε ένα ευρύτερο οικοσύστημα που περιλαμβάνει ρομποτικά συστήματα, αισθητήρες, αυτοματισμούς και προηγμένες αναλυτικές μεθόδους, συμβάλλοντας στη δημιουργία έξυπνων εργοστασίων

«Smart Factories» με υψηλό βαθμό διαλειτουργικότητας και αυτονομίας (PioneerServiceInc, 2019).

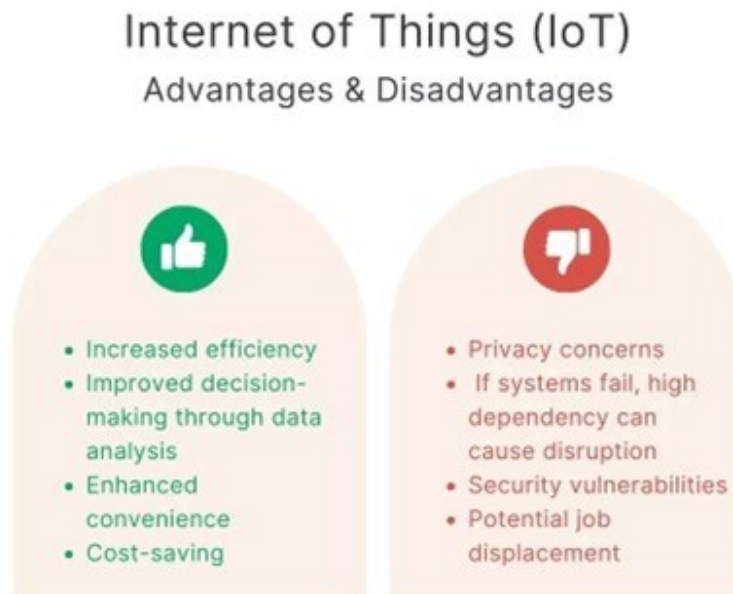
Στη βιομηχανία εκτύπωσης με βαθυτυπία και γενικότερα στον κλάδο της εύκαμπτης συσκευασίας που αφορά το συνολικό converting, η εφαρμογή του ΠoT παρουσιάζει ιδιαίτερη σημασία λόγω της πολυπλοκότητας των παραγωγικών διεργασιών και της ανάγκης για υψηλή ακρίβεια και σταθερότητα. Οι γραμμές βαθυτυπίας περιλαμβάνουν πολλαπλές κρίσιμες παραμέτρους, όπως η μέτρηση και διατήρηση του ιξώδους των μελανιών, η εξασφάλιση της επιφανειακής τάσης του υποστρώματος, η σωστή παρακολούθηση και εφαρμογή της θερμοκρασίας καθώς και του αέρα ξήρανσης όπως επίσης και η ταχύτητα εκτύπωσης. Στην επιπλέον μεταποίηση επεκτείνεται στην αναγνώριση και ανάγνωση της ποσότητας εφαρμογής κόλλας στις επιφάνειες σφράγισης καθώς και στην τάση εφαρμογής των μηχανών κατά την ένωση και δημιουργία της τελικής δομής των υλικών κατά το λεγόμενο λαμινάρισμα, «lamination process». Μέσω της εγκατάστασης αισθητήρων IoT σε κρίσιμα σημεία της παραγωγής, καθίσταται δυνατή η συνεχής παρακολούθηση αυτών των μεταβλητών και η άμεση προσαρμογή τους, εξασφαλίζοντας σταθερή ποιότητα και περιορισμό των αποκλίσεων.

Τα συστήματα IoT, επιτρέπουν την εφαρμογή προγνωστικής συντήρησης «predictive Maintenance» στον εξοπλισμό της βαθυτυπίας, όπως είναι η διάρκεια ζωής των κυλίνδρων εκτύπωσης, η απόδοση και ακρίβεια των συστημάτων ξήρανσης και των μηχανισμών τάνυσης, η αναγνώριση της κατάστασης των βοηθητικών μέσων κατά τη διαδικασία του Lamination και η κατάσταση των αισθητήρων ανάγνωσης για την τελική μορφοποίηση κατά το slitting του τελικού προϊόντος, εξασφαλίζοντας την επίτευξη του τελικού προϊόντος βάσει των προδιαγραφών του πελάτη. Μέσω της ανάλυσης δεδομένων που συλλέγονται σε πραγματικό χρόνο (π.χ. κραδασμοί, θερμοκρασία, φθορά), το τμήμα συντήρησης μπορεί να προβλέπει πιθανές βλάβες πριν αυτές εκδηλωθούν, μειώνοντας σημαντικά τον μη προγραμματισμένο χρόνο διακοπής και το κόστος συντήρησης. Παράλληλα, η ενσωμάτωση των δεδομένων αυτών σε συστήματα διαχείρισης παραγωγής και επιχειρησιακού σχεδιασμού (ERP) ενισχύει τη συνολική ορατότητα της παραγωγικής διαδικασίας και βελτιώνει τον προγραμματισμό πόρων.

Σημαντικό πεδίο εφαρμογής αφορά τον ποιοτικό έλεγχο των παραγόμενων κατά την εκτύπωση και μεταποίηση της εύκαμπτης συσκευασίας. Στα σύγχρονα περιβάλλοντα βαθυτυπίας, τα IoT συστήματα συνεργάζονται με inline συστήματα επιθεώρησης «Vision systems», επιτρέποντας τον άμεσο έλεγχο και πιθανή διόρθωση, ειδικά στην χρωματική συμβατότητα αλλά και στην ανάγνωση και βαθμολόγηση ανάγνωσης των barcode, QR κλπ. με συγκεκριμένες παραμέτρους παραγωγής. Η δυνατότητα αυτή οδηγεί στη δημιουργία βάσεων δεδομένων ποιότητας, οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών και τη συνεχή βελτίωση «Continuous improvement» (Abdul και συν. 2015).

Η υιοθέτηση του IoT στον κλάδο οδηγεί σε οφέλη που μπορούν να συνοψιστούν σε τρεις βασικούς άξονες, στην αύξηση της λειτουργικής αποδοτικότητας, την ενίσχυση της λήψης αποφάσεων βάσει δεδομένων και τη μείωση του λειτουργικού κόστους. Η αυτοματοποίηση της συλλογής και ανάλυσης δεδομένων μειώνει την ανάγκη για χειροκίνητους ελέγχους, ενώ παράλληλα επιτρέπει την ανάπτυξη δεικτών απόδοσης (KPI's) και προβλεπτικών μοντέλων που υποστηρίζουν τη στρατηγική διοίκηση.

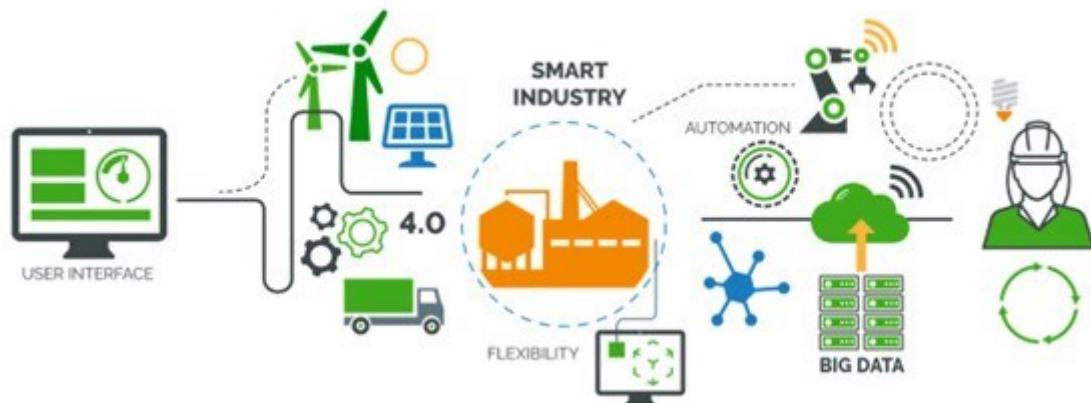
Η τεχνολογική υποδομή του IoT βασίζεται σε ένα πλέγμα διασυνδεδεμένων τεχνολογιών. Οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές αποτελούν το σημείο επαφής με τη φυσική παραγωγή, ενώ τα δίκτυα επικοινωνίας (Wi-Fi, Bluetooth, βιομηχανικά πρωτόκολλα) εξασφαλίζουν τη μεταφορά δεδομένων. Ωστόσο, η υλοποίηση του IoT συνοδεύεται και από σημαντικές προκλήσεις για τον κλάδο (όπως φαίνεται στην εικόνα 25). Ζητήματα όπως η κυβερνοασφάλεια, η προστασία δεδομένων, η διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών συστημάτων και η ανάγκη για εξειδικευμένο ανθρώπινο δυναμικό αποτελούν κρίσιμους παράγοντες που επηρεάζουν την επιτυχία της εφαρμογής. Ιδιαίτερα στον κλάδο της εκτύπωσης συσκευασίας, όπου η παραγωγή είναι συνεχής και υψηλής ταχύτητας, η αξιοπιστία των συστημάτων αποτελεί καθοριστικό παράγοντα (IBM, n.d.).



Εικόνα 25. Πλεονεκτήματα & Προκλήσεις IoT

Note: [Characteristics Of Internet of Things | How It Works](#)

Παρά τις προκλήσεις, η εξέλιξη του IoT αναμένεται να ενισχυθεί περαιτέρω μέσω τεχνολογιών όπως το edge computing, το οποίο επιτρέπει την επεξεργασία δεδομένων κοντά στην πηγή τους, μειώνοντας τον χρόνο απόκρισης. Επιπλέον, η ενσωμάτωση τεχνητής νοημοσύνης σε IoT συστήματα οδηγεί στη δημιουργία «έξυπνων» μηχανών που μπορούν να μαθαίνουν και να προσαρμόζονται δυναμικά στις μεταβαλλόμενες συνθήκες παραγωγής. Στον τομέα της βαθυτυπίας, αυτό μεταφράζεται σε έξυπνα εργοστάσια «Smart Factories» με αυτορρυθμιζόμενες γραμμές παραγωγής που μπορούν να βελτιστοποιούν αυτόματα παραμέτρους εκτύπωσης, μειώνοντας τα απόβλητα και βελτιώνοντας την ενεργειακή απόδοση (όπως φαίνεται στην εικόνα 26).



Εικόνα 26. Smart Factories

Note: [Industrial Internet Of Things Definition | Arena](#)

Η προσαρμογή και εφαρμογή του IoT αποτελεί θεμελιώδη τεχνολογία για τον μετασχηματισμό της βιομηχανίας εκτύπωσης και συσκευασίας, καθώς γεφυρώνει τον φυσικό και τον ψηφιακό κόσμο, επιτρέποντας τη δημιουργία πιο ευέλικτων, αποδοτικών και βιώσιμων παραγωγικών συστημάτων. Η συστηματική αξιοποίησή του δύναται να προσδώσει σημαντικό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στις επιχειρήσεις του κλάδου, ενισχύοντας τόσο την ποιότητα των προϊόντων όσο και τη συνολική επιχειρησιακή απόδοση.

4.3 Τεχνητή Νοημοσύνη

Η Τεχνητή Νοημοσύνη (AI) αποτελεί μία από τις πλέον καθοριστικές τεχνολογικές εξελίξεις της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης, επιδρώντας ουσιαστικά τόσο στη βιομηχανική παραγωγή όσο και στη συνολική οργάνωση των επιχειρησιακών συστημάτων. Η εννοιολογική της βάση συνδέεται με την προσπάθεια προσομοίωσης ανθρώπινων γνωστικών λειτουργιών από μηχανές, όπως η μάθηση, η αντίληψη και η λήψη αποφάσεων. Ο όρος διατυπώθηκε για πρώτη φορά το 1956 στο συνέδριο του Dartmouth College, σηματοδοτώντας την απαρχή ενός επιστημονικού πεδίου που εξελίχθηκε από θεωρητική σύλληψη σε βασικό πυλώνα της σύγχρονης ψηφιακής

οικονομίας. Σήμερα, η ΑΙ δεν περιορίζεται σε τεχνολογική καινοτομία, αλλά συνιστά δομικό στοιχείο επαναπροσδιορισμού της σχέσης ανθρώπου μηχανής και της ίδιας της παραγωγικής διαδικασίας (Sap, 2025).

Αναφέροντας την Τεχνητή Νοημοσύνη ως εφαρμογή στην σύγχρονη βιομηχανία δημιουργείται εσφαλμένα η μονοδιάστατη πεποίθηση για παρουσία μόνο μηχανών και οχημάτων που λειτουργούν αυτόνομα σε παραγωγικές ή εφοδιαστικές διαδικασίες. Τα αυτόνομα αυτά συστήματα, συμπεριλαμβανομένων αυτόνομων και ευφυών μονάδων παραγωγής, βασιζόμενα στην Τεχνητή Νοημοσύνη, αφορά προηγμένα λογισμικά που λειτουργούν ανεξάρτητα και με μεγάλη ακρίβεια. Στις βιομηχανικές εφαρμογές, τα συστήματα αυτά επιτρέπουν βελτιωμένη διαχείριση υλικών, αυτόνομη μεταφορά και έξυπνο συντονισμό ροών εργασίας. Ο βαθμός αυτονομίας ως θεωρητική βάση ενισχύει τη λειτουργική αποτελεσματικότητα και μειώνει τα ανθρώπινα σφάλματα (Thrun, 2010).

4.3.1 Η Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence) στη Βιομηχανία Εκτύπωσης και στο Converting Εύκαμπτης Συσκευασίας

Στο πλαίσιο της Industry 4.0, η Τεχνητή Νοημοσύνη λειτουργεί συμπληρωματικά και ενισχυτικά με άλλες τεχνολογίες, όπως το IoT, τα Big Data και τα cyber-physical systems, δημιουργώντας ένα διασυνδεδεμένο οικοσύστημα ευφυούς παραγωγής. Η αυξανόμενη πολυπλοκότητα των βιομηχανικών διαδικασιών και η ανάγκη για ταχύτητα, ακρίβεια και προσαρμοστικότητα καθιστούν αναγκαία την υιοθέτηση τεχνολογιών που μπορούν να επεξεργάζονται μεγάλους όγκους δεδομένων και να υποστηρίζουν τη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο. Στο πλαίσιο αυτό, η Τεχνητή Νοημοσύνη έχει φτάσει σε επίπεδο ωριμότητας που επιτρέπει την πρακτική και αποδοτική ενσωμάτωσή της στις παραγωγικές λειτουργίες, οδηγώντας σε αύξηση της παραγωγικότητας, μείωση κόστους και ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας των επιχειρήσεων (bigblue.academy, 2023).

Ιδιαίτερη σημασία αποκτά η εφαρμογή της στη βιομηχανία εκτύπωσης με βαθυτυπία και στο converting εύκαμπτης συσκευασίας. Στο περιβάλλον αυτό αξιοποιείται για την ανάλυση δεδομένων, επιτρέποντας τη βελτιστοποίηση κρίσιμων παραμέτρων, όπως η κατανομή μελανιών, η συμπεριφορά του υποστρώματος, η θερμοκρασία ξήρανσης και η ταχύτητα εκτύπωσης. Μέσω αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, καθίσταται δυνατή η

πρόβλεψη αποκλίσεων ποιότητας και η αυτόματη προσαρμογή των συνθηκών παραγωγής, βελτιώνοντας τη συνολική απόδοση (Mohd και συν., 2022).

Η Τεχνητή Νοημοσύνη επιτρέπει επίσης την ανάπτυξη προηγμένων συστημάτων ποιοτικού ελέγχου και άμεσης αντίδρασης στη βαθυτυπία. Τα σύγχρονα συστήματα όρασης, σε συνδυασμό με τεχνικές βαθιάς μάθησης, μπορούν να εντοπίζουν σε πραγματικό χρόνο ελαττώματα εκτύπωσης, όπως αποκλίσεις χρώματος, γραμμώσεις, ασυνέχειες ή προβλήματα ευθυγράμμισης και να μεσολαβούν για την αποκατάστασή τους. Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μεθόδους, τα συστήματα αυτά μαθαίνουν από ιστορικά δεδομένα, βελτιώνοντας συνεχώς την ακρίβεια και την αξιοπιστία τους. Στον τομέα του converting, αντίστοιχες εφαρμογές χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο κοπής, συγκόλλησης και μορφοποίησης υλικών, συμβάλλοντας στη διασφάλιση της τελικής ποιότητας του προϊόντος.

Σε εννοιολογικό επίπεδο, η Τεχνητή Νοημοσύνη διακρίνεται σε τρεις βασικές κατηγορίες,

- τη Στενή Τεχνητή Νοημοσύνη (Narrow Ai), τ
- η Γενική Τεχνητή Νοημοσύνη (General Ai) και την
- Υπερευφυή Τεχνητή Νοημοσύνη (Superintelligent Ai).

Στη βιομηχανική πράξη, η κυρίαρχη μορφή είναι η Στενή, η οποία εξειδικεύεται στην εκτέλεση συγκεκριμένων λειτουργιών, όπως είναι η ανίχνευση αποκλίσεων ή η πρόβλεψη της συντήρησης. Αντίθετα, η Γενική και η Υπερευφυής παραμένουν σε θεωρητικό στάδιο.

Η λειτουργία της TN βασίζεται σε ένα σύνολο τεχνολογικών υποσυστημάτων. Η μηχανική μάθηση (Machine Learning) επιτρέπει την εξαγωγή προτύπων από δεδομένα, ενώ τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα προσομοιώνουν τη λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου μέσω διασυνδεδεμένων κόμβων επεξεργασίας. Η βαθιά μάθηση (Deep Learning) επεκτείνει τις δυνατότητες αυτές, επιτρέποντας την ανάλυση πολύπλοκων δεδομένων, όπως εικόνες και σήματα παραγωγής. Στο περιβάλλον της βαθυτυπίας, οι τεχνολογίες αυτές χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία δεδομένων από inline inspection systems, οδηγώντας σε ακριβέστερη διάγνωση προβλημάτων και ταχύτερη λήψη διορθωτικών ενεργειών. Η ανάπτυξη της παραγωγικής Ai (Generative AI) εισάγει

νέες δυνατότητες στον σχεδιασμό και την ανάπτυξη προϊόντων συσκευασίας. Στον κλάδο του converting, μπορεί να αξιοποιηθεί για τη δημιουργία σχεδίων εκτύπωσης, τη βελτιστοποίηση δομών υλικών και τη διαμόρφωση εξατομικευμένων λύσεων συσκευασίας, ανταποκρινόμενων στις ανάγκες των πελατών και στις απαιτήσεις βιωσιμότητας.

Η συμβολή της στη βιομηχανία εκτείνεται και στην προγνωστική συντήρηση εξοπλισμού, την βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας και την πρόβλεψη ζήτησης. Στις γραμμές βαθυτυπίας, η ανάλυση δεδομένων λειτουργίας μηχανών επιτρέπει τον έγκαιρο εντοπισμό φθορών σε κυλίνδρους ή συστήματα μεταφοράς και ξήρανσης, μειώνοντας τον χρόνο διακοπής και το κόστος συντήρησης. Επιπλέον, η ενσωμάτωση της ΑΙ με IoT υποδομές και cloud πλατφόρμες ενισχύει τη διαλειτουργικότητα και τη συνολική αποδοτικότητα των παραγωγικών συστημάτων (Mohd και συν., 2022).

Παρά τα σημαντικά οφέλη, η υιοθέτηση της ΑΙ συνοδεύεται από προκλήσεις, όπως η ανάγκη διαχείρισης μεγάλων όγκων δεδομένων, η εξασφάλιση της ποιότητας και αξιοπιστίας των αλγορίθμων, καθώς και ζητήματα ηθικής και διαφάνειας στη λήψη αποφάσεων. Σημαντικότερος παράγοντας για την εξέλιξη της βιομηχανίας αποτελεί η απαίτηση επένδυσης σε εξειδικευμένο ανθρώπινο δυναμικό και αναβάθμιση των δεξιοτήτων των εργαζομένων, προκειμένου να αξιοποιηθούν πλήρως οι δυνατότητες της τεχνολογίας.

Συνολικά, η Τεχνητή Νοημοσύνη αποτελεί στρατηγικό εργαλείο για τον μετασχηματισμό της βιομηχανίας εκτύπωσης και συσκευασίας, καθώς επιτρέπει τη μετάβαση από παραδοσιακά μοντέλα παραγωγής σε ευφυή, αυτοματοποιημένα και προσαρμοστικά συστήματα. Η συστηματική και με όρους ενσωμάτωσή της στον κλάδο της βαθυτυπίας και του converting δύναται να οδηγήσει σε σημαντική βελτίωση του Βιομηχανικού κόσμου των γραφικών τεχνών.

4.4 Big Data

Τα δεδομένα μεγάλου όγκου «Big Data» αποτελούν ένα κρίσιμο στοιχείο των σύγχρονων βιομηχανικών συστημάτων, ειδικότερα όσων αφορά τις επιχειρήσεις που συμβαδίζουν

με καινοτομίες του σύγχρονου ψηφιακού μετασχηματισμού, καθώς ο όγκος, η ποικιλία και η ταχύτητα των διαθέσιμων πληροφοριών απαιτούν προηγμένα εργαλεία ανάλυσης. Αφορά τη συλλογή, επεξεργασία και αξιοποίηση μεγάλου όγκου δεδομένων για βελτιστοποίηση παραγωγής, ποιότητας και συνόλου των λειτουργιών μιας επιχειρηματικής μονάδας. Δεν αφορά μόνο τη συλλογή και ανάλυση των πραγματικών στοιχείων αλλά αποτελεί πλέον τον σκελετό πάνω στον οποίο μια επιχείρηση επικεντρώνεται, διορθώνει, αξιοποιεί και αναβαθμίζει την διοικητική, παραγωγική και εργασιακή της κουλτούρα. Η αξιοποίηση με Big Data Analytics επιτρέπει την πρόβλεψη τάσεων, τον εντοπισμό αποδοτικών στρατηγικών παραγωγής, την υποστήριξη στρατηγικών αποφάσεων βασισμένων σε δεδομένα. Στο πλαίσιο της Βιομηχανίας 4.0, η ανάλυση δεδομένων ενισχύει την ευελιξία των συστημάτων, βελτιστοποιεί την ποιότητα και συμβάλλει στη δημιουργία «έξυπνων» εργοστασίων (Wamba και συν., 2014).

Τα δεδομένα μεγάλου όγκου αποτελούν έναν καθοριστικό παράγοντα για τον μετασχηματισμό των σύγχρονων βιομηχανιών του κλάδου της συσκευασίας και των γραφικών τεχνών. Η αυξανόμενη ικανότητα συλλογής, αποθήκευσης και ανάλυσης δεδομένων από παραγωγικές διαδικασίες προσφέρει σημαντικές δυνατότητες βελτιστοποίησης της απόδοσης και ενίσχυσης της επιχειρησιακής ευφυΐας. Ωστόσο, παρά τη διαδεδομένη αναγνώριση της αξίας των δεδομένων, πολλές επιχειρήσεις δεν αξιοποιούν πλήρως τις δυνατότητες που προσφέρει η προηγμένη αναλυτική, με αποτέλεσμα να παραμένει ανεκμετάλλευτο ένα σημαντικό μέρος της δυνητικής επιχειρησιακής αξίας. Όπως έχει αποδείξει έμπρακτα και η ίδια η ιστορία, πέρα από τα επενδυτικά εμπόδια που αντιμετωπίζουν συνήθως οι μικρότερες επιχειρήσεις, η αναβάθμιση και ο εκσυγχρονισμός των επιχειρήσεων γίνεται με δισταγμό όταν αφορά τεχνολογικές αναβαθμίσεις ειδικότερα στον ψηφιακό τομέα. Κάθε βήμα αναβάθμισης θα πρέπει ήδη να υποστηρίζεται από αναλυτικό σχέδιο εξοικονόμησης και προϋπολογισμού τόσο του ποιοτικού, παραγωγικού και οικονομικού οφέλους (Packaging Digest, n.d.).

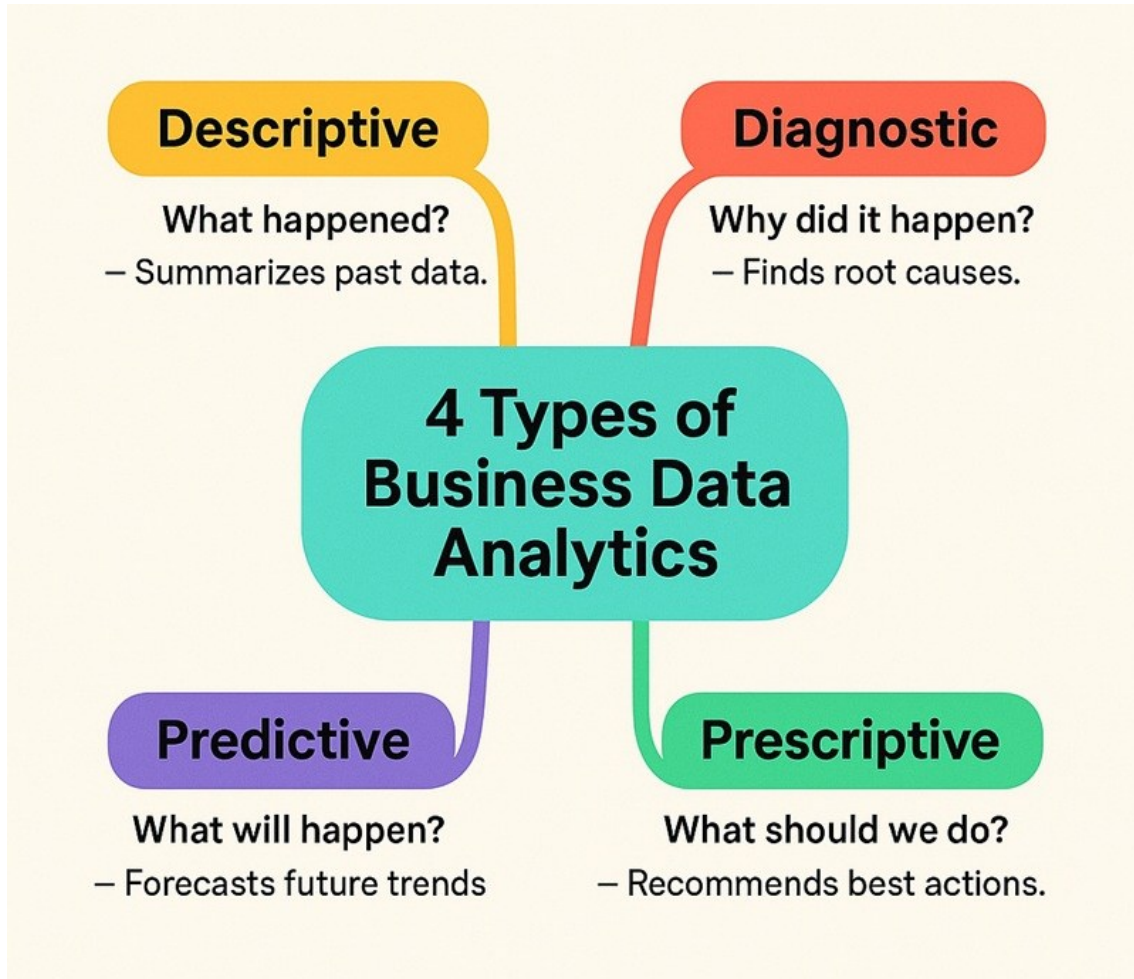
Η συστηματική μέτρηση και ανάλυση της λειτουργίας των γραμμών συσκευασίας επιτρέπει την ανάπτυξη πιο ευέλικτων και αποδοτικών παραγωγικών μοντέλων, μέσω της αξιοποίησης πληροφοριακών συστημάτων, όπως τα Management Information Systems (MIS), τα οποία διευκολύνουν τη συλλογή και ερμηνεία κρίσιμων δεδομένων. Κρίσιμη στην σημασία της συγκεκριμένης αναβάθμισης και εκσυγχρονισμού συλλογής

και αξιοποίησης των δεδομένων παίζει και η συμμετοχή της Τεχνητής Νοημοσύνης, ως καινοτομία και τεχνολογική εξέλιξη της 4IR, καθώς αποτελεί ιδιαίτερη πρόκληση για την χρήση του ως εργαλείο εκμετάλλευσης και χρήσης για την επίτευξη των επιθυμητών αποτελεσμάτων μιας που θα πρέπει να εφαρμόζεται με τέτοιο τρόπο που να μη ζημιώνει αλλά αντιθέτως να χρησιμοποιεί τα δεδομένα προς παραγωγικό και όχι μόνο όφελος (McKinsey, 2021).

Στο πλαίσιο της εκτύπωσης βαθυτυπίας και του συνολικού Converting εύκαμπτης συσκευασίας, η αξιοποίηση των Big Data αποκτά ιδιαίτερη σημασία, καθώς οι συγκεκριμένες προ και παραγωγικές διαδικασίες χαρακτηρίζονται από υψηλή πολυπλοκότητα, αυστηρές προδιαγραφές ποιότητας και μεγάλους όγκους παραγωγής. Η στρατηγική αξιοποίηση των δεδομένων όπως ήδη έχει αναφερθεί μπορεί να επιφέρει ουσιαστικές βελτιώσεις στην παραγωγική διαδικασία, όπως αναβάθμιση της ποιότητας των προϊόντων, μείωση των απορριμμάτων και αύξηση της αποδοτικότητας των γραμμών παραγωγής (Packaging Digest, n.d.).

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της ανάλυσης δεδομένων είναι η δυνατότητα αξιοποίησης ιστορικών πληροφοριών. Τα δεδομένα που συλλέγονται αποτελούν αντικειμενική εικόνα του συνόλου των εργασιών σε προεκτυπωτικό αλλά και σε επίπεδο παραγωγής. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της απόδοσης των διαδικασιών και την αναγνώριση επαναλαμβανόμενων καταστάσεων, συνθηκών και τάσεων. Με αυτόν τον τρόπο, οι επιχειρήσεις μπορούν να εφαρμόσουν εκτός από διορθωτικές παρεμβάσεις, να αποτρέψουν μελλοντικές αστοχίες, ενισχύοντας τη συνολική αξιοπιστία της παραγωγής.

Επιπλέον, η εφαρμογή αναλυτικών εργαλείων επιτρέπει τον εντοπισμό σημείων συμφόρησης (bottlenecks). Μέσω δεικτών απόδοσης και ελέγχων παραγωγικότητας, οι επιχειρήσεις μπορούν να σχεδιάσουν στοχευμένες παρεμβάσεις για τη βελτίωση της λειτουργίας τους, τη μείωση της κατανάλωσης πόρων και τη βελτιστοποίηση των επενδυτικών τους αποφάσεων (όπως φαίνεται στην εικόνα 27). Ιδιαίτερη σημασία έχει και η παρακολούθηση της ενεργειακής κατανάλωσης, η οποία συμβάλλει τόσο στη μείωση του λειτουργικού κόστους όσο και στην ενίσχυση της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας (Wamba, 2017).

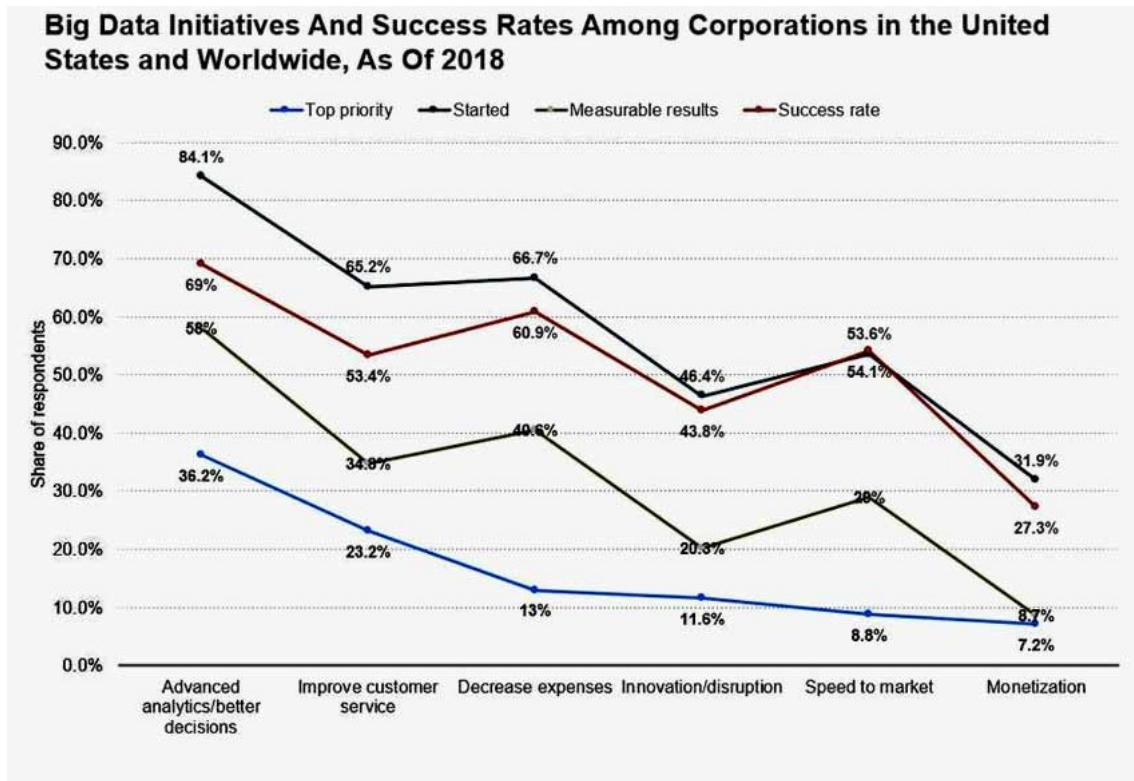


Εικόνα 27. Big Data Analytics

Note: [What is Business Data Analytics: Beginner's Guide](#)

Σε επίπεδο διοίκησης και οργάνωσης, η αξιοποίηση των Big Data μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά οφέλη, όπως η μείωση του κόστους συντήρησης μέσω προγνωστικής συντήρησης, η βελτιστοποίηση της χρήσης εξοπλισμού και η ενίσχυση της λήψης αποφάσεων βάσει δεδομένων. Παράλληλα, η συγκριτική αξιολόγηση επιδόσεων (benchmarking) επιτρέπει τον εντοπισμό βέλτιστων πρακτικών και την υιοθέτηση πιο αποδοτικών παραγωγικών μοντέλων. Ως συγκεντρωτικό όφελος η χρήση και εφαρμογή των Big Data δείχνει να οδηγεί κάθε μορφή επιχείρησης σε ανοδικά αποτελέσματα εξέλιξης και προόδου (όπως φαίνεται στην εικόνα 28). Στο περιβάλλον του Converting,

όπου απαιτείται υψηλή ευελιξία και ταχύτητα προσαρμογής, η αξιοποίηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο μπορεί να αποτελέσει κρίσιμο ανταγωνιστικό πλεονέκτημα.



Εικόνα 28. Big Data Use U.S & Worldwide

Note: [Top 9 Major Challenges With Big Data And How To Overcome Them?](#)

Η ενσωμάτωση της ανάλυσης μεγάλων δεδομένων στη στρατηγική των επιχειρήσεων αποτελεί βασική προϋπόθεση για τη διασφάλιση μακροχρόνιας ανταγωνιστικότητας. Οι οργανισμοί που επενδύουν σε υποδομές ανάλυσης δεδομένων και ενσωματώνουν τα αποτελέσματά τους στη λήψη αποφάσεων είναι σε θέση να βελτιώσουν συνολικά τη λειτουργία τους και να ανταποκριθούν αποτελεσματικότερα στις απαιτήσεις της σύγχρονης αγοράς. Στο πλαίσιο της βαθυτυπίας και της βιομηχανίας συσκευασίας, η μετάβαση σε ένα μοντέλο λειτουργίας βασισμένο στα δεδομένα συνιστά κρίσιμο βήμα προς την υλοποίηση της Βιομηχανίας 4.0 και την επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης.

4.5 Ρομποτική

Η σύγχρονη βιομηχανική ρομποτική ορίζεται ως ο κλάδος της τεχνολογίας που αφορά τον σχεδιασμό, την ανάπτυξη και την εφαρμογή προγραμματιζόμενων ρομποτικών συστημάτων στη βιομηχανική παραγωγή, με στόχο την αυτοματοποίηση διαδικασιών, τη βελτίωση της ακρίβειας και της ποιότητας, καθώς και την αύξηση της παραγωγικότητας. Στο πλαίσιο της Βιομηχανίας 4.0, η βιομηχανική ρομποτική χαρακτηρίζεται από τη απόλυτη λειτουργία και σύνδεση με ψηφιακά συστήματα, λογισμικά απόλυτης ταύτισης με τη φύση της επιθυμητής εργασίας, τη χρήση αισθητήρων και τεχνητής νοημοσύνης, καθώς και τη δυνατότητα συνεργασίας με τον άνθρωπο μέσω συνεργατικών ρομπότ (cobots).

Η ενσωμάτωση ρομποτικών συστημάτων στη σύγχρονη βιομηχανική παραγωγή συμβάλλει ως κρίσιμος παράγοντας στη βελτίωση της αποδοτικότητας, τη μείωση του λειτουργικού κόστους και την αναβάθμιση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων. Ποια είναι όμως η ερμηνεία πλέον των ρομπότ στην εφαρμογή των νέων τεχνολογιών της 4IR για τη σύγχρονη βιομηχανία; Η ραγδαία εξέλιξη των τεχνολογιών της Βιομηχανίας 4.0 έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη μιας νέας γενιάς ρομποτικών εφαρμογών, γνωστών ως συνεργατικά ρομπότ (collaborative robots ή cobots), τα οποία διαφοροποιούνται ουσιαστικά από τα παραδοσιακά βιομηχανικά ρομπότ. Βασικό τους χαρακτηριστικό αποτελεί η δυνατότητα ασφαλούς και άμεσης συνύπαρξης με τον άνθρωπο στον ίδιο εργασιακό χώρο, χωρίς την ανάγκη εκτεταμένων φυσικών φραγμών ή προστατευτικών διατάξεων. Επιπλέον η καινοτομία της ρομποτικής βιομηχανικής χειρωνακτικής εργασίας σπάει τους μέχρι τώρα φραγμούς, δημιουργώντας cobots ακόμα και σε πόστα και βιομηχανικές ζώνες που δεν αφορούν μόνο χειρωνακτικές εργασίες και βαρύ φορτίο, αλλά σκεπτόμενα υπολογιστικά συστήματα που ως επίδραση έχουν την επιλογή κινήσεων και παραγωγικών ακολουθιών ανάλογα με την περίπτωση (Μακρής, 2019).

Η σύγχρονη εξέλιξη των τεχνολογιών προεκτύπωσης, εκτύπωσης αλλά και των επιπλέον διαδικασιών converting χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό αυτοματοποίησης, γεγονός που έχει επιφέρει σημαντικές μεταβολές στη δομή και τη λειτουργία των αντίστοιχων τμημάτων παραγωγής. Ειδικότερα, η εκτεταμένη ενσωμάτωση εξειδικευμένων

λογισμικών συνδυαστικά με καινοτομίες τεχνητής νοημοσύνης έχει επιτρέψει την αυτοματοποιημένη διαχείριση κρίσιμων παραμέτρων, όπως ο εικαστικός και χρωματικός έλεγχος και η βαθμονόμηση, περιορίζοντας την ανάγκη για συνεχή ανθρώπινη παρέμβαση. Παράλληλα, η παραγωγή και τοποθέτηση των εκτυπωτικών μέσων, δηλαδή των κυλίνδρων έχει εξελιχθεί σε μια πλήρως ενοποιημένη και αυτοματοποιημένη διαδικασία, όπου συστήματα απεικόνισης σε συνδυασμό με ρομποτικούς μηχανισμούς αναλαμβάνουν τη μορφοποίηση, την έκθεση, την εμφάνιση και την τελική προετοιμασία των κυλίνδρων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η αυτοματοποίηση αυτή υλοποιείται μέσω εμφανών ρομποτικών διατάξεων (printbusiness.co.uk, 2019). Θα πρέπει να επισημανθεί ότι στις περιπτώσεις παραγωγής των εκτυπωτικών βοηθητικών μέσων καθώς και στην διαδικασία της παραγωγής της εκτύπωσης με τη χρήση των εκάστοτε βοηθητικών μέσων, θεωρείται απαραίτητη η προσαρμογή ρομποτικής υποβοήθησης ως βιομηχανική πρακτική, επιπλέον και στη περίπτωση της εκτύπωσης με βαθυτυπίας προσαρμόστηκαν ανάλογες ρομποτικές διατάξεις ώστε να εξυπηρετούν την παραγωγική διαδικασία αλλά και την προετοιμασία αυτής (όπως φαίνεται στην εικόνα 29). Η δυνατότητα πλήρους αυτοματοποιημένης φόρτωσης των κυλίνδρων στις εκτυπωτικές μηχανές, αναδεικνύει τη μετάβαση από την παραδοσιακή χειροκίνητη εργασία σε ένα περιβάλλον ψηφιακά ελεγχόμενης παραγωγής (Cleary, 2025).



Εικόνα 29. Ρομποτική Βιομηχανία

Notes: [UFlex Inaugurates ‘Fully Automatic Robotic Laser Engraving](#)

Η τάση αυτή επεκτείνεται σε ολόκληρη την αλυσίδα του Converting και της βαθυτυπίας. Στις σύγχρονες μονάδες παραγωγής, η ρομποτική ενσωματώνεται σε διαδικασίες όπως η εκτύπωση, το λαμινάρισμα (lamination), η κοπή (slitting), η διαμόρφωση (forming) και η τελική παλετοποίηση. Η χρήση έξυπνων συστημάτων ελέγχου σε πραγματικό χρόνο και πλατφορμών διαχείρισης δεδομένων επιτρέπει τη συνεχή παρακολούθηση κρίσιμων παραμέτρων. Μέσω αυτών των τεχνολογιών, καθίσταται δυνατή η άμεση ανίχνευση αποκλίσεων και η αυτόματη διόρθωση, βελτιώνοντας την ποιότητα. Η διασύνδεση των επιμέρους σταδίων παραγωγής μέσω ολοκληρωμένων πληροφοριακών συστημάτων (όπως ERP και MES) ενισχύει τη διαφάνεια και τον συγχρονισμό των λειτουργιών. Η παραγωγική διαδικασία μετατρέπεται σε ένα ενιαίο ψηφιακό οικοσύστημα, όπου η ροή εργασίας ελέγχεται και βελτιστοποιείται δυναμικά. Στο πλαίσιο αυτό, η συμβολή της ρομποτικής και των αυτοματοποιημένων συστημάτων διαχείρισης υλικών είναι καθοριστική, καθώς μειώνει την εξάρτηση από χειρωνακτική εργασία και αυξάνει τη σταθερότητα της παραγωγής. Συνολικά, η εκτεταμένη αυτοματοποίηση στην προεκτύπωση, εκτύπωση και συνολικό converting αναδιαμορφώνει τον ρόλο του ανθρώπινου δυναμικού, μετατοπίζοντας το επίκεντρο από την εκτέλεση χειρωνακτικών εργασιών προς την επίβλεψη, τον προγραμματισμό και τη βελτιστοποίηση των συστημάτων. Η εξέλιξη αυτή συνδέεται άμεσα με τη γενικότερη τάση αυτοματοποίησης που έχει ήδη περιγραφεί στο προηγούμενο υποκεφάλαιο, όπου η προεκτύπωση και οι επιμέρους φάσεις του converting μετασχηματίζονται σε ένα ολοκληρωμένο, ψηφιακά ελεγχόμενο παραγωγικό οικοσύστημα. Ειδικότερα στη βαθυτυπία και στις διαδικασίες μεταποίησης εύκαμπτων υλικών, η αξιοποίηση cobots ενισχύει περαιτέρω τον βαθμό αυτοματοποίησης σε κρίσιμα στάδια. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται μείωση των σφαλμάτων, αύξηση της ταχύτητας παραγωγής και βελτίωση της συνολικής αξιοπιστίας των διαδικασιών. Ειδικότερα, επαναλαμβανόμενες, βαριές ή μη εργονομικές εργασίες μπορούν να ανατεθούν στα ρομποτικά συστήματα, ενώ δραστηριότητες που απαιτούν κρίση, ευελιξία και επίλυση προβλημάτων αρχικά παραμένουν στον ανθρώπινο παράγοντα, όμως η ευελιξία του συνδυασμού ανθρώπου και μηχανής αποτελεί πλέον τεράστιο πλεονέκτημα για ακόμα περισσότερη εφαρμογή σύγχρονων καινοτομιών της 4IR. Η τεχνολογική αυτή εξέλιξη καθιστά εφικτή την υλοποίηση υβριδικών μοντέλων παραγωγής, όπου άνθρωποι και μηχανές συνεργάζονται δυναμικά, αξιοποιώντας τα

συγκριτικά πλεονεκτήματα κάθε πλευράς (Μακρής, 2019). Η εισαγωγή συνεργατικών ρομπότ συμβάλλει στην αναδιάρθρωση της εργασιακής οργάνωσης. Αν και η αυτοματοποίηση έχει συχνά συσχετιστεί με τη μείωση του ανθρώπινου δυναμικού, στην περίπτωση των cobots παρατηρείται μια διαφορετική δυναμική. Η ανάγκη για προγραμματισμό, επίβλεψη, συντήρηση και βελτιστοποίηση των ρομποτικών συστημάτων δημιουργεί νέες απαιτήσεις δεξιοτήτων και ενισχύει τη ζήτηση για εξειδικευμένο προσωπικό. Στο περιβάλλον της βαθυτυπίας, όπου η ακρίβεια, η σταθερότητα και η ποιότητα αποτελούν κρίσιμους παράγοντες, η συνεργασία ανθρώπου και μηχανής καθίσταται ιδιαίτερα σημαντική για τη διασφάλιση υψηλών προδιαγραφών παραγωγής.

Σε επίπεδο εφαρμογών, αν και οι μεγάλοι βιομηχανικοί κλάδοι, όπως η αυτοκινητοβιομηχανία και η παραγωγή ηλεκτρονικών, έχουν πρωτοστατήσει στην υιοθέτηση ρομποτικών συστημάτων, παρατηρείται αυξανόμενη διείσδυση των cobots και σε μικρότερης κλίμακας βιομηχανικές μονάδες. Στον κλάδο της εκτύπωσης και της συσκευασίας, και ειδικότερα στη βαθυτυπία, η υιοθέτηση τέτοιων τεχνολογιών καθίσταται ολοένα και πιο εφικτή, λόγω της σχετικής ευκολίας εγκατάστασης και χρήσης τους, καθώς και της δυνατότητας προσαρμογής τους σε ευέλικτες παραγωγικές γραμμές. Ενδεικτικές εφαρμογές περιλαμβάνουν την αυτοματοποιημένη διαχείριση της Α' ύλης στη μηχανή βαθυτυπίας όπως είναι οι αυτόματες αλλαγές τροφοδοσίας της μηχανής κατά την παραγωγική διαδικασία (όπως φαίνεται στην εικόνα 30), την προετοιμασία και προσαρμογή των κυλίνδρων βαθυτυπίας και την αυτοματοποιημένη παλετοποίηση και διαχείριση τελικών προϊόντων (printbusiness.co.uk, 2019).

Η μετάβαση της χρήσης στην ρομποτική, παρόλο που δεν αποτελεί πρωτοπορία ως καινοτομία της 4IR συνδέεται άμεσα με τις αρχές της Βιομηχανίας 4.0, καθώς η εξέλιξη του σχεδιασμού και εφαρμογής της απέχει μακριά από τον σχεδιασμό και εφαρμογή που είχε φανταστεί ο άνθρωπος σε προγενέστερη βιομηχανική περίοδο. Συμβάλλει στη δημιουργία πιο ευέλικτων, αποδοτικών και ανταγωνιστικών μονάδων παραγωγής στον κλάδο της βαθυτυπίας και της συσκευασίας.



Εικόνα 30. Robotics For Reel handling

Notes: [Why you should use packaging robots for automatic reel bundles preparation - Papnews](#)

Η ενίσχυση των παραγωγικών μονάδων με προηγμένα ρομποτικά συστήματα δύναται να λειτουργήσει ως μοχλός αναβάθμισης της ανταγωνιστικότητας, τόσο μέσω της βελτιστοποίησης των παραγωγικών διαδικασιών όσο και μέσω της αναβάθμισης των συνθηκών εργασίας. Στο πλαίσιο αυτό, η ελληνική βιομηχανία εκτυπώσεων και Converting έχει τη δυνατότητα να αξιοποιήσει τις εν λόγω τεχνολογίες για την παραγωγή προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας, την ενίσχυση της εξωστρέφειας και τη μετάβαση σε πιο βιώσιμα και αποδοτικά μοντέλα λειτουργίας. Η σύζευξη αυτοματοποιημένων συστημάτων προεκτύπωσης, ψηφιακών ροών εργασίας και συνεργατικής ρομποτικής συγκροτεί ένα νέο παραγωγικό πρότυπο, στο οποίο η βαθυτυπία και το Converting εντάσσονται πλήρως στο οικοσύστημα της Βιομηχανίας 4.0. Η εξέλιξη αυτή δεν αφορά μόνο την τεχνολογική αναβάθμιση, αλλά και τον ευρύτερο μετασχηματισμό της διοικητικής και οργανωτικής κουλτούρας και των δεξιοτήτων, οδηγώντας σε ένα πιο ευέλικτο, αποδοτικό και ανθεκτικό βιομηχανικό περιβάλλον.

4.6 Ψηφιοποίηση και Διασυνδεσιμότητα, Έξυπνα Εργοστάσια «Smart Factories»

Η σύγχρονη εκτυπωτική και μεταποιητική βιομηχανία διαμορφώνεται πλέον από τη συνύπαρξη δύο βασικών διαστάσεων, της επιχειρησιακής αποδοτικότητας και υιοθέτησης της καινοτομίας, η οποία εκφράζεται μέσω νέων επιχειρηματικών μοντέλων και υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας. Στο πλαίσιο της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης (Industry 4.0), οι επιχειρήσεις διαφοροποιούνται ως προς την ικανότητά τους να προσαρμόζονται στον ψηφιακό μετασχηματισμό. Ορισμένες παρουσιάζουν στασιμότητα ή φθίνουσα πορεία, άλλες επικεντρώνονται στη διατήρηση της λειτουργίας τους μέσω περιορισμένων επενδύσεων, ενώ εκείνες που επιτυγχάνουν βιώσιμη ανάπτυξη είναι όσες υιοθετούν πελατοκεντρικές στρατηγικές, επενδύουν σε ψηφιακές τεχνολογίες και ενσωματώνουν αυτοματοποιημένες ροές εργασίας (Smithers, n.d.).

Η μετάβαση αυτή συνδέεται άμεσα με την έννοια της ψηφιοποίησης και της διασυνδεσιμότητας, οι οποίες αποτελούν θεμελιώδεις πυλώνες των «έξυπνων εργοστασίων». Ένα έξυπνο εργοστάσιο μπορεί να οριστεί ως μια πλήρως ή σε μεγάλο βαθμό ψηφιοποιημένη και διασυνδεδεμένη παραγωγική μονάδα, στην οποία οι διαδικασίες ελέγχονται και βελτιστοποιούνται μέσω τεχνολογιών όπως η τεχνητή νοημοσύνη, η ανάλυση μεγάλων δεδομένων, Big Data, η ρομποτική και το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, IoT. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά μοντέλα αυτοματισμού, τα νέα συστήματα διαθέτουν δυνατότητες αυτομάθησης και προσαρμογής σε πραγματικό χρόνο, γεγονός που ενισχύει σημαντικά την ευελιξία και την αποδοτικότητα της παραγωγής.

Κεντρικό στοιχείο της διασυνδεσιμότητας αποτελεί η εκτεταμένη χρήση αισθητήρων και δικτυωμένων συσκευών, οι οποίες δημιουργούν το Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων «IIoT». Μέσω αυτού, επιτυγχάνεται πλήρης ορατότητα των παραγωγικών διαδικασιών και της κατάστασης του εξοπλισμού, ενώ παράλληλα καθίσταται δυνατή η διασύνδεση των συστημάτων παραγωγής με τα πληροφοριακά συστήματα διαχείρισης «MES». Η ενσωμάτωση αυτή επιτρέπει την αυτοματοποιημένη ροή πληροφοριών, τη βελτιστοποίηση του προγραμματισμού παραγωγής και τη δυναμική προσαρμογή στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις της ζήτησης. Στον κλάδο των γραφικών τεχνών και

ειδικότερα της εκτύπωσης, η έννοια του «έξυπνου εκτυπωτικού εργοστασίου» συνιστά εφαρμογή των παραπάνω αρχών. Η παραγωγική διαδικασία μετασχηματίζεται σε ένα ενιαίο, ολοκληρωμένο σύστημα, όπου όλες οι επιμέρους λειτουργίες από την προεκτύπωση έως την εκτύπωση και την περάτωση (converting) συνδέονται ψηφιακά. Η κατάργηση των απομονωμένων σημείων δεδομένων και η αντικατάστασή τους από ενοποιημένα πληροφοριακά περιβάλλοντα επιτρέπει την αυτοματοποίηση σύνθετων διαδικασιών και τη λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Ιδιαίτερη σημασία αποκτά ο ρόλος των δεδομένων μεγάλου όγκου (Big Data), τα οποία, μέσω κατάλληλων εργαλείων ανάλυσης, μετατρέπονται σε αξιοποιήσιμη γνώση για τη βελτιστοποίηση της παραγωγής και τη μείωση του waste. Η διασύνδεση μηχανών, λογισμικού και συστημάτων ροής εργασίας οδηγεί στη δημιουργία κυβερνοφυσικών συστημάτων, στα οποία η φυσική παραγωγή και ο ψηφιακός έλεγχος λειτουργούν ως ενιαίο σύνολο. Η μετάβαση προς την «έξυπνη παραγωγή» ενισχύεται από την υιοθέτηση αρχών λιτής παραγωγής (Lean Manufacturing), οι οποίες εστιάζουν στην εξάλειψη μη αποδοτικών διαδικασιών και στη συνεχή βελτίωση. Η χαρτογράφηση της ροής αξίας, η παραγωγή βάσει ζήτησης (pull systems) και η επιδίωξη της τελειότητας μέσω συνεχούς ανατροφοδότησης συνδυάζονται πλέον με ψηφιακά εργαλεία, δημιουργώντας ένα υβριδικό μοντέλο παραγωγής υψηλής αποδοτικότητας.

Η έννοια της Έξυπνης Εκτυπωτικής Παραγωγής Smart Printing Manufacturing, SPM, αναδεικνύει τη σύγκλιση τεχνολογιών και μεθοδολογιών. Η ενσωμάτωση τεχνητής νοημοσύνης, αυτοματοποιημένων ροών εργασίας και ρομποτικών συστημάτων επιτρέπει την παραγωγή εξιδεικευμένων προϊόντων σε κόστος συγκρίσιμο με αυτό της μαζικής παραγωγής. Ταυτόχρονα, η χρήση εργαλείων επιχειρησιακής ευφυΐας (Business Intelligence) και dashboards επιτρέπει την παρακολούθηση της απόδοσης σε πραγματικό χρόνο και τη λήψη τεκμηριωμένων.

Η διασύνδεση όλων των επιπέδων της παραγωγικής αλυσίδας από τους προμηθευτές έως τους τελικούς πελάτες οδηγεί στη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου ψηφιακού οικοσυστήματος. Σε αυτό, η πληροφορία ρέει αδιάλειπτα, επιτρέποντας την άμεση ανταπόκριση σε αλλαγές της ζήτησης και τη βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Κατ' αυτόν τον τρόπο, η ψηφιοποίηση και η διασυνδεσιμότητα δεν αποτελούν απλώς

τεχνολογικές εξελίξεις, αλλά στρατηγικούς παράγοντες που καθορίζουν τη βιωσιμότητα και την ανταγωνιστικότητα των σύγχρονων βιομηχανικών επιχειρήσεων.

Η μετάβαση προς τα έξυπνα εργοστάσια και τα διασυνδεδεμένα εκτυπωτικά περιβάλλοντα συνιστά μια ολιστική μεταμόρφωση, στην οποία η τεχνολογία, τα δεδομένα και οι οργανωτικές πρακτικές συνδυάζονται για τη δημιουργία ευέλικτων, αποδοτικών και βιώσιμων παραγωγικών συστημάτων.

4.7 Εφαρμογές στον Σύγχρονο Βιομηχανικό Κλάδο

Η σύγχρονη εκτυπωτική και ευρύτερα μεταποιητική βιομηχανία διαμορφώνεται από τη συνύπαρξη δύο αλληλοσυμπληρούμενων αξόνων, της επιχειρησιακής αποτελεσματικότητας και της καινοτομίας. Η πρώτη αφορά τη βελτιστοποίηση των λειτουργιών και των παραγωγικών διαδικασιών, ενώ η δεύτερη συνδέεται με την ανάπτυξη νέων επιχειρηματικών μοντέλων, υπηρεσιών και λύσεων που δημιουργούν προστιθέμενη αξία για τον πελάτη. Στο πλαίσιο της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης, οι επιχειρήσεις διαφοροποιούνται σημαντικά ως προς την ικανότητά τους να ενσωματώνουν ψηφιακές τεχνολογίες και να προσαρμόζονται στις νέες απαιτήσεις. Ορισμένες επιχειρήσεις εμφανίζουν αδυναμία εξέλιξης και φθίνουσα πορεία, άλλες περιορίζονται στη διατήρηση της λειτουργικής τους σταθερότητας μέσω συγκρατημένων επενδύσεων, ενώ εκείνες που επιτυγχάνουν βιώσιμη ανάπτυξη είναι όσες υιοθετούν πελατοκεντρικές στρατηγικές, αξιοποιούν τις δυνατότητες της ψηφιοποίησης και εφαρμόζουν αυτοματοποιημένες ροές εργασίας (Smithers, n.d.).

Η εξέλιξη αυτή συνδέεται άμεσα με τις έννοιες της ψηφιοποίησης και της διασυνδεσιμότητας, οι οποίες αποτελούν θεμελιώδεις πυλώνες των σύγχρονων «έξυπνων εργοστασίων». Το έξυπνο εργοστάσιο συνιστά ένα δυναμικό και προσαρμοστικό παραγωγικό σύστημα, το οποίο λειτουργεί ως αναπόσπαστο τμήμα μιας ευρύτερης ψηφιακής εφοδιαστικής αλυσίδας. Χαρακτηρίζεται από τη δυνατότητα αυτοβελτίωσης, λήψης αποφάσεων και προσαρμογής σε πραγματικό ή σχεδόν πραγματικό χρόνο, ενώ δύναται να εκτελεί αυτόνομα κρίσιμες παραγωγικές διαδικασίες. Η έννοια αυτή δεν περιορίζεται στον φυσικό χώρο του εργοστασίου, αλλά επεκτείνεται στο σύνολο των

τεχνολογιών, διαδικασιών, δεξιοτήτων και οργανωτικών μετασχηματισμών που απαιτούνται για τη λειτουργία μιας σύγχρονης βιομηχανικής επιχείρησης.

Κεντρικό χαρακτηριστικό των έξυπνων εργοστασίων αποτελεί η διασυνδεσιμότητα, η οποία επιτυγχάνεται μέσω της ενοποίησης πληροφοριακών συστημάτων, μηχανών, εργαζομένων, προϊόντων και υλικών σε ένα ενιαίο ψηφιακό περιβάλλον. Η συνεχής ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο επιτρέπει τη διασύνδεση όχι μόνο εντός της επιχείρησης αλλά και με εξωτερικούς εταίρους, όπως προμηθευτές και πελάτες, ενισχύοντας τη συνεργασία σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας. Παράλληλα, η αξιοποίηση τεχνολογιών όπως το Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IIoT), η τεχνητή νοημοσύνη και η ανάλυση μεγάλων δεδομένων καθιστούν δυνατή τη συνεχή παρακολούθηση και βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας. Η λειτουργία των έξυπνων εργοστασίων βασίζεται σε πέντε βασικούς άξονες, τη συνδεσιμότητα, τη βελτιστοποίηση, την ευελιξία, τη διαφάνεια και την προορατικότητα. Η συνδεσιμότητα επιτρέπει τη συνεχή ροή πληροφοριών μεταξύ όλων των εμπλεκόμενων στοιχείων, ενώ η βελτιστοποίηση οδηγεί σε αύξηση της αποδοτικότητας, μείωση του κόστους και περιορισμό των σφαλμάτων. Η ευελιξία επιτρέπει την προσαρμογή της παραγωγής σε μεταβαλλόμενες απαιτήσεις και την ταχεία αναδιαμόρφωση των παραγωγικών διαδικασιών. Η διαφάνεια εξασφαλίζει πλήρη ορατότητα των λειτουργιών και υποστηρίζει τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων, ενώ η προορατικότητα επιτρέπει την πρόβλεψη και αποτροπή προβλημάτων πριν αυτά εκδηλωθούν (Deloitte & ΣΕΒ, 2019). Η ενσωμάτωση αυτών των χαρακτηριστικών οδηγεί σε σημαντικά επιχειρησιακά οφέλη. Η προληπτική συντήρηση, μέσω ανάλυσης δεδομένων από αισθητήρες IoT, συμβάλλει στη μείωση των βλαβών και των νεκρών χρόνων, ενώ η αυτοματοποιημένη διαχείριση αποθεμάτων βελτιώνει τη διαθεσιμότητα πρώτων υλών και μειώνει το λειτουργικό κόστος. Επιπλέον, η χρήση ρομποτικών συστημάτων και τεχνολογιών επαυξημένης πραγματικότητας ενισχύει την ακρίβεια των διαδικασιών και περιορίζει τα ανθρώπινα σφάλματα, ενώ η αξιοποίηση προηγμένων αναλυτικών μοντέλων βελτιστοποιεί τον προγραμματισμό παραγωγής και τη διαχείριση των αποθεμάτων.

Στον κλάδο της εκτύπωσης, οι παραπάνω αρχές εφαρμόζονται μέσω της έννοιας του «έξυπνου εκτυπωτικού εργοστασίου», όπου η παραγωγή οργανώνεται ως ένα πλήρως διασυνδεδεμένο σύστημα. Οι επιμέρους διαδικασίες, από την προεκτύπωση έως την

τελική επεξεργασία, ενοποιούνται ψηφιακά, εξαλείφοντας τα απομονωμένα πληροφοριακά συστήματα και επιτρέποντας την αυτοματοποίηση σύνθετων λειτουργιών. Τα δεδομένα μεγάλου όγκου διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο, καθώς μέσω της ανάλυσής τους υποστηρίζεται η λήψη αποφάσεων και η συνεχής βελτίωση της παραγωγικής απόδοσης.

5. Ο Ρόλος της Σύγχρονης Εύκαμπτης Συσκευασίας

Από την πρώτη στιγμή εμφάνισης της συσκευασίας, ο αρχικός σκοπός που αφορά την προστασία αλλά και την μετέπειτα χρήση της ως μέσο ενημέρωσης και marketing οδηγεί πλέον σε διαφορετικές προσεγγίσεις και σχεδιασμούς που στόχο έχουν την ανάπτυξη τόσο του προϊόντος, των πληροφοριών αυτού όσο και της ίδιας της συσκευασίας κυρίως για την επιτυχή εμπορευματοποίηση του (Cosper, 2017).

Ο ορισμός της συσκευασίας έχει αποκτήσει πλέον πολύπλευρη ερμηνεία και έννοια. Η πρωταρχική σημασία αφορούσε το σύνολο των ενεργειών, διαδικασιών και υλικών που εφαρμόζονται με σκοπό την προστασία, τη διατήρηση και τη διασφάλιση της ποιότητας ενός προϊόντος καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του, από την παραγωγή και την αποθήκευση έως τη μεταφορά, τη διανομή και την τελική κατανάλωση του. Παράλληλα, η συσκευασία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην αποτελεσματική διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, συμβάλλοντας στη μείωση φθορών, απωλειών, καθώς και στη συμμόρφωση με ποικίλα ποιοτικά πρότυπα. Η εύκαμπτη συσκευασία βρίσκεται έδαφος σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών του κλάδου, συμπεριλαμβανομένων των τροφίμων και ποτών, της τροφής κατοικίδιων ζώων, των προϊόντων προσωπικής φροντίδας, των οικιακών ειδών και των φαρμακευτικών προϊόντων. Σε κάθε έναν από αυτούς τους τομείς, η προσαρμοστικότητα των εύκαμπτων δομών επιτρέπει τη δημιουργία λύσεων που συνδυάζουν υγιεινή, ασφάλεια, διαφήμιση, λειτουργικότητα και μειωμένο περιβαλλοντικό αποτύπωμα (Jyflexpack, 2025).

Η αρχική οπτική προσέγγιση ενός προϊόντος και η επακόλουθη απτική αλληλεπίδραση με αυτό, μέσα από το πλήθος των επιλογών που υπάρχουν σε ένα ράφι λιανικής, ενισχύουν σε σημαντικό βαθμό την πιθανότητα αγοράς από τον καταναλωτή. Έρευνες δείχνουν ότι ο μέσος αγοραστής αφιερώνει μόλις 5 με 7 δευτερόλεπτα για την πρώτη αξιολόγηση προϊόντος. Όταν ένα προϊόν καταφέρει να τραβήξει το ενδιαφέρον σε αυτό το σύντομο χρονικό διάστημα, ενεργοποιούνται στη συνέχεια πρόσθετοι παράγοντες που συμβάλλουν στη λήψη της τελικής αγοραστικής απόφασης. Σε αυτή την περίπτωση, ο

σχεδιασμός της συσκευασίας μπορεί να θεωρηθεί επιτυχημένος. Η παρουσία εκατοντάδων προϊόντων κατά τη διάρκεια μιας τυπικής επίσκεψης σε ένα σουπερμάρκετ καθιστά τη διαδικασία επιλογής ιδιαίτερα απαιτητική και ενδέχεται να προκαλέσει σύγχυση στον καταναλωτή. Για τον λόγο αυτό, οι επαγγελματίες του σχεδιασμού και του marketing επενδύουν σημαντικό χρόνο και πόρους στη δημιουργία συσκευασιών που διαφοροποιούνται και ξεχωρίζουν σε πολλαπλά επίπεδα. Ο σχεδιασμός της συσκευασίας δεν αποτελεί απλώς μια αισθητική διαδικασία, αλλά ενσωματώνει μια συνολική φιλοσοφία, μια κεντρική ιδέα και ένα σαφές όραμα, τα οποία οφείλουν να αποτυπώνονται σε ένα οργανωμένο brief. Η απουσία ενός τέτοιου brief κατά τη διαδικασία σχεδιασμού δύναται να οδηγήσει σε αποτυχία της ταυτότητας και της στρατηγικής ενός brand (Ζαλώνης, 2023).

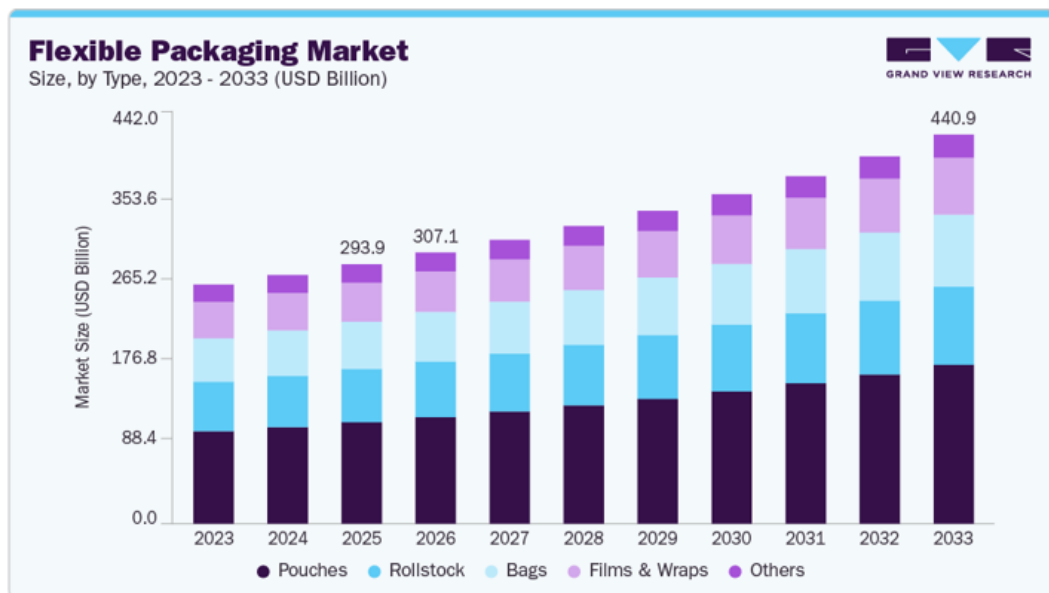
Ο θεμελιώδης ρόλος της συσκευασίας συνίσταται στη διασφάλιση της ακεραιότητας και της ποιότητας του προϊόντος, λειτουργία από την οποία προκύπτουν πολλαπλά οφέλη σε κοινωνικό και οικονομικό επίπεδο. Μεταξύ αυτών συγκαταλέγονται ο περιορισμός της απώλειας τροφίμων και άλλων αγαθών, η ενίσχυση της αποδοτικότητας μέσω οικονομιών κλίμακας στην παραγωγή και τη διανομή, καθώς και η διευκόλυνση της πρόσβασης σε προϊόντα και υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης σε παγκόσμια κλίμακα. Η συσκευασία δεν αποτελεί πλέον ένα στατικό μέσο προστασίας, αλλά έχει εξελιχθεί ώστε να ανταποκρίνεται στις συνεχώς μεταβαλλόμενες απαιτήσεις (Morris, 2021).

5.1 Προτερήματα Ανάπτυξης Εύκαμπτης Συσκευασίας

Πέραν της λειτουργικής της διάστασης, η συσκευασία αποτελεί μέσο επικοινωνίας μεταξύ του προϊόντος και του καταναλωτή, μεταφέρει πληροφορίες σχετικά με τη χρήση, τη σύνθεση, την προέλευση και την ασφάλεια του προϊόντος, ενώ ταυτόχρονα ενισχύει την αναγνωρισιμότητα και την εμπορική του αξία (Hyflexpack, 2025).

Λαμβάνοντας υπόψη τον ρόλο και το εύρος της βιομηχανίας συσκευασίας, καθίσταται σαφές η σημαντική της συμβολή στην παγκόσμια οικονομία, καθώς και η καθοριστική σημασία της εφαρμογής σύγχρονων πρακτικών συσκευασίας για τη διασφάλιση της ποιότητας των προϊόντων και της ασφάλειας χρήσης τους από τον τελικό καταναλωτή.

Παράλληλα, η υιοθέτηση εύκαμπτων υλικών φιλικών προς το περιβάλλον αποτελεί πλέον βασική προϋπόθεση, στο πλαίσιο της βιώσιμης ανάπτυξης και της περιβαλλοντικής υπευθυνότητας. Το μέγεθος της παγκόσμιας αγοράς εύκαμπτων συσκευασιών ανήλθε το 2025 στα 293,92 δισεκατομμύρια δολάρια και προβλέπεται να παρουσιάσει σύνθετο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης (CAGR) της τάξης του 5,7% για την περίοδο 2026–2033 (όπως απεικονίζεται στην εικόνα 31). Στη μεταπανδημική εποχή, η αυξημένη κατανάλωση προϊόντων εύκαμπτης συσκευασίας στους τομείς της υγείας, της φαρμακευτικής περίθαλψης και της προσωπικής υγιεινής έχει οδηγήσει σε ενισχυμένη ζήτηση και, κατ' επέκταση, σε αναπροσαρμογή των ετήσιων ποσοτήτων παραγωγής συσκευασιών.



Εικόνα 31. Flexible Packaging Market (2026-2033)

Note. [Flexible Packaging Market Size And Share Report, 2030 \(grandviewresearch.com\)](https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/flexible-packaging-market).

Ως συνέπεια της αυξητικής αυτής τάσης, παρατηρείται ενίσχυση της καινοτομίας στη διαθεσιμότητα και εφαρμογή βιώσιμων νέων υλικών παραγωγής, περιορισμό της χρήσης υφιστάμενων πρώτων υλών, καθώς και ενσωμάτωση στρατηγικών Αειφορίας στον συνολικό σχεδιασμό και παραγωγή της συσκευασίας. Η παγκόσμια αγορά αναμένεται να

σημειώσει περαιτέρω ανάπτυξη κατά την επόμενη δεκαετία, κυρίως λόγω της αυξανόμενης ζήτησης για συσκευασίες τροφίμων, ποτών και προϊόντων υγειονομικής περίθαλψης. Οι μεταβολές στον τρόπο ζωής και οι δημογραφικές εξελίξεις εκτιμάται ότι θα λειτουργήσουν ενισχυτικά ως προς την αύξηση της παραγωγής και κατανάλωσης των εκάστοτε προϊόντων (Grand View Research, 2026).

Η επιδίωξη χαμηλότερης ενεργειακής κατανάλωσης και η ουσιαστική μείωση της παραγωγής αποβλήτων έχουν συμβάλει καθοριστικά στη μετατόπιση του ενδιαφέροντος προς στρατηγικές βιώσιμης ανάπτυξης. Ενδεικτικό παράδειγμα αποτελούν οι πρωτοβουλίες κρατικών φορέων των Ηνωμένων Πολιτειών, οι οποίοι υποστηρίζουν χρηματοδοτικά την παραγωγή συγκεκριμένων εύκαμπτων συσκευασιών, με στόχο τον περιορισμό των εκπομπών άνθρακα και τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, δημιουργώντας παράλληλα θετικές προοπτικές για την εξέλιξη της αγοράς. Πιο συγκεκριμένα, στις αρχές του 2022, το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ ανακοίνωσε τη διάθεση χρηματοδότησης ύψους 13,4 εκατομμυρίων δολαρίων για την ανάπτυξη πλαστικών υλικών χαμηλής ενεργειακής απαίτησης και περιορισμένων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Δεδομένου ότι η εύκαμπτη συσκευασία απαιτεί μικρότερη ποσότητα υλικών σε σύγκριση με τις άκαμπτες μορφές συσκευασίας, συνεπάγεται μειωμένες ενεργειακές ανάγκες κατά την παραγωγική διαδικασία και συμβάλλει στον περιορισμό του ανθρακικού αποτυπώματος. Αντίστοιχες πρωτοβουλίες αναμένεται να ενισχύσουν την ανάπτυξη και την υιοθέτηση των νέων βιώσιμων υλικών για εφαρμογές στην παραγωγή της εύκαμπτης συσκευασίας, καθώς και να την αναδείξουν ως οικονομικά αποδοτική εναλλακτική λύση (Grand View Research, 2026).

5.1.1 Επικοινωνιακός Ρόλος της Συσκευασίας

Στο σύγχρονο επιχειρηματικό και καταναλωτικό περιβάλλον, η συσκευασία αναλαμβάνει ολοένα και περισσότερο επικοινωνιακό ρόλο, λειτουργώντας ως φορέας πληροφόρησης σχετικά με το περιεχόμενο, τις οδηγίες χρήσης και την ταυτότητα του προϊόντος, ενώ ταυτόχρονα υποστηρίζει στρατηγικές προβολής και marketing. Ως συνέπεια, η συσκευασία συνιστά ένα πολυδιάστατο αντικείμενο με τεχνικές,

οικονομικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές προεκτάσεις, καθιστώντας τη αναπόσπαστο στοιχείο της σύγχρονης βιομηχανικής και εμπορικής πρακτικής.

Ποια κριτήρια όμως καθορίζουν την επιλογή χρήσης των υλικών καθώς και την τελική σχεδιαστική μορφή που δομείται μια συσκευασία, πως διαφοροποιούνται οι κατηγορίες της συσκευασίας και ποια μορφή έχουν πάρει μέχρι σήμερα;

Η εύκαμπτη συσκευασία αναδεικνύεται ως ιδιαίτερα κατάλληλη λύση για την αντιμετώπιση των σύγχρονων προκλήσεων της αγοράς και συνιστά τη μορφή συσκευασίας με τον υψηλότερο ρυθμό ανάπτυξης παγκοσμίως. Οι απαιτήσεις των καταναλωτών, των κατόχων εμπορικών σημάτων και των converters διαφέρουν σημαντικά, γεγονός που καθιστά αναγκαία τη μετατροπή των λειτουργικών και εμπορικών αναγκών σε σαφείς τεχνικές και μηχανικές προδιαγραφές από τον converter. Η διεύρυνση της χρήσης της εύκαμπτης συσκευασίας συνδέεται σε μεγάλο βαθμό με την μέχρι τώρα πρόοδο στην ανάπτυξη πολυστρωματικών μεμβρανών, οι οποίες επιτρέπουν τον συνδυασμό διαφορετικών υλικών σε μία ενιαία δομή, επιτυγχάνοντας την κάλυψη ποικίλων απαιτήσεων με οικονομικά αποδοτικό τρόπο αλλά και με τρόπο που θα επιτρέπει την υιοθέτηση νέων καινοτομιών παραγωγής (Morris, 2021).

Βασίζεται στη χρήση εύκαμπτων υλικών, κυρίως πολυμερών υλικών, χαρτί και φύλλο αλουμινίου, συνδυαστικά ή μονοστρωματικά. Τα συγκεκριμένα υλικά μέσω κατάλληλων τεχνολογικών διεργασιών έχουν στόχο τη δημιουργία υλικών με υψηλά standards High Barrier Technology από εξωγενείς παράγοντες, τα οποία μπορούν να προσαρμοστούν στις απαιτήσεις του εκάστοτε προϊόντος. Σε σύγκριση με την παραδοσιακή άκαμπτη συσκευασία, η εύκαμπτη συσκευασία παρουσιάζει αυξημένη ευελιξία και προσαρμοστικότητα συνθέτοντας έτσι το κατάλληλο εσωτερικό αλλά και εξωτερικό περιβάλλον για τη σωστή προώθηση και χρήση του εκάστοτε προϊόντος. Ο συνδυασμός των επιμέρους υλικών επιτρέπει την αποτελεσματική προστασία των προϊόντων, συμβάλλοντας στη διατήρηση της ποιότητας και της ασφάλειάς τους. Ως σημαντική εξέλιξη στον τομέα της σύγχρονης βιομηχανίας συσκευασίας, η εύκαμπτη συσκευασία διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην βιωσιμότητα, την προβολή και την εμπορική διάθεση των προϊόντων (Hyflexpack, 2025).

Ο πολύπλευρος διαχωρισμός των ειδών συσκευασίας καθώς και η πληθώρα των υλικών συνθέτουν ένα μίγμα πολυδιάστατων συνθέσεων που αποτελεί ασταμάτητο συνδυασμό εφαρμογών και πρωτοτυπίας, ανάλογα με το επιθυμητό αποτέλεσμα (όπως φαίνεται στην εικόνα 32). Ειδικότερα στον τομέα της εύκαμπτης συσκευασίας συναντάμε άπειρους συνδυασμούς και εφαρμογές υλικών που δίνουν ως κυρίαρχο σκοπό αρχικά την επίτευξη της όσο δυνατόν γίνεται μακροχρόνιας διατήρησης του προϊόντος και έπειτα την δυνατότητα προωθητικής καμπάνιας ενημέρωσης του αποδέκτη, καταναλωτή με όλες τις απαραίτητες πληροφορίες. Σημαντική παράμετρος αποτελεί την τελευταία πενταετία η ασφαλής χρήση monomaterial δομών ως βιώσιμη λύση με απώτερο σκοπό τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος ώστε να μην επιβαρύνει το περιβάλλον σε βαθμό που θα κριθεί ζημιόγono για τις επόμενες γενιές.

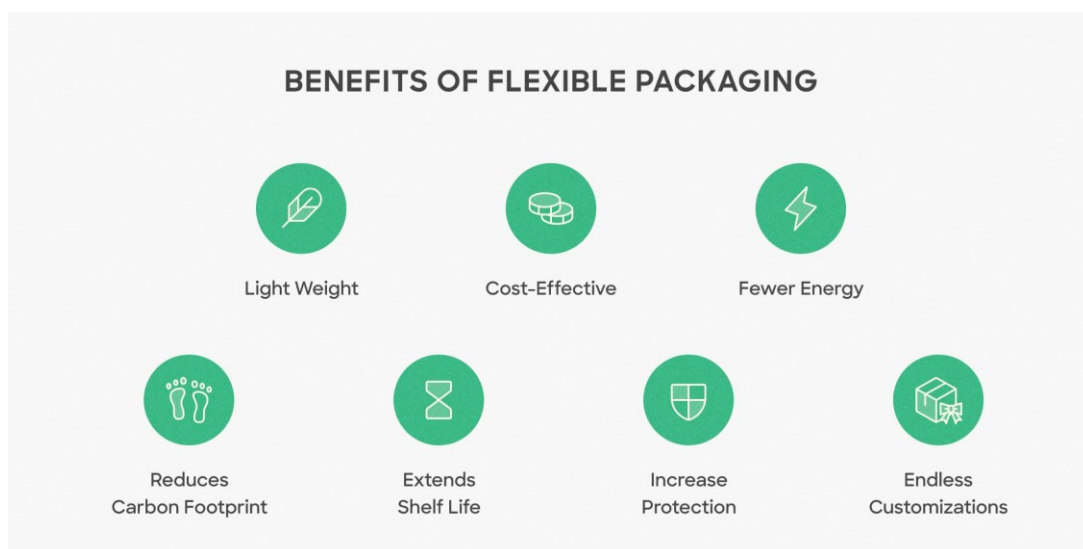


Εικόνα 32. Flexible Packaging Structure Materials

Note: [Flexible Packaging: The Future of Food & Consumer Packaging](#)

Στο σύγχρονο και διαρκώς μεταβαλλόμενο εμπορικό περιβάλλον, όπου η αποδοτικότητα των διαδικασιών, η περιβαλλοντική υπευθυνότητα και η ικανοποίηση των αναγκών του καταναλωτή συνιστούν βασικούς άξονες στρατηγικής, η εύκαμπτη συσκευασία έχει καθιερωθεί ως μία καινοτόμος και ιδιαίτερα αποτελεσματική προσέγγιση σε πλήθος βιομηχανικών εφαρμογών. Από τον τομέα των τροφίμων και των προϊόντων προσωπικής φροντίδας έως τη συσκευασία βιομηχανικών υλικών και εξαρτημάτων, η εύκαμπτη συσκευασία χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό προσαρμοστικότητας, βελτιστοποιημένο κόστος και βελτιωμένες περιβαλλοντικές επιδόσεις.

Η εύκαμπτη συσκευασία αποτελεί μία από τις πλέον δυναμικά αναπτυσσόμενες μορφές συσκευασίας στη σύγχρονη βιομηχανία, καθώς υπερέχει σημαντικά έναντι των παραδοσιακών λύσεων τόσο σε λειτουργικό όσο και σε περιβαλλοντικό επίπεδο. Ένα από τα βασικά της πλεονεκτήματα είναι το χαμηλό βάρος και η μειωμένη απαίτηση σε χώρο, γεγονός που διευκολύνει τη μεταφορά και την αποθήκευση, μειώνει το κόστος Logistics και συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σε όλη την εφοδιαστική αλυσίδα. Παράλληλα, η περιορισμένη κατανάλωση πρώτων υλών σε σύγκριση με τις άκαμπτες συσκευασίες ενισχύει την οικονομική αποδοτικότητα τόσο για τους παραγωγούς όσο και για τους διανομείς (όπως φαίνεται στην εικόνα 33).



Εικόνα 33. benefits of Flexible Packaging

Note: [Flexible Packaging – The Master Guide | Pakfactory Blog](#)

Σε επίπεδο σχεδιασμού και επικοινωνίας με τον καταναλωτή, η εύκαμπτη συσκευασία προσφέρει αυξημένες δυνατότητες προσαρμογής και ενίσχυσης της εταιρικής ταυτότητας. Οι σύγχρονες τεχνολογίες εκτύπωσης, όπως η βαθυτυπία καθώς και η ψηφιοποίηση σε συνδυασμό με προηγμένες καινοτομίες παραγωγής, επιτρέπουν την εφαρμογή σύνθετων γραφικών, ιδιαίτερων και πρωτότυπων εικαστικών, ανάδειξη νομικών συμμορφώσεων καθώς και ειδικών φινιρισμάτων και λειτουργικών στοιχείων, τα οποία ενισχύουν την οπτική ελκυστικότητα και τη διαφοροποίηση του προϊόντος στο ράφι ενώ παράλληλα ικανοποιούν έννομα όποια θεσμική υποχρέωση. Η δυνατότητα ενσωμάτωσης χαρακτηριστικών ευκολίας, όπως laser scoring εύκολα ανοίγματα, applicators στόμια, βελτιώνει σημαντικά την εμπειρία χρήσης, ανταποκρινόμενη στις απαιτήσεις του σύγχρονου τρόπου ζωής.

Καθοριστικό πλεονέκτημα της εύκαμπτης συσκευασίας είναι η αυξημένη προστασία του περιεχομένου και η παράταση της διάρκειας ζωής των προϊόντων. Οι πολυστρωματικές και πλέον μονοστρωματικές μεμβράνες υψηλής αδιαπερατότητας λειτουργούν ως αποτελεσματικά φράγματα έναντι του οξυγόνου, της υγρασίας, της υπερϊώδους ακτινοβολίας και εξωτερικών ρύπων, διατηρώντας τη φρεσκάδα και την ποιότητα των προϊόντων για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα σε σύγκριση με πολλές συμβατικές λύσεις που μέχρι τώρα προστάτευαν μεν το προϊόν όχι όμως σε επιθυμητά χρονικά διαστήματα που θα επέτρεπαν την εξαγωγή του και μεταφορά του σε απόσταση. Καλύπτοντας το σημαντικό κομμάτι της διατήρησης ενισχύθηκε δυναμικά η αγορά με εξαγωγές και εισαγωγές σε χώρες που με τις συμβατικές άκαμπτες συσκευασίες ήταν αδύνατον να συμβεί. Γίνεται λοιπόν κατανοητό πως η συσκευασία συνιστά ένα εκτεταμένο διεπιστημονικό αντικείμενο, το οποίο διασυνδέεται με πληθώρα άλλων τομέων της οικονομικής δραστηριότητας.

Τα συστήματα σχεδιασμού, ανάπτυξης και παραγωγής συσκευασιών παρουσιάζουν άμεση αλληλεξάρτηση με την παγκόσμια οικονομία και διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στο εμπόριο, καθώς και στις διαδικασίες διάθεσης και πώλησης προϊόντων. Λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω, καθίσταται σαφής η εκτεταμένη εφαρμογή των μορφών συσκευασίας στην καθημερινή πρακτική, γεγονός που αναδεικνύει τη συνολική σημασία του κλάδου. Η συσκευασία αφορά πρωτίστως τα προϊόντα και τα αγαθά που χρήζουν προστασίας και οργάνωσης και επεκτείνεται, ενδεικτικά, στους τομείς των

υλικών, των περιβαλλοντικών συνθηκών, της εφοδιαστικής αλυσίδας, καθώς και της εμπορικής επικοινωνίας και προβολής.

Σύμφωνα με διαθέσιμα δεδομένα και προβλέψεις διεθνών οργανισμών, σε συνδυασμό με στοιχεία της εγχώριας βιομηχανίας παραγωγής υλικών συσκευασίας, καταγράφεται διαχρονικά αυξητική τάση στην παραγωγή συσκευασιών σε όλες τις επιμέρους κατηγορίες. Η αύξηση αυτή αφορά τόσο την άκαμπτη όσο και την εύκαμπτη συσκευασία, καθώς και τις ετικέτες, ενώ παρατηρείται χρήση ποικίλων υλικών, με ιδιαίτερη έμφαση στο χαρτί, το χαρτόνι, τα πολυμερή και τα σύγχρονα αειφόρα υλικά και υποστρώματα. Καθοριστικής σημασίας είναι το γεγονός ότι η συσκευασία δεν δύναται να αντικατασταθεί από κάποιο εναλλακτικό μέσο, καθώς αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο της διάθεσης προϊόντων και αγαθών και αναμένεται να διατηρήσει τη σημασία της σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα (Helgramed, 2020).

Λόγω της μειωμένης κατανάλωσης πρώτων υλών σε σύγκριση με άλλες μορφές συσκευασίας, καθώς και της συμβολής της στη μείωση των απορριμμάτων προϊόντων, η εύκαμπτη συσκευασία προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα από πλευράς βιωσιμότητας. Παρά ταύτα, η χρήση σύνθετων πολυστρωματικών δομών δημιουργεί σημαντικές προκλήσεις αναφορικά με τη διαχείριση του τέλους ζωής και την ανακύκλωση, αυτός είναι και ο βασικός λόγος ανάπτυξης του επόμενου σημαντικού βήματος που αποτελεί η τελειοποίηση στην διαχείριση, εφαρμογή και χρήση των μονοστρωματικών πλέον υλικών. Η μελλοντική πορεία και ανάπτυξη του κλάδου της εύκαμπτης συσκευασίας θα εξαρτηθεί σε μεγάλο βαθμό από την ικανότητα της βιομηχανίας να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά τα ζητήματα αυτά. Οι εξελίξεις αυτές, σε συνδυασμό με ευρύτερες τεχνολογικές τάσεις, οδηγούν σε ριζικές μεταβολές στον τομέα της παραγωγής της (Morris, 2021).

5.2 Βιομηχανία Εύκαμπτης Συσκευασίας

Η βιομηχανία της συσκευασίας, ήδη από το αρχικό στάδιο του σχεδιασμού, βρίσκεται σε άμεση και διαρκή συνεργασία με τον τομέα του μάρκετινγκ, με κοινό στόχο την εμπορική επιτυχία του τελικού προϊόντος. Οι σχετικές στρατηγικές υποστηρίζονται από μια

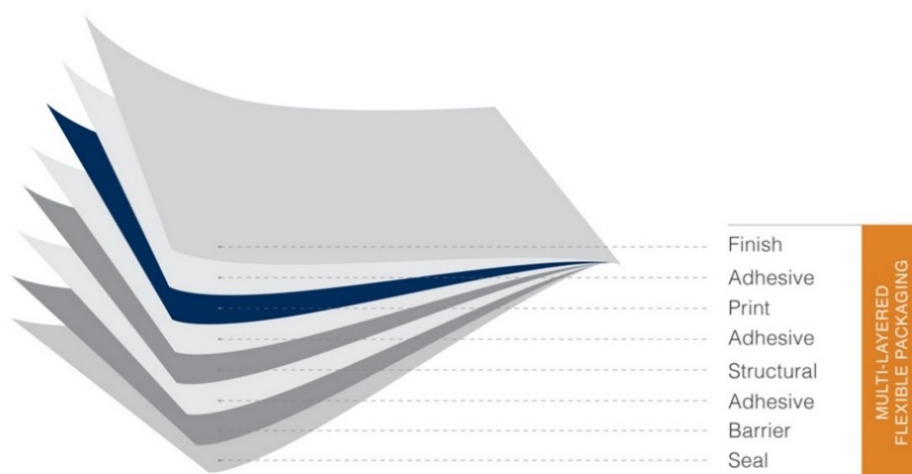
ολοκληρωμένη προσέγγιση που εστιάζει αφενός στην περιβαλλοντικά υπεύθυνη και «πράσινη» ανάπτυξη και αφετέρου στην ανταπόκριση στις αισθητικές προτιμήσεις των καταναλωτών και στις επικρατούσες σχεδιαστικές τάσεις και καινοτομίες.

Αν και στο παρελθόν η ενσωμάτωση των σύγχρονων καινοτομιών ψηφιοποίησης στον συνολικό σχεδιαστικό και παραγωγικό κύκλο θεωρούνταν δύσκολα εφαρμόσιμη, με την πάροδο του χρόνου έχει καταστεί αναπόσπαστο στοιχείο της οργανωτικής κουλτούρας και του συνολικού workflow. Ως αποτέλεσμα, η τήρηση των αρχών εφαρμογής καινοτομιών της ψηφιοποίησης ως μέχρι τώρα απόσταγμα των καινοτομιών της 4ης επανάστασης αναδεικνύεται πλέον σε βασική προτεραιότητα στον τομέα της βιομηχανίας εύκαμπτης συσκευασίας (Cospet, 2017).

Πώς όμως οι όλο και αυξανόμενες απαιτήσεις για βιώσιμες λύσεις, πλήρης εφαρμογή τομέων κυκλικής οικονομίας, αποφυγή χρήσης επικίνδυνων υλών καθώς και διασφάλιση ποιότητας ημιέτοιμου και τελικού προϊόντος στα πλαίσια μια άκρως απαιτητικής φόρμουλας μπορούν να επιτευχθούν με την μέχρι τώρα τεχνολογική εφαρμογή; Την απάντηση στο ερώτημα καλύπτει η εφαρμογή και αναζήτηση των σύγχρονων trends όχι όμως καινοτομιών με καθολική μηχανική εφαρμογή, αλλά αντίθετα συνδυαστική δράση, εφαρμογή και κατευθυντήρια δράση με κεντρικό πυρήνα τα δεδομένα και την σωστή κρίση.

Η βιομηχανία εύκαμπτης συσκευασίας αποτελεί έναν από τους πιο δυναμικά αναπτυσσόμενους κλάδους της σύγχρονης βιομηχανίας, διαδραματίζοντας καθοριστικό ρόλο στον σχεδιασμό του προϊόντος και στην παραγωγική διαδικασία με σκοπό πάντα την διασφάλιση της ποιότητας των τελικών προϊόντων. Σημαντικό κομμάτι της παραγωγής της εύκαμπτης λαμβάνει η διαδικασία της εκτύπωσης καθώς αποτελεί το σημείο επικοινωνίας του καταναλωτή με το τελικό προϊόν. Η ταχεία ανάπτυξη του κλάδου οφείλεται σε πολλαπλούς παράγοντες, όπως η αύξηση της παγκόσμιας κατανάλωσης τυποποιημένων προϊόντων, η ανάγκη για παράταση του χρόνου ζωής των τροφίμων, καθώς και οι μεταβαλλόμενες καταναλωτικές συνήθειες που ευνοούν τη φορητότητα και την ευκολία χρήσης και ενημέρωσης αλλά και της προώθησης των προϊόντων. Παράλληλα, η εξέλιξη των πολυμερικών υλικών και των τεχνολογιών παραγωγής έχει καταστήσει δυνατή τη δημιουργία πολυστρωματικών και

μονοστρωματικών φιλμ (όπως φαίνεται στην εικόνα 34) με εξειδικευμένες ιδιότητες, όπως υψηλή αδιαπερατότητα έναντι υγρασίας, οξυγόνου και φωτός, αυξημένη μηχανική αντοχή και βελτιωμένη θερμοσυγκόλληση. Οι παράγοντες αυτοί δημιουργούν πρόσφορο έδαφος ανάπτυξης και των επιμέρους τμημάτων που σχετίζεται με τις γραφικές τέχνες, σχεδιασμός, εκτυπωσιμότητα, επαναληψιμότητα και δυνατότητα υψηλής ευκρίνειας και απόδοσης τόσο ψηφιακά όσο και φυσικά στο παραγόμενο αποτέλεσμα (Morris, 2021).



Εικόνα 34. Structure of Packaging

Note: [How Is Flexible Packaging Made? - Nobelus University](#)

Αποτελεί τον σημαντικότερο κρίκο σε τομείς όπως των τροφίμων, των φαρμακευτικών προϊόντων, των καλλυντικών και των ευρύτερων καταναλωτικών αγαθών, λόγω της ευελιξίας, του χαμηλού βάρους, της οικονομικής ευελιξίας του αλλά και της μετέπειτα διαδικασίας που σχετίζεται με το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του.

Η ανάπτυξη της παγκόσμιας αγοράς εύελικτης συσκευασίας ενισχύεται από μια σειρά διαρθρωτικών τάσεων. Η άνοδος του ηλεκτρονικού εμπορίου έχει αυξήσει τη ζήτηση για ελαφριές, ανθεκτικές και ασφαλείς συσκευασίες που μειώνουν το κόστος αποστολής και προστατεύουν το προϊόν κατά τη διανομή. Παράλληλα, οι αυξανόμενες πιέσεις για βιώσιμες λύσεις, τόσο από τις κυβερνήσεις όσο και από τους καταναλωτές, οδηγούν στην ανάπτυξη ανακυκλώσιμων, κομποστοποιήσιμων και βιολογικής προέλευσης υλικών

(όπως φαίνεται στην εικόνα 35), με έμφαση σε μονοϋλικές και μονοστρωματικές δομές που διευκολύνουν την ανακύκλωση. Επιπλέον, η ενσωμάτωση εκτυπώσιμων «έξυπνων» τεχνολογιών, όπως κωδικοί QR, δείκτες φρεσκάδας και συστήματα NFC, ενισχύει τη διαφάνεια, την ιχνηλασιμότητα και την προστιθέμενη αξία της συσκευασίας (Jyflexpack, 2025).



Εικόνα 35. RE materials

Note: [Home - A. Hatzopoulos S.A.](#)

5.3 Σκοπός της Βιομηχανίας της Εύκαμπτης Συσκευασίας

Η βιομηχανία της εύκαμπτης συσκευασίας διαδραματίζει πρωταγωνιστικό ρόλο στην τεχνολογική εξέλιξη του συγκεκριμένου τομέα ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του 1950. Έκτοτε, βρίσκεται στην αιχμή σημαντικών εξελίξεων που σχετίζονται με την ενίσχυση της προστασίας των προϊόντων, τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού και της λειτουργικής απόδοσης των συσκευασιών, τη βελτίωση της εμπειρίας και της ευκολίας χρήσης για τον καταναλωτή, καθώς και την προώθηση βιώσιμων πρακτικών. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της εύκαμπτης συσκευασίας προσφέρουν πλεονεκτήματα που

αντανακλώνται θετικά στο περιβάλλον, στους τελικούς χρήστες και στις επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται στον κλάδο.

Σε θεσμικό επίπεδο, ο Σύνδεσμος Εύκαμπτων Συσκευασιών αποτελεί τον σημαντικότερο εμπορικό φορέα εκπροσώπησης των κατασκευαστών εύκαμπτων συσκευασιών, καθώς και των προμηθευτών πρώτων υλών και εξοπλισμού που υποστηρίζουν τον συγκεκριμένο κλάδο. Σύμφωνα με στοιχεία της Απογραφής των Ηνωμένων Πολιτειών, τα οποία αναλύθηκαν από τον οργανισμό Inforum, η συνολική αξία των πωλήσεων της βιομηχανίας εύκαμπτης συσκευασίας στις ΗΠΑ ανήλθε το 2022 σε 42,9 δισεκατομμύρια δολάρια, έναντι 37,2 δισεκατομμυρίων δολαρίων το 2021. Η εξέλιξη αυτή αντιστοιχεί σε ετήσια αύξηση της τάξης του 15,3%, γεγονός που καταδεικνύει τη δυναμική ανάπτυξη του κλάδου (FPA, n.d.)

5.3.1 Τεχνολογική Ανάπτυξη και Υλικά

Στην γενικότερη κατηγορία υλικών ως πρώτες ύλες παραγωγής και μεταποίησης των συσκευασιών καταχωρούνται τα υλικά συσκευασίας από χαρτί και εύκαμπτα πολυμερή υλικά.

Πολυμερή Εύκαμπτα Υλικά Συσκευασίας

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τόσο μονοστρωματικά όσο και πολυστρωματικά φιλμ, τα οποία αποτελούνται από συνδυασμούς διαφορετικών υλικών, με σκοπό την επίτευξη συγκεκριμένων τεχνικών προδιαγραφών και λειτουργικών ιδιοτήτων, ανάλογα με τις απαιτήσεις του εκάστοτε περιεχόμενου προϊόντος. Η μορφοποίηση των υλικών αυτών πραγματοποιείται από εξειδικευμένους converters μέσω διεργασιών όπως εκτύπωση, λαμινάρισμα, για τη συγκόλληση δύο ή περισσότερων στρωμάτων, καθώς και επιπλέον διαδικασίες μετεκτύπωσης, ανάλογα με τη μορφή διάθεσης του τελικού προϊόντος, είτε σε ρολά είτε σε έτοιμα pouches. Στη συγκεκριμένη κατηγορία εντάσσονται πλέον και καινοτόμα, πλήρως ανακυκλώσιμα πολυμερή υλικά, τα οποία δύνανται να επανεισαχθούν κατά 100% στη διαδικασία ανακύκλωσης, αποτελώντας βασικό πυλώνα

της βιώσιμης ανάπτυξης στον τομέα της διαχείρισης εύκαμπτων πολυμερικών συσκευασιών (Polysack, 2022).

Κεντρικό χαρακτηριστικό της εύκαμπτης συσκευασίας είναι η χρήση πολυστρωματικών δομών, οι οποίες συνδυάζουν διαφορετικά υλικά ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη απόδοση. Συνήθως χρησιμοποιούνται θερμοπλαστικά πολυμερή όπως το πολυαιθυλένιο (PE), το πολυπροπυλένιο (PP), το πολυαιθυλένιο, ο πολυεστέρας (PET) και το πολυαμίδιο (PA), ενώ σε ορισμένες εφαρμογές ενσωματώνονται μεταλλικά φύλλα, όπως το αλουμίνιο που αυξάνουν την αδιαπερατότητα υγρών και αερίων. Οι τεχνολογίες παραγωγής και μεταποίησης των συσκευασιών περιλαμβάνουν την εκτύπωση υψηλής ποιότητας, τη διαδικασία lamination, slitting και σακουλοποίηση σε ορισμένες περιπτώσεις επιτρέποντας την προσαρμογή των ιδιοτήτων της συσκευασίας στις εκάστοτε απαιτήσεις του προϊόντος.

Η αυξανόμενη χρήση πολυστρωματικών υλικών έχει εγείρει σημαντικές περιβαλλοντικές ανησυχίες, κυρίως σε σχέση με την ανακυκλωσιμότητα και τη διαχείριση των αποβλήτων. Ως αποτέλεσμα, η βιομηχανία στρέφεται ολοένα και περισσότερο στην ανάπτυξη μονοστρωματικών δομών, βιοδιασπώμενων πολυμερών και λύσεων που ενσωματώνουν τις αρχές της κυκλικής οικονομίας, χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι η ενσωμάτωση μελανιών εκτύπωσης με βάση την πολυουρεθάνη «PU» αντικαθιστώντας τα μέχρι τώρα επικρατέστερα μελάνια νιτροκυτταρίνης ως ακατάλληλα για τη σύσταση συσκευασιών με σκοπό την πλήρη ανακύκλωση, επιπλέον όσων αφορά τη χρήση μέσου κόλλησης κατά τη διαδικασία Lamination, αναπτύσσονται εφαρμογές με στόχο και πάλι τη μικρότερη δυνατή ποσότητα πρόσθετου κόλλας στη δομή με τα καλύτερα δυνατά ποιοτικά και μετέπειτα διαχειρίσιμα προς ανακύκλωση αποτελέσματα.

Συσκευασίες από Χαρτί

Η συγκεκριμένη κατηγορία περιλαμβάνει κιβώτια και λοιπά προϊόντα που κατασκευάζονται από κυματοειδές χαρτόνι, odule, καθώς και υλικά που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανική συσκευασία, όπως χαρτί εκτύπωσης συμπεριλαμβανομένων πολυστρωματικών εφαρμογών για εύκαμπτες συσκευασίες, συσκευασίες από χαρτί και συμπαγές χαρτόνι. Στην ίδια κατηγορία εντάσσονται

διάφορες μορφές προϊόντων, όπως κουτιά, ετικέτες, σάκοι, τσάντες λιανικής και χαρτοσακούλες, τα οποία εξυπηρετούν ανάγκες αποθήκευσης, μεταφοράς και προβολής προϊόντων.

Οι πρωταρχικές βασικές απαιτήσεις στόχου σωστής χρήσης μιας συσκευασίας καταρχάς από την ίδια την βιομηχανία παραγωγής και μεταποίησης συσκευασιών ακόμα και αν πρόκειται για διαφορετική κατηγορία συσκευασίας (χαρτί, πολυμερές, βιοδιασπώμενο, κλπ.) αποτελεί την:

- Προστασία των περιεχόμενων τελικών προς πώληση προϊόντων,
- Αποδοτικότητα κόστους - συμβολή στη μείωση κόστους παραγωγής και διανομής,
- Επίτευξης σωστής διατήρησης του προϊόντος κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, μεταφοράς και διανομής του.
- Διασφάλισης αντοχής υλικών και κατ' επέκταση διατήρηση του συνόλου συσκευασίας και περιεχομένου.
- Κωδικοποιημένες και μη πληροφορίες, απαραίτητες για την κάλυψη διατροφικών και νομικών απαιτήσεων καθώς και διαφημιστικών και κοινωνικών απαιτήσεων του ίδιου του καταναλωτικού κοινού.
- Περιβαλλοντική ασφάλεια, εφαρμογή βιώσιμων λύσεων.

Παράλληλα με τους στόχους και τις λειτουργικές απαιτήσεις που θέτει ο κλάδος της συσκευασίας, ο τομέας καλείται να αντιμετωπίσει σειρά σύνθετων προκλήσεων, καθώς η συσκευασία συχνά αντιλαμβάνεται από το καταναλωτικό κοινό ως περιβαλλοντικά επιβαρυντικό και δυσχερές διαχειρίσιμο τεχνητό απόβλητο. Για σημαντικό ποσοστό των καταναλωτών, η συσκευασία εκλαμβάνεται ως μορφή σπατάλης, τόσο ως προς το κόστος για τον τελικό χρήστη όσο και ως προς την αναγκαιότητά της για την προστασία του προϊόντος. Συχνά αποδίδεται στη συσκευασία υψηλός βαθμός συσχέτισης με δυνητικά επικίνδυνα τρόφιμα ή προϊόντα προσωπικής υγιεινής, γεγονός που εντείνει τις ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια της χρήσης της. Η ανησυχία αυτή ενισχύεται περαιτέρω από την αντίληψη ότι τα πολυμερή υλικά ως πρώτες ύλες χαρακτηρίζονται από εξαιρετικά μεγάλη διάρκεια ζωής στο περιβάλλον, ενώ η συνεχώς μειούμενη διαθεσιμότητα χώρων υγειονομικής ταφής, σε συνδυασμό με το αυξανόμενο οικονομικό κόστος διαχείρισής

τους, ενισχύει το πρόβλημα. Η προμήθεια πρώτων υλών, ιδίως στον τομέα του χαρτιού ενδέχεται να συσχετίζεται εσφαλμένα με φαινόμενα αποψίλωσης τροπικών δασών, ενισχύοντας την αρνητική περιβαλλοντική εικόνα της συσκευασίας.

Στο πλαίσιο αυτό, η υιοθέτηση «πράσινων» λύσεων στον σχεδιασμό και την παραγωγή συσκευασιών, με έμφαση στη βιωσιμότητα, θέτει ως βασικό άξονα την αρχή της αειφόρου ανάπτυξης. Η συσκευασία κατατάσσεται πλέον υψηλά μεταξύ των περιβαλλοντικών ανησυχιών τόσο των καταναλωτών όσο και των ίδιων των converters, γεγονός που καθιστά επιτακτική την ανάγκη για καινοτόμες και περιβαλλοντικά υπεύθυνες προσεγγίσεις (Clement, 2013).

5.3.2 Σύγχρονες Τάσεις και Προκλήσεις

Η δυνατότητα προσαρμογής της γεωμετρίας της συσκευασίας στο σχήμα του προϊόντος επιτρέπει την παροχή στοχευμένου σχεδιασμού και προβολής του προϊόντος στις ιδανικότερες συνθήκες, καλύπτει ανάγκες που σχετίζονται με την προστασία, την σωστή πληροφόρηση και ενημέρωση, εστιάζοντας στην πρωτοτυπία και για λόγους marketing. Παράλληλα, το μειωμένο βάρος των εύκαμπτων υλικών συμβάλλει στη μείωση τόσο του κόστους μεταφοράς όσο και της συνολικής κατανάλωσης πρώτων υλών. Επιπλέον, οι σχετικά απλοποιημένες διαδικασίες παραγωγής αλλά και η προσαρμογή νέων καινοτομιών που σχετίζονται με την ψηφιοποίηση των δεδομένων καθιστούν την εύκαμπτη συσκευασία οικονομικά και ποιοτικά αποδοτική, ενισχύοντας την ανταγωνιστικότητά της στην αγορά (Walsh, 2025).

Ο εργονομικός σχεδιασμός των εύκαμπτων συσκευασιών διευκολύνει το άνοιγμα και τη χρήση από τον καταναλωτή, ανταποκρινόμενος στις απαιτήσεις της καθημερινής πρακτικής. Η δυνατότητα αναδίπλωσης και συμπίεσης επιτρέπει την αποδοτικότερη αξιοποίηση του διαθέσιμου χώρου κατά την αποθήκευση και τη μεταφορά, βελτιώνοντας τη συνολική απόδοση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Παράλληλα, η συνδυαστική επίδραση της προσαρμοστικότητας των υλικών και των βελτιωμένων ιδιοτήτων αδιαπερατότητας προστατεύει αποτελεσματικά το προϊόν από την υγρασία, το οξυγόνο και άλλους εξωτερικούς ρύπους, παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής του.

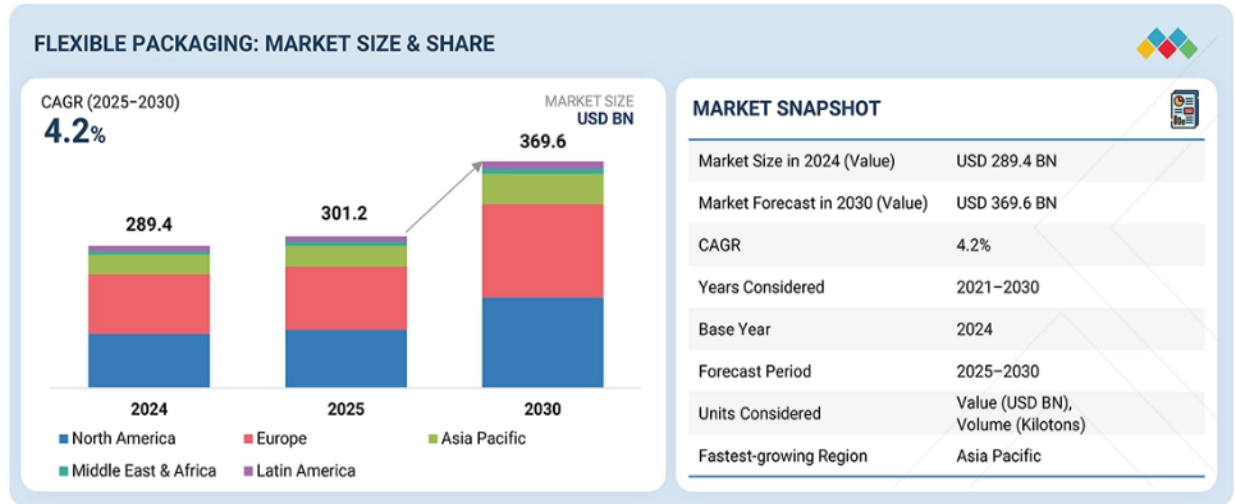
Η εύκαμπτη συσκευασία προσφέρει εκτεταμένες δυνατότητες δημιουργικού σχεδιασμού, επιτρέποντας την αξιοποίηση καινοτόμων μορφών, χρωματικών συνδυασμών και γραφικών στοιχείων, τα οποία ενισχύουν την οπτική ελκυστικότητα, προσελκύουν την προσοχή του καταναλωτή και ενδυναμώνουν την εμπορική απήχηση των προϊόντων. Οι «έξυπνες» συσκευασίες και η ενσωμάτωση λειτουργιών ιχνηλασιμότητας και πληροφόρησης δημιουργούν νέες δυνατότητες προστιθέμενης αξίας. Για την αποτελεσματική ανταπόκριση στις προκλήσεις αυτές, απαιτείται διεπιστημονική γνώση που συνδυάζει την επιστήμη των υλικών, τη μηχανική διεργασιών και τον σχεδιασμό προϊόντων (Morris, 2021).

5.4 Εξέλιξη της Βιομηχανίας Εύκαμπτης Συσκευασίας.

Οι μακροπρόθεσμες τάσεις της παγκοσμιοποίησης, η δημογραφική γήρανση του πληθυσμού, καθώς και η αυστηροποίηση του κανονιστικού πλαισίου αλλά κυρίως η αυξανόμενη περιβαλλοντική επίδραση της συσκευασίας, επιφέρουν ουσιαστικές αλλαγές στον σχεδιασμό της. Για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των προκλήσεων αυτών, καθίσταται αναγκαία η σε βάθος κατανόηση της τεχνολογίας της εύκαμπτης συσκευασίας από επιστήμονες υλικών, μηχανικούς διεργασιών και επαγγελματίες του σχεδιασμού συσκευασίας καθώς και η βελτίωση που αφορά την μεταποίηση με όποια σύγχρονη τεχνολογική καινοτομία μπορεί να προλαμβάνει αλλά και να βελτιώνει τη διαδικασία παραγωγής αλλά και το ίδιο το τελικό προϊόν (Morris, 2021).

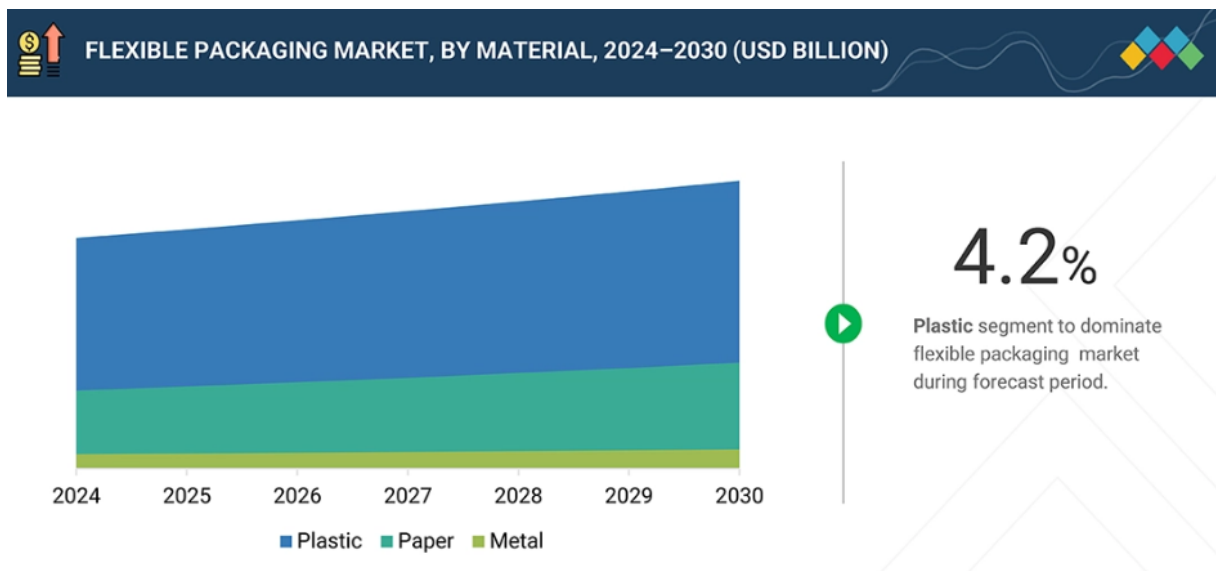
Η βιομηχανία της εύκαμπτης συσκευασίας παρουσιάζει έντονη αναπτυξιακή δυναμική σε παγκόσμιο επίπεδο, γεγονός που αντανακλάται τόσο στο μέγεθος της αγοράς όσο και στη διεύρυνση των εφαρμογών της. Σύμφωνα με πρόσφατες εκτιμήσεις, η παγκόσμια αγορά εύκαμπτων συσκευασιών αποτιμήθηκε σε άνω των 300 δισεκατομμυρίων δολαρίων Ηνωμένων Πολιτειών στα μέσα της δεκαετίας του 2020 και προβλέπεται να συνεχίσει την ανοδική της πορεία έως το 2030, καταγράφοντας σταθερό ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης (όπως φαίνεται και στις εικόνες 36 και 37). Η εξέλιξη αυτή καταδεικνύει τη στρατηγική σημασία της εύκαμπτης συσκευασίας για τη σύγχρονη μεταποιητική και καταναλωτική οικονομία.

FLEXIBLE PACKAGING MARKET OVERVIEW



Εικόνα 36. Flexible Packaging Market Overview

Note: [Flexible Packaging Market Size & Forecast \[Latest\]](#)



Εικόνα 37. Flexible Packaging Market by Material

Note: [Flexible Packaging Market Size & Forecast \[Latest\]](#)

Σε τεχνολογικό επίπεδο, η εύκαμπτη συσκευασία αποτελεί ένα προσαρμόσιμο και ελαφρύ τύπο συσκευασίας. Τα υλικά αυτά έχουν σχεδιαστεί ώστε να ανταποκρίνονται στο σχήμα του προϊόντος και στις απαιτήσεις του εκάστοτε μηχανολογικού εξοπλισμού, παρέχοντας αποτελεσματική προστασία έναντι εξωτερικών παραγόντων, όπως η υγρασία, το οξυγόνο καθώς και από πιθανές μηχανικές καταπονήσεις, ενώ ταυτόχρονα απαιτούν λιγότερο χώρο και μικρότερη ποσότητα πρώτης ύλης. Τα χαρακτηριστικά αυτά καθιστούν την εύκαμπτη συσκευασία ιδιαίτερα ελκυστική για εφαρμογές όπου η αποδοτικότητα, η μεταφορά και η αποθήκευση διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο.

Η μεταβολή των καταναλωτικών προτύπων, με έμφαση στην υιοθέτηση των σύγχρονων εκτυπωτικών trends, την ευκολία χρήσης, την ασφάλεια και τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των προϊόντων, έχει ενισχύσει τη ζήτηση για λύσεις συσκευασίας που συνδυάζουν υψηλή λειτουργικότητα με αποδοτική χρήση υλικών αλλά και ελκυστική εμφάνιση. Ιδιαίτερα οι εύκαμπτες μορφές, όπως Labels, pouches και lead films ανταποκρίνονται αποτελεσματικά στις απαιτήσεις αυτές.

Παράλληλα, η εξέλιξη της βιομηχανίας επηρεάζεται έντονα από τις μεταβαλλόμενες τάσεις και τις διαταραχές στη συμπεριφορά των τελικών χρηστών. Οι αλλαγές στις προτιμήσεις των καταναλωτών και στις στρατηγικές των επιχειρήσεων τελικής χρήσης έχουν άμεσο αντίκτυπο στα έσοδα και στις επενδυτικές αποφάσεις σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας. Καθώς οι τελικοί χρήστες υιοθετούν ολοένα και περισσότερο εύκαμπτες λύσεις συσκευασίας, τα οφέλη που απορρέουν από τη χρήση τους, όπως η μείωση κόστους, η λειτουργικότητα και η βελτιωμένη εμπειρία χρήσης, ενισχύουν περαιτέρω τη θέση του κλάδου στην αγορά.

Ιδιαίτερη σημασία για την παγκόσμια εξέλιξη της βιομηχανίας έχει η γεωγραφική διαφοροποίηση της ανάπτυξης, με την περιοχή της Ασίας-Ειρηνικού να αναδεικνύεται ως η ταχύτερα αναπτυσσόμενη αγορά κατά την περίοδο πρόβλεψης. Η εξέλιξη αυτή αποδίδεται κυρίως στη ραγδαία αστικοποίηση, στην αύξηση του διαθέσιμου εισοδήματος και στην υιοθέτηση σύγχρονων τρόπων ζωής στις αναδυόμενες οικονομίες της περιοχής. Χώρες όπως η Κίνα, η Ινδία και τα κράτη της Νοτιοανατολικής Ασίας παρουσιάζουν ισχυρή ανάπτυξη στους τομείς των τροφίμων, των ποτών, των φαρμακευτικών προϊόντων

και της προσωπικής φροντίδας, οι οποίοι αποτελούν βασικούς καταναλωτές εύκαμπτων συσκευασιών.

Επιπλέον, η διεύρυνση του ηλεκτρονικού εμπορίου, η αυξημένη ζήτηση για έτοιμα τρόφιμα και υπηρεσίες παράδοσης, καθώς και η ενισχυμένη ευαισθητοποίηση των καταναλωτών σε θέματα υγιεινής και ασφάλειας προϊόντων, λειτουργούν καταλυτικά για την περαιτέρω ανάπτυξη της αγοράς. Οι επενδύσεις σε τεχνολογίες παραγωγής και στην ενίσχυση της τοπικής βιομηχανικής ικανότητας αναμένεται να ενδυναμώσουν τη διεθνή ανταγωνιστικότητα της περιοχής Ασίας-Ειρηνικού, εδραιώνοντάς την ως κεντρικό κόμβο της παγκόσμιας βιομηχανίας του κλάδου της εύκαμπτης (marketsandmarkets, 2025).

Η παγκόσμια αγορά της εύκαμπτης συσκευασίας παρουσίασε αξιοσημείωτη ανάπτυξη κατά την τελευταία δεκαετία. Ειδικότερα, το συνολικό μέγεθος της αγοράς εκτιμήθηκε σε περίπου 31,5 εκατομμύρια τόνους το 2021, σημειώνοντας αύξηση σε σύγκριση με τα 26,9 εκατομμύρια τόνους του 2016. Η εξέλιξη αυτή αντιστοιχεί σε μέσο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης της τάξης του 3,3%. Σύμφωνα με προβλέψεις, η αγορά αναμένεται να συνεχίσει την ανοδική της πορεία, φθάνοντας τους 37,5 εκατομμύρια τόνους έως το 2030, με εκτιμώμενο μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης 3,4%.

Η ανάλυση της αγοράς εύκαμπτης συσκευασίας περιλαμβάνει ποσοτικές και ποιοτικές εκτιμήσεις τόσο σε επίπεδο όγκου όσο και οικονομικής αξίας, καθώς και την εξέταση των βασικών τάσεων που επηρεάζουν τη δυναμική ανάπτυξής της. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη μελέτη των τεχνολογικών εξελίξεων που υποστηρίζουν τη βελτίωση των διεργασιών παραγωγής και των ιδιοτήτων των υλικών, καθώς και στις διαφοροποιήσεις της ζήτησης ανά γεωγραφική περιοχή. Παράλληλα, εξετάζεται ο ρόλος των κανονιστικών πλαισίων και των μεταβαλλόμενων πολιτικών βιωσιμότητας στη διαμόρφωση της αγοράς, καθώς και οι επιπτώσεις της πανδημίας COVID-19 στη λειτουργία και την εφοδιαστική αλυσίδα του κλάδου.

Οι παράγοντες που αναμένεται να επηρεάσουν τη μελλοντική εξέλιξη της αγοράς περιλαμβάνουν οικονομικές και δημογραφικές μεταβολές, περιβαλλοντικές και κανονιστικές απαιτήσεις, τεχνολογικές καινοτομίες, καθώς και αλλαγές στα πρότυπα κατανάλωσης και στις τελικές εφαρμογές των προϊόντων. Μεταξύ των κυριότερων τάσεων συγκαταλέγονται η γήρανση του πληθυσμού, οι πολιτικές περιορισμού των

πλαστικών μίας χρήσης, η ανάπτυξη «έξυπνων» και λειτουργικών συσκευασιών, καθώς και η ραγδαία αύξηση του ηλεκτρονικού εμπορίου (Walsh, 2025).

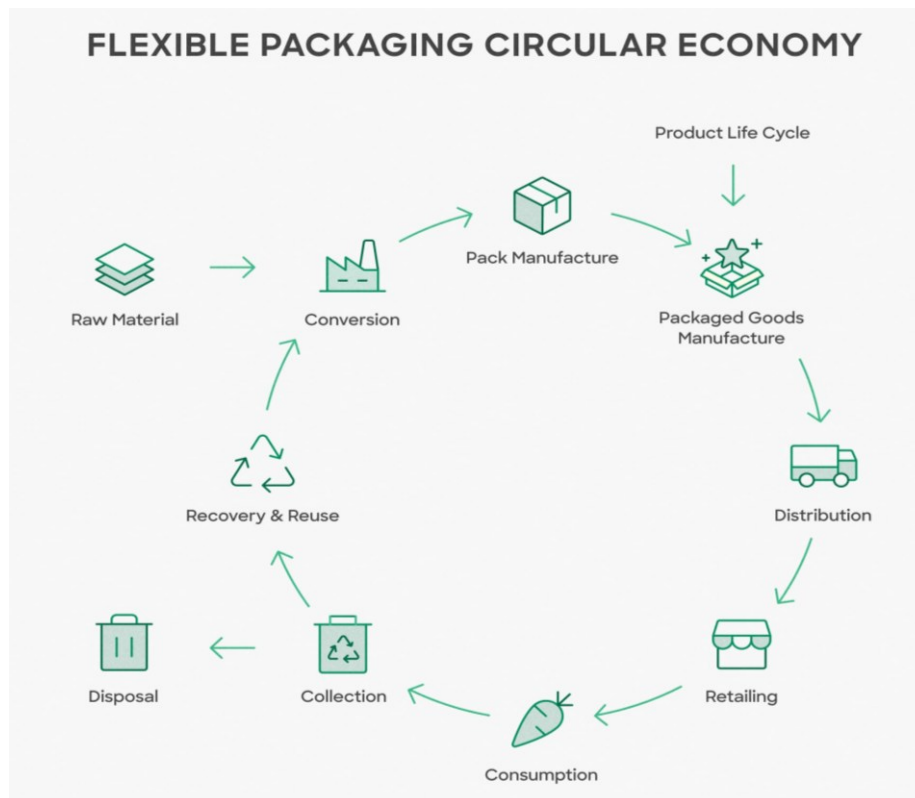
Συνολικά, η εξέλιξη της βιομηχανίας εύκαμπτης συσκευασίας χαρακτηρίζεται από συνδυασμό οικονομικής ανάπτυξης, τεχνολογικής καινοτομίας και προσαρμογής στις μεταβαλλόμενες κοινωνικές και καταναλωτικές ανάγκες. Οι τάσεις αυτές υποδηλώνουν ότι ο κλάδος θα συνεχίσει να διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη σύγχρονη βιομηχανική παραγωγή και διανομή, αποτελώντας βασικό πυλώνα της παγκόσμιας αγοράς συσκευασίας (marketsandmarkets, 2025).

5.5 Η Βιωσιμότητα στη Βιομηχανία Εύκαμπτης Συσκευασίας

Παρά τις επικρατούσες αντιλήψεις, η ευέλικτη συσκευασία μπορεί να αποτελέσει βιώσιμη επιλογή, εφόσον σχεδιάζεται με ορθολογικό τρόπο. Η μειωμένη κατανάλωση υλικών, η χαμηλότερη ενεργειακή απαίτηση κατά την παραγωγή και η βελτιστοποιημένη μεταφορά συμβάλλουν στη μείωση των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις και οι σύγχρονες καινοτομίες της Industry 4.0 επιτρέπουν την ανάπτυξη και επεξεργασία converting ανακυκλώσιμων και βιοδιασπώμενων υλικών, ενισχύοντας τη μετάβαση προς κυκλικά συστήματα συσκευασίας.

Δεν αρκεί η υιοθέτηση πρακτικών λύσεων όσων αφορά μόνο στην εφαρμογή βιώσιμων υλικών, απαιτείται κρίσιμη αναπροσαρμογή των αρχικών Work flow της βιομηχανίας converting σε πλαίσια ψηφιοποιημένων λύσεων ώστε να αποδώσει στο έπακρο το επιθυμητό, για το μέλλον πρόσφορο έδαφος της ανάπτυξης της βιομηχανίας Converting και ειδικότερα της εκτύπωσης. Οι μέχρι τώρα συμβατικές μέθοδοι θα πρέπει να μετατραπούν σε υβριδικά σχεδόν προηγμένα συστήματα με κύριο χαρακτηριστικό την ψηφιοποίηση των περισσότερων διεργασιών καθώς και την αυτοματοποίηση τους μετατρέποντας τους σε έξυπνα Εργοστάσια με κύριο σκοπό όχι μόνο την ικανοποίηση του πελάτη αλλά και την ικανοποίηση των περιβαλλοντικών προτύπων (όπως φαίνεται και στην εικόνα 38).

Στο πλαίσιο αυτό, εταιρείες επενδύουν στη βιώσιμη καινοτομία και στην τεχνολογική υπεροχή, προσφέροντας λύσεις που συμμορφώνονται με διεθνή πρότυπα ποιότητας και ασφάλειας. Μέσω προηγμένων παραγωγικών δυνατοτήτων, προσαρμόσιμων λύσεων και αυστηρών διαδικασιών προετοιμασίας, παραγωγής και ποιοτικού ελέγχου τόσο των προϊόντων όσο και των ημιέτοιμων κατά την παραγωγή σταδίων, επιδιώκεται η κάλυψη των αναγκών μιας παγκοσμιοποιημένης αγοράς, με έμφαση στη λειτουργικότητα, την αισθητική και τη βιωσιμότητα.



Εικόνα 38. Flexible Packaging Circular Economy

Note: [Flexible Packaging – The Master Guide | Pakfactory Blog](#)

Η εύκαμπτη συσκευασία αναδεικνύεται ως μια στρατηγική επιλογή με μακροπρόθεσμη προοπτική, ανταποκρινόμενη στις μεταβαλλόμενες καταναλωτικές συνήθειες, στις περιβαλλοντικές προκλήσεις και στις απαιτήσεις της σύγχρονης βιομηχανίας. Η συνεχής

καινοτομία και η συνεργασία σε όλη την αλυσίδα αξίας αναμένεται να διαμορφώσουν καθοριστικά το μέλλον του κλάδου (Jyflexpack, 2025).

6. Η Μέθοδος της Βαθυτυπίας στην Παραγωγή της Εύκαμπτης Συσκευασίας

Η εξέλιξη των εκτυπωτικών μέσων που έχουν αναπτυχθεί εδώ και εκατοντάδες χρόνια, δημιούργησαν και ανέπτυξαν μια ολόκληρη βιομηχανική φιλοσοφία. Παρόλη την ανάπτυξη και πρόοδο της τεχνολογίας παραμένει αισθητά η ίδια φιλοσοφία χρήσης των παραδοσιακών πιεστηρίων ακόμα και στην πιο σύγχρονη βιομηχανία εκτύπωσης και μεταποίησης. Η μέθοδος της βαθυτυπίας είναι μια από τις μεθόδους αυτές, δίνοντας ισχυρά κίνητρα βιομηχανικής πρακτικής και χρήσης διατηρώντας στα υψηλότερα επίπεδα την άριστη ποιότητα εκτύπωσης και μεταποίησης των εύκαμπτων υλικών. Μια εικόνα ακόμα και σήμερα παίζει καθοριστικό ρόλο στην ψυχοσύνθεση του καταναλωτή αντικατοπτρίζοντας την εικόνα του ίδιου του προϊόντος της συσκευασίας που περιέχει.

6.1 Τι είναι η Βαθυτυπία (Rotogravure Printing)

Η εκτύπωση με τη χρήση βαθυτυπικών μηχανών «rotogravure printing», (όπως φαίνεται και στην εικόνα 39), αποτελεί μία από τις πλέον διαδεδομένες μεθόδους στον κλάδο της μεταποίησης, Converting industry, ο οποίος εστιάζει στη συνδυαστική επεξεργασία πρώτων υλών, κυρίως πολυμερών υλικών και χαρτιού με σκοπό την παραγωγή τελικών συσκευασιών ποικίλων δομών. Η εκτύπωση βαθυτυπίας αποτελεί μία από τις κυρίαρχες μεθόδους εκτύπωσης που χρησιμοποιούνται στον κλάδο της εύκαμπτης συσκευασίας, ειδικά όταν απαιτείται υψηλή ευκρίνεια και ποιότητα εικόνας και παραγωγή μεγάλης κλίμακας (Karpur, n.d).

Ως πρόδρομος της βαθυτυπίας θεωρείται η μέθοδος της χαλκογραφίας. Χρησιμοποιήθηκε ως μέθοδος εικονογράφησης στο τέλος του 15ου αιώνα. Βασίζεται στην χρήση των ανάγλυφων με χάραξη εκτυπωτικών κυλίνδρων, των οποίων η τεχνολογία

στηρίζεται στην ιδιότητα να συγκρατούν μελάνι στις μικροκυψέλες τους «εγχάρακτη κουκίδα» και να το μεταφέρουν στο υπόστρωμα του εύκαμπτου υλικού.



Εικόνα 39. Rotogravure Printing

Note: [Rotogravure printing for flexible-packaging](#)

Η μέθοδος της βαθυτυπίας εφαρμόζεται σε μεγάλη ποικιλία πολυμερών και όχι μόνο υλικών όπως είναι το πολυαιθυλένιο PE, πολυπροπυλένιο BOPP, πολυεστέρας PET, πολυαμίδιο OPA αλλά και σε χαρτί PA. Στο πλαίσιο εφαρμογής βιώσιμων λύσεων, η τεχνική της εκτύπωσης της βαθυτυπίας εφαρμόζεται και σε σύγχρονα καινοτόμα υλικά, βιοδιασπώμενα και πλήρως ανακυκλώσιμα που σκοπό έχουν την μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

Λόγω της φύσης της βαθυτυπίας, η μέθοδος ενδείκνυται άριστα για την παραγωγή εύκαμπτης συσκευασίας μεγάλου όγκου, όπου οι κύλινδροι μπορούν να αντέξουν σε εκτεταμένες παραγωγές χωρίς σημαντική φθορά παράλληλα με εφαρμογή ανταγωνιστικών ταχυτήτων παραγωγής συγκρινόμενη με άλλες εκτυπωτικές μεθόδους του κλάδου. Αυτό την καθιστά κατάλληλη για προϊόντα που απαιτούν ομοιογενή και έντονα χρώματα καθώς και υψηλή αναπαραγωγή λεπτομερειών, γραφικών και ιδιαίτερων μελανιών και επιστρώματων όπως λάκες για ματ φινίρισμα, Papertouch, soft touch, sand touch λάκες, μελάνια μεταλλικής όψης, θερμοάντοχες επιστρώσεις υψηλής καταπόνησης, δημιουργία θερμοκολλητικών στοιβάδων κλπ.

Η μέθοδος της βαθυτυπίας κυριαρχεί στη βιομηχανία εκτύπωσης καθώς παραμένει προτιμητέα όταν απαιτείται υψηλής ποιότητας εκτύπωση σε μεγάλου όγκου παραγωγές και σε σύνθετες χρωματικά εκτυπώσεις για καταναλωτικά προϊόντα υψηλών απαιτήσεων (Fairley, 2024).

6.2 Εισαγωγή στη Μέθοδο της Βαθυτυπίας

Οι μηχανές βαθυτυπίας κατασκευάζονται σύμφωνα με υψηλά διεθνή πρότυπα ποιότητας, καλύπτοντας τις απαιτήσεις τόσο της εγχώριας όσο και της διεθνούς αγοράς. Η παραγωγή τους συμμορφώνεται με διεθνή πρότυπα πιστοποίησης, όπως το ISO, καθώς και με τις προδιαγραφές διεθνών οργανισμών ελέγχου και επιθεώρησης (Kappor, n.d). Χαρακτηριστικό παράδειγμα πρότυπου διασφάλισης ποιότητας για την ασφάλεια τροφίμου είναι το BRC (British Retail Consortium) διεθνώς αναγνωρισμένο πρότυπο πιστοποίησης που καθορίζει απαιτήσεις για την ασφάλεια, την ποιότητα και τη νομιμότητα προϊόντων και υλικών συσκευασίας. Στον τομέα παραγωγής και μεταποίησης της συσκευασίας τροφίμων διασφαλίζει την εφαρμογή ελεγχόμενων διαδικασιών παραγωγής, ιχνηλασιμότητας και υγιεινής για την εξασφάλιση της προστασίας του περιεχόμενου προϊόντος και κατά συνέπεια του ίδιου του καταναλωτή (tunaustriahellas, n.d.).

Η εκτύπωση βαθυτυπίας (rotogravure) χαρακτηρίζεται πλέον από υψηλό βαθμό αυτοματοποίησης του εκτυπωτικού εξοπλισμού, γεγονός που διασφαλίζει σταθερή ποιότητα των εκτυπωτικών κυλίνδρων και καθιστά τη λειτουργία της διαδικασίας απλούστερη σε σύγκριση με τις υπόλοιπες συμβατικές μεθόδους αλλά και με την ίδια τη μέθοδο της βαθυτυπίας παλαιότερων ετών. Ως αποτέλεσμα, η τεχνική αυτή θεωρείται από τις πιο βατές στη χρήση και στον έλεγχο. Η τυπική ροή εργασιών της βαθυτυπικής εκτύπωσης περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια: προεκτυπωτική προετοιμασία, παραγωγή και τοποθέτηση του κυλίνδρου εκτύπωσης που αποτελεί το σημαντικότερο βοηθητικό μέσο εκτύπωσης (όπως φαίνεται στην εικόνα 40), παραγωγή χρώματος και ρύθμιση της χρωματικής επίτευξης αλλά και μηχανικής σύμπτωσης, παραγωγική εκτύπωση και μετεκτυπωτικές διεργασίες (oyang-group, 2024).



Εικόνα 40. Rotogravure Cylinder Printing Process

Note: [Rotogravure: the perfect printing method for your product packaging | SPG](#)

6.2.1 Εφαρμογή και Αξία της Βαθυτυπίας στην παραγωγή Αγαθών

Η βαθυτυπία χρησιμοποιείται εκτενώς στην παραγωγή συσκευασιών, περιοδικών μεγάλης κυκλοφορίας, διαφημιστικών εντύπων, καθώς και σε εφαρμογές όπως η εκτύπωση σε εύκαμπτα φιλμ, αλουμινένια φύλλα και σύνθετα υποστρώματα. Η δυνατότητά της να αποδίδει έντονα, κορεσμένα χρώματα και υψηλή φωτογραφική ποιότητα καθιστά τη μέθοδο ιδιαίτερα δημοφιλή σε εφαρμογές όπου η αισθητική ακρίβεια και η ομοιομορφία της εκτύπωσης αποτελούν κρίσιμους παράγοντες (Sharma και συν., 2022). Η εκτύπωση αποτελεί κρίσιμο στάδιο της συσκευασίας, καθώς συμβάλλει τόσο στην προστασία του προϊόντος όσο και στην εμπορική του προβολή. Η βαθυτυπία, λόγω της υψηλής ανάλυσης και της δυνατότητας συνεχούς παραγωγής μεγάλων όγκων, θεωρείται ιδανική για προϊόντα μαζικής κατανάλωσης, όπως τρόφιμα, καλλυντικά και φαρμακευτικά είδη.

Παρά το υψηλό αρχικό κόστος κατασκευής των εκτυπωτικών κυλίνδρων, η μεγάλη αντοχή τους και η δυνατότητα παραγωγής εκατομμυρίων αντιτύπων προσδίδουν στη βαθυτυπία σημαντικά πλεονεκτήματα σε παραγωγές μεγάλης κλίμακας (Science Direct, n.d.).

Η δυνατότητα αυτή είναι καθοριστική για την παραγωγή αγαθών που απαιτούν ομοιομορφία και αισθητική συνέπεια σε εκατομμύρια αντίτυπα.

Παρότι η κύρια εφαρμογή της βαθυτυπίας αφορά τη συσκευασία, η τεχνολογία επεκτείνεται και σε καινοτόμους τομείς παραγωγής επιπλέον αγαθών. Ειδικότερα, χρησιμοποιείται για εκτύπωση λειτουργικών υλικών (Functional Printing), όπως ηλεκτρονικά κυκλώματα, αισθητήρες και RFID, παραγωγή λεπτών υμενίων (thin films) σε κεραμικά και νανοϋλικά, κατασκευή ενεργειακών συστημάτων, όπως εκτυπωμένες μπαταρίες και φωτοβολταϊκά στοιχεία (Montanino & Giuliano, 2023).

Η δυνατότητα εκτύπωσης λεπτών στρωμάτων με υψηλή ομοιομορφία και ακρίβεια καθιστά τη βαθυτυπία ιδιαίτερα σημαντική για τη μετάβαση σε «έξυπνα» προϊόντα και προηγμένα υλικά. Στο πλαίσιο του Converting, η βαθυτυπία αποτελεί ένα από τα βασικά στάδια της συνολικής παραγωγικής αλυσίδας. Μετά την εκτύπωση, ακολουθούν διαδικασίες όπως πλαστικοποίηση (lamination), κοπή (slitting), συγκόλληση και διαμόρφωση συσκευασιών. Η υψηλή ακρίβεια της εκτύπωσης εξασφαλίζει ότι οι επόμενες διεργασίες μπορούν να εκτελεστούν με ελάχιστα σφάλματα και απώλειες υλικού. Η βαθυτυπία ενσωματώνεται εύκολα σε αυτοματοποιημένες γραμμές παραγωγής, υποστηρίζοντας την ανάπτυξη ψηφιακά ελεγχόμενων συστημάτων παραγωγής Industry 4.0. Η συμβατότητα με τεχνολογίες roll to roll και η δυνατότητα συνεχούς λειτουργίας ενισχύουν τη συνολική αποδοτικότητα της βιομηχανίας συσκευασίας.

6.3 Βασικά Χαρακτηριστικά της Μηχανής Εκτύπωσης Βαθυτυπίας (Rotogravure Printing)

Κάθε εκτυπωτική μονάδα «Πύργος εκτύπωσης» μιας βαθυτυπικής μηχανής περιλαμβάνει αναφορικά τα εξής βασικά σημεία

Εκτυπωτικός Κύλινδρος

Αποτελεί σωληνωτή μανσέτα ή πλήρης κύλινδρος σε άξονα, Κατασκευασμένος από χάλυβα, αλουμίνιο, με χαραγμένο το μοτίβο ηλεκτρομηχανικά ή laser τρόπο που αντιστοιχεί στο εκάστοτε χρώμα της εικόνας.

Μαχαίρι (Doctor Blade)

Μηχανισμός απομάκρυνσης της περίσσειας του μελανιού από τις μη χαραγμένες επιφάνειες αφήνοντας μόνο την ωφέλιμη ποσότητα μελανιού προς επεξεργασία στα χαραγμένα κελιά του κυλίνδρου.

Κύλινδρος Πίεσης (Impression Roller)

Ελαστικός κύλινδρος επικαλυμμένος με καουτσούκ, ο οποίος πιέζει το υπόστρωμα επάνω στον εκτυπωτικό κύλινδρο ώστε να επιτευχθεί η μεταφορά του μελανωμένου εικαστικού χάραξης επάνω στο υλικό του υποστρώματος.

Σύστημα Μελάνωσης

Αποτελείται από σκάφη μελανιού, δεξαμενή και αντλία μελανιού με κατάλληλη σωλήνωση. Η σκάφη του μελανιού διαφοροποιείται από τη δεξαμενή καθώς αφορά τον τρόπο χορήγησης του μελανιού, την ασφαλή μεταποίηση του πριν την εκτύπωση, χρωματική διόρθωση αλλά και διόρθωση ιξώδους. Η χρήση της σωλήνωσης και της αντλίας αφορά την πλέον ασφαλή χορήγηση στη δεξαμενή όπου εμβαπτίζεται ο κύλινδρος βαθυτυπίας.

Σύστημα Ξήρανσης

Πύργος ξήρανσης που χρησιμοποιεί θερμό αέρα ή υπεριώδη ακτινοβολία (UV), με σκοπό την ξήρανση ή πολυμερισμό των μελανιών πριν από την εφαρμογή του επόμενου χρώματος. Η απόδοση του συστήματος εξαρτάται από την ταχύτητα εκτύπωσης, τον τύπο του μελανιού και την ποσότητα απόθεσης και την ταχύτητα αέρα κατά την ξήρανση.

Σύστημα Ψύξης

Κλειστό κύκλωμα ψυχρού νερού με μεταφορά εσωτερικά σε περιστρεφόμενα μεταλλικά ράουλα, τα οποία έρχονται σε επαφή με το υπόστρωμα εκτύπωσης ψύχοντας το.

Η διαδικασία της ξήρανσης και της ψύξης αποτελεί κομβικό σημείο για την απόδοση της ποιότητας τόσο μετά την εφαρμογή της εκτύπωσης όσο και πριν από αυτή, δηλαδή στην προετοιμασία του υλικού, βοηθώντας στη διατήρηση της ισορροπίας των μηχανικών

ιδιοτήτων του. Υλικά όπως το χαρτί αλλά και πολυμερή υλικά απαιτούν τη χρήση προθέρμανσης για την προετοιμασία του υλικού ώστε να επιτυγχάνεται σωστό register κατά την εκτύπωση αλλά και αποφυγή εξέλασης του υλικού μέχρι το τέλος της παραγωγής

Σύστημα Τανύσεων

Η ακρίβεια στην ευθυγράμμιση των χρωμάτων (registration) διασφαλίζεται μέσω συστημάτων ελέγχου κατά τον διαμήκη και εγκάρσιο άξονα.

Σύστημα Αυτόματης Ρύθμισης Ιξώδους Μελανιού

κάθε πύργος, κατά συνέπεια κάθε χρώμα περιλαμβάνει αυτόματη ρύθμιση με αισθητήρες για την μέτρηση και καταγραφή του ιξώδους σε τακτά χρονικά διαστήματα που ορίζονται από τον χειριστή προκειμένου να παρακολουθείται η πορεία και η κατάσταση του ιξώδους του μελανιού και να διορθώνεται αυτόματα διατηρώντας στο επιθυμητό επίπεδο. Το ιξώδες αποτελεί κρίσιμο παράγοντα ποιοτικής απόδοσης του προς εκτύπωση μελανιού.

Σύστημα Παρακολούθησης Πορείας Web Printing

Σύστημα καμερών που επικεντρώνεται στην παρακολούθηση όλου του Web εκτύπωσης αλλά και κινητών σημείων που επικεντρώνονται στην ανίχνευση αποκλίσεων και πιθανών προβλημάτων. Οι αισθητήρες ανίχνευσης βασίζονται σε ένα πρότυπο που δημιουργείται από τον χειριστή το οποίο χρησιμοποιείται ως πρότυπο «master» από το οποίο οποιαδήποτε απόκλιση ανιχνεύεται και μεταφράζεται ως πρόβλημα καθώς και η φύση αυτού. Η Συλλογή των συγκεκριμένων Data αποτελούν δείκτες μέτρησης καθώς και τρόπος εντοπισμού των συχνότερων σφαλμάτων, που αποδεικνύεται συχνά βοηθητικό εργαλείο για τον εντοπισμό αδυναμιών που σχετίζονται τόσο με το μηχανικό μέρος της μηχανής αλλά και με τα επιμέρους βοηθητικά μέσα της εκτύπωσης.

Σύστημα Παρακολούθησης Χρωματικής και Γραμμικής Απόδοσης (barcode, QR scanning)

Η χρωματική απόδοση για κάθε χρώμα ξεχωριστά στηρίζεται στην μετρούμενη πλέον απόδοση σε σχέση με τη θέση του στον χρωματικό κύκλο. Οι μετρήσεις φασματοφωτομετρίας inline και offline διευκολύνουν την πορεία της παραγωγής και μετριάζουν τις πιθανές αποκλίσεις στο παραγόμενο προϊόν που μπορεί να οδηγήσουν σε αύξηση της φύρας. Η μετρήσεις των χρωμάτων αποτελούν κρίσιμο παράγοντα τόσο για την επίτευξη του επιθυμητού στόχου σε ποσοστό έως και 95% αλλά και της επαναληψιμότητας που αποτελεί σημαντικό παράγοντα ιδιαίτερα για την παραγωγή εύκαμπτων συσκευασιών.

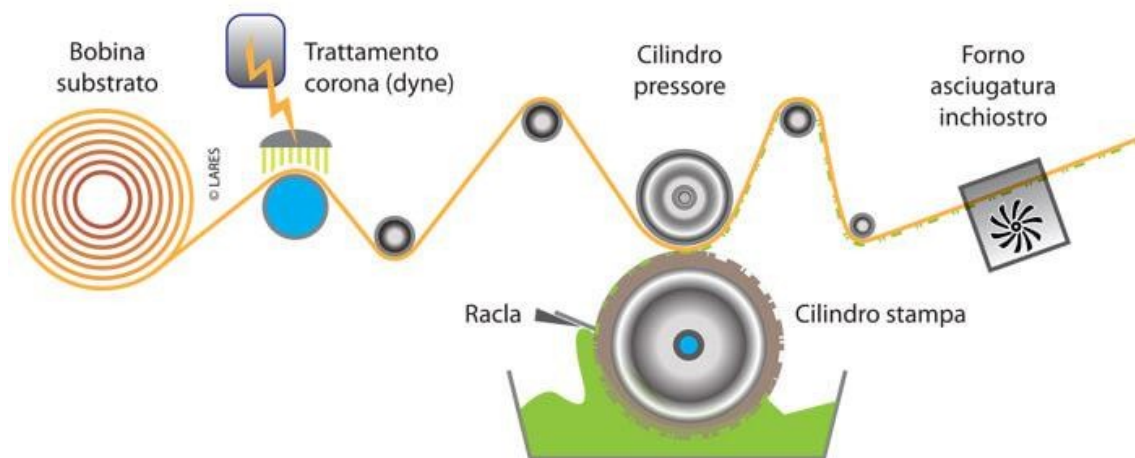
6.3.1 Χαρακτηριστικά και Περιγραφή της Μηχανής Εκτύπωσης

Στον βασικό εξοπλισμό της βαθυτυπικής μηχανής κυρίαρχο ρόλο παίζουν οι πύργοι εκτύπωσης, στους οποίους γίνεται η εφαρμογή του χρώματος με τη χρήση του κυριότερου μέσου εκτύπωσης που είναι ο χαραγμένος κύλινδρος. Ο αριθμός των πύργων που απαρτίζεται μια βαθυτυπία αποτελεί και τον αριθμό των μελανιών που μπορούν να εφαρμοστούν κατά την παραγωγή. Η δυνατότητα της Βαθυτυπίας πλέον μπορεί να φτάσει και στην εφαρμογή μέχρι και 12 πύργων, κατά συνέπεια 12 χρωμάτων συμπεριλαμβανομένου του πιθανού λευκού υποστρώματος και πιθανές επιστρώσεις από διάφορους τύπους λάκας όπως είναι matt, glossy, thermosealable, thermoresistant, release lacquers.

Κατά τη διάρκεια της βαθυτυπικής εκτύπωσης, ο χαραγμένος κύλινδρος περιστρέφεται εντός της δεξαμενής μελανιού, επιτρέποντας στα εγχάρακτα κελιά της επιφάνειάς του να γεμίσει με την επιθυμητή ποσότητα μελανιού. Καθώς ο κύλινδρος εξέρχεται από τη δεξαμενή, η περίσσεια μελανιού απομακρύνεται μέσω της λεπίδας καθαρισμού «doctor blades», αφήνοντας μελάνι αποκλειστικά στα χαραγμένα κελιά. Στη συνέχεια, ο κύλινδρος έρχεται σε επαφή με το υπόστρωμα, το οποίο πιέζεται επάνω του μέσω ενός ελαστικού κυλίνδρου πίεσης «impression roller». Ο συνδυασμός της μηχανικής πίεσης, της επιφανειακής τάσης του υποστρώματος και της δυνατότητας ηλεκτροστατικής υποβοήθησης οδηγεί στη μεταφορά του μελανιού από τα κελιά του κυλίνδρου απευθείας

στην επιφάνεια του υλικού εκτύπωσης με ακρίβεια δέκατου του χιλιοστού (όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 41).

Μετά τη μεταφορά του μελανιού, το υπόστρωμα διέρχεται από σύστημα ξήρανσης και οδηγείται στην επόμενη εκτυπωτική μονάδα, η οποία συνήθως εφαρμόζει διαφορετικό χρώμα ή, εναλλακτικά, βερνίκι ή προστατευτική επίστρωση ανάλογα με τη δομή της εργασίας. Η ακριβής σύμπτωση των χρωμάτων επιτυγχάνεται μέσω αυτόματων συστημάτων ελέγχου πλευρικής και διαμήκου καταγραφής. Στις βαθυτυπίες συνεχούς ρολού που είναι και το κύριο χαρακτηριστικών των βιομηχανικών εφαρμογών βαθυτυπίας, μετά την ολοκλήρωση της εκτύπωσης όλων των χρωμάτων και των επικαλύψεων, το εκτυπωμένο υπόστρωμα τυλίγεται σε ημιέτοιμο ρολό όπου και ακολουθεί το επόμενο στάδιο της μεταποίησης της παραγωγής με σκοπό τη τελειοποίηση στη μορφή του τελικού προϊόντος.



Εικόνα 41. Ροή Βαθυτυπικής Εκτύπωσης

Note: [Converting Magazine | Packaging, Labelling, Cartotecnica](#)

Μεταξύ των παραμέτρων που επηρεάζουν άμεσα την ποιότητα της εκτύπωσης είναι όπως αναφέρθηκε η χρωματική σύμπτωση «Color Registration» καθώς η σωστή σύμπτωση θα δώσει και το επιθυμητό οπτικό αποτέλεσμα όσων αφορά στην απόδοση των process colors «CMYK» καθώς και την χρωματική απόδοση «color targeting» που αποτελούν τους κρίσιμους παράγοντες απόδοσης της εκτυπωτικής ποιότητας.

Η εκτέλεση λειτουργιών ενσωματωμένης διάταξης αυτόματου ελέγχου register αποτελείται από κεφαλή σάρωσης, γεννήτρια παλμών, ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου, κινητήρα ρύθμισης και κύλινδρο διόρθωσης. Όταν τα σημάδια καταγραφής του εκτυπωμένου υλικού διέρχονται από την κεφαλή σάρωσης, αποστέλλονται παλμικά σήματα προς την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου. Σε περίπτωση που ανιχνευθεί χρονική απόκλιση μεταξύ διαδοχικών χρωματικών στρωμάτων, η μονάδα ενεργοποιεί τον κινητήρα ρύθμισης, προκαλώντας μικρομετρική μετατόπιση των ρυθμιστικών κυλίνδρων. Μέσω αυτής της διαδικασίας επιτυγχάνεται η διόρθωση των σφαλμάτων και η ακριβής ευθυγράμμιση των χρωμάτων (όπως φαίνεται στην εικόνα 42), διασφαλίζοντας υψηλή ποιότητα εκτύπωσης. Στη σύγχρονη βιομηχανική πρακτική πλέον, η πλειονότητα των βαθυτυπικών εκτυπωτικών μηχανών είναι εξοπλισμένη με αυτόματα ψηφιακά συστήματα χρωματικής καταγραφής και online παρακολούθησης, τα οποία συμβάλλουν καθοριστικά στη βελτίωση τόσο της ακρίβειας της σύμπτωσης όσο και της συνολικής απόδοσης της βαθυτυπίας ποιοτικά όσο και ποσοτικά (oyang-group, 2024).



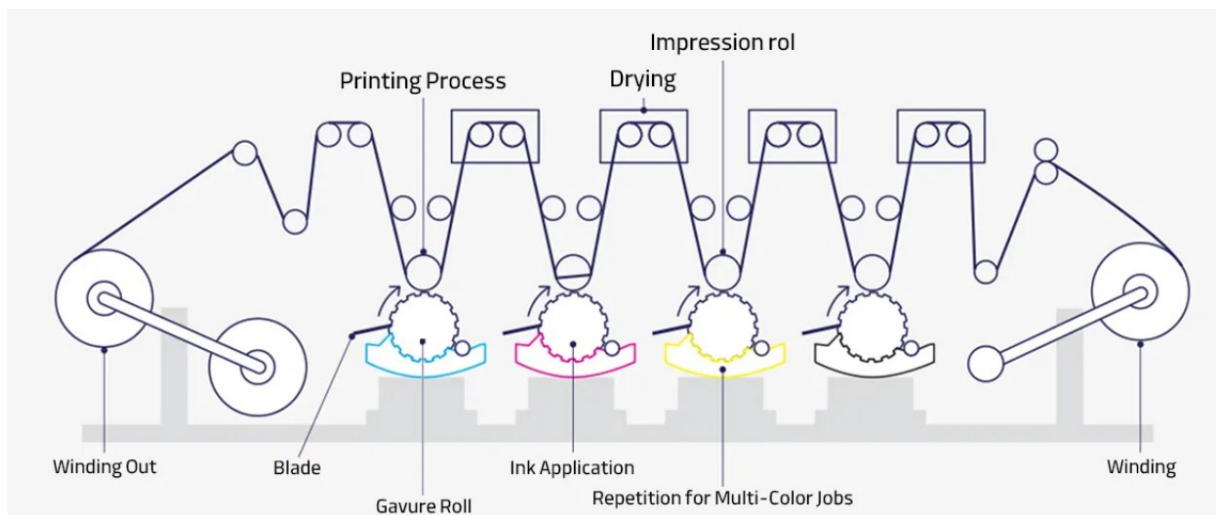
Εικόνα 42. Misregistration in Printing

Note: [Misregistration in Printing - Flexo Flaw Fixing](#)

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η διαδικασία της βαθυτυπίας βασίζεται στη μεταφορά του μελανιού άμεσα από τις χαραγμένες κυψέλες του κυλίνδρου στο

υπόστρωμα, μέσω συνδυασμού μηχανικής πίεσης και ηλεκτροστατικής δράσης. Κάθε βασικό χρώμα της εκτύπωσης απαιτεί τη χρήση ξεχωριστού εκτυπωτικού κυλίνδρου, γεγονός που καθιστά τη μέθοδο ιδιαίτερα αποδοτική για μεγάλες παραγωγές υψηλής ποιότητας, αλλά οικονομικά ασύμφορη για μικρούς όγκους.

Κατά την επαφή με το υπόστρωμα, το μελάνι μεταφέρεται από τις κυψέλες πάνω σε αυτό. Μετά από κάθε χρώμα με εναπόθεση σε σύμπτωση, ακολουθεί στάδιο ξήρανσης με θερμό αέρα. Απαραίτητο είναι και σύστημα ψύξης καθώς λειτουργεί καταλυτικά για την αποφυγή παραμόρφωσης του εύκαμπτου υποστρώματος με συνέπεια την αλλοίωση τόσο των μηχανικών ιδιοτήτων όσο και των μηχανολογικών του σχεδιασμένου προς παραγωγή έργου. Η ψύξη αποτελεί σημαντικό παράγοντα χημείας για την συμπεριφορά και λειτουργία του χρώματος επίσης. Στην περίπτωση δημιουργίας ιδανικού περιβάλλοντος ξήρανσης και ψύξης (όπως φαίνεται στην εικόνα 43) οι καινοτομίες της σύγχρονης βιομηχανικής πρακτικής συνδυάζουν την απόλυτη χρήση αισθητήρων για την συνεχή καταγραφή αυτόνομα για κάθε χρώμα, του ιδανικού περιβάλλοντος παραγωγής ώστε να εντοπίζονται αλλά και να διορθώνονται τυχόν αποκλίσεις που μπορεί να οδηγήσουν σε εσφαλμένα ποιοτικά αποτελέσματα του παραγόμενου προϊόντος (Tkachenko και συν. 2019).



Εικόνα 43. Drying Process in Rotogravure Printing

Note: [Gravure Printing Machines 2025 | Complete Buying Guide](#)

6.4 Βασικοί Παράγοντες της Μηχανής Βαθουτυπίας

6.4.1 Ο κύλινδρος Βαθουτυπίας

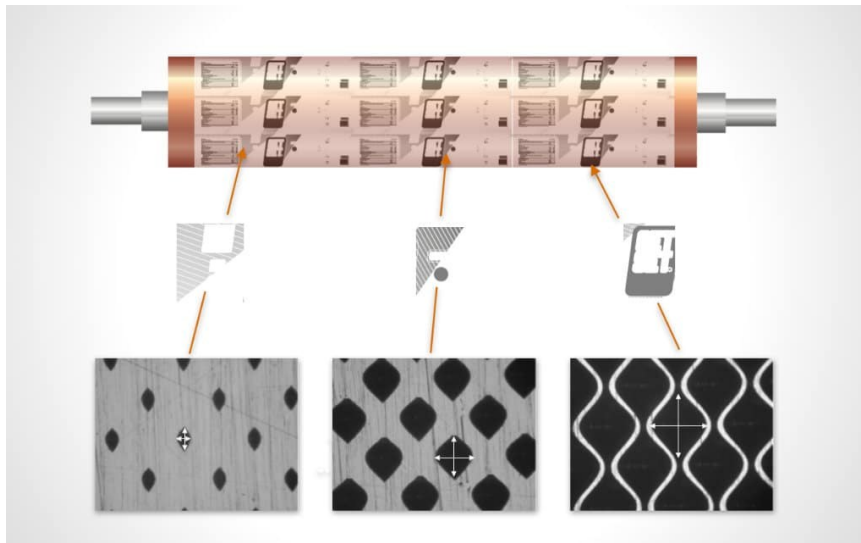
Ο κύλινδρος βαθουτυπίας αποτελεί το απαραίτητο εκτυπωτικό μέσο για την επίτευξη της παραγωγής στην βαθουτυπία. Κάθε κύλινδρος κατέχει σημαντική θέση για την ολοκλήρωση της επιτυχούς εκτύπωσης καθώς η σωστή του προετοιμασία θα είναι αυτή που θα δώσει και το επιθυμητό ποιοτικά αποτέλεσμα.

Η διαδικασία χάραξης των κυλίνδρων βαθουτυπίας είναι μια από τις σημαντικότερες στην κατηγορία των εκτυπωτικών τεχνικών σύγχρονης χαρακτηριστικής. Αποτελεί από μόνης της μια βιομηχανική διαδικασία και απαρτίζεται από ποικίλα βήματα προκειμένου να παραχθεί το κύριο μέσο εκτύπωσης της βαθουτυπίας που είναι ο κύλινδρος. Κύριο χαρακτηριστικό αποτελεί η χάραξη της εικόνας κάτω από την επιφάνεια αυτού του εκτυπωτικού μέσου, δηλαδή του μεταλλικού, επιχάλκωμένου και επιχρωμιωμένου κυλίνδρου συγκεκριμένης σκληρότητας και τραχύτητας, στον οποίο δημιουργούνται μικροκυψέλες μεταβλητού βάθους και διαμέτρου. Οι κυψέλες αυτές συγκρατούν το μελάνι και καθορίζουν την τονική απόδοση και την ποιότητα της τελικής εκτύπωσης τόσο για την απόδοση των συνθέσεων της τετραχρωμίας (CMYK) όσο και την απόδοση της επιθυμητής έντασης και πυκνότητας ενός spot χρώματος (Kappor, n.d).

Ηλεκτρομηχανική Χάραξη Κυλίνδρων Βαθουτυπίας (Electromechanical Engraving EME)

Αποτελεί την παραδοσιακή και ευρέως εφαρμοζόμενη μέθοδο κατασκευής κυλίνδρων εκτύπωσης για την βιομηχανία της βαθουτυπίας (όπως φαίνεται και στην εικόνα 44). Η χάραξη πραγματοποιείται μέσω μηχανικής επαφής ενός διαμαντένιου ακροστυλίσκου με την επιφάνεια κυλίνδρου επικαλυμμένη αρχικά με χαλκό (όπως φαίνεται στην εικόνα 45), δημιουργώντας κυψέλες μεταβλητού βάθους και γεωμετρίας που καθορίζουν την ποσότητα τοποθέτησης μελανιού ώστε μετά την εναπόθεση του στο υπόστρωμα να ληφθεί το αποτέλεσμα στην καλύτερη δυνατή ποιότητα. Η μέθοδος προσφέρει υψηλή

σταθερότητα και επαναληψιμότητα στην εκτύπωση. Παράλληλα όμως λόγω του επιθυμητού αποτελέσματος απαιτείται μεγάλο πάχος χαλκού και χρωμίου για την αποφυγή φθοράς του κυλίνδρου, γεγονός που συνεπάγεται αυξημένη κατανάλωση υλικών και ενέργειας (Hell-Gravure, n.d.).



Εικόνα 44. Μορφές Εγχάρακτης Επιφάνειας Κυλίνδρου

Note: [Πιστοποιημένα Συστήματα Χαρακτικής – Hell Gravure](#)



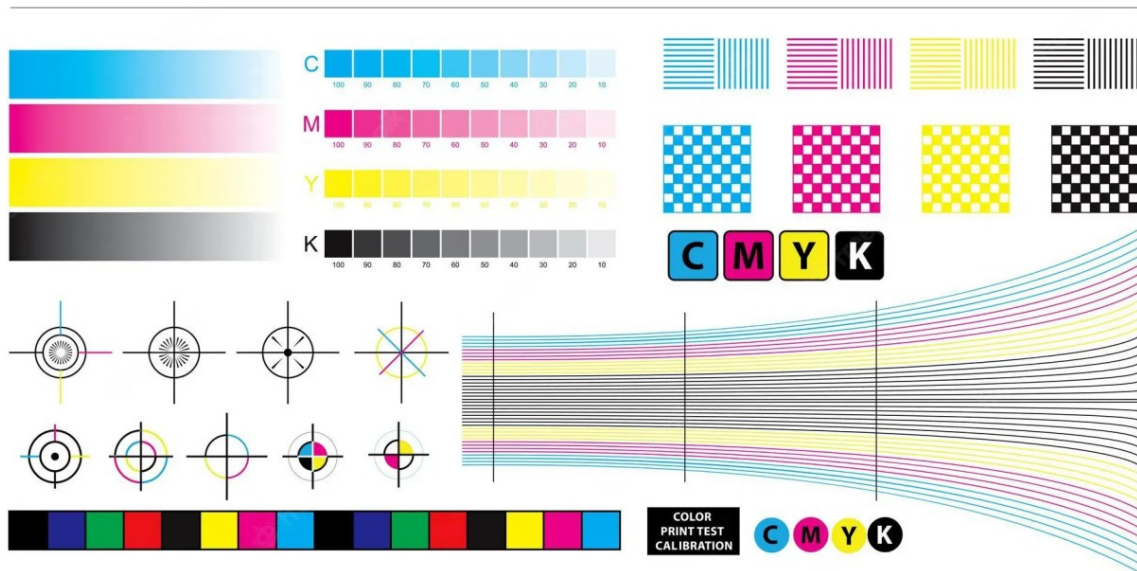
Εικόνα 45. Electromechanical Engraving

Note: [Η ΒΑΘΥΤΥΠΙΑ](#)

Ως εναλλακτικές τεχνολογίες χάραξης έχουν αναπτυχθεί η χημική και η ηλεκτροχημική χάραξη, ωστόσο όμως παρουσιάζουν ακόμα περιορισμένο έλεγχο γεωμετρίας και χαμηλότερη ακρίβεια στην παραγόμενη εκτυπωτικά χρωματική απόδοση, με αποτέλεσμα τη μειωμένη βιομηχανική τους εφαρμογή. Αντίθετα, η χάραξη με λέιζερ (Laser Engraving – LE) αναδεικνύεται ως σύγχρονη και βιώσιμη λύση, καθώς πραγματοποιείται χωρίς μηχανική επαφή και επιτρέπει τη δημιουργία κυψελών υψηλής ακρίβειας με μικρότερο βάθος. Η μέθοδος αυτή οδηγεί σε σημαντική μείωση του απαιτούμενου πάχους χαλκού και χρωμίου, περιορίζοντας την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές CO₂, παράλληλα βελτιώνει τον έλεγχο της μεταφοράς μελανιού, καθιστώντας την κατάλληλη για εφαρμογές βιώσιμης εκτύπωσης στη βιομηχανία εύκαμπτης συσκευασίας μιας και μειώνει σημαντικά την ποσότητα του προς χρήση υγρού μελανιού ανά κυψελίδα, διατηρώντας όμως στα ίδια επίπεδα ποιότητας της εκτυπωσιμότητας. Μετρήσιμα αυτό συνεπάγεται ως διατήρηση της ίδιας πυκνότητας απόδοσης και εκτυπωσιμότητας ανά χρώμα με τη μικρότερη δυνατή ποσότητα (Sharma και συν., 2022).

Λαμβάνοντας υπόψιν την επίτευξη της καλύτερης ποιότητας εκτύπωσης, ο παραγωγός των κυλίνδρων προσαρμόζει την χάραξη του παραγόμενου μέσου με την εκάστοτε μηχανή βαθυτυπίας. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαία η επίτευξη δοκιμαστικής εκτύπωσης, το λεγόμενο *fingerprint* που αποτελεί και την ταυτότητα εκτυπωσιμότητας της μηχανής βαθυτυπίας (όπως φαίνεται στην εικόνα 46). Ο χαρακτήρας βασιζόμενος στο αποτέλεσμα των δοκιμαστικών εκτυπώσεων ρυθμίζει, βελτιώνει και τελειοποιεί τόσο την μορφή χάραξης των spot χρωμάτων όσο και αυτών της 4χρωμίας με τη δημιουργία συγκεκριμένου προφίλ εκτύπωσης. Φυσικά η συγκεκριμένη ταυτότητα *fingerprint* εξαρτάται σημαντικά και από το παράγοντα μελάνι που συμβάλει καθοριστικά στην απόδοση της ποιότητας της εκτύπωσης, μέρος ευθύνης σε αυτό παίζει η προετοιμασία του έργου στο στάδιο της δημιουργίας, κατά τον διαχωρισμό στην προεκτύπωση.

CMYK TEST PRINT



Εικόνα 46. Fingerprint Sample

Note: [\(21\) Optimizing Rotogravure Prepress: Best Practices, Traps, and Essential Dos and Don'ts | LinkedIn](#)

6.4.2 Διαχωρισμός - Προεκτύπωση

Σημαντικός συντελεστής απόδοσης του παραγόμενου εκτυπωτικού αποτελέσματος είναι ο διαχωρισμός της εργασίας εκτύπωσης. Η διαδικασία του διαχωρισμού αποτελεί σημαντικό κομμάτι της προεκτύπωσης και συνδέεται άμεσα τόσο με την χάραξη των κυλίνδρων και αποτύπωση των χρωμάτων όσο και με την ίδια την μηχανή εκτύπωσης. Σκοπός αποτελεί πάντα η επίτευξη του άρτιου τελικού εκτυπωτικού αποτελέσματος με τα λιγότερα δυνατά βήματα χρωματικών παρεμβάσεων. Η συμβολή της ψηφιακής εποχής ένωσε την διαδικασία της προεκτύπωσης με την χάραξη του μέσου εκτύπωσης σε τέτοιο βαθμό που πλέον δεν θεωρείται ως διαφορετική διαδικασία αλλά μέρος της ίδια. Η ενσωμάτωση της προετοιμασίας των αρχείων και ο διαχωρισμός αυτών σε μορφές ικανές να ανταποκριθούν στα δεδομένα της χάραξης είναι πλέον μια πραγματικότητα. Η δημιουργία ταυτότητας κάθε μηχανής βαθυτυπίας «fingerprint» με αποτέλεσμα την δημιουργία σχετικών καμπυλών προφίλ εκτύπωσης και η χρήση των ψηφιοποιημένων αρχείων έδωσε το έναυσμα στον τομέα της χάραξης να ενσωματωθεί πλήρως με την

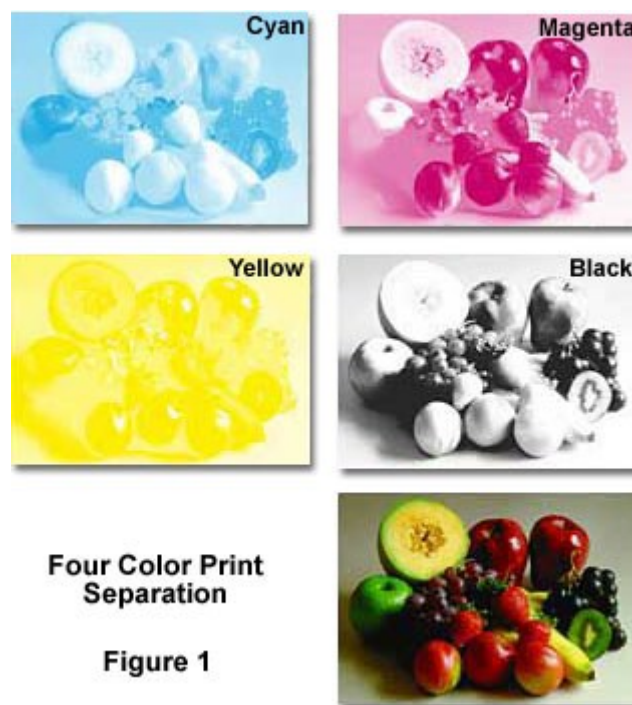
διαδικασία της εκτύπωσης σε τέτοιο βαθμό που πλέον το δοκιμαστικό από το τελικό αποτέλεσμα δεν απέχει καθόλου σε χρόνο προετοιμασίας και πράξης.

Η ανάπτυξη και εξέλιξη των διαδικασιών της Προεκτύπωσης, όπως ο χρωματικός διαχωρισμός και η προετοιμασία εκτυπώσιμων αρχείων, βασίστηκε σε μεγάλο βαθμό στην εφεύρεση και αξιοποίηση της φωτογραφίας, διευρύνοντας σημαντικά τις δυνατότητες της εκτυπωτικής βιομηχανίας. Η πρόοδος αυτή συνοδεύτηκε από αυξημένες τεχνικές απαιτήσεις σε εξειδικευμένα στάδια της Προεκτύπωσης, γεγονός που οδήγησε στην ανάγκη συστηματικής εκπαίδευσης και κατάρτισης ανθρώπινου δυναμικού. Προς αυτή την κατεύθυνση, εντάχθηκαν μαθήματα γραφικών τεχνών σε εμπορικές σχολές και κολέγια, ενώ παράλληλα δημιουργήθηκαν επαγγελματικές συντεχνίες και συνδικάτα, με στόχο την υποστήριξη της προσφοράς εξειδικευμένου εργατικού δυναμικού σε μια ταχέως αναπτυσσόμενη βιομηχανία (Significans Automation, n.d.).

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες του 20ού αιώνα, η Προεκτύπωση καθιερώθηκε ως το βασικό στάδιο εκκίνησης της εκτυπωτικής διαδικασίας, συνδέοντας άρρηκτα τον αρχικό σχεδιασμό, την τελική μακέτα και την παραγωγή της εκτύπωσης. Περίπου τρεις δεκαετίες πριν, οι ομάδες Προεκτύπωσης αποτελούσαν αναπόσπαστο και κυρίαρχο στοιχείο της προετοιμασίας κάθε έργου προς παραγωγή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της τότε ροής εργασιών αποτελεί ο έλεγχος λιθογραφικών, φλεξογραφικών και βαθυτυπικών εκτυπώσεων. Το εξειδικευμένο προσωπικό παραλάμβανε το έργο απευθείας από την πηγή, προχωρούσε σε διορθώσεις και επεξεργασία και παρήγαγε ξεχωριστά φιλμ (όπως φαίνεται στην εικόνα 47) για κάθε χρωματικό διαχωρισμό, με σκοπό την προσομοίωση της τελικής εκτύπωσης και του παραγόμενου προϊόντος στα τυπογραφικά πιεστήρια (Prepress, n.d.). Οι χειριστές Προεκτύπωσης της εποχής εκτελούσαν τις εργασίες χειρωνακτικά, επικολλώντας τα επιμέρους στοιχεία σε προεκτυπωμένους πρότυπους πίνακες. Οι χρωματικοί διαχωρισμοί πραγματοποιούνταν μέσω φιλμ, όπου οι εικόνες αναλύονταν στα βασικά χρώματα διεργασίας CMYK και αποτυπώνονταν ξεχωριστά, συνθέτοντας τελικά το πλήρες έγχρωμο αποτέλεσμα. Πρόκειται για μια ιδιαίτερα χρονοβόρα και τεχνικά απαιτητική διαδικασία. Στο στάδιο αυτό, ο γραφίστας είχε την ευθύνη της συνολικής προετοιμασίας της μακέτας και των τονικών προτύπων, με τελικό στόχο τη δημιουργία της εκτυπωτικής πλάκας, η οποία θα παρήγαγε ομοιόμορφα αντίτυπα κατά την εκτύπωση. Για τον σκοπό αυτό, τα κείμενα, οι

εικόνες και τα ηλεκτρονικά δεδομένα μετατρέπονταν σε λιθογραφικά φιλμ, βασισμένα σε κοινές αρχές κατασκευής.

Μετά την ολοκλήρωση της σύνθεσης των φιλμ που αναπαριστούσαν το τελικό έντυπο, ακολουθούσε το στάδιο της ένθεσης, κατά το οποίο κείμενα και εικόνες ενσωματώνονταν σε άλλες εικόνες ή σε έγχρωμα φόντα. Ο ενθέτης, ακολουθώντας τη μακέτα ή το layout, συνέθετε ολοκληρωμένες σελίδες συγκεντρώνοντας όλα τα απαιτούμενα φιλμ. Στη συνέχεια, τα φιλμ συναρμολογούνται σε αδιάστατες διαφάνειες στο στάδιο του μοντάζ, με σκοπό τον καθορισμό της τελικής τους θέσης πριν την κατασκευή των εκτυπωτικών πλακών. Σε περιπτώσεις αυξημένης πολυπλοκότητας, η διαδικασία συμπληρωνόταν από την παραγωγή έγχρωμου δοκιμίου για τη διασφάλιση της ποιότητας του τελικού αποτελέσματος (Μπιτζένης, 2010).



Εικόνα 47. Separation Images

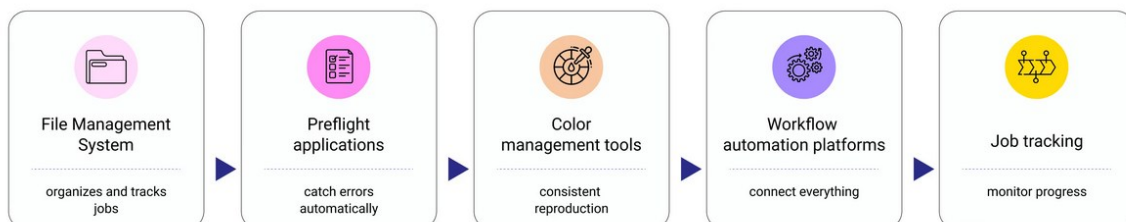
Note: [Molecular Expressions: Physics of Light and Color - Color Separation: Interactive Tutorial](#)

Στη σύγχρονη εποχή, το μεγαλύτερο μέρος των παραπάνω διαδικασιών έχει ψηφιοποιηθεί και αυτοματοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό με την απαρχή της 3ης

Βιομηχανικής επανάστασης. Παρά την τεχνολογική πρόοδο, ο ανθρώπινος παράγοντας εξακολουθεί να διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στον έλεγχο της ορθότητας των διαδικασιών και στην αξιολόγηση της ποιότητας της Προεκτύπωσης (PrePress, n.d.).

Ο ρόλος των δοκιμών παραμένει αναλλοίωτος ως προς τον σκοπό τους, καθώς εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση των χρωμάτων σε έντυπη μορφή και για τον ποιοτικό έλεγχο τόσο πριν όσο και κατά την παραγωγή. Η μετάβαση στην ψηφιακή Προεκτύπωση, γνωστή ως Digital Prepress, σηματοδότησε την αντικατάσταση των παραδοσιακών μεθόδων στην εξολοκλήρου ψηφιακή προετοιμασία αρχείων για προς χάραξη και εκτύπωση ή ακόμα και προς εκτύπωση, για τις περιπτώσεις της ψηφιακής εκτύπωσης. Η διαθεσιμότητα εξελιγμένων λογισμικών γραφικού σχεδιασμού απλοποίησε σημαντικά τη διαδικασία σχεδίασης, μειώνοντας τον χρόνο ολοκλήρωσης και επιτρέποντας την ταχύτερη ανταλλαγή αρχείων. Η ηλεκτρονική διαχείριση και αποστολή δεδομένων εξάλειψε σε μεγάλο βαθμό το κόστος και τον χρόνο της φυσικής συνεργασίας, προσφέροντας ουσιαστικά πλεονεκτήματα στην παραγωγική διαδικασία (Gokulnath, 2023).

Οι διαδικασίες ελέγχου και προετοιμασίας στη ψηφιακή Προεκτύπωση διαφοροποιούνται ανάλογα με την πολυπλοκότητα του έργου και τη μέθοδο εκτύπωσης. Τα σύγχρονα workflows (όπως φαίνεται στην εικόνα 48) ενσωματώνουν μηχανισμούς πρόβλεψης, ανίχνευσης και αναφοράς πιθανών σφαλμάτων πριν την έναρξη της παραγωγής, διασφαλίζοντας την ποιότητα και τη συνέπεια του τελικού αποτελέσματος (Agness, 2022).



Εικόνα 48. PrePress Workflow

Note: [Prepress Workflow Mastery: A Step-by-Step Guide for Print Production Success](#)

Η επιλογή του κατάλληλου workflow θεωρείται κρίσιμη, καθώς δεν αφορά μόνο τις επιμέρους διεργασίες, αλλά και τα λογισμικά αυτοματοποίησης που υποστηρίζουν τη συνολική ροή εργασιών (PrePressure, n.d.).

Στον κλάδο της συσκευασίας, η Προεκτύπωση περιλαμβάνει σύνθετα workflows που βασίζονται σε εγγενείς ροές PDF, λύσεις cloud για την ανταλλαγή αρχείων και τεχνολογίες χαμηλού κόστους ιδιοκτησίας, με δυνατότητα ενσωμάτωσης σε πληροφοριακά συστήματα διοίκησης και παραγωγής. Οι λύσεις αυτές χρησιμοποιούνται διεθνώς σε εφαρμογές ετικετών, συσκευασίας και χαρτοκιβωτίων, τόσο στην ψηφιακή όσο και στη συμβατική εκτύπωση (Andersen & VReeland, n.d.).

Η ψηφιοποίηση στον τομέα της Προεκτύπωσης δεν περιορίζεται στην τεχνολογική αναβάθμιση, αλλά συνιστά έναν συνολικό μετασχηματισμό στρατηγικής και οργανωτικής κουλτούρας, με στόχο τη βελτίωση της παραγωγικότητας, της ποιότητας και της ικανοποίησης του πελάτη. Η βιομηχανική εκτύπωση, παραμένει ένα δυναμικά εξελισσόμενο πεδίο, όπου η εφαρμογή νέων τεχνολογιών λειτουργεί ως βασικός μοχλός ανάπτυξης. Οι σύγχρονες εκδόσεις λογισμικού γραφικού σχεδιασμού προσφέρουν αυξημένη συμβατότητα αρχείων, ευκολότερη συνεργασία μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών και σημαντική μείωση των χρόνων επεξεργασίας, ακόμη και για μεγάλα σύνολα δεδομένων. Ως αποτέλεσμα, η συνολική ροή εργασιών της Προεκτύπωσης καθίσταται ταχύτερη και αποτελεσματικότερη (Toppy Packaging, 2023).

Συνολικά, η Προεκτύπωση αποτελεί διαχρονικά το θεμελιώδες στάδιο της εκτυπωτικής διαδικασίας, από την εποχή των παραδοσιακών τυπογράφων έως τη σύγχρονη ψηφιακή εποχή. Η τεχνική αρτιότητα και η εικαστική ποιότητα που επιτυγχάνονται μέσω των ψηφιακών εργαλείων συνέβαλαν στη ραγδαία εξάπλωση της ψηφιακής Προεκτύπωσης, η οποία σήμερα διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη μείωση της φύρας, στην εξοικονόμηση χρόνου και στη βελτιστοποίηση της παραγωγής έντυπου υλικού.

6.4.3 Μαχαίρι Καθαρισμού (Doctor Blade)

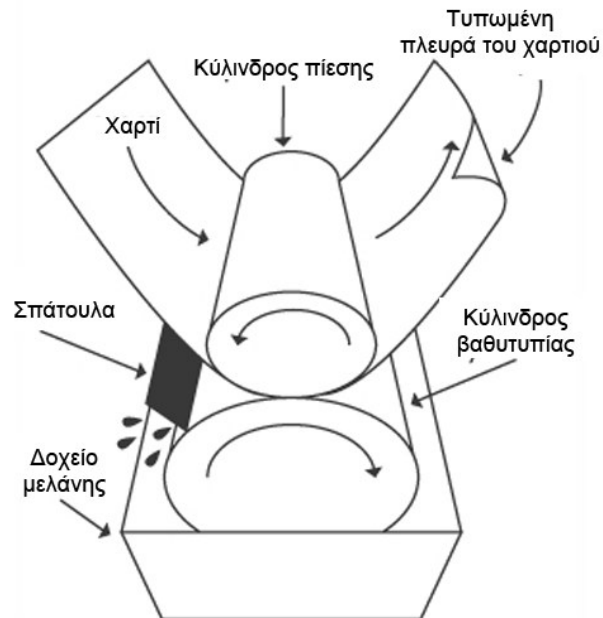
Κύρια μέρη της βαθυτυπικής εκτύπωσης όπως έχει ήδη ειπωθεί σε προηγούμενη αναφορά θεωρούνται το μελάνι, ο κύλινδρος και το doctor blade που αποτελεί και την λάμα καθαρισμού του κυλίνδρου ώστε να αποτεθεί μόνο το αντίστοιχο χρώμα που

βρίσκεται στην κυψέλη πάνω στο υλικό. Η Γεωμετρία και το υλικό κατασκευής και επίστρωσης που αποτελεί και το ίδιο το doctor blade θα πρέπει να είναι συμβατό με την άριστη απόδοση καθαρισμού του κυλίνδρου καθώς και συμβατό με την εκάστοτε μηχανή βαθυτυπίας που το χρησιμοποιεί. Ένα χαρακτηριστικό σχηματικό παράδειγμα εφαρμογής του doctor blade κατά τη μέθοδο εκτύπωσης της βαθυτυπίας αποτελούν οι παρακάτω εικόνες (όπως φαίνεται στις εικόνες 49, 50, 51). Παράγοντας ποιοτικής απόδοσης σε συνάρτηση με τη γωνία χάραξης του κυλίνδρου και της ταχύτητας παραγωγής αποτελεί η γωνία στήριξης και απόθεσης της λάμας του μαχαιριού πάνω στον χαραγμένο κύλινδρο ώστε να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα που είναι η απομάκρυνση του πλεονάζουσας ποσότητας μελανιού από το αχάρακτο μέρος του κυλίνδρου. Επιπλέον σημαντική είναι η τροποποιημένη ανάλογα επιφάνεια του επιχρωμιωμένου κυλίνδρου με τραχύτητα ανάλογη ώστε συνδυαστικά με την φύση του ίδιου του doctor blade, κεραμική, χημική επίστρωση της άκρης της λάμας καθώς και η σχηματική μορφή αυτής να δώσει το επιθυμητό παραγωγικά εκτυπωτικό αποτέλεσμα.



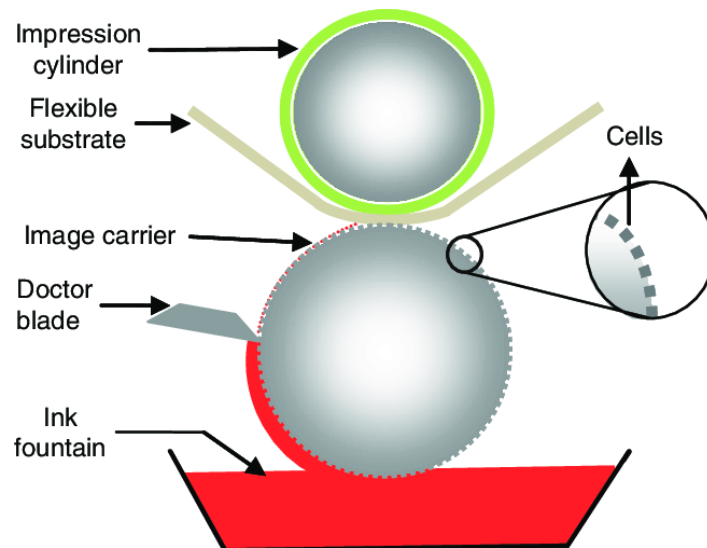
Εικόνα 49. doctor Blade

Note: [Rotogravure Printing Press Doctor Blade | Doctor Blade Manufacturer | DEKEJIE](#)



Εικόνα 50. Βασικά Βοηθητικά Μέρη Εκτύπωσης Βαθυτυπίας

Note: [Η ΒΑΘΥΤΥΠΙΑ](#)



Εικόνα 51. Βασικά Βοηθητικά Μέρη Εκτύπωσης Βαθυτυπίας

Note: [Basic structure of rotogravure printing technique. | Download Scientific Diagram](#)

6.5 Διαδικασία Μεταποίησης (Offline και Inline Converting) στον Τομέα της Βαθυτυπικής Εκτύπωσης Συσκευασίας

Μετά την ολοκλήρωση της εκτύπωσης, το εκτυπωμένο υπόστρωμα οδηγείται στα επόμενα στάδια επεξεργασίας, τα οποία ανάλογα με την σχεδιασμένη δομή του επιθυμητού τελικού έργου προσαρμόζονται στις ανάλογες απαιτήσεις του. Μερικά παραδείγματα από τις βασικές αυτές επόμενες διεργασίες όπως αναφέρθηκαν, μπορεί να περιλαμβάνουν, λαμινάρισμα, εφαρμογή ειδικών επιστρώσεων, επικέρωση, ρολλοκοπή, σακουλοποίηση ή αποστολή σε κυλινδρικά ρολά. Πρόκειται για παραγωγικά βήματα που λαμβάνουν χώρα Offline από τη διαδικασία της εκτύπωσης. Έχουν όμως αναπτυχθεί με τις τελευταίες σύγχρονες καινοτομίες και εφαρμογές όπως η εφαρμογή ειδικών επιστρώσεων και ειδικών εκτυπώσεων όπως είναι η εφαρμογή unique coding, laser scoring όπου είναι εφικτό με ειδικό σχεδιασμό και εφόσον το επιτρέπουν οι συνθήκες να εφαρμοστεί στην βαθυτυπία παράλληλα με την βασική εκτύπωση.

Για την εκτύπωση βαθυτυπίας με inline μεταποίηση, Gravure printing & Converting (inline), χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί μία ολοκληρωμένη βιομηχανική μέθοδο παραγωγής συσκευασιών από χαρτί ή χαρτόνι, η οποία πραγματοποιείται σε μία ενιαία και συνεχή παραγωγική γραμμή. Η διαδικασία βασίζεται στην άμεση μεταφορά της εκτυπωμένης εικόνας σε συνεχές υπόστρωμα, η οποία ακολουθείται από στάδια μετατροπής, όπως κοπή με μήτρα, χάραξη και ανάγλυφη διαμόρφωση (embossing), καθώς και τελικές διεργασίες φύλλωσης ή επανατύλιξης.

Ο αρθρωτός σχεδιασμός σύγχρονων μηχανών εκτύπωσης βαθυτυπίας και μεταποίησης επιτρέπει στους χρήστες να καλύπτουν τόσο τις τρέχουσες όσο και τις μελλοντικές ανάγκες της αγοράς. Προηγμένα συστήματα ελέγχου ευθυγράμμισης, παρακολούθησης ποιότητας και απόρριψης ελαττωματικών τεμαχίων, σε συνδυασμό με αυτοματοποιημένη επόμενη μεταποίηση όπως είναι το λαμινάρισμα, ρολλοκοπή, σακουλοποίηση, συσκευασία και παλετοποίηση, έχουν καταστήσει τις συγκεκριμένες μηχανές βαθυτυπίας ως σημείο αναφοράς σε παγκόσμιο επίπεδο (Bobst, n.d.).

6.5.1 Πλεονεκτήματα της Βαθυτυπικής Εκτύπωσης (Rotogravure)

Η εκτύπωση βαθυτυπίας και μεταποίηση του παραγόμενου υλικού συσκευασίας μεγιστοποιεί την προστιθέμενη αξία του. Η δυνατότητα εκτύπωσης έντονων και κορεσμένων χρωμάτων, συμπεριλαμβανομένων μεταλλικών ή υψηλής χρωστικής μελανιών, σε συνδυασμό με υψηλές ταχύτητες παραγωγής, καθιστά τη μέθοδο ιδανική για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή ποιότητα εικόνας και σύνθετες μεταποιητικές διεργασίες. Η ανθεκτικότητα των εκτυπωτικών κύλινδρων καθιστά τη μέθοδο ιδιαίτερα αποδοτική για μεγάλες ή επαναλαμβανόμενες παραγωγές, προσφέροντας σημαντικά οικονομικά πλεονεκτήματα έναντι άλλων τεχνολογιών.

Η βαθυτυπική εκτύπωση θεωρείται μία από τις μεθόδους με την υψηλότερη ποιότητα αναπαραγωγής εικόνας στον τομέα των εμπορικών εκτυπώσεων συσκευασίας. Οι χαραγμένοι κύλινδροι επιτρέπουν την απόδοση υψηλής χρωματικής πυκνότητας και εξαιρετικά ομαλών διαβαθμίσεων, από τις πιο ανοιχτές αποχρώσεις έως τις βαθύτερες σκιές.

Η μέθοδος υποστηρίζει ιδιαίτερα υψηλές ταχύτητες εκτύπωσης, οι οποίες δύνανται να φτάσουν σε ορισμένες περιπτώσεις έως και τα 500 μέτρα το λεπτό, σε συνδυασμό με μεγάλο εύρος εκτυπώσιμου πλάτους υλικού υποστρώματος. Τα μεγάλα πλάτη επιτρέπουν τη μεγαλύτερη δυνατή παραγωγή ποσότητας εκτύπωσης με μεταγενέστερη μεταποίηση κοπής του υλικού, συμβάλλοντας στην επιτάχυνση της παραγωγικής διαδικασίας, συμβάλλοντας δυναμικά στην παραγωγή των μέγιστων δυνατών ποσοτήτων σε τετραγωνικά μέτρα στον μικρότερο δυνατό χρόνο με το καλύτερο δυνατόν ποιοτικό αποτέλεσμα. Η ποιότητα εκτύπωσης στη βαθυτυπία διατηρείται σταθερή ακόμη και σε εκτεταμένες παραγωγικές διαδρομές. Οι εκτυπωτικοί κύλινδροι παρουσιάζουν υψηλή αντοχή, με δυνατότητα παραγωγής έως και ενός εκατομμυρίου γραμμικών μέτρων χωρίς αισθητή υποβάθμιση της ποιότητας, πλεονέκτημα που δεν παρατηρείται στον ίδιο βαθμό σε άλλες μεθόδους, όπως η φλεξογραφία.

Η βαθυτυπική εκτύπωση είναι συμβατή με ευρύ φάσμα υποστρωμάτων, όπως πολυαιθυλένιο, πολυπροπυλένιο, πολυεστέρα, BOPP και άλλα εύκαμπτα υλικά. Παράλληλα, υποστηρίζει την εφαρμογή εξειδικευμένων φινιρισμάτων, όπως ματ επιστρώσεις για αισθητικά αναβαθμισμένο αποτέλεσμα, καθώς και ειδικών μελανιών,

συμπεριλαμβανομένων μεταλλικών ή χρωμάτων ειδικών προδιαγραφών. Αποτελεί προσαρμόσιμη επιλογή παραγωγής βιώσιμων υλικών, καθότι η εκτύπωση βαθυτυπίας και ιδιαίτερα της εύκαμπτης συσκευασίας δίνει ευελιξία επιλογής γκάμας υλικών, αυξάνοντας έτσι την δεξαμενή επιλογών με υλικά που στοχεύουν σε βιώσιμες λύσεις με ποιοτικά άριστη απόδοση εκτύπωσης και μεταποίησης.

Παρά το αυξημένο αρχικό κόστος εγκατάστασης, η βαθυτυπική εκτύπωση καθίσταται ιδιαίτερα αποδοτική σε παραγωγές μεγάλου όγκου, καθώς το κόστος ανά μονάδα μειώνεται σημαντικά με την αύξηση της παραγωγής.

6.5.2 Μειονεκτήματα της Βαθυτυπικής Εκτύπωσης (Rotogravure)

Η χάραξη των εκτυπωτικών κυλίνδρων συνεπάγεται σημαντικό αρχικό υψηλό κόστος, το οποίο, ωστόσο, αντισταθμίζεται από την υψηλή ποιότητα, τη σταθερότητα και τη διάρκεια ζωής των κυλίνδρων, καθιστώντας τη μέθοδο οικονομικά βιώσιμη κυρίως για μεγάλες παραγωγικές ποσότητες, παρόλα αυτά παραμένουν ευαίσθητοι σε πιθανές φθορές όπως χτυπήματα των οποίων η επιδιόρθωση απαιτεί την ολοκληρωτική τους παραγωγή και όχι την κατά τόπους εφαρμογή διόρθωσης.

Η διαδικασία προετοιμασίας των κυλίνδρων απαιτεί αυξημένο χρόνο, καθώς βασίζεται σε εξειδικευμένες τεχνικές. Το στοιχείο αυτό μπορεί να επηρεάσει τους χρόνους παράδοσης, ιδίως σε έργα με αυστηρά χρονοδιαγράμματα.

Οι εικόνες στη βαθυτυπική εκτύπωση αποδίδονται μέσω ημιτονικών δομών, οι οποίες ενδέχεται να είναι ορατές με γυμνό μάτι σε ορισμένες περιπτώσεις. Η προσεκτική επιλογή και ρύθμιση του συνδυασμού μελανιού και υποστρώματος μπορεί να περιορίσει το φαινόμενο, ιδίως σε περιοχές συμπαγούς χρώματος (Printpack, 2023).

Πιο σημαντικές κρίνονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η χρήση διαλυτών στα μελάνια και η ανάγκη για επιχρωμίωση των κυλίνδρων λόγω φθοράς μπορεί να έχει δυσμενείς επιβαρυντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας καινοτόμων λύσεων κατά της εκτύπωσης όπως είναι η απορρόφηση και ανακύκλωση του χρησιμοποιούμενου διαλύτη όσο και η ανάπτυξη της της χημικής σύστασης των μελανιών για την απομόνωση ή και αφαίρεση των βλαβερών και επιβαρυντικών

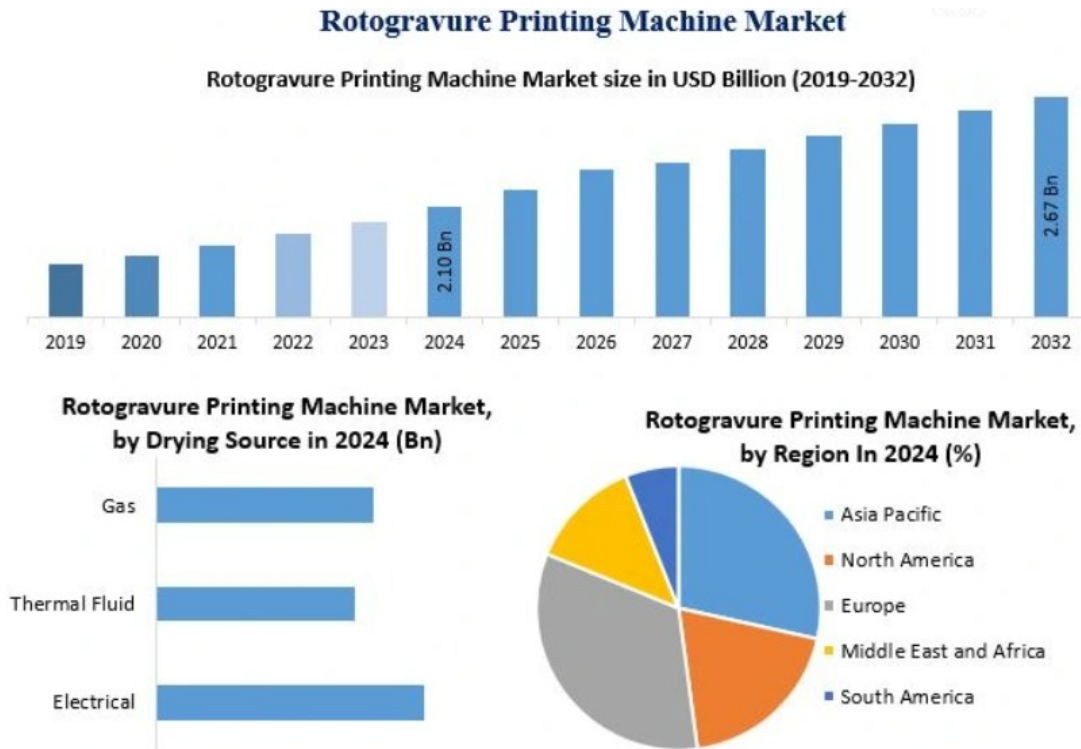
στοιχείων στην υπάρχουσα σύσταση των μελανιών καθώς και η προώθηση μελανιών με διαφορετική σύσταση όπως είναι μελάνια πολυουρεθάνης και νερού έναντι των νιτροκυτταρινικών που χρησιμοποιούνται μέχρι τώρα, αποτελούν σημαντικά βήματα ανάπτυξης για μια βιώσιμη παραγωγή φιλική προ το περιβάλλον (Khandaker, 2024).

Συνολικά, η βαθυτυπική εκτύπωση διακρίνεται για την εξαιρετική ποιότητα και την υψηλή ευελιξία εφαρμογών, γεγονός που την καθιστά μέθοδο προτίμησης στο βιομηχανικό τομέα παραγωγής της εύκαμπτης συσκευασίας. Η δυνατότητα παραγωγής μεγάλων όγκων με σταθερά υψηλό αισθητικό και τεχνικό αποτέλεσμα επιβεβαιώνει τη σημασία της ως βασικής τεχνολογίας στη σύγχρονη βιομηχανία συσκευασίας (printpack, 2023).

6.5.3 Ο Ρόλος της Βαθυτυπίας στη Μαζική Παραγωγή και Προβλέψεις Ανάπτυξης

Η βιομηχανική παραγωγή της εκτύπωσης με βαθυτυπία εκτιμάται ότι θα παρουσιάσει σταθερή αναπτυξιακή πορεία κατά τα προσεχή έτη. Η αυξανόμενη ανάγκη για προηγμένες λύσεις συσκευασίας, σε συνδυασμό με τη διεύρυνση του ηλεκτρονικού εμπορίου, αναμένεται να λειτουργήσει ως βασικός παράγοντας ενίσχυσης της ζήτησης. Ιδιαίτερα οι τομείς της λιανικής συσκευασίας και της συσκευασίας τροφίμων υιοθετούν ευρέως την παραγωγή εκτύπωσης με τη μέθοδο της βαθυτυπίας, λόγω της ικανότητάς της να αποδίδει εκτυπώσεις υψηλής ανάλυσης, έντονης χρωματικής πιστότητας και σταθερής ποιότητας.

Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες της διεθνούς αγοράς, η παγκόσμια αγορά μηχανών βαθυτυπικής εκτύπωσης αποτιμήθηκε σε περίπου 2,10 δισεκατομμύρια δολάρια το 2024, ενώ προβλέπεται να παρουσιάσει σταθερή αναπτυξιακή πορεία έως το 2032, με μέσο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης (CAGR) περίπου 3% (όπως φαίνεται στην εικόνα 52). Η εξέλιξη αυτή συνδέεται άμεσα με τη διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση για εύκαμπτες συσκευασίες υψηλής ποιότητας, την ανάπτυξη της βιομηχανίας τροφίμων και καταναλωτικών προϊόντων, καθώς και την ανάγκη για αυτοματοποίηση και βελτιστοποίηση των παραγωγικών διαδικασιών.



Εικόνα 52. Πορεία Αγοράς Βαθυτυπικών Μηχανών

Note: [Rotogravure Printing Machine Market - Forecast](#)

Σε γεωγραφικό επίπεδο, η ευρωπαϊκή αγορά διατηρεί ισχυρή παρουσία στον τομέα της βαθυτυπίας λόγω της υψηλής τεχνογνωσίας και της ύπαρξης σημαντικών κατασκευαστών εκτυπωτικού εξοπλισμού. Ωστόσο, ιδιαίτερα δυναμική ανάπτυξη παρουσιάζει και η περιοχή της Ασίας-Ειρηνικού, εξαιτίας της αυξημένης βιομηχανικής παραγωγής, της αστικοποίησης και της ενίσχυσης της καταναλωτικής ζήτησης για συσκευασμένα προϊόντα (maximizemarketresearch, 2025).

Οι μελλοντικές αναπτυξιακές τάσεις στον τομέα της βαθυτυπίας διαμορφώνονται από τεχνολογικούς, οικονομικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Έχει υπολογισθεί ότι οι μεσαίου και μεγάλου μεγέθους επιχειρήσεις βαθυτυπικής εκτύπωσης συσκευασίας θα ενισχύσουν περαιτέρω τη θέση τους στην αγορά, αξιοποιώντας τις οικονομίες κλίμακας και επενδύοντας σε εξοπλισμό υψηλής απόδοσης. Ιδιαίτερη σημασία αποδίδεται στον τομέα της συσκευασίας ιδιαίτερων κατηγοριών όπως είναι των καπνικών προϊόντων, ο

οποίος λειτουργεί ως βασικός μοχλός ζήτησης για μεγάλους όγκους παραγωγής με αυστηρές προδιαγραφές ποιότητας και ομοιομορφίας.

Οι επιμέρους κλάδοι όπως των τροφίμων, φαρμακευτικών, καλλυντικών και απορρυπαντικών προϊόντων στρέφονται ολοένα και περισσότερο προς λύσεις συσκευασίας με μειωμένο περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Η εξέλιξη αυτή οδηγεί τις επιχειρήσεις βαθυτυπίας στη σταδιακή υιοθέτηση βιώσιμων πρακτικών, τόσο ως προς την επιλογή υλικών και μελανιών όσο και ως προς τον εκσυγχρονισμό των εκτυπωτικών εγκαταστάσεων, με στόχο τη συμμόρφωση με τις αρχές της περιβαλλοντικής υπευθυνότητας (Kdwpack, 2026).

Με βάση δεδομένα ερευνών αγοράς, η παγκόσμια αγορά βαθυτυπικής εκτύπωσης προβλέπεται να αναπτυχθεί με σύνθετο ετήσιο ρυθμό αύξησης (CAGR) που κυμαίνεται μεταξύ 3,5% και 5% κατά την επόμενη δεκαετία. Η εκτιμώμενη αυτή αύξηση υποστηρίζεται από σειρά παραγόντων, όπως η συνεχής τεχνολογική εξέλιξη των εκτυπωτικών συστημάτων, η οποία συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητας εκτύπωσης και στη μείωση των αποβλήτων παραγωγής, καθώς και οι πρωτοβουλίες βιωσιμότητας που προωθούν τη χρήση φιλικότερων προς το περιβάλλον υλικών και διεργασιών. Επιπλέον, η σταδιακή διεύρυνση του πεδίου εφαρμογών της βαθυτυπίας πέρα από τις παραδοσιακές χρήσεις ενισχύει περαιτέρω τη δυναμική της αγοράς (Desai, 2026).

6.5.4 Αναδυόμενες Καινοτόμες Εφαρμογές

Η αγορά της βαθυτυπικής εκτύπωσης αναμένεται να συνεχίσει την αναπτυξιακή της πορεία, με τις επιχειρήσεις του κλάδου να προσαρμόζονται στις σύγχρονες απαιτήσεις που απορρέουν από τη βιωσιμότητα, την τεχνολογική καινοτομία και τις μεταβαλλόμενες καταναλωτικές προτιμήσεις.

Σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της ανταγωνιστικότητας της βαθυτυπίας διαδραματίζει η τεχνολογική εξέλιξη των εκτυπωτικών συστημάτων. Οι σύγχρονες μηχανές ενσωματώνουν αυτοματοποιημένα συστήματα ελέγχου register, ηλεκτρονικούς άξονες (Electronic Line Shaft – ELS), συστήματα αυτόματης αλλαγής κυλίνδρων, ψηφιακή παρακολούθηση παραγωγής και προηγμένους μηχανισμούς ποιοτικού ελέγχου. Οι τεχνολογίες αυτές συμβάλλουν στη μείωση της φύρας, στη βελτίωση της ακρίβειας

εκτύπωσης και στην ταχύτερη εναλλαγή εργασιών, ενισχύοντας την αποδοτικότητα των μονάδων converting.

Παράλληλα, η αυξανόμενη απαίτηση για βιώσιμες μορφές συσκευασίας επηρεάζει σημαντικά την αγορά της βαθυτυπίας. Η μετάβαση προς χαρτοβασισμένα υποστρώματα, οι περιορισμοί στη χρήση μη ανακυκλώσιμων υλικών και η ανάγκη συμμόρφωσης με περιβαλλοντικές κανονιστικές απαιτήσεις δημιουργούν νέες συνθήκες ανάπτυξης για τις βαθυτυπικές εφαρμογές. Οι βιομηχανίες συσκευασίας επενδύουν ολοένα και περισσότερο σε λύσεις εξοικονόμησης ενέργειας, ανάκτησης διαλυτών και αυτοματοποιημένης διαχείρισης παραγωγής, ενσωματώνοντας τις αρχές της Βιομηχανίας 4.0 στις γραμμές παραγωγής (maximizemarketresearch, 2025).

Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στις εξελίξεις του κλάδου διαδραματίζει η εφαρμογή συστημάτων ποιοτικής παρακολούθησης της παραγόμενης ποιότητας στις βαθυτυπικές μηχανές εκτύπωσης, με κυρίαρχο παράδειγμα την τεχνολογία εφαρμογής παρακολούθησης καμερών με τη χρήση τεχνητής νοημοσύνης. Η τεχνολογία αυτή αποτελεί βασική πλατφόρμα εκσυγχρονισμού, καθώς συμβάλλει στη βελτίωση της ακρίβειας, της σταθερότητας και της λειτουργικής ευελιξίας των εκτυπωτικών διεργασιών αλλά και των μετέπειτα διεργασιών, επιτρέποντας μείωση της φύρας με συνέπεια την αυξημένη παραγωγικότητα.

Προβλέπεται αύξηση της ζήτησης για βαθυτυπικές μηχανές μεγάλου πλάτους, οι οποίες ανταποκρίνονται στις ανάγκες μαζικής παραγωγής συσκευασιών, ιδιαίτερα στον τομέα της εύκαμπτης συσκευασίας. Η ανάπτυξη αυτή συνδέεται άμεσα με την απαίτηση για υψηλής ποιότητας εκτυπώσεις σε πολυστρωματικά υλικά συσκευασίας. Οι γραμμές παραγωγής βαθυτυπίας για τον κλάδο της εύκαμπτης συσκευασίας αναμένεται να εξελιχθούν προς πιο ολοκληρωμένα και σύνθετα συστήματα, ενσωματώνοντας επιπρόσθετες διεργασίες, όπως ο inline έλεγχος χρωματικής απόδοσης αλλά και τεχνικής αξιολόγησης της ίδια της μηχανής κατά την παραγωγή. Η εξέλιξη αυτή καθιστά αναγκαία την ευρύτερη χρήση προηγμένων συστημάτων διαχείρισης εκτυπωτικών μηχανών, καθώς και απομακρυσμένων υπηρεσιών τεχνικής υποστήριξης, με σκοπό τη βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας και τη διασφάλιση της ποιότητας του τελικού προϊόντος (Kdwpack, 2026).

Καθώς ο κλάδος της βαθυτυπίας εξελίσσεται, παρατηρείται η σταδιακή υιοθέτηση καινοτόμων εφαρμογών που υπερβαίνουν τα παραδοσιακά όρια χρήσης της τεχνολογίας. Στη σύγχρονη βιομηχανική πρακτική, η βαθυτυπία αξιοποιείται σε ένα ευρύ φάσμα τομέων, ανταποκρινόμενη στις αυξανόμενες απαιτήσεις για ποιότητα, ακρίβεια και αισθητική υπεροχή.

Η βαθυτυπία αποκτά ολοένα και μεγαλύτερη σημασία, κυρίως στη βιομηχανία τροφίμων, όπου η ανάγκη για σύνθετα γραφικά, έντονα χρώματα και υψηλή οπτική ελκυστικότητα είναι καθοριστική για τη διαφοροποίηση των προϊόντων στο σημείο πώλησης. Παράλληλα, η παραγωγή ετικετών και η διακοσμητική εκτύπωση επωφελούνται από τη δυνατότητα της βαθυτυπίας να αποδίδει υψηλή ανάλυση και λεπτομερή γραφικά στοιχεία, ενισχύοντας την ταυτότητα και την αναγνωρισιμότητα των εμπορικών σημάτων. Στον τομέα των Cosmetics και House care, η βαθυτυπία συμβάλλει ουσιαστικά στη δημιουργία συσκευασιών που ανταποκρίνονται σε αυστηρά κανονιστικά πλαίσια, διασφαλίζοντας ταυτόχρονα ακρίβεια, αναγνωσιμότητα και αισθητική συνέπεια.

Η στροφή προς αυτές τις αναδυόμενες εφαρμογές αναδεικνύει την προσαρμοστικότητα και τη διαχρονική αξία της βαθυτυπίας. Μέσω της αξιοποίησης της τεχνολογικής προόδου και της ευθυγράμμισης με τις εξελισσόμενες ανάγκες της αγοράς, ο κλάδος της βαθυτυπικής εκτύπωσης δεν περιορίζεται στη διατήρηση της υφιστάμενης θέσης του, αλλά επεκτείνεται δυναμικά σε νέα πεδία εφαρμογής (Desai, 2026).

Η βαθυτυπία εξακολουθεί να αποτελεί βασικό πυλώνα της βιομηχανίας converting και εύκαμπτης συσκευασίας, συνδυάζοντας υψηλή ποιότητα εκτύπωσης, παραγωγική αποδοτικότητα και δυνατότητες εκτεταμένης αυτοματοποίησης. Η ενσωμάτωση ψηφιακών τεχνολογιών, συστημάτων παρακολούθησης παραγωγής και έξυπνων μηχανισμών ελέγχου αναμένεται να ενισχύσει περαιτέρω τον ρόλο της στο πλαίσιο της ψηφιακής και βιώσιμης βιομηχανικής μετάβασης (maximizemarketresearch, 2025).

7. Ψηφιακός Μετασχηματισμός στη Βιομηχανία Εκτυπώσεων Βαθυτυπίας

7.1 Ορισμός και Σημασία του Ψηφιακού Μετασχηματισμού

Παρότι οι έννοιες «ψηφιακός μετασχηματισμός», «ψηφιοποίηση» και «ψηφιακή καινοτομία» χρησιμοποιούνται συχνά ως ταυτόσημες, κρίνεται απαραίτητος ο σαφής εννοιολογικός τους διαχωρισμός, καθώς αποτυπώνουν διαφορετικές πτυχές της τεχνολογικής εξέλιξης. Η ψηφιοποίηση αναφέρεται στη διαδικασία μετατροπής αναλογικών δεδομένων και πληροφοριών σε ψηφιακή μορφή. Πρόκειται για ένα θεμελιώδες τεχνικό στάδιο, το οποίο λειτουργεί ως προϋπόθεση για την περαιτέρω αξιοποίηση των ψηφιακών τεχνολογιών. Ωστόσο, η υλοποίησή της δεν συνεπάγεται από μόνη της ουσιαστικές αλλαγές σε οργανωτικό ή στρατηγικό επίπεδο (Yoo και συν., 2010).

Η ψηφιακή καινοτομία σχετίζεται με τη δημιουργία νέας αξίας μέσω της αξιοποίησης ψηφιακών τεχνολογιών. Η έννοια αυτή εκφράζεται μέσα από την ανάπτυξη νέων προϊόντων, υπηρεσιών, τεχνολογιών ή ακόμη και νέων επιχειρηματικών μοντέλων (Morakanyane και συν., 2017).

Ο ψηφιακός μετασχηματισμός αποτελεί πλέον μια πολυδιάστατη διαδικασία οργάνωσης, τεχνολογικής και στρατηγικής μετάβασης, η οποία επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τον τρόπο λειτουργίας των επιχειρήσεων και κατά συνέπεια τον τρόπο με τον οποίο αποκτά επιπλέον αξία η βιομηχανική παραγωγή. Δεν περιορίζεται μόνο στην υιοθέτηση ψηφιακών εργαλείων, αλλά συνεπάγεται τη συνολική αναδιάρθρωση των επιχειρησιακών διαδικασιών, τη μεταβολή της οργανωσιακής κουλτούρας και την διαρκή εισαγωγή δεδομένων ως βασικού παράγοντα λήψης αποφάσεων (Vial, 2019).

Στο πλαίσιο της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης, ο ψηφιακός μετασχηματισμός λειτουργεί καταλυτικά για τη μετάβαση από παραδοσιακά, γραμμικά παραγωγικά

μοντέλα σε δυναμικά, διασυνδεδεμένα και ευφυή συστήματα παραγωγής. Η έννοια αυτή συνδέεται άμεσα με την ερμηνεία της Industry 4.0, όπου η παραγωγή βασίζεται σε κυβερνοφυσικά συστήματα, συνεχή ροή δεδομένων και υψηλό βαθμό αυτοματοποίησης (Kagermann και συν., 2013). Συνιστά μια ευρύτερη και ολιστική στρατηγική προσέγγιση, η οποία όχι μόνο ενσωματώνει την ψηφιοποίηση και την ψηφιακή καινοτομία, αλλά τις υπερβαίνει. Περιλαμβάνει βαθιές αλλαγές στην κουλτούρα οργάνωσης, στην ανάπτυξη δεξιοτήτων του ανθρώπινου δυναμικού, καθώς και στα συστήματα διοίκησης, με στόχο τη συνολική αναδιάρθρωση της επιχείρησης στο πλαίσιο της ψηφιακής εποχής (Morakanyane και συν., 2017). Παρότι οι τρεις αυτές έννοιες αλληλοσυμπληρώνονται, η συνδυασμένη και στρατηγικά ευθυγραμμισμένη εφαρμογή τους αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη διαμόρφωση βιομηχανιών ικανών να ανταποκριθούν αποτελεσματικά στις σύγχρονες τεχνολογικές και επιχειρησιακές απαιτήσεις.

Στη βιομηχανία εκτυπώσεων βαθυτυπίας, η σημασία του ψηφιακού μετασχηματισμού είναι ιδιαίτερα έντονη και πολυδιάστατη, καθώς πρόκειται για έναν κλάδο με υψηλές απαιτήσεις ακρίβειας, προετοιμασίας, ποιότητας και παραμέτρων μηχανικής παραγωγικότητας. Η ενσωμάτωση ψηφιακών τεχνολογιών επιτρέπει τη βελτιστοποίηση κρίσιμων διεργασιών, όπως η προεκτύπωση, ο προγραμματισμός, η λειτουργία αλλά και επικοινωνία των μηχανών, η ποιοτική και ποσοτική διαχείριση των χρωμάτων και η συνολική ποιοτική επιθεώρηση τόσο του ημιέτοιμου σε όλο το φάσμα του converting αλλά και του ίδιου του τελικού προϊόντος, οδηγώντας σε σημαντική πρόβλεψη και μείωση σφαλμάτων και αποβλήτων. Παράλληλα, η δυνατότητα συλλογής και ανάλυσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο ενισχύει τη διαφάνεια και τον έλεγχο της προετοιμασίας αλλά και της παραγωγικής διαδικασίας εντοπίζοντας τα δυνατά αλλά κυρίως τα αδύνατα σημεία, πάντα σε χρόνο μικρότερο ώστε να αποφευχθεί πιθανή σπατάλη και φύρα κάθε τύπου (Frank και συν., 2019). Η στρατηγική σημασία δημιουργίας και χρήσης του ψηφιακού μετασχηματισμού εντοπίζεται έντονα στην ικανότητά του να ενισχύει την ανταγωνιστικότητα των επιχειρήσεων. Σε ένα περιβάλλον αυξανόμενων απαιτήσεων για όλο και περισσότερη εξατομίκευση προϊόντων, ταχύτερους χρόνους παραγωγής και ασφαλέστερης παράδοσης καθώς και εφαρμογές βιώσιμων πρακτικών παραγωγής, οι επιχειρήσεις που υιοθετούν ψηφιακές τεχνολογίες αποκτούν σημαντικό πλεονέκτημα έναντι των ανταγωνιστών τους (Porter & Heppelmann, 2016).

7.2 Στρατηγικές και Τεχνολογίες Ψηφιακού Μετασχηματισμού

Η στοχευμένη υιοθέτηση στρατηγικών ψηφιακού μετασχηματισμού δύναται να επιφέρει πολλαπλά και μετρήσιμα οφέλη για τις σύγχρονες επιχειρήσεις, ειδικότερα για τη βιομηχανία του κλάδου των εκτυπώσεων, άμεσα συνδεδεμένη με την ενίσχυση της παραγωγικής απόδοσης, την μείωση του λειτουργικού κόστους, την αναβάθμιση της εμπειρίας του πελάτη, καθώς και την αύξηση της ευελιξίας και της ανταγωνιστικότητας (Vial, 2019). Τόσο στην Ελλάδα όσο και σε διεθνές επίπεδο, μεγάλος αριθμός βιομηχανιών προχωρούν στην ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογικών λύσεων, όπως τα συστήματα ERP (Enterprise Resource Planning), οι εφαρμογές αυτοματοποίησης επιχειρησιακών διαδικασιών (Robotic Process Automation – RPA) και τεχνικές μηχανικής μάθησης, με στόχο την αυτοματοποίηση κρίσιμων λειτουργιών και τη δημιουργία βιώσιμου ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος.

Οι επιχειρήσεις που υιοθετούν ολοκληρωμένες ψηφιακές στρατηγικές παρουσιάζουν σημαντικά υψηλότερα ποσοστά επιτυχίας, φθάνοντας έως και 60% μεγαλύτερη πιθανότητα επίτευξης των επιχειρησιακών τους στόχων σε σύγκριση με επιχειρήσεις που παραμένουν στάσιμες σε παραδοσιακά μοντέλα λειτουργίας (McKinsey, 2020). Ο ψηφιακός μετασχηματισμός όπως ήδη έχει αναφερθεί δεν περιορίζεται σε επιμέρους λειτουργικές βελτιώσεις, αλλά επιδρά στο σύνολο της επιχείρησης, καθιστώντας αναγκαίο τον ανασχεδιασμό των οργανωτικών δομών, των ρόλων και των διαδικασιών.

Η υλοποίηση του ψηφιακού μετασχηματισμού στη βιομηχανία βαθυτυπίας βασίζεται στην αξιοποίηση ενός συνόλου τεχνολογιών που λειτουργούν συμπληρωματικά και διαμορφώνουν ένα ολοκληρωμένο ψηφιακό οικοσύστημα παραγωγής. Κεντρικό ρόλο σε αυτό το οικοσύστημα διαδραματίζουν τα πληροφοριακά συστήματα διαχείρισης επιχειρησιακών πόρων (ERP), τα συστήματα εκτέλεσης παραγωγής (MES), τα πληροφοριακά συστήματα διοίκησης, οι υποδομές cloud computing και οι τεχνικές προγνωστικής ανάλυσης. Η εξέλιξη του ψηφιακού μετασχηματισμού στη βαθυτυπία αναμένεται να επηρεαστεί και από την περαιτέρω ανάπτυξη τεχνολογιών της τεχνητής νοημοσύνης, τη ρομποτική, το edge computing και το blockchain. Η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης θα επιτρέψει την ανάπτυξη ακόμη πιο αυτόνομων συστημάτων

παραγωγής, τα οποία θα μπορούν να λαμβάνουν αποφάσεις χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Το edge computing θα συμβάλει στη μείωση της καθυστέρησης στην επεξεργασία δεδομένων, επιτρέποντας την άμεση ανταπόκριση σε μεταβολές της παραγωγής. Η χρήση τεχνολογιών blockchain ενδέχεται να ενισχύσει τη διαφάνεια και την ιχνηλασιμότητα στην εφοδιαστική αλυσίδα της συσκευασίας.

7.2.1 Συστήματα Διαχείρισης Επιχειρησιακών Πόρων (ERP, Enterprise Resource Planning)

Στο σύγχρονο βιομηχανικό περιβάλλον της εκτύπωσης και της εύκαμπτης συσκευασίας, τα ολοκληρωμένα συστήματα ERP διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην ενοποίηση και βελτιστοποίηση των επιχειρησιακών διαδικασιών. Ειδικότερα, τα cloud-based ERP συστήματα καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Η ευρεία αυτή εφαρμογή καθιστά τα ERP συστήματα βασικό εργαλείο για επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται τόσο στη βαθυτυπία όσο και στο συνολικό converting της συσκευασίας (Flexibizerp, n.d.).

Τα συστήματα ERP αποτελούν τη βασική πλατφόρμα ενοποίησης των επιχειρησιακών λειτουργιών, καθώς επιτρέπουν τη διασύνδεση των τμημάτων παραγωγής, προμηθειών, αποθήκευσης και διανομής. Στη βιομηχανία εκτυπώσεων, συμβάλλουν στη βελτιστοποίηση του συνόλου των διεργασιών μιας βιομηχανίας, παρέχοντας τη δυνατότητα τόσο για την ασφαλή πορεία ενεργειών και διεργασιών κάθε τμήματος αλλά και για την άμεση συνδεσιμότητα όλων των διαφορετικών τμημάτων σε μία κοινή βάση (Monostori και συν., 2016). Κυριαρχούν στο σύγχρονο βιομηχανικό περιβάλλον καθώς αποτελούν τον κρισιμότερο παράγοντα γρήγορης περάτωσης της παραγωγικής και όχι μόνο διαδικασίας, απλοποιώντας επιμέρους διαδικασίες που μέχρι το πρόσφατο παρόν αποτελούσαν σύνθετες, χρονοβόρες και ιδιαίτερα πολύπλοκες καθώς θα έπρεπε να μεσολαβεί πάντα ο παράγοντας άνθρωπος προκειμένου να πραγματοποιηθούν.

Τα σύγχρονα ERP συστήματα αναπτύσσονται με αρθρωτή δομή, επιτρέποντας την ευέλικτη υλοποίηση επιμέρους λειτουργικών ενοτήτων, όπως η διαχείριση αποθεμάτων, η λογιστική παρακολούθηση, ο έλεγχος ποιότητας, η κοστολόγηση, οι πωλήσεις και η διανομή. Η προσέγγιση αυτή δίνει τη δυνατότητα στις επιχειρήσεις να εφαρμόζουν σταδιακά το σύστημα, χωρίς την ανάγκη ταυτόχρονης ενεργοποίησης όλων των

λειτουργιών, διατηρώντας παράλληλα πλήρη διασύνδεση μεταξύ των επιμέρους
ενοτήτων (Flexibizerp, n.d.).

Σε τεχνολογικό επίπεδο, οι σύγχρονες πλατφόρμες ERP βασίζονται σε προηγμένα
πληροφοριακά περιβάλλοντα, όπως αρχιτεκτονικές .NET για το Front End και βάσεις
δεδομένων υψηλής απόδοσης, ενώ λειτουργούν σε υποδομές cloud. Η αξιοποίηση του
cloud computing επιτρέπει την απομακρυσμένη πρόσβαση σε πραγματικό χρόνο μέσω
φορητών συσκευών, υποστηρίζοντας τη λειτουργία πολλαπλών παραγωγικών μονάδων
και διευκολύνοντας τη λήψη αποφάσεων ανεξαρτήτως γεωγραφικής θέσης.

Σε επίπεδο λειτουργικότητας, τα ERP συστήματα καλύπτουν κρίσιμες επιχειρησιακές
διεργασίες, όπως η κοστολόγηση και η διαμόρφωση προσφορών, η διαχείριση εντολών
παραγωγής, δημιουργία job cards, η παρακολούθηση παραγγελιών, η διαχείριση
προμηθειών και αποθηκών, ο προγραμματισμός παραγωγής, η διαχείριση των μέσων
εκτύπωσης (κυλίνδρων) και εργαλείων, ο ποιοτικός έλεγχος, η παρακολούθηση της
παραγωγής σε εξέλιξη (Work in Progress, WIP), καθώς και η συντήρηση εξοπλισμού.
Παράλληλα, ενσωματώνουν λειτουργίες χρηματοοικονομικής διαχείρισης, φορολογικής
συμμόρφωσης και παραγωγής αναφορών (MIS), παρέχοντας ένα ολοκληρωμένο
περιβάλλον διοίκησης (όπως φαίνεται στην εικόνα 53).



Εικόνα 53. Ενοποιημένο Σύστημα ERP

Notes: [Γιατί Βιομηχανίες Επιλέγουν SAP Business One | infosupport.gr](https://www.infosupport.gr)

Η υιοθέτηση ενός τέτοιου συστήματος προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα για τις επιχειρήσεις του κλάδου. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνεται η ενίσχυση του ελέγχου αποθεμάτων μέσω τεχνολογιών όπως τα barcodes, καθώς και η πλήρης ιχνηλασιμότητα των τελικών προϊόντων έως το επίπεδο των πρώτων υλών. Επιπλέον, επιτυγχάνεται η διασύνδεση όλων των εμπλεκόμενων μερών (πελάτες, προμηθευτές, εργαζόμενοι), διευκολύνοντας τη συνεργασία και τη ροή πληροφοριών (Monostori και συν., 2016).

Ιδιαίτερη σημασία έχει και η δυνατότητα άμεσης πρόσβασης σε κρίσιμα δεδομένα από τη διοίκηση και τα στελέχη παραγωγής, γεγονός που επιτρέπει ταχύτερη και τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων. Η βελτίωση της ανταπόκρισης προς τους πελάτες, είτε αφορά την παροχή προσφορών είτε την ενημέρωση για την πορεία παραγωγής, ενισχύει την ποιότητα εξυπηρέτησης και την ανταγωνιστικότητα της επιχείρησης. Παράλληλα, η αυτοματοποίηση και η ενοποίηση των διαδικασιών συμβάλλουν στη μείωση του συνολικού κόστους ιδιοκτησίας και στη γρήγορη απόσβεση της επένδυσης.

Συνολικά, τα σύγχρονα ERP συστήματα αποτελούν κρίσιμο παράγοντα επιτυχίας για τις επιχειρήσεις της εκτύπωσης και της συσκευασίας, καθώς ενισχύουν τη διαφάνεια, την ακρίβεια και τον έλεγχο των δεδομένων μέσω τυποποιημένων αναφορών, ενώ παράλληλα υποστηρίζουν τη στρατηγική ανάπτυξη και τον ψηφιακό μετασχηματισμό του κλάδου. Η ευρεία εφαρμογή τους από κορυφαίες επιχειρήσεις της διεθνούς βιομηχανίας επιβεβαιώνει τη σημασία τους ως βασικού εργαλείου για τη μετάβαση σε ένα πιο αποδοτικό, διασυνδεδεμένο και ανταγωνιστικό παραγωγικό μοντέλο (Flexibizerp, n.d.).

7.2.2 Συστήματα Εκτέλεσης Παραγωγής (MES, Manufacturing Execution Systems)

Τα Συστήματα Εκτέλεσης Παραγωγής, Manufacturing Execution Systems, MES, λειτουργούν αποκλειστικά σε επίπεδο παραγωγικής διεργασίας, γεφυρώνοντας το χάσμα μεταξύ διοικητικών συστημάτων και εξοπλισμού παραγωγής, δίνοντας την ευκαιρία για επιτυχημένη επικοινωνία και αποτέλεσμα. Στο περιβάλλον της βαθυτυπίας καθώς και του συνολικού converting, τα MES επιτρέπουν την παρακολούθηση της παραγωγής σε πραγματικό χρόνο, την καταγραφή κρίσιμων παραμέτρων, όπως ταχύτητα εκτύπωσης,

την διάρκεια ζωής των κυλίνδρων και την κατανάλωση των μελανιών καθώς και τη διασφάλιση της ιχνηλασιμότητας. Η βασική διαφοροποίηση μεταξύ των MES και ERP εντοπίζεται στο επίπεδο λειτουργίας και στον χρονικό ορίζοντα των αποφάσεων που υποστηρίζουν. Τα συστήματα ERP λειτουργούν σε στρατηγικό και διοικητικό επίπεδο, αποτελούν συμπληρωματικά, αλλά διακριτά πληροφοριακά συστήματα, τα οποία εξυπηρετούν διαφορετικά επίπεδα και ανάγκες της επιχείρησης. Τα ERP βασίζονται κυρίως σε συγκεντρωτικά και ιστορικά δεδομένα, τα οποία χρησιμοποιούνται για τον προγραμματισμό και τη λήψη στρατηγικών αποφάσεων. Τα Συστήματα MES αποτελούν θεμελιώδη συνιστώσα των σύγχρονων βιομηχανικών λειτουργιών, καθώς παρέχουν ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο διαχείρισης, ελέγχου και παρακολούθησης των δραστηριοτήτων που λαμβάνουν χώρα στην παραγωγή του εργοστασίου. Μέσω της λειτουργίας τους, τα συστήματα αυτά συμβάλλουν στη βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας, εξασφαλίζοντας αυξημένη διαφάνεια και άμεση πρόσβαση σε δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, γεγονός που ενισχύει τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων και τη συνολική αποδοτικότητα της επιχείρησης (Zuhlke, 2010).

Σε λειτουργικό επίπεδο, ένα MES αποτελεί μια ενιαία πλατφόρμα λογισμικού που διασυνδέει τον εξοπλισμό παραγωγής, το ανθρώπινο δυναμικό και τις επιμέρους διαδικασίες. Μέσω της συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων από πολλαπλές πηγές, όπως αισθητήρες, μηχανές και χειροκίνητες καταχωρήσεις, δημιουργείται μια ολοκληρωμένη και δυναμική απεικόνιση της παραγωγικής δραστηριότητας. Τα δεδομένα αυτά αξιοποιούνται για τον συνεχή έλεγχο των διεργασιών, την παρακολούθηση της εξέλιξης των εντολών παραγωγής και τον εντοπισμό σημείων που χρήζουν βελτίωσης.

Κεντρικό χαρακτηριστικό των MES αποτελεί η δυνατότητα παροχής πληροφόρησης σε πραγματικό χρόνο. Οι υπεύθυνοι παραγωγής μπορούν να εντοπίζουν άμεσα καθυστερήσεις ή σημεία συμφόρησης, να αξιολογούν την πρόοδο των εργασιών και να προβαίνουν σε διορθωτικές ενέργειες. Η δυνατότητα αυτή επιτρέπει την άμεση ανταπόκριση σε μεταβαλλόμενες συνθήκες της παραγωγής, όπως απρόβλεπτες βλάβες εξοπλισμού ή ελλείψεις πρώτων υλών, συμβάλλοντας στη μείωση των χρόνων διακοπής λειτουργίας και στη μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας.

Διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διασφάλιση της ποιότητας. Μέσω της επιβολής τυποποιημένων διαδικασιών και της συστηματικής καταγραφής κρίσιμων δεικτών απόδοσης, όπως οι χρόνοι αλλαγής, τα ποσοστά ελαττωμάτων και οι αποδόσεις παραγωγής, καθίσταται δυνατός ο εντοπισμός αποκλίσεων και η ανάλυση επαναλαμβανόμενων προβλημάτων. Τα δεδομένα αυτά υποστηρίζουν την εφαρμογή διορθωτικών ενεργειών και τη συνεχή βελτίωση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων (IDBS, 2025).

Η συμβολή των MES στην αύξηση της αποδοτικότητας είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς επιτρέπουν την αυτοματοποίηση χρονοβόρων και επιρρεπών σε σφάλματα διαδικασιών, όπως η εισαγωγή δεδομένων και η δημιουργία αναφορών. Η αυτοματοποίηση αυτή μειώνει το λειτουργικό φόρτο εργασίας, περιορίζει τα ανθρώπινα σφάλματα και διασφαλίζει την αξιοπιστία και ακρίβεια των διαθέσιμων πληροφοριών (Zuhlke, 2010).

Συνολικά, τα Συστήματα Εκτέλεσης Παραγωγής αποτελούν κρίσιμο εργαλείο για τη σύγχρονη βιομηχανία, ενισχύοντας τη διαφάνεια, την ποιότητα και την αποδοτικότητα των παραγωγικών διεργασιών. Καθώς οι απαιτήσεις της βιομηχανικής παραγωγής καθίστανται ολοένα και πιο σύνθετες και ανταγωνιστικές, η σημασία των MES αναμένεται να ενισχυθεί περαιτέρω, συμβάλλοντας στη συνεχή βελτίωση και στον ψηφιακό μετασχηματισμό των επιχειρήσεων.

Τα συστήματα ERP και MES δεν ανταγωνίζονται αλλά αλληλοσυμπληρώνονται. Τα ERP παρέχουν το στρατηγικό πλαίσιο και τον συνολικό συντονισμό της επιχείρησης, ενώ τα MES διασφαλίζουν την αποτελεσματική υλοποίηση των παραγωγικών διαδικασιών σε πραγματικό χρόνο. Η ενοποιημένη λειτουργία τους αποτελεί βασικό πυλώνα του ψηφιακού μετασχηματισμού και της ανάπτυξης των σύγχρονων «έξυπνων» εργοστασίων, ιδιαίτερα σε απαιτητικούς κλάδους όπως η βαθυτυπία και το converting της εύκαμπτης συσκευασίας.

7.2.3 Cloud Computing

Σημαντική τεχνολογική εφαρμογή αποτελεί το cloud computing. Η ραγδαία εξάπλωση των ψηφιακών τεχνολογιών κατά την τελευταία δεκαετία, και ιδιαίτερα κατά την περίοδο της πανδημίας COVID-19, επιτάχυνε σημαντικά τη μετάβαση των επιχειρήσεων προς

υποδομές cloud computing. Η ανάγκη για απομακρυσμένη εργασία, ασφαλή πρόσβαση σε δεδομένα και διασφάλιση της επιχειρησιακής συνέχειας οδήγησε οργανισμούς διεθνώς στην υιοθέτηση λύσεων που επιτρέπουν την αποθήκευση, διαχείριση και επεξεργασία πληροφοριών μέσω διαδικτυακών πλατφορμών, αντί των παραδοσιακών τοπικών υποδομών.

Το cloud computing αναφέρεται σε ένα πρότυπο παροχής υπολογιστικών πόρων, στο οποίο, δεδομένα, εφαρμογές και υπηρεσίες δεν αποθηκεύονται τοπικά σε φυσικά μέσα, όπως ο σκληρός δίσκος ενός υπολογιστή, αλλά φιλοξενούνται σε απομακρυσμένες υποδομές και είναι προσβάσιμα μέσω του διαδικτύου. Στο πλαίσιο αυτό, η χρήση του cloud επιτρέπει την απομακρυσμένη διαχείριση αρχείων και εφαρμογών, δίνοντας τη δυνατότητα πρόσβασης από οποιαδήποτε ψηφιακή συσκευή, ανεξαρτήτως τοποθεσίας (zisopoulos, n.d.).

Πρόκειται για κρίσιμη υποδομή για την αποθήκευση και επεξεργασία μεγάλων όγκων δεδομένων, κοινού ηλεκτρονικού χώρου πρόσβασης σε δεδομένα. Με τον τρόπο αυτό οι επιχειρήσεις μπορούν να αποκτήσουν πρόσβαση σε δεδομένα παραγωγής αλλά και να τα επεξεργάζονται ταυτόχρονα ακόμα και από διαφορετικές γεωγραφικές τοποθεσίες άμεσα, να εφαρμόζουν προηγμένες τεχνικές ανάλυσης και να υποστηρίζουν απομακρυσμένη διαχείριση εξοπλισμού. Στη διαδικασία του Prepress, αυτό μεταφράζεται σε δυνατότητα προετοιμασίας, επεξεργασίας και διαχείρισης των εισερχόμενων προς επεξεργασία αρχείων προς διαχωρισμό σε άμεσο και ωφέλιμο χρόνο καθώς με την χρήση του cloud μειώνεται και ο χρόνος ανταπόκρισης και επικοινωνίας των συμβαλλόμενων. Στη παραγωγή της βαθυτυπίας αλλά και του συνολικού Converting, υπάρχει δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου μηχανών, ανάλυσης ποιοτικών και ποσοτικών δεδομένων και υποστήριξης τεχνικών παρεμβάσεων (Armbrust και συν., 2010). Η τεχνολογία αυτή παρέχει τη δυνατότητα ταχείας καινοτομίας, κλιμακούμενων πόρων και οικονομιών κλίμακας, καθιστώντας την βασικό πυλώνα της Βιομηχανίας 4.0.

Η τεχνολογία αυτή αποτελεί βασικό πυλώνα της σύγχρονης βιομηχανικής παραγωγής, συμβάλλοντας στον μετασχηματισμό των βιομηχανικών δραστηριοτήτων σε παγκόσμιο επίπεδο και ιδιαίτερα στον κλάδο την εκτυπωτικής βιομηχανίας και του converting.

Μέσω του cloud computing παρέχονται προηγμένες δυνατότητες επεξεργασίας, αποθήκευσης και διασύνδεσης δεδομένων, οι οποίες ενισχύουν την ευελιξία και την αποδοτικότητα των επιχειρήσεων. Στο πλαίσιο της Βιομηχανίας 4.0, το cloud computing λειτουργεί ως κρίσιμη υποδομή που υποστηρίζει την ενσωμάτωση και αξιοποίηση καινοτόμων τεχνολογιών, επιτρέποντας στις επιχειρήσεις να προσαρμόζουν τις λειτουργίες τους και να ανταποκρίνονται αποτελεσματικά στις αυξανόμενες και μεταβαλλόμενες απαιτήσεις της αγοράς. Μέσω cloud υποδομών, τα δεδομένα αυτά μπορούν να συλλέγονται, να αποθηκεύονται και να αναλύονται κεντρικά, επιτρέποντας τη βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας και την ενίσχυση της λήψης αποφάσεων.

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του cloud computing είναι η αυξημένη δυνατότητα αξιοποίησης δεδομένων. Στη σύγχρονη βιομηχανία συσκευασίας, οι επιχειρήσεις παράγουν τεράστιες ποσότητες δεδομένων, τόσο δομημένων όσο και αδόμητων. Η τοπική αποθήκευση συχνά αδυνατεί να υποστηρίξει προηγμένες αναλυτικές εφαρμογές, ενώ οι cloud πλατφόρμες προσφέρουν ισχυρά εργαλεία ανάλυσης που επιτρέπουν την εξαγωγή κρίσιμων επιχειρησιακών συμπερασμάτων. Στο περιβάλλον της βαθυτυπίας, αυτό μεταφράζεται σε δυνατότητα πρόβλεψης αποκλίσεων ποιότητας, βελτιστοποίησης ρυθμίσεων μηχανών και μείωσης απορριμμάτων. Παράλληλα, η επεκτασιμότητα και η ευελιξία των cloud υποδομών επιτρέπουν στις επιχειρήσεις converting να προσαρμόζουν δυναμικά τους υπολογιστικούς τους πόρους ανάλογα με τις παραγωγικές ανάγκες. Σε περιόδους αυξημένης ζήτησης ή κατά την εισαγωγή νέων προϊόντων, οι απαιτήσεις σε αποθηκευτικό χώρο και επεξεργαστική ισχύ αυξάνονται σημαντικά. Το cloud επιτρέπει την άμεση κάλυψη αυτών των αναγκών χωρίς επενδύσεις σε φυσικές υποδομές. Επιπλέον, διευκολύνει την απομακρυσμένη πρόσβαση σε δεδομένα και συστήματα, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό για πολυεθνικές εταιρείες συσκευασίας με πολλαπλές παραγωγικές μονάδες. Η ενίσχυση της συνεργασίας μεταξύ διαφορετικών τμημάτων αποτελεί επίσης σημαντικό όφελος. Στο περιβάλλον της βαθυτυπίας και του converting, όπου η παραγωγή, η προεκτύπωση, ο ποιοτικός έλεγχος και η εφοδιαστική αλυσίδα πρέπει να λειτουργούν συντονισμένα, η κοινή πρόσβαση σε δεδομένα σε πραγματικό χρόνο επιτρέπει την καλύτερη επικοινωνία και ταχύτερη λήψη αποφάσεων. Ενδεικτικά, η άμεση ενημέρωση για την κατάσταση μιας παραγγελίας ή για πιθανές αποκλίσεις στην

παραγωγή μπορεί να μειώσει σημαντικά τους χρόνους απόκρισης και να βελτιώσει την εξυπηρέτηση πελατών.

Ένα ακόμη κρίσιμο πλεονέκτημα αφορά τη διασφάλιση της επιχειρησιακής συνέχειας. Σε αντίθεση με τα τοπικά συστήματα, τα οποία είναι ευάλωτα σε φυσικές καταστροφές ή τεχνικές αστοχίες, τα cloud περιβάλλοντα παρέχουν μηχανισμούς ανάκτησης δεδομένων και εφεδρικών αντιγράφων, εξασφαλίζοντας την αδιάλειπτη λειτουργία των επιχειρήσεων. Για τη βιομηχανία συσκευασίας, όπου η διακοπή παραγωγής μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές οικονομικές απώλειες, η δυνατότητα αυτή είναι καθοριστικής σημασίας (zisopoulos, n.d.).

Η αξιοποίηση τεχνικών predictive analytics επιτρέπει την πρόβλεψη μελλοντικών καταστάσεων βάσει ιστορικών δεδομένων. Στο πλαίσιο της παραγωγής, αυτό σημαίνει ότι μπορούν να προβλεφθούν πιθανές αστοχίες εξοπλισμού, αποκλίσεις ποιότητας ή και προβλέψεις για ανάγκες συντήρησης, μειώνοντας σημαντικά τους χρόνους διακοπής λειτουργίας στο ελάχιστο δυνατό (Lee και συν., 2015).

Σημαντική αναφορά παραμένει και η αρνητική πλευρά της υπερβολικής και αλόγιστης χρήσης του cloud computing καθώς η ενέργεια για την παραγωγή και χρήση των δεδομένων μπορεί να εκτοξευθεί σε επίπεδα ισόβαθμα με την υπό διαφορετικές συνθήκες παραγωγή έντυπου μέσου διακίνησης πληροφοριών.

Το cloud computing συμβάλλει στη μείωση του κόστους λειτουργίας, καθώς περιορίζει την ανάγκη επένδυσης σε υλικοτεχνικές υποδομές, εξοπλισμό και εξειδικευμένο προσωπικό. Αποτελεί θεμελιώδη τεχνολογική υποδομή για τον ψηφιακό μετασχηματισμό της βιομηχανίας εκτυπώσεων βαθυτυπίας και του converting εύκαμπτης συσκευασίας. Η ικανότητά του να υποστηρίζει την ανάλυση δεδομένων, την αυτοματοποίηση διαδικασιών, τη διασύνδεση συστημάτων και τη βελτίωση της επιχειρησιακής ευελιξίας το καθιστά κρίσιμο παράγοντα ανταγωνιστικότητας. Καθώς ο κλάδος μεταβαίνει προς πιο «έξυπνα» και διασυνδεδεμένα παραγωγικά περιβάλλοντα, η ενσωμάτωση cloud τεχνολογιών αναμένεται να διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των μελλοντικών βιομηχανικών προτύπων (zisopoulos, n.d.).

7.2.4 Edge Computing

Σε αντίθεση με την εφαρμογή και ερμηνεία του cloud Computing, η έννοια του Edge Computing αναφέρεται σε μια αρχιτεκτονική επεξεργασίας δεδομένων κατά την οποία η συλλογή και η ανάλυση πραγματοποιούνται τοπικά, κοντά στο σημείο παραγωγής των δεδομένων, δηλαδή στην «περιφέρεια» του δικτύου. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά μοντέλα, όπου η επεξεργασία μεταφέρεται σε απομακρυσμένα κέντρα δεδομένων, το Edge Computing επιτρέπει την άμεση αξιοποίηση των δεδομένων στο επίπεδο της παραγωγικής μονάδας, μειώνοντας σημαντικά την ενέργεια χρήσης, τον χρόνο απόκρισης ενισχύοντας την επιχειρησιακή αποδοτικότητα και συμβάλλοντας στη μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος.

Η τεχνολογία αυτή εφαρμόζεται εκτενώς σε βιομηχανικά περιβάλλοντα, όπως μονάδες παραγωγής, όπου η δομή τους απαιτεί την ανάγκη για ταχεία λήψη αποφάσεων και συνεχής παρακολούθηση των διεργασιών. Οι υποδομές edge μπορούν να εγκατασταθούν εντός των εγκαταστάσεων ή να υποστηρίζονται από παρόχους υπηρεσιών, προσφέροντας αυξημένη αξιοπιστία και βελτιωμένη συνδεσιμότητα. Μέσω της τοπικής επεξεργασίας, μειώνεται η εξάρτηση από το cloud για λειτουργίες που απαιτούν άμεση ανταπόκριση, ενώ παράλληλα διατηρείται η δυνατότητα διασύνδεσης με κεντρικά πληροφοριακά συστήματα (Penguinsolutions, 2026).

Η σχέση μεταξύ Edge Computing και Cloud Computing, όπως αναφέρθηκε, δεν είναι ταυτόσημη, θεωρείται αντίθετη ως προς την ερμηνεία, αλλά μπορεί να είναι συμπληρωματική. Στο cloud περιβάλλον, τα δεδομένα αποστέλλονται σε απομακρυσμένα κέντρα δεδομένων, ενώ στο edge η επεξεργασία πραγματοποιείται πλησιέστερα στην πηγή τους. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει τη μείωση της καθυστέρησης, τη βελτίωση της απόδοσης και την αποτελεσματικότερη διαχείριση μεγάλων όγκων δεδομένων. Ως εκ τούτου, το Edge Computing μπορεί να θεωρηθεί ως επέκταση του cloud, με τα δύο μοντέλα να συνδυάζονται στο πλαίσιο της Βιομηχανίας 4.0 για τη δημιουργία υβριδικών και ιδιαίτερα αποδοτικών υπολογιστικών υποδομών.

Στο βιομηχανικό περιβάλλον, το Edge Computing βασίζεται σε τρεις βασικούς άξονες: τη συνδεσιμότητα, την τοπική επεξεργασία και την ενορχήστρωση εφαρμογών. Αρχικά, εξασφαλίζεται η διασύνδεση με μηχανές, αισθητήρες και συστήματα παραγωγής,

επιτρέποντας τη συλλογή και κανονικοποίηση δεδομένων. Στη συνέχεια, η τοπική υπολογιστική ισχύς αξιοποιείται για την άμεση ανάλυση των δεδομένων και την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων. Τέλος, μέσω της ενορχήστρωσης, καθίσταται δυνατή η ανάπτυξη, διαχείριση και συνεχής ενημέρωση εφαρμογών, ενισχύοντας τη συνολική λειτουργικότητα του συστήματος (Nexusintegra, 2026).

Τα οφέλη του Edge Computing για τη βιομηχανία είναι ιδιαίτερα σημαντικά. Η δυνατότητα λήψης αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητας των παραγωγικών διαδικασιών, καθώς επιτρέπει την άμεση ανίχνευση αποκλίσεων και την προσαρμογή των παραμέτρων λειτουργίας. Παράλληλα, η εξαιρετικά χαμηλή καθυστέρηση ενισχύει την αποτελεσματικότητα των εφαρμογών Internet of Things (IoT), διασφαλίζοντας την αξιόπιστη λειτουργία διασυνδεδεμένων συστημάτων. Η κατανεμημένη επεξεργασία δεδομένων μειώνει τις απαιτήσεις εύρους ζώνης και το κόστος αποθήκευσης, ενώ διευκολύνει την επιλογή και αξιοποίηση των πλέον κρίσιμων πληροφοριών. Περιβαλλοντικά απαιτεί τη μικρότερη δυνατή ενέργεια με σημαντική μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Η διαλειτουργικότητα αποτελεί επίσης βασικό πλεονέκτημα, καθώς το Edge Computing λειτουργεί ως γέφυρα μεταξύ τεχνολογιών πληροφορικής (IT) και επιχειρησιακών τεχνολογιών (OT), επιτρέποντας την ομαλή ενσωμάτωση διαφορετικών συστημάτων. Ταυτόχρονα, η αποκεντρωμένη αρχιτεκτονική ενισχύει την ασφάλεια των δεδομένων, περιορίζοντας τον κίνδυνο εκτεταμένων κυβερνοεπιθέσεων και αυξάνοντας την αξιοπιστία της αποθήκευσης (Penguinsolutions, 2026).

Στον κλάδο της εκτύπωσης με βαθυτυπία και του converting εύκαμπτης συσκευασίας, η εφαρμογή του Edge Computing παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Οι γραμμές παραγωγής βαθυτυπίας χαρακτηρίζονται από υψηλές ταχύτητες και αυστηρές απαιτήσεις ποιότητας, γεγονός που καθιστά αναγκαία την άμεση επεξεργασία δεδομένων από αισθητήρες και συστήματα ελέγχου. Μέσω edge υποδομών, είναι δυνατή η παρακολούθηση κρίσιμων παραμέτρων, επιτρέποντας την άμεση παρέμβαση σε περίπτωση αποκλίσεων, όσων αφορά το παραγωγικό κομμάτι.

Το Edge Computing υποστηρίζει εφαρμογές προγνωστικής συντήρησης, καθώς η συνεχής ανάλυση δεδομένων από τον εξοπλισμό παραγωγής επιτρέπει τον έγκαιρο

εντοπισμό πιθανών βλαβών. Μεταβολές σε παραμέτρους μπορούν να αξιολογηθούν τοπικά, ώστε να προγραμματιστούν προληπτικές ενέργειες και να μειωθούν οι «νεκροί» χρόνοι παραγωγής.

Η συμβολή του Edge Computing επεκτείνεται και στην ενίσχυση της ευελιξίας της παραγωγής. Στο περιβάλλον του converting, όπου απαιτείται συχνή μεταβολή των ποσοτήτων των παραγγελιών και προσαρμογή σε διαφορετικά προϊόντα, η άμεση επεξεργασία δεδομένων επιτρέπει την ταχύτερη μετάβαση μεταξύ εργασιών και τη βελτιστοποίηση του προγραμματισμού παραγωγής (Penguinsolutions, 2026).

Συνολικά, το Edge Computing αποτελεί κρίσιμο στοιχείο του ψηφιακού μετασχηματισμού στη βιομηχανία εκτυπώσεων βαθυτυπίας και συσκευασίας. Η δυνατότητά του να γεφυρώνει το χάσμα μεταξύ δεδομένων και λήψης αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο, σε συνδυασμό με το cloud computing, δημιουργεί ένα ολοκληρωμένο τεχνολογικό οικοσύστημα που ενισχύει την βιωσιμότητα, την αποδοτικότητα, την ποιότητα και την ανταγωνιστικότητα των επιχειρήσεων (Nexusintegra, 2026).

7.2.4 Blockchain

Η τεχνολογία blockchain ως μια καθοριστική εξέλιξη στο πλαίσιο της Βιομηχανίας 4.0, συμβάλλει στον επαναπροσδιορισμό του τρόπου με τον οποίο πραγματοποιείται η διαχείριση, η αποθήκευση και η ανταλλαγή δεδομένων σε ψηφιακά οικοσυστήματα. Στην πυρήνα της, το blockchain μπορεί να οριστεί ως ένα αποκεντρωμένο σύστημα καταγραφής δεδομένων, στο οποίο οι πληροφορίες αποθηκεύονται σε διαδοχικά συνδεδεμένα «μπλοκ» μέσω κρυπτογραφικών μεθόδων, διασφαλίζοντας την ακεραιότητα, την ασφάλεια, τη διαφάνεια και την αδυναμία αλλοίωσης των καταχωρήσεων. Η λειτουργία του βασίζεται σε μηχανισμούς συναίνεσης μεταξύ των συμμετεχόντων κόμβων ενός δικτύου, χωρίς την ανάγκη ύπαρξης κεντρικής αρχής ελέγχου. Η αρχική σύλληψη της τεχνολογίας αποδίδεται στο έργο του Satoshi Nakamoto, ο οποίος το 2008 εισήγαγε το blockchain ως υποδομή για τη λειτουργία ενός αποκεντρωμένου ψηφιακού νομίσματος. Ωστόσο, η εξέλιξη της τεχνολογίας υπερέβη τα όρια των χρηματοοικονομικών εφαρμογών, βρίσκοντας εφαρμογή σε ένα ευρύ φάσμα

τομέων, όπως η εφοδιαστική αλυσίδα, η βιομηχανική παραγωγή και η διαχείριση δεδομένων (Malini & Nedumaran, 2024).

Στο πλαίσιο της Βιομηχανίας 4.0, το blockchain ενσωματώνεται με άλλες αναδυόμενες τεχνολογίες, όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), η τεχνητή νοημοσύνη και τα κυβερνο-φυσικά συστήματα, δημιουργώντας ένα περιβάλλον όπου τα δεδομένα που συλλέγονται μπορούν να καταγράφονται με ασφάλεια και να διαμοιράζονται σε πραγματικό χρόνο. Η αποκεντρωμένη φύση του συστήματος ενισχύει την εμπιστοσύνη μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών, καθώς μειώνει την εξάρτηση από ενδιάμεσους φορείς και περιορίζει τον κίνδυνο αλλοίωσης ή μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης στα δεδομένα (Subik και συν. 2018).

Η σημασία της τεχνολογίας blockchain καθίσταται ιδιαίτερα εμφανής σε βιομηχανικούς κλάδους με αυξημένες απαιτήσεις ιχνηλασιμότητας και διαφάνειας, όπως η βιομηχανία εκτυπώσεων βαθυτυπίας και το συνολικό converting. Στο συγκεκριμένο περιβάλλον, όπου εμπλέκονται πολλαπλά στάδια παραγωγής, προμηθευτές υλικών και δίκτυα διανομής, η δυνατότητα καταγραφής κάθε φάσης της παραγωγικής διαδικασίας σε ένα ασφαλές και μη τροποποιήσιμο και κατά συνέπεια ασφαλές σύστημα αποκτά στρατηγική σημασία. Μέσω του blockchain καθίσταται εφικτή η πλήρης ιχνηλασιμότητα των πρώτων υλών, των εκτυπωτικών διαδικασιών και των τελικών προϊόντων, γεγονός που ενισχύει την ποιότητα, τη συμμόρφωση με πρότυπα και την εμπιστοσύνη των ιδίων των πελατών απέναντι στον προμηθευτή.

Η εφαρμογή του μπορεί να συμβάλει στην αντιμετώπιση ζητημάτων ασφάλειας δεδομένων λόγω της αυξανόμενης ψηφιοποίησης των παραγωγικών διαδικασιών. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά κεντροποιημένα συστήματα, τα οποία είναι περισσότερο ευάλωτα σε κυβερνοεπιθέσεις, το blockchain αξιοποιεί κρυπτογραφικούς μηχανισμούς και κατανομημένη αρχιτεκτονική, καθιστώντας άκρως δυσκολότερη την παραβίαση της ακεραιότητας των δεδομένων. Στο περιβάλλον του converting, όπου η παραγωγή βασίζεται σε υψηλό βαθμό αυτοματοποίησης και διασυνδεδεμένων συστημάτων, το blockchain μπορεί να λειτουργήσει ως υποδομή υποστήριξης για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ διαφορετικών πληροφοριακών συστημάτων, όπως ERP και MES. Με τον τρόπο αυτό, διευκολύνεται η ενοποίηση των πληροφοριών κατά μήκος της

εφοδιαστικής αλυσίδας και ενισχύεται λειτουργικότητα μεταξύ των επιμέρους τεχνολογικών πλατφορμών.

Αποτελεί μια τεχνολογία κλειδί για την υλοποίηση ασφαλών, διαφανών και αποδοτικών ψηφιακών οικοσυστημάτων στη σύγχρονη βιομηχανία. Η ενσωμάτωσή του στον κλάδο της βαθυτυπίας και του Converting δύναται να υποστηρίξει τη μετάβαση προς πιο ευέλικτα και αξιόπιστα παραγωγικά μοντέλα, ενισχύοντας τόσο την επιχειρησιακή αποδοτικότητα όσο και τη διαχείριση της πληροφορίας σε ένα ολοένα και πιο ψηφιοποιημένο περιβάλλον (Vyas & Gupta, 2022).

Παραδείγματα Εταιρειών Ανάπτυξης Τεχνολογίας Ψηφιοποίησης και Διασυνδεδεμένης Παραγωγής

Η θεωρητική ανάλυση του ψηφιακού μετασχηματισμού αποκτά ιδιαίτερη αξία όταν συνδέεται με πραγματικές βιομηχανικές εφαρμογές. Στον κλάδο της βαθυτυπίας και του converting εύκαμπτης συσκευασίας, κορυφαίοι κατασκευαστές και προμηθευτές εξοπλισμού έχουν ήδη ενσωματώσει συγκεκριμένες τεχνολογίες Industry 4.0, δημιουργώντας πρότυπα «έξυπνων» γραμμών παραγωγής. Οι εταιρείες του κλάδου όπως η Bobst, Windmöller & Hölscher και AVT αποτελούν κύριοι πρωτεργάτες στη βιομηχανία υποστήριξης της εκτύπωσης και του συνολικού converting που σχετίζονται με αυτή την μετάβαση.

Εφαρμογή Ψηφιακού Μετασχηματισμού από BOBST

Η εταιρεία Bobst έχει αναπτύξει μια ολοκληρωμένη στρατηγική ψηφιακού μετασχηματισμού μέσω της πλατφόρμας BOBST Connect, η οποία στοχεύει στη διασύνδεση όλων των σταδίων της παραγωγικής διαδικασίας. Η προσέγγιση αυτή βασίζεται στη δημιουργία ενός πλήρως ψηφιοποιημένου οικοσυστήματος, όπου τα δεδομένα ρέουν συνεχώς μεταξύ προεκτύπωσης, εκτύπωσης και converting.

Στο πλαίσιο της βαθυτυπίας, η Bobst εισάγει τεχνολογίες αυτοματοποιημένης ρύθμισης μηχανών και διαχείρισης χρωμάτων, επιτρέποντας τη σημαντική μείωση των χρόνων Setup καθώς και του running waste. Η χρήση εξιδεικευμένων «έξυπνων» αισθητήρων

και συστημάτων παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο καθιστά δυνατή την άμεση ανίχνευση αποκλίσεων στην ποιότητα εκτύπωσης κατά την παραγωγή, μειώνοντας τους πιθανούς νεκρούς χρόνους και το production waste των υλικών ενισχύοντας με τον τρόπο αυτό την αποδοτικότητα της παραγωγής. Επιτρέπει την απομακρυσμένη παρακολούθηση της παραγωγής και τη συλλογή δεδομένων για ανάλυση της απόδοσης. Με τον τρόπο αυτό, οι επιχειρήσεις μπορούν να λαμβάνουν αποφάσεις σε συντομότερα χρονικά διαστήματα, βασισμένες σε δεδομένα, βελτιώνοντας τόσο τον προγραμματισμό όσο και τη στρατηγική τους (Bobst, n.d.).

Η συμβολή της Bobst στον ψηφιακό μετασχηματισμό έγκειται στην προσέγγιση «End-to-End digitalization», η οποία ενσωματώνει όλα τα στάδια της παραγωγικής αλυσίδας, από τον σχεδιασμό έως το τελικό προϊόν, με την δημιουργία «έξυπνης» διασύνδεσης του μηχανολογικού εξοπλισμού μεταξύ τους καθώς και με όλα τα επιμέρους τμήματα που εργάζονται με τον συγκεκριμένο σκοπό (όπως φαίνεται στην εικόνα 54).



Εικόνα 54. End-to-End Digitalization

Notes: [Digital solutions for the manufacturing industry | ITK Engineering](#)

Εφαρμογή Ψηφιακού Μετασχηματισμού από Windmüller & Hölscher, με δημιουργία «Έξυπνων» Γραμμών Παραγωγής

Η Windmüller & Hölscher «W&H» αποτελεί έναν από τους ηγέτες στον τομέα της παραγωγής εξοπλισμού για εύκαμπτη συσκευασία, με ιδιαίτερη έμφαση στην ανάπτυξη «έξυπνων» μηχανών εκτύπωσης και converting με στόχο όχι μόνο τον σχεδιασμό νέων προηγμένων μηχανών σύμφωνα με τις καινοτομίες του industry 4.0, αλλά και την ανάπτυξη εξειδικευμένων καινοτομιών για την αναβάθμιση των συμβατικών παλαιότερης τεχνολογίας μηχανών με σκοπό την αναβάθμιση τους σε σύγχρονα συστήματα ισοδύναμα με αυτά της νέας γενιάς.

Η στρατηγική βασίζεται κυρίως στη δημιουργία πλήρως αυτοματοποιημένων γραμμών παραγωγής, οι οποίες ενσωματώνουν τεχνολογίες IoT, προηγμένα συστήματα ελέγχου και ανάλυσης δεδομένων. Στις μηχανές βαθυτυπίας της W&H, η συνεχής συλλογή δεδομένων επιτρέπει την παρακολούθηση κρίσιμων παραμέτρων, όπως η επιφανειακή τάση του υλικού καθώς και η βελτίωση του υποστρώματος προς εκτύπωση, η επίτευξη γρήγορου register και σταθερότητας κατά την εκτύπωση και η κατανάλωση ενέργειας που αποτελεί πλέον έναν από τους σημαντικότερους δείκτες συνδεδεμένο άμεσα με την παραγωγικότητα.

Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά που δίνει προτεραιότητα είναι η δυνατότητα προγνωστικής συντήρησης. Μέσω της ανάλυσης ιστορικών και πραγματικού χρόνου δεδομένων, τα συστήματα μπορούν να εντοπίζουν πιθανές αστοχίες πριν αυτές εκδηλωθούν, μειώνοντας δραστικά τους χρόνους διακοπής λειτουργίας με άμεσο αποτέλεσμα τη μείωση των πιθανών «νεκρών» χρόνων παραγωγής.

Η W&H έχει αναπτύξει λύσεις για την ψηφιοποίηση της εκπαίδευσης προσωπικού και την απομακρυσμένη τεχνική υποστήριξη, αξιοποιώντας τεχνολογίες cloud και Augmented Reality. Αυτό συμβάλλει στη μείωση του κόστους συντήρησης και στην ταχύτερη επίλυση τεχνικών προβλημάτων, άμεσα και χωρίς την αναγκαία φυσική παρουσία. Η συνολική προσέγγιση της εταιρείας ενισχύει την έννοια του «Smart factory», όπου οι μηχανές λειτουργούν ως διασυνδεδεμένα συστήματα που αλληλεπιδρούν και προσαρμόζονται δυναμικά στις απαιτήσεις της παραγωγής (W&H, 2022).

Εφαρμογή Ψηφιακού Μετασχηματισμού από AVT, με δημιουργία Προηγμένων Συστημάτων Ποιοτικού Ελέγχου

Η AVT (Advanced Vision Technology) αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς προμηθευτές συστημάτων επιθεώρησης και διασφάλισης ποιότητας για τη βιομηχανία εκτυπώσεων και συσκευασίας. Η συνεισφορά της στον ψηφιακό μετασχηματισμό εντοπίζεται κυρίως στην ανάπτυξη προηγμένων συστημάτων inline και offline ποιοτικού ελέγχου.

Τα συστήματα της βασίζονται σε τεχνολογίες Computer Vision και μηχανικής μάθησης, επιτρέποντας την ανίχνευση ελαττωμάτων σε πραγματικό χρόνο με εξαιρετικά υψηλή ακρίβεια. Ιδιαίτερα στη βαθυτυπία, όπου η ποιότητα εκτύπωσης αποτελεί την κρίσιμότερη παράμετρο, τα συστήματα αυτά συμβάλλουν στη διασφάλιση της συνέπειας και της ομοιομορφίας των προϊόντων που είναι και το ζητούμενο ως αποδεκτό και άριστο αποτέλεσμα με παράλληλη ανάπτυξη την μείωση τόσο της παραγόμενης φύρας όσο και την επίτευξη ανάπτυξης της βιώσιμης πολιτικής.

Η δυνατότητα αποθήκευσης και ανάλυσης δεδομένων επιθεώρησης επιτρέπει τη συνεχή βελτίωση των διαδικασιών και τη δημιουργία προτύπων ποιότητας, που διευκολύνουν και απλουστεύουν την παραγωγική διαδικασία κάνοντάς τη αποδοτικότερη τόσο για τις ίδιες επαναληπτικές παραγωγές ειδών όσο και για διαφορετικού τύπου. Η δημιουργία και χρήση των δεδομένων επιθεώρησης συμβάλλει και στην ανάπτυξη κλειστών βρόχων ελέγχου (closed-loop systems), όπου τα συγκεκριμένα δεδομένα χρησιμοποιούνται για την αυτόματη ρύθμιση των μηχανών εκτύπωσης, οδηγώντας σε σημαντική μείωση αποβλήτων και βελτίωση της παραγωγικότητας (Avt-inc, 2025).

7.3 Επιπτώσεις στην Παραγωγή, στο Ανθρώπινο Δυναμικό και στην Επιχειρησιακή Ευελιξία

Η παραδοσιακή εκτυπωτική βιομηχανία εξακολουθεί να βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην πρώτη τεχνολογία και μεθοδολογία, η οποία προϋποθέτει την ύπαρξη εξειδικευμένου και κατάλληλα εκπαιδευμένου ανθρώπινου δυναμικού. Παρά τη σημαντική εξέλιξη του εξοπλισμού, ιδιαίτερα στις Web εκτυπωτικές μηχανές ως προς τον αυτοματισμό, η

λειτουργία τους εξακολουθεί να απαιτεί υψηλό επίπεδο τεχνικών δεξιοτήτων και αρκετά μεγάλο όγκο χειρωνακτικών πρακτικών προετοιμασίας, τροφοδοσίας και παρακολούθησης της παραγωγής. Ο χειριστής καλείται να διαχειρίζεται κρίσιμες παραμέτρους της παραγωγικής διαδικασίας, όπως η ισορροπία χορήγησης της σωστής ποσότητας και ποιότητας μελανιού, η τροφοδοσία της Α' ύλης εκτύπωσης και η κατάσταση αυτής, η παρακολούθηση των συστημάτων θέρμανσης, η σωστή τοποθέτηση και ευθυγράμμιση των κυλίνδρων εκτύπωσης, η τοποθέτηση του doctor blade στη σωστή γωνία καθώς και η διατήρηση της χρωματικής σταθερότητας και της συνολικής ποιότητας του εκτυπωμένου προϊόντος. Για την επίτευξη των απαραίτητων ικανοτήτων απαιτούνται έμπειροι χειριστές με πρακτική κατάρτιση, η οποία αποκτάται συνήθως μέσω επαγγελματικής εκπαίδευσης ή μαθητείας.

Αντιθέτως, στο περιβάλλον της μεταβαλλόμενης σε ψηφιακό μετασχηματισμό εκτύπωσης παρατηρείται ουσιαστική μεταβολή στις απαιτούμενες δεξιότητες. Οι νέες αναβαθμισμένες εκτυπωτικές μονάδες δεν βασίζονται μόνο σε παραδοσιακές διαδικασίες εκτύπωσης. Στο πλαίσιο αυτό, οι ρυθμίσεις που σχετίζονται με την ποιότητα εκτύπωσης πραγματοποιούνται κυρίως μέσω λογισμικού και όχι μέσω μηχανικών παρεμβάσεων (Printing Industries of America, 2020).

Οι επιπτώσεις επεκτείνονται και στο ανθρώπινο δυναμικό. Η μετάβαση σε ψηφιακά περιβάλλοντα απαιτεί νέες δεξιότητες, όπως η ανάλυση δεδομένων, η διαχείριση ψηφιακών συστημάτων και η κατανόηση αυτοματοποιημένων διεργασιών. Συνεπώς, καθίσταται αναγκαία η συνεχής εκπαίδευση και επανεκπαίδευση των εργαζομένων, προκειμένου να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις του νέου τεχνολογικού περιβάλλοντος (Brynjolfsson & McAfee, 2014).

Έχοντας αναλύσει ήδη την ενσωμάτωση ψηφιακών τεχνολογιών στη βιομηχανία βαθυτυπίας καθώς και τις ουσιαστικές μεταβολές τόσο στη δομή της παραγωγής όσο και στη λειτουργία του ανθρώπινου δυναμικού, κρίνεται σημαντικό να αναφερθεί η σημασία της προετοιμασίας και εκπαίδευσης ώστε να ανταποκριθεί πλήρως και χωρίς παράπλευρες απώλειες η σωστή εφαρμογή και απόδοση του ψηφιακού μετασχηματισμού, ώστε η αυτοματοποίηση και η ψηφιοποίηση να οδηγούν σε σημαντική αύξηση της αποδοτικότητας.

Οι παραγωγικές διαδικασίες γίνονται πιο σταθερές και η επαναληψιμότητα άρτια, μειώνοντας την εξάρτηση από την ανθρώπινη παρέμβαση και περιορίζοντας τα σφάλματα. Η δυνατότητα παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο επιτρέπει την άμεση διόρθωση αποκλίσεων, γεγονός που είναι ιδιαίτερα κρίσιμο στη βαθυτυπία, όπου ακόμη και μικρές διαφοροποιήσεις μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα του τελικού προϊόντος.

Παράλληλα, η έννοια της επιχειρησιακής ευελιξίας ενισχύεται σημαντικά. Οι επιχειρήσεις αποκτούν τη δυνατότητα να προσαρμόζουν γρήγορα την παραγωγή τους σε μεταβαλλόμενες απαιτήσεις της αγοράς και να υποστηρίζουν εξατομικευμένα προϊόντα (Schwab, 2017).

Κατά κύρια συνέπεια οι απαιτούμενες δεξιότητες μετατοπίζονται από την εξ' ολοκλήρου μηχανολογική εξειδίκευση προς την μερική ψηφιακή και πληροφοριακή κατάρτιση. Οι χειριστές καλούνται να διαθέτουν γνώση λειτουργικών συστημάτων, κατανόηση των δυνατοτήτων των εκτυπωτικών εφαρμογών, ικανότητα διαχείρισης ροών εργασίας, καθώς και δεξιότητες απόδοσης χρώματος. Παράλληλα, είναι απαραίτητη η εξοικείωση με τα ενσωματωμένα καινοτόμα συστήματα του ενδιάμεσου converting και τις λειτουργίες που υποστηρίζουν την ολοκληρωμένη παραγωγή.

Η λειτουργία των νέων εκτυπωτικών συστημάτων προϋποθέτει την ανάπτυξη συμπληρωματικών δεξιοτήτων που σχετίζονται με την ευρύτερη ψηφιακή πλέον υποδομή της παραγωγής. Σε αυτές περιλαμβάνεται η κατανόηση των συστημάτων τα οποία ενσωματώνουν κρίσιμες προεκτυπωτικές λειτουργίες, όπως ο χρωματικός διαχωρισμός και η διαχείριση χρώματος για την προετοιμασία των αρχείων. Εξίσου σημαντική είναι η γνώση διαδικασιών ψηφιακού προελέγχου (digital preflighting), καθώς και η διαχείριση λογισμικών ροής εργασίας που επιτρέπουν τον συντονισμό πολλαπλών παραγωγικών μονάδων. Παράλληλα, η εξοικείωση με εργαλεία διαχείρισης οικονομικών δεδομένων και με τεχνικές διαχείρισης και αντιμετώπισης τεχνικών προβλημάτων καθίσταται ιδιαίτερα σημαντική (Printing Industries of America, 2020).

Για την ενσωμάτωση της παραδοσιακής εκτυπωτικής διαδικασίας της βαθυτυπίας στην ψηφιακή πλέον εποχή, απαιτείται μια υβριδική προσέγγιση και αναβάθμιση τόσο στο ίδιο το σύστημα της εκτύπωσης όσο και στους χειριστές αυτής. Το ανθρώπινο δυναμικό

από χειριστές μηχανημάτων μετατρέπονται πλέον και σε εξειδικευμένους προγραμματιστές και χειριστές ψηφιακών εργαλείων. Οι μεταβολές αυτές έχουν άμεσες επιπτώσεις τόσο στην παραγωγική διαδικασία όσο και στη δομή του ανθρώπινου δυναμικού. Η μετάβαση προς αυτά τα ψηφιακά συστήματα ενισχύει την επιχειρησιακή ευελιξία, μειώνοντας παράλληλα τους χρόνους προετοιμασίας και τα σφάλματα. Ταυτόχρονα, αναδεικνύεται η ανάγκη συνεχούς επανεκπαίδευσης των εργαζομένων, ώστε να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις ενός ολοένα και πιο ψηφιοποιημένου παραγωγικού περιβάλλοντος (OECD, 2019). Στο πλαίσιο αυτό, οι προοπτικές απασχόλησης στον κλάδο των εκτυπώσεων αναμένεται να επηρεαστούν, κυρίως λόγω της αυξανόμενης ζήτησης για εξειδικευμένο προσωπικό με ψηφιακές δεξιότητες και της σταδιακής αναβάθμισης του παραδοσιακού εξοπλισμού από προηγμένα ψηφιακά συστήματα. Η αύξηση των συνταξιοδοτήσεων σε συνδυασμό με την ανάγκη στελέχωσης νέων τεχνολογικών υποδομών δημιουργεί πρόσθετες ευκαιρίες απασχόλησης. Ιδιαίτερα ευνοημένοι αναμένεται να είναι οι εργαζόμενοι που θα επενδύσουν στην ανάπτυξη ψηφιακών δεξιοτήτων και στην επαγγελματική τους εκπαίδευση, καθώς θα είναι σε θέση να ανταποκριθούν αποτελεσματικότερα στις απαιτήσεις της σύγχρονης εκτυπωτικής βιομηχανίας (Printing Industries of America, 2020).

7.4 Μετασχηματισμός της Βαθυτυπίας μέσω Ψηφιακών Τεχνολογιών, Προκλήσεις και Εμπόδια

Παρά τα σημαντικά οφέλη, η υλοποίηση του ψηφιακού μετασχηματισμού συνοδεύεται από μια σειρά προκλήσεων που σχετίζονται τόσο με τεχνολογικούς όσο και με παράγοντες οργάνωσης. Ένα από τα βασικά εμπόδια αφορά το υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης, ιδιαίτερα για μικρομεσαίες επιχειρήσεις του κλάδου εκτυπώσεων. Η εγκατάσταση νέων συστημάτων, η αναβάθμιση εξοπλισμού και η εκπαίδευση προσωπικού απαιτούν σημαντικούς οικονομικούς πόρους.

Ζητήματα διαλειτουργικότητας μεταξύ διαφορετικών συστημάτων και κατασκευαστών δημιουργούν δυσκολίες στην ενοποίηση των δεδομένων, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για αναβάθμιση συστημάτων παλαιότερης τεχνολογίας. Η ύπαρξη απομονωμένων

πληροφοριακών συστημάτων περιορίζει την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων της ψηφιοποίησης.

Η κυβερνοασφάλεια αποτελεί επίσης κρίσιμο παράγοντα, καθώς η αυξημένη συνδεσιμότητα εκθέτει τις επιχειρήσεις σε κινδύνους κυβερνοεπιθέσεων. Η προστασία των δεδομένων παραγωγής και των εμπορικών πληροφοριών καθίσταται βασική προτεραιότητα (IBM, n.d.). Ειδικότερα η υιοθέτηση του cloud συνοδεύεται από ιδιαίτερες προκλήσεις. Ζητήματα ασφάλειας δεδομένων, προστασίας προσωπικών πληροφοριών καθώς και η αντίληψη απώλειας ελέγχου επί των πληροφοριακών συστημάτων αποτελούν βασικούς ανασταλτικούς παράγοντες. Η έλλειψη επαρκούς γνώσης και στρατηγικού σχεδιασμού μπορεί να οδηγήσει σε μη βέλτιστη αξιοποίηση των δυνατοτήτων του cloud. Στον κλάδο της βαθυτυπίας, όπου η διαχείριση ευαίσθητων δεδομένων πελατών και σχεδίων συσκευασίας είναι κρίσιμη, η επιλογή αξιόπιστων παρόχων και η υιοθέτηση κατάλληλων πολιτικών ασφάλειας είναι απαραίτητες προϋποθέσεις (zisopoulos, n.d.).

7.4.1 Επίδραση στην Παραγωγή της Βαθυτυπίας και του Converting

Η είσοδος των ψηφιακών τεχνολογιών έχει επιφέρει ουσιαστικές αλλαγές στη μέθοδο της βαθυτυπίας, μετατρέποντάς την από μια παραδοσιακή διαδικασία μαζικής παραγωγής σε ένα πιο ευέλικτο και ευφύες σύστημα παραγωγής.

Η ψηφιοποίηση των σταδίων προεκτύπωσης επιτρέπει τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού και τη μείωση των σφαλμάτων πριν την έναρξη της παραγωγής. Παράλληλα, η χρήση αυτοματοποιημένων συστημάτων ρύθμισης μηχανών, μειώνει τον χρόνο προετοιμασίας και αυξάνει την αποδοτικότητα. Η ενσωμάτωση συστημάτων inline ποιοτικού ελέγχου επιτρέπει την ανίχνευση ελαττωμάτων σε πραγματικό χρόνο, εξασφαλίζοντας υψηλά επίπεδα ποιότητας και μειώνοντας τα απορρίμματα. Η αξιοποίηση δεδομένων παραγωγής οδηγεί σε συνεχή βελτίωση των διεργασιών και στην ανάπτυξη πιο αποδοτικών πρακτικών παραγωγής.

Η ενσωμάτωση των παραπάνω τεχνολογιών και πρακτικών οδηγεί στη σταδιακή μετάβαση της βιομηχανίας βαθυτυπίας προς ένα νέο παραγωγικό μοντέλο, το οποίο χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό αυτοματοποίησης, διασυνδεσιμότητας και ευφυΐας.

Στο επίπεδο του converting, η ψηφιοποίηση επηρεάζει εκτός από την βασική παραγωγή της εκτύπωσης και όλες τις επιμέρους διεργασίες, όπως το λαμινάρισμα, η τελική κοπή την πιθανή διαμόρφωση συσκευασιών ή πώληση σε ρόλους. Η δυνατότητα συμμετοχής της αναβάθμισης σε και ελέγχου αυτών των διεργασιών σε πραγματικό χρόνο οδηγεί σε σημαντική βελτίωση της ποιότητας και της αποδοτικότητας.

Επιπλέον, η αξιοποίηση δεδομένων σε όλο το εύρος της παραγωγικής αλυσίδας επιτρέπει τη δημιουργία ενός πλήρως διαφανούς και ελεγχόμενου περιβάλλοντος παραγωγής. Οι επιχειρήσεις μπορούν να εντοπίζουν αδυναμίες, να βελτιστοποιούν διαδικασίες και να λαμβάνουν στρατηγικές αποφάσεις με μεγαλύτερη ακρίβεια (Mascara, 2026).

Στο πλαίσιο των επιπτώσεων του ψηφιακού μετασχηματισμού στην παραγωγική λειτουργία της εκτυπωτικής βιομηχανίας, αναδεικνύεται η ανάγκη επαναπροσδιορισμού της δομής και της στρατηγικής των επιχειρήσεων. Μια σύγχρονη εκτυπωτική επιχείρηση μπορεί να προσεγγιστεί μέσα από δύο βασικές διαστάσεις, την επιχειρησιακή της λειτουργία, που αφορά την αποδοτικότητα και τη διαχείριση των παραγωγικών διαδικασιών, και την καινοτομική της διάσταση, η οποία σχετίζεται με την ανάπτυξη νέων επιχειρηματικών μοντέλων και την παροχή υπηρεσιών υψηλής προστιθέμενης αξίας προς τον πελάτη.

Υπό την επίδραση των εξελίξεων της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης, παρατηρείται σήμερα μια σαφής διαφοροποίηση των επιχειρήσεων του κλάδου, η οποία αντικατοπτρίζεται σε διαφορετικά επίπεδα προσαρμογής και παραγωγικής απόδοσης. Σε πρώτο επίπεδο, εντοπίζονται επιχειρήσεις με χαμηλή ανταγωνιστικότητα και περιορισμένη ικανότητα προσαρμογής, οι οποίες εμφανίζουν λειτουργικές δυσλειτουργίες και αδυνατούν να επενδύσουν σε τεχνολογικές ή οργανωτικές αναβαθμίσεις αλλά και αναβαθμίσεις του ανθρωπίνου δυναμικού. Οι επιχειρήσεις αυτές βρίσκονται σε διαρκή αγώνα επιβίωσης, χωρίς ουσιαστικές προοπτικές βιώσιμης ανάπτυξης.

Σε δεύτερο επίπεδο, συναντώνται επιχειρήσεις που καταφέρνουν να διατηρούν τη λειτουργία τους, βασιζόμενες κυρίως στην εξειδίκευση σε συγκεκριμένες παραγωγικές δραστηριότητες. Ωστόσο, οι περιορισμένοι επενδυτικοί τους πόροι τις οδηγούν σε στρατηγικές συγκράτησης κόστους, αντί για ενεργητική προσαρμογή στις μελλοντικές

ανάγκες της αγοράς. Παρά ταύτα, παρατηρείται σταδιακή υιοθέτηση βασικών ψηφιακών εργαλείων, όπως συστήματα διαχείρισης δεδομένων, τα οποία λειτουργούν υποστηρικτικά στη βελτίωση της παραγωγικής οργάνωσης.

Σε πιο προχωρημένο στάδιο βρίσκονται οι επιχειρήσεις που επιδιώκουν ενεργά τον μετασχηματισμό τους, αναγνωρίζοντας την ανάγκη αλλαγής τόσο σε επίπεδο τεχνολογίας όσο και σε επίπεδο οργανωσιακής κουλτούρας. Για τις επιχειρήσεις αυτές, η βελτίωση της παραγωγικής αποδοτικότητας συνδυάζεται με την ενίσχυση της καινοτομίας, δημιουργώντας ένα ισορροπημένο μοντέλο ανάπτυξης που ανταποκρίνεται στις σύγχρονες απαιτήσεις της αγοράς.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η κατηγορία των επιχειρήσεων που επιτυγχάνουν δυναμική ανάπτυξη και αυξημένη κερδοφορία ακόμη και σε περιόδους οικονομικής αστάθειας. Οι επιχειρήσεις αυτές υιοθετούν πελατοκεντρική στρατηγική, επενδύοντας συστηματικά σε τεχνολογίες αιχμής, αυτοματοποιημένες ροές εργασίας και σύγχρονο παραγωγικό εξοπλισμό. Μέσω της ενσωμάτωσης καινοτόμων ψηφιακών εφαρμογών, επιτυγχάνουν σημαντική βελτίωση της παραγωγικής αποδοτικότητας, μείωση κόστους και περιορισμό της σπατάλης πόρων. Παράλληλα, με τη βελτιστοποίηση των χρόνων παραγωγής και τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος ενισχύουν τη συνολική βιωσιμότητα των λειτουργιών τους. Οι επιχειρήσεις αυτές επενδύουν στην αναβάθμιση των εμπορικών και επικοινωνιακών τους στρατηγικών, αναγνωρίζοντας ότι η σύγχρονη αγορά απαιτεί βαθύτερη κατανόηση των αναγκών των πελατών και μετάβαση από την πώληση προϊόντων στην παροχή ολοκληρωμένων λύσεων. Η προσέγγιση αυτή ενισχύει τη δημιουργία μακροχρόνιων σχέσεων εμπιστοσύνης και αυξάνει την αφοσίωση των πελατών, υπερβαίνοντας παραδοσιακά κριτήρια όπως η τιμή ή η ποιότητα.

Η μετάβαση σε ένα ψηφιακό βιομηχανικό και επιχειρηματικό περιβάλλον αποτελεί αναγκαιότητα για τη βιωσιμότητα και την ανάπτυξη των εκτυπωτικών επιχειρήσεων. Η προσαρμογή σε αυτό το νέο πλαίσιο προϋποθέτει στρατηγικό αναπροσανατολισμό και στοχευμένες επενδύσεις σε τεχνολογία, καινοτομία και ανθρώπινο κεφάλαιο (Smithers, n.d.).

Ο ψηφιακός μετασχηματισμός στη βιομηχανία βαθυτυπίας δεν αποτελεί απλώς μια τεχνολογική εξέλιξη, αλλά μια βαθιά δομική αλλαγή που επηρεάζει το σύνολο της

παραγωγικής διαδικασίας και της επιχειρησιακής λειτουργίας. Η υιοθέτηση ψηφιακών τεχνολογιών δημιουργεί νέες δυνατότητες για βελτίωση της αποδοτικότητας, της ποιότητας και της βιωσιμότητας, ενώ ταυτόχρονα θέτει νέες προκλήσεις που απαιτούν στρατηγική διαχείριση. Μέσα από την ανάλυση τεχνολογιών, επιπτώσεων και πραγματικών εφαρμογών, καθίσταται σαφές ότι η υιοθέτηση των αρχών της Industry 4.0 αποτελεί αναγκαία προϋπόθεση για τη βιωσιμότητα και την ανταγωνιστικότητα του κλάδου.

8. Σύνδεση με τον Κλάδο των Εκτυπώσεων και Συσκευασίας και Μελέτη Περίπτωσης Βιομηχανικής Μονάδας Converting.

8.1 Σημασία του Ψηφιακού Μετασχηματισμού στο Συνολικό Converting

Η ενσωμάτωση των νέων καινοτομιών στην νέα βιομηχανική πραγματικότητα δημιούργησε μια ισχυρή θέση των επιχειρήσεων και μια άκρως ενισχυμένη ανταγωνιστικότητα μεταξύ των converters της συσκευασίας. Έχοντας σαν παράμετρο την απαρχή της εισαγωγής των καινοτομιών της industry 4.0, δημιούργησε εκτός από ενθουσιασμό και προσδοκίες για ανατρεπτικά θετικά ποιοτικά και παραγωγικά αποτελέσματα, πολλές αντιδράσεις και αμφιλεγόμενες απόψεις που ως σκοπό έχουν την αμφισβήτηση και δυσπιστία σχετικά με την πλήρη υιοθέτηση τους. Μετρήσιμες ενδείξεις σε επιχειρήσεις που κατευθύνθηκαν προς την συγκεκριμένη πρόοδο απέδειξαν πως προφανώς και ο άνθρωπος δεν είναι δυνατόν να αντικατασταθεί σαν υπόσταση και κρίση, όμως τα βήματα που έγιναν φανέρωσαν μια μεγάλη πρόοδο προς το βήμα αυτού του επιτεύγματος, έστω και κατά ένα μέρος. Ο τομέας της εκτύπωσης της συσκευασίας αποτελεί το αντικειμενικότερο παράδειγμα αντίληψης της εισαγωγής του ψηφιακού μετασχηματισμού καθώς δεν μιλάμε για καθετοποιημένες γραμμές συνεχούς παραγωγής όμοιου προϊόντος, αλλά αντίθετα αναφερόμαστε για έναν κλάδο μεταβαλλόμενο ως προς την δομή των υλικών, την εφαρμογή των trends εκτυπωτικά, την υλοποίηση των απαιτήσεων του marketing του εκάστοτε προϊόντος ανά εποχή, την εφαρμογή και υλοποίηση ανάλογα με τις εκάστοτε νομοθετικές διατάξεις και την απαιτούμενη συμμόρφωση της παραγωγής αλλά και των ίδιων των προϊόντων στις ανερχόμενες εξελίξεις για βιωσιμότητα, μείωση αποβλήτων και πράσινη ανάπτυξη (Kagermann και συν., 2013).

Διεθνείς αναφορές του κλάδου υπογραμμίζουν ότι η σύγκλιση ψηφιακού μετασχηματισμού και βιώσιμης ανάπτυξης αποτελεί βασικό μοχλό ανταγωνιστικότητας ειδικότερα για τις επιχειρήσεις γραφικών τεχνών και συσκευασίας (Smithers, 2023). Η μετάβαση σε ένα ψηφιακά ενισχυμένο και περιβαλλοντικά υπεύθυνο παραγωγικό μοντέλο δεν περιορίζεται μόνο στην τεχνολογική αναβάθμιση, αλλά προϋποθέτει και οργανωτικές αλλαγές, ανάπτυξη νέων δεξιοτήτων και επαναπροσδιορισμό της επιχειρησιακής στρατηγικής (Drupa, 2024).

Ο ψηφιακός μετασχηματισμός αφορά την ενσωμάτωση ψηφιακών τεχνολογιών αν όχι σε όλες, σίγουρα στο μεγαλύτερο μέρος από τις λειτουργίες μιας επιχείρησης (Vial, 2021). Η κατανόηση της μετάβασης από την παραδοσιακή βιομηχανική πρακτική στις τεχνολογίες του σύγχρονου ψηφιακού μετασχηματισμού, γίνεται απόλυτα κατανοητό στη μελέτη περίπτωσης της μονάδας εκτύπωσης με Βαθυτυπία αλλά και converting της βιομηχανικής μονάδας Βαθυτυπίας του ομίλου ADAPA στην Κομοτηνή, αναλύοντας την εισαγωγή στο ευρύτερο πλαίσιο της Βιομηχανίας 4.0 (Vial, 2021). Στο πλαίσιο αυτό, η εκτυπωτική βιομηχανία και ειδικότερα οι τομείς της βαθυτυπίας και συνολικά του converting υιοθετούν προηγμένα ψηφιακά εργαλεία που καθιστούν δυνατή τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού, της προετοιμασίας, της ίδιας της παραγωγής, την αύξηση της αποδοτικότητας αυτής καθώς και τη μείωση των σφαλμάτων (Vial, 2019). Η σημασία της συγκεκριμένης ανάλυσης σχετίζεται με τον κομβικό ρόλο της βιομηχανίας συσκευασίας και των γραφικών τεχνών στη σύγχρονη οικονομία (drupa, 2024). Η ενσωμάτωση ψηφιακών εργαλείων επιτρέπει τη συνεχή παρακολούθηση των διαδικασιών και την προσαρμογή τους σε πραγματικό χρόνο, ενισχύοντας τη στρατηγική θέση της επιχείρησης στην αγορά.

Ακόμα και για την περίπτωση μερικής εισαγωγής σε νέες καινοτομίες της 4IR, ο τομέας της Βαθυτυπίας αποτελεί το σίγουρο και αντικειμενικότερο παράδειγμα αναβάθμισης της παραγωγικότητας αλλά και της διαχείρισης καθώς δεν απευθύνεται σε κάθετες γραμμές παραγωγής όμοιου προϊόντος αλλά σε συνεχώς νέους αναδυόμενους συνδυασμούς τελικών δομών υλικών καθώς το περιεχόμενο των συσκευασιών παίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση της ίδιας της συσκευασίας. Σημαντικός παράγοντας επίσης της συνεχούς ανάπτυξης και διαφοροποίησης εφαρμογής αποτελεί η όλο και περισσότερο ανερχόμενη απαίτηση για βιώσιμες λύσεις, ειδικά όσων αφορά την υιοθέτηση συσκευασιών σε

προϊόντα συνεχούς και μαζικής κατανάλωσης. Θα αποτελούσε παράδοξο ως γεγονός ένας τομέας όπως είναι η βιομηχανία της συσκευασίας και ειδικότερα της εύκαμπτης να παραμένει σταθερή και στάσιμη αντίθετα σε όλες τις αναμενόμενες και συνεχώς αναπτυσσόμενες μεταβολές που υφίσταται ο βιομηχανικός και όχι μόνο κόσμος.

Ως παράλληλη αναφορά στην ένταξη του ψηφιακού μετασχηματισμού, η μελέτη περίπτωσης της συγκεκριμένης μονάδας αναφέρεται και στην πρώτη εφαρμογή πανελλαδικά εγκατάστασης «Smart Factory» με σύστημα ανάκτησης διαλύτη, επιτυγχάνοντας πλήρη ανακύκλωση του χρησιμοποιούμενου διαλύτη από τα μελάνια εκτύπωσης. Αποτελεί ότι πιο σύγχρονο και ελπιδοφόρο βήμα κυκλικής οικονομίας για την ενίσχυση της πράσινης ανάπτυξης και βιωσιμότητας.

Στην παρακάτω Μελέτη Περίπτωσης τίθεται η πρακτική εφαρμογή του τεχνολογικού υπόβαθρου για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο όλες οι αναφερόμενες καινοτομίες επηρεάζουν πλέον τη λειτουργία και οργάνωση των σύγχρονων εκτυπωτικών μονάδων αλλά και του συνολικού Converting. Αναλύεται η περίπτωση της μονάδας βαθυτυπίας του ομίλου ADAPA Group GRK, προκειμένου να αναδειχθεί εμπειρικά ο τρόπος εφαρμογής των αρχών της Βιομηχανίας 4.0, του ψηφιακού μετασχηματισμού και της βιώσιμης ανάπτυξης σε ένα πραγματικό βιομηχανικό περιβάλλον. Αναφέρεται στη μετάβαση της εταιρείας και τη μεταπήδηση της από τις παραδοσιακά αναλογικές πρακτικές του κλάδου στη νέα εποχή και πραγματικότητα μέσα από τον ψηφιακό μετασχηματισμό.

8.2 Γνωριμία με τη Μονάδα Converting

Η ιστορική εξέλιξη της εταιρείας Alfa Beta Roto S.A. αντικατοπτρίζει τη δυναμική πορεία ανάπτυξης του κλάδου της εκτύπωσης και των εύκαμπτων υλικών συσκευασίας στην Ελλάδα, καθώς και τη σταδιακή μετάβασή του προς πιο σύνθετα και τεχνολογικά εξελιγμένα παραγωγικά πρότυπα. Η απαρχή της εταιρείας εντοπίζεται στο έτος 1965, όταν οι αδελφοί Ιωάννης και Χαράλαμπος Αργυρόπουλος ίδρυσαν στην Αθήνα μια επιχείρηση εκτύπωσης χάρτινων σακουλών υπό την επωνυμία Alfa Roto. Κατά τα πρώτα στάδια λειτουργίας της, η εταιρεία δραστηριοποιήθηκε σε παραδοσιακές μορφές

εκτύπωσης, ωστόσο ήδη από τη δεκαετία του 1970 άρχισε να επενδύει σε προηγμένες τεχνολογίες, με χαρακτηριστικό παράδειγμα την εγκατάσταση της πρώτης εκτυπωτικής μηχανής βαθυτυπίας στο εργοστάσιο του Βοτανικού το 1975.

Κατά τη δεκαετία του 1980, η επιχείρηση διεύρυνε το παραγωγικό της αντικείμενο, εισερχόμενη στον τομέα της εκτύπωσης πλαστικών υποστρωμάτων, γεγονός που σηματοδότησε τη στροφή της προς την παραγωγή εύκαμπτων υλικών συσκευασίας. Η εξέλιξη αυτή ενισχύθηκε περαιτέρω τη δεκαετία του 1990, με τη δημιουργία της Beta Roto το 1995 στη Βιομηχανική Περιοχή Κομοτηνής, επιλογή που αντανάκλα τη στρατηγική γεωγραφική επέκταση της εταιρείας και τη στόχευση σε νέες αγορές. Λίγα χρόνια αργότερα, το 1997, ξεκίνησε η εξαγωγική δραστηριότητα της επιχείρησης, αρχικά προς τις χώρες των Βαλκανίων, ενώ η επένδυση σε νέα φλεξογραφική τεχνολογία το 1999 συνέβαλε σημαντικά στην ενίσχυση της παραγωγικής της ευελιξίας και ανταγωνιστικότητας.

Στις αρχές της δεκαετίας του 2000, η εταιρεία υιοθέτησε μια πιο εξωστρεφή στρατηγική, θέτοντας ως βασικό στόχο την επέκταση στις αγορές της Δυτικής Ευρώπης. Το 2004 πραγματοποιήθηκε η συγχώνευση των εταιρειών Alfa Roto A.B.E.E. και Beta Roto A.B.E.E., γεγονός που οδήγησε στη δημιουργία ενός ενιαίου και ισχυρότερου οργανισμού με αυξημένες παραγωγικές δυνατότητες. Παράλληλα, από το 2006 και έπειτα, η λειτουργία της εταιρείας οργανώθηκε σύμφωνα με διεθνώς αναγνωρισμένα πρότυπα διαχείρισης ποιότητας, περιβάλλοντος και ασφάλειας τροφίμων, ενσωματώνοντας πιστοποιήσεις όπως ISO 9001, ISO 14001, ISO 22000 και BRC, στοιχείο που ενίσχυσε την αξιοπιστία της στην αγορά των συσκευασιών τροφίμων.

Η περαιτέρω καθετοποίηση της παραγωγής επιτεύχθηκε το 2007, με την εξαγορά της εταιρείας χάραξης κυλίνδρων βαθυτυπίας Prisma, η οποία εδρεύει στη ΒΙ.ΠΕ. Κομοτηνής. Η επένδυση αυτή επέτρεψε τον καλύτερο έλεγχο της παραγωγικής διαδικασίας και τη βελτίωση της ποιότητας των τελικών προϊόντων. Κατά την περίοδο 2005–2011, η Alfa Beta Roto υλοποίησε ένα εκτεταμένο επενδυτικό πρόγραμμα ύψους περίπου 30 εκατομμυρίων ευρώ, ενισχύοντας σημαντικά την παραγωγική της υποδομή με σύγχρονες εκτυπωτικές, λαμιναριστικές και μεταποιητικές μονάδες, καθώς και με

σύστημα ανάκτησης διαλυτών, τα οποία συνέβαλαν τόσο στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος όσο και στη βελτίωση της οικονομικής αποδοτικότητας. Ωστόσο, το 2011 αποτέλεσε σημείο καμπής για την εταιρεία, καθώς μια καταστροφική πυρκαγιά στο εργοστάσιο της Κομοτηνής προκάλεσε σοβαρές απώλειες σε ανθρώπινο και υλικοτεχνικό επίπεδο. Παρά τις δυσμενείς συνθήκες, η επιχείρηση κατόρθωσε να ανακάμψει σε σύντομο χρονικό διάστημα, υλοποιώντας ένα σχέδιο ανασυγκρότησης που περιλάμβανε στρατηγικές συνεργασίες, επενδύσεις σε νέο σύγχρονο εξοπλισμό και την κατασκευή νέας παραγωγικής μονάδας. Μέχρι το 2013, η εταιρεία είχε αποκαταστήσει σημαντικό μέρος της παραγωγικής της δυναμικότητας, διατηρώντας παράλληλα την εμπορική της παρουσία.

Καθοριστικό ρόλο στη μετέπειτα ανάπτυξη της εταιρείας διαδραμάτισε η είσοδος του ομίλου Schur Flexibles, μετέπειτα ADAPA GROUP στο μετοχικό της κεφάλαιο το 2013, αποκτώντας πλειοψηφικό ποσοστό. Η ένταξη σε έναν ισχυρό ευρωπαϊκό όμιλο ενίσχυσε περαιτέρω τη διεθνοποίηση της επιχείρησης. Τα επόμενα έτη, και ειδικότερα την περίοδο 2014–2015, ολοκληρώθηκε ένα νέο επενδυτικό πρόγραμμα με την εγκατάσταση και αναβάθμιση σύγχρονων μηχανών βαθυτυπίας, καθιστώντας τη μονάδα της Κομοτηνής μία από τις πλέον τεχνολογικά προηγμένες στην Ευρώπη (Everodori, n.d.).

Η μονάδα της adapa Greece στην Κομοτηνή αναγνωρίζεται πλέον ως μία από τις πλέον προηγμένες εγκαταστάσεις στον τομέα της βαθυτυπικής εκτύπωσης, αποτελώντας σημείο αναφοράς για την παραγωγή υψηλής ποιότητας έντυπης συσκευασίας. Οι σύγχρονες και υψηλής απόδοσης υποδομές της επιτρέπουν την εκτύπωση μονών και σύνθετων laminate υλικών με έως και έντεκα χρώματα, καλύπτοντας απαιτητικές προδιαγραφές ποιότητας και αισθητικής.

Η συγκεκριμένη παραγωγική μονάδα έχει αναπτύξει ένα ευρύ και διαφοροποιημένο χαρτοφυλάκιο λύσεων συσκευασίας, το οποίο απευθύνεται σε πολλαπλούς κλάδους της αγοράς συσκευασίας, όπως η βιομηχανία τροφίμων και ποτών, τα απορρυπαντικά, τα προϊόντα προσωπικής φροντίδας, καθώς και ο φαρμακευτικός τομέας. Παράλληλα, η καθετοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας ενισχύεται από τη λειτουργία ιδιόκτητης μονάδας χάραξης κυλίνδρων βαθυτυπίας, γεγονός που συμβάλλει στον αποτελεσματικό έλεγχο της ποιότητας και στη μείωση των χρόνων παραγωγής. Στο πλαίσιο αυτό, η

θυγατρική Prisma Cylinders Engraving δραστηριοποιείται στον τομέα της χάραξης κυλίνδρων βαθυτυπίας για περισσότερα από τριάντα έτη, ενώ τα τελευταία χρόνια έχει υλοποιήσει σημαντικές επενδύσεις σε σύγχρονο τεχνολογικό εξοπλισμό, ενισχύοντας περαιτέρω την παραγωγική της ικανότητα και την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών.

Κεντρικό χαρακτηριστικό της εταιρείας αποτελεί η πελατοκεντρική της προσέγγιση, με έμφαση στην ανάπτυξη εξατομικευμένων λύσεων που ανταποκρίνονται στις ιδιαίτερες ανάγκες των συνεργατών της προσαρμοσμένη στις τελευταίες καινοτομίες καθώς και σύμφωνα με όλα τα νέα νομοθετικά πλαίσια σχετικά με τη συμμόρφωση με βιώσιμες λύσεις (Adapa-Group, 2026).

Η πορεία αυτή αναδεικνύει μια επιχείρηση που, μέσα από συνεχείς επενδύσεις, τεχνολογική αναβάθμιση και στρατηγικές συνεργασίες, κατάφερε να εξελιχθεί σε έναν σημαντικό παίκτη της ευρωπαϊκής και όχι μόνο αγοράς συσκευασίας (Everodopi, n.d.).

8.3 Παραγωγική και Τεχνολογική Υποδομή πριν την Ένταξη

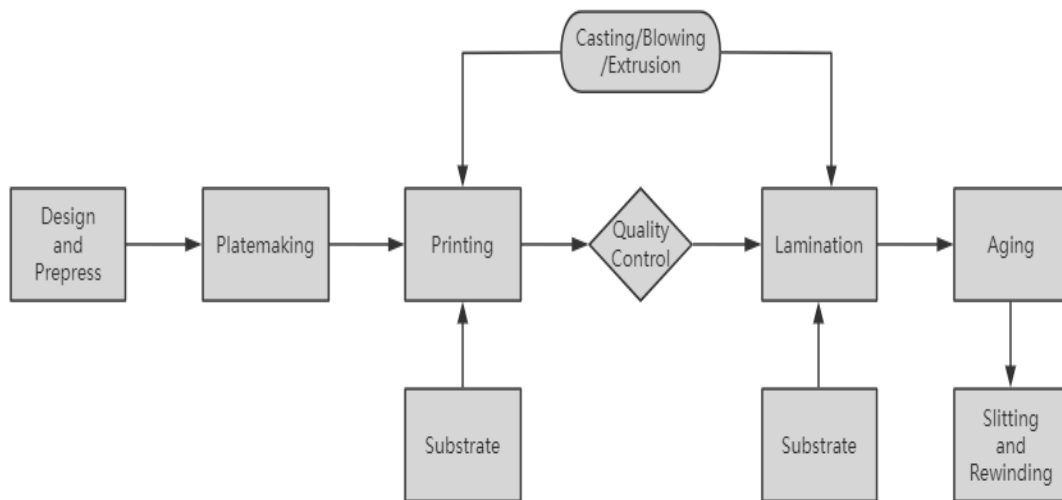
Καινοτομιών του Ψηφιακού μετασχηματισμού

Στις μέχρι τώρα μονάδες εύκαμπτης συσκευασίας και ειδικότερα της βαθυτυπικής εκτύπωσης, τα παραδοσιακά παραγωγικά μοντέλα χαρακτηρίζονταν από υψηλό βαθμό μηχανολογικής εξειδίκευσης, αλλά περιορισμένης διασύνδεσης μεταξύ των επιμέρους σταδίων παραγωγής τόσο στην ίδια της γραμμή παραγωγής όσο και στα επόμενα στάδια του Converting.

Η συνολική παραγωγική διαδικασία βασιζόταν σε μια γραμμική και διακριτή ακολουθία σταδίων, η οποία περιλάμβανε την προεκτύπωση (PrePress), τη χάραξη κυλίνδρων, τη βαθυτυπική εκτύπωση με ευδιάκριτη τον χειροκίνητο χειρισμό των αντίστοιχων καθοριστικών παραμέτρων της εκτύπωσης όπως είναι η μη αυτόματη τροφοδοσία πρώτης ύλης και κυλίνδρων, χειροκίνητο set up και register των κυλίνδρων, χειροκίνητη ρύθμιση ιξώδους ανά χρώμα, μη αυτόματη τοποθέτηση και διόρθωση θέσης doctor blades holder, τη λαμινारιστική επεξεργασία, την κοπή (slitting) και μεταποίηση του τελικού προϊόντος. Κάθε στάδιο λειτουργούσε σε μεγάλο βαθμό αυτόνομα χωρίς καμία

ψηφιακή υποστήριξη, με περιορισμένη ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, γεγονός που επηρέαζε τη συνολική ορατότητα της παραγωγής και την ταχύτητα λήψης αποφάσεων.

Το workflow της εταιρείας αποτυπώνεται στην παρακάτω εικόνα 55



Εικόνα 55. Production Workflow

Notes: [Flexible Packaging Manufacturing Process Guide | KDW](#)

Η παραγωγική διαδικασία στη βιομηχανία εύκαμπτων υλικών συσκευασίας ακολουθεί μία διαδοχική και τεχνολογικά εξειδικευμένη ροή σταδίων, η οποία ξεκινά από τον σχεδιασμό και καταλήγει στη διαμόρφωση του τελικού προϊόντος. Το διάγραμμα ροής (workflow) που παρουσιάζεται αποτυπώνει τα βασικά στάδια της διαδικασίας, τα οποία περιλαμβάνουν την προεκτύπωση, τη χάραξη κυλίνδρων, την εκτύπωση, τον ποιοτικό έλεγχο, τη λαμιναρική επεξεργασία και την κοπή/επανατύλιξη (slitting).

8.3.1 Προεκτύπωση - Prepress

Η διαδικασία ξεκινάει με το στάδιο του σχεδιασμού και της προεκτύπωσης, όπου αναπτύσσεται το εικαστικό της συσκευασίας, συμπεριλαμβανομένων των γραφικών στοιχείων, του κειμένου και των τεχνικών προδιαγραφών. Η φάση αυτή είναι ιδιαίτερα

κρίσιμη, καθώς καθορίζει την τελική μορφή του προϊόντος και απαιτεί υψηλό βαθμό ακρίβειας ώστε να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του πελάτη. Το στάδιο της προετοιμασίας της προεκτύπωσης αφορά το πρώτο στάδιο του πρώτου βήματος εκσυγχρονισμού στα πλαίσια της ψηφιοποίησης. Παρόλο που η ίδια η παραγωγική διαδικασία έχει κάνει τεράστια άλματα στην είσοδο των καινοτομιών της 4IR τα τελευταία χρόνια, η προεκτύπωση έχει εισέλθει στην ψηφιακή εποχή ήδη από την έναρξη της τρίτης βιομηχανικής Επανάστασης με την αρχική εισαγωγή της πρώτης ψηφιακής μορφής. Πραγματοποιούνται οι διεργασίες Prepress, όπως ο διαχωρισμός χρωμάτων και η δημιουργία δοκιμίων (proofing), με στόχο την έγκριση του πελάτη για τη διασφάλιση της πιστής αναπαραγωγής του σχεδίου κατά την εκτύπωση.

Η προετοιμασία των αρχείων πραγματοποιούνταν μέσω ανεξάρτητων συστημάτων γραφιστικής και χρωματικού διαχωρισμού. Οι διαδικασίες Trapping, step and repeat, color Separation και proofing απαιτούσαν σημαντικό χρόνο επεξεργασίας και εξειδικευμένο προσωπικό, ενώ η επικοινωνία μεταξύ προεκτύπωσης και παραγωγής γινόταν κυρίως μέσω έντυπων δελτίων ή αποσπασματικών ψηφιακών αρχείων. Η παραγωγή και χάραξη των κυλίνδρων βαθυτυπίας αποτελούσε επίσης μία ιδιαίτερα απαιτητική διαδικασία, η οποία συχνά δεν συνδεόταν σε πραγματικό χρόνο με την παραγωγή με αποτέλεσμα να υπάρχει “δοκιμή και σφάλμα” σε κάθε πιθανή χάραξη των κυλίνδρων βαθυτυπίας.

Η προεκτυπωτική διαδικασία της βαθυτυπίας στο παρελθόν βασιζόταν κυρίως σε αναλογικές μεθόδους προετοιμασίας εικόνας. Η παραγωγή των εκτυπωτικών αρχείων γινόταν με τη χρήση φιλμ και φωτογραφικών δοκιμίων, ενώ ο διαχωρισμός των χρωμάτων πραγματοποιούνταν με φωτομηχανικά μέσα. Το μοντάζ των στοιχείων γινόταν χειροκίνητα, γεγονός που απαιτούσε μεγάλη ακρίβεια και εμπειρία από τους τεχνικούς. Η ποιότητα του τελικού αποτελέσματος εξαρτιόταν σε σημαντικό βαθμό από την εξειδίκευση του προσωπικού, καθώς πολλές διαδικασίες δεν ήταν αυτοματοποιημένες και δεν υπήρχαν ψηφιακά εργαλεία ελέγχου.

Στον τομέα της διαχείρισης χρώματος, η σταθερότητα και η συνέπεια ήταν δύσκολο να επιτευχθούν. Ο έλεγχος του χρώματος βασιζόταν κυρίως στην εμπειρία και την οπτική κρίση του χειριστή, ενώ τα διαθέσιμα ICC profiles και τα συστήματα color Management

ήταν περιορισμένα. Ως αποτέλεσμα, υπήρχαν συχνά αποκλίσεις μεταξύ διαφορετικών εκτυπωτικών runs, γεγονός που επηρέαζε την ποιότητα και την ομοιομορφία της παραγωγής.

Η προεκτυπωτική διαδικασία της βαθυτυπίας πριν από το Industry 4.0 χαρακτηριζόταν από υψηλή εξάρτηση από τον ανθρώπινο παράγοντα, περιορισμένη αυτοματοποίηση και δυσκολία στη διατήρηση σταθερής ποιότητας. Η μετάβαση στη σημερινή ψηφιακή εποχή άλλαξε ριζικά αυτό το μοντέλο, εισάγοντας νέες τεχνολογίες που βελτίωσαν την ταχύτητα, την ακρίβεια, τη συνδεσιμότητα και την αποδοτικότητα της παραγωγής.

8.3.2 Χάραξη Κυλίνδρων

Το στάδιο της χάραξης κυλίνδρων βαθυτυπίας αποτελεί θεμελιώδη διαδικασία για τη μεταφορά της εικόνας στο εκτυπωτικό υπόστρωμα. Κατά τη φάση αυτή, η εικόνα μεταφέρεται με υψηλή ακρίβεια στην επιφάνεια του κυλίνδρου μέσω χάραξης κυψελίδων σε συγκεκριμένη γεωμετρική διάταξη, οι οποίες καθορίζουν την ποσότητα μελανιού που θα αποδοθεί. Ακολουθεί δοκιμαστική εκτύπωση για την απόδοση σε εύκαμπτο υπόστρωμα «cylinder proof» για την απόδοση και έλεγχο του παραγόμενου εκτυπωτικού μέσου δηλαδή τον κύλινδρο.

Η χάραξη των κυλίνδρων βαθυτυπίας αποτελεί πλέον έναν από τους πιο χαρακτηριστικούς τομείς όπου μπορεί κανείς να δει καθαρά τη μετάβαση από τη βιοτεχνική δεξιοτεχνία στη σύγχρονη ψηφιακή τεχνολογία. Η διαφορά ανάμεσα στο παρελθόν και το σήμερα δεν αφορά μόνο την ταχύτητα παραγωγής ή την ακρίβεια, αφορά ολόκληρη τη νοοτροπία με την οποία δημιουργείται ένας κύλινδρος εκτύπωσης. Το παραγωγικό αποτέλεσμα του διαχωρισμού της προεκτύπωσης αποτελεί την έναρξη της διαδικασίας χάραξης του κυλίνδρου. Τα ηλεκτρονικά διαχωρισμένα αρχεία μεταφράζονται πλέον σε διαδικασίες χάραξης αποτυπώνοντας σε κατάλληλο σχήμα και βάθος «κυψέλες χάραξης» με σκοπό την όσο γίνεται αποτελεσματικότερη τοποθέτηση και εναπόθεση του μελανιού στο εύκαμπτο φιλμ προκειμένου να αποδοθεί σωστά το εκάστοτε εικαστικό της μακέτας.

Στις πρώτες δεκαετίες της βαθυτυπίας, η χάραξη των κυλίνδρων ήταν μια ιδιαίτερα απαιτητική και σχεδόν καλλιτεχνική διαδικασία. Οι κύλινδροι κατασκευάζονταν

συνήθως από χαλύβδινη βάση με επικάλυψη χαλκού, επάνω στην οποία γινόταν η χάραξη με ηλεκτρομηχανικά μέσα με εφαρμογές υψηλής λεπτομέρειας.

Η ποιότητα της εκτύπωσης εξαρτιόταν άμεσα από τον τρόπο χάραξης. Οι κυψέλες της βαθυτυπίας δημιουργούνταν με ηλεκτρομηχανική χάραξη, όπου μια διαμαντένια βελόνα «χτυπούσε» την επιφάνεια του κυλίνδρου δημιουργώντας μικροσκοπικές κοιλότητες διαφορετικού βάθους και όγκου. Η διαδικασία απαιτούσε συνεχή ρύθμιση, δοκιμές και διορθώσεις. Οι περιορισμοί της τεχνολογίας εκείνης της εποχής σήμαιναν ότι η σταθερότητα μεταξύ δύο κυλίνδρων δεν ήταν πάντα δεδομένη. Κάθε κύλινδρος είχε μικρές διαφοροποιήσεις, ακόμη και όταν επρόκειτο για επανάληψη της ίδιας εργασίας.

Στη σύγχρονη εποχή, η χάραξη κυλίνδρων βαθυτυπίας έχει μεταμορφωθεί μέσω της ψηφιοποίησης. Οι ηλεκτρομηχανικές κεφαλές έχουν εξελιχθεί δραματικά, ενώ η laser Engraving έχει αλλάξει τα δεδομένα σε πολλές εφαρμογές. Η εικόνα πλέον επεξεργάζεται ψηφιακά με τεράστια ακρίβεια πριν φτάσει στον κύλινδρο. Το λογισμικό ελέγχει το σχήμα, το βάθος και τη γεωμετρία κάθε κυψέλης με τρόπο που παλαιότερα ήταν αδύνατος.

Οι σύγχρονοι κύλινδροι παρουσιάζουν εξαιρετική ομοιομορφία. Η σταθερότητα στη μεταφορά μελανιού, η πιστότητα των χρωμάτων και η δυνατότητα αναπαραγωγής της ίδιας εργασίας μετά από χρόνια αποτελούν πλέον δεδομένα της παραγωγής. Τα συστήματα αυτόματου ελέγχου με κάμερες υψηλής ανάλυσης μπορούν να εντοπίσουν ακόμη και μικροσκοπικές ατέλειες στην επιφάνεια του κυλίνδρου μετά και το πέρας της χάραξης ή ακόμα και κατά τη διάρκεια αυτής.

Σημαντική διαφοροποίηση υπάρχει και στα ίδια τα χαρακτηριστικά της χάραξης. Στο παρελθόν, οι κυψέλες είχαν πιο περιορισμένες γεωμετρικές δυνατότητες, ενώ σήμερα μπορούν να σχεδιαστούν με εξαιρετικά πολύπλοκες μορφές ώστε να βελτιώνεται η απελευθέρωση του μελανιού, η πυκνότητα χρώματος και η ποιότητα στις υψηλές ταχύτητες εκτύπωσης. Αυτό είναι ιδιαίτερα κρίσιμο στη σύγχρονη εύκαμπτη συσκευασία, όπου απαιτούνται λεπτομέρεια, έντονα χρώματα και σταθερότητα σε τεράστιους όγκους παραγωγής.

Παράλληλα, άλλαξε και ο ρόλος του ανθρώπου. Ο παραδοσιακός χαρακτήρας, που βασιζόταν κυρίως στην εμπειρία και στο «ένστικτο» του υλικού, αντικαταστάθηκε

σταδιακά από εξειδικευμένους χειριστές ψηφιακών συστημάτων, μηχανικούς προεκτύπωσης και τεχνικούς αυτοματισμού. Η γνώση δεν χάνεται πλέον μόνο με τη συνταξιοδότηση ενός έμπειρου τεχνίτη αλλά αποθηκεύεται σε δεδομένα, προφίλ παραγωγής και ψηφιακές βιβλιοθήκες. Παρόλα αυτά, ακόμη και σήμερα, η εμπειρία παραμένει πολύτιμη. Παρά την τεχνολογία, η βαθυτυπία εξακολουθεί να απαιτεί βαθιά κατανόηση της σχέσης ανάμεσα στην κυψέλη, το μελάνι, το υπόστρωμα και την ταχύτητα εκτύπωσης. Η μεγάλη διαφορά είναι ότι στο παρελθόν η ποιότητα βασιζόταν κυρίως στο ανθρώπινο χέρι, ενώ σήμερα βασίζεται στη συνεργασία ανθρώπινης τεχνογνωσίας και ψηφιακής ακρίβειας.

8.3.3 Rotogravure Printing – Βαθυτυπία

Οι μηχανές βαθυτυπίας των προηγούμενων δεκαετιών βασίζονται κυρίως σε αναλογικά και μηχανικά συστήματα ελέγχου, συνδυάζοντας ιδιαίτερα υψηλές ταχύτητες παραγωγής με αυξημένες απαιτήσεις χειρισμού και τεχνικής εξειδίκευσης. Παρά το σημαντικό αρχικό κόστος εγκατάστασης και προετοιμασίας, η μέθοδος της βαθυτυπίας καθιερώθηκε ως μία από τις πλέον κατάλληλες τεχνολογίες για εφαρμογές συνεχούς και μεγάλου όγκου παραγωγής, εξαιτίας της υψηλής ποιότητας εκτύπωσης, της σταθερότητας αναπαραγωγής και της μεγάλης αντοχής των εκτυπωτικών κυλίνδρων.

ROTOGRAVURE PRINTERS	MAX COLORS	SURFACE PRINTING	REVERSE PRINTING
Cerutti R960 (ΦΟΙΝΙΞ)	9colors	✓	✓
Cerutti RB810 980/1 (FILM RUNNER)	8colors	✓	✓
Cerruti R980/2 (TAZ)	9colors	✓	✓
W&H Heliostar (HERMES)	11colors	✓	✓

Εικόνα 56. Μηχανές Βαθυτυπίας ADAPA GRK

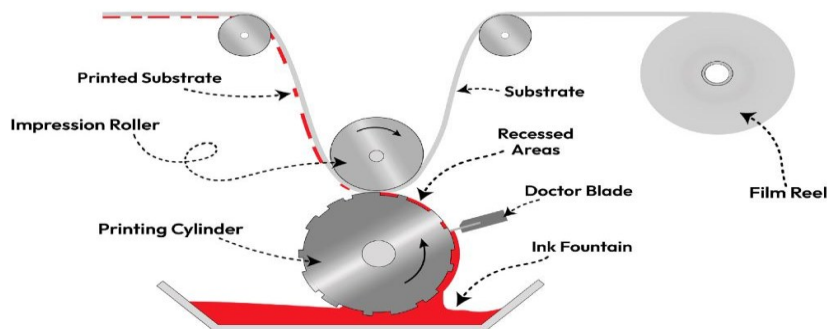
Η λειτουργία της βαθυτυπίας βασίζεται στη χάραξη της εικόνας ή του γραφικού στοιχείου σε μορφή μικροσκοπικών κυψελών επάνω σε μεταλλικό κύλινδρο, ο οποίος αρχικά επικαλύπτεται με χαλκό, χαράζονται οι κυψέλες με το ανάλογο εικαστικό ανά χρώμα εκτύπωσης και στη συνέχεια επιχρωμιάονται για την αύξηση της αντοχής του (όπως φαίνεται στην εικόνα 57). Οι κυψέλες αυτές γεμίζουν με μελάνι ανάλογου ιξώδους και, μέσω της εφαρμογής πίεσης μεταξύ του κυλίνδρου και του impression roller, το μελάνι μεταφέρεται στο εύκαμπτο υπόστρωμα (όπως φαίνεται στην εικόνα 58). Η ποσότητα μελανιού που αποδίδεται εξαρτάται άμεσα από το βάθος και τον όγκο των κυψελών, βαθύτερες εγχαράξεις συγκρατούν μεγαλύτερη ποσότητα μελανιού και αποδίδουν πιο σκούρες τονικές περιοχές, ενώ μικρότερες εγχαράξεις παράγουν ανοιχτότερους τόνους. Η αρχή αυτή επιτρέπει την εξαιρετικά ακριβή αναπαραγωγή φωτογραφικών εικόνων και λεπτομερών γραφικών στοιχείων.



Εικόνα 57. Εγχάρακτη Επιφάνεια Κυλίνδρου - Μορφή Κουκίδας Χάραξης

Notes: [Image Capture and Analysis of Rotogravure Using a Digital Microscope | KEYENCE America](#)

Rotogravure Printing Process



Εικόνα 58. Rotogravure Printing - Mechanical Process

Notes: [Rotogravure printing – what is it? | Limepack](#)

Η έναρξη κάθε παραγωγικής διαδικασίας προϋποθέτει την πλήρη ενημέρωση του χειριστή σχετικά με τις τεχνικές προδιαγραφές του προϊόντος, τη δομή του υλικού, τη χρωματική διάταξη και τη συνολική ακολουθία μετατροπής (Converting), από το στάδιο της εκτύπωσης έως την τελική διαμόρφωση και παράδοση του προϊόντος στον πελάτη. Σε περιβάλλοντα παραγωγής όπου δεν υπάρχει διασύνδεση με Συστήματα Επιχειρησιακού Σχεδιασμού (ERP) και Συστήματα Εκτέλεσης Παραγωγής (MES), η επικοινωνία βασίζεται κυρίως σε έντυπα δελτία παραγωγής (job tickets), τα οποία περιέχουν πληροφορίες σχετικά με τη σύνθεση του προϊόντος, τα εκτυπωτικά χαρακτηριστικά, τα απαιτούμενα αναλώσιμα και τις παραμέτρους διαμόρφωσης. Μέσω αυτής της διαδικασίας διασφαλίζεται η επιλογή των κατάλληλων συνθηκών και διαδικασιών όπως οι σωστοί τύποι μελανιών, σωστών τιμών ιξώδους, των κατάλληλων doctor blades, καθώς και των απαραίτητων πιέσεων εκτύπωσης και συνθηκών ξήρανσης.

Η ιχνηλασιμότητα των πρώτων υλών και των αναλωσίμων πραγματοποιείται χειροκίνητα, μέσω έντυπων καταγραφών, γεγονός που αυξάνει την πιθανότητα λαθών και καθυστερήσεων στην αναζήτηση δεδομένων παραγωγής. Αντίστοιχα, οι ρυθμίσεις της μηχανής πραγματοποιούνται κυρίως από τον χειριστή, ο οποίος προετοιμάζει τη σειρά των κυλίνδρων, τις τανύσεις του υλικού, τις θερμοκρασίες ξήρανσης, τις πιέσεις εκτύπωσης, με βάση την εμπειρία και τις τεχνικές οδηγίες της εκάστοτε εργασίας.

Οι γραμμές παραγωγής βαθυτυπίας χαρακτηρίζονται από μεγάλο φυσικό μήκος, το οποίο συχνά υπερβαίνει τα 20 μέτρα. Οι ταχύτητες λειτουργίας μπορούν να ξεπεράσουν τα 400m/min. Η επίτευξη σωστού register αποτελεί μία από τις πιο κρίσιμες διαδικασίες της εκτύπωσης, καθώς απαιτεί ακριβή ευθυγράμμιση των χρωματικών μονάδων για τη σωστή απόδοση των process colors και της τελικής εικόνας. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται αρχικά σε χαμηλές ταχύτητες και απαιτεί συνεχείς χειροκίνητες διορθώσεις μέχρι την επίτευξη της επιθυμητής χρωματικής και γεωμετρικής ακρίβειας σύμφωνα με τον πρότυπο οδηγό register operator control της Grafikontrol (όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 59).



Εικόνα 59. Register Operator Control - Grafikontrol

Notes: [CR25-CR26 - Grafikontrol](#)

Μετά την επίτευξη του register, ακολουθεί η διαδικασία χρωματικής εξισορρόπησης και μηχανικής σταθεροποίησης με βάση το χρωματικό στόχο. Ο χειριστής προχωράει σε συνεχείς ρυθμίσεις του ιξώδους των μελανιών, της επιφανειακής τάσης του υποστρώματος, των τανύσεων και των πιέσεων εκτύπωσης, προκειμένου να διασφαλιστεί η σταθερότητα της παραγωγής και η σωστή αναπαραγωγή του εικαστικού. Η εκτύπωση πραγματοποιείται μέσω της μεταφοράς μελανιού από τις χαραγμένες

κυψέλες του κυλίνδρου στο εύκαμπτο υλικό, ενώ η απομάκρυνση της περίσσειας μελανιού γίνεται με τη χρήση doctor blades.

Τα συστήματα μελάνωσης βασίζονται σε δεξαμενές και σκάφες μελανιού, μέσα στις οποίες περιστρέφεται ο κύλινδρος βαθυτυπίας. Σε ορισμένες εφαρμογές χρησιμοποιείται ενδιάμεσο ράουλο εφαρμογής (ραουλίνι), κατασκευασμένο από ειδική γόμα latex, το οποίο εξασφαλίζει πιο ομοιόμορφη εναπόθεση μελανιού και μειώνει προβλήματα όπως αφρισμός, παφλασμοί ή δημιουργία στροβίλων στο μελάνι. Τα διαλυτοκεντρικά μελάνια της βαθυτυπίας παρουσιάζουν υψηλή ρευστότητα ώστε να γεμίζουν αποτελεσματικά τις μικροσκοπικές κυψέλες και απαιτούν συνεχή χειροκίνητη μέτρηση και ρύθμιση του ιξώδους από τον χειριστή.

Η doctor blade αποτελεί λεπτή μεταλλική λεπίδα υψηλής ακρίβειας, η οποία εφάπτεται στην επιφάνεια του κυλίνδρου και αφαιρεί την περίσσεια μελανιού, αφήνοντας μελάνι μόνο στο εσωτερικό των κυψελών. Η σωστή ρύθμιση της γωνίας, της πίεσης και της συνολικής θέσης του doctor blade holder πραγματοποιείται χειροκίνητα και επηρεάζει άμεσα την ποιότητα εκτύπωσης, καθώς λανθασμένες ρυθμίσεις μπορούν να προκαλέσουν γραμμώσεις, λεκέδες ή ανομοιομορφίες στην τελική εικόνα.

Στη συνέχεια, το εκτυπωμένο υπόστρωμα διέρχονταν από θαλάμους ξήρανσης, όπου θερμός αέρας εξασφάλιζε την εξάτμιση των διαλυτών και τη σταθεροποίηση του μελανιού πριν από την επόμενη χρωματική μονάδα. Τα συστήματα ξήρανσης των παραδοσιακών μηχανών είναι μεγάλου μήκους και ιδιαίτερα ενεργοβόρα, ενώ απαιτούν και ειδικά συστήματα εξαερισμού λόγω της παρουσίας πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC) που προέρχονται από τους διαλύτες των μελανιών.

Παράλληλα, σημαντικό μέρος της διαδικασίας αποτελεί ο ποιοτικός έλεγχος. Η δοκιμαστική εκτύπωση σε ταχύτητα παραγωγής απαιτεί τη συνεχή επιθεώρηση του εκτυπωμένου υποστρώματος για τον έλεγχο της χρωματικής απόδοσης, της σταθερότητας του register και της παρουσίας ελαττωμάτων που συνδέονται με αποκλίσεις του υλικού, λανθασμένο ιξώδες ή προβλήματα καθαρισμού των κυλίνδρων. Οι έλεγχοι πραγματοποιούνταν κυρίως off-line και απαιτούσαν συχνές διακοπές της παραγωγικής διαδικασίας για τη διόρθωση των αποκλίσεων (όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες 60, 61).



Εικόνα 60. Viscosity Problems

Notes: [Mottle – Ink Troubleshooting App](#)



Εικόνα 61. Hazing Problems

Notes: [Troubleshooting Tools - Gravure and Flexo](#)

Σε επίπεδο μηχανολογικής υποδομής, οι παραδοσιακές μηχανές βαθυτυπίας βασίζονται σε μηχανικά συστήματα μετάδοσης κίνησης μέσω αξόνων, γραναζιών και συνδέσμων, ενώ ο συγχρονισμός των κυλίνδρων πραγματοποιείται μηχανικά. Οι ρυθμίσεις register γίνονται είτε χειροκίνητα είτε μέσω αναλογικών συστημάτων ελέγχου, γεγονός που περιορίζει σημαντικά την ταχύτητα προσαρμογής και τη συνολική ευελιξία της παραγωγής.

Πριν την υιοθέτηση συστημάτων Inline inspection, όπως τα συστήματα οπτικού ελέγχου AVT, ο ποιοτικός έλεγχος βασίζεται κυρίως σε ανθρώπινη επιθεώρηση. Οι χειριστές πραγματοποιούν δειγματοληπτικό έλεγχο κατά τη διάρκεια της εκτύπωσης, γεγονός που

αυξάνει τον κίνδυνο μη έγκαιρου εντοπισμού ελαττωμάτων, όπως αποκλίσεις χρώματος, missing Print, streaks, pinholes ή registration errors. Ως αποτέλεσμα, αρκετές φορές τα προβλήματα γίνονται αντιληπτά σε μεταγενέστερα στάδια της παραγωγής ή ακόμη και μετά την ολοκλήρωση της παραγγελίας, οδηγώντας σε επανεκτυπώσεις, απώλεια υλικών και αυξημένο παραγωγικό κόστος.

Η βαθυτυπία εξακολουθεί να αποτελεί μία από τις πλέον αποδοτικές τεχνολογίες για εφαρμογές μεγάλου τιράζ, καθώς παρέχει υψηλή ποιότητα εκτύπωσης, μεγάλη διάρκεια ζωής κυλίνδρων και σταθερότητα παραγωγής σε υψηλές ταχύτητες λειτουργίας. Ωστόσο, η όχι αναβαθμισμένη τεχνολογικά βαθυτυπία χαρακτηρίζεται από αυξημένο κόστος προετοιμασίας, μεγάλους χρόνους αλλαγής εργασίας, υψηλή κατανάλωση διαλυτών και περιορισμένη αυτοματοποίηση. Η περιορισμένη διασύνδεση μεταξύ των τμημάτων προεκτύπωσης, χάραξης κυλίνδρων και εκτύπωσης είχε ως αποτέλεσμα την καθυστερημένη ανίχνευση προβλημάτων, τα οποία συχνά γίνονταν αντιληπτά πλέον κατά τη διάρκεια ή και το τέλος της παραγωγής. Παράλληλα, διαδικασίες όπως το proofing, ο ποιοτικός έλεγχος και η ρύθμιση register απαιτούν σημαντικό χρόνο και εξάρτηση από την εμπειρία του χειριστή.

Παρότι οι σύγχρονες τεχνολογικές εξελίξεις έχουν οδηγήσει στην ενσωμάτωση ψηφιακών συστημάτων ελέγχου, αυτοματισμών, Inline inspection, MES, ERP και τεχνολογιών Industry 4.0, οι βασικές αρχές λειτουργίας της βαθυτυπίας παραμένουν ουσιαστικά αμετάβλητες. Οι νέες τεχνολογίες λειτουργούν πλέον συμπληρωματικά πάνω στη θεμελιώδη μηχανική αρχιτεκτονική της διαδικασίας, επιδιώκοντας τη βελτίωση της σταθερότητας, της ποιότητας, της ιχνηλασιμότητας και της συνολικής αποδοτικότητας της παραγωγής στον κλάδο του Flexibles packaging και του Converting.

8.3.4 Lamination – Λαμινάρισμα

Η Βιομηχανία του Converting εκτός από την εκτύπωση που αποτελεί την καρδιά της βιομηχανικής μονάδας απαρτίζεται και από επιμέρους στάδια μορφοποίησης. Σημαντικότερο που ακολουθεί είναι η λαμιναρική επεξεργασία «lamination». Η διαδικασία μπορεί να πραγματοποιηθεί με διαφορετικές μεθόδους, όπως συγκόλληση με ή χωρίς διαλύτες, ανάλογα με τις απαιτήσεις του τελικού προϊόντος. Σκοπός της

διεργασίας laminating είναι η δημιουργία σύνθετων δομών που προσφέρουν αυξημένες ιδιότητες προστασίας, μηχανική αντοχή, θερμοσυγκολλησιμότητα, προστασία από υγρασία και οξυγόνο, καθώς και βελτιωμένη εκτυπωτική συμπεριφορά για εφαρμογές στη βιομηχανία τροφίμων, φαρμάκων και καταναλωτικών προϊόντων.

Η λειτουργία του λαμιναρίσματος πραγματοποιείται χωρίς διασύνδεση με κεντρικά πληροφοριακά συστήματα ERP ή MES, γεγονός που καθιστά απαραίτητη τη χρήση έντυπων οδηγιών παραγωγής (job tickets). Τα έντυπα αυτά περιλαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με τη δομή του laminate, τους τύπους των υποστρωμάτων, τις προτεινόμενες ποσότητες κόλλας, ανάλογα με την εφαρμογή, τις θερμοκρασίες λειτουργίας, τις επιθυμητές τανύσεις και τις τεχνικές προδιαγραφές του τελικού προϊόντος. Η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των τμημάτων εκτύπωσης, λαμιναρίσματος και τελικής κοπής, λαμβάνει χώρα κυρίως χειροκίνητα, δημιουργώντας αυξημένες πιθανότητες καθυστερήσεων, αποκλίσεων και σφαλμάτων.

Η προετοιμασία της μηχανής απαιτεί την τοποθέτηση των κατάλληλων υλικών υποστρώματος, τη ρύθμιση των αξόνων ξετυλίγματος και τυλίγματος, τη χειροκίνητη ρύθμιση των τανύσεων κάθε υλικού, την εξασφάλιση ψύξης στις μεταλλικές καλάνδρες της διαδρομής του υλικού αλλά και τις σωστές θερμοκρασίες του μίγματος στους μεταλλικούς κυλίνδρους για την κόλληση (όπως φαίνεται στην εικόνα 62). Η σωστή ισορροπία τάνυσης είναι ιδιαίτερα κρίσιμη, καθώς αποκλίσεις μπορούν να οδηγήσουν σε παραμορφώσεις, εγκλωβισμό αέρα, δημιουργία ζαρώματος ή προβλήματα register στις επόμενες διεργασίες Converting, όπως είναι η εφαρμογή off-line ψυχρόκολλας, peelstripe, laser scoring, slitting. Οι χειριστές βασίζονται κυρίως στην εμπειρική παρατήρηση και στη μηχανική αίσθηση της συμπεριφοράς του υλικού κατά τη λειτουργία της γραμμής.



Εικόνα 62. Μηχανή Lamination

Notes: Customizable Solvent free Laminator for 3 Side Sealing Pouch with Fast Sleeve Change - Packing Solutions Laminating Laminator and Efficient Film Laminating Laminator

Στις περισσότερες εφαρμογές χρησιμοποιούνται solvent based ή solventless συστήματα κόλλησης, τα οποία και προετοιμάζονται σε εξωτερικά mixing units. Στην περίπτωση των διαλυτοκεντρικών «solvent-based adhesives», η κόλλα αραιώνεται με οργανικούς διαλύτες και εφαρμόζεται μέσω κυλίνδρων επίστρωσης (application roller) επάνω στο ένα υπόστρωμα. Στη συνέχεια, το υλικό διέρχεται από εκτεταμένους θαλάμους ξήρανσης, όπου μέσω θερμού αέρα επιτυγχανόταν η εξάτμιση των διαλυτών πριν από την ένωση με το δεύτερο υπόστρωμα. Η διαδικασία απαιτεί ιδιαίτερα ακριβή ρύθμιση θερμοκρασιών και ροής αέρα, ώστε να αποφεύγεται είτε η ανεπαρκής ξήρανση είτε η θερμική καταπόνηση των εύκαμπτων υλικών.

Οι γραμμές λαμιναρίσματος χαρακτηρίζονται από υψηλή ενεργειακή κατανάλωση και μεγάλους μήκους φούρνους ξήρανσης, ενώ παράλληλα απαιτούν ειδικά συστήματα εξαερισμού και ανάκτησης διαλυτών λόγω των πτητικών οργανικών ενώσεων «VOC». Η διαχείριση των VOC αποτελούσε κρίσιμο ζήτημα τόσο για την ασφάλεια του προσωπικού όσο και για τη συμμόρφωση με τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις.

Η εφαρμογή της κόλλας πραγματοποιείται μέσω χαραγμένου βαθυτυπικού κυλίνδρου, όπου η ποσότητα κόλλας ρυθμίζεται μηχανικά από τον χειριστή μέσω αλλαγής κυλίνδρων, ρυθμίσεων doctor blade και προσαρμογής του ιξώδους της κόλλας. Η μέτρηση του ιξώδους γίνεται χειροκίνητα με τη χρήση κυπέλλων μέτρησης (viscosity

cups), ενώ οι διορθώσεις πραγματοποιούνται με προσθήκη διαλύτη ή κατά τη διάρκεια της παραγωγής. Η απουσία αυτόματων Inline συστημάτων παρακολούθησης είχε ως αποτέλεσμα σημαντικές αποκλίσεις στη σταθερότητα της επίστρωσης.

Μετά την εφαρμογή της κόλλας και την ξήρανση, τα δύο υποστρώματα ενώνονταν μέσω nip rollers υπό συγκεκριμένη πίεση και θερμοκρασία. Η σωστή ρύθμιση της πίεσης κόλλησης αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την ποιότητα του laminate, καθώς λανθασμένες ρυθμίσεις μπορούν να προκαλέσουν ανεπαρκή κόλληση, φυσαλίδες αέρα ή ανομοιομορφίες στην επιφάνεια του προϊόντος. Η συνολική διαδικασία απαιτεί συνεχή παρακολούθηση από τον χειριστή, ιδιαίτερα σε υψηλές ταχύτητες παραγωγής.

Μετά τη λαμιναριστική διαδικασία, ακολουθεί το στάδιο της ωρίμανσης «curing» κατά την οποία επιτυγχάνεται ο πολυμερισμός του μέσου κόλλησης για να αποκτήσει τις τελικές του ιδιότητες αντοχής. Η φάση αυτή είναι υποχρεωτική για την εξάλειψη όλων των πιθανών μη επιθυμητών ενώσεων που υπάρχουν στο μίγμα του υγρού μέσου κόλλησης αλλά και απαραίτητη για τη σταθεροποίηση της δομής του υλικού που μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε σε συνθήκες περιβάλλοντος είτε με την εφαρμογή θερμότητας, ανάλογα με τις τεχνικές προδιαγραφές και τον επιθυμητό χρόνο παραγωγής.

Ο ποιοτικός έλεγχος στις παραδοσιακές μονάδες λαμιναρίσματος πραγματοποιείται κυρίως off-line. Δείγματα λαμβάνονται περιοδικά από τη γραμμή παραγωγής και ελέγχονται εργαστηριακά ως προς τη δύναμη συγκόλλησης «bond strength», την οπτική ποιότητα, τη διαφάνεια, την παρουσία εγκλωβισμένου αέρα και την αντοχή αποκόλλησης. Σε πολλές περιπτώσεις, προβλήματα στη συγκόλληση εντοπίζονται αρκετές ώρες μετά την παραγωγή, ιδιαίτερα κατά τη φάση ωρίμανσης «curing», γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές απώλειες υλικού και αυξημένο κόστος επαναληπτικής παραγωγής.

LAMINATION	SOLVENT BASED ADHESIVE	SOLVENT FREE ADHESIVE	FINISHING - LACQUERING
NORDMECCANICA SUPER COMBI 3000 C2218	✓	✓	✓
NORDMECCANICA SUPER COMBI 3000 C2397	✓	✓	✓
NORDMECCANICA SUPER SIMPLEX 3000 C1138		✓	
NORDMECCANICA SUPER SIMPLEX 3000 C3503		✓	
SIMPLEX SL 1300 C- 1661		✓	
SIMPLEX SL 1300 C- 1713		✓	

Εικόνα 63. Μηχανές Lamination ADAPA GRK

Η απουσία ψηφιακών συστημάτων παρακολούθησης και συλλογής δεδομένων περιορίζει σημαντικά τη δυνατότητα ανάλυσης της παραγωγικής απόδοσης. Παράμετροι όπως η κατανάλωση κόλλας, η ενεργειακή κατανάλωση, τα downtime, οι αποκλίσεις τάνυσης, καταγράφονται χειροκίνητα, δυσχεραίνοντας τη διαδικασία ιχνηλασιμότητας και βελτιστοποίησης της παραγωγής. Παράλληλα, η έλλειψη διασύνδεσης με τα τμήματα προεκτύπωσης και εκτύπωσης περιορίζει τη δυνατότητα ολοκληρωμένου ελέγχου της συνολικής παραγωγικής ροής.

Παρά τους περιορισμούς αυτούς, το λαμινάρισμα αποτελούσε και συνεχίζει να αποτελεί βασικό πυλώνα της βιομηχανίας εύκαμπτης συσκευασίας, καθώς επιτρέπει τη δημιουργία εξειδικευμένων πολυστρωματικών δομών υψηλής λειτουργικότητας. Οι όχι αναβαθμισμένοι μέθοδοι λειτουργίας χαρακτηρίζονται από υψηλή εξάρτηση από τον

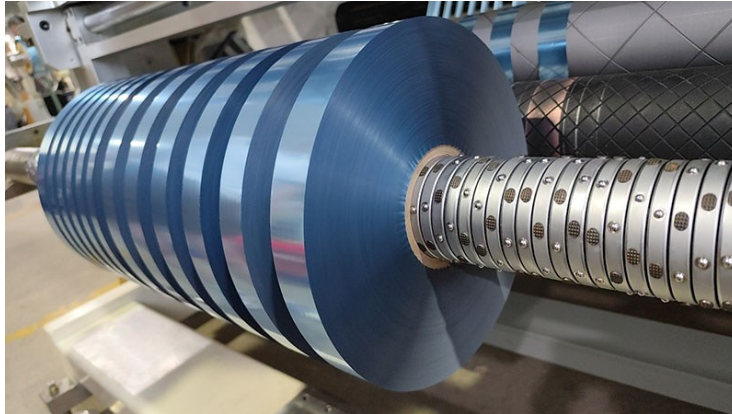
ανθρώπινο παράγοντα, περιορισμένη αυτοματοποίηση, αυξημένες απαιτήσεις ελέγχου και σημαντικές δυσκολίες στη διαχείριση δεδομένων παραγωγής.

Η μετάβαση προς τις τεχνολογίες Industry 4.0 επέφερε ουσιαστικό μετασχηματισμό της διαδικασίας, μέσω της εισαγωγής ψηφιακών συστημάτων ελέγχου τάνυσης, αυτόματης δοσομέτρησης κόλλας, Inline inspection, predictive Maintenance, MES και συστημάτων ανάλυσης παραγωγικών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Παρ' όλα αυτά, οι βασικές μηχανικές και φυσικοχημικές αρχές της διαδικασίας λαμιναρίσματος παραμένουν ουσιαστικά αμετάβλητες, αποτελώντας τη θεμελιώδη βάση πάνω στην οποία ενσωματώνονται οι σύγχρονες ψηφιακές καινοτομίες στον κλάδο του Converting και της εύκαμπτης συσκευασίας.

8.3.5 Slitting Process - Πολλοκοπή

Η διαδικασία του slitting αποτελεί ένα από τα πλέον κρίσιμα στάδια της βιομηχανίας Converting εύκαμπτης συσκευασίας, καθώς αφορά τη μετατροπή των μεγάλων mother rolls σε επιμέρους ρολά συγκεκριμένων διαστάσεων και προδιαγραφών, κατάλληλων είτε για περαιτέρω μετατροπή είτε για τελική χρήση σε συσκευαστικές εφαρμογές. Οι μονάδες slitting λειτουργούν κυρίως μέσω μηχανικών και αναλογικών συστημάτων ελέγχου, με έντονη εξάρτηση από την εμπειρία και τη συνεχή παρέμβαση του χειριστή.

Η βασική λειτουργία της διαδικασίας συνίσταται στην αποκοπή ενός μεγάλου ρολού εύκαμπτου υλικού σε μικρότερα ρολά προκαθορισμένου πλάτους, μέσω περιστροφικών μαχαιριών «rotary knives» ή συστημάτων razor/slitter blades (όπως φαίνεται στην εικόνα 64). Τα υλικά που επεξεργάζονται περιλαμβάνουν εκτυπωμένα ή μη εκτυπωμένα φιλμ πολυαιθυλενίου (PE), πολυπροπυλενίου (BOPP, CPP), πολυεστέρα (PET), χαρτί, αλουμίνιο και πολυστρωματικά laminate υλικά, τα οποία έχουν προηγουμένως έχουν περάσει από διαδικασίες εκτύπωσης και λαμιναρίσματος.



Εικόνα 64. Slitting Process - Product

Notes: [The core functions and advantages of slitting machines in industrial production - DELISH MACHINE](#)

Στις μονάδες Converting χωρίς ψηφιακή διασύνδεση ERP ή MES, η λειτουργία του slitting βασίζεται σε έντυπα δελτία παραγωγής (job tickets), τα οποία περιέχουν πληροφορίες σχετικά με τις τελικές διαστάσεις κοπής, τις ανοχές πλάτους, τη διάμετρο των τελικών ρολών, τον τύπο του υλικού, τις απαιτήσεις winding direction και τις τεχνικές οδηγίες χειρισμού. Η μεταφορά πληροφοριών μεταξύ των προηγούμενων παραγωγικών σταδίων πραγματοποιείται χειροκίνητα, γεγονός που αυξάνει την πιθανότητα λανθασμένων ρυθμίσεων ή αποκλίσεων στις τελικές διαστάσεις του προϊόντος.

Η προετοιμασία της μηχανής απαιτεί τη χειροκίνητη τοποθέτηση των mother rolls στους άξονες unwinding, καθώς και τη μηχανική ρύθμιση των μαχαιριών κοπής σύμφωνα με το επιθυμητό πλάτος παραγωγής. Η διαδικασία αυτή προϋποθέτει υψηλή ακρίβεια και εμπειρία, καθώς ακόμη και μικρές αποκλίσεις στην τοποθέτηση των μαχαιριών μπορούν να οδηγήσουν σε προβλήματα μη εφαρμογής των επιθυμητών προδιαγραφών όπως είναι οι ανομοιόμορφες άκρες, δημιουργία σκόνης ή αστοχίες winding.



Εικόνα 65. Slitting machine Preview

Notes: [The core functions and advantages of slitting machines in industrial production - DELISH MACHINE](#)

Η ρύθμιση της τάνυσης του υλικού αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες της διαδικασίας slitting. Οι μη αναβαθμισμένες μηχανές χρησιμοποιούν κυρίως μηχανικά ή πνευματικά συστήματα ελέγχου τάνυσης, χωρίς τη δυνατότητα αυτόματης δυναμικής προσαρμογής σε πραγματικό χρόνο. Ο χειριστής πρέπει να προσαρμόζει χειροκίνητα τις τιμές tension ανάλογα με το πάχος, την ελαστικότητα και τη δομή του υλικού, ώστε να αποφεύγονται προβλήματα όπως telescoping, κυματισμοί, ζάρες ή αστάθεια winding στα τελικά ρολά.

Κατά τη λειτουργία της γραμμής, το υπόστρωμα ξετυλίγεται από το mother roll και διέρχεται μέσω συστημάτων guide rollers και tension rollers, τα οποία εξασφαλίζουν τη σωστή πορεία και σταθερότητα του υλικού πριν την κοπή. Στη συνέχεια, το υλικό οδηγείται στη μονάδα slitting, όπου πραγματοποιείται η διαμήκης κοπή του. Οι παραδοσιακές μονάδες slitting χρησιμοποιούσαν είτε Share cutting είτε razor cutting συστήματα, ανάλογα με τον τύπο και το πάχος του υποστρώματος.

Στα Share cutting συστήματα, η κοπή πραγματοποιείται μέσω περιστροφικών κυκλικών μαχαιριών αρσενικού θηλυκού τύπου, τα οποία λειτουργούν με μηχανική επαφή υψηλής ακρίβειας. Η σωστή ρύθμιση της πίεσης και της επικάλυψης των μαχαιριών είναι καθοριστικής σημασίας για την ποιότητα κοπής και πραγματοποιείται αποκλειστικά χειροκίνητα από τον χειριστή. Αντίστοιχα, στα razor Systems χρησιμοποιούνται λεπτές λεπίδες ξυραφιού, κατάλληλες κυρίως για λεπτά και εύκαμπτα φιλμ.

Μετά τη διαδικασία κοπής, τα επιμέρους υλικά οδηγούνται σε shafts rewinding, όπου δημιουργούνται τα τελικά ρολά παραγωγής. Η διαδικασία winding αποτελεί ιδιαίτερα κρίσιμο στάδιο, καθώς η ανομοιόμορφη κατανομή τάσης μπορεί να προκαλέσει παραμορφώσεις, εγκλωβισμό αέρα ή μη σταθερή γεωμετρία των ρολών. Οι χειριστές βασίζονται κυρίως στην οπτική παρατήρηση και στην εμπειρία τους για τη ρύθμιση της πίεσης winding και της συνολικής συμπεριφοράς του υλικού.

Ο ποιοτικός έλεγχος της διαδικασίας πραγματοποιείται κυρίως off-line. Δείγματα ελέγχονται περιοδικά για την επιβεβαίωση των διαστάσεων, της ποιότητας κοπής, της ευθυγράμμισης του Print register και της σταθερότητας winding. Η απουσία Inline inspection systems περιορίζει σημαντικά τη δυνατότητα άμεσης ανίχνευσης ελαττωμάτων κατά τη διάρκεια της παραγωγής. Ως αποτέλεσμα, αρκετές αποκλίσεις γίνονταν αντιληπτές μόνο μετά την ολοκλήρωση της παραγωγής ή κατά τα επόμενα στάδια Converting, οδηγώντας σε αυξημένα scrap rates και επαναληπτικές παραγωγές.

Παράλληλα, οι διαδικασίες καταγραφής παραγωγικών δεδομένων πραγματοποιούνται χειροκίνητα. Στοιχεία όπως downtime, waste, αλλαγές εργασίας, καταναλώσεις υλικών και ταχύτητες παραγωγής καταγράφονται σε έντυπες φόρμες, γεγονός που δυσχεραίνει τη συνολική ανάλυση αποδοτικότητας της παραγωγής και περιορίζει τη δυνατότητα αξιοποίησης δεδομένων για predictive Maintenance ή optimization διαδικασίες.

Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό των παραδοσιακών slitter είναι οι μεγάλοι χρόνοι Setup κατά τις αλλαγές εργασιών. Η μηχανική τοποθέτηση μαχαιριών, η ρύθμιση των αποστάσεων κοπής, η αλλαγή shafts και οι δοκιμαστικές εκκινήσεις απαιτούν σημαντικό χρόνο και αυξάνουν τα παραγωγικά downtime. Η έλλειψη αυτοματοποιημένων συστημάτων positioning και recipe storage περιορίζει την επαναληψιμότητα και την ταχύτητα προσαρμογής σε νέες παραγωγές.

Η σημαντικότητα της διαδικασίας slitting έγκειται στο γεγονός ότι εξασφαλίζει τη μετατροπή των μεγάλων βιομηχανικών ρολών σε τελικά formats κατάλληλα για σακουλοποίηση, pouch making, flow Pack εφαρμογές και λοιπές μορφές εύκαμπτης συσκευασίας. Η σταθερότητα κοπής, η ακρίβεια winding και η σωστή διαχείριση τάσης αποτελούν βασικούς παράγοντες για τη συνολική ποιότητα του τελικού προϊόντος.

Η μετάβαση προς το Industry 4.0 οδήγησε σταδιακά στην εισαγωγή αυτόματων συστημάτων knife positioning, ψηφιακού tension Control, Inline defect inspection, Web guiding systems, MES διασύνδεσης και real-time monitoring, μετασχηματίζοντας ουσιαστικά τη λειτουργία των μονάδων slitting. Ωστόσο, οι βασικές μηχανικές αρχές της διαδικασίας παραμένουν ίδιες, αποτελώντας τη βάση πάνω στην οποία ενσωματώνονται οι σύγχρονες ψηφιακές τεχνολογίες στον κλάδο του Converting και της εύκαμπτης συσκευασίας.

SLITTERS	Μέγιστο Πλάτος Υλικού Τροφοδοσίας – Minimum Πλάτος Δυνατότητας Κοπής		
BIMEC STM/632-S 0949 (2006)	1380mm – 35mm		
KAMPF CONSLIT 16/06 (1998)			1650mm – 30mm
LAEM IP55 (1144) 6-0-000-1144-0		1400mm – 30mm	
LAEM TR 4 1125 (10/1125) 2014 6-0-000-1125-0		1400mm – 60mm	
LAEM Mlplus 6.14 IP55 (14/1192) 2015 6-0-000-1192-0		1400mm – 50mm	
LAEM RB4-1400 (17/1505) 2017 6-0-000-1505-0		1400mm – 60mm	

Εικόνα 66. Μηχανές Slitting ADAPA GRK

Συνολικά, η παραγωγική δομή του Converting χαρακτηρίζεται από μια αλληλουχία εξειδικευμένων σταδίων που σχεδιάζονται και στηρίζονται αποκλειστικά στις επιθυμητές προδιαγραφές του πελάτη για την πραγμάτωση του τελικού προϊόντος. Τα στάδια αυτά απαιτούν υψηλό επίπεδο τεχνολογικής υποστήριξης και συντονισμού του ανθρώπινου παράγοντα. Χωρίς την υιοθέτηση ψηφιακών τεχνολογιών, η παρακολούθηση και

διασύνδεση μεταξύ και εντός των σταδίων αυτών είναι περιορισμένη, γεγονός που επηρεάζει την αποδοτικότητα και τη διαφάνεια της παραγωγικής διαδικασίας.

Παρά την ύπαρξη προηγμένου μηχανολογικού εξοπλισμού, η διαχείριση της παραγωγής στηρίζεται κυρίως σε εμπειρικές πρακτικές και στην ανθρώπινη παρέμβαση, ιδιαίτερα σε ό,τι αφορά τον προγραμματισμό παραγωγής, τον ποιοτικό έλεγχο, τη συντήρηση του εξοπλισμού αλλά και την επικοινωνία μεταξύ των παραγωγικών τμημάτων. Τα πληροφοριακά συστήματα, όπου υπάρχουν, λειτουργούν αποσπασματικά, χωρίς πλήρη ενοποίηση, με αποτέλεσμα τη δημιουργία «νησίδων πληροφορίας» εντός της επιχείρησης. Η απουσία συστημάτων παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο περιορίζει τη δυνατότητα έγκαιρου εντοπισμού αποκλίσεων, οδηγώντας συχνά σε αυξημένα ποσοστά αποβλήτων, καθυστερήσεις στην παραγωγή και μειωμένη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων. Η συντήρηση του εξοπλισμού βασιζόταν κατά κύριο λόγο σε προγραμματισμένα χρονικά διαστήματα ή σε αντιδραστικές παρεμβάσεις μετά από βλάβες, γεγονός που επηρέαζε αρνητικά τη διαθεσιμότητα των μηχανών.

8.3.6 Συμπεράσματα Συνολικού Converting πριν την Ένταξη Καινοτομιών του Ψηφιακού μετασχηματισμού

Πριν από την εισαγωγή των προηγμένων ψηφιακών τεχνολογιών της Βιομηχανίας 4.0, οι μονάδες Converting με εκτύπωση βαθυτυπίας λειτουργούσαν κυρίως με βάση παραδοσιακές βιομηχανικές πρακτικές, όπου η εμπειρία του χειριστή και η ανθρώπινη παρέμβαση αποτελούσαν τους βασικούς παράγοντες ελέγχου και διαχείρισης της παραγωγικής διαδικασίας. Παρότι υπήρχαν οι βασικοί μηχανικοί αυτοματισμοί, η συνολική παραγωγική ροή χαρακτηριζόταν από περιορισμένη διασύνδεση μεταξύ των επιμέρους σταδίων παραγωγής, χαμηλό επίπεδο συλλογής και αξιοποίησης δεδομένων, καθώς και αυξημένη εξάρτηση από χειροκίνητους ελέγχους.

Στο επίπεδο της εκτύπωσης, οι βαθυτυπικές μηχανές διαθέτουν βασικά αυτοματοποιημένα χαρακτηριστικά, χωρίς όμως να υπάρχει ολοκληρωμένη ψηφιακή παρακολούθηση της παραγωγικής διαδικασίας. Η ρύθμιση των χρωμάτων βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην εμπειρία του χειριστή, ενώ η χρωματική σταθερότητα διασφαλίζεται μέσω χειροκίνητων δειγματοληπτικών ελέγχων με γνώμονα μόνο το ανθρώπινο μάτι και

ενίστε περιδικών μετρήσεων με φασματοφωτόμετρα, πάντα σε off-line εφαρμογή. Η απουσία ολοκληρωμένων συστημάτων color Management δημιουργεί συχνά αποκλίσεις μεταξύ διαφορετικών παραγωγών, αυξημένη φύρα κατά το Setup των μηχανών και δυσκολία επαναληψιμότητας σε επαναλαμβανόμενες εργασίες.

Η συνολική ροή παραγωγής στο Converting περιλάμβανε διαδοχικά στάδια εκτύπωσης, πλαστικοποίησης (lamination), κοπής (slitting) τελικού προϊόντος. Ωστόσο, τα επιμέρους μηχανήματα λειτουργούσαν συχνά ως αυτόνομες παραγωγικές νησίδες, χωρίς ολοκληρωμένη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ τους. Η παρακολούθηση της παραγωγής πραγματοποιούνταν μέσω χειρόγραφων δελτίων, Excel αρχείων ή βασικών ERP συστημάτων, τα οποία δεν παρείχαν δυνατότητα real-time monitoring της παραγωγικής κατάστασης. Ως συνέπεια, η διοίκηση της παραγωγής δεν είχε άμεση εικόνα για κρίσιμους δείκτες απόδοσης, όπως OEE (Overall Equipment Effectiveness), νεκρούς χρόνους, waste percentages ή actual παραγωγικές ταχύτητες.

Η έλλειψη ολοκληρωμένων MES (Manufacturing Execution Systems) περιόριζε σημαντικά τη δυνατότητα ανάλυσης δεδομένων και λήψης αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο. Οι πληροφορίες σχετικά με βλάβες μηχανών, χρόνους Setup, κατανάλωση υλικών και αποδοτικότητα παραγωγής καταγράφονταν αποσπασματικά και αναλύονταν εκ των υστέρων, γεγονός που δυσχέραινε την εφαρμογή προγνωστικής συντήρησης ή διαδικασιών συνεχούς βελτίωσης. Οι προγραμματισμοί παραγωγής γίνονταν συνήθως εμπειρικά, χωρίς προηγμένους αλγορίθμους βελτιστοποίησης, οδηγώντας σε αυξημένους χρόνους αλλαγής εργασιών και μειωμένη αξιοποίηση του εξοπλισμού.

Η απουσία ρομποτικών εφαρμογών και συνεργατικών συστημάτων αυτοματοποίησης είχε ως αποτέλεσμα πολλές εργασίες μεταφοράς υλικών, παλετοποίησης, φόρτωσης κυλίνδρων και χειρισμού ρολών να πραγματοποιούνται χειροκίνητα. Η κατάσταση αυτή αύξανε τόσο τη φυσική καταπόνηση των εργαζομένων όσο και τον κίνδυνο λαθών ή ατυχημάτων, ενώ παράλληλα περιόριζε τη συνολική παραγωγική ευελιξία της μονάδας.

Συνολικά, η προ-Industry 4.0 λειτουργία μιας μονάδας βαθυτυπίας και Converting χαρακτηρίζεται από αποσπασματική αυτοματοποίηση, περιορισμένη ψηφιακή διασύνδεση και χαμηλή αξιοποίηση παραγωγικών δεδομένων. Οι καθυστερήσεις στην πληροφόρηση, η αύξηση των «νεκρών» χρόνων κατά την προετοιμασία, οι χρονοβόρες

αλλαγές των εργασιών, η εξάρτηση από χειριστές υψηλής εξειδίκευσης, τα αυξημένα ποσοστά φύρας, η δυσκολία πρόβλεψης βλαβών και η περιορισμένη δυνατότητα ανάλυσης της παραγωγικής απόδοσης αποτέλεσαν βασικούς παράγοντες που οδήγησαν τη βιομηχανία στην ανάγκη ψηφιακού μετασχηματισμού.

8.4 Παραγωγική και Τεχνολογική Υποδομή Μετά την Ένταξη Καινοτομιών του Ψηφιακού Μετασχηματισμού

Η ενσωμάτωση τεχνολογιών της Βιομηχανίας 4.0, αναλυτικότερα, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων «IIoT», Σύστημα Ανάλυσης Μεγάλων Δεδομένων «Big Data analytics», Σύστημα Επιχειρησιακού Σχεδιασμού «ERP», Σύστημα Εκτέλεσης Παραγωγής «MES», Πληροφοριακά Συστήματα Διοίκησης «MIS», Τεχνητή Νοημοσύνη «AI», η ρομποτική επιτρέπουν την αναβάθμιση των παραγωγικών διαδικασιών σε «έξυπνα εργοστάσια, Smart factories», δίνοντας τη δυνατότητα να πραγματοποιείται η οργάνωση, η συλλογή, η επεξεργασία και η αξιοποίηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

Παράλληλα, η μετάβαση αυτή συνοδεύεται και από τη διεύρυνση των δυνατοτήτων προγνωστικής συντήρησης «Predictive Maintenance», μέσω της αξιοποίησης των τοποθετούμενων αισθητήρων και αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, οι οποίοι επιτρέπουν την έγκαιρη ανίχνευση δυσλειτουργιών και την πρόληψη βλαβών. Η προσέγγιση αυτή συμβάλλει ουσιαστικά στη μείωση του χρόνου διακοπής λειτουργίας «νεκρών χρόνων, downtime» και στη βελτίωση της συνολικής αποδοτικότητας εξοπλισμού «OEE», ενισχύοντας την αξιοπιστία και τη βιωσιμότητα της μονάδας παραγωγής. Οι μέχρι τώρα παραδοσιακά σύνθετες διαδικασίες της παραγωγής εκτύπωσης της Βαθυτυπίας αλλά και του Converting στο σύνολό των διαδικασιών του μετασχηματίζονται σε ολοκληρωμένα και δυναμικά συστήματα, όπου η πληροφορία ρέει απρόσκοπτα μεταξύ μηχανών, συστημάτων και ανθρώπινου δυναμικού.

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται επίσης περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές προεκτάσεις των αλλαγών αυτών, καθώς η βιωσιμότητα αναδεικνύεται σε βασικό παράγοντα στρατηγικού σχεδιασμού της συγκεκριμένης επιχείρησης. Η υιοθέτηση πρακτικών κυκλικής οικονομίας, η μείωση των αποβλήτων και η βελτιστοποίηση της

χρήσης πρώτων υλών και ενέργειας αποτελούν προτεραιότητες, τόσο λόγω παγκόσμιων νομοθετικών απαιτήσεων όσο και λόγω αυξανόμενων προσδοκιών από την πλευρά των πελατών. Στον χώρο της εκτύπωσης και της συσκευασίας, αυτό μεταφράζεται σε επενδύσεις σε τεχνολογίες που μειώνουν τα απορρίμματα παραγωγής, βελτιώνουν την ενεργειακή αποδοτικότητα και διευκολύνουν την ανακύκλωση ή επαναχρησιμοποίηση των υλικών.

8.4.1 Ψηφιακός Μετασχηματισμός, Αναβαθμίσεις και Τεχνολογικές Παρεμβάσεις στην Μονάδα Converting

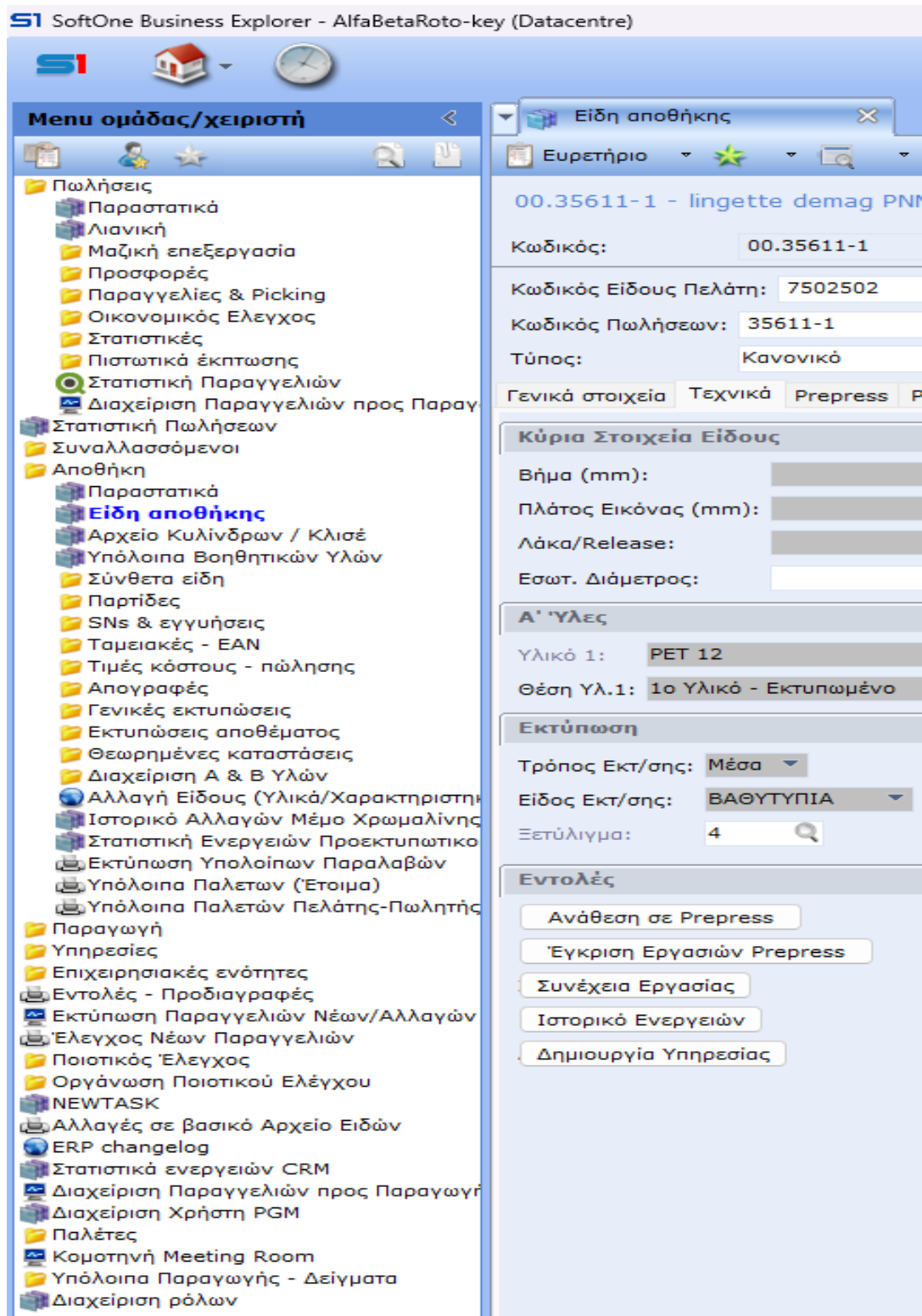
Οι Τεχνολογίες και καινοτομίες που συνδέονται με την Industry 4.0 και εφαρμόστηκαν στην παραγωγή της Βαθυτυπίας αλλά και του συνολικού Converting αφορά εισαγωγή των παρακάτω προσαρμοσμένων προηγμένων καινοτομιών στις ανάγκες της επιχείρησης αναβαθμίζοντας τον υπάρχοντα εξοπλισμό. Έχοντας ως πρότυπη εφαρμογή την άμεση επιβολή των συστημάτων IIoT και blockchain η μονάδα Converting της Adapa κατάφερε να δομήσει και να υποστηρίξει τις παρακάτω καινοτομίες τόσο για την παραγωγή, το τεχνική υποστήριξη αλλά και τα επιμέρους τμήματα.

1. Εισαγωγή εφαρμογών ERP και MIS για οργανωτική και διοικητική διαχείριση παραγωγής και πόρων.
2. Εφαρμογή MES για παρακολούθηση και έλεγχο σε πραγματικό χρόνο, εφαρμογή Cloud για καταγραφή, διαχείριση δεδομένων και δυνατότητα απομακρυσμένης υποστήριξης. Εφαρμογή Edge Computing για την κατά τμήμα διαχείριση δεδομένων κλειστών κυκλωμάτων πληροφορίας.
3. IoT αισθητήρες σε μηχανές βαθυτυπίας αλλά και στις μηχανές παραγωγής του συνολικού Converting.
4. Ανάπτυξη και εφαρμογή AI, ρομποτικών και cobots συστημάτων σε παραγωγή αλλά και προγραμματισμού προληπτικής συντήρησης.

Αναλυτικότερα η περιγραφή της εισαγωγής των παραπάνω αναβαθμίσεων αφορά

Ανάπτυξη και Εφαρμογή Συστήματος Επιχειρησιακού Σχεδιασμού «ERP»

Ανάπτυξη για όλα τα τμήματα της βιομηχανίας ADAPA, ειδικότερα στην παραγωγή αλλά και ανάπτυξη MIS για την εξασφάλιση προγραμματισμού και οργάνωσης παραγωγής. Η τεχνολογία ERP που αναπτύχθηκε στη συγκεκριμένη μονάδα αφορά την εταιρεία SOFT1, προσαρμοσμένη πλατφόρμα συστήματος οργάνωσης παραγωγής καλύπτοντας όχι μόνο την οργάνωση αλλά και το συνολικό Production Flow. Το ERP Soft1 αφορά από την εισαγωγή πρώτων υλών, επεξεργασία ημιέτοιμου και εξαγωγή του τελικού προϊόντος. Η ανάπτυξη και εφαρμογή του καλύπτει όλες τις ανάγκες που σχετίζονται και με τα επιμέρους τμήματα όπως λογιστήριο, MRP «Materials requirement planning», procurement department, RND department, Quality control department, Logistics department, sales department κλπ. (όπως φαίνεται στην εικόνα 67).



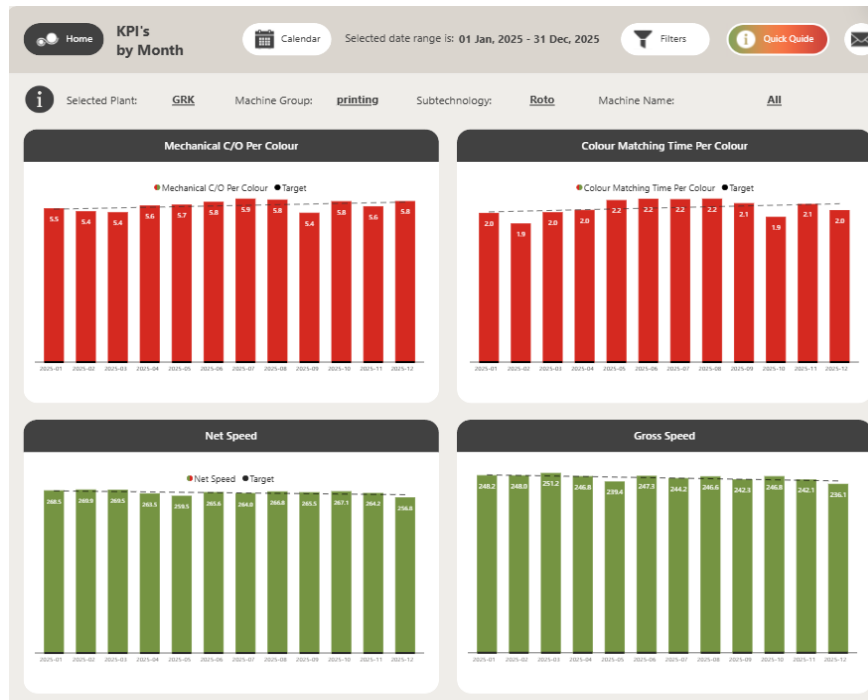
Εικόνα 67. ERP - Soft1 ADAPA GRK

Data Analytics για Ασφαλή Real-time Monitoring και Εξαγωγή Δεικτών Παραγωγικότητας.

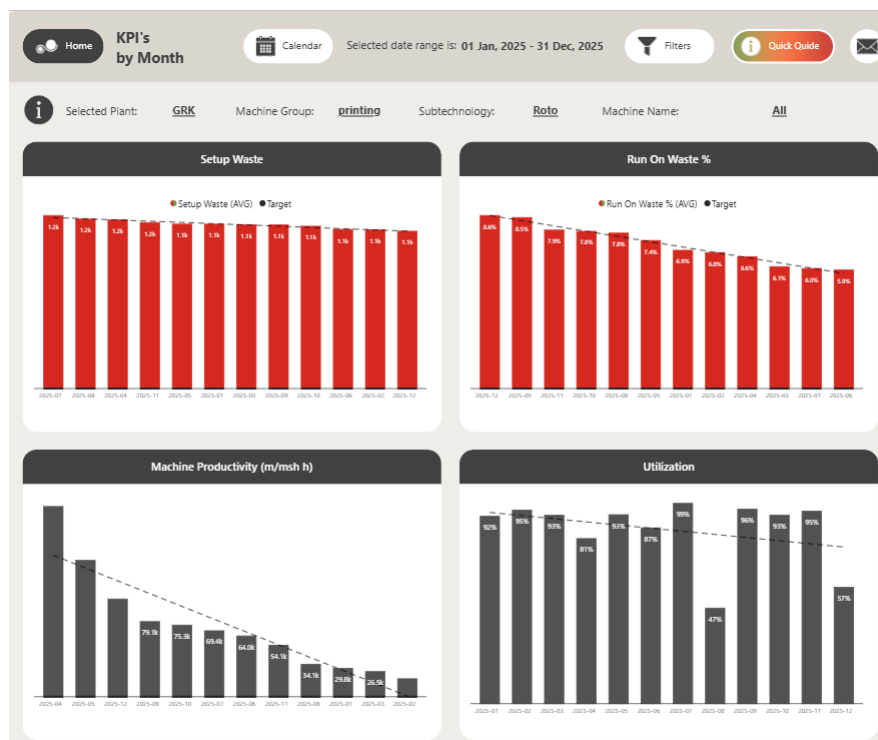
Από το Planning, procurement μέχρι την παραγωγή τελικού προϊόντος και την τεχνική συντήρηση, τα Data analytics σε συνδυασμό με την εφαρμογή συστήματος MES, αποτελούν τη σύγχρονη ψηφιακή λύση για την ασφαλή καθοδήγηση της παραγωγής, την εξαγωγή συμπερασμάτων, τον καθορισμό Kpi's παραγωγικότητας και της συνολικής αποδοτικότητας εξοπλισμού «OEE». Η καταγραφή γίνεται με την εφαρμογή αισθητήρων και την αυτόματη καταχώρηση δεδομένων από το Plc των μηχανών παραγωγής αλλά και από το ίδιο το σύστημα ERP πάντα σε συνεργασία με το Plc των μηχανών παραγωγής. Ο χειριστής θα πρέπει να σηματοδοτεί τα δεδομένα ανάγνωσης της μηχανής με την εισαγωγή κωδικού έναρξης για την διαφοροποίηση των εργασιών του ημερήσιου προγράμματος παραγωγής. Χαρακτηριστικό πρόγραμμα ανάπτυξης αποτελεί το PBI για την εταιρεία ADAPA με το Operations Report όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες 68, 69, 70.



Εικόνα 68. PBI - Monitoring Options



Εικόνα 69. Real Monitoring - Καταγραφές Δεδομένων Βαθουτυπίας - Μηχανική αλλαγή-Χρωματική αλλαγή - Ταχύτητες Παραγωγής



Εικόνα 70. Καταγραφές Δεδομένων Βαθουτυπίας - Setup Waste – Run On Waste - Παραγωγικότητα Μηχανών - Utilization Μηχανών

Ενσωμάτωση Cloud και Edge Computing

Η ψηφιακή κοινόχρηστη προσβασιμότητα καθώς και η δυνατότητα κοινόχρηστου χώρου εργασίας μειώνει το χρόνο αναμονής προσφέροντας άμεση δυνατότητα επεξεργασίας και προσβασιμότητας από τα εμπλεκόμενα τμήματα. Περίπτωση χρήσης Cloud αποτελεί η δυνατότητα σύνδεσης απομακρυσμένης τεχνικής υποστήριξης κατευθείαν με τη μονάδα επεξεργασία καθώς και δυνατότητα πρόσβασης των αρχείων διαχωρισμού PrePress και παράλληλου Exporting σε χάραξη παρέχοντας τη δυνατότητα παράλληλης και άμεσης πρόσβασης σε κοινά αρχεία. Δυνατότητα άμεσης πρόσβασης και κοινής επεξεργασίας από κάθε τμήμα παρέχοντας την απαιτούμενη ασφάλεια επιτρέποντας την υιοθέτηση περιορισμών επεξεργασίας κατ'επιλογή. Ένα καθοριστικό στοιχείο cloud αποτελεί η ίδια εφαρμογή του ERP της soft1 σε ανάπτυξη της Proof score, όπου τα προς επεξεργασία αρχεία και οι διαχωρισμοί τους μπορούν να εμφανίζονται στην καρτέλα της κάθε εργασίας (όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 71). Η δυνατότητα χρήσης του cloud επεκτείνεται σε όλες τις εφαρμογές για όλα τα τμήματα είτε μέσω ERP είτε εκτός. Σοβαρή προϋπόθεση χρήσης του cloud αποτελεί το δικαίωμα πρόσβασης που έχει και παρέχει το κάθε τμήμα προς το άλλο, εξασφαλίζοντας με τον τρόπο αυτό την επιθυμητή κυβερνοασφάλεια. Στο σημείο αυτό λαμβάνει δράση η εφαρμογή Edge Computing του ERP της soft1 ανά τμήμα.



Εικόνα 71. Χρήση Cloud για Διαχείριση Αρχείων Prepress με Proof scope

Εξασφάλιση Big Data και Αυτόματων Διαγνωστικών και Επεμβατικών Συστημάτων AI

Αφορά τη βαθυτυπία για το viscosity control, register control, tension control, doctor blade control και adhesive scanning control system για την παραγωγή του λαμινάριατος (όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες 72, 73, 74, 75, 76). Η εισαγωγή των συγκεκριμένων εργαλείων μηδενίζουν την ανθρώπινη παρέμβαση καθώς δεν αποτελούν διαγνωστικά εργαλεία με παράλληλη παύση της παραγωγής αλλά αποτελούν διαγνωστικά και επεμβατικά μέσα διόρθωσης χωρίς να σταματάει η παραγωγή. Λειτουργούν αυτόματα και δραστικά κατά τη διάρκεια της εκτύπωσης με διατήρηση της ταχύτητας στοχεύοντας στην μείωση των νεκρών χρόνων, στη μείωση της ποσότητας waste αλλά και στην επίτευξη της αποφυγής μείωσης της μέσης ταχύτητας παραγωγής. Αποτελούν σημαντικές τεχνολογίες και ως αισθητήρες για την δημιουργία δεικτών, καθώς έχουν τη δυνατότητα να συλλέγουν και να παρέχουν στατιστικές αναλύσεις παρουσίας, συχνότητας και διόρθωσης των προβλημάτων (όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 77).



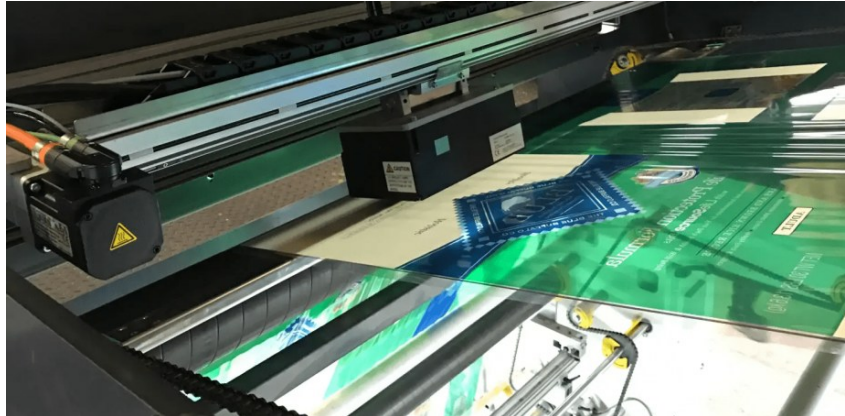
Εικόνα 72. Viscosity Control



Εικόνα 73. Register Control



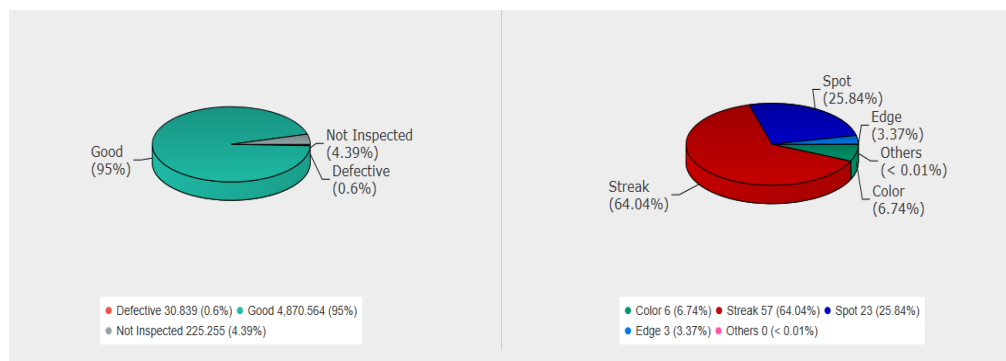
Εικόνα 74. Doctor Blade Holder Control



Εικόνα 75. G-Scan Lamination Adhesive Sensor



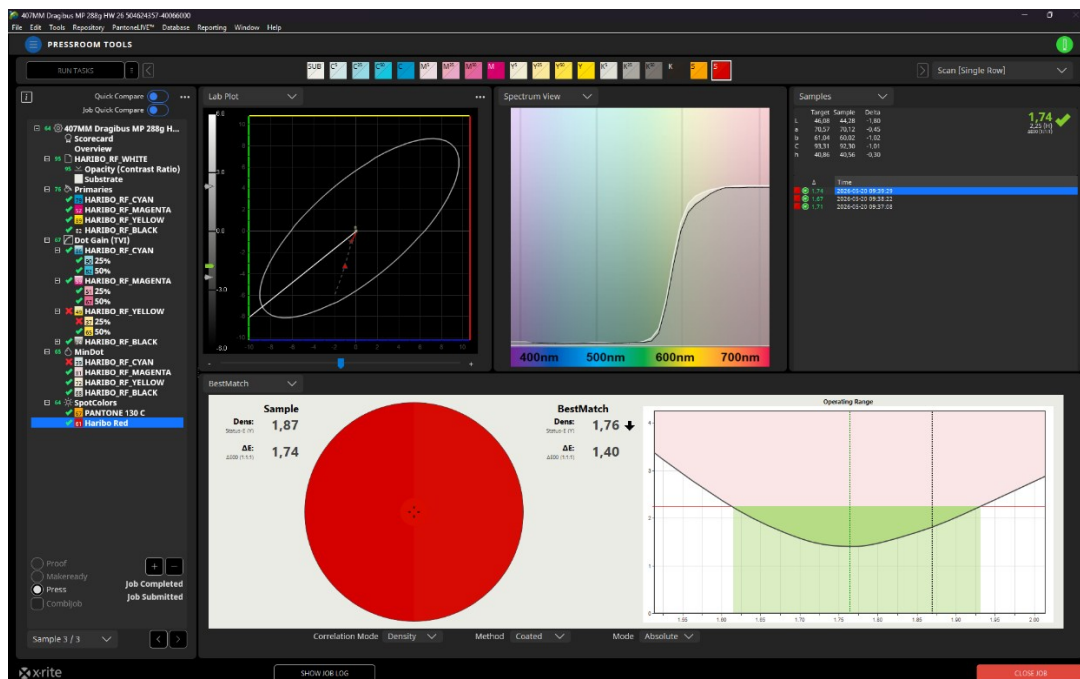
Εικόνα 76. G-Scan Lamination Adhesive Control



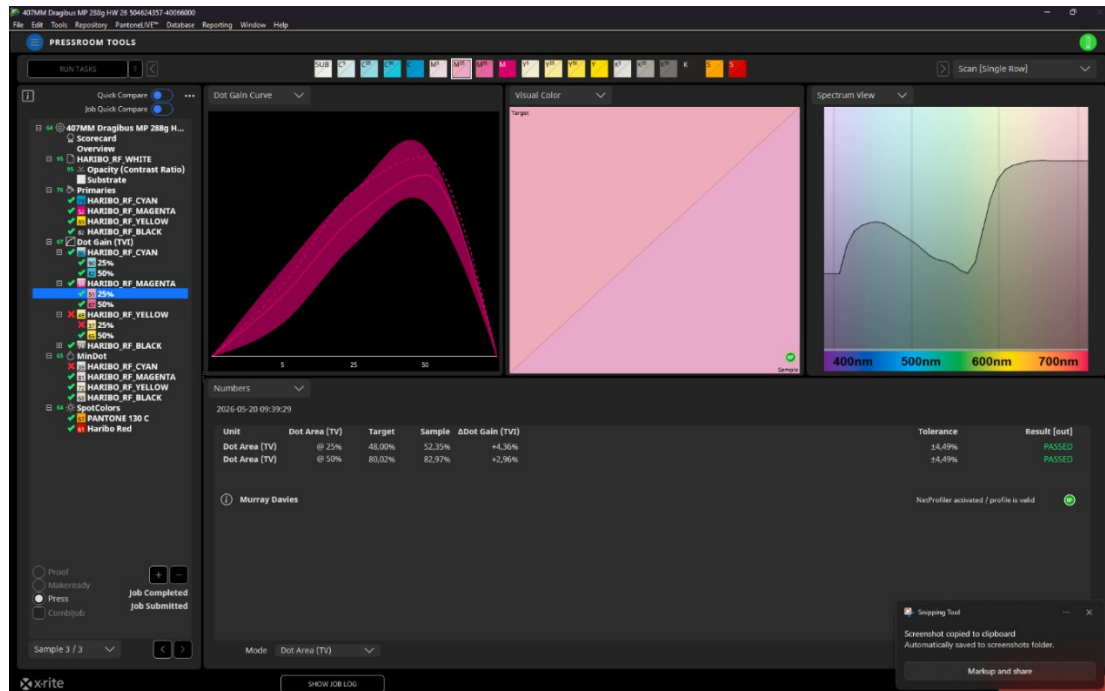
Εικόνα 77. Στατιστικές Αναλύσεις Συχνότητας και Διόρθωσης Προβλημάτων

Εισαγωγή Αυτοματοποιημένων Συστημάτων Inline Ποιοτικού Ελέγχου

Color management και Inspection system που αφορά παράλληλη στήριξη με εισαγωγή βιβλιοθήκης δεδομένων χρωμάτων σε ψηφιακή μορφή. cxf για την βελτιστοποίηση της ποιότητας και άμεση επίγνωση και διόρθωση πιθανών χρωματικών αποκλίσεων, τόσο για τα Process Colors όσο και για τα Spot. Οι έλεγχοι αυτοί μπορεί να περιλαμβάνουν συστήματα μέτρησης και παρακολούθησης κατά τη διάρκεια της εκτύπωσης αλλά και εξειδικευμένα συστήματα αξιολόγησης της ποιότητας, τα οποία εξετάζουν παραμέτρους όπως η χρωματική απόδοση, η ευκρίνεια, η ευθυγράμμιση των κυλίνδρων, καθώς και έλεγχοι μηχανικών ιδιοτήτων που αφορά τις διαστάσεις των πρότυπων έργων σε σχέση με τα παραγόμενα όπως είναι η βαθμολόγηση της ικανότητας ανάγνωσης κωδικών barcodes, QR codes, διαστάσεις προϊόντων. Παράδειγμα color management αποτελεί το Color Cert της εταιρείας X-act αλλά και η inline δυνατότητα της AVT color management (όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες 78, 79).



Εικόνα 78. Εφαρμογή ColorCert Ψηφιακής Μέτρησης Spot Color

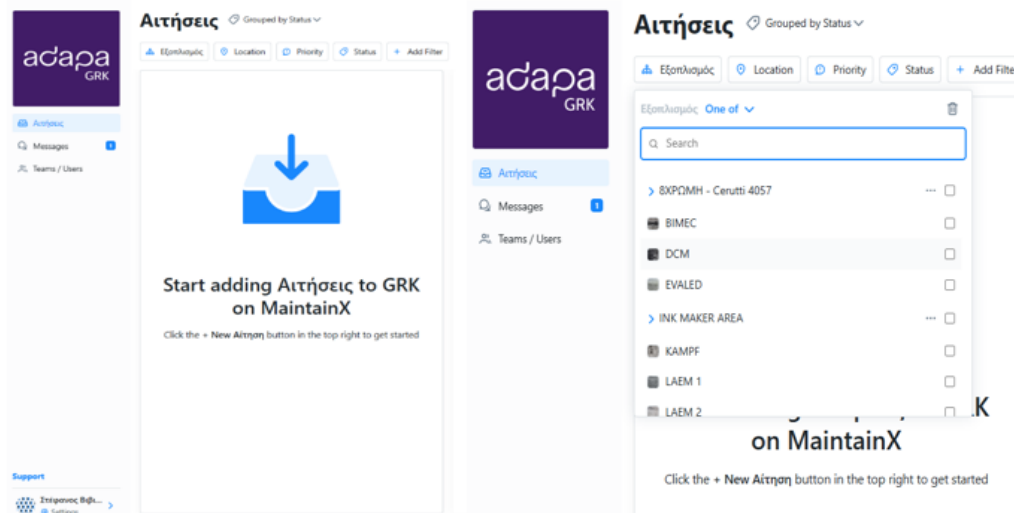


Εικόνα 79. Εφαρμογή ColorCert Ψηφιακής Μέτρησης Process Color

Χρήση Αισθητήρων IoT και Edge Computing στη Παραγωγή για τη Σύσταση Φόρμουλας με Ανίχνευση Προληπτικής Συντήρησης και Τεχνικής Υποστήριξης.

Η αξιοποίηση αισθητήρων στην προληπτική συντήρηση αποτελεί βασικό πυλώνα της εφαρμογής του Βιομηχανικού Διαδικτύου των Πραγμάτων. Μέσω της εγκατάστασης έξυπνων αισθητήρων σε κρίσιμα σημεία των παραγωγικών γραμμών όπως στις μηχανές βαθυτυπίας, στα συστήματα λαμιναρίσματος και στις ρολοκοπτικές μηχανές καθίσταται δυνατή η συνεχής συλλογή και μετάδοση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Οι αισθητήρες αυτοί παρακολουθούν μεταβλητές όπως η θερμοκρασία, η κατανάλωση ενέργειας, η πίεση, η υγρασία, η ταχύτητα περιστροφής και τα επίπεδα παρουσίας του διαλύτη στην ατμόσφαιρα. Η ενσωμάτωση των δεδομένων αυτών σε περιβάλλοντα IoT αλλά και Edge Computing επέτρεψε τη δημιουργία ενός διασυνδεδεμένου ψηφιακού οικοσυστήματος, στο οποίο οι μηχανές επικοινωνούν μεταξύ τους, παρέχοντας πλήρη ορατότητα της παραγωγικών συνθηκών. Μειώνοντας τον χρόνο απόκρισης και επιτρέποντας άμεσες παρεμβάσεις χωρίς καθυστερήσεις δικτύου. Μέσω αλγορίθμων ανάλυσης δεδομένων και τεχνητής νοημοσύνης, τα συστήματα μπορούν να αναγνωρίζουν πρότυπα φθοράς, ασυνήθιστες μηχανικές συμπεριφορές ή μεταβολές

λειτουργικών συνθηκών και να δημιουργούν δυναμικές «φόρμουλες» προληπτικής συντήρησης. Η MaintainX είναι η φόρμουλα που αναπτύχθηκε για την ADAPA (όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 80).



Εικόνα 80. Εφαρμογή IoT - Edge Computing για Τεχνική Συντήρηση (MaintainX)

Έτσι, καθίσταται εφικτή η πρόβλεψη πιθανών αστοχιών πριν την εμφάνισή τους, η ορθολογική διαχείριση ανταλλακτικών και η στοχευμένη τεχνική υποστήριξη. Συμβάλλοντας καθοριστικά στη μείωση του downtime, στη βελτίωση της ποιότητας εκτύπωσης και μεταποίησης, καθώς και στη συνολική αύξηση της αξιοπιστίας και της παραγωγικής ευελιξίας του εργοστασίου.

Ρομποτικά Συστήματα Υποστήριξης Παραγωγής - Εκτύπωση έως Τελικό προϊόν

- Ρομποτικά συστήματα διαχείρισης υλικών μεγάλου βάρους
- Ρομποτικά συστήματα διαχείρισης κυλίνδρων κατά την αλλαγή εργασιών στη βαθυτυπία
- Ρομποτικά συστήματα προετοιμασίας αναλώσιμων (εσωτερικοί χάρτινοι πυρήνες)
- Ρομποτικά Συστήματα συσκευασίας και παλετοποίησης τελικών προϊόντων.

Ανάπτυξη Smart factory Ανάκτησης του Διαλύτη Μελανιών χρήσης στη Βαθυτυπία

Ανάπτυξη πλήρως αυτοματοποιημένης μονάδας ανάκτησης διαλυτών στο πλαίσιο ενός «έξυπνου εργοστασίου» (Smart Factory). Αποτελεί κρίσιμο στοιχείο του ψηφιακού μετασχηματισμού στη βιομηχανία βαθυτυπίας και Converting, ιδιαίτερα λόγω της εκτεταμένης χρήσης διαλυτοκεντρικών μελανιών. Στις συμβατικές διαδικασίες βαθυτυπίας, σημαντικές ποσότητες πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC 's) απελευθερώνονται κατά τη διαδικασία ξήρανσης των μελανιών, γεγονός που δημιουργεί αυξημένες περιβαλλοντικές και ενεργειακές απαιτήσεις. Η ενσωμάτωση αυτοματοποιημένων μονάδων ανάκτησης διαλυτών επιτρέπει τη συλλογή, επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση ουσιών όπως συμβαίνει στην περίπτωση της ADAPA GRK, όπου ανακτάται ο διαλύτης χρήσης που είναι ο οξικός αιθυλεστέρας μέσω συστημάτων διύλισης με συνεχή παρακολούθηση. Η χρήση αισθητήρων και τεχνολογιών Industry 4.0. μέσω της διασύνδεσης με ERP και MES συστήματα, καθιστά δυνατή τη real-time καταγραφή της κατανάλωσης και ανακύκλωσης διαλυτών. Επιπλέον γίνεται ξεκάθαρη η ανάλυση ενεργειακής απόδοσης και η πρόβλεψη αναγκών συντήρησης της μονάδας. Η αυτοματοποίηση της διαδικασίας συμβάλλει στη μείωση του λειτουργικού κόστους, καθώς πρόκειται για μη επανδρωμένη και πλήρως αυτοματοποιημένη παραγωγική διαδικασία, τον περιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και στη συμμόρφωση με τις ευρωπαϊκές περιβαλλοντικές οδηγίες μιας και πλέον ο διαλύτης συλλέγεται σε αέρια μορφή, ανακυκλώνεται και επαναχρησιμοποιείται πλήρως καλύπτοντας τις ανάγκες της βαθυτυπίας στο 100%. Η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των ανακτημένων διαλυτών ενισχύει τις αρχές της κυκλικής οικονομίας και της βιώσιμης βιομηχανικής παραγωγής, καθιστώντας τη μονάδα βαθυτυπίας περισσότερο ανταγωνιστική και ενεργειακά αποδοτική.

8.4.2 Επιπτώσεις στην Παραγωγή, Ανθρώπινο Δυναμικό και την Επιχειρησιακή Ευελιξία μετά τον Ψηφιακό Μετασχηματισμό

Ο ψηφιακός μετασχηματισμός μέσω της ενσωμάτωσης των προαναφερόμενων τεχνολογιών Industry 4.0 επιφέρει ουσιαστικές αλλαγές τόσο στη λειτουργία της παραγωγής όσο και στη δομή της επιχείρησης. Η εφαρμογή ολοκληρωμένων

συστημάτων ERP, MES, τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης, αυτοματοποιημένων συστημάτων ποιοτικού ελέγχου και ρομποτικών εφαρμογών μετασχηματίζει το παραδοσιακό παραγωγικό μοντέλο σε ένα διασυνδεδεμένο και ευφυές βιομηχανικό περιβάλλον. Οι επιπτώσεις του μετασχηματισμού αυτού μπορούν να αναλυθούν στους παρακάτω βασικούς άξονες: την παραγωγική διαδικασία, το ανθρώπινο δυναμικό, την επιχειρησιακή ευελιξία και την Βιωσιμότητα και κυκλική οικονομία.

Επιπτώσεις στην Παραγωγική Διαδικασία και Ποιότητα

Η σημαντικότερη επίδραση του ψηφιακού μετασχηματισμού αφορά τη μετάβαση από μια παραγωγή βασισμένη κυρίως στην εμπειρική ρύθμιση και τη χειροκίνητη παρέμβαση, σε ένα περιβάλλον συνεχούς αυτοματοποιημένης παρακολούθησης και ελέγχου της παραγωγής σε πραγματικό χρόνο. Η εφαρμογή συστημάτων ERP και MES με συγκεκριμένη φόρμουλα την εφαρμογή της soft1, επιτρέπουν την πλήρη διασύνδεση όλων των σταδίων της παραγωγικής αλυσίδας, από την παραλαβή πρώτων υλών και τον προγραμματισμό παραγωγής έως την εκτύπωση, το λαμινάρισμα, το slitting και την αποθήκευση του τελικού προϊόντος, τη λογιστική διαχείριση και Logistics.

Η διαρκής συλλογή δεδομένων μέσω αισθητήρων και plc μηχανών καθιστά δυνατή την παρακολούθηση κρίσιμων παραμέτρων που αποτελούν σημαντικοί δείκτες παραγωγικότητας,

- Η μέση ταχύτητα παραγωγής,
- Ο χρόνος μηχανικής και χρωματικής αλλαγής «setup»,
- Η κατανάλωση ενέργειας,
- Τα ποσοστά συνολικού απορριπτόμενου υλικού και μέση τιμή μέτρων υλικού setup βαθυτυπίας,
- Το ποσοστό διακοπής λειτουργίας – νεκροί χρόνοι μηχανών (downtime),
- Η συνολική αποδοτικότητα εξοπλισμού (OEE).

Η ενσωμάτωση συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης για register control, viscosity control, tension control και doctor blade control επιτρέπει τη δυναμική και αυτόματη διόρθωση αποκλίσεων κατά τη διάρκεια της παραγωγής χωρίς την ανάγκη διακοπής της λειτουργίας της μηχανής. Ως αποτέλεσμα,

- μειώθηκαν οι χρόνοι Setup,
- περιορίζονται οι απώλειες υλικού set up,
- αυξήθηκε η μέση ταχύτητα παραγωγής,
- βελτιώθηκε η σταθερότητα ποιότητας με τη μείωση των αποκλίσεων της χρωματικής απόδοσης και register.

Παράλληλα, τα inline inspection systems και τα προηγμένα συστήματα color management επιτρέπουν συνεχή επιθεώρηση της εκτύπωσης σε πραγματικό χρόνο, με αυτόματη ανίχνευση ελαττωμάτων όπως streaks, hazing, misregister, color deviations, defects υποστρώματος, αποκλίσεις των barcodes, QR codes. Η δυνατότητα άμεσης επεμβατικής διόρθωσης οδηγεί σε σημαντική μείωση των επανεκτυπώσεων και του ποσοστού μη συμμορφούμενων προϊόντων.

Χαρακτηριστικό δείγμα θετικής απόδοσης σε παραγωγικούς χρόνους, ταχύτητες παραγωγής εκτύπωσης, χρόνους downtime και ανάλωση υλικού Setup αποτελούν οι παρακάτω πίνακες που παρουσιάζουν τα δεδομένα των μηχανών για το έτος 2020, πριν την εφαρμογή των νέων καινοτομιών και με το έτος 2025, μετά και την προσθήκη αναβαθμισμένων σύγχρονων καινοτομιών (όπως φαίνεται στην εικόνα 81).

2020								
	ΦΟΙΝΙΞ	TAZ	FILM RUNNER	HERMES	συνολο μηνιαίας παραγωγής	συνολο ετησιας παραγωγής		
ΕΡΓΑΣΙΕΣ Χ.Α.	149	138	155	107	549	9.623		
ΕΡΓΑΣΙΕΣ Μ.Α.	144	133	150	102	529	9.095		
ΚΙΛΑ	104.924	75.802	119.556	155.475	455.757	6.529.522		
ΧΛΜ	3.957	3.178	4.665	3.934	15.735	246.982		
ΜΟΑ	39	40	36	58,7	42,26	42		
NE	20	17	20	20	77	1.509	13,89%	% νεκρού χρόνου
NX	64	59	60	59	241,85	2.483		
ΩΡΕΣ	400	360	400	400	1560	24.826		
ΧΡΩΜΑΤΑ	1.286	878	1.052	913	4.129	66.350		
ΥΛΙΚΟ SETUP	1.100	1.150	1.780	2.200			1.558	
Μ.Ο. ΧΡΩΜ	8,63	6,36	6,79	8,5	7,52	6,89	258	Μ. Ταχύτητα
Μεση ταχύτητα	277	253	314	278				ΦΟΥΤΖΙ
Χρονος/χρώμα	7,7	8,1	7,1	10,10			8,16	

Εικόνα 81. Δείκτες Παραγωγικότητας 2020

Το προ ψηφιακό παραγωγικό πρότυπο του πίνακα, αν και λειτουργικό, παρουσίαζε περιορισμούς ως προς την ευελιξία, τη διαφάνεια και τη δυνατότητα βελτιστοποίησης, δημιουργώντας την ανάγκη για την υιοθέτηση ολοκληρωμένων ψηφιακών λύσεων στο πλαίσιο της Βιομηχανίας 4.0. Η μεταβολή προς την επίτευξη βελτίωσης φανερώνεται στον πίνακα ,

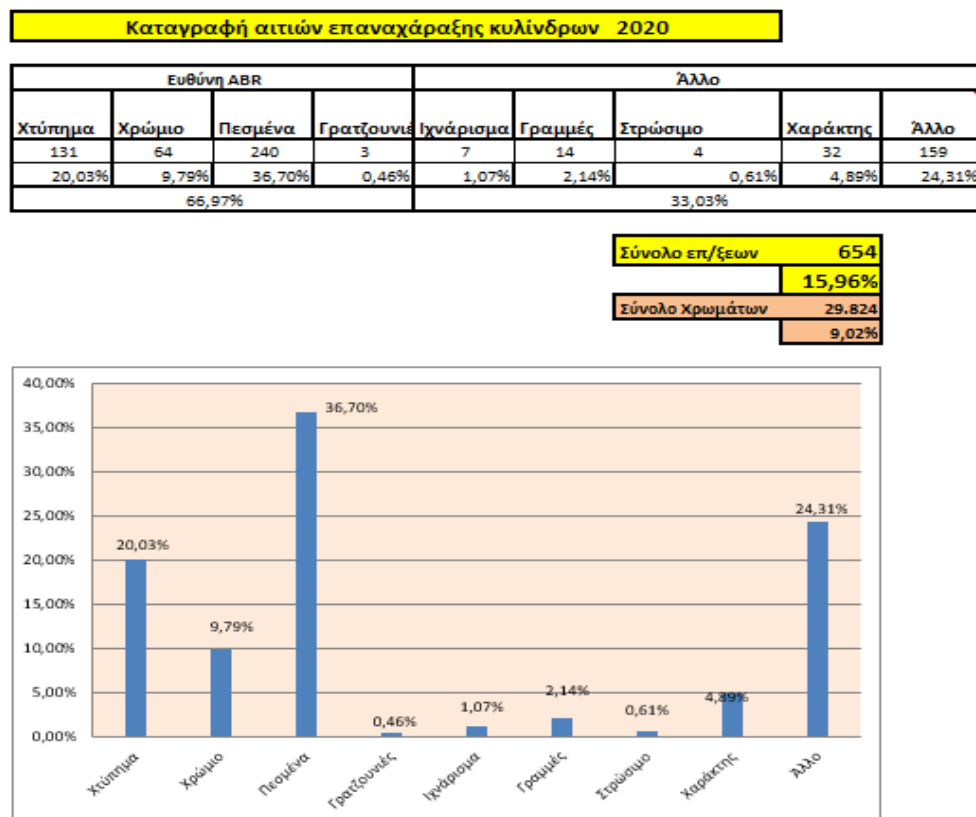
2025							
	ΦΟΙΝΙΞ	TAZ	FILM RUNNER	HERMES	συνολο μηνιαίας παραγωγής	συνολο ετησίας παραγωγής	
ΕΡΓΑΣΙΕΣ Χ.Α.	172	124	179	116	591	10.133	
ΕΡΓΑΣΙΕΣ Μ.Α.	163	119	168	108	558	9.531	
ΚΙΛΑ	100.749	86.194	116.147	66.729	369.819	7.116.364	
Χ/Μ	3.494	3.355	4.207	2.471	13.527	262.132	
ΜΟΑ	49	44	47	64,3	50,23	49	
NE	42	11	30	23	106	1.877	9,47% % νεκρου χρονου
NX	71	38	36	58	203,00	3.652	
ΩΡΕΣ	426	336	418	352	1532	27.195	
ΧΡΩΜΑΤΑ	1.220	855	1.226	1.069	4.370	72.877	
ΥΛΙΚΟ SETUP	980	930	975	1.100		996	
Μ.Ο. ΧΡΩΜ	7,09	6,90	6,85	9,2	7,39	7,19	Μ. Ταχύτητα
Μεση ταχύτητα	273	269	289	242		277	
Χρονος/χρωμα	6,0	6,3	6,8	6,97		6,52	

Εικόνα 82. Δείκτες Παραγωγικότητας 2025

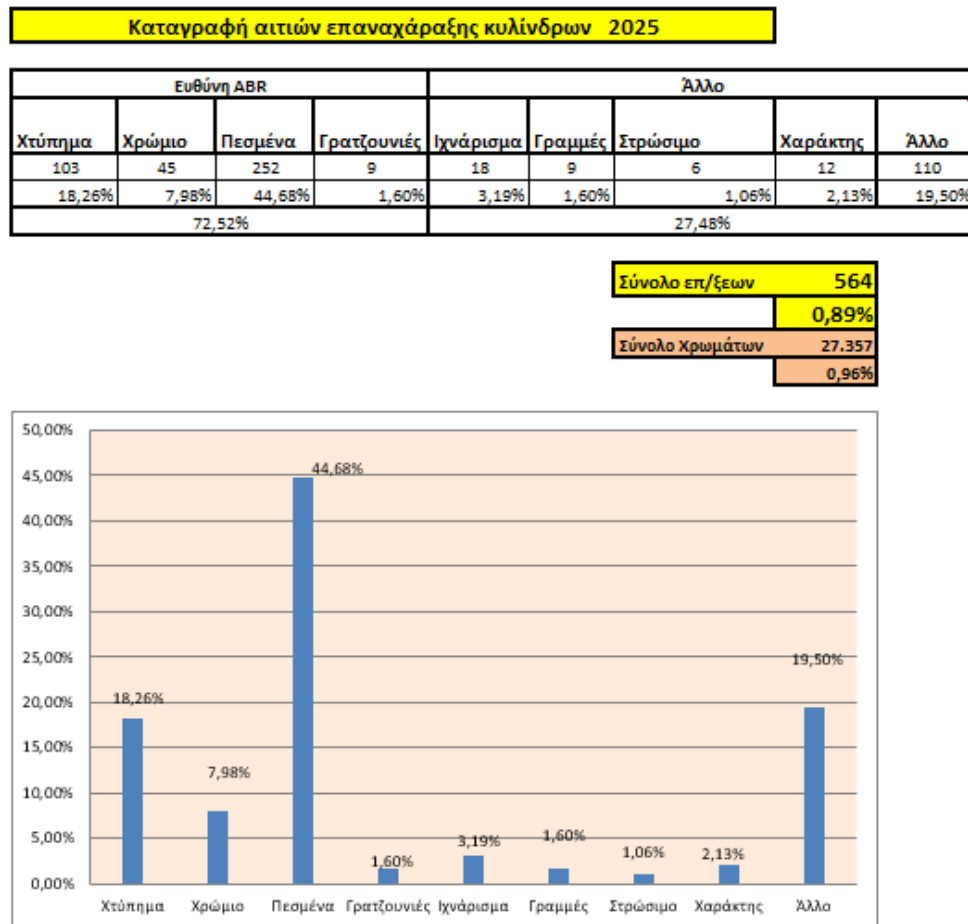
Η εφαρμογή των τεχνολογικών αναβαθμίσεων και η υιοθέτηση καινοτόμων πρακτικών ψηφιακού μετασχηματισμού οδήγησαν σε ουσιαστική βελτίωση της παραγωγικής απόδοσης της μονάδας βαθυτυπίας και converting ADAPA GRK. Καταγράφηκε αύξηση της μέσης ταχύτητας εκτύπωσης κατά 10%, γεγονός που συνέβαλε στη βελτιστοποίηση της συνολικής παραγωγικής δυναμικότητας. Σημειώθηκε μείωση της φύρας κατά το στάδιο του set-up κατά περίπου 500 μέτρα ανά εργασία, στοιχείο που επηρέασε θετικά τόσο τη μείωση του κόστους πρώτων υλών όσο και τη συνολική περιβαλλοντική επίδοση της παραγωγικής διαδικασίας. Ο χρόνος αλλαγής ανά χρώμα μειώθηκε κατά 1,5 λεπτό, ενώ ο συνολικός χρόνος downtime των μηχανών παρουσίασε μείωση της τάξης του 4%, ενισχύοντας σημαντικά τη διαθεσιμότητα και την επιχειρησιακή συνέχεια του εξοπλισμού. Τα αποτελέσματα αυτά αποδεικνύουν ότι η ενσωμάτωση συστημάτων αυτοματισμού, τεχνολογιών Industry 4.0 και εφαρμογών τεχνητής νοημοσύνης μπορεί να συμβάλει καθοριστικά στη βελτίωση της παραγωγικότητας, στη μείωση των

απωλειών και στη συνολική αύξηση της λειτουργικής αποδοτικότητας της βιομηχανικής μονάδας.

Θετικά ήταν και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των δεδομένων λειτουργίας και συντήρησης των κυλίνδρων βαθυτυπίας. Διαπιστώθηκε σημαντική μείωση των αναγκών επαναχάραξης κυλίνδρων κατά 20%, όπως αποτυπώνεται συγκριτικά στις εικόνες 83 και 84 για τα έτη 2020 και 2025. Η εξέλιξη αυτή συνδέεται άμεσα με τη βελτίωση των συνθηκών ελέγχου της παραγωγής, την ακριβέστερη ρύθμιση κρίσιμων παραμέτρων εκτύπωσης, καθώς και την εφαρμογή αυτοματοποιημένων συστημάτων παρακολούθησης και προγνωστικής συντήρησης. Ως εκ τούτου, επιτεύχθηκε όχι μόνο επιμήκυνση του κύκλου ζωής των κυλίνδρων αλλά και σημαντική μείωση του κόστους συντήρησης και αντικατάστασης, ενισχύοντας περαιτέρω τη βιωσιμότητα και την οικονομική αποδοτικότητα της παραγωγικής διαδικασίας.

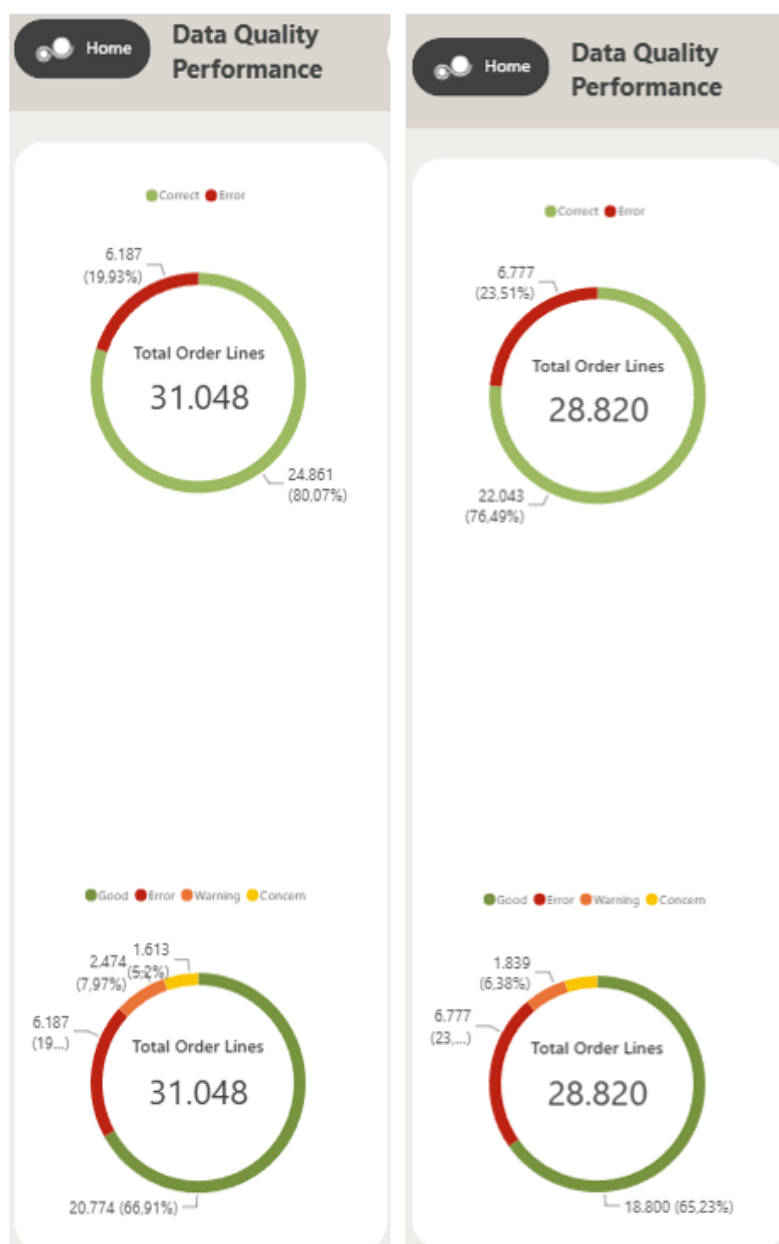


Εικόνα 83. Δείκτες Επαναχαράξεων Κυλίνδρων Βαθυτυπίας 2020



Εικόνα 84. Δείκτες Επαναχαράξεων Κυλίνδρων Βαθυτυπίας 2025

Αντίστοιχα θετικά ήταν και τα αποτελέσματα της ανάλυσης ποιότητας για τις ίδιες χρονικές περιόδους, καθώς καταγράφηκε σημαντική μείωση των προβληματικών παραγωγών από 23,51% το 2020 σε 19,93% το 2025, παρά τη σημαντική αύξηση του συνολικού όγκου παραγωγής από 28.820 σε 31.048 παραγόμενες εργασίες, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 85. Η εξέλιξη αυτή αποτυπώνει τη σαφή βελτίωση της λειτουργικής αποδοτικότητας και της ποιοτικής σταθερότητας της μονάδας, επιβεβαιώνοντας τη θετική επίδραση των τεχνολογικών αναβαθμίσεων και των συστημάτων ψηφιακού ελέγχου στη συνολική παραγωγική διαδικασία.



Εικόνα 85. Data Quality Performance - Total Orders

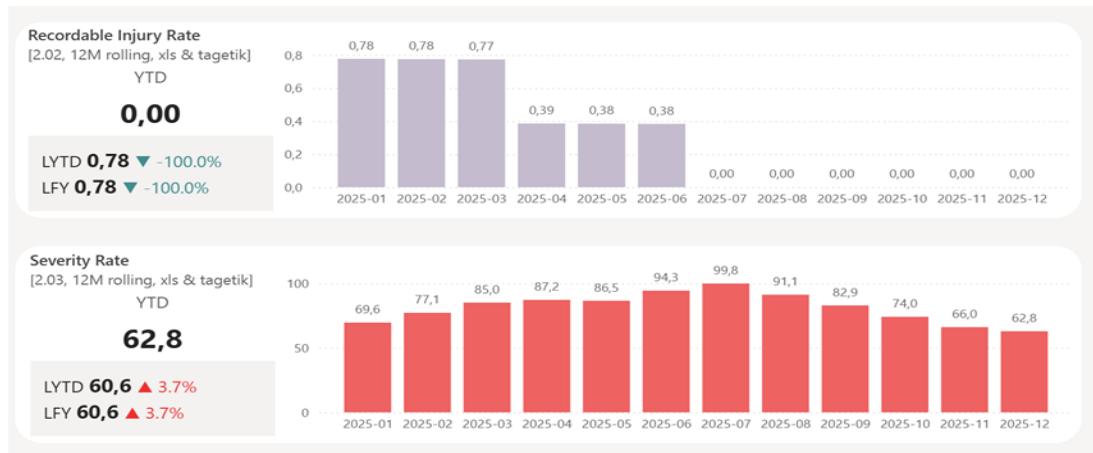
Επιπτώσεις στο Ανθρώπινο Δυναμικό

Ο ψηφιακός μετασχηματισμός σε καμία περίπτωση δεν συνεπάγεται αντικατάσταση της ανθρώπινης εργασίας από αυτοματοποιημένα συστήματα, αλλά κυρίως μεταβολή του ρόλου του ανθρώπινου παράγοντα μέσα στην παραγωγική διαδικασία με άμεση συνέπεια τη μείωση της χειρωνακτικής εργασίας, αυτό επιτεύχθηκε και στην περίπτωση της

υιοθέτησης ρομποτικών συστημάτων από την ADAPA GRK. Οι επικίνδυνες χειροκίνητες διαδικασίες ρύθμισης και ελέγχου περιορίστηκαν, ενώ αυξάνεται η ανάγκη για προσωπικό με νέες εξειδικευμένες ψηφιακές και τεχνικές δεξιότητες. Απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί η συνεχής επανεκπαίδευση σε ότι σχετίζεται με αναβαθμισμένες καινοτομίες και τεχνολογίες του κλάδου. Επιπλέον οι καινοτομίες του Cloud Computing και Edge Computing, επέτρεψαν την υλοποίηση της απομακρυσμένης σύνδεσης και υποστήριξης δίνοντας το πολύτιμο πλεονέκτημα της εξοικονόμησης πιθανού νεκρού χρόνου των μηχανών αλλά και άσκοπης μετακίνησης της δια ζώσης υποστήριξης. Κατά συνέπεια οι χειριστές παραγωγής και η τεχνική υποστήριξη μετέβησαν από τον ρόλο του άμεσου μηχανικού χειρισμού στον ρόλο,

- Παρακολούθησης εφαρμογής των τεχνολογιών παραγωγής,
- Διαχείρισης συστημάτων ψηφιακού αυτοματισμού,
- Σωστή καταγραφή και ελέγχου των δεικτών απόδοσης,
- Λήψης αποφάσεων βάσει εμπειριστατωμένων analytics,
- Συνεργασίας με συστήματα AI και ρομποτικά μέσα.

Η εισαγωγή ρομποτικών συστημάτων επηρέασε άμεσα την εργασία του ανθρώπινου δυναμικού για μεταφορά και μοντάρισμα βαρέων κυλίνδρων, διευκόλυνση χρόνου και εργασίας σε αλλαγές μεταξύ των εργασιών βαθυτυπίας, διαχείριση υλικών Α' υλών μεγάλου βάρους, αποπαλετοποίηση Α' υλών και αναλώσιμων και παλετοποίηση τελικών προϊόντων. Με την εφαρμογή της ρομποτικής τεχνολογίας μειώνεται σημαντικά η σωματική καταπόνηση των εργαζομένων και περιορίζονται τα εργατικά ατυχήματα. Η εφαρμογή collaborative systems και αυτοματοποιημένων υποστηρικτικών μηχανισμών «cobots» βελτιώνει τις εργονομικές συνθήκες εργασίας. Στην παρακάτω εικόνα 86 παρουσιάζονται, καταγραφές αναφοράς ατυχημάτων της ADAPA GRK για το έτος 2025, δίνοντας ένα θετικό αποτέλεσμα μηδενικής παρουσίας ατυχήματος.



Εικόνα 86. Health & Safety Δείκτες Παρουσίας Τραυματισμών 2025

Η μετάβαση αυτή δημιουργεί αυξημένες απαιτήσεις συνεχούς εκπαίδευσης και επανακατάρτισης του προσωπικού. Η αποτελεσματική λειτουργία ενός πλήρως ψηφιοποιημένου περιβάλλοντος παραγωγής προϋποθέτει γνώσεις βιομηχανικών αυτοματισμών, ανάλυσης δεδομένων, ERP/MES λειτουργιών, βασικών αρχών ΑΙ, διαχείρισης ψηφιακών ροών εργασίας. Η επιχείρηση μετατρέπεται σταδιακά από μια συμβατική μονάδα παραγωγής σε οργανισμό υψηλής τεχνολογικής εξειδίκευσης. Ο κάθε χειριστής κρίνεται τόσο από την απόδοση και παραγωγικότητα του (όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 87) όσο και από την αξιοποίηση της μηχανής του στο 100% των δυνατοτήτων της (όπως φαίνεται στην εικόνα 88).

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΧΕΙΡΙΣΤΗ L37									
L37	ΣΥΝΟΛΟ ΚΙΛΩΝ	ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΡΩΝ	ΣΥΝΟΛΟ ΑΛΛΑΓΩΝ	ΣΥΝΟΛΟ ΧΡΟΝΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ (minutes)	ΣΥΝΟΛΟ ΝΕΚΡΩΝ ΧΡΟΝΩΝ (minutes)	ΣΥΝΟΛΟ ΕΡΓΑΣΙΜΩΝ ΧΡΟΝΩΝ (minutes)	ΚΑΘΑΡΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ (minutes)	ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ (m/min)	ΧΡΟΝΟΣ ΑΛΛΑΓΗΣ (minutes)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	84538	1486681	38	1140	1085	10080	7855	189,2655633	30
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	88976	1522693	35	1250	660	10560	8650	176,0338728	35,71428571
ΜΑΡΤΙΟΣ	91006	1547383	40	1020	1050	10560	8490	182,2594817	25,5
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	75779	1431628	34	820	1525	10560	8215	174,2699939	24,11764706
ΜΑΙΟΣ	95721	1481470	33	940	1155	11280	9185	161,2923244	28,48484848
ΙΟΥΝΙΟΣ	59832	1075748	23	655	1420	8520	6445	166,9120248	28,47826087
ΙΟΥΛΙΟΣ	105676	1725146	23	640	2280	12480	9560	180,4546025	27,82608696
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	39962	627001	22	565	1090	5760	4105	152,7408039	25,68181818
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	92424	1514147	48	1280	1665	12000	9055	167,2166759	26,66666667
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	105799	1759041	36	975	585	11520	9960	176,6105422	27,08333333
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	105478	1642010	32	890	625	11520	10005	164,1189405	27,8125
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	42202	684719	24	685	850	5760	4225	162,0636686	28,54166667
ΣΥΝΟΛΟ ΕΤΟΥΣ	987393	16497667	388	10860	13990	120600	95750	2053,238495	335,9071139

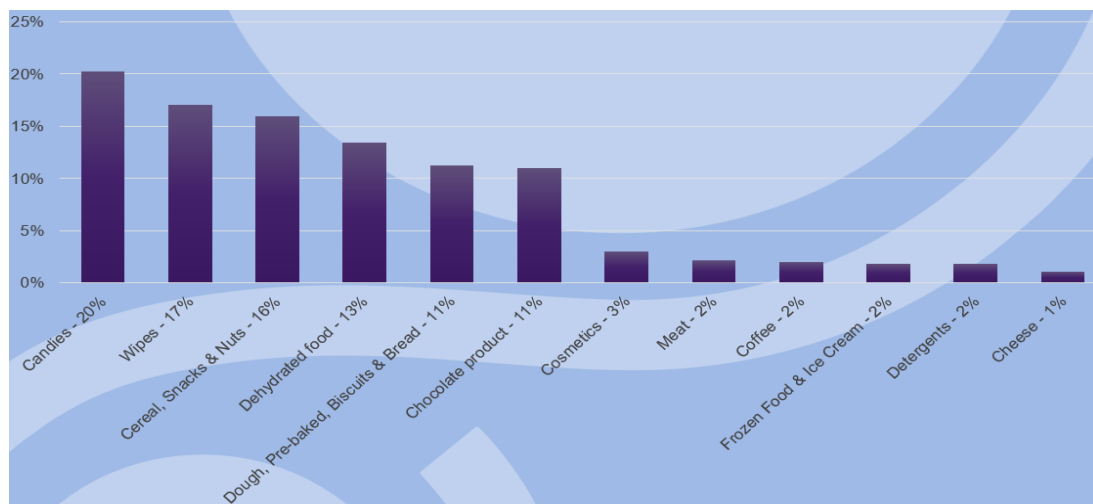
Εικόνα 87. Συγκεντρωτική Ατομική Ανάλυση Παραγωγικότητας Χειριστή

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΤΟΥΣ 2025									
ΜΗΧΑΝΗ	ΣΥΝΟΛΟ ΚΙΛΩΝ	ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΡΩΝ	ΣΥΝΟΛΟ ΑΛΛΑΓΩΝ	ΣΥΝΟΛΟ ΧΡΟΝΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ (minutes)	ΣΥΝΟΛΟ ΝΕΚΡΩΝ ΧΡΟΝΩΝ (minutes)	ΣΥΝΟΛΟ ΕΡΓΑΣΙΜΩΝ ΧΡΟΝΩΝ (minutes)	ΚΑΘΑΡΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ (minutes)	ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ (m/min)	ΧΡΟΝΟΣ ΑΛΛΑΓΗΣ (minutes)
SIMPLEX 1	2139644	38803958	611	20540	32874	308920	255506	151,871	33,617
SIMPLEX 2	2682829	40540907	909	27900	30180	336020	277940	145,862	30,693
SUPER COMBI	1793415	34640733	1135	54018	24880	342520	263622	131,403	47,593
SUPER SIMPLEX 1	2714220	38576883	1509	44810	32790	367340	289740	133,143	29,695
SUPER SIMPLEX 2	2865724	39519170	1262	37025	36055	366985	293905	134,462	29,338
SUPER COMBI NEA	2739986	45882440	1081	35095	40105	355765	280565	163,536	32,465
TOTAL	14935818	237964091	6507	219388	196884	2077550	1661278	860,2775129	203,4018662

Εικόνα 88. Συγκεντρωτική Ανάλυση Παραγωγικότητας Μηχανών

Επιπτώσεις στην Επιχειρησιακή Ευελιξία

Η εφαρμογή ψηφιακών τεχνολογιών ενισχύει σημαντικά την επιχειρησιακή ευελιξία της μονάδας converting Adapa GRK. Η ύπαρξη διασυνδεδεμένων πληροφοριακών συστημάτων επιτρέπει, ταχύτερο προγραμματισμό παραγωγής ανάλογα την κατηγοριοποίηση των δομών των περιεχόμενων προϊόντων (όπως φαίνεται στην εικόνα 89),

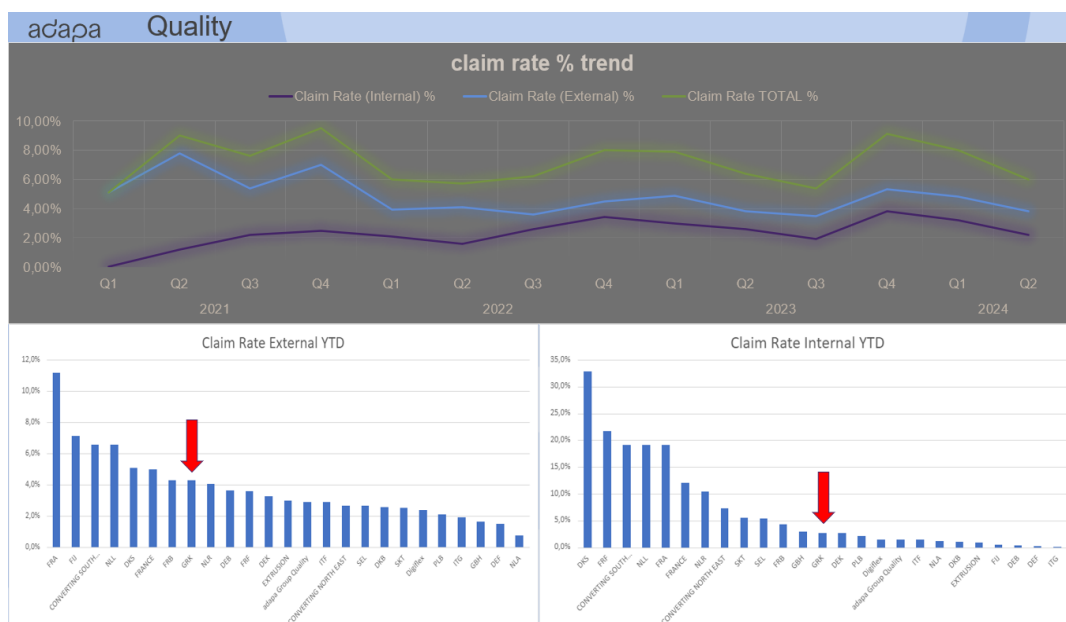


Εικόνα 89. Κατηγοριοποίηση δομών με Εφαρμογές προϊόντων

άμεση αναπροσαρμογή προτεραιοτήτων με άμεση ταχύτητα ανταπόκρισης, καλύτερη αξιοποίηση πόρων, ακριβέστερο έλεγχο αποθεμάτων, βελτιωμένη ιχνηλασιμότητα προϊόντων. Η cloud διασύνδεση και η κοινή πρόσβαση σε δεδομένα επιτρέπουν τη συνεργασία όλων των τμημάτων σε πραγματικό χρόνο, μειώνοντας καθυστερήσεις και αστοχίες επικοινωνίας μεταξύ PrePress, παραγωγής, ποιοτικού ελέγχου και Logistics. Επιπλέον, η συγκέντρωση ιστορικών δεδομένων παραγωγής επιτρέπει predictive analytics και predictive Maintenance, με αποτέλεσμα τη μείωση απρογραμμάτιστων βλαβών και την αύξηση της διαθεσιμότητας του εξοπλισμού.

Η παραγωγική μονάδα αποκτά τη δυνατότητα ταχύτερης προσαρμογής,

- σε μικρότερα τираζ,
- σε εξατομικευμένες απαιτήσεις πελατών,
- σε νέες κανονιστικές απαιτήσεις,
- σε εφαρμογές με περιβαλλοντικά πρότυπα βιωσιμότητας.
- Μείωση των παραπόνων των πελατών όπως φαίνεται στην εικόνα 90



Εικόνα 90. Μείωση Παραπόνων Πελατών

Επιπλέον, η βελτίωση της ιχνηλασιμότητας και της διαχείρισης δεδομένων ενισχύει τη συμμόρφωση με τα διεθνή πρότυπα ποιότητας και ασφάλειας τροφίμων που κατέχει ήδη η μονάδα ADAPA GRK, ISO 9001, BRCGS Packaging, ISO 22000, FSC, ISCC Plus.

Βιωσιμότητα και Κυκλική Οικονομία στον Κλάδο της Εκτύπωσης

Η βιωσιμότητα και η κυκλική οικονομία αποτελούν πλέον βασικούς στρατηγικούς άξονες ανάπτυξης για τη βιομηχανία βαθυτυπίας και converting, καθώς ο κλάδος της εύκαμπτης συσκευασίας βρίσκεται αντιμέτωπος με αυξανόμενες περιβαλλοντικές απαιτήσεις, αυστηρότερα κανονιστικά πλαίσια και εντεινόμενη πίεση από την αγορά και τους καταναλωτές για παραγωγή με χαμηλότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Η παραδοσιακή βαθυτυπία, λόγω της εκτεταμένης χρήσης διαλυτοκεντρικών μελανιών, υψηλής ενεργειακής κατανάλωσης και παραγωγής πτητικών οργανικών ενώσεων (Volatile Organic Compounds – VOCs), θεωρείται μία από τις πλέον ενεργοβόρες και περιβαλλοντικά απαιτητικές εκτυπωτικές διεργασίες. Ως αποτέλεσμα, η μετάβαση προς πιο «πράσινα» παραγωγικά μοντέλα αποτελεί όχι μόνο περιβαλλοντική ανάγκη αλλά και κρίσιμο παράγοντα διατήρησης της ανταγωνιστικότητας των βιομηχανιών του κλάδου.

Οι περιβαλλοντικές πιέσεις προέρχονται τόσο από διεθνείς κανονισμούς όσο και από τις απαιτήσεις των μεγάλων πολυεθνικών πελατών της βιομηχανίας συσκευασίας, οι οποίοι απαιτούν πλέον μετρήσιμες πρακτικές βιωσιμότητας σε όλη την εφοδιαστική αλυσίδα. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, οι πολιτικές της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας (European Green Deal), οι κανονισμοί για τις εκπομπές VOCs και οι στρατηγικές για τις ανακυκλώσιμες συσκευασίες επιβάλλουν στις βιομηχανίες converting τη σταδιακή προσαρμογή σε πιο βιώσιμα μοντέλα παραγωγής. Παράλληλα, η αυξανόμενη απαίτηση για συσκευασίες χαμηλότερου περιβαλλοντικού αποτυπώματος οδηγεί στην αναζήτηση νέων τεχνολογιών, βελτιστοποιημένων διαδικασιών και εναλλακτικών υλικών.

Επιπλέον η μείωση των παραγόμενων αποβλήτων (waste reduction) σε όλα τα στάδια της παραγωγής αποτελεί σημαντικό κίνητρο αναβάθμισης. Η ενσωμάτωση ψηφιακών συστημάτων αυτοματισμού, inline inspection και εφαρμογών τεχνητής νοημοσύνης συνέβαλλε ουσιαστικά στη μείωση της φύρας των παραγόμενων υλικών, καθώς επιτρέπει την άμεση ανίχνευση και διόρθωση αποκλίσεων κατά τη διάρκεια της εκτύπωσης και του

converting. Η μείωση των Setup χρόνων, η σταθεροποίηση της παραγωγικής διαδικασίας και η βελτίωση του register και της χρωματικής απόδοσης περιορίζουν σημαντικά τις ποσότητες scrap κατά τις αλλαγές εργασιών και τις δοκιμαστικές εκτυπώσεις. Παράλληλα, η αξιοποίηση Data analytics και εφαρμογής MES συστημάτων επιτρέπει τη συνεχή παρακολούθηση δεικτών waste με την άμεση βελτιστοποίηση της παραγωγικής αποδοτικότητας της ADAPA GRK (όπως φαίνεται και από τα ποσοστά φύρας τα έτη 2023 – 2025 στην παρακάτω εικόνα 91).

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΗΧΑΝΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	Στερεά Ανάλωση [A]	Παραγόμενο [B]	Φύρα [Γ]=[A]-[B]	% Φύρας [Γ]/[A]	Στερεά Ανάλωση [A]	Παραγόμενο [B]	Φύρα [Γ]=[A]-[B]	% Φύρας [Γ]/[A]	Var % Φύρας	ΥΠ 2023	2024	2025
WINDMOLLER & HOLSCHER	1.474.166,56	1.321.938,00	152.228,565	10,3%	1.523.476,20	1.365.879,00	157.597,20	10,3%	0,0%			
CERUTTI 01 (4056) PHOENIX 2015	2.001.555,44	1.812.176,00	189.379,443	9,5%	1.947.997,66	1.765.684,00	182.313,66	9,4%	0,1%			
CERUTTI 02 (3574) TAZ 2015	1.541.107,18	1.427.846,00	113.261,183	7,3%	1.592.093,95	1.466.336,00	125.757,95	7,9%	-0,5%			
CERUTTI 03 (4057) 2015	2.332.003,28	2.174.338,00	157.665,282	6,8%	2.273.194,56	2.125.161,00	148.033,56	6,5%	0,2%	8,3%	8,0%	7,3%
NORDMECCANICA SIMPLEX 1 (30) 2015	2.115.165,14	2.064.050,00	51.115,140	2,4%	2.150.574,82	2.085.565,00	65.009,82	3,0%	-0,6%			
NORDMECCANICA SIMPLEX 2 (33) 2015	2.119.884,68	2.066.587,00	53.297,680	2,5%	2.347.711,19	2.287.486,00	60.225,19	2,6%	-0,1%			
NORDMECCANICA COMBI 3000 2015 (34)	1.729.465,72	1.690.121,00	39.344,716	2,3%	1.532.942,14	1.490.183,00	42.759,14	2,8%	-0,5%			
NORDMECCANICA COMBI 3000 2017 (35)	2.654.194,02	2.592.982,00	61.212,020	2,3%	2.370.659,64	2.310.276,00	60.383,64	2,5%	-0,2%			
NORDMECCANICA SUPER SIMPLEX (36) 2019	2.645.881,96	2.582.754,00	63.127,960	2,4%	2.813.167,08	2.748.837,00	64.330,08	2,3%	0,1%			
NORDMECCANICA SUPER SIMPLEX (37) 2021	2.765.752,96	2.696.691,00	69.061,960	2,5%	2.722.713,43	2.648.766,00	73.947,43	2,7%	-0,2%			
DCM ΨΥΧΡΟΚΟΛΛΑ (50) 2015	65.225,00	62.500,00	2.725,000	4,2%	78.492,20	74.721,40	3.770,80	4,8%	-0,6%	2,6%	2,2%	2,0%
LAEM ΡΟΛΟΚΟΠΤΙΚΟ (44) 2015	2.551.430,97	2.437.296,51	114.134,460	4,5%	2.262.402,76	2.154.076,60	108.326,16	4,8%	-0,3%			
LAEM ΡΟΛΟΚΟΠΤΙΚΟ (45) 2015	2.795.953,01	2.670.482,80	125.470,210	4,5%	2.834.387,07	2.700.324,47	134.062,60	4,7%	-0,2%			
LAEM ΡΟΛΟΚΟΠΤΙΚΟ (46) 2017	2.319.704,41	2.200.259,93	119.444,480	5,1%	2.229.376,33	2.104.549,29	124.827,04	5,6%	-0,5%			
LAEM ΡΟΛΟΚΟΠΤΙΚΟ (47) 2018	2.026.401,75	1.920.329,59	106.072,160	5,2%	2.549.473,58	2.413.748,44	135.725,14	5,3%	-0,1%			
BMES ΡΟΛΟΚΟΠΤΙΚΟ (41) 2015	1.810.502,21	1.705.477,53	105.024,680	5,8%	2.204.304,54	2.085.785,40	118.519,14	5,4%	0,4%			
KAMPF ΡΟΛΟΚΟΠΤΙΚΟ (43) 2015	2.636.510,95	2.525.580,62	110.930,330	4,2%	2.318.440,16	2.212.265,09	106.175,07	4,6%	-0,4%	5,1%	5,0%	4,7%

Εικόνα 91. Ποσοστά Φύρας 2023 - 2025

Η ανακύκλωση υλικών αποτελεί επίσης θεμελιώδες στοιχείο της κυκλικής οικονομίας στον κλάδο της εύκαμπτης συσκευασίας. Οι σύγχρονες μονάδες converting επιδιώκουν την αξιοποίηση δομών ίδιου υλικού με δυνατότητα ανακύκλωσης (monomaterial structures), τη μείωση σύνθετων πολυστρωματικών laminates και την ανάπτυξη συσκευασιών φιλικών προς την ανακύκλωση. Η χρήση ανακυκλωμένων ή βιολογικής προέλευσης υλικών ενισχύει περαιτέρω τη μετάβαση προς ένα περισσότερο βιώσιμο μοντέλο βιομηχανικής παραγωγής.

Ιδιαίτερα σημαντική για τη βαθυτυπία είναι η ανάπτυξη μονάδων solvent recovery, δηλαδή συστημάτων ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης των οργανικών διαλυτών που χρησιμοποιούνται στα μελάνια και στις διαδικασίες καθαρισμού. Η βαθυτυπία βασίζεται

κατά κύριο λόγο σε διαλυτοκεντρικά μελάνια χαμηλού ιξώδους, γεγονός που συνεπάγεται υψηλές εκπομπές VOCs κατά τη διαδικασία ξήρανσης. Οι μονάδες ανάκτησης διαλυτών επιτρέπουν τη συλλογή, τον καθαρισμό και την επαναχρησιμοποίηση των εξατμιζόμενων διαλυτών, μειώνοντας δραστικά τόσο τις ατμοσφαιρικές εκπομπές όσο και το λειτουργικό κόστος αγοράς νέων διαλυτών καλύπτοντας πλήρως τις παραγωγικές ανάγκες. Το Smart factory solvent recovery System ενσωματώνει αισθητήρες, αυτοματοποιημένους ελέγχους και δυνατότητες real-time monitoring, επιτρέποντας βελτιστοποιημένη λειτουργία, υψηλότερη ενεργειακή απόδοση και αυξημένη ασφάλεια της εγκατάστασης. Η εφαρμογή των συγκεκριμένων τεχνολογιών αποτελεί πλέον κρίσιμο παράγοντα συμμόρφωσης με τις περιβαλλοντικές νομοθεσίες και τα διεθνή πρότυπα βιωσιμότητας.

Οι ESG στρατηγικές (Environmental, Social and Governance) αποκτούν ολοένα και μεγαλύτερη σημασία στον κλάδο της βαθυτυπίας και της εύκαμπτης συσκευασίας. Οι επιχειρήσεις δεν αξιολογούνται πλέον αποκλειστικά βάσει οικονομικών αποτελεσμάτων, αλλά και σύμφωνα με την περιβαλλοντική τους επίδοση, τις κοινωνικές πρακτικές και τη διακυβέρνηση της εταιρικής λειτουργίας. Η εφαρμογή ESG στρατηγικών περιλαμβάνει,

- μείωση εκπομπών άνθρακα,
- εξοικονόμηση ενέργειας,
- βιώσιμη διαχείριση πρώτων υλών,
- ασφαλείς και εργονομικές συνθήκες εργασίας,
- διαφάνεια στην παραγωγική διαδικασία,
- συμμόρφωση με διεθνή πρότυπα περιβαλλοντικής και κοινωνικής ευθύνης.

Στο πλαίσιο αυτό, η ψηφιακή μετάβαση και η υιοθέτηση τεχνολογιών Industry 4.0 λειτουργούν ως βασικοί καταλύτες για την επίτευξη των στόχων βιωσιμότητας. Η δυνατότητα ακριβούς παρακολούθησης κατανάλωσης ενέργειας, πρώτων υλών και εκπομπών, σε συνδυασμό με τη βελτιστοποίηση της παραγωγής μέσω τεχνητής

νοημοσύνης και αυτοματισμών, επιτρέπει στις μονάδες βαθυτυπίας και converting να μετασχηματιστούν σε περισσότερο αποδοτικές, περιβαλλοντικά υπεύθυνες και ανταγωνιστικές βιομηχανικές εγκαταστάσεις (Duffy, 2026).

Ο ψηφιακός μετασχηματισμός οδηγεί τη μονάδα βαθυτυπίας και converting από ένα παραδοσιακό μοντέλο βιομηχανικής παραγωγής σε ένα πλήρως διασυνδεδεμένο «έξυπνο εργοστάσιο», στο οποίο η πληροφορία, η αυτοματοποίηση και η ανάλυση δεδομένων αποτελούν βασικούς παράγοντες ανταγωνιστικότητας, βιωσιμότητας και παραγωγικής αριστείας.

Συμπεράσματα

Η Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση και ο ψηφιακός μετασχηματισμός είναι έννοιες ταυτόσημες στη σημερινή βιομηχανική κουλτούρα της σύγχρονης εποχής. Αποτελούν πλέον καθοριστικούς παράγοντες εξέλιξης για τη βιομηχανία των Γραφικών Τεχνών και ειδικότερα για τον τομέα της εύκαμπτης συσκευασίας με τη μέθοδο εκτύπωσης της βαθυτυπίας. Η αναφορά στα παραδοσιακά βιομηχανικά πρότυπα και η περιγραφή της μετάβασης σε ένα περιβάλλον ψηφιοποιημένης, αυτοματοποιημένης και διασυνδεδεμένης παραγωγής δεν συνιστά απλώς μια τεχνολογική αναβάθμιση, αλλά έναν συνολικό μετασχηματισμό του τρόπου σκέψης, οργάνωσης, διοίκησης, λειτουργίας και ανάπτυξης των σύγχρονων αυτών παραγωγικών μονάδων.

Μέσα από την ανάλυση των καινοτομιών και των πρακτικών του Industry 4.0, υπερίσχυσαν ότι οι θεμελιώδεις αρχές της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης, όπως η διασυνδεσιμότητα μέσω IIoT, η συνεργατική εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης, η χρήση και αξιοποίηση των Big Data, η υιοθέτηση υπερσύγχρονων αυτοματισμών, η εισαγωγή στο cloud computing και τα πληροφοριακά συστήματα διαχείρισης παραγωγής, επηρεάζουν άμεσα και με ανατρεπτικά θετικά αποτελέσματα τον τρόπο λειτουργίας της βιομηχανίας εκτυπώσεων και εύκαμπτης συσκευασίας. Οι τεχνολογίες αυτές επιτρέπουν την αλληλεπίδραση των μηχανών, την ευφυή σύνδεση τους με τον άνθρωπο, ανάπτυξη συστημάτων, επίγνωση και αξιοποίηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, οδηγώντας σε υψηλότερα επίπεδα αποδοτικότητας, ακρίβειας, ευελιξίας, ασφάλειας, βιωσιμότητας και άριστης ποιότητας της παραγωγικής διαδικασίας όχι μόνο της Εκτύπωσης αλλά του συνολικού Converting.

Ο ψηφιακός μετασχηματισμός αναδιαμορφώνει ουσιαστικά τη μέθοδο της βιομηχανικής εκτύπωσης της βαθυτυπίας τόσο σε επίπεδο παραγωγικής διαδικασίας όσο και σε επίπεδο επιχειρησιακής στρατηγικής. Η αναβαθμισμένη ροή εργασίας μέσα από το πρίσμα του ψηφιακού μετασχηματισμού όπως των αυτοματοποιημένων συστημάτων ελέγχου,

λογισμικών διαχείρισης παραγωγής και συστημάτων ανάλυσης δεδομένων συμβάλλει στη βελτίωση της συνολικής λειτουργίας των μονάδων παραγωγής αλλά αποτελεί και «μονοπάτι» επιπλέον αναζήτησης εκσυγχρονισμού και προόδου. Η βαθυτυπία, ως μία από τις πλέον απαιτητικές και τεχνολογικά εξειδικευμένες μεθόδους εκτύπωσης, μετατρέπεται πλέον σε ένα περιβάλλον σύγχρονης αναβαθμισμένης τεχνολογίας, όπου η πληροφορία, η αυτοματοποίηση και η διασυνδεσιμότητα αποτελούν βασικά στοιχεία της παραγωγικής της διαδικασίας. Η ενσωμάτωση τεχνολογιών Industry 4.0 στη βαθυτυπία προσφέρει σημαντικά παραγωγικά, οικονομικά, περιβαλλοντικά και ανταγωνιστικά οφέλη. Η αυτοματοποίηση και η άμεση παρακολούθηση της παραγωγής συμβάλλουν στη μείωση σφαλμάτων, downtime και απωλειών πρώτων υλών, ενώ παράλληλα αυξάνουν την ποιότητα και τη σταθερότητα του τελικού προϊόντος. Η δυνατότητα real-time monitoring και προγνωστικής συντήρησης ενισχύει την αξιοπιστία του εξοπλισμού και περιορίζει τα κόστη συντήρησης και παραγωγικών αστοχιών. Επιπλέον, η αξιοποίηση δεδομένων και συστημάτων ανάλυσης επιτρέπει τη βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας, τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και την ανάπτυξη περισσότερων βιώσιμων πρακτικών παραγωγής.

Τεράστιο βήμα δίνεται επίσης για τη βιωσιμότητα της βιομηχανίας εύκαμπτης συσκευασίας μέσα από την υιοθέτηση των σύγχρονων καινοτομιών. Η ψηφιοποίηση και οι τεχνολογίες Industry 4.0 συμβάλλουν ουσιαστικά στη μείωση των αποβλήτων, στη βελτιστοποίηση της χρήσης πρώτων υλών και ενέργειας και στη μετάβαση προς μοντέλα κυκλικής οικονομίας καθώς και περιβαλλοντικά υπεύθυνης και ασφαλούς παραγωγής. Η ανάπτυξη αυτοματοποιημένων συστημάτων ανάκτησης διαλυτών, η υιοθέτηση και εφαρμογή νέων υλικών με κεντρική ιδέα την ανακύκλωση καθώς και η καλύτερη διαχείριση των παραγωγικών πόρων αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα της σύνδεσης του ψηφιακού μετασχηματισμού με τη βιώσιμη σύγχρονη και έννομη βιομηχανική ανάπτυξη.

Πέρα από τη θετικά αποτελέσματα εφαρμογής, υπήρχαν και σημαντικές προκλήσεις που συνόδευσαν την αναβάθμιση των παραδοσιακών σε σύγχρονα ψηφιακά συστήματα σε ένα τεχνολογικά εξειδικευμένο περιβάλλον παραγωγής. Το υψηλό κόστος επένδυσης σε σύγχρονο εξοπλισμό, λογισμικά και υποδομές αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους περιορισμούς για πολλές επιχειρήσεις του κλάδου, ιδιαίτερα μικρομεσαίες. Παράλληλα,

η ανάγκη εξειδικευμένου ανθρώπινου δυναμικού, η συνεχής εκπαίδευση και αναβάθμιση δεξιοτήτων, καθώς και η διαχείριση και ασφάλεια μεγάλου όγκου δεδομένων δημιουργούν νέες ισχυρές απαιτήσεις για τις σύγχρονες βιομηχανικές μονάδες Converting. Η ενσωμάτωση και αναβάθμιση των νέων τεχνολογιών σε ήδη υπάρχουσες παραγωγικές δομές που λειτουργούν παραδοσιακά, συχνά απαιτεί εκτεταμένες οργανωτικές και τεχνικές προσαρμογές.

Μέσα από τη μελέτη περίπτωσης βιομηχανικής μονάδας converting της ADAPA GRK επιβεβαιώθηκε ότι ο ψηφιακός μετασχηματισμός μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στη δημιουργία ευφυών, διασυνδεδεμένων και βιώσιμων μονάδων παραγωγής για τον τομέα της εύκαμπτης συσκευασίας και ειδικότερα στο κομμάτι της βαθυτυπίας. Η εφαρμογή ERP και MES συστημάτων, η αξιοποίηση αισθητήρων IIoT, η ενσωμάτωση cloud και edge computing, καθώς και η χρήση τεχνητής νοημοσύνης και αυτοματοποιημένων συστημάτων ποιοτικού ελέγχου, οδήγησε σταδιακά στην ανάπτυξη «έξυπνου εργοστασίου», όπου η παραγωγή χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό αυτοματοποίησης, διαφάνειας, ευελιξίας και λειτουργικής αποτελεσματικότητας. Απέδειξε επίσης πως ο ψηφιακός μετασχηματισμός επηρεάζει άμεσα και τον παράγοντα άνθρωπο. Οι σύγχρονες βιομηχανικές μονάδες απαιτούν πλέον εργαζόμενους με δεξιότητες και κατάρτιση σε ψηφιακό μετασχηματισμό, ικανότητα διαχείρισης πληροφοριακών συστημάτων και προσαρμοστικότητα στις συνεχείς απαιτητικές τεχνολογικές εξελίξεις. Καθίσταται αναγκαία η επένδυση στην εκπαίδευση του προσωπικού, την εξειδίκευση και τη διαρκή κατάρτιση του, ώστε να υποστηριχθεί αποτελεσματικά η μετάβαση στη νέα ψηφιακή βιομηχανική πραγματικότητα. Ο συνδυασμός εμπειρίας και νέων ικανοτήτων και γνώσεων πάνω στις σύγχρονες ψηφιακές αναβαθμίσεις αποτελεί τον καλύτερο τρόπο τελειοποίησης του σύγχρονου ανθρώπου εκτυπωτή στο κλάδο.

Η μελέτη καταλήγει πως ο ψηφιακός μετασχηματισμός δεν αποτελεί πλέον μία μελλοντική προοπτική αλλά μία στρατηγική αναγκαιότητα για τη βιομηχανία της εύκαμπτης συσκευασίας και ιδιαίτερα της βαθυτυπίας. Οι επιχειρήσεις που θα καταφέρουν να ενσωματώσουν αποτελεσματικά τις τεχνολογίες της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης, να επενδύσουν στην τεχνογνωσία, στο ανθρώπινο δυναμικό τους και να υιοθετήσουν βιώσιμες και καινοτόμες πρακτικές παραγωγής θα είναι εκείνες

που θα αποκτήσουν ισχυρό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στο σύγχρονο παγκόσμιο βιομηχανικό περιβάλλον.

Η παρούσα μελέτη αναδεικνύει την ανάγκη περαιτέρω επιστημονικής και τεχνολογικής έρευνας γύρω από τις εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης, της αυτοματοποίησης, της βιώσιμης παραγωγής και των έξυπνων εργοστασίων στη βιομηχανία εκτυπώσεων και συσκευασίας. Παράλληλα, καθίσταται σαφές ότι η συνεχής τεχνολογική εξέλιξη θα συνεχίσει να επηρεάζει δυναμικά τον κλάδο, δημιουργώντας νέες ευκαιρίες αλλά και νέες απαιτήσεις για τις επιχειρήσεις και το ανθρώπινο δυναμικό που δραστηριοποιούνται σε αυτόν.

Η βιομηχανία της εύκαμπτης συσκευασίας και της βαθυτυπίας βρίσκεται σήμερα σε ένα κρίσιμο σημείο μετάβασης, όπου η τεχνολογική καινοτομία, η ψηφιοποίηση και η βιώσιμη ανάπτυξη συνδιαμορφώνουν το νέο βιομηχανικό πρότυπο. Η επιτυχής προσαρμογή στις απαιτήσεις της Τέταρτης Βιομηχανικής Επανάστασης δεν εξαρτάται αποκλειστικά από την υιοθέτηση προηγμένων τεχνολογιών, αλλά και από την ικανότητα των επιχειρήσεων να αναπτύξουν και να διατηρήσουν μια κουλτούρα συνεχούς μάθησης, συνεργασίας και σύγχρονης καινοτομίας. Ο ψηφιακός μετασχηματισμός αναδεικνύεται ως ένας στρατηγικός μοχλός ανάπτυξης που μπορεί να ενισχύσει την ανταγωνιστικότητα, την ποιότητα, την ευελιξία και τη βιωσιμότητα του κλάδου, διαμορφώνοντας ένα παραγωγικό περιβάλλον περισσότερο ευφύες, διασυνδεδεμένο και προσανατολισμένο στις προκλήσεις του μέλλοντος. Καθώς οι τεχνολογικές εξελίξεις συνεχίζουν να επιταχύνονται, η ικανότητα προσαρμογής και αξιοποίησης της γνώσης θα αποτελέσει τον σημαντικότερο παράγοντα επιτυχίας για τις επιχειρήσεις που επιδιώκουν να διατηρήσουν ηγετική θέση στη σύγχρονη βιομηχανία συσκευασίας.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Abdul-Qawy A.S, Pramod P. J, E. Magesh, T. Srinivasulu (2015, Δεκέμβριος). *The Internet of Things (IoT). Int. Journal of Engineering Research and Applications.*

Ανακτήθηκε από [\(PDF\) The Internet of Things \(IoT\): An Overview](#)

Adapa-group, (2026). *Adapa Greece Komotini, Gravure printing, lamination and slitting for the food and hygiene industry.* Ανακτήθηκε από [adapa Greece Komotini - adapa Group](#)

AllPackHellas, (2021, Μάιος 11). *Περισσότερη Μεταποίηση, πιο εξειδικευμένες εφαρμογές.* Ανακτήθηκε από [White Paper Εκτύπωση συσκευασιών 4.0. Ψηφιοποίηση και η επίδρασή της στη βιωσιμότητα, την ευελιξία και την ανάπτυξη. - Allpack Hellas](#)

AllPackHellas, (2021, Σεπτέμβριος). *Packaging Printing 4.0: Καινοτομία και Βιωσιμότητα στη Βιομηχανική Εκτύπωση.* Ανακτήθηκε από [all-pack-hellas-No-106.pdf](#)

Ambrose, G., & Harris, P. (2011). *Packaging the Brand: The Relationship Between Packaging Design and Brand Identity.* AVA Publishing. Ανακτήθηκε από [Packaging The Brand | PDF | Brand | Sustainability](#)

Anderson&VReeland (n.d.). *Hybrid Software.* Anderson&VReeland. Ανακτήθηκε από [HYBRID Software - Anderson & Vreeland \(andersonvreeland.com\)](#)

Arredondo-Méndez, V. H., Para-González, L., Mascaraque-Ramírez, C., & Domínguez, M. (2021, Σεπτέμβριος, 6). *The 4.0 industry technologies and their impact in the continuous improvement and the organizational results: An empirical approach.*

Ανακτήθηκε από [The 4.0 Industry Technologies and Their Impact in the Continuous Improvement and the Organizational Results: An Empirical Approach](#)

Armbrust, M., Fox, A., Joseph, A., Griffith R., (2010). *A view of cloud computing*. Communications of the ACM, 53(4), 50–58. Ανακτήθηκε από [\(PDF\) A View of Cloud Computing](#)

Ashton, T. S. (1997). *The Industrial Revolution 1760–1830*. Oxford University Press.

Avt-inc. (2025). *Print inspection solutions*. Ανακτήθηκε από [AVT Print Inspection Software, Real-Time Printing Defect Detection](#)

Avt-inc, (2025, Μάιος, 7). *Dynamic partnership between American Fuji Seal and AVT transforms quality control*. Ανακτήθηκε από [AVT & American Fuji Seal Advance Print Inspection Quality](#)

Barzizza, E., Baglioni, M., & Ottaviano, S. (2023). *Big data analytics for business process optimization: Methods and applications*. Stats, 6(3), 812–827. Ανακτήθηκε από [\(PDF\) Big Data Analytics and Machine Learning in Supply Chain 4.0: A Literature Review](#)

Benassi, M., & Grinza, E. (2022). *Patenting in 4IR technologies and firm performance*. Industrial and Corporate Change. Ανακτήθηκε από [\(PDF\) Patenting in 4IR Technologies and Firm Performance](#)

Bigblue.academy, (2023, Φεβρουάριος 17). *Πώς η Τεχνητή Νοημοσύνη (AI) Βοηθάει τις Επιχειρήσεις*. Ανακτήθηκε από [Πώς η Τεχνητή Νοημοσύνη \(AI\) Βοηθάει τις Επιχειρήσεις](#)

Bobst, (n.d.). *BOBST Connect platform*. Ανακτήθηκε από [BOBST Connect | BOBST](#)

Bobst, (n.d.). *Gravure printing and converting inline process*. Ανακτήθηκε από [Gravure printing & converting - Gravure printing & converting lines process | BOBST](#)

Bobst, (n.d.). *Rotogravure Printing Process*. Ανακτήθηκε από [Gravure printing - Rotogravure printing process | BOBST](#)

Bommineedi, L.K. Upadhyay, N. Minnes, R. (2023, Ιούλιος, 3). *Screen Printing: An Ease Thin Film Technique*. Ανακτήθηκε από [Screen Printing: An Ease Thin Film Technique | Springer Nature Link](#)

Brett, J. (2018). *Printing and the Mind of Man: The Impact of Print on Human Civilization*. Cambridge University Press.

Briggs, A., & Burke, P. (2010). *A Social History of the Media: From Gutenberg to the Internet* (3rd ed.). Polity Press. Ανακτήθηκε από [SOCIALHISTORY.pdf](#)

BritannicaEditors. (2026, Φεβρουάριος, 6). *Industrial Revolution*. Encyclopedia Britannica. Ανακτήθηκε από [Industrial Revolution | Definition, History, Dates, Summary, & Facts | Britannica](#)

BritannicaEditors. (2026, Ιανουάριος, 16). *printing press*. Ανακτήθηκε από [Printing press | Invention, Definition, History, Gutenberg, & Facts | Britannica](#)

Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014, Αύγουστος 11). *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. Ανακτήθηκε από [The](#)

[Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies](#)

[Full article: The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies](#)

Bsteltromat, (n.d). *Quality Control for your Printing Process*. Ανακτήθηκε από [BST eltromat Product Catalog - New.cdr](#)

Calvino, F., Dechezleprêtre, A., De Lyon, J., Dernis, H., & Vitkova, A. (2025). *Productivity among firms patenting in fourth industrial revolution technologies*. OECD Science, Technology and Industry Working Papers. [Productivity among firms patenting in fourth industrial revolution technologies \(EN\)](#)

Cannavacciuolo, L., Ferraro, G., Ponsiglione, C., & Primario, S. (2023, Ιούνιος). *Technological innovation-enabling Industry 4.0 paradigm: A systematic literature review*. Technovation. Ανακτήθηκε από [Technological innovation-enabling industry 4.0 paradigm: A systematic literature review - ScienceDirect](#)

Castells, M. (1996). *The rise of the network society*. Blackwell. Ανακτήθηκε από [1072778_88511e0.pdf](#)

Cebrian, J. L. (1998). *Το δίκτυο. Το Internet και τα νέα μέσα επικοινωνίας*. (Μετ. Παπαγεωργίου, Στάχυ, Αθήνα 2000).

Chovet, P. (2019). *The History of Printing: From Woodblocks to Digital Presses*.

Cisco, (n.d.). *What is industrial IoT (IIoT)?* Ανακτήθηκε από [What Is Industrial IoT \(IIoT\)? - Cisco](#)

Cleary, N. (2025, Ιούνιος, 23). *The Rise of Robotics: Automating Wide Format Print Production*. Ανακτήθηκε από [The Rise of Robotics: Automating Wide Format Print Production](#)

Clement, J. (2013). *Understanding consumers in store visual perception: The influence of package design features on visual attention*. Ανακτήθηκε από [“Visual influence on in-store buying decisions: an eye-track experiment on the visual influence of packaging design”](#).

Cosper, (2017, Μάρτιος 26). *How Specific Visual Aspects of Packaging Influence In – Store Buying Decisions*. Ανακτήθηκε από [Chocolates , Biscuits and Confectionery packaging: How Specific Visual Aspects of Packaging Influence In-Store Buying Decisions \(desjardin.fr\)](#)

Deloitte & ΣΕΒ, (2019, Οκτώβριος, 25). *Ψηφιακή και τεχνολογική ωριμότητα οικονομίας και επιχειρήσεων – 1η ετήσια έκδοση Παρατηρητηρίου Ψηφιακού Μετασχηματισμού ΣΕΒ*. Ανακτήθηκε από [Ψηφιακή και τεχνολογική ωριμότητα οικονομίας και επιχειρήσεων – 1η ετήσια έκδοση Παρατηρητηρίου Ψηφιακού Μετασχηματισμού ΣΕΒ - ΣΕΒ σύνδεσμος επιχειρήσεων και βιομηχανιών](#)

Desai, N. (2026). *Gravure Printing: An In-Depth Exploration of Techniques*. Ανακτήθηκε από [Gravure Printing: An In-Depth Exploration of Techniques](#)

Drupa. (2024). *Global trends in print and packaging*. Ανακτήθηκε από [Sustainable Printing Practices & Technologies | drupa blog -- drupa - 2028 - Messe Düsseldorf](#)

Duffy, D. (2026). *ESG: A comprehensive guide to the main principles*. Ανακτήθηκε από [ESG: A comprehensive guide | The Corporate Governance Institute](#)

Dunlop-Potts, S.J. (2020, Ιούνιος). *Advanced Manufacture by Screen Printing*. Ανακτήθηκε από [\(PDF\) Advanced Manufacture by Screen Printing](#)

Eisenstein, L. E. (1983). *The printing revolution in early modern Europe*. Cambridge University Press. Ανακτήθηκε από [THE PRINTING REVOLUTION IN EARLY MODERN EUROPE](#)

European Commission. (2019, Απρίλιος, 8). *Ethics guidelines for trustworthy AI*. Ανακτήθηκε από [Ethics guidelines for trustworthy AI | Shaping Europe's digital future](#)

European Commission. (2022). *Digital transition – Reform Support – European Commission*. European Commission. Ανακτήθηκε από [Digital transition - Reforms and Investments - European Commission](#)

European Patent Office. (2020, Δεκέμβριος). *Patents and the Fourth Industrial Revolution: The global technology race*. Munich: EPO. Ανακτήθηκε από [Patents and the Fourth Industrial Revolution](#)

Everodopi, (n.d.). *Alfa Beta Roto S.A- ALFA-BETA ROTO ANΩNYMH BIOTEXNIKH KAI EMΠOPIKH ETAIPEIA*. Ανακτήθηκε από [Alfa Beta Roto S.A- ALFA-BETA ROTO ANΩNYMH BIOTEXNIKH KAI EMΠOPIKH ETAIPEIA](#)

Everllence (n.d.). *Digital Solutions for Industrial Turbomachinery*. Ανακτήθηκε από [Digital Solutions | Everllence](#)

Fairley, M. (2024). *Flexible Packaging Constructors*. Ανακτήθηκε από [Flexible packaging constructions | Labels & Labeling](#)

Febvre, L. & Martin, J. H. (1976). *The coming of the book: The impact of printing, 1450–1800*. Ανακτήθηκε από [The Coming of the Book: The Impact of Printing 1450-1800 - Lucien Febvre, Henri-Jean Martin - Βιβλία Google](#)

Flexibizerp, (n.d.). *ERP and CRM For Printing & Packaging Industry*. Ανακτήθηκε από [ERP For Flexible Packaging, Labels, Blown Films, CPP Films, Paper stock, Alu Foil, blister foil, Lamitubes, Collapsible tubes, Sleeves, woven bags, woven fabric, corrugation, rigid packaging, caps and closurers, rotogravure cylinders, mono cartons, holograms](#)

FPA. (n.d.). *Flexible Packaging Association*. Ανακτήθηκε από [Advantages of Flexible Packaging](#)

Frey, C. B., & Osborne, M. (2017, Ιανουάριος). *The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? Technological Forecasting and Social Change*, 114, 254–280. Ανακτήθηκε από [The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? - ScienceDirect](#)

Frank, A. G., Dalenogare, L., Ayala, F.N. (2019, Ιανουάριο). *Industry 4.0 technologies. Journal of Manufacturing Technology Management*. Ανακτήθηκε από [\(PDF\) Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies](#)

Friedman, T. L. (2005). *The world is flat*. Farrar, Straus and Giroux. Ανακτήθηκε από [The world is flat: A brief history of the twenty-first century.](#)

Gascoigne, B. (2019). *The Invention of Printing: A Cultural History*. Thames & Hudson.

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N., & Hultink, E. (2017). *The circular economy – A new sustainability paradigm*. Journal of Cleaner Production, 143, 757–768.

Ανακτήθηκε από [TheCircularEconomy-anewsustainabilityparadigm_acceptedversion.pdf](#)

Gibson, I., Rosen, D. W., & Stucker, B. (2015). *Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing*. Ανακτήθηκε από [“Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing”, 2nd Edition | Johnson Matthey Technology Review](#)

Gokulnath B. (2023). *Digital Prepress – Simplifying the workflow for Publishers*. Ανακτήθηκε από [HurixDigital. Digital Prepress - Simplifying the Workflow for Publishers \(hurix.com\)](#)

Gordon, R. J. (2016). *The rise and fall of American growth*. Princeton University Press. Ανακτήθηκε από [\(PDF\) The Rise and Fall of American Growth: The U.S. Standard of Living Since the Civil War. By Robert J. Gordon. Princeton, NJ: Princeton University Press, 2016. Pp. 784, \\$39.95, cloth](#)

Grabowska, S., Saniuk, S., & Gajdzik, B. (2020, Νοέμβριος, 12). *Personalization of products in the industry 4.0 concept and its impact on sustainable consumption*. Ανακτήθηκε από [Personalization of Products in the Industry 4.0 Concept and Its Impact on Achieving a Higher Level of Sustainable Consumption](#)

Grand View Research, (2026). *Flexible Packaging Market (2026 - 2033)*. Ανακτήθηκε από [Flexible Packaging Market Size, Share | Industry Report 2033](#)

GraphicaNews, (2021, Απρίλιος 19). *Εκτύπωση Συσκευασιών 4.0*. Ανακτήθηκε από [Εκτύπωση Συσκευασίας 4.0. | Graphica News](#)

Grafo, (2018, Φεβρουάριος 13). *Τί είναι η εκτύπωση Offset και πως λειτουργεί;* Grafo. Ανακτήθηκε από [Μέθοδοι εκτύπωσης: Ψηφιακή Vs Offset. Σας βοηθάμε να επιλέξετε | grafo.gr](#)

Guirdham, O. (2024, Σεπτέμβριος, 3). *Global Printing and Related Support Activities Market Overview and Statistics For 2024-2033*. Ανακτήθηκε από [Global Printing And Related Support Activities Market Overview And Statistics For 2024-2033](#)

Helbing & Lenca, (2024, Φεβρουάριος, 28). *Why converging technologies need converging international regulations*. Ανακτήθηκε από [Why converging technologies need converging international regulation | Ethics and Information Technology](#)

Helgramed, (2020). *Μελέτη Σκοπιμότητας για την ίδρυση νέου τμήματος Επιστημών Γραφικών Τεχνών και Συσκευασίας στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής. Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών και Πολιτισμού. Τμήμα Γραφιστικής και Οπτική Επικοινωνίας*. Ανακτήθηκε από [Microsoft Word - 1_ΜΕΛΕΤΗ_ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ_ΓΡΑΦΙΚΕΣ_ΤΕΧΝΕΣ_ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ \(1\).docx](#)

Hell-gravure, (n.d.). *Automatic process control*. Ανακτήθηκε από [Certified Engraving – Hell Gravure Systems](#)

Hobsbawm, E. J. (1999). *Industry and Empire*. New Press.

Hwang, J. (2024). *Big data and digital transformation in business analytics: A systematic review*. World Journal of Advanced Research and Reviews.

Hyflexpack, (2025). *Τί είναι η εύκαμπτη συσκευασία και γιατί έχει σημασία;*
Ανακτήθηκε από [Τι είναι η εύκαμπτη συσκευασία και γιατί έχει σημασία; - Huiyang Pack](#)

IBM (n.d.) *What is the Internet of Things (IoT)?* Ανακτήθηκε από [What is the Internet of Things \(IoT\)? | IBM](#)

IBM. (n.d.). *What is Industry 4.0?* Ανακτήθηκε από [What is Industry 4.0? | IBM](#)

Iberdrola. (2025). *What is the Fourth Industrial Revolution and its technologies?*
Ανακτήθηκε από [What is the Fourth Industrial Revolution and its technologies - Iberdrola](#)

IDBS, (2025, Μάρτιος, 18). *Τι είναι το Σύστημα Εκτέλεσης Παραγωγής (MES);*
Ανακτήθηκε από [Τι είναι το Σύστημα Εκτέλεσης Παραγωγής \(MES\); - IDBS](#)

lotforall, (2025). *Industrial Internet of Things*. Ανακτήθηκε από [Industrial Internet of Things | IoT For All](#)

Inkofix. (2025, April 5). *The role of printing inks in flexible packaging and branding*.
Ανακτήθηκε από [The Role of Printing Inks in Flexible Packaging and Branding – InKoFix Blog](#)

Jobin, A., Ienca, M., & Vayena, E. (2019, Σεπτέμβριος, 2). *The global landscape of AI ethics guidelines*. *Nature Machine Intelligence*, 1(9), 389–399. Ανακτήθηκε από [The global landscape of AI ethics guidelines | Nature Machine Intelligence](#)

Jyflexpack, (2025). *Flexible Packaging: The Future of Food & Consumer Product Packaging*. Ανακτήθηκε από [Flexible Packaging: The Future of Food & Consumer Packaging](#)

Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013, Απρίλιος 8). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. Ανακτήθηκε από [Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Final report of the Industrie 4.0 Working Group - acatech - National Academy of Science and Engineering](#)

Kappor, N. (n.d). *Applications And Features of Rotogravure Printing Machine*. Ανακτήθηκε από [Applications And Features of Rotogravure Printing Machine | by Neha kappor | Medium](#)

Kaverman, (1999). *PAD PRINTING 101: The History, The Machines, Their Drive Systems and Accessories*. Ανακτήθηκε από [PAD PRINTING 101: The History, The Machines, Their Drive Systems and Accessories](#)

Kdwpack, (2026). *Development Tendency*. Ανακτήθηκε από [Gravure Printing for flexible packaging factory | KDW](#)

Khandaker, M. H. A. (2024, Ιούλιος 2). *Rotogravure Printing Process & Advantages*. Ανακτήθηκε από [\(21\) Rotogravure Printing Process & Advantages | LinkedIn](#)

Kipphan, H. (2001). *Handbook of print media: Technologies and production methods*.

Ανακτήθηκε από [Εγχειρίδιο Έντυπων Μέσων: Τεχνολογίες και Μέθοδοι Παραγωγής | Σύνδεσμος φύσης Springer](#)

Kipphan, H. (2016). *Handbook of Print Media: Technologies and Production Methods*.

Springer. Ανακτήθηκε από [04](#)

Kotler, P. & Keller, K. L. (2016). *Marketing Management* (15th ed.). Pearson Education.

LabelProfil, (2024, Μάρτιος, 21). *The Digital Printing Era: Labels and Flexible*

Packaging. Ανακτήθηκε από [LabelProfil | The Digital Printing Era: Labels and Flexible Packaging](#)

Landa, R. (2019). *Graphic Design Solutions* (6th ed.). Cengage Learning. Ανακτήθηκε από [Graphic Design Solutions](#)

Landes, D. S. (1969). *The unbound Prometheus: Technological change and industrial development in Western Europe*. Cambridge University Press.

Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.-G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). *Industry 4.0*.

Business & Information Systems Engineering, 6(4), 239–242. Ανακτήθηκε από [viewcontent.cgi](#)

Lee, J., Kao, H. A., & Yang, S. (2014). *Service innovation and smart analytics for*

Industry 4.0 and big data environment. *Procedia CIRP*, 16, 3–8. Ανακτήθηκε από [Microsoft Word - IPSS 2014 Lee Service Innovation_v2.1.doc](#)

Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H.A. (2015, Ιανουάριος). *A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems*. Ανακτήθηκε από [A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems - ScienceDirect](#)

Lee, J., Singh, J. (2020, Ιούνιος). *Predictive manufacturing systems*. Manufacturing Letters, 3, 38–41. Ανακτήθηκε από [\(PDF\) Intelligent Maintenance Systems and Predictive Manufacturing](#)

Mascara, M. (2026, Φεβρουάριος, 13). *Labels & Packaging in 2026: Turning Insight into Direction*. Ανακτήθηκε από [Labels & Packaging in 2026: Turning Insight into Direction - WhatTheyThink](#)

Malini, H. & Nedumaran, G. (2024, Αύγουστος). *Blockchain: A Catalyst for Industry 4.0 Transformation in the Digital World*. Ανακτήθηκε από [\(PDF\) Blockchain: A Catalyst for Industry 4.0 Transformation in the Digital World](#)

Marr, B. (n.d). *Why Everyone Must Get Ready For 4th Industrial Revolution*. Ανακτήθηκε από [Why Everyone Must Get Ready For 4th Industrial Revolution | Bernard Marr](#)

Marketsandmarkets, (2025). *Flexible Packaging Market*. Ανακτήθηκε από [Flexible Packaging Market Size & Forecast \[Latest\]](#)

Maximizemarketresearch, (2025, Ιούνιος). *Rotogravure Printing Machine Market Size by No of Colors Type, Automation Mode, Drying Source, Substrate, Ink, End-use, Region – Segment-Level Market Assessment, Growth Opportunity Analysis, Competitive*

Mapping & Forecast to 2032. Ανακτήθηκε από [Rotogravure Printing Machine Market - Forecast](#)

McKinsey & Company. (2020, Αύγουστος, 7). *Building the vital skills for the future of work in operations.* McKinsey & Company. Ανακτήθηκε από [Reskilling workers for industry 4.0 | McKinsey](#)

McKinsey & Company. (2021, Δεκέμβριος). *The state of AI in 2021.* Ανακτήθηκε από [Global-survey-The-state-of-AI-in-2021.pdf](#)

Meggs, P. B., & Purvis, A. W. (2016). *Meggs' History of Graphic Design*, (6th ed.). Ανακτήθηκε από [Meggs' History of Graphic Design - Philip B. Meggs, Alston W. Purvis - Βιβλία Google](#)

Mejtoft, T. (2006). *Strategies in the Digital Printing Value System.* Ανακτήθηκε από [Strategies in the Digital Printing Value System.](#)

Mills, B. (2023). *Emerging Trends in Artificial Intelligence for Industrial Automation.* American Engineering Journal. Ανακτήθηκε από [View of Emerging Trends in Artificial Intelligence for Industrial Automation](#)

Mohd, J. Abid H. Ravi P. S. Rajiv S. (2022) *Journal of Industrial Integration and Management / Vol 07, No. 01, pp. 83-111. Artificial Intelligence Applications for Industry 4.0: A Literature-Based Study.* Ανακτήθηκε από [Artificial Intelligence Applications for Industry 4.0: A Literature-Based Study | Journal of Industrial Integration and Management](#)

Mokyr, J. (1990). *The lever of riches: Technological creativity and economic progress*. Oxford University Press. Ανακτήθηκε από [\(PDF\) The Lever of Riches: Technological Creativity and Economic Progress](#).

Monostori, L. (2014). *Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges*. Ανακτήθηκε από [Cyber-physical Production Systems: Roots, Expectations and R&D Challenges](#)

Monostori, L., Kadar, B., Kondoh, S., Bauernhansl, T. (2016, Αύγουστος). *Cyber-physical systems in manufacturing*. Ανακτήθηκε από [\(PDF\) Cyber-physical systems in manufacturing](#)

Montanino, M. & Giuliano, S. (2023, Οκτώβριος, 27). *Gravure Printing for Lithium-Ion Batteries Manufacturing*. Ανακτήθηκε από [Gravure Printing for Lithium-Ion Batteries Manufacturing: A Review](#)

Morakanyane, R., Grace, A. A., & O'Reilly, P. (2017, Δεκέμβριος). *Conceptualizing digital transformation in business organizations: A systematic review of literature*. Ανακτήθηκε από [\(PDF\) Conceptualizing Digital Transformation in Business Organizations: A Systematic Review of Literature](#)

Morris, B. A. (2021, Νοέμβριος). *The Science and Technology of Flexible Packaging*. Ανακτήθηκε από [The Science and Technology of Flexible Packaging: Multilayer Films from ... - Barry A. Morris - Βιβλία Google](#)

M.U. Farooq, M. Waseem, S. Mazhar, A. Khairi, T. Kamal (2015, Μάρτιος). *A Review on Internet Things (IoT)*. *International Journal of Computer Applications*. Ανακτήθηκε από [\(PDF\) A Review on Internet of Things \(IoT\)](#)

Nexusintegra, (2026). *Edge Computing and its importance in smart production.*

Ανακτήθηκε από [Edge Computing in Industry 4.0: Benefits and Use Cases](#)

OECD. (2019, Απρίλιος, 25). *OECD employment outlook 2019: The future of work.*

OECD Publishing. Ανακτήθηκε από [OECD Employment Outlook 2019 | OECD](#)

OECD. (2019, Μάιος, 9). *Skills for a Digital World. Thriving in a Digital World.* OECD

Publishing. Ανακτήθηκε από [OECD Skills Outlook 2019 | OECD](#)

OECD. (2020, Ιούλιος, 7). *OECD employment outlook 2020: Worker security and the*

COVID-19 crisis. OECD Publishing. Ανακτήθηκε από [OECD Employment Outlook 2020 | OECD](#)

Ong, W. (1997). *Προφορικότητα και εγγραμματοσύνη* (Μετ. Κ. Χατζηκυριάκου)

Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης 1982. Ανακτήθηκε από [Άρθρα. Πρώτη σελίδα](#)

Oyang-group, (2024, Αύγουστος 31). *Introduction To the Rotogravure Printing*

Process. Ανακτήθηκε από [Introduction To the Rotogravure Printing Process - Oyang Group](#)

Packaging Digest. (n.d.). *Big data in packaging.* Ανακτήθηκε από [Packaging Digest](#)

Packaging Europe, (2018, Νοέμβριος 30). *Automation Trends in the Packaging*

Industry. Ανακτήθηκε από [Automation Trends in the Packaging Industry | Article | Packaging Europe](#)

Packitup, (2021, Ιούνιος 28). *Η μαγεία του packaging και η τεράστια σημασία του για το branding*. Ανακτήθηκε από [Η μαγεία του Packaging και η τεράστια σημασία του για το branding - Packitup](#)

Packworld, (2015, Αύγουστος, 3). *AVT: Inspection and print process control systems. A variety of inspection and proofing products maintain quality standards across production runs*. Ανακτήθηκε από [AVT: Inspection and print process control systems | Packaging World](#)

Parramon, J. M. (2015). *Printing Technologies and Applications*. CRC Press.

Pech, M., Vrchota, J. (2022, Μάρτιος, 9). *The product customization process in relation to Industry 4.0 and digitalization*. Ανακτήθηκε από [The Product Customization Process in Relation to Industry 4.0 and Digitalization](#)

Penguinsolutions, (2026). *Necessary Requirements, Advantages, and Disadvantages of using Edge Computing in the Manufacturing Industry Explained*. Ανακτήθηκε από [Edge Computing in Manufacturing: Pros and Cons Explained](#)

PioneerServiceInc. (2019, Ιούνιος 12). *Some of the challenges of IoM*. Ανακτήθηκε από [The Industrial Internet of Things \(IIoT\) and What it Means to Precision Machining - Pioneer Service Inc](#)

Polysack, (2022). *Shrink Label*. Ανακτήθηκε από [Shrink Label Packaging | Polysack](#).

Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2016). *Smart, connected products*. Harvard Business Review. Ανακτήθηκε από [\(PDF\) Smart, connected products change a company's business strategy orientation](#)

Prepress (n.d.). *What is Prepress, An Introduction to Prepress*. Ανακτήθηκε από [What is Pre Press? - PrePress](#)

PrePressure, (n.d.). *PrePressure*. Ανακτήθηκε από [Prepress | People, processes, equipment and software](#)

Printbusiness.co.uk, (2019, Φεβρουάριος, 6). *Print's rise of robotics and the 2019 technology shift*. Ανακτήθηκε από [Print's rise of robotics and the 2019 technology shift – Print Business – for Forward Thinking Printing](#)

Printify, (2024). *Print On Demand*. Ανακτήθηκε από [What Is Print on Demand? | How Does Print on Demand Work? \(printify.com\)](#)

Printpack, (2023, Νοέμβριος 8). *Rotogravure printing for flexible packaging*. Ανακτήθηκε από [Rotogravure printing for flexible packaging](#)

Print24 Journal. (n.d.). *Printing processes – Types and how they work*. Ανακτήθηκε από [Διαδικασίες εκτύπωσης - είδη και πώς λειτουργούν | print24](#)

Printing Industries of America. (2020). *Workforce Development and Skill Trends in Printing Industry*. Ανακτήθηκε από [production-digital-printing-2025-setting-the-course-to-thrive.pdf](#)

Quintero, W. R. (2022). *Digital competences of the industrial engineer in Industry 4.0: A systematic vision*. Ανακτήθηκε από [SciELO Brazil - Digital competences of the](#)

[industrial engineer in industry 4.0 a systematic vision Digital competences of the industrial engineer in industry 4.0 a systematic vision](#)

Rahul, K., Suresh, S., & Singh, A. (2023). *Big data technologies and analytics: A review on applications and future trends*. Journal of Big Data, 10(1), 45–59.

Ανακτήθηκε από [\(PDF\) Big Data and Big Data Analytics: A Review of Tools and its Application](#)

Rifkin, J. (2011). *The third industrial revolution*. Palgrave Macmillan. Ανακτήθηκε από [Rifkin, J. \(2011\) The Third Industrial Revolution How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World. Palgrave Macmillan, London, 5-15 - References - Scientific Research Publishing](#)

Romano, F. J. (2014). *Digital Printing Pocket Primer*. Delmar Cengage Learning.

Santa Rita, L., Silva, J., Uchoa, S., Bittencourt, I., & Pinto Filho, J. (2024). *Digital transformation: patents as a determinant proxy for Industry 4.0*. International Journal of Innovation.

Sap, (2025). *Τι είναι Τεχνητή Νοημοσύνη*. Ανακτήθηκε από [Τι είναι η Τεχνητή Νοημοσύνη; | AI σε Επιχείρηση | SAP](#)

Science Direct, (n.d.). *Gravure Printing*. Ανακτήθηκε από [Gravure Printing - an overview | ScienceDirect Topics](#)

Sharma, B., Singh, S., Pandey, A., Dutt, D., & Kulshreshtha, A. (2022). *Sustainable and green manufacturing of gravure printing cylinder for flexible packaging printing application*. Scientific Reports, 12, 16266. Ανακτήθηκε από [Sustainable and green](#)

[manufacturing of gravure printing cylinder for flexible packaging printing application | Scientific Reports](#)

Significans Automation (n.d.). *Industry 2: Prepress*. Ανακτήθηκε από [Industry 2.0: Prepress - Significans Automation](#)

Smithers. (2023). *The future of global printing to 2028*. Ανακτήθηκε από [The Future of Global Security Printing to 2028](#)

Smithers. (2023, Δεκέμβριος, 21). *The Future of Global Printing to 2030*. Smithers Group. Ανακτήθηκε από [The Future of Print to 2030 | Market Reports and Data | Smithers](#)

Smithers (2023, Αύγουστος, 30). *The Future of Printer Demographics to 2028*. Ανακτήθηκε από [The Future of Printer Demographics to 2028](#)

Smithers. (n.d.). *Flexible packaging market trends and forecasts*. Ανακτήθηκε από [Infographic: Global Flexible Packaging - Key Drivers & Trends](#)

Smyth, S. (2024, Φεβρουάριος). *Digitization of Packaging. A great opportunity in Drupa*. Ανακτήθηκε από [FA_23_Digitization_EN.pdf](#)

Schwab, K., & Davis, N. (2018). *Shaping the Fourth Industrial Revolution*. World Economic Forum. Ανακτήθηκε από [Shaping the Future of the Fourth Industrial Revolution](#)

Schwab, K. (2017). *The Fourth Industrial Revolution*. Crown Publishing Group.

Ανακτήθηκε από [The Fourth Industrial Revolution, by Klaus Schwab | World Economic Forum](#)

Stearns, P. (2013). *The Industrial Revolution in world history* (4th ed.). Westview Press.

Ανακτήθηκε από [The Industrial Revolution in World History](#)

Stock, T., Seliger, G. (2016). *Opportunities of sustainable manufacturing in Industry 4.0. Procedia CIRP*, 40, 536–541. Ανακτήθηκε από [Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0 - ScienceDirect](#)

Studiolive. (2016, Οκτώβριος, 10). *Σύντομη αναδρομή στην ιστορία της εκτύπωσης.*

Ανακτήθηκε από [Σύντομη αναδρομή στην ιστορία της εκτύπωσης - Studiolive - Design & Printing](#)

Subik, A., Xiang, Y., Pai, S., La Serve, E. (2018, Μάιος). *Blockchain and Industry 4.0.*

Ανακτήθηκε από [swinburne-capgemini-blockchain-brochure.pdf](#)

Tele2 IoT, (2022). *Tele2 IoT Industrial IoT*. Ανακτήθηκε από [IoT in Manufacturing Industry – White paper - Tele2 IoT](#)

Tiihonen, J., & Felfernig, A. (2017, Μάιος, 27). *An introduction to personalization and mass customization. Journal of Intelligent Information Systems*. Ανακτήθηκε από [An introduction to personalization and mass customization | Journal of Intelligent Information Systems | Springer Nature Link](#)

TGP (n.d.). *Pros and Cons of Digital Printing*. Ανακτήθηκε από [Pros and Cons of Digital Printing | Thomas Group Printing](#)

Theodorakopoulos, L., Tsipis, A., & Fokaides, P. (2024). *Smart manufacturing and data-driven optimization in Industry 4.0*. Eng, 5(1), 34–48. Ανακτήθηκε από [\(PDF\) Data-driven smart manufacturing](#)

Thrun, S. (2010, Απρίλιος, 01). Toward robotic cars. *Communications of the ACM*, 53(4), 99–106. Ανακτήθηκε από [Toward robotic cars | Communications of the ACM](#)

Tkachenko, I. Tr'emeau, A. and Fournel, T. (2019). *Characterization of the Rotogravure Printing Process*. Ανακτήθηκε από [75658.pdf](#)

Toppy Packaging, (2023). *Digitalization in the Packaging and Printing Industry*. [Digitalization in the packaging and printing industry | Toppy Packaging](#)

Torn, I. A. R., & Vaneker, T. H. J. (2019). *Mass personalization with Industry 4.0 by SMEs: A concept for collaborative networks*. *Procedia Manufacturing*, 28, 135–141. Ανακτήθηκε από [Mass Personalization with Industry 4.0 by SMEs: a concept for collaborative networks - ScienceDirect](#)

Trapani S. (2023). *The European Green Deal, Next Generation EU and the PNRR - Acting today and shaping tomorrow*. Publications EUROPE DIRECT TRAPANI. Ανακτήθηκε από [2021-The-European-Green-Deal-Next-Generation-EU-anda-the-PNRR.pdf](#)

Tucker, H.D. (2026, Ιανουάριος, 16). *The age of early printing: 1450–1550.*

Ανακτήθηκε από [History of publishing - Early Printing, Gutenberg, Incunabula | Britannica](#)

tuvaustriahellas, (n.d.). *BRCGS Food*. Ανακτήθηκε από [BRC Global Standard for Food Safety - TÜV AUSTRIA HELLAS](#)

Twyman, M. (1998). *Printing 1770–1970: An Illustrated History of Its Development and Uses in England*. British Library.

Vial, G. (2019). *Understanding digital transformation: A review and research agenda*. The Journal of Strategic Information Systems, 28(2), 118–144. Ανακτήθηκε από [Understanding digital transformation: A review and a research agenda](#)

Vyas, S. & Gupta, S. (2022). *Blockchain and Industry 4.0 – A study*. Ανακτήθηκε από [Blockchain and Industry 4.0 – A study - ScienceDirect](#)

Walsh, S. (2025). *The Future of Global Flexible Packaging to 2026*. Ανακτήθηκε από [The Future of Global Flexible Packaging to 2026 | Market Report | Smithers](#)

Wamba, S. F., Akter, S., Edwards, A., Chopin, G., & Gnanzou, D. (2014, Ιανουάριος). *How ‘big data’ can make big impact: Findings from a systematic review*. *International Journal of Production Economics*, 165, 234–246. Ανακτήθηκε από [\(PDF\) How ‘big data’ can make big impact: Findings from a systematic review and a longitudinal case study](#)

Wamba, S. F. (2017). *Big data analytics and firm performance*. Journal of Business Research, 70, 356–365. Ανακτήθηκε από [Big data analytics and firm performance: Effects of dynamic capabilities](#)

Waykenrm, (2024). *Pad Printing vs Screen Printing: What're the Differences?*
Ανακτήθηκε από [Pad Printing Process: Principles, Practical Tips, and Applications - Wayken \(waykenrm.com\)](#)

W&H. (2022, Φεβρουάριος, 27). *Windmöller & Hölscher. Smart factory solutions*.
Ανακτήθηκε από [Get in the Loop - Windmöller & Hölscher to present live demonstrations at K 2022 and concurrent EXPO at company headquarters](#)

World Economic Forum. (2020). *The future of jobs report*. Ανακτήθηκε από [The Future of Jobs Report 2020 | World Economic Forum](#)

World Intellectual Property Organization. (2023). *World Intellectual Property Indicators*. Geneva: WIPO. Ανακτήθηκε από [World Intellectual Property Indicators 2023](#)

Wolanowska, A. (2025, Μάρτιος, 6). *Packaging printing – types of packaging and printing technologies – a guide*. Ανακτήθηκε από [Packaging printing – types of packaging and printing technologies – a guide | bro-tech](#)

Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). *Industry 4.0: State of the art and future trends*. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941–2962. Ανακτήθηκε από [Industry 4.0: state of the art and future trends: International Journal of Production Research: Vol 56, No 8 - Get Access](#)

Yildiz, B., Aksoy, M., & Demir, A. (2024). *The role of big data analytics in business decision-making: Evidence from European industries*. Journal of Business Economics and Management, 25(2), 183–200. Ανακτήθηκε από [\(PDF\) The Role of Big Data Analytics in Business Decision Making](#)

Yoo, Y., Henfridsson, O., & Lyytinen, K. (2010, Δεκέμβριος). *The new organizing logic of digital innovation: An agenda for information systems research*. Information Systems Research, 21(4), 724–735. Ανακτήθηκε από [\(PDF\) The New Organizing Logic of Digital Innovation: An Agenda for Information Systems Research](#)

Zisopoulos (n.d.). *Τι είναι το cloud computing και πώς ωφελεί μια επιχείρηση*. Ανακτήθηκε από [Τι είναι το cloud computing και πώς ωφελεί μια επιχείρηση](#)

Zuhlke, D. (2010, Απρίλιος). *Smart Factory—towards a factory-of-things*. Ανακτήθηκε από [\(PDF\) SmartFactory-Towards a factory-of-things](#)

Αζάρμσα, Ρ. (2003). *Εγκυκλοπαίδεια Πληροφοριακών συστημάτων. Offset Printing*. Ανακτήθηκε από [Εκτύπωση όφσετ - μια επισκόπηση | Θέματα ScienceDirect](#)

ΕΛΣΤΑΤ. (2024). *Ετήσια Έκθεση Ελληνικής Βιομηχανίας Εκτυπώσεων και Συσκευασίας 2024*. Ελληνική Στατιστική Αρχή. Ανακτήθηκε από [Κεντρική Σελίδα ΕΛΣΤΑΤ - ELSTAT](#)

Ζαλώνης Α. (2023, Ιούνιος 2). *Η σημασία του packaging και του design*. Ανακτήθηκε από [Η σημασία του packaging και του Design - RayConvertous](#)

Κασιμάτη Μ. (n.d.). *Υγιτυπία*. Εθνική Πινακοθήκη. Ανακτήθηκε από [Εισαγωγή στην τέχνη της χαρακτικής - Εθνική Πινακοθήκη \(nationalgallery.gr\)](https://nationalgallery.gr)

Κούρτης, Ε. (2003). *Η επικοινωνία στο Διαδίκτυο*. Ελληνικά Γράμματα. Αθήνα 2003.

Μακρής, Σ. (2019, Νοέμβριος, 23). *Τα βιομηχανικά ρομπότ και η συμβολή τους στην ανάπτυξη*. Ανακτήθηκε από [Τα βιομηχανικά ρομπότ και η συμβολή τους στην ανάπτυξη - ΣΕΒ σύνδεσμος επιχειρήσεων και βιομηχανιών](#)

Μπιτζένης, Δ. (n.d.). *Τεχνολογία των Εκτυπώσεων*. Ανακτήθηκε από [ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΓΡΑΠΤΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΜΕΧΡΙ ΤΟ ΓΟΥΤΕΜΒΕΡΓΙΟ](#)

Μπιτζένης Δ. (2010). *Τεχνολογία των Εκτυπώσεων*. Ανακτήθηκε από [ΤΑ ΣΤΑΔΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΟΥ ΕΝΤΥΠΟΥ \(bizdim.gr\)](#)

Νικολαΐδης Α. (2022, Μαΐου, 20). *Μετάβαση στη Βιομηχανία 4.0 μέσα από 3 μεγάλες προκλήσεις*. Ανακτήθηκε από [Μετάβαση στη Βιομηχανία 4.0 μέσα από 3 μεγάλες προκλήσεις](#)

Εικονογραφικές Αναφορές

Εικόνα 1. (Grafic Notes, n.d.). *Τυπογραφικό Πιστότυπο Γουτεμβέργιου*. [Γουτεμβέργιος \(1397-1468\)](#)

Εικόνα 2. (Ultimate-tech, 2018). *Intelligent Print Workflow*. [Intelligent Print Workflow Delivers Increased Efficiency & Profitability at SGIA - Ultimate Tech](#)

Εικόνα 3. (The Harebrained Press, 2017). *Qualities of Letterpress: How is it Different from Other Printing Methods?* [Qualities of Letterpress: How is it Different from Other Printing Methods? - theharebrainedpressproject](#)

Εικόνα 4. (BrPrinters, 2022, Ιούλιος, 7). *Flexography Printing*. [Flexo Printing: A Breakdown of the Press & Process | BR Printers](#)

Εικόνα 5. (Kartomania, n.d.). *Εκτύπωση Offset*. [Εκτύπωση Offset - kartomania.gr - The printing company](#)

Εικόνα 6. (ServoArtpack, n.d.). *Rotogravure Printing*. [ROTOGRAVURE PRINTING - ServoArtpack](#)

Εικόνα 7. (Kahn, S., Dahiya, R.S., Lorenzelli, L., 2014, Δεκέμβριος). *Screen Printing*. [\(a\) The flatbed Screen printing with planar substrates under screen and... | Download Scientific Diagram](#)

Εικόνα 8. (padprintservices, 2026, Ιανουάριος, 13). *Pad Printing*. [What is Pad Printing / How it Works](#)

Εικόνα 9. (Fity. club, n.d.). *Inkjet Digital Printing*. [Ink Jet Printing Methods High Resolution CIJ Printers for Codes And](#)

Εικόνα 10. (Thedevline, 2024, Οκτώβριος, 7). *Laser Digital Printing*. [Best Laser Printers for Home Office in 2026](#)

Εικόνα 11. (GraphicaNews, 2021, Απριλίου, 19). *Αύξηση του Όγκου Παραγωγής Εκτυπώσεων Παγκοσμίως*. [Εκτύπωση Συσκευασίας 4.0. | Graphica News](#)

Εικόνα 12. (Topex, n.d.). *RFID labels/ smart labels Function-controlled process sequences*. [RFID labels/smart labels](#)

Εικόνα 13. (arisewebguiding, 2024, Μάρτιος, 25). *A Comprehensive Guide to Printing Inspection: Enhancing Quality Assurance*. [A Comprehensive Guide to Printing Inspection: Enhancing Quality Assurance - Arise](#)

Εικόνα 14. (Dickens, A. 2025 Νοεμβρίου, 30). *A Comprehensive Guide to Printing Inspection: Enhancing Quality Assurance*. [%% - AVT](#)

Εικόνα 15. (Nntc. digital, 2021. Φεβρουάριος, 12). *4IR. How to exploit the Fourth Industrial Revolution*. [4IR. How to exploit the Fourth Industrial Revolution - NNTC](#)

Εικόνα 16. (industry40thinktank, n.d.). *Smart Factory Industry 4.0: Revolutionising Manufacturing with Advanced Technologies*. [Smart Factory Industry 4.0: Revolutionizing Manufacturing with Advanced Technologies](#)

Εικόνα 17. (Chauhan, A. 2025, Μαΐου, 22). *Industrial IoT (IIoT) Explained: Definition, Benefits, and Use Cases*. [What Is Industrial IoT \(IIoT\)? Use Cases & Benefits](#)

Εικόνα 18. (Deloitte, n.d.). *Industrial Revolution throughout History*. [Εξωτερικός σύνδεσμος, ανοίγει σε νέο παράθυρο.](#)  [ΔΕΙΤΕ INFOGRAPHIC: Βιομηχανικές επαναστάσεις σε όλη την ιστορία \[PDF\]](#) [Εξωτερικός σύνδεσμος, ανοίγει σε νέο παράθυρο.](#)

Εικόνα 19. (Wahidah P., Wan Azani M., Faizuniah P., Kadzrina A., Vidyarini D. 2024 Σεπτέμβριος). *4IR Related Technologies*. [4IR related technologies \[11\] | Download Scientific Diagram](#)

Εικόνα 20. (European Patent Office, 2020). *4IR technologies vs All technology fields*. [Patents and the Fourth Industrial Revolution](#)

Εικόνα 21. (European Patent Office, 2020). *Growth of IPFs in 4IR technologies by Global Innovation centers*. [Patents and the Fourth Industrial Revolution](#)

Εικόνα 22. (Packaging Strategies, 2026). *Multi-material and Mono-material packages*. [Embracing Sustainable Packaging with Mono-Material Coding | Packaging Strategies](#)

Εικόνα 23. (allPackHellas, 2021, Μάιος, 11). Κυβερνο Φυσικά Συστήματα Μηχανών. [White paper Εκτύπωση συσκευασιών 4.0. Ψηφιοποίηση και η επίδρασή της στη βιωσιμότητα, την ευελιξία και την ανάπτυξη. - Allpack Hellas](#)

Εικόνα 24. (PioneerServiceInc, 2019, Ιούνιος, 12). *The Industrial Internet of Things (IIoT) and What it Means to Precision Machining*. [The Industrial Internet of Things \(IIoT\) and What it Means to Precision Machining - Pioneer Service Inc](#)

Εικόνα 25. (Unstop, n.d.). *Characteristics Of Internet of Things: How It Works, Uses, & More.* [Characteristics Of Internet of Things | How It Works](#)

Εικόνα 26. (arenasolutions, 2026). *Industrial Internet of Things Definition. Smart Factories.* [Industrial Internet of Things Definition | Arena](#)

Εικόνα 27. (intellspot, n.d.). *The Different Types of Business Data Analytics.* [What is Business Data Analytics: Beginner's Guide](#)

Εικόνα 28. (brainvire, n.d.). *Big Data Use U.S & Worldwide.* [Top 9 Major Challenges With Big Data And How To Overcome Them?](#)

Εικόνα 29. (uflexltd, n.d.). *Flexible Packaging Solutions. Ρομποτική Βιομηχανία.* [Uflex Inaugurates ‘Fully Automatic Robotic Laser Engraving](#)

Εικόνα 30. (Ruggiero A. & A. Celli Paper, 2021, Μάρτιος, 25). *Robotics For Reel handling.* [Why you should use packaging robots for automatic reel bundles preparation - Papnews](#)

Εικόνα 31. (Grandview research, n.d.). *Flexible Packaging Market (2026-2033).* [Flexible Packaging Market Size and Share Report, 2030 \(grandviewresearch.com\)](#)

Εικόνα 32. (Jyflexpack, n.d.). *Flexible Packaging Structure Materials.* [Flexible Packaging: The Future of Food & Consumer Packaging](#)

Εικόνα 33. (pakfactory, 2025, Ιούνιος, 13). *Benefits of Flexible Packaging.* [Flexible Packaging – The Master Guide | Pakfactory Blog](#)

Εικόνα 34. (Toye, J. 2023, Μάρτιος, 30). *Structure of Packaging*. [How Is Flexible Packaging Made? - Nobelus University](#)

Εικόνα 35. (hatzopoulos, n.d.). *RE materials*. [Home - A. Hatzopoulos S.A.](#)

Εικόνα 36. (marketsandmarkets, Οκτώβριος, 2025). *Flexible Packaging Market Overview*. [Flexible Packaging Market Size & Forecast \[Latest\]](#)

Εικόνα 37. (marketsandmarkets, Οκτώβριος, 2025). *Flexible Packaging Market by Material*. [Flexible Packaging Market Size & Forecast \[Latest\]](#)

Εικόνα 38. (pakfactory, 2025, Ιούνιος, 13). *Flexible Packaging Circular Economy*. [Flexible Packaging – The Master Guide | Pakfactory Blog](#)

Εικόνα 39. (printpack, 2023, Νοέμβριος, 8). *Rotogravure Printing*. [Rotogravure printing for flexible packaging](#)

Εικόνα 40. (spg-pack, 2023, Ιούλιος, 31). *Rotogravure Cylinder Printing Process*. [Rotogravure: the perfect printing method for your product packaging | SPG](#)

Εικόνα 41. (converting magazine, 2020, Νοεμβρίου, 20). *Ροή Βαθυτυπικής Εκτύπωσης*. [Converting Magazine | Packaging, Labelling, Cartotecnica](#)

Εικόνα 42. (flexopedia, 2022, Ιούνιος, 20). *Misregistration in Printing*. [Misregistration in Printing - Flexo Flaw Fixing](#)

Εικόνα 43. (infomachinery, n.d.). *Drying Process in Rotogravure Printing.* [Gravure Printing Machines 2025 | Complete Buying Guide](#)

Εικόνα 44. (hell-gravure-systems, n.d.). *Μορφές Εγχάρακτης Επιφάνειας Κυλίνδρου.* [Πιστοποιημένα Συστήματα Χαρακτικής – Hell Gravure](#)

Εικόνα 45. (Μπιτζένης, Δ. n.d.). *Electromechanical Engraving.* [Η ΒΑΘΥΤΥΠΙΑ](#)

Εικόνα 46. (Aijaz, M. 2024, Σεπτέμβριος, 10). *Fingerprint Sample.* [\(21\) Optimizing Rotogravure Prepress: Best Practices, Traps, and Essential Dos and Don'ts | LinkedIn](#)

Εικόνα 47. (Parry-Hill, M.J., Sutter, R.S., Davidson, M.W. 2016, Μάιος, 20). *Separation Images.* [Molecular Expressions: Physics of Light and Color - Color Separation: Interactive Tutorial](#)

Εικόνα 48. (globalvision, 2025, Οκτώβριος, 2). *PrePress Workflow.* [Prepress Workflow Mastery: A Step-by-Step Guide for Print Production Success](#)

Εικόνα 49. (doctorblade, n.d.). *doctor Blade.* [Rotogravure Printing Press Doctor Blade | Doctor Blade Manufacturer | DEKEJIE](#)

Εικόνα 50. (Μπιτζένης, Δ. n.d.). *Βασικά Βοηθητικά Μέρη Εκτύπωσης Βαθυτυπίας.* [Η ΒΑΘΥΤΥΠΙΑ](#)

Εικόνα 51. (Fleming, P.D. 2010, Ιούλιος). *Βασικά Βοηθητικά Μέρη Εκτύπωσης Βαθυτυπίας.* [Basic structure of rotogravure printing technique. | Download Scientific Diagram](#)

Εικόνα 52. (maximizemarketresearch, 2025, Ιούνιος). *Πορεία Αγοράς Βαθυτυπικών Μηχανών.* [Rotogravure Printing Machine Market - Forecast](#)

Εικόνα 53. (infosupport, n.d.). *Ενοποιημένο Σύστημα ERP.* [Γιατί Βιομηχανίες Επιλέγουν SAP Business One | infosupport.gr](#)

Εικόνα 54. (Boeker, B. 2026). *End-to-End Digitalization.* [Digital solutions for the manufacturing industry | ITK Engineering](#)

Εικόνα 55. (Kdwpack, n.d.). *Production Workflow.* [Flexible Packaging Manufacturing Process Guide | KDW](#)

Εικόνα 56. Μηχανές Βαθυτυπίας ADAPA GRK

Εικόνα 57. (Keyence, n.d.). *Εγχάρακτη Επιφάνεια Κυλίνδρου - Μορφή Κουκίδας Χάραξης.* [Image Capture and Analysis of Rotogravure Using a Digital Microscope | KEYENCE America](#)

Εικόνα 58. (Andersen, S. 2020, Μαΐου, 13). *Rotogravure Printing - Mechanical Process.* [Rotogravure printing – what is it? | Limepack](#)

Εικόνα 59. (Grafikontrol, n.d.). *Register Operator Control – Grafikontrol.* [CR25-CR26 - Grafikontrol](#)

Εικόνα 60. (sunchemical, n.d.). *Viscosity Problems.* [Mottle – Ink Troubleshooting App](#)

Εικόνα 61. (daetwyler-usa, 2026). *Hazing Problems*. [Troubleshooting Tools - Gravure and Flexo](#)

Εικόνα 62. (made-in-China, n.d.). *Μηχανή Lamination*. [Customizable Solvent free Laminator for 3 Side Sealing Pouch with Fast Sleeve Change - Packing Solutions Laminating Laminator and Efficient Film Laminating Laminator](#)

Εικόνα 63. Μηχανές Lamination ADAPA GRK. ADAPA GRK

Εικόνα 64. (delishmachine, 2025, Απρίλιος, 24). *Slitting Process – Product*. [The core functions and advantages of slitting machines in industrial production - DELISH MACHINE](#)

Εικόνα 65. (delishmachine, 2025, Απρίλιος, 24) Slitting machine Preview. [The core functions and advantages of slitting machines in industrial production - DELISH MACHINE](#)

Εικόνα 66. Μηχανές Slitting ADAPA GRK

Εικόνα 67. ERP - Soft1 ADAPA GRK

Εικόνα 68. PBI - Monitoring Options. ADAPA GRK

Εικόνα 69. *Real Monitoring - Καταγραφές Δεδομένων Βαθυτυπίας - Μηχανική αλλαγή-Χρωματική αλλαγή - Ταχύτητες Παραγωγής*. ADAPA GRK

Εικόνα 70. Καταγραφές Δεδομένων Βαθυτυπίας - *Setup Waste – Run On Waste - Παραγωγικότητα Μηχανών - Utilization Μηχανών*. ADAPA GRK

Εικόνα 71. Χρήση Cloud για Διαχείριση Αρχείων Prepress με Proof scope. ADAPA GRK

Εικόνα 72. *Viscosity Control*. ADAPA GRK

Εικόνα 73. *Register Control*. ADAPA GRK

Εικόνα 74. *Doctor Blade Holder Control*. ADAPA GRK

Εικόνα 75. *G-Scan Lamination Adhesive Sensor*. ADAPA GRK

Εικόνα 76. *G-Scan Lamination Adhesive Control*. ADAPA GRK

Εικόνα 77. Στατιστικές Αναλύσεις Συχνότητας και Διόρθωσης Προβλημάτων. ADAPA GRK

Εικόνα 78. Εφαρμογή ColorCert Ψηφιακής Μέτρησης Spot Color. ADAPA GRK

Εικόνα 79. Εφαρμογή ColorCert Ψηφιακής Μέτρησης Process Color. ADAPA GRK

Εικόνα 80. Εφαρμογή IIoT - Edge Computing για Τεχνική Συντήρηση (MaintainX). ADAPA GRK

Εικόνα 81. *Δείκτες Παραγωγικότητας 2020.* ADAPA GRK

Εικόνα 82. *Δείκτες Παραγωγικότητας 2025.* ADAPA GRK

Εικόνα 83. *Δείκτες Επαναχαράξεων Κυλίνδρων Βαθυτυπίας 2020.* ADAPA GRK

Εικόνα 84. *Δείκτες Επαναχαράξεων Κυλίνδρων Βαθυτυπίας 2025.* ADAPA GRK

Εικόνα 85. *Data Quality Performance - Total Orders.* ADAPA GRK

Εικόνα 86. *Health & Safety Δείκτες Παρουσίας Τραυματισμών 2025.* ADAPA GRK

Εικόνα 87. *Συγκεντρωτική Ατομική Ανάλυση Παραγωγικότητας Χειριστή.* ADAPA GRK

Εικόνα 88. *Συγκεντρωτική Ανάλυση Παραγωγικότητας Μηχανών.* ADAPA GRK

Εικόνα 89. *Κατηγοριοποίηση δομών με Εφαρμογές προϊόντων.* ADAPA GRK

Εικόνα 90. *Μείωση Παραπόνων Πελατών.* ADAPA GRK

Εικόνα 91. *Ποσοστά Φύρας 2023 – 2025.* ADAPA GRK

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.