Archetype



Σεισμοί, λοιμοί, καταποντισμοί και τι σημαίνουν για την ασφάλεια των κατασκευών

Χριστίνα Ιωακειμίδου - 26/05/2026

Εικόνα Εξωφύλλου: Σεισμός στο Εκουαδόρ (2026) | Πηγή: upload.wikimedia.org

Η άσκηση του επαγγέλματος του πολιτικού μηχανικού εμπεριέχει μια εγγενή αντίφαση. Όπως αναλύει στην ομιλία του στο *Building Strengthening Show 2025*, ο κ. **Δημήτρης Βαμβάτσικος**, καθηγητής του ΕΜΠ, το επάγγελμα του πολιτικού μηχανικού απαιτεί το θάρρος για την τοποθέτηση υπογραφών κάτω από μελέτες και ολοκληρωμένες κατασκευές, τη στιγμή που ο σχεδιασμός βασίζεται σε αβέβαια φορτία, υπολογιστικά μοντέλα και κανονισμούς που αναθεωρούνται συνεχώς. Τα σύγχρονα λογισμικά εργαλεία αποποιούνται νομικά κάθε ευθύνη για τα αποτελέσματά τους, σημειώνοντας με μικρά γράμματα πως οτιδήποτε συμβεί αποτελεί πρόβλημα του μελετητή. Ταυτόχρονα, ο μηχανικός καλείται να ισορροπήσει ανάμεσα στην ασφάλεια

και σε εξωγενείς πιέσεις, όπως η μείωση του κόστους, η αισθητική και η εναρμόνιση με τα αρχιτεκτονικά ζητούμενα. Στη βάση αυτής της προβληματικής βρίσκεται ένα θεμελιώδες ερώτημα: *πώς ορίζεται και πώς ποσοτικοποιείται η ασφάλεια*;

Η Ποσοτικοποίηση του Ρίσκου: Η Έννοια του Micromort

Σε επιστημονικό επίπεδο, κατά τον εισηγητή, η έκθεση σε κίνδυνο μπορεί να οριστεί με τη μονάδα *micromort*, η οποία αντιπροσωπεύει την αύξηση της πιθανότητας απώλειας ζωής κατά ένα εκατομμυριοστό ανά έτος. Με βάση παγκόσμια στατιστικά δεδομένα, ένα micromort ισοδυναμεί στατιστικά με μία ακτινογραφία θώρακος, την κατανάλωση 1,4 τσιγάρων, ή τη διάνυση 370 χιλιομέτρων με αυτοκίνητο σε μια ευρωπαϊκή πόλη, υπό την προϋπόθεση ότι τηρείται ο ΚΟΚ. Το ίδιο ακριβώς επίπεδο στατιστικού κινδύνου αντιστοιχεί και σε ένα αεροπορικό ταξίδι 1.600 χιλιομέτρων, γεγονός που επιβεβαιώνει ότι οι μεγάλες αποστάσεις είναι στατιστικά ασφαλέστερες με αεροπλάνο παρά με αυτοκίνητο. Κατά ανάλογο τρόπο, η διαβίωση και η εργασία σε ένα κτίριο αυξάνουν καθημερινά το ποσοστό κινδύνου, το οποίο εξαρτάται άμεσα από τα χαρακτηριστικά της κατασκευής και τη σεισμική επικινδυνότητα της περιοχής στην οποία αυτό βρίσκεται.

Ο Κανονισμός ως Κοινωνική Σύμβαση και το «Κυπριακό Δίλημμα»

Ο σχεδιασμός των κτιρίων αποτελεί συμβιβασμό μεταξύ οικονομίας και ασφάλειας. Παρά τις οικονομικές πιέσεις των επενδυτών ή των ιδιοκτητών, υπάρχει ένα κατώτατο όριο ασφάλειας κάτω από το οποίο δεν επιτρέπεται να κατέβει καμία κατασκευή, ώστε να προκύψει, για παράδειγμα, μια ετοιμόρροπη καλύβα. Αυτό το ελάχιστο αποδεκτό όριο διακινδύνευσης καθορίζεται από τον κανονισμό και αποτελεί μια ξεκάθαρη κοινωνική σύμβαση, αποτυπωμένη στα «ψιλά γράμματα» των κωδίκων.

Για την κατανόηση αυτής της σχέσης κόστους-οφέλους, κατά τον κ. Βαμβάτσικο, μπορεί να αξιοποιηθεί το «κυπριακό δίλημμα» των καταναλωτικών επιλογών, όπου το κοινωνικό status συνδέεται στενά με το αυτοκίνητο. Ένας ορθολογικός αγοραστής («rational agent»), εξετάζοντας το ζήτημα αποκλειστικά με χρηματοοικονομικά κριτήρια και παραμερίζοντας την αισθητική, αντιμετωπίζει δύο συγκεκριμένες επιλογές. Η πρώτη επιλογή αφορά ένα οικονομικό αυτοκίνητο πόλης, λ.χ. ένα Mazda Demio 1.2 lt, αξίας 15.000€, το οποίο προσφέρει χαμηλό κόστος συντήρησης και φθηνή κίνηση, αλλά συνοδεύεται από αυξημένη πιθανότητα σοβαρών σωματικών βλαβών σε περίπτωση ατυχήματος. Η δεύτερη επιλογή αφορά ένα βαρύ όχημα, όπως μια BMW X5 2.8 lt, αξίας 60.000-75.000€, η οποία απαιτεί υψηλό κόστος αγοράς και συντήρησης, αλλά εξασφαλίζει μειωμένη πιθανότητα σωματικών βλαβών σε ένα σοβαρό ατύχημα.



Crashing test | Πηγή εικόνας: s1.cdn.autoevolution.com

Αν ο αγοραστής λειτουργήσει επιστημονικά, η βελτιστοποίηση της απόφασης εξαρτάται άμεσα από το προφίλ χρήσης, όπως τα ετησίως διανυόμενα χιλιόμετρα, τους οικονομικούς περιορισμούς (δάνειο και δόσεις αποπληρωμής), το ετήσιο κόστος κίνησης-ασφάλισης-συντήρησης και βέβαια τον επιθυμητό ορίζοντα χρήσης του οχήματος. Υπάρχουν ωστόσο κανονισμοί που ορίζουν το κατώτατο όριο σε επίπεδο ασφάλειας κάτω από το οποίο δεν επιτρέπεται να πέσουμε, ακόμα και αν το αυτοκίνητο χρησιμοποιείται για να διανυθεί έστω και ένα χιλιόμετρο κάθε έτος. Αντίστοιχα, σε επίπεδο κτιρίου, ένας επιστημονικά σκεπτόμενος αγοραστής/επενδυτής μπορεί να βελτιστοποιήσει την επιλογή του βάσει των αναγκών και των περιορισμών που έχει. Ωστόσο, οι Ευρωκώδικες εισάγουν εδώ το ελάχιστο αποδεκτό όριο ασφάλειας (ασχέτως των άλλων κριτηρίων) μέσω της βασικής σχέσης ελέγχου ασφάλειας, όπου η απαίτηση που εισάγουν τα φορτία οφείλει να είναι χαμηλότερη από τις αντοχές της κατασκευής, με τους αντίστοιχους φυσικά πολλαπλασιαστές στα φορτία και τους μειωτικούς συντελεστές στις αντοχές που καλύπτουν τις σχετικές αβεβαιότητες. Όταν η σχέση ασφάλειας ικανοποιεί το «ίσον», η κατασκευή βρίσκεται ακριβώς σε αυτό το ελάχιστο όριο, χωρίς αυτό να σημαίνει απαραίτητα ότι ο ιδιοκτήτης επιθυμεί να περιοριστεί εκεί.

Οι Αδυναμίες των Κανονισμών και η Παρερμηνεία της Ζημιάς

Στην ομιλία του, ο κ. Βαμβάτσικος αναφέρει πως οι κανονισμοί δεν σχεδιάστηκαν για να είναι τέλειοι, αλλά για να είναι πρακτικοί. Το δομικό τους πρόβλημα είναι ότι ο έλεγχος γίνεται στην «είσοδο», δηλαδή στις προδιαγραφές, και όχι στο τελικό προϊόν, καθώς ο έλεγχος του τελικού προϊόντος θα ήταν οικονομικά ασύμφορος. Νομικά, η τήρηση των προδιαγραφών καλύπτει πλήρως τον μηχανικό έναντι κατηγοριών για ανασφάλεια, όμως η πτυχή αυτή σπάνια γίνεται κατανοητή από τους ιδιοκτήτες.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο *σεισμός της Λ' Άκουιλα* (L'Aquila) στην Ιταλία, όπου, μεταξύ άλλων βαρύτερων περιπτώσεων, καταγράφηκαν και πολλές εκτεταμένες αλλά αποδεκτές βάσει κανονισμού ζημιές, όπως αστοχίες τοιχοπληρώσεων, πτώσεις στηθαίων, ρηγματώσεις τοιχοποιίας και ζημιές σε κουφώματα. Ο σεισμός αυτός ήταν προσεγγιστικά ο «σεισμός σχεδιασμού», και ο κανονισμός ορίζει ρητά, ότι σε αυτό το επίπεδο αναμένονται σοβαρές υλικές βλάβες, αλλά όχι απώλειες ζωών. Συνεπώς, εφόσον δεν υπήρξαν σωματικές βλάβες ή σοβαρές δομικές ζημιές στα εν λόγω κτίρια, αυτά λειτούργησαν με ασφάλεια και κατά

συνέπεια ο μηχανικός δεν φέρει καμία νομική ευθύνη. Αυτό το γεγονός αντιστοιχεί στατιστικά σε πιθανότητα 10% στα 50 χρόνια ή σε μέση περίοδο επαναφοράς μία φορά στα 475 έτη, ωστόσο η επικοινωνία αυτής της αποδεκτής ζημιάς και η κατανόηση από τον πελάτη παραμένουν εξαιρετικά δύσκολες.



Σεισμός της Λ' Άκουιλα (L'Aquila) | Πηγή εικόνας: static01.nyt.com

Οικονομικές Παράμετροι και Στόχοι Επιτελεστικότητας

Εάν ένας ιδιοκτήτης κτιρίου λειτουργούσε με απόλυτα επιστημονικά και χρηματοοικονομικά κριτήρια, η συζήτηση για τον σχεδιασμό ή την ενίσχυση δεν θα αφορούσε το ελάχιστο αρχικό κόστος. Θα έπρεπε να συνυπολογιστούν: η έκθεση στον σεισμό, η συχνότητα των φαινομένων, η ποιότητα του εδάφους, οι όροι των δανείων, η αξία των περιεχομένων, η χρήση του ακινήτου, το μέσο ετήσιο κόστος επισκευών και το κόστος ασφάλισης.

Επενδύοντας ένα επιπλέον ποσοστό, για παράδειγμα 1,10 φορές το βασικό κόστος, επιτυγχάνονται σημαντικά μικρότερες βλάβες και, κυρίως, δραστική μείωση του χρόνου που το κτίριο θα τεθεί εκτός λειτουργίας. Η διάρκεια των επισκευών είναι συχνά πιο κρίσιμη οικονομικά από το ίδιο το κόστος των υλικών ζημιών, ειδικά για εμπορικές χρήσεις όπως ξενοδοχεία και γραφεία. Το πρόβλημα, όπως επισημαίνεται στην εισήγηση, επιτείνεται καθώς ο σεισμός πλήττει ταυτόχρονα πολλές κατασκευές σε μια περιοχή, αυξάνοντας το κόστος και επιμηκύνοντας τον χρόνο αποκατάστασης. Ωστόσο, οι σύγχρονοι κανονισμοί σχεδιασμού και επεμβάσεων παρέχουν διεξόδους μέσω της διαστασιολόγησης με βάση συγκεκριμένους στόχους επιτελεστικότητας, εργαλείο που πρέπει να αξιοποιείται και να προσφέρεται στον πελάτη.

Η Διαφορά Φιλοσοφίας: Το iPhone έναντι του Ποδοσφαίρου Αλάνας

Όπως αναφέρει ο ομιλητής, υπάρχει μια θεμελιώδης διαφορά ανάμεσα στον σχεδιασμό προϊόντων υψηλής τεχνολογίας, όπως ένα iPhone, και στον σχεδιασμό κτιρίων. Ο σχεδιασμός του iPhone προσομοιάζει με τένις επιπέδου Roland Garros, όπου ελάχιστοι κορυφαίοι παίκτες, όπως ο Federer ή ο Djokovic, ανταλλάσσουν το μπαλάκι με χιλιάδες θεατές να παρακολουθούν. Σε όρους καταναλωτικού προϊόντος, το αντίστοιχο είναι το iPhone, όπου ο Steve Jobs συγκέντρωσε και πλήρωσε αδρά κορυφαίους μηχανικούς, δημιουργώντας ένα προϊόν με απόλυτα ελεγχόμενη και συγκεκριμένη συμπεριφορά χρήσης το οποίο παράγεται πανομοιότυπο σε εκατομμύρια αντίτυπα.

Στην οικοδομική πραγματικότητα η κατάσταση διαφέρει ριζικά, καθώς κάθε κτίριο είναι μια μοναδικότητα που δε θα επαναληφθεί. Μια μοναδικότητα, μάλιστα, η οποία ενδέχεται να μελετηθεί και να κατασκευαστεί από τον χειρότερο απόφοιτο μιας πολυτεχνικής σχολής, ο οποίος πέρασε τα μαθήματα με δυσκολία. Ο κανονισμός, επομένως, δεν συντάσσεται για τους κορυφαίους της μηχανικής, αλλά για να μπορεί να εφαρμοστεί ορθά από τον μέσο (ή και τον χειρότερο) επαγγελματία χωρίς να γίνουν μοιραία λάθη. Το επάγγελμα, όπως στοχευμένα επισημαίνει ο κ. Βαμβάτσικος στην εισήγησή του, μοιάζει περισσότερο με ποδόσφαιρο σε αλάνα, όπου όλοι κλωτσάνε μια μπάλα, άλλοι καλύτερα και άλλοι χειρότερα, με πρωταρχικό σκοπό να μην τραυματιστεί κανένας άνθρωπος. Ο κανονισμός εξασφαλίζει αυτό το ελάχιστο επίπεδο, χωρίς αυτό να εμποδίζει έναν έμπειρο μηχανικό να προσφέρει μια εμπειρία υψηλών προδιαγραφών τύπου iPhone, εφόσον ο πελάτης το επιθυμεί.

Σεισμική Επικινδυνότητα: Η Θεωρία και η Αυθαιρεσία των Ζωνών

Η βάση των στόχων επιτελεστικότητας είναι η μέση ετήσια συχνότητα υπέρβασης. Για ένα συμβατικό κτίριο με διάρκεια ζωής 50 έτη, σε αντίθεση με μια εφήμερη εξέδρα συναυλιών που στήθηκε για καλοκαιρινό φεστιβάλ διάρκειας δύο μηνών ή τη γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου με ορίζοντα 150 ετών, η ονομαστική πιθανότητα υπέρβασης είναι 10% στα 50 χρόνια, που αντιστοιχεί σε μέση περίοδο επαναφοράς 475 ετών ή ετήσια πιθανότητα 0,002. Παρά τον σπάνιο χαρακτήρα αυτών των γεγονότων, οι αντασφαλιστικές εταιρείες επισημαίνουν ότι το μεγάλο αθροιστικό οικονομικό κόστος δεν προέρχεται από αυτούς τους ακραίους σεισμούς, αλλά από μικρότερους σεισμούς με περιόδους επαναφοράς 30, 50 ή 100 ετών, οι οποίοι προκαλούν εκτεταμένες μικροζημιές σε τοιχοποιίες, κλείνουν τα κτίρια και δημιουργούν τεράστιο αθροιστικό κόστος λόγω της διακοπής της λειτουργίας τους.



Γέφυρα Ρίου-Αντιρρίου | Πηγή εικόνας: titan.gr

Η συμβατική μεθοδολογία ελέγχει την επικινδυνότητα στην «είσοδο» μέσω ενός τυποποιημένου σεισμικού φάσματος σχεδιασμού. Στην αυτοκινητοβιομηχανία, η ασφάλεια ελέγχεται στην «έξοδο», δηλαδή στο τελικό προϊόν με δοκιμές σύγκρουσης (crash tests). Όμως στα κτίρια η διαδικασία αυτή είναι αδύνατη, καθώς τα πειράματα φυσικής κλίμακας σε σεισμική τράπεζα κοστίζουν εκατομμύρια και κάθε κτίριο είναι μοναδικό. Έτσι, η αποτίμηση γίνεται μόνο υπολογιστικά μέσω καμπύλων επικινδυνότητας και πιθανοτικών αναλύσεων που εξετάζουν τα ρήγματα, τη διάρρηξη, τη διαδρομή των κυμάτων και την ενίσχυση από το έδαφος.

Κατά τον ομιλητή, η ανάγκη απλοποίησης των κανονισμών σε γεωγραφικές ζώνες εισάγει αναπόφευκτες στρεβλώσεις. Για παράδειγμα, η Αθήνα χωρίζεται σε δύο ζώνες με όριο τον Κηφισό, αν και είναι προφανές ότι ο σεισμός δεν διπλασιάζεται σε απόσταση 30 μέτρων εκατέρωθεν του ποταμού, καθώς η μεταβολή είναι σταδιακή. Παρομοίως, στην Κύπρο υπάρχουν τρεις ζώνες, ενώ η Κρήτη έχει μόνο μία, παρά το ανάλογο μέγεθος. Αυτό οδηγεί σε υπερσυντηρητικό σχεδιασμό σε περιοχές, όπως η Λευκωσία, όπου οι ουρανοξύστες μελετώνται με τεχνητά αυξημένο φάσμα για περιόδους άνω του μισού δευτερολέπτου, απλώς και μόνο επειδή έτσι ορίζει απλοποιητικά ο σχετικός κώδικας. Αντίθετα, άλλες περιοχές ενδέχεται να υποτιμώνται. Για παράδειγμα, στην Αττική η ζώνη 1 περιλαμβάνει το Λαύριο αλλά και το ιστορικό κέντρο, με το πρώτο να έχει πολύ μικρότερη πραγματική επικινδυνότητα, ενώ η ζώνη 2 περιλαμβάνει τόσο το Περιστέρι όσο και την Κόρινθο, της οποίας η επικινδυνότητα είναι υψηλότερη λόγω των ρηγμάτων του Κορινθιακού παρά την κοινή κανονιστική αντιμετώπιση.

Το Παιχνίδι με τα Ζάρια και η Πραγματική Συχνότητα Καταρρεύσεων

Ο κ. Δημήτρης Βαμβάτσικος παρομοιάζει τη συμπεριφορά του κτιρίου με ένα ετήσιο παιχνίδι με ζάρια. Κάθε 1η Ιανουαρίου, ο ιδιοκτήτης ρίχνει έναν αριθμό n ζαριών, και αν φέρει μόνο εξάρες, το κτίριο ενεργοποιεί σεισμικές βλάβες. Η μέση περίοδος επαναφοράς είναι ο μέσος χρόνος για να εμφανιστεί αυτός ο συνδυασμός.

Η επιβίωση εξαρτάται από το πόσα «ζάρια» διαθέτει η κατασκευή, καθώς η τοιχοποιία του 1960 διαθέτει περίπου δύο ζάρια με περίοδο επαναφοράς 3-10 έτη, το οπλισμένο σκυρόδεμα του 1980 έχει περίοδο 15-25 έτη αναλόγως της ποιότητας κατασκευής, ενώ οι κατασκευές μετά το 2000 ξεπερνούν κατά πολύ τα 50 χρόνια. Ωστόσο, υπάρχει η εσφαλμένη αντίληψη, ότι η ονομαστική τιμή 10% στα 50 χρόνια σημαίνει απώλεια του 10% του κτιριακού δυναμικού της χώρας ανά πεντηκονταετία. Τα ιστορικά δεδομένα από το 1975 δείχνουν, ότι οι πραγματικές καταρρεύσεις είναι ελάχιστες, καθώς λόγω των υπεραντοχών και των συντελεστών ασφαλείας, η πραγματική συχνότητα κατάρρευσης είναι κάτω του 1%.

Το ουσιαστικό πρόβλημα εντοπίζεται στη μεγάλη χωρική συγκέντρωση σε πόλεις όπως η Αθήνα, η Θεσσαλονίκη, η Πάτρα και το Ηράκλειο. Όταν ένα κτίριο φέρει απώλειες, το ίδιο συμβαίνει και στα γειτονικά κτίρια παρόμοιας κατασκευής. Αυτό δημιουργεί μια χωροχρονική κατανομή απωλειών, όπου για πολλά χρόνια οι ζημιές είναι μηδενικές, μέχρι το έτος εκείνο που μια ισχυρή δόνηση μπορεί να προκαλέσει απώλεια έως και του 30% των κατασκευών μιας περιοχής, οδηγώντας σε παράλυση της πόλης και καταστροφή επενδυτικών χαρτοφυλακίων, γεγονός που απαιτεί μια πιο ολιστική προσέγγιση διαχείρισης.

Συμπεράσματα για την Πρακτική του Μηχανικού

Ο ομιλητής καταλήγει, πως ο κανονισμός, παρά τις δεδομένες ατέλειές του και τα κατά καιρούς σφάλματά του, αποτελεί ένα εξαιρετικό εργαλείο, το οποίο όμως απαιτεί επένδυση χρόνου για την πλήρη κατανόησή του, καθώς οι αστοχίες των κωδίκων διορθώνονται σταδιακά κατά τις αναθεωρήσεις των Ευρωκωδίκων που γίνονται σε ορισμένο χρόνο ετών.

Σήμερα, τα ακαδημαϊκά ιδρύματα παράγουν επιστήμονες ικανούς να πραγματοποιήσουν ολιστικές αποτιμήσεις συνεπειών και λεπτομερείς αναλύσεις διακινδύνευσης, προσφέροντας την καλύτερη δυνατή λύση, όπου απαιτείται. Το κλειδί για την αγορά έγκειται στον διαχωρισμό μεταξύ της αποτίμησης του ρίσκου («*risk assessment*») και της επικοινωνίας του ρίσκου («*risk communication*»). Τα καθαρά τεχνικά νούμερα δεν γίνονται αντιληπτά από τους ιδιοκτήτες ή τους μηχανικούς με τον ίδιο τρόπο που τα αντιλαμβάνονται οι ασφαλιστές, και για τον λόγο αυτό στους επενδυτές η συζήτηση πρέπει να μεταφέρεται όχι μόνο σε όρους αρχικού κόστους κατασκευής ή αναβάθμισης, αλλά και σε χρηματοοικονομικούς όρους μελλοντικού κόστους επισκευών, συντηρήσεων και επιτοκίων. Οι σύγχρονοι μηχανικοί διαθέτουν πλέον τα απαιτούμενα εργαλεία για να προσφέρουν υπηρεσίες επιπέδου iPhone και είναι προς το συμφέρον τόσο των ιδίων όσο και των πελατών τους να το πράξουν.

Δείτε ολόκληρη την παρουσίαση του κυρίου **Δημήτρη Βαμβάτσικου** στο **Building Strengthening Show 2025**: