

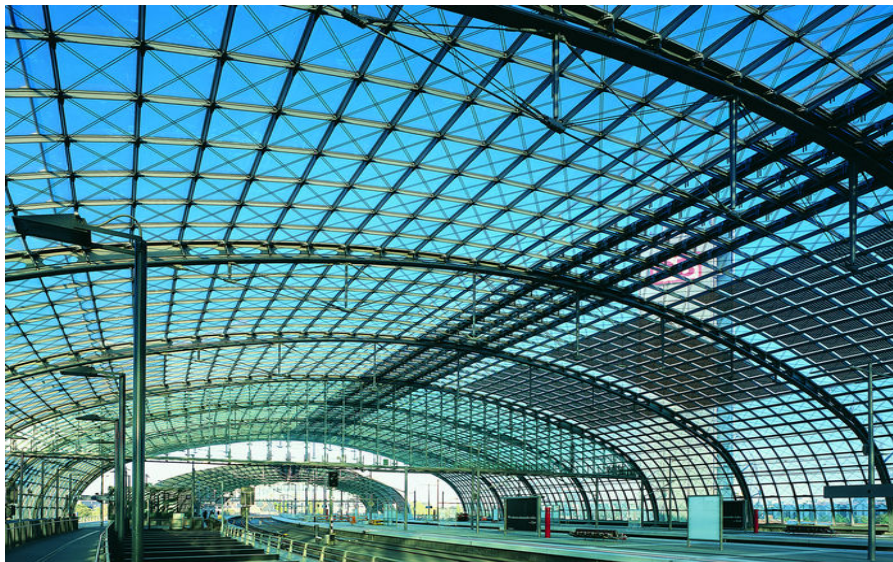


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Επιρροή κατασκευαστικών ατελειών στη συμπεριφορά μεταλλικών χωροδικτυωμάτων



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΛΗΤΩ Κ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΟΥ
ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Χ. ΚΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ

Επιβλέπων: Ιωάννης Βάγιας

Αθήνα, Οκτώβριος 2012

ΕΜΚ ΔΕ 2012/21

Κωνσταντίου Λ. Κ. , Κωστόπουλος Β. Χ. (2012).
Επιρροή κατασκευαστικών ατελειών στη συμπεριφορά μεταλλικών χωροδικτυωμάτων
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2012/21
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Konstantiou L. K. , Kostopoulos B. C. (2012).
Influence of structural deficiencies on the response of steel trusses
Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2012/21
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	3
Abstract	4
Ευχαριστίες	5
1 Εισαγωγή	6
1.1 Γενικά	6
1.2 Μορφή δικτύωματος	7
1.2.1 Στρώμα ενιαίας δομής	7
1.2.2 Στρώμα διπλής στρώσης	7
1.2.3 Στρώμα τριπλής στρώσης	7
1.3 Ύψη χωροδικτυωμάτων	8
1.4 Ζητήματα σχεδιασμού	8
1.4.1 Κρίσιμα φορτία	8
1.5 Σκοπός και πορεία επίλυσης διπλωματικής εργασίας	9
1.5.1 Σκοπός	9
1.5.2 Πορεία διπλωματικής	9
1.6 Πρόγραμμα STATIK 5	10
2 ΧΩΡΟΔΙΚΤΥΩΜΑ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗΣ ΚΑΤΟΨΗΣ ΜΕ ΕΠΙΠΕΔΕΣ ΕΣΧΑΡΕΣ	11
2.1 Εισαγωγή	11
2.2 Φορτία χωροδικτύωματος με βάση τον ευρωκωδικα.1	12
2.2.1 Ίδιο βάρος μελών	12
2.2.2 Επικαλύψεις-μηχανολογικά φορτία	12
2.2.3 Φορτία χιονιού	12
2.2.4 Υποχωρήσεις στηρίξεων	12
2.2.5 Φορτία λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών	13
2.2.6 Φορτία ανέμου	13
2.3 Διαδικασία διαστασιολόγησης χωροδικτύωματος και μόρφωση συνδυασμών ελέγχου	14
2.4 Αποτελέσματα αναλύσεων	15
2.4.1 Αρνητικές ατέλειες (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)	15
2.4.2 Θετικές ατέλειες (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)	18
2.4.3 Αρνητικές ατέλειες με χιόνι (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)	21
2.4.4 Θετικές ατέλειες με χιόνι (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)	24
2.5 Επίλυση του χωροδικτύωματος με διαφορετικές συνθήκες στηρίξεως	27
2.5.1 Στατικό προσομοίωμα	27
2.5.2 Αποτελέσματα αναλύσεων	28
2.6 Κατανομή ράβδων με αστοχία	34
2.6.1 Ατέλειες μήκους στην άνω σχάρα	34
2.6.2 Ατέλειες μήκους στην κάτω σχάρα	35
2.6.3 Ατέλειες μήκους στις διαγώνιες ράβδους	36
2.7 Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα	38
3 ΤΟΞΩΤΟ ΧΩΡΟΔΙΚΤΥΩΜΑ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗΣ ΚΑΤΟΨΗΣ	43
3.1 Εισαγωγή	43
3.2 Φορτία χωροδικτύωματος με βάση τον ευρωκωδικα.1	43
3.3 Αποτελέσματα αναλύσεων	44
3.3.1 Αρνητικές ατέλειες (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)	44
3.3.2 Θετικές ατέλειες (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)	47
3.3.1 Αρνητικές ατέλειες με χιόνι (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)	50
3.3.2 Θετικές ατέλειες με χιόνι (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)	53

3.4	Επίλυση του χωροδικτύωματος με διαφορετικές συνθήκες στηρίζεως	56
3.4.1	Στατικό προσομοίωμα	56
3.4.2	Αποτελέσματα αναλύσεων	57
3.5	Κατανομή ράβδων με αστοχία	63
3.5.1	Ατέλειες μήκους στην άνω σχάρα	63
3.5.2	Ατέλειες μήκους στην κάτω σχάρα	64
3.5.3	Ατέλειες μήκους στις διαγώνιες ράβδους	65
3.6	Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα	67
4	ΧΩΡΟΔΙΚΤΥΩΜΑ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗΣ ΚΑΤΟΨΗΣ ΜΕ ΚΑΜΠΥΛΗ ΤΟΜΗ	69
4.1	Εισαγωγή	69
4.2	Φορτία χωροδικτύωματος με βάση τον ευρωκωδικά.1	69
4.3	Αποτελέσματα αναλύσεων	70
4.3.1	Αρνητικές ατέλειες (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)	70
4.3.2	Θετικές ατέλειες (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)	73
4.3.1	Αρνητικές ατέλειες με χιόνι (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)	76
4.3.2	Θετικές ατέλειες με χιόνι (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)	79
4.4	Κατανομή ράβδων με αστοχία	82
4.4.1	Ατέλειες μήκους στην άνω σχάρα	82
4.4.2	Ατέλειες μήκους στην κάτω σχάρα	83
4.4.3	Ατέλειες μήκους στις διαγώνιες ράβδους	84
4.5	Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα	85
5	ΧΩΡΟΔΙΚΤΥΩΜΑ ΜΗ ΚΑΝΟΝΙΚΗΣ ΚΑΤΟΨΗΣ	86
5.1	Εισαγωγή	86
5.2	Φορτία χωροδικτύωματος με βάση τον ευρωκωδικά.1	86
5.3	Αποτελέσματα αναλύσεων	87
5.3.1	Αρνητικές ατέλειες (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)	87
5.3.2	Θετικές ατέλειες (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)	90
5.3.1	Αρνητικές ατέλειες με χιόνι (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)	93
5.3.2	Θετικές ατέλειες με χιόνι (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)	96
5.4	Κατανομή ράβδων με αστοχία	99
5.4.1	Ατέλειες μήκους στην άνω σχάρα	99
5.4.2	Ατέλειες μήκους στην κάτω σχάρα	100
5.4.3	Ατέλειες μήκους στις διαγώνιες ράβδους	101
5.5	Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα	102
6	Γενικά Συμπεράσματα	103
7	Βιβλιογραφία	105

Επιρροή κατασκευαστικών ατελειών στη συμπεριφορά μεταλλικών χωροδικτυωμάτων

Κωνστάντιου Α. Κ. , Κωστόπουλος Β. Χ.
(Επιβλέπων: Βάγιας Ι.)

Περίληψη

Το δικτύωμα είναι σήμερα μια κοινή δομική μορφή που χρησιμοποιείται ευρέως στα έργα πολιτικού μηχανικού γεφυρώνοντας μεγάλα ανοίγματα. Η συγκεκριμένη εργασία ασχολείται με τις κατασκευαστικές ατέλειες που πιθανώς παρουσιάζονται στις χαλύβδινες ράβδους ενός χωροδικτυώματος και στην επίδραση που έχουν αυτές στη μετέπειτα συμπεριφορά της κατασκευής.

Στην παρούσα διπλωματική μελετήθηκαν τέσσερα διαφορετικά είδη χωροδικτυωμάτων με παρόμοιες διαστάσεις κατόψεως τα οποία διαστασιολογούνται υπό την επίδραση φορτίων σχεδιασμού και στη συνέχεια ελέγχονται υπό την παρουσία κατασκευαστικών ατελειών μήκους. Τα είδη των χωροδικτυωμάτων είναι: ένα χωροδικτύωμα ορθογωνικής κάτοψης με επίπεδες άνω και κάτω εσχάρες, ένα χωροδικτύωμα μη κανονικής κάτοψης με επίπεδες άνω και κάτω εσχάρες και δυο χωροδικτυώματα ορθογωνικής κάτοψης με καμπύλη τομή. Τα δύο από τα παραπάνω χωροδικτυώματα εξετάζονται με δυο διαφορετικές συνθήκες στήριξης το καθένα. Μετά τη μελέτη των χωροδικτυωμάτων εξάγονται συμπεράσματα τόσο για τη συμπεριφορά του κάθε χωροδικτυώματος ξεχωριστά όσο και συμπεράσματα που βοηθούν στη σύγκριση των χωροδικτυωμάτων μεταξύ τους.

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF STEEL STRUCTURES

DIPLOMA THESIS
EMK ΔΕ 2012/21

Influence of structural deficiencies on the response of steel trusses

Konstantiou L. K. , Kostopoulos B. C.
(supervised by Vayas I.)

Abstract

Truss is nowadays a common structural form used in civil engineering structures spanning long distances. This thesis examines the structural defects that may occur in steel members of truss structures and the influence they may have in the structures' performance.

In this diploma thesis, four different kind of trusses with similar dimensions of floorplans were investigated. They were designed under the influence of loads and they were checked under the presence of structural deficiencies. These four kinds of trusses are: one with rectangular floorplan with flat upper and lower grids, one with asymmetric floorplan with level upper and lower grids and two steel trusses with rectangular floorplan and curve cross section. After the research of these particular steel trusses, conclusions are extracted both from the response of each steel truss and the comparison between the different kind of steel trusses.

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στον καθηγητή κύριο Ιωάννη Βάγια, αφενός για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε με την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής στα πλαίσια του προπτυχιακού μαθήματος «σιδηρές κατασκευές», αφετέρου για την πολύτιμη βοήθειά του και το χρόνο που διέθεσε για τους όποιους προβληματισμούς κατά το διάστημα της διεκπεραίωσής της. Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κύριο Α. Κανελλόπουλο για τις χρήσιμες συμβουλές του. Τέλος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους γονείς μας και τους φίλους μας για τη βοήθεια και συμπαράστασή τους, ο καθένας με το δικό του τρόπο.

1 Εισαγωγή

1.1 Γενικά

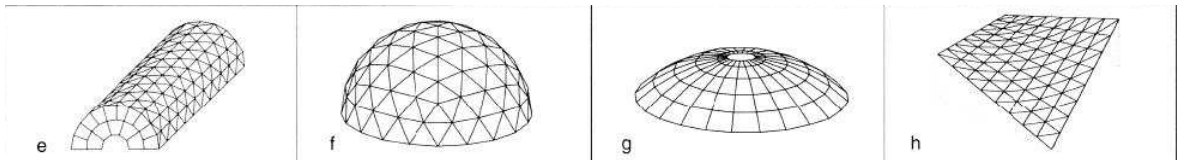
Τα δικτυώματα είναι ραβδωτοί φορείς με ευθύγραμμα μέλη, τα οποία θεωρούνται ότι συνδέονται με αρθρώσεις χωρίς τριβή. Επιπλέον τα δικτυώματα φορτίζονται με δυνάμεις που ασκούνται στους κόμβους τους. Το βάρος των μελών των δικτυωμάτων θεωρείται ότι ασκείται στους κόμβους αυτών. Επίσης θεωρείται ότι οι προεκτάσεις των κεντροβαρικών αξόνων των μελών που απολήγουν σε ένα κόμβο συναντιούνται σε ένα σημείο. Άρα θεωρείται ότι τα μέλη των δικτυωμάτων δεν υποβάλλονται σε καμπτικές ροπές στα άκρα τους ούτε σε κάποια ενδιάμεση θέση των μελών. Επομένως υποβάλλονται μόνο σε αξονικές δυνάμεις, οι οποίες προκαλούν μια ομοιόμορφη εντατική κατάσταση εφελκυσμού ή θλίψεως. Εντούτοις για λόγους οικονομίας και ευκολίας κατασκευής και ανεγέρσεως, τα μέλη των δικτυωμάτων δε συνδέονται με αρθρώσεις αλλά κοχλιώνονται ή συγκολλούνται μεταξύ τους. Αυτό γίνεται φανερό αν παρατηρήσουμε ότι εξαιτίας των επιβαλλόμενων φορτίων το μήκος των μελών ενός εξιδανικευμένου αρθρωτού δικτυώματος αλλάζει κατά ένα μικρό ποσοστό. Η αλλαγή αυτή προκαλεί μια μικρή αλλαγή της γωνίας μεταξύ των μελών του εξιδανικευμένου δικτυώματος. Σε ένα δικτύωμα με σχετικά δύσκαμπτους κόμβους, οι γωνίες μεταξύ των μελών δεν μπορούν να μεταβάλλονται ελεύθερα, όπως μπορούν στην περίπτωση ενός εξιδανικευμένου δικτυώματος και, επομένως, στα μελή του εμφανίζονται μικρές τιμές ροπών. Εντούτοις αν το χωροδικτύωμα έχει μελετηθεί και κατασκευαστεί σωστά, η αξονική συνιστώσα της τάσεως σε οποιαδήποτε μέλος του, η οποία προκύπτει από τις ροπές αυτές, είναι πολύ μικρή συγκριτικά με την ομοιόμορφη αξονική τάση που προκύπτει από την αξονική δύναμη στο μέλος αυτό. Για αυτό και η τάση στα μελή του δικτυώματος, η οποία προκύπτει από την κάμψη τους, ονομάζεται δευτερεύουσα κάμψη.

Τα δικτυώματα χρησιμοποιούνται ευρέως λόγω των πλεονεκτημάτων τους έναντι των ολόσωμων φορέων. Τα δικτυώματα έχουν μικρό ίδιο βάρος. Το μικρό βάρος είναι πλεονέκτημα για την ανέγερση, αφού η ανύψωση στη θέση συναρμολόγησης επί τόπου μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας μηχανήματα μικρής ανυψωτικής ικανότητας. Τα δικτυώματα έχουν όμως αυξημένο κόστος κατασκευής και συντήρησης και μπορούν να γίνουν εκμεταλλεύσιμα οικονομικά με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή, με σωστή διαχείριση και προγραμματισμό των εργασιών. Ιδιαίτερα αυτό μπορεί να γίνει με τρισδιάστατους ραβδωτούς φορείς για τους οποίους είναι διαθέσιμα προγράμματα υπολογιστικά και βελτιστοποίησης.

1.2 Μορφή δικτυώματος

1.2.1 Στρώμα ενιαίας δομής

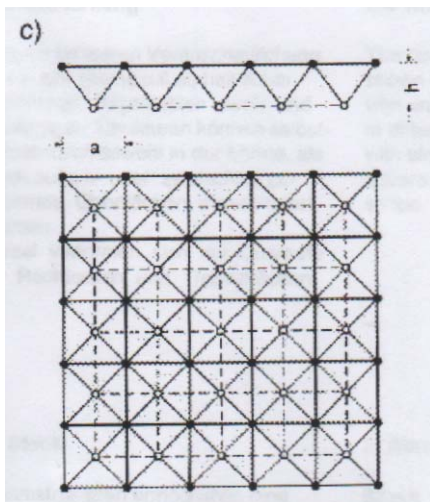
Είναι πλέγματα της μορφής του πίνακα 1.2.1



Πινάκας 1.2.1

Αν μια επιφάνεια έχει μια επαρκή διπλή καμπυλότητα τότε τριγωνικά πλέγματα δημιουργούν άκαμπτες υποστηρικτικές κατασκευές ακόμα και όταν έχουν άπλες συνδέσεις. Τετράπλευρα πλέγματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως άκαμπτες δομές μόνο ένα έχουν κόμβους-μέλη ανθεκτικά στην κάμψη

1.2.2 Στρώμα διπλής στρώσης



Πινάκας 1.2.2

1.2.3 Στρώμα τριπλής στρώσης



Πινάκες 1.2.3

Το τριπλό στρώμα δικτύου χρησιμοποιείται για κατασκευές μεγάλου ανοίγματος και επιτυγχάνεται με την προσθήκη ενός τρίτου πλέγματος. Λόγω του μικρού μεγέθους των δυνάμεων στο πλέγμα του μεσαίου επιπέδου μπορεί να κατασκευαστεί ως ένα αραιό πλέγμα.

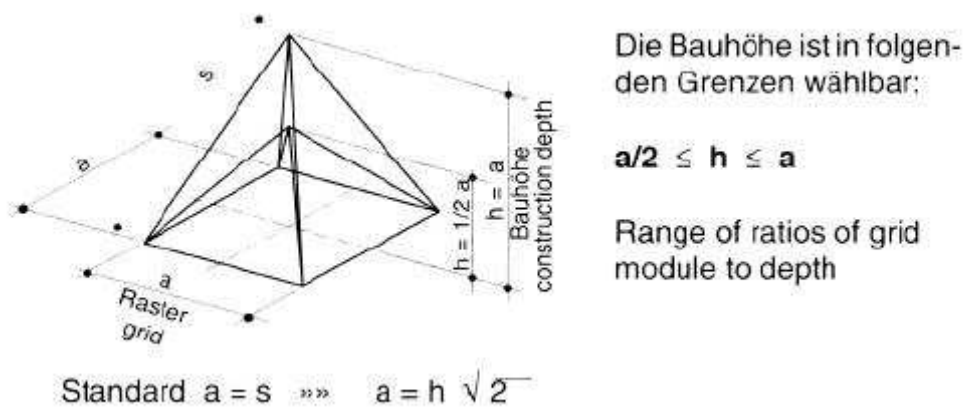
1.3 Ύψη χωροδικτυωμάτων

Ένα από τα πιο δύσκολα προβλήματα της μελέτης είναι ο προσδιορισμός του ύψους του χωροδικτυώματος. Οι δυνάμεις των μελών που προκαλούνται από την εξωτερική φόρτιση εξαρτώνται από τις διαστάσεις, συμπεριλαμβανομένου και του ύψους (h) του δικτυώματος.

Παρατίθεται παρακάτω ο πίνακας 1.3.1 προδιαγραφών και το σχήμα 1.3.2 της εταιρίας mero για τον προσδιορισμό της ακμής (a) του δικτυώματος όπως επίσης και του ύψους του (h).

Πίνακας 1.3.1: Πίνακας προσδιορισμού ακμής δικτυώματος

ΑΝΟΙΓΜΑ	ΠΛΕΓΜΑ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ	ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΥΨΟΣ
0 - 15.0	2.0 - 3.0	2	1.0 - 1.5
15.0 - 27.5	2.4 - 3.0	2	1.5 - 2.1
27.5 - 36.0	2.4 - 3.6	2	2.1 - 3.0
36.0 - 50.0	3.0 - 4.0	2	2.5 - 4.0
50.0 - 80.0	3.6 - 5.0	2	3.0 - 5.0
80.0 - 150.0	4.0 - 6.0	3	4.2 - 10.0



Σχήμα 1.3.2: Προσδιορισμός ακμής δικτυώματος

1.4 Ζητήματα σχεδιασμού

1.4.1 Κρίσιμα φορτία

Το κρίσιμο φορτίο είναι να προβλεφτεί η δύναμη που αναπτύσσει ένα μέλος του φορέα. Η φορά του και η τιμή της δύναμης που αναπτύσσεται σε κάθε μέλος εξαρτάται από τις συνθήκες φόρτισης ολόκληρου του χωροδικτυώματος. Είναι, λοιπόν, απαραίτητο

να εξεταστούν όλες οι δυνατές συνθήκες φόρτισης, ώστε το εκάστοτε μέλος να διαστασιοποιηθεί με τη μέγιστη πιθανή δύναμη. Οι απαιτούμενες διαστάσεις ενός μέλους που υπόκειται σε εφελκυσμό, εξαρτώνται από το μέτρο της ελκυστικής δύναμης και από την επιτρεπόμενη τάση του υλικού που χρησιμοποιήθηκε και προκύπτουν από την εφαρμογή της σχέσης : $\text{εμβαδό} = \text{εφελκυστική δύναμη} / \text{επιτρεπόμενη τάση}$.

Για τα θλιβόμενα μέλη εκτός από τον παραπάνω έλεγχο είναι απαραίτητοι και επιπλέον έλεγχοι για αποφυγή φαινομένων λογισμού, που συμβαίνουν κυρίως σε μέλη μεγάλου μήκους, όταν η θλιπτική δύναμη υπερβεί το κρίσιμο φορτίο του λογισμού.

1.5 Σκοπός και πορεία επίλυσης διπλωματικής εργασίας

1.5.1 Σκοπός

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζονται τέσσερα διαφορετικά είδη χώρο δικτυωμάτων και γίνεται προσπάθεια διερεύνησης της επιρροής κατασκευαστικών ατελειών μήκους στην συμπεριφορά τους.

1.5.2 Πορεία διπλωματικής

Αρχικά, επιλέγονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά κάθε χωροδικτύωματος, με βάση τις προδιαγραφές που αναφέρονται νωρίτερα στο κεφάλαιο, με μέριμνα ώστε τα χωροδικτύωματα να έχουν ίδιες διαστάσεις κατόψεως για να καταστεί δυνατή η σύγκριση των διαφόρων τύπων δικτυωμάτων που μελετήθηκαν. Στη συνέχεια προσδιορίζεται το φορτίο σχεδιασμού για κάθε μέλος του χωροδικτύωματος με βάση τις φορτίσεις και τους συνδυασμούς που προκύπτουν από αυτές στις οριακές καταστάσεις αστοχίας και λειτουργικότητας σύμφωνα με τον ευρωκώδικα EC1. Οι φορτίσεις παρουσιάζονται στη μελέτη κάθε δικτύωματος ξεχωριστά στα επόμενα κεφάλαια.

Με βάση τις περιβάλλουσες των φορτίσεων από τους παραπάνω σχεδιασμούς γίνεται η διαστασιολόγηση κάθε μέλους, με την πλέον μικρότερη από τις πρότυπες κυκλικές διατομές ROR που επαρκεί, ώστε ο συντελεστής εκμετάλλευσης του κάθε μέλους να πλησιάζει τη μονάδα. Στον διαστασιολογημένο πλέον φορέα, προστίθενται κατασκευαστικές ατέλειες μήκους με ανηγμένη παραμόρφωση της τάξεως του 1% του αρχικού μήκους της ράβδου, θετικές και αρνητικές, σε 1,2,3,5 και 8 ράβδους διαδοχικά που επιλέγονται με βάση τα εντατικά τους μεγέθη, τόσο από την κάτω σχάρα όσο και από την πάνω σχάρα και τις διαγώνιες ράβδους.

Ακολούθως, δημιουργούνται πρόσθετοι συνδυασμοί φορτίσεως, στους οποίους περιλαμβάνονται τα μόνιμα βάρη του δικτύωματος με συντελεστή μονάδα και οι κατασκευαστικές ατέλειες των μελών με εύρος τιμών που ξεκινάει με συντελεστή 0.1 του αρχικού και εκτείνεται μέχρι το συντελεστή 1.00. Επίσης δημιουργούνται και συνδυασμοί οι οποίοι περιλαμβάνουν εκτός από τα παραπάνω και το ομοιόμορφο φορτίο του χιονιού με συντελεστή μονάδα.

Τέλος με βάση τους παραπάνω συνδυασμούς επανεπιλύεται ο φορέας, καταγράφονται οι αστοχίες που προκαλούνται στα μέλη του και εξάγονται συμπεράσματα.

Στα κεφάλαια 2-5 αναλύονται τα τέσσερα δικτύωματα και εξάγονται συμπεράσματα για το κάθε δικτύωμα. Στο κεφάλαιο 6 καταγράφονται τα συνολικά συγκριτικά συμπεράσματα και τέλος, στο κεφάλαιο 7 παρατίθεται η βιβλιογραφία.

1.6 Πρόγραμμα STATIK 5

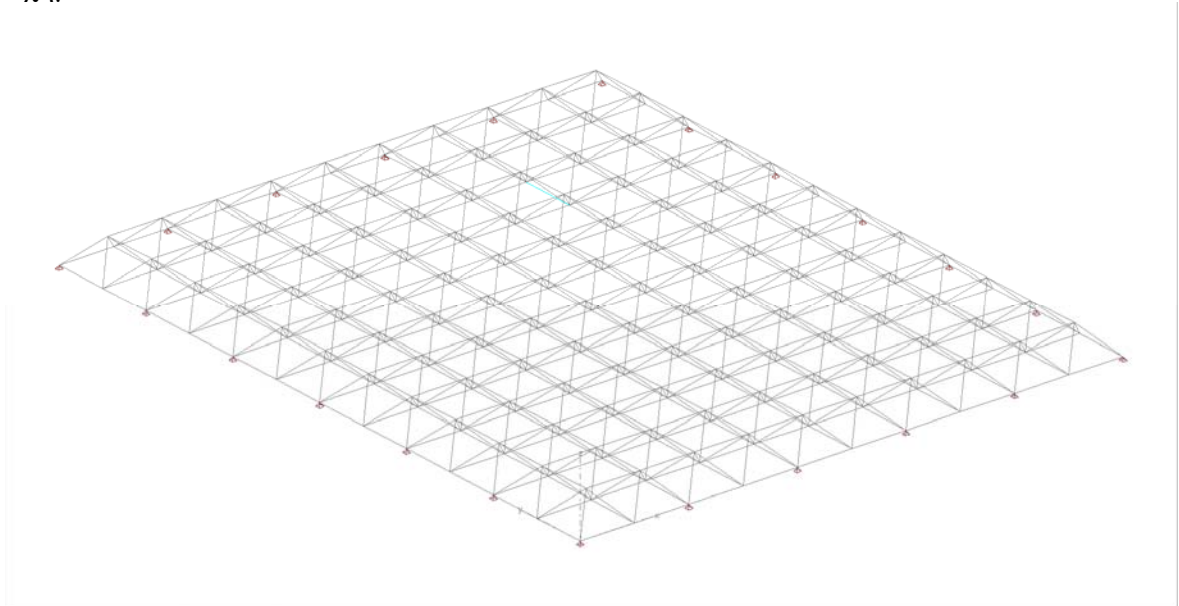
Το STATIK-5 είναι ένα πρόγραμμα για τη γραμμική-ελαστική ανάλυση επίπεδων και χωρικών ραβδωτών φορέων γενικής μορφής κατά τη θεωρία της πρώτης τάξεως και χαρακτηρίζεται από την απλότητα του χειρισμού του, παρά τις πολλαπλές δυνατότητες του στη δημιουργία του στατικού μοντέλου και την περαιτέρω αξιοποίηση (μετεπεξεργασία) των αποτελεσμάτων.

Το πρόγραμμα είναι δομημένο από επιμέρους προγράμματα. Στο βασικό πρόγραμμα περιλαμβάνονται: υπολογισμός πλαισίων κατά τη θεωρία της πρώτης και της δεύτερης τάξεως, δεσμεύσεις κόμβων, υποστήριξη φάσεων κατασκευής πρόγραμμα έλεγχου διαστασιολόγησης διατομών. Επίσης προσφέρεται και το ακόλουθο συμπληρωματικό πρόγραμμα για τον έλεγχο / διαστασιολόγηση μεταλλικών κατασκευών STAHL βάσει του ευρωκώδικα EC3.

2 ΧΩΡΟΔΙΚΤΥΩΜΑ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗΣ ΚΑΤΟΨΗΣ ΜΕ ΕΠΙΠΕΔΕΣ ΕΣΧΑΡΕΣ

2.1 Εισαγωγή

Σχήμα 2.1



Κατασκευή: οι διαστάσεις του χωροδικτύωματος είναι: $L_x=50.0$, $L_y=60.00m$
Το μήκος των ράβδων είναι $5.00m$ στις άνω και κάτω εσχάρες $L_{\text{διαγωνίων}}=3.54m$
Το ύψος h καθορίστηκε με βάση τις κατασκευαστικές απαιτήσεις των προτύπων της εταιρίας Mero ως εξής:

$$\frac{a}{2} \leq h \leq a \quad (2.1)$$

- Από την εξίσωση (1.1) προκύπτει για ακμή $a=5.00m$ το ύψος $h=2.50m$.
- *Πρώτη περίπτωση συνθηκών στήριξης:* Τίθενται περιμετρικές στηρίξεις ανά $10.00m$. Πρόκειται για αρθρώσεις που απαγορεύουν την κίνηση και κατά τους τρεις άξονες. Ο αριθμός των ράβδων του χωροδικτύωματος είναι 955.

2.2 Φορτία χωροδικτύωματος με βάση τον ευρωκωδικα.1

2.2.1 Ίδιο βάρος μελών

Το ίδιο βάρος των ράβδων υπολογίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα με επιτάχυνση βαρύτητας $g=10.00m/sec^2$

2.2.2 Επικαλύψεις-μηχανολογικά φορτία

Το φορτίο αυτό έχει την τιμή $P = 0.2 KN/m^2$ και έχει φορά κατακόρυφη. Ασκείται στα τέσσερα μέτωπα και στην επάνω εσχάρα του δικτύωματος.

2.2.3 Φορτία χιονιού

Το φορτίο χιονιού υπολογίζεται ως εξής σύμφωνα με τον Ιωάννη Χ. Ερμόπουλος (2005) από τη σχέση :

$$s = \mu_i C_e C_t s_k, \quad (2.2)$$

Όπου:

μ_i ο συντελεστής μορφής φορτίου χιονιού και λαμβάνεται ίσος με 0.8
 s_k είναι η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού επί του εδάφους και προκύπτει από τη σχέση :

$$s_k = s_{k,0} \left(1 + \left(\frac{A}{0.17} \right)^2 \right), \quad (2.3)$$

και προκύπτει για ζώνη II $s_{k,0} = 1.7 KN/m^2$ και για υψόμετρο $A = 50m$ $s_k = 2.2 KN/m^2$

C_e είναι ο συντελεστής έκθεσης, ο οποίος για κανονικές συνθήκες λαμβάνεται ίσος με τη μονάδα

C_t είναι ο θερμικός συντελεστής ο οποίος είναι ίσος με τη μονάδα για κανονικές συνθήκες μόνωσης της στέγης

Τελικά προκύπτει ότι το $s = 1.4 KN/m^2$. Συνεπώς τοποθετούμε φορτίο κατακόρυφο σε όλα τα μέτωπα και στην πάνω εσχάρα $1.4 KN/m^2$ το οποίο είναι και υπέρ της ασφαλείας καθότι στα μέτωπα το φορτίο που έπρεπε να τοποθετήσουμε σύμφωνα με των ευρωκώδικα είναι μικρότερο.

2.2.4 Υποχωρήσεις στηρίξεων

Τίθενται υποχωρήσεις κάποιων στηρίξεων της τάξεως των 20 mm.

2.2.5 Φορτία λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών

Τέτοιου είδους ένταση αναπτύσσεται στα εξωτερικά μέλη τα οποία έχουν διαφορά θερμοκρασίας στις εξωτερικές και στις εσωτερικές ίνες τους. Η θερμοκρασία των εσωτερικών ινών τίθεται $T_0 = 20^{\circ}\text{C}$ (θερμοκρασία κατασκευής)

$$\Delta T = \frac{T^+ + T^-}{2} - T_0, \quad (2.4)$$

Και η αξονική παραμόρφωση:

$$\delta_{αξον} = \alpha \Delta T l, \quad (2.5)$$

$$\text{όπου } \alpha = 10^{-5}$$

2.2.5.1 Χειμώνας εξωτερική θερμοκρασία $T = -5^{\circ}\text{C}$

Προκύπτει από την προηγούμενη σχέση $\Delta T = -12.5^{\circ}\text{C}$. Συνεπώς η αξονική βράχυνση προκύπτει $\delta_{αξον} = 0,0125\%$

2.2.5.2 Καλοκαίρι εξωτερική θερμοκρασία 60°C

Σε αυτή την περίπτωση προκύπτει $\Delta T = 20^{\circ}\text{C}$. Και η αξονική παραμόρφωση $\delta_{αξον} = 0.02\%$

2.2.6 Φορτία ανέμου

Από τη σχέση του ευρωκώδικα 1:

$$q_p(z) = [1 + 7I_v(z)] 0.5 p V_m^2(z), \quad (2.6)$$

Υπολογίζεται η αντίσταση $q_p(z) = 1.6 \text{ kN/m}^2$ για ύψος κτηρίου $h = 10 \text{ m}$ και $h_p = 2.5 \text{ m}$. Με βάση τους συντελεστές λαμβάνεται:

- Για τις κύριες διευθύνσεις $q_{x,y} = 1.4 \text{ kN/m}^2$ και $q_{x,y} = 0.5 \text{ kN/m}^2$.
- Για τις άλλες δυο επιφάνειες που βρίσκονται στην άλλη διεύθυνση λαμβάνουμε μια μέση τιμή $q_{δεντ} = 0.6 \text{ kN/m}^2$.
- Για την άνω σχάρα του δικτυώματος λαμβάνουμε $q_{οροφης} = 0.7 \text{ kN/m}^2$.

Η εσωτερικές ανεμοπιέσεις τοποθετούνται ως ξεχωριστό φορτίο στα μέτωπα και στην άνω σχάρα με φορά κάθετη στην επιφάνεια και τιμή $q = 1 \text{ kN/m}^2$

2.3 Διαδικασία διαστασιολόγησης χωροδικτυώματος και μόρφωση συνδυασμών ελέγχου

Στη συνέχεια, και αφού έχουν καθοριστεί τα φορτία σχεδιασμού, τοποθετούνται ενδεικτικά στο πρόγραμμα STATIK, οι μικρότερες, εκ των προτύπων, διατομές ROR 21/3. Το παραπάνω γίνεται γιατί στο συγκεκριμένο στατικό πρόγραμμα, υπάρχει δυνατότητα αλλαγής της διατομής εάν αυτή τελικά δεν επαρκεί στα φορτία σχεδιασμού, πάντα με την μεγαλύτερη. Εάν κάποια διατομή είναι υπερδιαστασιολογημένη, δεν αλλάζει κατά τη διαδικασία της διαστασιολόγησης. Στην παρούσα διπλωματική είναι απαραίτητο το σύνολο των διατομών να έχουν ποσοστό εκμετάλλευσης 100%, ώστε τα αποτελέσματα να είναι πιο ευκρινή. Στη συνέχεια με συνδυασμούς που προκύπτουν από τα παραπάνω φορτία, σύμφωνα με τον ευρωκώδικα και με διαδοχικές επιλύσεις και επαναδιαστασιολογήσεις προκύπτει η τελική διαστασιολόγηση του φορέα.

Μετά το πέρας της διαστασιολόγησης επιλέγονται οι μεγαλύτερες διατομές, γιατί σε αυτές παρουσιάζονται τα μεγαλύτερα εντατικά μεγέθη, και εισάγονται σε αυτές ατέλειες μήκους. Εισάγονται διαδοχικά 1,2,3,5 και 8 ράβδοι με ατέλειες και εξετάζονται συνδυασμοί, που περιλαμβάνουν τα μόνιμα φόρτια και τις ατέλειες, με σταδιακά αυξανόμενο μέγεθος ατέλειας από 0.1‰ μέχρι 1‰ με βήμα 0.1‰. Τα παραπάνω ποσοστά είναι ανηγμένες παραμορφώσεις της κάθε ράβδου και προκύπτουν από τον τύπο $\varepsilon = \Delta l / l$, όπου Δl η διαφορά μήκους και l το αρχικό μήκος της ράβδου. Εξετάζονται ατέλειες σε 3 διαφορετικές περιπτώσεις.

1. Ατέλειες στην άνω σχάρα.
2. Ατέλειες στην κάτω σχάρα.
3. Ατέλειες στις διαγώνιες ράβδους.

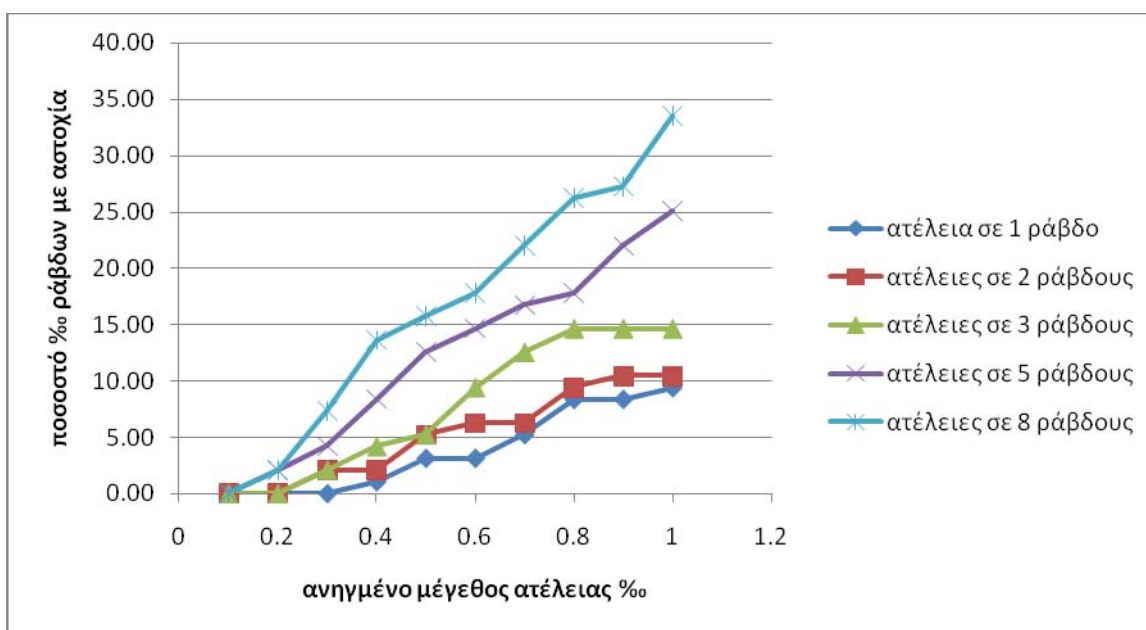
2.4 Αποτελέσματα αναλύσεων

2.4.1 Αρνητικές ατέλειες (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

2.4.1.1 Άνω σχάρα

Πίνακας 2.1: Ατέλειες στην άνω σχάρα (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	2.09	2.09
0.3	0.00	2.09	2.09	4.19	7.33
0.4	1.05	2.09	4.19	8.38	13.61
0.5	3.14	5.24	5.24	12.56	15.71
0.6	3.14	6.28	9.42	14.66	17.80
0.7	5.24	6.28	12.56	16.75	21.99
0.8	8.38	9.42	14.66	17.80	26.18
0.9	8.38	10.47	14.66	21.99	27.22
1	9.42	10.47	14.66	25.13	33.50

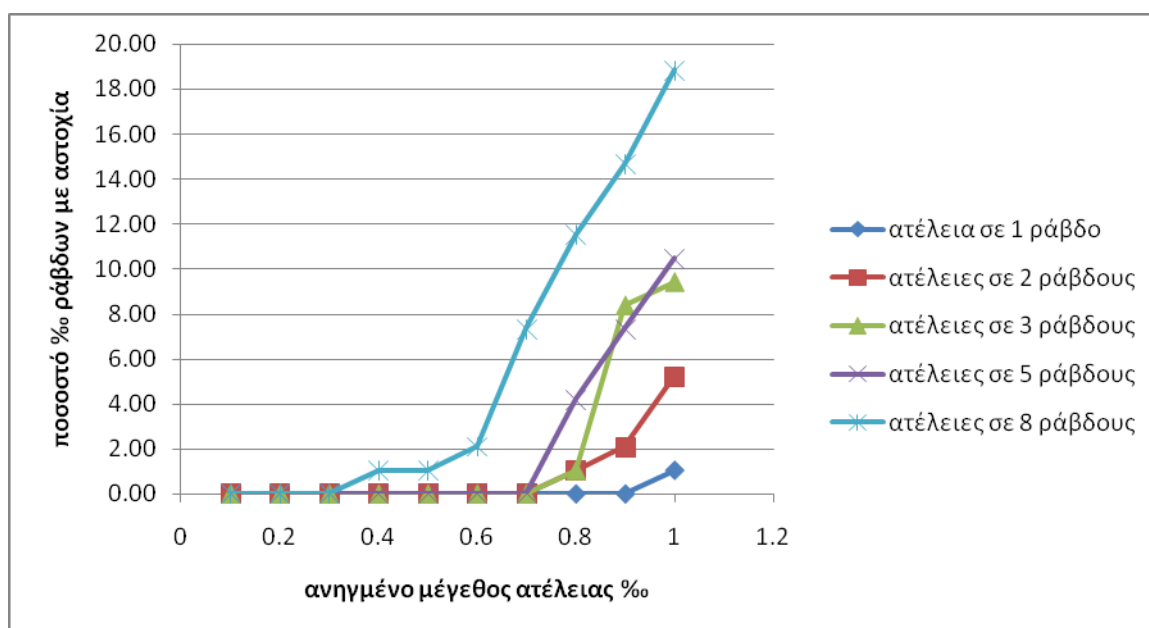


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.1%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το σημείο από το οποίο ξεκινούν να αυξάνονται εμφανώς οι αστοχίες φαίνεται να είναι για ατέλειες της τάξης του 0.4%. Από το συγκεκριμένο μέγεθος με περαιτέρω αύξηση του μεγέθους ατέλειας φαίνεται καθαρά ότι με προσθήκη επιπλέον ατελειών προκαλούνται όλο και περισσότερες αστοχίες.

2.4.1.2 Κάτω σχάρα

Πίνακας 2.2: Ατέλειες στην κάτω σχάρα (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος</u> <u>ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05
0.5	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05
0.6	0.00	0.00	0.00	0.00	2.09
0.7	0.00	0.00	0.00	0.00	7.33
0.8	0.00	1.05	1.05	4.19	11.52
0.9	0.00	2.09	8.38	7.33	14.66
1	1.05	5.24	9.42	10.47	18.85

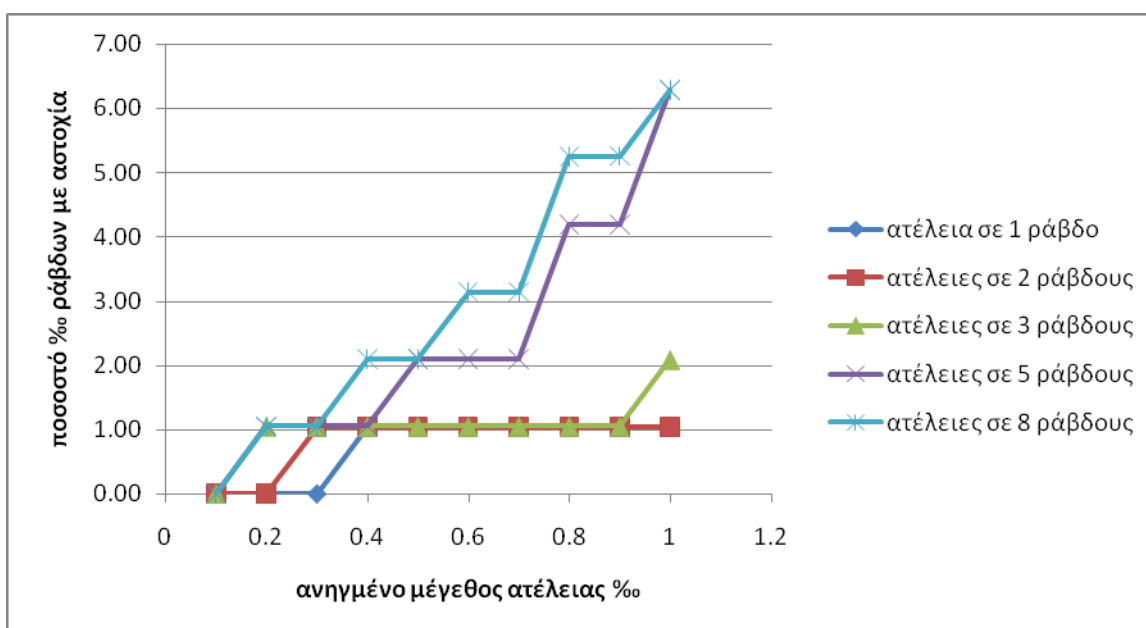


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.3%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, δηλαδή για ράβδους με μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο στην κάτω σχάρα, ο φορέας δεν παρουσιάζει καμία ευαισθησία για ατέλειες μέχρι και σε 5 ράβδους, μέχρι μεγέθους ατέλειας της τάξης του 0.7%. Με αύξηση των ράβδων με ατέλεια στις 8 και με αύξηση του μεγέθους της ατέλειας παρατηρούνται οι πρώτες αξιόλογες αστοχίες. Μάλιστα με δατέλειες της τάξης του 1% προκαλούνται αστοχίες στο 18.85% των συνολικών ράβδων του φορέα.

2.4.1.3 Διαγώνιες ράβδοι

Πίνακας 2.3: Ατέλειες στις διαγώνιες (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	<u>ατέλεια σε 1 ράβδο</u>	<u>ατέλειες σε 2 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 3 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 5 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 8 ράβδους</u>
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	1.05	1.05	1.05
0.3	0.00	1.05	1.05	1.05	1.05
0.4	1.05	1.05	1.05	1.05	2.09
0.5	1.05	1.05	1.05	2.09	2.09
0.6	1.05	1.05	1.05	2.09	3.14
0.7	1.05	1.05	1.05	2.09	3.14
0.8	1.05	1.05	1.05	4.19	5.24
0.9	1.05	1.05	1.05	4.19	5.25
1	1.05	1.05	2.09	6.28	6.28



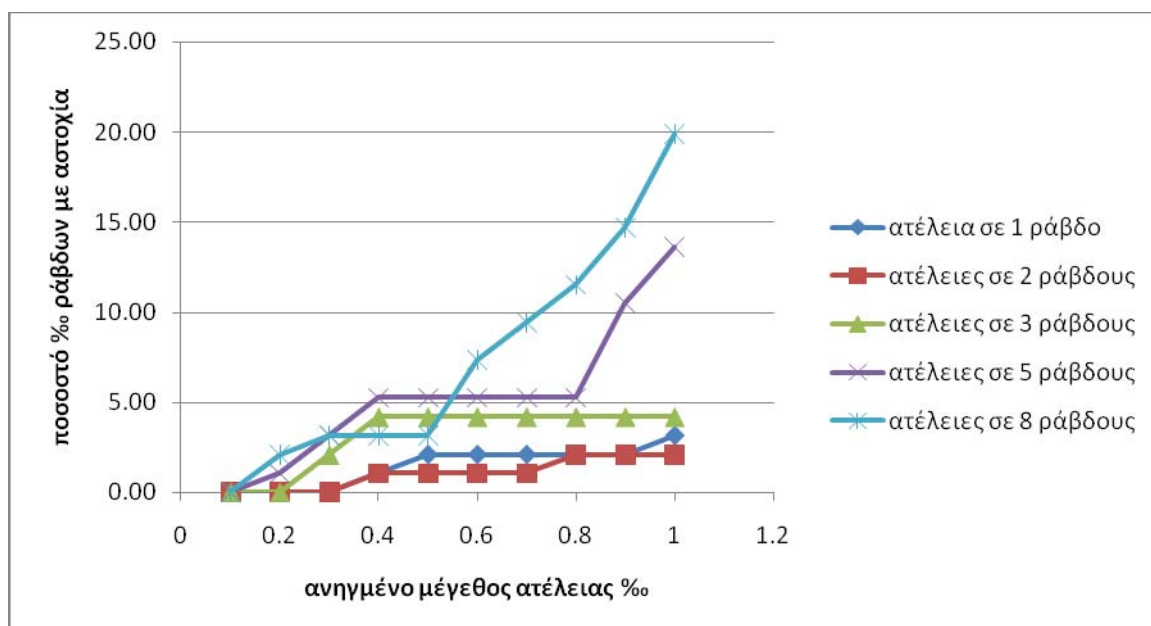
Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.1%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Ο φορέας δεν φαίνεται να είναι ευαίσθητος όταν οι ατέλειες βρίσκονται στις διαγώνιες ράβδους και για ατέλειες μήκους σε 8 ράβδους της τάξης του 1%, προκαλούνται αστοχίες μόλις στο 6.28% του συνόλου των ράβδων.

2.4.2 Θετικές ατέλειες (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

2.4.2.1 Άνω σχάρα

Πίνακας 2.4: Ατέλειες στην άνω σχάρα (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	1.05	2.09
0.3	0.00	0.00	2.09	3.14	3.14
0.4	1.05	1.05	4.19	5.24	3.14
0.5	2.09	1.05	4.19	5.24	3.14
0.6	2.09	1.05	4.19	5.24	7.33
0.7	2.09	1.05	4.19	5.24	9.42
0.8	2.09	2.09	4.19	5.24	11.52
0.9	2.09	2.09	4.19	10.47	14.66
1	3.14	2.09	4.19	13.61	19.89

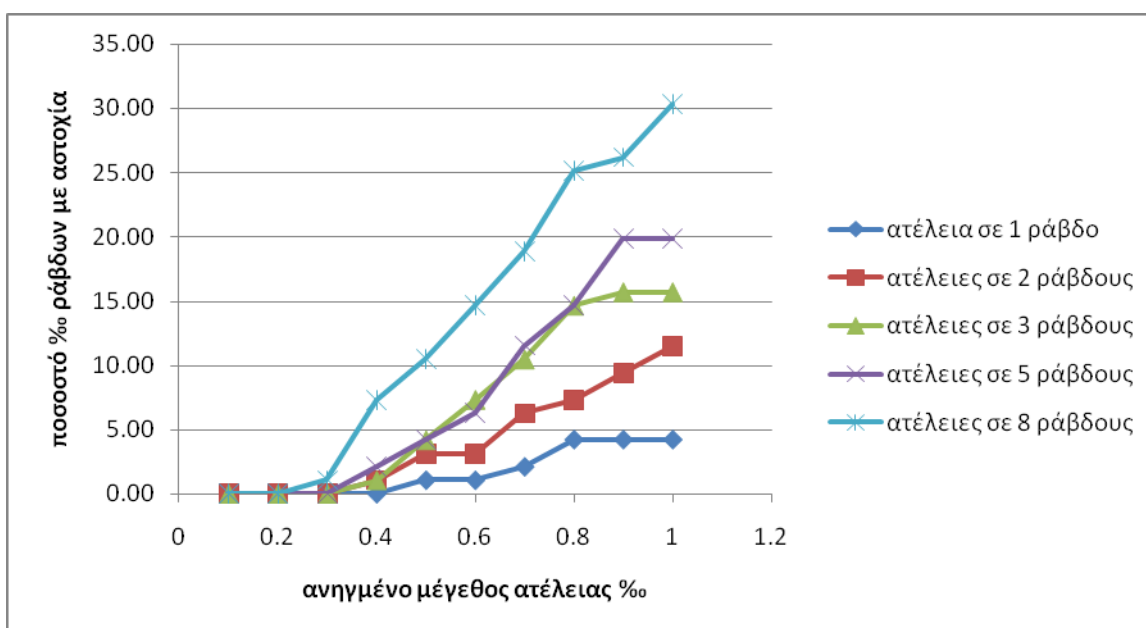


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.1%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το σημείο από το οποίο ξεκινούν να αυξάνονται εμφανώς οι αστοχίες φαίνεται να είναι για ατέλειες της τάξης του 0.6% όταν υπάρχουν τουλάχιστον 5 ράβδοι με ατέλεια.

2.4.2.2 Κάτω σχάρα

Πίνακας 2.5: Ατέλειες στην κάτω σχάρα (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05
0.4	0.00	1.05	1.05	2.09	7.33
0.5	1.05	3.14	4.19	4.19	10.47
0.6	1.05	3.14	7.33	6.28	14.66
0.7	2.09	6.28	10.47	11.52	18.85
0.8	4.19	7.33	14.66	14.66	25.13
0.9	4.19	9.42	15.71	19.89	26.18
1	4.19	11.52	15.71	19.89	30.36

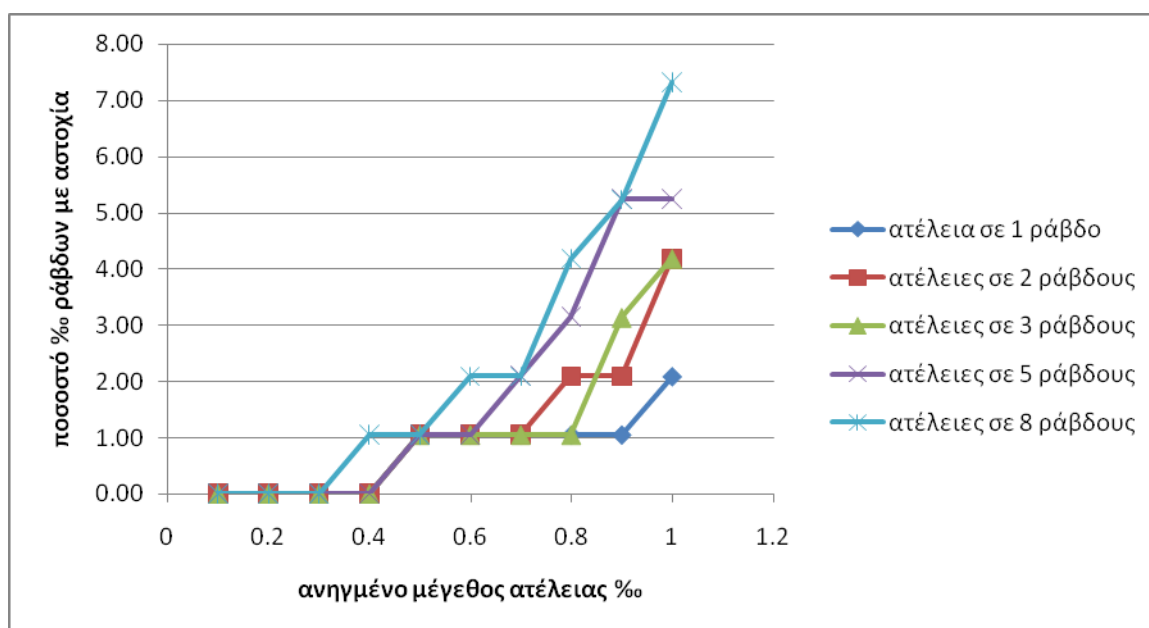


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.2%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το σημείο από το οποίο ξεκινούν να αυξάνονται εμφανώς οι αστοχίες φαίνεται να είναι για ατέλειες της τάξης του 0.4%. Από το συγκεκριμένο μέγεθος με περαιτέρω αύξηση του μεγέθους ατέλειας φαίνεται καθαρά ότι με προσθήκη επιπλέον ατελειών προκαλούνται όλο και περισσότερες αστοχίες.

2.4.2.3 Διαγώνιες ράβδοι

Πίνακας 2.6: Ατέλειες στις διαγώνιες (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος</u> <u>ατέλειας ‰</u>	<u>ποσοστό ‰ ράβδων με αστοχία</u>				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05
0.5	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
0.6	1.05	1.05	1.05	1.05	2.09
0.7	1.05	1.05	1.05	2.09	2.09
0.8	1.05	2.09	1.05	3.14	4.19
0.9	1.05	2.09	3.14	5.24	5.24
1	2.09	4.19	4.19	5.24	7.33



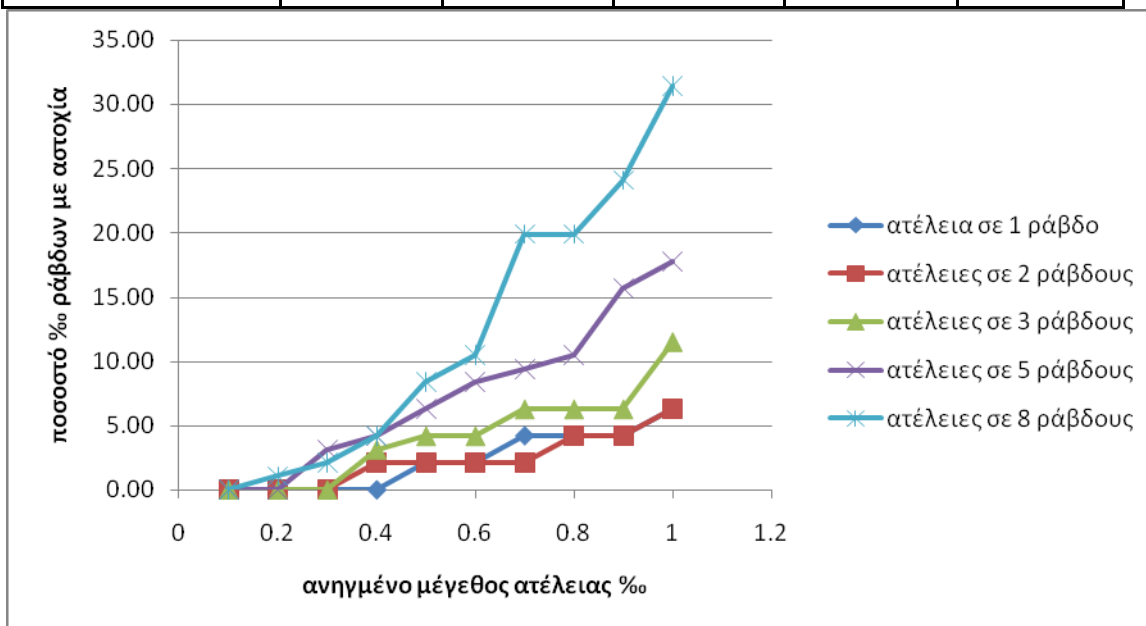
Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.3‰, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Ο φορέας δεν φαίνεται να είναι ευαίσθητος όταν οι ατέλειες βρίσκονται στις διαγώνιες ράβδους και για ατέλειες μήκους σε 8 ράβδους της τάξης του 1‰, προκαλούνται αστοχίες μόλις στο 7.33‰ του συνόλου των ράβδων.

2.4.3 Αρνητικές ατέλειες με χιόνι (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

2.4.3.1 Άνω σχάρα

Πίνακας 2.7: Ατέλειες στην άνω σχάρα (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος</u> <u>ατέλειας ‰</u>	<u>ποσοστό ‰ ράβδων με αστοχία</u>				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05
0.3	0.00	0.00	0.00	3.14	2.09
0.4	0.00	2.09	3.14	4.19	4.19
0.5	2.09	2.09	4.19	6.28	8.38
0.6	2.09	2.09	4.19	8.38	10.47
0.7	4.19	2.09	6.28	9.42	19.89
0.8	4.19	4.19	6.28	10.47	19.89
0.9	4.19	4.19	6.28	15.71	24.08
1	6.28	6.28	11.52	17.80	31.41

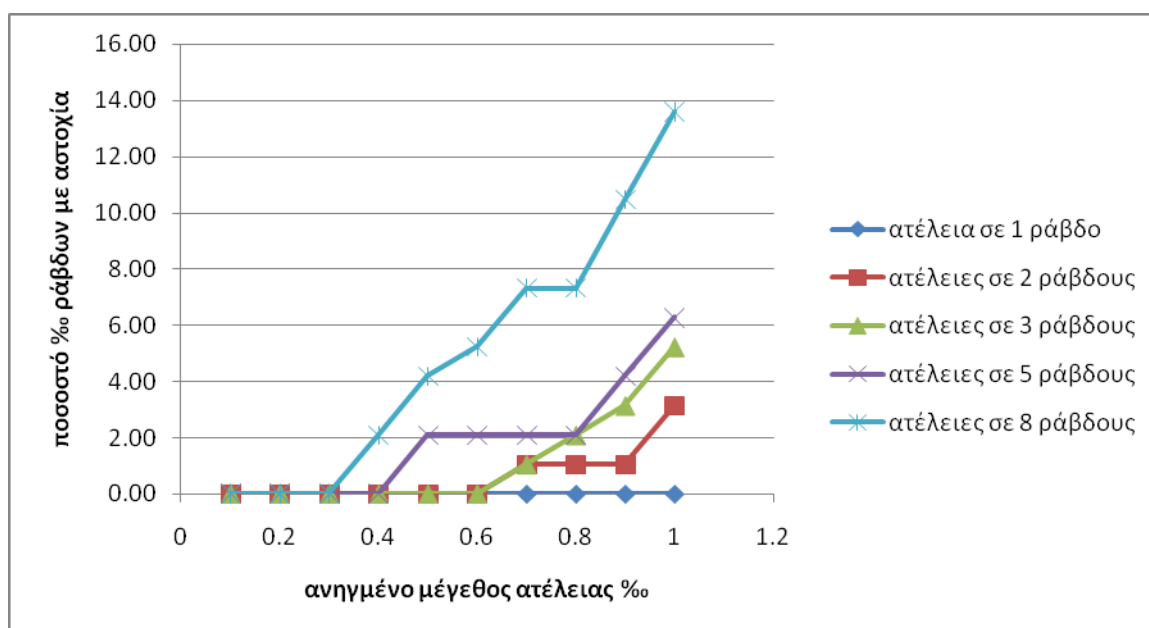


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.1‰, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το σημείο από το οποίο ξεκινούν να αυξάνονται εμφανώς οι αστοχίες φαίνεται να είναι για ατέλειες της τάξης του 0.4‰. Από το συγκεκριμένο μέγεθος με περαιτέρω αύξηση του μεγέθους ατέλειας φαίνεται καθαρά ότι με προσθήκη επιπλέον ατελειών προκαλούνται όλο και περισσότερες αστοχίες. Η προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού δεν φαίνεται να επηρεάζει τη συμπεριφορά του φορέα.

2.4.3.2 Κάτω σχάρα

Πίνακας 2.8: Ατέλειες στην κάτω σχάρα (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος</u> <u>ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	2.09
0.5	0.00	0.00	0.00	2.09	4.19
0.6	0.00	0.00	0.00	2.09	5.24
0.7	0.00	1.05	1.05	2.09	7.33
0.8	0.00	1.05	2.09	2.09	7.33
0.9	0.00	1.05	3.14	4.19	10.47
1	0.00	3.14	5.24	6.28	13.61

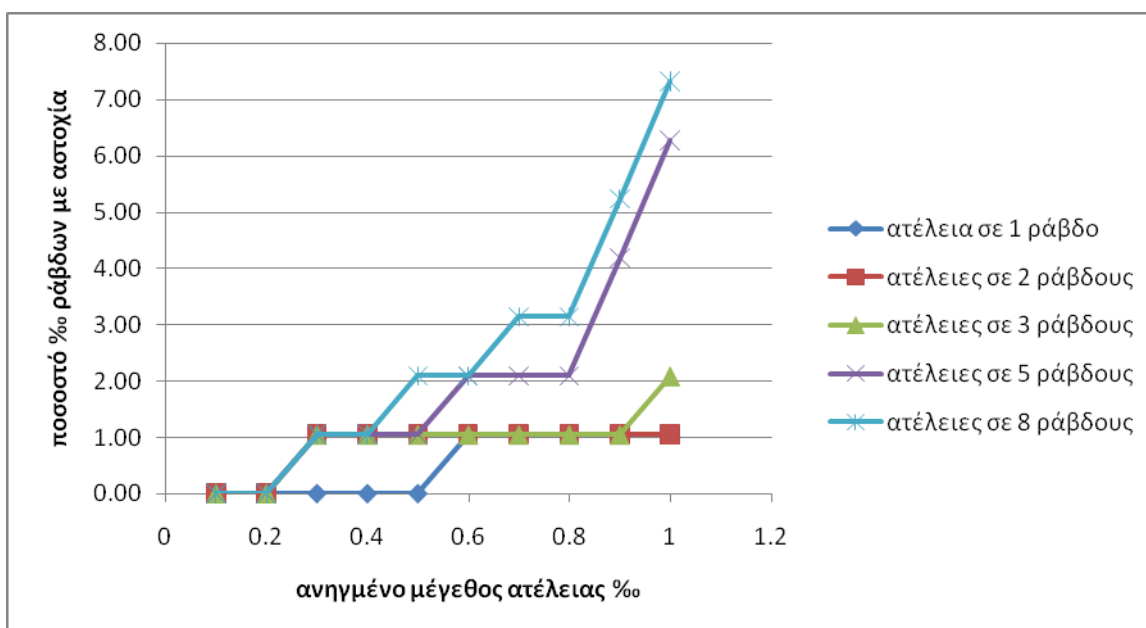


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.3%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, δηλαδή για ράβδους με μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο στην κάτω σχάρα, ο φορέας δεν παρουσιάζει καμία ευαισθησία για ατέλειες μέχρι και σε 5 ράβδους, μέχρι μεγέθους ατέλειας της τάξης του 0.7%. Με αύξηση των ράβδων με ατέλεια στις 8 και με αύξηση του μεγέθους της ατέλειας παρατηρούνται οι πρώτες αξιόλογες αστοχίες. Η προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού δεν φαίνεται να επηρεάζει τη συμπεριφορά του φορέα.

2.4.3.3 Διαγώνιες ράβδοι

Πίνακας 2.9: Ατέλειες στις διαγώνιες (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	<u>ατέλεια σε 1 ράβδο</u>	<u>ατέλειες σε 2 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 3 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 5 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 8 ράβδους</u>
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	1.05	1.05	1.05	1.05
0.4	0.00	1.05	1.05	1.05	1.05
0.5	0.00	1.05	1.05	1.05	2.09
0.6	1.05	1.05	1.05	2.09	2.09
0.7	1.05	1.05	1.05	2.09	3.14
0.8	1.05	1.05	1.05	2.09	3.14
0.9	1.05	1.05	1.05	4.19	5.24
1	1.05	1.05	2.09	6.28	7.33



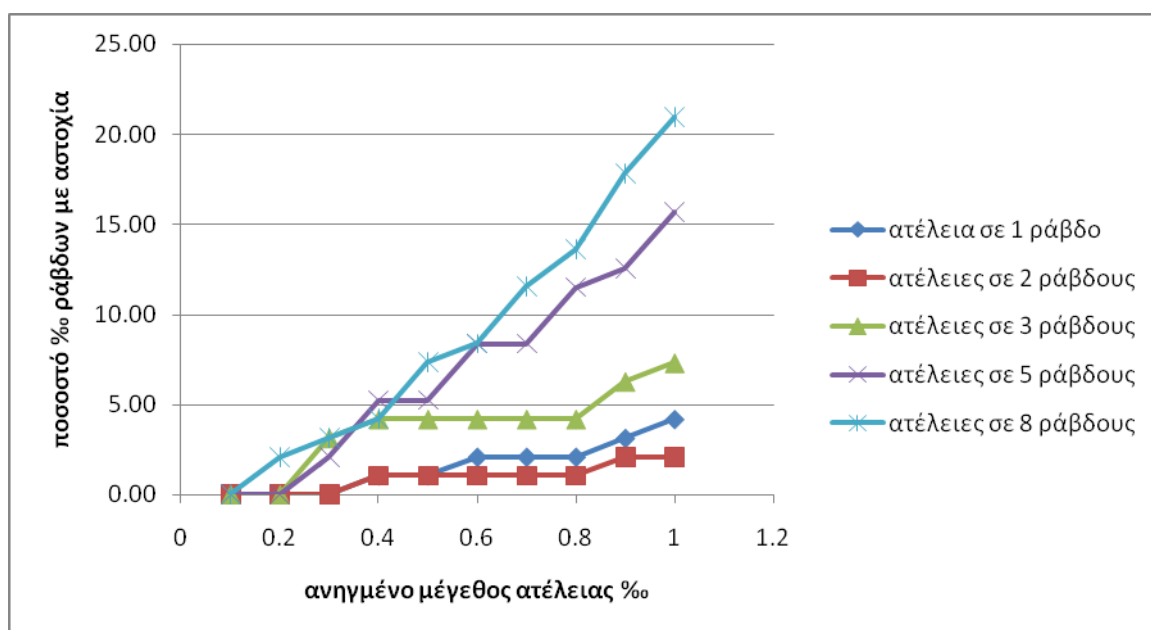
Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.2%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Ο φορέας δεν φαίνεται να είναι ευαίσθητος όταν οι ατέλειες βρίσκονται στις διαγώνιες ράβδους. Το διάγραμμα δείχνει να ακολουθεί επακριβώς την πορεία του αντίστοιχου διαγράμματος χωρίς χιόνι. Η προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού δεν φαίνεται να επηρεάζει τη συμπεριφορά του φορέα.

2.4.4 Θετικές ατέλειες με χιόνι (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

2.4.4.1 Άνω σχάρα

Πίνακας 2.10: Ατέλειες στην άνω σχάρα (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος</u> <u>ατέλειας ‰</u>	<u>ποσοστό ‰ ράβδων με αστοχία</u>				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	2.09
0.3	0.00	0.00	3.14	2.09	3.14
0.4	1.05	1.05	4.19	5.24	4.19
0.5	1.05	1.05	4.19	5.24	7.33
0.6	2.09	1.05	4.19	8.38	8.38
0.7	2.09	1.05	4.19	8.38	11.52
0.8	2.09	1.05	4.19	11.52	13.61
0.9	3.14	2.09	6.28	12.56	17.80
1	4.19	2.09	7.33	15.71	20.94

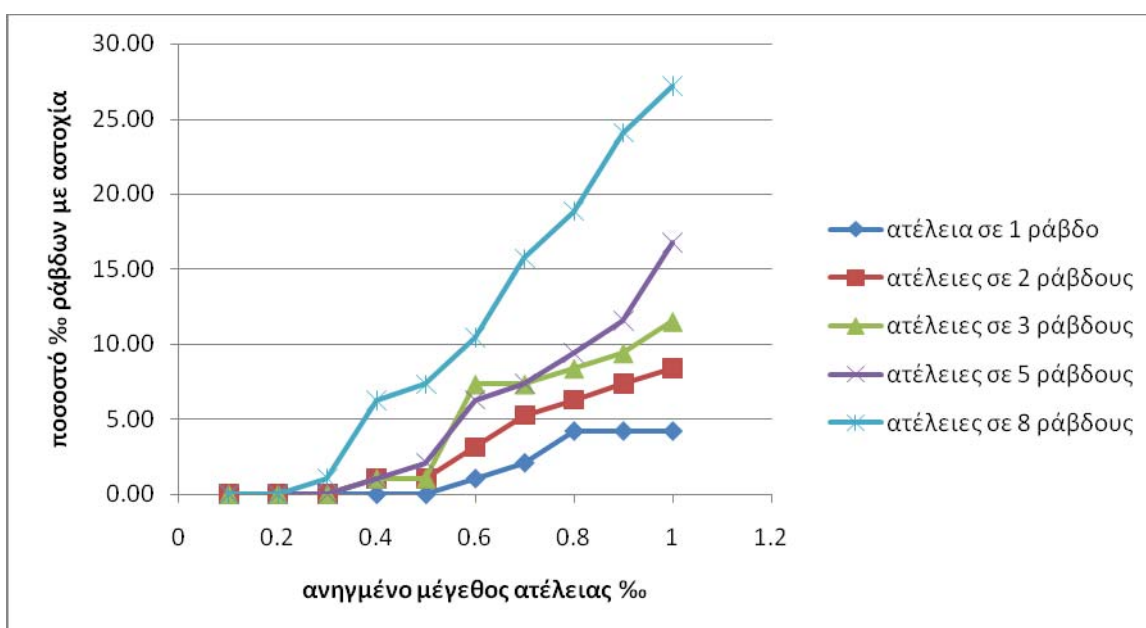


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.1‰, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το διάγραμμα δείχνει να ακολουθεί επακριβώς την πορεία του αντίστοιχου διαγράμματος χωρίς χιόνι. Η προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού δεν φαίνεται να επηρεάζει τη συμπεριφορά του φορέα.

2.4.4.2 Κάτω σχάρα

Πίνακας 2.11: Ατέλειες στην κάτω σχάρα (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	<u>ατέλεια σε 1 ράβδο</u>	<u>ατέλειες σε 2 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 3 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 5 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 8 ράβδους</u>
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05
0.4	0.00	1.05	1.05	1.05	6.28
0.5	0.00	1.05	1.05	2.09	7.33
0.6	1.05	3.14	7.33	6.28	10.47
0.7	2.09	5.24	7.33	7.33	15.71
0.8	4.19	6.28	8.38	9.42	18.85
0.9	4.19	7.33	9.42	11.52	24.08
1	4.19	8.38	11.52	16.75	27.22

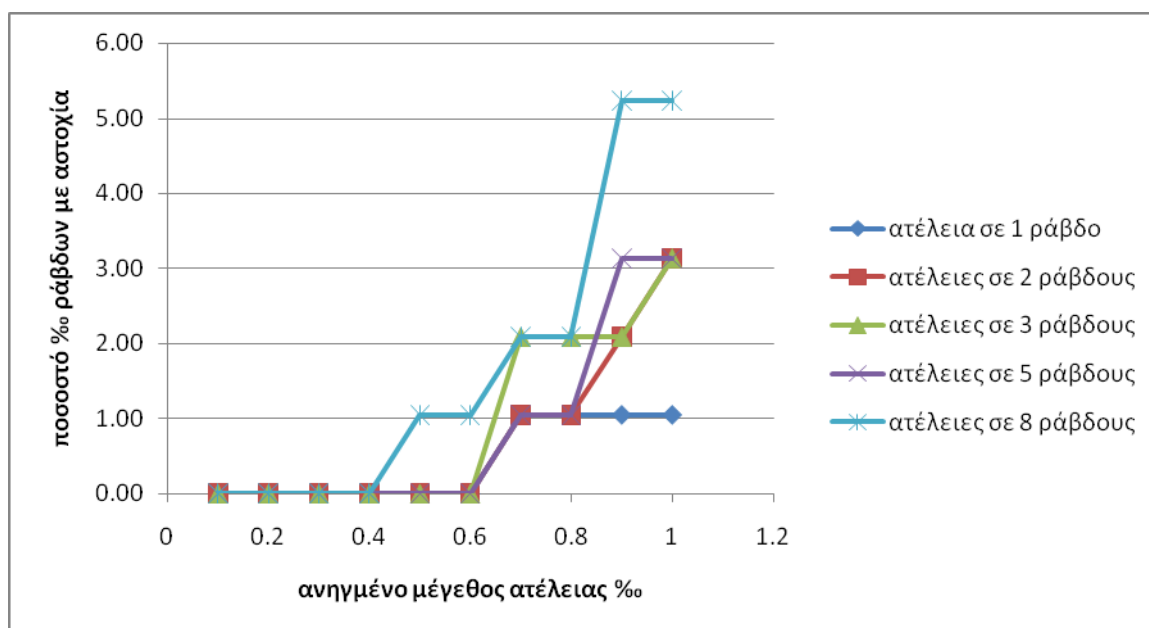


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.2%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το διάγραμμα δείχνει να ακολουθεί επακριβώς την πορεία του αντίστοιχου διαγράμματος χωρίς χιόνι. Η προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού δεν φαίνεται να επηρεάζει τη συμπεριφορά του φορέα.

2.4.4.3 Διαγώνιες ράβδοι

Πίνακας 2.12: Ατέλειες στις διαγώνιες (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

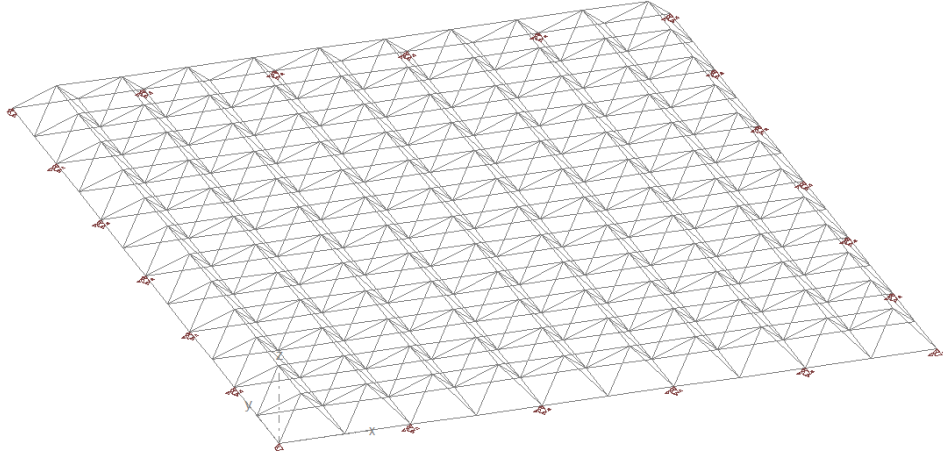
<u>ανηγμένο μέγεθος</u> <u>ατέλειας ‰</u>	<u>ποσοστό ‰ ράβδων με αστοχία</u>				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05
0.6	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05
0.7	1.05	1.05	2.09	1.05	2.09
0.8	1.05	1.05	2.09	1.05	2.09
0.9	1.05	2.09	2.09	3.14	5.24
1	1.05	3.14	3.14	3.14	5.24



Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.3‰, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Ο φορέας δεν φαίνεται να είναι ευαίσθητος όταν οι ατέλειες βρίσκονται στις διαγώνιες ράβδους και το διάγραμμα δείχνει να ακολουθεί επακριβώς την πορεία του αντίστοιχου διαγράμματος χωρίς χιόνι. Η προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού δεν φαίνεται να επηρεάζει τη συμπεριφορά του φορέα.

2.5 Επίλυση του χωροδικτύωματος με διαφορετικές συνθήκες στηρίξεως

2.5.1 Στατικό προσομοίωμα



Για λόγους επιπλέον διερεύνησης της συμπεριφοράς του χωροδικτύωματος, οι περιμετρικές στηρίξεις διαφοροποιούνται. Οι στηρίξεις που τίθενται στους 4 γωνιακούς κόμβους είναι διαδοχικά οι εξής:

- Άρθρωση που δεσμεύει τις μετακινήσεις και στους 3 άξονες.
- Άρθρωση που δεσμεύει τις μετακινήσεις στους άξονες $x-x$ και $z-z$.
- Άρθρωση που δεσμεύει τη μετακίνηση στον άξονα $z-z$.
- Άρθρωση που δεσμεύει κατά $y-y$ και $z-z$.

Όλες οι υπόλοιπες στηρίξεις που τίθενται δεσμεύουν μόνο την μετακίνηση κατά $z-z$. Ο φορέας επιλύεται ξανά με τα φορτία σχεδιασμού και διαστασιολογείται. Πλέον το κάτω πέλμα εφελκύεται και οι μεγαλύτερες διατομές, στις οποίες τίθενται στη συνέχεια οι ατέλειες, προκύπτουν στο μέσον του και όχι περιμετρικά όπως στις προηγούμενες συνθήκες στήριξης. Η διαδικασία που ακολουθεί για τον σχηματισμό των συνδυασμών που θα ελεγχθεί ο φορέας είναι η ίδια.

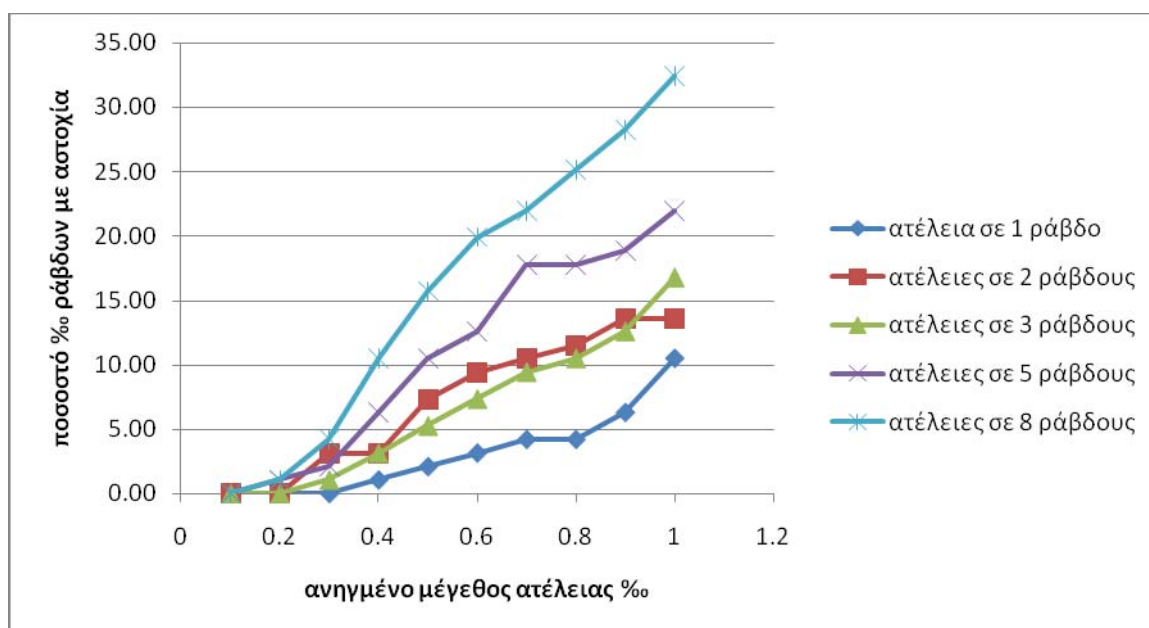
2.5.2 Αποτελέσματα αναλύσεων

2.5.2.1 Αρνητικές ατέλειες (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

➤ Άνω σχάρα

Πίνακας 2.13: Ατέλειες στην άνω σχάρα (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	1.05	1.05
0.3	0.00	3.14	1.05	2.09	4.19
0.4	1.05	3.14	3.14	6.28	10.47
0.5	2.09	7.33	5.24	10.47	15.71
0.6	3.14	9.42	7.33	12.57	19.90
0.7	4.19	10.47	9.42	17.80	21.99
0.8	4.19	11.52	10.47	17.80	25.13
0.9	6.28	13.61	12.57	18.85	28.27
1	10.47	13.61	16.75	21.99	32.46

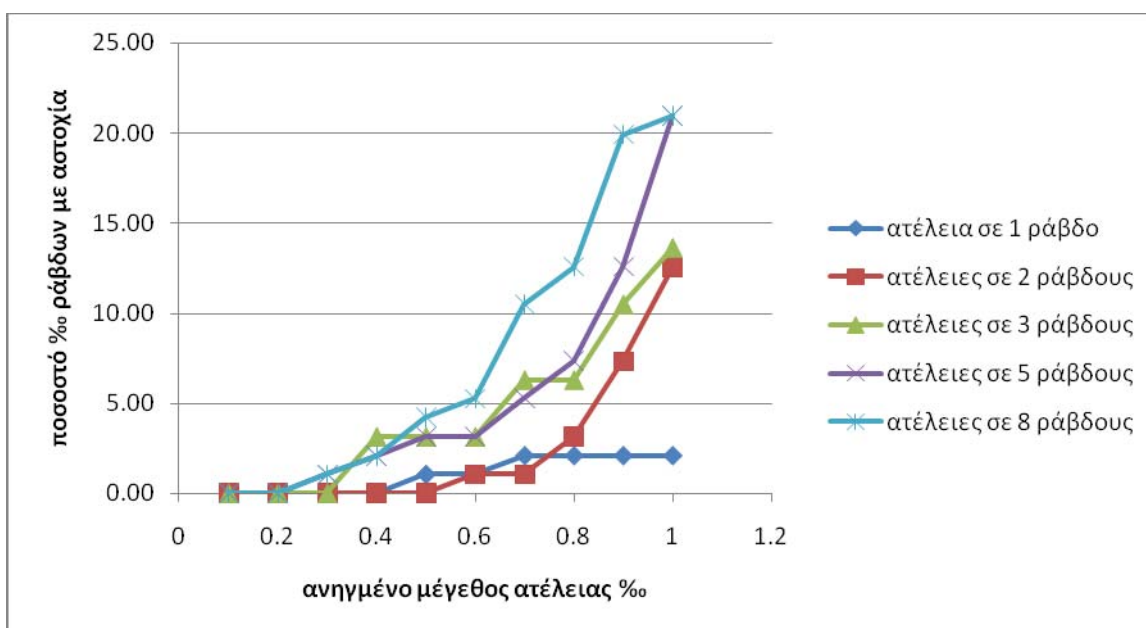


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.2%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα. Το σημείο από το οποίο ξεκινούν να αυξάνονται εμφανώς οι αστοχίες φαίνεται να είναι για ατέλειες της τάξης του 0.5%. Από το συγκεκριμένο μέγεθος με περαιτέρω αύξηση του μεγέθους ατέλειας φαίνεται καθαρά ότι με προσθήκη επιπλέον ατελειών προκαλούνται όλο και περισσότερες αστοχίες. Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον τελευταίο από τους συνδυασμούς του πίνακα, οι αστοχίες μειώνονται στο 19.90% του συνόλου των ράβδων του φορέα.

➤ Κάτω σχάρα

Πίνακας 2.14: Ατέλειες στην κάτω σχάρα (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος</u> <u>ατέλειας %</u>	ποσοστό % ράβδων με αστοχία				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.00	1.05	1.05
0.4	0.00	0.00	3.14	2.09	2.09
0.5	1.05	0.00	3.14	3.14	4.19
0.6	1.05	1.05	3.14	3.14	5.24
0.7	2.09	1.05	6.28	5.24	10.47
0.8	2.09	3.14	6.28	7.33	12.57
0.9	2.09	7.33	10.47	12.57	19.90
1	2.09	12.57	13.61	20.94	20.94

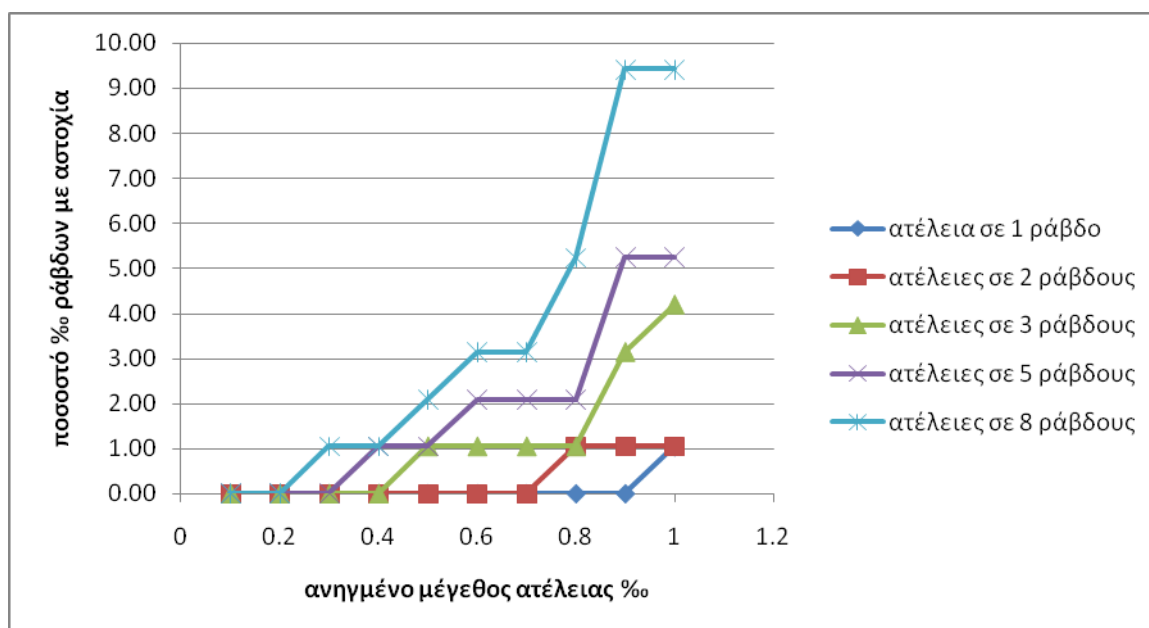


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.3%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το σημείο από το οποίο ξεκινούν να αυξάνονται εμφανώς οι αστοχίες φαίνεται να είναι για ατέλειες της τάξης του 0.5%. Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον τελευταίο από τους συνδυασμούς του πίνακα, οι αστοχίες μειώνονται στο 12.57% του συνόλου των ράβδων του φορέα.

➤ Διαγώνιες ράβδοι

Πίνακας 2.15: Ατέλειες στις διαγώνιες ράβδους (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος</u> <u>ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05
0.4	0.00	0.00	0.00	1.05	1.05
0.5	0.00	0.00	1.05	1.05	2.09
0.6	0.00	0.00	1.05	2.09	3.14
0.7	0.00	0.00	1.05	2.09	3.14
0.8	0.00	1.05	1.05	2.09	5.24
0.9	0.00	1.05	3.14	5.25	9.42
1	1.05	1.05	4.19	5.24	9.42



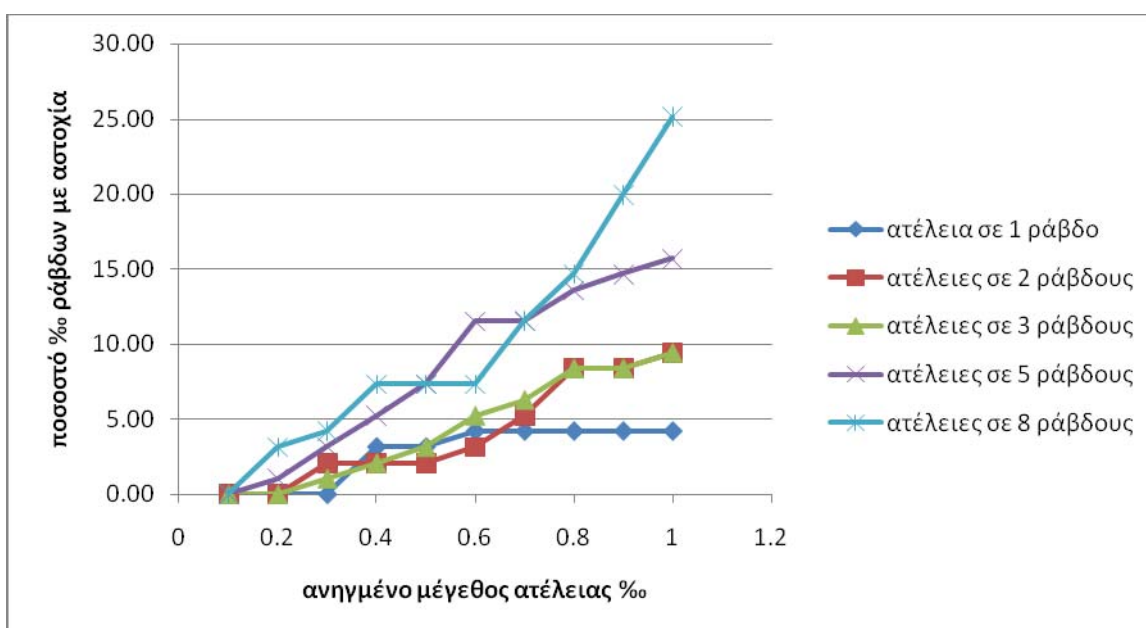
Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.3%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Ο φορέας δεν φαίνεται να είναι ευαίσθητος όταν οι ατέλειες βρίσκονται στις διαγώνιες ράβδους. Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον τελευταίο από τους συνδυασμούς του πίνακα, οι αστοχίες μειώνονται στο 3.14% του συνόλου των ράβδων του φορέα.

2.5.2.2 Θετικές ατέλειες (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

➤ Άνω σχάρα

Πίνακας 2.16: Ατέλειες στην άνω σχάρα (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	<u>ατέλεια σε 1 ράβδο</u>	<u>ατέλειες σε 2 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 3 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 5 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 8 ράβδους</u>
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	1.05	3.14
0.3	0.00	2.09	1.05	3.14	4.19
0.4	3.14	2.09	2.09	5.24	7.33
0.5	3.14	2.09	3.14	7.33	7.33
0.6	4.19	3.14	5.24	11.52	7.33
0.7	4.19	5.24	6.28	11.52	11.52
0.8	4.19	8.38	8.38	13.61	14.66
0.9	4.19	8.38	8.38	14.66	19.90
1	4.19	9.42	9.42	15.71	25.13

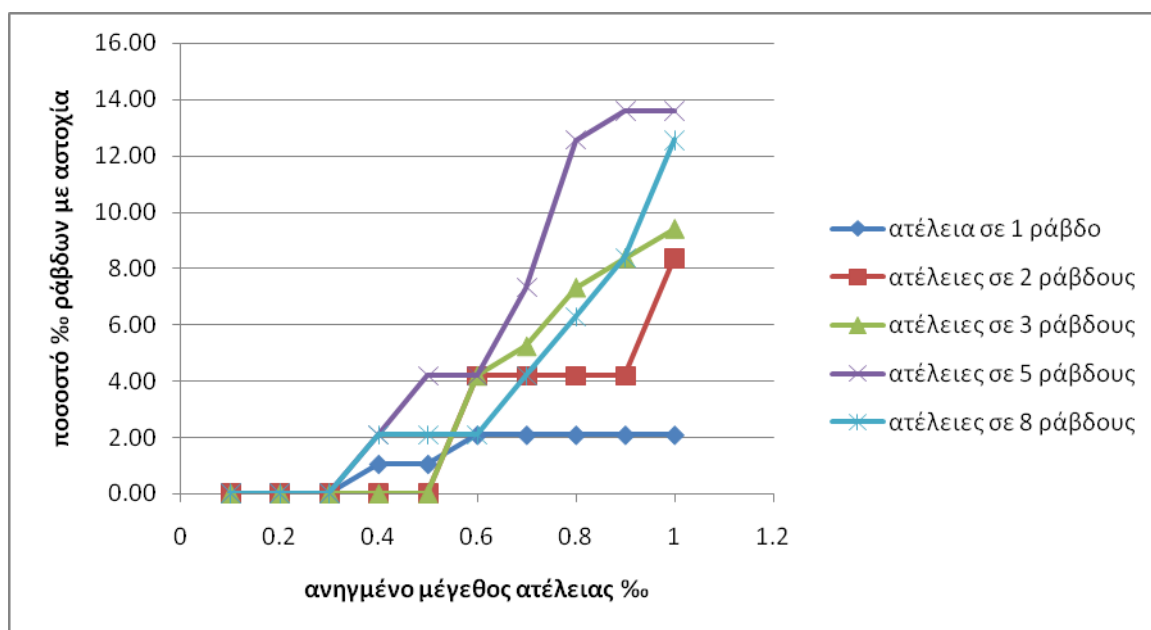


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.2%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το σημείο από το οποίο ξεκινούν να αυξάνονται εμφανώς οι αστοχίες φαίνεται να είναι για ατέλειες της τάξης του 0.7%. Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον τελευταίο από τους συνδυασμούς του πίνακα, οι αστοχίες μειώνονται στο 21.99% του συνόλου των ράβδων του φορέα.

➤ Κάτω σχάρα

Πίνακας 2.17: Ατέλειες στην κάτω σχάρα (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος</u> <u>ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	1.05	0.00	0.00	2.09	2.09
0.5	1.05	0.00	0.00	4.19	2.09
0.6	2.09	4.19	4.19	4.19	2.09
0.7	2.09	4.19	5.24	7.33	4.19
0.8	2.09	4.19	7.33	12.57	6.28
0.9	2.09	4.19	8.38	13.61	8.38
1	2.09	8.38	9.42	13.61	12.57

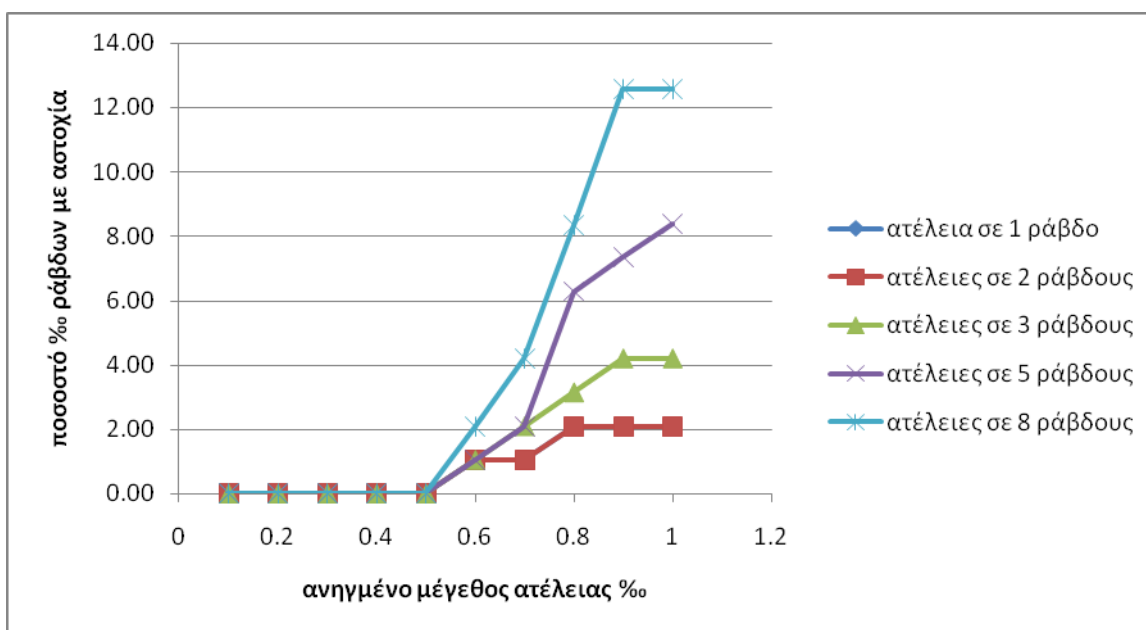


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.3%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το σημείο από το οποίο ξεκινούν να αυξάνονται εμφανώς οι αστοχίες φαίνεται να είναι για ατέλειες της τάξης του 0.6%. Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον τελευταίο από τους συνδυασμούς του πίνακα, οι αστοχίες μειώνονται στο 9.42% του συνόλου των ράβδων του φορέα.

➤ Διαγώνιες ράβδοι

Πίνακας 2.18: Ατέλειες στις διαγώνιες ράβδους (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος</u> <u>ατέλειας ‰</u>	<u>ποσοστό ‰ ράβδων με αστοχία</u>				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.6	1.05	1.05	1.05	1.05	2.09
0.7	1.05	1.05	2.09	2.09	4.19
0.8	2.09	2.09	3.14	6.28	8.33
0.9	2.09	2.09	4.19	7.33	12.57
1	2.09	2.09	4.19	8.38	12.57



Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.5‰, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το σημείο από το οποίο ξεκινούν να αυξάνονται εμφανώς οι αστοχίες φαίνεται να είναι για ατέλειες της τάξης του 0.7‰. Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον τελευταίο από τους συνδυασμούς του πίνακα, οι αστοχίες μειώνονται στο 2.09‰ του συνόλου των ράβδων του φορέα.

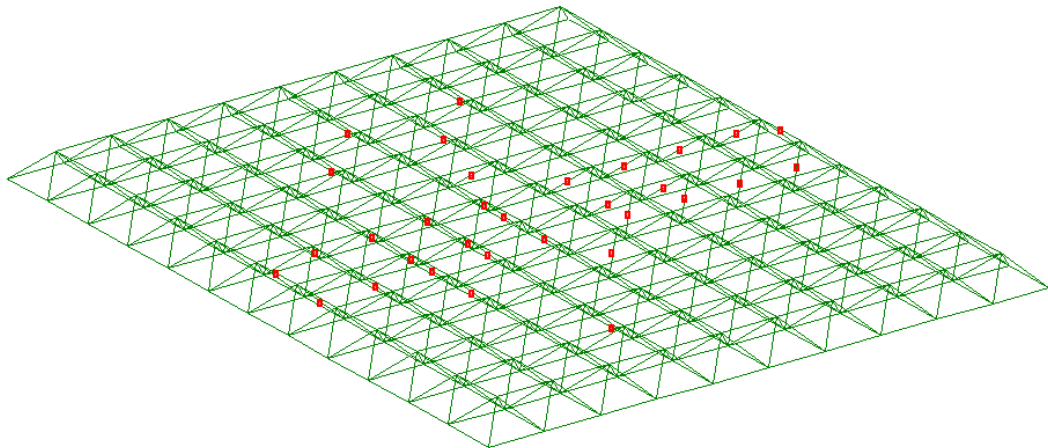
2.6 Κατανομή ράβδων με αστοχία

Στην προσπάθεια διερεύνησης της συμπεριφοράς του φορέα μετά την προσθήκη των ατελειών μήκους στις επιλεγμένες ράβδους, στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο παρουσιάζεται η κατανομή των ράβδων που αστοχούν στο σύνολο του φορέα. Για λόγους απλότητας παρουσιάζονται οι εν λόγω κατανομές στους συνδυασμούς που περιλαμβάνουν ατέλειες μήκους σε 8 ράβδους μεγέθους ατέλειας της τάξης του 1%.

2.6.1 Ατέλειες μήκους στην άνω σχάρα

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η κατανομή των αστοχιών που προκλήθηκαν στον φορέα λόγω ατελειών μήκους σε ράβδους της άνω σχάρας στην κρισιμότερη από τις τέσσερις παρακάτω περιπτώσεις. Με κόκκινες κουκίδες επισημαίνονται οι ράβδοι που έχουν αστοχήσει.

Σχήμα 2.2: Κατανομή αστοχιών για ράβδους με μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο.



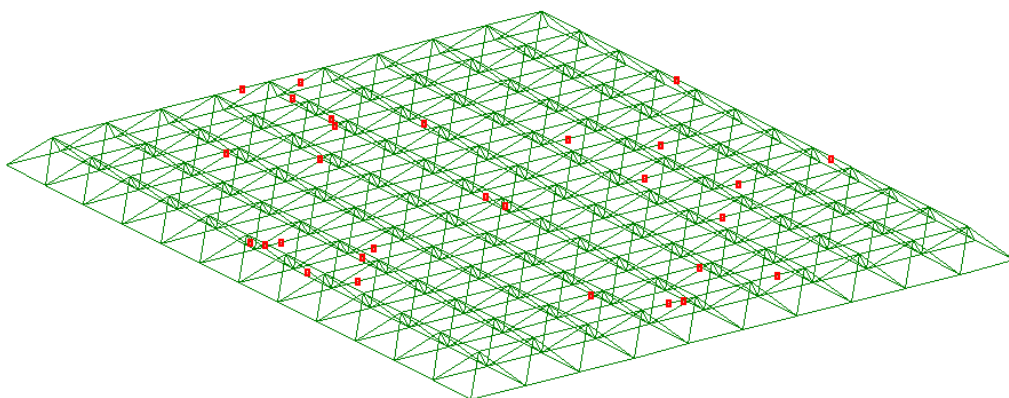
- Για τις πρώτες συνθήκες στήριξης:
 - Για ράβδους με μικρότερο από το προβλεπόμενο μήκος (αρνητικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 32 ράβδους, εκ των οποίων οι 5 είναι στην κάτω σχάρα, 2 στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 25 στις διαγώνιες ράβδους.
 - Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό, παρατηρείται αστοχία σε 30 ράβδους, εκ των οποίων οι 4 είναι στην κάτω σχάρα, οι 2 στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 24 στις διαγώνιες ράβδους.
 - Για ράβδους με μεγαλύτερο από το προβλεπόμενο μήκος (θετικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 19 ράβδους, εκ των οποίων οι 2 είναι στην κάτω σχάρα και οι υπόλοιπες 18 στις διαγώνιες ράβδους.

- Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό ,παρατηρείται αστοχία σε 20 ράβδους, εκ των οποίων οι 2 είναι στην κάτω σχάρα και οι υπόλοιπες 18 στις διαγώνιες ράβδους.
- Για τις δεύτερες συνθήκες στήριξης:
 - Για ράβδους με μικρότερο από το προβλεπόμενο μήκος (αρνητικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 31 ράβδους, εκ των οποίων οι 4 είναι στην κάτω σχάρα, 2 στην άνω σχάρα κ οι υπόλοιπες 25 στις διαγώνιες ράβδους.
 - Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό, παρατηρείται αστοχία σε 24 ράβδους, εκ των οποίων οι 2 είναι στην κάτω σχάρα και οι υπόλοιπες 22 στις διαγώνιες ράβδους.
 - Για ράβδους με μεγαλύτερο από το προβλεπόμενο μήκος (θετικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 24 ράβδους, εκ των οποίων οι 2 είναι στην κάτω σχάρα και οι υπόλοιπες 18 στις διαγώνιες ράβδους.
 - Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό ,παρατηρείται αστοχία σε 21 ράβδους, όλες βρίσκονται στις διαγώνιες ράβδους.

2.6.2 Ατέλειες μήκους στην κάτω σχάρα

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η κατανομή των αστοχιών ,που προκλήθηκαν στον φορέα λόγω ατελειών μήκους σε ράβδους της κάτω σχάρας στην κρισιμότερη από τις τέσσερις παρακάτω περιπτώσεις. Με κόκκινες κουκίδες επισημαίνονται οι ράβδοι που έχουν αστοχήσει.

Σχήμα 2.3: Κατανομή αστοχιών για ράβδους με μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο.



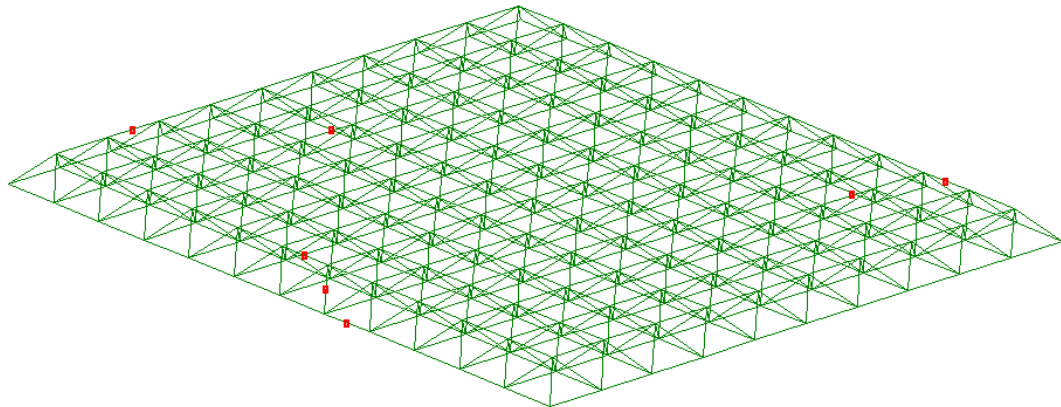
- Για τις πρώτες συνθήκες στήριξης:
 - Για ράβδους με μικρότερο από το προβλεπόμενο μήκος (αρνητικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 18 ράβδους, εκ των οποίων οι 0 είναι στην κάτω σχάρα, 1 στην άνω σχάρα κ οι υπόλοιπες 17 στις διαγώνιες ράβδους.

- Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό, παρατηρείται αστοχία σε 13 ράβδους, εκ των οποίων η 1 στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 12 στις διαγώνιες ράβδους.
 - Για ράβδους με μεγαλύτερο από το προβλεπόμενο μήκος (θετικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 29 ράβδους, εκ των οποίων οι 14 είναι στην κάτω σχάρα, 6 στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 9 στις διαγώνιες ράβδους.
 - Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό, παρατηρείται αστοχία σε 26 ράβδους, εκ των οποίων οι 16 είναι στην κάτω σχάρα, οι 6 στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 4 στις διαγώνιες ράβδους.
- Για τις δευτερες συνθήκες στήριξης:
- Για ράβδους με μικρότερο από το προβλεπόμενο μήκος (αρνητικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 20 ράβδους, όλες βρίσκονται στις διαγώνιες ράβδους.
 - Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό, παρατηρείται αστοχία σε 12 ράβδους, όλες βρίσκονται στις διαγώνιες ράβδους..
 - Για ράβδους με μεγαλύτερο από το προβλεπόμενο μήκος (θετικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 12 ράβδους, όλες βρίσκονται στις διαγώνιες ράβδους.
 - Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό, παρατηρείται αστοχία σε 9 ράβδους, όλες βρίσκονται στις διαγώνιες ράβδους.

2.6.3 Ατέλειες μήκους στις διαγώνιες ράβδους

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η κατανομή των αστοχιών που προκλήθηκαν στον φορέα λόγω ατελειών μήκους σε διαγώνιες ράβδους στην κρισιμότερη από τις τέσσερις παρακάτω περιπτώσεις. Με κόκκινες κουκίδες επισημαίνονται οι ράβδοι που έχουν αστοχήσει.

Σχήμα 2.4: Κατανομή αστοχιών για ράβδους με μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο.



- Για τις πρώτες συνθήκες στήριξης:
 - Για ράβδους με μικρότερο από το προβλεπόμενο μήκος (αρνητικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 6 ράβδους, εκ των οποίων οι 2 είναι στην κάτω σχάρα και οι υπόλοιπες 4 στην άνω σχάρα.
 - Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό, παρατηρείται αστοχία σε 7 ράβδους, εκ των οποίων η 1 είναι στην κάτω σχάρα, και οι υπόλοιπες 6 στην άνω σχάρα.
 - Για ράβδους με μεγαλύτερο από το προβλεπόμενο μήκος (θετικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 7 ράβδους, εκ των οποίων οι 3 είναι στην κάτω σχάρα, 3 στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 1 στις διαγώνιες ράβδους.
 - Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό, παρατηρείται αστοχία σε 5 ράβδους, εκ των οποίων οι 2 είναι στην κάτω σχάρα και οι υπόλοιπες 3 στην άνω σχάρα.
- Για τις δεύτερες συνθήκες στήριξης:
 - Για ράβδους με μικρότερο από το προβλεπόμενο μήκος (αρνητικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 9 ράβδους, εκ των οποίων οι 5 είναι στην κάτω σχάρα, 1 στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 3 στις διαγώνιες ράβδους.
 - Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό, παρατηρείται αστοχία σε 3 ράβδους, εκ των οποίων οι 2 είναι στην κάτω σχάρα και η 1 στις διαγώνιες ράβδους.
 - Για ράβδους με μεγαλύτερο από το προβλεπόμενο μήκος (θετικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 12 ράβδους, εκ των οποίων οι 6 είναι στην κάτω σχάρα, οι 3 στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 3 στις διαγώνιες ράβδους.
 - Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό, παρατηρείται αστοχία σε 2 ράβδους, η 1 βρίσκεται στην άνω σχάρα και η άλλη στις διαγώνιες ράβδους.

2.7 Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα

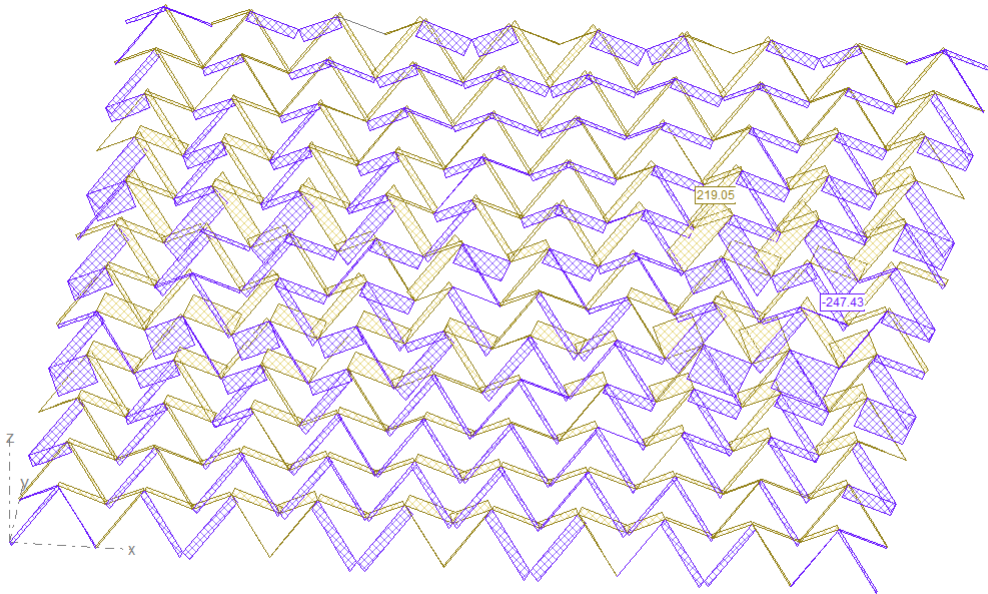
Συγκρίνοντας τα παραπάνω αποτελέσματα που προέκυψαν από τις επιλύσεις για τις πρώτες συνθήκες στήριξης εξάγονται για το συγκριμένο χωροδικτύωμα τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Στην περίπτωση θετικών ατελειών ($\varepsilon > 0$), το σύστημα παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία όταν αυτές οι ατέλειες βρίσκονται στο κάτω πέλμα. Ενδεικτικά, για 8 ράβδους με ατέλειες στο κάτω πέλμα και για μέγεθος ατέλειας 1‰ το ποσοστό των ράβδων που αστοχούν είναι 30.36 %. Το αντίστοιχο ποσοστό για ατέλειες στο άνω πέλμα είναι 19.89‰ και για ατέλειες στις διαγώνιους είναι 7.33‰. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι θετικές ατέλειες στο κάτω πέλμα προκαλούν θλιπτικές δυνάμεις σε περισσότερες ράβδους στην άνω σχάρα από ότι οι ατέλειες στην άνω σχάρα και στις διαγώνιες.
- Στην περίπτωση αρνητικών ατελειών ($\varepsilon < 0$), το σύστημα παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία όταν αυτές οι ατέλειες βρίσκονται στο άνω πέλμα. Ενδεικτικά για 8 ράβδους με ατέλειες στο άνω πέλμα και για μέγεθος ατέλειας 1‰ το ποσοστό των ράβδων που αστοχούν είναι 33.50‰. το αντίστοιχο ποσοστό για ατέλειες στο κάτω πέλμα είναι 18.85‰ και για ατέλειες στις διαγώνιους είναι 6.28‰. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το πρόσθετο βέλος που δημιουργείται στο φορέα λόγω αρνητικών ατελειών στην άνω σχάρα είναι διπλάσιο και ίδιας φοράς με το βέλος λόγω των μόνιμων φορτίων, από το βέλος λόγω θετικών ατελειών στην κάτω σχάρα, επομένως επιβαρύνει περισσότερο το φορέα. Αναφέρεται ότι στο παραπάνω παράδειγμα, το πρόσθετο βέλος λόγω ατελειών στην άνω σχάρα είναι 24.37mm προς τα κάτω, ενώ λόγω ατελειών στην κάτω σχάρα είναι 14.76mm προς τα κάτω.
- Με τη δράση του πρόσθετου ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού μειώνεται το ποσοστό αστοχιών του φορέα. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι με τη δράση του χιονιού γίνεται ανακατανομή των αξονικών δυνάμεων στα διαγώνια στοιχεία και ανακουφίζονται οι διαγώνιες ράβδοι που βρίσκονται στο κεντρικό τμήμα του φορέα. Και είναι ουσιαστικά αυτές στις οποίες σημειώνονται οι περισσότερες αστοχίες λόγω των κατασκευαστικών ατελειών. Παρακάτω δίνεται και αναλυτικό αριθμητικό παράδειγμα.
- Με ατέλειες στις διαγώνιες ράβδους δεν παρατηρείται σημαντικό ποσοστό αστοχιών στις ράβδους του χωροδικτύωματος. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται και για θετικές και για αρνητικές ατέλειες και οφείλεται στο γεγονός ότι τα επιπλέον βέλη λόγω των ατελειών στα διαγώνια μέλη είναι τοπικά μόνο, στην περιοχή που βρίσκονται οι ατέλειες και δεν επηρεάζουν τον υπόλοιπο φορέα. Για αυτό το λόγο και οι αστοχίες που προκαλούνται από ατέλειες στα διαγώνια μέλη περιορίζονται στην περιοχή γύρω από τις συγκεκριμένες ράβδους.
- Όταν η ατέλεια φτάσει το 0.2‰, τότε παρουσιάζονται οι πρώτες αστοχίες ράβδων. Δηλαδή, για τις ράβδους που έχουν μήκος 5m η ατέλεια θα πρέπει να είναι $0,0002 \cdot 5 = 0,001\text{m} = 1\text{mm}$. Εξάλλου σύμφωνα με την εταιρία MERO υπάρχει μια ανοχή για κατασκευαστικές ατέλειες τέτοιου μεγέθους.
- Με βάση την κατανομή των αστοχιών του προηγούμενου υποκεφαλαίου για τις πρώτες συνθήκες στήριξης όταν οι ατέλειες βρίσκονται στην άνω σχάρα οι αστοχίες σημειώνονται κυρίως στις διαγώνιες ράβδους. Για αρνητικές ατέλειες στην κάτω σχάρα οι αστοχίες σημειώνονται στις διαγώνιες ράβδους ενώ για θετικές στην κάτω σχάρα. Όταν οι ατέλειες βρίσκονται στις διαγώνιες ράβδους, οι αστοχίες σημειώνονται κυρίως στην άνω και την κάτω σχάρα.

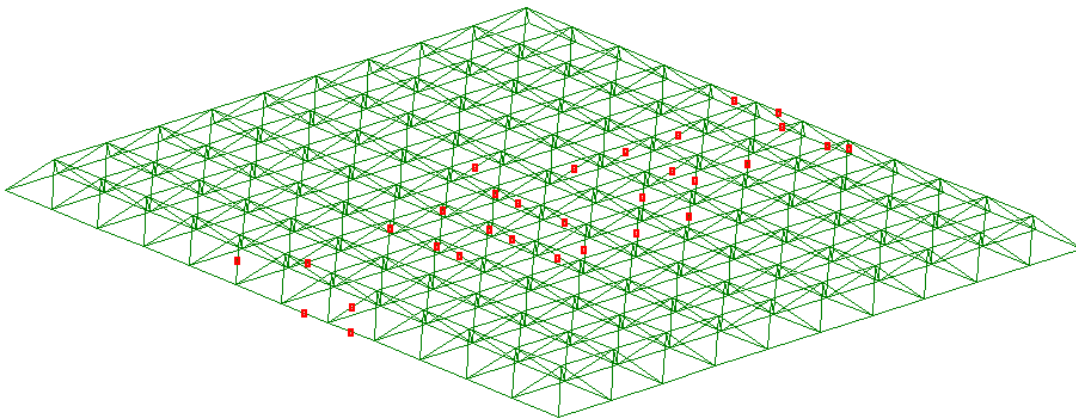
Για τη δεύτερες συνθήκες στήριξης εξάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Στην περίπτωση θετικών ατελειών ($\varepsilon > 0$), το σύστημα παρουσιάζει αισθητά μεγαλύτερη ευαισθησία όταν αυτές οι ατέλειες βρίσκονται στο άνω πέλμα. Ενδεικτικά, για 8 ράβδους με ατέλειες στο κάτω πέλμα και για μέγεθος ατέλειας 1‰ το ποσοστό των ράβδων που αστοχούν είναι 33.14 %. Το αντίστοιχο ποσοστό για ατέλειες στο άνω πέλμα είναι 8.52‰ και για ατέλειες στις διαγώνιους είναι 6.63‰. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το άνω πέλμα ως θλιβόμενο παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία.
- Στην περίπτωση αρνητικών ατελειών ($\varepsilon < 0$), το σύστημα παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία όταν αυτές οι ατέλειες βρίσκονται στο άνω πέλμα. Ενδεικτικά για 8 ράβδους με ατέλειες στο άνω πέλμα και για μέγεθος ατέλειας 1‰ το ποσοστό των ράβδων που αστοχούν είναι 32.46‰. το αντίστοιχο ποσοστό για ατέλειες στο κάτω πέλμα είναι 20.94‰ και για ατέλειες στις διαγώνιους είναι 9.42‰. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το πρόσθετο βέλος που δημιουργείται στο φορέα λόγω αρνητικών ατελειών στην άνω σχάρα είναι ίδιας φοράς με το βέλος λόγω των μόνιμων φορτίων άρα επιβαρύνει την κατασκευή, ενώ το αντίστοιχο για ατέλειες στην κάτω σχάρα είναι αντίθετης φοράς και επομένως δρα ανακουφιστικά στο φορέα. Το πρόσθετο βέλος λόγω ατελειών στις διαγώνιους είναι τοπικό στην περιοχή γύρω από τις ατέλειες και δεν επηρεάζει ιδιαίτερα τον υπόλοιπο φορέα. Αναφέρεται ότι στο παραπάνω παράδειγμα, το πρόσθετο βέλος λόγω ατελειών στην άνω σχάρα είναι 27.78mm προς τα κάτω, ενώ λόγω ατελειών στην κάτω σχάρα είναι 25.42mm προς τα πάνω.
- Με ατέλειες στις διαγώνιες ράβδους δεν παρατηρείται σημαντικό ποσοστό αστοχιών στις ράβδους του χωροδικτυώματος. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται και για θετικές και για αρνητικές ατέλειες και οφείλεται στο γεγονός ότι τα επιπλέον βέλη λόγω των ατελειών στα διαγώνια μέλη είναι τοπικά μόνο, στην περιοχή που βρίσκονται οι ατέλειες και δεν επηρεάζουν τον υπόλοιπο φορέα. Για αυτό το λόγο και οι αστοχίες που προκαλούνται από ατέλειες στα διαγώνια μέλη περιορίζονται στην περιοχή γύρω από τις συγκεκριμένες ράβδους.
- Όταν η ατέλεια φτάσει το 0.2‰, τότε παρουσιάζονται οι πρώτες αστοχίες ράβδων. Δηλαδή, για τις ράβδους που έχουν μήκος 5m η ατέλεια θα πρέπει να είναι $0,0002 \cdot 5 = 0,001\text{m} = 1\text{mm}$. Εξάλλου σύμφωνα με την εταιρία MERO υπάρχει μια ανοχή για κατασκευαστικές ατέλειες τέτοιου μεγέθους.
- Με βάση την κατανομή των αστοχιών του προηγούμενου υποκεφαλαίου για τις δεύτερες συνθήκες στήριξης όταν οι ατέλειες βρίσκονται στην άνω και στην κάτω σχάρα οι αστοχίες σημειώνονται κυρίως στις διαγώνιες ράβδους. Ενώ όταν οι ατέλειες βρίσκονται στις διαγώνιες ράβδους, οι αστοχίες σημειώνονται κυρίως στην άνω και την κάτω σχάρα.
- Με τη δράση του πρόσθετου ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού μειώνεται το ποσοστό αστοχιών του φορέα. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι με τη δράση του χιονιού γίνεται ανακατανομή των αξονικών δυνάμεων στα διαγώνια στοιχεία και ουσιαστικά ανακουφίζονται οι διαγώνιες ράβδοι που βρίσκονται στο κεντρικό τμήμα του φορέα. Και είναι ουσιαστικά αυτές στις οποίες σημειώνονται οι περισσότερες αστοχίες λόγω των κατασκευαστικών ατελειών. Παρακάτω παρατίθεται αναλυτικό παράδειγμα για 8 αρνητικές ατέλειες μεγέθους 1‰ σε ράβδους της άνω σχάρας.

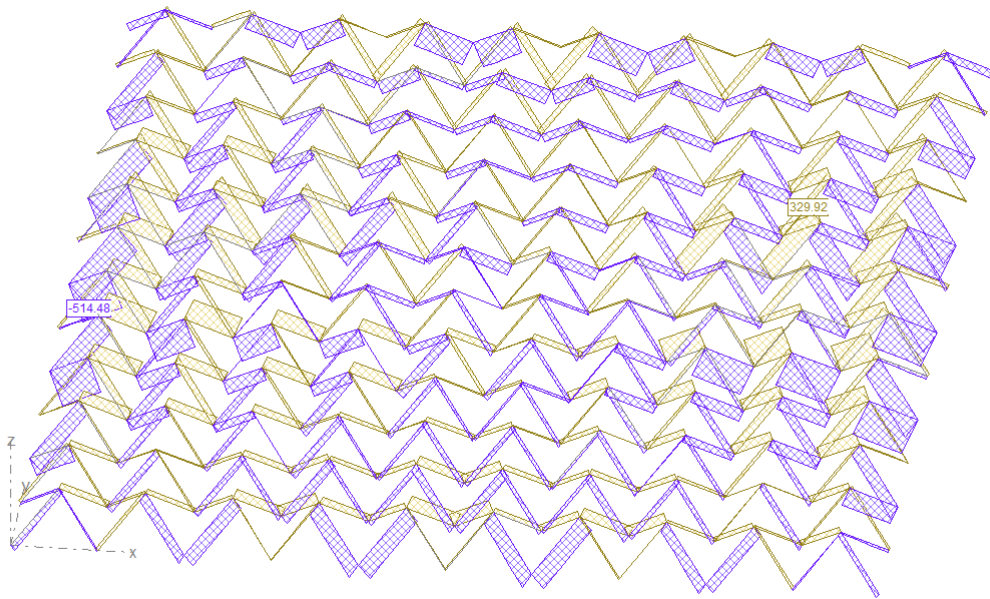
Σχήμα 2.5: Κατανομή αξονικών δυνάμεων στις διαγώνιες ράβδους για συνδυασμό φόρτισης που περιλαμβάνει 8 αρνητικές ατέλειες στην άνω σχάρα και μόνιμα φορτία.



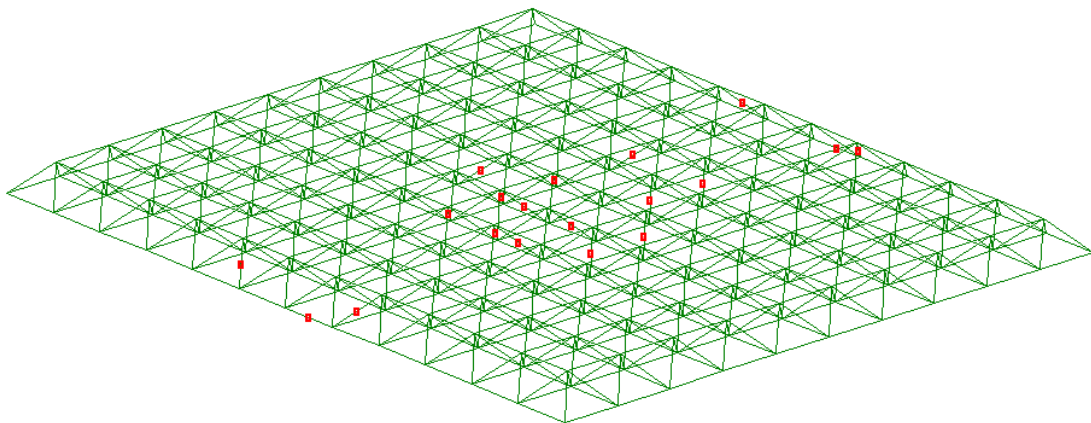
Σχήμα 2.6: Κατανομή αστοχιών στο φορέα για τη φόρτιση του παραπάνω σχήματος.



Σχήμα 2.7: Κατανομή αξονικών δυνάμεων στις διαγώνιες ράβδους για συνδυασμό φόρτισης που περιλαμβάνει 8 αρνητικές ατέλειες στην άνω σχάρα, μόνιμα φορτία και χιόνι.



Σχήμα 2.8: Κατανομή αστοχιών του φορέα για τη φόρτιση του παραπάνω σχήματος.



Για να παρουσιαστούν με μεγαλύτερη ευκρίνεια τα αποτελέσματα παρατίθεται ο παρακάτω πίνακας που απεικονίζει τις αξονικές δυνάμεις των ράβδων που αστοχούν για φόρτιση χωρίς το φορτίο του χιονιού. Δίνονται τα αποτελέσματα τόσο για φόρτιση χωρίς χιόνι όσο και για φόρτιση με χιόνι για λόγους σύγκρισης.

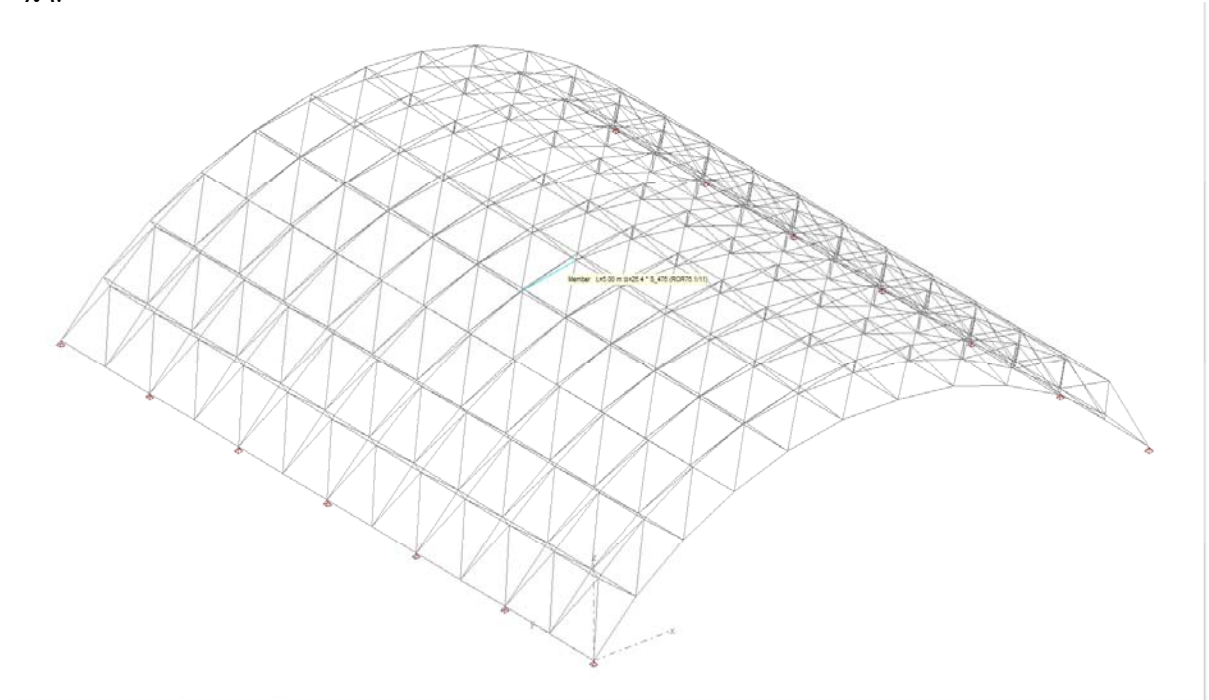
Πίνακας 2.19: Αξονικές δυνάμεις στις ράβδους που αστοχούν στο συνδυασμό χωρίς χιόνι, για φόρτιση με χιόνι και χωρίς.

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΡΑΒΔΟΥ	ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΓΙΑ ΦΟΡΤΙΣΗ ΧΩΡΙΣ ΧΙΟΝΙ (kN)	ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΓΙΑ ΦΟΡΤΙΣΗ ΜΕ ΧΙΟΝΙ (kN)
S_95	-16.87	-13.82
S_148	-16.88	-14.50
S_580	-83.81	-11.59
S_581	-53.75	6.97
S_583	-51.51	24.33
S_628	-16.74	-0.33
S_630	-85.59	-53.23
S_631	-86.88	-59.69
S_633	-76.20	-42.12
S_653	-130.50	-160.15
S_680	-83.65	-84.14
S_682	-18.65	-19.12
S_683	-123.34	-122.47
S_728	-92.04	-89.64
S_735	-55.26	-52.76
S_778	-18.65	-5.53
S_780	-74.77	-40.21
S_783	-41.45	-7.56
S_830	-157.32	-87.60
S_831	-44.00	18.30
S_833	-134.15	-58.66
S_880	-106.72	3.45
S_883	-96.23	15.94
S_954	-37.70	-33.18
S_959	-36.50	-33.24
S_974	-13.74	9.24
S_975	-35.41	-18.19
S_1083	-44.95	-26.90
S_1084	-23.95	-9.83
S_1225	-63.96	-8.07
S_1324	-33.96	21.90

3 ΤΟΞΩΤΟ ΧΩΡΟΔΙΚΤΥΩΜΑ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗΣ ΚΑΤΟΨΗΣ

3.1 Εισαγωγή

Σχήμα 3.1



Κατασκευή: οι διαστάσεις του χωροδικτύωματος είναι: $L_x=50.0$, $L_y=60.00m$
Το μήκος των ράβδων είναι $5.00m$ στην άνω και κάτω εσχάρα.
Το ύψος h καθορίστηκε με βάση τις κατασκευαστικές απαιτήσεις των προτύπων της εταιρίας Mero ως εξής:

$$\frac{a}{2} \leq h \leq a \quad (3.1)$$

Από την εξίσωση (1.1) προκύπτει για ακμή $a=5.00m$ το ύψος $h=2.50m$. . Το ύψος του ανώτατου σημείου της κάτω σχάρας είναι $10.00m$.

Ο αριθμός των ράβδων του χωροδικτύωματος είναι 1056 .

Τίθενται περιμετρικές στηρίξεις ανά $10.00m$ στα 2 οριζόντια μέτωπα.

➤ *Πρώτη περίπτωση συνθηκών στήριξης:* Τίθενται περιμετρικές στηρίξεις ανά $5.00m$. Πρόκειται για αρθρώσεις που απαγορεύουν την κίνηση και κατά τους τρεις άξονες

3.2 Φορτία χωροδικτύωματος με βάση τον ευρωκωδικα.1

Τα φορτία προκύπτουν από τις σχέσεις του Ε.С.1 όπως υπολογίζονται και για το χωροδικτύωμα του δευτέρου κεφαλαίου στην υποενότητα 2.2.

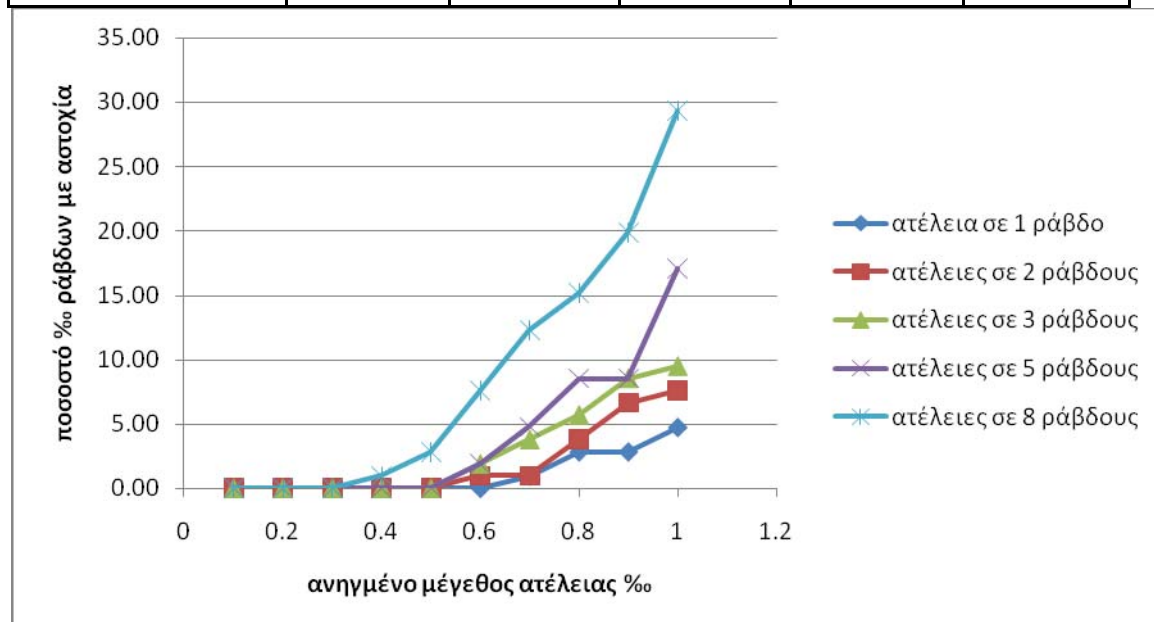
3.3 Αποτελέσματα αναλύσεων

3.3.1 Αρνητικές ατέλειες (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

3.3.1.1 Άνω σχάρα

Πίνακας 3.1: Ατέλειες στην άνω σχάρα (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.95
0.5	0.00	0.00	0.00	0.00	2.84
0.6	0.00	0.95	1.89	1.89	7.58
0.7	0.95	0.95	3.79	4.74	12.31
0.8	2.84	3.79	5.68	8.52	15.15
0.9	2.84	6.63	8.52	8.52	19.89
1	4.74	7.58	9.47	17.05	29.36

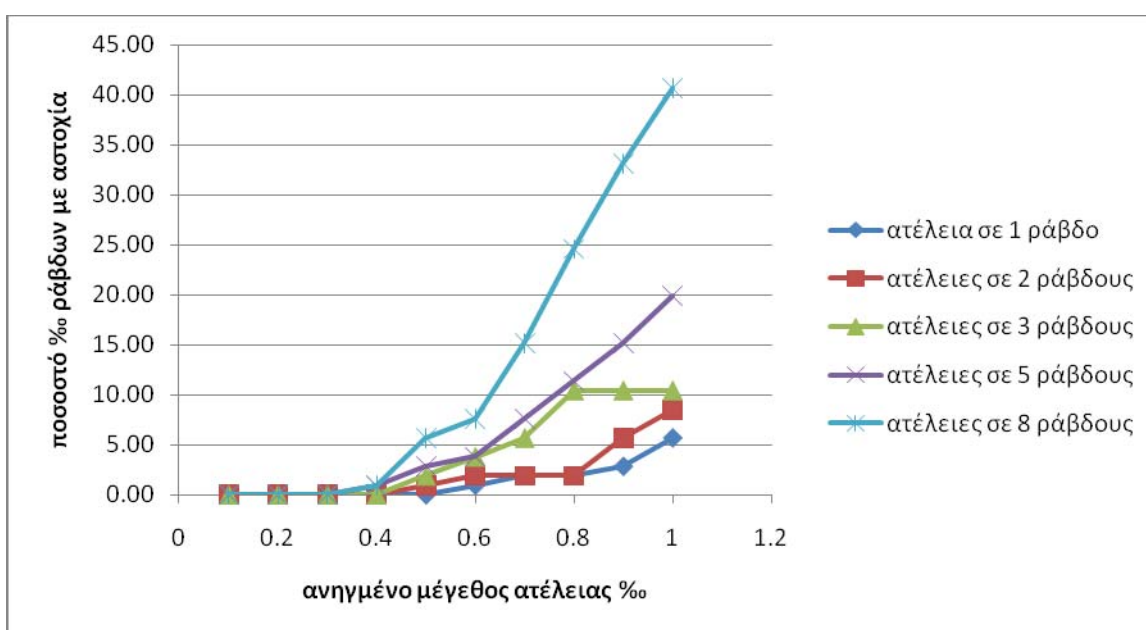


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.3%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το σημείο από το οποίο ξεκινούν να αυξάνονται εμφανώς οι αστοχίες φαίνεται να είναι για ατέλειες της τάξης του 0.6%. Από το συγκεκριμένο μέγεθος με περεταίρω αύξηση του μεγέθους ατέλειας φαίνεται καθαρά ότι με προσθήκη επιπλέον ατελειών προκαλούνται όλο και περισσότερες αστοχίες.

3.3.1.2 Κάτω σχάρα

Πίνακας 3.2: Ατέλειες στην κάτω σχάρα (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος ατέλειας ‰</u>	<u>ποσοστό ‰ ράβδων με αστοχία</u>				
	<u>ατέλεια σε 1 ράβδο</u>	<u>ατέλειες σε 2 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 3 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 5 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 8 ράβδους</u>
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.00	0.00	0.00	0.95	0.95
0.5	0.00	0.95	1.89	2.84	5.68
0.6	0.95	1.89	3.79	3.79	7.58
0.7	1.89	1.89	5.68	7.58	15.15
0.8	1.89	1.89	10.42	11.36	24.62
0.9	2.84	5.68	10.42	15.15	33.15
1	5.68	8.52	10.42	19.89	40.72

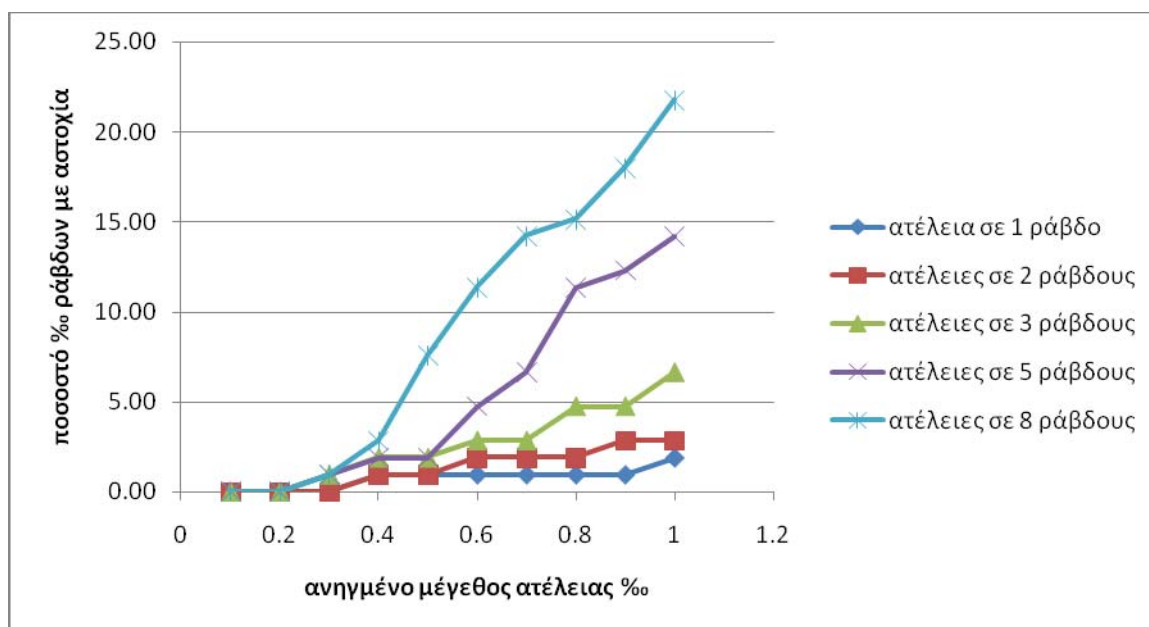


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.1‰, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το σημείο από το οποίο ξεκινούν να αυξάνονται εμφανώς οι αστοχίες φαίνεται να είναι για ατέλειες της τάξης του 0.4‰. Από το συγκεκριμένο μέγεθος με περαιτέρω αύξηση του μεγέθους ατέλειας φαίνεται καθαρά ότι με προσθήκη επιπλέον ατελειών προκαλούνται όλο και περισσότερες αστοχίες. Στην περίπτωση ατελειών της τάξης του 1‰ σε 8 ράβδους, το ποσοστό των αστοχούντων ράβδων φτάνει στο 40.72%. φαίνεται λοιπόν πως το συγκεκριμένο χωροδικτύωμα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο σε ράβδους με μικρότερο από το προβλεπόμενο μήκος όταν αυτές βρίσκονται στην κάτω σχάρα.

3.3.1.3 Διαγώνιες ράβδοι

Πίνακας 3.3: Ατέλειες στις διαγώνιες (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος</u> <u>ατέλειας ‰</u>	<u>ποσοστό ‰ ράβδων με αστοχία</u>				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.95	0.95	0.95
0.4	0.95	0.95	1.89	1.89	2.84
0.5	0.95	0.95	1.89	1.89	7.58
0.6	0.95	1.89	2.84	4.74	11.36
0.7	0.95	1.89	2.84	6.63	14.21
0.8	0.95	1.89	4.74	11.36	15.15
0.9	0.95	2.84	4.74	12.31	17.99
1	1.89	2.84	6.63	14.21	21.78



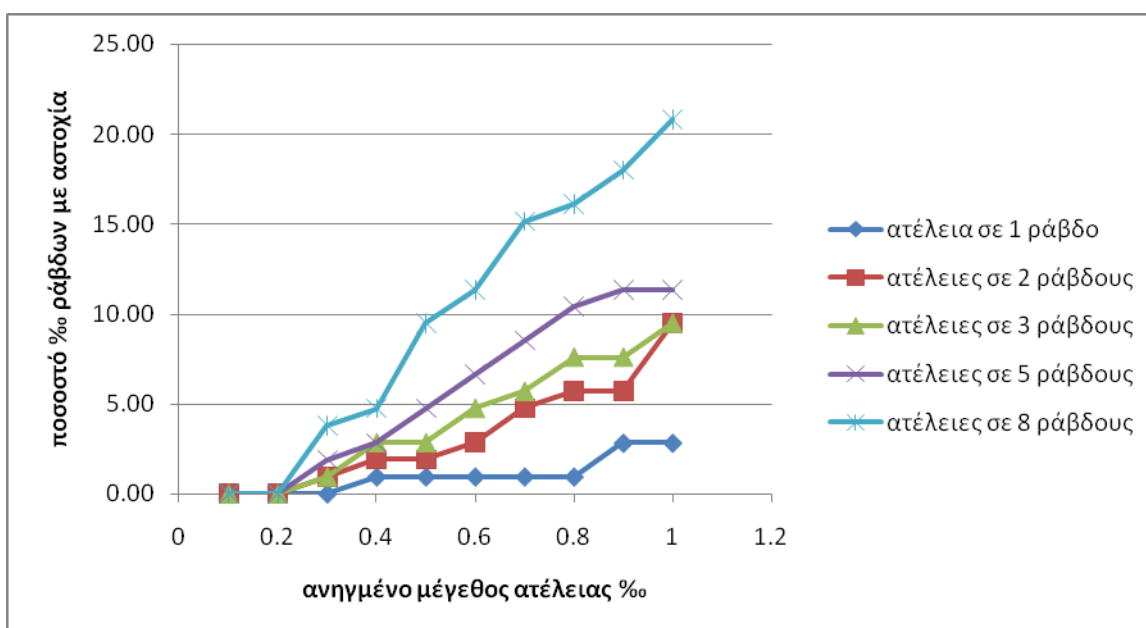
Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.2‰, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το σημείο από το οποίο ξεκινούν να αυξάνονται εμφανώς οι αστοχίες φαίνεται να είναι για ατέλειες της τάξης του 0.5‰. Από το συγκεκριμένο μέγεθος με περαιτέρω αύξηση του μεγέθους ατέλειας φαίνεται καθαρά ότι με προσθήκη επιπλέον ατελειών προκαλούνται όλο και περισσότερες αστοχίες. Στην περίπτωση ατελειών της τάξης του 1‰ σε 8 ράβδους, το ποσοστό των αστοχούντων ράβδων φτάνει στο 21.78‰.

3.3.2 Θετικές ατέλειες (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

3.3.2.1 Άνω σχάρα

Πίνακας 3.4: Ατέλειες στην άνω σχάρα (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.95	0.95	1.89	3.79
0.4	0.95	1.89	2.84	2.84	4.74
0.5	0.95	1.89	2.84	4.74	9.47
0.6	0.95	2.84	4.74	6.63	11.36
0.7	0.95	4.74	5.68	8.52	15.15
0.8	0.95	5.68	7.58	10.42	16.10
0.9	2.84	5.68	7.58	11.36	17.99
1	2.84	9.47	9.47	11.36	20.83

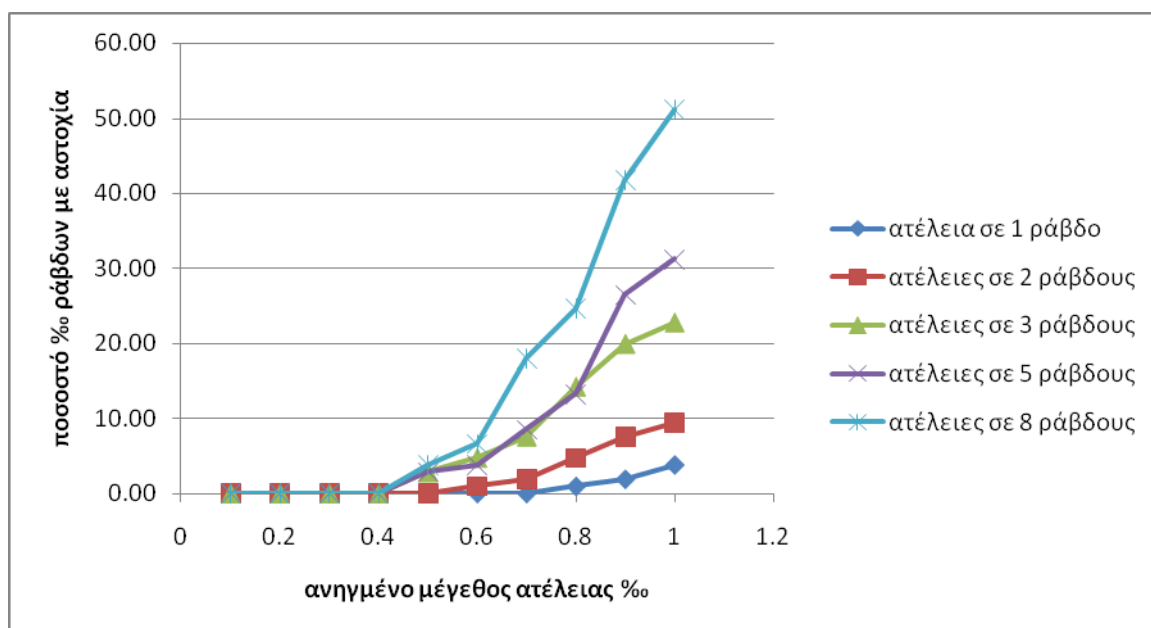


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.2%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το σημείο από το οποίο ξεκινούν να αυξάνονται εμφανώς οι αστοχίες φαίνεται να είναι για ατέλειες της τάξης του 0.4%. Από το συγκεκριμένο μέγεθος με περαιτέρω αύξηση του μεγέθους ατέλειας φαίνεται καθαρά ότι με προσθήκη επιπλέον ατελειών προκαλούνται όλο και περισσότερες αστοχίες. Στην περίπτωση ατελειών της τάξης του 1% σε 8 ράβδους, το ποσοστό των αστοχούντων ράβδων φτάνει στο 20.83.

3.3.2.2 Κάτω σχάρα

Πίνακας 3.5: Ατέλειες στην κάτω σχάρα (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος</u> <u>ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.00	0.00	2.84	2.84	3.79
0.6	0.00	0.95	4.74	3.79	6.63
0.7	0.00	1.89	7.58	8.52	17.99
0.8	0.95	4.74	14.21	13.26	24.62
0.9	1.89	7.58	19.89	26.52	41.67
1	3.79	9.47	22.73	31.25	51.14

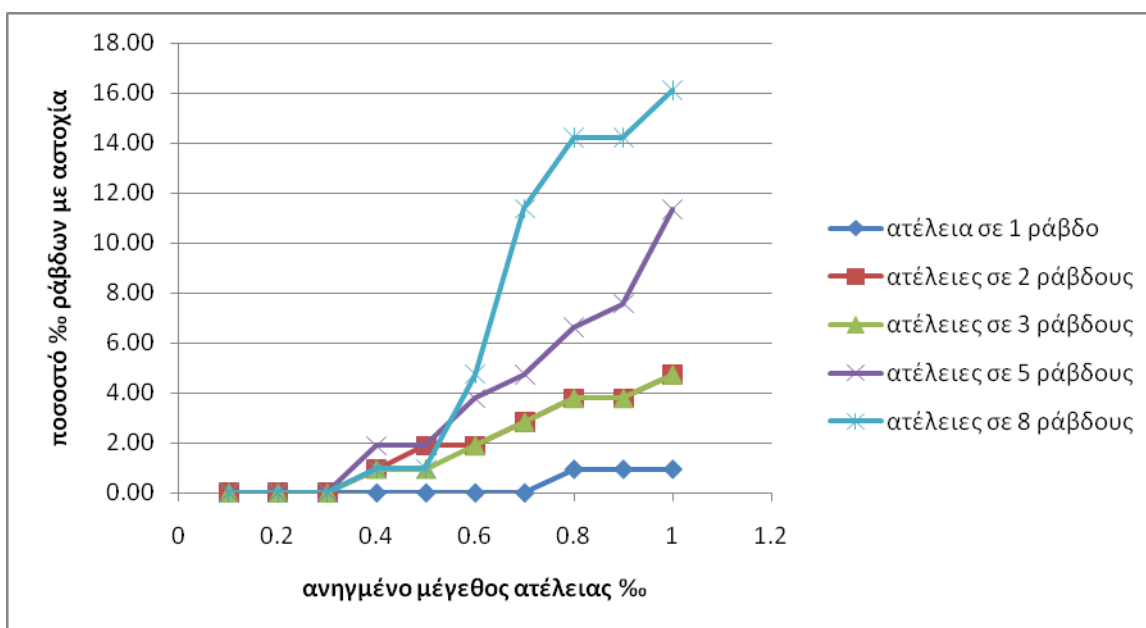


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.4%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το σημείο από το οποίο ξεκινούν να αυξάνονται εμφανώς οι αστοχίες φαίνεται να είναι για ατέλειες της τάξης του 0.6%. Από το συγκεκριμένο μέγεθος με περαιτέρω αύξηση του μεγέθους ατέλειας φαίνεται καθαρά ότι με προσθήκη επιπλέον ατελειών προκαλούνται όλο και περισσότερες αστοχίες. Στην περίπτωση ατελειών της τάξης του 1% σε 8 ράβδους, το ποσοστό των αστοχούντων ράβδων φτάνει στο 51.14%. Φαίνεται λοιπόν, πως το συγκεκριμένο χωροδικτύωμα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο σε ράβδους με μεγαλύτερο από το προβλεπόμενο μήκος όταν αυτές βρίσκονται στην κάτω σχάρα.

3.3.2.3 Διαγώνιες ράβδοι

Πίνακας 3.6: Ατέλειες στις διαγώνιες (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.00	0.95	0.95	1.89	0.95
0.5	0.00	1.89	0.95	1.89	0.95
0.6	0.00	1.89	1.89	3.79	4.74
0.7	0.00	2.84	2.84	4.74	11.36
0.8	0.95	3.79	3.79	6.63	14.21
0.9	0.95	3.79	3.79	7.58	14.21
1	0.95	4.74	4.74	11.36	16.10



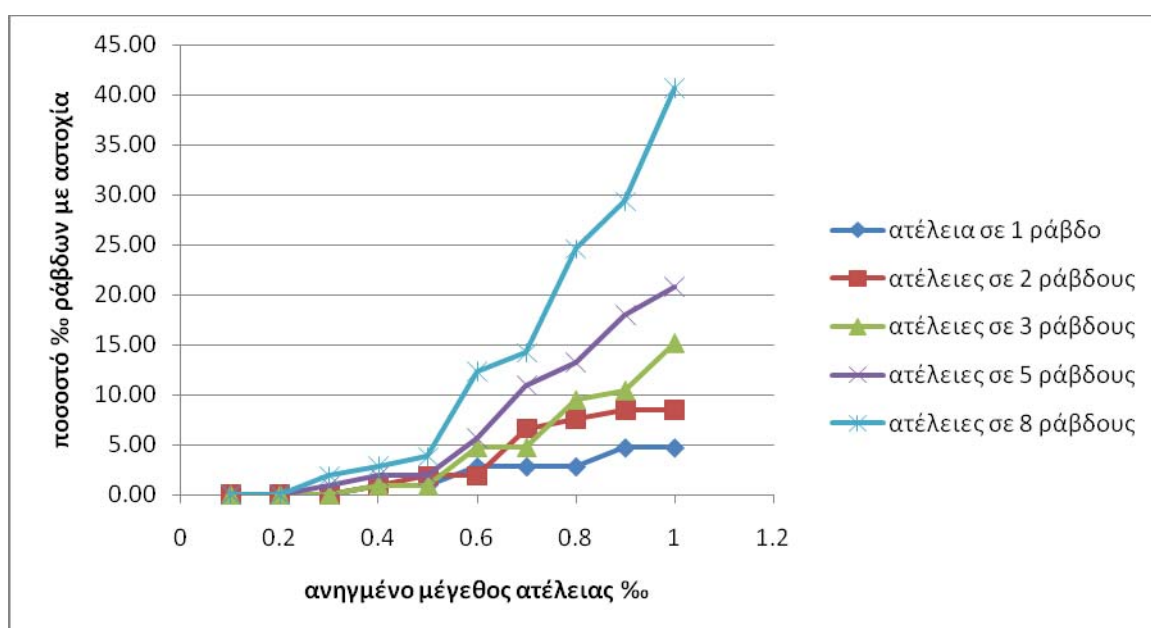
Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.3%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το σημείο από το οποίο ξεκινούν να αυξάνονται εμφανώς οι αστοχίες φαίνεται να είναι για ατέλειες της τάξης του 0.6%. Από το συγκεκριμένο μέγεθος με περαιτέρω αύξηση του μεγέθους ατέλειας φαίνεται καθαρά ότι με προσθήκη επιπλέον ατελειών προκαλούνται όλο και περισσότερες αστοχίες.

3.3.1 Αρνητικές ατέλειες με χιόνι (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

3.3.1.1 Άνω σχάρα

Πίνακας 3.7: Ατέλειες στην άνω σχάρα (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος</u> <u>ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.00	0.95	1.89
0.4	0.95	0.95	0.95	1.89	2.84
0.5	0.95	1.89	0.95	1.89	3.79
0.6	2.84	1.89	4.74	5.68	12.31
0.7	2.84	6.63	4.74	10.95	14.21
0.8	2.84	7.58	9.47	13.26	24.62
0.9	4.74	8.52	10.42	17.99	29.36
1	4.74	8.52	15.15	20.83	40.72

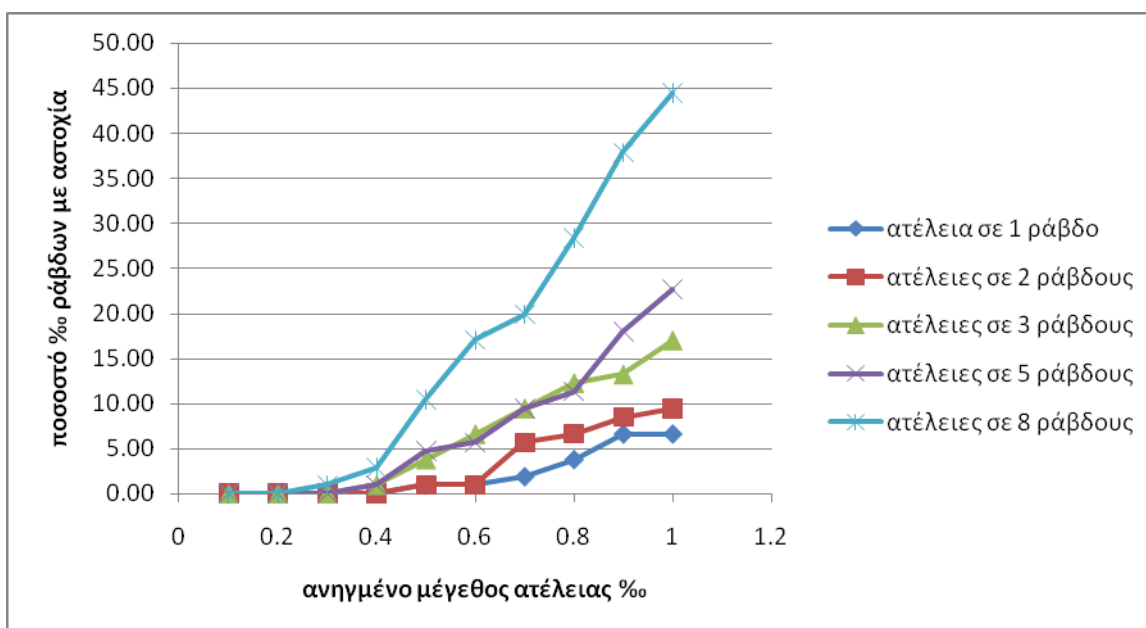


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.2%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση, η προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού αυξάνει κατά 11.36% τον αριθμό των αστοχούντων ράβδων, στην περίπτωση ατελειών της τάξης του 1% σε 8 ράβδους.

3.3.1.2 Κάτω σχάρα

Πίνακας 3.8: Ατέλειες στην κάτω σχάρα (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	<u>ατέλεια σε 1 ράβδο</u>	<u>ατέλειες σε 2 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 3 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 5 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 8 ράβδους</u>
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.95
0.4	0.00	0.00	0.95	0.95	2.84
0.5	0.95	0.95	3.79	4.74	10.42
0.6	0.95	0.95	6.63	5.68	17.05
0.7	1.89	5.68	9.47	9.47	19.89
0.8	3.79	6.63	12.31	11.36	28.41
0.9	6.63	8.52	13.26	17.99	37.88
1	6.63	9.47	17.05	22.73	44.51

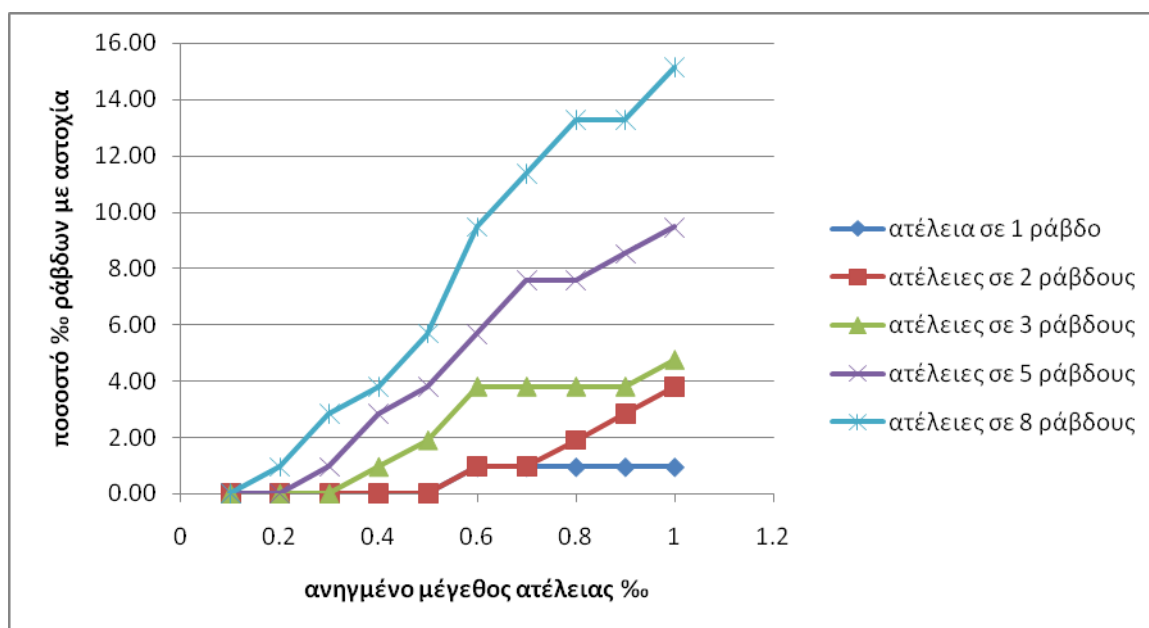


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.3%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το διάγραμμα δείχνει να ακολουθεί επακριβώς την πορεία του αντίστοιχου διαγράμματος χωρίς χιόνι. Η προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού αυξάνει ελάχιστα τον αριθμό των αστοχούντων ράβδων.

3.3.1.3 Διαγώνιες ράβδοι

Πίνακας 3.9: Ατέλειες στις διαγώνιες (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος</u> <u>ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.95
0.3	0.00	0.00	0.00	0.95	2.84
0.4	0.00	0.00	0.95	2.84	3.79
0.5	0.00	0.00	1.89	3.79	5.68
0.6	0.95	0.95	3.79	5.68	9.47
0.7	0.95	0.95	3.79	7.58	11.36
0.8	0.95	1.89	3.79	7.58	13.26
0.9	0.95	2.84	3.79	8.52	13.26
1	0.95	3.79	4.74	9.47	15.15



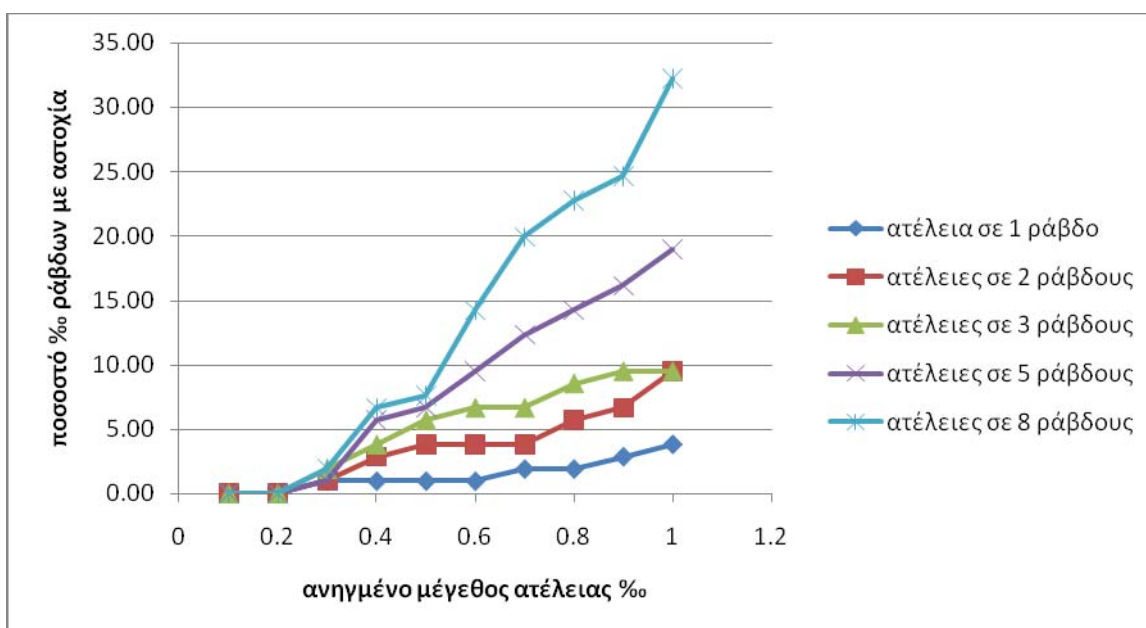
Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.1%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το διάγραμμα δείχνει να ακολουθεί επακριβώς την πορεία του αντίστοιχου διαγράμματος χωρίς χιόνι. Η προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού δε δείχνει να επηρεάζει ιδιαίτερα τη συμπεριφορά του φορέα.

3.3.2 Θετικές ατέλειες με χιόνι (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

3.3.2.1 Άνω σχάρα

Πίνακας 3.10: Ατέλειες στην άνω σχάρα (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος</u> <u>ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>					ατέλειες σε 8 ράβδους
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους	
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.95	0.95	1.89	0.95	1.89	1.89
0.4	0.95	2.84	3.79	5.68	6.63	6.63
0.5	0.95	3.79	5.68	6.63	7.58	7.58
0.6	0.95	3.79	6.63	9.47	14.21	14.21
0.7	1.89	3.79	6.63	12.31	19.89	19.89
0.8	1.89	5.69	8.52	14.21	22.73	22.73
0.9	2.84	6.63	9.47	16.10	24.62	24.62
1	3.79	9.47	9.47	18.94	32.20	32.20

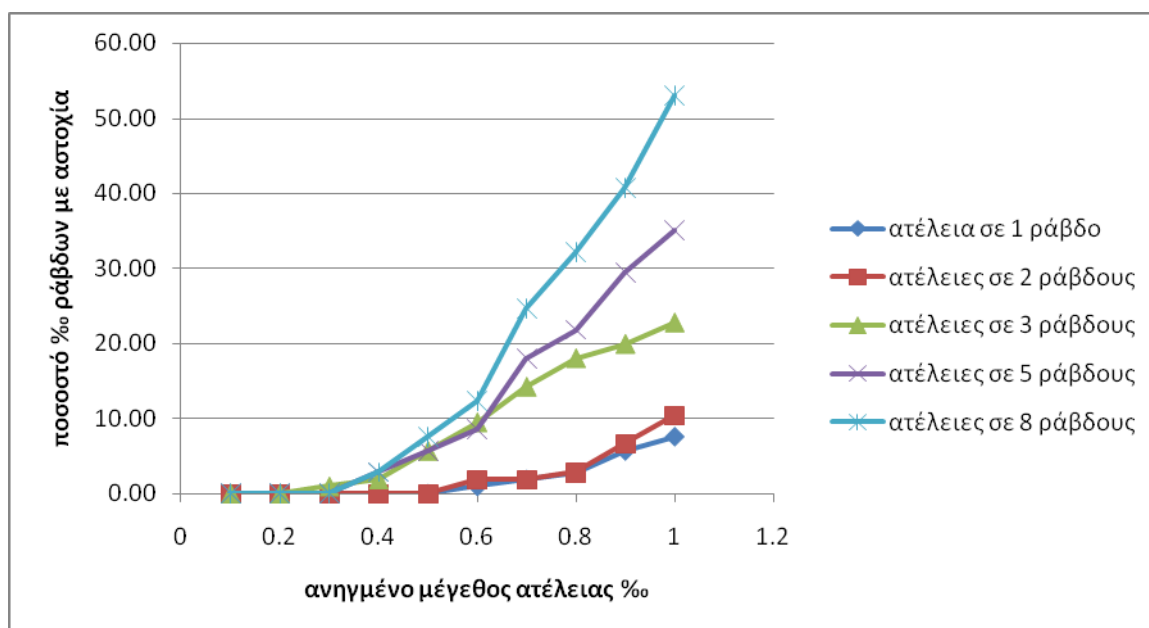


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.2%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση, η προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού αυξάνει κατά 11.37% τον αριθμό των αστοχούντων ράβδων, στην περίπτωση ατελειών της τάξης του 1% σε 8 ράβδους.

3.3.2.2 Κάτω σχάρα

Πίνακας 3.11: Ατέλειες στην κάτω σχάρα (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος</u> <u>ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.95	0.00	0.00
0.4	0.00	0.00	1.89	2.84	2.84
0.5	0.00	0.00	5.68	5.68	7.58
0.6	0.95	1.89	9.47	8.52	12.31
0.7	1.89	1.89	14.21	17.99	24.62
0.8	2.84	2.84	17.99	21.78	32.20
0.9	5.68	6.63	19.89	29.36	40.72
1	7.58	10.42	22.73	35.04	53.03

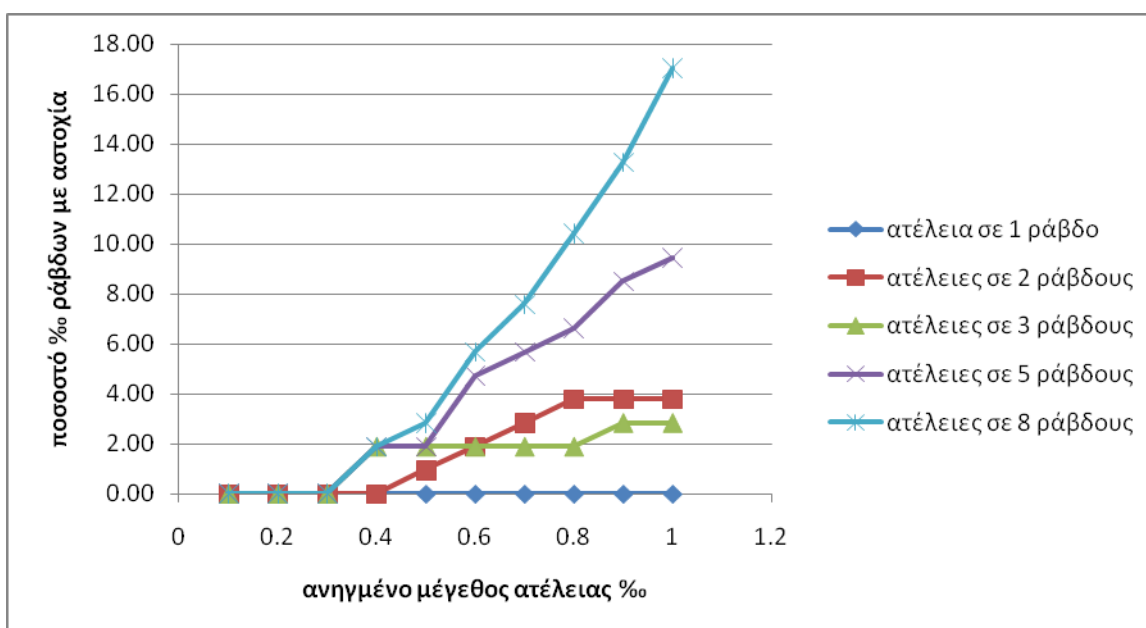


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.3%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το διάγραμμα δείχνει να ακολουθεί επακριβώς την πορεία του αντίστοιχου διαγράμματος χωρίς χιόνι. Η προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού αυξάνει ελάχιστα τον αριθμό των αστοχούντων ράβδων.

3.3.2.3 Διαγώνιες ράβδοι

Πίνακας 3.12: Ατέλειες στις διαγώνιες (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

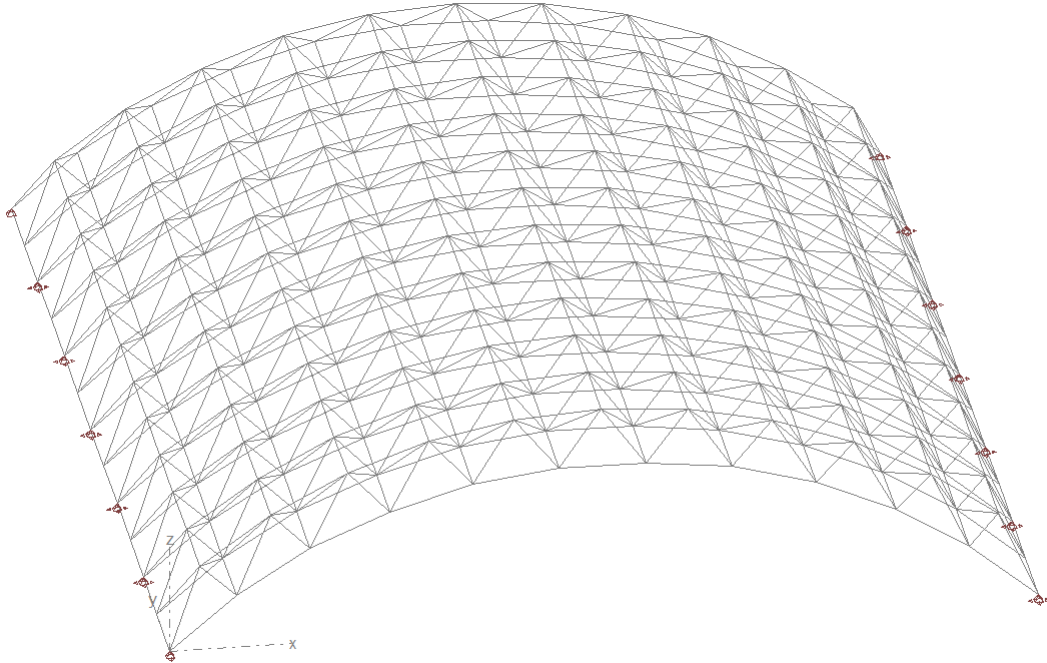
<u>ανηγμένο μέγεθος</u> <u>ατέλειας %</u>	ποσοστό % ράβδων με αστοχία				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.00	0.00	1.89	1.89	1.89
0.5	0.00	0.95	1.89	1.89	2.84
0.6	0.00	1.89	1.89	4.74	5.68
0.7	0.00	2.84	1.89	5.68	7.58
0.8	0.00	3.79	1.89	6.63	10.42
0.9	0.00	3.79	2.84	8.52	13.26
1	0.00	3.79	2.84	9.47	17.05



Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.3%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το διάγραμμα δείχνει να ακολουθεί επακριβώς την πορεία του αντίστοιχου διαγράμματος χωρίς χιόνι. Η προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού αυξάνει ελάχιστα τον αριθμό των αστοχούντων ράβδων.

3.4 Επίλυση του χωροδικτύωματος με διαφορετικές συνθήκες στηρίξεως

3.4.1 Στατικό προσομοίωμα



Για λόγους επιπλέον διερεύνησης της συμπεριφοράς του χωροδικτύωματος, οι περιμετρικές στηρίξεις διαφοροποιούνται. Οι στηρίξεις που τίθενται στους 4 γωνιακούς κόμβους είναι διαδοχικά οι εξής:

- Άρθρωση που δεσμεύει τις μετακινήσεις και στους 3 άξονες.
- Άρθρωση που δεσμεύει τις μετακινήσεις στους άξονες $x-x$ και $z-z$.
- Άρθρωση που δεσμεύει τη μετακίνηση στον άξονα $z-z$.
- Άρθρωση που δεσμεύει κατά $y-y$ και $z-z$.

Όλες οι υπόλοιπες στηρίξεις που τίθενται δεσμεύουν μόνο την μετακίνηση κατά $z-z$. Ο φορέας επιλύεται ξανά με τα φορτία σχεδιασμού και διαστασιολογείται. Πλέον το κάτω πέλμα εφελκύεται και οι μεγαλύτερες διατομές, στις οποίες τίθενται στη συνέχεια οι ατέλειες, προκύπτουν στο μέσον του και όχι περιμετρικά όπως στις προηγούμενες συνθήκες στήριξης. Η διαδικασία που ακολουθεί για τον σχηματισμό των συνδυασμών που θα ελεγχθεί ο φορέας είναι η ίδια.

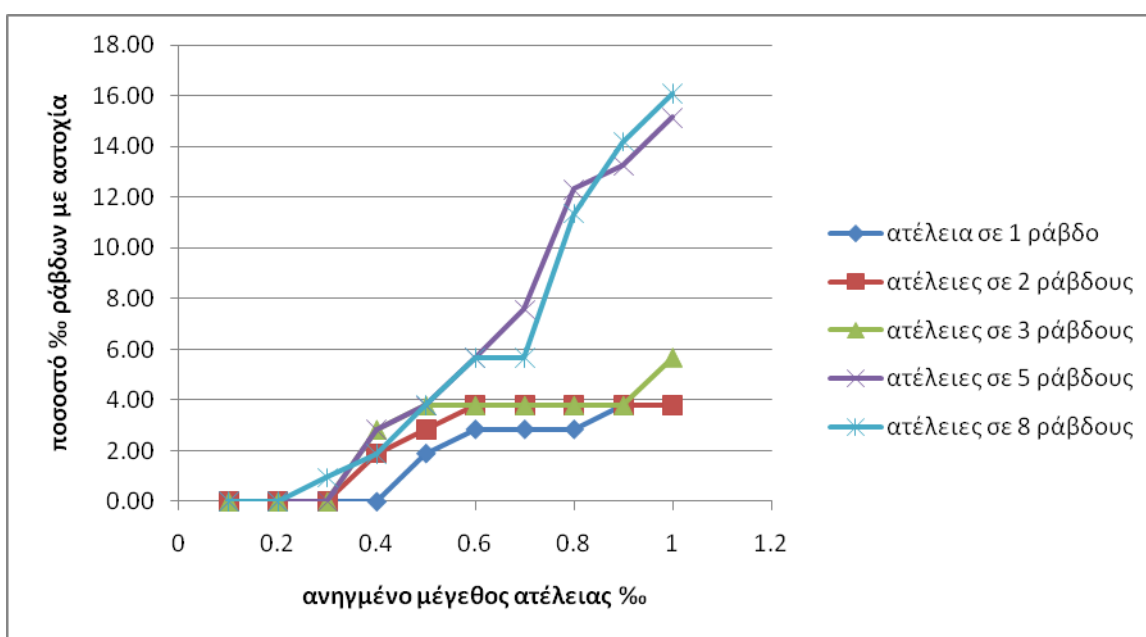
3.4.2 Αποτελέσματα αναλύσεων

3.4.2.1 Αρνητικές ατέλειες (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

➤ Άνω σχάρα

Πίνακας 3.13: Ατέλειες στην άνω σχάρα (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος</u> <u>ατέλειας %</u>		<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
		<u>ατέλεια σε</u> <u>1 ράβδο</u>	<u>ατέλειες σε</u> <u>2 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε</u> <u>3 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε</u> <u>5 ράβδους</u>	<u>ατέλειες</u> <u>σε 8</u> <u>ράβδους</u>
0.1	0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.95
0.4	0.4	0.00	1.89	2.84	2.84	1.89
0.5	0.5	1.89	2.84	3.79	3.79	3.79
0.6	0.6	2.84	3.79	3.79	5.68	5.68
0.7	0.7	2.84	3.79	3.79	7.57	5.68
0.8	0.8	2.84	3.79	3.79	12.31	11.36
0.9	0.9	3.79	3.79	3.79	13.25	14.20
1	1	3.79	3.79	5.68	15.15	16.10

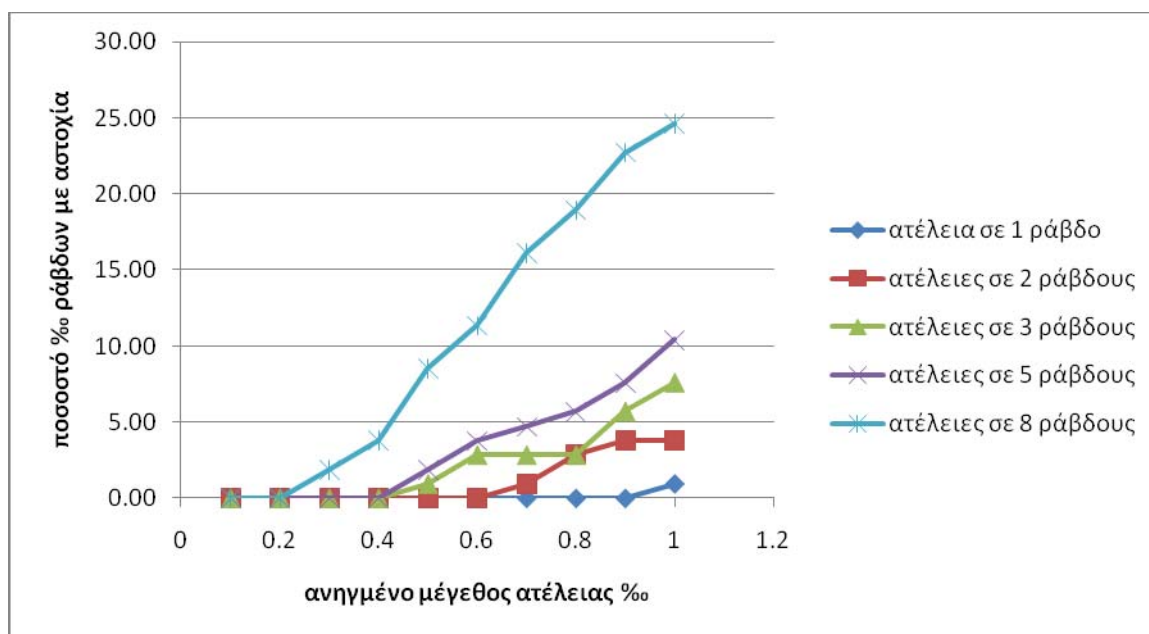


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.3%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση, η προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού αυξάνει κατά 8.52% τον αριθμό των αστοχούντων ράβδων, στην περίπτωση ατελειών της τάξης του 1% σε 8 ράβδους.

➤ Κάτω σχάρα

Πίνακας 3.14: Ατέλειες στην κάτω σχάρα (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

		ποσοστό % ράβδων με αστοχία				
ανηγμένο μέγεθος ατέλειας ‰		ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3		0.00	0.00	0.00	0.00	1.89
0.4		0.00	0.00	0.00	0.00	3.79
0.5		0.00	0.00	0.95	1.89	8.52
0.6		0.00	0.00	2.84	3.79	11.36
0.7		0.00	0.95	2.84	4.70	16.10
0.8		0.00	2.84	2.84	5.68	18.94
0.9		0.00	3.79	5.68	7.57	22.73
1		0.95	3.79	7.57	10.42	24.63

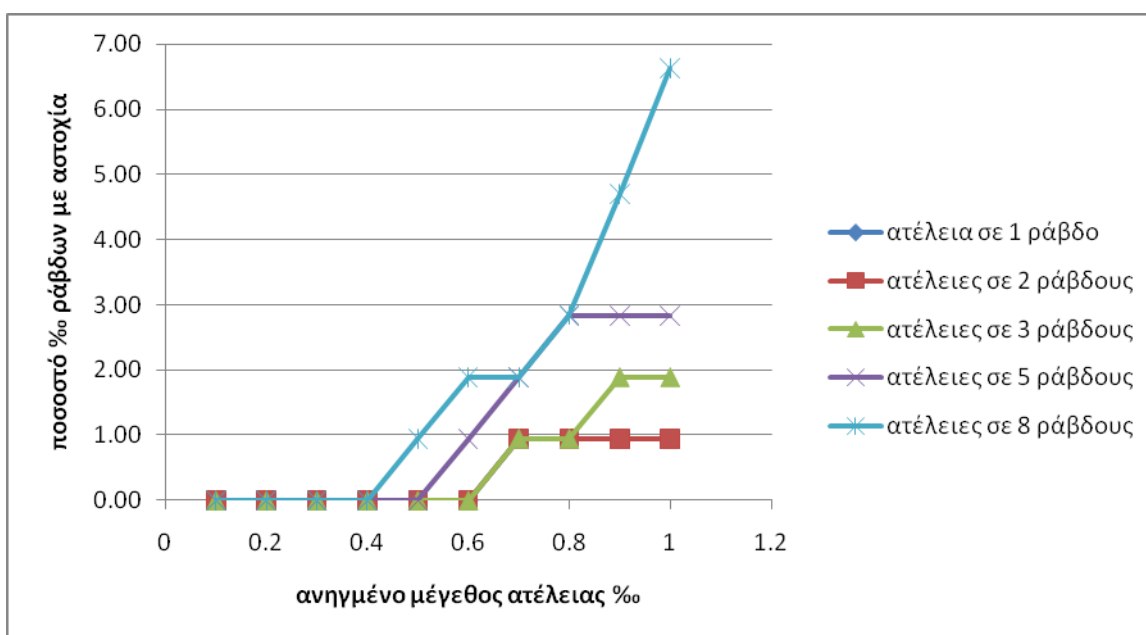


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.2‰, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση, η προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού αυξάνει κατά 5.68‰ τον αριθμό των αστοχούντων ράβδων, στην περίπτωση ατελειών της τάξης του 1‰ σε 8 ράβδους.

➤ Διαγώνιες ράβδοι

Πίνακας 3.15: Ατέλειες στις διαγώνιες ράβδους (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

		ποσοστό % ράβδων με αστοχία				
<u>ανηγμένο μέγεθος ατέλειας %</u>		ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5		0.00	0.00	0.00	0.00	0.95
0.6		0.00	0.00	0.00	0.95	1.89
0.7		0.95	0.95	0.95	1.89	1.89
0.8		0.95	0.95	0.95	2.84	2.84
0.9		0.95	0.95	1.89	2.84	4.70
1		0.95	0.95	1.89	2.84	6.63



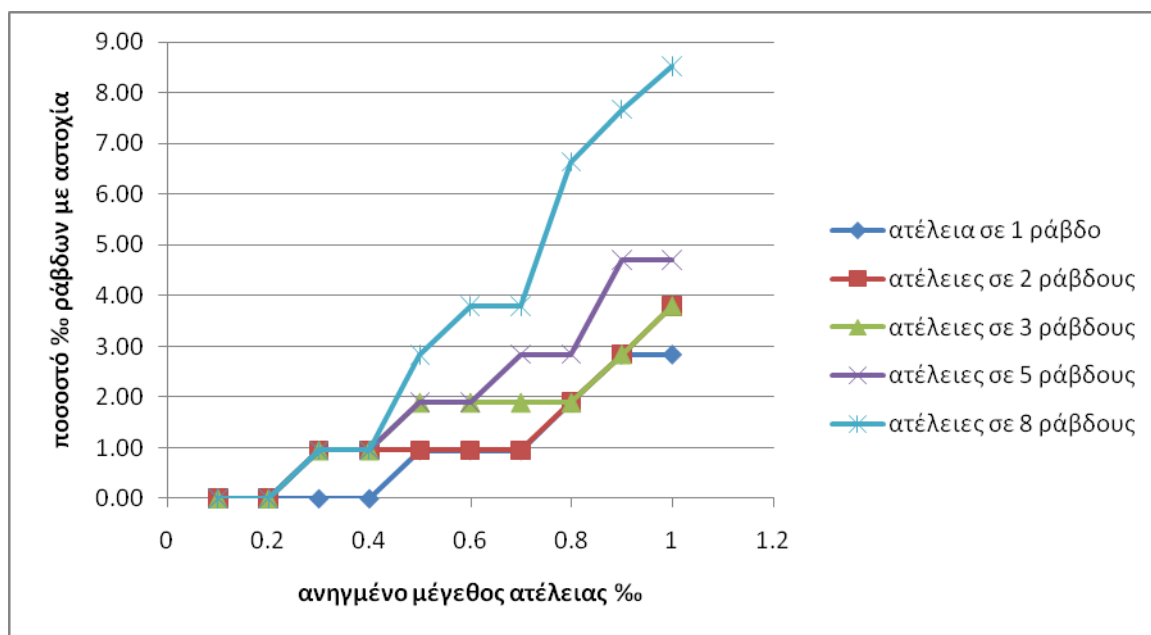
Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.4%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το σημείο από το οποίο ξεκινούν να αυξάνονται εμφανώς οι αστοχίες φαίνεται να είναι για ατέλειες της τάξης του 0.7%. Ο φορέας δεν φαίνεται να είναι ευαίσθητος σε ατέλειες τέτοιου είδους.

3.4.2.2 Θετικές ατέλειες (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

➤ Άνω σχάρα

Πίνακας 3.16: Ατέλειες στην άνω σχάρα (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

		ποσοστό % ράβδων με αστοχία				
ανηγμένο μέγεθος ατέλειας ‰		ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3		0.00	0.95	0.95	0.95	0.95
0.4		0.00	0.95	0.95	0.95	0.95
0.5		0.95	0.95	1.89	1.89	2.84
0.6		0.95	0.95	1.89	1.89	3.79
0.7		0.95	0.95	1.89	2.84	3.79
0.8		1.89	1.89	1.89	2.84	6.63
0.9		2.84	2.84	2.84	4.70	7.67
1		2.84	3.79	3.79	4.70	8.52

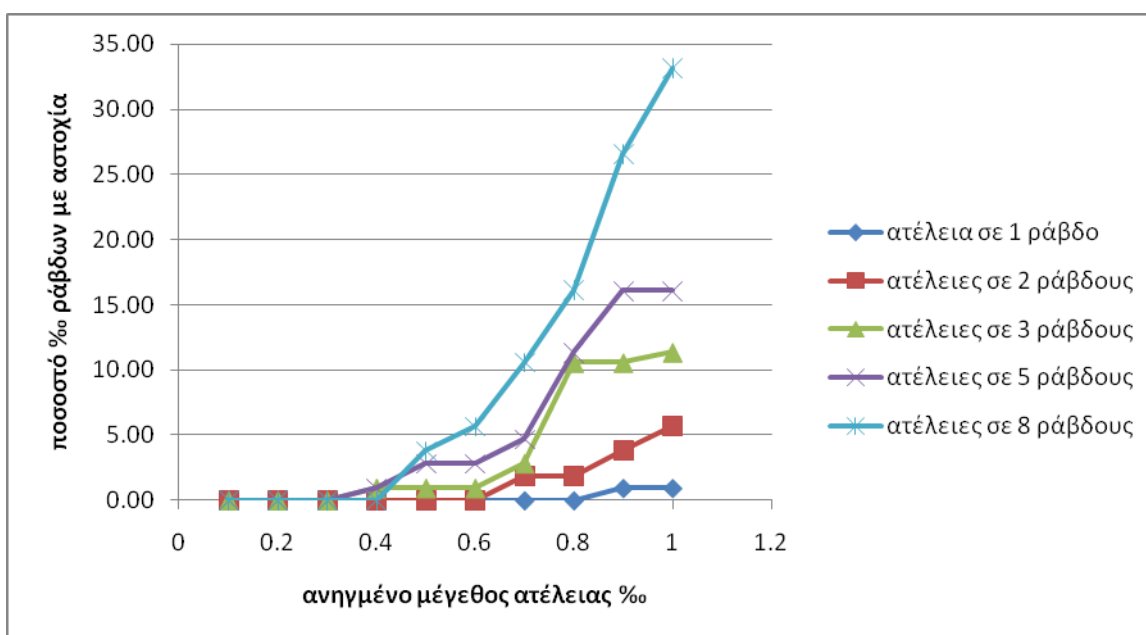


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.2‰, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το σημείο από το οποίο ξεκινούν να αυξάνονται εμφανώς οι αστοχίες φαίνεται να είναι για ατέλειες της τάξης του 0.6‰. Ο φορέας δεν φαίνεται να είναι ευαίσθητος σε ατέλειες τέτοιου είδους. Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον τελευταίο από τους συνδυασμούς του πίνακα δεν παρατηρούνται ιδιαίτερες διαφορές.

➤ Κάτω σχάρα

Πίνακας 3.17: Ατέλειες στην κάτω σχάρα (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος</u> <u>ατέλειας %</u>		ποσοστό % ράβδων με αστοχία				
		ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.00	0.00	0.00	0.95	0.95	0.00
0.5	0.00	0.00	0.95	2.84	3.79	
0.6	0.00	0.00	0.95	2.84	5.68	
0.7	0.00	1.89	2.84	4.70	10.56	
0.8	0.00	1.89	10.56	11.36	16.10	
0.9	0.95	3.79	10.56	16.10	26.52	
1	0.95	5.68	11.36	16.10	33.14	

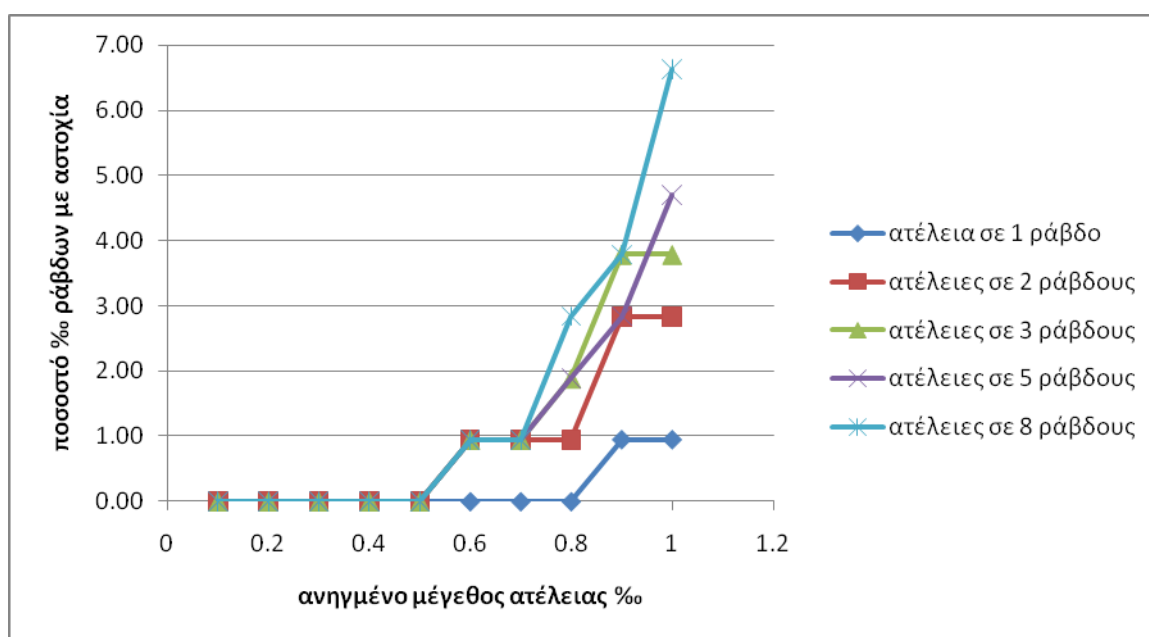


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.3%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το σημείο από το οποίο ξεκινούν να αυξάνονται εμφανώς οι αστοχίες φαίνεται να είναι για ατέλειες της τάξης του 0.7%. Ο φορέας δεν φαίνεται να είναι ευαίσθητος σε ατέλειες τέτοιου είδους. Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον τελευταίο από τους συνδυασμούς του πίνακα, οι αστοχίες μειώνονται στο 22.58%.

➤ Διαγώνιες ράβδοι

Πίνακας 3.18: Ατέλειες στις διαγώνιες ράβδους (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος</u> <u>ατέλειας ‰</u>		ποσοστό ‰ ράβδων με αστοχία				
		ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.6	0.00	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
0.7	0.00	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
0.8	0.00	0.95	1.89	1.89	1.89	2.84
0.9	0.95	2.84	3.79	2.84	2.84	3.79
1	0.95	2.84	3.79	4.70	6.63	6.63



Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.4‰, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το σημείο από το οποίο ξεκινούν να αυξάνονται εμφανώς οι αστοχίες φαίνεται να είναι για ατέλειες της τάξης του 0.7‰. Ο φορέας δεν φαίνεται να είναι ευαίσθητος σε ατέλειες τέτοιου είδους.

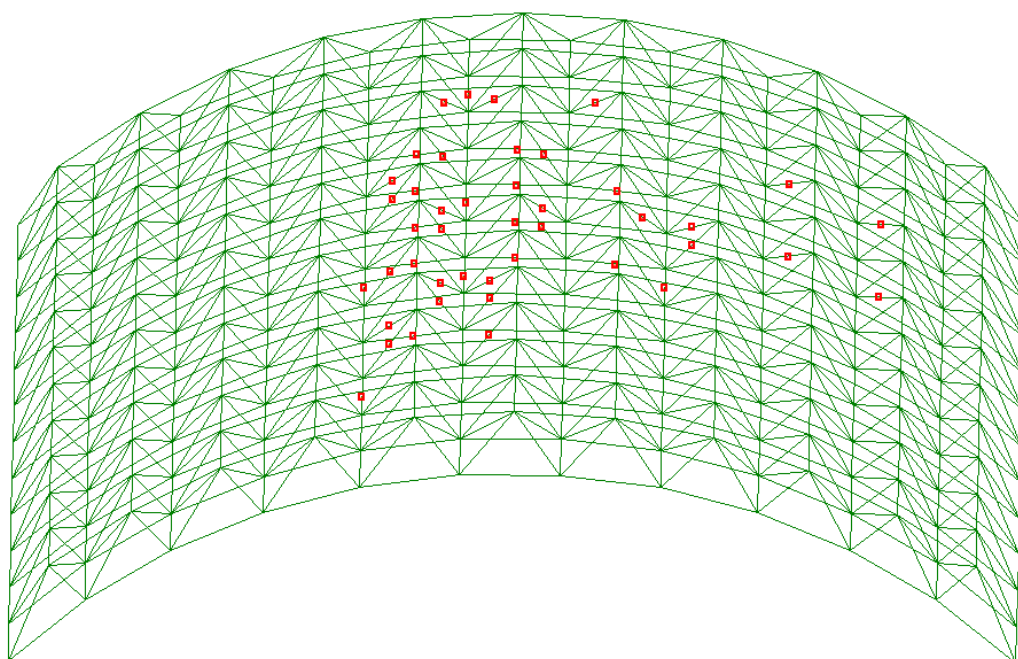
3.5 Κατανομή ράβδων με αστοχία

Στην προσπάθεια διερεύνησης της συμπεριφοράς του φορέα μετά την προσθήκη των ατελειών μήκους στις επιλεγμένες ράβδους, στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο παρουσιάζεται η κατανομή των ράβδων που αστοχούν στο σύνολο του φορέα. Για λόγους απλότητας παρουσιάζονται οι εν λόγω κατανομές στους συνδυασμούς που περιλαμβάνουν ατέλειες μήκους σε 8 ράβδους μεγέθους ατέλειας της τάξης του 1%.

3.5.1 Ατέλειες μήκους στην άνω σχάρα

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η κατανομή των αστοχιών ,που προκλήθηκαν στον φορέα λόγω ατελειών μήκους σε ράβδους της άνω σχάρας στην κρισιμότερη από τις τέσσερις παρακάτω περιπτώσεις. Με κόκκινες κουκίδες επισημαίνονται οι ράβδοι που έχουν αστοχήσει.

Σχήμα 3.2: Κατανομή αστοχιών για ράβδους με μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο και προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού.



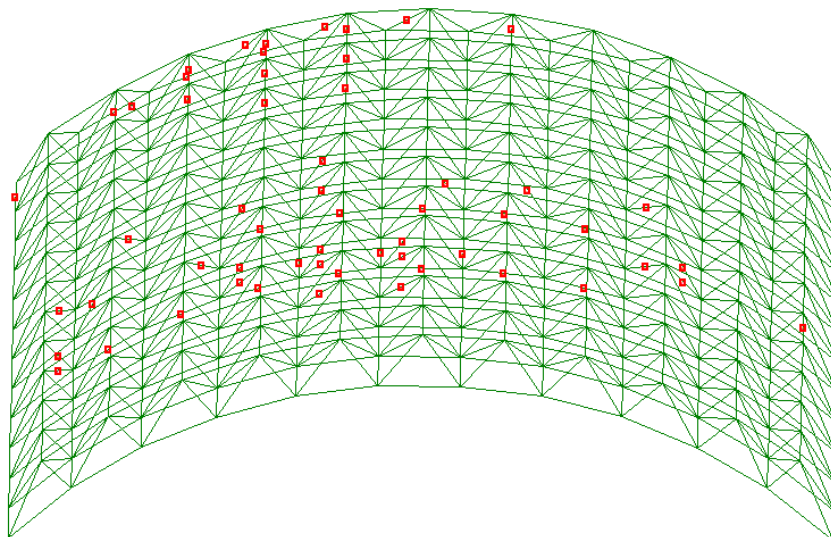
- Για τις πρώτες συνθήκες στήριξης:
 - Για ράβδους με μικρότερο από το προβλεπόμενο μήκος (αρνητικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 31 ράβδους, εκ των οποίων οι 9 είναι στην κάτω σχάρα και οι υπόλοιπες 22 στις διαγώνιες ράβδους.
 - Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό , παρατηρείται αστοχία σε 43 ράβδους, εκ των οποίων οι 17 είναι στην κάτω σχάρα και οι υπόλοιπες 26 στις διαγώνιες ράβδους.
 - Για ράβδους με μεγαλύτερο από το προβλεπόμενο μήκος (θετικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 22 ράβδους, εκ των οποίων οι 8 είναι στην κάτω σχάρα και οι υπόλοιπες 13 στις διαγώνιες ράβδους.

- Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό, παρατηρείται αστοχία σε 34 ράβδους, εκ των οποίων οι 10 είναι στην κάτω σχάρα, οι 6 στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 18 στις διαγώνιες ράβδους.
- Για τις δεύτερες συνθήκες στήριξης:
 - Για ράβδους με μικρότερο από το προβλεπόμενο μήκος (αρνητικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 17 ράβδους, εκ των οποίων οι 9 είναι στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 8 στις διαγώνιες ράβδους.
 - Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό, παρατηρείται αστοχία σε 26 ράβδους, εκ των οποίων οι 20 είναι στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 6 στις διαγώνιες ράβδους.
 - Για ράβδους με μεγαλύτερο από το προβλεπόμενο μήκος (θετικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 9 ράβδους, εκ των οποίων οι 2 είναι στην κάτω σχάρα και οι υπόλοιπες 7 στις διαγώνιες ράβδους.
 - Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό, παρατηρείται αστοχία σε 11 ράβδους, οι 2 βρίσκονται στην κάτω σχάρα και οι υπόλοιπες 9 στις διαγώνιες ράβδους.

3.5.2 Ατέλειες μήκους στην κάτω σχάρα

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η κατανομή των αστοχιών που προκλήθηκαν στον φορέα λόγω ατελειών μήκους σε ράβδους της κάτω σχάρας στην κρισιμότερη από τις τέσσερις παρακάτω περιπτώσεις. Με κόκκινες κουκίδες επισημαίνονται οι ράβδοι που έχουν αστοχήσει.

Σχήμα 3.3: Κατανομή αστοχιών για ράβδους με μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο και προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού.

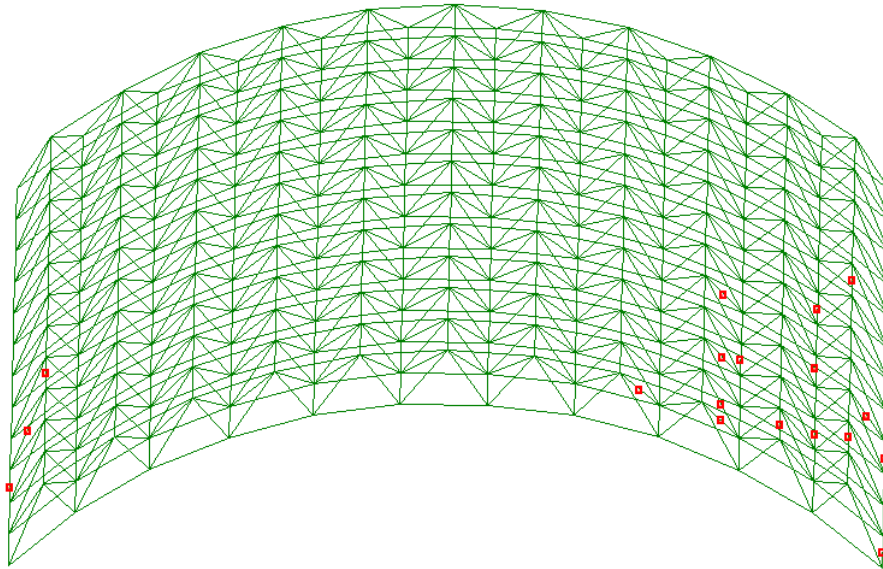


- Για τις πρώτες συνθήκες στήριξης:
 - Για ράβδους με μικρότερο από το προβλεπόμενο μήκος (αρνητικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 43 ράβδους, εκ των οποίων οι 15 είναι στην κάτω σχάρα, 10 στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 18 στις διαγώνιες ράβδους.
 - Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό, παρατηρείται αστοχία σε 47 ράβδους, εκ των οποίων οι 15 είναι στην κάτω σχάρα, οι 11 στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 21 στις διαγώνιες ράβδους.
 - Για ράβδους με μεγαλύτερο από το προβλεπόμενο μήκος (θετικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 54 ράβδους, εκ των οποίων οι 9 είναι στην κάτω σχάρα, 15 στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 30 στις διαγώνιες ράβδους.
 - Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό, παρατηρείται αστοχία σε 56 ράβδους, εκ των οποίων οι 19 είναι στην κάτω σχάρα, οι 10 στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 27 στις διαγώνιες ράβδους.
- Για τις δεύτερες συνθήκες στήριξης:
 - Για ράβδους με μικρότερο από το προβλεπόμενο μήκος (αρνητικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 26 ράβδους, εκ των οποίων οι 7 είναι στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 19 στις διαγώνιες ράβδους.
 - Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό, παρατηρείται αστοχία σε 32 ράβδους, εκ των οποίων οι 14 είναι στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 18 στις διαγώνιες ράβδους.
 - Για ράβδους με μεγαλύτερο από το προβλεπόμενο μήκος (θετικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 35 ράβδους, εκ των οποίων οι 3 είναι στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 32 στις διαγώνιες ράβδους.
 - Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό, παρατηρείται αστοχία σε 10 ράβδους, η 3 βρίσκονται στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 7 στις διαγώνιες ράβδους.

3.5.3 Ατέλειες μήκους στις διαγώνιες ράβδους

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η κατανομή των αστοχιών, που προκλήθηκαν στον φορέα λόγω ατελειών μήκους σε διαγώνιες ράβδους στην κρισιμότερη από τις τέσσερις παρακάτω περιπτώσεις. Με κόκκινες κουκίδες επισημαίνονται οι ράβδοι που έχουν αστοχήσει.

Σχήμα 3.4: Κατανομή αστοχιών για ράβδους με μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο και προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού.



- Για τις πρώτες συνθήκες στήριξης:
 - Για ράβδους με μικρότερο από το προβλεπόμενο μήκος (αρνητικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 23 ράβδους, εκ των οποίων οι 7 είναι στην κάτω σχάρα, 6 στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 10 στις διαγώνιες ράβδους.
 - Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό, παρατηρείται αστοχία σε 16 ράβδους, εκ των οποίων οι 6 είναι στην κάτω σχάρα, οι 5 στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 5 στις διαγώνιες ράβδους.
 - Για ράβδους με μεγαλύτερο από το προβλεπόμενο μήκος (θετικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 17 ράβδους, εκ των οποίων οι 7 είναι στην κάτω σχάρα, 5 στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 5 στις διαγώνιες ράβδους.
 - Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό, παρατηρείται αστοχία σε 18 ράβδους, εκ των οποίων οι 6 είναι στην κάτω σχάρα, οι 5 στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 7 στις διαγώνιες ράβδους.
- Για τις δεύτερες συνθήκες στήριξης:
 - Για ράβδους με μικρότερο από το προβλεπόμενο μήκος (αρνητικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 7 ράβδους, εκ των οποίων οι 3 είναι στην κάτω σχάρα και οι υπόλοιπες 4 στις διαγώνιες ράβδους.
 - Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό, παρατηρείται αστοχία σε 5 ράβδους, εκ των οποίων οι 1 είναι στην κάτω σχάρα, οι 3 στην άνω σχάρα και η 1 στις διαγώνιες ράβδους.
 - Για ράβδους με μεγαλύτερο από το προβλεπόμενο μήκος (θετικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 7 ράβδους, εκ των οποίων οι 3 είναι στην κάτω σχάρα, η 1 στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 3 στις διαγώνιες ράβδους.
 - Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό, παρατηρείται αστοχία σε 4 ράβδους, οι 2 βρίσκονται στην άνω σχάρα και οι άλλες 2 στις διαγώνιες ράβδους.

3.6 Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα

Συγκρίνοντας τα παραπάνω αποτελέσματα που προέκυψαν από τις επιλύσεις εξάγονται για το συγκριμένο χωροδικτύωμα τα παρακάτω συμπεράσματα:

Για τις πρώτες συνθήκες στήριξης εξάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Στην περίπτωση θετικών ατελειών ($\varepsilon > 0$), το σύστημα παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία όταν αυτές οι ατέλειες βρίσκονται στο κάτω πέλμα. Ενδεικτικά, για 8 ράβδους με ατέλειες στο κάτω πέλμα και για μέγεθος ατέλειας 1% το ποσοστό των ράβδων που αστοχούν είναι 51.14%. Το αντίστοιχο ποσοστό για ατέλειες στο άνω πέλμα είναι 20.83% και για ατέλειες στις διαγώνιους είναι 16.10%. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι θετικές ατέλειες στο κάτω πέλμα προκαλούν θλιπτικές δυνάμεις σε περισσότερες ράβδους στην άνω σχάρα από ότι οι ατέλειες στην άνω σχάρα και στις διαγώνιες.
- Στην περίπτωση αρνητικών ατελειών ($\varepsilon < 0$), το σύστημα παρουσιάζει ξανά μεγαλύτερη ευαισθησία όταν αυτές οι ατέλειες βρίσκονται στο κάτω πέλμα. Ενδεικτικά για 8 ράβδους με ατέλειες στο κάτω πέλμα και για μέγεθος ατέλειας 1% το ποσοστό των ράβδων που αστοχούν είναι 40.72%. το αντίστοιχο ποσοστό για ατέλειες στο άνω πέλμα είναι 29.36% και για ατέλειες στις διαγώνιους είναι 21.78%. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το πρόσθετο βέλος για αρνητικές ατέλειες στην κάτω σχάρα είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο για αρνητικές ατέλειες στην άνω σχάρα και προκαλεί επιπλέον θλίψη στο σύνολο της άνω σχάρας.
- Με ατέλειες στις διαγώνιες ράβδους επηρεάζεται η συμπεριφορά του φορέα. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται και για θετικές και για αρνητικές ατέλειες. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για $\varepsilon = -1\%$ και για 8 ατέλειες στις διαγώνιες ράβδους το ποσοστό αστοχίας είναι 21.78% και για $\varepsilon = 1\%$ και 8 ατέλειες στις διαγώνιες το ποσοστό αστοχίας είναι 16.10%. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στο συγκεκριμένο χωροδικτύωμα η επιρροή των ατελειών στις διαγώνιες ράβδους δεν περιορίζεται στο μόνο στο κοντινό τους τμήμα αλλά επεκτείνεται σε μεγαλύτερο τμήμα του φορέα.
- Το φορτίο χιονιού επηρεάζει δυσμενώς τη συμπεριφορά του χωροδικτύωματος. Ενδεικτικά για 8 ατέλειες και για μέγεθος ατέλειας 1% αρνητικό στην άνω σχάρα το ποσοστό των ράβδων που αστοχούν είναι 40.72% ενώ με το ίδιο μέγεθος ατέλειας και χωρίς φορτίο χιονιού έχουμε ποσοστό αστοχίας 29.36%. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι με την προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού επιβαρύνεται αρκετά η κάτω σχάρα και σε αυτή την περιοχή εμφανίζονται επιπλέον αστοχίες.
- Όταν η ατέλεια φτάσει το 0.2%, τότε παρουσιάζονται οι πρώτες αστοχίες ράβδων. Δηλαδή, για τις ράβδους που έχουν μήκος 5m η ατέλεια θα πρέπει να είναι $0,0002 \cdot 5 = 0,001\text{m} = 1\text{mm}$. Εξάλλου σύμφωνα με την εταιρία MERO υπάρχει μια ανοχή για κατασκευαστικές ατέλειες τέτοιου μεγέθους.
- Με βάση την κατανομή των αστοχιών του προηγούμενου υποκεφαλαίου για τις πρώτες συνθήκες στήριξης όταν οι ατέλειες βρίσκονται στην άνω σχάρα οι αστοχίες σημειώνονται κυρίως στις διαγώνιες ράβδους ενώ στην άνω σχάρα δεν παρουσιάζεται σχεδόν καμία αστοχία. Όταν οι ατέλειες βρίσκονται στην κάτω σχάρα οι αστοχίες σχεδόν ισοκατανέμονται στο φορέα. Ενώ όταν οι ατέλειες βρίσκονται στις διαγώνιες ράβδους, οι αστοχίες ισοκατανέμονται.

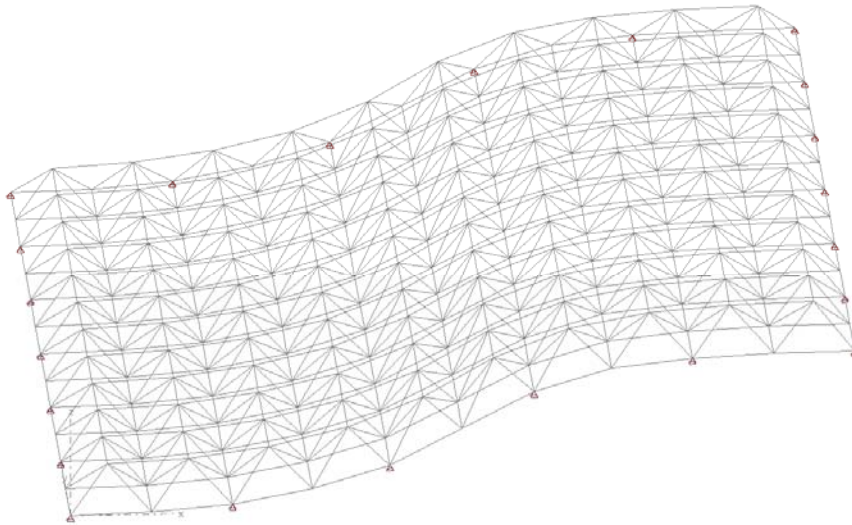
Για τις δεύτερες συνθήκες στήριξης εξάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Στην περίπτωση θετικών ατελειών ($\varepsilon > 0$), παρουσιάζεται μεγαλύτερη ευαισθησία όταν αυτές οι ατέλειες βρίσκονται στο κάτω πέλμα. Ενδεικτικά, για 8 ράβδους με ατέλειες στο κάτω πέλμα και για μέγεθος ατέλειας 1‰ το ποσοστό των ράβδων που αστοχούν είναι 33.14 %. Το αντίστοιχο ποσοστό για ατέλειες στο άνω πέλμα είναι 8.52‰ και για ατέλειες στις διαγώνιους είναι 6.66‰. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το πρόσθετο βέλος που δημιουργείται στο φορέα λόγω θετικών ατελειών στην κάτω σχάρα είναι ίδιας φοράς με το βέλος λόγω των μόνιμων φορτίων άρα επιβαρύνει την κατασκευή, ενώ το αντίστοιχο για ατέλειες στην άνω σχάρα είναι αντίθετης φοράς και επομένως δρα ανακουφιστικά στο φορέα. Το πρόσθετο βέλος λόγω ατελειών στις διαγώνιους είναι τοπικό στην περιοχή γύρω από τις ατέλειες και δεν επηρεάζει ιδιαίτερα τον υπόλοιπο φορέα. Αναφέρεται ότι στο παραπάνω παράδειγμα, το πρόσθετο βέλος λόγω ατελειών στην κάτω σχάρα είναι 15.90mm προς τα κάτω, ενώ λόγω ατελειών στην άνω σχάρα είναι 20.58mm προς τα πάνω.
- Στην περίπτωση αρνητικών ατελειών ($\varepsilon < 0$), το σύστημα παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία ξανά όταν αυτές οι ατέλειες βρίσκονται στο κάτω πέλμα. Ενδεικτικά για 8 ράβδους με ατέλειες στο άνω πέλμα και για μέγεθος ατέλειας 1‰ το ποσοστό των ράβδων που αστοχούν είναι 16.10‰. το αντίστοιχο ποσοστό για ατέλειες στο κάτω πέλμα είναι 24.62‰ και για ατέλειες στις διαγώνιους είναι 6.63‰. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι για αρνητικές ατέλειες στην κάτω σχάρα, επιβαρύνονται περισσότερο τα διαγώνια μέλη και εκεί είναι που πραγματοποιούνται οι επιπλέον αστοχίες.
- Με ατέλειες στις διαγώνιες ράβδους δεν παρατηρείται σημαντικό ποσοστό αστοχιών στις ράβδους του χωροδικτύωματος. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται και για θετικές και για αρνητικές ατέλειες και οφείλεται στο γεγονός ότι τα επιπλέον βέλη λόγω των ατελειών στα διαγώνια μέλη είναι τοπικά μόνο, στην περιοχή που βρίσκονται οι ατέλειες και δεν επηρεάζουν τον υπόλοιπο φορέα. Για αυτό το λόγο και οι αστοχίες που προκαλούνται από ατέλειες στα διαγώνια μέλη περιορίζονται στην περιοχή γύρω από τις συγκεκριμένες ράβδους.
- Όταν η ατέλεια φτάσει το 0.2‰, τότε παρουσιάζονται οι πρώτες αστοχίες ράβδων. Δηλαδή, για τις ράβδους που έχουν μήκος 5m η ατέλεια θα πρέπει να είναι $0,0002 \cdot 5 = 0,001\text{m} = 1\text{mm}$. Εξάλλου σύμφωνα με την εταιρία MERO υπάρχει μια ανοχή για κατασκευαστικές ατέλειες τέτοιου μεγέθους.
- Με τη δράση του πρόσθετου ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού, ο φορέας παρουσιάζει επιπλέον ευαισθησία και εμφανίζει νέες αστοχίες. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι για τη συγκεκριμένη μορφή χωροδικτύωματος η θλιβόμενη άνω σχάρα παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία και το επιπλέον φορτίου του χιονιού που παραλαμβάνεται σχεδόν εξ ολοκλήρου από την άνω και την κάτω σχάρα προκαλεί επιπλέον αστοχίες σε αυτήν κυρίως λόγω λυγισμού. Η κάτω σχάρα ως εφελκυστική δεν παρουσιάζει ιδιαίτερη ευαισθησία παρά την αύξηση των εντατικών της μεγεθών.
- Με βάση την κατανομή των αστοχιών του προηγούμενου υποκεφαλαίου για τις δεύτερες συνθήκες στήριξης όταν οι ατέλειες βρίσκονται στην άνω σχάρα και είναι θετικές οι αστοχίες σημειώνονται κυρίως στις διαγώνιες ράβδους ενώ στην άνω σχάρα δεν παρουσιάζεται σχεδόν καμία αστοχία ενώ όταν είναι αρνητικές οι αστοχίες σημειώνονται κυρίως στην άνω σχάρα ενώ δεν παρουσιάζεται καμία στην κάτω σχάρα. Όταν οι ατέλειες βρίσκονται στην κάτω σχάρα οι αστοχίες παρουσιάζονται κυρίως στις διαγώνιες ράβδους και σχεδόν καθόλου στην κάτω σχάρα. Ενώ όταν οι ατέλειες βρίσκονται στις διαγώνιες ράβδους, οι αστοχίες ισοκατανέμονται.

4 ΧΩΡΟΔΙΚΤΥΩΜΑ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗΣ ΚΑΤΟΨΗΣ ΜΕ ΚΑΜΠΥΛΗ ΤΟΜΗ

4.1 Εισαγωγή

Σχήμα 4.1



Κατασκευή: οι διαστάσεις του χωροδικτύωματος είναι: $L_x=50.0$, $L_y=60.00m$
Το μήκος των ράβδων είναι $5.00m$ στην άνω και κάτω εσχάρα.
Το ύψος h καθορίστηκε με βάση τις κατασκευαστικές απαιτήσεις των προτύπων της εταιρίας Mero ως εξής:

$$\frac{a}{2} \leq h \leq a \quad (4.1)$$

Από την εξίσωση (1.1) προκύπτει για ακμή $a=5.00m$ το ύψος $h=2.50m$. Τίθενται περιμετρικές στηρίξεις ανά $10.00m$. Οι συγκεκριμένες στηρίξεις είναι αρθρώσεις απαγορεύουν τη μετακίνηση και κατά τους 3 άξονες.

Η διαφορά ύψους μεταξύ των 2 ανισόπεδων μετώπων είναι $10.00m$.
Ο αριθμός των ράβδων του χωροδικτύωματος είναι 960 .

4.2 Φορτία χωροδικτύωματος με βάση τον ευρωκωδικα.1

Τα φορτία προκύπτουν από τις σχέσεις του Ε.С.1 όπως υπολογίζονται και για το χωροδικτύωμα του δευτέρου κεφαλαίου στην υποενότητα 2.2.

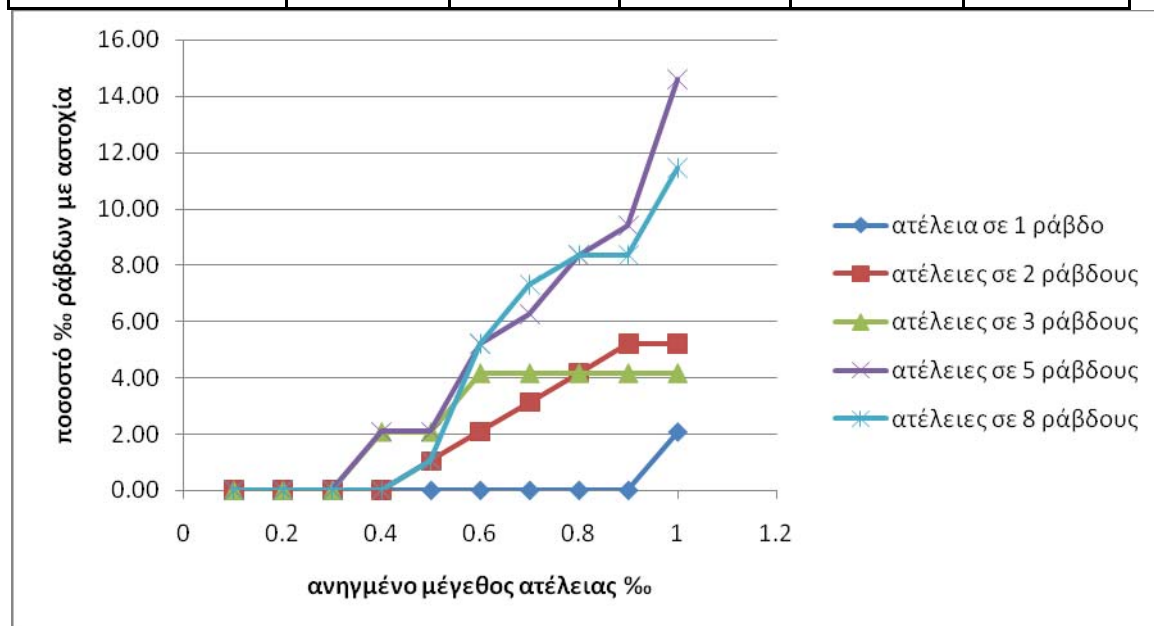
4.3 Αποτελέσματα αναλύσεων

4.3.1 Αρνητικές ατέλειες (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

4.3.1.1 Άνω σχάρα

Πίνακας 4.1: Ατέλειες στην άνω σχάρα (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.00	0.00	2.08	2.08	0.00
0.5	0.00	1.04	2.08	2.08	1.04
0.6	0.00	2.08	4.17	5.21	5.21
0.7	0.00	3.13	4.17	6.25	7.29
0.8	0.00	4.17	4.17	8.34	8.34
0.9	0.00	5.21	4.17	9.38	8.34
1	2.08	5.21	4.17	14.59	11.46

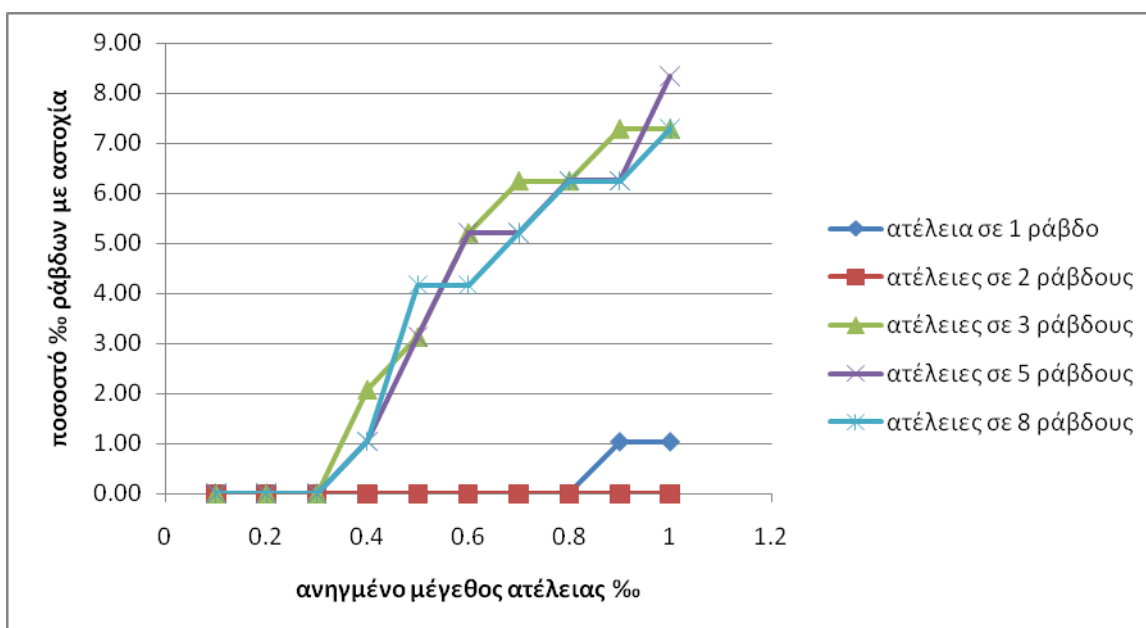


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.3%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το σημείο από το οποίο ξεκινούν να αυξάνονται εμφανώς οι αστοχίες φαίνεται να είναι για ατέλειες της τάξης του 0.7% και άνω. Γενικότερα, ο φορέας δεν παρουσιάζει ιδιαίτερη ευαισθησία για ράβδους με μήκος μικρότερο από το προβλεπόμενο όταν αυτές βρίσκονται στην άνω σχάρα

4.3.1.2 Κάτω σχάρα

Πίνακας 4.2: Ατέλειες στην κάτω σχάρα (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.00	0.00	2.08	1.04	1.04
0.5	0.00	0.00	3.13	3.13	4.17
0.6	0.00	0.00	5.21	5.21	4.17
0.7	0.00	0.00	6.25	5.21	5.21
0.8	0.00	0.00	6.25	6.25	6.25
0.9	1.04	0.00	7.29	6.25	6.25
1	1.04	0.00	7.29	8.34	7.29

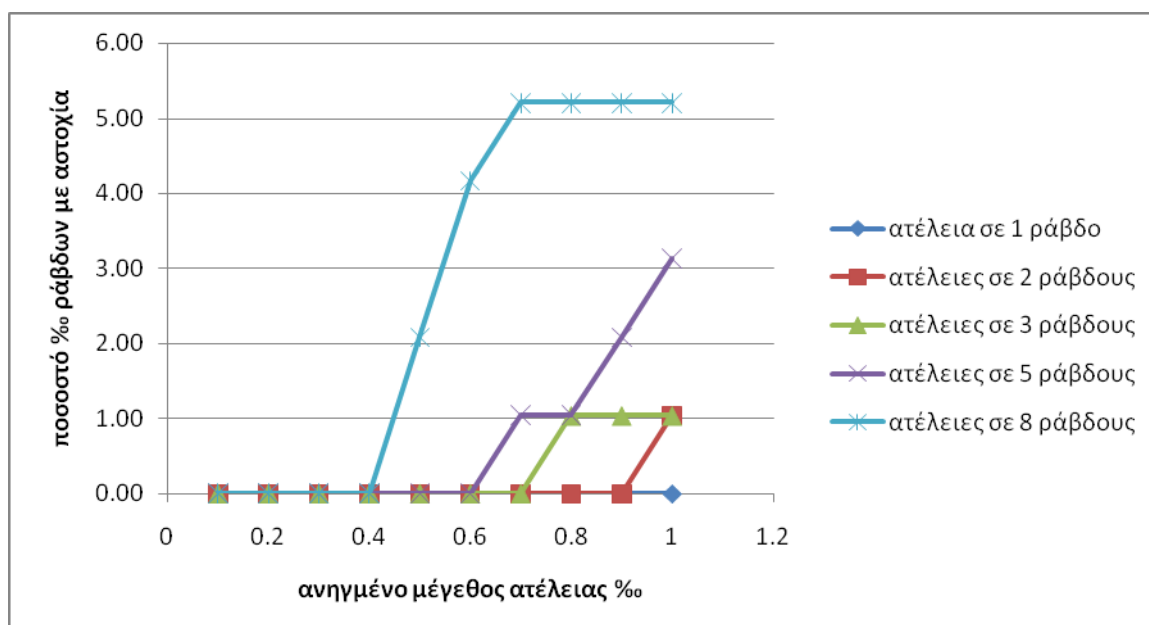


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.3%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Οι πρώτες αστοχίες παρατηρούνται για ατέλειες σε 3 ράβδους και άνω. Γενικότερα, ο φορέας δεν παρουσιάζει ιδιαίτερη ευαισθησία για ράβδους με μήκος μικρότερο από το προβλεπόμενο όταν αυτές βρίσκονται στην κάτω σχάρα. Για ατέλειες της τάξης του 1% και για 8 ράβδους με ατέλεια, το ποσοστό των αστοχούντων ράβδων φτάνει μόλις το 7.29%.

4.3.1.3 Διαγώνιες ράβδοι

Πίνακας 4.3: Ατέλειες στις διαγώνιες (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος</u> <u>ατέλειας ‰</u>	<u>ποσοστό ‰ ράβδων με αστοχία</u>				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.00	0.00	0.00	0.00	2.08
0.6	0.00	0.00	0.00	0.00	4.17
0.7	0.00	0.00	0.00	1.04	5.21
0.8	0.00	0.00	1.04	1.04	5.21
0.9	0.00	0.00	1.04	2.08	5.21
1	0.00	1.04	1.04	3.13	5.21



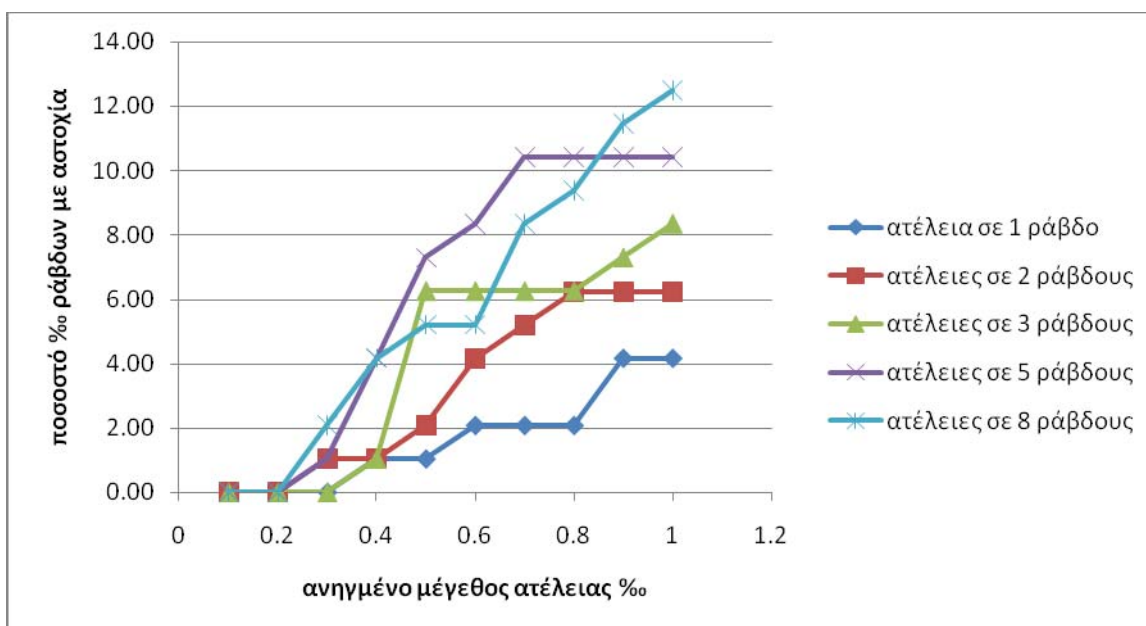
Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.4‰, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Ο φορέας δεν παρουσιάζει σχεδόν καμία ευαισθησία για ράβδους με μήκος μικρότερο από το προβλεπόμενο όταν αυτές βρίσκονται στις διαγώνιες ράβδους.

4.3.2 Θετικές ατέλειες (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

4.3.2.1 Άνω σχάρα

Πίνακας 4.4: Ατέλειες στην άνω σχάρα (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	1.04	0.00	1.04	2.08
0.4	1.04	1.04	1.04	4.17	4.17
0.5	1.04	2.08	6.25	7.29	5.21
0.6	2.08	4.17	6.25	8.34	5.21
0.7	2.08	5.21	6.25	10.42	8.34
0.8	2.08	6.25	6.25	10.42	9.38
0.9	4.17	6.25	7.29	10.42	11.46
1	4.17	6.25	8.34	10.42	12.50

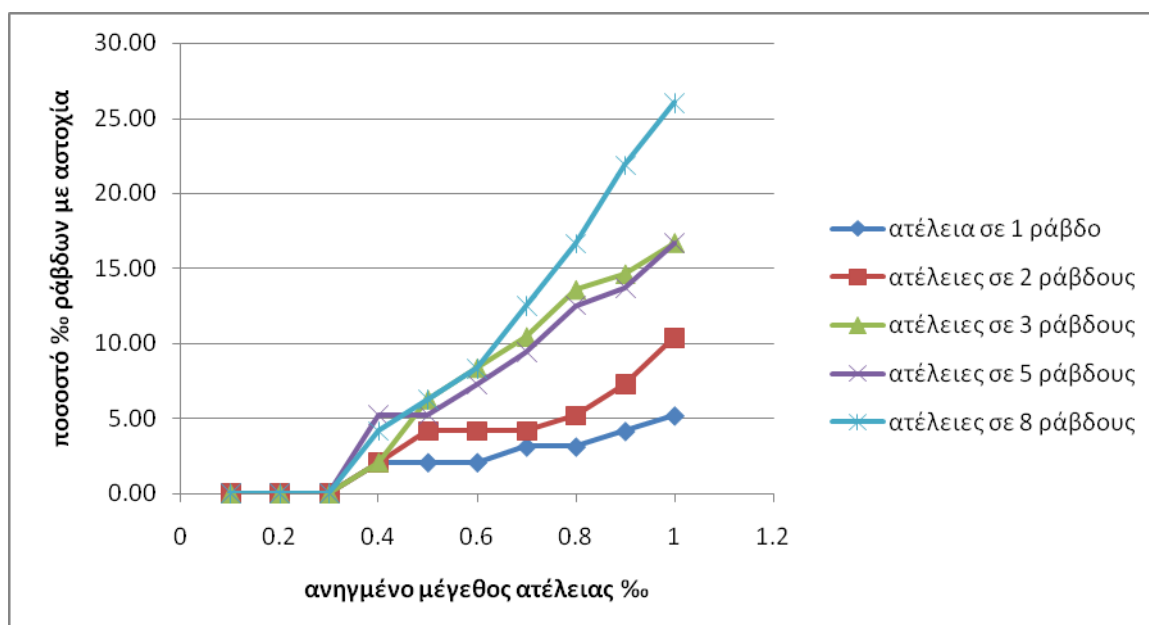


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.2%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το σημείο από το οποίο ξεκινούν να αυξάνονται εμφανώς οι αστοχίες φαίνεται να είναι για ατέλειες της τάξης του 0.6% .

4.3.2.2 Κάτω σχάρα

Πίνακας 4.5: Ατέλειες στην κάτω σχάρα (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	<u>ατέλεια σε 1 ράβδο</u>	<u>ατέλειες σε 2 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 3 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 5 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 8 ράβδους</u>
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	2.08	2.08	2.08	5.21	4.17
0.5	2.08	4.17	6.25	5.21	6.25
0.6	2.08	4.17	8.34	7.29	8.34
0.7	3.13	4.17	10.42	9.38	12.50
0.8	3.13	5.21	13.55	12.50	16.67
0.9	4.17	7.29	14.59	13.65	21.88
1	5.21	10.42	16.67	16.67	26.05

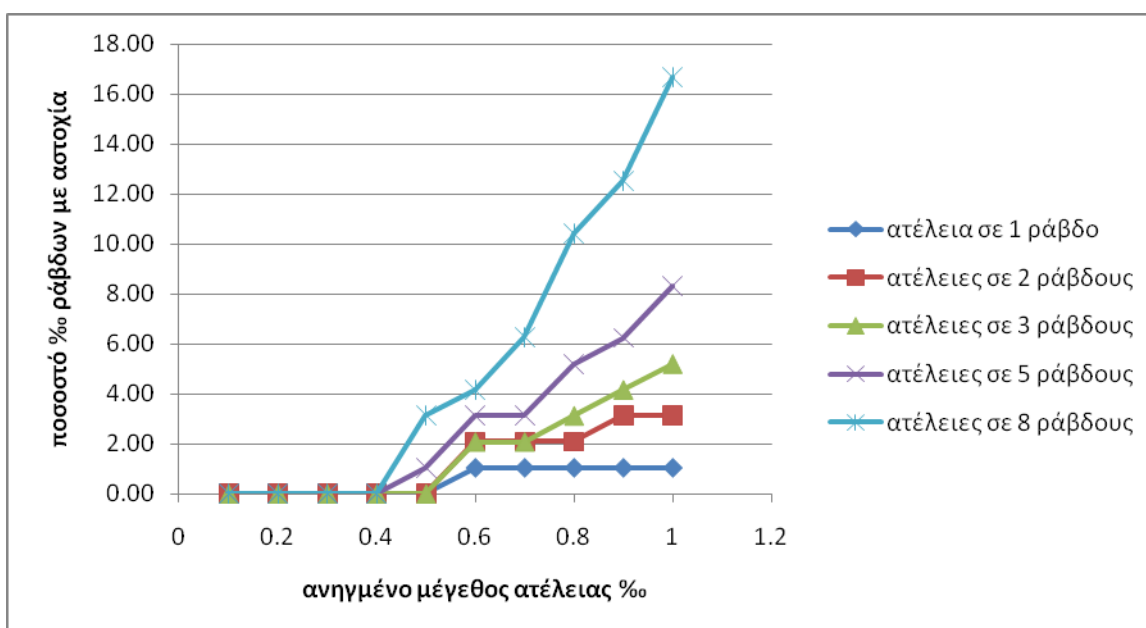


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.3%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το σημείο από το οποίο ξεκινούν να αυξάνονται εμφανώς οι αστοχίες φαίνεται να είναι για ατέλειες της τάξης του 0.4%. Από το συγκεκριμένο μέγεθος με περαιτέρω αύξηση του μεγέθους ατέλειας φαίνεται καθαρά ότι με προσθήκη επιπλέον ατελειών προκαλούνται όλο και περισσότερες αστοχίες. Γενικότερα, ο φορέας παρουσιάζει ευαισθησία για ράβδους με μήκος μεγαλύτερο από το προβλεπόμενο όταν αυτές βρίσκονται στην κάτω σχάρα.

4.3.2.3 Διαγώνιες ράβδοι

Πίνακας 4.6: Ατέλειες στις διαγώνιες (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος</u> <u>ατέλειας %</u>	ποσοστό % ράβδων με αστοχία				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.00	0.00	0.00	1.04	3.13
0.6	1.04	2.08	2.08	3.13	4.17
0.7	1.04	2.08	2.08	3.13	6.25
0.8	1.04	2.08	3.13	5.21	10.42
0.9	1.04	3.13	4.17	6.25	12.50
1	1.04	3.13	5.21	8.34	16.67



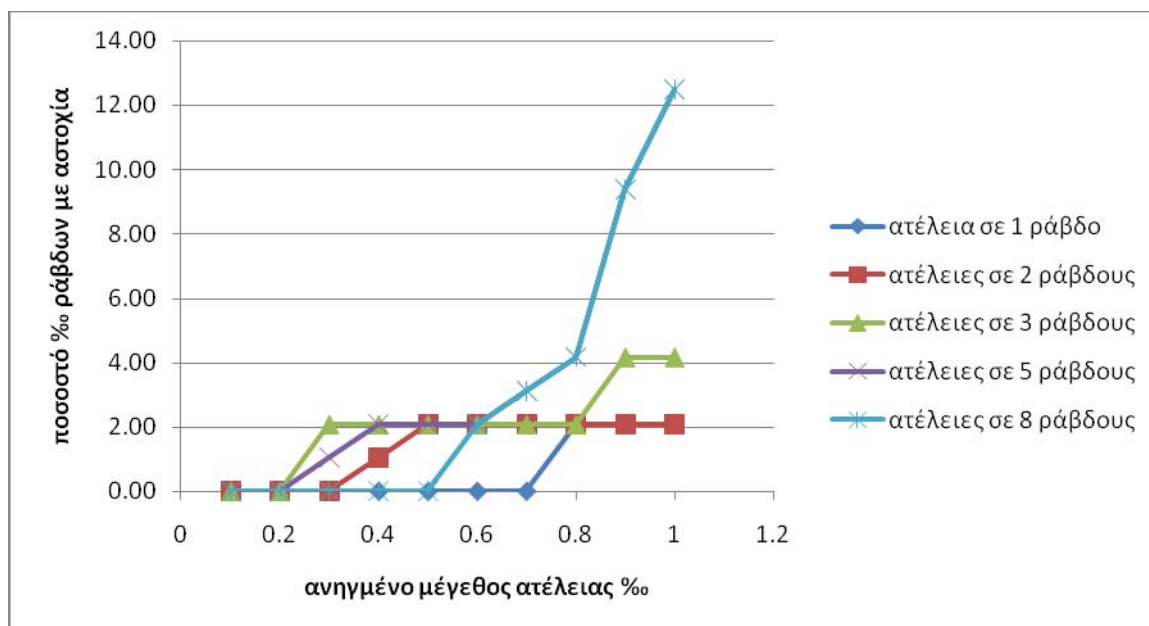
Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.4%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το σημείο από το οποίο ξεκινούν να αυξάνονται εμφανώς οι αστοχίες φαίνεται να είναι για ατέλειες της τάξης του 0.6%. Από το συγκεκριμένο μέγεθος με περαιτέρω αύξηση του μεγέθους ατέλειας φαίνεται καθαρά ότι με προσθήκη επιπλέον ατελειών προκαλούνται όλο και περισσότερες αστοχίες. Παρατηρείται μεγάλη αύξηση του ποσοστού των αστοχούντων ράβδων, όταν τίθενται ατέλειες σε 8 ράβδους. Γενικότερα, ο φορέας παρουσιάζει ευαισθησία για ράβδους με μήκος μεγαλύτερο από το προβλεπόμενο όταν αυτές βρίσκονται στις διαγώνιες ράβδους.

4.3.1 Αρνητικές ατέλειες με χιόνι (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

4.3.1.1 Άνω σχάρα

Πίνακας 4.7: Ατέλειες στην άνω σχάρα (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>					<u>ατέλειες σε 8 ράβδους</u>
	<u>ατέλεια σε 1 ράβδο</u>	<u>ατέλειες σε 2 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 3 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 5 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 8 ράβδους</u>	
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	2.08	1.04	0.00	0.00
0.4	0.00	1.04	2.08	2.08	0.00	0.00
0.5	0.00	2.08	2.08	2.08	0.00	0.00
0.6	0.00	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08
0.7	0.00	2.08	2.08	3.13	3.13	3.13
0.8	2.08	2.08	2.08	4.17	4.17	4.17
0.9	2.08	2.08	4.17	9.38	9.38	9.38
1	2.08	2.08	4.17	12.50	12.50	12.50

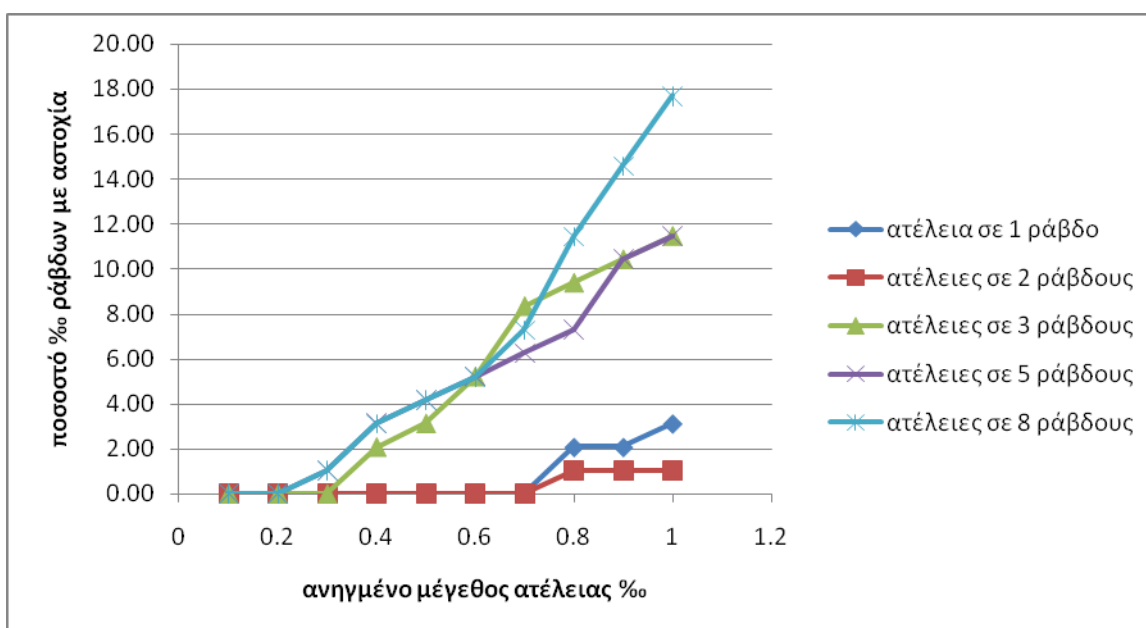


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.2%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το διάγραμμα δείχνει να ακολουθεί επακριβώς την πορεία του αντίστοιχου διαγράμματος χωρίς χιόνι. Η προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού αυξάνει ελάχιστα τον αριθμό των αστοχούντων ράβδων.

4.3.1.2 Κάτω σχάρα

Πίνακας 4.8: Ατέλειες στην κάτω σχάρα (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	<u>ατέλεια σε 1 ράβδο</u>	<u>ατέλειες σε 2 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 3 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 5 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 8 ράβδους</u>
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.00	1.04	1.04
0.4	0.00	0.00	2.08	3.13	3.13
0.5	0.00	0.00	3.13	4.17	4.17
0.6	0.00	0.00	5.21	5.21	5.21
0.7	0.00	0.00	8.34	6.25	7.29
0.8	2.08	1.04	9.38	7.29	11.46
0.9	2.08	1.04	10.42	10.42	14.59
1	3.13	1.04	11.46	11.46	17.71

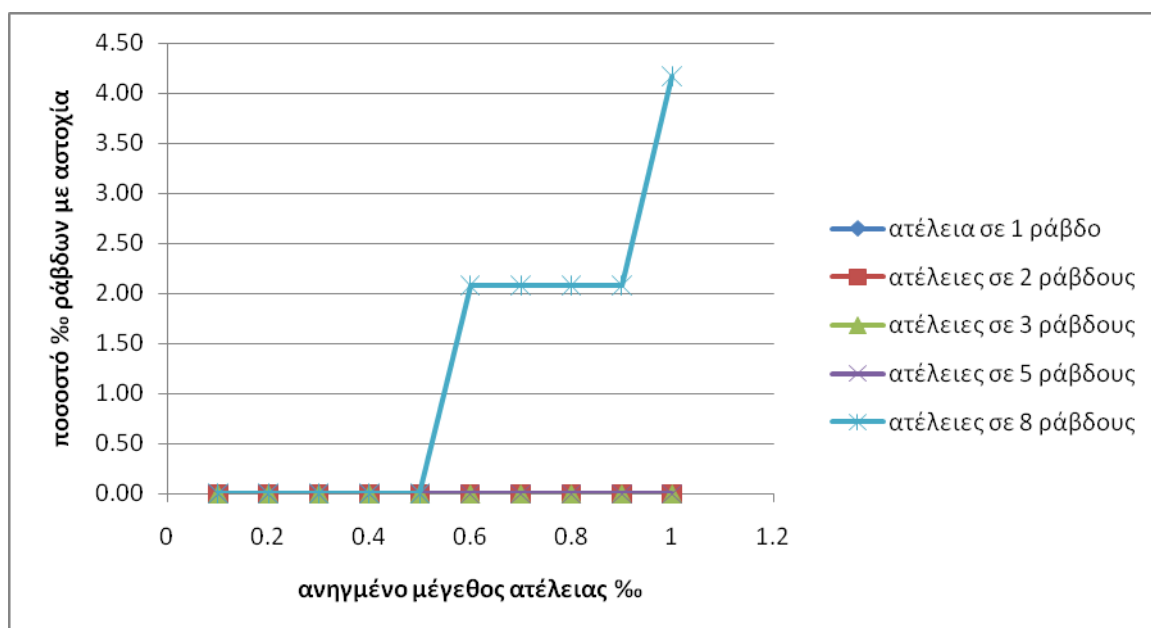


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.2%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το σημείο από το οποίο ξεκινούν να αυξάνονται εμφανώς οι αστοχίες φαίνεται να είναι για ατέλειες της τάξης του 0.4% για ατέλειες τουλάχιστον σε 3 ράβδους. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση, η προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού αυξάνει κατά 10.42% τον αριθμό των αστοχούντων ράβδων, στην περίπτωση ατελειών της τάξης του 1% σε 8 ράβδους.

4.3.1.3 Διαγώνιες ράβδοι

Πίνακας 4.9: Ατέλειες στις διαγώνιες (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος</u> <u>ατέλειας ‰</u>	<u>ποσοστό ‰ ράβδων με αστοχία</u>				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.6	0.00	0.00	0.00	0.00	2.08
0.7	0.00	0.00	0.00	0.00	2.08
0.8	0.00	0.00	0.00	0.00	2.08
0.9	0.00	0.00	0.00	0.00	2.08
1	0.00	0.00	0.00	0.00	4.17



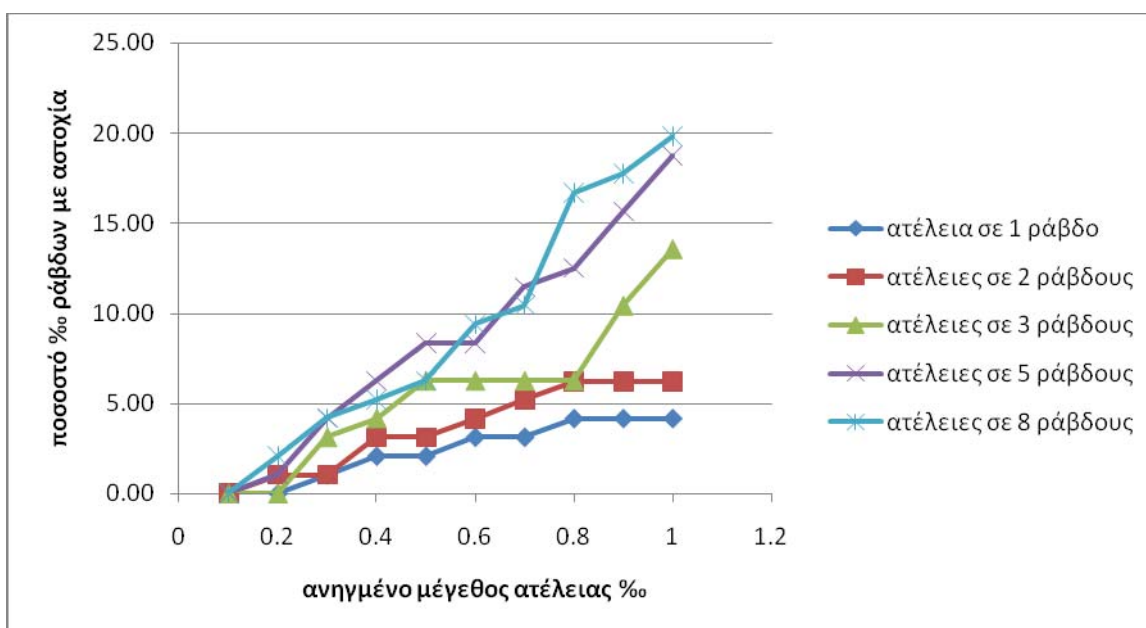
Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.5‰, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το διάγραμμα δείχνει να ακολουθεί επακριβώς την πορεία του αντίστοιχου διαγράμματος χωρίς χιόνι. Η προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού δεν δείχνει να επηρεάζει τη συμπεριφορά του φορέα.

4.3.2 Θετικές ατέλειες με χιόνι (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

4.3.2.1 Άνω σχάρα

Πίνακας 4.10: Ατέλειες στην άνω σχάρα (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος</u> <u>ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>					ατέλειες σε 8 ράβδους
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	1.04	0.00	1.04	1.04	2.08
0.3	1.04	1.04	3.13	4.17	4.17	4.17
0.4	2.08	3.13	4.17	6.25	6.25	5.21
0.5	2.08	3.13	6.25	8.34	8.34	6.25
0.6	3.13	4.17	6.25	8.34	9.38	9.38
0.7	3.13	5.21	6.25	11.46	10.42	10.42
0.8	4.17	6.25	6.25	12.50	16.67	16.67
0.9	4.17	6.25	10.42	15.65	17.71	17.71
1	4.17	6.25	13.55	18.76	19.80	19.80

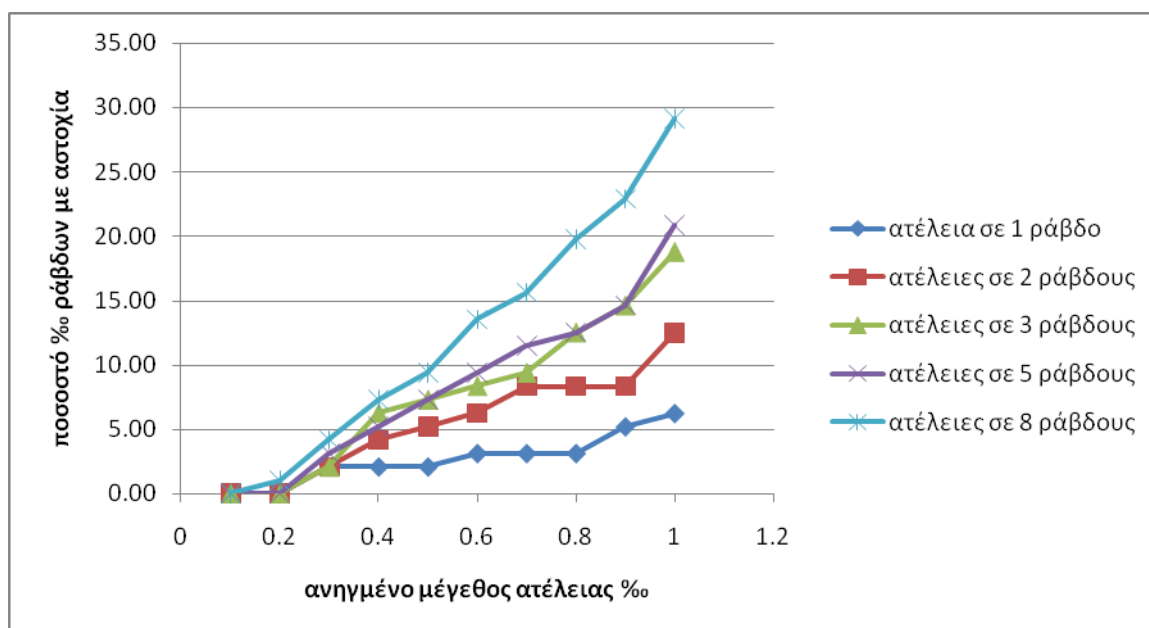


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.1%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση, η προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού αυξάνει κατά 7.3% τον αριθμό των αστοχούντων ράβδων, στην περίπτωση ατελειών της τάξης του 1% σε 8 ράβδους.

4.3.2.2 Κάτω σχάρα

Πίνακας 4.11: Ατέλειες στην κάτω σχάρα (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος</u> <u>ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	1.04
0.3	2.08	2.08	2.08	3.13	4.17
0.4	2.08	4.17	6.25	5.21	7.29
0.5	2.08	5.21	7.29	7.29	9.38
0.6	3.13	6.25	8.34	9.38	13.55
0.7	3.13	8.34	9.38	11.46	15.63
0.8	3.13	8.34	12.50	12.50	19.80
0.9	5.21	8.34	14.59	14.59	22.92
1	6.25	12.50	18.76	20.84	29.18

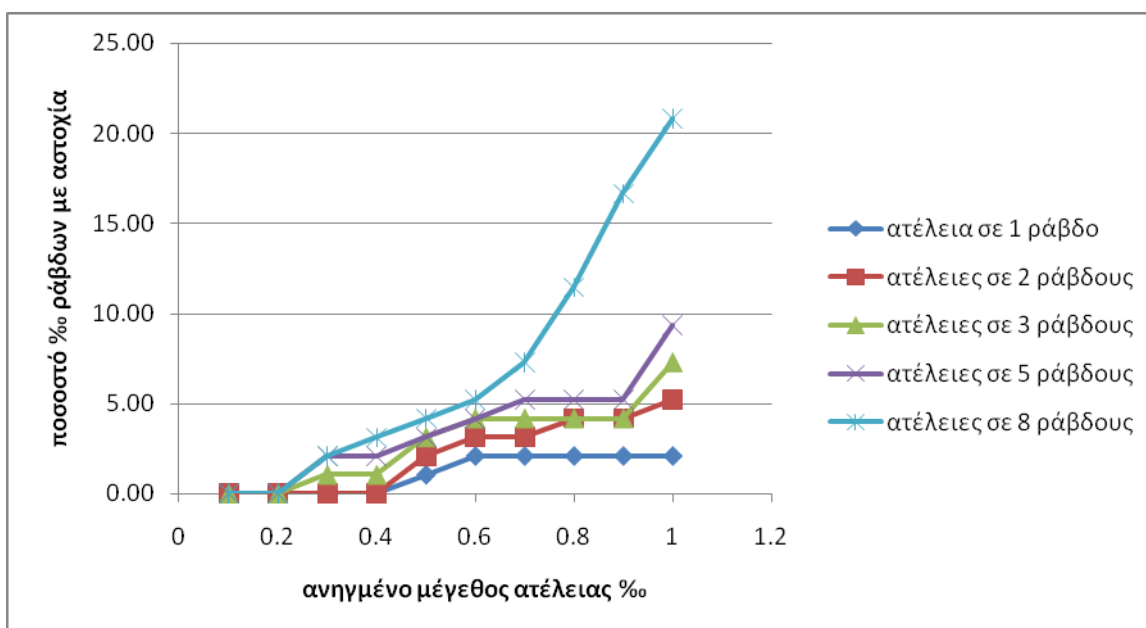


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.1%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το διάγραμμα δείχνει να ακολουθεί επακριβώς την πορεία του αντίστοιχου διαγράμματος χωρίς χιόνι. Η προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού αυξάνει ελάχιστα τον αριθμό των αστοχούντων ράβδων.

4.3.2.3 Διαγώνιες ράβδοι

Πίνακας 4.12: Ατέλειες στις διαγώνιες (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	<u>ατέλεια σε 1 ράβδο</u>	<u>ατέλειες σε 2 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 3 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 5 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 8 ράβδους</u>
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	1.04	2.08	2.08
0.4	0.00	0.00	1.04	2.08	3.13
0.5	1.04	2.08	3.13	3.13	4.17
0.6	2.08	3.13	4.17	4.17	5.21
0.7	2.08	3.13	4.17	5.21	7.29
0.8	2.08	4.17	4.17	5.21	11.46
0.9	2.08	4.17	4.17	5.21	16.67
1	2.08	5.21	7.29	9.38	20.84



Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.2%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το διάγραμμα δείχνει να ακολουθεί επακριβώς την πορεία του αντίστοιχου διαγράμματος χωρίς χιόνι. Η προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού αυξάνει τον αριθμό των αστοχούντων ράβδων κατά 4% τον αριθμό των αστοχούντων ράβδων, στην περίπτωση ατελειών της τάξης του 1% σε 8 ράβδους.

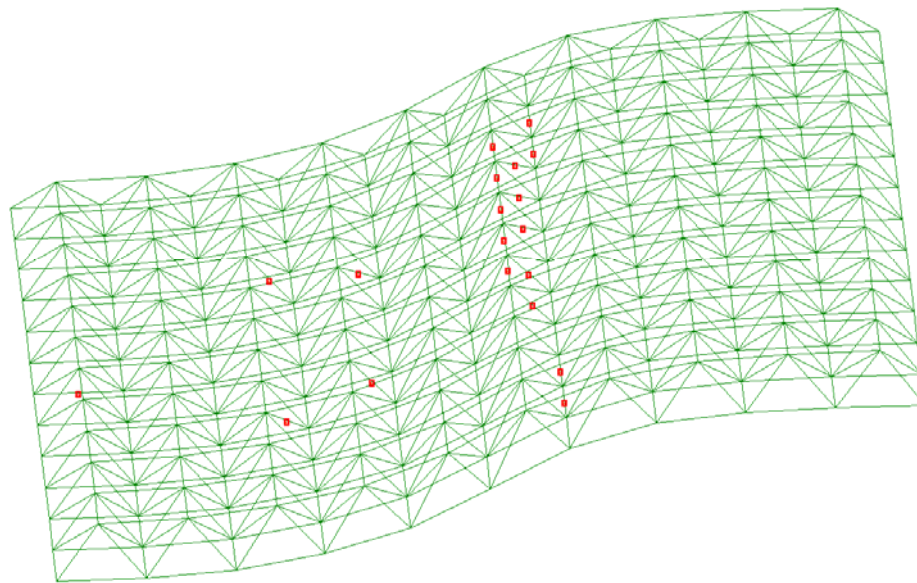
4.4 Κατανομή ράβδων με αστοχία

Στην προσπάθεια διερεύνησης της συμπεριφοράς του φορέα μετά την προσθήκη των ατελειών μήκους στις επιλεγμένες ράβδους, στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο παρουσιάζεται η κατανομή των ράβδων που αστοχούν στο σύνολο του φορέα. Για λόγους απλότητας παρουσιάζονται οι εν λόγω κατανομές στους συνδυασμούς που περιλαμβάνουν ατέλειες μήκους σε 8 ράβδους μεγέθους ατέλειας της τάξης του 1%.

4.4.1 Ατέλειες μήκους στην άνω σχάρα

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η κατανομή των αστοχιών που προκλήθηκαν στον φορέα λόγω ατελειών μήκους σε ράβδους της άνω σχάρας στην κρισιμότερη από τις τέσσερις παρακάτω περιπτώσεις. Με κόκκινες κουκίδες επισημαίνονται οι ράβδοι που έχουν αστοχήσει.

Σχήμα 4.2: Κατανομή αστοχιών για ράβδους με μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο και προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού.

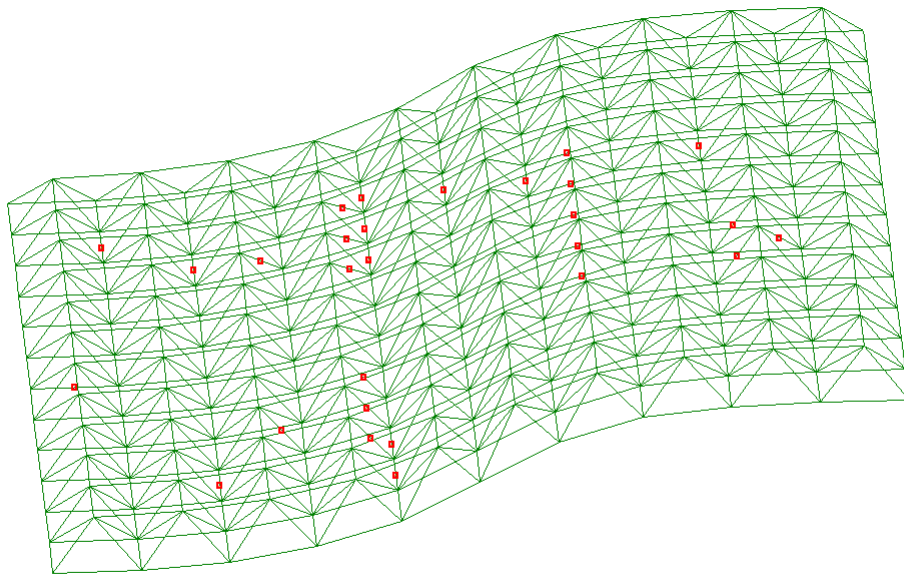


- Για ράβδους με μικρότερο από το προβλεπόμενο μήκος (αρνητικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 11 ράβδους, εκ των οποίων οι 3 είναι στην κάτω σχάρα και οι υπόλοιπες 8 στις διαγώνιες ράβδους.
- Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό, παρατηρείται αστοχία σε 12 ράβδους, εκ των οποίων οι 4 είναι στην κάτω σχάρα και οι υπόλοιπες 8 στις διαγώνιες ράβδους.
- Για ράβδους με μεγαλύτερο από το προβλεπόμενο μήκος (θετικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 12 ράβδους, εκ των οποίων οι 2 είναι στην κάτω σχάρα και οι υπόλοιπες 10 στις διαγώνιες ράβδους.
- Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό, παρατηρείται αστοχία σε 19 ράβδους, εκ των οποίων οι 5 είναι στην κάτω σχάρα, οι 5 στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 9 στις διαγώνιες ράβδους.

4.4.2 Ατέλειες μήκους στην κάτω σχάρα

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η κατανομή των αστοχιών ,που προκλήθηκαν στον φορέα λόγω ατελειών μήκους σε ράβδους της κάτω σχάρας στην κρισιμότερη από τις τέσσερις παρακάτω περιπτώσεις. Με κόκκινες κουκίδες επισημαίνονται οι ράβδοι που έχουν αστοχήσει.

Σχήμα 4.3: Κατανομή αστοχιών για ράβδους με μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο και προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού.

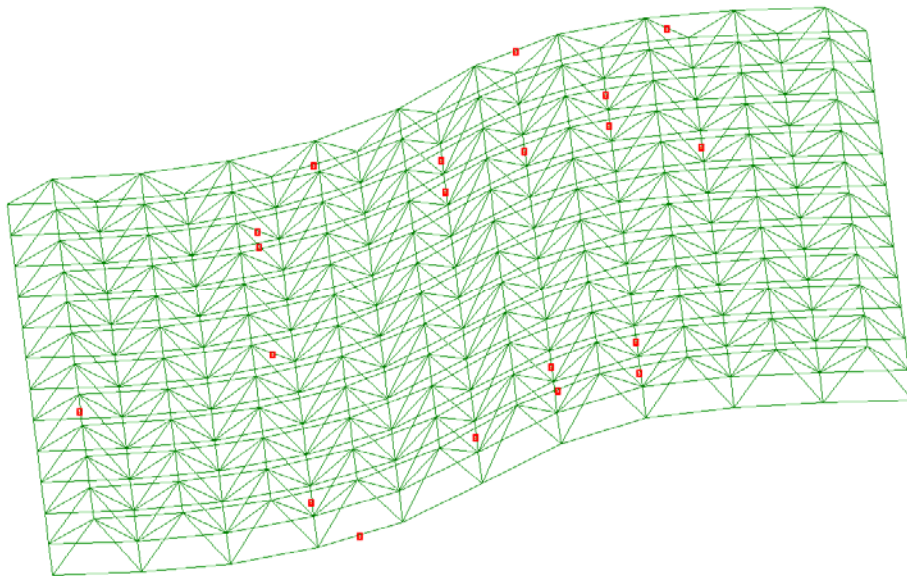


- Για ράβδους με μικρότερο από το προβλεπόμενο μήκος (αρνητικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 7 ράβδους, εκ των οποίων οι 2 είναι στην κάτω σχάρα και οι υπόλοιπες 5 στις διαγώνιες ράβδους.
- Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό , παρατηρείται αστοχία σε 17 ράβδους, εκ των οποίων οι 9 είναι στην κάτω σχάρα και οι υπόλοιπες 8 στις διαγώνιες ράβδους.
- Για ράβδους με μεγαλύτερο από το προβλεπόμενο μήκος (θετικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 25 ράβδους, εκ των οποίων οι 13 είναι στην κάτω σχάρα και οι υπόλοιπες 12 στις διαγώνιες ράβδους.
- Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό, παρατηρείται αστοχία σε 28 ράβδους, εκ των οποίων οι 17 είναι στην κάτω σχάρα και οι υπόλοιπες 11 στις διαγώνιες ράβδους.

4.4.3 Ατέλειες μήκους στις διαγώνιες ράβδους

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η κατανομή των αστοχιών ,που προκλήθηκαν στον φορέα λόγω ατελειών μήκους σε διαγώνιες ράβδους στην κρισιμότερη από τις τέσσερις παρακάτω περιπτώσεις. Με κόκκινες κουκίδες επισημαίνονται οι ράβδοι που έχουν αστοχήσει.

Σχήμα 4.4: Κατανομή αστοχιών για ράβδους με μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο και προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού.



- Για ράβδους με μικρότερο από το προβλεπόμενο μήκος (αρνητικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 7 ράβδους, εκ των οποίων οι 2 είναι στην κάτω σχάρα, 3 στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 2 στις διαγώνιες ράβδους.
- Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό , παρατηρείται αστοχία σε 5 ράβδους, εκ των οποίων οι 2 είναι στην κάτω σχάρα, οι 3 στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 0 στις διαγώνιες ράβδους.
- Για ράβδους με μεγαλύτερο από το προβλεπόμενο μήκος (θετικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 16 ράβδους, εκ των οποίων οι 11 είναι στην κάτω σχάρα, 3 στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 2 στις διαγώνιες ράβδους.
- Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό, παρατηρείται αστοχία σε 20 ράβδους, εκ των οποίων οι 13 είναι στην κάτω σχάρα, οι 3 στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 4 στις διαγώνιες ράβδους.

4.5 Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα

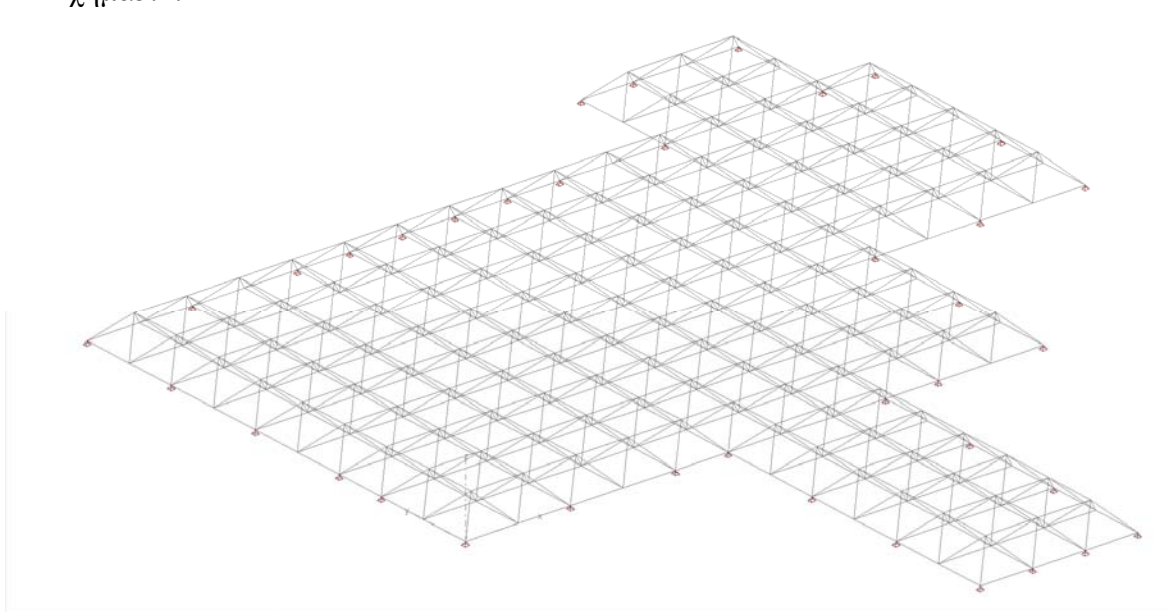
Συγκρίνοντας τα παραπάνω αποτελέσματα που προέκυψαν από τις επιλύσεις εξάγονται για το συγκεκριμένο χωροδικτύωμα τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Στην περίπτωση θετικών ατελειών ($\varepsilon > 0$), το σύστημα παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία όταν αυτές οι ατέλειες βρίσκονται στο κάτω πέλμα. Ενδεικτικά, για 8 ράβδους με ατέλειες στο κάτω πέλμα και για μέγεθος ατέλειας 1% το ποσοστό των ράβδων που αστοχούν είναι 26.05 %. Το αντίστοιχο ποσοστό για ατέλειες στο άνω πέλμα είναι 12.5% και για ατέλειες στις διαγώνιους είναι 16.67%. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι θετικές ατέλειες στο κάτω πέλμα προκαλούν θλιπτικές δυνάμεις σε περισσότερες ράβδους στην άνω σχάρα από ότι οι ατέλειες στην άνω σχάρα και στις διαγώνιες.
- Στην περίπτωση αρνητικών ατελειών ($\varepsilon < 0$), το σύστημα παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία όταν αυτές οι ατέλειες βρίσκονται στο άνω πέλμα. Ενδεικτικά για 8 ράβδους με ατέλειες στο άνω πέλμα και για μέγεθος ατέλειας 1% το ποσοστό των ράβδων που αστοχούν είναι 11.46%. το αντίστοιχο ποσοστό για ατέλειες στο κάτω πέλμα είναι 7.29% και για ατέλειες στις διαγώνιους είναι 5.21%. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι με αρνητικές ατέλειες στο άνω πέλμα επιβαρύνονται περισσότερο τα διαγώνια στοιχεία κυρίως στο κεντρικό τμήμα του χωροδικτύωματος στο σημείο που αλλάζει η κυρτότητά του. Σε εκείνο το σημείο παρουσιάζονται οι επιπλέον αστοχίες.
- Το φορτίο χιονιού επηρεάζει δυσμενώς τη συμπεριφορά του χωροδικτύωματος. Ενδεικτικά για 8 ατέλειες και για μέγεθος ατέλειας 1% αρνητικό στην κάτω σχάρα το ποσοστό των ράβδων που αστοχούν είναι 17.71% ενώ με το ίδιο μέγεθος ατέλειας και χωρίς φορτίο χιονιού έχουμε ποσοστό αστοχίας 7.71%. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η προσθήκη του φορτίου του χιονιού επιβαρύνει και τα στοιχεία των διαγωνίων στα οποία παρατηρούνται επιπλέον αστοχίες.
- Στο συγκεκριμένο χωροδικτύωμα παρατηρούνται σημαντικές αστοχίες λόγω ατελειών στις διαγώνιες ράβδους. Ενδεικτικά για $\varepsilon = 1\%$ και 8 ατέλειες στις διαγώνιες ράβδους παρουσιάζεται ποσοστό ατελειών 16.67%. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η επιρροή των ατελειών στις διαγώνιες ράβδους δεν περιορίζεται στο μόνο στο κοντινό τους τμήμα αλλά επεκτείνεται σε μεγαλύτερο τμήμα του φορέα.
- Όταν η ατέλεια φτάσει το 0.2%, τότε παρουσιάζονται οι πρώτες αστοχίες ράβδων. Δηλαδή, για τις ράβδους που έχουν μήκος 5m η ατέλεια θα πρέπει να είναι $0,0002 \cdot 5 = 0,001\text{m} = 1\text{mm}$. Εξάλλου σύμφωνα με την εταιρία MERO υπάρχει μια ανοχή για κατασκευαστικές ατέλειες τέτοιου μεγέθους.
- Με βάση την κατανομή των αστοχιών του προηγούμενου υποκεφαλαίου όταν οι ατέλειες βρίσκονται στην άνω σχάρα οι αστοχίες σημειώνονται κυρίως στις διαγώνιες ράβδους και στην κάτω σχάρα ενώ στην άνω σχάρα δεν παρουσιάζεται σχεδόν καμία αστοχία. Όταν οι ατέλειες βρίσκονται στην κάτω σχάρα οι αστοχίες σημειώνονται μόνο στην κάτω σχάρα και στις διαγώνιες ράβδους. Ενώ όταν οι ατέλειες βρίσκονται στις διαγώνιες ράβδους, οι αστοχίες σημειώνονται σε όλο το φορέα αλλά κυρίως στις διαγώνιες ράβδους. Γενικότερα το τμήμα που παρουσιάζονται οι περισσότερες αστοχίες στο συγκεκριμένο χωροδικτύωμα είναι η κάτω σχάρα.

5 ΧΩΡΟΔΙΚΤΥΩΜΑ ΜΗ ΚΑΝΟΝΙΚΗΣ ΚΑΤΟΨΗΣ

5.1 Εισαγωγή

Σχήμα5.1:



Κατασκευή :Το μέγιστο μήκος στη διεύθυνση $\chi-\chi$ είναι $L_x = 75.00$ m, και στη διεύθυνση $\psi-\psi$ είναι $L_y = 75.00$ m

Το μήκος των ράβδων είναι 5.00m στην άνω και κάτω εσχάρα.

Το ύψος h καθορίστηκε με βάση τις κατασκευαστικές απαιτήσεις των προτύπων της εταιρίας Mero ως εξής:

$$\frac{a}{2} \leq h \leq a \quad (5.1)$$

Από την εξίσωση (1.1) προκύπτει για ακμή $a=5.00$ m το ύψος $h=2.50$ m. Τίθενται περιμετρικές στηρίξεις ανά 5.00m. και ανά 10.00m. Ο αριθμός των ράβδων του χωροδικτύωματος είναι 1144.

5.2 Φορτία χωροδικτύωματος με βάση τον ευρωκωδικα.1

Τα φορτία προκύπτουν από τις σχέσεις του E.C.1 όπως υπολογίζονται και για το χωροδικτύωμα του δευτέρου κεφαλαίου στην υποενότητα 2.2.

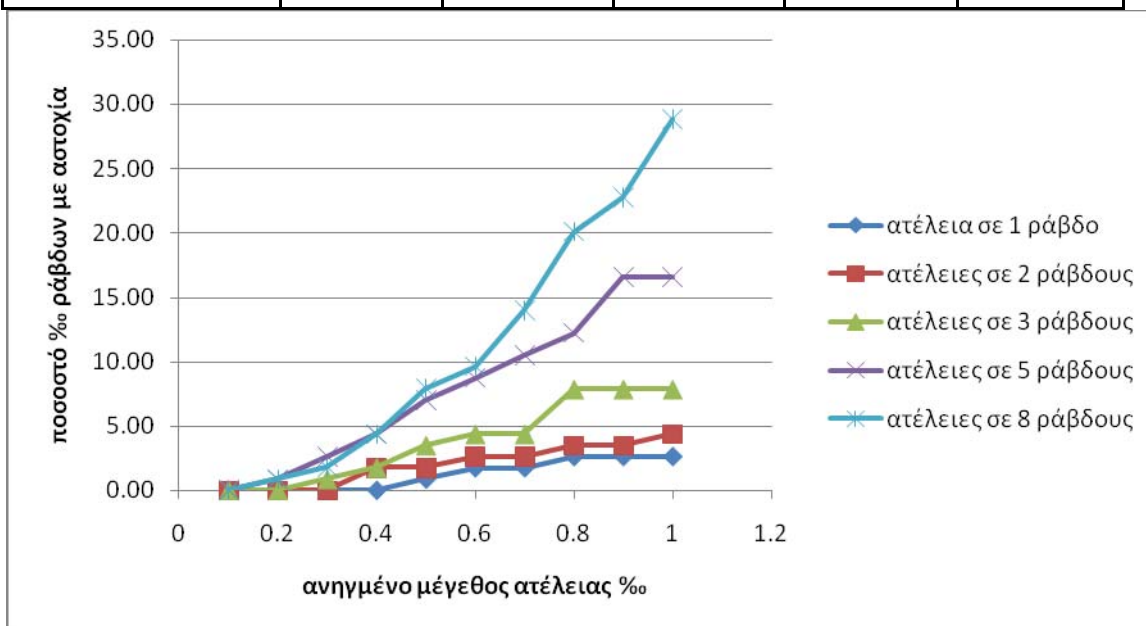
5.3 Αποτελέσματα αναλύσεων

5.3.1 Αρνητικές ατέλειες (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

5.3.1.1 Άνω σχάρα

Πίνακας 5.1: Ατέλειες στην άνω σχάρα (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.87	0.87
0.3	0.00	0.00	0.87	2.62	1.75
0.4	0.00	1.75	1.75	4.37	4.37
0.5	0.87	1.75	3.50	6.99	7.87
0.6	1.75	2.62	4.37	8.74	9.62
0.7	1.75	2.62	4.37	10.49	13.99
0.8	2.62	3.50	7.87	12.24	20.10
0.9	2.62	3.50	7.87	16.61	22.73
1	2.62	4.37	7.87	16.61	28.85

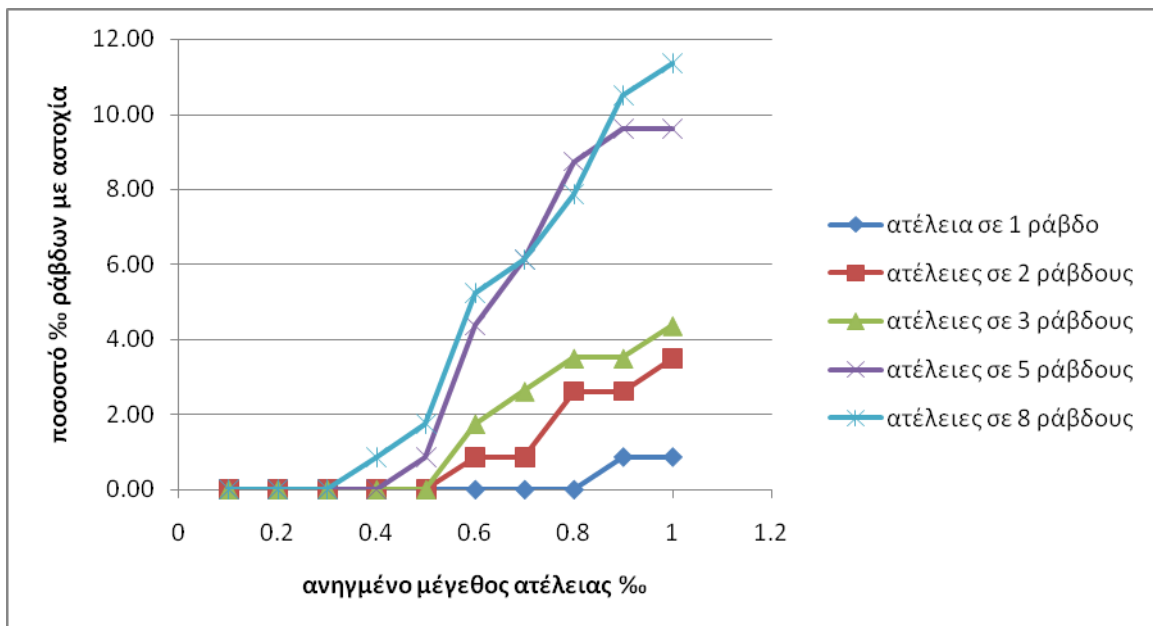


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.1%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το σημείο από το οποίο ξεκινούν να αυξάνονται εμφανώς οι αστοχίες φαίνεται να είναι για ατέλειες της τάξης του 0.4%. Από το συγκεκριμένο μέγεθος με περαιτέρω αύξηση του μεγέθους ατέλειας φαίνεται καθαρά ότι με προσθήκη επιπλέον ατελειών προκαλούνται όλο και περισσότερες αστοχίες.

5.3.1.2 Κάτω σχάρα

Πίνακας 5.2: Ατέλειες στην κάτω σχάρα (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	<u>ατέλεια σε 1 ράβδο</u>	<u>ατέλειες σε 2 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 3 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 5 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 8 ράβδους</u>
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.87
0.5	0.00	0.00	0.00	0.87	1.75
0.6	0.00	0.87	1.75	4.37	5.24
0.7	0.00	0.87	2.62	6.12	6.12
0.8	0.00	2.62	3.50	8.74	7.87
0.9	0.87	2.62	3.50	9.62	10.49
1	0.87	3.50	4.37	9.62	11.36

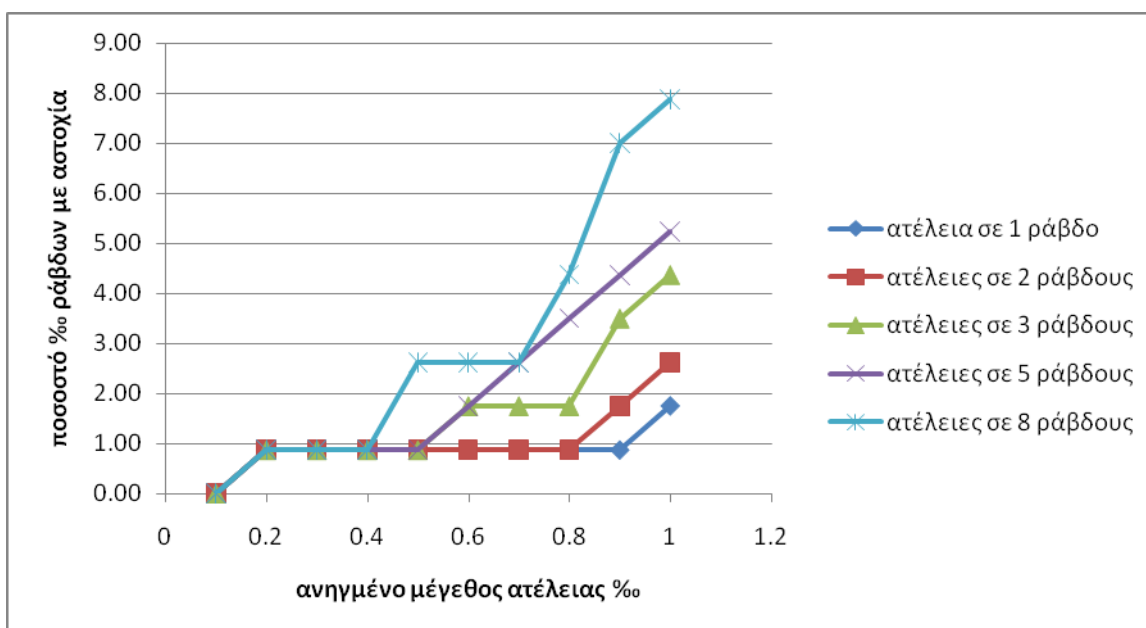


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.3%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το σημείο από το οποίο ξεκινούν να αυξάνονται εμφανώς οι αστοχίες φαίνεται να είναι για ατέλειες της τάξης του 0.5%. Από το συγκεκριμένο μέγεθος με περαιτέρω αύξηση του μεγέθους ατέλειας φαίνεται καθαρά ότι με προσθήκη επιπλέον ατελειών προκαλούνται όλο και περισσότερες αστοχίες. Στην περίπτωση ατελειών της τάξης του 1% σε 8 ράβδους, το ποσοστό των αστοχούντων ράβδων φτάνει στο 11.36%. Ο φορέας δεν παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία στη συγκεκριμένη περίπτωση.

5.3.1.3 Διαγωνίες ράβδοι

Πίνακας 5.3: Ατέλειες στις διαγωνίες (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	<u>ατέλεια σε 1 ράβδο</u>	<u>ατέλειες σε 2 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 3 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 5 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 8 ράβδους</u>
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
0.3	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
0.4	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
0.5	0.87	0.87	0.87	0.87	2.62
0.6	0.87	0.87	1.75	1.75	2.62
0.7	0.87	0.87	1.75	2.62	2.62
0.8	0.87	0.87	1.75	3.50	4.37
0.9	0.87	1.75	3.50	4.37	6.99
1	1.75	2.62	4.37	5.24	7.87



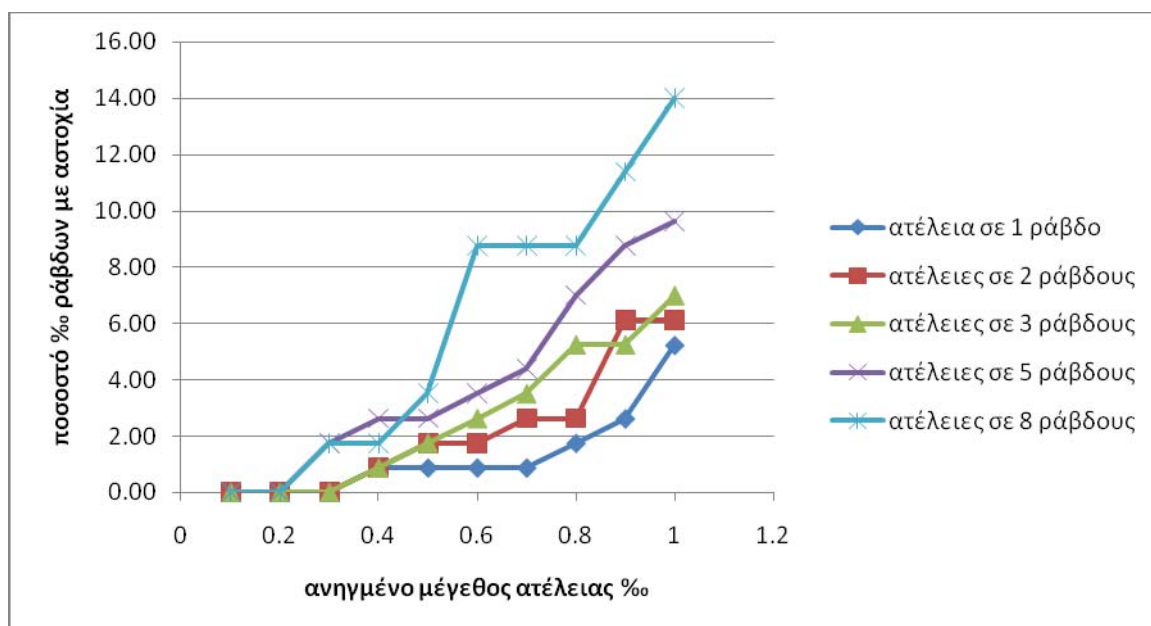
Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.1%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Ο φορέας δεν φαίνεται να είναι ευαίσθητος όταν οι ατέλειες βρίσκονται στις διαγωνίες ράβδους και για ατέλειες μήκους σε 8 ράβδους της τάξης του 1%, προκαλούνται αστοχίες μόλις στο 7.87% του συνόλου των ράβδων.

5.3.2 Θετικές ατέλειες (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

5.3.2.1 Άνω σχάρα

Πίνακας 5.4: Ατέλειες στην άνω σχάρα (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.00	1.75	1.75
0.4	0.87	0.87	0.87	2.62	1.75
0.5	0.87	1.75	1.75	2.62	3.50
0.6	0.87	1.75	2.62	3.50	8.74
0.7	0.87	2.62	3.50	4.37	8.74
0.8	1.75	2.62	5.24	6.99	8.74
0.9	2.62	6.12	5.24	8.74	11.36
1	5.24	6.12	6.99	9.62	13.99

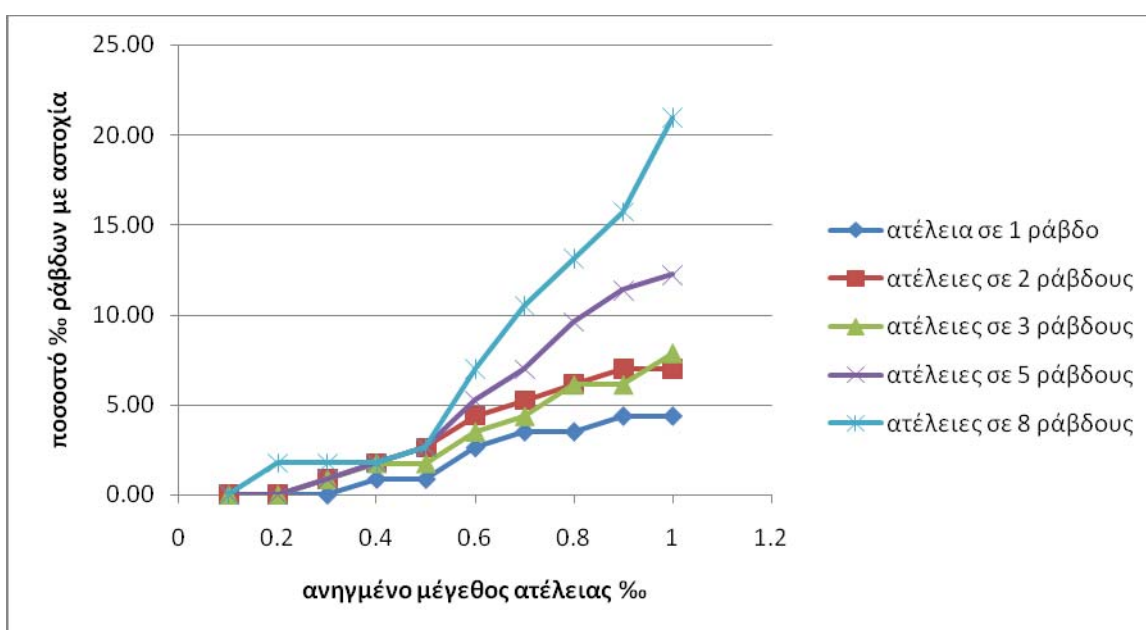


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.2%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το σημείο από το οποίο ξεκινούν να αυξάνονται εμφανώς οι αστοχίες φαίνεται να είναι για ατέλειες της τάξης του 0.5%. Από το συγκεκριμένο μέγεθος με περαιτέρω αύξηση του μεγέθους ατέλειας φαίνεται καθαρά ότι με προσθήκη επιπλέον ατελειών προκαλούνται όλο και περισσότερες αστοχίες.

5.3.2.2 Κάτω σχάρα

Πίνακας 5.5: Ατέλειες στην κάτω σχάρα (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος ατέλειας ‰</u>	<u>ποσοστό ‰ ράβδων με αστοχία</u>				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	1.75
0.3	0.00	0.87	0.87	0.87	1.75
0.4	0.87	1.75	1.75	1.75	1.75
0.5	0.87	2.62	1.75	2.62	2.62
0.6	2.62	4.37	3.50	5.24	6.99
0.7	3.50	5.24	4.37	6.99	10.49
0.8	3.50	6.12	6.12	9.62	13.11
0.9	4.37	6.99	6.12	11.36	15.73
1	4.37	6.99	7.87	12.24	20.98

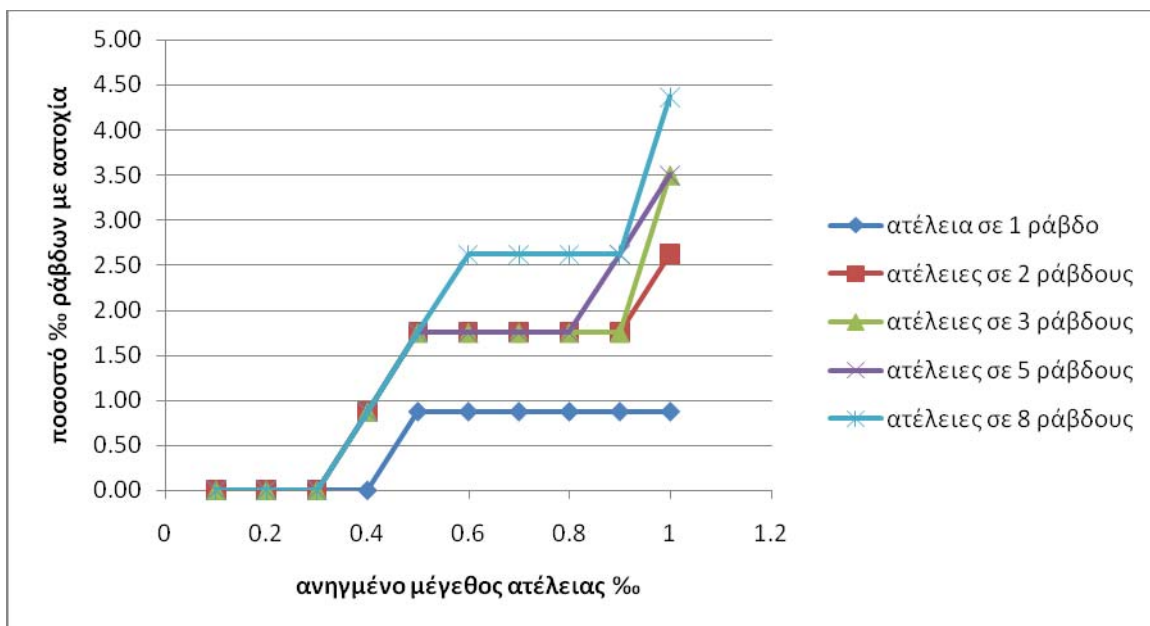


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.1‰, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το σημείο από το οποίο ξεκινούν να αυξάνονται εμφανώς οι αστοχίες φαίνεται να είναι για ατέλειες της τάξης του 0.5‰. Από το συγκεκριμένο μέγεθος με περαιτέρω αύξηση του μεγέθους ατέλειας φαίνεται καθαρά ότι με προσθήκη επιπλέον ατελειών προκαλούνται όλο και περισσότερες αστοχίες. Στην περίπτωση ατελειών της τάξης του 1‰ σε 8 ράβδους, το ποσοστό των αστοχούντων ράβδων φτάνει στο 20.98%. Ο φορέας παρουσιάζει ευαισθησία στη συγκεκριμένη περίπτωση.

5.3.2.3 Διαγώνιες ράβδοι

Πίνακας 5.6: Ατέλειες στις διαγώνιες (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	<u>ατέλεια σε 1 ράβδο</u>	<u>ατέλειες σε 2 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 3 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 5 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 8 ράβδους</u>
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.00	0.87	0.87	0.87	0.87
0.5	0.87	1.75	1.75	1.75	1.75
0.6	0.87	1.75	1.75	1.75	2.62
0.7	0.87	1.75	1.75	1.75	2.62
0.8	0.87	1.75	1.75	1.75	2.62
0.9	0.87	1.75	1.75	2.62	2.62
1	0.87	2.62	3.50	3.50	4.37



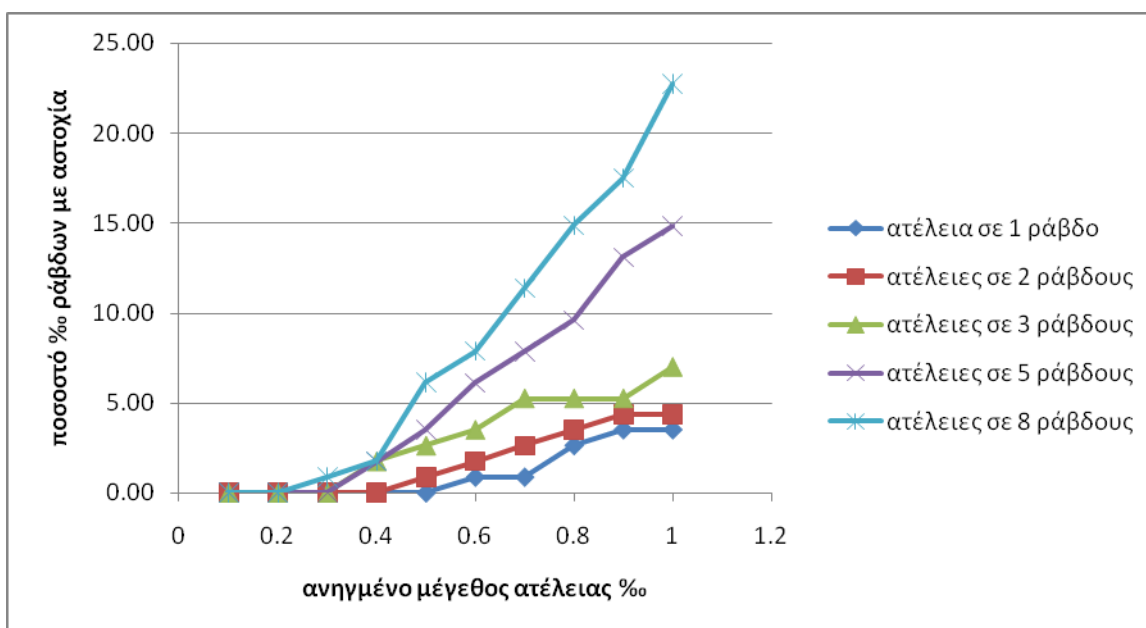
Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.3%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Ο φορέας δεν φαίνεται να είναι ευαίσθητος όταν οι ατέλειες βρίσκονται στις διαγώνιες ράβδους και για ατέλειες μήκους σε 8 ράβδους της τάξης του 1%, προκαλούνται αστοχίες μόλις στο 4.37% του συνόλου των ράβδων.

5.3.1 Αρνητικές ατέλειες με χιόνι (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

5.3.1.1 Άνω σχάρα

Πίνακας 5.7: Ατέλειες στην άνω σχάρα (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος</u> <u>ατέλειας ‰</u>	<u>ποσοστό ‰ ράβδων με αστοχία</u>					ατέλειες σε 8 ράβδους
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους	
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.87
0.4	0.00	0.00	0.00	1.75	1.75	1.75
0.5	0.00	0.87	2.62	3.50	6.12	6.12
0.6	0.87	1.75	3.50	6.12	7.87	7.87
0.7	0.87	2.62	5.24	7.87	11.36	11.36
0.8	2.62	3.50	5.24	9.62	14.86	14.86
0.9	3.50	4.37	5.24	13.11	17.48	17.48
1	3.50	4.37	6.99	14.86	22.73	22.73

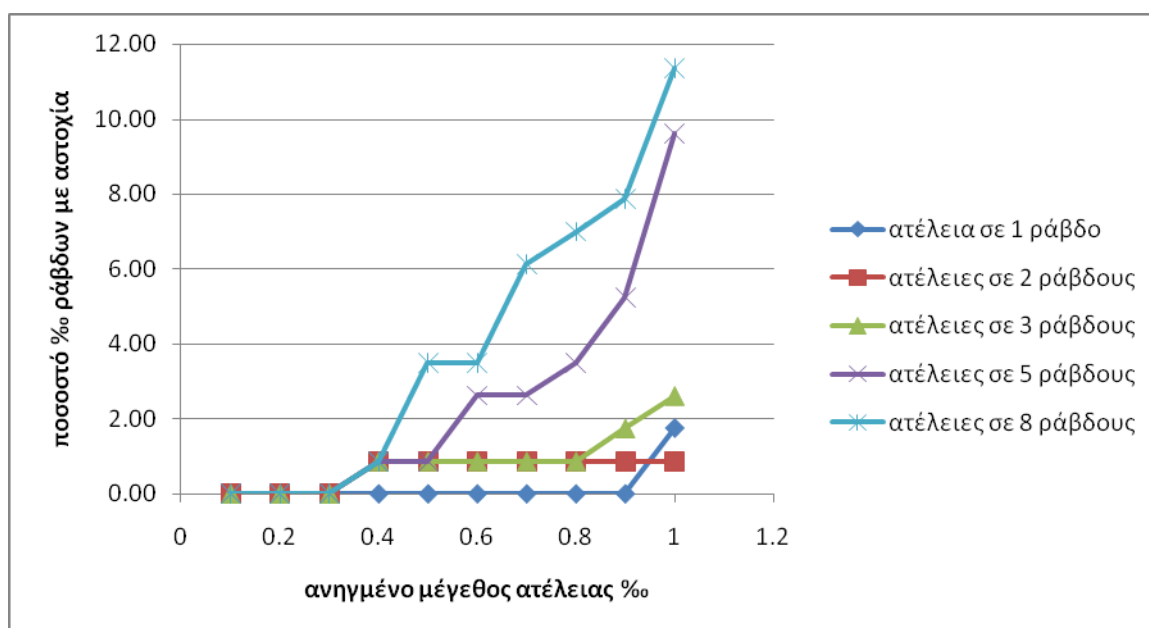


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.2‰, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το διάγραμμα δείχνει να ακολουθεί επακριβώς την πορεία του αντίστοιχου διαγράμματος χωρίς χιόνι. Η προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού δείχνει να επηρεάζει ευνοϊκά τη συμπεριφορά του φορέα καθώς για παράδειγμα στην περίπτωση ατελειών μήκους σε 8 ράβδους της τάξης του 1‰, παρατηρείται 6.12‰ μικρότερο ποσοστό αστοχούντων ράβδων.

5.3.1.2 Κάτω σχάρα

Πίνακας 5.8: Ατέλειες στην κάτω σχάρα (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	<u>ατέλεια σε 1 ράβδο</u>	<u>ατέλειες σε 2 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 3 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 5 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 8 ράβδους</u>
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.00	0.87	0.87	0.87	0.87
0.5	0.00	0.87	0.87	0.87	3.50
0.6	0.00	0.87	0.87	2.62	3.50
0.7	0.00	0.87	0.87	2.62	6.12
0.8	0.00	0.87	0.87	3.50	6.99
0.9	0.00	0.87	1.75	5.24	7.87
1	1.75	0.87	2.62	9.62	11.36

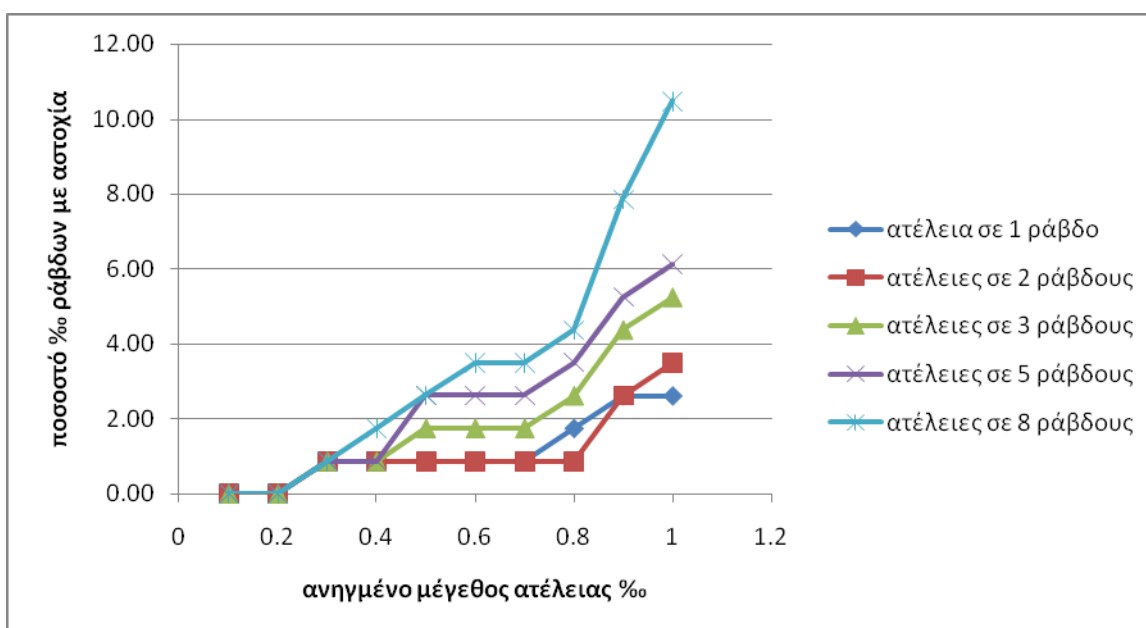


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.3%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το διάγραμμα δείχνει να ακολουθεί επακριβώς την πορεία του αντίστοιχου διαγράμματος χωρίς χιόνι. Η προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού δε δείχνει να επηρεάζει καθόλου τη συμπεριφορά του φορέα.

5.3.1.3 Διαγώνιες ράβδοι

Πίνακας 5.9: Ατέλειες στις διαγώνιες (μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	<u>ατέλεια σε 1 ράβδο</u>	<u>ατέλειες σε 2 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 3 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 5 ράβδους</u>	<u>ατέλειες σε 8 ράβδους</u>
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
0.4	0.87	0.87	0.87	0.87	1.75
0.5	0.87	0.87	1.75	2.62	2.62
0.6	0.87	0.87	1.75	2.62	3.50
0.7	0.87	0.87	1.75	2.62	3.50
0.8	1.75	0.87	2.62	3.50	4.37
0.9	2.62	2.62	4.37	5.24	7.87
1	2.62	3.50	5.24	6.12	10.49



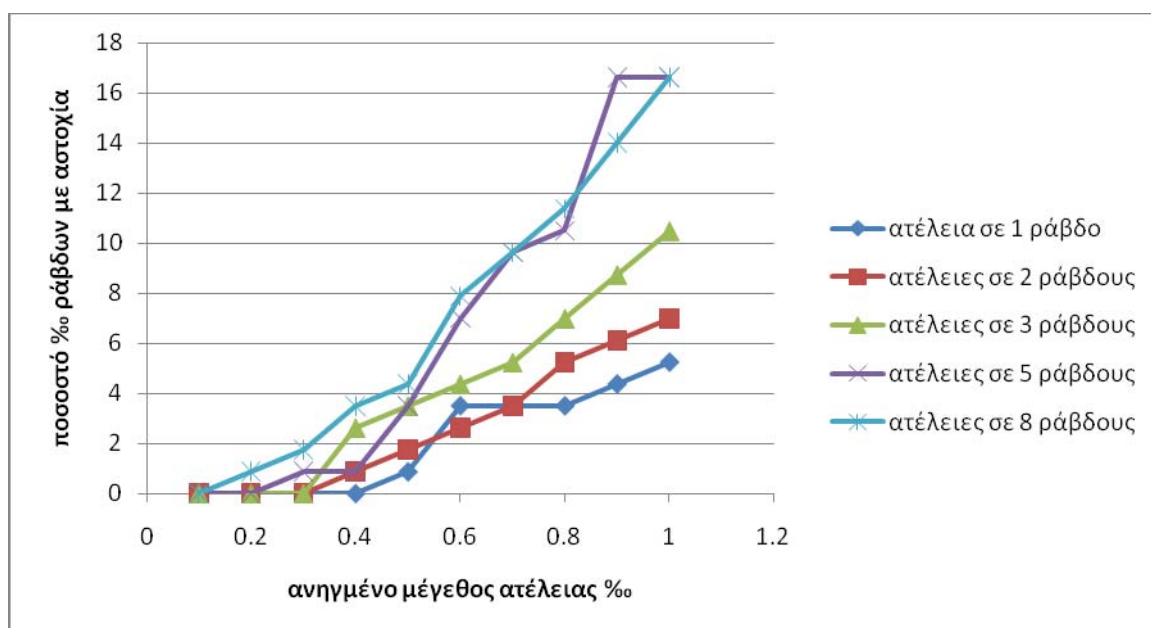
Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.2%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το διάγραμμα δείχνει να ακολουθεί επακριβώς την πορεία του αντίστοιχου διαγράμματος χωρίς χιόνι. Η προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού δε δείχνει να επηρεάζει ιδιαίτερα τη συμπεριφορά του φορέα.

5.3.2 Θετικές ατέλειες με χιόνι (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

5.3.2.1 Άνω σχάρα

Πίνακας 5.10: Ατέλειες στην άνω σχάρα (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος ατέλειας %</u>	<u>ποσοστό % ράβδων με αστοχία</u>				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.87
0.3	0.00	0.00	0.00	0.87	1.75
0.4	0.00	0.87	2.62	0.87	3.50
0.5	0.87	1.75	3.50	3.50	4.37
0.6	3.50	2.62	4.37	6.99	7.87
0.7	3.50	3.50	5.24	9.62	9.62
0.8	3.50	5.24	6.99	10.49	11.36
0.9	4.37	6.12	8.74	16.61	13.99
1	5.24	6.99	10.49	16.61	16.61

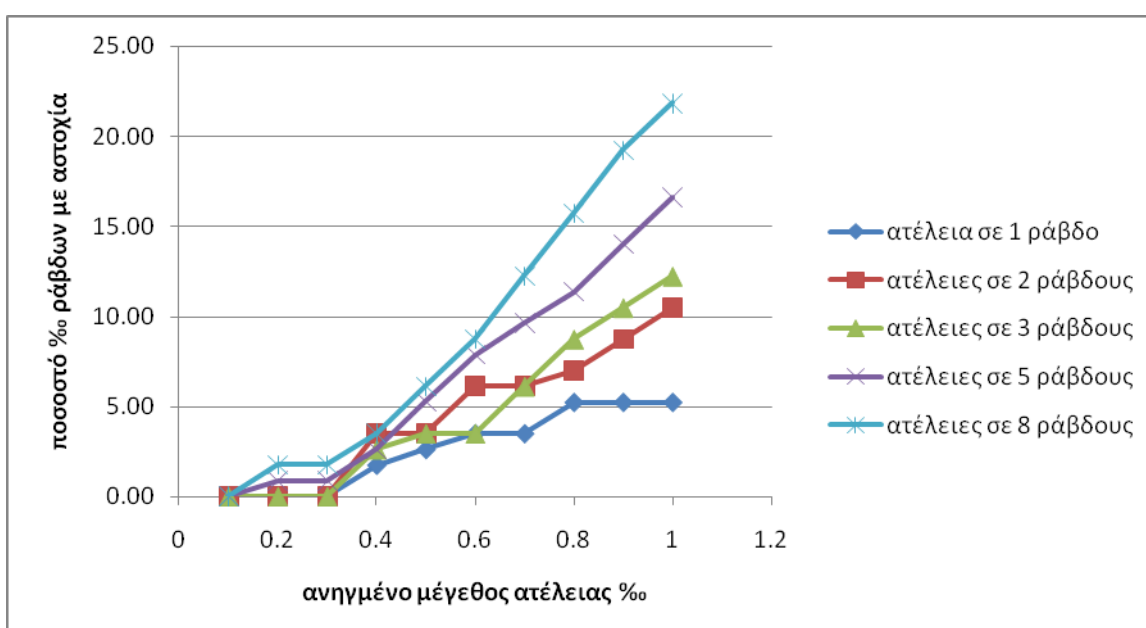


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.1%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το διάγραμμα δείχνει να ακολουθεί επακριβώς την πορεία του αντίστοιχου διαγράμματος χωρίς χιόνι. Η προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού δε δείχνει να επηρεάζει ιδιαίτερα τη συμπεριφορά του φορέα.

5.3.2.2 Κάτω σχάρα

Πίνακας 5.11: Ατέλειες στην κάτω σχάρα (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος</u> <u>ατέλειας %</u>	ποσοστό % ράβδων με αστοχία				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.87	1.75
0.3	0.00	0.00	0.00	0.87	1.75
0.4	1.75	3.50	2.62	2.62	3.50
0.5	2.62	3.50	3.50	5.24	6.12
0.6	3.50	6.12	3.50	7.87	8.74
0.7	3.50	6.12	6.12	9.62	12.24
0.8	5.24	6.99	8.74	11.36	15.73
0.9	5.24	8.74	10.49	13.99	19.23
1	5.24	10.49	12.24	16.61	21.85

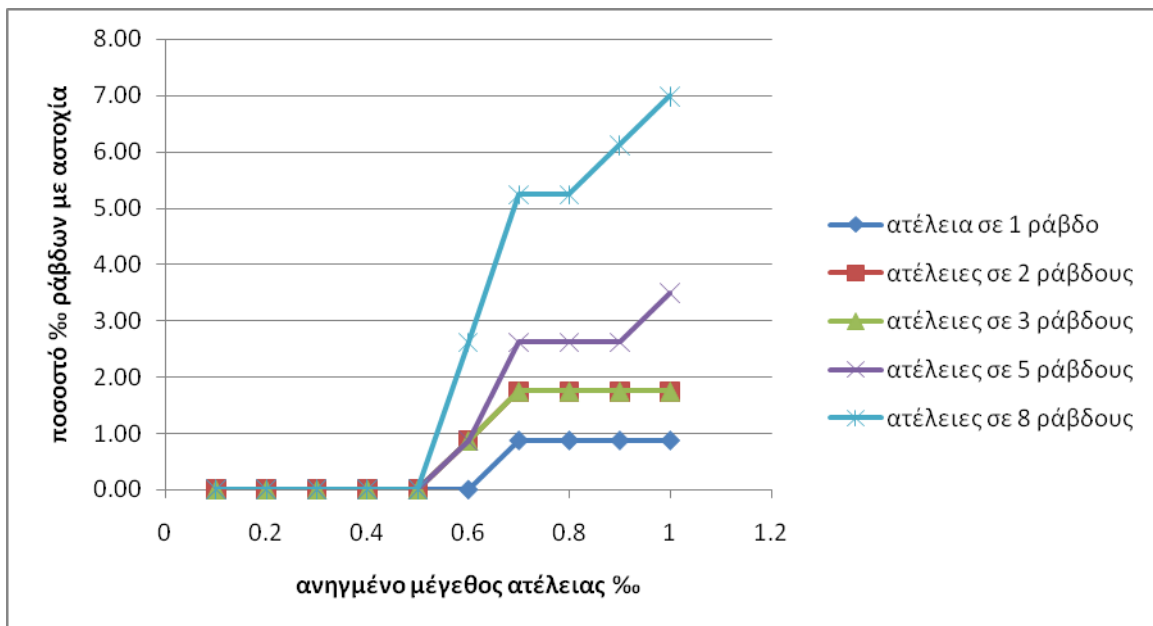


Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.1%, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το διάγραμμα δείχνει να ακολουθεί επακριβώς την πορεία του αντίστοιχου διαγράμματος χωρίς χιόνι. Η προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού δε δείχνει να επηρεάζει ιδιαίτερα τη συμπεριφορά του φορέα.

5.3.2.3 Διαγώνιες ράβδοι

Πίνακας 5.12: Ατέλειες στις διαγώνιες (μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο)

<u>ανηγμένο μέγεθος</u> <u>ατέλειας ‰</u>	<u>ποσοστό ‰ ράβδων με αστοχία</u>				
	ατέλεια σε 1 ράβδο	ατέλειες σε 2 ράβδους	ατέλειες σε 3 ράβδους	ατέλειες σε 5 ράβδους	ατέλειες σε 8 ράβδους
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.6	0.00	0.87	0.87	0.87	2.62
0.7	0.87	1.75	1.75	2.62	5.24
0.8	0.87	1.75	1.75	2.62	5.24
0.9	0.87	1.75	1.75	2.62	6.12
1	0.87	1.75	1.75	3.50	6.99



Με βάση τον παραπάνω πίνακα και το ακόλουθο διάγραμμα στο excel, φαίνεται ότι ατέλειες μήκους στις ράβδους μικρότερες από 0.5‰, δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά του φορέα ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων με ατέλεια και δεν προκαλούν αστοχία σε καμία ράβδο. Το διάγραμμα δείχνει να ακολουθεί επακριβώς την πορεία του αντίστοιχου διαγράμματος χωρίς χιόνι. Η προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού δε δείχνει να επηρεάζει ιδιαίτερα τη συμπεριφορά του φορέα.

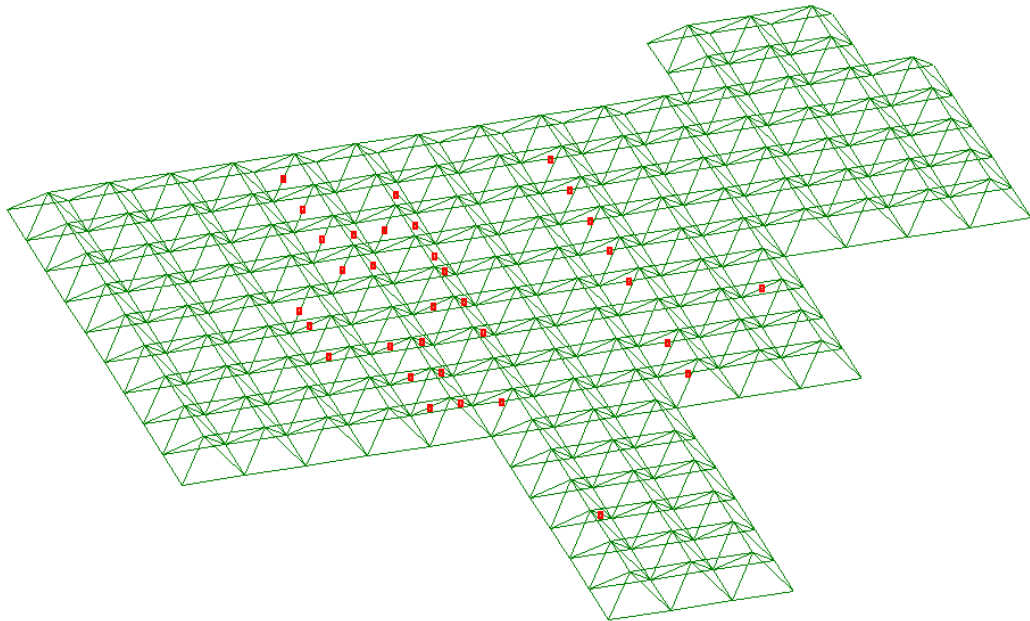
5.4 Κατανομή ράβδων με αστοχία

Στην προσπάθεια διερεύνησης της συμπεριφοράς του φορέα μετά την προσθήκη των ατελειών μήκους στις επιλεγμένες ράβδους, στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο παρουσιάζεται η κατανομή των ράβδων που αστοχούν στο σύνολο του φορέα. Για λόγους απλότητας παρουσιάζονται οι εν λόγω κατανομές στους συνδυασμούς που περιλαμβάνουν ατέλειες μήκους σε 8 ράβδους μεγέθους ατέλειας της τάξης του 1%.

5.4.1 Ατέλειες μήκους στην άνω σχάρα

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η κατανομή των αστοχιών που προκλήθηκαν στον φορέα λόγω ατελειών μήκους σε ράβδους της άνω σχάρας στην κρισιμότερη από τις τέσσερις παρακάτω περιπτώσεις. Με κόκκινες κουκίδες επισημαίνονται οι ράβδοι που έχουν αστοχήσει.

Σχήμα 5.2: Κατανομή αστοχιών για ράβδους με μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο.

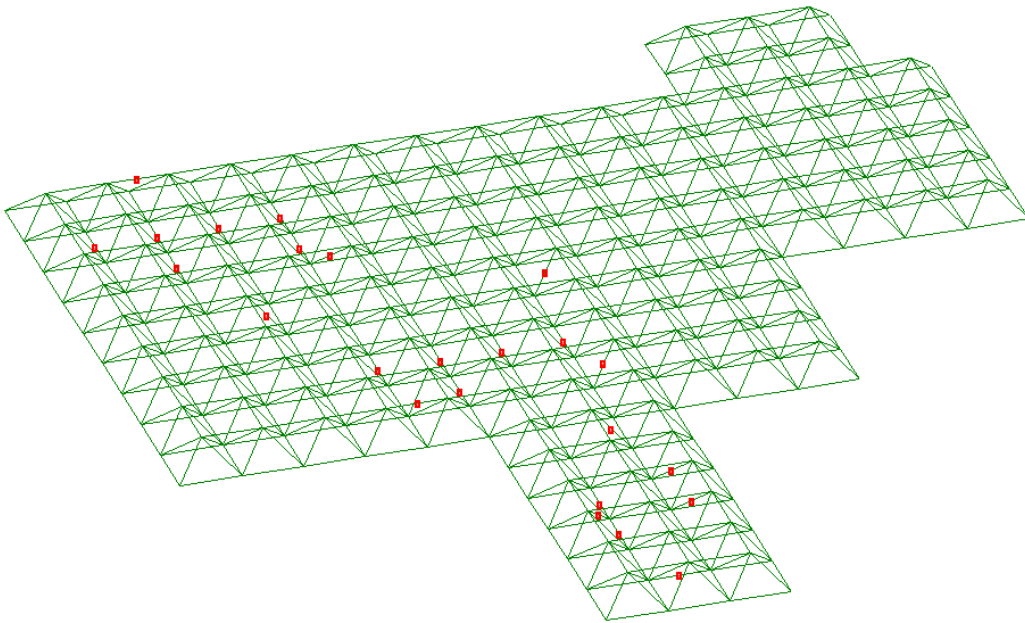


- Για ράβδους με μικρότερο από το προβλεπόμενο μήκος (αρνητικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 33 ράβδους, εκ των οποίων οι 8 είναι στην κάτω σχάρα, 0 στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 25 στις διαγώνιες ράβδους.
- Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό, παρατηρείται αστοχία σε 26 ράβδους, εκ των οποίων οι 9 είναι στην κάτω σχάρα, οι 0 στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 17 στις διαγώνιες ράβδους.
- Για ράβδους με μεγαλύτερο από το προβλεπόμενο μήκος (θετικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 16 ράβδους, εκ των οποίων οι 2 είναι στην κάτω σχάρα, 1 στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 13 στις διαγώνιες ράβδους.
- Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό, παρατηρείται αστοχία σε 16 ράβδους, εκ των οποίων οι 0 είναι στην κάτω σχάρα, οι 5 στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 11 στις διαγώνιες ράβδους.

5.4.2 Ατέλειες μήκους στην κάτω σχάρα

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η κατανομή των αστοχιών ,που προκλήθηκαν στον φορέα λόγω ατελειών μήκους σε ράβδους της κάτω σχάρας στην κρισιμότερη από τις τέσσερις παρακάτω περιπτώσεις. Με κόκκινες κουκίδες επισημαίνονται οι ράβδοι που έχουν αστοχήσει.

Σχήμα 5.3: Κατανομή αστοχιών για ράβδους με μεγαλύτερο μήκος από το προβλεπόμενο.

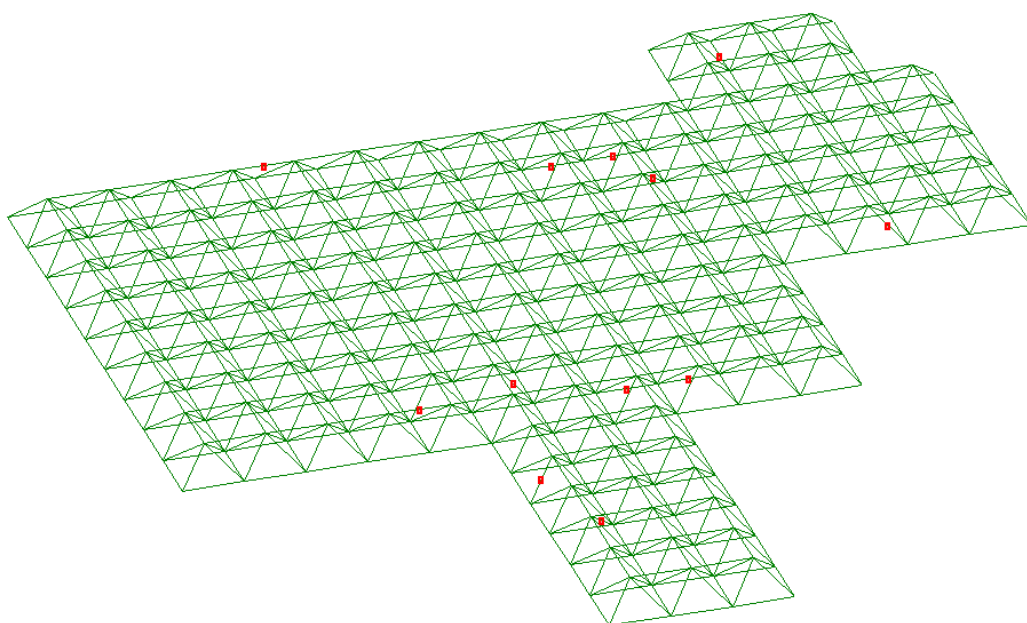


- Για ράβδους με μικρότερο από το προβλεπόμενο μήκος (αρνητικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 13 ράβδους, εκ των οποίων οι 0 είναι στην κάτω σχάρα, 1 στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 12 στις διαγώνιες ράβδους.
- Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό , παρατηρείται αστοχία σε 13 ράβδους, εκ των οποίων οι 0 είναι στην κάτω σχάρα, οι 4 στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 9 στις διαγώνιες ράβδους.
- Για ράβδους με μεγαλύτερο από το προβλεπόμενο μήκος (θετικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 24 ράβδους, εκ των οποίων οι 14 είναι στην κάτω σχάρα, 2 στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 8 στις διαγώνιες ράβδους.
- Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό, παρατηρείται αστοχία σε 25 ράβδους, εκ των οποίων οι 12 είναι στην κάτω σχάρα, οι 2 στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 11 στις διαγώνιες ράβδους.

5.4.3 Ατέλειες μήκους στις διαγώνιες ράβδους

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η κατανομή των αστοχιών ,που προκλήθηκαν στον φορέα λόγω ατελειών μήκους σε διαγώνιες ράβδους στην κρισιμότερη από τις τέσσερις παρακάτω περιπτώσεις. Με κόκκινες κουκίδες επισημαίνονται οι ράβδοι που έχουν αστοχήσει.

Σχήμα 5.4: Κατανομή αστοχιών για ράβδους με μικρότερο μήκος από το προβλεπόμενο και προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού.



- Για ράβδους με μικρότερο από το προβλεπόμενο μήκος (αρνητικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 9 ράβδους, εκ των οποίων οι 3 είναι στην κάτω σχάρα, 2 στην άνω σχάρα κ οι υπόλοιπες 4 στις διαγώνιες ράβδους.
- Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό , παρατηρείται αστοχία σε 12 ράβδους, εκ των οποίων οι 5 είναι στην κάτω σχάρα, οι 2 στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 5 στις διαγώνιες ράβδους.
- Για ράβδους με μεγαλύτερο από το προβλεπόμενο μήκος (θετικές ατέλειες), παρατηρείται αστοχία σε 5 ράβδους, εκ των οποίων οι 2 είναι στην κάτω σχάρα, 2 στην άνω σχάρα κ οι υπόλοιπες 1 στις διαγώνιες ράβδους.
- Με προσθήκη του ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού στον παραπάνω συνδυασμό, παρατηρείται αστοχία σε 8 ράβδους, εκ των οποίων οι 4 είναι στην κάτω σχάρα, οι 2 στην άνω σχάρα και οι υπόλοιπες 2 στις διαγώνιες ράβδους.

5.5 Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα

Συγκρίνοντας τα παραπάνω αποτελέσματα που προέκυψαν από τις επιλύσεις εξάγονται για το συγκριμένο χωροδικτύωμα τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Στην περίπτωση θετικών ατελειών ($\varepsilon > 0$), το σύστημα παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία όταν αυτές οι ατέλειες βρίσκονται στο κάτω πέλμα. Ενδεικτικά, για 8 ράβδους με ατέλειες στο κάτω πέλμα και για μέγεθος ατέλειας 1‰ το ποσοστό των ράβδων που αστοχούν είναι 20.98%. Το αντίστοιχο ποσοστό για ατέλειες στο άνω πέλμα είναι 13.99% και για ατέλειες στις διαγώνιους είναι 4.37%. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι θετικές ατέλειες στο κάτω πέλμα προκαλούν θλιπτικές δυνάμεις σε περισσότερες ράβδους στην άνω σχάρα από ότι οι ατέλειες στην άνω σχάρα και στις διαγώνιες.
- Στην περίπτωση αρνητικών ατελειών ($\varepsilon < 0$), το σύστημα παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία όταν αυτές οι ατέλειες βρίσκονται στο άνω πέλμα. Ενδεικτικά για 8 ράβδους με ατέλειες στο άνω πέλμα και για μέγεθος ατέλειας 1‰ το ποσοστό των ράβδων που αστοχούν είναι 28.85%. το αντίστοιχο ποσοστό για ατέλειες στο κάτω πέλμα είναι 11.36% και για ατέλειες στις διαγώνιους είναι 7.87%. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το πρόσθετο βέλος που δημιουργείται στο φορέα λόγω αρνητικών ατελειών στην άνω σχάρα είναι διπλάσιο και ίδιας φοράς με το βέλος λόγω των μόνιμων φορτίων, από το βέλος λόγω θετικών ατελειών στην κάτω σχάρα, επομένως επιβαρύνει περισσότερο το φορέα. Αναφέρεται ότι στο παραπάνω παράδειγμα, το πρόσθετο βέλος λόγω ατελειών στην άνω σχάρα είναι 24.51mm προς τα κάτω, ενώ λόγω ατελειών στην κάτω σχάρα είναι 12.32mm προς τα κάτω.
- Με τη δράση του πρόσθετου ομοιόμορφου φορτίου του χιονιού μειώνεται το ποσοστό αστοχιών του φορέα. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι με τη δράση του χιονιού γίνεται ανακατανομή των αξονικών δυνάμεων στα διαγώνια στοιχεία και ουσιαστικά ανακουφίζονται οι διαγώνιες ράβδοι που βρίσκονται στο κεντρικό τμήμα του φορέα. Και είναι ουσιαστικά αυτές στις οποίες σημειώνονται οι περισσότερες αστοχίες λόγω των κατασκευαστικών ατελειών.
- Με ατέλειες στις διαγώνιες ράβδους δεν παρατηρείται σημαντικό ποσοστό αστοχιών στις ράβδους του χωροδικτυώματος. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται και για θετικές και για αρνητικές ατέλειες και οφείλεται στο γεγονός ότι τα επιπλέον βέλη λόγω των ατελειών στα διαγώνια μέλη είναι τοπικά μόνο, στην περιοχή που βρίσκονται οι ατέλειες και δεν επηρεάζουν τον υπόλοιπο φορέα. Για αυτό το λόγο και οι αστοχίες που προκαλούνται από ατέλειες στα διαγώνια μέλη περιορίζονται στην περιοχή γύρω από τις συγκεκριμένες ράβδους.
- Όταν η ατέλεια φτάσει το 0.2‰, τότε παρουσιάζονται οι πρώτες αστοχίες ράβδων. Δηλαδή, για τις ράβδους που έχουν μήκος 5m η ατέλεια θα πρέπει να είναι $0,0002 \cdot 5 = 0,001\text{m} = 1\text{mm}$. Εξάλλου σύμφωνα με την εταιρία MERO υπάρχει μια ανοχή για κατασκευαστικές ατέλειες τέτοιου μεγέθους.
- Με βάση την κατανομή των αστοχιών του προηγούμενου υποκεφαλαίου όταν οι ατέλειες βρίσκονται στην άνω σχάρα οι αστοχίες σημειώνονται κυρίως στις διαγώνιες ράβδους. Για αρνητικές ατέλειες στην κάτω σχάρα οι αστοχίες σημειώνονται στις διαγώνιες ράβδους ενώ για θετικές στην κάτω σχάρα. Όταν οι ατέλειες βρίσκονται στις διαγώνιες ράβδους, οι αστοχίες ισοκατανέμονται στο φορέα.

6 Γενικά Συμπεράσματα

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζονται γενικά συμπεράσματα προκειμένου να γίνει η σύγκριση των χωροδικτυωμάτων μεταξύ τους.

➤ Συμπεράσματα με γενική ισχύ :

- Οι αστοχίες δεν παρουσιάζονται στις ράβδους στις οποίες υπάρχει η κατασκευαστική ατέλεια. Οι ράβδοι αυτές που διαθέτουν την ατέλεια έχουν και τη μεγαλύτερη διατομή και συνεπώς τη μεγαλύτερη αντοχή και για αυτό το λόγο η επιπλέον παραμόρφωση του φορέα λόγω ατέλειας δεν τις οδηγεί σε αστοχία.
- Όταν η ατέλεια φτάσει το 0.2%, τότε παρουσιάζονται οι πρώτες αστοχίες ράβδων ανεξαρτήτου του αριθμού των ράβδων που έχουν ατέλεια. Δηλαδή, για τις ράβδους που έχουν μήκος 5m η ατέλεια θα πρέπει να είναι $0,0002 \cdot 5 = 0,001\text{m} = 1\text{mm}$. Εξάλλου σύμφωνα με την εταιρία MERO υπάρχει μια ανοχή για κατασκευαστικές ατέλειες τέτοιου μεγέθους.
- Στα χωροδικτυώματα με επίπεδες άνω και κάτω εσχάρες η προσθήκη του ομοιομόρφου φορτιού του χιονιού δρα ευμενώς μειώνοντας τις αστοχίες γιατί ανακουφίζει τα διαγώνια στοιχεία, τα οποία είχαν τις περισσότερες αστοχίες χωρίς χιόνι.
- Στα καμπύλα χωροδικτυώματα η προσθήκη του ομοιόμορφου φορτιού του χιονιού δρα δυσμενώς αυξάνοντας τις αστοχίες. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι σε τέτοιου είδους φορείς με προσθήκη επιπλέον ομοιόμορφου φορτίου επιβαρύνεται ολόκληρος ο φορέας και προκαλούνται επιπλέον αστοχίες.
- Με ατέλειες στις διαγώνιες ράβδους δεν παρατηρείται σημαντικό ποσοστό αστοχιών στις ράβδους των χωροδικτυωμάτων. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται και για θετικές και για αρνητικές ατέλειες και οφείλεται στο γεγονός ότι τα επιπλέον βέλη λόγω των ατελειών στα διαγώνια μέλη είναι τοπικά μόνο, στην περιοχή που βρίσκονται οι ατέλειες και δεν επηρεάζουν τον υπόλοιπο φορέα. Για αυτό το λόγο και οι αστοχίες που προκαλούνται από ατέλειες στα διαγώνια μέλη περιορίζονται στην περιοχή γύρω από τις συγκεκριμένες ράβδους.

Ακολουθεί σύγκριση των χωροδικτυωμάτων μεταξύ τους. Για λόγους αποφυγής της πολυπλοκότητας από αυτό το σημείο το κάθε χωροδικτύωμα θα αναφέρεται ως εξής:

- ✓ Το ορθογωνικής κάτοψης με επίπεδες άνω και κάτω εσχάρες με αρθρώσεις που δεν επιτρέπουν μετακίνηση σε καμία διεύθυνση θα αναφέρεται χωροδικτύωμα (1).
- ✓ Το ορθογωνικής κάτοψης με επίπεδες άνω και κάτω εσχάρες με αρθρώσεις που δεν απαγορεύουν τη μετακίνηση σε όλες τις διευθύνσεις θα αναφέρεται χωροδικτύωμα (1').
- ✓ Το τοξωτό χωροδικτύωμα με αρθρώσεις που δεν επιτρέπουν μετακίνηση σε καμία διεύθυνση θα αναφέρεται χωροδικτύωμα (2).
- ✓ Το τοξωτό χωροδικτύωμα με αρθρώσεις που δεν απαγορεύουν τη μετακίνηση σε όλες τις διευθύνσεις θα αναφέρεται χωροδικτύωμα (2')

- ✓ Το κυματοειδές χωροδικτύωμα θα αναφέρεται χωροδικτύωμα (3)
 - ✓ Το μη κανονικής κάτοψης με επίπεδες άνω και κάτω εσχάρες θα αναφέρεται χωροδικτύωμα (4)
- Σύγκριση χωροδικτυώματος (1) με (1')
- Το χωροδικτύωμα (1) παρουσιάζει αισθητά περισσότερες αστοχίες για θετικές ατέλειες στην κάτω σχάρα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι παρουσιάζονται πολύ μεγαλύτερες θλιπτικές δυνάμεις λόγω της αδυναμίας των στηρίξεων να κινηθούν κατά του οριζόντιους άξονες και να εκτονώσουν με αυτόν τον τρόπο την επιπλέον παραμόρφωση που επιβάλλεται με τις ατέλειες.
 - Για τα υπόλοιπα ειδή ατελειών στην άνω σχάρα και στις διαγώνιες παρατηρούνται παρόμοια ποσοστά αστοχιών ανάμεσα στα δυο χωροδικτυώματα.
 - Στο χωροδικτύωμα (1') κρίσιμες είναι τόσο οι αρνητικές όσο και οι θετικές ατέλειες στην άνω σχάρα ενώ στο χωροδικτύωμα (1) κρίσιμες είναι οι θετικές ατέλειες στο κάτω πέλμα και οι αρνητικές ατέλειες όταν αυτές βρίσκονται στο άνω πέλμα.
- Σύγκριση χωροδικτυώματος (2) με (2')
- Σχεδόν στο σύνολο των ειδών των ατελειών τα ποσοστά που παρουσιάζονται στο (2) είναι μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα του (2'). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στο (2) λόγω της αδυναμίας των στηρίξεων να κινηθούν κατά τους οριζόντιους άξονες και να εκτονώσουν με αυτόν τον τρόπο την επιπλέον παραμόρφωση που επιβάλλεται με τις ατέλειες επιβαρύνεται το σύνολο του φορέα.
 - Και στα δύο χωροδικτυώματα προκαλούνται περισσότερες αστοχίες όταν οι ατέλειες βρίσκονται στο κάτω πέλμα τόσο για θετικές όσο και για αρνητικές ατέλειες.
- Σύγκριση κατανομής αστοχιών
- Για ατέλειες στην άνω σχάρα οι αστοχίες σε όλα τα χωροδικτυώματα σημειώνονται κυρίως στις διαγώνιες ράβδους εκτός από την περίπτωση αρνητικών ατελειών στο χωροδικτύωμα (2') που οι περισσότερες αστοχίες σημειώνονται στην άνω σχάρα.
 - Για ατέλειες στην κάτω σχάρα η άνω σχάρα παραμένει ανεπηρέαστη και το σύνολο των αστοχιών σε όλα τα χωροδικτυώματα σημειώνεται στην κάτω σχάρα και στις διαγώνιες ράβδους.
 - Για ατέλειες στις διαγώνιες ράβδους οι αστοχίες στα χωροδικτυώματα (1) , (1') και (4) σημειώνονται στην άνω και την κάτω σχάρα ενώ στα υπόλοιπα χωροδικτυώματα ισοκατανέμονται.
 - Η κατανομή των αστοχιών στα χωροδικτυώματα (1) και (4) ταυτίζεται πλήρως σε όλες τις περιπτώσεις αστοχιών.

7 Βιβλιογραφία

1. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ. (2005α). «Σχεδιασμός δομικών έργων από χάλυβα, 2η έκδοση», Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
2. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ., (2005β). «Σιδηρές κατασκευές, παραδείγματα εφαρμογής του Ευρωκώδικα 3, Τόμος Ι». Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
3. Ερμόπουλος Ι. (2005) 2η έκδοση. «Ευρωκώδικας 1», Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
4. Βάγιας Ι. (2003). «Σιδηρές κατασκευές, ανάλυση και διαστασιολόγηση», Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
5. Ερμόπουλος Ι (2000). «Στοιχεία σχεδιασμού μεταλλικών κατασκευών». Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Αθήνα.
6. Δέσποινα Ράπτη, Μεταλλικά δικτυώματα, Διπλωματική εργασία, Επιβλέπων: Γαντές, Ε.Μ.Π. Αθήνα 2002.
7. MERO, RaumstrukturWurzberg, Ενημερωτικό φυλλάδιο.
8. Α. Κανελλόπουλος, «STATIK 3 πρόγραμμα στατικής και δυναμικής ανάλυσης κτιρίων, γεφυρών και άλλων χωρικών φορέων», Αθήνα 2003.