



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

ΔΠΜΣ Δομοστατικός Σχεδιασμός και Ανάλυση
των Κατασκευών

Εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέματος

ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ



Μεταπτυχιακή Εργασία
ΤΣΑΦΑΡΑ ΔΕΣΠΟΙΝΑ

Επιβλέποντες: Καθηγήτρια Βιντζηλαίου Ελισσάβετ
τ. Καθηγητής Τρέζος Κωνσταντίνος

Αθήνα, Ιούνιος 2020



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

ΔΠΜΣ Δομοστατικός Σχεδιασμός και Ανάλυση
των Κατασκευών

Εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέματος

ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ



Μεταπτυχιακή Εργασία
ΤΣΑΦΑΡΑ ΔΕΣΠΟΙΝΑ

Επιβλέποντες: Καθηγήτρια Βιντζηλαίου Ελισσάβετ
τ. Καθηγητής Τρέζος Κωνσταντίνος

Αθήνα, Ιούνιος 2020

Copyright © Δέσποινα Τσαφάρá, 2020
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση σε αρχείο πληροφοριών, διανομή, αναπαραγωγή, μετάφραση ή μετάδοση της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό, υπό οποιαδήποτε μορφή και με οποιοδήποτε μέσο επικοινωνίας, ηλεκτρονικό ή μηχανικό, χωρίς την προηγούμενη έγγραφη άδεια της συγγραφέως. Επιτρέπεται η αναπαραγωγή, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς την συγγραφέα.

Η έγκριση της μεταπτυχιακής εργασίας από τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων της συγγραφέως (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202).

Copyright © Despoina Tsafara, 2020
All Rights Reserved

Neither the whole nor any part of this diploma thesis may be copied, stored in a retrieval system, distributed, reproduced, translated, or transmitted for commercial purposes, in any form or by any means now or hereafter known, electronic or mechanical, without the written permission from the author. Reproducing, storing and distributing this thesis for non-profitable, educational or research purposes is allowed, without prejudice to reference to its source and to inclusion of the present text. Any queries in relation to the use of the present thesis for commercial purposes must be addressed to its author.

Approval of this master thesis by the School of Civil Engineering of the National Technical University of Athens (NTUA) does not constitute in any way an acceptance of the views of the author contained herein by the said academic organisation (L. 5343/1932, art. 202).

Ευχαριστίες

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία εκπονήθηκε κατά τη διάρκεια του ακαδημαϊκού έτους 2019-2020 στο εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέματος του Τομέα Δομοστατικής, της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου. Με την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής μου εργασίας ολοκληρώνεται ο κύκλος των μεταπτυχιακών σπουδών μου, στο ΔΠΜΣ Δομοστατικός Σχεδιασμός και Ανάλυση των Κατασκευών, στη σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π.

Η πορεία δεν ήταν πάντα εύκολη και γι' αυτό νιώθω την ανάγκη να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους ανθρώπους που με στήριξαν και με βοήθησαν να εκπληρώσω αυτό το στόχο μου. Αρχικά, ευχαριστώ όλους τους καθηγητές μου στη σχολή για τις γνώσεις που μου προσέφεραν και για τη συνεχή βοήθεια και καθοδήγησή τους κατά τη διάρκεια φοίτησής μου στο Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών.

Ιδιαίτερως, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κωνσταντίνο Τρέζο, τ. Καθηγητή του Τομέα Δομοστατικής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π., για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση της συγκεκριμένης μεταπτυχιακής εργασίας. Οι συμβουλές του, καθώς και η διαρκής καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας εργασίας υπήρξαν πολύτιμες και οι γνώσεις που απέκτησα πολλές. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Ελισσάβετ Βιντζηλαίου, καθηγήτρια του τομέα Δομοστατικής, που ανέλαβε μαζί με τον κ. Τρέζο την επίβλεψη της μεταπτυχιακής μου εργασίας.

Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω τον κ. Χρήστο Ζέρη, αναπληρωτή καθηγητή του τομέα Δομοστατικής και τον κ. Ιωάννη Ψυχάρη, καθηγητή του τομέα Δομοστατικής για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή της μεταπτυχιακής μου εργασίας.

Ευχαριστώ ακόμα όλους τους φίλους μου και συμφοιτητές μου για τη στήριξη και τη συνεργασία τους κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου στο ΔΠΜΣ Δομοστατικός Σχεδιασμός και Ανάλυση των Κατασκευών, στη σχολή Πολιτικών Μηχανικών.

Τέλος, ευχαριστώ τους γονείς μου, τα αδέρφια μου και όλη μου την οικογένεια για τη στήριξή τους σε κάθε μου προσπάθεια, καθώς και την αμέριστη συμπαράσταση και την κατανόησή τους όλο το χρονικό διάστημα εκπόνησης της μεταπτυχιακής εργασίας.

Τσαφάρá Δέσποινα
Αθήνα, Ιούνιος 2020



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΠΜΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τροποποίηση των Επιμέρους Συντελεστών Ασφαλείας στην Περίπτωση των Υφιστάμενων Κατασκευών

Τσαφάρá Δέσποινα

Επιβλέποντες: Καθηγήτρια Βιντζηλαίου Ελισάβετ
τ. Καθηγητής Τρέζος Κωνσταντίνος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία πραγματεύεται την τροποποίηση των επιμέρους συντελεστών ασφαλείας στην περίπτωση των υφιστάμενων κατασκευών. Πιο συγκεκριμένα μελετώνται δύο μέθοδοι επιμέρους συντελεστών ασφαλείας που προτείνονται από το FIB BULLETIN 80, η Μέθοδος Τιμής Σχεδιασμού-Design Value Method (DVM) και η Μέθοδος Επιμέρους Διορθωτικών Συντελεστών-Adjusted Partial Factor Method (APFM). Οι μέθοδοι αυτοί συγκρίνονται μεταξύ τους, με τους συντελεστές του EN 1990 για νέες κατασκευές, καθώς και με τους συντελεστές του ΚΑΝ.ΕΠΕ. για υφιστάμενες κατασκευές. Επιπροσθέτως τα αποτελέσματα των μεθόδων αυτών αντιπαραβάλλονται με αυτά που προκύπτουν από την πιθανοτική μέθοδο Επιπέδου 2. Για το σκοπό αυτό μελετώνται δύο πρακτικές εφαρμογές, σύμφωνα με όλες τις μεθόδους και για διάφορες περιπτώσεις.

Στο κεφάλαιο 1, γίνεται μια εισαγωγή στο θέμα και στο σκοπό της μεταπτυχιακής εργασίας, όπου αναφέρονται γενικά εισαγωγικά στοιχεία για τις υφιστάμενες και τις νέες κατασκευές. Επίσης γίνεται αναφορά των κανονισμών που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη και την αξιολόγηση των υφιστάμενων κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Στο κεφάλαιο 2, παρουσιάζονται αναλυτικά τα θεωρητικά στοιχεία του EN 1990, καθώς και του ΚΑΝ.ΕΠΕ. που αφορούν την παρούσα μεταπτυχιακή εργασία. Επιπλέον, περιγράφεται επιγραμματικά η Μέθοδος Επιπέδου 2 και δίνονται βασικοί ορισμοί για τις έννοιες που πραγματεύεται η μεταπτυχιακή εργασία.

Στο κεφάλαιο 3, αναλύονται με λεπτομέρεια οι Μέθοδοι των Επιμέρους Συντελεστών Ασφαλείας, δηλαδή η Μέθοδος Τιμής Σχεδιασμού-Design Value Method (DVM) και η Μέθοδος Επιμέρους Διορθωτικών Συντελεστών-Adjusted Partial Factor Method (APFM). Παρατίθενται αναλυτικά οι παραδοχές των μεθόδων, ο τρόπος υπολογισμού των επιμέρους συντελεστών, καθώς και οι τιμές των επιμέρους συντελεστών της κάθε μεθόδου.

Στο κεφάλαιο 4, ακολουθεί η περιγραφή και η επίλυση των δύο πρακτικών εφαρμογών με όλες τις μεθόδους που αναφέρθηκαν παραπάνω και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για κάθε περίπτωση επίλυσης, για την κάθε εφαρμογή.

Τέλος. Στο κεφάλαιο 5, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν με βάση τα αποτελέσματα του προηγούμενου κεφαλαίου.

Ακολουθούν η βιβλιογραφία και το παράρτημα.



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
ADERS ANALYSIS AND DESIGN OF EARTHQUAKE RESISTANT STRUCTURES
STRUCTURAL DEPARTMENT

MASTER THESIS

Modification of Safety Factors in the case of Existing Structures

Despoina Tsafara

Supervisor: Professor Vintzilaiou Elizabeth
f. Professor Trezos Konstantinos

ABSTRACT

The present master thesis discusses the modification of the partial safety factors in the case of existing structures. More specifically, two Partial Factor Methods proposed by the FIB BULLETIN 80 are studied, the Design Value Method (DVM) and the Adjusted Partial Factor Method (APFM). These methods are compared with each other, with the partial factors of EN 1990 με τους συντελεστές for new structures, as well as with the partial factors of KAN.ΕΠΕ. for existing structures. Furthermore, the results of these methods are compared with those from the probabilistic Level 2 Method. For the purpose of the thesis two practical examples are solved, according to all the above methods and for various cases.

In chapter 1, the theme and purpose of the thesis are introduced, and some general aspects of existing and new structures are mentioned. Also, the reference is made of the regulations that are used for the redesign and assessment of existing concrete structures.

In chapter 2, the theoretical aspects of EN 1990, as well as KAN.ΕΠΕ., which are necessary for the thesis, are presented thoroughly. Level 2 Method is described as well and some notable definitions for the concepts discussed in the thesis.

In chapter 3, the Partial Factor Methods are being thoroughly analyzed, that is the Design Value Method (DVM) and the Adjusted Partial Factor Method (APFM). All the essential facts of the methods are listed, as well as the calculating method of the partial factors and the values of the partial factors for each method.

Consequently, chapter 4, consists of the description and the solution of the two practical examples according to all the methods mentioned above. The results are presented and compared for all case studies, for each example.

What is more, chapter 6, presents the conclusions based on the results of the previous chapter.

Finally, the references and the appendix are included.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1	ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	1
1.2	ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	2
2	ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ- ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	3
2.1	ΟΡΙΣΜΟΙ	3
2.2	ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ.....	4
2.3	ΚΑΝ. ΕΠΕ.....	7
2.3.1	ΓΕΝΙΚΑ.....	7
2.3.2	ΣΤΑΘΜΕΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	7
2.3.3	ΑΡΧΕΣ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ.....	8
2.3.3.1	ΓΕΝΙΚΑ	8
2.3.3.2	ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΑΝΙΣΩΣΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ.....	8
2.3.4	ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ.....	9
2.3.4.1	ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ	9
2.3.5	ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ.....	10
2.3.5.1	ΓΙΑ ΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΑ	10
2.3.5.2	ΓΙΑ ΤΙΣ ΔΡΑΣΕΙΣ (ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ)	10
2.3.5.3	ΓΙΑ ΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ (ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ)	10
2.3.5.4	ΓΙΑ ΤΙΣ ΤΥΧΗΜΑΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ (ΣΕΙΣΜΟΣ).....	11
2.3.5.5	ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ.....	11
2.3.6	ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ	11
2.3.6.1	ΔΙΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ.....	11
2.3.6.2	ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΛΙΚΩΝ ΔΟΜΗΣΗΣ.....	11
2.4	ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ ΕΠΙΠΔΟΥ ΙΙ.....	12
2.4.1	ΒΑΣΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ & ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ.....	12
2.4.2	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΗ ΚΑΝΟΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ.....	14
3	ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΓΙΑ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ (ΠΡΟΤΑΣΗ ΑΠΟ FIB)	15
3.1	ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΙΜΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ (DESIGN VALUE METHOD).....	15
3.1.1	ΓΕΝΙΚΑ.....	15
3.1.2	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΥΛΙΚΟΥ γ_M	15
3.1.2.1	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ γ_{Rd}	16
3.1.2.2	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΥΛΙΚΟΥ γ_m	17
3.1.3	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΟΝΙΜΩΝ ΔΡΑΣΕΩΝ γ_G	18
3.1.3.1	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ $\gamma_{Ed,G}$	18
3.1.3.2	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΝΙΜΟ ΦΟΡΤΙΟ γ_g	20

3.1.4	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ γ_Q	21
3.1.4.1	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ $\gamma_{Ed,Q}$	21
3.1.4.2	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΑ ΦΟΡΤΙΑ γ_q	21
3.2	Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ (Adjusted Partial Factor Method-ARFM).....	24
3.2.1	ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	24
3.2.1.1	ΓΕΝΙΚΑ.....	24
3.2.1.2	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	25
3.2.2	ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΓΙΑ ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ.....	27
3.2.2.1	ΓΕΝΙΚΑ.....	27
3.2.2.2	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ28	
3.2.3	ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ.....	29
3.2.3.1	ΓΕΝΙΚΑ.....	29
3.2.3.2	ΜΕΘΟΔΟΣ Α.....	30
3.2.3.3	ΜΕΘΟΔΟΣ Β.....	34
3.2.4	ΣΥΝΟΨΗ ΤΩΝ ΣΧΕΣΕΩΝ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΩΝ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ	37
4	ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	39
4.1	ΓΕΝΙΚΑ	39
4.2	ΠΡΩΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ.....	39
4.2.1	ΓΕΝΙΚΑ	39
4.2.2	ΔΡΑΣΕΙΣ.....	40
4.2.3	ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ.....	41
4.2.4	ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ.....	43
4.2.5	ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΙΙ.....	44
4.3	ΔΕΥΤΕΡΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ.....	53
4.3.1	ΓΕΝΙΚΑ	53
4.3.2	ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	57
4.3.3	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΤΙΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ DVM ΚΑΙ ARFM.....	59
4.3.4	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ	65
4.3.4.1	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 1 (ΒΑΣΙΚΗ).....	66
4.3.4.2	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 2 (ΔΙΠΛΑΣΙΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΕΣ)	73
4.3.4.3	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 3 (ΜΙΣΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΕΣ).....	80
4.3.4.4	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ.....	88
4.3.5	ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΥΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΤΟΥ ΚΑΝ.ΕΠΕ.	95
4.3.6	ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΙΙ	99
4.3.7	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΜΕΘΟΔΩΝ DVM, ARFM ΚΑΙ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΙΙ.....	108
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	113

5.1	ΓΕΝΙΚΑ.....	113
5.2	ΠΡΩΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ.....	113
5.2.1	ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΒΑΣΕΙ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ DVM-ARFM-EN 1990:2002.....	113
5.2.2	ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΟΚΟΥ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΙΙ.....	114
5.3	ΔΕΥΤΕΡΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ.....	115
5.3.1	ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ DVM ΚΑΙ ARFM	115
5.3.2	ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΤΟΥΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΤΟΥ ΚΑΝ.ΕΠΕ.	115
5.3.3	ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΙΙ	115
5.4	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ DVM ΚΑΙ ARFM.....	116
5.4.1	ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	116
5.4.2	ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ DVM ΚΑΙ ARFM.....	117
6	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	118
7	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	120
7.1	ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΩΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΓΙΑ $\chi=0.20$ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΙΙ ΓΙΑ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ EN 1990.....	120
7.2	ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΗΣ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 1, ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ DVM (ΓΙΑ $t_{ref}=15$ χρόνια και $\beta=2.8$).....	125
7.2.1	ΕΠΙΛΥΣΗ ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ DVM (ΟΠΩΣ ΠΡΟΤΕΙΝΕΤΑΙ ΑΠΟ FIB)	126
7.2.2	ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΙΙ.....	131

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Με το πέρασμα του χρόνου, τα κτίρια παρουσιάζουν είτε φυσικές φθορές, είτε βλάβες λόγω εξωτερικών δράσεων. Η φυσική κυρίως φθορά που υφίσταται μια κατασκευή, εφόσον δεν υπάρχει η κατάλληλη συντήρηση και ενδεχομένως ενίσχυση της, μειώνει την αντοχή της κατασκευής. Κατά συνέπεια, ένας προοδευτικά αυξανόμενος αριθμός υφιστάμενων κατασκευών, διαπιστώνεται ότι χρήζουν επεμβάσεων. Κατασκευαστικές παρεμβάσεις μπορεί επίσης να χρειαστούν σε περίπτωση αλλαγής στη χρήση, ανησυχίας για ελαττωματικά οικοδομικά υλικά ή μεθόδους κατασκευής, ανακάλυψη ενός σφάλματος σχεδιασμού / κατασκευής, δομικών ζημιών μετά από ακραία γεγονότα, καταγγελιών από χρήστες σχετικά με τη λειτουργικότητα κ.λπ. [1]

Τόσο η ενίσχυση, όσο και η αποκατάσταση οικοδομικών κατασκευών, αποτελούν ένα ιδιαίτερα σημαντικό θέμα για έναν Πολιτικό Μηχανικό ειδικότερα στις μέρες μας όπου ο περισσότερος πληθυσμός καταφεύγει σε επισκευή και ενίσχυση μιας υφιστάμενης κατασκευής, αντί σε ανέγερση νέας. Οι επεμβάσεις και ο ανασχεδιασμός κτιρίων που είτε παρουσιάζουν βλάβες και χρειάζονται επισκευή, είτε χρειάζονται ενίσχυση για κάποιο λόγο, είναι σύνθετο και δύσκολο πρόβλημα, που σπεύδει ιδιαίτερης σημασίας, ενώ η ορθή επιλογή των υλικών και των μεθόδων αποκατάστασης είναι ιδιαίτερα δύσκολη εξ' αιτίας της ταχύτατης εξέλιξης της τεχνολογίας και της πληθώρας νέων υλικών που χρησιμοποιούνται στις επισκευές.

Τα τελευταία χρόνια παρουσιάζεται πολύ συχνά η ανάγκη για τον έλεγχο μιας υφιστάμενης κατασκευής καθώς και για τον σχεδιασμό και την εκτέλεση επεμβάσεων (είτε αφορούν επισκευή είτε ενίσχυση είτε συνδυασμό των δύο) σε μια υφιστάμενη κατασκευή. Λόγοι για έναν τέτοιο έλεγχο μπορεί να είναι:

- Η επιθυμία για αύξηση του επιπέδου ασφαλείας της κατασκευής (συνήθως για προσαρμογή στους νέους κανονισμούς)
- Προγραμματιζόμενη αλλαγή χρήσεως της κατασκευής (αύξηση ωφέλιμων φορτίων)
- Αποκλίσεις από την αρχική μελέτη
- Αρνητικές ενδείξεις κατά τον περιοδικό έλεγχο της κατασκευής
- Διαπίστωση σφαλμάτων κατά την μελέτη ή την εκτέλεση
- Υποψίες για χρήση ακατάλληλων υλικών ή μεθόδων κατασκευής
- Βλάβες και φθορές στον φέροντα οργανισμό μετά από σεισμό ή τυχηματικές ή άλλες δράσεις (πυρκαγιά, πρόσκρουση οχήματος)
- Αμφιβολίες ως προς την ασφάλεια μετά από βλάβες και φθορές που δεν οφείλονται σε εμφανείς αιτίες

Είναι προφανές ότι ούτε η αποτίμηση της υπάρχουσας κατασκευής αλλά και ούτε ο σχεδιασμός των επεμβάσεων μπορούν να γίνουν με τους κανονισμούς που αφορούν νέες κατασκευές. Η αιτία βρίσκεται στις διαφορές που υπάρχουν μεταξύ του σχεδιασμού μιας νέας κατασκευής και του ελέγχου μιας υφιστάμενης. Οι διαφορές βασίζονται κυρίως στον διαφορετικό βαθμό της γνώσεως ή/και της αβεβαιότητας που έχουμε για τις βασικές μεταβλητές του σχεδιασμού:

- Στις νέες κατασκευές ο σχεδιασμός βασίζεται κυρίως σε προδιαγραφόμενες ποιότητες υλικών, γεωμετρίας, και λεπτομερειών οπλίσεως. Ο μηχανικός έχει δυνατότητα ελέγχου του προσομοιώματος της κατασκευής, με μικρές αμφιβολίες όμως για το κατά πόσον το προσομοίωμα αντιστοιχεί στην πραγματική κατασκευή (για τον λόγο αυτό άλλωστε έχουμε και τους επιμέρους συντελεστές ασφαλείας)
- Στις υφιστάμενες κατασκευές υπάρχει δυνατότητα επιβεβαίωσης των γεωμετρικών διαστάσεων με αρκετή ακρίβεια, εκτιμήσεως της ποιότητας της εκτελέσεως καθώς και της ποιότητας των υλικών επί τόπου με μικρότερη ακρίβεια. Αντιθέτως, οι λεπτομέρειες οπλίσεως εικάζονται με μεγάλες αβεβαιότητες κυρίως λόγω των αφανών ελαττωμάτων.
- Το οριακό κόστος για την αύξηση της ασφάλειας υφισταμένων κατασκευών είναι πολύ μεγαλύτερο από το αντίστοιχο κόστος για την ίδια αύξηση της αντοχής μιας νέας κατασκευής.
- Η υπολειπόμενη διάρκεια ζωής για τις υφιστάμενες κατασκευές είναι μικρότερη από την διάρκεια ζωής μιας νέας κατασκευής. Τούτο θα ήταν ένας λόγος για να μειωθούν οι χαρακτηριστικές τιμές των φορτίων καθώς και η σεισμική δράση στην περίπτωση υφισταμένης κατασκευής για την οποία η υπολειπόμενη διάρκεια ζωής θα ήταν μικρότερη από την αντίστοιχη μιας νέας κατασκευής. Το ίδιο ισχύει και για τα ίδια βάρη μιας και έχουν μειωμένες αβεβαιότητες σε μια υπάρχουσα κατασκευή
- Στις επεμβάσεις ο συντελεστής συμπεριφοράς δεν μπορεί να είναι ενιαίος.

Οι κανονισμοί που χρησιμοποιούνται σήμερα για τη μελέτη στατικής επάρκειας, καθώς και την πιθανή ενίσχυση των υφισταμένων κατασκευών είναι ο EC8 Μέρος 3 (EN 1998-3), και στην Ελλάδα ο ΚΑΝ.ΕΠΕ (Κανονισμός Επεμβάσεων). Οι κανονισμοί αυτοί μεταξύ άλλων, ορίζουν τους συντελεστές ασφαλείας που χρησιμοποιούνται για την επίλυση-αξιολόγηση των κατασκευών.

1.2 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο βασικός στόχος της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η διερεύνηση κάποιων άλλων προτεινόμενων μεθόδων υπολογισμού των συντελεστών ασφαλείας για τις υφιστάμενες κατασκευές και η σύγκριση των συντελεστών που προκύπτουν από αυτές τις μεθόδους με τους συντελεστές βάσει του ΚΑΝ.ΕΠΕ και με τους συντελεστές του Ευρωκώδικα που χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό των νέων κατασκευών.

Γι' αυτό το λόγο μελετώνται συγκεκριμένα δύο μέθοδοι επιμέρους συντελεστών ασφαλείας που προτείνονται από το FIB Bulletin 80, η Μέθοδος Τιμής Σχεδιασμού- Design Value Method (DVM) και η Μέθοδος των Επιμέρους Διορθωτικών Συντελεστών Ασφαλείας- Adjusted Partial Factor Method (APFM). Επιπροσθέτως μελετάται και η πιθανοτική μέθοδος Επιπέδου 2 ώστε να συγκριθούν τα αποτελέσματα και αυτής με τα αποτελέσματα των μεθόδων που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Όλες οι μέθοδοι επιλύονται για υφιστάμενες κατασκευές.

Αναλυτικότερα, ο στόχος της μεταπτυχιακής αυτής εργασίας είναι να διερευνηθούν τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την επίλυση με τις διάφορες αυτές μεθόδους και η επιρροή της κάθε μεθόδου στο φορτίο του εκάστοτε δομικού στοιχείου μιας υφιστάμενης κατασκευής, όπως επίσης και στους συντελεστές ασφαλείας που χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό ή ακριβέστερα ανα-σχεδιασμό μιας υφιστάμενης κατασκευής που έχει είτε υποστεί διάβρωση είτε χρήζει μεταβολής στη χρήση της και επομένως απαιτείται αξιολόγησή της.

Έτσι, θα διερευνηθούν οι εναλλακτικές τιμές που μπορούν να δοθούν στους συντελεστές ασφαλείας για τις υφιστάμενες κατασκευές και η επιρροή της αλλαγής των συντελεστών αυτών στο σχεδιασμό της κατασκευής, καθώς και οι διαφορές που προκύπτουν σε σχέση με το σχεδιασμό των νέων κατασκευών με βάση τον Ευρωκώδικα, όπως και οι διαφορές που προκύπτουν εφαρμόζοντας άλλους ισχύοντες κανονισμούς για τις υφιστάμενες κατασκευές, δηλαδή τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.

2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ- ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1 ΟΡΙΣΜΟΙ

Διορθωτικός Συντελεστής: Συντελεστής που συσχετίζει τον επιμέρους συντελεστή μιας βασικής μεταβλητής για την αξιολόγηση των υφισταμένων κατασκευών με τον επιμέρους συντελεστή που εφαρμόζεται στο σχεδιασμό νέων κατασκευών και για να λάβει υπόψη τη διαφορετική περίοδο επαναφοράς, τη στοχευόμενη αξιοπιστία και το συντελεστή μεταβλητότητας. [2]

Αξιολόγηση: Μια σειρά δραστηριοτήτων που εκτελούνται για να επαληθευτεί η αξιοπιστία μιας υφιστάμενης κατασκευής. [2]

Χαρακτηριστική τιμή X_k : Είναι εκείνη η τιμή η οποία αντιστοιχεί σε μια προκαθορισμένη πιθανότητα υπερβάσεώς της (ή υποσκελίσεώς της) μέσα σε έναν επίσης προκαθορισμένο χρόνο:

$$P(X \leq X_k) = P_k$$

Για μεν τις αντοχές ορίζεται ένα χαμηλό ποσοστμόριο (π.χ. 5%) ενώ για τις δράσεις ορίζεται ένα υψηλό ποσοστμόριο (π.χ. 95%). Έτσι π.χ. σκυρόδεμα ποιότητας 20MPa σημαίνει ότι μόνο το 5% των δοκιμών θα δώσουν αντοχή μικρότερη από 20MPa. Ονομαστικό φορτίο 200kg/m² σημαίνει ότι μόνο στο 5% των φορτίσεων θα έχουμε τιμές πάνω από 200kg/m². [3]

Μέση τιμή (μηχανικό ανάλογο: κέντρο βάρους): Η μέση τιμή μιας τ.μ. X συμβολίζεται m_x ή $E(X)$ και ορίζεται ως:

$$\text{για τις διακριτές τυχαίες μεταβλητές: } m_x = \sum_{\forall x_i} x_i \cdot P_x(x_i)$$

$$\text{για τις συνεχείς τυχαίες μεταβλητές: } m_x = \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot f_x(x) dx$$

Παρατηρούμε ότι υπάρχει αναλογία της μέσης τιμής μιας τυχαίας μεταβλητής m_x με την μέση τιμή X_m των μετρήσεων:

$$m_x = \sum_{i=1}^n x_i \cdot P_x(x_i) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot \frac{1}{n} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i = X_m$$

Αλλά όμως: άλλο η μέση τιμή X_m των n μετρήσεων και άλλο η μέση τιμή m μιας τ.μ. της οποίας μετρήθηκαν n τιμές. Το X_m είναι μία εκτιμήτρια του m_X . Όσο ο αριθμός των μετρήσεων αυξάνει (δηλαδή το n τείνει προς το άπειρο) τόσο η τιμή X_m θα "τείνει με μεγάλη πιθανότητα" στην m_X . [3]

Διασπορά (μηχανικό ανάλογο: ροπή αδρανείας): Η διασπορά μιας τ.μ. X συμβολίζεται σ_X^2 ή $Var(X)$ και ορίζεται ως:

$$\text{για τις διακριτές: } \sigma_X^2 = Var(X) = \sum_{\forall x_i} (x_i - m_X)^2 \cdot P_X(x_i)$$

$$\text{για τις συνεχείς: } \sigma_X^2 = Var(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} \sum_{\forall x_i} (x_i - m_X)^2 \cdot f_X(x_i) d(x)$$

Όσο μικρότερη η διασπορά σ_X^2 , τόσο μικρότερη η αβεβαιότητα. Στο όριο $\sigma_X^2=0$ σημαίνει ότι η X δεν είναι τ.μ., αλλά έχει μια σταθερή τιμή.

Η μέση τιμή και η διασπορά λέγονται και ροπές 1ης και 2ης τάξεως αντίστοιχα. [3]

Τυπική απόκλιση: είναι η θετική τετραγωνική ρίζα της διασποράς:

$$\sigma_X = \sqrt{\sigma_X^2} = \sqrt{Var(X)},$$

έχει τις ίδιες διαστάσεις με την τ.μ. X και συγκρίνεται εύκολα με την μέση τιμή. Ο λόγος τους ονομάζεται συντελεστής διασποράς: $k_X = \frac{\sigma_X}{m_X}$

π.χ. ο συντελεστής διασποράς k_X της αντοχής σκυροδέματος ενός εργοταξίου θεωρείται συχνά σταθερός για τις διάφορες ποιότητες σκυροδέματος: ένα εργοτάξιο με "καλή" επίβλεψη μπορεί να παράγει σκυρόδεμα με $k_X = 0,10$ που σημαίνει ότι για B300 (μέση αντοχή 300 kg/cm² η τυπική απόκλιση θα είναι 30 kg/cm²). [3]

Επιμέρους Συντελεστής: το ποσοστό της τιμής σχεδιασμού προς τη χαρακτηριστική τιμή για τις μεταβλητές με δυσμενή επίδραση στην αξιοπιστία της κατασκευής, το ποσοστό της χαρακτηριστικής τιμής προς την τιμή σχεδιασμού για τις μεταβλητές με ευμενή επίδραση στην αξιοπιστία της κατασκευής. [2]

Περίοδος Επαναφοράς: η επιλεγμένη χρονική περίοδος που χρησιμοποιείται ως βάση στον προσδιορισμό των τιμών των μεταβλητών δράσεων, των ιδιοτήτων των υλικών που εξαρτώνται από το χρόνο, κλπ. και χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό και /ή την επαλήθευση του στοχευόμενου επιπέδου αξιοπιστίας. [2]

Αξιοπιστία: η ικανότητα μιας κατασκευής ή ενός μέλους της κατασκευής να ικανοποιεί τις απαιτήσεις για τη λειτουργία της, συμπεριλαμβανομένης της απαιτούμενης εναπομένουσας ζωής του έργου. Η αξιοπιστία συνήθως εκφράζεται με πιθανοτικούς όρους. [2]

Σημείωση: η αξιοπιστία καλύπτει την ασφάλεια, τη χρηστικότητα και την αντοχή μιας κατασκευής.

Εναπομένουσα διάρκεια ζωής: η περίοδος στην οποία μια υπάρχουσα κατασκευή αναμένεται να λειτουργήσει με την προβλεπόμενη επισκευή. [2]

Στοχευόμενο επίπεδο αξιοπιστίας: το επίπεδο αξιοπιστίας που χρειάζεται για να εξασφαλιστεί η αποδεκτή ασφάλεια ή χρηστικότητα. [2]

2.2 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ

Ο EN 1990 περιγράφει τη μέθοδο που πρέπει να ακολουθηθεί για τον υπολογισμό των μεγεθών σχεδιασμού (δράσεων-αντιστάσεων), ώστε να ισχύει η ανίσωση ασφαλείας. Πιο συγκεκριμένα, ορίζονται οι τιμές σχεδιασμού για όλες τις βασικές μεταβλητές. Ο σχεδιασμός είναι επαρκής όταν δεν παραβιάζεται η ανίσωση ασφαλείας, δηλαδή όταν ισχύει $E_d < R_d$

Όπου ο δείκτης «d» αναφέρεται στις τιμές σχεδιασμού. Αυτός είναι ένας πρακτικός τρόπος να διασφαλιστεί ότι ο δείκτης αξιοπιστίας β είναι ίσος ή μεγαλύτερος από τη στοχευόμενη τιμή, όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα του EN 1990.

Πίνακας 2-1: Στοχευόμενος Τιμή Δείκτη Αξιοπιστίας β για Τάξη RC2 για τα μέλη του στατικού φορέα [4]

Table C2 - Target reliability index β for Class RC2 structural members¹⁾

Limit state	Target reliability index	
	1 year	50 years
Ultimate	4,7	3,8
Fatigue		1,5 to 3,8 ²⁾
Serviceability (irreversible)	2,9	1,5
¹⁾ See Annex B		
²⁾ Depends on degree of inspectability, reparability and damage tolerance.		

Οι τιμές σχεδιασμού E_d και R_d μπορούν να εκφραστούν ως εξής:

$$E_d = E \{F_{d1}, F_{d2}, \dots, \alpha_{d1}, \alpha_{d1}, \dots, \theta_{d1}, \theta_{d2}, \dots\}$$

$$R_d = R \{X_{d1}, X_{d2}, \dots, \alpha_{d1}, \alpha_{d1}, \dots, \theta_{d1}, \theta_{d2}, \dots\}$$

Όπου:

E είναι το αποτέλεσμα της δράσης

R είναι η αντίσταση

F είναι μία δράση

X είναι η ιδιότητα ενός υλικού

α είναι μια γεωμετρική ιδιότητα

θ είναι η αβεβαιότητα του προσομοιώματος

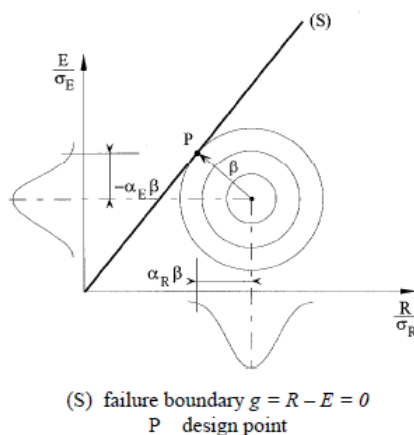


Figure C2 - Design point and reliability index β according to the first order reliability method (FORM) for Normally distributed uncorrelated variables

Σχήμα 2-1: Σημείο σχεδιασμού και δείκτης αξιοπιστίας σύμφωνα με τον EN 1990 [4]

Οι τιμές σχεδιασμού βασίζονται στις τιμές των βασικών μεταβλητών στο σημείο σχεδιασμού, που υπολογίζεται με την μέθοδο αξιοπιστίας πρώτης τάξης, που προσδιορίζεται ως το σημείο στην επιφάνεια αστοχίας ($g=0$) που είναι πιο κοντά στη μέση τιμή των κανονικοποιημένων μεταβλητών (όπως φαίνεται και από το προηγούμενο σχήμα).

Οι τιμές σχεδιασμού των δράσεων E_d και των αντιστάσεων R_d μπορούν να προσδιοριστούν ως η πιθανότητα μη υπέρβασης ως εξής:

$$P(E > E_d) = \Phi(+a_E \beta)$$

$$P(R \leq R_d) = \Phi(-a_R \beta)$$

Όπου:

β είναι η στοχευόμενη αξιοπιστία

a_E και a_R , με $|a| \leq 1$, είναι οι τιμές των συντελεστών ευαισθησίας. Η τιμή του a είναι αρνητική για τις δυσμενείς δράσεις και θετική για τις αντιστάσεις.

Τα a_E και a_R μπορούν να θεωρηθούν $-0,7$ και $0,8$ αντίστοιχα και

$$0,16 < \sigma_E / \sigma_R < 7,6$$

Όπου τα σ_E και σ_R είναι οι τυπικές αποκλίσεις των δράσεων και των αντιστάσεων αντίστοιχα. Έτσι προκύπτει ότι:

$$P(E > E_d) = \Phi(-0,7 \beta)$$

$$P(R \leq R_d) = \Phi(-0,8 \beta)$$

Όπου η σχέση $0,16 < \sigma_E / \sigma_R < 7,6$ δεν ικανοποιείται, χρησιμοποιείται η τιμή $a = \pm 1,0$ για τη μεταβλητή με τη μεγαλύτερη τυπική απόκλιση και $a = \pm 0,4$ για τη μεταβλητή με τη μικρότερη τυπική απόκλιση.

Όταν το προσομοίωμα των δράσεων περιέχει πολλές βασικές μεταβλητές, τότε για τις δευτερεύουσες δράσεις ορίζεται ο εξής τύπος:

$$P(E > E_d) = \Phi(-0,4 \times 0,7 \times \beta) = \Phi(-0,28 \beta)$$

Για τον υπολογισμό των τιμών σχεδιασμού των μεταβλητών με δεδομένη την κατανομή τους χρησιμοποιείται ο ακόλουθος πίνακας του EN 1990.

Πίνακας 2-2: Τιμές σχεδιασμού για διάφορες κατανομές [4]

Table C3 - Design values for various distribution functions

Distribution	Design values
Normal	$\mu - \alpha \beta \sigma$
Lognormal	$\mu \exp(-\alpha \beta V)$ for $V = \sigma / \mu < 0,2$
Gumbel	$u - \frac{1}{a} \ln\{-\ln \Phi(-\alpha \beta)\}$ where $u = \mu - \frac{0,577}{a}$; $a = \frac{\pi}{\sigma \sqrt{6}}$

Μια μέθοδος υπολογισμού του σχετικού επιμέρους συντελεστή είναι να διαιρεθεί η τιμή σχεδιασμού μιας μεταβλητής δράσης δια την αντιπροσωπευτική τιμή ή τη χαρακτηριστική τιμή. [4]

2.3 ΚΑΝ. ΕΠΕ.

2.3.1 ΓΕΝΙΚΑ

α. Ο σχεδιασμός, η κατασκευή και η χρήση ενός δομήματος έναντι συνδυασμών δράσεων στις οποίες περιλαμβάνονται τυχηματικές δράσεις, όπως ο σεισμός, γίνεται με τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η ικανοποίηση, εν όλω ή εν μέρει, των ακολούθων απαιτήσεων, αναλόγως της στάθμης επιτελεστικότητας:

- Η πιθανότητα κατάρρευσης του δομήματος (ή τμημάτων του) να είναι επαρκώς μικρή
- Οι βλάβες σε στοιχεία του φέροντος οργανισμού υπό τη δράση σχεδιασμού να είναι περιορισμένες και επιδιορθώσιμες
- Οι βλάβες για δράσεις μικρότερης έντασης να ελαχιστοποιούνται, και
- Να διασφαλίζεται μια ελάχιστη στάθμη λειτουργιών του δομήματος, ανάλογα με τη χρήση και τη σημασία του.

β. Τα υφιστάμενα δομήματα:

- Αντικατοπτρίζουν τον βαθμό γνώσεων κατά το χρονικό διάστημα που μελετήθηκαν και κατασκευάστηκαν
- Πιθανώς εμπεριέχουν αφανή σφάλματα, ενώ
- Ενδέχεται να έχουν υποστεί άγνωστες καταπονήσεις και επιδράσεις.

Για νέες κατασκευές σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς, ο σεισμός σχεδιασμού έχει πιθανότητα 10% υπέρβασης στη σκοπούμενη τεχνική διάρκεια των συνήθων έργων, ίση με 50 έτη.

Κατά τις επεμβάσεις για ενίσχυση ή επισκευή υφισταμένων έργων πρέπει να επιλέγεται, μεταξύ των άρτιων τεχνικά λύσεων, εκείνη που οδηγεί σε βελτιστοποίηση του κόστους επέμβασης και σε μείωση τυχόν σχετικών μελλοντικών δαπανών (συναρτήσει και της απομένουσας ζωής του δομήματος).

Για την εκτίμηση της διαθέσιμης φέρουσας ικανότητας του δομήματος θα λαμβάνονται υποχρεωτικώς υπόψη και τα στοιχεία που προέκυψαν από την έρευνα του ιστορικού του

Μια από τις βασικές έννοιες που εισάγονται στον ΚΑΝΕΠΕ είναι και η Στάθμη Αξιοπιστίας - Δεδομένων (Σ.Α.Δ.) η οποία εκφράζει την επάρκεια των πληροφοριών περί του εξεταζόμενου κτηρίου. Διακρίνονται τρεις Σ.Α.Δ. (υψηλή, ικανοποιητική και ανεκτή) συναρτήσει των οποίων επιλέγονται οι αριθμητικές τιμές των επιμέρους συντελεστών ασφαλείας των δράσεων και των υλικών καθώς και η μέθοδος ανάλυσης. Προσδιορίζονται επιμέρους Σ.Α.Δ. για τις διάφορες επιμέρους κατηγορίες πληροφοριών: μηχανικά χαρακτηριστικά υλικών (σκυρόδεμα, χάλυβας, τοιχοποιία), γεωμετρικά χαρακτηριστικά (γεωμετρία θεμελίωσης, ανωδομής, τοιχοπληρώσεων, επιστρώσεων), χαρακτηριστικά όπλισης (διάταξη και διάμετρος των ράβδων, αγκυρώσεις, παραθέσεις, αναμονές, κλείσιμο συνδετήρων). Η Σ.Α.Δ. δεν είναι αναγκαστικώς ενιαία για ολόκληρο το κτίριο.

Κριτήριο για τον καθορισμό της στάθμης αξιοπιστίας ενός μεγέθους είναι πρακτικώς η ποσότητα και ποιότητα των διατιθέμενων πληροφοριών. Οι πληροφορίες αυτές μπορεί να προέρχονται ήδη από την φάση της μελέτης και εκτέλεσης του έργου, αλλά και από πληροφορίες που θα συλλεγούν ειδικώς για τις ανάγκες της επεμβάσεως από μετρήσεις και ελέγχους που θα γίνουν επιτόπου του έργου. Τέτοιες πληροφορίες μπορεί να αφορούν τις μηχανικές και άλλες ιδιότητες των υλικών, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, την ύπαρξη κακοτεχνιών κλπ. [5]

2.3.2 ΣΤΑΘΜΕΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ [6]

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη υποενότητα στον ΚΑΝ.ΕΠΕ διακρίνονται τρεις Στάθμες Αξιοπιστίας Δεδομένων. Αυτές είναι οι εξής:

- Υψηλή
- Ικανοποιητική
- Ανεκτή

Η στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων (Σ.Α.Δ.) που αφορά δράσεις ή αντιστάσεις, εκφράζει την επάρκεια των πληροφοριών περί του υφιστάμενου κτιρίου και λαμβάνεται υπόψη κατά την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό.

Η Σ.Α.Δ. δεν είναι αναγκαστικώς ενιαία για ολόκληρο το κτίριο. Προσδιορίζονται επιμέρους Σ.Α.Δ. για τις διάφορες επιμέρους κατηγορίες πληροφοριών. Για την επιλογή των μεθόδων ανάλυσης θα χρησιμοποιείται η δυσμενέστερη από τις επιμέρους Σ.Α.Δ.

Ανάλογα με την αξιοπιστία των δεδομένων:

- Επιλέγονται οι κατάλληλοι συντελεστές ασφαλείας γ_f για ορισμένες δράσεις με αβέβαιες τιμές, σε συνδυασμό με τους κατάλληλους γ_{sd}
- Επιλέγονται οι κατάλληλοι συντελεστές ασφαλείας γ_m για τα δεδομένα των υφιστάμενων υλικών, σε συνδυασμό με τους κατάλληλους γ_{Rd}

Κρίσιμος όροφος νοείται εκείνος στον οποίο αναμένεται η δυσμενέστερη καταπόνηση λόγω σεισμού. Στις συνθήκες περιπτώσεις κρίσιμος όροφος είναι ο κατώτερος (ισόγειο), ιδίως σε περιπτώσεις pilotis.

2.3.3 ΑΡΧΕΣ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ [6]

2.3.3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στις περιπτώσεις δομημάτων που ήδη παρουσιάζουν βλάβες ή φθορές, η εφαρμοζόμενη μέθοδος αποτίμησης οφείλει να μπορεί να ερμηνεύσει κατά αδρομερή προσέγγιση τόσο τη μορφή όσο και τη θέση των ουσιωδών αυτών βλαβών. Σε δομήματα μεγάλης σημασίας, στα οποία έχουν διαπιστωθεί βλάβες, ενδέχεται να απαιτηθούν παραμετρικές αναλύσεις προκειμένου να επιτευχθεί η ερμηνεία των βλαβών αυτών.

Οι στόχοι αποτίμησης ή ανασχεδιασμού αποτελούν συνδυασμούς αφενός μιας στάθμης επιτελεστικότητας και αφετέρου μιας σεισμικής δράσης, με δεδομένη «ανεκτή πιθανότητα υπέρβασης κατά την τεχνική διάρκεια ζωής του κτιρίου» (σεισμός σχεδιασμού).βλαβών κατά μορφή και θέση.

Η πιθανότητα υπέρβασης 50% (μέγιστη ανεκτή) σε 50 έτη αντιστοιχεί σε μέση περίοδο επαναφοράς περίπου 70 ετών, ενώ η πιθανότητα υπέρβασης 10% σε 50 έτη αντιστοιχεί σε μέση περίοδο επαναφοράς περίπου 475 ετών.

Απαιτείται όσο γίνεται μεγαλύτερη ικανότητα κατανάλωσης σεισμικής ενέργειας (πλαστιμότητα) μετά την επέμβαση.

Στρατηγικές τεχνικού χαρακτήρα

- Αύξηση της αντοχής του κτιρίου
- Αύξηση της δυσκαμψίας του κτιρίου
- Αύξηση της ικανότητας παραμόρφωσης των μελών
- Διόρθωση κρίσιμων ανεπαρειών και μη-κανονικοτήτων
- Μείωση των σεισμικών απαιτήσεων
- Απόφαση για «καμία επέμβαση». Στην περίπτωση αυτή μπορεί να γίνει αποδεκτή και μια μείωση της απομένουσας τεχνικής διάρκειας ζωής του δομήματος, υπό τον όρο ότι η μετά ταύτα κατεδάφιση του κτιρίου είναι εγγυημένη.

2.3.3.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΑΝΙΣΩΣΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

A) ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Ο έλεγχος ασφαλείας, εκτελούμενος σε κατάλληλο κατά περίπτωση μέλος ή τμήμα ή στο σύνολο του δομήματος, οφείλει να αποδείξει ότι το επιβαλλόμενο κρίσιμο μέγεθος (εντατικό ή και παραμορφωσιακό) είναι αξιόπιστα μικρότερο από την αντίστοιχη ικανότητα.

B) ΑΝΙΣΩΣΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Η ανίσωση ασφαλείας που εφαρμόζεται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. κατά την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό υφιστάμενων δομημάτων, έχει την ίδια γενική μορφή που προβλέπεται στους Ευρωκώδικες.

$$S_d < R_d, \text{ με}$$

$$S_d = \gamma_{sd} \cdot S (S_k \cdot \gamma_f) \text{ και}$$

$$R_d = (1/\gamma_{Rd}) \cdot R (R_k/\gamma_m),$$

Όπου:

S_d : οι τιμές σχεδιασμού (και επανελέγχου) των εντατικών ή παραμορφωσιακών μεγεθών που προκαλούνται από τις δράσεις

R_d : οι τιμές σχεδιασμού (και επανελέγχου) των διαθέσιμων αντίστοιχων αντιστάσεων (εντατικών ή παραμορφωσιακών μεγεθών)

S_k : οι αντιπροσωπευτικές τιμές των βασικών και τυχηματικών δράσεων, για τις οποίες υπάρχει ορισμένη πιθανότητα υπερβάσεως σε 50 έτη

R_k : οι αντιπροσωπευτικές τιμές των ιδιοτήτων των υλικών που διαμορφώνουν τις αντιστάσεις και έχουν ορισμένη πιθανότητα υποσκελίσεως

γ_f, γ_m : Οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας για τις δράσεις και τις ιδιότητες των υλικών, με τους οποίους λαμβάνονται υπόψη οι ενδεχόμενες δυσμενείς αποκλίσεις των αντίστοιχων μεταβλητών από τις αντιπροσωπευτικές τιμές.

γ_{sd}, γ_{Rd} : Οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας με τους οποίους λαμβάνονται υπόψη οι αυξημένες (σε σχέση με το σχεδιασμό νέων κτιρίων) αβεβαιότητες των προσομοιωμάτων, μέσω των οποίων εκτιμώνται οι συνέπειες των δράσεων και οι κάθε είδους αντιστάσεις, αντιστοίχως.

Αξίζει να σημειωθεί ότι για τα νέα κτίρια οι συντελεστές αυτοί δεν παρουσιάζονται αυτοτελώς, αλλά είναι ενσωματωμένοι στους γ_f (γ_g ή γ_a) και στους γ_m (γ_c ή γ_s). Για τα υπό επανέλεγχο υφιστάμενα κτίρια, ορισμένα προσομοιώματα εμπεριέχουν αβεβαιότητες στη μαθηματική έκφραση των αντίστοιχων φυσικών φαινομένων, οι οποίες οφείλουν να αντισταθμιστούν με κατάλληλους συντελεστές ασφαλείας γ_{sd} και γ_{Rd} έναντι αβεβαιότητας προσομοιωμάτων.

Στα υφιστάμενα δομήματα δεν έχουν εν γένει τηρηθεί οι απαιτήσεις ικανοτικού σχεδιασμού, περιορισμού αξονικής δύναμης, τοπικής περίσφιγξης κ.λπ. που ζητούνται για τις νέες κατασκευές. Συνέπεια του γεγονότος αυτού είναι η δυσχέρεια εκτίμησης ενός συνολικού διαθέσιμου δείκτη συμπεριφοράς.

2.3.4 ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ [6]

2.3.4.1 ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Προεκτιμώνται οι διαστάσεις και οι αντοχές των προστιθεμένων υλικών, καθώς και οι τροποποιημένες δυσκαμψίες των δομικών στοιχείων στα οποία γίνεται η επέμβαση.

Προεκτιμάται η κατηγορία πλαστιμότητας στην οποία θα εμπίπτει το δόμημα μετά την επέμβαση ή (στην περίπτωση εφαρμογής στατικής ανελαστικής ανάλυσης) προεκτιμάται η

τάξη μεγέθους της στοχευόμενης μετακίνησης ή των ανεκτών γωνιών στροφής του συνόλου των δομικών στοιχείων μετά την επέμβαση.

2.3.5 ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ [6]

2.3.5.1 ΓΙΑ ΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΑ

Για τα προσομοιώματα ανάλυσης και συμπεριφοράς, καθώς και για τους ελέγχους, χρησιμοποιούνται κατάλληλοι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας γ_{sd} και γ_{Rd} για να ληφθούν υπόψη οι αυξημένες αβεβαιότητες που τα συνοδεύουν

Όταν το σύνολο σχεδόν των σεισμικών δράσεων αναλαμβάνεται κυρίως από νέους, ικανούς και επαρκείς φορείς, λαμβάνεται γενικώς $\gamma_{sd}=1,00$

Όταν οι σεισμικές δράσεις αναλαμβάνονται και από το υφιστάμενο δόμημα (ή μόνο από αυτό) και δε γίνονται παραμετρικές διερευνήσεις και έλεγχοι (έτσι ώστε να εκτιμηθεί η ενδεχόμενη ευαισθησία έναντι μεταβαλλόμενων τιμών ορισμένων παραμέτρων), οι τιμές γ_{sd} που θα χρησιμοποιούνται εξαρτώνται από τη σοβαρότητα (την ένταση) και την έκταση των βλαβών ή/και των επεμβάσεων (ανεξαρτήτως μεθόδου ανάλυσης).

Επίσης, όσον αφορά την ελαστική ανάλυση, στατική ή δυναμική, επιτρέπεται εφαρμογή της μόνο για σκοπούς αποτίμησης, ανεξαρτήτως ισχύος των προϋποθέσεων εφαρμογής, αν οι συντελεστές γ_{sd} επαυξηθούν κατά 0,15 (δηλ. $\gamma_{sd,ελ} = \gamma_{sd} + 0,15$).

Όταν δε διατίθενται ακριβέστερα στοιχεία, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τιμές γ_{sd} κατά τον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας Σ 4.2: Τιμές του συντελεστή γ_{sd}

Έντονες και εκτεταμένες βλάβες ή / και επεμβάσεις	Ελαφρές και τοπικές βλάβες ή / και επεμβάσεις	Χωρίς βλάβες και χωρίς επεμβάσεις
$\gamma_{sd}=1,20$	$\gamma_{sd}=1,10$	$\gamma_{sd}=1,00$

Βλ. και Παράρτημα 7Δ περί βλαβών και φθορών.

2.3.5.2 ΓΙΑ ΤΙΣ ΔΡΑΣΕΙΣ (ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ)

Για τις μεταβλητές δράσεις χρησιμοποιούνται γενικώς οι καθιερωμένες τιμές γ_f και ψ_i κατά τους Κανονισμούς.

Ανάλογα με τη στάθμη αξιοπιστίας των γεωμετρικών δεδομένων των υφιστάμενων στοιχείων, οι τιμές γ_g για τις μόνιμες δράσεις θα λαμβάνονται ως εξής:

- Για τους βασικούς συνδυασμούς και για τις δυσμενείς επιρροές της δράσης
 - Ικανοποιητική ΣΑΔ $\gamma_g=1,35$
 - Ανεκτή ή υψηλή ΣΑΔ $\gamma_g=1,50$ ή $1,20$ αντιστοίχως
- Για τις υπόλοιπες περιπτώσεις συνδυασμών και επιρροών της δράσης
 - Ικανοποιητική ΣΑΔ $\gamma_g=1,10$
 - Ανεκτή ή υψηλή ΣΑΔ $\gamma_g=1,20$ ή $1,00$ αντιστοίχως

Για τα νέα στοιχεία, τις νέες κατασκευές κλπ χρησιμοποιούνται γενικώς οι καθιερωμένες τιμές γ_g .

2.3.5.3 ΓΙΑ ΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ (ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ)

Για τα υφιστάμενα υλικά όταν η αντιπροσωπευτική τιμή είναι ίση με τη μέση μείον μία τυπική απόκλιση, ισχύουν τα εξής:

Για ικανοποιητική στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων, οι τιμές γ_m θα λαμβάνονται: $\gamma_c=1,30$ και $\gamma_s=1,15$.

Για ανεκτή στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων, οι τιμές γ_m θα λαμβάνονται αυξημένες σε σχέση με αυτές που προβλέπονται για την ικανοποιητική στάθμη.

Αν δεν υπάρχουν ακριβέστερα στοιχεία, μπορούν να ληφθούν υπόψη οι εξής τιμές:

$\gamma_c=1,45$ και $\gamma_s=1,25$.

Για υψηλή στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων, οι τιμές γ_m θα λαμβάνονται μειωμένες σε σχέση με αυτές που προβλέπονται για την ικανοποιητική στάθμη.

Αν δεν υπάρχουν ακριβέστερα στοιχεία, μπορούν να ληφθούν υπόψη οι εξής τιμές:

$\gamma_c=1,15$ και $\gamma_s=1,05$.

Όταν οι υφιστάμενες τοιχοπληρώσεις λαμβάνονται υπόψη στην αποτίμηση ή στον ανασχεδιασμό, τότε οι τιμές γ_m θα διαμορφώνονται αναλόγως της στάθμης αξιοπιστίας δεδομένων.

2.3.5.4 ΓΙΑ ΤΙΣ ΤΥΧΗΜΑΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ (ΣΕΙΣΜΟΣ)

Για την κύρια τυχηματική δράση για πιθανότητα υπερβάσεως 10% εντός του συμβατικού χρόνου των 50 ετών, λαμβάνεται υπόψη η σεισμική δράση του ΕΚ 8-1, ενώ για πιθανότητα υπερβάσεως 50% εντός του συμβατικού χρόνου των 50 ετών, λαμβάνεται υπόψη το 60% της σεισμικής δράσης του ΕΚ 8-1, θεωρώντας αντίστοιχα και στις δύο περιπτώσεις το συντελεστή σπουδαιότητας γ_I ίσο με τη μονάδα.

2.3.5.5 ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ

Αν ο έλεγχος ασφαλείας γίνεται σε όρους εντατικών μεγεθών («δυνάμεων»), οι ιδιότητες των υφισταμένων υλικών συγκεκριμένου (επιμέρους) δομικού στοιχείου αντιπροσωπεύονται γενικών με τις μέσες τιμές τους μειωμένες κατά μια τυπική απόκλιση.

Αν ο έλεγχος ασφαλείας γίνεται σε όρους παραμορφωσιακών μεγεθών (μετακινήσεων, στροφών κλπ), οι ιδιότητες των υλικών αντιπροσωπεύονται γενικώς με τις μέσες τιμές τους.

2.3.6 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ [6]

2.3.6.1 ΔΙΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Οι διερευνητικές εργασίες αποβλέπουν στη συγκέντρωση στοιχείων τα οποία μπορεί να είναι χρήσιμα για την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας του κτιρίου διακρίνονται διάφορα τμήματα της διερεύνησης, ανάλογα με το είδος του εξεταζόμενου στοιχείου:

- Αποτύπωση αφανών στοιχείων
- Χαρακτηριστικά των υλικών και του τρόπου δόμησης
- Έδαφος θεμελιώσης
- Άλλοι παράγοντες

Για την επιλογή του πλήθους και των θέσεων δειγματοληψίας πρέπει να εφαρμοστούν κριτήρια όπως:

- Η αντιπροσωπευτικότητα των δειγμάτων ή των θέσεων, και
- Οι τοπικές βλάβες και οι κακοτεχνίες του φέροντος οργανισμού που ενδεχομένως έχουν παρατηρηθεί, ενώ
- Ο καθορισμός του ελάχιστου πλήθους δοκιμών πρέπει να γίνεται έτσι ώστε να είναι δυνατή η στατιστική επεξεργασία ή βαθμονόμηση.

2.3.6.2 ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΛΙΚΩΝ ΔΟΜΗΣΗΣ

Για τα κύρια υλικά δόμησης:

Τα ζητούμενα χαρακτηριστικά είναι κατά κύριο λόγο η θλιπτική αντοχή (και το μέτρο ελαστικότητας) για το σκυρόδεμα, το όριο διαρροής, η εφελκυστική αντοχή και η παραμόρφωση στο μέγιστο φορτίο για το χάλυβα

Όταν στην αποτίμηση ή στον ανασχεδιασμό, πρόκειται να ληφθεί υπόψη η συνεισφορά των τοίχων πληρώσεως στην ανάληψη σεισμικών φορτίων, απαιτείται η διερεύνηση των μηχανικών χαρακτηριστικών και των τοίχων αυτών.

Τέλος, ενδέχεται να συμμετέχουν στο φέροντα οργανισμό και άλλα υλικά (π.χ. χάλυβας ή ξύλο) ή υλικά από προγενέστερες επεμβάσεις (μανδύες, εποξειδικές κόλλες, ινοπλισμένα πολυμερή κλπ), των οποίων τα χαρακτηριστικά πρέπει να διερευνηθούν. [6]

2.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΙΙ [3]

2.4.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ & ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

Καθορίζονται οι σπουδαιότερες μεταβλητές. Οι μεταβλητές αυτές οι οποίες καλούνται και βασικές μεταβλητές μπορεί να είναι:

- γεωμετρικές μεταβλητές (εμβαδόν διατομής, μήκος στοιχείου κλπ)
- αντοχές υλικών
- εξωτερικές δράσεις

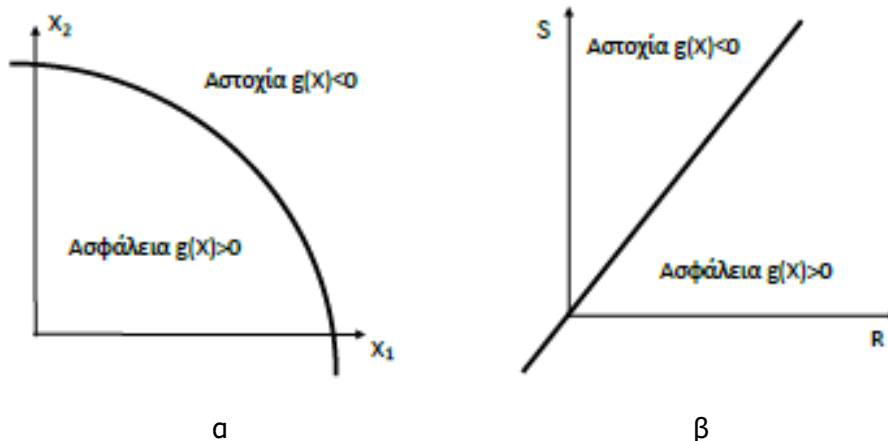
Οι βασικές αυτές μεταβλητές θεωρούνται τυχαίες μεταβλητές.

Τυχαίο διάνυσμα $X=(X_1, X_2, \dots, X_n)$: ένα σημείο στον „n”- διάστατο χώρο των βασικών μεταβλητών. Για το Επίπεδο 3 απαιτείται η από κοινού συνάρτηση κατανομής f_x των βασικών μεταβλητών. Στη Μέθοδο του Επιπέδου 2 αρκεί η γνώση των μέσων τιμών μ_i και των συνδιασπορών $\text{cov}(x_i, x_j)$ για $i, j = 1$ έως n .

Το σύνολο των βασικών μεταβλητών επιλέγεται έτσι ώστε να ορίζεται η επιφάνεια αστοχίας. Η επιφάνεια αστοχίας διαιρεί τον χώρο των „n” διαστάσεων σε δύο περιοχές: την ασφαλή περιοχή και την περιοχή αστοχίας. Η „υπέρ”- επιφάνεια αστοχίας περιγράφεται από την εξίσωση της μορφής:

$$g(X)=0$$

με θετικές τιμές να υποδηλώνουν την ασφαλή περιοχή και οι μη θετικές τιμές υποδηλώνουν αστοχία. Στον χώρο των δύο διαστάσεων θα είχαμε το Σχήμα 2.1.



Σχήμα 2-2: α) Ασφαλής περιοχή και περιοχή αστοχίας β) Γραμμική εξίσωση αστοχίας [3]

Η συνάρτηση $g(X)$ καλείται συνάρτηση αστοχίας. Είναι δυνατόν η αστοχία να περιγράφεται από περισσότερες συναρτήσεις αστοχίας. Έστω π.χ. R η αντοχή και S η δράση. Μια συνάρτηση αστοχίας είναι η:

$$g_1(r,s) = r - s$$

Οι περιοχές αστοχίας και ασφαλείας φαίνονται στα παραπάνω σχήματα. Μια άλλη ισοδύναμη συνάρτηση αστοχίας είναι η:

$$g_2(r,s) = \ln\left(\frac{r}{s}\right) = \ln r - \ln s$$

Για την περίπτωση γραμμικής εξισώσεως αστοχίας και κανονικών βασικών μεταβλητών ο δείκτης ασφαλείας „β” δίνεται από την σχέση:

$$\beta = \mu_M / \sigma_M$$

Όπου, $M=R-S$

$$\text{Οπότε } \beta = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}}$$

Αν η εξίσωση αστοχίας είναι γραμμική συνάρτηση των βασικών μεταβλητών

$$g(X) = a_0 + a_1 \cdot X_1 + \dots + a_n \cdot X_n$$

τότε το „β” υπολογίζεται ως εξής:

$$\mu_M = a_0 + a_1 \cdot \mu_1 + \dots + a_n \cdot \mu_n$$

$$\text{Και } \sigma_M^2 = \alpha_1^2 \cdot \sigma_1^2 + \dots + \alpha_n^2 \cdot \sigma_n^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n \rho_{ij} \cdot a_i \cdot a_j \cdot \sigma_i \cdot \sigma_j$$

όπου $\rho_{j, ij}$ ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ X_i και X_j

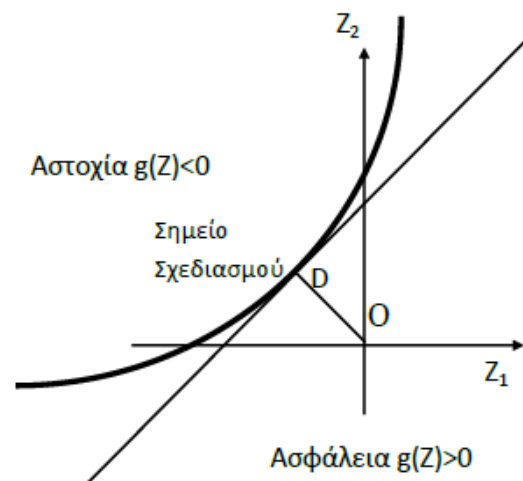
Στην περίπτωση της δεύτερης συναρτήσεως αστοχίας $g_2(r, s) = \ln\left(\frac{r}{s}\right) = \ln r - \ln s$ ο δείκτης ασφαλείας είναι ίσος με:

$$\beta' = \frac{\mu_{\ln\left(\frac{R}{S}\right)}}{\sigma_{\ln\left(\frac{R}{S}\right)}}$$

Οι τιμές β και β' που υπολογίζονται από τις παραπάνω σχέσεις είναι διαφορετικές. Δηλαδή ο δείκτης ασφαλείας $\beta = \mu_M / \sigma_M$, όπως ορίστηκε από τον Cornell, δεν είναι αμετάβλητος και ανεξάρτητος των εξισώσεων αστοχίας (που όμως περιγράφουν το ίδιο πρόβλημα ασφαλείας). Για τον σκοπό αυτό ακολουθείται η προσέγγιση των Hasofer-Lind σύμφωνα με την οποία ο δείκτης ασφαλείας β ορίζεται ως η μικρότερη απόσταση της αρχής των αξόνων από την επιφάνεια αστοχίας στον χώρο των τυποποιημένων κανονικών μεταβλητών Z_i , όπου $Z_i = (X_i - \mu_{xi}) / \sigma_{xi}$.

Με τον παραπάνω γραμμικό μετασχηματισμό έχουμε μια νέα επιφάνεια αστοχίας στον χώρο των „z”, όπου τα Z_i έχουν μηδενική μέση τιμή και μοναδιαία τυπική απόκλιση. Συνήθως η αρχή των αξόνων στον χώρο των „z” θα βρίσκεται στην ασφαλή περιοχή. Ο δείκτης ασφαλείας που ορίζεται μ’ αυτόν τον τρόπο θα συμπίπτει με τον δείκτη ασφαλείας όπως ορίζεται από την σχέση $\beta = \mu_M / \sigma_M$ μόνον στην περίπτωση όπου η επιφάνεια αστοχίας είναι γραμμική. Έτσι, αν επιπλέον οι βασικές μεταβλητές είναι κανονικές τότε έχουμε τη γνωστή σχέση μεταξύ δείκτη β και πιθανότητας αστοχίας:

$$p_f = \text{Erf}(-\beta) \Leftrightarrow \beta = \text{Erf}^{-1}(p_f)$$



Σχήμα 2-3: Γραμμικοποίηση επιφάνειας αστοχίας [3]

Με τον παραπάνω ορισμό του β , έχουμε την εξής σχέση:

$$\beta = \min_{z \in \Omega} \sqrt{\sum_{i=1}^n z_i^2} \cdot s$$

όπου Ω είναι η επιφάνεια αστοχίας στον χώρο των „z”. Γενικώς η επιφάνεια αστοχίας δεν είναι γραμμική και έτσι το β υπολογίζεται από μια επαναληπτική διαδικασία. Στην περίπτωση αυτή η απόσταση β και το μοναδιαίο διάνυσμα $\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ των συνημιτόνων κατευθύνσεως (έτσι ώστε $D\mathbf{O} = \beta\alpha$), όπου D είναι το σημείο σχεδιασμού, προσδιορίζονται υπολογίζοντας τις εξής $n+1$ εξισώσεις με διαδοχικές προσεγγίσεις:

$$a_i = \frac{-\frac{dg}{dz_i}(\beta \cdot \alpha)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n \left(\frac{dg}{dz_k}(\beta \cdot \alpha)\right)^2}}$$

$$g(\beta \cdot \alpha) = g(\beta \cdot \alpha_1, \beta \cdot \alpha_2, \dots, \beta \cdot \alpha_n) = 0$$

2.4.2 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΗ ΚΑΝΟΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

Χρησιμοποιείται ο μετασχηματισμός Rackwitz-Fiessler για τον υπολογισμό των „ισοδύναμων” παραμέτρων κανονικής κατανομής, έτσι ώστε οι συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας και οι συναρτήσεις κατανομής να συμπίπτουν στο σημείο σχεδιασμού:

$$f_{x_i}(x_i^*) = \frac{1}{\sigma'_{x_i}} \varphi\left(\frac{x_i^* - \mu'_{x_i}}{\sigma'_{x_i}}\right)$$

$$F_{x_i}(x_i^*) = \text{Erf}\left(\frac{x_i^* - \mu'_{x_i}}{\sigma'_{x_i}}\right)$$

Όπου $A = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ το σημείο σχεδιασμού και

$\mu'_{x_i}, \sigma'_{x_i}$ οι άγνωστες παράμετροι της κανονικής κατανομής:

$$\mu'_{x_i} = x_i^* - \text{Erf}^{-1}[F_{x_i}(x_i^*)] \sigma'_{x_i}$$

$$\sigma'_{x_i} = \frac{\varphi[\text{Erf}^{-1}[F_{x_i}(x_i^*)]]}{f_{x_i}(x_i^*)}$$

όπου φ και Erf : η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας και η συνάρτηση κατανομής της τυποποιημένης κανονικής κατανομής.

3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΓΙΑ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ (ΠΡΟΤΑΣΗ ΑΠΟ FIB)

3.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΙΜΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ (DESIGN VALUE METHOD) [2]

3.1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Αφορά την εφαρμογή της μεθόδου των επιμέρους συντελεστών (που προτείνεται στους Ευρωκώδικες για τις νέες κατασκευές) για την αξιολόγηση των υφισταμένων κατασκευών, χρησιμοποιώντας την προσέγγιση τιμής σχεδιασμού που ακολουθεί τα ISO 2394:2015 και EN 1990:2002. Σύμφωνα με αυτήν την προσέγγιση οι επιμέρους συντελεστές γ_x θα πρέπει να διαχωρίζονται έχοντας υπόψη την πραγματική κατανομή της μεταβλητής X (βασισμένη σε προηγούμενες πληροφορίες, ή αποτελέσματα από δοκιμές ή και τα δύο).

Τιμή σχεδιασμού X_d

$$X_d = n \cdot \frac{X_k}{\gamma_M} \quad (1)$$

Όπου $\gamma_M = \gamma_{Rd} \cdot \gamma_m$ και γ_{Rd} είναι ένας επιμέρους συντελεστής που λαμβάνει υπόψη τις αβεβαιότητες στο μοντέλο αντίστασης και τις γεωμετρικές αποκλίσεις αν δεν προσομοιάζονται με ακρίβεια. Ο επιμέρους συντελεστής για τις αβεβαιότητες στο μοντέλο είναι πολύ σημαντικός για την αξιολόγηση των υφισταμένων κατασκευών.

Η τιμή σχεδιασμού της αντίστασης R_d εξαρτάται από τις ιδιότητες του υλικού X και τις γεωμετρικές διαστάσεις a :

$$R_d = R \left(\frac{n \cdot X_{ki}}{\gamma_{Mi}}; \alpha_d \right), i \geq 1 \quad (2)$$

3.1.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΥΛΙΚΟΥ γ_M

Η τιμή σχεδιασμού R_d της μεταβλητής της αντίστασης R προσδιορίζεται από την παραπάνω σχέση (2). Ο επιμέρους συντελεστής της σχέσης (1) που δίνεται από τη σχέση (3) μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με το γινόμενο:

$$\gamma_M = \gamma_{Rd} \cdot \gamma_m = \gamma_{Rd1} \cdot \gamma_{Rd2} \cdot \gamma_m \quad (3)$$

όπου το γ_{Rd1} αντιπροσωπεύει τον επιμέρους συντελεστή για την αβεβαιότητα του μοντέλου, το γ_{Rd2} είναι ο επιμέρους συντελεστής για τις γεωμετρικές αβεβαιότητες και το γ_m είναι ο επιμέρους παράγοντας που βασίζεται στην αξιοπιστία και αντιστοιχεί στη μεταβλητότητα του υλικού.

3.1.2.1 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ γ_{Rd}

Οι συντελεστές αβεβαιότητας που προτείνονται στην παρούσα μέθοδο είναι συμβατοί με τις προτάσεις του fib SAG9 (2010). Βασίζονται σε μια συμβατική πιθανοτική περιγραφή των αβεβαιοτήτων του μοντέλου που θεωρείται εφαρμόσιμη για τις κοινές κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα.

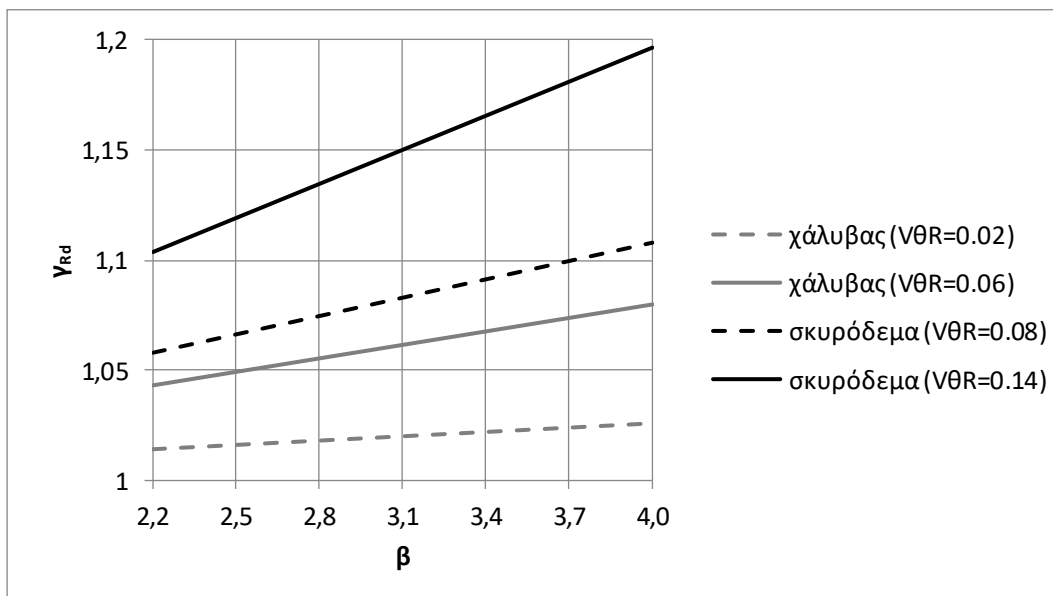
Οι τιμές $\gamma_{Rd1} = 1.10$ για το σκυρόδεμα και $\gamma_{Rd1} = 1.025$ για τον οπλισμό (χάλυβα) μπορούν να υιοθετηθούν στις περισσότερες υποθέσεις. Ωστόσο μεγαλύτερη αβεβαιότητα μοντέλου μπορεί να απαιτείται να ληφθεί υπόψη, π.χ. για την τέμνουσα όταν η αστοχία του σκυροδέματος κυριαρχεί.

Επιπλέον, $\gamma_{Rd2} = 1.10$ για το σκυρόδεμα και $\gamma_{Rd2} = 1.05$ για τον οπλισμό (χάλυβα) μπορούν να υιοθετηθούν για να ληφθούν υπόψη οι γεωμετρικές αβεβαιότητες που συνδέονται με το μέγεθος της διατομής σκυροδέματος ή τη θέση του οπλισμού. Όταν μετρήσεις σε μια υφιστάμενη κατασκευή υποδεικνύουν σημαντική μεταβλητότητα των γεωμετρικών ιδιοτήτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τιμή $\gamma_{Rd2}=1.0$.

Εναλλακτικά ο επιμέρους συντελεστής γ_{Rd} μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση βασισμένη σε λογαριθμοκανονική κατανομή.

Η διακύμανση του επιμέρους παράγοντα γ_{Rd} με στοχευόμενη αξιοπιστία β για $\alpha_R = 0.32$ φαίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα με $\mu_{\theta R} = 1$ και:

- $V_{\theta R} \approx 0.14$ για το σκυρόδεμα και $V_{\theta R} \approx 0.06$ για τον οπλισμό (χάλυβα) όταν οι γεωμετρικές αβεβαιότητες είναι σημαντικές (π.χ. έλλειψη σχεδίων και μετρήσεων, δεδομένα με μεγάλη διασπορά, κλπ)
- $V_{\theta R} \approx 0.08$ για το σκυρόδεμα και $V_{\theta R} \approx 0.02$ για τον οπλισμό (χάλυβα) όταν η μεταβλητότητα των γεωμετρικών ιδιοτήτων έχει σημαντική επιρροή στην κατάσταση της αστοχίας.



Σχήμα 3-1: Διακύμανση του επιμέρους συντελεστή γ_{Rd} συναρτήσει της στοχευόμενης αξιοπιστίας β για $\alpha_R=0.32$.

Ο συντελεστής γ_{Rd} πρέπει να εφαρμόζεται στην αντίσταση όπως ακολουθεί:

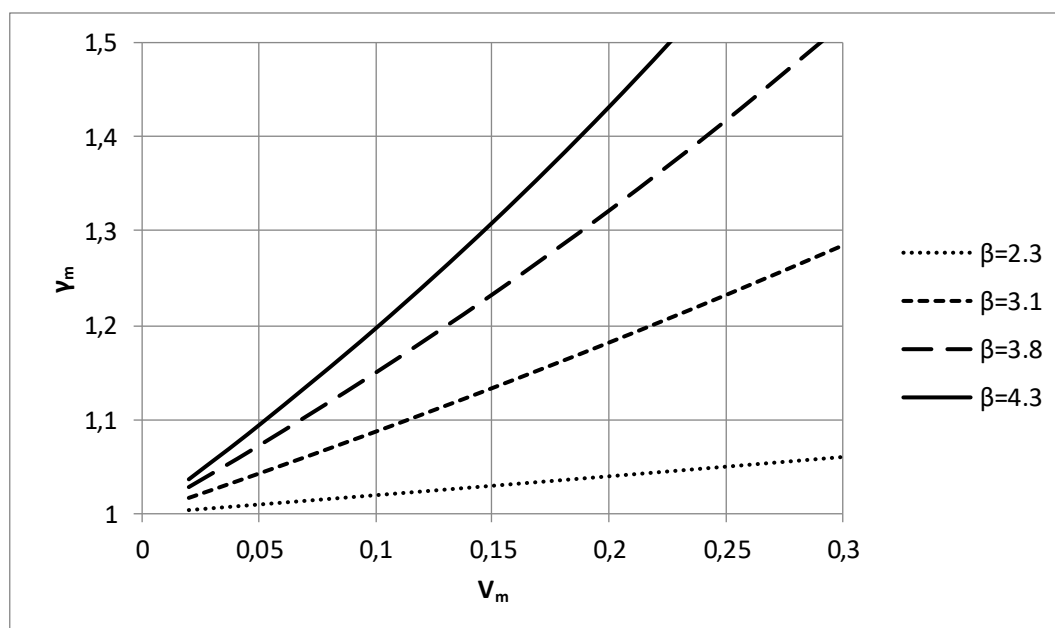
$$R_d = \frac{R \left(\frac{f_{ck}}{\gamma_c}, \frac{f_{yk}}{\gamma_s}, \dots \right)}{\gamma_{Rd}}$$

Η ακόλουθη προσεγγιστική σχέση μπορεί να εφαρμόζεται στις συνήθεις περιπτώσεις:

$$R_d = R \left(\frac{f_{ck}}{\gamma_{Rd} \cdot \gamma_c}, \frac{f_{yk}}{\gamma_{Rd} \cdot \gamma_s}, \dots \right)$$

3.1.2.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΥΛΙΚΟΥ γ_m

Υποθέτοντας μια λογαριθμοκανονική κατανομή για την ιδιότητα του υλικού, η διακύμανση του επιμέρους συντελεστή γ_m , με το συντελεστή μεταβλητότητας V_m , φαίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα 3-2 για $\alpha_R = 0.8$ και στοχευόμενες αξιοπιστίες $\beta = 2.3, 3.1, 3.8, \eta \ 4.3$ (πολύ χαμηλές, χαμηλές, μέτριες, και υψηλές συνέπειες αστοχίας σε ΟΚΑ, βλ. ISO 13822:2010).



Σχήμα 3-2: Διακύμανση του επιμέρους συντελεστή γ_m συναρτήσει του συντελεστή μεταβλητότητας V_m για $\alpha_R=0.8$ και $\beta= 2.3, 3.1, 3.8$ ή 4.3 .

Για παράδειγμα, υποθέτοντας ότι οι δοκιμές των ιδιοτήτων των υλικών έδειξαν συντελεστές μεταβλητότητας $V_c = 0.15$ και $V_s = 0.05$ και ότι η μεταβλητότητα των γεωμετρικών αβεβαιοτήτων δεν είναι σημαντική. Για να εκτιμήσουμε την αντίσταση χρησιμοποιούνται οι παρακάτω επιμέρους συντελεστές χρησιμοποιώντας τις παραπάνω σχέσεις:

$$\text{Για } \beta=3.8 : \quad \gamma_c = 1.10 \cdot 1.23 = 1.35 ; \quad \gamma_s = 1.02 \cdot 1.07 = 1.09$$

$$\text{Για } \beta=3.1 : \quad \gamma_c = 1.08 \cdot 1.13 = 1.22 ; \quad \gamma_s = 1.02 \cdot 1.04 = 1.05$$

3.1.3 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΟΝΙΜΩΝ ΔΡΑΣΕΩΝ γ_G

Η τιμή σχεδιασμού G_d των μόνιμων δράσεων προσδιορίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\gamma_G = \gamma_{Ed,G} \cdot \gamma_g$$

όπου το $\gamma_{Ed,G}$ αναφέρεται στον επιμέρους συντελεστή που αναφορικά με την αβεβαιότητα του προσομοιώματος για τον υπολογισμό της επίπτωσης του φορτίου στο μοντέλο του φορτίου και το γ_g είναι ο επιμέρους συντελεστής που βασίζεται στην αξιοπιστία που υπολογίζει τη μεταβλητότητα των μόνιμων δράσεων και τις αβεβαιότητες που σχετίζονται με το μοντέλο της μόνιμης δράσης.

3.1.3.1 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ $\gamma_{Ed,G}$

Συνήθως υιοθετείται η τιμή $\gamma_{Ed,G} = 1.07$ στο σχεδιασμό του φορέα για μια δυσμενή δράση και $\gamma_{Ed,G} = 1.0$ για μια ευμενή δράση.

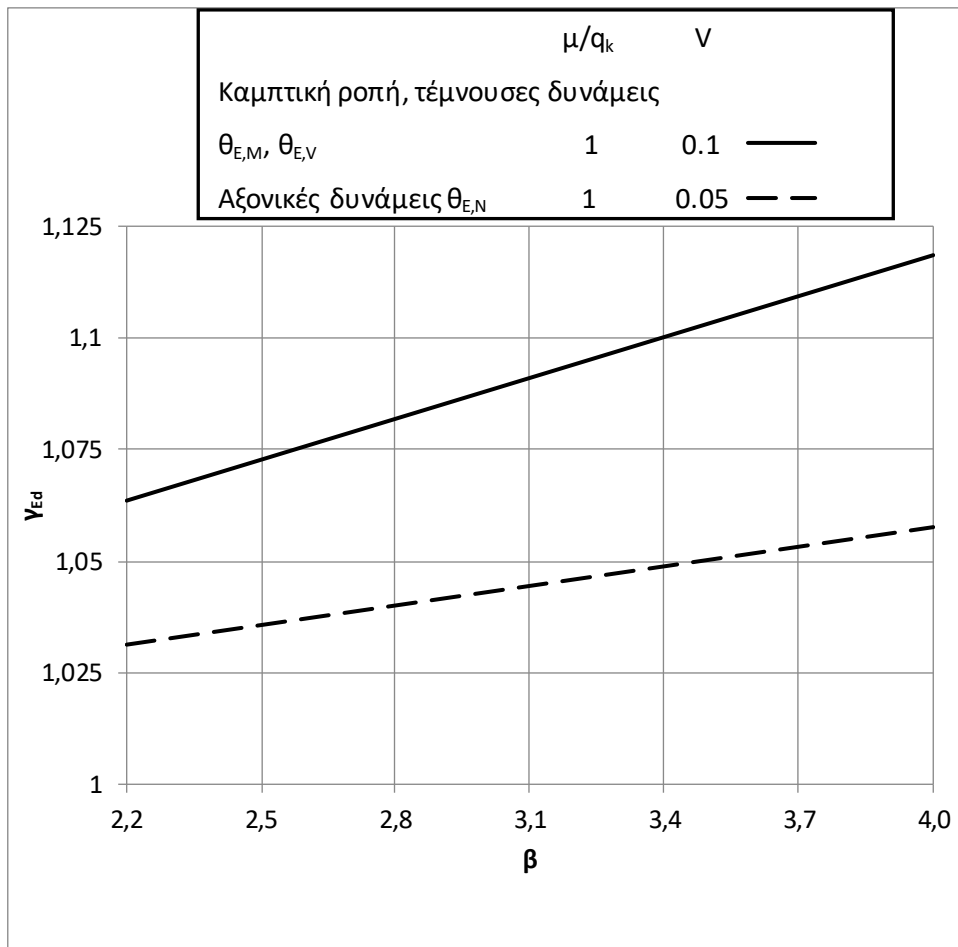
Εναλλακτικά ο επιμέρους συντελεστής γ_{Ed} μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση βασιζόμενη σε μια λογαριθμοκανονική κατανομή:

$$\gamma_{Ed} = \frac{\mu_{\theta E}}{\theta_{EK}} \cdot e^{(-\alpha_E \cdot \beta \cdot V_{\theta E})}$$

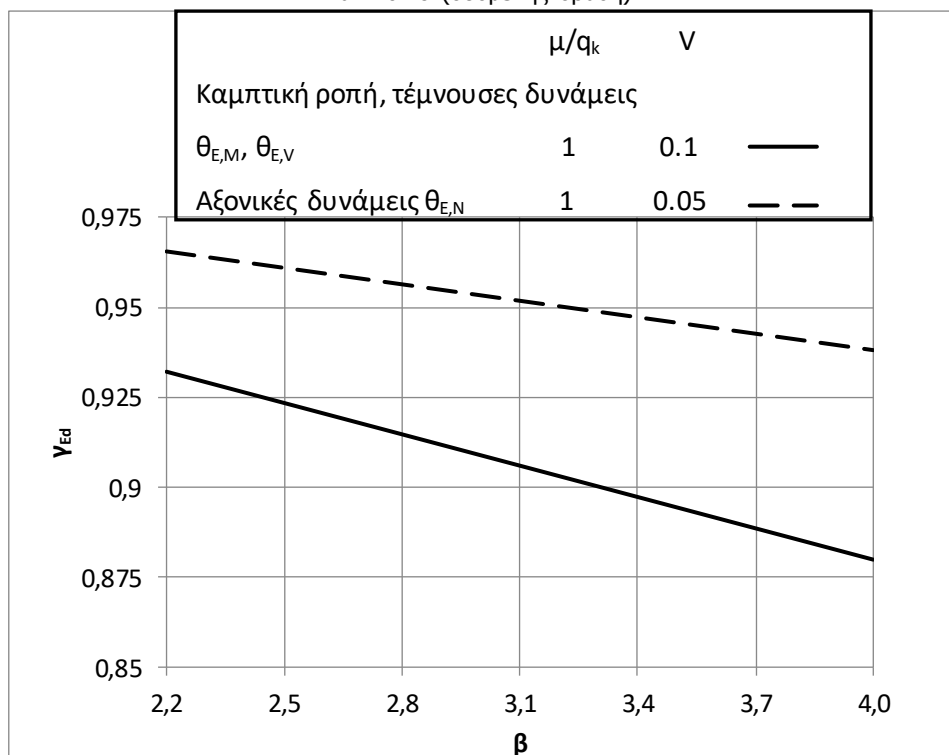
όπου, $(\mu_{\theta E}/\theta_{EK})$ προσδιορίζει το ποσοστό της μέσης προς τη χαρακτηριστική τιμή της αβεβαιότητας του προσομοιώματος στα αποτελέσματα του φορτίου θ_E (κλίση) και $V_{\theta E}$ ο συντελεστής μεταβλητότητας του θ_E . Η ίδια σχέση ισχύει για τα $\gamma_{Ed,G}$ και $\gamma_{Ed,Q}$ που αφορούν τους επιμέρους συντελεστές για την αβεβαιότητα του προσομοιώματος στον υπολογισμό των αποτελεσμάτων των κινητών φορτίων.

Στο ακόλουθο διάγραμμα φαίνεται η διακύμανση του επιμέρους παράγοντα γ_{Ed} με την στοχευόμενη αξιοπιστία για $\alpha_E = -0.28$ (δυσμενής δράση) και για $\alpha_{E,fav} = 0.32$ (ευμενής μόνιμη δράση). Για δυσμενή αποτελέσματα και $\beta = 3.8$, κυριαρχεί $\gamma_{sd} = 1.05$ ή 1.11 για τα διάφορα είδη αποτελεσμάτων φορτίων.

Τα ευμενή αποτελέσματα των μεταβλητών δράσεων δεν λαμβάνονται υπόψη στην εξακρίβωση της αξιοπιστίας που βασίζεται στη μέθοδο των επιμέρους συντελεστών και έτσι ο συντελεστής $\gamma_{Ed,Q}$ δεν υφίσταται για τις ευμενείς μεταβλητές δράσεις.



$\alpha_E = -0.28$ (δυσμενής δράση)



$\alpha_{E, fav} = 0.32$ (ευμενής μόνιμη δράση)

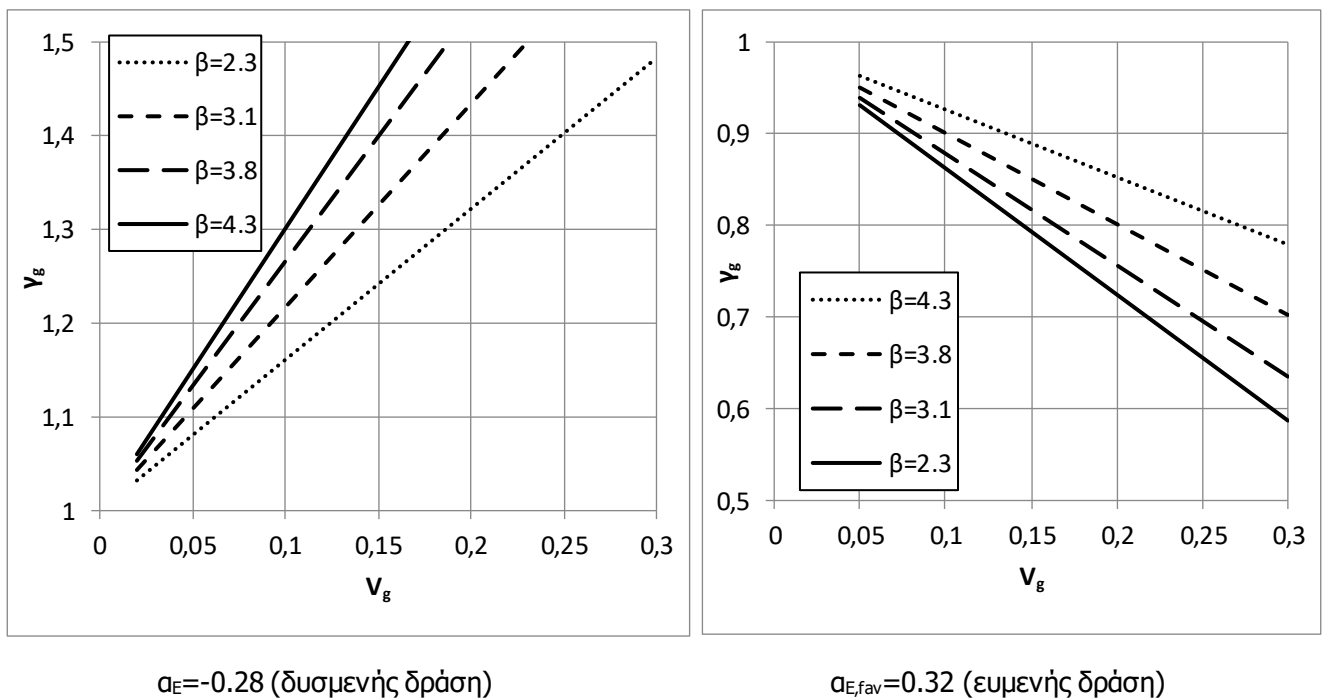
Σχήμα 3-3: Διακύμανση του επιμέρους συντελεστή γ_{Ed} συναρτήσει της στοχευόμενης αξιοπιστίας β .

Ο συντελεστής γ_{Ed} θα έπρεπε να εφαρμόζεται στα αποτελέσματα των φορτίων. Ωστόσο η παρακάτω προσέγγιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις περισσότερες περιπτώσεις:

$$E_d = E[(\gamma_{Ed} * \gamma_g)G_k, (\gamma_{Ed} * \gamma_q)Q_k \dots]$$

3.1.3.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΝΙΜΟ ΦΟΡΤΙΟ γ_g

Υποθέτοντας μια κανονική κατανομή για το μόνιμο φορτίο η διακύμανση του συντελεστή γ_g συναρτήσει του συντελεστή μεταβλητότητας V_g φαίνεται στο επόμενο διάγραμμα για $a_E = -0.7$ (δυσμενής φόρτιση) και $a_{E, fav} = 0.8$ (ευμενής φόρτιση) και η στοχευόμενη αξιοπιστία $\beta = 2.3, 3.2, 3.8$ ή 4.3 . Αξίζει να σημειωθεί ότι η τιμή $a_{E, fav} = 0.8$ πρέπει να υιοθετηθεί όταν μια ευμενής δράση συνεισφέρει σημαντικά στην αντίσταση της κατασκευής, π.χ. όταν είναι δυνάμεις επαναφοράς.



Σχήμα 3-4: Διακύμανση του επιμέρους συντελεστή γ_g συναρτήσει του συντελεστή μεταβλητότητας V_g για $\beta = 2.3, 3.1, 3.8$ ή 4.3 .

Για παράδειγμα αν υποθεθεί ότι από επιτόπιες μετρήσεις ο συντελεστής μεταβλητότητας για το ίδιο βάρος προέκυψε $V_{g0} = 0.05$ και για τις υπόλοιπες μόνιμες δράσεις $V_{g1} = 0.1$. Για να υπολογιστούν οι ροπές κάμψης και οι τέμνουσες δυνάμεις, προκύπτουν οι ακόλουθοι επιμέρους συντελεστές για τις δυσμενείς μόνιμες δράσεις χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω και τα προηγούμενα διαγράμματα.

Για $\beta = 3.8$: $\gamma_{G0} = 1.11 * 1.13 = 1.25$; $\gamma_{G1} = 1.11 * 1.27 = 1.41$

Για $\beta = 3.1$: $\gamma_{G0} = 1.09 * 1.11 = 1.21$; $\gamma_{G1} = 1.09 * 1.22 = 1.33$

Ενώ οι ακόλουθοι επιμέρους συντελεστές προκύπτουν για τις ευμενείς μόνιμες δράσεις:

Για $\beta = 3.8$: $\gamma_{G0} = 0.89 * 0.94 = 0.84$; $\gamma_{G1} = 0.89 * 0.88 = 0.78$

Για $\beta = 3.1$: $\gamma_{G0} = 0.91 * 0.95 = 0.86$; $\gamma_{G1} = 0.91 * 0.90 = 0.82$

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο συντελεστής 1.41 υπερβαίνει τη συνηθισμένη τιμή σχεδιασμού 1.35 για νέες κατασκευές επειδή στη συγκεκριμένη εφαρμογή θεωρήθηκε μεγαλύτερη μεταβλητότητα για τις μόνιμες δράσεις.

3.1.4 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ γ_Q

Σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι διαθέσιμες άλλες πληροφορίες, εκτός από αυτές που παρέχονται από τους ισχύοντες κανονισμούς για το σχεδιασμό των κατασκευών, για την αξιολόγηση των υφιστάμενων κατασκευών. Οι χαρακτηριστικές τιμές και οι επιμέρους συντελεστές για τις μεταβλητές δράσεις πρέπει σε αυτήν την περίπτωση να βασίζονται στις προτάσεις των κανονισμών αυτών. Ωστόσο, οι επιμέρους συντελεστές θα έπρεπε να προσαρμόζονται σε κάθε συγκεκριμένη περίπτωση κατασκευής λαμβάνοντας υπόψη και το επίπεδο αξιοπιστίας που έχει ληφθεί υπόψη, την εναπομένουσα διάρκεια ζωής, κλπ.

Ο επιμέρους συντελεστής για τα μεταβλητά φορτία δίνεται από τον παρακάτω τύπο.

$$\gamma_Q = \gamma_{EdQ} * \gamma_q$$

όπου ο συντελεστής γ_{EdQ} αντιπροσωπεύει τον επιμέρους συντελεστή που αφορά την αβεβαιότητα του μοντέλου σε συνδυασμό με την επίδραση του φορτίου από το μοντέλο των φορτίων, και ο συντελεστής γ_q είναι ο επιμέρους συντελεστής που βασίζεται στην αξιοπιστία για την διασπορά της μεταβλητής δράσης και των αβεβαιοτήτων που συνδέονται με το μοντέλο των μεταβλητών δράσεων.

3.1.4.1 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ $\gamma_{Ed,Q}$

Στο σχεδιασμό των κατασκευών, η τιμή $\gamma_{Ed,Q} = 1.2$ συνήθως χρησιμοποιείται για μια δυσμενή μεταβλητή δράση. Οι ευμενείς δράσεις δεν λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς. Εναλλακτικά, ο επιμέρους συντελεστής $\gamma_{Ed,Q}$ μπορεί να προκύψει χρησιμοποιώντας τη διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω. Για δυσμενείς δράσεις και $\beta = 3.8$, προκύπτουν οι τιμές $\gamma_{Ed} = 1.05$ ή 1.11 για τα διάφορα είδη επιδράσεων των φορτίων.

3.1.4.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΓΙΑ ΤΑ ΜΕΤΑΒΛΗΤΑ ΦΟΡΤΙΑ γ_q

Ο επιμέρους συντελεστής για το μεταβλητό φορτίο q εξαρτάται από τη στοχευόμενη αξιοπιστία β και από την περίοδο επαναφοράς t_{ref} και υπολογίζεται με βάση τα ακόλουθα διαγράμματα που προκύπτουν από την παραδοχή ότι το κινητό φορτίο ακολουθεί κατανομή Gumbel.

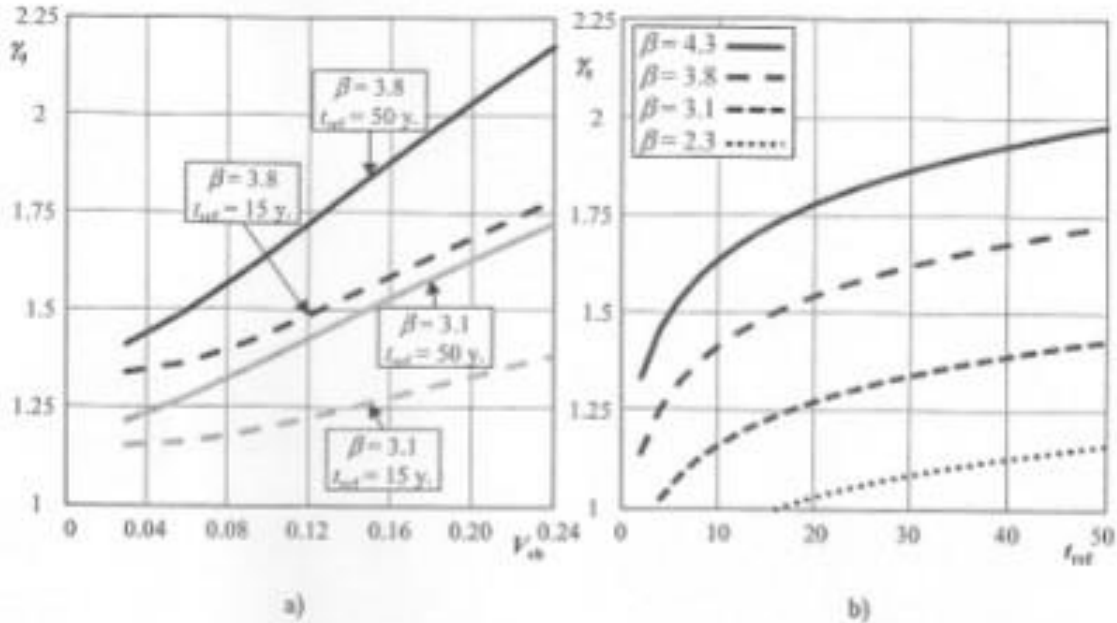
Στις συνήθεις περιπτώσεις ο EN 1990:2002 επιτρέπει την προσέγγιση του συντελεστή ευαισθησίας α_E με την τιμή -0.7 για την κύρια μεταβλητή και -0.28 για τη δευτερεύουσα μεταβλητή δράση.

Ωστόσο οι διαθέσιμες μετρήσεις μπορούν συχνά να οδηγήσουν σε μείωση των αβεβαιοτήτων που σχετίζονται με την αντίσταση και τις επιδράσεις από τα μόνιμα φορτία όταν μελετώνται υφιστάμενες κατασκευές. Αυτό έχει ως συνέπεια ότι οι συντελεστές ευαισθησίας για την αντίσταση και τις μόνιμες δράσεις μειώνονται και η απόλυτη τιμή για το συντελεστή ευαισθησίας για τις μεταβλητές δράσεις αυξάνεται. Αυτό το συγκεκριμένο φαινόμενο όμως μπορεί να επιλυθεί μόνο με πλήρως πιθανοτικά μοντέλα, κάτι με το οποίο δεν ασχολείται αυτή η μέθοδος.

Για τον υπολογισμό των στοιχείων που αφορούν το κινητό φορτίο και που ακολουθεί κατανομή Gumbel λαμβάνεται υπόψη η βασική περίοδος επαναφοράς t_0 (π.χ. 1 χρόνος για τα κλιματικά φορτία, 5 χρόνια για τα κινητά φορτία σε κτίρια γραφείων). Η τυπική απόκλιση για τη βασική περίοδο επαναφοράς και για την περίοδο επαναφοράς t_{ref} παραμένει η ίδια ($\sigma_{q0} = \sigma_{q,tref}$). Αξίζει να σημειωθεί ότι παρά το γεγονός ότι

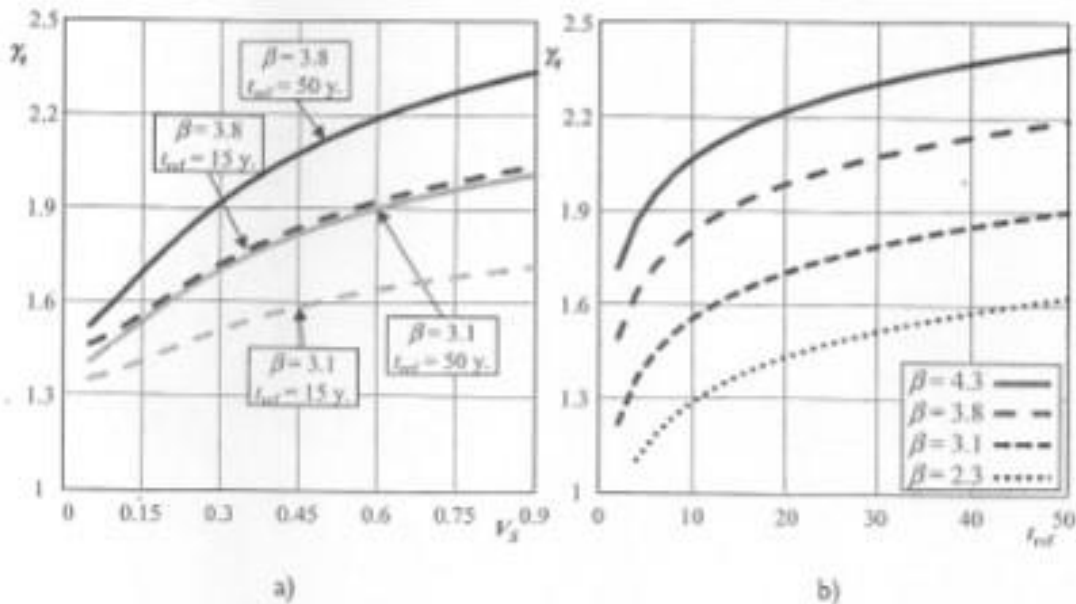
η κατανομή που χρησιμοποιείται κυρίως για τα κινητά φορτία είναι η Gumbel πιο ταιριαστή θα ήταν η λογαριθμοκανονική κατανομή τριών παραμέτρων για κάποια είδη κινητών φορτίων.

Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνεται ο επιμέρους συντελεστής γ_q (που έχει προκύψει από την κατανομή Gumbel), για διάφορες τιμές του συντελεστή μεταβλητότητας V_{q0} και για διάφορες τιμές του t_{ref} και του β και για $\alpha_E = -0.7$.



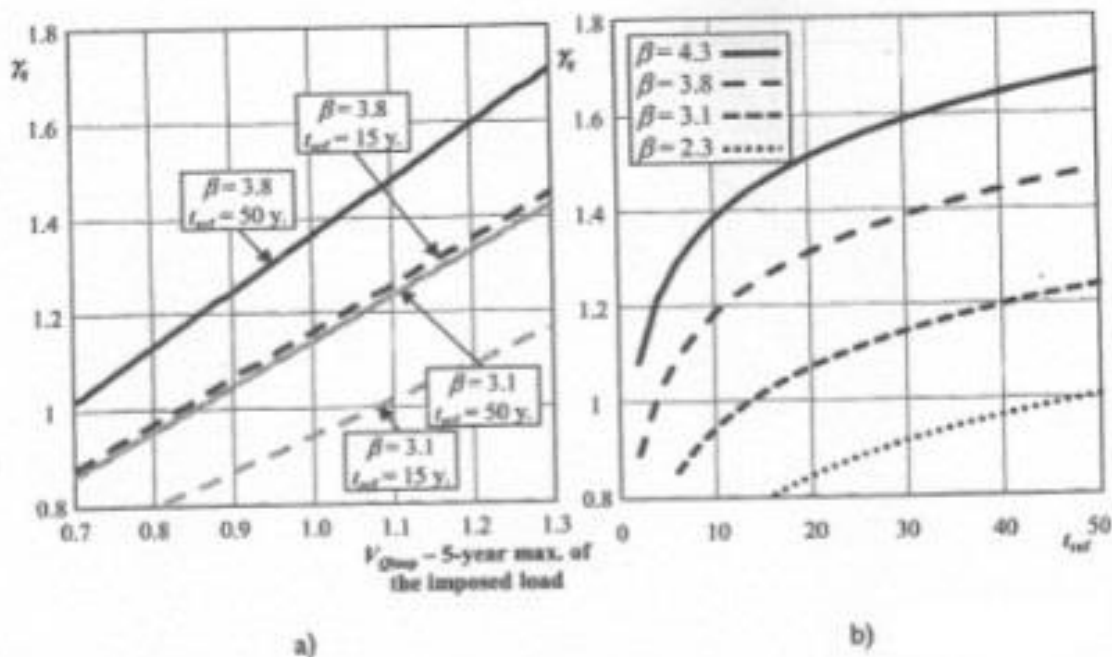
Σχήμα 3-5: Διακύμανση του επιμέρους συντελεστή γ_q για το φορτίο του ανέμου συναρτήσει:

- a) του συντελεστή μεταβλητότητας των ετήσιων μεγίστων της βασικής ταχύτητας του ανέμου ($t_{ref}=15$ ή 50 χρόνια),
- b) της περιόδου επαναφοράς ($V_{qb}= 0.12$). [2]

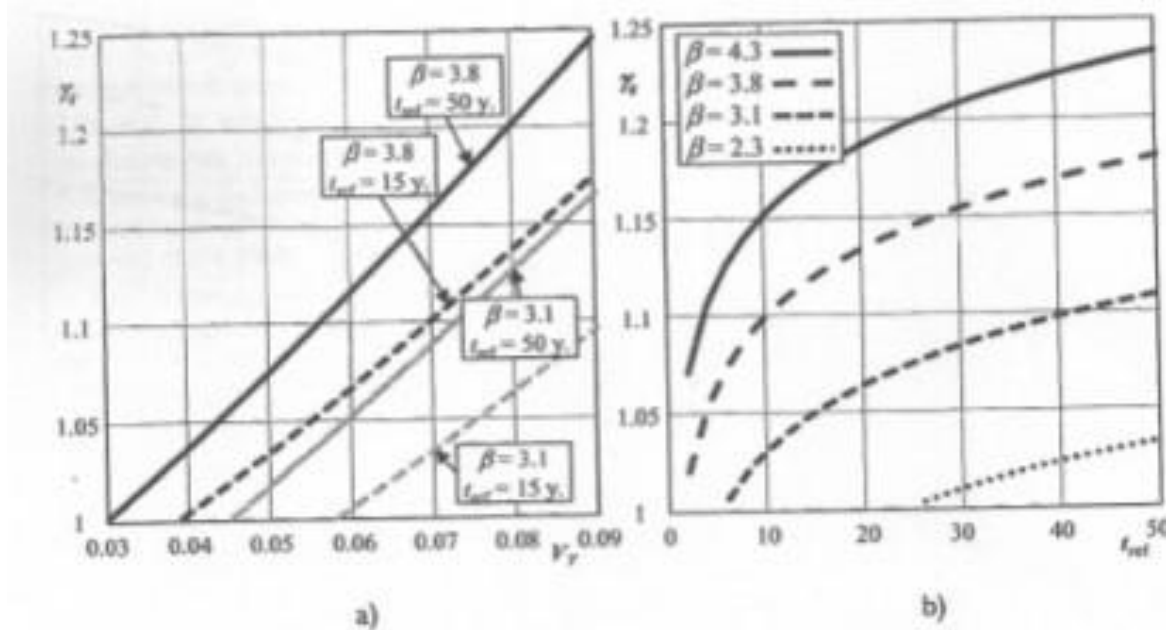


Σχήμα 3-6: Διακύμανση του επιμέρους συντελεστή γ_q για το φορτίο του χιονιού συναρτήσει:

- a) του συντελεστή μεταβλητότητας των ετήσιων μεγίστων του χιονιού στο έδαφος ($t_{ref}=15$ ή 50 χρόνια),
- b) της περιόδου επαναφοράς ($V_s= 0.6$). [2]



Σχήμα 3-7: Διακύμανση του επιμέρους συντελεστή γ_q για το κινητό επιβαλλόμενο φορτίο συναρτήσει:
 α) του συντελεστή μεταβλητότητας του μεγίστου του φορτίου για 5 χρόνια ($t_{ref}=15$ ή 50 χρόνια),
 β) της περιόδου επαναφοράς ($V_{q,imp,0} = 1.1$). [2]



Σχήμα 3-8: Διακύμανση του επιμέρους συντελεστή γ_q για το φορτίο κυκλοφορίας συναρτήσει:
 α) του συντελεστή μεταβλητότητας του ετήσιου μεγίστου του φορτίου ($t_{ref}=15$ ή 50 χρόνια),
 β) της περιόδου επαναφοράς ($V_T = 0.075$). [2]

Σημειώνεται ότι βασιζόμενοι στα αποτελέσματα από τα παραπάνω διαγράμματα για τα φορτία κυκλοφορίας και για την αβεβαιότητα στις επιδράσεις των φορτίων για τη ροπή κάμψης και την τέμνουσα δύναμη, προκύπτουν οι ακόλουθοι επιμέρους συντελεστές για κατηγορία συνεπειών (Consequence Classes) CC1-CC3 όπως αναφέρεται στον EN 1990:2002, για $t_{ref} = 50$ χρόνια και $V_T = 0.075$.

- $\gamma_Q(\beta=3.3) = \gamma_{sd}(\beta=3.3) \cdot \gamma_a(\beta=3.3) = 1.10 \cdot 1.13 = 1.24$
- $\gamma_Q(\beta=3.8) = \gamma_{sd}(\beta=3.8) \cdot \gamma_a(\beta=3.8) = 1.11 \cdot 1.18 = 1.31$
- $\gamma_Q(\beta=4.3) = \gamma_{sd}(\beta=4.3) \cdot \gamma_a(\beta=4.3) = 1.13 \cdot 1.23 = 1.39$

Αν συγκρίνουμε αυτές τις τιμές με τους επιμέρους συντελεστές που χρησιμοποιούνται για τις νέες κατασκευές:

- $\gamma_Q(\beta=3.3) = 0.9 \cdot 1.35 = 1.22$
- $\gamma_Q(\beta=3.8) = 1.35$
- $\gamma_Q(\beta=4.3) = 1.1 \cdot 1.35 = 1.49$

Παρατηρούνται μόνο μικρές διαφορές, που επιτρέπονται γιατί στον EN 1990:2002 διαφέρουν μόνο οι συντελεστές των δυσμενών δράσεων, ενώ στην παρούσα μέθοδο τροποποιούνται και οι συντελεστές για τις μεταβλητές της αντίστασης.

Πρέπει να δοθεί έμφαση στο γεγονός ότι οι επιμέρους συντελεστές εξαρτώνται σημαντικά από το πιθανοτικό μοντέλο που θεωρείται σαν υπόθεση-παραδοχή. Αν χρησιμοποιηθούν άλλα πιθανοτικά μοντέλα (που να αφορούν δηλαδή κάποιες συγκεκριμένες κατασκευές) οι συντελεστές θα τροποποιηθούν καταλλήλως.

3.2 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ (Adjusted Partial Factor Method- APFM) [2]

3.2.1 ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

3.2.1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Σε μια απλοποιημένη προσέγγιση, οι επιμέρους συντελεστές των ιδιοτήτων των υλικών σε υφιστάμενες κατασκευές υπολογίζονται από τον επόμενο τύπο:

$$\gamma_X = \omega_\gamma \cdot \gamma_{X,new}$$

όπου ο ω_γ είναι ένας διορθωτικός συντελεστής και ο $\gamma_{X,new}$ είναι ο επιμέρους συντελεστής για τις νέες κατασκευές που δίνεται από τους Ευρωκώδικες.

Οι αβεβαιότητες του μοντέλου υπολογίζονται ως εξής:

$$\gamma_{Rd} = \gamma_{Rd1} \cdot \gamma_{Rd2}$$

$$\text{όπου } \gamma_{Rd1} = \frac{1}{1 - 0.32 \times \beta \times V_{\theta,Rd1}} \text{ και } \gamma_{Rd2} = \frac{1}{1 - 0.32 \times \beta \times V_{\theta,Rd2}}$$

Στις συνήθεις περιπτώσεις για την αντοχή του σκυροδέματος χρησιμοποιείται η τιμή $\gamma_{Rd1} = 1.10$ και για το χάλυβα η τιμή $\gamma_{Rd1} = 1.025$. Ωστόσο, μπορεί να χρειάζεται να ληφθεί υπόψη μεγαλύτερη αβεβαιότητα προσομοιώματος, για παράδειγμα στην περίπτωση της τέμνουσας όταν κυριαρχεί η αστοχία του σκυροδέματος. Δεχόμενοι μια τιμή του συντελεστή αξιοπιστίας 3.8, οι συντελεστές μεταβλητότητας που σχετίζονται με αυτές τις αβεβαιότητες προσομοιώματος μπορούν να υπολογιστούν και η τιμή του είναι $V_{\theta,Rd1,c} = 0.075$ και $V_{\theta,Rd1,s} = 0.02$ αντίστοιχα.

Επιπλέον, όσον αφορά τις γεωμετρικές αβεβαιότητες που σχετίζονται με το μέγεθος της διατομής του σκυροδέματος ή τη θέση του οπλισμού, χρησιμοποιούνται οι εξής συντελεστές $\gamma_{Rd2} = 1.10$ για το σκυρόδεμα και $\gamma_{Rd2} = 1.05$ για το χάλυβα. Υποθέτοντας συντελεστή αξιοπιστίας 3.8, οι συντελεστές μεταβλητότητας που σχετίζονται με τις αβεβαιότητες του προσομοιώματος προκύπτουν $V_{\theta R2,c} = 0.075$ και $V_{\theta R2,s} = 0.04$ αντίστοιχα.

Όταν σχετικές μετρήσεις σε ένα υφιστάμενο κτίριο υποδεικνύουν σημαντική διασπορά-μεταβλητότητα των γεωμετρικών ιδιοτήτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί $\gamma_{Rd2} = 1.0$.

Προτείνεται να χρησιμοποιείται μια λογαριθμοκανονική κατανομή για τη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος και για την αντοχή διαρροής του χάλυβα.

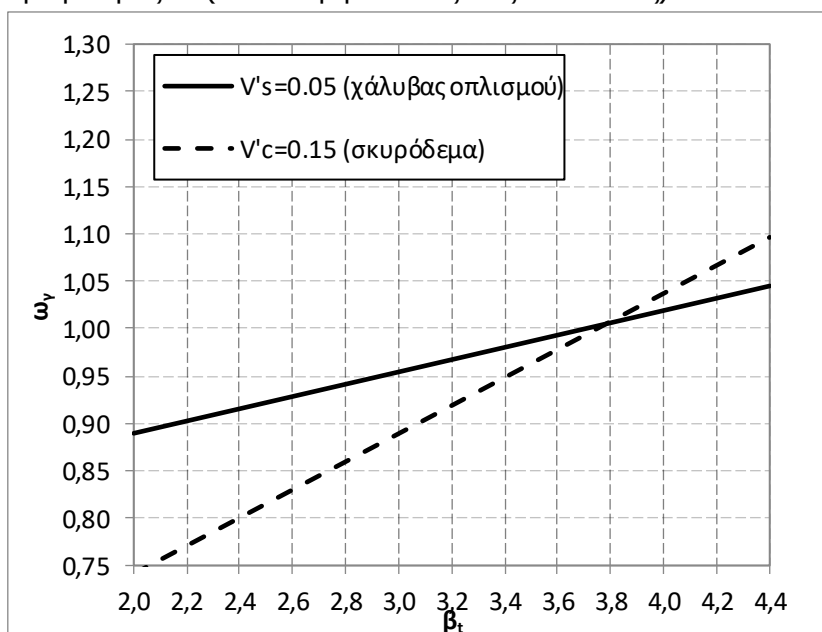
Ο συντελεστής ευαισθησίας (συνημίτονο κατεύθυνσης) στην περίπτωση μιας μεταβλητής αντοχής μπορεί να πάρει την τιμή $\alpha_R = 0.8$

Αν δεν υπάρχουν διαθέσιμες άλλες πληροφορίες αναφορικά με το συντελεστή μεταβλητότητας των ιδιοτήτων του υλικού που χρησιμοποιήθηκε για τις νέες κατασκευές, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τιμή $V'_c = 0.15$ για το σκυρόδεμα και $V'_s = 0.05$ για το χάλυβα.

Σημειώνεται ότι οι παράμετροι που αναφέρονται στις νέες κατασκευές συμβολίζονται με $'$, και αυτές που αναφέρονται σε υφιστάμενες κατασκευές με $''$. Συνήθως ο συντελεστής ευαισθησίας δεν αλλάζει σε νέες και υφιστάμενες κατασκευές, δηλαδή θεωρείται $\alpha_R' = \alpha_R'' = \alpha_R$ (που είναι σύμφωνο με την απλοποιημένη μέθοδο Επιπέδου II όπως εφαρμόζεται στους Ευρωκώδικες).

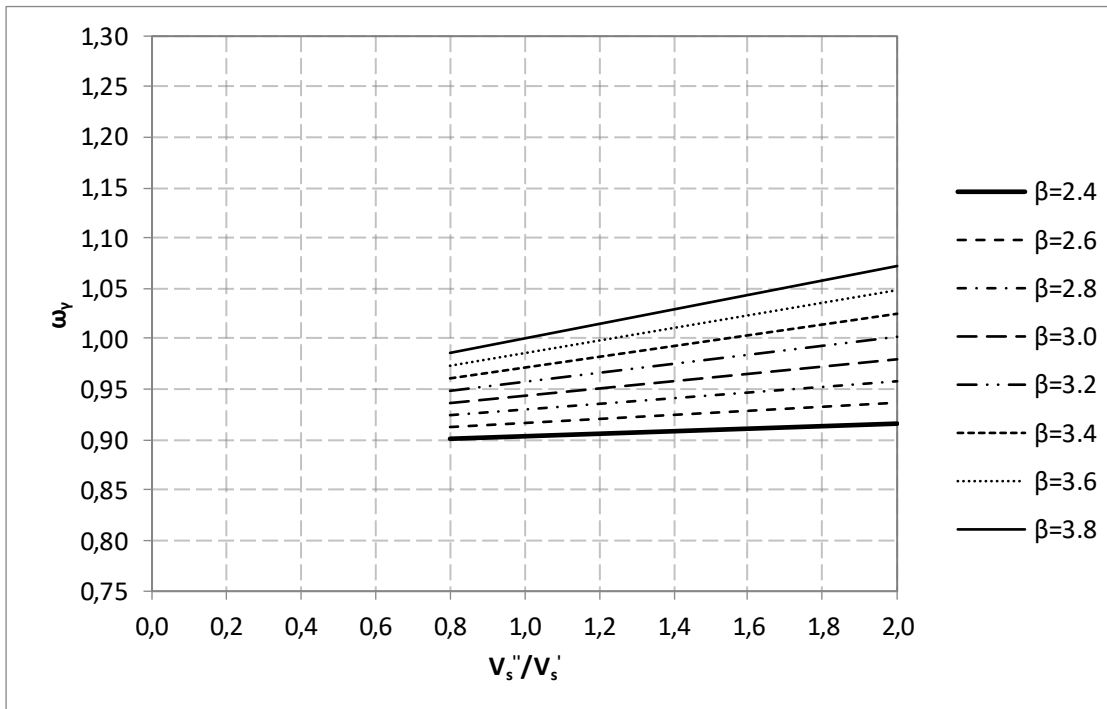
3.2.1.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζεται ο συντελεστής ω_γ για μεταβλητές με λογαριθμοκανονική κατανομή, για συντελεστή αξιοπιστίας για νέες κατασκευές $\beta' = 3.8$, συντελεστή αβεβαιότητας $\alpha_R = 0.8$ και χωρίς να ληφθούν υπόψη επιπλέον πληροφορίες για το συντελεστή μεταβλητότητας των ιδιοτήτων του υλικού, δηλαδή $V'_x = V'_x$. Στο διάγραμμα αυτό απεικονίζεται η επιρροή του συντελεστή αξιοπιστίας $\beta'' = \beta$ για την αξιολόγηση των υπάρχουσών κατασκευών στο διορθωτικό συντελεστή ω_γ για δύο τιμές του συντελεστή μεταβλητότητας V'_x (που αναφέρεται στις νέες κατασκευές).

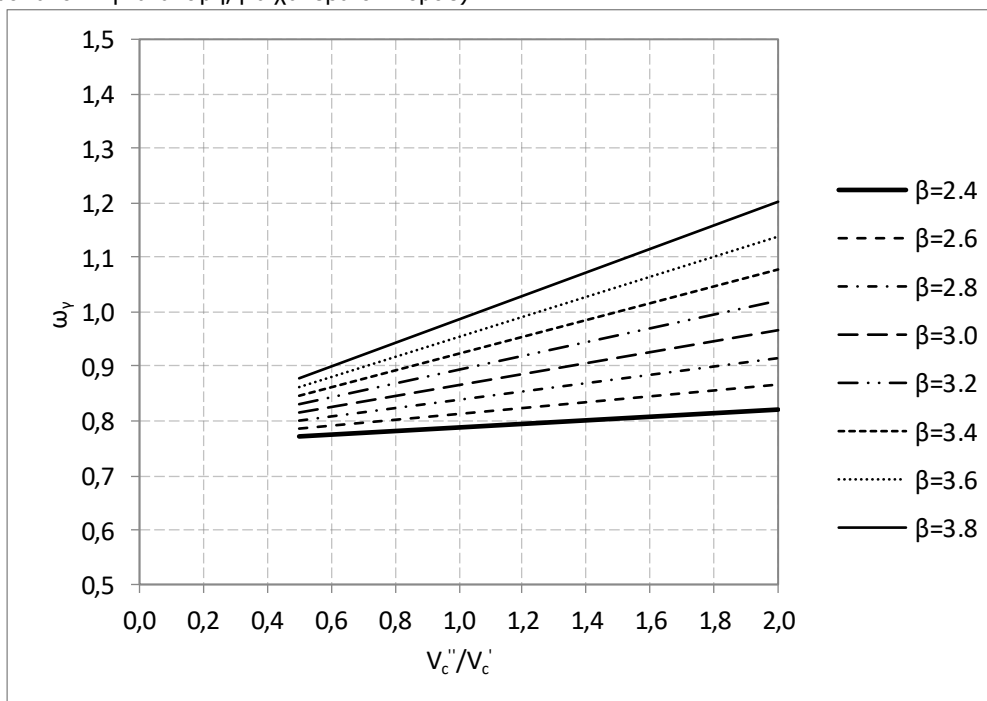


Σχήμα 3-9: Επιρροή του συντελεστή στοχευόμενης αξιοπιστίας β'' για τις υφιστάμενες κατασκευές στο διορθωτικό συντελεστή ω_γ ($\alpha_R = 0.8$, $\beta'' = 3.8$, $V'_x/V'_x = 1$) (λογαριθμοκανονική κατανομή).

Αν υπάρχουν διαθέσιμες επιπλέον πληροφορίες για το συντελεστή μεταβλητότητας των ιδιοτήτων του υλικού σε μια υπάρχουσα κατασκευή, ή ο στοχευόμενος συντελεστής αξιοπιστίας αλλάζει αν συγκριθεί με τις τιμές που χρησιμοποιούνται για νέες κατασκευές, ο διορθωτικός συντελεστής ω_γ αλλάζει όπως φαίνεται στα δύο επόμενα διαγράμματα, για συντελεστή αξιοπιστίας για νέες κατασκευές $\beta' = 3.8$ και διάφορες τιμές του συντελεστή μεταβλητότητας των ιδιοτήτων του υλικού για μια νέα κατασκευή, δηλαδή για $V'_x = 0.015$ για το χάλυβα οπλισμού και 0.15 για το σκυρόδεμα αντίστοιχα.

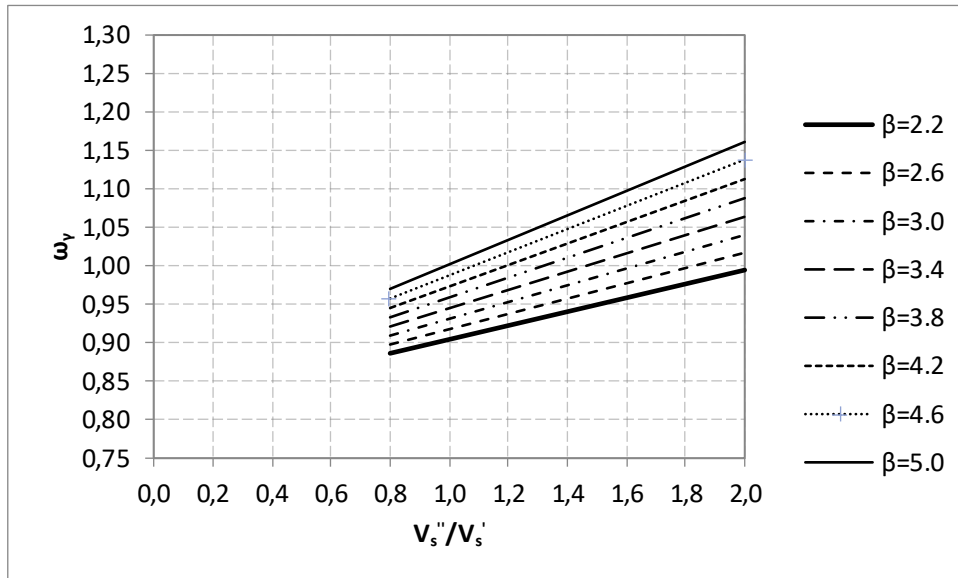


Σχήμα 3-10: Επιρροή του ποσοστού V_s''/V_s' στο διορθωτικό συντελεστή ω_γ με $\chi_{rep}=\chi_k$ ($\alpha_R=0.8$, $\beta'=3.8$, $V_s'=0.05$) (λογαριθμοκανονική κατανομή, για χάλυβα οπλισμού).

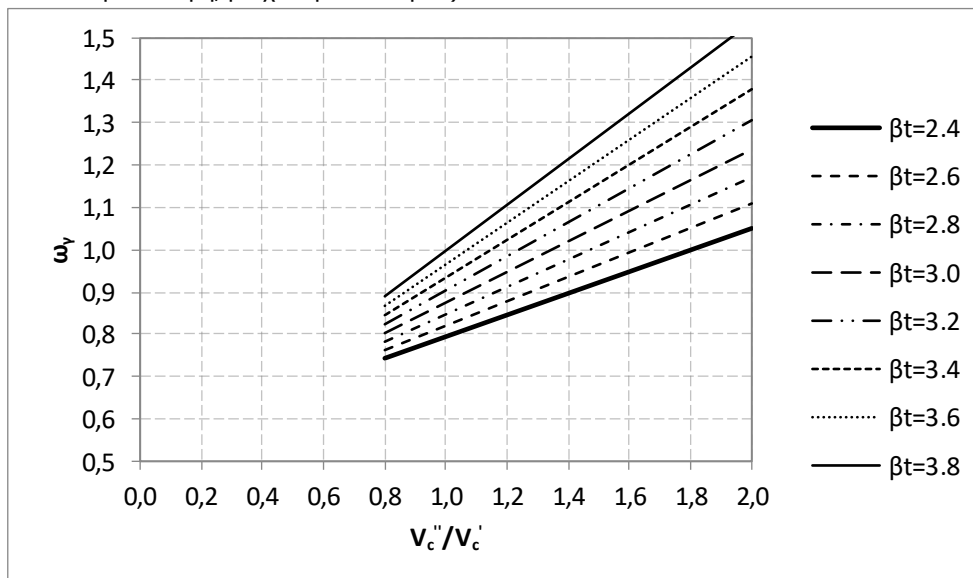


Σχήμα 3-11: Επιρροή του ποσοστού V_c''/V_c' στο διορθωτικό συντελεστή ω_γ με $\chi_{rep}=\chi_k$ ($\alpha_R=0.8$, $\beta'=3.8$, $V_c'=0.15$) (λογαριθμοκανονική κατανομή, για σκυρόδεμα).

Τα δύο ακόλουθα διαγράμματα δείχνουν τη μεταβολή του ω_γ όταν η αντιπροσωπευτική τιμή χ_{rep} αντιστοιχεί στη μέση τιμή.



Σχήμα 3-12: Επιρροή του ποσοστού V_s''/V_s' στο διορθωτικό συντελεστή ω_γ με $\chi_{rep}=\chi_m$ ($\alpha_R=0.8$, $\beta'=3.8$, $V_s'=0.05$) (λογαριθμοκανονική κατανομή, για χάλυβα οπλισμού).



Σχήμα 3-13: Επιρροή του ποσοστού V_c''/V_c' στο διορθωτικό συντελεστή ω_γ με $\chi_{rep}=\chi_m$ ($\alpha_R=0.8$, $\beta'=3.8$, $V_c'=0.15$) (λογαριθμοκανονική κατανομή, για σκυρόδεμα).

3.2.2 ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΓΙΑ ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ

3.2.2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι επιμέρους συντελεστές για τις μεταβλητές δράσεις σε υφιστάμενες κατασκευές προσδιορίζονται με παρόμοιο τρόπο όπως αυτοί για τις ιδιότητες των υλικών.

$$\gamma_G = \omega_\gamma \cdot \gamma_{G,new}$$

όπου ω_y είναι ένας διορθωτικός συντελεστής και ο $\gamma_{G,new}$ είναι ο επιμέρους συντελεστής για τις μόνιμες δράσεις για τις νέες κατασκευές που δίνεται στον EN 1990.

Στις συνήθεις περιπτώσεις, για τις μόνιμες δράσεις ισχύει $\gamma_{Ed,G}=1-a_E\cdot\beta\cdot V_{\theta,G}=1+0.28\cdot\beta\cdot 0.065=1+0.018\cdot\beta$ (υποθέτοντας $V_{\theta,G}=0.065$).

Ο επιμέρους συντελεστής για τις δυσμενείς μόνιμες δράσεις μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση για μια μεταβλητή που ακολουθεί κανονική κατανομή, λαμβάνοντας υπόψη ότι η αντιπροσωπευτική τιμή μιας μόνιμης δράσης είναι η μέση τιμή G_m .

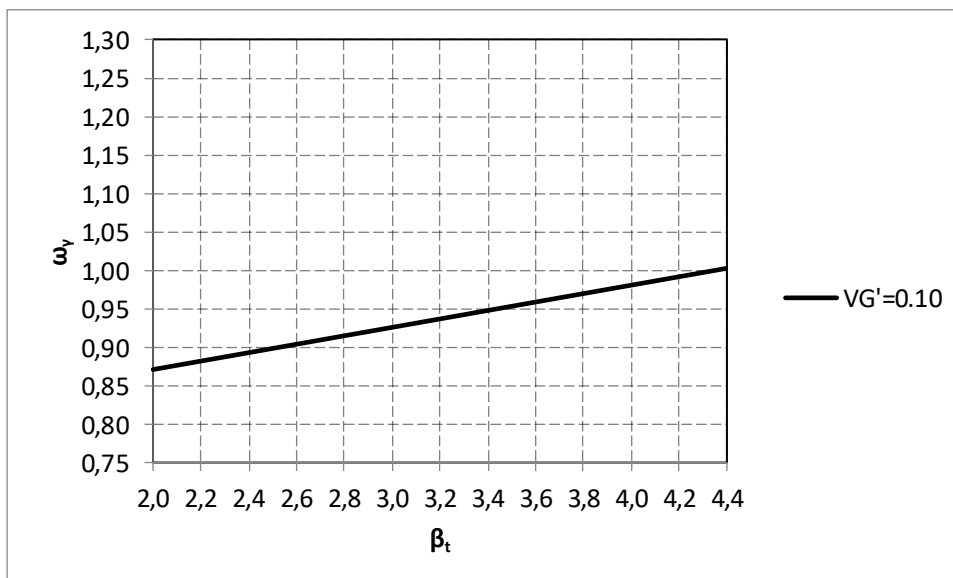
$$\gamma_G = \gamma_{Ed,G} \cdot (1 - a_E \cdot \beta \cdot V_G)$$

Οι συντελεστές ευαισθησίας $a'_E = a''_E = a_E$ θεωρούνται ότι δεν εξαρτώνται από την παλαιότητα της κατασκευής (που είναι συμβατό με την απλοποιημένη προσέγγιση Επιπέδου ΙΙ που εφαρμόζεται στο Παράρτημα C του EN 1990). Αν η δράση είναι δυσμενής, τότε ο συντελεστής ευαισθησίας παίρνει την τιμή $a_E = -0.7$.

Αν δεν υπάρχουν διαθέσιμες επιπλέον πληροφορίες αναφορικά με το συντελεστή μεταβλητότητας των μόνιμων δράσεων που χρησιμοποιούνται για τις νέες κατασκευές, θεωρείται $V'_G = 0.10$.

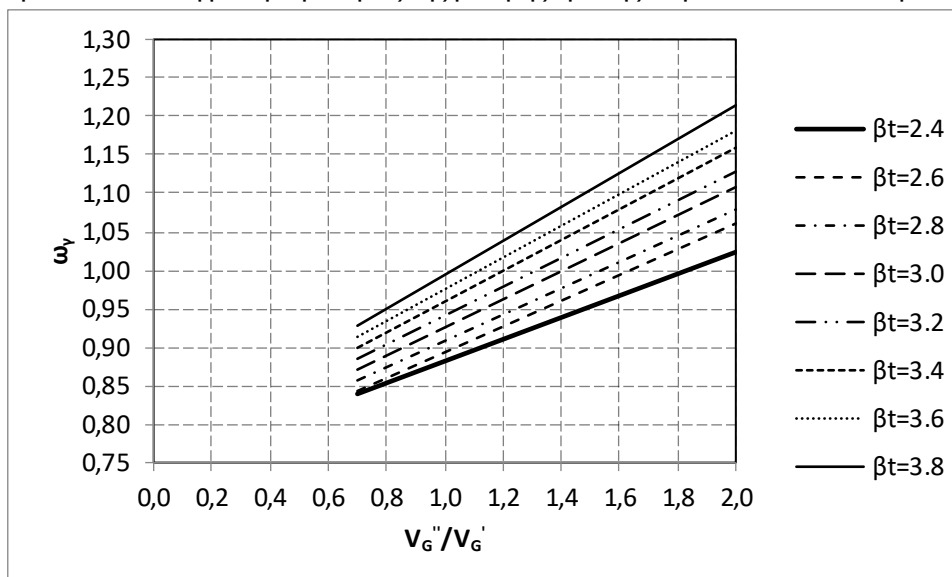
3.2.2.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΟΝΙΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ

Ο διορθωτικός συντελεστής ω_y για τις δυσμενείς δράσεις φαίνεται στο επόμενο διάγραμμα για συντελεστή αξιοπιστίας για νέες κατασκευές $\beta' = 3.8$, συντελεστή ευαισθησίας $a_E = -0.7$ και χωρίς να λαμβάνονται υπόψη επιπλέον πληροφορίες αναφορικά με το συντελεστή μεταβλητότητας για τη μόνιμη δράση, δηλαδή $V'_G = V_G$. Στο διάγραμμα αυτό φαίνεται η επιρροή του συντελεστή αξιοπιστίας $\beta'' = \beta_t$ (για την αξιολόγηση των υφιστάμενων κατασκευών) στο διορθωτικό συντελεστή ω_y για συντελεστή μεταβλητότητας $V'_G = 0.10$ (για νέες κατασκευές).



Σχήμα 3-14: Επιρροή του συντελεστή στοχευόμενης αξιοπιστίας β_t για υφιστάμενες κατασκευές στο διορθωτικό συντελεστή ω_y ($a_E = -0.7$, $\beta' = 3.8$, $V'_G/V_G = 1$) (δυσμενείς μόνιμες δράσεις).

Αν υπάρχουν επιπλέον διαθέσιμες πληροφορίες αναφορικά με το συντελεστή μεταβλητότητας της μόνιμης δράσης σε μια υπάρχουσα κατασκευή, ή ο στοχευόμενος συντελεστής αξιοπιστίας αλλάξει συγκρινόμενος με τις τιμές που αναφέρονται στις νέες κατασκευές, ο διορθωτικός συντελεστής ω_{γ} επηρεάζεται όπως φαίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα για συντελεστή αξιοπιστίας για νέες κατασκευές $\beta' = 3.8$ και για συντελεστή μεταβλητότητας της μόνιμης δράσης σε μια νέα κατασκευή $V_G' = 0.10$.



Σχήμα 3-15: Επιρροή του ποσοστού V_G''/V_G' στο διορθωτικό συντελεστή ω_{γ} ($\alpha_E = -0.7$, $\beta' = 3.8$, $V_G' = 0.10$) (δυσμενείς μόνιμες δράσεις).

3.2.3 ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ

3.2.3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Για τον προσδιορισμό των επιμέρους συντελεστών για τις μεταβλητές δράσεις, χρησιμοποιούνται δύο μέθοδοι:

- Η μέθοδος Α λαμβάνει υπόψη τις χαρακτηριστικές τιμές των δράσεων από τους Ευρωκώδικες για τις νέες κατασκευές μαζί με έναν επιμέρους διορθωτικό συντελεστή για να ληφθεί υπόψη μια εναλλακτική τιμή του επιπέδου αξιοπιστίας, της περιόδου επαναφοράς και κάποιες επιπλέον πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά της μεταβλητής.
- Η μέθοδος Β χρησιμοποιείται για να υπολογιστούν οι εναλλακτικές τιμές των χαρακτηριστικών τιμών των δράσεων σε υφιστάμενες κατασκευές, λαμβάνοντας υπόψη την περίοδο επαναφοράς. Ένας διορθωτικός συντελεστής χρησιμοποιείται για να ληφθεί υπόψη η εναλλακτική τιμή της αξιοπιστίας και επιπλέον πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά της μεταβλητής.

Επομένως η διαφορά ανάμεσα στις δύο μεθόδους είναι ο τρόπος που λαμβάνεται υπόψη η περίοδος επαναφοράς της υφιστάμενης κατασκευής. Στη μέθοδο Α η επιρροή της συμπεριλαμβάνεται μέσα στο διορθωτικό συντελεστή, ενώ στη μέθοδο Β είναι ενσωματωμένη στην προέλευση της χαρακτηριστικής τιμής των μεταβλητών δράσεων.

Παρατηρείται ότι η μέθοδος Α παρέχει διορθωτικούς συντελεστές για τους επιμέρους συντελεστές που περιλαμβάνουν τη διόρθωση του χαρακτηριστικού φορτίου στη νέα περίοδο επαναφοράς και σε διορθωμένο επίπεδο αξιοπιστίας και συντελεστή μεταβλητότητας. Σε κάποιες περιπτώσεις αυτό μπορεί να οδηγήσει σε διορθωτικούς συντελεστές μικρότερους της μονάδας. Αν κάποιος θέλει να αποφύγει επιμέρους συντελεστές μικρότερους της μονάδας μπορεί να χρησιμοποιήσει τη μέθοδο Β. Ωστόσο, στην

τελευταία περίπτωση πρέπει να υπολογιστούν οι διορθωμένες χαρακτηριστικές τιμές για όλες τις μεταβλητές δράσεις που λαμβάνονται υπόψη.

Η περίοδος επαναφοράς μπορεί να είναι ίση με την εναπομένουσα διάρκεια ζωής του έργου.

Οι επιμέρους συντελεστές για τις μεταβλητές δράσεις σε υφιστάμενες κατασκευές προσδιορίζονται με παρόμοιο τρόπο όπως αυτοί για τις μόνιμες δράσεις.

$$\gamma_Q = \omega_\gamma \cdot \gamma_{Q,new}$$

όπου ω_γ είναι ένας διορθωτικός συντελεστής και ο $\gamma_{Q,new}$ είναι ο επιμέρους συντελεστής για τις μεταβλητές δράσεις για τις νέες κατασκευές που δίνεται στους Ευρωκώδικες. Επιπροσθέτως, η μέθοδος διασφαλίζει ότι ο επιμέρους συντελεστής που προκύπτει για τις υπάρχουσες κατασκευές είναι μεγαλύτερος από αυτόν για την αβεβαιότητα του προσομοιώματος $\gamma_{Sd,Q}$.

Στις συνήθεις περιπτώσεις, για τις μεταβλητές δράσεις ισχύει $\gamma_{Ed,Q} = 1 - \alpha_E \cdot 0.4 \cdot \beta \cdot V_{\theta,Q} = 1 + 0.7 \cdot 0.4 \cdot \beta \cdot 0.11 = 1 + 0.03 \cdot \beta$ (υποθέτοντας $V_{\theta,Q} = 0.11$).

3.2.3.2 ΜΕΘΟΔΟΣ Α

Η μέθοδος Α λαμβάνει υπόψη τις χαρακτηριστικές τιμές των δράσεων από τους Ευρωκώδικες για τις νέες κατασκευές μαζί με έναν επιμέρους διορθωτικό συντελεστή για να ληφθεί υπόψη μια εναλλακτική τιμή του επιπέδου αξιοπιστίας, της περιόδου επαναφοράς και κάποιες επιπλέον πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά της μεταβλητής. Γίνεται ένας διαχωρισμός για τα κινητά φορτία, τα κλιματικά φορτία (άνεμος και χιόνι) και τα φορτία κυκλοφορίας.

A) Κινητά Φορτία

Ο επιμέρους συντελεστής για τα κινητά φορτία μπορεί να υπολογιστεί για μια κατανομή Gumbel, λαμβάνοντας υπόψη ότι η αντιπροσωπευτική τιμή των επιβαλλόμενων κινητών φορτίων αντιστοιχεί σε 5% πιθανότητα υπέρβασης της πιθανότητας αναφερόμενη σε μια περίοδο επαναφοράς 50 χρόνια. (CEN 1996).

Με παρόμοιο τρόπο με τους προηγούμενους συντελεστές μπορεί να υπολογιστεί και ο επιμέρους συντελεστής για τα επιβαλλόμενα κινητά φορτία, για μια μεταβλητή που ακολουθεί κατανομή Gumbel.

Και σε αυτήν την περίπτωση ο συντελεστής ευαισθησίας $a'_E = a''_E = \alpha_E$ θεωρείται ότι δεν εξαρτάται από την παλαιότητα της κατασκευής (που είναι συμβατό με την απλοποιημένη προσέγγιση Επιπέδου II που εφαρμόζεται στο Παράρτημα C του EN 1990). Αν η δράση είναι κύρια, τότε ο συντελεστής ευαισθησίας παίρνει την τιμή $\alpha_E = -0.7$, ενώ αν υπάρχει δευτερεύουσα δράση μπορεί να πάρει την τιμή $\alpha_E = -0.28$.

Αν δεν υπάρχουν διαθέσιμες επιπλέον πληροφορίες αναφορικά με το συντελεστή μεταβλητότητας της μεταβλητής (με περίοδο επαναφοράς 1 χρόνο) που χρησιμοποιούνται για τις νέες κατασκευές, θεωρείται $V_{Qimp,50} = 0.25$ για μια περίοδο ζωής του έργου $t_{ref} = 50$ χρόνια.

B) Φορτία Ανέμου και Χιονιού

Το φορτίο του ανέμου υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$W = C \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$$

Όπου, v η ταχύτητα του ανέμου και W το φορτίο του ανέμου. Από αυτόν τον τύπο προκύπτει με βάση την πρώτη τάξη προσέγγιση κατά Taylor, ότι ο συντελεστής μεταβλητότητας του φορτίου του ανέμου ισούται με περίπου 2 φορές το συντελεστή μεταβλητότητας της ταχύτητας του ανέμου.

Για τον άνεμο και το χιόνι θεωρείται 2% πιθανότητα υπέρβασης για περίοδο επαναφοράς $t_{ref} = 1$ χρόνο.

Στις συνήθεις περιπτώσεις, ο συντελεστής μεταβλητότητας της μέγιστης ετήσιας ταχύτητας του ανέμου είναι περίπου 0.12. Άρα ο συντελεστής μεταβλητότητας για το φορτίο του ανέμου είναι περίπου $V_{Qimp} = 0.25$, που είναι ευρέως αποδεκτό ως μια γενικευμένη τιμή (JCSS PMC 2001).

Ομοίως, αν η δράση είναι κύρια, τότε ο συντελεστής ευαισθησίας παίρνει την τιμή $\alpha_E = -0.7$, ενώ αν υπάρχει δευτερεύουσα δράση μπορεί να πάρει την τιμή $\alpha_E = -0.28$.

Σύμφωνα με τους (Steenbergen & Vrouwenvelder 2010, Vrouwenvelder and Scholten 2010), οι πραγματικοί επιμέρους συντελεστές για τις κύριες κλιματικές δράσεις δεν ανταποκρίνονται στην τυπική τιμή 3.8 για το επίπεδο αξιοπιστίας, αλλά σε ένα επίπεδο αξιοπιστίας με τιμή περίπου 1.0 κάτω από το στοχευόμενο επίπεδο αξιοπιστίας. Έτσι, για τον υπολογισμό των επιμέρους συντελεστών για τις κλιματικές δράσεις στην περίπτωση των υφισταμένων κατασκευών, πρέπει να λαμβάνεται $\beta' = \beta_{new} - 1$.

Για τα φορτία του ανέμου προτείνεται μια γενικευμένη τιμή για την τιμή των ετήσιων μεγίστων $V_{Qclim,1} = 0.25$, σε συνδυασμό με το $\beta' = 2.8$.

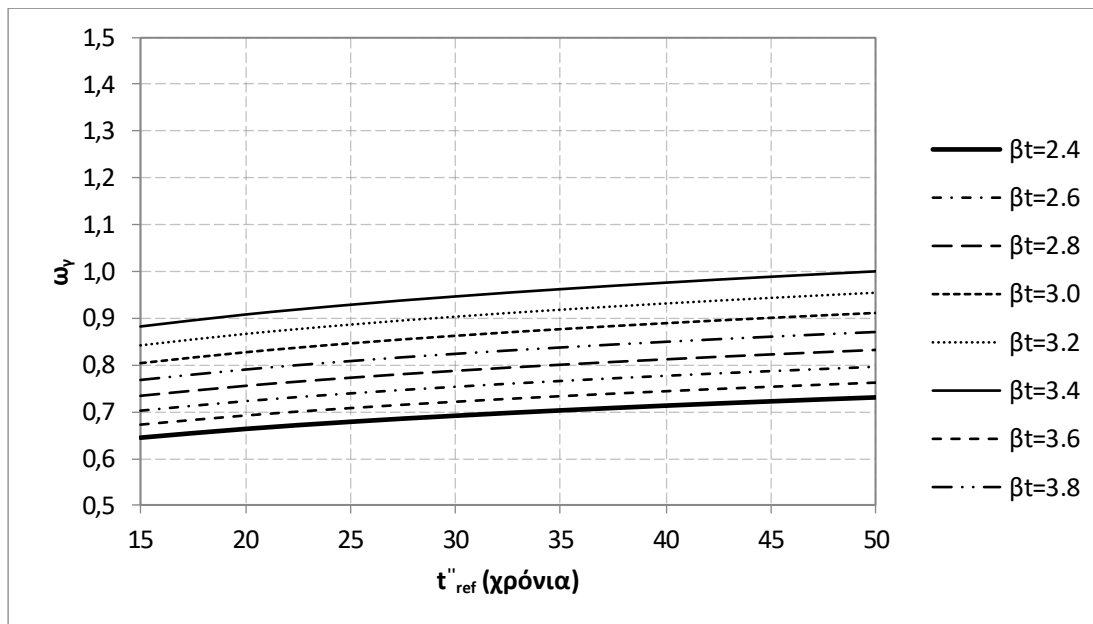
Όσον αφορά το φορτίο χιονιού, συμβουλεύεται η χρήση διαφορετικών τιμών ανά περιοχή, σύμφωνα με τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής. Δεν προτείνονται διορθωτικοί συντελεστές για τις εναλλακτικές τιμές του συντελεστή μεταβλητότητας για τις κλιματικές δράσεις. Αν υπάρχουν διαθέσιμες επιπλέον μετρήσεις για τις κλιματικές δράσεις, προτείνεται η χρήση της Μεθόδου Τιμής Σχεδιασμού (Design Value Method).

Γ) Φορτία Κυκλοφορίας

Τα φορτία κυκλοφορίας προσομοιώνονται από δύο τυχαίες μεταβλητές, το εξαρτημένο από το χρόνο συστατικό και το μη εξαρτημένο από το χρόνο.

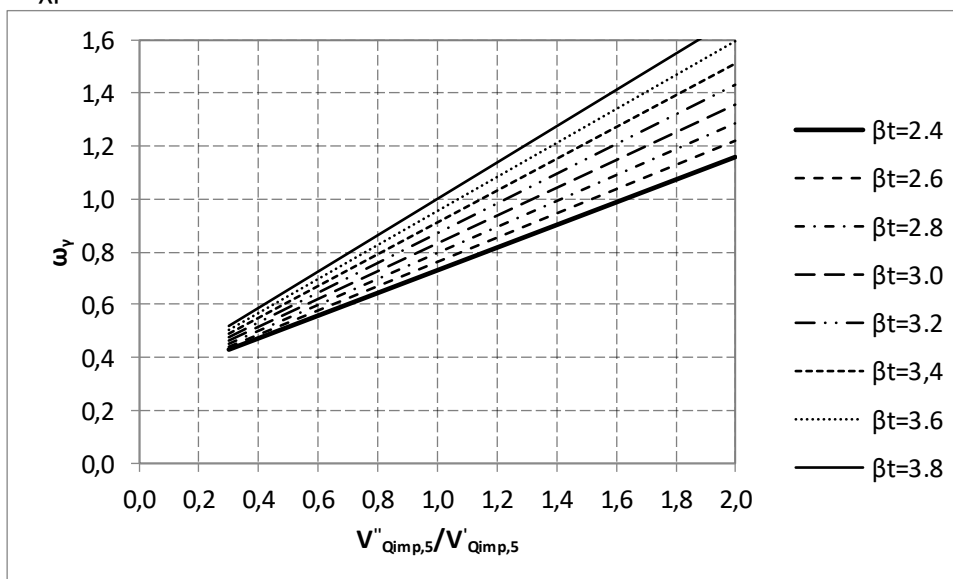
Δ) Διαγράμματα για τους Διορθωτικούς Συντελεστές για τις μεταβλητές Δράσεις (μέθοδος Α)

Στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζεται ο διορθωτικός συντελεστής ω_V για τα επιβαλλόμενα κινητά φορτία για επίπεδο αξιοπιστίας για νέες κατασκευές $\beta' = 3.8$, συντελεστή αβεβαιότητας $\alpha_E = -0.7$ και χωρίς να ληφθούν υπόψη επιπλέον πληροφορίες για το συντελεστή μεταβλητότητας της δράσης, δηλαδή $V_{Qimp,5} = V_{Qimp,5}$. Το διάγραμμα δείχνει την επιρροή του στοχευόμενου επιπέδου αξιοπιστίας $\beta = \beta_t$ και της περιόδου επαναφοράς για την αξιολόγηση των υφισταμένων κατασκευών στο συντελεστή ω_V .



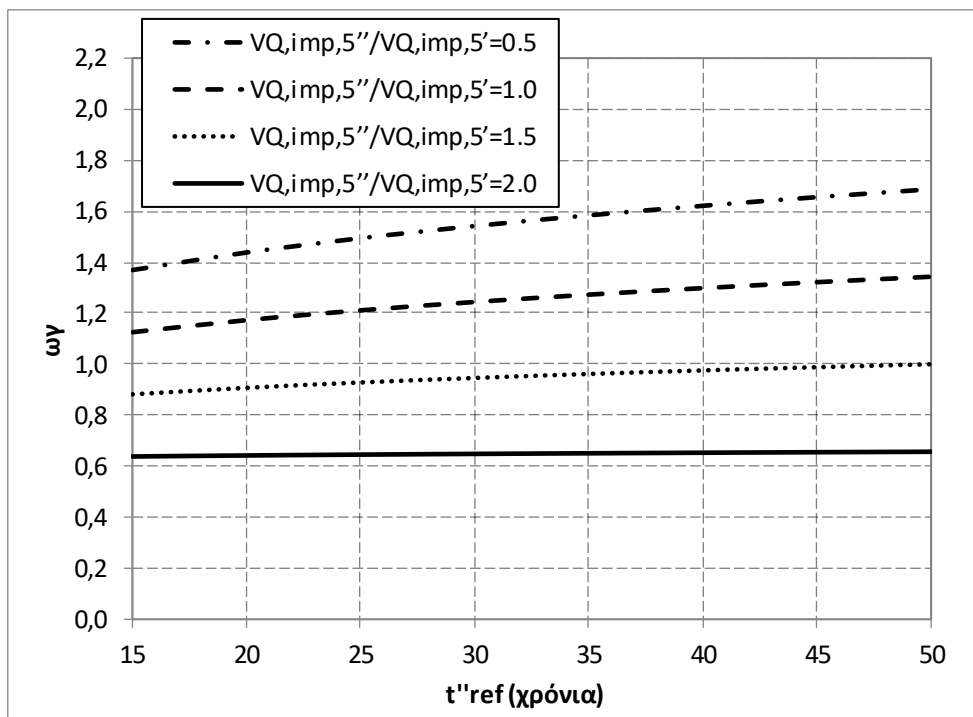
Σχήμα 3-16: Επιρροή του συντελεστή στοχευόμενης αξιοπιστίας βt και της περιόδου επαναφοράς t''_{ref} για την αξιολόγηση των υφιστάμενων κατασκευών στο διορθωτικό συντελεστή ω_γ ($\alpha_E = -0.7$, $\beta' = 3.8$, $V_{Q,imp,50}'' = V_{Q,imp,50}' = 0.25$) (Κατανομή Gumbel) (μέθοδος A- κινητά επιβαλλόμενα φορτία).

Όταν υπάρχουν πληροφορίες για το συντελεστή μεταβλητότητας στα κινητά φορτία για τις υφιστάμενες κατασκευές ή το στοχευόμενο επίπεδο αξιοπιστίας αλλάζει σε σχέση με μια νέα κατασκευή, ο διορθωτικός συντελεστής ω_γ επηρεάζεται όπως φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί με επίπεδο αξιοπιστίας για τις νέες κατασκευές $\beta' = 3.8$, συντελεστή μεταβλητότητας των κινητών φορτίων σε νέες κατασκευές $V'_{Q,imp,50} = 0.25$ και μια περίοδο επαναφοράς για τις νέες και τις υφιστάμενες κατασκευές $t'_{ref} = t''_{ref} = 50$ χρόνια.



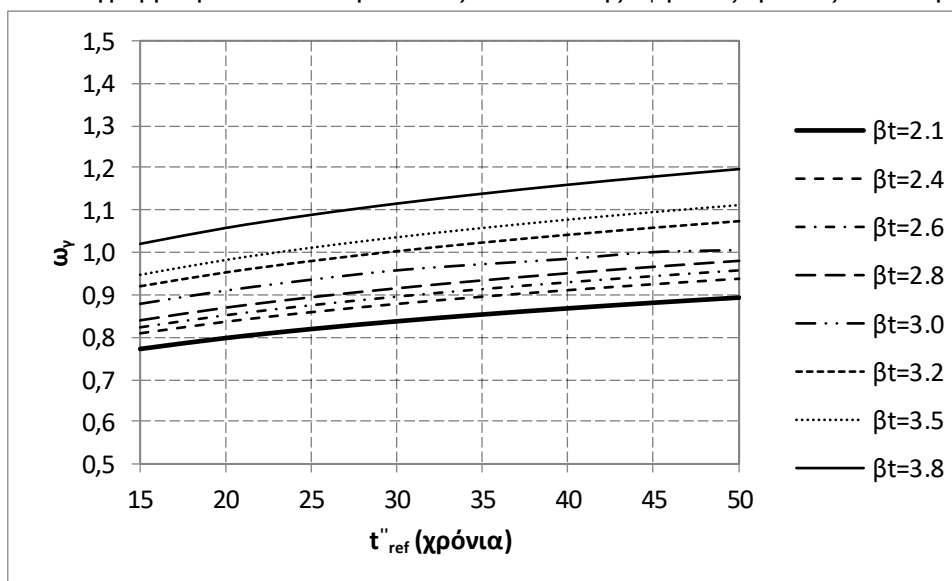
Σχήμα 3-17: Επιρροή του ποσοστού $V_{Q,imp,50}''/V_{Q,imp,50}'$ στο μειωτικό συντελεστή ω_γ με $Q_{rep} = Q_k$ ($\alpha_E = -0.7$, $\beta' = 3.8$, $V_{Q,imp,50}' = 0.25$, $t'_{ref} = t''_{ref} = 50$ χρόνια) (Κατανομή Gumbel) (μέθοδος A- κινητά επιβαλλόμενα φορτία).

Το επόμενο διάγραμμα δείχνει την επιρροή της περιόδου επαναφοράς t''_{ref} που λαμβάνεται υπόψη για την αξιολόγηση της υφιστάμενης κατασκευής στο διορθωτικό συντελεστή ω_γ , με $\alpha_E = -0.7$, $\beta'' = \beta' = 3.8$ και $V'_{Q,imp,50} = 0.25$.

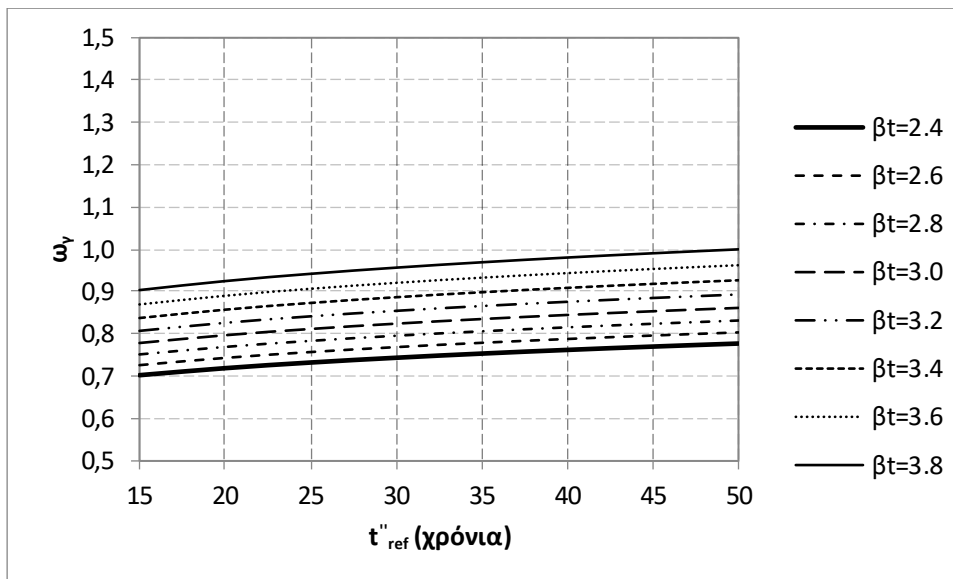


Σχήμα 3-18: Επιρροή της περιόδου επαναφοράς t''_{ref} που λαμβάνεται υπόψη για την αξιολόγηση της υφιστάμενης κατασκευής στο διορθωτικό συντελεστή ω_{γ} με $Q_{rep}=Q_k$ ($\alpha_E = -0.7$, $\beta'' = \beta' = 3.8$, $V_{Q,imp,50} = 0.25$) (Κατανομή Gumbel) (μέθοδος A- κινητά επιβαλλόμενα φορτία).

Στο ακόλουθο διάγραμμα φαίνεται ο διορθωτικός συντελεστής ω_{γ} για τις δράσεις του ανέμου.



Σχήμα 3-19: Επιρροή του συντελεστή στοχευόμενης αξιοπιστίας βt και της περιόδου επαναφοράς t''_{ref} που λαμβάνεται υπόψη για την αξιολόγηση της υφιστάμενης κατασκευής στο διορθωτικό συντελεστή ω_{γ} ($\alpha_E = -0.7$, $\beta' = 2.8$, $V_{Q_{clim,1''}} = V_{Q_{clim,1'}}$) (Κατανομή Gumbel) (μέθοδος A- άνεμος και χιόνι).



Σχήμα 3-20: Επιρροή του συντελεστή στοχευόμενης αξιοπιστίας βt και της περιόδου επαναφοράς t''_{ref} που λαμβάνεται υπόψη για την αξιολόγηση της υφιστάμενης κατασκευής στο διορθωτικό συντελεστή ω_{γ} ($\alpha_E = -0.7$, $\beta' = 3.8$) (Κατανομή Gumbel) (μέθοδος A- φορτία κυκλοφορίας).

3.2.3.3 ΜΕΘΟΔΟΣ Β

Η μέθοδος Β χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των εναλλακτικών τιμών των χαρακτηριστικών τιμών των δράσεων σε υφιστάμενες κατασκευές, λαμβάνοντας υπόψη την περίοδο επαναφοράς. Ένας διορθωτικός συντελεστής χρησιμοποιείται για να ληφθεί υπόψη η εναλλακτική τιμή της αξιοπιστίας και επιπλέον πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά της μεταβλητής.

Σ' αυτή τη μέθοδο, υπολογίζεται μια διορθωμένη χαρακτηριστική τιμή $Q_{k,tref}$ βασισμένη σε μια εναλλακτική περίοδο επαναφοράς που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των υφιστάμενων κατασκευών, συγκεκριμένα η κατανομή Gumbel για 50 χρόνια μεγίστων συνήθως αλλάζει για πιο μικρές περιόδους επαναφοράς.

A) Κινητά Επιβαλλόμενα Φορτία

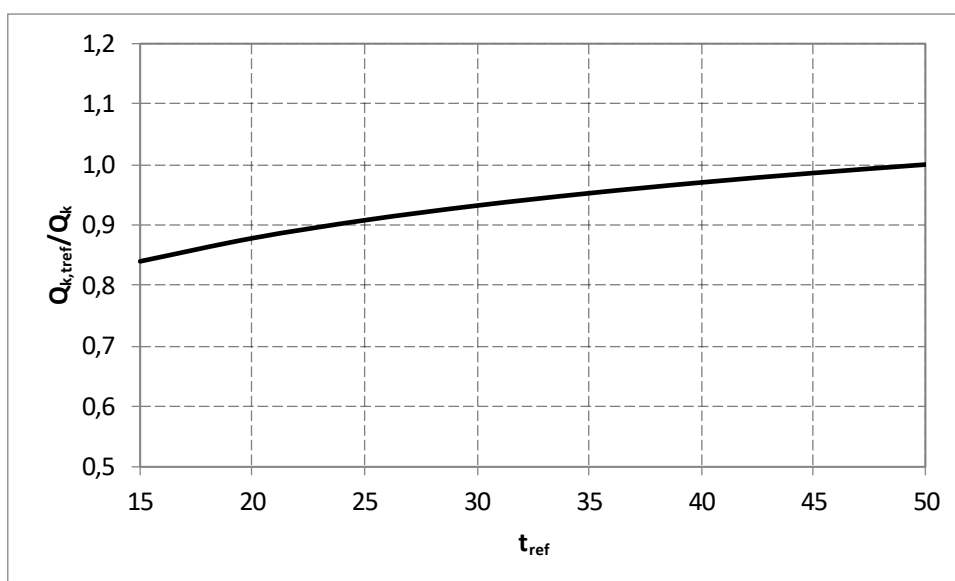
Ο διορθωτικός συντελεστής για τα κινητά φορτία υπολογίζεται με την παραδοχή ότι η μεταβλητή ακολουθεί κατανομή Gumbel.

Αν είναι πρωτεύουσα μεταβλητή δράση, ο συντελεστής ευαισθησίας είναι $\alpha_E = -0.7$. Για δευτερεύουσα μεταβλητή δράση ο συντελεστής αυτός γίνεται $\alpha_E = -0.28$.

Αν δεν υπάρχουν επιπλέον πληροφορίες για το συντελεστή μεταβλητότητας της μεταβλητής (που αναφέρεται σε περίοδο επαναφοράς 50 χρόνια) που χρησιμοποιείται για νέες κατασκευές, υποθέτουμε $V_{Q_{imp,50}} = 0.25$ για μια διάρκεια ζωής $t''_{ref} = 50$ χρόνια και $\beta' = 3.8$.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, αν εφαρμόζεται η μέθοδος Β τότε ο διορθωτικός συντελεστής που έχει υπολογιστεί $\omega_{\gamma} \cdot \gamma_Q$ πρέπει να συνδυαστεί με μια χαρακτηριστική τιμή των επιβαλλόμενων φορτίων, που αντιστοιχεί στην εναλλακτική τιμή της περιόδου επαναφοράς t''_{ref} . Αυτό μπορεί να επιτευχθεί πολλαπλασιάζοντας τη χαρακτηριστική τιμή Q_k που αναφέρεται στον Ευρωκώδικα με $\frac{Q_{k,tref}}{Q_k}$.

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η ο λόγος $\frac{Q_{k,tref}}{Q_k}$ συναρτήσει του t''_{ref} με $V_{Q_{imp,50}} = 0.25$.

Σχήμα 3-21: $Q_{k,tref}/Q_k$ με $V_{Q,imp,50}=0.25$.

Αν δεν υπάρχουν επιπλέον πληροφορίες για το συντελεστή μεταβλητότητας της μεταβλητής (που αναφέρεται στην περίοδο επαναφοράς 50 χρόνια) που χρησιμοποιείται για νέες κατασκευές για τα φορτία του ανέμου μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τιμή $V_{Q_{clim},50}=0.11$ για μια περίοδο επαναφοράς $t_{ref}=50$ χρόνια και $\beta'=2.8$.

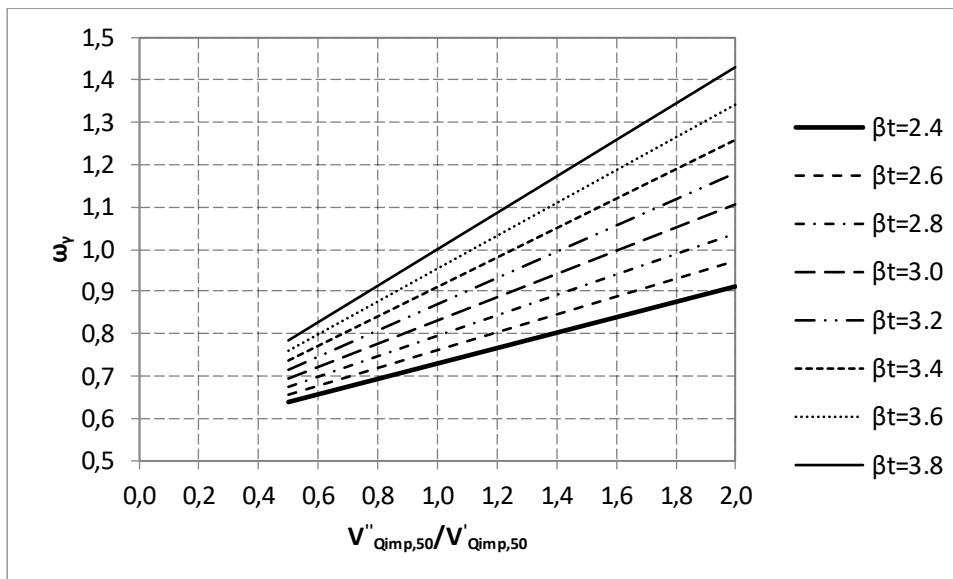
Γενικά δε συστήνεται τροποποίηση των επιμέρους συντελεστών που αφορούν τις εναλλακτικές τιμές του συντελεστή μεταβλητότητας για τις κλιματικές δράσεις. Όσον αφορά τη δράση του χιονιού, προτείνεται να χρησιμοποιούνται τιμές ανά περιοχή βάσει των κλιματικών δεδομένων της εκάστοτε περιοχής.

Γ) Φορτία Κυκλοφορίας

Για τα φορτία κυκλοφορίας συστήνεται η χρήση της μεθόδου A, καθώς δεν υπάρχει κάποιο γενικό πλαίσιο για την τροποποίηση των χαρακτηριστικών τιμών για τα φορτία κυκλοφορίας και επομένως εξαρτάται από τα εθνικά πρότυπα που αφορούν τα φορτία κυκλοφορίας.

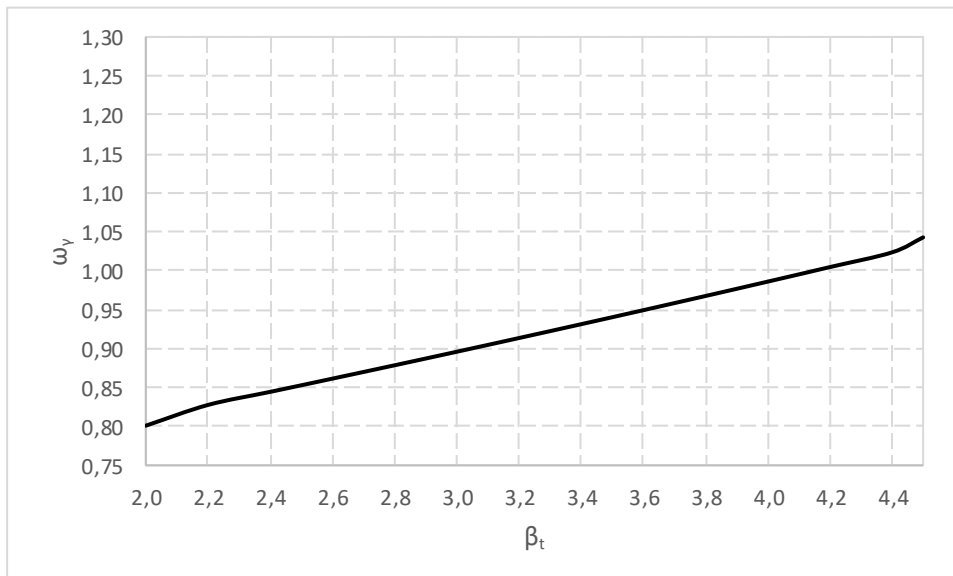
Γ) Διαγράμματα για τις Μεταβλητές Δράσεις (Μέθοδος B)

Στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζεται ο διορθωτικός συντελεστής ω_V για τα κινητά φορτία. Στην περίπτωση όπου το στοχευόμενο επίπεδο αξιοπιστίας αλλάζει σε σχέση με αυτό των νέων κατασκευών ή υπάρχουν επιπλέον πληροφορίες αναφορικά με το συντελεστή μεταβλητότητας των κινητών φορτίων στην υφιστάμενη κατασκευή. Η επιρροή στο διορθωτικό συντελεστή ω_V φαίνεται για επίπεδο αξιοπιστίας για τις νέες κατασκευές $\beta'=3.8$ και για συντελεστή μεταβλητότητας των κινητών φορτίων σε μια νέα κατασκευή $V_{Q_{imp},50}=0.25$.



Σχήμα 3-22: Επιρροή του συντελεστή στοχευόμενης αξιοπιστίας β_t που λαμβάνεται υπόψη για την αξιολόγηση της υφιστάμενης κατασκευής και του ποσοστού $V''_{Q_{imp,50}}/V'_{Q_{imp,50}}$ στο μειωτικό συντελεστή ω_γ ($\alpha_E = -0.7$, $\beta' = 3.8$, $V'_{Q_{imp,50}} = 0.25$) (Κατανομή Gumbel) (μέθοδος B- κινητά επιβαλλόμενα φορτία).

Στο ακόλουθο διάγραμμα φαίνεται ο διορθωτικός συντελεστής ω_γ για τις κλιματικές δράσεις λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές για τις νέες κατασκευές.



Σχήμα 3-23: Επιρροή του συντελεστή στοχευόμενης αξιοπιστίας β_t που λαμβάνεται υπόψη για την αξιολόγηση της υφιστάμενης κατασκευής στο διορθωτικό συντελεστή ω_γ ($\alpha_E = -0.7$, $\beta' = 2.8$, $V''_{Q_{clim,50}}/V'_{Q_{clim,50}} = 0.11$) (Κατανομή Gumbel) (μέθοδος B- άνεμος και χιόνι).

Συνεπώς, η προσέγγιση B επιτρέπει την υιοθέτηση του χαρακτηριστικού φορτίου όπως γίνεται για νέες κατασκευές σχεδιασμένες για εναπομένονσα διάρκεια ζωής λιγότερο από 50 χρόνια. Ως εκ τούτου αρκεί να συμπεριληφθεί μόνο η εναλλακτική τιμή του επιπέδου αξιοπιστίας στο διορθωτικό συντελεστή και οι επιπλέον πληροφορίες αναφορικά με το συντελεστή μεταβλητότητας της μεταβλητής που μελετάται.

3.2.4 ΣΥΝΟΨΗ ΤΩΝ ΣΧΕΣΕΩΝ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΩΝ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ

Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των διορθωτικών συντελεστών για τις διάφορες μεταβλητές,

Πίνακας 3-1: Διορθωτικοί συντελεστές ω_{γ} για τις διάφορες μεταβλητές

Μεταβλητή	Διορθωτικός Συντελεστής ω_{γ}
Ιδιότητες Υλικού X_i , (Λογαριθμοκανονική, $X_{\text{τερ}}=X_k$)	$\frac{\gamma_{Rd}(\beta'')}{\gamma_{Rd}(\beta')} e^{\left(\alpha_R \beta' V_X' \left(\frac{\beta'' V_X''}{\beta' V_X'} - 1\right) - 1.645 V_X' \left(\frac{V_X''}{V_X'} - 1\right)\right)}$
Μόνιμες Δράσεις	$\frac{\gamma_{Ed,G}(\beta'')}{\gamma_{Ed,G}(\beta')} \frac{1 - \alpha_E \beta'' V_G''}{1 - \alpha_E \beta' V_G'}$
Κινητά Φορτία (Μέθοδος Α)	$\frac{\gamma_{Ed,Q}(\beta'')}{\gamma_{Ed,Q}(\beta')} \frac{1 + V_{Qimp,5}'' [0.78 \ln(t_{ref}'')/5] - 0.45 - 0.78 \ln(-\ln(\Phi(-\alpha_E \beta'')))]}{1 + V_{Qimp,5}' [0.78 \ln(t_{ref}')/5] - 0.45 - 0.78 \ln(-\ln(\Phi(-\alpha_E \beta')))]}$
Κινητά Φορτία (Μέθοδος Β)	$\frac{\gamma_{Ed,Q}(\beta'')}{\gamma_{Ed,Q}(\beta')} \frac{1 - V_{Qimp,50}'' [0.45 + 0.78 \ln(-\ln(\Phi(-\alpha_E \beta'')))]}{1 - V_{Qimp,50}' [0.45 + 0.78 \ln(-\ln(\Phi(-\alpha_E \beta')))]}$
Περιβαλλοντικές Δράσεις (Μέθοδος Α)	$\frac{\gamma_{Ed,Q}(\beta'')}{\gamma_{Ed,Q}(\beta')} \frac{1 + V_{Qclim,1}'' [0.78 \ln(t_{ref}'') - 0.45 - 0.78 \ln(-\ln(\Phi(-\alpha_E \beta'')))]}{1 + V_{Qclim,1}' [0.78 \ln(t_{ref}') - 0.45 - 0.78 \ln(-\ln(\Phi(-\alpha_E \beta')))]}$
Περιβαλλοντικές Δράσεις (Μέθοδος Β)	$\frac{\gamma_{Ed,Q}(\beta'')}{\gamma_{Ed,Q}(\beta')} \frac{1 - V_{Qclim,50}'' [0.45 + 0.78 \ln(-\ln(\Phi(-\alpha_E \beta'')))]}{1 - V_{Qclim,50}' [0.45 + 0.78 \ln(-\ln(\Phi(-\alpha_E \beta')))]}$
Φορτία Κυκλοφορίας (Μέθοδος Α)	$\frac{\gamma_{Ed,Q}(\beta'') \gamma_q(\beta'', t_{ref}'')}{\gamma_{Ed,Q}(\beta') \gamma_q(\beta', t_{ref}')}$

Οι επιμέρους συντελεστές που σχετίζονται με τις αβεβαιότητες του προσομοιώματος υπολογίζονται ως εξής:

$$\gamma_{Rd} = \frac{1}{1 - \alpha_R \times \beta \times V_{\theta R}} = \frac{1}{1 - 0.32 \times \beta \times V_{\theta R}}$$

$$\gamma_{Sd} = 1 - \alpha_E \times \beta \times V_{\theta E} = 1 + 0.28 \times \beta \times V_{\theta E}$$

Τελικά, οι συντελεστές μεταβλητότητας που λαμβάνονται υπόψη ως δεδομένα σχετικά με τις νέες κατασκευές (και χρησιμοποιούνται για τους υπολογισμούς της παρούσης μεθόδου) φαίνονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 3-2: Συντελεστές Μεταβλητότητας

Αντοχή/ Δράση	Συντελεστής Μεταβλητότητας V_{θ} της αβεβαιότητας του προσομοιώματος της αντοχής/ Δράσης	Συντελεστής Μεταβλητότητας $V_{x'}$ των ιδιοτήτων των υλικών/φορτίων για νέες κατασκευές
Αντοχή Σκυροδέματος	$V_{\theta,Rd,c} = 0.075, V_{\theta,Rd2,c} = 0.075$	$V_c' = 0.15$
Αντοχή Διαρροής Χάλυβα	$V_{\theta,Rd,s} = 0.02, V_{\theta,Rd2,s} = 0.02$	$V_s' = 0.05$
Μόνιμες Δράσεις	$V_{\theta,G} = 0.065$	$V_G' = 0.10$
Κινητά Φορτία (Μέθοδος Α)	$V_{\theta,Q} = 0.11$	$V_{Qimp,50}' = 0.25$
Κινητά Φορτία (Μέθοδος Β)	$V_{\theta,Q} = 0.11$	$V_{Qimp,10}' = 0.25$
Περιβαλλοντικές Δράσεις (Μέθοδος Α)	$V_{\theta,Q} = 0.11$	$V_{Qclim,1}' = 0.25$
Περιβαλλοντικές Δράσεις (Μέθοδος Β)	$V_{\theta,Q} = 0.11$	$V_{Qclim,50}' = 0.25$
Φορτία Κυκλοφορίας (Μέθοδος Α)	$V_{\theta,Q} = 0.11$	-

4 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η επίλυση δύο εφαρμογών και θα συγκριθούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν με βάση την επίλυση με τη Μέθοδο Επιπέδου II και με τις μεθοδολογίες που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο (DVM-APFM).

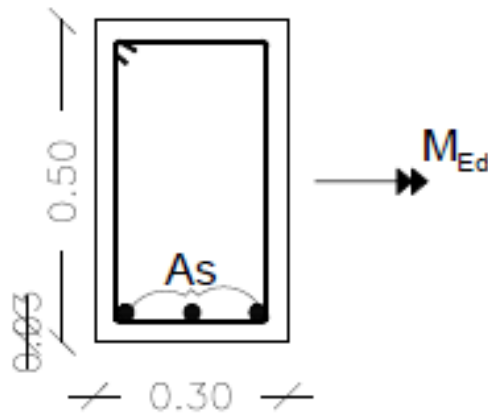
4.2 ΠΡΩΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

4.2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στην παρούσα εφαρμογή μελετάται μια υπάρχουσα δοκός από οπλισμένο σκυρόδεμα που δέχεται μόνιμα και κινητά φορτία. Το κινητό φορτίο αντιπροσωπεύει το φορτίο χιονιού, το φορτίο του ανέμου, το κινητό φορτίο σε ένα κτίριο γραφείων ή το φορτίο κυκλοφορίας. Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζεται η επίλυση με βάση τις μεθοδολογίες που προτείνονται από το FIB (DVM και APFM), καθώς και η επίλυση με τη μέθοδο του επιπέδου II, για την εύρεση του δείκτη αξιοπιστίας β , για την υπάρχουσα δοκό.

Οι επιμέρους συντελεστές έχουν προκύψει από τις μεθοδολογίες που περιεγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, δηλαδή τις (Design Value Method-DVM και Adjusted Partial Factor Method-APFM). Επιλέχθηκαν δείκτης στοχευόμενης αξιοπιστίας $\beta_t=3.1$ και περίοδος επαναφοράς $t_{ref}=15$ χρόνια για την υπάρχουσα κατασκευή. Υπάρχουν διαθέσιμες μετρήσεις του υλικού και των γεωμετρικών ιδιοτήτων καθώς και τα στατιστικά χαρακτηριστικά των κλιματικών φορτίων, που παρέχονται από τη μετεωρολογική υπηρεσία.

Συγκεκριμένα, στην παρούσα εφαρμογή εξετάζεται η επιρροή που έχει η κάθε μεθοδολογία στο δείκτη αξιοπιστίας, συναρτήσει του ποσοστού του κινητού φορτίου, και γίνεται σύγκριση των δεικτών αξιοπιστίας που προκύπτουν από την κάθε μέθοδο. Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία εξετάζεται η περίπτωση της καμπτόμενης δοκού, με ροπή κάμψης που οφείλεται μόνο στα μόνιμα και στα κινητά επιβαλλόμενα φορτία. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η διατομή της δοκού που μελετάται σ' αυτή την εφαρμογή. Η διατομή αυτή υπόκειται σε κάμψη και το φορτίο που δέχεται είναι η ροπή κάμψης που οφείλεται στα μόνιμα και στα κινητά επιβαλλόμενα φορτία. Οι διαστάσεις της διατομής έχουν προκύψει από επιτόπιες μετρήσεις στην κατασκευή.



Σχήμα 4-1: Διατομή της Δοκού που υπόκειται σε κάμψη

4.2.2 ΔΡΑΣΕΙΣ

(I) Μόνιμες Δράσεις

Από μετρήσεις στην κατασκευή προσδιορίζονται η χαρακτηριστική τιμή της ροπής λόγω των μόνιμων φορτίων (ιδίου βάρους, κλπ) $M_{Gk} = \mu_{MG}$ και ο συντελεστής μεταβλητότητας της ροπής λόγω του μόνιμου φορτίου. Συγκριμένα, η ροπή κάμψης που εφαρμόζεται στη δοκό, λόγω των μόνιμων φορτίων, είναι $M_{Gk} = 50 \text{ kNm}$.

Υπολογίζεται η παράμετρος χ , που συμβολίζει το ποσοστό του κινητού φορτίου προς το συνολικό φορτίο, δηλαδή το ποσοστό της ροπής λόγω κινητών φορτίων προς τη συνολική ροπή (μόνιμα και κινητά φορτία):

$$\chi = \frac{M_{Qk}}{M_{Gk} + M_{Qk}}$$

Γενικά, το ποσοστό του φορτίου μπορεί να κυμαίνεται από περίπου 0 (υπόγειες κατασκευές, θεμελίωση) μέχρι περίπου 1 (φορτία σε γέφυρες, γερανοί). Για τις δοκούς από οπλισμένο σκυρόδεμα στα κτίρια το χ κυμαίνεται από 0.4 μέχρι 0.7, και για τα υποστυλώματα σε ένα εύρος 0.1 με 0.6. Με δεδομένο το M_{Gk} και το χ , υπολογίζεται η χαρακτηριστική τιμή M_{Qk} από την παραπάνω σχέση.

(II) Κινητά Φορτία

Γίνεται η παραδοχή ότι δεν υπάρχουν πληροφορίες για τα στατιστικά χαρακτηριστικά των κινητών επιβαλλόμενων φορτίων. Επιπλέον, γίνεται η υπόθεση ότι το κινητό φορτίο που επιβάλλεται στην κατασκευή αλλάζει κάθε 5 χρόνια περίπου. Η μέση τιμή του κινητού φορτίου αντιστοιχεί στην περίοδο επαναφοράς t_{ref} (σε χρόνια) που ακολουθεί κατανομή Gumbel, υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\mu_{Q,tref} = \mu_{Q,5} + 0.78 \cdot \sigma_{Q,5} \cdot \ln(t_{ref}/5)$$

Όπου $\sigma_{Q,5} = \sigma_{Q,tref}$ είναι η τυπική απόκλιση για το μέγιστο του συστατικού του κινητού φορτίου που εξαρτάται από το χρόνο και αντιστοιχεί στα 5 χρόνια και στην περίοδο επαναφοράς t_{ref} αντίστοιχα.

Η χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου αντιστοιχεί σε ποσοστμόριο 95% της κατανομής Gumbel (για βασική περίοδο επαναφοράς 5 χρόνια).

Η ροπή σχεδιασμού σύμφωνα με τη μέθοδο DVM υπολογίζεται ως εξής:

$$M_{Ed} = \max[\gamma_{Ed} \cdot \gamma_g \cdot M_{Gk} + \gamma_{Ed} \cdot \gamma_q(t_{ref}) \cdot \psi_0 \cdot M_{Qk}(\chi); \xi \cdot \gamma_{Ed} \cdot \gamma_g \cdot M_{Gk} + \gamma_{Ed} \cdot \gamma_q(t_{ref}) \cdot M_{Qk}(\chi)]$$

Όπου, $\xi=0.85$ και $\psi_0=0.7$, όπως είναι και στον EN 1990:2002.

Για τον προσδιορισμό του φορτίου σχεδιασμού με τη μέθοδο APFM, αντικαθίσταται το $(\gamma_{Ed} \cdot \gamma_g)$ με το $\gamma_{G,exist}$ και το $(\gamma_{Ed} \cdot \gamma_q)$ με το $\gamma_{Q,exist}$.

4.2.3 ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ

Όπως και στον Ευρωκώδικα έτσι και στις μεθόδους DVM και APFM η επίλυση γίνεται με την υπόθεση ότι η αντίσταση είναι ίση με τις δράσεις στο σημείο σχεδιασμού για τη δοκό, ώστε η διατομή να βρίσκεται σε ισορροπία εσωτερικών-εξωτερικών δυνάμεων, δηλαδή $R_d = E_d$.

Συγκεκριμένα, στην παρούσα εφαρμογή το φορτίο που δέχεται η διατομή είναι ροπή, επομένως και η δράση αντίστασης είναι ροπή (για να υπάρχει ισορροπία της διατομής, δηλαδή $M_{Rd} = M_{Ed}$).

Η αντίσταση μιας υπάρχουσας δοκού από οπλισμένο σκυρόδεμα, με οπλισμό μόνο στα σημεία που εφελκύεται η εκάστοτε διατομή, και η οποία υποβάλλεται σε κάμψη δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$M_R(\rho) = \theta_{R,M} \cdot \rho \cdot b \cdot (h - a) \cdot f_y \cdot \left[h - a - 0.5 \cdot \rho \cdot (h - a) \cdot \frac{f_y}{f_c} \right]$$

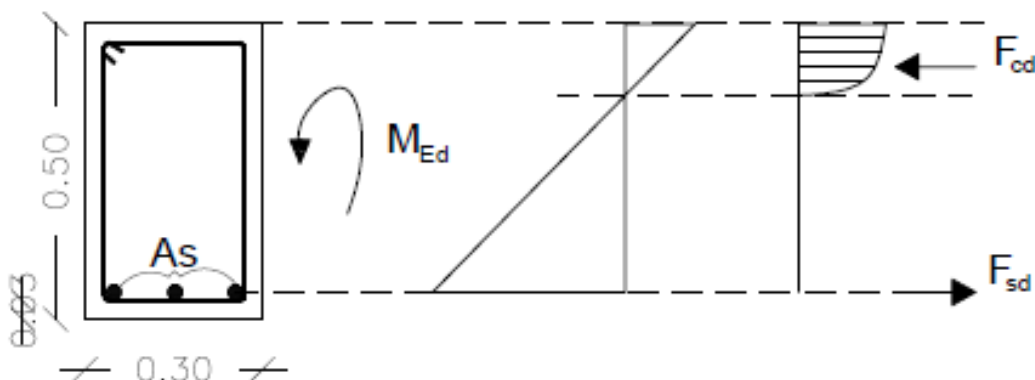
Για να ικανοποιείται η εξίσωση ασφαλείας, δηλαδή $M_{Rd} = M_{Ed}$, το ποσοστό του οπλισμού δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\rho(\chi, t_{ref}) = \frac{\frac{f_{ck}}{\gamma_{Rd,c}} \cdot \gamma_c}{\frac{f_{yk}}{\gamma_{Rd,s}} \cdot \gamma_s} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}(\chi, t_{ref})}{b \cdot (h - a)^2 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_{Rd,c}} \cdot \gamma_c}} \right)$$

Όταν εφαρμόζεται η μέθοδος APFM, αντικαθίσταται το $(\gamma_{Rd} \cdot \gamma_c)$ με το $\gamma_{c,exist}$ και το $(\gamma_{Rd} \cdot \gamma_s)$ με το $\gamma_{s,exist}$.

Για το αναμενόμενο εύρος του ποσοστού του φορτίου $\chi \in (0.4, 0.7)$, το ποσοστό του οπλισμού κυμαίνεται μεταξύ 0.25 και 0.75% και η αστοχία οφείλεται κυρίως στις ιδιότητες του χάλυβα.

Τα προσομοιώματα για τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (h, b, a) βασίζονται στις επιτόπιες μετρήσεις στην υπάρχουσα κατασκευή. Τα προσομοιώματα για την αντοχή του σκυροδέματος f_c και την εφελκυστική αντοχή του χάλυβα f_y βασίζονται σε δοκιμές σε δείγματα μεγέθους $n=20$ και $n=5$ αντίστοιχα, για τη συγκεκριμένη περίπτωση.



Σχήμα 4-2: Ισορροπία Εσωτερικών-Εξωτερικών Δυνάμεων στη Διατομή της Δοκού

Οι μέθοδοι DVM και APFM είναι ημι-πιθανοτικές μέθοδοι. Δηλαδή οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας που υπολογίζονται μέσω αυτών των μεθόδων για τον έλεγχο της κατασκευής βασίζονται σε πιθανοτικά

προσομοιώματα και στα στατιστικά χαρακτηριστικά για τις διάφορες μεταβλητές της εκάστοτε εφαρμογής. Η επίλυση ωστόσο γίνεται ντετερμινιστικά, με δεδομένους τους επιμέρους συντελεστές ασφαλείας, που αλλάζουν ανάλογα με τις παραδοχές της κάθε εφαρμογής. Η μέθοδος επιπέδου II είναι μια πιθανοτική μέθοδος, η οποία χρησιμοποιεί τα πιθανοτικά προσομοιώματα και τα στατιστικά χαρακτηριστικά για την κάθε μεταβλητή, χωρίς τους επιμέρους συντελεστές ασφαλείας, όπως παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 3 της παρούσας εργασίας. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται αναλυτικά τα στατιστικά χαρακτηριστικά για κάθε μεταβλητή.

Πίνακας 4-1: Πιθανοτικά προσομοιώματα για τις βασικές μεταβλητές ($\beta_t = 3,1$; $t_{ref} = 15$ χρόνια)

X	Μεταβλητή, πηγή πληροφοριών	Κατανομή	μ_x/X_k	V_x	γ_x (DVM)	$\gamma_{x,exist}$ (APFM)	Άλλοι συντελεστές
G	Μόνιμη δράση, επιτόπιες μετρήσεις	N	1	0,1	1,22	1,28	0,85 (EN 1990:2002)
C_{0Q}	Αβεβαιότητα προσομοιώματος για τα κινητά επιβαλλόμενα φορτία, κρίση μελετητή	LN	1	0,1	-	-	-
Q	Μέγιστο φορτίο για 5 χρόνια (JCSS PMC 2001)	Gum	0,2	1,1	1,02	$\frac{\text{Μέθοδος A}}{1,10}$ $\frac{\text{Μέθοδος B}}{1,27}$	0,7 (EN 1990:2002)
f_c	Θλιπτική αντοχή σκυροδέματος, δοκιμές υλικών (μέγεθος δείγματος $n=20$)	LN	40/29,4	0,15	1,13	1,32	-
f_y	Αντοχή διαρροής χάλυβα, δοκιμές υλικών (μέγεθος δείγματος $n=5$)	LN	560/490	0,05	1,04	1,1	-
h	Ύψος δοκού (0.5 m), επιτόπιες μετρήσεις	N	1	0,02	-	-	-
b	Πλάτος δοκού (0.3 m), επιτόπιες μετρήσεις	det	1	-	-	-	-
a	Επικάλυψη οπλισμού (0.03 m), επιτόπιες μετρήσεις	Gamma	1	0,17	-	-	-
$\theta_{R,N}$	Αβεβαιότητα αντίστασης- για θλίψη (αστοχία)	LN	1	0,14	-	-	-

οφείλεται σε ιδιότητες σκυροδέματος κυρίως)							
$\theta_{R,M}$	Αβεβαιότητα αντίστασης - για ροπή κάμψης (ιδιότητες χάλυβα κυριαρχούν στην αστοχία)	LN	1	0,06	-	-	-
$\theta_{E,M}$	Αβεβαιότητα δράσεων (καμπτική ροπή), (JCSS PMC 2001)	LN	1	0,1	-	-	-
$\theta_{E,N}$	Αβεβαιότητα δράσεων (αξονικές δυνάμεις) (JCSS PMC 2001)	LN	1	0,05	-	-	-

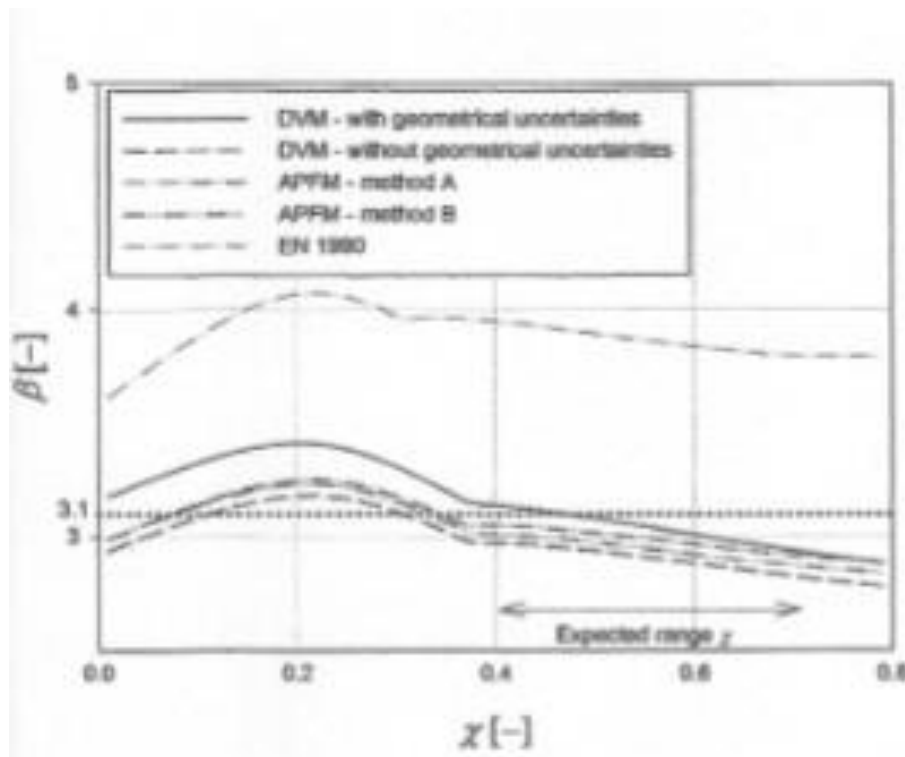
4.2.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την επίλυση της εφαρμογής για τα μόνιμα και τα κινητά φορτία στη δοκό. Η εξίσωση ασφαλείας (σε όρους ροπών), διαμορφώνεται ως εξής:

$$\text{Κινητά Φορτία: } Z(X) = \theta_{R,M} \cdot M_R(X) - \theta_{E,M} \cdot [M_G + C_{0Q} \cdot M_{Q,tref}(X)]$$

Στο επόμενο διάγραμμα φαίνεται η διακύμανση του δείκτη αξιοπιστίας β σε σχέση με το ποσοστό του κινητού φορτίου χ , για $t_{ref} = 15$ χρόνια και $\beta_t = 3.1$ για μια καμπτόμενη δοκό που φορτίζεται με τα μόνιμα και τα κινητά φορτία. Αξίζει να σημειωθεί ότι αν υπάρχουν και άλλα είδη κινητών φορτίων που δρουν στη δοκό, η επίλυση γίνεται ξεχωριστά για την περίπτωση των μόνιμων φορτίων μαζί με κάθε ένα είδος κινητού φορτίου και όχι για το συνδυασμό των κινητών φορτίων, όπως στην εξίσωση ασφαλείας που περιγράφηκε για την περίπτωση των κινητών φορτίων παραπάνω. Η εξίσωση ασφαλείας διαμορφώνεται για το κάθε είδος κινητού φορτίου με όμοιο τρόπο. Τα συνημίτονα κατεύθυνσης λαμβάνονται όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Συγκεκριμένα, για τις δράσεις, αν η δράση είναι κύρια, τότε ο συντελεστής ευαισθησίας παίρνει την τιμή $\alpha_E = -0.7$, ενώ αν υπάρχει δευτερεύουσα δράση μπορεί να πάρει την τιμή $\alpha_E = -0.28$. Ο συντελεστής ευαισθησίας (συνημίτονο κατεύθυνσης) στην περίπτωση μιας μεταβλητής αντοχής μπορεί να πάρει την τιμή $\alpha_R = 0.8$.

Επιπλέον, στο διάγραμμα έχει σχεδιαστεί και ο δείκτης αξιοπιστίας β για τους επιμέρους συντελεστές όπως ορίζονται για τις νέες κατασκευές στον EN 1990:2002 ($\gamma_c = 1.5$, $\gamma_s = 1.15$, $\gamma_G = 1.35$ και $\gamma_Q = 1.50$) ανεξάρτητα από το t_{ref} . Αυτό γίνεται για να υπάρξει πιο ξεκάθαρη σύγκριση των αποτελεσμάτων των μεθόδων DVM και APFM.



Σχήμα 4-3: Διακύμανση του δείκτη αξιοπιστίας β για μια δοκό που υπόκειται σε κάμψη λόγω των κινητών επιβαλλόμενων φορτίων ($\beta_t = 3.1$). [2]

4.2.5 ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΕΠΙΠΕΔΟΥ II

Με τις ίδιες παραδοχές που χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση με βάση τις μεθόδους DVM και APFM, γίνεται και επίλυση με τη μέθοδο Επιπέδου II, στην οποία όμως γίνεται ακριβής υπολογισμός των συνημιτόνων κατεύθυνσης για όλες τις μεταβλητές. Η επίλυση επιπέδου II έγινε για την κάθε μέθοδο, δηλαδή για την DVM, για την APFM και για τον EN 1990, για επιβολή κινητών φορτίων (ροπής) στη δοκό. Ομοίως γίνεται και η επίλυση για τα υπόλοιπα είδη φορτίων, που όμως δεν παρουσιάζεται στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία.

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά οι παραδοχές που έχουν γίνει για την επίλυση Επιπέδου II, για κάθε μέθοδο. Με έντονα γράμματα τονίζονται οι παράμετροι που διαφέρουν σε κάθε μέθοδο.

Όπου με m συμβολίζεται η μέση τιμή της κάθε μεταβλητής, με V ο συντελεστής μεταβλητότητας της κάθε μεταβλητής, και σ η τυπική απόκλιση της κάθε μεταβλητής. Η μέθοδος επιπέδου II δεν αλλάζει σε διαδικασία για την κάθε περίπτωση επίλυσης, δηλαδή για τη μέθοδο DVM, APFM και EN 1990. Αυτό που διαφοροποιείται όπως φαίνεται και στον επόμενο πίνακα είναι οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας, που επηρεάζουν τη ροπή των δράσεων και κατά συνέπεια, τον εφελκυσμένο οπλισμό και τη ροπή των αντιστάσεων, λόγω της εξίσωσης ισορροπίας.

Πίνακας 4-2: Δεδομένα-Παραδοχές για τις μεθόδους DVM-APFM-EN 1990

Δεδομένα	DVM	APFM	EN 1990
G _k (kNm)	50,00	50,00	50,00
f _{ck} (MPa)	29,40	29,40	29,40
f _{yk} (MPa)	490,00	490,00	490,00
γ_{Rd,s}	1,06	-	-
γ_c	1,13	1,32	1,50
γ_s	1,04	1,10	1,15
γ_{Rd,c}	1,15	-	-
f _y (MPa)	560,00	560,00	560,00
f _c (MPa)	40,00	40,00	40,00
b (m)	0,30	0,30	0,30
h (m)	0,50	0,50	0,50
a (m)	0,03	0,03	0,03
γ_{Ed}	1,09	-	-
γ_g	1,22	1,28	1,35
γ_q	1,02	1,10	1,50
ψ ₀	0,70	0,70	0,70
ξ	0,85	0,85	0,85
m _{θR,M}	1,00	1,00	1,00
V _{θR,M}	0,06	0,06	0,06
σ _{θR,M}	0,06	0,06	0,06
V _{f_y}	0,05	0,05	0,05
σ _{f_y}	2,80	2,80	2,80
m _{θE,M}	1,00	1,00	1,00
V _{θE,M}	0,10	0,10	0,10
σ _{θE,M}	0,10	0,10	0,10
m _G (kNm)	50,00	50,00	50,00
V _G	0,10	0,10	0,10
σ _G (kNm)	5,00	5,00	5,00
V _Q	1,10	1,10	1,10

Η επίλυση γίνεται για τα διάφορα ποσοστά φορτίου χ από 0.01 ως 0.8 και υπολογίζεται ο συντελεστής αξιοπιστίας β για κάθε χ στο διάστημα αυτό. Η χαρακτηριστική τιμή της ροπής του κινητού φορτίου είναι συνάρτηση του ποσοστού του φορτίου χ και υπολογίζεται από τον τύπο που ακολουθεί.

$$\chi = \frac{M_{Qk}}{M_{Gk} + M_{Qk}} \Rightarrow M_{Qk} = \chi \cdot M_{Qk} + \chi \cdot M_{Gk} \Rightarrow M_{Qk} = \frac{\chi \cdot M_{Gk}}{1 - \chi}$$

Επιπλέον για το κινητό φορτίο ισχύει η παραδοχή:

$$\frac{m_{MQ}}{M_{Qk}} = 0.2$$

Έτσι υπολογίζεται και η μέση τιμή του κινητού φορτίου.

Οι τυχαίες μεταβλητές στην παρούσα εφαρμογή είναι οι εξής:

$\theta_{R,M}$ → ο συντελεστής αβεβαιότητας του προσομοιώματος των αντιστάσεων

f_y → η αντοχή διαρροής του χάλυβα

$\theta_{E,M}$ → ο συντελεστής αβεβαιότητας του προσομοιώματος των δράσεων

M_G → η ροπή λόγω του μόνιμου φορτίου της δοκού

$M_{Q_{tref}}(\chi)$ → η ροπή λόγω του κινητού φορτίου της δοκού (συναρτήσει της περιόδου επαναφοράς και του ποσοστού του κινητού φορτίου)

Στην παρούσα επίλυση οι παραπάνω τυχαίες μεταβλητές, που ακολουθούν τις κατανομές που περιγράφονται παρακάτω με την εξής μορφή:

Μεταβλητή ~ Κατανομή (μέση τιμή, τυπική απόκλιση)

$$\theta_{R,M} \sim LN(1, 0.06)$$

$$f_y \sim LN(560, 2.8) \text{ MPa}$$

$$\theta_{E,M} \sim LN(1, 0.01)$$

$$M_G \sim N(50, 5) \text{ kNm}$$

$$M_{Q_{tref}}(\chi) \sim Gum(m_{Qk}(\chi), 1.1 \cdot m_{Qk}(\chi)) \text{ kNm}$$

Δηλαδή, αναλυτικότερα η μεταβλητή $\theta_{R,M}$ ακολουθεί λογαριθμοκανονική κατανομή με μέση τιμή 1 και τυπική απόκλιση 0.06. Η μεταβλητή f_y ακολουθεί λογαριθμοκανονική κατανομή με μέση τιμή 560 MPa και τυπική απόκλιση 2.8 MPa. Η μεταβλητή $\theta_{E,M}$ ακολουθεί λογαριθμοκανονική κατανομή με μέση τιμή 1 και τυπική απόκλιση 0.01. Η μεταβλητή M_G ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή 50 kNm και τυπική απόκλιση 5 kNm. Η μεταβλητή $M_{Q_{tref}}(\chi)$ ακολουθεί κατανομή Gumbel με μέση τιμή $m_{Qk}(\chi)$ kNm και τυπική απόκλιση $1.1 \cdot m_{Qk}(\chi)$ kNm.

Οι υπόλοιπες μεταβλητές λογίζονται ως ντετερμινιστικές, δηλαδή συγκεκριμένα το ποσοστό του οπλισμού ρ , οι διαστάσεις της διατομής b, h, a , και η αντοχή του σκυροδέματος f_c . Επιπλέον, κατά κρίση του μελετητή μηχανικού η μεταβλητή C_{0Q} που είναι ένας επιπλέον συντελεστής για τα κινητά φορτία, λήφθηκε υπόψη ντετερμινιστικά με τιμή 1.

Έτσι, στη συνέχεια υπολογίζονται με τους τύπους που ακολουθούν οι δράσεις στο σημείο σχεδιασμού και το ποσοστό του οπλισμού.

$$M_{Ed} = \max[\gamma_{Ed} \cdot \gamma_g \cdot M_{Gk} + \gamma_{Ed} \cdot \gamma_q(t_{ref}) \cdot \psi_0 \cdot M_{Qk}(\chi); \xi \cdot \gamma_{Ed} \cdot \gamma_g \cdot M_{Gk} + \gamma_{Ed} \cdot \gamma_q(t_{ref}) \cdot M_{Qk}(\chi)]$$

$$\rho(\chi, t_{ref}) = \frac{\frac{f_{ck}}{\gamma_{Rd,c} \cdot \gamma_c}}{\frac{f_{yk}}{\gamma_{Rd,s} \cdot \gamma_s}} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}(\chi, t_{ref})}{b \cdot (h - a)^2 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_{Rd,c} \cdot \gamma_c}}} \right)$$

Τα μεγέθη αυτή αντικαθίστανται στην αντίσταση και κατά συνέπεια στην εξίσωση ασφαλείας. Η αντίσταση δίνεται από τον επόμενο τύπο.

$$M_R(\rho) = \theta_{R,M} \cdot \rho \cdot b \cdot (h - a) \cdot f_y \cdot \left[h - a - 0.5 \cdot \rho \cdot (h - a) \cdot \frac{f_y}{f_c} \right]$$

Η εξίσωση ασφαλείας είναι η εξής:

$$Z(X) = \theta_{R,M} \cdot M_R(\chi) - \theta_{E,M} \cdot [M_G + C_{0Q} \cdot M_{Q_{tref}}(\chi)] \Rightarrow$$

$$Z(X) = \theta_{R,M} \cdot \rho \cdot b \cdot (h - a) \cdot f_y \cdot \left[h - a - 0.5 \cdot \rho \cdot (h - a) \cdot \frac{f_y}{f_c} \right] - \theta_{E,M} \cdot [M_G + C_{0Q} \cdot M_{Q_{tref}}(\chi)]$$

Σύμφωνα με τη μέθοδο επιπέδου II για τις μεταβλητές που δεν ακολουθούν κανονική κατανομή χρησιμοποιείται ο μετασχηματισμός Rackwitz-Fiessler για τον υπολογισμό των „ισοδύναμων” παραμέτρων κανονικής κατανομής, έτσι ώστε οι συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας και οι συναρτήσεις κατανομής να συμπίπτουν στο σημείο σχεδιασμού:

Αναλυτικότερα ακολουθείται η εξής διαδικασία για τις μεταβλητές που ακολουθούν λογαριθμοκανονική κατανομή:

$$m = e^{\mu + \frac{1}{2}\sigma^2}$$

$$s = \sqrt{e^{2\mu + \sigma^2} \cdot (e^{\sigma^2} - 1)}$$

Όπου, m , s η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση για την πραγματική κατανομή της μεταβλητής και μ , σ η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση για την αντίστοιχη κανονική κατανομή στο σημείο σχεδιασμού για την κάθε μεταβλητή.

Αντιστοίχως μετασχηματίζεται και η μεταβλητή του κινητού φορτίου που ακολουθεί κατανομή Gumbel, σύμφωνα με τους τύπους της κατανομής Gumbel.

Συγκεκριμένα, για τις τυχαίες μεταβλητές της εφαρμογής παρουσιάζεται παρακάτω ο μετασχηματισμός αυτός,

Για το $\theta_{R,M}$ (λογαριθμοκανονική)

$$m = e^{\mu + \frac{1}{2}\sigma^2} = 1$$

$$s = \sqrt{e^{2\mu + \sigma^2} \cdot (e^{\sigma^2} - 1)} = 0.06$$

Γίνεται επίλυση συστήματος δύο εξισώσεων με δύο αγνώστους. Επομένως, μετά από τους υπολογισμούς προκύπτει $\mu = -0.002$ και $\sigma = 0.063$ (οι παράμετροι της αντίστοιχης κανονικής κατανομής).

Για το f_y/f_{y_k} (λογαριθμοκανονική) ομοίως:

$$m = 56/49 = 1.14$$

$$s = 0.05 \cdot 1.14 = 0.057$$

$$m = e^{\mu + \frac{1}{2}\sigma^2} = 1.14$$

$$s = \sqrt{e^{2\mu + \sigma^2} \cdot (e^{\sigma^2} - 1)} = 0.057$$

Γίνεται επίλυση συστήματος δύο εξισώσεων με δύο αγνώστους. Μετά από τους υπολογισμούς προκύπτει $\mu = 0.13$ και $\sigma = 0.004$ (οι παράμετροι της αντίστοιχης κανονικής κατανομής). Αξίζει να σημειωθεί ότι εφόσον η μεταβλητή f_y ακολουθεί λογαριθμοκανονική κατανομή είναι ορθότερο να είναι καθαρός αριθμός το περιεχόμενο του λογαρίθμου και γι' αυτό διαιρέθηκε η μέση τιμή με τη χαρακτηριστική και αυτή λογίστηκε ως μεταβλητή για την επίλυση του προβλήματος.

Για το $\theta_{E,M}$, (λογαριθμοκανονική) ομοίως

$$m = e^{\mu + \frac{1}{2}\sigma^2} = 1$$

$$s = \sqrt{e^{2\mu + \sigma^2} \cdot (e^{\sigma^2} - 1)} = 0.01$$

Γίνεται επίλυση συστήματος δύο εξισώσεων με δύο αγνώστους. Επομένως, μετά από τους υπολογισμούς προκύπτει $\mu = -0.00005$ και $\sigma = 0.01$ (οι παράμετροι της αντίστοιχης κανονικής κατανομής).

Για το $M_{Q,tref}$ (Gumbel)

Για τη μεταβλητή της ροπής του κινητού φορτίου που ακολουθεί κατανομή Gumbel πρέπει να ακολουθηθεί η εξής διαδικασία, σύμφωνα με τους τύπους της κατανομής Gumbel:

$$F_{q,tref} = [F_{q,t_0}]^{tref/t_0} = e^{-e^{-\left[\frac{q-(u+\theta \ln(\frac{tref}{t_0}))}{\theta}\right]}} \Rightarrow -\ln(F_{q,tref}) = e^{-\left[\frac{q-(u+\theta \ln(\frac{tref}{t_0}))}{\theta}\right]} \Rightarrow$$

$$\ln(-\ln(F_{q,tref})) = -\left[\frac{q-(u+\theta \ln(\frac{tref}{t_0}))}{\theta}\right] \Rightarrow \theta \cdot \ln(-\ln(F_{q,tref})) = -q + u + \theta \cdot \ln\left(\frac{tref}{t_0}\right) \Rightarrow$$

$$q = u + \theta \cdot \ln\left(\frac{tref}{t_0}\right) - \theta \cdot \ln(-\ln(F_{q,tref}))$$

Για 5% πιθανότητα υπέρβασης η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου q_k είναι

$$q_k = u + \theta \cdot \ln\left(\frac{tref}{t_0}\right) - \theta \cdot \ln(-\ln(0.95)) \Rightarrow u = q_k - \theta \cdot \ln\left(\frac{tref}{t_0}\right) + \theta \cdot \ln(-\ln(0.95))$$

$$\sigma = 1.282 \cdot \theta$$

$$\mu = u + 0.5772 \cdot \theta + \theta \cdot \ln\left(\frac{tref}{t_0}\right)$$

$$V = \frac{\sigma}{\mu} = \frac{1.282 \cdot \theta}{u + 0.5772 \cdot \theta + \theta \cdot \ln\left(\frac{tref}{t_0}\right)} = \frac{1.282 \cdot \theta}{q_{k,tref} + 0.5772 \cdot \theta + \theta \cdot \ln(-\ln(0.95))} \Rightarrow$$

$$V \cdot q_{k,tref} + V \cdot 0.5772 \cdot \theta + V \cdot \theta \cdot \ln(-\ln(0.95)) = 1.282 \cdot \theta$$

$$\theta = \frac{q_{k,tref}}{\frac{1.282}{V} - 0.5772 - \ln(-\ln(0.95))}$$

$$\mu = \frac{\sigma}{V} = \frac{1.282 \cdot \theta}{V} \Rightarrow s = \mu \cdot V$$

Όπου, u, θ οι παράμετροι της κατανομής Gumbel, και σ και μ η τυπική απόκλιση και η μέση τιμή της κατανομής Gumbel αντίστοιχα.

Έπειτα υπολογίζονται οι τυποποιημένες μεταβλητές, που στην παρούσα εφαρμογή είναι οι εξής:

$$Z_1 = \frac{\theta_{R,M} - \mu_{\theta_{R,M}}}{\sigma_{\theta_{R,M}}} \Rightarrow \theta_{R,M} = \sigma_{\theta_{R,M}} \cdot Z_1 + \mu_{\theta_{R,M}}$$

$$Z_2 = \frac{f_y/f_{yk} - \mu_{f_y/f_{yk}}}{\sigma_{f_y/f_{yk}}} \Rightarrow f_y/f_{yk} = \sigma_{f_y/f_{yk}} \cdot Z_2 + \mu_{f_y/f_{yk}}$$

$$Z_3 = \frac{\theta_{E,M} - \mu_{\theta_{E,M}}}{\sigma_{\theta_{E,M}}} \Rightarrow \theta_{E,M} = \sigma_{\theta_{E,M}} \cdot Z_3 + \mu_{\theta_{E,M}}$$

$$Z_4 = \frac{M_G - \mu_G}{\sigma_G} \Rightarrow M_G = \sigma_G \cdot Z_4 + \mu_G$$

$$Z_5 = \frac{M_Q - \mu_Q}{\sigma_Q} \Rightarrow M_Q = \sigma_Q \cdot Z_5 + \mu_Q$$

Στη συνέχεια γίνεται αντικατάσταση στην εξίσωση ασφαλείας των ανηγμένων μεταβλητών, και συγκεκριμένα, στην εξίσωση

$$Z(X) = \theta_{R,M} \cdot \rho \cdot b \cdot (h - a) \cdot f_y \cdot \left[h - a - 0.5 \cdot \rho \cdot (h - a) \cdot \frac{f_y}{f_c} \right] - \theta_{E,M} \cdot [M_G + C_{0Q} \cdot M_{Q,tref}(X)]$$

το $\theta_{R,M}$ αντικαθίσταται με το $(\sigma_{\theta_{R,M}} \cdot Z_1 + \mu_{\theta_{R,M}})$, το f_y/f_{yk} με το $(\sigma_{f_y/f_{yk}} \cdot Z_2 + \mu_{f_y/f_{yk}})$, το $\theta_{E,M}$ με το $(\sigma_{\theta_{E,M}} \cdot Z_3 + \mu_{\theta_{E,M}})$, το M_G με το $(\sigma_G \cdot Z_4 + \mu_G)$, και το M_Q με το $(\sigma_Q \cdot Z_5 + \mu_Q)$.

Όπου, $Z_i = \beta \cdot a_i$, και β ο συντελεστής αξιοπιστίας-ασφάλειας και a_i τα συνημίτονα κατεύθυνσης ($a_i > 0$ για τις δράσεις και $a_i < 0$ για τις αντιστάσεις).

Η εξίσωση ασφαλείας στο επίπεδο των ανηγμένων μεταβλητών

$$Z(X) = \theta_{R,M} \cdot \rho \cdot b \cdot (h - a) \cdot f_y \cdot \left[h - a - 0.5 \cdot \rho \cdot (h - a) \cdot \frac{f_y}{f_c} \right] - \theta_{E,M} \cdot [M_G + C_{0Q} \cdot M_{Q,tref}(X)] = 0$$

επιλύεται, μετά από διαδοχικές δοκιμές ως προς το δείκτη αξιοπιστίας β .

Επίσης, ισχύει ότι

$$a_i = \frac{-\frac{dg}{dz_i}(\beta \cdot \alpha)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n \left(\frac{dg}{dz_i}(\beta \cdot \alpha)\right)^2}} \Rightarrow a_i = -\frac{1}{k} \cdot \frac{dg}{dz_i}(\beta \cdot \alpha)$$

Όπου, k τέτοιο ώστε $\sum a_i^2 = 1$.

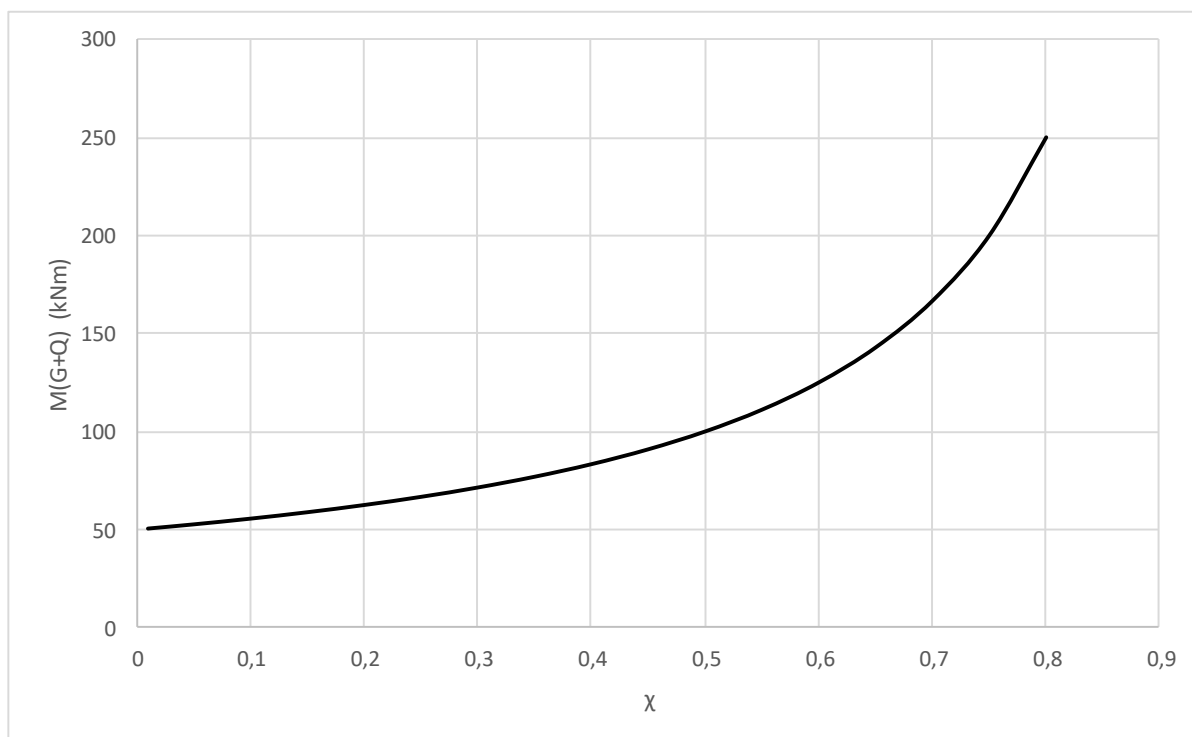
Μετά από τις διαδοχικές δοκιμές υπολογίζεται ο δείκτης αξιοπιστίας και το σημείο σχεδιασμού για κάθε χ .

Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε $\chi \in (0.01, 0.8)$ και για τις μεθόδους DVM, APFM και για τον EN 1990:2002.

Στη συνέχεια παρατίθενται τα διαγράμματα που προέκυψαν από την επίλυση Επιπέδου II για κάθε μέθοδο. Ακολουθούν πίνακες και διαγράμματα για τη συνολική ροπή που δέχεται η δοκός συναρτήσει του ποσοστού του κινητού φορτίου χ , καθώς και για το ποσοστό του εφελκόμενου οπλισμού της δοκού, πάλι συναρτήσει του ποσοστού του κινητού φορτίου.

Πίνακας 4-3: Συνολικό φορτίο (ροπή) G+Q (KNm) για κάθε χ

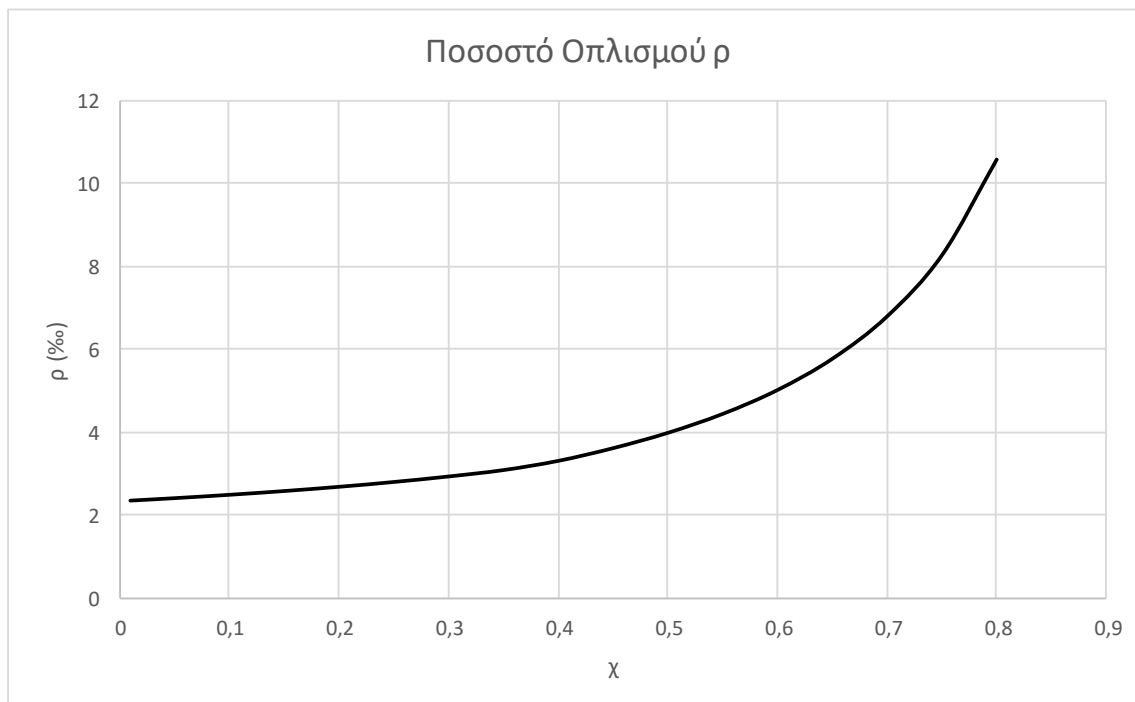
χ	G+Q(kNm)
0,01	50,51
0,05	52,63
0,10	55,56
0,15	58,82
0,20	62,50
0,25	66,67
0,30	71,43
0,35	76,92
0,40	83,33
0,45	90,91
0,50	100,00
0,55	111,11
0,60	125,00
0,65	142,86
0,70	166,67
0,75	200,00
0,80	250,00



Σχήμα 4-4: Συνολική ροπή λόγω των φορτίων G+Q (kNm) συναρτήσει του ποσοστού του κινητού φορτίου χ

Πίνακας 4-4: Ποσοστό εφελκόμενου οπλισμού για κάθε χ

χ	ρ ‰
0,01	2,32
0,05	2,38
0,10	2,46
0,15	2,55
0,20	2,66
0,25	2,77
0,30	2,91
0,35	3,06
0,40	3,28
0,45	3,59
0,50	3,96
0,55	4,42
0,60	4,99
0,65	5,75
0,70	6,77
0,75	8,25
0,80	10,56



Σχήμα 4-5: Ποσοστό εφελκόμενου οπλισμού ρ (%) συναρτήσεως του ποσοστού του κινητού φορτίου

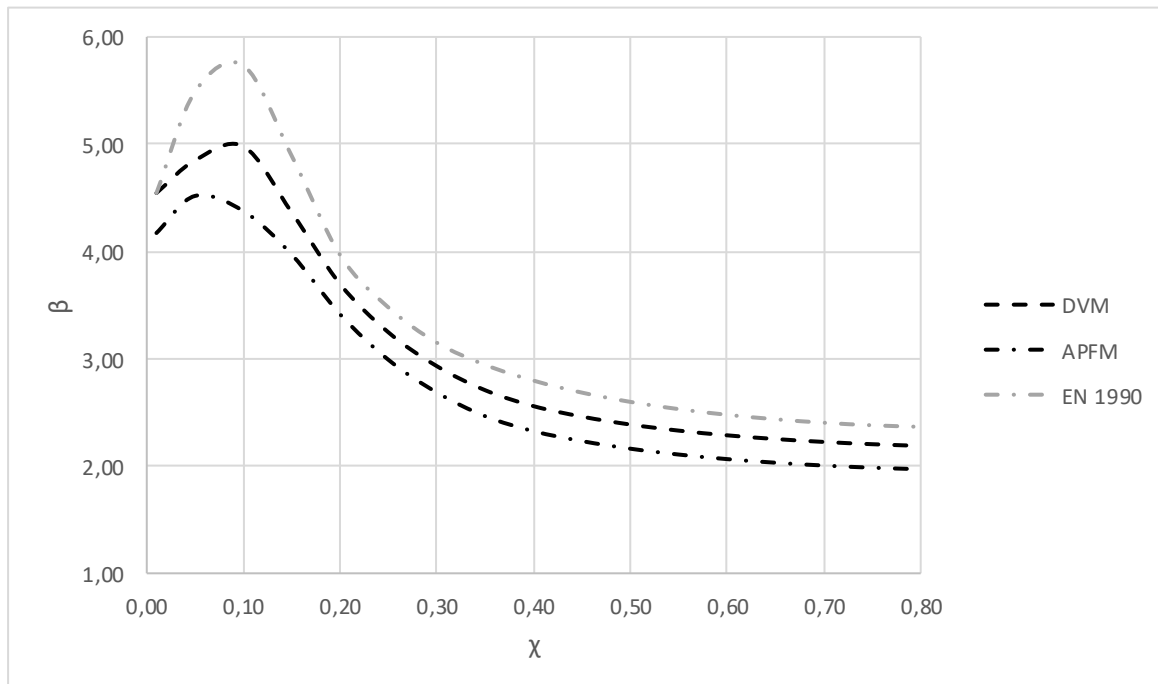
Πίνακας 4-5: Ροπή Δράσεων για κάθε μέθοδο, για κάθε χ

χ	M_{Ed} (DVM)	M_{Ed} (APFM)	M_{Ed} (EN1990)
0,01	66,88	64,39	66,88
0,05	68,54	66,03	70,26
0,10	70,81	68,28	73,33
0,15	73,36	70,79	76,76
0,20	76,22	73,63	80,63
0,25	79,46	76,83	85,00
0,30	83,17	80,50	90,00
0,35	87,44	84,73	97,76
0,40	93,58	91,07	107,38
0,45	102,00	99,40	118,74
0,50	112,11	109,40	132,38
0,55	124,46	121,62	149,04
0,60	139,90	136,90	169,88
0,65	159,76	156,54	196,66
0,70	186,23	182,73	232,38
0,75	223,29	219,40	282,38
0,80	278,88	274,40	357,38

Ακολουθώντας τη διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω προκύπτει ο παρακάτω πίνακας, καθώς και το επόμενο διάγραμμα, που δείχνουν το συντελεστή αξιοπιστίας β , για την επίλυση με τη μέθοδο Επιπέδου II, για κάθε μέθοδο ανάλογα με το ποσοστό του κινητού φορτίου.

Πίνακας 4-6: Συντελεστής αξιοπιστίας β με τη μέθοδο Επιπέδου II

χ	β (DVM)	β (APFM)	β (EN1990)
0,01	4,54	4,17	4,54
0,05	4,85	4,52	5,49
0,10	4,98	4,38	5,73
0,15	4,36	3,97	4,89
0,20	3,69	3,41	3,96
0,25	3,24	2,99	3,48
0,30	2,93	2,68	3,15
0,35	2,71	2,46	2,94
0,40	2,56	2,32	2,80
0,45	2,46	2,23	2,68
0,50	2,39	2,16	2,60
0,55	2,33	2,11	2,53
0,60	2,29	2,06	2,48
0,65	2,25	2,03	2,44
0,70	2,22	2,00	2,40
0,75	2,20	1,98	2,38
0,80	2,19	1,97	2,37



Σχήμα 4-6: Διακύμανση του δείκτη αξιοπιστίας β για την καμπτόμενη δοκό, για κάθε μέθοδο συναρτήσει του ποσοστού του κινητού φορτίου χ .

4.3 ΔΕΥΤΕΡΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

4.3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στην ενότητα αυτή μελετάται ένα παράδειγμα της εφαρμογής των μεθόδων DVM και APFM και συγκεκριμένα υπολογίζεται το μέγιστο επιτρεπόμενο κινητό φορτίο που μπορεί να δεχτεί μια υπάρχουσα δοκός σε ένα βιομηχανικό κτίριο από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Για το λόγο αυτό μελετάται ένα κτίριο από οπλισμένο σκυρόδεμα κατασκευασμένο το 1940, το οποίο πρόκειται να μετατραπεί σε πολιτιστικό κέντρο. Για να γίνει αυτή η μετατροπή απαιτείται να γίνει επαλήθευση της ασφάλειας της κατασκευής μετά την αλλαγή που θα υποστεί, σύμφωνα με τις σχετικές απαιτήσεις για την αξιοπιστία της κατασκευής. Το κτίριο βρίσκεται στη βορειοδυτική ακτή της Ισπανίας και είναι εκτεθειμένο σε έντονο θαλασσινό περιβάλλον.

Η υφιστάμενη κατασκευή ήταν εγκαταλελειμμένη για 20 χρόνια και εμφανίζει έντονες καταστροφές λόγω της διάβρωσης. Η κατάσταση της κατασκευής πριν τη μετατροπή φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 4-1: Κατάσταση του βιομηχανικού κτιρίου πριν τη μετατροπή. (Diaz& Diaz Architects S.L.)

Λόγω αρχιτεκτονικών απαιτήσεων, πραγματοποιήθηκε μερική κατεδάφιση της κατασκευής, παρόλο σχεδόν όλες οι υφιστάμενες δοκοί και τα υφιστάμενα υποστυλώματα θα διατηρηθούν στο τελικό κτίριο. Έτσι, πρώτα αφαιρέθηκαν τα κατεστραμμένα μέρη των δοκών και καθαρίστηκαν οι ράβδοι του οπλισμού που είχαν διαβρωθεί. Τελικά, οι δοκοί επισκευάστηκαν με «μπαλώματα». Η τελική κατάσταση της κατασκευής, καθώς και μια τρισδιάστατη απεικόνιση της τελικής εικόνας της κατασκευής αφού ολοκληρωθούν όλες οι εργασίες για τη μετατροπή, φαίνονται στις δύο επόμενες εικόνες.

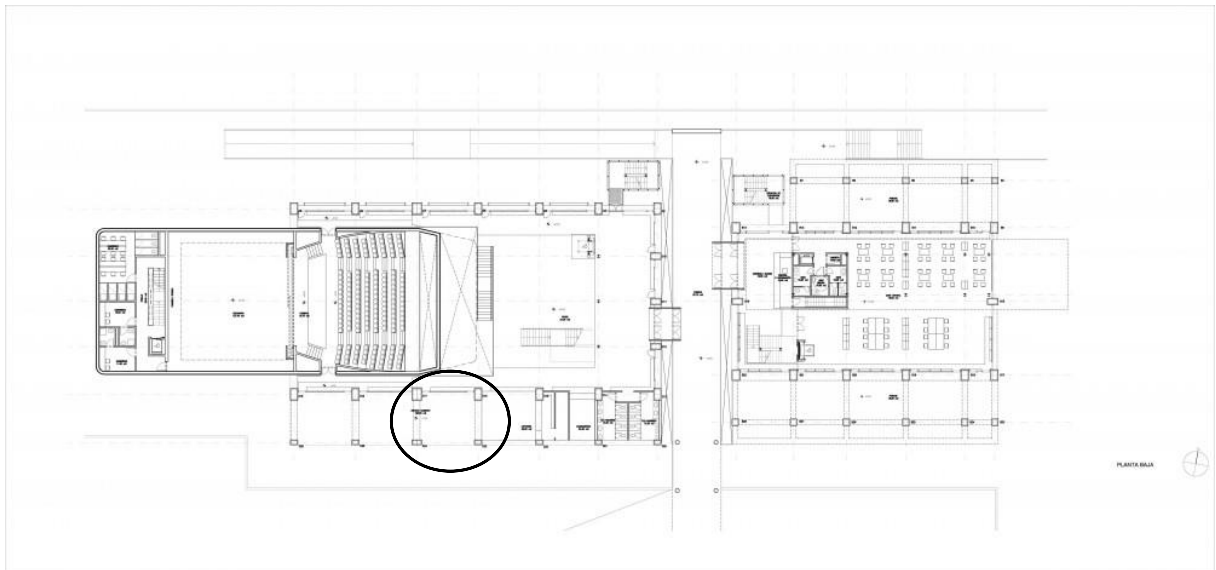


Εικόνα 4-2: Γενική εικόνα της κατασκευής μετά την επισκευή. (Diaz& Diaz Architects S.L.) [7]

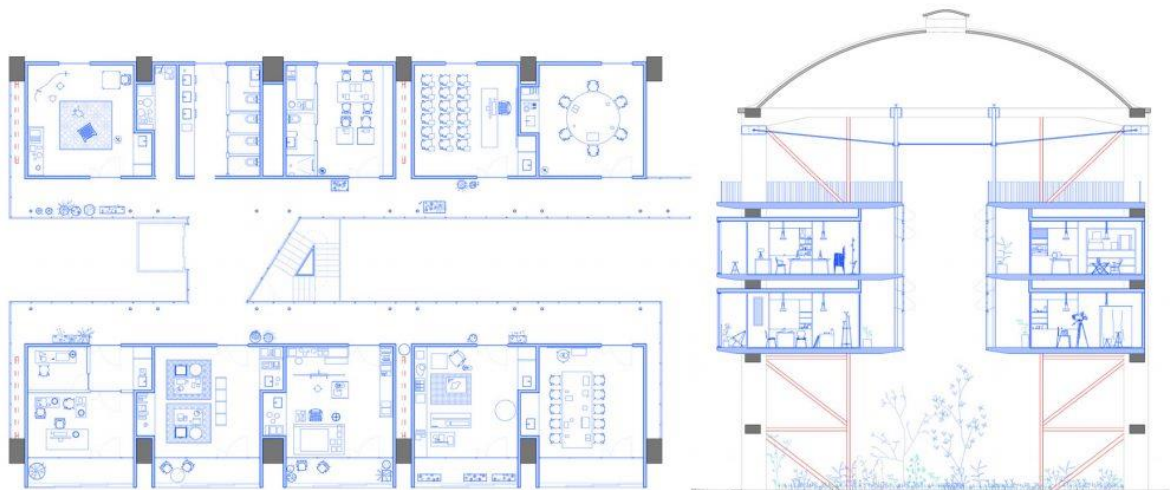


Εικόνα 4-3: Τελική εικόνα του κτιρίου (τριδιάστατη απεικόνιση). (Diaz& Diaz Architects S.L.) [8]

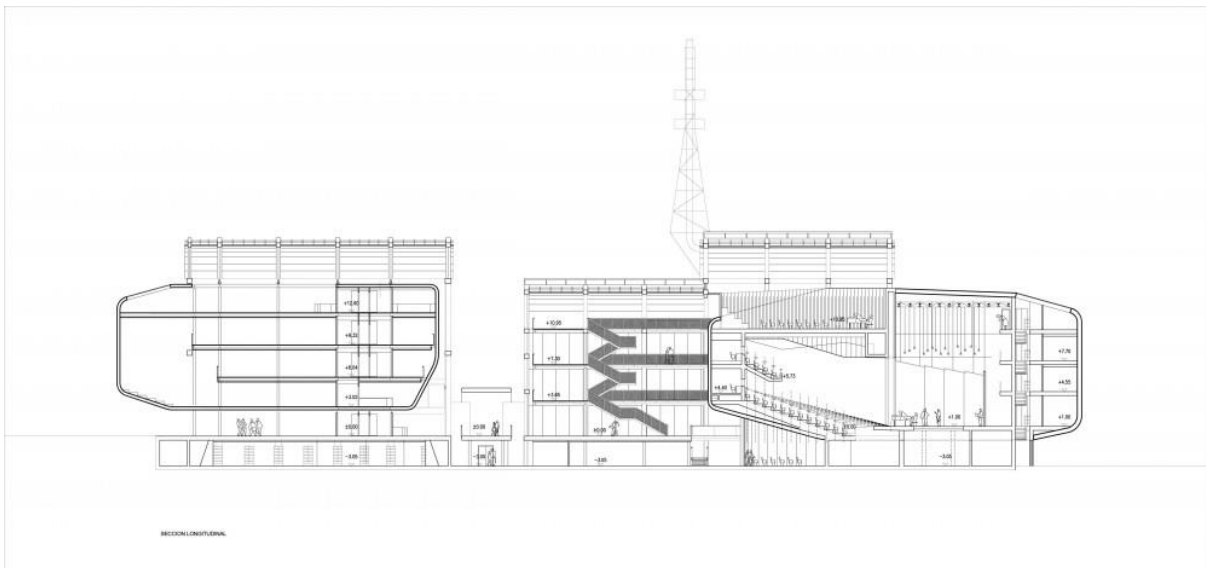
Στις επόμενες εικόνες φαίνονται η κάτοψη του κτιρίου μετά τη μετατροπή του σε πολιτιστικό κέντρο καθώς και οι όψεις και οι τομές του κτιρίου.



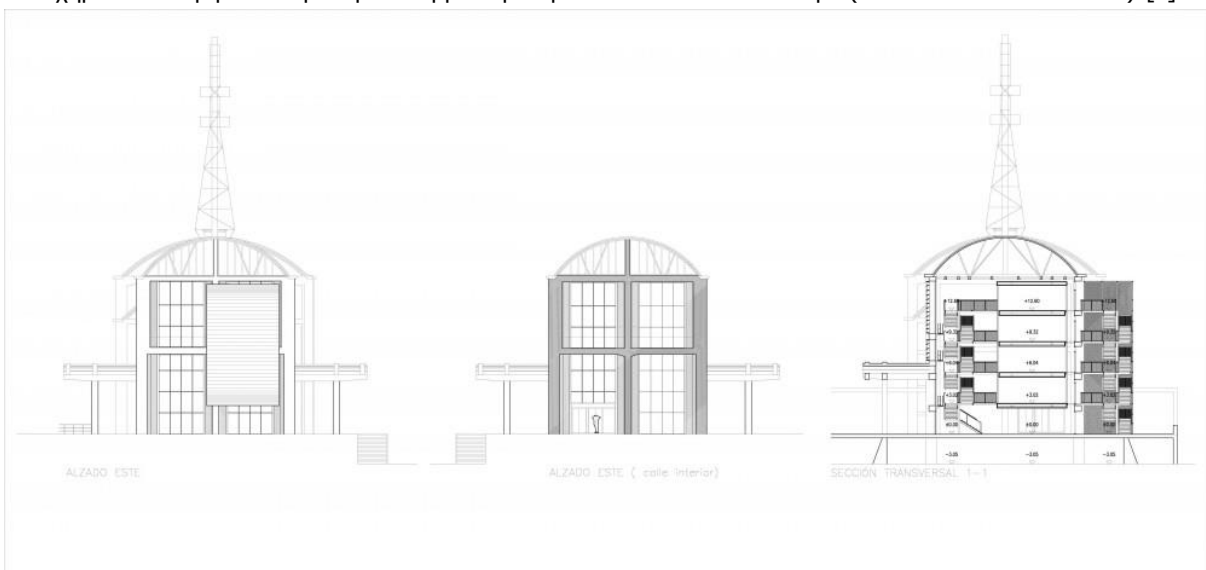
Σχήμα 4-7: Κάτοψη του ισόγειου του κτιρίου μετά τη μετατροπή του σε πολιτιστικό κέντρο (Díaz&Díaz Architects S.L.) [9]



Σχήμα 4-8: Κάτοψη του ορόφου του κτιρίου και τομή μετά τη μετατροπή του σε πολιτιστικό κέντρο (Díaz&Díaz Architects S.L.) [9]

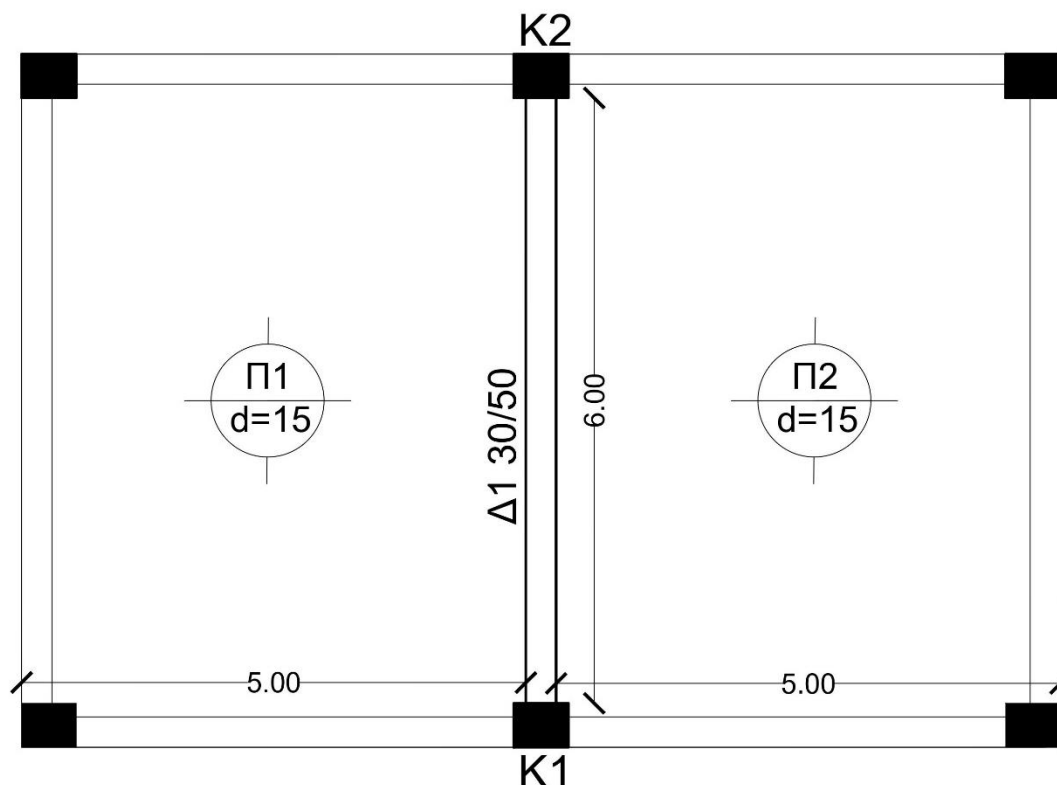


Σχήμα 4-9: Τομή του κτιρίου μετά τη μετατροπή του σε πολιτιστικό κέντρο (Diaz& Diaz Architects S.L.) [9]

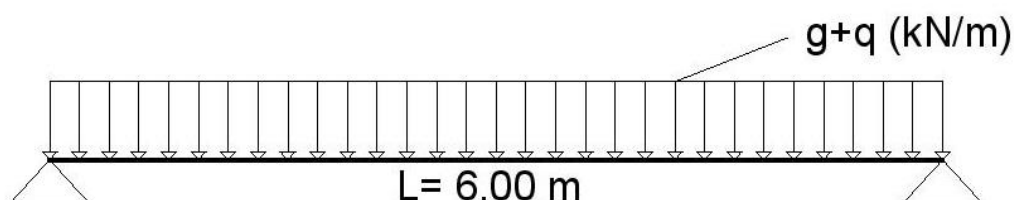


Σχήμα 4-10: Όψεις και τομή του κτιρίου μετά τη μετατροπή του σε πολιτιστικό κέντρο (Diaz& Diaz Architects S.L.) [9]

Στα επόμενα σχήματα απεικονίζονται ο ξυλότυπος της δοκού που μελετάται στη συγκεκριμένη εφαρμογή, καθώς και το στατικό προσομοίωμα της δοκού που υιοθετείται για την επίλυση.



Σχήμα 4-11: Ξυλότυπος Δοκού προς μελέτη (Τμήμα Ξυλοτύπου οροφής Ισογείου)



Σχήμα 4-12: Στατικό Προσομοίωμα Δοκού

4.3.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

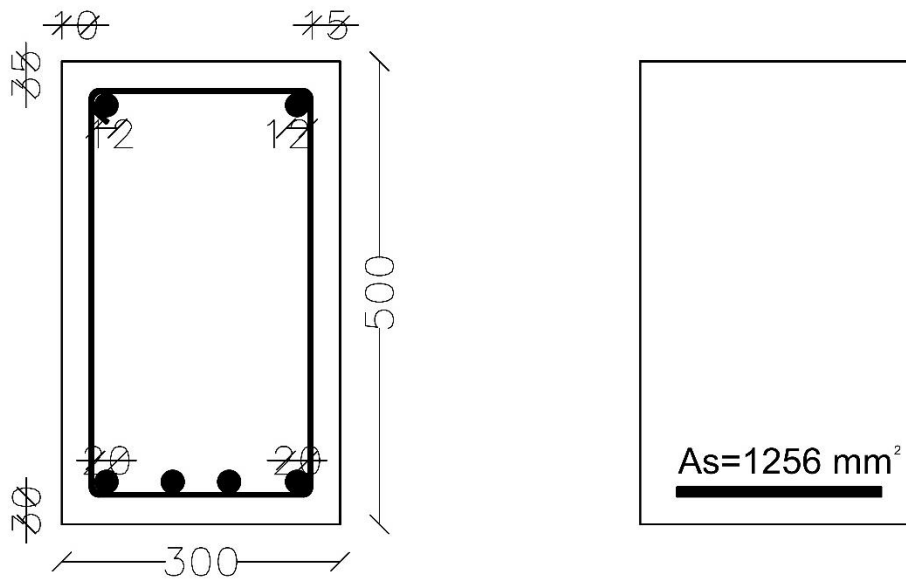
Οι ιδιότητες των υλικών και οι γεωμετρικές ιδιότητες ελήφθησαν από τη διερεύνηση των υφισταμένων δοκών, που διαπιστώθηκε ότι είναι αντιπροσωπευτικό για την αξιολόγηση. Σημειώνεται ότι 4 πυρήνες πιθανόν να μην είναι αρκετοί για στατιστική επεξεργασία. Η δοκός θεωρήθηκε ότι είναι αμφιέριστη με ένα μήκος 6 μέτρων, ενώ η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών δοκών είναι 5 μέτρα. Τα δεδομένα για τις ιδιότητες των υλικών φαίνονται στους επόμενους πίνακες και η διατομή της δοκού στο σχήμα που ακολουθεί.

Πίνακας 4-7: Μηχανικές Ιδιότητες Σκυροδέματος [2]

ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΥΡΗΝΩΝ	f_{cm} (N/mm ²)	s (N/mm ²)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ	m_y	s_y
4	25,90	2,40	0,09	3,25	0,09

Πίνακας 4-8: Μηχανικές Ιδιότητες Χάλυβα [2]

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ	f_{ym} (N/mm ²)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ	f_{tm} (N/mm ²)
20	4	307	0,01	451



Σχήμα 4-13: Διατομή Δοκού (διαστάσεις σε χιλιοστά).

Οι χαρακτηριστικές τιμές της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος και της αντοχής διαρροής του χάλυβα, που αντιστοιχούν στο ποσοστιαίο 5%, υπολογίζονται βάσει της διαδικασίας που αναπτύσσεται στο Παράρτημα Δ, του EN 1990:2002, ως εξής:

$$X_k = \exp(m_y - k_n \cdot s_y)$$

Όπου,

- m_y είναι η μέση τιμή της μεταβλητής $\ln(X)$: $m_y = \frac{1}{n} \cdot \sum \ln(x_i)$
- s_y είναι η τυπική απόκλιση της μεταβλητής $\ln(X)$: $s_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum (\ln x_i - m_y)^2}$
- k_n είναι ένας συντελεστής που εξαρτάται από τον αριθμό των δειγμάτων-πυρήνων και από τον αν το V_x είναι γνωστό ή άγνωστο. Στην παρούσα εφαρμογή το V_x θεωρείται άγνωστο.

Υποθέτοντας ότι ο συντελεστής μεταβλητότητας είναι γνωστός και λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα από τις δοκιμές που παρουσιάστηκαν στους πίνακες 4-7 και 4-8, με $k_n = 2.63$ και $n=4$, η χαρακτηριστική τιμή της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος είναι $f_{ck} = 20.1$ MPa και η χαρακτηριστική τιμή της αντοχής διαρροής του χάλυβα είναι $f_{yk} = 299.0$ MPa. Οι στατιστικές αβεβαιότητες αναφορικά με τον περιορισμένο αριθμό δειγμάτων λαμβάνονται υπόψη μόνο στον προσδιορισμό της χαρακτηριστικής

τιμής (που αντιστοιχεί στην απλοποιημένη μέθοδο που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 3). Ο συντελεστής k_n λαμβάνεται από τον πίνακα D1 του παραρτήματος Δ του EN 1990, ο οποίος παρατίθεται παρακάτω.

Πίνακας 4-9: Τιμή του συντελεστή k_n σύμφωνα με τον EN 1990 [4]

Table D1 : Values of k_n for the 5% characteristic value

n	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	∞
V_X known	2,31	2,01	1,89	1,83	1,80	1,77	1,74	1,72	1,68	1,67	1,64
V_X unknown	-	-	3,37	2,63	2,33	2,18	2,00	1,92	1,76	1,73	1,64

4.3.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΤΙΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ DVM ΚΑΙ APFM

Θεωρώντας τάξη συνεπειών CC2 και περίοδο επαναφοράς $t_{ref} = 15$ χρόνια, με μια επιφάνεια αστοχίας $A_{col} < 500 \text{ m}^2$, υιοθετείται ένας δείκτης αξιοπιστίας $\beta_i = 2.8$, σύμφωνα με τον πίνακα B1 του παραρτήματος Β του EN 1990, που παρατίθεται σε αυτήν την ενότητα. Οι επιμέρους συντελεστές για την αξιολόγηση της υπό διερεύνησης δοκού προκύπτουν από τις μεθόδους DVM και APFM (Μέθοδο Α) όπως περιεγράφηκαν στο κεφάλαιο 3, από τα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν. Επιπλέον, γίνεται η υπόθεση ότι στην κατασκευή ασκούνται μόνο κινητά επιβαλλόμενα φορτία, όσον αφορά τις μεταβλητές δράσεις.

Πίνακας 4-10: Ορισμός Τάξεων Συνεπειών σύμφωνα με τον EN 1990 [4]

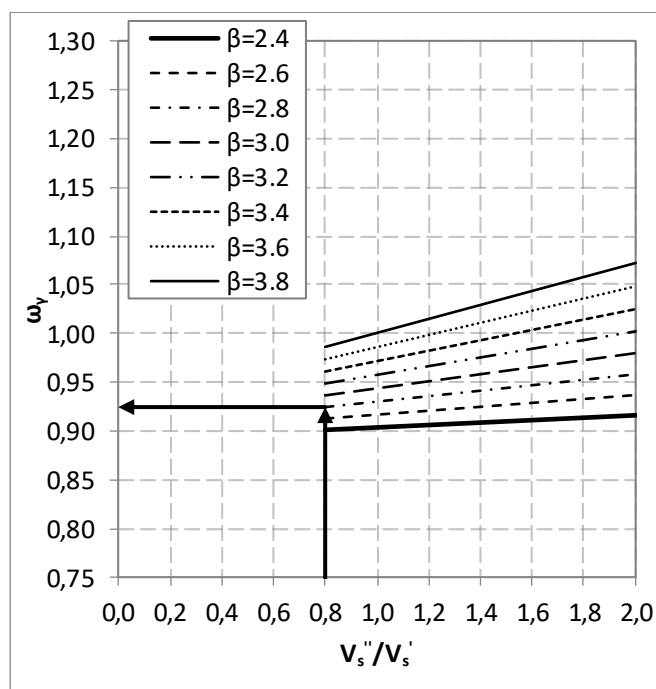
Table B1 - Definition of consequences classes

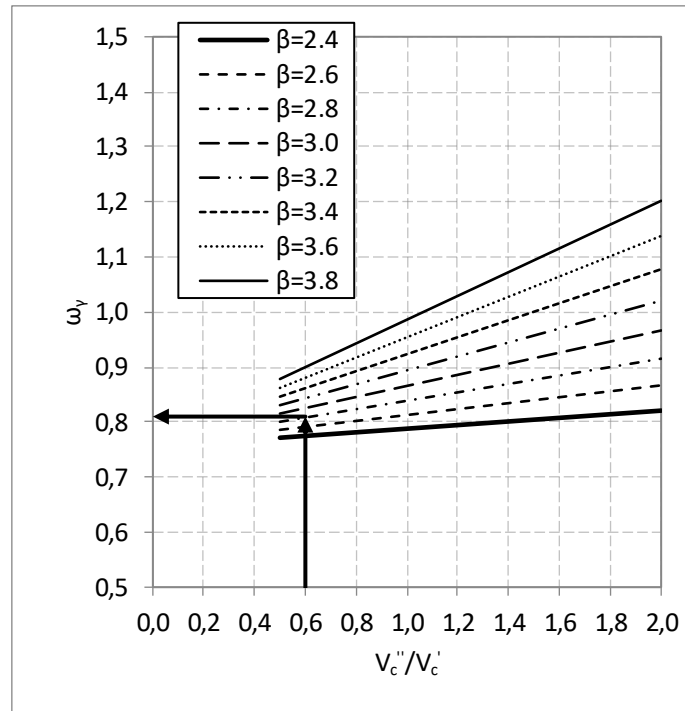
Consequences Class	Description	Examples of buildings and civil engineering works
CC3	High consequence for loss of human life, <i>or</i> economic, social or environmental consequences very great	Grandstands, public buildings where consequences of failure are high (e.g. a concert hall)
CC2	Medium consequence for loss of human life, economic, social or environmental consequences considerable	Residential and office buildings, public buildings where consequences of failure are medium (e.g. an office building)
CC1	Low consequence for loss of human life, <i>and</i> economic, social or environmental consequences small or negligible	Agricultural buildings where people do not normally enter (e.g. storage buildings), greenhouses

Ο παρακάτω πίνακας δίνει τις τιμές των επιμέρους συντελεστών καθώς και τα διαγράμματα από τα οποία προέκυψαν. Τα σχήματα (4-14 ως 4-22) απεικονίζουν την επιλογή των επιμέρους συντελεστών ή των διορθωτικών συντελεστών που βασίζεται στα διαγράμματα του κεφαλαίου 3.

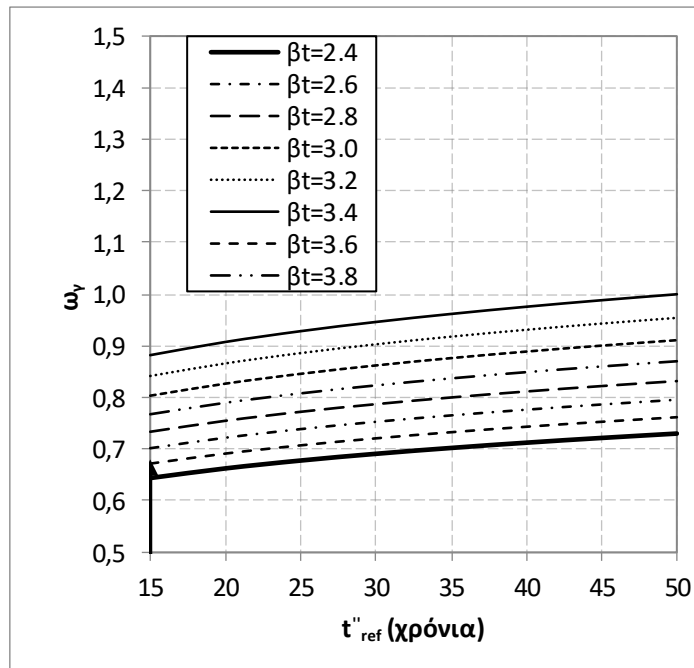
Πίνακας 4-11: Επιμέρους Συντελεστές για την αξιολόγηση μιας υπάρχουσας δοκού ($\beta_t = 2,8$; $t_{ref} = 15$ χρόνια)

Επιμέρους Συντελεστής	DVM	Αναφορά DVM	APFM	Αναφορά APFM	EN 1990	Δεδομένα-Παραδοχές
γ_g	1,19	Σχήμα 3-4	-	-	-	$V_g = 0,1$
γ_q	0,93	Σχήμα 3-7(b)	-	-	-	$V_{qimp,0} = 1,1$
γ_c	1,06	Σχήμα 3-2	-	-	-	$V_m = 0,09$
γ_s	1,01	Σχήμα 3-2	-	-	-	$V_m = 0,01$
$\gamma_{Ed,M}$	10,80	Σχήμα 3-3	-	-	-	-
$\gamma_{Rd,c}$	1,13	Σχήμα 3-1	-	-	-	$V_{OR} = 0,14$
$\gamma_{Rd,s}$	1,06	Σχήμα 3-1	-	-	-	$V_{OR} = 0,06$
$\omega_{\gamma g}$	-	-	0,95	Σχήμα 3-14	-	$V'_G = V''_G = 0,1$
$\omega_{\gamma q}$	-	-	0,68	Σχήμα 3-16	-	$V'_{Qimp,5} = V''_{Qimp,5} = 0,45$
$\omega_{\gamma c}$	-	-	0,81	Σχήμα 3-11	-	$V''_c/V'_c = 0,6$
$\omega_{\gamma s}$	-	-	0,93	Σχήμα 3-10	-	$V''_s/V'_s = 0,8$
γ_g	1,29	-	1,28	-	1,35	-
γ_q	1,00	-	1,01	-	1,50	-
γ_c	1,20	-	1,22	-	1,50	-
γ_s	1,07	-	1,07	-	1,15	-

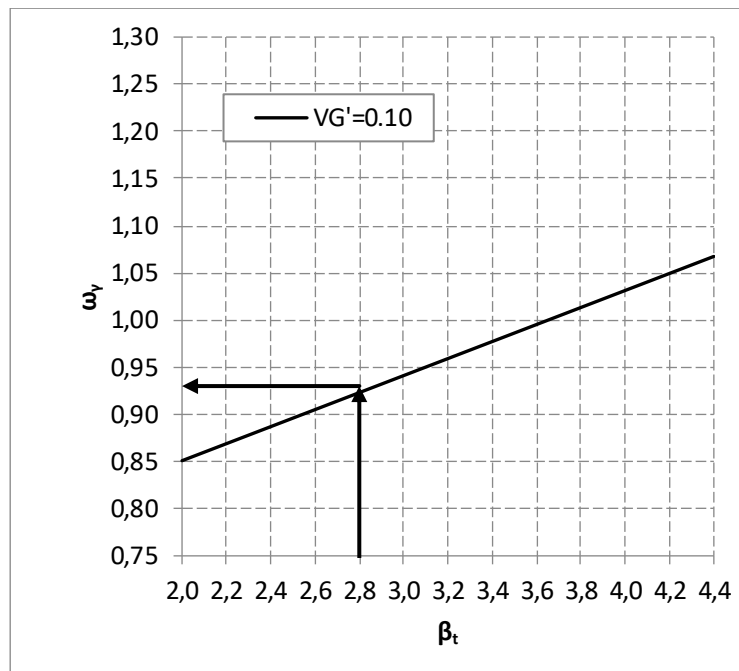
Σχήμα 4-14: Πρακτικό παράδειγμα υπολογισμού των επιμέρους συντελεστών ή των διορθωτικών συντελεστών για την αξιολόγηση μιας υπάρχουσας δοκού από τα διαγράμματα των μεθόδων DVM και APFM που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3 ($\beta_t = 2,8$, $t_{ref} = 15$ χρόνια): $\omega_{\gamma,s}$.



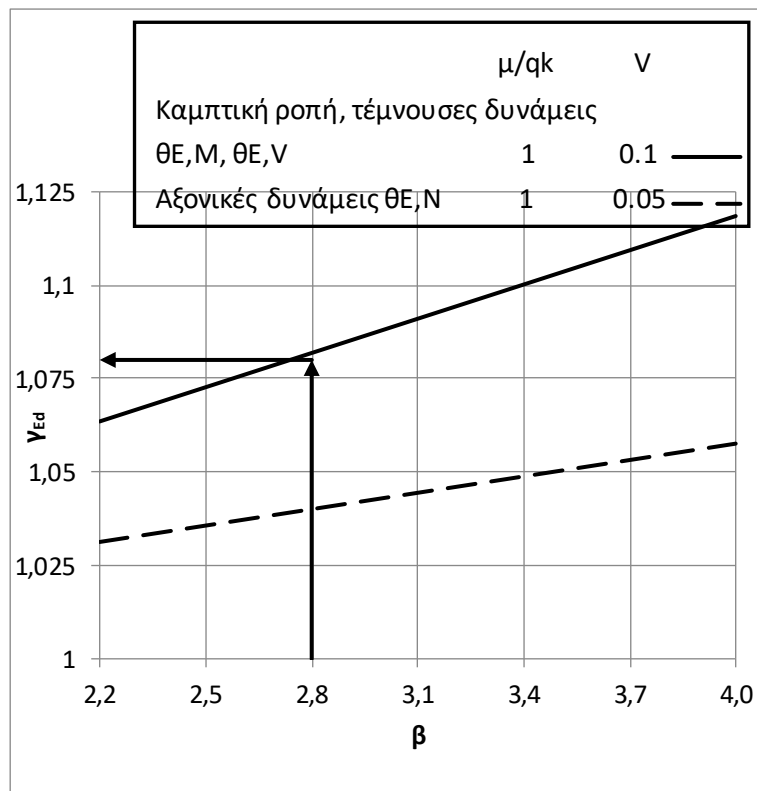
Σχήμα 4-15: Πρακτικό παράδειγμα υπολογισμού των επιμέρους συντελεστών ή των διορθωτικών συντελεστών για την αξιολόγηση μιας υπάρχουσας δοκού από τα διαγράμματα των μεθόδων DVM και APFM που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3 ($\beta_t = 2.8$, $t_{ref} = 15$ χρόνια): $\omega_{y,c}$.



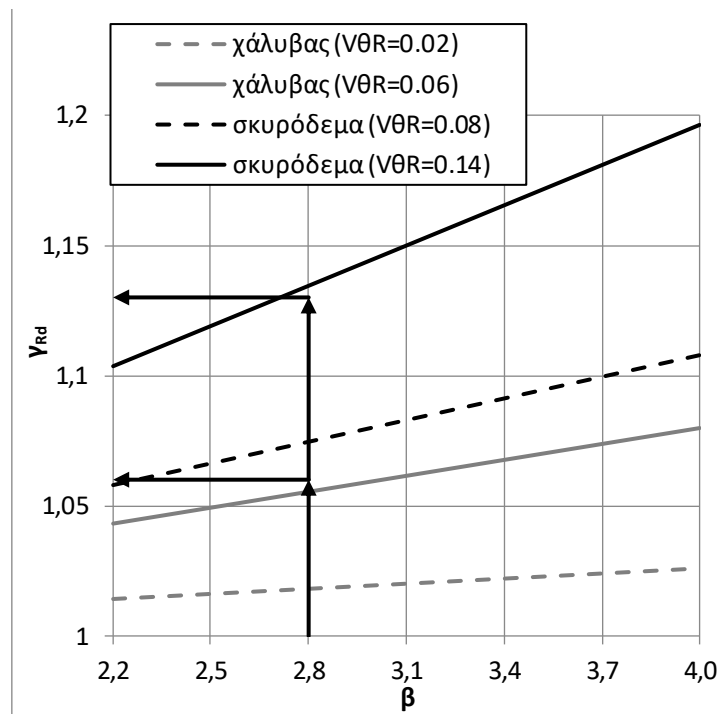
Σχήμα 4-16: Πρακτικό παράδειγμα υπολογισμού των επιμέρους συντελεστών ή των διορθωτικών συντελεστών για την αξιολόγηση μιας υπάρχουσας δοκού από τα διαγράμματα των μεθόδων DVM και APFM που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3 ($\beta_t = 2.8$, $t_{ref} = 15$ χρόνια): $\omega_{y,Q}$.



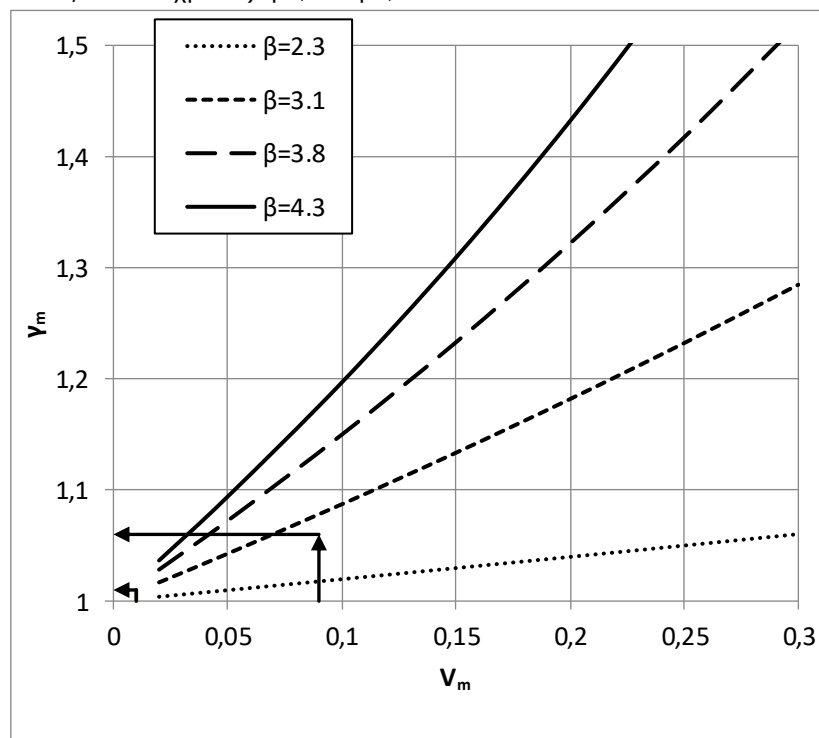
Σχήμα 4-17: Πρακτικό παράδειγμα υπολογισμού των επιμέρους συντελεστών ή των διορθωτικών συντελεστών για την αξιολόγηση μιας υπάρχουσας δοκού από τα διαγράμματα των μεθόδων DVM και APFM που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3 ($\beta_t = 2.8$, $t_{ref} = 15$ χρόνια): $\omega_{\gamma,G}$.



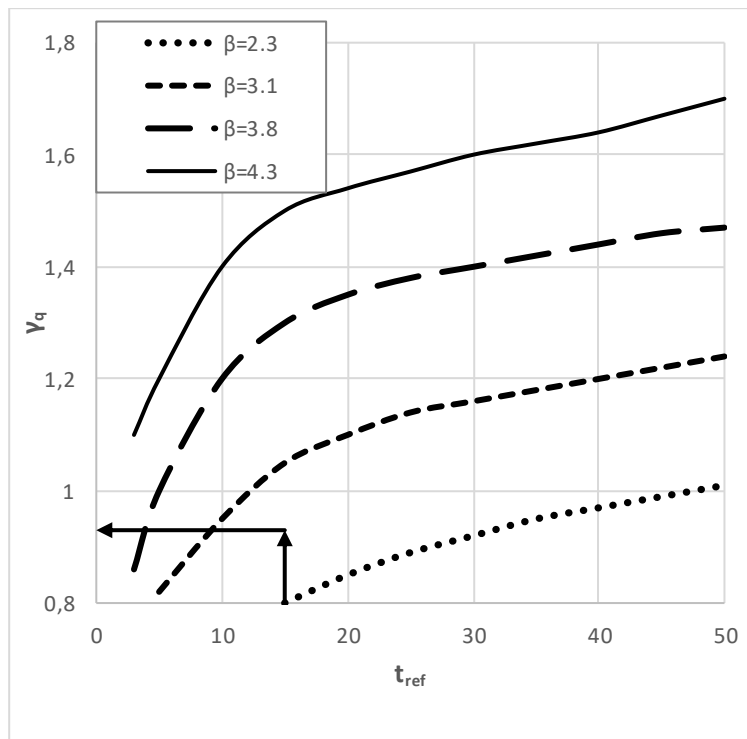
Σχήμα 4-18: Πρακτικό παράδειγμα υπολογισμού των επιμέρους συντελεστών ή των διορθωτικών συντελεστών για την αξιολόγηση μιας υπάρχουσας δοκού από τα διαγράμματα των μεθόδων DVM και APFM που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3 ($\beta = 2.8$, $t_{ref} = 15$ χρόνια): $\gamma_{Ed,M}$.



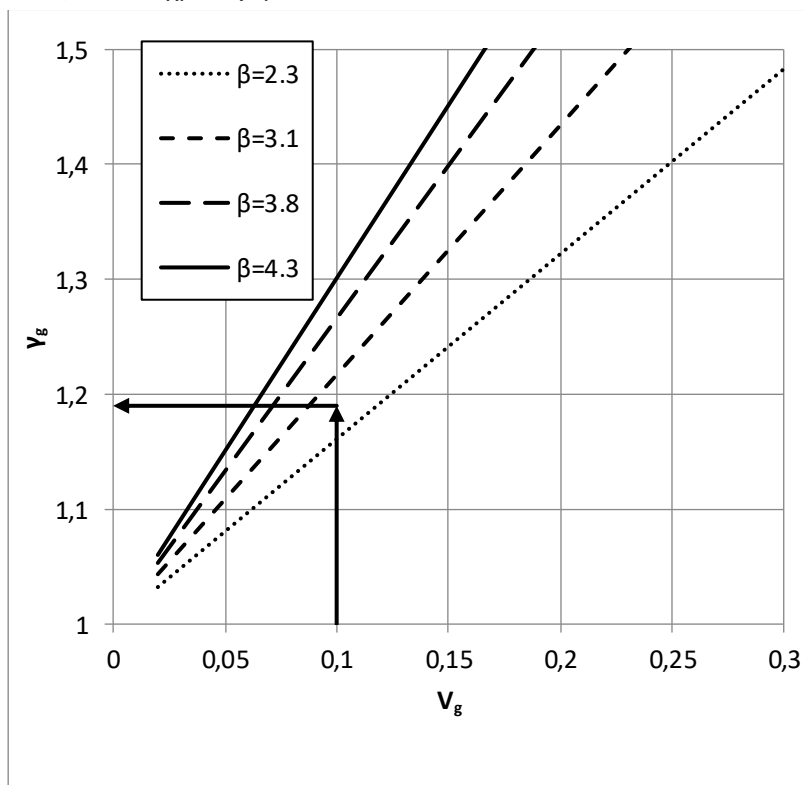
Σχήμα 4-19: Πρακτικό παράδειγμα υπολογισμού των επιμέρους συντελεστών ή των διορθωτικών συντελεστών για την αξιολόγηση μιας υπάρχουσας δοκού από τα διαγράμματα των μεθόδων DVM και APFM που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3 ($\beta_t = 2.8$, $t_{ref} = 15$ χρόνια): $\gamma_{Rd,s}$ και $\gamma_{Rd,c}$.



Σχήμα 4-20: Πρακτικό παράδειγμα υπολογισμού των επιμέρους συντελεστών ή των διορθωτικών συντελεστών για την αξιολόγηση μιας υπάρχουσας δοκού από τα διαγράμματα των μεθόδων DVM και APFM που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3 ($\beta_t = 2.8$, $t_{ref} = 15$ χρόνια): γ_s και γ_c .



Σχήμα 4-21: Πρακτικό παράδειγμα υπολογισμού των επιμέρους συντελεστών ή των διορθωτικών συντελεστών για την αξιολόγηση μιας υπάρχουσας δοκού από τα διαγράμματα των μεθόδων DVM και APFM που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3 ($\beta t = 2.8$, $t_{ref} = 15$ χρόνια): γ_a .



Σχήμα 4-22 : Πρακτικό παράδειγμα υπολογισμού των επιμέρους συντελεστών ή των διορθωτικών συντελεστών για την αξιολόγηση μιας υπάρχουσας δοκού από τα διαγράμματα των μεθόδων DVM και APFM που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3 ($\beta t = 2.8$, $t_{ref} = 15$ χρόνια): γ_g .

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται ενδεικτικά οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας για την κάθε μέθοδο επίλυσης για κάποιες βασικές περιπτώσεις περιόδου επαναφοράς και συντελεστή αξιοπιστίας.

Πίνακας 4-12: Τιμές Επιμέρους Συντελεστών για μεθόδους DVM, APFM, EN 1990 για κάποιες ενδεικτικές περιπτώσεις

Δεδομένα	t=15 χρ, β=2,8		t=50 χρ, β=2,8		t=15 χρ, β=3,8		t=50 χρ, β=3,8		EN 1990
	DVM	APFM	DVM	APFM	DVM	APFM	DVM	APFM	
γ_g	1,28	1,28	1,29	1,28	1,42	1,35	1,42	1,35	1,35
γ_q	1,00	1,02	1,27	1,20	1,39	1,32	1,63	1,50	1,50
γ_c	1,20	1,22	1,20	1,22	1,30	1,35	1,30	1,35	1,50
γ_s	1,07	1,07	1,07	1,07	1,12	1,13	1,12	1,13	1,15

4.3.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

Χρησιμοποιώντας τους επιμέρους συντελεστές της προηγούμενης ενότητας, η τιμή των μεταβλητών της αντοχής για την αξιολόγηση της κατασκευής δίνεται από τους επόμενους τύπους:

$$f_{cd} = a_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

Με $a_{cc} = 0.85$ (σύμφωνα με το εθνικό παράρτημα).

Αυτές οι τιμές σχεδιασμού χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της τιμής σχεδιασμού της ροπής αντοχής, ως εξής:

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot \left(d - 0.5 \cdot \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot f_{cd}} \right)$$

Το μέγιστο επιτρεπτό κινητό φορτίο στη δοκό σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη το ότι η ροπή αντίστασης είναι ίση με τη ροπή δράσης, δηλαδή $M_{Rd} = M_{Ed}$. Η συνολική ροπή λόγω των δράσεων στη δοκό υπολογίζεται από τον επόμενο τύπο:

$$M_{Ed} = \frac{\gamma_G \cdot g_k \cdot l^2}{8} + \frac{\gamma_Q \cdot q_k \cdot l^2}{8}$$

Το μόνιμο φορτίο g_k συνίσταται από το ίδιο βάρος της δοκού και το ίδιο βάρος της πλάκας που στηρίζεται στη δοκό. Το πάχος της πλάκας είναι 15 cm. Ως απλοποίηση, θεωρείται ότι το 1/4 του φορτίου και του ίδιου βάρους κάθε μίας από τις δύο πλάκες που συνορεύουν με τη δοκό, μεταφέρεται στη δοκό. Λαμβάνοντας ως ειδικό βάρος σκυροδέματος 25 kN/m², το μόνιμο φορτίο στη δοκό υπολογίζεται 9.4 kN/m (ίδιο βάρος πλάκας) + 3.8 kN/m (ίδιο βάρος δοκού) = 13.2 kN/m. [2]

Τελικά, το μέγιστο επιτρεπτό κινητό φορτίο στη δοκό υπολογίζεται από τις σχέσεις που γράφηκαν παραπάνω. Αυτό το μέγιστο επιτρεπτό κινητό φορτίο που είναι καταμεμημένο στη δοκό μετατρέπεται σε επιφανειακό φορτίο στην πλάκα, σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς, για να υπολογιστεί και η φέρουσα ικανότητα της πλάκας. Τα αποτελέσματα της επίλυσης παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί για τις μεθόδους DVM, APFM και για τον EN 1990 για νέες κατασκευές.

Πίνακας 4-13: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπτού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=15$ χρόνια και $\beta=2,8$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	14,26	14,06	11,39
f_{yd}	MPa	279,28	279,57	260,00
M_{Rd}	kNm	150,49	150,42	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	76,34	76,18	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	74,15	74,24	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	16,41	16,17	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	6,56	6,47	3,42

Στην παρούσα εφαρμογή, φαίνεται από τα αποτελέσματα ότι η μέθοδος APFM είναι ελαφρώς πιο συντηρητική από την DVM. Επιπλέον, παρατηρείται ότι και οι δύο μέθοδοι δίνουν ένα αρκετά υψηλότερο μέγιστο φορτίο για την αξιολόγηση των υφιστάμενων κατασκευών, αν συγκριθούν με τα αποτελέσματα που προκύπτουν όταν εφαρμόζονται ο επιμέρους συντελεστές του Ευρωκώδικα (για το σχεδιασμό των νέων κατασκευών), το οποίο οφείλεται κυρίως στη σημαντική μείωση του συντελεστή g_Q . Επομένως, η εφαρμογή μη προσαρμοσμένων επιμέρους συντελεστών οδηγεί σε πολύ συντηρητικά αποτελέσματα.

Η εφαρμογή επιλύεται στη συνέχεια με τον ίδιο τρόπο για $t_{ref}=5, 15, 25, 35$ και 50 χρόνια και $\beta=2,8, 3,3$ και $3,8$, με τη μέθοδο DVM, APFM και σύμφωνα με τον EN 1990. Οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας διαφοροποιούνται αναλόγως με τις παραμέτρους που αλλάζουν σε κάθε μέθοδο. Οι επιλύσεις αυτές γίνονται για τρεις περιπτώσεις επίλυσης όσον αφορά τους συντελεστές μεταβλητότητας των μεταβλητών που αντιστοιχούν στα φορτία και στις αντοχές του σκυροδέματος και του χάλυβα. Αξίζει να σημειωθεί ότι η 1^η περίπτωση είναι η βασική περίπτωση επίλυσης, η 2^η αφορά επίλυση με διπλάσιους συντελεστές μεταβλητότητας για τις μεταβλητές των φορτίων και τις αντοχές του σκυροδέματος και του χάλυβα και η 3^η με μισούς συντελεστές μεταβλητότητας σε σχέση με τους συντελεστές μεταβλητότητας της 1^{ης} περίπτωσης. Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα για την κάθε περίπτωση επίλυσης μετά την εφαρμογή των παραπάνω μεθόδων.

4.3.4.1 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 1 (ΒΑΣΙΚΗ)

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται αναλυτικά οι πίνακες με τα αποτελέσματα για κάθε περίοδο επαναφοράς t_{ref} και συντελεστή αξιοπιστίας β , καθώς και τα διαγράμματα για το μέγιστο φορτίο που μπορεί να δεχτεί η δοκός.

Πίνακας 4-14: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπτού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=5$ χρόνια και $\beta=2,8$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	14,26	14,06	11,39
f_{yd}	MPa	279,28	279,57	260,00
M_{Rd}	kNm	150,49	150,42	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	76,34	76,18	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	74,15	74,24	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	19,07	18,33	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	7,63	7,33	3,42

Πίνακας 4-15: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=15$ χρόνια και $\beta=2,8$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	14,26	14,06	11,39
f_{yd}	MPa	279,28	279,57	260,00
M_{Rd}	kNm	150,49	150,42	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	76,34	76,18	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	74,15	74,24	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	16,41	16,17	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	6,56	6,47	3,42

Πίνακας 4-16: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=25$ χρόνια και $\beta=2,8$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	14,26	14,06	11,39
f_{yd}	MPa	279,28	279,57	260,00
M_{Rd}	kNm	150,49	150,42	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	76,34	76,18	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	74,15	74,24	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	14,53	14,86	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	5,81	5,95	3,42

Πίνακας 4-17: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=35$ χρόνια και $\beta=2,8$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	14,26	14,06	11,39
f_{yd}	MPa	279,28	279,57	260,00
M_{Rd}	kNm	150,49	150,42	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	76,34	76,18	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	74,15	74,24	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	13,87	14,28	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	5,55	5,71	3,42

Πίνακας 4-18: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπτού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=50$ χρόνια και $\beta=2,8$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	14,26	14,06	11,39
f_{yd}	MPa	279,28	279,57	260,00
M_{Rd}	kNm	150,49	150,42	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	76,34	76,18	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	74,15	74,24	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	12,93	13,75	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	5,17	5,50	3,42

Πίνακας 4-19: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπτού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=5$ χρόνια και $\beta=3,3$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	13,64	10,64	11,39
f_{yd}	MPa	271,42	270,83	260,00
M_{Rd}	kNm	146,02	141,76	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	79,64	77,78	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	66,39	63,98	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	15,04	13,54	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	6,02	5,42	3,42

Πίνακας 4-20: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπτού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=15$ χρόνια και $\beta=3,3$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	13,64	10,64	11,39
f_{yd}	MPa	271,42	270,83	260,00
M_{Rd}	kNm	146,02	141,76	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	79,64	77,78	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	66,39	63,98	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	12,08	12,15	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	4,83	4,86	3,42

Πίνακας 4-21: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=25$ χρόνια και $\beta=3,3$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	13,64	10,64	11,39
f_{yd}	MPa	271,42	270,83	260,00
M_{Rd}	kNm	146,02	141,76	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	79,64	77,78	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	66,39	63,98	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	10,83	11,56	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	4,33	4,62	3,42

Πίνακας 4-22: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=35$ χρόνια και $\beta=3,3$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	13,64	10,64	11,39
f_{yd}	MPa	271,42	270,83	260,00
M_{Rd}	kNm	146,02	141,76	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	79,64	77,78	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	66,39	63,98	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	10,18	11,42	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	4,07	4,57	3,42

Πίνακας 4-23: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=50$ χρόνια και $\beta=3,3$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	13,64	10,64	11,39
f_{yd}	MPa	271,42	270,83	260,00
M_{Rd}	kNm	146,02	141,76	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	79,64	77,78	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	66,39	63,98	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	9,74	10,77	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	3,89	4,31	3,42

Πίνακας 4-24: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπτού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=5$ χρόνια και $\beta=3,8$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	13,16	12,66	11,39
f_{yd}	MPa	266,13	265,31	260,00
M_{Rd}	kNm	142,95	141,99	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	84,40	80,19	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	58,55	61,80	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	11,72	11,44	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	4,69	4,58	3,42

Πίνακας 4-25: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπτού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=15$ χρόνια και $\beta=3,8$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	13,16	12,66	11,39
f_{yd}	MPa	266,13	265,31	260,00
M_{Rd}	kNm	142,95	141,99	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	84,40	80,19	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	58,55	61,80	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	9,38	10,40	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	3,75	4,16	3,42

Πίνακας 4-26: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπτού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=25$ χρόνια και $\beta=3,8$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	13,16	12,66	11,39
f_{yd}	MPa	266,13	265,31	260,00
M_{Rd}	kNm	142,95	141,99	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	84,40	80,19	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	58,55	61,80	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	8,49	9,85	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	3,40	3,94	3,42

Πίνακας 4-27: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=35$ χρόνια και $\beta=3,8$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	13,16	12,66	11,39
f_{yd}	MPa	266,13	265,31	260,00
M_{Rd}	kNm	142,95	141,99	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	84,40	80,19	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	58,55	61,80	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	8,26	9,54	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	3,30	3,81	3,42

Πίνακας 4-28: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=50$ χρόνια και $\beta=3,8$

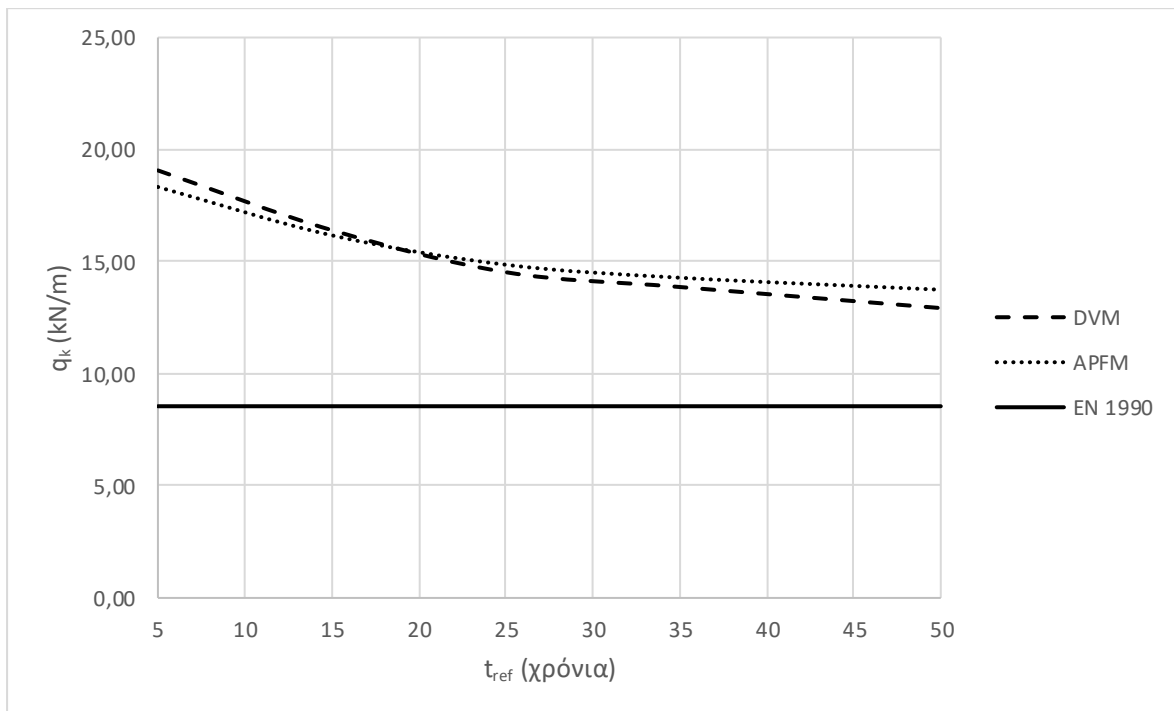
Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	13,16	12,66	11,39
f_{yd}	MPa	266,13	265,31	260,00
M_{Rd}	kNm	142,95	141,99	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	84,40	80,19	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	58,55	61,80	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	7,97	9,16	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	3,19	3,66	3,42

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται συγκεντρωτικά οι τιμές του μέγιστου φορτίου που μπορεί να παραληφθεί από τη δοκό για την πρώτη περίπτωση επίλυσης, για τις διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς και του συντελεστή αξιοπιστίας, για τις μεθόδους DVM, APFM και EN 1990.

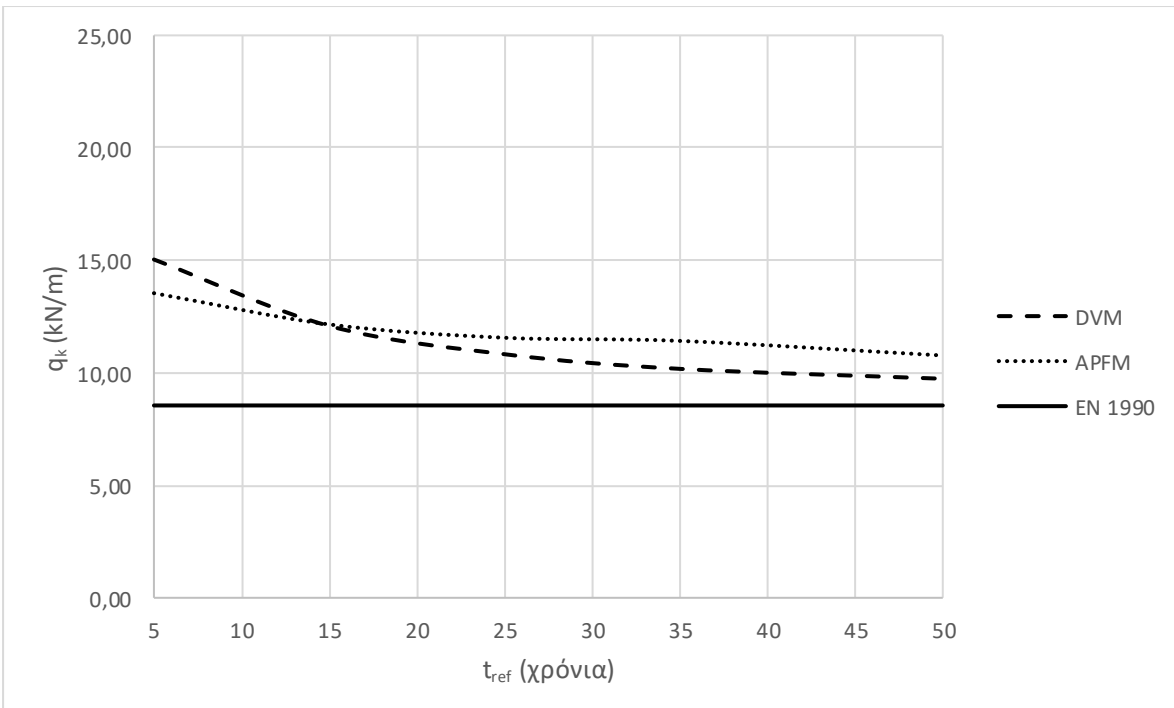
Πίνακας 4-29: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου για την 1^η Περίπτωση Επίλυσης

q_k (kN/m)	Περίπτωση 1								
	DVM	APFM	EN 1990	DVM	APFM	EN 1990	DVM	APFM	EN 1990
$t_{ref} \backslash \beta$	2,8			3,3			3,8		
5	19,07	18,33	8,55	15,04	12,47	8,55	11,72	11,44	8,55
15	16,41	16,17		12,08	12,15		9,38	10,40	
25	14,53	14,86		10,83	11,56		8,49	9,85	
35	13,87	14,28		10,18	11,42		8,26	9,54	
50	12,93	13,75		9,74	10,77		7,97	9,16	

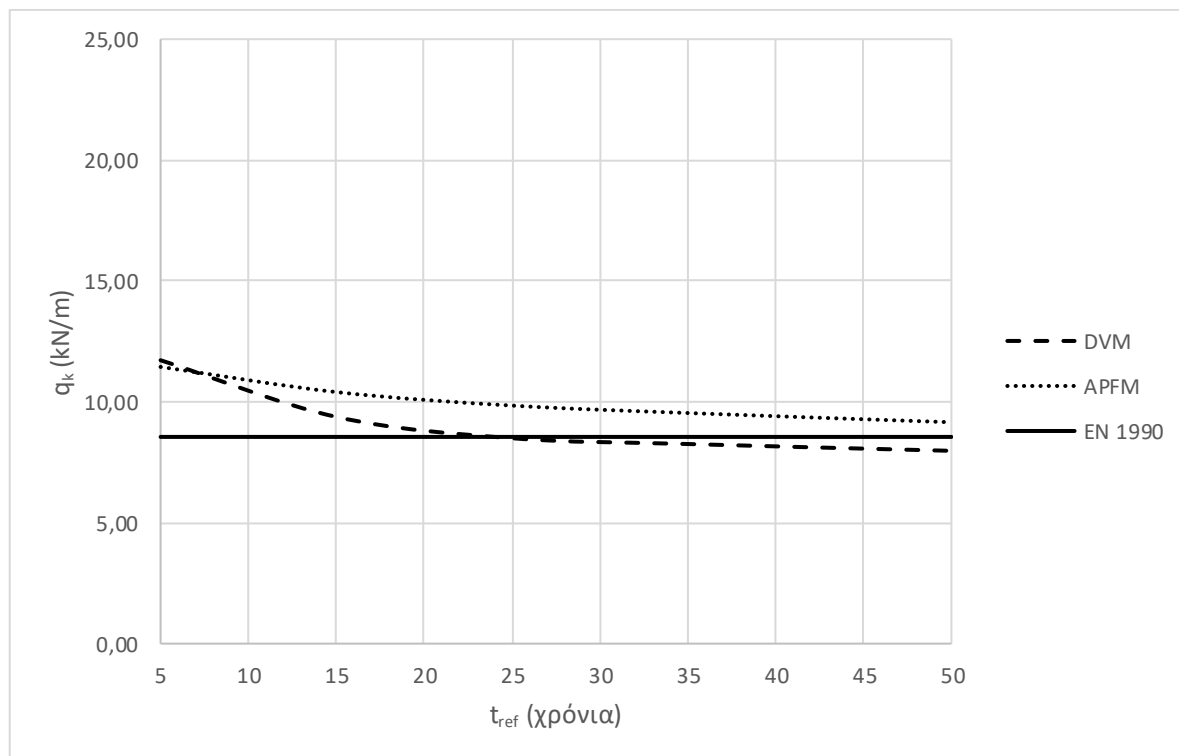
Ακολουθούν τα διαγράμματα της χαρακτηριστικής τιμής του φορτίου συναρτήσει της περιόδου επαναφοράς, για συντελεστή αξιοπιστίας $\beta=2,8, 3,3$ και $3,8$.



Σχήμα 4-23: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου συναρτήσει της περιόδου επαναφοράς, για συντελεστή αξιοπιστίας $\beta=2,8$



Σχήμα 4-24: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου συναρτήσει της περιόδου επαναφοράς, για συντελεστή αξιοπιστίας $\beta=3,3$



Σχήμα 4-25: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου συναρτήσει της περιόδου επαναφοράς, για συντελεστή αξιοπιστίας $\beta=3,8$

4.3.4.2 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 2 (ΔΙΠΛΑΣΙΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΕΣ)

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται αναλυτικά οι πίνακες με τα αποτελέσματα για κάθε περίοδο επαναφοράς t_{ref} και συντελεστή αξιοπιστίας β , καθώς και τα διαγράμματα για το μέγιστο φορτίο που μπορεί να δεχτεί η δοκός.

Πίνακας 4-30: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπτού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=5$ χρόνια και $\beta=2,8$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	13,74	12,38	11,39
f_{yd}	MPa	268,64	273,68	260,00
M_{Rd}	kNm	144,78	145,65	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	88,53	74,58	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	56,25	71,08	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	14,47	16,98	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	5,79	6,79	3,42

Πίνακας 4-31: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπτού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=15$ χρόνια και $\beta=2,8$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	13,74	12,38	11,39
f_{yd}	MPa	268,64	273,68	260,00
M_{Rd}	kNm	144,78	145,65	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	88,53	74,58	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	56,25	71,08	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	12,45	15,49	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	4,98	6,19	3,42

Πίνακας 4-32: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπτού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=25$ χρόνια και $\beta=2,8$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	13,74	12,38	11,39
f_{yd}	MPa	268,64	273,68	260,00
M_{Rd}	kNm	144,78	145,65	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	88,53	76,18	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	56,25	69,47	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	10,33	14,10	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	4,13	5,64	3,42

Πίνακας 4-33: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπτού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=35$ χρόνια και $\beta=2,8$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	13,74	14,06	11,39
f_{yd}	MPa	268,64	282,61	260,00
M_{Rd}	kNm	144,78	151,90	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	88,53	76,18	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	56,25	75,72	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	10,24	14,20	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	4,10	5,68	3,42

Πίνακας 4-34: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=50$ χρόνια και $\beta=2,8$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	13,74	14,06	11,39
f_{yd}	MPa	268,64	282,61	260,00
M_{Rd}	kNm	144,78	151,90	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	88,53	76,18	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	56,25	75,72	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	9,81	14,02	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	3,92	5,61	3,42

Πίνακας 4-35: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=5$ χρόνια και $\beta=3,3$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	13,15	10,64	11,39
f_{yd}	MPa	268,79	270,83	260,00
M_{Rd}	kNm	144,23	141,76	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	93,88	77,78	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	50,34	63,98	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	11,40	12,47	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	4,56	4,99	3,42

Πίνακας 4-36: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=15$ χρόνια και $\beta=3,3$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	13,15	10,64	11,39
f_{yd}	MPa	268,79	270,83	260,00
M_{Rd}	kNm	144,23	141,76	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	93,88	77,78	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	50,34	63,98	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	9,16	12,15	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	3,67	4,86	3,42

Πίνακας 4-37: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπτού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=25$ χρόνια και $\beta=3,3$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	13,15	10,64	11,39
f_{yd}	MPa	268,79	270,83	260,00
M_{Rd}	kNm	144,23	141,76	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	93,88	77,78	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	50,34	63,98	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	8,21	11,56	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	3,28	4,62	3,42

Πίνακας 4-38: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπτού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=35$ χρόνια και $\beta=3,3$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	13,15	10,64	11,39
f_{yd}	MPa	268,79	270,83	260,00
M_{Rd}	kNm	144,23	141,76	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	93,88	77,78	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	50,34	63,98	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	7,72	11,42	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	3,09	4,57	3,42

Πίνακας 4-39: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπτού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=50$ χρόνια και $\beta=3,3$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	13,15	10,64	11,39
f_{yd}	MPa	268,79	270,83	260,00
M_{Rd}	kNm	144,23	141,76	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	93,88	77,78	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	50,34	63,98	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	7,38	10,77	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	2,95	4,31	3,42

Πίνακας 4-40: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=5$ χρόνια και $\beta=3,8$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	11,87	11,06	11,39
f_{yd}	MPa	258,74	250,00	260,00
M_{Rd}	kNm	137,91	132,72	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	102,20	80,19	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	35,72	52,53	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	7,15	12,35	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	2,86	4,94	3,42

Πίνακας 4-41: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=15$ χρόνια και $\beta=3,8$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	11,87	11,06	11,39
f_{yd}	MPa	258,74	250,00	260,00
M_{Rd}	kNm	137,91	132,72	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	98,90	80,19	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	39,01	52,53	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	5,50	9,98	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	2,20	3,99	3,42

Πίνακας 4-42: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=25$ χρόνια και $\beta=3,8$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	13,16	12,66	11,39
f_{yd}	MPa	266,13	265,31	260,00
M_{Rd}	kNm	142,95	141,99	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	102,20	80,19	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	40,75	61,80	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	5,91	9,64	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	2,36	3,86	3,42

Πίνακας 4-43: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπτού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=35$ χρόνια και $\beta=3,8$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	13,16	12,66	11,39
f_{yd}	MPa	266,13	265,31	260,00
M_{Rd}	kNm	142,95	141,99	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	102,20	80,19	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	40,75	61,80	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	5,75	9,44	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	2,30	3,78	3,42

Πίνακας 4-44: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπτού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=50$ χρόνια και $\beta=3,8$

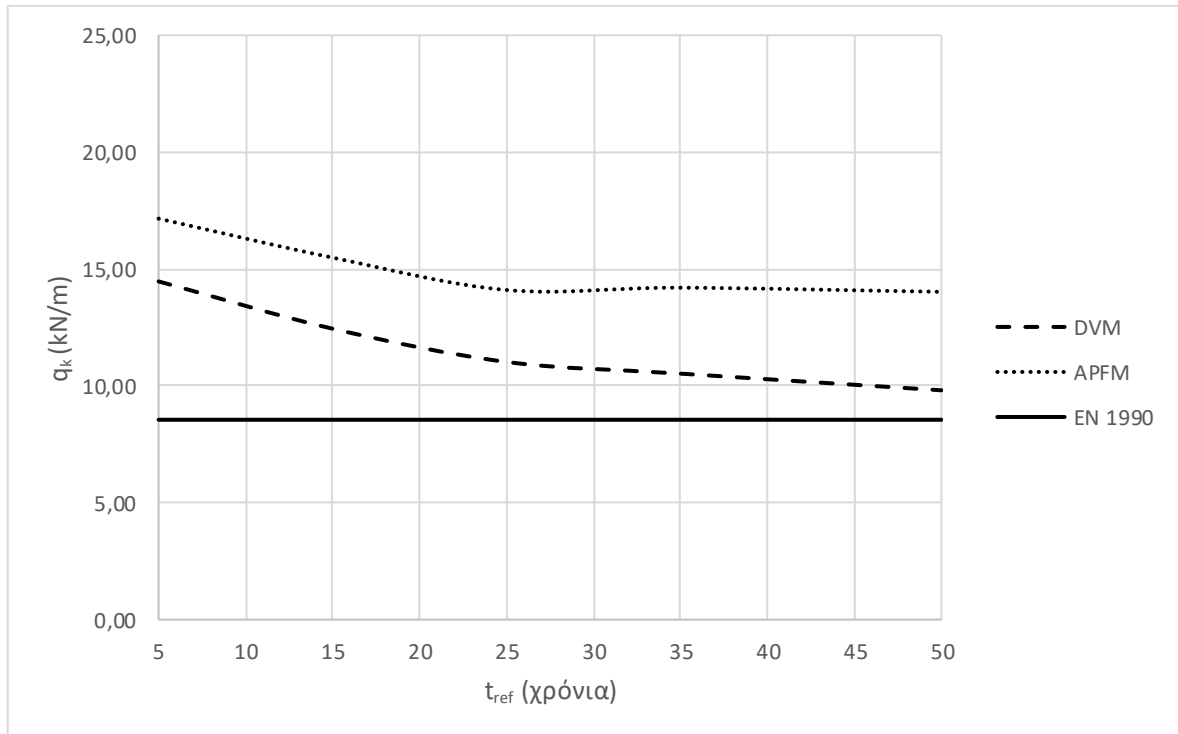
Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	13,16	12,66	11,39
f_{yd}	MPa	266,13	265,31	260,00
M_{Rd}	kNm	142,95	141,99	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	102,20	80,19	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	40,75	61,80	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	5,55	9,16	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	2,22	3,66	3,42

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται συγκεντρωτικά οι τιμές του μεγίστου φορτίου που μπορεί να παραληφθεί από τη δοκό για την πρώτη περίπτωση επίλυσης, για τις διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς και του συντελεστή αξιοπιστίας, για τις μεθόδους DVM, APFM και EN 1990.

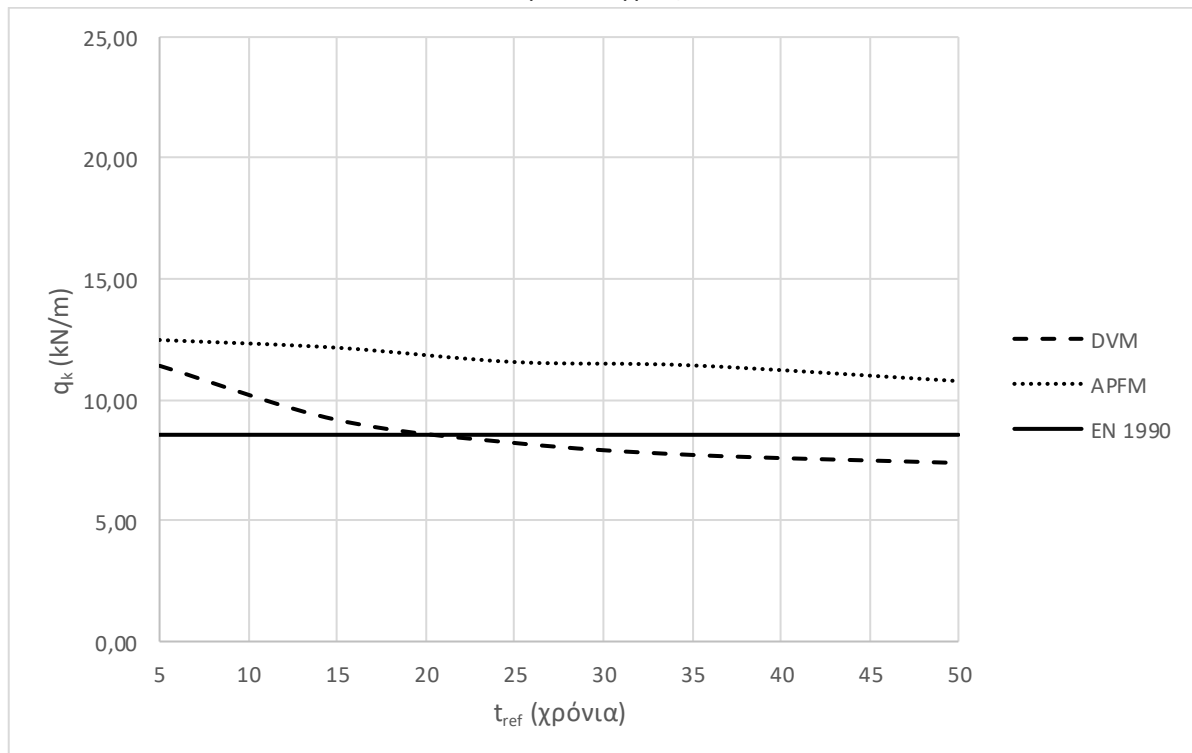
Πίνακας 4-45: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου για τη 2^η Περίπτωση Επίλυσης

q_k (kN/m)	Περίπτωση 2								
	DVM	APFM	EN 1990	DVM	APFM	EN 1990	DVM	APFM	EN 1990
$t_{ref} \backslash \beta$	2,8			3,3			3,8		
5	14,47	17,15	8,55	11,40	12,47	8,55	7,15	12,35	8,55
15	12,45	15,49		9,16	12,15		6,01	9,98	
25	11,02	14,10		8,21	11,56		5,91	9,64	
35	10,52	14,20		7,72	11,42		5,75	9,44	
50	9,81	14,02		7,38	10,77		5,55	9,16	

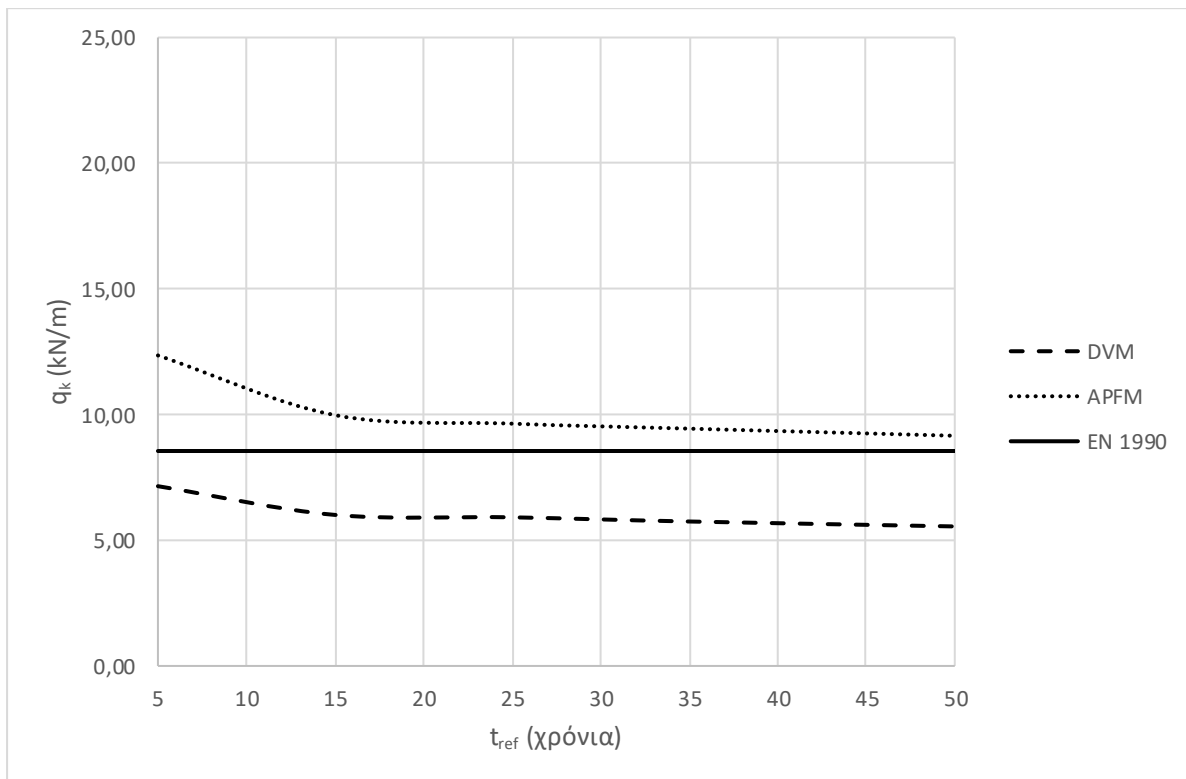
Ακολουθούν τα διαγράμματα της χαρακτηριστικής τιμής του φορτίου συναρτήσει της περιόδου επαναφοράς, για συντελεστή αξιοπιστίας $\beta=2,8, 3,3$ και $3,8$.



Σχήμα 4-26: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου συναρτήσει της περιόδου επαναφοράς, για συντελεστή αξιοπιστίας $\beta=2,8$



Σχήμα 4-27: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου συναρτήσει της περιόδου επαναφοράς, για συντελεστή αξιοπιστίας $\beta=3,3$



Σχήμα 4-28: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου συναρτήσει της περιόδου επαναφοράς, για συντελεστή αξιοπιστίας $\beta=3,8$

4.3.4.3 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 3 (ΜΙΣΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΕΣ)

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται αναλυτικά οι πίνακες με τα αποτελέσματα για κάθε περίοδο επαναφοράς t_{ref} και συντελεστή αξιοπιστίας β , καθώς και τα διαγράμματα για το μέγιστο φορτίο που μπορεί να δεχτεί η δοκός για την 3^η περίπτωση επίλυσης.

Πίνακας 4-46: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μέγιστου επιτρεπτού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=5$ χρόνια και $\beta=2,8$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	15,65	14,42	11,39
f_{yd}	MPa	290,29	282,61	260,00
M_{Rd}	kNm	157,21	152,26	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	70,57	76,18	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	86,64	76,08	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	22,28	18,79	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	8,91	7,51	3,42

Πίνακας 4-47: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπού κινήτου φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=15$ χρόνια και $\beta=2,8$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	15,65	14,42	11,39
f_{yd}	MPa	290,29	282,61	260,00
M_{Rd}	kNm	157,21	152,26	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	70,57	76,18	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	86,64	76,08	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	19,17	16,58	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	7,67	6,63	3,42

Πίνακας 4-48: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπού κινήτου φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=25$ χρόνια και $\beta=2,8$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	15,65	14,42	11,39
f_{yd}	MPa	290,29	282,61	260,00
M_{Rd}	kNm	157,21	152,26	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	70,57	76,18	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	86,64	76,08	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	16,98	15,23	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	6,79	6,09	3,42

Πίνακας 4-49: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπού κινήτου φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=35$ χρόνια και $\beta=2,8$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	15,65	14,42	11,39
f_{yd}	MPa	290,29	282,61	260,00
M_{Rd}	kNm	157,21	152,26	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	70,57	76,18	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	86,64	76,08	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	16,21	14,64	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	6,48	5,86	3,42

Πίνακας 4-50: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπτού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=50$ χρόνια και $\beta=2,8$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	15,65	14,42	11,39
f_{yd}	MPa	290,29	282,61	260,00
M_{Rd}	kNm	157,21	152,26	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	70,57	76,18	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	86,64	76,08	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	15,11	14,09	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	6,04	5,64	3,42

Πίνακας 4-51: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπτού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=5$ χρόνια και $\beta=3,3$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	13,89	14,60	11,39
f_{yd}	MPa	276,85	285,71	260,00
M_{Rd}	kNm	148,93	153,96	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	72,52	76,18	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	76,41	77,78	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	17,31	15,16	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	6,92	6,07	3,42

Πίνακας 4-52: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπτού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=15$ χρόνια και $\beta=3,3$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	13,89	14,60	11,39
f_{yd}	MPa	276,85	285,71	260,00
M_{Rd}	kNm	148,93	153,96	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	72,52	76,18	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	76,41	77,78	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	13,91	14,77	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	5,56	5,91	3,42

Πίνακας 4-53: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=25$ χρόνια και $\beta=3,3$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	13,89	14,60	11,39
f_{yd}	MPa	276,85	285,71	260,00
M_{Rd}	kNm	148,93	153,96	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	72,52	76,18	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	76,41	77,78	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	12,46	14,05	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	4,99	5,62	3,42

Πίνακας 4-54: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=35$ χρόνια και $\beta=3,3$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	13,89	14,60	11,39
f_{yd}	MPa	276,85	285,71	260,00
M_{Rd}	kNm	148,93	153,96	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	72,52	76,18	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	76,41	77,78	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	11,71	13,88	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	4,69	5,55	3,42

Πίνακας 4-55: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=50$ χρόνια και $\beta=3,3$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	13,89	14,60	11,39
f_{yd}	MPa	276,85	285,71	260,00
M_{Rd}	kNm	148,93	153,96	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	72,52	76,18	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	76,41	77,78	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	11,21	13,09	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	4,48	5,24	3,42

Πίνακας 4-56: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπτού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=5$ χρόνια και $\beta=3,8$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	15,06	12,94	11,39
f_{yd}	MPa	281,84	268,04	260,00
M_{Rd}	kNm	152,51	143,64	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	74,51	80,19	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	78,00	63,45	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	15,62	11,75	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	6,25	4,70	3,42

Πίνακας 4-57: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπτού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=15$ χρόνια και $\beta=3,8$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	15,06	12,94	11,39
f_{yd}	MPa	281,84	268,04	260,00
M_{Rd}	kNm	152,51	143,64	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	74,51	80,19	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	78,00	63,45	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	12,20	10,68	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	4,88	4,27	3,42

Πίνακας 4-58: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπτού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=25$ χρόνια και $\beta=3,8$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	15,06	12,94	11,39
f_{yd}	MPa	281,84	268,04	260,00
M_{Rd}	kNm	152,51	143,64	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	74,51	80,19	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	78,00	63,45	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	11,32	10,11	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	4,53	4,04	3,42

Πίνακας 4-59: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=35$ χρόνια και $\beta=3,8$

Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	15,06	12,94	11,39
f_{yd}	MPa	281,84	268,04	260,00
M_{Rd}	kNm	152,51	143,64	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	74,51	80,19	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	78,00	63,45	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	11,00	9,79	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	4,40	3,92	3,42

Πίνακας 4-60: Τιμές μεταβλητών των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μεγίστου επιτρεπού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα, για $t_{ref}=50$ χρόνια και $\beta=3,8$

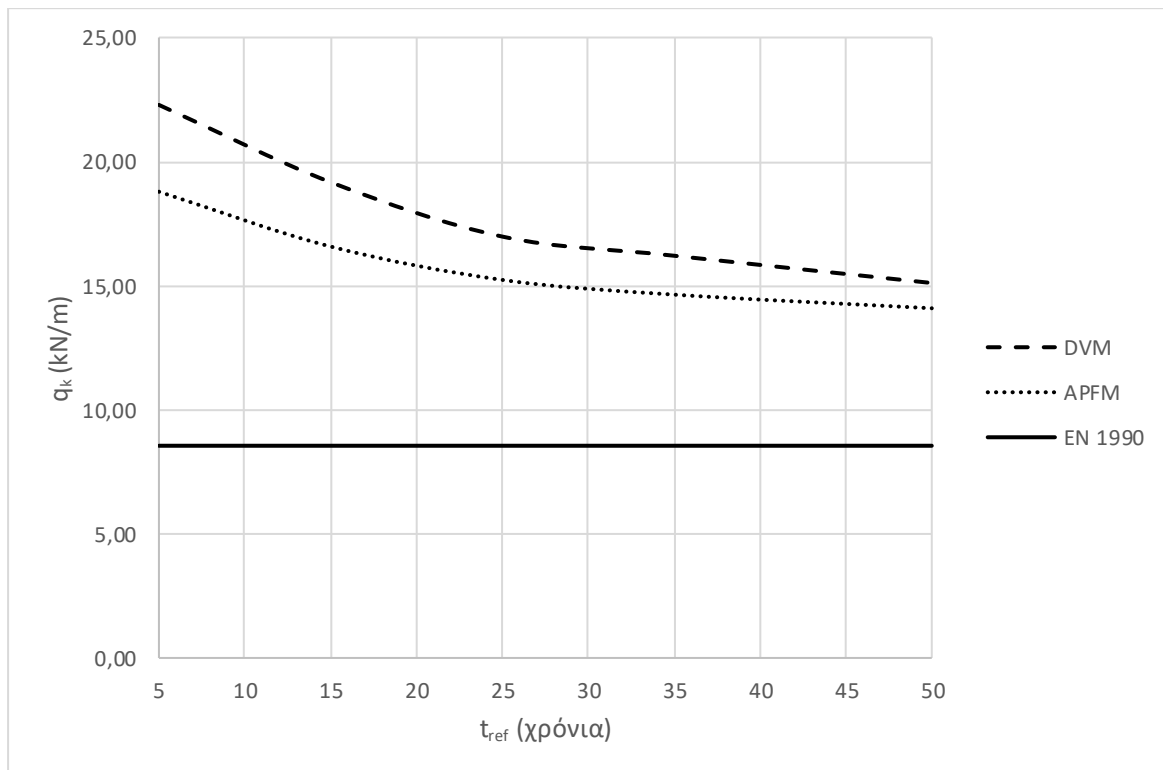
Μεταβλητή	Μονάδες	DVM	APFM	EN 1990
f_{cd}	MPa	15,06	12,94	11,39
f_{yd}	MPa	281,84	268,04	260,00
M_{Rd}	kNm	152,51	143,64	137,88
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	74,51	80,19	80,19
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	78,00	63,45	57,69
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	10,62	9,40	8,55
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	4,25	3,76	3,42

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται συγκεντρωτικά οι τιμές του μέγιστου φορτίου που μπορεί να παραληφθεί από τη δοκό για την πρώτη περίπτωση επίλυσης, για τις διάφορες τιμές της περιόδου επαναφοράς και του συντελεστή αξιοπιστίας, για τις μεθόδους DVM, APFM και EN 1990.

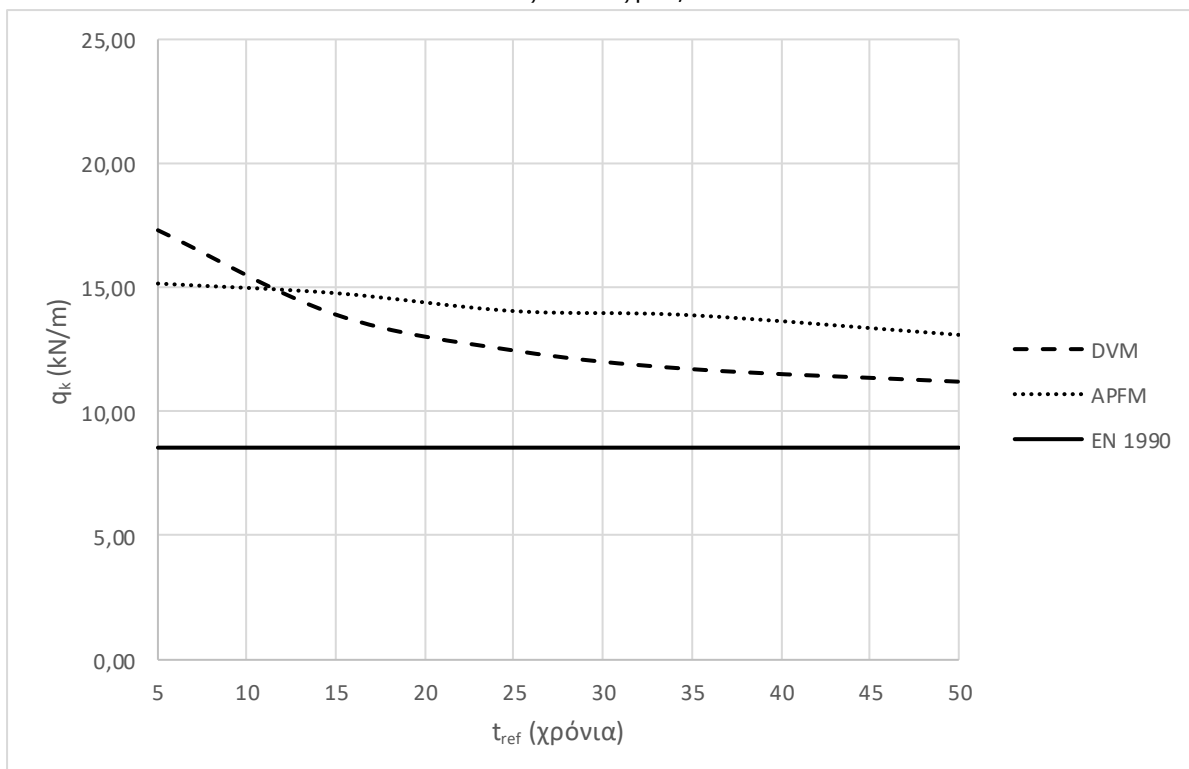
Πίνακας 4-61: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου για την 3^η Περίπτωση Επίλυσης

q_k (kN/m)	Περίπτωση 3								
	DVM	APFM	EN 1990	DVM	APFM	EN 1990	DVM	APFM	EN 1990
$t_{ref} \backslash \beta$	2,8			3,3			3,8		
5	22,28	18,79	8,55	17,31	15,16	8,55	15,62	11,75	8,55
15	19,17	16,58		13,91	14,77		12,20	10,68	
25	16,98	15,23		12,46	14,05		11,32	10,11	
35	16,21	14,64		11,71	13,88		11,00	9,79	
50	15,11	14,09		11,21	13,09		10,62	9,40	

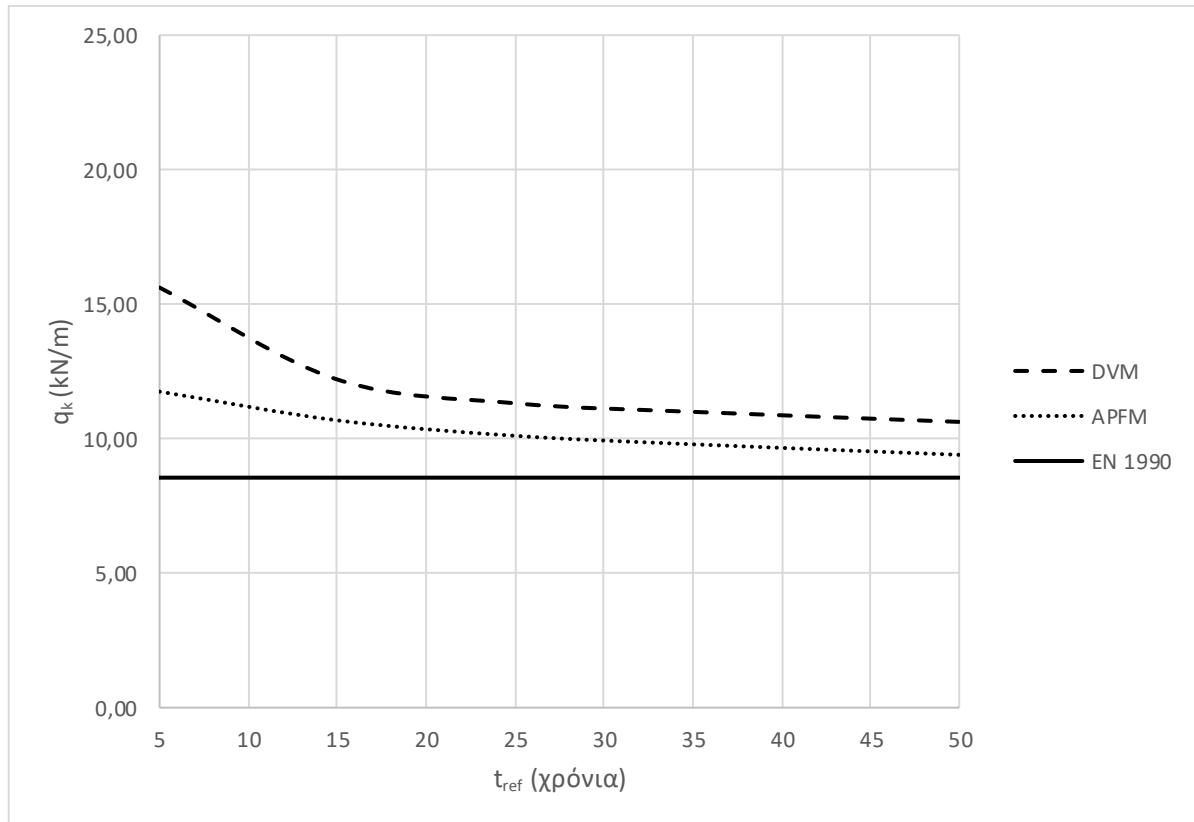
Ακολουθούν τα διαγράμματα της χαρακτηριστικής τιμής του φορτίου συναρτήσεως της περιόδου επαναφοράς, για συντελεστή αξιοπιστίας $\beta=2,8, 3,3$ και $3,8$.



Σχήμα 4-29: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου συναρτήσει της περιόδου επαναφοράς, για συντελεστή αξιοπιστίας $\beta=2,8$



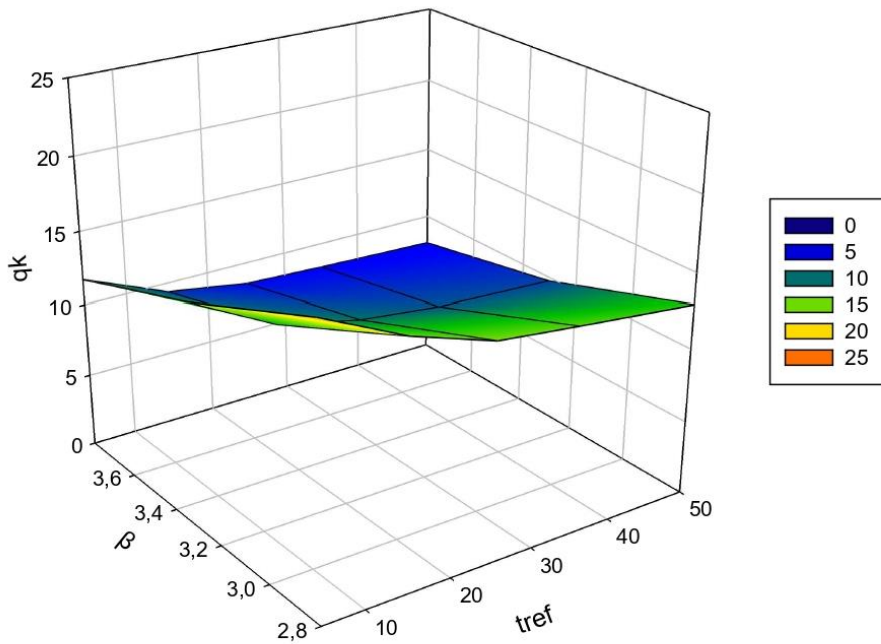
Σχήμα 4-30: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου συναρτήσει της περιόδου επαναφοράς, για συντελεστή αξιοπιστίας $\beta=3,3$



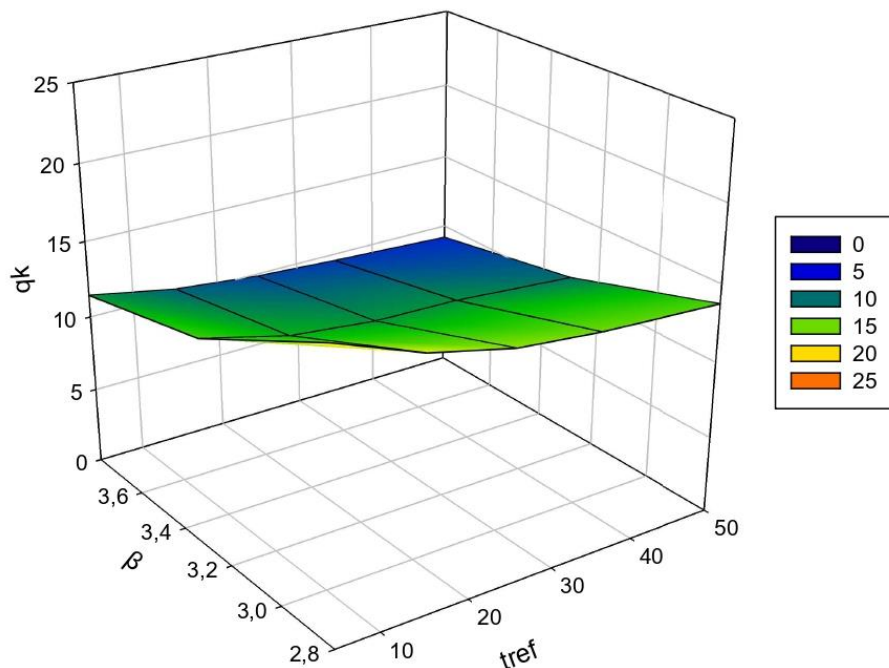
Σχήμα 4-31: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου συναρτήσει της περιόδου επαναφοράς, για συντελεστή αξιοπιστίας $\beta=3,8$

4.3.4.4 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

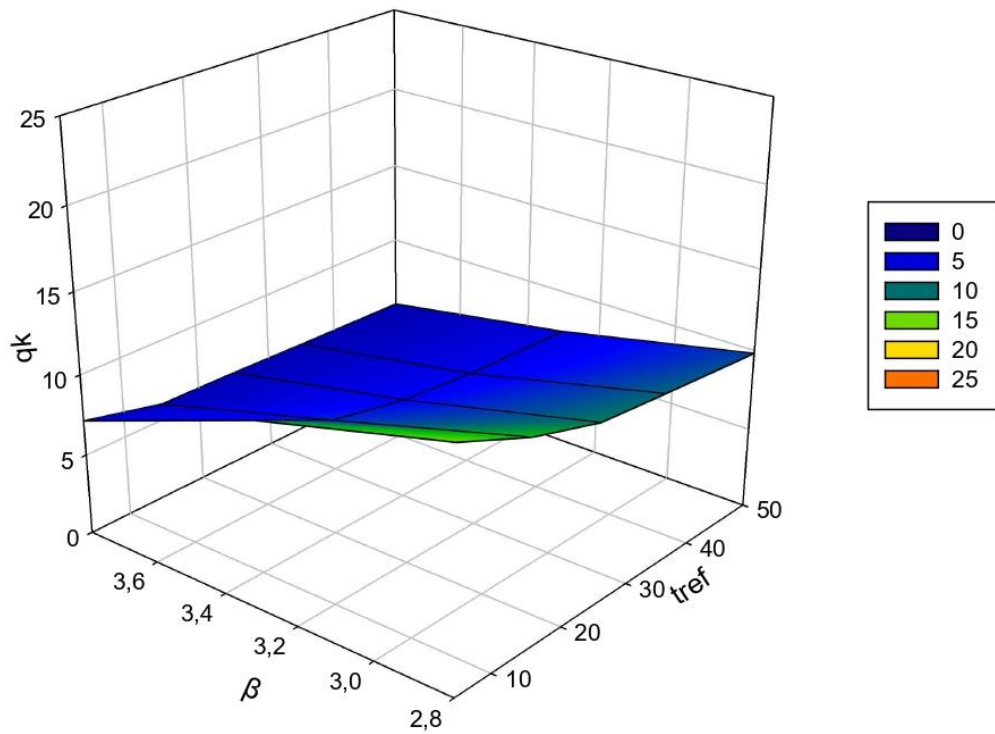
Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά διαγράμματα των μεθόδων DVM και APFM για το μέγιστο φορτίο που δύναται να παραλάβει η δοκός.



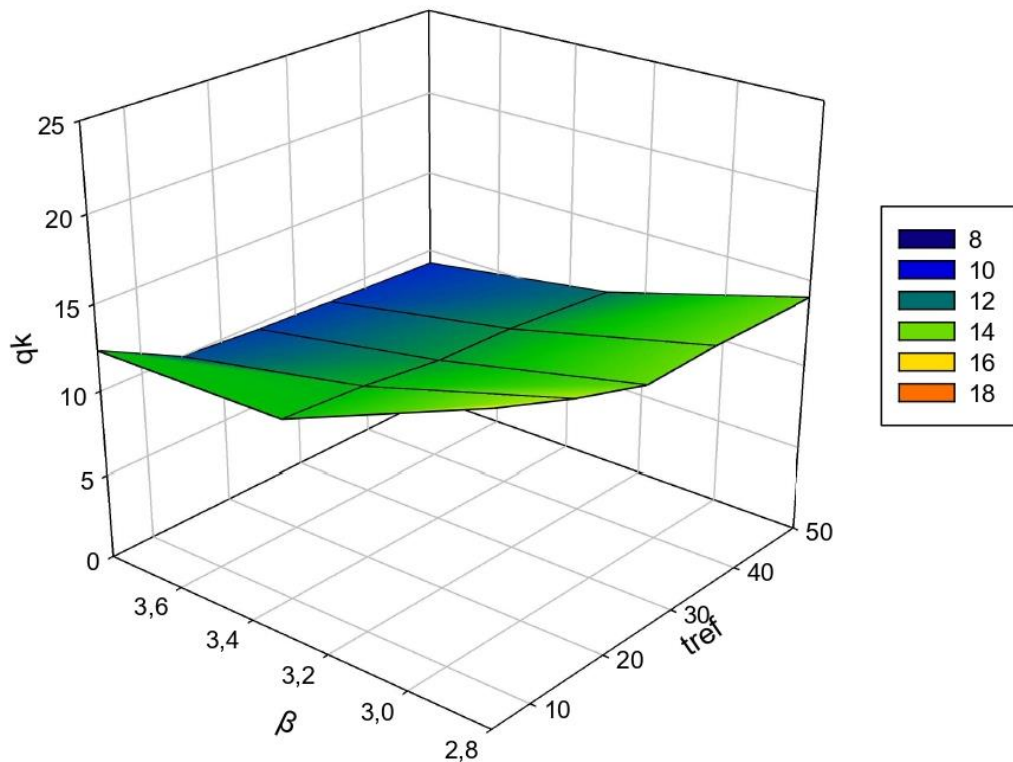
Σχήμα 4-32: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου, συναρτήσει του δείκτη αξιοπιστίας και της περιόδου επαναφοράς, για την Περίπτωση 1 (Μέθοδος DVM).



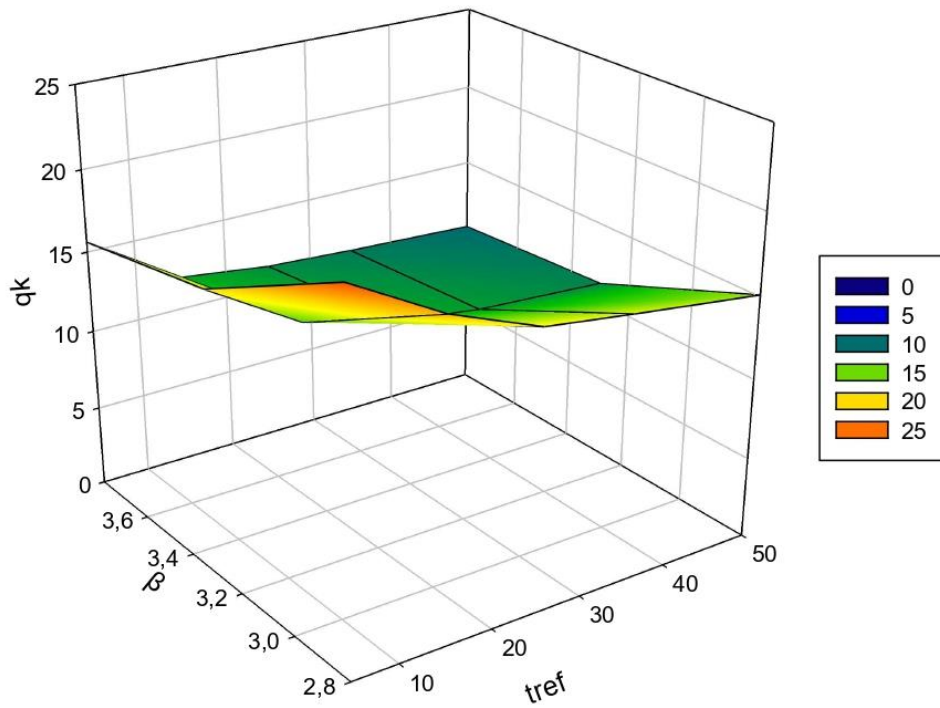
Σχήμα 4-33: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου, συναρτήσει του δείκτη αξιοπιστίας και της περιόδου επαναφοράς, για την Περίπτωση 1 (Μέθοδος APFM).



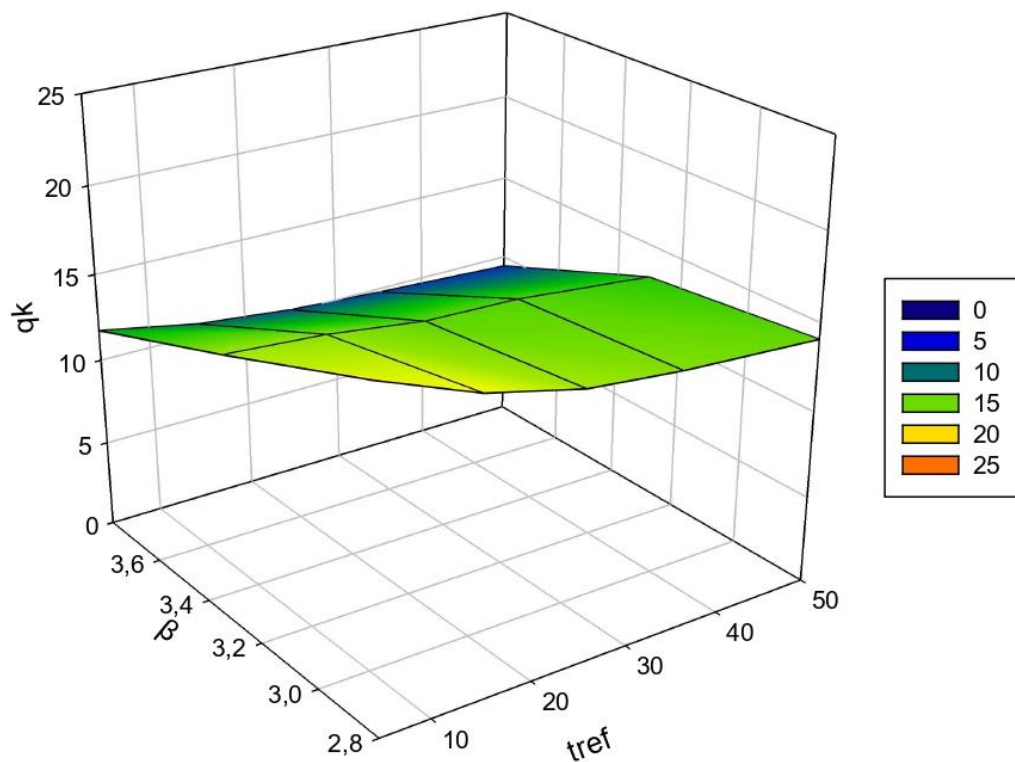
Σχήμα 4-34: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου, συνάρτησι του δείκτη αξιοπιστίας και της περιόδου επαναφοράς, για την Περίπτωση 2 (Μέθοδος DVM).



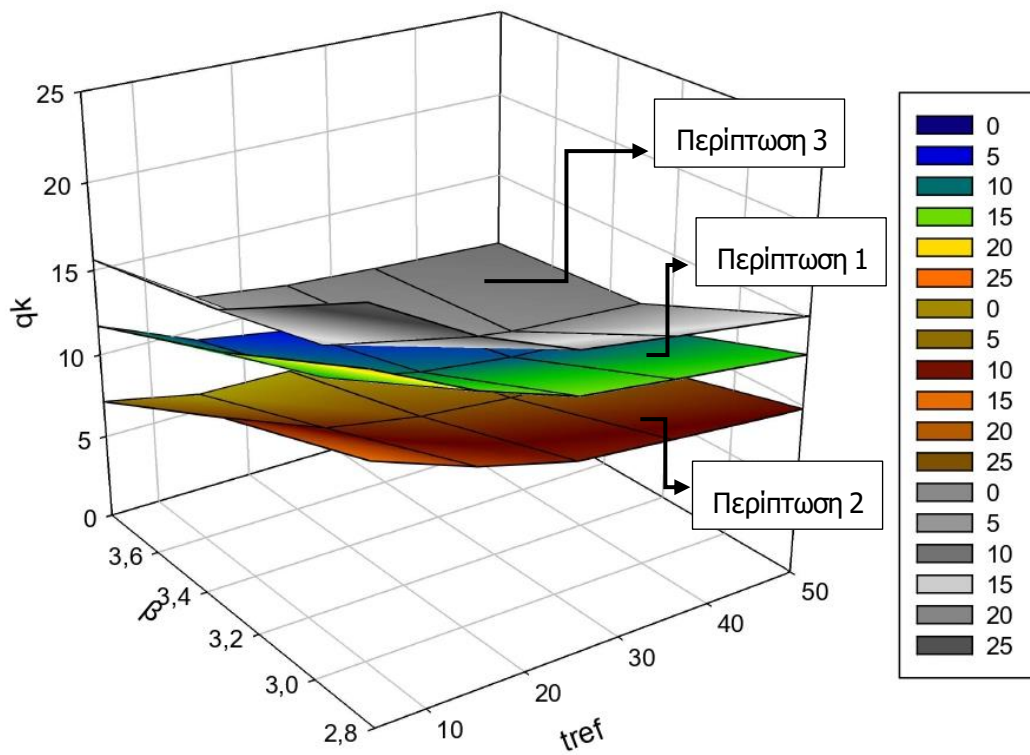
Σχήμα 4-35: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου, συνάρτησι του δείκτη αξιοπιστίας και της περιόδου επαναφοράς, για την Περίπτωση 2 (Μέθοδος ARFM).



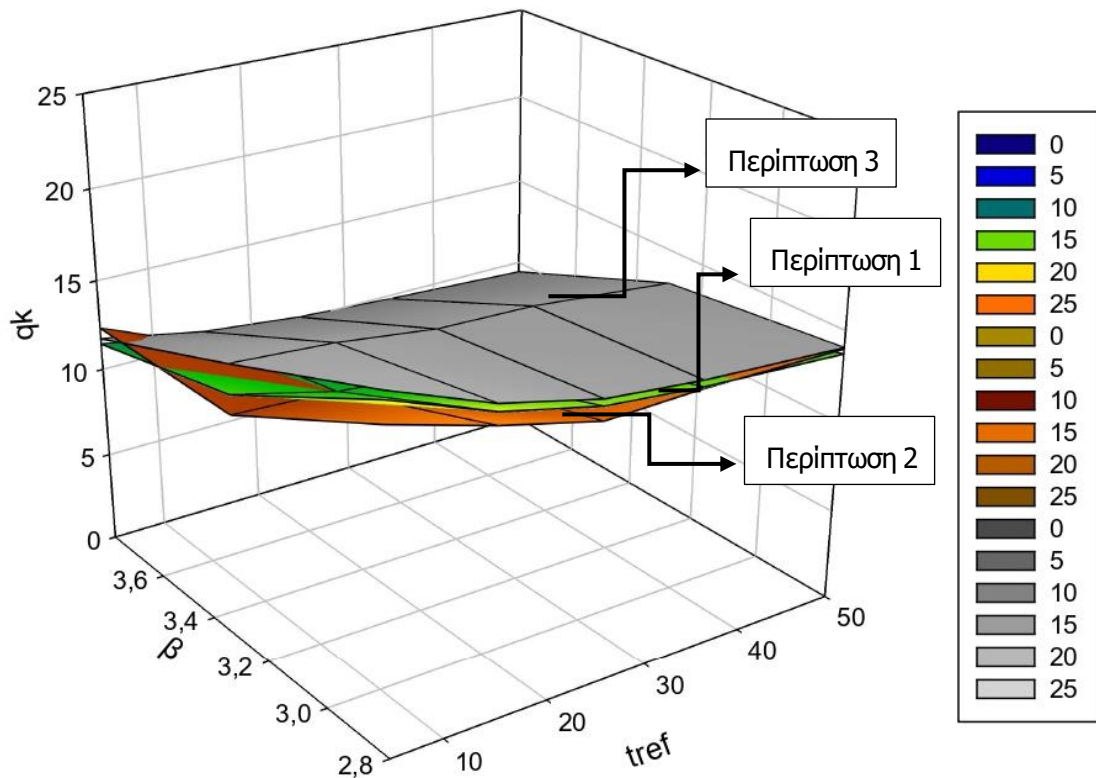
Σχήμα 4-36: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου, συνάρτησε του δείκτη αξιοπιστίας και της περιόδου επαναφοράς, για την Περίπτωση 3 (Μέθοδος DVM).



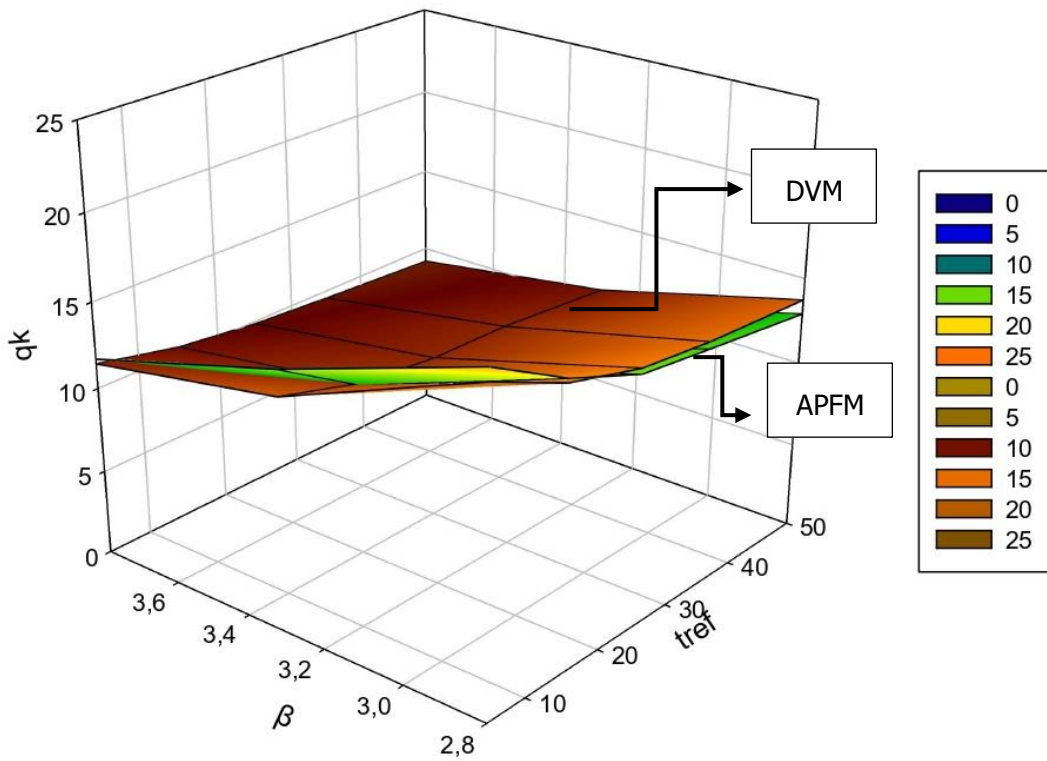
Σχήμα 4-37: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου, συνάρτησε του δείκτη αξιοπιστίας και της περιόδου επαναφοράς, για την Περίπτωση 3 (Μέθοδος ARFM).



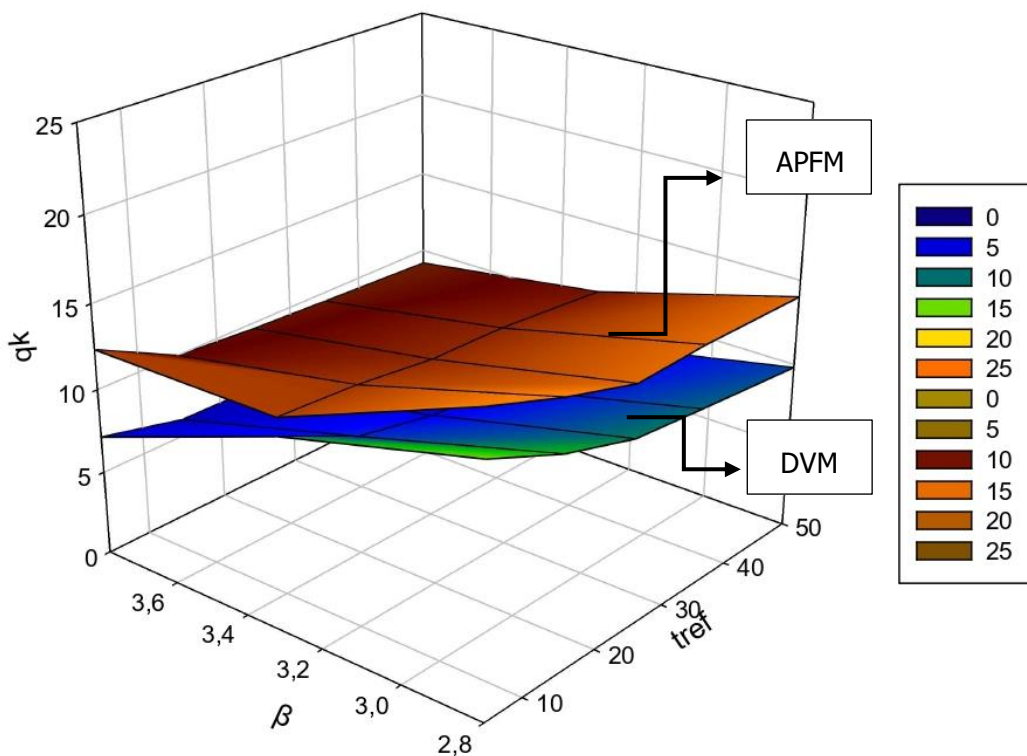
Σχήμα 4-38: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου, συνάρτησι του δείκτη αξιοπιστίας και της περιόδου επαναφοράς, για τη Μέθοδο DVM (Περιστώσεις 1-3).



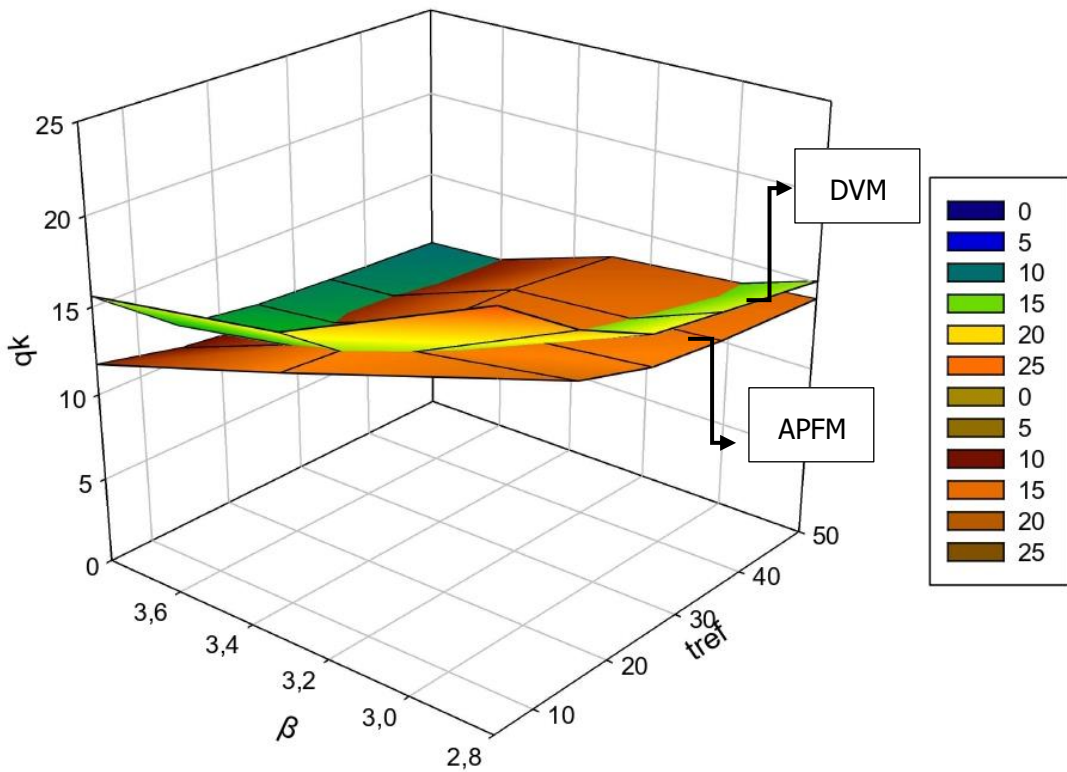
Σχήμα 4-39: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου, συνάρτησι του δείκτη αξιοπιστίας και της περιόδου επαναφοράς, για τη Μέθοδο APFM (Περιστώσεις 1-3).



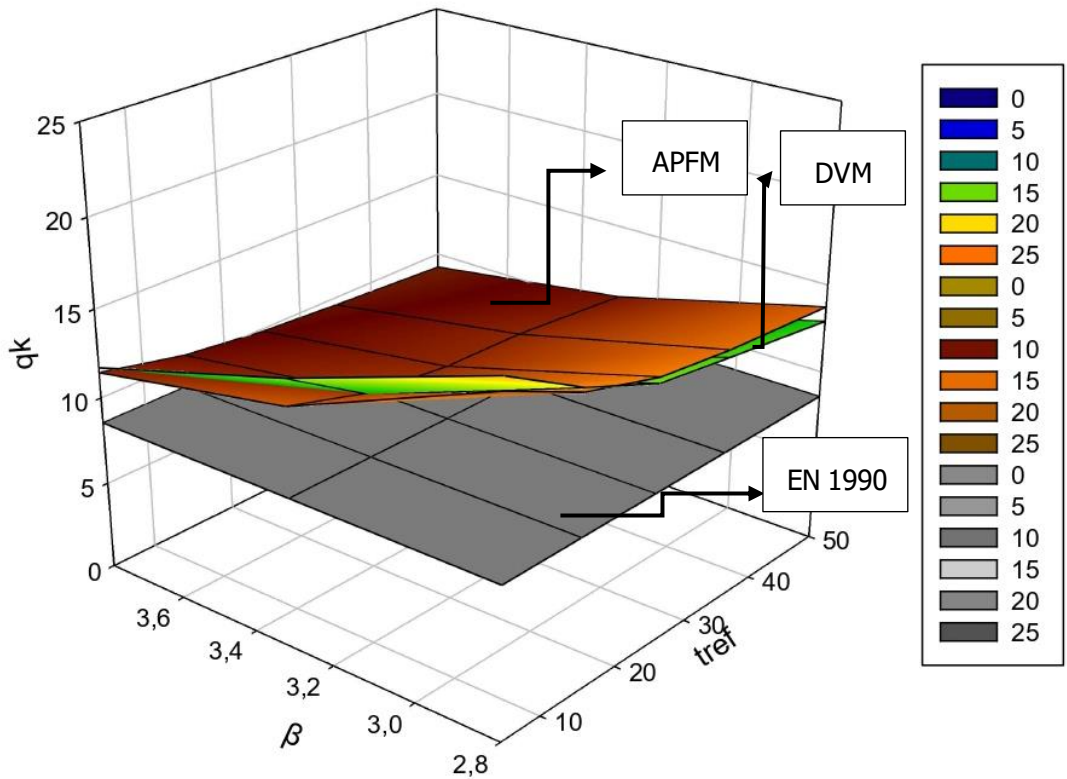
Σχήμα 4-40: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου, συναρτήσει του δείκτη αξιοπιστίας και της περιόδου επαναφοράς, για την Περίπτωση 1 (Μέθοδος DVM και APFM).



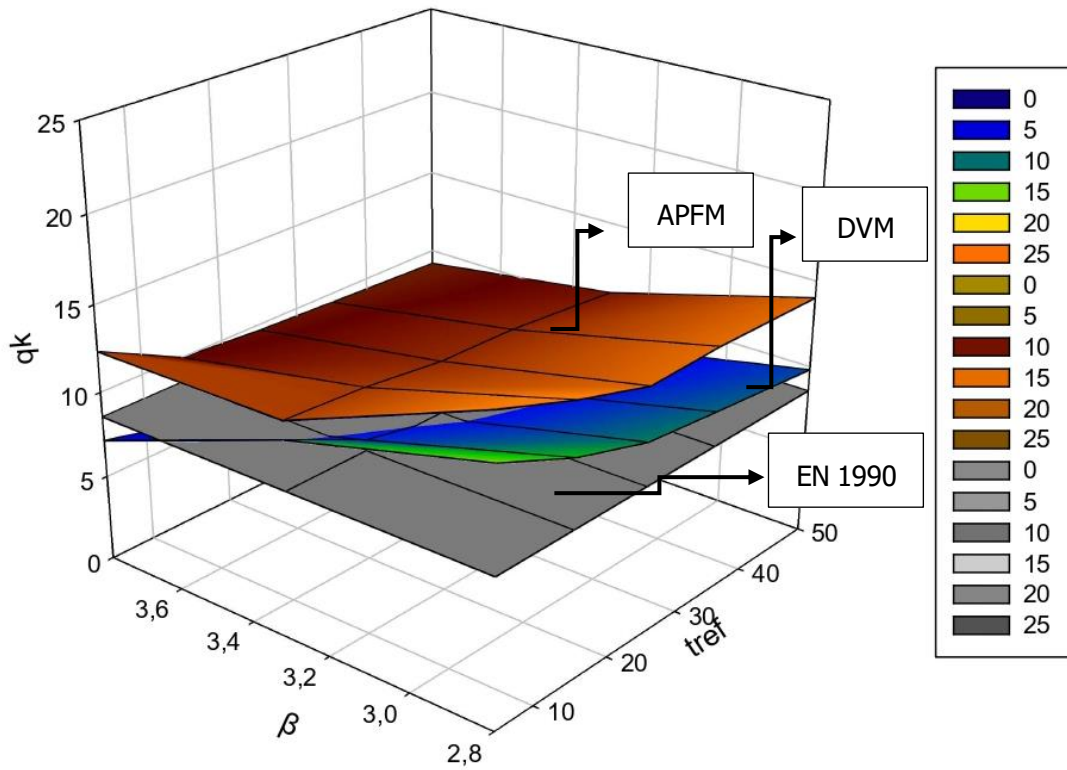
Σχήμα 4-41: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου, συναρτήσει του δείκτη αξιοπιστίας και της περιόδου επαναφοράς, για την Περίπτωση 2 (Μέθοδος DVM και APFM).



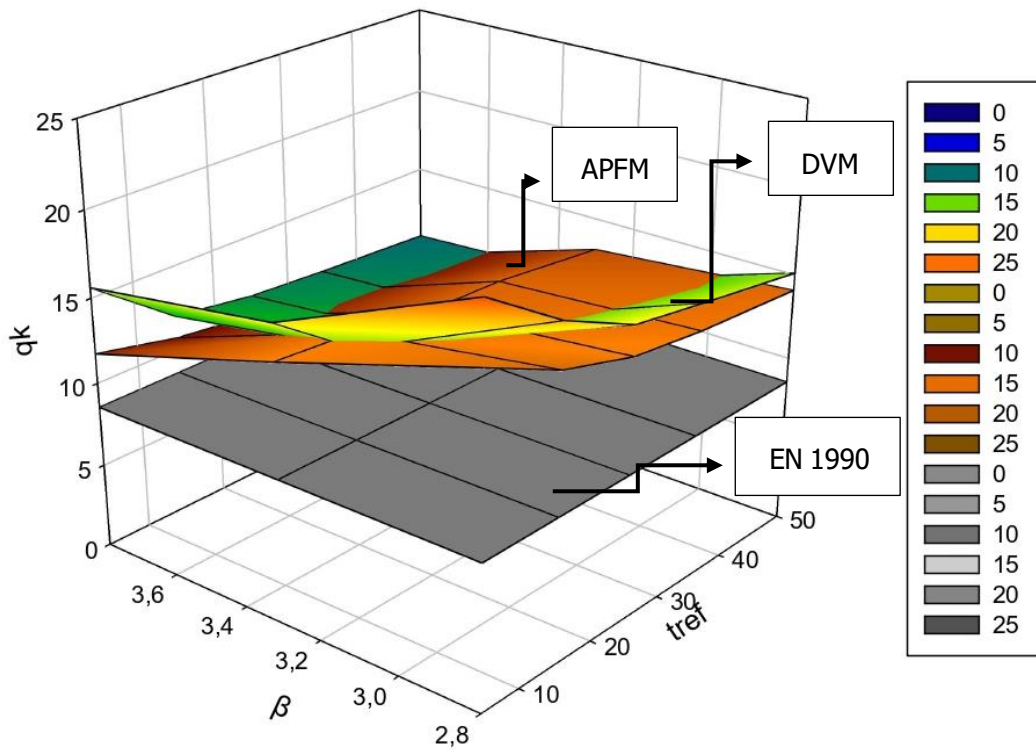
Σχήμα 4-42: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου, συνάρτησι του δείκτη αξιοπιστίας και της περιόδου επαναφοράς, για την Περίπτωση 3 (Μέθοδος DVM και APFM)



Σχήμα 4-43: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου, συνάρτησι του δείκτη αξιοπιστίας και της περιόδου επαναφοράς, για την Περίπτωση 1 (Μέθοδος DVM και APFM και EN 1990).



Σχήμα 4-44: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου, συνάρτησι του δείκτη αξιοπιστίας και της περιόδου επαναφοράς, για την Περίπτωση 2 (Μέθοδος DVM και APFM και EN 1990).



Σχήμα 4-45: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου, συνάρτησι του δείκτη αξιοπιστίας και της περιόδου επαναφοράς, για την Περίπτωση 3 (Μέθοδος DVM και APFM και EN 1990)

4.3.5 ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΥΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΤΟΥ ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας για τις υφιστάμενες κατασκευές που δίνονται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. εξαρτώνται από τη Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων και παρατίθενται συνοπτικά στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 4-62:Επιμέρους Συντελεστές Ασφαλείας για Υφιστάμενες Κατασκευές βάσει ΚΑΝ.ΕΠΕ.

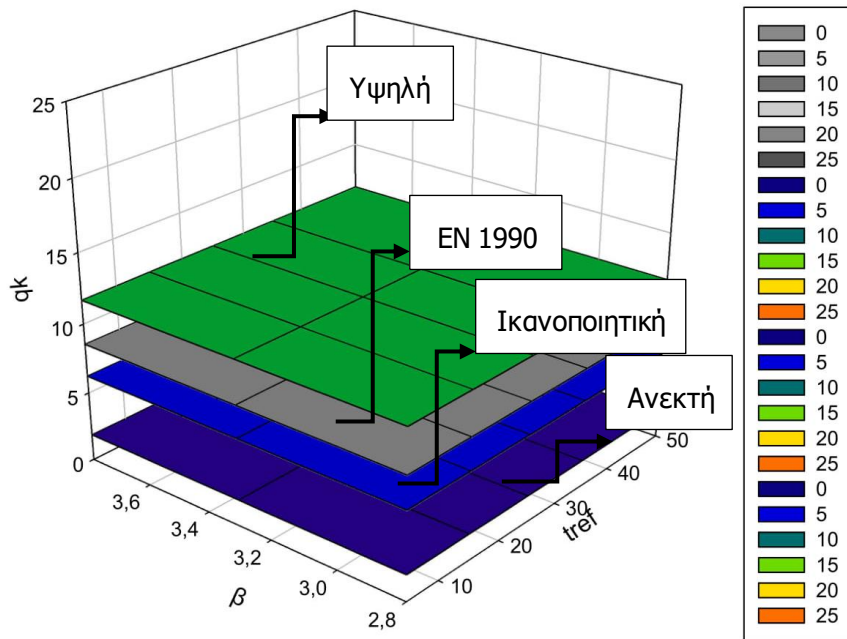
Επιμέρους Συντελεστές Ασφαλείας	Υφιστάμενες Κατασκευές		
	ΚΑΝΕΠΕ		
	ΣΑΔ		
	Υψηλή	Ικανοποιητική	Ανεκτή
γ_g	1,20	1,35	1,50
γ_Q	1,5		
$\gamma_{Q,χιόνι}$			
γ_c	1,15	1,30	1,45
γ_s	1,05	1,15	1,25
$\gamma_{Rd,c}$	1,25	1,40	1,50
$\gamma_{Rd,s}$	1,00 (για καθολικό δείκτη συμπεριφοράς q)		
$\gamma_{Ed,M(ροπές)}$	1,00	1,10	1,20
$\gamma_{Ed,N(αξονικές)}$			

Επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία υπολογισμού της φέρουσας ικανότητας που ακολουθήθηκε στην προηγούμενη ενότητα προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα για τις διάφορες Σ.Α.Δ.

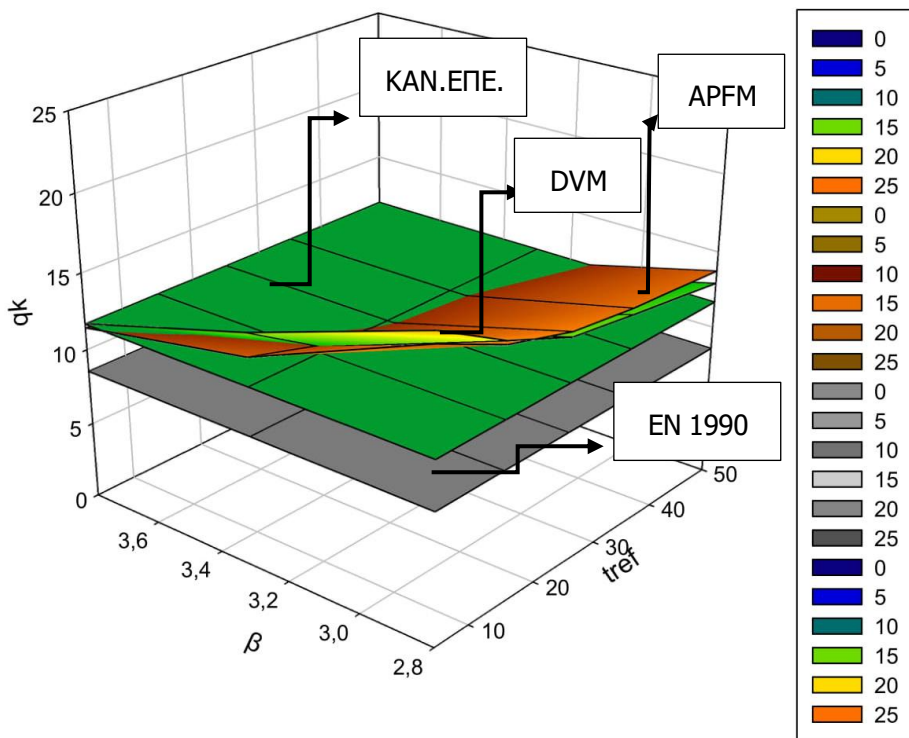
Πίνακας 4-63:Τιμές των αντιστάσεων, της ροπής αντίστασης και του μέγιστου επιτρεπτού κινητού φορτίου $q_{k,max}$ στη δοκό και στην πλάκα για τους επιμέρους συντελεστές του ΚΑΝ.ΕΠΕ, ανάλογα με τη Σ.Α.Δ.

Μεταβλητή	Μονάδες	Υψηλή	Ικανοποιητική	Ανεκτή
f_{cd}	MPa	11,89	9,39	7,86
f_{yd}	MPa	284,76	260,00	239,20
M_{Rd}	kNm	150,16	134,55	122,05
g_k	kN/m	13,20	13,20	13,20
$M_{Ed,G}$	kNm	71,28	88,21	106,92
$M_{Ed,Qmax}$	kNm	78,88	46,34	15,13
$q_{k,max,δοκού}$	kN/m	11,69	6,24	1,87
$q_{k,max,πλάκας}$	kN/m ²	4,67	2,50	0,75

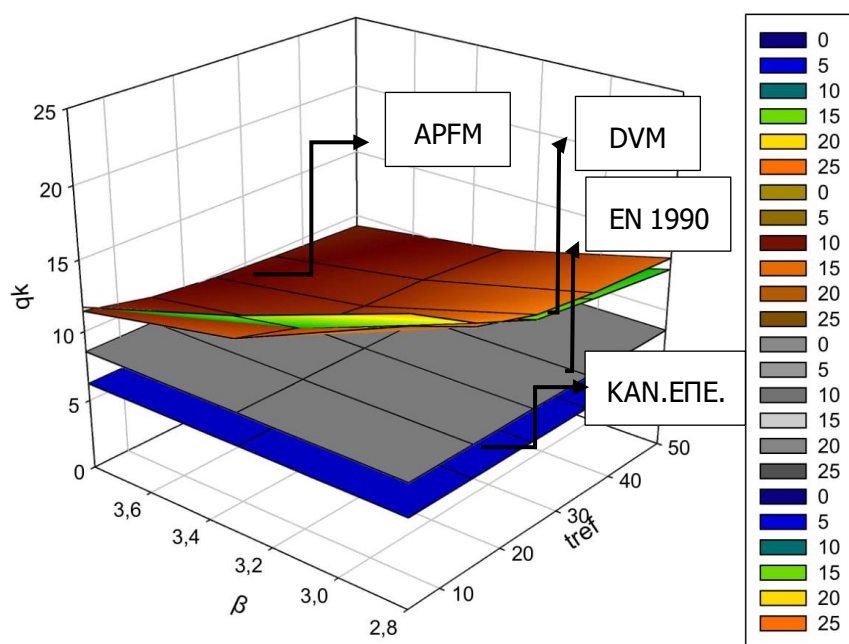
Στο επόμενο διάγραμμα φαίνεται το μέγιστο επιτρεπτό κινητό φορτίο στη δοκό συναρτήσει της περιόδου επαναφοράς t_{ref} και του συντελεστή αξιοπιστίας β . Στα ακόλουθα διαγράμματα απεικονίζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα για το μέγιστο επιτρεπτό κινητό φορτίο που προκύπτουν από την επίλυση με τις μεθόδους DVM, APFM και με τους συντελεστές του EN 1990 για τις νέες κατασκευές, καθώς και με τους συντελεστές για τις υφιστάμενες κατασκευές του ΚΑΝ.ΕΠΕ.



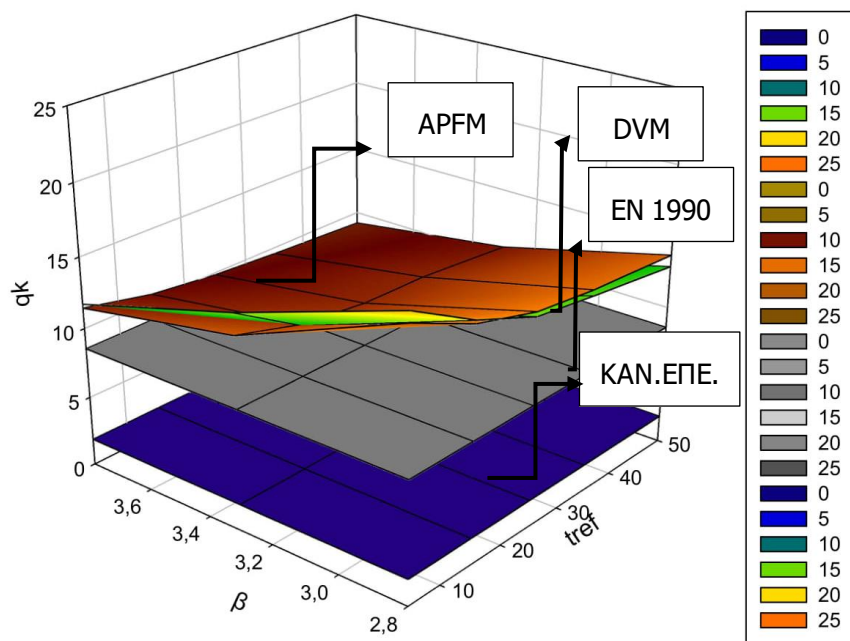
Σχήμα 4-46: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου, συνάρτησε του δείκτη αξιοπιστίας και της περιόδου επαναφοράς, σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. για τις διάφορες Στάθμες Αξιοπιστίας Δεδομένων και για τον EN 1990



Σχήμα 4-47: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου, συνάρτησε του δείκτη αξιοπιστίας και της περιόδου επαναφοράς, για Υψηλή Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων (Μέθοδος DVM και APFM, EN 1990 και ΚΑΝ.ΕΠΕ.)

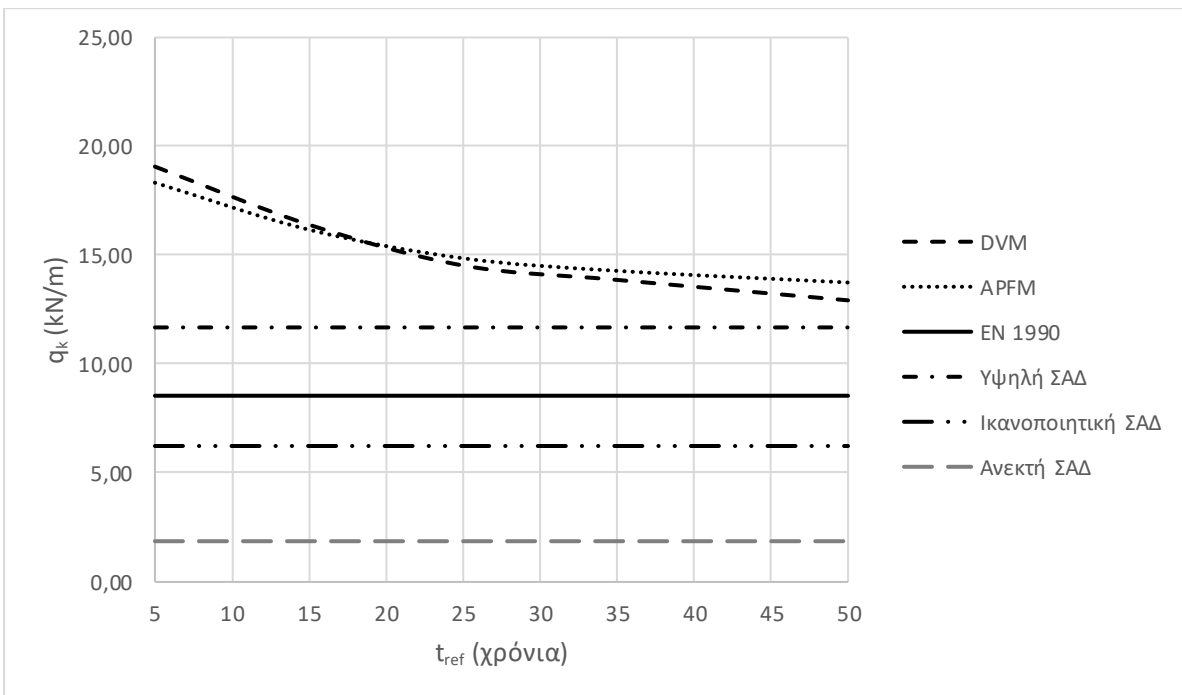


Σχήμα 4-48: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου, συνάρτησι του δείκτη αξιοπιστίας και της περιόδου επαναφοράς, για Ικανοποιητική Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων (Μέθοδος DVM και APFM, EN 1990 και ΚΑΝ.ΕΠΕ.)

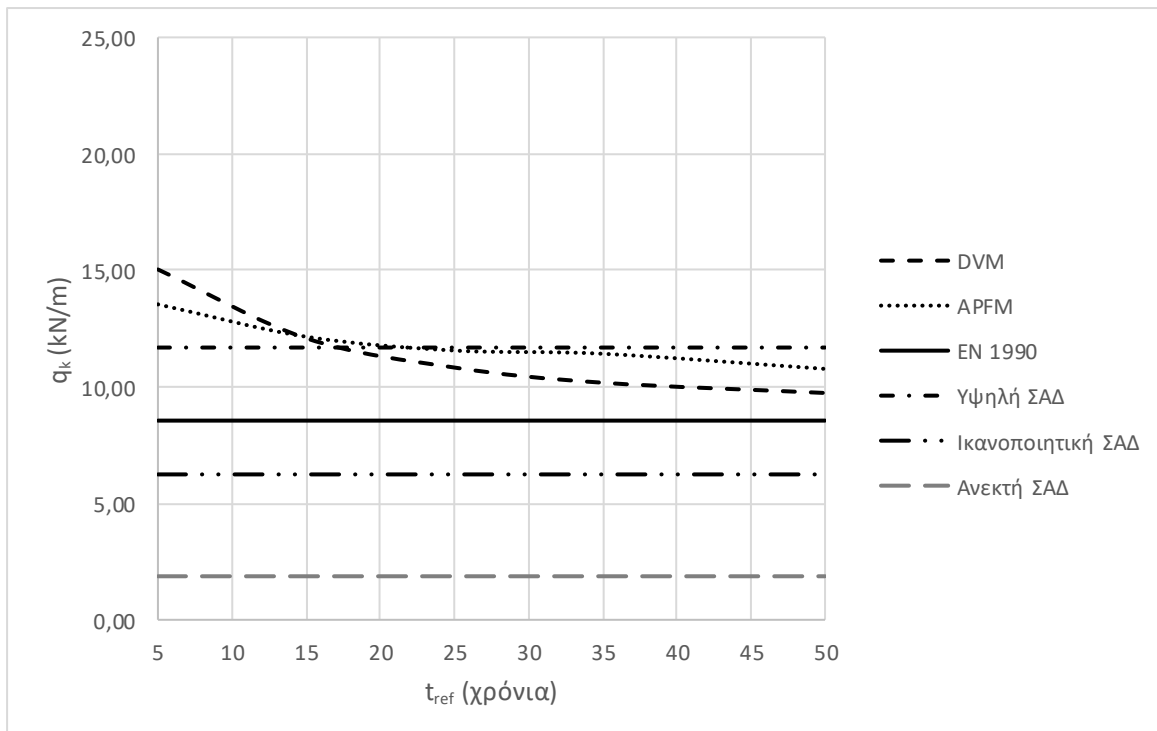


Σχήμα 4-49: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου, συνάρτησι του δείκτη αξιοπιστίας και της περιόδου επαναφοράς, για Ανεκτή Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων (Μέθοδος DVM και APFM, EN 1990 και ΚΑΝ.ΕΠΕ.)

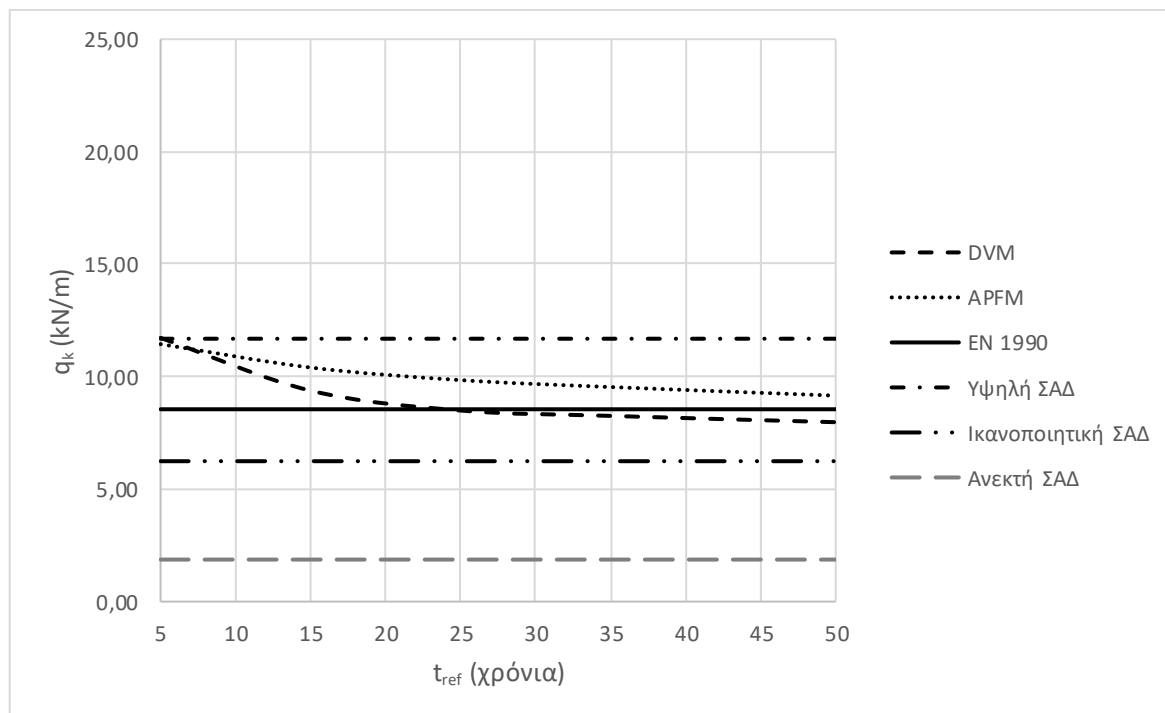
Ακολουθούν διαγράμματα για κάθε β , που παρουσιάζουν συγκεντρωτικά το μέγιστο επιτρεπτό φορτίο για κάθε μέθοδο, καθώς και για επίλυση με τους συντελεστές για τις νέες κατασκευές από τον EN 1990, όπως και για τους συντελεστές για υφιστάμενες κατασκευές σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ, για τις διάφορες Στάθμες Αξιοπιστίας Δεδομένων.



Σχήμα 4-50: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου συναρτήσει της περιόδου επαναφοράς, για συντελεστή αξιοπιστίας $\beta=2,8$



Σχήμα 4-51: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου συναρτήσει της περιόδου επαναφοράς, για συντελεστή αξιοπιστίας $\beta=3,3$



Σχήμα 4-52: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου συναρτήσει της περιόδου επαναφοράς, για συντελεστή αξιοπιστίας $\beta=3,8$

4.3.6 ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΙΙ

Η εφαρμογή που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα επιλύεται και με τη μέθοδο Επιπέδου ΙΙ για να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν.

Στην επίλυση με τη μέθοδο του Επιπέδου ΙΙ ορίζονται οι εξής μεταβλητές ως τυχαίες μεταβλητές:

$f_y, f_c, g, q, \theta_s, \theta_c, \theta_E$.

όπου:

$f_y \rightarrow$ η αντοχή διαρροής του χάλυβα

$f_c \rightarrow$ η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος

$g \rightarrow$ το μόνιμο φορτίο της δοκού

$q \rightarrow$ το κινητό φορτίο της δοκού

$\theta_s \rightarrow$ ο συντελεστής αβεβαιότητας του προσομοιώματος του χάλυβα

$\theta_c \rightarrow$ ο συντελεστής αβεβαιότητας του προσομοιώματος του σκυροδέματος

$\theta_E \rightarrow$ ο συντελεστής αβεβαιότητας του προσομοιώματος των δράσεων

Η εξίσωση ασφαλείας επομένως διαμορφώνεται ως εξής:

$$M_R - M_E = 0 \Rightarrow A_s \cdot \theta_s \cdot f_y \cdot \left(d - 0.5 \cdot \frac{A_s \cdot \theta_s \cdot f_y}{b \cdot \theta_c \cdot f_c} \right) - \theta_E \cdot \left(\frac{g \cdot l^2}{8} + \frac{q \cdot l^2}{8} \right) = 0$$

Οι παραδοχές για την επίλυση της εφαρμογής είναι οι εξής:

Οι διαστάσεις της διατομής καθώς και το εμβαδόν του εφελκόμενου οπλισμού είναι ίδια με αυτά που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 4.3.4, δηλαδή:

$$A_s = 1.256 \text{ mm}^2$$

$d = 470 \text{ mm}$

$b = 300 \text{ mm}$

$\beta = 2.8$

$t_{ref} = 15 \text{ χρόνια}$

Οι παραπάνω μεταβλητές λογίζονται ως ντετερμινιστικές. Οι μεταβλητές που ακολουθούν λογίζονται ως τυχαίες μεταβλητές, με τις εξής παραδοχές:

f_y : $f_{ym} = 307 \text{ N/mm}^2$ Λογαριθμοκανονική κατανομή
 $V_y = 0.01$

f_c : $f_{cm} = 25.9 \text{ N/mm}^2$ Λογαριθμοκανονική κατανομή
 $V_c = 0.09$

g : $m_g = 11.34 \text{ kN/m}$ Κανονική κατανομή
 $V_g = 0.10$

q : m_q Κατανομή Gumbel
 $V_q = 1.1$

θ_s : $m_{\theta_s} = 1.00$ Λογαριθμοκανονική κατανομή
 $V_{\theta_s} = 0.06$

θ_c : $m_{\theta_c} = 1.00$ Λογαριθμοκανονική κατανομή
 $V_{\theta_c} = 0.14$

θ_E : $m_{\theta_E} = 1.00$ Λογαριθμοκανονική κατανομή
 $V_{\theta_E} = 0.10$

Σύμφωνα με τη μέθοδο επιπέδου II για τις μεταβλητές που δεν ακολουθούν κανονική κατανομή χρησιμοποιείται ο μετασχηματισμός Rackwitz-Fiessler για τον υπολογισμό των „ισοδύναμων” παραμέτρων κανονικής κατανομής, έτσι ώστε οι συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας και οι συναρτήσεις κατανομής να συμπίπτουν στο σημείο σχεδιασμού:

Αναλυτικότερα ακολουθείται η εξής διαδικασία για τις μεταβλητές που ακολουθούν λογαριθμοκανονική κατανομή:

$$m = e^{\mu + \frac{1}{2}\sigma^2}$$

$$s = \sqrt{e^{2\mu + \sigma^2} \cdot (e^{\sigma^2} - 1)}$$

Όπου, m , s η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση για την πραγματική κατανομή της μεταβλητής και μ , σ η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση για την αντίστοιχη κανονική κατανομή στο σημείο σχεδιασμού για την κάθε μεταβλητή.

Για το f_y (λογαριθμοκανονική):

$$m = e^{\mu + \frac{1}{2}\sigma^2} = 307 \text{ N/mm}^2$$

$$s = \sqrt{e^{2\cdot\mu+\sigma^2} \cdot (e^{\sigma^2} - 1)} = 0.01 \cdot 307 = 3.07 \text{ N/mm}^2$$

Γίνεται επίλυση συστήματος δύο εξισώσεων με δύο αγνώστους. Μετά από τους υπολογισμούς προκύπτει $\mu=5.73$ και $\sigma=0.01$ (οι παράμετροι της αντίστοιχης κανονικής κατανομής).

Για το f_c (λογαριθμοκανονική) ομοίως:

$$m = e^{\mu+\frac{1}{2}\sigma^2} = 25.9 \text{ N/mm}^2$$

$$s = \sqrt{e^{2\cdot\mu+\sigma^2} \cdot (e^{\sigma^2} - 1)} = 0.093 \cdot 25.9 = 2.4 \text{ N/mm}^2$$

Γίνεται επίλυση συστήματος δύο εξισώσεων με δύο αγνώστους. Μετά από τους υπολογισμούς προκύπτει $\mu=3.25$ και $\sigma=0.09$ (οι παράμετροι της αντίστοιχης κανονικής κατανομής).

Για το θ_s (λογαριθμοκανονική), ομοίως:

$$m = e^{\mu+\frac{1}{2}\sigma^2} = 1$$

$$s = \sqrt{e^{2\cdot\mu+\sigma^2} \cdot (e^{\sigma^2} - 1)} = 0.06$$

Γίνεται επίλυση συστήματος δύο εξισώσεων με δύο αγνώστους. Επομένως, μετά από τους υπολογισμούς προκύπτει $\mu=0.0018$ και $\sigma=0.06$ (οι παράμετροι της αντίστοιχης κανονικής κατανομής).

Για το θ_c , (λογαριθμοκανονική) ομοίως

$$m = e^{\mu+\frac{1}{2}\sigma^2} = 1$$

$$s = \sqrt{e^{2\cdot\mu+\sigma^2} \cdot (e^{\sigma^2} - 1)} = 0.14$$

Γίνεται επίλυση συστήματος δύο εξισώσεων με δύο αγνώστους. Επομένως, μετά από τους υπολογισμούς προκύπτει $\mu=0.01$ και $\sigma=0.14$ (οι παράμετροι της αντίστοιχης κανονικής κατανομής).

Για το θ_{EM} , (λογαριθμοκανονική) ομοίως

$$m = e^{\mu+\frac{1}{2}\sigma^2} = 1$$

$$s = \sqrt{e^{2\cdot\mu+\sigma^2} \cdot (e^{\sigma^2} - 1)} = 0.1$$

Γίνεται επίλυση συστήματος δύο εξισώσεων με δύο αγνώστους. Επομένως, μετά από τους υπολογισμούς προκύπτει $\mu=0.005$ και $\sigma=0.1$ (οι παράμετροι της αντίστοιχης κανονικής κατανομής).

Έπειτα υπολογίζονται οι τυποποιημένες μεταβλητές, που στην παρούσα εφαρμογή είναι οι εξής:

$$Z_1 = \frac{f_y - \mu_{fy}}{\sigma_{fy}} \Rightarrow f_y = \sigma_{fy} \cdot Z_1 + \mu_{fy}$$

$$Z_2 = \frac{f_c - \mu_{fc}}{\sigma_{fc}} \Rightarrow f_c = \sigma_{fc} \cdot Z_2 + \mu_{fc}$$

$$Z_3 = \frac{g - \mu_g}{\sigma_g} \Rightarrow g = \sigma_g \cdot Z_3 + \mu_g$$

$$Z_4 = \frac{q - \mu_q}{\sigma_q} \Rightarrow q = \sigma_q \cdot Z_4 + \mu_q$$

$$Z_5 = \frac{\theta_s - \mu_{\theta_s}}{\sigma_{\theta_s}} \Rightarrow \theta_s = \sigma_{\theta_s} \cdot Z_5 + \mu_{\theta_s}$$

$$Z_6 = \frac{\theta_c - \mu_{\theta_c}}{\sigma_{\theta_c}} \Rightarrow \theta_c = \sigma_{\theta_c} \cdot Z_6 + \mu_{\theta_c}$$

$$Z_7 = \frac{\theta_E - \mu_{\theta_E}}{\sigma_{\theta_E}} \Rightarrow \theta_E = \sigma_{\theta_E} \cdot Z_7 + \mu_{\theta_E}$$

Στη συνέχεια γίνεται αντικατάσταση στην εξίσωση ασφαλείας των ανηγμένων μεταβλητών, και συγκεκριμένα, στην εξίσωση

$$M_R - M_E = 0 \Rightarrow A_s \cdot \theta_s \cdot f_y \cdot \left(d - 0.5 \cdot \frac{A_s \cdot \theta_s \cdot f_y}{b \cdot \theta_c \cdot f_c} \right) - \theta_E \cdot \left(\frac{g \cdot l^2}{8} + \frac{q \cdot l^2}{8} \right) = 0$$

Το f_y αντικαθίσταται με $(\sigma_{f_y} \cdot Z_1 + \mu_{f_y})$, το f_c με $(\sigma_{f_c} \cdot Z_2 + \mu_{f_c})$, το g με $(\sigma_g \cdot Z_3 + \mu_g)$, το q με $(\sigma_q \cdot Z_4 + \mu_q)$, το θ_s με $(\sigma_{\theta_s} \cdot Z_5 + \mu_{\theta_s})$, το θ_c με $(\sigma_{\theta_c} \cdot Z_6 + \mu_{\theta_c})$ και το θ_E με $(\sigma_{\theta_E} \cdot Z_7 + \mu_{\theta_E})$.

Όπου, $Z_i = \beta \cdot a_i$, και β ο συντελεστής αξιοπιστίας-ασφάλειας και a_i τα συνημίτονα κατεύθυνσης ($a_i > 0$ για τις δράσεις και $a_i < 0$ για τις αντιστάσεις).

Η εξίσωση ασφαλείας στο επίπεδο των ανηγμένων μεταβλητών επιλύεται, μετά από διαδοχικές δοκιμές ως προς τη μέση τιμή του κινητού φορτίου μ_q .

Επίσης, ισχύει ότι

$$a_i = \frac{-\frac{dg}{dz_i}(\beta \cdot \alpha)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n \left(\frac{dg}{dz_k}(\beta \cdot \alpha) \right)^2}} \Rightarrow a_i = -\frac{1}{k} \cdot \frac{dg}{dz_i}(\beta \cdot \alpha)$$

Όπου, k τέτοιο ώστε $\sum a_i^2 = 1$.

Μετά από τις διαδοχικές δοκιμές υπολογίζεται η μέση τιμή του κινητού φορτίου μ_q και το σημείο σχεδιασμού.

Για τη μέση τιμή του κινητού φορτίου μ_q (Gumbel) ισχύει ότι:

Για τη μεταβλητή του κινητού φορτίου που ακολουθεί κατανομή Gumbel πρέπει να ακολουθηθεί η εξής διαδικασία, σύμφωνα με τους τύπους της κατανομής Gumbel:

$$F_{q,tref} = [F_{q,t0}]^{tref/t0} = e^{-e^{-\left[\frac{q - (u + \theta \ln(\frac{tref}{t0}))}{\theta} \right]}} \Rightarrow -\ln(F_{q,tref}) = e^{-\left[\frac{q - (u + \theta \ln(\frac{tref}{t0}))}{\theta} \right]} \Rightarrow$$

$$\ln(-\ln(F_{q,tref})) = -\left[\frac{q - (u + \theta \ln(\frac{tref}{t0}))}{\theta} \right] \Rightarrow \theta \cdot \ln(-\ln(F_{q,tref})) = -q + u + \theta \cdot \ln\left(\frac{tref}{t0}\right) \Rightarrow$$

$$q = u + \theta \cdot \ln\left(\frac{tref}{t0}\right) - \theta \cdot \ln(-\ln(F_{q,tref}))$$

Για 5% πιθανότητα υπέρβασης η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου q_k είναι

$$q_k = u + \theta \cdot \ln\left(\frac{tref}{t0}\right) - \theta \cdot \ln(-\ln(0.95)) \Rightarrow u = q_k - \theta \cdot \ln\left(\frac{tref}{t0}\right) + \theta \cdot \ln(-\ln(0.95))$$

$$\sigma = 1.282 \cdot \theta$$

$$\mu = u + 0.5772 \cdot \theta + \theta \cdot \ln\left(\frac{tref}{t0}\right)$$

$$V = \frac{\sigma}{\mu} = \frac{1.282 \cdot \theta}{u + 0.5772 \cdot \theta + \theta \cdot \ln\left(\frac{tref}{t0}\right)} = \frac{1.282 \cdot \theta}{q_{k,tref} + 0.5772 \cdot \theta + \theta \cdot \ln(-\ln(0.95))} \Rightarrow$$

$$V \cdot q_{k,tref} + V \cdot 0.5772 \cdot \theta + V \cdot \theta \cdot \ln(-\ln(0.95)) = 1.282 \cdot \theta$$

$$\theta = \frac{q_{k,tref}}{\frac{1.282}{V} - 0.5772 - \ln(-\ln(0.95))}$$

$$\mu = \frac{\sigma}{V} = \frac{1.282 \cdot \theta}{V} \Rightarrow s = \mu \cdot V$$

Όπου, μ, θ οι παράμετροι της κατανομής Gumbel, και σ και μ η τυπική απόκλιση και η μέση τιμή της κατανομής Gumbel αντίστοιχα. Από τους παραπάνω τύπους υπολογίζεται η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου q_k .

Η εφαρμογή επιλύεται στη συνέχεια ξανά, όπως έγινε και με τις μεθόδους DVM και APFM, όπως παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα, και με τη μέθοδο του επιπέδου II, αλλάζοντας τις μεταβλητές β και t_{ref} και συγκρίνονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν σε κάθε περίπτωση.

Ο επόμενος πίνακας απεικονίζει συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα για τα διάφορα β και t_{ref} στο σημείο σχεδιασμού, για την επίλυση με τη μέθοδο του επιπέδου II, καθώς και για την επίλυση βάσει των διαγραμμάτων που αναφέρθηκαν προηγουμένως, για τις μεθόδους DVM και APFM.

Πίνακας 4-64: Τιμές μεταβλητών στο σημείο σχεδιασμού για τις μεθόδους DVM και APFM για τους διάφορους τρόπους επίλυσης και για τις διάφορες τιμές t_{ref} και β .

Δεδομένα	t=15 χρ, β=2,8			t=50 χρ, β=2,8			t=15 χρ, β=3,8		
	Level II	DVM	APFM	Level II	DVM	APFM	Level II	DVM	APFM
f_{yd} (Mpa)	273	279	280	274	279	280	279	266	265
f_{cd} (Mpa)	19	14	14	19	14	14	15	13	13
g_d (kN/m)	14,8	17,0	16,9	17,9	17,0	16,9	16,6	18,7	17,8
q_d (kN/m)	18,7	16,4	16,5	15,4	16,5	16,5	12,8	13,0	13,7
q_k (kN/m)	18,2	16,4	16,2	10,3	13,9	13,8	10,2	8,1	9,2

Μετά την παραπάνω επίλυση ακολουθεί η επίλυση του προβλήματος αλλάζοντας τους συντελεστές μεταβλητότητας των τυχαίων μεταβλητών, και συγκεκριμένα στον επόμενο πίνακα φαίνονται οι συντελεστές μεταβλητότητας, κάθε μεταβλητής για κάθε περίπτωση επίλυσης. Εξετάστηκαν συνολικά τρεις περιπτώσεις επίλυσης (αναφορικά με το συντελεστή μεταβλητότητας των τυχαίων μεταβλητών). Η πρώτη περίπτωση αφορά την επίλυση με τις παραδοχές που αναφέρθηκαν προηγουμένως, όπως δηλαδή παρουσιάστηκε παραπάνω.

Πίνακας 4-65: Συντελεστές Μεταβλητότητας για κάθε Περίπτωση Επίλυσης

Μεταβλητές	Περίπτωση 1		Περίπτωση 2		Περίπτωση 3	
	DVM	APFM	DVM	APFM	DVM	APFM
f_y	0,01		0,02		0,005	
f_c	0,09		0,15		0,04	
G	0,10		0,20		0,05	
Q	1,1					
θ_s	0,06		0,1		0,03	
θ_c	0,14		0,18		0,05	
θ_E	0,1		0,2		0,05	

Παρακάτω παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα για τα διάφορα β και t_{ref} στο σημείο σχεδιασμού, για την επίλυση με τη μέθοδο του επιπέδου II, καθώς και για την επίλυση βάσει των διαγραμμάτων που αναφέρθηκαν προηγουμένως, για τις μεθόδους DVM και APFM, για την επίλυση σύμφωνα με την περίπτωση 2 και 3.

Πίνακας 4-66: Τιμές μεταβλητών στο σημείο σχεδιασμού για τις μεθόδους DVM και APFM για τους διάφορους τρόπους επίλυσης και για τις διάφορες τιμές t_{ref} και β για την Περίπτωση 2.

Δεδομένα	$t=15 \chi\rho, \beta=2,8$			$t=50 \chi\rho, \beta=2,8$			$t=15 \chi\rho, \beta=3,8$		
	Level II	DVM	APFM	Level II	DVM	APFM	Level II	DVM	APFM
f_{yd} (Mpa)	274	279	280	274	279	280	263	266	265
f_{cd} (Mpa)	15	14	14	15	14	14	12	13	13
g_d (kN/m)	20,3	17,0	16,9	20,3	17,0	16,9	24,5	18,7	17,8
q_d (kN/m)	26,0	16,4	16,5	9,9	16,5	16,5	14,5	13,0	13,7
q_k (kN/m)	15,8	16,4	16,2	6,0	13,9	13,8	8,8	8,1	9,2

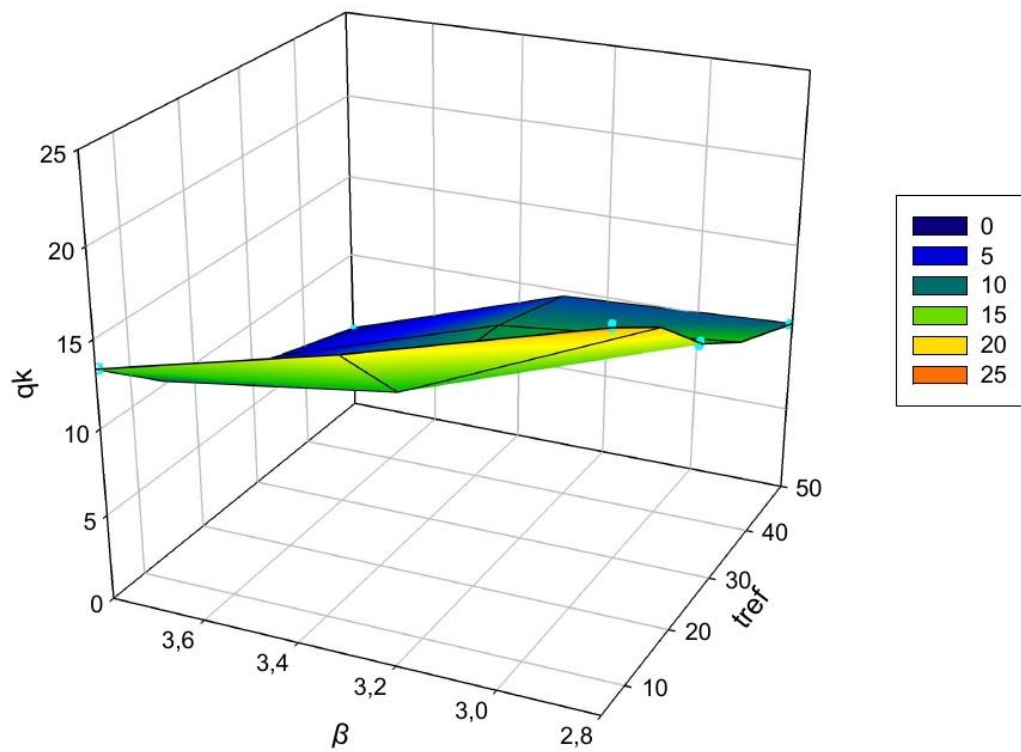
Πίνακας 4-67: Τιμές μεταβλητών στο σημείο σχεδιασμού για τις μεθόδους DVM και APFM για τους διάφορους τρόπους επίλυσης και για τις διάφορες τιμές t_{ref} και β για την Περίπτωση 3.

Δεδομένα	$t=15 \chi\rho, \beta=2,8$			$t=50 \chi\rho, \beta=2,8$			$t=15 \chi\rho, \beta=3,8$		
	Level II	DVM	APFM	Level II	DVM	APFM	Level II	DVM	APFM
f_{yd} (Mpa)	299	279	280	301	279	280	298	266	265
f_{cd} (Mpa)	23	14	14	23	14	14	22	13	13
g_d (kN/m)	13,1	17,0	16,9	13,1	17,0	16,9	13,8	18,7	17,8
q_d (kN/m)	23,0	16,4	16,5	16,5	16,5	16,5	18,5	13,0	13,7
q_k (kN/m)	20,6	16,4	16,2	14,7	13,9	13,8	16,5	8,1	9,2

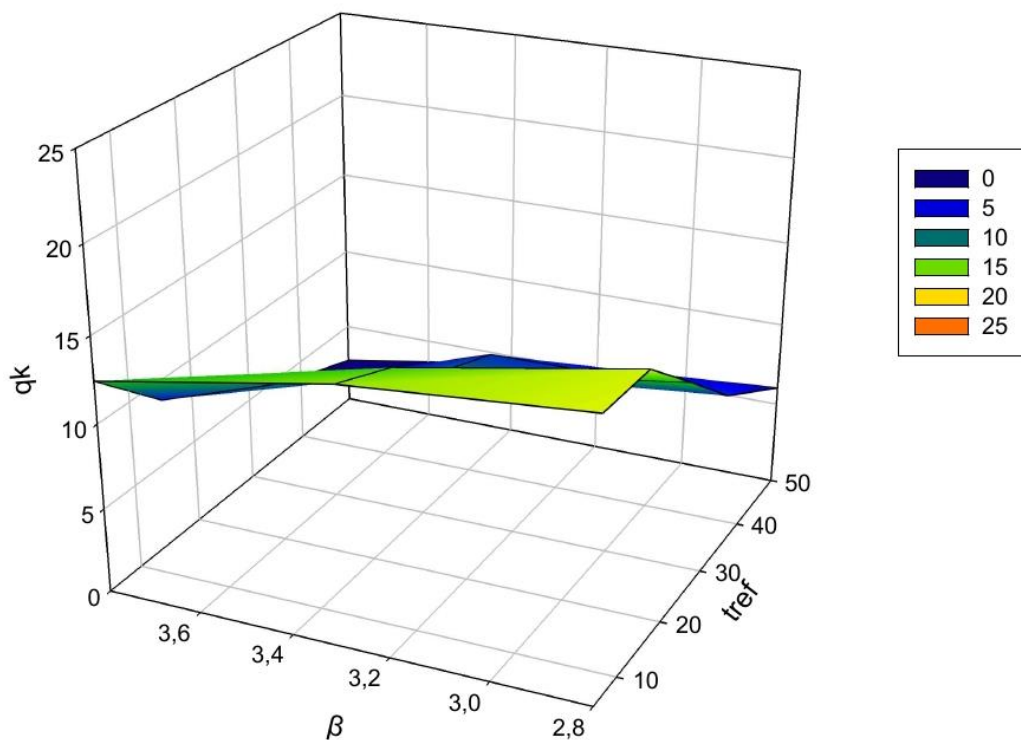
Στα επόμενα σχήματα παρουσιάζονται τα διαγράμματα που προκύπτουν για το κινητό φορτίο που μπορεί να αντέξει η δοκός συναρτήσει του β και του t_{ref} , για κάθε περίπτωση επίλυσης. Για κάθε περίπτωση επίλυσης (αναφορικά με τις μεταβλητότητες των τυχαίων μεταβλητών), εξετάζονται πέντε t_{ref} (5, 15, 25, 35 και 50 χρόνια) και τρία β (2,8, 3,3 και 3,8), για τη μέθοδο επιπέδου 2. Στους πίνακες που ακολουθούν παρατίθεται η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου για κάθε περίπτωση επίλυσης, για τη μέθοδο επιπέδου 2, αλλάζοντας την περίοδο επαναφοράς και το δείκτη αξιοπιστίας.

Πίνακας 4-68: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου για κάθε Περίπτωση Επίλυσης

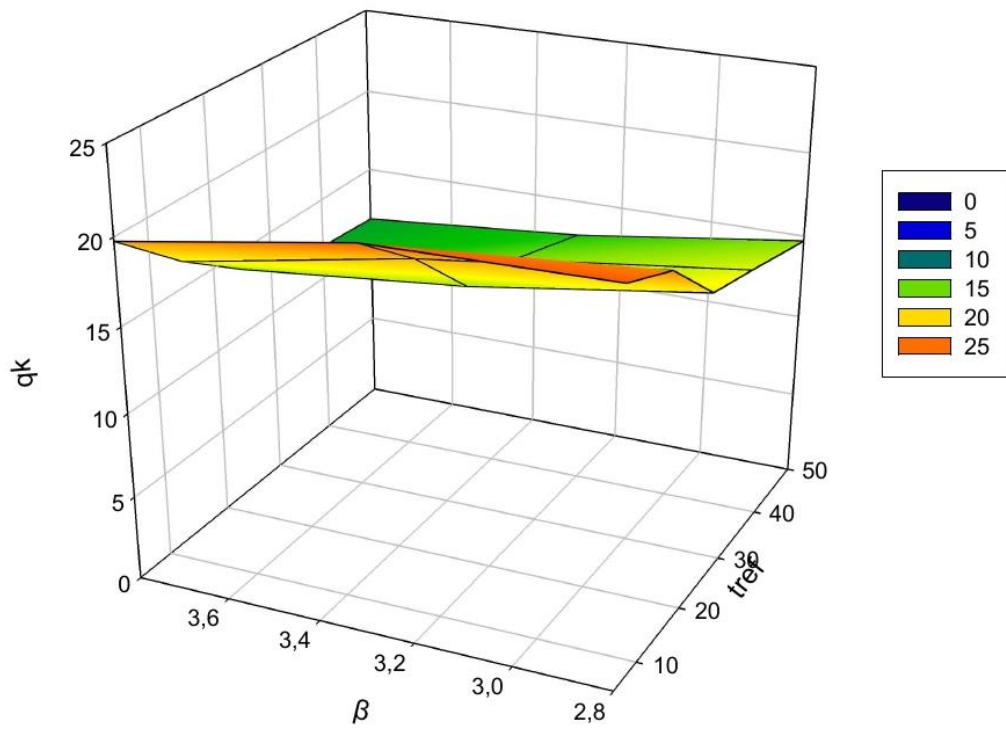
q_k (kN/m)	Περίπτωση 1 (Βασική)			Περίπτωση 2 (Διπλάσιες Μεταβλητότητες)			Περίπτωση 3 (Μισές Μεταβλητότητες)		
$t_{ref} \backslash \beta$	2,8	3,3	3,8	2,8	3,3	3,8	2,8	3,3	3,8
5	20,55	16,70	13,37	16,06	14,92	12,46	22,16	21,92	19,78
15	18,24	12,21	10,23	15,84	13,35	8,83	20,59	18,94	16,50
25	15,01	11,50	8,23	12,64	10,68	6,80	17,16	15,17	13,84
35	12,72	11,23	6,88	9,35	9,24	4,65	16,20	14,54	12,17
50	10,30	9,62	5,14	6,03	4,97	2,68	14,70	12,85	11,73



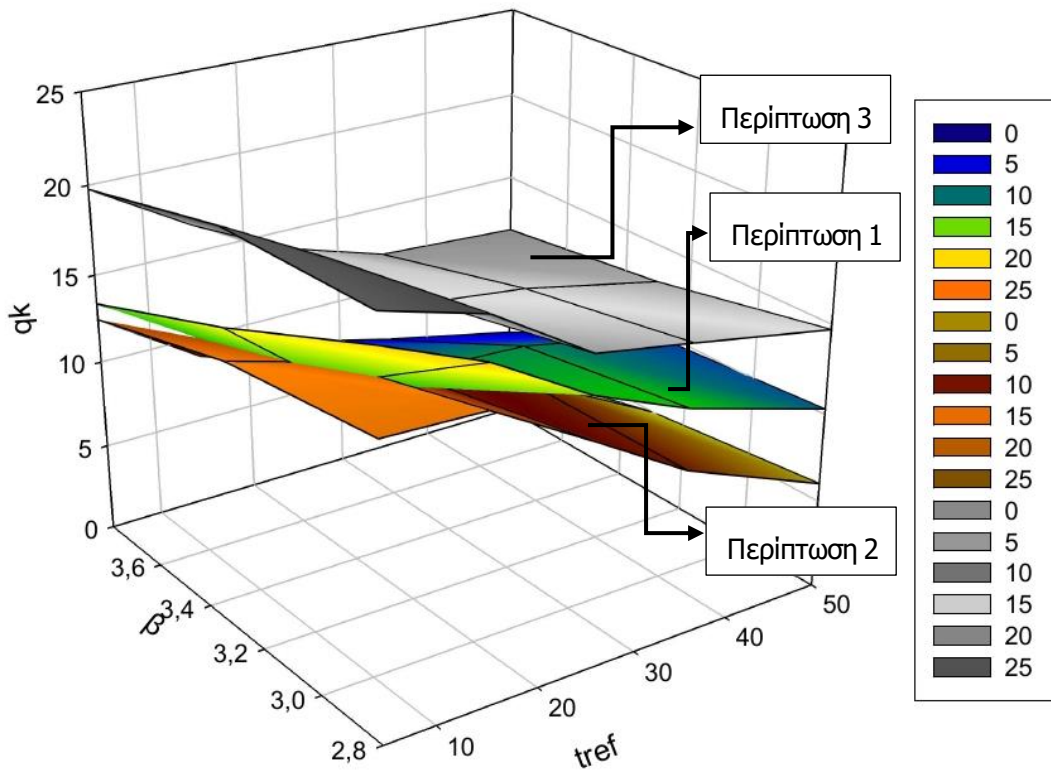
Σχήμα 4-53: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου, συνάρτησι του δείκτη αξιοπιστίας και της περιόδου επαναφοράς, για την Περίπτωση 1 (Μέθοδος Επιπέδου 2).



Σχήμα 4-54: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου, συνάρτησι του δείκτη αξιοπιστίας και της περιόδου επαναφοράς, για την Περίπτωση 2 (Μέθοδος Επιπέδου 2).



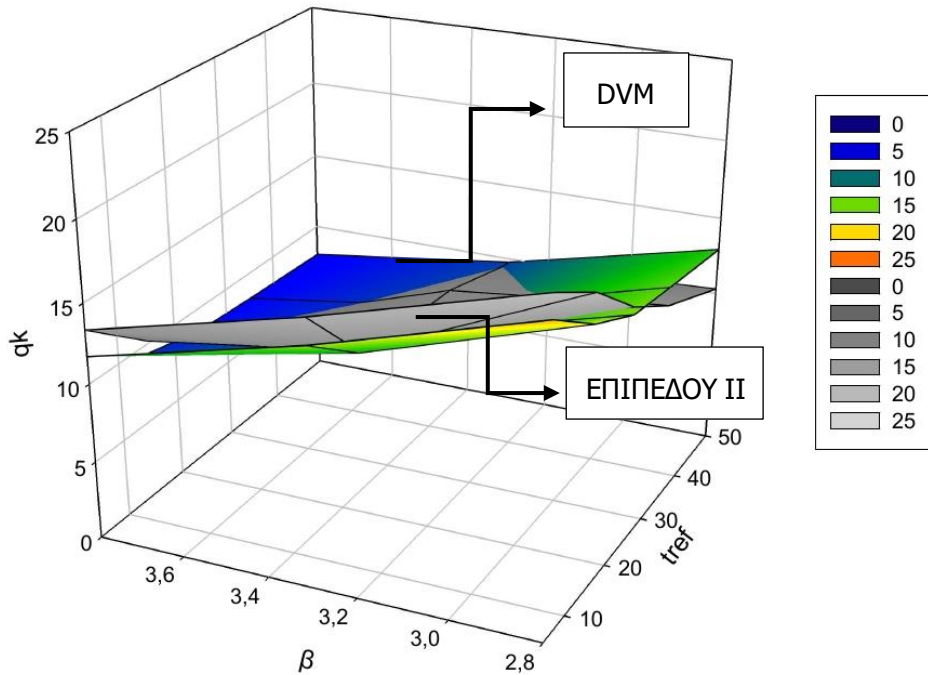
Σχήμα 4-55: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου, συνάρτησι του δείκτη αξιοπιστίας και της περιόδου επαναφοράς, για την Περίπτωση 3 (Μέθοδος Επιπέδου 2).



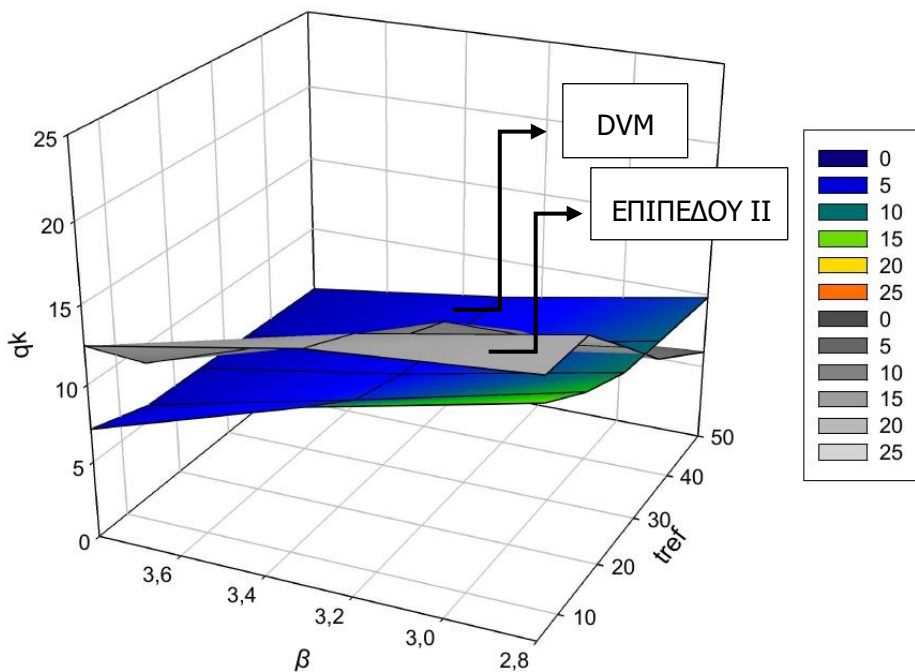
Σχήμα 4-56: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου, συνάρτησι του δείκτη αξιοπιστίας και της περιόδου επαναφοράς, για τη Μέθοδο Επιπέδου II (Περίπτώσεις 1-3).

4.3.7 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΜΕΘΟΔΩΝ DVM, ARFM ΚΑΙ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΙΙ

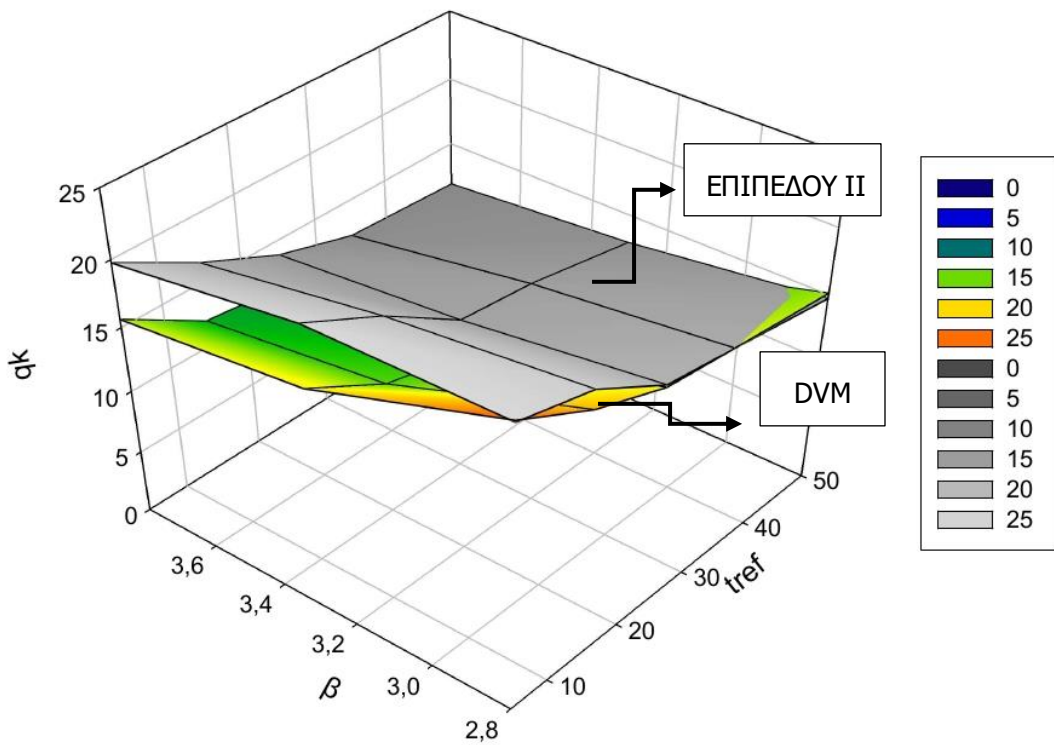
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά διαγράμματα του μέγιστου κινητού φορτίου που μπορεί να παραλάβει η δοκός σύμφωνα με τις μεθόδους DVM, ARFM και με τη μέθοδο του Επιπέδου ΙΙ, για κάθε μία από τις περιπτώσεις επίλυσης όπως αυτές αναφέρθηκαν και στις προηγούμενες ενότητες.



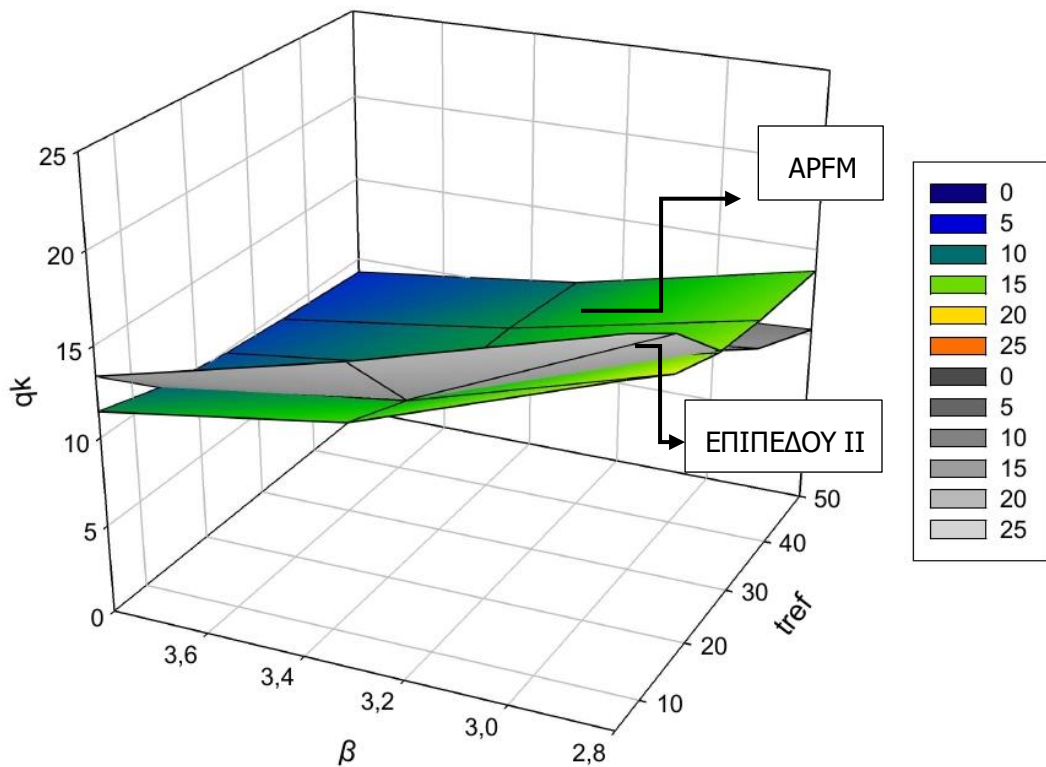
Σχήμα 4-57: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου, συνάρτησι του δείκτη αξιοπιστίας και της περιόδου επαναφοράς, για την Περίπτωση 1-Βασική (Μέθοδος DVM και Μέθοδος Επιπέδου ΙΙ).



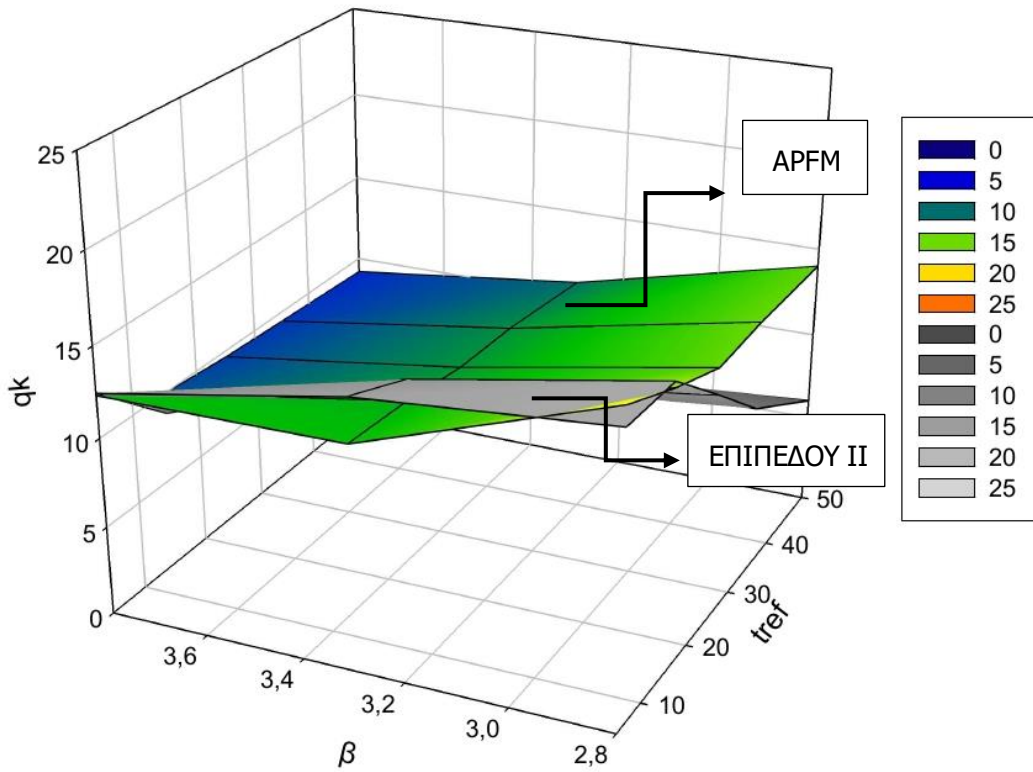
Σχήμα 4-58: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου, συνάρτησι του δείκτη αξιοπιστίας και της περιόδου επαναφοράς, για την Περίπτωση 2- Διπλάσιες Μεταβλητότητες (Μέθοδος DVM και Επιπέδου ΙΙ).



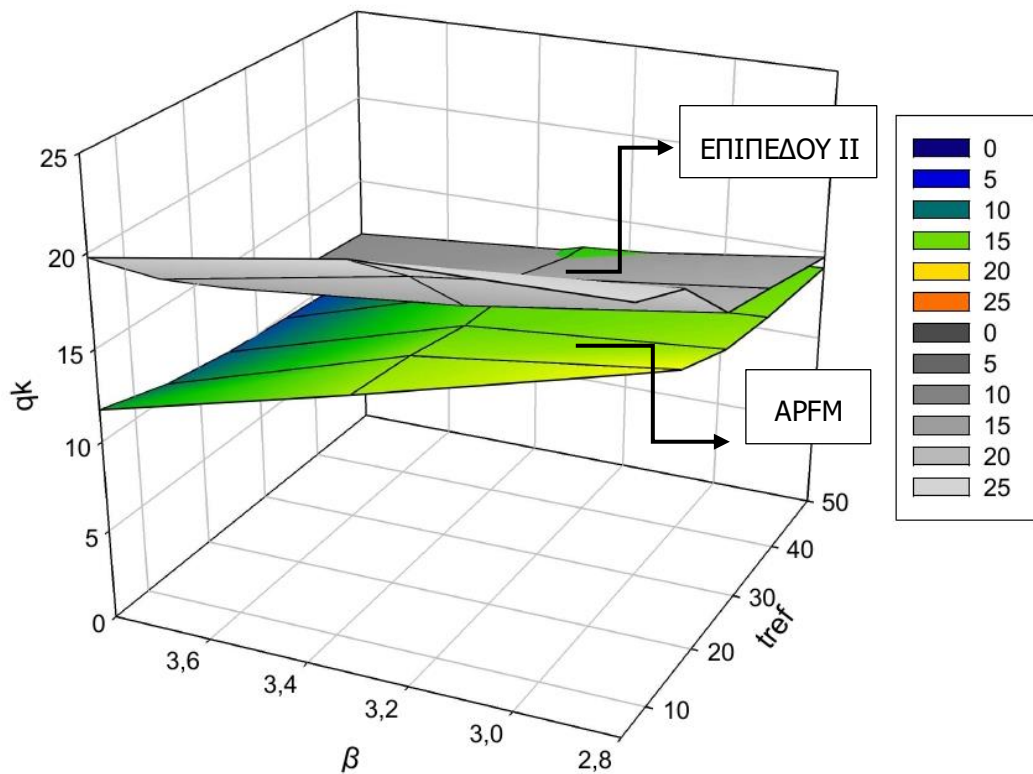
Σχήμα 4-59: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου, συνάρτησι του δείκτη αξιοπιστίας και της περιόδου επαναφοράς, για την Περίπτωση 3- Μισές Μεταβλητότητες (Μέθοδος DVM και Επιπέδου ΙΙ).



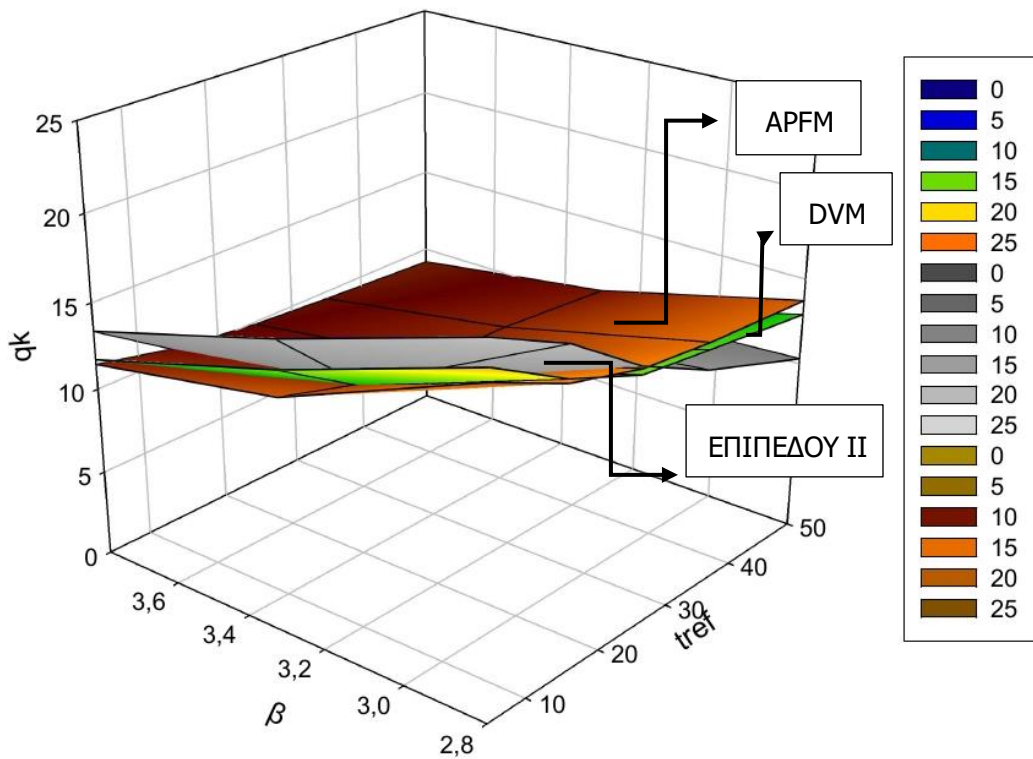
Σχήμα 4-60: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου, συνάρτησι του δείκτη αξιοπιστίας και της περιόδου επαναφοράς, για την Περίπτωση 1- Βασική (Μέθοδος ARFM και Επιπέδου ΙΙ).



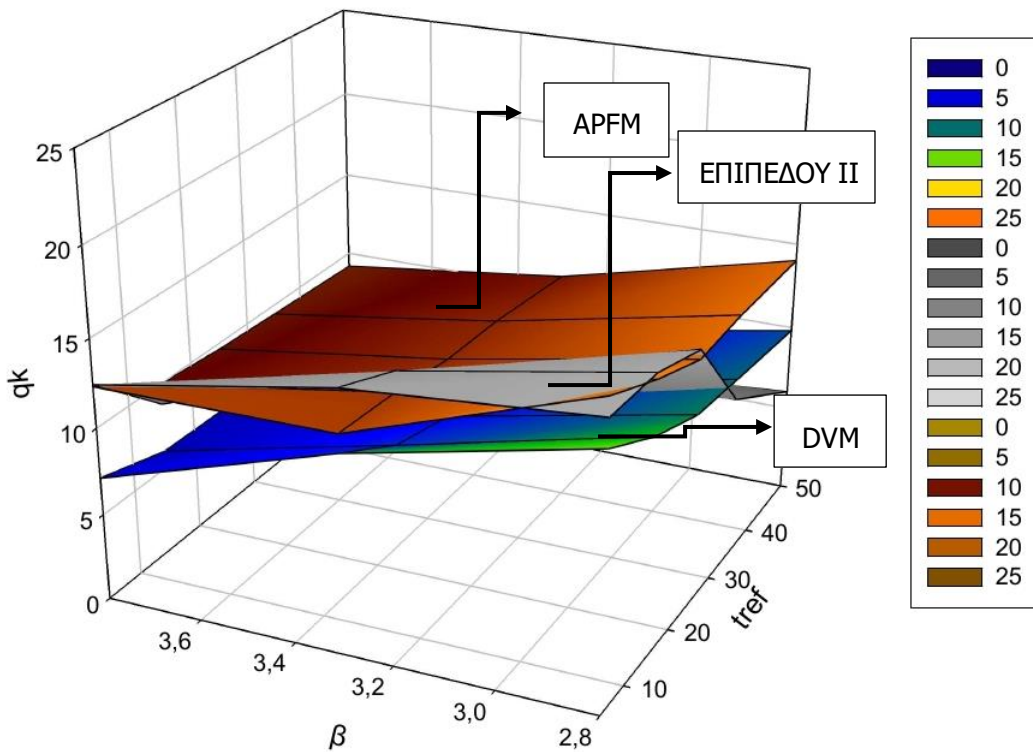
Σχήμα 4-61: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου, συναρτήσει του δείκτη αξιοπιστίας και της περιόδου επαναφοράς, για την Περίπτωση 2- Διπλάσιες Μεταβλητότητες (Μέθοδος APFM και Επιπέδου II).



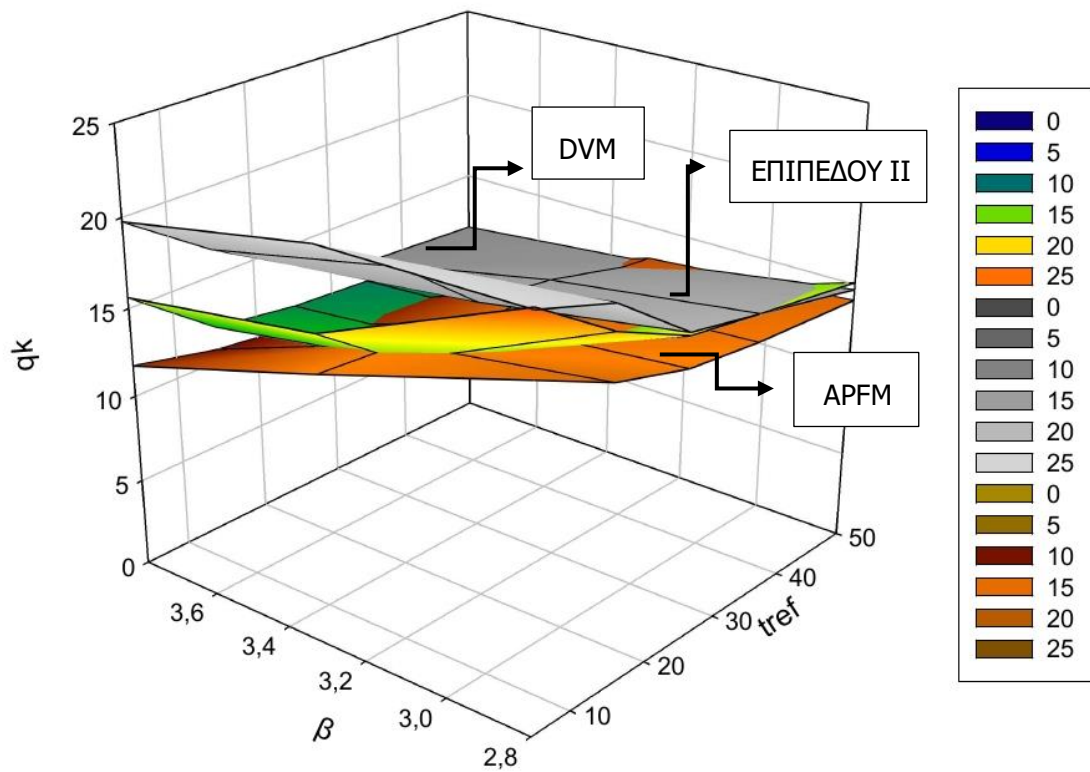
Σχήμα 4-62: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου, συναρτήσει του δείκτη αξιοπιστίας και της περιόδου επαναφοράς, για την Περίπτωση 3- Μισές Μεταβλητότητες (Μέθοδος APFM και Επιπέδου II).



Σχήμα 4-63: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου, συνάρτησι του δείκτη αξιοπιστίας και της περιόδου επαναφοράς, για την Περίπτωση 1- Βασική (Μέθοδος DVM, APFM και Επιπέδου II).



Σχήμα 4-64: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου, συνάρτησι του δείκτη αξιοπιστίας και της περιόδου επαναφοράς, για την Περίπτωση 2- Διπλάσιες Μεταβλητότητες (Μέθοδος DVM, APFM και Επιπέδου II).



Σχήμα 4-65: Χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου, συναρτήσει του δείκτη αξιοπιστίας και της περιόδου επαναφοράς, για την Περίπτωση 3- Μισές Μεταβλητότητες (Μέθοδος DVM, APFM και Επιπέδου ΙΙ).

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι αριθμητικές εφαρμογές που παρουσιάστηκαν στον προηγούμενο κεφάλαιο έχουν ως στόχο τη σύγκριση των μεθόδων επιμέρους συντελεστών, δηλαδή της μεθόδου Τιμής Σχεδιασμού (Design Value Method- DVM) και της μεθόδου των επιμέρους Διορθωτικών Συντελεστών (Adjusted Partial Factor Method- APFM), καθώς και της επιρροής της κάθε μεθόδου στα προσδοκώμενα αποτελέσματα. Επιπροσθέτως, έγινε σύγκριση και των μεθόδων αυτών με την επίλυση βάσει των συντελεστών του EN 1990:2002, του ΚΑΝ.ΕΠΕ. και της μεθόδου επιπέδου 2. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα βασικά συμπεράσματα από την επίλυση των εφαρμογών που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

5.2 ΠΡΩΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

5.2.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΒΑΣΕΙ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ DVM-APFM-EN 1990:2002.

Αρχικά, έγινε η ανάλυση αξιοπιστίας, σύμφωνα με τις μεθόδους DVM και APFM, καθώς και με τους συντελεστές του EN 1990. Από την επίλυση αυτή προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα.

- Στην περίπτωση της δοκού, και οι δύο μέθοδοι καλύπτουν τις ιδιότητες των βασικών τυχαίων μεταβλητών καλά. Για το προσδοκώμενο ποσοστό φορτίου χ , οι τιμές του δείκτη αξιοπιστίας είναι κοντά στο στοχευόμενο επίπεδο για τα διάφορα ποσοστά φορτίου και για τις διάφορες περιόδους επαναφοράς.
- Στην περίπτωση του υποστυλώματος, και οι δύο μέθοδοι είναι λίγο συντηρητικές. Για το αναμενόμενο ποσοστό φορτίου, η μέθοδος DVM οδηγεί σε επίπεδα αξιοπιστίας υψηλότερα από τη στοχευόμενη αξιοπιστία κατά περίπου 0.2. Το τελευταίο δεν ισχύει για τα φορτία κυκλοφορίας. Η μέθοδος APFM οδηγεί σε υπερεκτίμηση κατά περίπου 0.1 με 0.9, κάτι που μπορεί να οφείλεται στη συντηρητική υπόθεση των αβεβαιοτήτων του προσομοιώματος στην περίπτωση της μεθόδου APFM, κάτι το οποίο έχει μεγάλη επιρροή στα φορτία κυκλοφορίας.
- Η επιρροή του στοχευόμενου επιπέδου αξιοπιστίας ($\beta_i=3.1$ εδώ) δεν καλύπτεται επαρκώς για τους επιμέρους συντελεστές που προτείνονται για τις νέες κατασκευές (στα διαγράμματα είναι οι καμπύλες που αναφέρονται στον EN 1990:2002). Η εφαρμογή των τιμών των επιμέρους

συντελεστών που χρησιμοποιούνται για τις νέες κατασκευές χωρίς αλλαγή οδηγεί σε υπερβολικά συντηρητικές τιμές όσον αφορά την αξιολόγηση των κατασκευών.

- Αξίζει να σημειωθεί ότι για τον υπολογισμό των επιμέρους συντελεστών χρησιμοποιήθηκαν σταθεροί συντελεστές ευαισθησίας. Έτσι, παρατηρείται ότι το επίπεδο αξιοπιστίας διαφέρει ανάλογα με το ποσοστό του φορτίου.
- Όσον αφορά τη μέθοδο APFM, η διαφορά μεταξύ του επιπέδου αξιοπιστίας που προκύπτει από τη μέθοδο A και B είναι πολύ μικρή.
- Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι για τον προσδιορισμό των επιμέρους συντελεστών για τον άνεμο και το χιόνι, χρησιμοποιήθηκε $\beta_t=3.1$ για την υπάρχουσα κατασκευή σε αυτήν την περίπτωση, και το επίπεδο αξιοπιστίας που προκύπτει συγκρίνεται με αυτό που προκύπτει όταν εφαρμόζουμε τις τιμές του EN 1990:2002 για τους επιμέρους συντελεστές. Ωστόσο, το επίπεδο αξιοπιστίας για τον EN 1990:2002 οδηγεί σε χαμηλότερες τιμές σε σχέση με αυτές που προκύπτουν για $\beta_t=3.8$ για νέες κατασκευές. Ο μελετητής πρέπει να αποφασίσει αν ένα μειωμένο επίπεδο αξιοπιστίας είναι επιθυμητό για τις υφιστάμενες κατασκευές, και σε αυτήν την περίπτωση οι επιμέρους συντελεστές πρέπει να υπολογιστούν με βάση το επίπεδο αξιοπιστίας που επιλέγεται.

5.2.2 ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΟΚΟΥ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ II

Η δοκός της πρώτης εφαρμογής επιλύθηκε όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, και με τη μέθοδο του επιπέδου II, για τις ίδιες παραδοχές με τις οποίες έγινε η επίλυση με τις μεθόδους DVM και APFM. Η διαφοροποίηση στην επίλυση με τη μέθοδο του επιπέδου II είναι ότι οι συντελεστές ευαισθησίας (συνημίτονα κατεύθυνσης) για τις μεταβλητές υπολογίζονται με ακρίβεια και δε θεωρούνται σταθεροί για κάθε χ . Η μέθοδος του επιπέδου II εφαρμόστηκε στη δοκό μόνο για την περίπτωση των κινητών επιβαλλόμενων φορτίων για τις μεθόδους DVM, APFM και EN 1990:2002.

Παρατηρείται ότι η μέθοδος με τους επιμέρους συντελεστές του Ευρωκώδικα για νέες κατασκευές οδηγεί σε μεγαλύτερο δείκτη αξιοπιστίας. Η μέθοδος APFM οδηγεί στο μικρότερο δείκτη αξιοπιστίας σε σχέση με τη DVM και με τον EN 1990. Είναι επομένως η πιο συντηρητική μέθοδος. Επιπλέον, για ποσοστό φορτίου $\chi < 0.3$ ο δείκτης αξιοπιστίας είναι ιδιαίτερα αυξημένος.

Αν συγκριθούν οι δείκτες αξιοπιστίας που προέκυψαν από την εφαρμογή των μεθόδων DVM και APFM, με αυτούς που προέκυψαν με την εφαρμογή της μεθόδου Επιπέδου II, παρατηρείται ότι ο δείκτης αξιοπιστίας από την μέθοδο επιπέδου II είναι αρκετά υψηλότερος από αυτόν που προκύπτει από τις μεθόδους DVM και APFM. Ιδιαίτερη διαφορά προκύπτει στους συντελεστές αξιοπιστίας για ποσοστό φορτίου χ από 0 μέχρι 0.3.

Οι διαφορές αυτές που προκύπτουν κατά την εφαρμογή της μεθόδου II οφείλονται κυρίως στο ότι οι συντελεστές ευαισθησίας των μεταβλητών υπολογίζονται με ακρίβεια και διαφέρουν από αυτούς που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των επιμέρους συντελεστών για την εφαρμογή των μεθόδων DVM και APFM. Έτσι, οι συντελεστές ευαισθησίας των μεταβλητών για τη μέθοδο επιπέδου II οδηγούν σε μεγαλύτερο συντελεστή αξιοπιστίας.

Ένα γενικό συμπέρασμα, επιπλέον είναι ότι ο συντελεστής αξιοπιστίας μειώνεται όσο αυξάνεται το ποσοστό του φορτίου χ , κάτι που είναι λογικό εφόσον οι διαστάσεις της διατομής παραμένουν οι ίδιες.

5.3 ΔΕΥΤΕΡΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

5.3.1 ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ DVM ΚΑΙ APFM

Η δεύτερη εφαρμογή επιλύθηκε αρχικά με τις μεθόδους DVM και APFM, υπολογίζοντας τους επιμέρους συντελεστές μέσω των διαγραμμάτων που δίνονται για τις μεθόδους αυτές. Έτσι, προέκυψαν τα μεγέθη στο σημείο σχεδιασμού και κατά συνέπεια το μέγιστο κινητό φορτίο που μπορεί να δεχθεί η κατασκευή. Η επίλυση έγινε για περιόδους επαναφοράς t_{ref} 5,15,25,35 και 50 χρόνια, και για δείκτη αξιοπιστίας β 2.8, 3.3 και 3.8.

Η επίλυση για κάθε περίπτωση, έγινε για τις μεθόδους DVM, APFM και για τους συντελεστές του EN 1990:2002 για νέες κατασκευές. Παρατηρείται ότι η μέθοδος APFM είναι ελαφρώς πιο συντηρητική από τη DVM, χωρίς μεγάλες αποκλίσεις. Και οι δύο μέθοδοι ωστόσο, οδηγούν σε σημαντικά μεγαλύτερο κινητό φορτίο για την αξιολόγηση της κατασκευής σε σχέση με το φορτίο που προκύπτει από την εφαρμογή των επιμέρους συντελεστών του Ευρωκώδικα (για το σχεδιασμό νέων κατασκευών), κάτι το οποίο οφείλεται κυρίως στη σημαντική μείωση του επιμέρους συντελεστή γ_q . Επομένως η εφαρμογή των επιμέρους συντελεστών χωρίς αλλαγή οδηγεί σε υπερβολικά συντηρητικά αποτελέσματα.

Αλλάζοντας την περίοδο και το συντελεστή αξιοπιστίας, παρατηρείται ότι η μέθοδος APFM είναι ελαφρώς πιο συντηρητική από τη DVM. Επίσης, όταν αυξάνεται η περίοδος επαναφοράς και ο δείκτης αξιοπιστίας παραμένει σταθερός, το μέγιστο φορτίο που μπορεί να δεχθεί η κατασκευή, δηλαδή η φέρουσα ικανότητά της, μειώνεται. Αυξάνοντας το δείκτη αξιοπιστίας και κρατώντας σταθερή την περίοδο επαναφοράς το μέγιστο φορτίο μειώνεται ακόμα περισσότερο. Έτσι, συμπεραίνεται ότι ο στοχευόμενος δείκτης αξιοπιστίας επηρεάζει περισσότερο τη φέρουσα ικανότητα της υπάρχουσας κατασκευής, σε σχέση με την περίοδο επαναφοράς, δηλαδή κατ' επέκταση την εναπομένουσα διάρκεια ζωής της κατασκευής.

Στη δεύτερη περίπτωση επίλυσης, δηλαδή για διπλάσιες μεταβλητότητες, το μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο μειώνεται σε σχέση με την πρώτη περίπτωση επίλυσης. Στην τρίτη περίπτωση επίλυσης, δηλαδή για μισές μεταβλητότητες, το μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο αυξάνεται σε σχέση με την πρώτη περίπτωση επίλυσης. Τα παραπάνω ισχύουν και για τις δύο μεθόδους DVM και APFM.

5.3.2 ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΤΟΥΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΤΟΥ ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Η δεύτερη εφαρμογή επιλύθηκε για την 1^η περίπτωση επίλυσης, δηλαδή για τη βασική περίπτωση επίλυσης, με τους συντελεστές που δίνει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. για τις υφιστάμενες κατασκευές. Παρατηρήθηκε ότι ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. δίνει πιο συντηρητικά αποτελέσματα από τις μεθόδους DVM και APFM. Οι Στάθμες Αξιοπιστίας Δεδομένων «Ικανοποιητική» και «Ανεκτή» οδηγούν σε πιο συντηρητικά αποτελέσματα σε σχέση ακόμα και με αυτά του Ευρωκώδικα. Όσο αυξάνεται ο συντελεστής αξιοπιστίας β , τόσο περισσότερο μειώνεται το μέγιστο επιτρεπτό φορτίο και άρα οι μέθοδοι DVM και APFM δίνουν αποτελέσματα πιο «κοντά» σε αυτά του Ευρωκώδικα και του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

5.3.3 ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΕΠΙΠΕΔΟΥ II

Η δεύτερη εφαρμογή επιλύθηκε με τη μέθοδο του επιπέδου II, για τις περιόδους επαναφοράς, και δείκτες αξιοπιστίας που αναφέρθηκαν και στην προηγούμενη ενότητα, δηλαδή για περιόδους επαναφοράς t_{ref} 5, 15, 25, 35 και 50 χρόνια, και για δείκτη αξιοπιστίας β 2.8, 3.3 και 3.8.

Και για τη μέθοδο Επιπέδου II παρατηρήθηκαν τα ίδια με τις μεθόδους επιμέρους συντελεστών, δηλαδή αναλυτικότερα, όταν αυξάνεται η περίοδος επαναφοράς και ο δείκτης αξιοπιστίας παραμένει σταθερός, το μέγιστο φορτίο που μπορεί να δεχθεί η κατασκευή, δηλαδή η φέρουσα ικανότητά της, μειώνεται. Αυξάνοντας το δείκτη αξιοπιστίας και κρατώντας σταθερή την περίοδο επαναφοράς το μέγιστο φορτίο μειώνεται ακόμα περισσότερο. Έτσι, συμπεραίνεται ότι ο στοχευόμενος δείκτης αξιοπιστίας επηρεάζει

περισσότερο τη φέρουσα ικανότητα της υπάρχουσας κατασκευής, σε σχέση με την περίοδο επαναφοράς, δηλαδή κατ' επέκταση την εναπομένουσα διάρκεια ζωής της κατασκευής.

Η μέθοδος επιπέδου II, έχει αποκλίσεις σε σχέση με τις μεθόδους των επιμέρους συντελεστών, όσον αφορά τις τιμές σχεδιασμού των μεταβλητών και το μέγιστο φορτίο που μπορεί να παραλάβει η δοκός. Τυχόν διαφορές που υπάρχουν οφείλονται κυρίως στα συνημίτονα κατεύθυνσης, δηλαδή στους συντελεστές ευαισθησίας των τυχαίων μεταβλητών, που όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενα κεφάλαια, με τη μέθοδο του επιπέδου II προσδιορίζονται επακριβώς, ενώ για τον προσδιορισμό των επιμέρους συντελεστών ορίζονται κάποιες σταθερές τιμές για αυτούς.

Ομοίως με τις μεθόδους DVM και APFM, στη δεύτερη περίπτωση επίλυσης, δηλαδή για διπλάσιες μεταβλητότητες, το μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο μειώνεται σε σχέση με την πρώτη περίπτωση επίλυσης. Στην τρίτη περίπτωση επίλυσης, δηλαδή για μισές μεταβλητότητες, το μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο αυξάνεται σε σχέση με την πρώτη περίπτωση επίλυσης.

5.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ DVM ΚΑΙ APFM

5.4.1 ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Και οι δύο μέθοδοι υπολογίζουν τους επιμέρους συντελεστές γ_m και γ_g με παρόμοιο τρόπο, ενώ διαφέρουν ελαφρώς στην προσέγγιση του γ_{Rd} , γ_{Ed} και κυρίως του γ_q . Η μέθοδος DVM προτείνει τον υπολογισμό των επιμέρους συντελεστών με μια διαδικασία που βασίζεται στη μέθοδο του επιπέδου II με σταθερούς συντελεστές ευαισθησίας, σύμφωνα με τον EN 1990:2002 και το ISO 2394:2015. Επιπλέον λαμβάνονται υπόψη δεδομένα, όπως οι συντελεστές μεταβλητότητας ή οι ετήσιες πιθανότητες υπέρβασης για τις μεταβλητές δράσεις.

Η μέθοδος APFM χρησιμοποιεί την προσέγγιση επιπέδου II με σταθερούς συντελεστές ευαισθησίας, αλλά παρέχει μόνο διορθωτικούς συντελεστές για τους επιμέρους συντελεστές ασφαλείας που χρησιμοποιούνται για του σχεδιασμό των νέων κατασκευών, που αναφέρονται στους Ευρωκώδικες. Πληροφορίες για τα δεδομένα απαιτούνται μόνο όταν οι διορθωτικοί συντελεστές λαμβάνουν υπόψη επιπλέον δεδομένα. Αλλιώς οι διορθωτικοί συντελεστές είναι σταθεροί, και βασίζονται στην επιλογή των μεταβλητών που δίνονται ως δεδομένα. Ωστόσο, προτείνεται να συλλέγονται όσο το δυνατόν περισσότερα δεδομένα για την εκάστοτε κατασκευή. Επίσης, η αξιολόγηση των υφιστάμενων κατασκευών επηρεάζεται και από τις φυσικές αβεβαιότητες. Γι' αυτό πρέπει τουλάχιστον οι βασικότερες φυσικές αβεβαιότητες να λαμβάνονται υπόψη.

Η μέθοδος DVM συμπεριλαμβάνει περισσότερες πληροφορίες για την κατασκευή, και έτσι δίνει τη δυνατότητα να επιλεγεί με μεγαλύτερη ακρίβεια το στοχευόμενο επίπεδο αξιοπιστίας. Οι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας που προκύπτουν από τη μέθοδο μπορεί να είναι αρκετά διαφορετικοί από αυτούς του Ευρωκώδικα για το σχεδιασμό των νέων κατασκευών αν λαμβάνονται υπόψη επιπλέον χαρακτηριστικά για τα δεδομένα, λ.χ. αν γίνονται επιπλέον μετρήσεις στην κατασκευή ή έρευνα για τα υλικά. Εναλλακτικά, μπορούν να εφαρμοστούν πιθανοτικά μοντέλα για τα χαρακτηριστικά της κατασκευής.

Η μέθοδος APFM τείνει να είναι μια πιο καλή προσέγγιση για τις πρακτικές εφαρμογές, γιατί είναι πιο αντικειμενική, και δεν απαιτεί πολλές πληροφορίες για την κατασκευή. Βέβαια, τα δεδομένα θα πρέπει να επιλέγονται με προσοχή ώστε να είναι συμβατά με τον Ευρωκώδικα. Λόγω των προσεγγίσεων που υιοθετούνται στην APFM, αυτή η μέθοδος συχνά οδηγεί σε πιο συντηρητικές τιμές από τη DVM. Η μέθοδος APFM δίνει τη δυνατότητα να λαμβάνονται υπόψη διαφορετικά τιμές ως δεδομένα-παραδοχές, όπως το στοχευόμενο επίπεδο αξιοπιστίας ή η περίοδος επαναφοράς, σε σχέση με τις παραδοχές για το σχεδιασμό των νέων κατασκευών που λαμβάνονται στον Ευρωκώδικα. Είναι εύκολη στη χρήση, σαφής και πλήρως συμβατή με τις τιμές του Ευρωκώδικα.

Και οι δύο μέθοδοι επιτρέπουν τον υπολογισμό των επιμέρους συντελεστών για διαφορετικές τιμές ως δεδομένα βασισμένες σε επιπλέον πληροφορίες για την κατασκευή.

5.4.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ DVM ΚΑΙ APFM

Για την αξιολόγηση των κοινών κατασκευαστικών μελών, η μέθοδος APFM είναι πιο κατάλληλη, όσον αφορά τις συνήθεις κατασκευές και μελέτες, λόγω των μειωμένων δεδομένων που απαιτεί και της συμβατότητάς της με τους επιμέρους συντελεστές ασφαλείας του Ευρωκώδικα για το σχεδιασμό νέων κατασκευών.

Για σημαντικές κατασκευές με σημαντικές συνέπειες αστοχίας τους και στην περίπτωση ακριβών επεμβάσεων, προτείνεται να αποκτούνται συγκεκριμένες επιπλέον πληροφορίες και να χρησιμοποιείται μια πιο προχωρημένη μέθοδος για την εκτίμηση της αξιοπιστίας. Τότε προτείνεται η εφαρμογή της μεθόδου DVM, καθώς επιτρέπει να συμπεριληφθούν επιπλέον πληροφορίες πιο σωστά απ' ότι η μέθοδος APFM. Η μέθοδος DVM δίνει τη δυνατότητα να επιτευχθεί μια λιγότερο συντηρητική λύση και κατά συνέπεια ένα πιο οικονομικό επίπεδο αξιοπιστίας, παραμένοντας συμβατό με το στοχευόμενο επίπεδο αξιοπιστίας που έχει επιλεγεί. Αξίζει να σημειωθεί ότι όταν η αξιοπιστία επηρεάζεται σημαντικά από τις κλιματικές δράσεις, προτείνεται και πάλι η χρήση της μεθόδου DVM, δεδομένου ότι παρέχονται οι σχετικές μετρήσεις που απαιτούνται.

Για την επαλήθευση της αξιοπιστίας κοινών υπαρχουσών κατασκευών μπορούν να εφαρμοστούν διάφοροι τρόποι:

- Επαλήθευση βασισμένη στη μέθοδο APFM
- Επαλήθευση βασισμένη στη μέθοδο DVM
- Επαλήθευση με πλήρως πιθανοτική προσέγγιση
- Διαδικασία βελτιστοποίησης κόστους για την προσαρμογή των στοχευόμενων επιπέδων αξιοπιστίας.

Αναφορικά με τη μέθοδο APFM, η μέθοδος A (στην οποία ο επιμέρους διορθωτικός συντελεστής λαμβάνει υπόψη και την περίοδο επαναφοράς και ένα στοχευόμενο επίπεδο αξιοπιστίας) προτείνεται όταν επιδιώκονται οι ίδιοι επιμέρους συντελεστές ασφαλείας για όλες τις μεταβλητές δράσεις.

Εναλλακτικά, η μέθοδος B (στην οποία ο επιμέρους διορθωτικός συντελεστής λαμβάνει υπόψη μόνο το στοχευόμενο επίπεδο αξιοπιστίας και την επιρροή της περιόδου επαναφοράς βάσει παραδοχών από τον Ευρωκώδικα) προτείνεται όταν η χρήση των παραδοχών του Ευρωκώδικα προτιμάται για την προσαρμογή των χαρακτηριστικών τιμών των μεταβλητών δράσεων. Ωστόσο, αυτό οδηγεί σε πολλούς επιμέρους συντελεστές για τις διάφορες δράσεις μαζί με την απαραίτητη διόρθωση των χαρακτηριστικών τιμών. Στην περίπτωση μικρών περιόδων επαναφοράς, η χρήση της μεθόδου B συστήνεται.

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ

- EN 1990:2002, «Ευρωκώδικας 0: Βάσεις Σχεδιασμού Δομημάτων», CEN Βρυξέλλες
- EN 1991-1-1:2002, "Ευρωκώδικας 1: Βάσεις Σχεδιασμού και Δράσεων στις Κατασκευές, Μέρος 1-1: Γενικές Δράσεις- Πυκνότητες, ίδια βάρη και επιβαλλόμενα φορτία σε κτίρια", CEN, Βρυξέλλες
- EN 1992-1-1:2004 (2005), "Ευρωκώδικας 2: Σχεδιασμός φορέων από Σκυρόδεμα, Μέρος 1-1: Γενικοί Κανόνες και κανόνες για κτίρια", CEN, Βρυξέλλες
- ΚΑΝ.ΕΠΕ. «Κανονισμός Επεμβάσεων», 2^η Αναθεώρηση 2017, ΟΑΣΠ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- M. Sýkora, M. Holický, and J. Marková, "Verification of existing reinforced concrete bridges using the semi-probabilistic approach," *Eng. Struct.*, vol. 56, no. 1
- C. Caspeele Robby (Ghent Univ., Belgium, C. Steenbergen Raphael (TNO Delft, The Netherlands/Ghent Univ., Belgium, and C. R. T. S. Sykora Miroslav (Czech Technical Univ. in Prague, "Fib80: Partial factor methods for existing concrete structures.pdf," 2016.
- J. Jeppsson, "Reliability-based assessment procedures for existing concrete structures," 2003.
- R. Caspeele and L. Taerwe, "Influence of concrete strength fractile estimation on the safety level of existing structures assessed using the Adjusted Partial Factor Method," *Assessment, Upgrad. Refurb. Infrastructures*, 2013, doi: 10.2749/222137813806481419.
- B. R. Ellingwood, "Reliability-based condition assessment and LRFD for existing structures," *Struct. Saf.*, vol. 18, no. 2-3 SPEC. ISS., pp. 67–80, 1996, doi: 10.1016/0167-4730(96)00006-9.
- P. Wg and C. Url, "CEN-TC250-SC10 - Calibration of partial factors Design Value Method (α - factor method) Design value method Representative example Observations," 2020.
- D. Gino, P. Castaldo, G. Bertagnoli, S. Cimetta, and G. Mancini, "Assessment of an existing prestressed concrete bridge according to the partial factor method for existing structures (fib Bulletin 80)," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 603, no. 2, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/603/2/022073.
- M. Holický, J. Marková, and M. Sýkora, "Partial factors for assessment of existing reinforced concrete bridges," *Proc. 6th Int. Probabilistic Work.*, pp. 1–15, 2008.

- Κ. Γ. Τρεζος, "Αποτίμηση των ιδιοτήτων των υλικών σε υφιστάμενες κατασκευές Material properties assessment in existing structures," 2009
- Κ. Γ. Τρεζος, *Αξιολογία κατασκευών*. 2017.

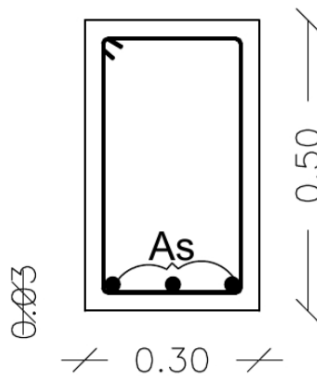
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] M. Sýkora, M. Holický, and J. Marková, "Verification of existing reinforced concrete bridges using the semi-probabilistic approach," *Eng. Struct.*, vol. 56, no. 1, pp. 1419–1426, 2013, doi: 10.1016/j.engstruct.2013.07.015.
- [2] C. Caspeele Robby (Ghent Univ., Belgium, C. Steenbergen Raphael (TNO Delft, The Netherlands/Ghent Univ., Belgium, and C. R. T. S. Sýkora Miroslav (Czech Technical Univ. in Prague, "Fib80: Partial factor methods for existing concrete structures.pdf," 2016.
- [3] Κ. Γ. Τρεζος, *Αξιολογία κατασκευών*. 2017.
- [4] CEN, "EN 1990:2002 Βάσεις Σχεδιασμού Δομημάτων," 2002.
- [5] Κ. Γ. Τρεζος, "Αποτίμηση των ιδιοτήτων των υλικών σε υφιστάμενες κατασκευές Material properties assessment in existing structures," 2009, pp. 21–23.
- [6] Ο.Α.Σ.Π., *Καν. Επε. - Κανονισμός Επεμβάσεων*. 2017.
- [7] "ANTIGUA FÁBRICA DE LA CROS." .
- [8] "Razones para mi: Septiembre 2012." .
- [9] "La Cros Old Factories _ Diaz y Diaz Architects _ ArchDaily." .

7 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

7.1 ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΩΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΓΙΑ $\chi=0.20$ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΙΙ ΓΙΑ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΕΝ 1990

Στην πρώτη εφαρμογή ζητείται ο δείκτης αξιοπιστίας β , σε σχέση με το ποσοστό του κινητού φορτίου χ , για μια δεδομένη διατομή δοκού, που υπόκειται σε κάμψη. Το φορτίο που δέχεται η δοκός είναι ροπή κάμψης και οι μονάδες του είναι kNm. Η διατομή της δοκού που εξετάζεται φαίνεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 7-1: Διατομή της Δοκού που υπόκειται σε κάμψη

Οι δράσεις που ασκούνται στη διατομή, καθώς και το εμβαδόν του εφελκυσμένου οπλισμού εξαρτάται από το ποσοστό των κινητών φορτίων, που εδώ είναι 0.2.

Οι παραδοχές που γίνονται για την επίλυση της εφαρμογής είναι οι εξής:

Η χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου είναι συνάρτηση του ποσοστού του φορτίου χ και υπολογίζεται από τον τύπο που ακολουθεί.

$$\chi = \frac{Q_k}{G_k + Q_k} \Rightarrow Q_k = \chi \cdot Q_k + \chi \cdot G_k \Rightarrow Q_k = \frac{\chi \cdot G_k}{1 - \chi} = \frac{50 \cdot 0.2}{1 - 0.2} = 12.5 \text{ kNm}$$

Επιπλέον για το κινητό φορτίο ισχύει η παραδοχή:

$$\frac{m_Q}{Q_k} = 0.2 \Rightarrow m_Q = 12.5 \cdot 0.2 = 2.5 \text{ kNm}$$

Έτσι υπολογίζεται και η μέση τιμή του κινητού φορτίου.

Πίνακας 7-1: Δεδομένα-Παραδοχές για την επίλυση για EN 1990

Δεδομένα	EN 1990
G_k (kNm)	50,00
f_{ck} (MPa)	29,40
f_{yk} (MPa)	490,00
γ_c	1,50
γ_s	1,15
f_y (MPa)	560,00
f_c (MPa)	40,00
b (m)	0,30
h (m)	0,50
a (m)	0,03
γ_g	1,35
γ_q	1,50
ψ_0	0,70
ξ	0,85
$m_{\theta R,M}$	1,00
$V_{\theta R,M}$	0,06
$\sigma_{\theta R,M}$	0,06
V_{f_y}	0,05
σ_{f_y}	2,80
$m_{\theta E,M}$	1,00
$V_{\theta E,M}$	0,10
$\sigma_{\theta E,M}$	0,10
m_G (kNm)	50,00
V_G	0,10
σ_G (kNm)	5,00
V_Q	1,10

Οι τυχαίες μεταβλητές στην παρούσα εφαρμογή είναι οι εξής:

$\theta_{R,M}$ → ο συντελεστής αβεβαιότητας του προσομοιώματος των αντιστάσεων

f_y → η αντοχή διαρροής του χάλυβα

$\theta_{E,M}$ → ο συντελεστής αβεβαιότητας του προσομοιώματος των δράσεων

G → το μόνιμο φορτίο της δοκού

$Q_{tref}(x)$ → το κινητό φορτίο της δοκού (συναρτήσει της περιόδου επαναφοράς και του ποσοστού του κινητού φορτίου)

Στην παρούσα επίλυση οι παραπάνω τυχαίες μεταβλητές, που ακολουθούν τις κατανομές που περιγράφονται παρακάτω με την εξής μορφή:

Μεταβλητή ~ Κατανομή (μέση τιμή, τυπική απόκλιση)

$$\theta_{R,M} \sim LN(1, 0.06)$$

$$f_y \sim LN(560, 2.8) \text{ MPa}$$

$$\theta_{E,M} \sim LN(1, 0.01)$$

$G \sim N(50,5) \text{ kNm}$

$Q_{t_{ref}}(\chi) \sim \text{Gum}(2.50, 2.75) \text{ kNm}$ (για $\chi=0.2$)

Δηλαδή, αναλυτικότερα η μεταβλητή $\theta_{R,M}$ ακολουθεί λογαριθμοκανονική κατανομή με μέση τιμή 1 και τυπική απόκλιση 0.06. Η μεταβλητή f_y ακολουθεί λογαριθμοκανονική κατανομή με μέση τιμή 560 MPa και τυπική απόκλιση 2.8 MPa. Η μεταβλητή $\theta_{E,M}$ ακολουθεί λογαριθμοκανονική κατανομή με μέση τιμή 1 και τυπική απόκλιση 0.01. Η μεταβλητή G ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή 50 kNm και τυπική απόκλιση 5 kNm. Η μεταβλητή $Q_{t_{ref}}(\chi)$ ακολουθεί κατανομή Gumbel με μέση τιμή 2.50 kNm και τυπική απόκλιση 2.75 kNm, για $\chi=0.2$.

Οι υπόλοιπες μεταβλητές λογίζονται ως ντετερμινιστικές, δηλαδή συγκεκριμένα το ποσοστό του οπλισμού ρ , οι διαστάσεις της διατομής b, h, a , και η αντοχή του σκυροδέματος f_c .

Έτσι, στη συνέχεια υπολογίζονται με τους τύπους που ακολουθούν οι δράσεις στο σημείο σχεδιασμού και το ποσοστό του οπλισμού.

$$\begin{aligned} E_d &= \max[\gamma_{Ed} \cdot \gamma_g \cdot G_k + \gamma_{Ed} \cdot \gamma_q(t_{ref}) \cdot \psi_0 \cdot Q_k(\chi); \xi \cdot \gamma_{Ed} \cdot \gamma_g \cdot G_k + \gamma_{Ed} \cdot \gamma_q(t_{ref}) \cdot Q_k(\chi)] \\ &= \max[1 \cdot 1.35 \cdot 50 + 1 \cdot 1.50 \cdot 0.7 \cdot 12.5; 0.85 \cdot 1 \cdot 1.35 \cdot 50 + 1 \cdot 1.50 \cdot 12.5] \\ &= \max[67.5 + 13.125; 57.375 + 18.75] = \max[80.625; 76.125] = 80.625 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho(\chi, t_{ref}) &= \frac{\frac{f_{ck}}{\gamma_{Rd,c} \cdot \gamma_c}}{\frac{f_{yk}}{\gamma_{Rd,s} \cdot \gamma_s}} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot E_d(\chi, t_{ref})}{b \cdot (h-a)^2 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_{Rd,c} \cdot \gamma_c}}} \right) \\ &= \frac{\frac{29,4}{1 \cdot 1,5}}{1 \cdot 1,15} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 80,625}{0,3 \cdot (0,5 - 0,03)^2 \cdot \frac{29,4 \cdot 1.000}{1 \cdot 1,50}}} \right) = 0,046 \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{161,25}{1.298,89}} \right) \\ &= 0,046 \cdot (1 - \sqrt{0,876}) = 0,046 \cdot (1 - 0,936) = 0,046 \cdot 0,064 = 2,95 \% \end{aligned}$$

Τα μεγέθη αυτή αντικαθίστανται στην αντίσταση και κατά συνέπεια στην εξίσωση ασφαλείας. Η αντίσταση δίνεται από τον επόμενο τύπο.

$$R(\rho) = \theta_{R,M} \cdot \rho \cdot b \cdot (h-a) \cdot f_y \cdot \left[h-a - 0.5 \cdot \rho \cdot (h-a) \cdot \frac{f_y}{f_c} \right]$$

Η εξίσωση ασφαλείας είναι η εξής:

$$Z(X) = \theta_{R,(M \dot{\eta} N)} \cdot R(\chi) - \theta_{E,(M \dot{\eta} N)} \cdot [G + C_{0Q} \cdot Q_{t_{ref}}(\chi)] \Rightarrow$$

$$Z(X) = \theta_{R,M} \cdot \rho \cdot b \cdot (h-a) \cdot f_y \cdot \left[h-a - 0.5 \cdot \rho \cdot (h-a) \cdot \frac{f_y}{f_c} \right] - \theta_{E,M} \cdot [G + C_{0Q} \cdot Q_{t_{ref}}(\chi)]$$

Σύμφωνα με τη μέθοδο επιπέδου II για τις μεταβλητές που δεν ακολουθούν κανονική κατανομή χρησιμοποιείται ο μετασχηματισμός Rackwitz-Fiessler για τον υπολογισμό των „ισοδύναμων” παραμέτρων κανονικής κατανομής, έτσι ώστε οι συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας και οι συναρτήσεις κατανομής να συμπίπτουν στο σημείο σχεδιασμού:

Αναλυτικότερα ακολουθείται η εξής διαδικασία για τις μεταβλητές που ακολουθούν λογαριθμοκανονική κατανομή:

$$m = e^{\mu + \frac{1}{2}\sigma^2}$$

$$s = \sqrt{e^{2\mu + \sigma^2} \cdot (e^{\sigma^2} - 1)}$$

Όπου, m , s η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση για την πραγματική κατανομή της μεταβλητής και μ , σ η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση για την αντίστοιχη κανονική κατανομή στο σημείο σχεδιασμού για την κάθε μεταβλητή.

Αντιστοίχως μετασχηματίζεται και η μεταβλητή του κινητού φορτίου που ακολουθεί κατανομή Gumbel, σύμφωνα με τους τύπους της κατανομής Gumbel.

Συγκεκριμένα, για τις τυχαίες μεταβλητές της εφαρμογής παρουσιάζεται παρακάτω ο μετασχηματισμός αυτός.

Για το $\theta_{R,M}$ (λογαριθμοκανονική)

$$m = e^{\mu + \frac{1}{2}\sigma^2} = 1$$

$$s = \sqrt{e^{2\cdot\mu + \sigma^2} \cdot (e^{\sigma^2} - 1)} = 0.06$$

Γίνεται επίλυση συστήματος δύο εξισώσεων με δύο αγνώστους. Επομένως, μετά από τους υπολογισμούς προκύπτει $\mu = -0.002$ και $\sigma = 0.063$ (οι παράμετροι της αντίστοιχης κανονικής κατανομής).

Για το $f_y/f_{y,k}$ (λογαριθμοκανονική) ομοίως:

$$m = 56/49 = 1.14$$

$$s = 0.05 \cdot 1.14 = 0.057$$

$$m = e^{\mu + \frac{1}{2}\sigma^2} = 1.14$$

$$s = \sqrt{e^{2\cdot\mu + \sigma^2} \cdot (e^{\sigma^2} - 1)} = 0.057$$

Γίνεται επίλυση συστήματος δύο εξισώσεων με δύο αγνώστους. Μετά από τους υπολογισμούς προκύπτει $\mu = 0.13$ και $\sigma = 0.004$ (οι παράμετροι της αντίστοιχης κανονικής κατανομής). Αξίζει να σημειωθεί ότι εφόσον η μεταβλητή f_y ακολουθεί λογαριθμοκανονική κατανομή είναι ορθότερο να είναι καθαρός αριθμός το περιεχόμενο του λογαρίθμου και γι' αυτό διαιρέθηκε η μέση τιμή με τη χαρακτηριστική και αυτή λογίστηκε ως μεταβλητή για την επίλυση του προβλήματος.

Για το $\theta_{E,M}$ (λογαριθμοκανονική) ομοίως

$$m = e^{\mu + \frac{1}{2}\sigma^2} = 1$$

$$s = \sqrt{e^{2\cdot\mu + \sigma^2} \cdot (e^{\sigma^2} - 1)} = 0.01$$

Γίνεται επίλυση συστήματος δύο εξισώσεων με δύο αγνώστους. Επομένως, μετά από τους υπολογισμούς προκύπτει $\mu = -0.00005$ και $\sigma = 0.01$ (οι παράμετροι της αντίστοιχης κανονικής κατανομής).

Για το Q_{tref} (Gumbel)

Για τη μεταβλητή του κινητού φορτίου που ακολουθεί κατανομή Gumbel πρέπει να ακολουθηθεί η εξής διαδικασία, σύμφωνα με τους τύπους της κατανομής Gumbel:

$$F_{q,tref} = [F_{q,t0}]^{tref/t0} = e^{-e^{-\left[\frac{q - (u + \theta \cdot \ln(\frac{tref}{t0}))}{\theta}\right]}} \Rightarrow -\ln(F_{q,tref}) = e^{-\left[\frac{q - (u + \theta \cdot \ln(\frac{tref}{t0}))}{\theta}\right]} \Rightarrow$$

$$\ln(-\ln(F_{q,tref})) = -\left[\frac{q - (u + \theta \cdot \ln(\frac{tref}{t0}))}{\theta}\right] \Rightarrow \theta \cdot \ln(-\ln(F_{q,tref})) = -q + u + \theta \cdot \ln\left(\frac{tref}{t0}\right) \Rightarrow$$

$$q = u + \theta \cdot \ln\left(\frac{tref}{t0}\right) - \theta \cdot \ln(-\ln(F_{q,tref}))$$

Για 5% πιθανότητα υπέρβασης η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου q_k είναι

$$q_k = u + \theta \cdot \ln\left(\frac{t_{ref}}{t_0}\right) - \theta \cdot \ln(-\ln(0.95)) \Rightarrow u = q_k - \theta \cdot \ln\left(\frac{t_{ref}}{t_0}\right) + \theta \cdot \ln(-\ln(0.95))$$

$$\sigma = 1.282 \cdot \theta$$

$$\mu = u + 0.5772 \cdot \theta + \theta \cdot \ln\left(\frac{t_{ref}}{t_0}\right)$$

$$V = \frac{\sigma}{\mu} = \frac{1.282 \cdot \theta}{u + 0.5772 \cdot \theta + \theta \cdot \ln\left(\frac{t_{ref}}{t_0}\right)} = \frac{1.282 \cdot \theta}{q_{k,tref} + 0.5772 \cdot \theta + \theta \cdot \ln(-\ln(0.95))} \Rightarrow$$

$$V \cdot q_{k,tref} + V \cdot 0.5772 \cdot \theta + V \cdot \theta \cdot \ln(-\ln(0.95)) = 1.282 \cdot \theta$$

$$\theta = \frac{q_{k,tref}}{\frac{1.282}{V} - 0.5772 - \ln(-\ln(0.95))}$$

$$\mu = \frac{\sigma}{V} = \frac{1.282 \cdot \theta}{V} \Rightarrow s = \mu \cdot V$$

Όπου, u, θ οι παράμετροι της κατανομής Gumbel, και σ και μ η τυπική απόκλιση και η μέση τιμή της κατανομής Gumbel αντίστοιχα.

Έπειτα υπολογίζονται οι τυποποιημένες μεταβλητές, που στην παρούσα εφαρμογή είναι οι εξής:

$$Z_1 = \frac{\theta_{R,M} - \mu_{\theta R,M}}{\sigma_{\theta R,M}} \Rightarrow \theta_{R,M} = \sigma_{\theta R,M} \cdot Z_1 + \mu_{\theta R,M}$$

$$Z_2 = \frac{f_y/f_{yk} - \mu_{f_y/f_{yk}}}{\sigma_{f_y/f_{yk}}} \Rightarrow f_y/f_{yk} = \sigma_{f_y/f_{yk}} \cdot Z_2 + \mu_{f_y/f_{yk}}$$

$$Z_3 = \frac{\theta_{E,M} - \mu_{\theta E,M}}{\sigma_{\theta E,M}} \Rightarrow \theta_{E,M} = \sigma_{\theta E,M} \cdot Z_3 + \mu_{\theta E,M}$$

$$Z_4 = \frac{G - \mu_G}{\sigma_G} \Rightarrow G = \sigma_G \cdot Z_4 + \mu_G$$

$$Z_5 = \frac{Q - \mu_Q}{\sigma_Q} \Rightarrow Q = \sigma_Q \cdot Z_5 + \mu_Q$$

Στη συνέχεια γίνεται αντικατάσταση στην εξίσωση ασφαλείας των ανηγμένων μεταβλητών, και συγκεκριμένα, στην εξίσωση

$$Z(X) = \theta_{R,M} \cdot \rho \cdot b \cdot (h - a) \cdot f_y \cdot \left[h - a - 0.5 \cdot \rho \cdot (h - a) \cdot \frac{f_y}{f_c} \right] - \theta_{E,M} \cdot [G + C_{0Q} \cdot Q_{tref}(\chi)]$$

το $\theta_{R,M}$ αντικαθίσταται με το $(\sigma_{\theta R,M} \cdot Z_1 + \mu_{\theta R,M})$, το f_y/f_{yk} με το $(\sigma_{f_y/f_{yk}} \cdot Z_2 + \mu_{f_y/f_{yk}})$, το $\theta_{E,M}$ με το $(\sigma_{\theta E,M} \cdot Z_3 + \mu_{\theta E,M})$, το G με το $(\sigma_G \cdot Z_4 + \mu_G)$, και το Q με το $(\sigma_Q \cdot Z_5 + \mu_Q)$.

Όπου, $Z_i = \beta \cdot a_i$, και β ο συντελεστής αξιοπιστίας-ασφάλειας και a_i τα συνημίτονα κατεύθυνσης ($a_i > 0$ για τις δράσεις και $a_i < 0$ για τις αντιστάσεις).

Η εξίσωση ασφαλείας στο επίπεδο των ανηγμένων μεταβλητών

$$Z(X) = \theta_{R,M} \cdot \rho \cdot b \cdot (h - a) \cdot f_y \cdot \left[h - a - 0.5 \cdot \rho \cdot (h - a) \cdot \frac{f_y}{f_c} \right] - \theta_{E,M} \cdot [G + C_{0Q} \cdot Q_{tref}(\chi)] = 0$$

επιλύεται, μετά από διαδοχικές δοκιμές ως προς το δείκτη αξιοπιστίας β .

Επίσης, ισχύει ότι

$$a_i = \frac{-\frac{dg}{dz_i}(\beta \cdot \alpha)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n \left(\frac{dg}{dz_i}(\beta \cdot \alpha)\right)^2}} \Rightarrow a_i = -\frac{1}{k} \cdot \frac{dg}{dz_i}(\beta \cdot \alpha)$$

Όπου, k τέτοιο ώστε $\sum a_i^2 = 1$.

Μετά από τις διαδοχικές δοκιμές υπολογίζεται ο δείκτης αξιοπιστίας και το σημείο σχεδιασμού για $\chi=0.2$. Συγκεκριμένα, για $\chi=0,2$ και $t_{ref}=15$ χρόνια προκύπτει ότι ο συντελεστής αξιοπιστίας, και τα συνημίτονα κατεύθυνσης για κάθε μεταβλητή είναι:

$$\beta = 3,96$$

$$a_1 = -0,26$$

$$a_2 = -0,02$$

$$a_3 = 0,66$$

$$a_4 = 0,34$$

$$a_5 = 0,84$$

Έτσι, στο σημείο σχεδιασμού ισχύουν τα εξής:

Τιμή σχεδιασμού μεταβλητής=μέση τιμή + συνημίτονο κατεύθυνσης · β · τυπική απόκλιση. Άρα για κάθε μία από τις μεταβλητές οι τιμές στο σημείο σχεδιασμού είναι οι εξής:

$$\theta_{R,Md} = 0,98 + (-0,26) \cdot 3,96 \cdot 0,06 = 0,92$$

$$\Phi_{y,d} = \left(\frac{f_y}{f_{yk}}\right)_d = 1,14 + (-0,02) \cdot 3,96 \cdot 0,005 = 1,14$$

$$\theta_{E,Md} = 0,96 + 0,66 \cdot 3,96 \cdot 0,13 = 1,29$$

$$G_d = 50 + 0,34 \cdot 3,96 \cdot 5 = 56,64 \text{ kNm}$$

$$Q_d = (-22,27) + 0,84 \cdot 3,96 \cdot 12,62 = 19,75 \text{ kNm}$$

Και η εξίσωση ασφαλείας στο σημείο σχεδιασμού γίνεται έπειτα από αντικατάσταση των τιμών των μεταβλητών για το σημείο σχεδιασμού:

$$\begin{aligned} Z(\chi) &= 0,92 \cdot 2,95 \text{‰} \cdot 30 \cdot (50 - 3) \cdot 1,14 \cdot 49 \cdot \left(50 - 3 - 0,5 \cdot 2,95 \text{‰} \cdot (50 - 3) \cdot \frac{56}{4}\right) - 1,29 \\ &\quad \cdot (5.664,17 + 1.974,54) = 213,76 \cdot (47 - 0,82) - 1,26 \cdot 7.821,70 = 9.821,48 - 9.867,94 \\ &= -46,46 \text{ kNcm} \approx 0 \end{aligned}$$

7.2 ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΗΣ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 1, ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ DVM (ΓΙΑ $t_{ref}=15$ χρόνια και $\beta=2.8$)

Στη δεύτερη εφαρμογή γίνεται επίλυση μιας δοκού ενός υφιστάμενου κτιρίου το οποίο πρόκειται να αλλάξει χρήση και από βιομηχανικό κτίριο να μετατραπεί σε πολιτιστικό κέντρο. Για το λόγο αυτό αξιολογούνται οι δοκοί του κτιρίου για να διαπιστωθεί το κινητό φορτίο που μπορούν να φέρουν χωρίς να επέλθει αστοχία.

Οι ιδιότητες των υλικών και οι γεωμετρικές ιδιότητες ελήφθησαν από τη διερεύνηση των υφισταμένων δοκών, που διαπιστώθηκε ότι είναι αντιπροσωπευτικό για την αξιολόγηση. Σημειώνεται ότι 4 πυρήνες πιθανόν να μην είναι αρκετά για στατιστική επεξεργασία. Η δοκός θεωρήθηκε ότι είναι αμφιέριστη με ένα μήκος 6 μέτρων, ενώ η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών δοκών είναι 5 μέτρα. Τα δεδομένα για τις

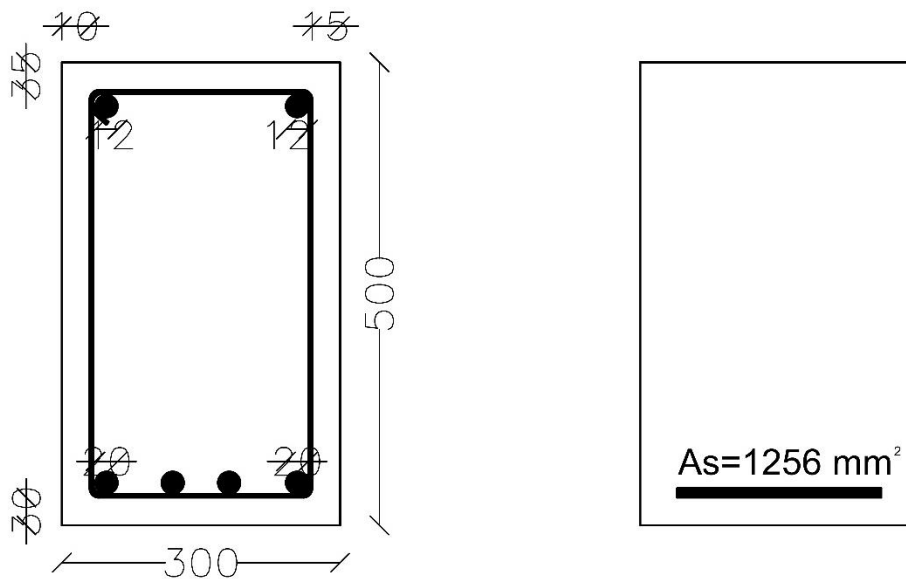
ιδιότητες των υλικών φαίνονται στους επόμενους πίνακες και η διατομή της δοκού που εξετάζεται, στο σχήμα που ακολουθεί.

Πίνακας 7-2: Μηχανικές Ιδιότητες Σκυροδέματος

ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΥΡΗΝΩΝ	f_{cm} (N/mm ²)	s (N/mm ²)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ	m_y	s_y
4	25,90	2,40	0,09	3,25	0,09

Πίνακας 7-3: Μηχανικές Ιδιότητες Χάλυβα

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (mm)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ	f_{ym} (N/mm ²)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ	f_{tm} (N/mm ²)
20	4	307	0,01	451



Σχήμα 7-2: Διατομή Δοκού (διαστάσεις σε χιλιοστά).

7.2.1 ΕΠΙΛΥΣΗ ΝΤΕΤΕΡΜΙΝΙΣΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ DVM (ΟΠΩΣ ΠΡΟΤΕΙΝΕΤΑΙ ΑΠΟ FIB)

Οι χαρακτηριστικές τιμές της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος και της αντοχής διαρροής του χάλυβα, που αντιστοιχούν στο ποσοστμόριο 5%, υπολογίζονται βάσει της διαδικασίας που αναπτύσσεται στο Παράρτημα Δ, του EN 1990:2002, ως εξής:

$$X_k = \exp(m_y - k_n \cdot s_y)$$

Όπου,

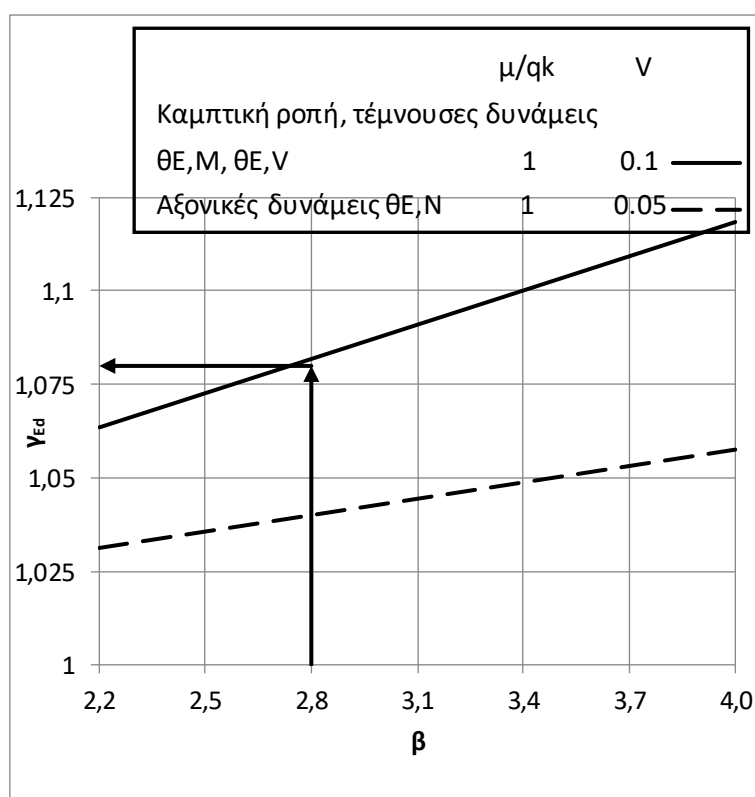
- m_y είναι η μέση τιμή της μεταβλητής $\ln(X)$: $m_y = \frac{1}{n} \cdot \sum \ln(x_i)$
- s_y είναι η τυπική απόκλιση της μεταβλητής $\ln(X)$: $s_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum (\ln x_i - m_y)^2}$

- k_n είναι ένας συντελεστής που εξαρτάται από τον αριθμό των δειγμάτων-πυρήνων και από τον αν το V_x είναι γνωστό ή άγνωστο. Στην παρούσα εφαρμογή το V_x θεωρείται άγνωστο.

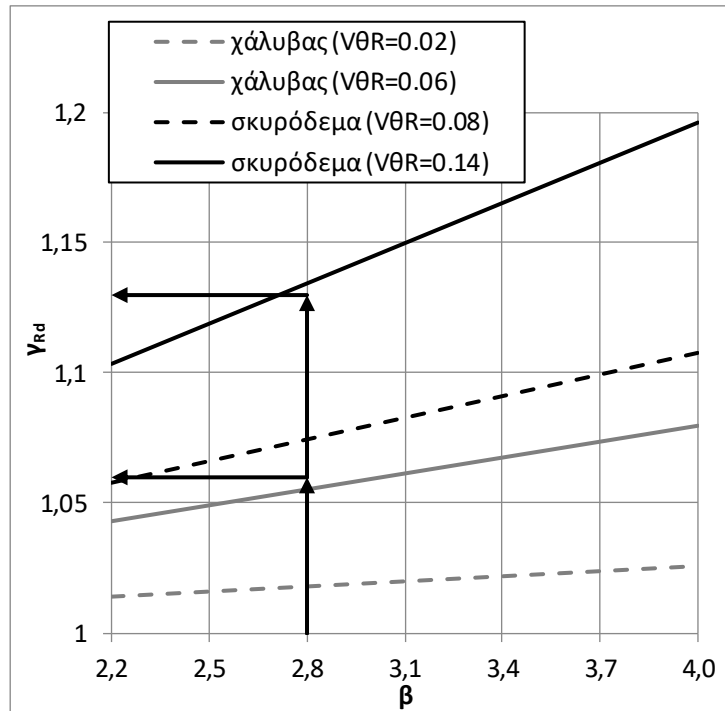
Υποθέτοντας ότι ο συντελεστής μεταβλητότητας είναι γνωστός και λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα από τις δοκιμές που παρουσιάστηκαν στους πίνακες 4-5 και 4-6, με $k_n = 2.63$ και $n=4$, η χαρακτηριστική τιμή της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος είναι $f_{ck} = 20.1$ MPa και η χαρακτηριστική τιμή της αντοχής διαρροής του χάλυβα είναι $f_{yk} = 299.0$ MPa. Οι στατιστικές αβεβαιότητες αναφορικά με τον περιορισμένο αριθμό δειγμάτων λαμβάνονται υπόψη μόνο στον προσδιορισμό της χαρακτηριστικής τιμής (που αντιστοιχεί στην απλοποιημένη μέθοδο που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 3).

Θεωρώντας τάξη συνεπειών CC2 και περίοδο επαναφοράς $t_{ref} = 15$ χρόνια, με μια επιφάνεια αστοχίας $A_{col} < 500$ m², υιοθετείται ένας δείκτης αξιοπιστίας $\beta_t = 2.8$, σύμφωνα με τον πίνακα (9). Οι επιμέρους συντελεστές για την αξιολόγηση της υπό διερεύνησης δοκού προκύπτουν από τις μεθόδους DVM και APFM (Μέθοδο Α) όπως περιεγράφηκαν στο κεφάλαιο 3, από τα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν. Επιπλέον, γίνεται η υπόθεση ότι στην κατασκευή ασκούνται μόνο κινητά επιβαλλόμενα φορτία, όσον αφορά τις μεταβλητές δράσεις.

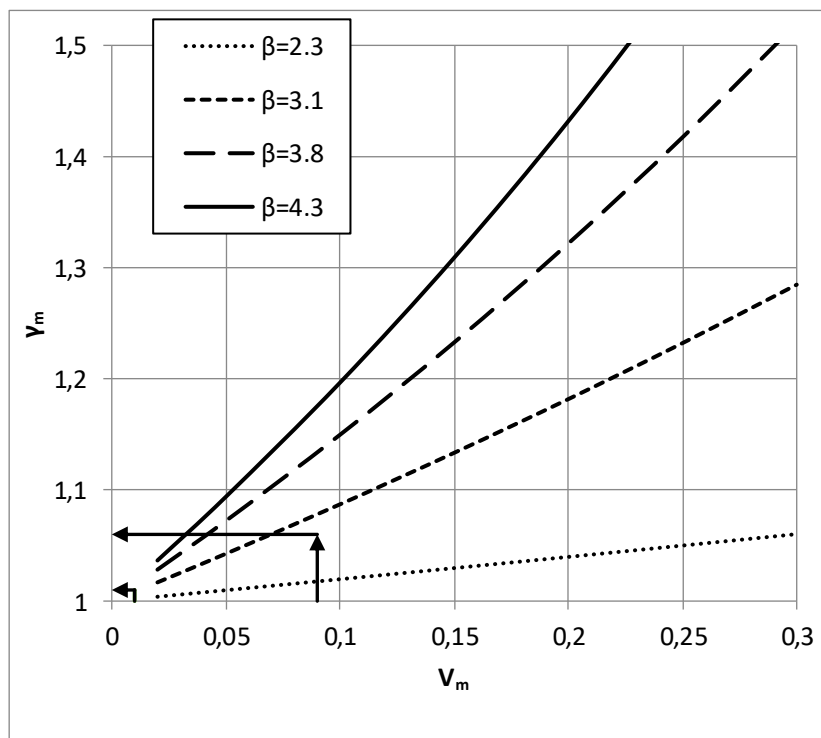
Ο παρακάτω πίνακας δίνει τις τιμές των επιμέρους συντελεστών καθώς και τα διαγράμματα από τα οποία προέκυψαν. Τα σχήματα (9) απεικονίζουν την επιλογή των επιμέρους συντελεστών ή των διορθωτικών συντελεστών που βασίζεται στα διαγράμματα του κεφαλαίου 3.



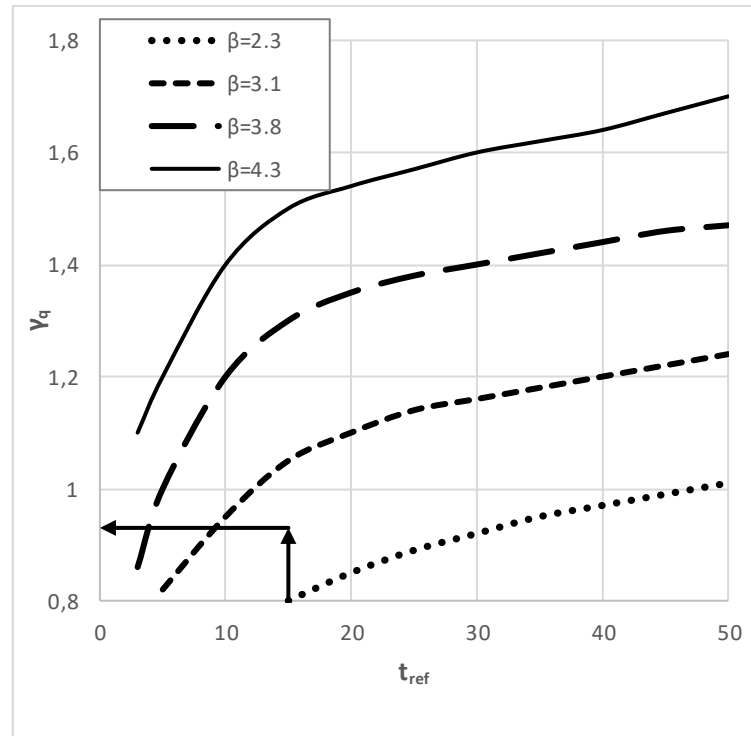
Σχήμα 7-3: Πρακτικό παράδειγμα υπολογισμού των επιμέρους συντελεστών ή των διορθωτικών συντελεστών για την αξιολόγηση μιας υπάρχουσας δοκού από τα διαγράμματα των μεθόδων DVM και APFM που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3 ($\beta_t = 2.8$, $t_{ref} = 15$ χρόνια): $\gamma_{Ed,M}$.



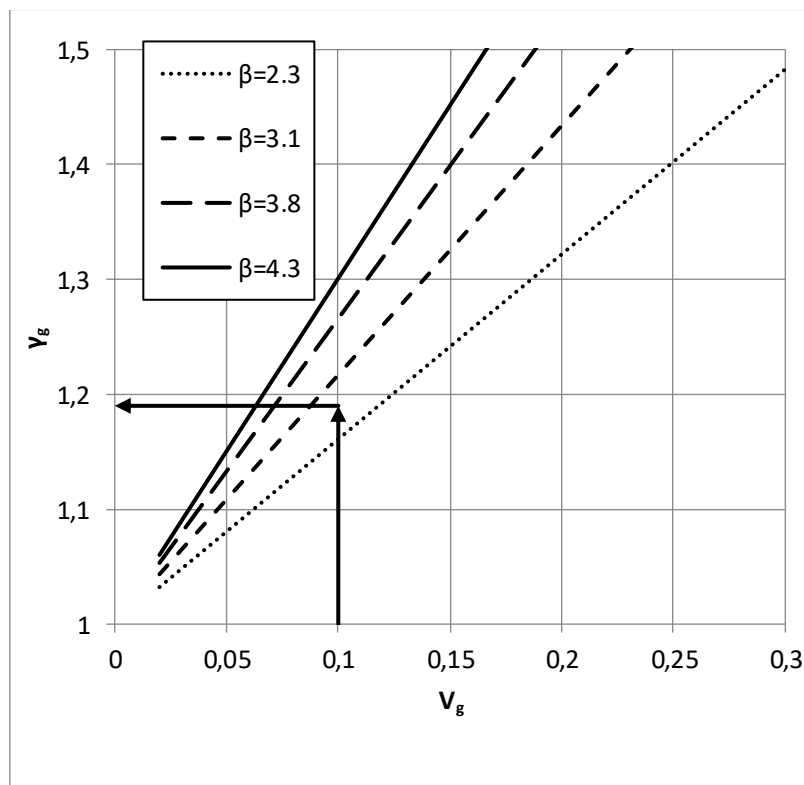
Σχήμα 7-4: Πρακτικό παράδειγμα υπολογισμού των επιμέρους συντελεστών ή των διορθωτικών συντελεστών για την αξιολόγηση μιας υπάρχουσας δοκού από τα διαγράμματα των μεθόδων DVM και APFM που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3 ($\beta_t = 2.8$, $t_{ref} = 15$ χρόνια): $\gamma_{Rd,s}$ και $\gamma_{Rd,c}$.



Σχήμα 7-5: Πρακτικό παράδειγμα υπολογισμού των επιμέρους συντελεστών ή των διορθωτικών συντελεστών για την αξιολόγηση μιας υπάρχουσας δοκού από τα διαγράμματα των μεθόδων DVM και APFM που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3 ($\beta_t = 2.8$, $t_{ref} = 15$ χρόνια): γ_s και γ_c .



Σχήμα 7-6: Πρακτικό παράδειγμα υπολογισμού των επιμέρους συντελεστών ή των διορθωτικών συντελεστών για την αξιολόγηση μιας υπάρχουσας δοκού από τα διαγράμματα των μεθόδων DVM και APFM που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3 ($\beta t = 2.8$, $t_{ref} = 15$ χρόνια): v_{ref} .



Σχήμα 7-7 : Πρακτικό παράδειγμα υπολογισμού των επιμέρους συντελεστών ή των διορθωτικών συντελεστών για την αξιολόγηση μιας υπάρχουσας δοκού από τα διαγράμματα των μεθόδων DVM και APFM που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3 ($\beta t = 2.8$, $t_{ref} = 15$ χρόνια): γ_g .

Χρησιμοποιώντας τους επιμέρους συντελεστές της προηγούμενης ενότητας, η τιμή των μεταβλητών της αντοχής για την αξιολόγηση της κατασκευής δίνεται από τους επόμενους τύπους:

$$f_{cd} = a_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

Με $a_{cc} = 0,85$ (σύμφωνα με το εθνικό παράρτημα).

Αυτές οι τιμές σχεδιασμού χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της τιμής σχεδιασμού της ροπής αντοχής, ως εξής:

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot \left(d - 0,5 \cdot \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot f_{cd}} \right)$$

Το μέγιστο επιτρεπτό κινητό φορτίο στη δοκό σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη το ότι η ροπή αντίστασης είναι ίση με τη ροπή δράσης, δηλαδή $M_{Rd} = M_{Ed}$. Η συνολική ροπή λόγω των δράσεων στη δοκό υπολογίζεται από τον επόμενο τύπο:

$$M_{Ed} = \frac{\gamma_G \cdot g_k \cdot l^2}{8} + \frac{\gamma_Q \cdot q_k \cdot l^2}{8}$$

Το μόνιμο φορτίο g_k συνίσταται από το ίδιο βάρος της δοκού και το ίδιο βάρος της πλάκας που στηρίζεται στη δοκό. Το πάχος της πλάκας είναι 15 cm. Ως απλοποίηση, θεωρείται ότι το $\frac{1}{4}$ του φορτίου και του ίδιου βάρους κάθε μίας από τις δύο πλάκες που συνορεύουν με τη δοκό, μεταφέρεται στη δοκό. Λαμβάνοντας ως ειδικό βάρος σκυροδέματος 25 kN/m^2 , το μόνιμο φορτίο στη δοκό υπολογίζεται $9,4 \text{ kN/m}$ (ίδιο βάρος πλάκας) + $3,8 \text{ kN/m}$ (ίδιο βάρος δοκού) = $13,2 \text{ kN/m}$.

Τελικά, το μέγιστο επιτρεπτό κινητό φορτίο στη δοκό υπολογίζεται από τις σχέσεις που γράφηκαν παραπάνω. Αυτό το μέγιστο επιτρεπτό κινητό φορτίο που είναι κατανεμημένο στη δοκό μετατρέπεται σε επιφανειακό φορτίο στην πλάκα, σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς, για να υπολογιστεί και η φέρουσα ικανότητα της πλάκας. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα αριθμητικά αποτελέσματα για την πρώτη περίπτωση όπως προκύπτουν μετά από την εφαρμογή της μεθόδου.

$$f_{cd} = a_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0,85 \cdot \frac{20,1}{1,20} = 14,24 \text{ MPa}$$

$$\text{Όπου, } \gamma_c = \gamma_{Ed,c} \cdot \gamma_c = 1,13 \cdot 1,06 = 1,20$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{299}{1,07} = 279,44 \text{ MPa}$$

$$\text{Όπου, } \gamma_s = \gamma_{Ed,s} \cdot \gamma_s = 1,06 \cdot 1,01 = 1,07$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= A_s \cdot f_{yd} \cdot \left(d - 0,5 \cdot \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot f_{cd}} \right) = 1256 \cdot 279,44 \cdot \left(470 - 0,5 \cdot \frac{1256 \cdot 279,44}{300 \cdot 14,24} \right) \\ &= \frac{1256}{10^6} \cdot 279,44 \cdot 1000 \cdot \left(0,47 - 0,5 \cdot \frac{1256}{10^6} \cdot \frac{279,44}{0,3 \cdot 14,24} \right) = \frac{1256}{10^6} \cdot 279,44 \cdot 1000 \cdot 0,429 \\ &= 150,57 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$g_k = 13,2 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed,G} = \frac{\gamma_G \cdot g_k \cdot l^2}{8} = \frac{1,29 \cdot 13,2 \cdot 6^2}{8} = 76,63 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,Q,max} = M_{Rd} - M_{Ed,G} = 150,57 - 76,63 = 73,94 \text{ kNm}$$

$$q_{k,max,beam} = \frac{8 \cdot M_{Ed,Q,max}}{\gamma_Q \cdot l^2} = \frac{8 \cdot 73,94}{1,0 \cdot 6^2} = 16,43 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{k,max,slab} = \frac{q_{k,max,beam}}{2,5} = 6,6 \text{ kN/m}^2$$

Ομοίως προκύπτουν τα αποτελέσματα και για τις άλλες περιπτώσεις, για τη μέθοδο DVM και ARFM.

7.2.2 ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΙΙ

Στην επίλυση με τη μέθοδο του Επιπέδου ΙΙ ορίζονται οι εξής μεταβλητές ως τυχαίες μεταβλητές:

$f_y, f_c, g, q, \theta_s, \theta_c, \theta_E$.

όπου:

$f_y \rightarrow$ η αντοχή διαρροής του χάλυβα

$f_c \rightarrow$ η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος

$g \rightarrow$ το μόνιμο φορτίο της δοκού

$q \rightarrow$ το κινητό φορτίο της δοκού

$\theta_s \rightarrow$ ο συντελεστής αβεβαιότητας του προσομοιώματος του χάλυβα

$\theta_c \rightarrow$ ο συντελεστής αβεβαιότητας του προσομοιώματος του σκυροδέματος

$\theta_E \rightarrow$ ο συντελεστής αβεβαιότητας του προσομοιώματος των δράσεων

Η εξίσωση ασφαλείας επομένως διαμορφώνεται ως εξής:

$$M_R - M_E = 0 \Rightarrow A_s \cdot \theta_s \cdot f_y \cdot \left(d - 0.5 \cdot \frac{A_s \cdot \theta_s \cdot f_y}{b \cdot \theta_c \cdot f_c} \right) - \theta_E \cdot \left(\frac{g \cdot l^2}{8} + \frac{q \cdot l^2}{8} \right) = 0$$

Οι παραδοχές για την επίλυση της εφαρμογής είναι οι εξής:

Οι διαστάσεις της διατομής καθώς και το εμβαδόν του εφελκυσμένου οπλισμού είναι ίδια με αυτά που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 4.3.4, δηλαδή:

$$A_s = 1.256 \text{ mm}^2$$

$$d = 470 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$\beta = 2.8$$

$$t_{\text{ref}} = 50 \text{ χρόνια}$$

Οι παραπάνω μεταβλητές λογίζονται ως ντετερμινιστικές. Οι μεταβλητές που ακολουθούν λογίζονται ως τυχαίες μεταβλητές, με τις εξής παραδοχές:

f_y :	$f_{ym} = 307 \text{ N/mm}^2$ $V_y = 0.01$	Λογαριθμοκανονική κατανομή
---------	---	----------------------------

f_c :	$f_{cm} = 25.9 \text{ N/mm}^2$ $V_c = 0.09$	Λογαριθμοκανονική κατανομή
---------	--	----------------------------

g :	$m_g = 11.34 \text{ kN/m}$ $V_g = 0.10$	Κανονική κατανομή
-------	--	-------------------

q :	m_q $V_q = 1.1$	Κατανομή Gumbel
-------	----------------------	-----------------

θ_s :	$m_{\theta_s} = 1.00$ $V_{\theta_s} = 0.06$	Λογαριθμοκανονική κατανομή
--------------	--	----------------------------

θ_c : $m_{\theta_c} = 1.00$ Λογαριθμοκανονική κατανομή
 $V_{\theta_c} = 0.14$

θ_E : $m_{\theta_E} = 1.00$ Λογαριθμοκανονική κατανομή
 $V_{\theta_E} = 0.10$

Σύμφωνα με τη μέθοδο επιπέδου II για τις μεταβλητές που δεν ακολουθούν κανονική κατανομή χρησιμοποιείται ο μετασχηματισμός Rackwitz-Fiessler για τον υπολογισμό των „ισοδύναμων” παραμέτρων κανονικής κατανομής, έτσι ώστε οι συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας και οι συναρτήσεις κατανομής να συμπίπτουν στο σημείο σχεδιασμού:

Αναλυτικότερα ακολουθείται η εξής διαδικασία για τις μεταβλητές που ακολουθούν λογαριθμοκανονική κατανομή:

$$m = e^{\mu + \frac{1}{2}\sigma^2}$$

$$s = \sqrt{e^{2\mu + \sigma^2} \cdot (e^{\sigma^2} - 1)}$$

Όπου, m , s η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση για την πραγματική κατανομή της μεταβλητής και μ , σ η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση για την αντίστοιχη κανονική κατανομή στο σημείο σχεδιασμού για την κάθε μεταβλητή.

Για το f_y (λογαριθμοκανονική):

$$m = e^{\mu + \frac{1}{2}\sigma^2} = 307 \text{ N/mm}^2$$

$$s = \sqrt{e^{2\mu + \sigma^2} \cdot (e^{\sigma^2} - 1)} = 0.01 \cdot 307 = 3.07 \text{ N/mm}^2$$

Γίνεται επίλυση συστήματος δύο εξισώσεων με δύο αγνώστους. Μετά από τους υπολογισμούς προκύπτει $\mu = 5.73 \text{ N/mm}^2$ και $\sigma = 0.01 \text{ N/mm}^2$ (οι παράμετροι της αντίστοιχης κανονικής κατανομής).

Για το f_c (λογαριθμοκανονική) ομοίως:

$$m = e^{\mu + \frac{1}{2}\sigma^2} = 25.9 \text{ N/mm}^2$$

$$s = \sqrt{e^{2\mu + \sigma^2} \cdot (e^{\sigma^2} - 1)} = 0.09 \cdot 25.9 = 2.33 \text{ N/mm}^2$$

Γίνεται επίλυση συστήματος δύο εξισώσεων με δύο αγνώστους. Μετά από τους υπολογισμούς προκύπτει $\mu = 3.25 \text{ N/mm}^2$ και $\sigma = 0.09 \text{ N/mm}^2$ (οι παράμετροι της αντίστοιχης κανονικής κατανομής).

Για το θ_s (λογαριθμοκανονική), ομοίως:

$$m = e^{\mu + \frac{1}{2}\sigma^2} = 1$$

$$s = \sqrt{e^{2\mu + \sigma^2} \cdot (e^{\sigma^2} - 1)} = 0.06$$

Γίνεται επίλυση συστήματος δύο εξισώσεων με δύο αγνώστους. Επομένως, μετά από τους υπολογισμούς προκύπτει $\mu = 0.0018$ και $\sigma = 0.06$ (οι παράμετροι της αντίστοιχης κανονικής κατανομής).

Για το θ_c , (λογαριθμοκανονική) ομοίως

$$m = e^{\mu + \frac{1}{2}\sigma^2} = 1$$

$$s = \sqrt{e^{2\mu + \sigma^2} \cdot (e^{\sigma^2} - 1)} = 0.14$$

Γίνεται επίλυση συστήματος δύο εξισώσεων με δύο αγνώστους. Επομένως, μετά από τους υπολογισμούς προκύπτει $\mu=0.01$ και $\sigma=0.14$ (οι παράμετροι της αντίστοιχης κανονικής κατανομής).

Για το $\theta_{E,M}$, (λογαριθμοκανονική) ομοίως

$$m = e^{\mu + \frac{1}{2}\sigma^2} = 1$$

$$s = \sqrt{e^{2\mu + \sigma^2} \cdot (e^{\sigma^2} - 1)} = 0.1$$

Γίνεται επίλυση συστήματος δύο εξισώσεων με δύο αγνώστους. Επομένως, μετά από τους υπολογισμούς προκύπτει $\mu=0.005$ και $\sigma=0.1$ (οι παράμετροι της αντίστοιχης κανονικής κατανομής).

Έπειτα υπολογίζονται οι τυποποιημένες μεταβλητές, που στην παρούσα εφαρμογή είναι οι εξής:

$$Z_1 = \frac{f_y - \mu_{f_y}}{\sigma_{f_y}} \Rightarrow f_y = \sigma_{f_y} \cdot Z_1 + \mu_{f_y}$$

$$Z_2 = \frac{f_c - \mu_{f_c}}{\sigma_{f_c}} \Rightarrow f_c = \sigma_{f_c} \cdot Z_2 + \mu_{f_c}$$

$$Z_3 = \frac{g - \mu_g}{\sigma_g} \Rightarrow g = \sigma_g \cdot Z_3 + \mu_g$$

$$Z_4 = \frac{q - \mu_q}{\sigma_q} \Rightarrow q = \sigma_q \cdot Z_4 + \mu_q$$

$$Z_5 = \frac{\theta_s - \mu_{\theta_s}}{\sigma_{\theta_s}} \Rightarrow \theta_s = \sigma_{\theta_s} \cdot Z_5 + \mu_{\theta_s}$$

$$Z_6 = \frac{\theta_c - \mu_{\theta_c}}{\sigma_{\theta_c}} \Rightarrow \theta_c = \sigma_{\theta_c} \cdot Z_6 + \mu_{\theta_c}$$

$$Z_7 = \frac{\theta_E - \mu_{\theta_E}}{\sigma_{\theta_E}} \Rightarrow \theta_E = \sigma_{\theta_E} \cdot Z_7 + \mu_{\theta_E}$$

Στη συνέχεια γίνεται αντικατάσταση στην εξίσωση ασφαλείας των ανηγμένων μεταβλητών, και συγκεκριμένα, στην εξίσωση

$$M_R - M_E = 0 \Rightarrow A_s \cdot \theta_s \cdot f_y \cdot \left(d - 0.5 \cdot \frac{A_s \cdot \theta_s \cdot f_y}{b \cdot \theta_c \cdot f_c} \right) - \theta_E \cdot \left(\frac{g \cdot l^2}{8} + \frac{q \cdot l^2}{8} \right) = 0$$

Το f_y αντικαθίσταται με $(\sigma_{f_y} \cdot Z_1 + \mu_{f_y})$, το f_c με $(\sigma_{f_c} \cdot Z_2 + \mu_{f_c})$, το g με $(\sigma_g \cdot Z_3 + \mu_g)$, το q με $(\sigma_q \cdot Z_4 + \mu_q)$, το θ_s με $(\sigma_{\theta_s} \cdot Z_5 + \mu_{\theta_s})$, το θ_c με $(\sigma_{\theta_c} \cdot Z_6 + \mu_{\theta_c})$ και το θ_E με $(\sigma_{\theta_E} \cdot Z_7 + \mu_{\theta_E})$.

Όπου, $Z_i = \beta \cdot a_i$, και β ο συντελεστής αξιοπιστίας-ασφάλειας και a_i τα συνημίτονα κατεύθυνσης ($a_i > 0$ για τις δράσεις και $a_i < 0$ για τις αντιστάσεις).

Η εξίσωση ασφαλείας στο επίπεδο των ανηγμένων μεταβλητών επιλύεται, μετά από διαδοχικές δοκιμές ως προς τη μέση τιμή του κινητού φορτίου μ_q .

Η επίλυση της εξίσωσης ως προς τη μέση τιμή του κινητού φορτίου έγινε στο πρόγραμμα maple.

```

>>> solve( (1), [m4])
[[ m4 = -
  1
  -----
  b (a6 b6 a6 + m6) (a2 b2 a2 + m2) fck(a7 b7 a7 + m7) (V b a4 + 1.)^2 (1. (-8. As.fik a1 a2 a5 a6 b^4 dfck a1 a2 a5 a6 + 4. As^2 fik^2 m1^2 m3^2 + 4. As^2 fik^2 a1^2 b^2 m3^2 a1^2
  + 4. As^2 fik^2 a5^2 b^2 m1^2 a5^2 + a2 a3 b^2 fik^2 m6 m7 a2 a3 + a2 a6 b^2 fik^2 m3 m7 a2 a6 + a2 a7 b^2 fik^2 m3 m6 a2 a7 + a3 a6 b^2 fik^2 m2 m7 a3 a6
  + a3 a7 b^2 fik^2 m2 m6 a3 a7 + a6 a7 b^2 fik^2 m2 m3 a6 a7 + 8. As^2 fik^2 a1^2 a5^2 b^3 m1 a1 a5^2 + 8. As^2 fik^2 a1 a5^2 b^3 m1 a1 a5^2 + 4. As^2 fik^2 a1^2 a5^2 b^4 a1^2 a5^2
  + 8. As^2 fik^2 a1 b m1 m1 m5^2 a1 + 8. As^2 fik^2 a5 b m1^2 m5 a5 + b fik^2 m2 m3 m6 m7 + a2 b fik^2 m3 m6 m7 a2 + a3 b fik^2 m2 m6 m7 a3 + a6 b fik^2 m2 m3 m7 a6
  + a7 b fik^2 m2 m3 m6 a7 - 8. As.fik b dfck m1 m2 m5 m6 + 16. As^2 fik^2 a1 a5 b^2 m1 m5 a1 a5 - 8. As.fik a1 a2 a6 b^3 dfck m5 a1 a2 a6 - 8. As.fik a2 a5 a6 b^3 dfck m1 a2 a5 a6
  - 8. As.fik a1 a2 a5 b^3 dfck m6 a1 a2 a5 - 8. As.fik a2 b dfck m1 m5 m6 a2 - 8. As.fik a6 b dfck m1 m2 m5 a6
  - 8. As.fik a1 b dfck m2 m5 m6 a1 - 8. As.fik a5 b dfck m1 m2 m6 a5 + a2 a3 a6 b^3 fik^2 m7 a2 a3 a6 + a2 a3 a7 b^3 fik^2 m6 a2 a3 a7 + a2 a6 a7 b^3 fik^2 m3 a2 a6 a7
  + a3 a6 a7 b^3 fik^2 m2 a3 a6 a7 + a2 a3 a6 a7 b^4 fik^2 a2 a3 a6 a7 - 8. As.fik a5 a6 b^2 dfck m1 m2 a5 a6 - 8. As.fik a1 a5 b^2 dfck m2 m6 a1 a5
  - 8. As.fik a2 a6 b^2 dfck m1 m5 a2 a6 - 8. As.fik a1 a2 b^2 dfck m5 m6 a1 a2 - 8. As.fik a2 a5 b^2 dfck m1 m6 a2 a5 - 8. As.fik a1 a6 b^2 dfck m2 m5 a1 a6) )]]
  
```

Εικόνα 7-1: Λύση της εξίσωσης ασφαλείας ως προς το μ_q στο πρόγραμμα maple

Επίσης, ισχύει ότι

$$a_i = \frac{-\frac{dg}{dz_i}(\beta \cdot \alpha)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n \left(\frac{dg}{dz_i}(\beta \cdot \alpha)\right)^2}} \Rightarrow a_i = -\frac{1}{k} \cdot \frac{dg}{dz_i}(\beta \cdot \alpha)$$

Όπου, k τέτοιο ώστε $\sum a_i^2 = 1$.

Μετά από τις διαδοχικές δοκιμές υπολογίζεται η μέση τιμή του κινητού φορτίου μ_q στο σημείο σχεδιασμού.

Για τη μέση τιμή του κινητού φορτίου μ_q (Gumbel) ισχύει ότι:

Για τη μεταβλητή του κινητού φορτίου που ακολουθεί κατανομή Gumbel πρέπει να ακολουθηθεί η εξής διαδικασία, σύμφωνα με τους τύπους της κατανομής Gumbel:

$$F_{q,tref} = [F_{q,t0}]^{tref/t0} = e^{-e^{-\left[\frac{q-(u+\theta \ln(\frac{tref}{t0}))}{\theta}\right]}} \Rightarrow -\ln(F_{q,tref}) = e^{-\left[\frac{q-(u+\theta \ln(\frac{tref}{t0}))}{\theta}\right]} \Rightarrow$$

$$\ln(-\ln(F_{q,tref})) = -\left[\frac{q-(u+\theta \ln(\frac{tref}{t0}))}{\theta}\right] \Rightarrow \theta \cdot \ln(-\ln(F_{q,tref})) = -q + u + \theta \cdot \ln\left(\frac{tref}{t0}\right) \Rightarrow$$

$$q = u + \theta \cdot \ln\left(\frac{tref}{t0}\right) - \theta \cdot \ln(-\ln(F_{q,tref}))$$

Για 5% πιθανότητα υπέρβασης η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου q_k είναι

$$q_k = u + \theta \cdot \ln\left(\frac{tref}{t0}\right) - \theta \cdot \ln(-\ln(0.95)) \Rightarrow u = q_k - \theta \cdot \ln\left(\frac{tref}{t0}\right) + \theta \cdot \ln(-\ln(0.95))$$

$$\sigma = 1.282 \cdot \theta$$

$$\mu = u + 0.5772 \cdot \theta + \theta \cdot \ln\left(\frac{tref}{t0}\right)$$

$$V = \frac{\sigma}{\mu} = \frac{1.282 \cdot \theta}{u + 0.5772 \cdot \theta + \theta \cdot \ln\left(\frac{tref}{t0}\right)} = \frac{1.282 \cdot \theta}{q_k,tref + 0.5772 \cdot \theta + \theta \cdot \ln(-\ln(0.95))} \Rightarrow$$

$$V \cdot q_k,tref + V \cdot 0.5772 \cdot \theta + V \cdot \theta \cdot \ln(-\ln(0.95)) = 1.282 \cdot \theta$$

$$\theta = \frac{q_k,tref}{\frac{1.282}{V} - 0.5772 - \ln(-\ln(0.95))}$$

$$\mu = \frac{\sigma}{V} = \frac{1.282 \cdot \theta}{V} \Rightarrow s = \mu \cdot V$$

Όπου, μ, θ οι παράμετροι της κατανομής Gumbel, και σ και μ η τυπική απόκλιση και η μέση τιμή της κατανομής Gumbel αντίστοιχα. Από τους παραπάνω τύπους υπολογίζεται η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου q_k .

Αναλυτικά η μέση τιμή του κινητού φορτίου μετά από την επίλυση της εξίσωσης ασφαλείας με δοκιμές είναι $\mu_q = 3,28$.

Τα συνημίτονα κατεύθυνσης για κάθε μεταβλητή στο σημείο σχεδιασμού είναι:

$$a_1 = -0,32$$

$$a_2 = -0,19$$

$$a_3 = 0,23$$

$$a_4 = 0,77$$

$$a_5 = -0,36$$

$$a_6 = -0,40$$

$$a_7 = 0,77$$

και οι τιμές σχεδιασμού για κάθε μεταβλητή είναι

Τιμή σχεδιασμού μεταβλητής = μέση τιμή + συνημίτονο κατεύθυνσης · β · τυπική απόκλιση. Άρα για κάθε μία από τις μεταβλητές οι τιμές στο σημείο σχεδιασμού είναι οι εξής:

$$f_{yd} = 304,83 - 0,32 \cdot 2,8 \cdot 4,82 = 300,48 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 25,46 - 0,19 \cdot 2,8 \cdot 3,40 = 23,67 \text{ MPa}$$

$$g_d = 11,34 + 0,23 \cdot 2,8 \cdot 1,13 = 12,52 \text{ kN/m}$$

$$q_d = 2,69 + 0,77 \cdot 2,8 \cdot 3,77 = 10,81 \text{ kN/m}$$

$$\theta_{sd} = 1,00 - 0,36 \cdot 2,8 \cdot 0,09 = 0,91$$

$$\theta_{cd} = 1,00 - 0,40 \cdot 2,8 \cdot 0,18 = 0,80$$

$$\theta_{Ed} = 0,94 + 0,77 \cdot 2,8 \cdot 0,23 = 1,43$$

Και η εξίσωση ασφαλείας στο σημείο σχεδιασμού γίνεται έπειτα από αντικατάσταση των τιμών των μεταβλητών για το σημείο σχεδιασμού:

$$\begin{aligned} M_{Rd} - M_{Ed} = 0 &\Rightarrow A_s \cdot \theta_{sd} \cdot f_{yd} \cdot \left(d - 0,5 \cdot \frac{A_s \cdot \theta_{sd} \cdot f_{yd}}{b \cdot \theta_{cd} \cdot f_{cd}} \right) - \theta_{Ed} \cdot \left(\frac{g_d \cdot l^2}{8} + \frac{q_d \cdot l^2}{8} \right) = 0 \\ &\Rightarrow 0,001256 \cdot 0,91 \cdot 300,48 \cdot \left(0,47 - 0,5 \cdot \frac{0,001256 \cdot 0,91 \cdot 300,48}{0,3 \cdot 0,80 \cdot 23,67} \right) - 1,43 \\ &\quad \cdot \left(\frac{12,52 \cdot 6^2}{8} + \frac{10,81 \cdot 6^2}{8} \right) = 151,34 - 150,01 = 1,32 \text{ kNm} \cong 0 \end{aligned}$$

Η χαρακτηριστική τιμή του κινητού φορτίου, όπως και οι παράμετροι μ και θ της κατανομής Gumbel υπολογίζονται ως εξής:

$$\mu = \mu + \frac{1}{\theta} \cdot \ln\left(\frac{t_{ref}}{t_0}\right) \Rightarrow \mu = 1,71 + \frac{1}{2,35} \cdot \ln(15) = 3,37 \text{ kN/m}$$

$$\theta = 1,1 \cdot \mu = 1,1 \cdot 3,37 = 2,89 \text{ kN/m}$$

$$u = \mu - 0,5772 \cdot \theta = 3,37 - 0,5772 \cdot 2,89 = 1,70 \text{ kN/m}$$

$$q_k = u - \theta \cdot \ln(-\ln(0,95)) = 1,70 - 2,89 \cdot \ln(-\ln(0,95)) = 10,29 \text{ kN/m}$$

Ομοίως γίνεται και η επίλυση με τη μέθοδο του επιπέδου II, και ο υπολογισμός της χαρακτηριστικής τιμής του φορτίου, αλλάζοντας τις μεταβλητές β και t_{ef} και για τις άλλες περιπτώσεις (βλ. Πίνακα 4-68)