

Μοντέλα Εκτίμησης Κινδύνων Υγείας και Ασφάλειας της Εργασίας σε Εργοτάξια με Εφαρμογή σε Σενάριο Πτώσης από Ύψος

Παναγιώτης Τζούρος
Μεταπτυχιακός Φοιτητής ΔΧΤ/ΣΘΕΤ, ΕΑΠ
std164034@ac.eap.gr

Κωνσταντίνος Ευαγγελινός
Καθηγητής και Μέλος ΣΕΠ ΔΧΤ/ΣΘΕΤ, ΕΑΠ
evangelinos.konstantinos@ac.eap.gr

Περίληψη - Η παρούσα εργασία εξετάζει συγκριτικά τέσσερα μοντέλα εκτίμησης κινδύνου Υγείας και Ασφάλειας της Εργασίας σε εργοτάξια, τη Risk Matrix, τη Fine-Kinney, την Bow-Tie και τη Fault Tree Analysis, με κοινό πεδίο εφαρμογής ένα υποθετικό αλλά ρεαλιστικό σενάριο πτώσης εργαζομένου από προσωρινή πλατφόρμα ύψους 3,5 m. Σκοπός είναι να διερευνηθεί όχι μόνο η κατάταξη της επικινδυνότητας, αλλά και το είδος της πληροφορίας που προσφέρει κάθε μέθοδος για τις αιτίες, τους φραγμούς ασφαλείας και τις συνέπειες του συμβάντος. Η μεθοδολογία συνδυάζει βιβλιογραφική επισκόπηση, αναγνώριση τεχνικών, ανθρώπινων, περιβαλλοντικών και οργανωσιακών παραγόντων, διαδοχική εφαρμογή των τεσσάρων μοντέλων και συγκριτική αξιολόγηση ως προς την ακρίβεια, το βάθος ανάλυσης και την πρακτική χρησιμότητα. Η Risk Matrix κατέταξε το σενάριο σε πολύ υψηλή επικινδυνότητα, ενώ η Fine-Kinney παράγαγε δείκτη $R=2400$, υποδεικνύοντας ανάγκη άμεσης παρέμβασης. Η Bow-Tie ανέδειξε τις διαδοχικές γραμμές πρόληψης και μετριασμού, ενώ η Fault Tree Analysis αποδόμησε το κορυφαίο γεγονός σε κρίσιμους συνδυασμούς τεχνικών, ανθρώπινων και διοικητικών αστοχιών. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι απλές μέθοδοι διευκολύνουν την ταχεία ιεράρχηση, αλλά οι συστημικές τεχνικές είναι αναγκαίες για τον σχεδιασμό στοχευμένων παρεμβάσεων. Η κύρια συμβολή της μελέτης βρίσκεται στην τεκμηρίωση μιας πολυεπίπεδης διαδικασίας, στην οποία η ποιοτική αποτύπωση, η ημιποσοτική βαθμολόγηση και η αιτιοκρατική ανάλυση λειτουργούν συμπληρωματικά. Παράλληλα, η σύνδεση των τεχνικών ευρημάτων με τις κοινωνικές, οικονομικές και διοικητικές συνέπειες των ατυχημάτων υποστηρίζει την αντιμετώπιση της πρόληψης ως βασικής συνιστώσας της διοίκησης και της βιωσιμότητας των τεχνικών έργων.

Λέξεις-Κλειδιά: Εκτίμηση επαγγελματικού κινδύνου, Υγεία και Ασφάλεια της Εργασίας, εργοτάξια, πτώση από ύψος, πολυμεθοδολογική ανάλυση

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο κατασκευαστικός κλάδος συγκεντρώνει κινδύνους που μεταβάλλονται μαζί με τη φάση, τη θέση και τον τρόπο εκτέλεσης των εργασιών. Η προσωρινότητα των εγκαταστάσεων, η ταυτόχρονη παρουσία πολλών συνεργείων, η χρήση μηχανημάτων και οι συχνές μετακινήσεις εργαζομένων δημιουργούν ένα εργασιακό σύστημα στο οποίο η ασφάλεια δεν μπορεί να εξασφαλιστεί μόνο με στατικές οδηγίες. Ανάμεσα στους σοβαρότερους μηχανισμούς ατυχήματος, οι πτώσεις από ύψος διατηρούν ιδιαίτερη βαρύτητα, επειδή συνδυάζουν υψηλή πιθανότητα έκθεσης με δυνητικά θανατηφόρες συνέπειες. Η διεθνής βιβλιογραφία εντοπίζει ως επαναλαμβανόμενους παράγοντες την απουσία

προστασίας ακμών, την ανεπαρκή χρήση συστημάτων αναχάιτισης, την περιορισμένη εκπαίδευση, τη μη ασφαλή συμπεριφορά και την ελλιπή οργάνωση του εργοταξίου (Khan et al., 2023; Newaz et al., 2022).

Η εκτίμηση κινδύνου αποτελεί βασικό μηχανισμό πρόληψης, επειδή μετατρέπει την αναγνώριση μιας επικίνδυνης κατάστασης σε τεκμηριωμένη απόφαση για την προτεραιότητα και το είδος των απαιτούμενων μέτρων. Παρ' όλα αυτά, η ποιότητα του αποτελέσματος εξαρτάται από τη μέθοδο που επιλέγεται. Οι απλές μέτρες κινδύνου είναι εύχρηστες και διευκολύνουν την επικοινωνία, αλλά εμφανίζουν χαμηλή διακριτική ικανότητα και μπορούν να αποδώσουν την ίδια κατηγορία σε ουσιαστικά διαφορετικούς κινδύνους (Cox, 2008). Οι ημιποσοτικές μέθοδοι ενισχύουν τη διαφοροποίηση μέσω πρόσθετων παραμέτρων, χωρίς να εξαλείφουν την υποκειμενικότητα των βαθμολογήσεων. Αντίθετα, οι συστημικές τεχνικές εμβαθύνουν στις αιτιακές σχέσεις και στους φραγμούς ασφαλείας, όμως απαιτούν περισσότερο χρόνο, δεδομένα και τεχνική κατάρτιση (Liu et al., 2023; Pinto et al., 2013).

Το ερευνητικό πρόβλημα προκύπτει από αυτή τη μεθοδολογική διαφοροποίηση. Ένα εργοτάξιο μπορεί να αναγνωρίζει ότι ένα σενάριο είναι κρίσιμο, χωρίς να κατανοεί επαρκώς ποιοι παράγοντες το ενεργοποιούν και ποιοι φραγμοί πρέπει να ενισχυθούν. Για τον λόγο αυτό εφαρμόζονται στο ίδιο σενάριο η Risk Matrix για την αρχική κατάταξη, η Fine-Kinney για την ημιποσοτική αποτίμηση, η Bow-Tie για τη χαρτογράφηση απειλών και φραγμών και η Fault Tree Analysis για την ανάλυση των διαδρομών αποτυχίας.

Κύριος σκοπός είναι να αξιολογηθεί η συμβολή κάθε μοντέλου στην αναγνώριση, στην ιεράρχηση και στην πρόληψη του κινδύνου πτώσης από ύψος. Ειδικότερα, διερευνάται κατά πόσο τα μοντέλα συγκλίνουν ως προς το επίπεδο επικινδυνότητας, ποια στοιχεία του σεναρίου αποτυπώνει ή παραλείπει το καθένα και ποιος συνδυασμός μπορεί να υποστηρίξει αποτελεσματικότερα τη λήψη αποφάσεων. Η εργασία επεκτείνει την τεχνική σύγκριση προς τις κοινωνικοοικονομικές συνέπειες, εξετάζοντας πώς ένα σοβαρό ατύχημα επηρεάζει τον εργαζόμενο, την οικογένεια, την οργάνωση του έργου, την παραγωγικότητα και τη βιωσιμότητα της επιχείρησης. Η προσέγγιση αυτή συνδέεται με τη σύγχρονη αντίληψη ότι η ΥΑΕ αποτελεί μέρος της κοινωνικής βιωσιμότητας και της υπεύθυνης διοίκησης των έργων, όχι απλώς υποχρέωση κανονιστικής συμμόρφωσης (Bourahla et al., 2024; Mohandes & Zhang, 2021).

Η συμβολή της μελέτης βρίσκεται στη συγκριτική εφαρμογή τεσσάρων ετερογενών εργαλείων υπό κοινές παραδοχές και στην ενοποίηση των αποτελεσμάτων τους σε μια κλιμακωτή διαδικασία λήψης αποφάσεων. Με αυτόν τον τρόπο αναδεικνύεται ποια πληροφορία προσφέρει κάθε μέθοδος και πώς ο συνδυασμός τους μπορεί να υποστηρίξει μηχανικούς έργου, τεχνικούς ασφάλειας και διοικήσεις κατασκευαστικών επιχειρήσεων.

II. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

A. Σχεδιασμός και Ορια της Μελέτης

Η έρευνα ακολουθεί εφαρμοσμένο συγκριτικό σχεδιασμό μελέτης περίπτωσης. Δεν διερευνά πραγματικό καταγεγραμμένο ατύχημα ούτε χρησιμοποιεί πρωτογενή δεδομένα εργαζομένων. Αντίθετα, συγκροτεί ένα υποθετικό αλλά ρεαλιστικό σενάριο, βασισμένο σε επαναλαμβανόμενα πρότυπα κινδύνου που αναφέρονται στη βιβλιογραφία. Η επιλογή αυτή επιτρέπει την εφαρμογή όλων των μοντέλων στις ίδιες συνθήκες, ώστε οι διαφορές των αποτελεσμάτων να αποδίδονται στη μεθοδολογική τους λογική και όχι σε διαφορετικό αντικείμενο αξιολόγησης.

Το έργο ορίζεται ως πολυώροφη κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα στο στάδιο του φέροντος οργανισμού. Το εξεταζόμενο συμβάν αφορά έμπειρο τεχνίτη που εκτελεί εργασίες ξυλοτύπων και οπλισμού σε προσωρινή μεταλλική πλατφόρμα ύψους περίπου 3,5 m. Κατά τη μετακίνησή του προς την ακμή, ο εργαζόμενος ολισθαίνει σε επιφάνεια με σκόνη και υπολείμματα σκυροδέματος. Η πλευρική προστασία είναι ανεπαρκής και δεν χρησιμοποιείται ενεργό σύστημα αναχαίτισης με κατάλληλο σημείο αγκύρωσης. Παράλληλα, συνυπάρχουν κόπωση, χρονοπίεση και ελλιπής επίβλεψη. Το σενάριο επιλέχθηκε επειδή ενσωματώνει τεχνικούς, περιβαλλοντικούς, ανθρώπινους και οργανωσιακούς παράγοντες, οι οποίοι χαρακτηρίζουν μεγάλο μέρος των ατυχημάτων πτώσης (Hosseini & Jabbarani Torghabeh, 2012; Zhang et al., 2023).

Η λογική αλληλουχία του υποθετικού συμβάντος, από την αρχική εργασία σε ύψος έως την εκδήλωση της πτώσης, παρουσιάζεται συνοπτικά στο Σχήμα 1.



ΣΧΗΜΑ 1: ΛΟΓΙΚΗ ΑΛΛΗΛΟΥΧΙΑ ΤΟΥ ΥΠΟΘΕΤΙΚΟΥ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ
ΠΤΩΣΗΣ ΑΠΟ ΥΨΟΣ.

Η ανάλυση οργανώθηκε σε τέσσερα στάδια. Καταγράφηκαν πρώτα οι άμεσοι παράγοντες, όπως η ολισθηρότητα, η απουσία κιγκλιδωμάτων και η μη χρήση συστήματος αναχαίτισης, και κατόπιν οι υποκείμενες συνθήκες, όπως η ανεπαρκής επιθεώρηση, η πίεση χρόνου και η αδύναμη κουλτούρα ασφάλειας. Ακολούθησε η εφαρμογή των τεσσάρων μοντέλων και η σύγκρισή τους ως προς την ακρίβεια, το βάθος αιτιολογικής ανάλυσης και την πρακτική χρησιμότητα.

B. Διαδικασία Εφαρμογής των Μοντέλων

Η Risk Matrix εφαρμόστηκε με πενταβάθμια κλίμακα πιθανότητας και σοβαρότητας. Η πιθανότητα εκτιμήθηκε με βάση τη συχνότητα εργασιών σε ύψος, την κατάσταση του χώρου, την επάρκεια των μέτρων και την επίβλεψη. Η σοβαρότητα αποδόθηκε στην ανάτατη κατηγορία, επειδή η πτώση από 3,5 m χωρίς αποτελεσματική αναχαίτιση μπορεί να προκαλέσει βαριά κάκωση ή θάνατο. Η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για την πρώτη χαρτογράφηση και όχι ως αποκλειστική βάση λήψης απόφασης, λόγω των γνωστών περιορισμών των ποιοτικών κατηγοριών (Cox, 2008; Pinto, 2014).

Στη Fine-Kinney ο δείκτης κινδύνου υπολογίστηκε ως γινόμενο πιθανότητας, έκθεσης και συνέπειας. Με βάση τις παραδοχές του σεναρίου αποδόθηκαν τιμές $P=6$, $E=10$ και $C=40$. Η επιλογή της υψηλής έκθεσης αντανάκλα την καθημερινή και παρατεταμένη παρουσία εργαζομένων σε ανοικτές ακμές, ενώ η τιμή της συνέπειας αποτυπώνει το δυνητικά θανατηφόρο αποτέλεσμα. Η μέθοδος προσφέρει αναλυτικότερη ιεράρχηση από τη μήτρα, αλλά η βαθμολόγηση εξακολουθεί να εξαρτάται από την κρίση του αξιολογητή. Για τον λόγο αυτό τα αποτελέσματα ερμηνεύονται συγκριτικά και όχι ως απόλυτη μέτρηση πιθανότητας (Li et al., 2024).

Η Bow-Tie οργανώθηκε γύρω από το κεντρικό συμβάν της απώλειας ισορροπίας ή προστασίας σε ύψος. Στην αριστερή πλευρά καταγράφηκαν οι απειλές και οι προληπτικοί φραγμοί, όπως η προστασία ακμών, η καθαριότητα, η εκπαίδευση, ο έλεγχος ΜΑΠ και η επίβλεψη. Στη δεξιά πλευρά αποτυπώθηκαν οι συνέπειες και οι φραγμοί μετριασμού, όπως το σύστημα αναχαίτισης, το σχέδιο διάσωσης και η ιατρική απόκριση. Η FTA χρησιμοποίησε ως κορυφαίο γεγονός την πτώση και το αποδόμησε σε συνδυασμούς αστοχίας προστασίας, έκθεσης σε ανοικτή ακμή, απώλειας σταθερότητας και οργανωτικής αποτυχίας με πύλες AND και OR. Δεν πραγματοποιήθηκε πιθανοτικός υπολογισμός, επειδή δεν υπήρχαν αξιόπιστες πρωτογενείς συχνότητες, αλλά εντοπίστηκαν οι κρίσιμες διαδρομές αποτυχίας (Wang et al., 2025).

Βασικός περιορισμός είναι ότι το σενάριο και οι βαθμολογίες δεν υποκαθιστούν επιτόπια εκτίμηση κινδύνου. Η πραγματική εφαρμογή απαιτεί επικαιροποίηση με δεδομένα του έργου, συμμετοχή εργαζομένων και στελεχών, έλεγχο της αποτελεσματικότητας των φραγμών και επανάληψη της αξιολόγησης όταν αλλάζουν οι συνθήκες. Επιπλέον, η κοινωνικοοικονομική ανάλυση είναι ερμηνευτική και δεν αποτελεί πλήρη νομισματική αποτίμηση κόστους και οφέλους.

III.ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

A. Αποτελέσματα Risk Matrix και Fine-Kinney

Η Risk Matrix κατέταξε την πτώση από ύψος στην κατηγορία πολύ υψηλού κινδύνου. Η κατάταξη προκύπτει από τη συνύπαρξη υψηλής πιθανότητας και μέγιστης σοβαρότητας και επιβεβαιώνει ότι η εργασία δεν μπορεί να συνεχιστεί χωρίς άμεση ενίσχυση των μέτρων. Το αποτέλεσμα είναι λειτουργικά χρήσιμο, επειδή μεταφέρει ένα σαφές μήνυμα προτεραιότητας προς τη διοίκηση και τα συνεργεία. Ωστόσο, η μέθοδος δεν διαφοροποιεί αν η υψηλή επικινδυνότητα προέρχεται κυρίως από την έκθεση, την ανεπάρκεια προστασίας ή την οργανωτική πίεση. Επομένως, υποστηρίζει την απόφαση ότι απαιτείται παρέμβαση, αλλά όχι από μόνη της την επιλογή της καταλληλότερης παρέμβασης.

Η Fine-Kinney παρήγαγε δείκτη $R=6 \times 10 \times 40=2400$. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε εξαιρετικά υψηλή προτεραιότητα και τεκμηριώνει την ανάγκη άμεσης διακοπής ή ανασχεδιασμού της εργασίας μέχρι να εφαρμοστούν αποτελεσματικά μέτρα. Η προσθήκη της έκθεσης βελτιώνει τη διακριτική ικανότητα, επειδή αποτυπώνει ότι η επικίνδυνη συνθήκη δεν είναι περιστασιακή αλλά επαναλαμβανόμενη. Το αποτέλεσμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συγκριτική ιεράρχηση πολλών δραστηριοτήτων και για τεκμηρίωση της κατανομής πόρων. Παραμένει, ωστόσο, ευαίσθητο στις αρχικές βαθμολογήσεις, γι' αυτό απαιτεί σαφή κριτήρια, τεκμηρίωση των παραδοχών και επανεξέταση από περισσότερους αξιολογητές.

B. Αποτελέσματα Bow-Tie και Fault Tree Analysis

Η Bow-Tie έδειξε ότι η πτώση δεν προκύπτει από μία μόνο παράλειψη. Στις βασικές απειλές περιλαμβάνονται η ολισθηρότητα, η ανοικτή ακμή, η απουσία κιγκλιδώματος, η μη σύνδεση σε γραμμή ζωής, η κόπωση, η ανεπαρκής εκπαίδευση και η πίεση χρόνου. Οι απειλές αντιστοιχίστηκαν σε προστασία ακμών, ασφαλή πλατόφρμα, καθαριότητα, επιθεώρηση, εκπαίδευση και ενεργή επίβλεψη. Μετά το κεντρικό συμβάν, το σύστημα αναχαίτισης, το σχέδιο διάσωσης και η άμεση απόκριση περιορίζουν τη βαρύτητα των συνεπειών. Η ανάλυση καθιστά σαφές ότι ένα μεμονωμένο ΜΑΠ δεν επαρκεί όταν οι υπόλοιποι φραγμοί είναι αδύναμοι.

Η FTA επιβεβαίωσε τη συστημική φύση του συμβάντος. Το κορυφαίο γεγονός συνδέθηκε με δύο κύριες διαδρομές: απώλεια ισορροπίας κοντά στην ακμή και αποτυχία των μέτρων που θα έπρεπε να αποτρέψουν ή να αναχαιτίσουν την πτώση. Η πρώτη επηρεάζεται από ολισθηρότητα, κόπωση και χειρωνακτικό φορτίο, ενώ η δεύτερη από έλλειψη συλλογικής προστασίας, μη ασφαλή αγκύρωση, ανεπαρκή έλεγχο και οργανωτική ανοχή στις αποκλίσεις. Κρίσιμο εύρημα είναι ότι η προστασία της ακμής διακόπτει περισσότερες διαδρομές από μια απλή υπόμνηση προς τον εργαζόμενο. Η FTA, επομένως, ιεραρχεί τις παρεμβάσεις με βάση τη θέση τους στην αιτιακή δομή και όχι μόνο μέσω συνολικής βαθμολογίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ.

Μέθοδος	Κύριο αποτέλεσμα	Καταλληλότερη χρήση / περιορισμός
---------	------------------	-----------------------------------

Risk Matrix	Πολύ υψηλός κίνδυνος	Ταχεία επικοινωνία. Χαμηλή διακριτική ικανότητα.
Fine-Kinney	$R=2400$, άμεση παρέμβαση	Ιεράρχηση και κατανομή πόρων. Εξάρτηση από βαθμολογήσεις.
Bow-Tie	Χαρτογράφηση απειλών, φραγμών και συνεπειών	Σχεδιασμός ελέγχων και επικοινωνία. Κυρίως ποιοτική.
FTA	Εντοπισμός κρίσιμων διαδρομών και βασικών γεγονότων	Αιτιολογική εμβάθυνση. Αυξημένες απαιτήσεις δεδομένων και τεχνογνωσίας.

C. Συγκριτική και Κοινωνικοοικονομική Σύνθεση

Η σύγκριση δείχνει ότι η ακρίβεια εξαρτάται από τον σκοπό της αξιολόγησης. Η Risk Matrix αποδίδει τη γενική προτεραιότητα, η Fine-Kinney προσφέρει αριθμητική διαφοροποίηση, η Bow-Tie ελέγχει την πληρότητα των γραμμών άμυνας και η FTA τη λογική συνοχή της αιτιότητας. Καμία μέθοδος δεν υπερέχει σε όλα τα κριτήρια. Η αποτελεσματικότερη διαδικασία είναι κλιμακωτή: αρχική αναγνώριση με Risk Matrix, ιεράρχηση με Fine-Kinney, σχεδιασμός φραγμών με Bow-Tie και εμβάθυνση στα κρίσιμα σενάρια με FTA (Liu et al., 2023; Mohandes & Zhang, 2021).

Τα τεχνικά αποτελέσματα έχουν άμεση κοινωνική διάσταση. Ένα σοβαρό ατύχημα μπορεί να προκαλέσει μόνιμη αναπηρία ή απώλεια ζωής, να διαταράξει την οικογενειακή και επαγγελματική συνέχεια του εργαζομένου και να επηρεάσει την ψυχολογική ασφάλεια των συνεργείων. Όταν η παραγωγή εμφανίζεται να προηγείται της προστασίας, αποδυναμώνεται η εμπιστοσύνη και κανονικοποιούνται οι αποκλίσεις. Αντίθετα, η ορατή επένδυση σε συλλογικά μέτρα, εκπαίδευση και επίβλεψη ενισχύει την ποιότητα της εργασίας και τη διοικητική αξιοπιστία.

Η οικονομική διάσταση υπερβαίνει το άμεσο κόστος ιατρικής φροντίδας ή αποζημίωσης. Περιλαμβάνει διακοπή εργασιών, έρευνα του συμβάντος, καθυστέρήσεις, απώλεια εργατοωρών, αντικατάσταση προσωπικού, διοικητικό φόρτο, νομικές απαιτήσεις και βλάβη της φήμης. Η βιβλιογραφία καταγράφει σημαντικό άμεσο και έμμεσο κόστος διαχείρισης επαγγελματικών τραυματισμών (Amissah et al., 2019). Παρότι δεν πραγματοποιήθηκε χρηματική αποτίμηση, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η προστασία ακμών, η καθαριότητα, η εκπαίδευση και η επιθεώρηση αποτελούν επενδύσεις στη συνέχεια και στην οικονομική βιωσιμότητα του έργου.

Τα ευρήματα μπορούν να ενσωματωθούν σε συστήματα διοίκησης και δείκτες κοινωνικής επίδοσης και ESG. Η καταγραφή κρίσιμων κινδύνων, η παρακολούθηση των φραγμών, η συμμετοχή των εργαζομένων και η τεκμηρίωση διορθωτικών ενεργειών ενισχύουν τη διαφάνεια, τη λογοδοσία και τη διαχείριση υπεργολάβων. Έτσι, η ΥΑΕ συνδέεται άμεσα με την κοινωνική βιωσιμότητα και τη θεσμική ανθεκτικότητα της επιχείρησης.

IV. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή των τεσσάρων μοντέλων επιβεβαίωσε ότι η πτώση από ύψος αποτελεί κίνδυνο άμεσης προτεραιότητας, αλλά και ότι η κοινή τελική κατάταξη δεν συνεπάγεται ισοδύναμη αναλυτική αξία. Η Risk Matrix προσφέρει ταχύτητα, η Fine-Kinney ενισχύει την ιεράρχηση μέσω της έκθεσης, η Bow-Tie οργανώνει τις απειλές και τους φραγμούς και η FTA αποκαλύπτει τους συνδυασμούς γεγονότων που ενεργοποιούν το κορυφαίο συμβάν. Συνεπώς, η αξιόπιστη εκτίμηση απαιτεί σύνθεση μεθόδων ανάλογα με τη φάση και τον σκοπό της απόφασης.

Σε πρακτικό επίπεδο προτείνεται διαδικασία τεσσάρων βημάτων: αρχική διαλογή των δραστηριοτήτων με ενιαία Risk Matrix, ημιποσοτική ιεράρχηση με Fine-Kinney, ανάπτυξη Bow-Tie για τους κινδύνους υψηλής προτεραιότητας και χρήση FTA στα σύνθετα ή επαναλαμβανόμενα σενάριο. Η αξιολόγηση πρέπει να επαναλαμβάνεται όταν αλλάζει η φάση του έργου, η διάταξη του χώρου, τα συνεργεία ή οι καιρικές συνθήκες.

Η πρόληψη πρέπει να ακολουθεί την ιεραρχία ελέγχων. Προτεραιότητα έχουν η εξάλειψη της έκθεσης και τα συλλογικά μέτρα, όπως πλήρης προστασία ακμών, ασφαλή δάπεδα και κατάλληλες προσβάσεις. Τα ατομικά συστήματα αναχαίτισης είναι αναγκαία για τον υπολειπόμενο κίνδυνο, αλλά δεν υποκαθιστούν την τεχνική και οργανωτική προστασία. Η εκπαίδευση οφείλει να είναι πρακτική και ειδική για το έργο, ενώ η ασφάλεια πρέπει να ενσωματώνεται στον χρονοπρογραμματισμό, στη διαχείριση υπεργολάβων και στην κατανομή πόρων.

Η κοινωνική και οικονομική αξία της πρόληψης είναι ουσιώδης. Η αποφυγή ενός σοβαρού ατυχήματος προστατεύει τη ζωή και την εμπιστοσύνη των συνεργείων, περιορίζει καθυστερήσεις και στηρίζει τη θεσμική αξιοπιστία του έργου. Τα μοντέλα μπορούν επομένως να λειτουργήσουν και ως τεκμήρια διοικητικής λογοδοσίας και επενδυτικών αποφάσεων για την ΥΑΕ.

Μελλοντική έρευνα χρειάζεται να εφαρμόσει τον προτεινόμενο συνδυασμό σε πραγματικά εργοτάξια, να συγκρίνει τις κρίσεις πολλών αξιολογητών και να συνδέσει τα αποτελέσματα με δεδομένα συμβάντων και κόστους. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι ασαφείς εκδοχές Fine-Kinney, η ποσοτικοποίηση Bow-Tie και FTA με Bayesian δίκτυα και η δυναμική ενημέρωση μέσω BIM και φορετών αισθητήρων. Οι ψηφιακές παρεμβάσεις πρέπει πάντως να αξιολογούνται ως προς την ωριμότητα και την αποδεδειγμένη επίδρασή τους στις συνθήκες εργασίας (Trask & Linderorth, 2023).

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Amissah, J., Agyei-Baffour, P., Badu, E., Agyeman, J. K., & Badu, E. D. (2019). The cost of managing occupational injuries among frontline construction workers in Ghana. *Value in Health Regional Issues*, 19, 104-111. <https://doi.org/10.1016/j.vhri.2019.06.002>
- Bourahla, A., Fernandes, G., & Ferreira, L. M. D. F. (2024). Managing occupational health and safety risks in construction projects to achieve social sustainability: A review of literature. *Procedia Computer Science*, 239, 1053-1061. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.06.269>
- Cox, L. A., Jr. (2008). What's wrong with risk matrices? *Risk Analysis*, 28(2), 497-512. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2008.01030.x>
- Hosseini, S. S., & Jabbarani Torghabeh, Z. (2012). Major theories of construction accident causation models: A literature review. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 4(2), 53-66.

- Khan, M., Nnaji, C., Khan, M. S., Ibrahim, A., Lee, D., & Park, C. (2023). Risk factors and emerging technologies for preventing falls from heights at construction sites. *Automation in Construction*, 153, 104955. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104955>
- Li, H., Wang, Y., Chong, D., Rajendra, D., & Skitmore, M. (2024). Fine-Kinney fuzzy-based occupational health risk assessment for workers in different construction trades. *Automation in Construction*, 168, 105738. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105738>
- Liu, R., Liu, H.-C., Shi, H., & Gu, X. (2023). Occupational health and safety risk assessment: A systematic literature review of models, methods, and applications. *Safety Science*, 160, 106050. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.106050>
- Mohandes, S. R., & Zhang, X. (2021). Developing a holistic occupational health and safety risk assessment model: An application to a case of sustainable construction project. *Journal of Cleaner Production*, 291, 125934. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125934>
- Newaz, M. T., Ershadi, M., Carothers, L., Jefferies, M., & Davis, P. (2022). A review and assessment of technologies for addressing the risk of falling from height on construction sites. *Safety Science*, 147, 105618. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105618>
- Pinto, A. (2014). QRAM: A qualitative occupational safety risk assessment model for the construction industry that incorporates uncertainties by the use of fuzzy sets. *Safety Science*, 63, 57-76. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.10.019>
- Pinto, A., Ribeiro, R. A., & Nunes, I. L. (2013). Ensuring the quality of occupational safety risk assessment. *Risk Analysis*, 33(3), 409-419. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2012.01898.x>
- Trask, C., & Linderorth, H. C. J. (2023). Digital technologies in construction: A systematic mapping review of evidence for improved occupational health and safety. *Journal of Building Engineering*, 80, 108082. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.108082>
- Wang, L., Huang, Y., Wang, Y., Gu, B., Li, B., & Fang, D. (2025). Comprehensive lifecycle safety risk assessment for construction robotics using T-S fault tree analysis and Bayesian network. *Automation in Construction*, 172, 106041. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2025.106041>
- Zhang, Z., Guo, H., Gao, P., Wang, Y., & Fang, Y. (2023). Impact of owners' safety management behavior on construction workers' unsafe behavior. *Safety Science*, 158, 105944. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105944>