

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 ΣΚΟΠΟΣ.....	2
1.2 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	2
1.3 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	5
2. ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ISO/DIS 12215-5.2 ΜΕ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥΣ ΝΗΟΓΝΩΜΟΝΩΝ.....	7
2.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ.....	8
2.1.1 ISO/DIS 12215-5.2.....	8
2.1.2 ABS Motor Pleasure Yachts.....	9
2.1.3 Lloyd’s Register of shipping.....	10
2.1.4 DET NORSKE VERITAS.....	10
2.1.5 GL 2002.....	11
2.1.6 ΠΑΡΑΘΕΣΗ ΠΙΝΑΚΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ.....	11
2.1.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	20
2.2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΧΟΥΣ ΣΤΡΩΣΗΣ ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ.....	23
2.2.1 ISO/DIS 12215-5.2.....	23
2.2.2 ABS Motor Pleasure Yachts.....	23
2.2.3 Lloyd’s Register of Shipping.....	24
2.2.4 GL 2002.....	24
2.2.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΠΑΧΟΥΣ ΖΕΥΓΟΥΣ ΣΤΡΩΣΕΩΝ.....	25
2.2.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	28
2.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ ΚΑΙ ΠΙΕΣΕΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ.....	29
2.3.1 ISO/DIS 12215-5.2.....	29
2.3.2 ABS Motor Pleasure Yachts.....	35
2.3.3 Lloyd’s Register of Shipping.....	39
2.3.4 DET NORSKE VERITAS.....	48
2.3.5 GL 2002.....	54
2.3.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	57
2.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΧΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΠΟΛΥΣΤΡΩΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΜΟΝΟΛΙΘΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	59
2.4.1 ISO/DIS 12215-5.2.....	59
2.4.2 ABS Motor Pleasure Yachts.....	61
2.4.3 Lloyd’s Register of Shipping.....	64
2.4.4 DET NORSKE VERITAS.....	65
2.4.5 GL 2002.....	66
2.4.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	69

2.5	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΧΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΠΛΑΚΑΣ SANDWICH.....	71
2.5.1	ISO/DIS 12215-5.2.....	71
2.5.2	ABS Motor Pleasure Yachts.....	73
2.5.3	Lloyd's Register of Shipping.....	76
2.5.4	DET NORSKE VERITAS.....	77
2.5.5	GL 2002.....	78
2.5.6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	79
2.6	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	80
2.6.1	ISO/DIS 12215-5.2.....	80
2.6.2	ABS Motor Pleasure Yachts.....	83
2.6.3	Lloyd's Register of Shipping.....	86
2.6.4	DET NORSKE VERITAS.....	88
2.6.5	GL 2002.....	89
2.6.6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	92
2.7	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ..	94
2.7.1	Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ.....	94
2.7.2	ISO/DIS 12215-5.2.....	98
2.7.3	ABS Motor Pleasure Yachts.....	99
2.7.4	Lloyd's Register of Shipping.....	99
2.7.5	DET NORSKE VERITAS.....	99
2.7.6	GL 2002.....	102
2.7.7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	102
3.	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ.....	103
3.1	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ ΣΕ ΤΑΧΥΠΛΟΟ ΣΚΑΦΟΣ.....	104
3.2	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ ΣΕ ΣΚΑΦΟΣ ΕΚΤΟΠΙΣΜΑΤΟΣ.....	148
4.	ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ.....	175
4.1	ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΑΧΟΥΣ ΠΛΑΚΑΣ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗΝ ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΚΑΜΨΙΑ.....	176
4.1.1	ΓΕΝΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΕΞΙΣΩΣΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΑΧΟΥΣ ΠΛΑΚΑΣ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗΝ ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΚΑΜΨΙΑΣ.....	176
4.1.2	ISO/DIS 12215-5.2.....	180
4.1.3	ABS Motor Pleasure Yachts.....	182
4.1.4	Lloyd's Register of Shipping.....	184
4.1.5	DET NORSKE VERITAS.....	185
4.1.6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	186

4.2	ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΑΧΟΥΣ ΠΛΑΚΑΣ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗΝ ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ.....	187
4.2.1	ΓΕΝΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΕΞΙΣΩΣΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΑΧΟΥΣ ΠΛΑΚΑΣ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗΝ ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ.....	187
4.2.2	ISO/DIS 12215-5.2.....	190
4.2.3	ABS Motor Pleasure Yachts.....	191
4.2.4	Lloyd’s Register of Shipping.....	193
4.2.5	DET NORSKE VERITAS.....	193
4.2.6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	194
4.3	ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΡΟΠΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	196
4.3.1	ΓΕΝΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΕΞΙΣΩΣΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΡΟΠΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ..	196
4.3.2	ISO/DIS 12215-5.2.....	197
4.3.3	ABS Motor Pleasure Yachts.....	198
4.3.4	Lloyd’s Register of Shipping.....	200
4.3.5	DET NORSKE VERITAS.....	201
4.3.6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	202
4.4	ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΡΟΠΗΣ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	203
4.4.1	ΓΕΝΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΕΞΙΣΩΣΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΡΟΠΗΣ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ....	203
4.4.2	ISO/DIS 12215-5.2.....	204
4.4.3	ABS Motor Pleasure Yachts.....	205
4.4.4	Lloyd’s Register of Shipping.....	207
4.4.5	DET NORSKE VERITAS.....	208
4.4.6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	208
4.5	ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΤΕΛΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	209
5.	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΣΚΑΦΗ.....	211
5.1	ΤΑΧΥΠΛΟΟ ΣΚΑΦΟΣ 1.....	212
5.2	ΤΑΧΥΠΛΟΟ ΣΚΑΦΟΣ 2.....	222
5.3	ΣΚΑΦΟΣ ΕΚΤΟΠΙΣΜΑΤΟΣ 1.....	232
5.4	ΣΚΑΦΟΣ ΕΚΤΟΠΙΣΜΑΤΟΣ 2.....	247
6.	ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	257
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΣΧΕΔΙΑ ΣΚΑΦΩΝ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 5.....	261
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	272

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΚΟΠΟΣ

Αφορμή αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η είσοδος του διεθνούς οργανισμού τυποποίησης ISO στο χώρο των κανονισμών για σκάφη από σύνθετα υλικά κάτω των 24 μέτρων με το πρότυπο ISO/DIS 12215-5.2 Hull construction – Scantlings – Part 5: Design pressures for monohulls, design stresses, scantlings determination, Date: 25-03-2004. Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι να γίνει μια συγκριτική μελέτη και ανάλυση του κανονισμού ISO/DIS 12215-5.2 με τους ήδη υπάρχοντες κανονισμούς των νηογνομώνων βάσει αποτελεσμάτων σε σκάφη. Στη συγκριτική αυτή μελέτη αρχικά θα γίνει παράθεση των εξισώσεων που προτείνει ο κάθε κανονισμός έτσι ώστε να φανούν οι διαφορές μεταξύ τους. Στη συνέχεια θα γίνει ανάλυση των εξισώσεων έτσι ώστε να βρεθούν οι αρχικές σχέσεις στις οποίες έχουν βασιστεί οι κανονισμοί καθώς και οι κρυμμένοι συντελεστές ασφάλειας και οι υποθέσεις για τις οριακές συνθήκες που χρησιμοποιεί ο κάθε ένας ξεχωριστά. Αυτό σε συνδυασμό με την εφαρμογή των κανονισμών σε συγκεκριμένα σκάφη θα μας δώσει μια γενική εικόνα της κατάστασης που υπάρχει στους κανονισμούς μικρών σκαφών από σύνθετα υλικά.

1.2 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Οι κανονισμοί οι οποίοι θα χρησιμοποιηθούν για την συγκριτική μελέτη καθώς και τα όρια εφαρμογής του καθενός από αυτούς είναι:

A) « Κατασκευή γάστρας - Διαστασιολόγηση - Τμήμα 5: Σχεδιαστικές πιέσεις για μονόγαστρα σκάφη, σχεδιαστικές αντοχές, διαστασιολόγηση κατασκευαστικών στοιχείων » του διεθνούς οργανισμού τυποποίησης ISO (ISO/DIS 12215-5.2 Hull construction – Scantlings – Part 5: Design pressures for monohulls, design stresses, scantlings determination, Date: 25-03-2004).

Τα όρια εφαρμογής του κανονισμού είναι:

Το κομμάτι του κανονισμού αυτού χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των σχεδιαστικών φορτίσεων, πιέσεων και τάσεων καθώς και για τη διαστασιολόγηση συμπεριλαμβανομένων και των εσωτερικών κατασκευαστικών μερών μονόγαστρων μικρών σκαφών κατασκευασμένων από σύνθετα υλικά, αλουμίνιο ή κράματα χάλυβα, ξύλο ή άλλα κατασκευαστικά υλικά σκαφών, με μήκος γάστρας μικρότερο των 24 μέτρων.

B) Οδηγός κατασκευής και ταξινόμησης ταχύπλων σκαφών του αμερικάνικου νηογνόμουνα ABS (Guide for building and classing of high speed craft, 2004).

Τα όρια εφαρμογής είναι:

Ο κανονισμός είναι εφαρμόσιμος σε ταχύπλοα σκάφη, κατασκευασμένα από χάλυβα, αλουμίνιο ή σύνθετα υλικά με λόγο $\frac{V}{\sqrt{L}}$ όχι μικρότερο από 2,36

όπου

V = μέγιστη ταχύτητα σε ήρεμο νερό, σε kn

L = μήκος σκάφους, για την χρήση από τον κανονισμό το L δεν πρέπει να είναι μικρότερο από το 96% και δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το 97% της ισάλου σχεδίασης.

Τα μήκη των σκαφών που εφαρμόζονται στον κανονισμό είναι:

Μονόγαστρα < 130 m

Πολύγαστρα < 100 m

SES < 90 m

Υδροπτέρυγα < 60 m

Γ) Οδηγός κατασκευής και ταξινόμησης μηχανοκίνητων σκαφών αναψυχής του αμερικανικού νηογνώμονα ABS (Guide for building and classing of motor pleasure yachts, February 2000).

Τα όρια εφαρμογής είναι:

Αυτός ο οδηγός εφαρμόζεται για σκάφη αναψυχής 24 μέτρων ή μεγαλύτερα μέχρι το μήκος των 61 μέτρων. Σκάφη εκτός των ορίων κανονισμού θα εξετάζονται ειδικότερα.

Δ) Κανόνες και κανονισμοί για την ταξινόμηση σκαφών ειδικών υπηρεσιών του βρετανικού νηογνώμονα LRS (Rules and regulations for the classification of special service craft, July 2002).

Ο κανονισμός εφαρμόζεται στους ακόλουθους τύπους σκαφών, κατασκευασμένων από χάλυβα, αλουμίνιο, σύνθετα υλικά ή συνδυασμό αυτών των υλικών:

Ταχύπλοα

Σκάφη μικρού εκτοπίσματος

Πολύγαστρα

Σκάφη αναψυχής με ολικό μήκος άνω των 24 μέτρων

Σκάφη με λόγο βυθίσματος προς κοίλο μικρότερο ή ίσο με 0,55

Επίσης στον κανονισμό μπορούν να στηριχθούν μετά από ειδική μελέτη οι εξής τύποι σκαφών:

Υδροπτέρυγα

Σκάφη της παραπάνω κατηγορίας κατασκευασμένα από ξύλο ή συνδυασμό ξύλου και σύνθετων υλικών

Άλλα σκάφη από σύνθετα υλικά

Φουσκωτά σκάφη

Σκάφη κάτω των 24 μέτρων με λόγο βυθίσματος προς κοίλο μεγαλύτερο του 0,55

Ε) Κανονισμοί για ταχύπλοα και ελαφριά σκάφη καθώς και για πολεμικά σκάφη επιφάνειας από τον νορβηγικό νηογνώμονα DNV (Rules for high speed, light craft and naval surface craft, January 2003).

Οι τύποι σκαφών που εμπίπτουν στον κανονισμό είναι:

ACV-Air Cushion Vehicle

Υδροπτέρυγα

SES-Surface Effect Ships

Catamaran

Μονόγαστρα

Wave piercers

SWATH-Small Waterplane Area Twin Hull

AIR-Airfoils

ΣΤ) Κανονισμοί και γενικό πλαίσιο οδηγιών για σκάφη αναψυχής του γερμανικού νηογνώμονα GL (Rules and guidelines Part 3 – Pleasure craft, 2002).

Τα όρια εφαρμογής του κανονισμού είναι:

Ο κανονισμός αυτός εφαρμόζεται σε σκάφη αναψυχής από 6 έως 24 μέτρα.

Παρατηρώντας τα όρια εφαρμογής των κανονισμών μπορούμε να σχολιάσουμε ότι μόνο ο γερμανικός νηογνώμονας είναι απόλυτα συγκρίσιμος ως προς τα όρια εφαρμογής του με το πρότυπο του ISO/DIS 12215-5.2. Ο κανονισμός του αμερικάνικου νηογνώμονα για τα μηχανοκίνητα σκάφη αναψυχής ισχύει κυρίως για σκάφη άνω των 24 μέτρων με ειδική μελέτη για μικρότερα σκάφη. Αντίστοιχος με αυτόν είναι και ο κανονισμός του βρετανικού νηογνώμονα. Αντίθετα ο νορβηγικός νηογνώμονας δεν ορίζει τα όρια εφαρμογής ως προς το μήκος του σκάφους αλλά δίνει συγκεκριμένους τύπους σκαφών. Ο κανονισμός του αμερικάνικου νηογνώμονα για ταχύπλοα σκάφη ισχύει για σκάφη μεγαλύτερου μήκους κατασκευασμένα για

εμπορική χρήση και γι' αυτό δεν θα χρησιμοποιηθεί στην παράθεση των τελικών αποτελεσμάτων που θα γίνουν κατά την εφαρμογή των κανονισμών σε σκάφη.

1.3 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Αρχικά θα γίνει παράθεση των εξισώσεων που χρησιμοποιεί κάθε νηογνώμονας σε σύγκριση με τις εξισώσεις υπολογισμού του προτύπου ISO/DIS 12215-5.2 έτσι ώστε να υπάρχει μια αρχική εικόνα των ομοιοτήτων και των διαφορών μεταξύ των κανονισμών. Μετά ακολουθεί η εφαρμογή των κανονισμών σε σκάφη και η παράθεση των αποτελεσμάτων και τελικά γίνεται μια αντίστροφη ανάλυση των εξισώσεων έτσι ώστε να έχουμε την συνολική εικόνα της φιλοσοφίας του κάθε κανονισμού και της σύγκρισης του με τον νέο κανονισμό του οργανισμού προτύπων.

Αναλυτικά τα κεφάλαια που θα ακολουθήσουν έχουν ως εξής:

2. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται η παράθεση των εξισώσεων υπολογισμού των παρακάτω μεγεθών:

- A. Μηχανικές ιδιότητες
- B. Πάχος στρώσης σύνθετου υλικού
- Γ. Κατακόρυφες επιταχύνσεις και πιέσεις σχεδίασης
- Δ. Πάχη σχεδίασης πολύστρωτης πλάκας μονολιθικής κατασκευής
- Ε. Πάχη σχεδίασης πλάκας sandwich
- ΣΤ. Απαιτήσεις ενισχυτικών στοιχείων
- Z. Ισοδύναμο πλάτος ελάσματος

Γενικότερα σ' αυτό το κεφάλαιο θα βρεθούν βασικές διαφορές στον τρόπο υπολογισμού του κάθε κανονισμού όπως είναι η χρήση των συντελεστών ασφάλειας.

3. Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει η εφαρμογή των σχέσεων που δίνει ο κάθε κανονισμός όπως αυτοί παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο για δυο σκάφη, ένα ταχύπλοο και ένα ιστιοπλοϊκό. Τα σκάφη αυτά δεν είναι σκάφη τα οποία έχουν κατασκευαστεί. Έχουμε υποθέσει μια ομοιομορφία στην γεωμετρία κατασκευής αλλά και στα υλικά κατασκευής έτσι ώστε στα τελικά αποτελέσματα, οι διαφορές που προκύπτουν μεταξύ των κανονισμών, να είναι ευδιάκριτες αλλά και να μας βοηθήσουν στην αντίστροφη ανάλυση των εξισώσεων που θα γίνει στο επόμενο κεφάλαιο. Τα τελικά αποτελέσματα παρουσιάζονται σε πίνακες αλλά και σε διαγράμματα για την καλύτερη επεξεργασία τους και συμπερασματικά προκύπτουν οι διαφορές για κάθε κανονισμό.

4. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η αντίστροφη ανάλυση των εξισώσεων των κανονισμών για τα βασικά μεγέθη όπως είναι το πάχος του σύνθετου υλικού και οι

απαιτήσεις για τα ενισχυτικά στοιχεία. Ουσιαστικά σε αυτό το τμήμα της διπλωματικής εργασίας βρίσκονται οι αρχικές εξισώσεις από τις οποίες προέκυψαν οι τελικές μορφές που παραθέτει ο κάθε κανονισμός. Επίσης με την υπόθεση της χρήσης της γεωμετρίας των σκαφών του τρίτου κεφαλαίου βρίσκουμε τυχόν κρυμμένους συντελεστές ασφάλειας ή υποθέσεις για τις οριακές συνθήκες που έχουν χρησιμοποιηθεί από τους ίδιους τους κανονισμούς ώστε να καταλήξουν στις τελικές εξισώσεις.

5. Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται η εφαρμογή των κανονισμών σε τέσσερα σκάφη παραγωγής, δυο ιστιοπλοϊκά και δυο ταχύπλοα, έτσι ώστε εν μέρει να έχουμε μια επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων που έχουμε εξάγει στα προηγούμενα κεφάλαια. Επίσης παρατηρούμε πως εφαρμόζονται οι κανονισμοί σε πραγματικά σκάφη, τι προβλήματα μπορούν να δημιουργηθούν και αν οι απαιτήσεις του κάθε νηογνώμονα καλύπτονται από τις επιλογές του κατασκευαστή.

6. Τέλος καταλήγουμε στο τελευταίο κεφάλαιο σε μια σύνοψη όλων των συμπερασμάτων που εξήχθησαν από όλη την διπλωματική εργασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

“ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ISO/DIS 12215-5.2 ΜΕ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥΣ ΝΗΟΓΝΩΜΟΝΩΝ ”

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθεται το τυπολόγιο υπολογισμού των σχεδιαστικών πιέσεων του πυθμένα της γάστρας, των παχών των πολύστρωτων πλακών, των απαιτήσεων των ενισχυτικών στοιχείων, του ισοδύναμου πλάτους ελάσματος, των μηχανικών ιδιοτήτων και του υπολογισμού πάχους στρώσης για το πρότυπο του ISO/DIS 12215-5.2 και των υπόλοιπων νηογνωμόνων με σκοπό την εύρεση των διαφορών μεταξύ τους.

2.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

2.1.1 ISO/DIS 12215-5.2

Οι μηχανικές ιδιότητες για μη ελεγμένα από ειδικούς έλεγχους πολύστρωτα που θα χρησιμοποιηθούν στους υπολογισμούς της διαστασιολόγησης προσδιορίζονται από τον Πίνακα 2.1. Αυτός ο πίνακας αναφέρεται σε πολύστρωτα από ίνες γυαλιού E, υποθέτοντας σχεδόν ιστροπικές στρώσεις.

Πίνακας 2.1: Μηχανικές ιδιότητες σύνθετων υλικών

Ιδιότητα	Τιμές (N/mm ²)
Υαλοπίλημα με επίστρωση με το χέρι, συνδυασμός υαλοπιλήματος και υαλοϋφάσματος, υαλούφασμα και διαγώνιες στρώσεις, 0/90 ενισχυτικά	
Αντοχή σε εφελκυσμό, σ_{ut}	$1278\psi^2 - 510\psi + 123$
Μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό, E_t	$(37\psi - 4,75)10^3$
Αντοχή σε κάμψη, σ_{uf}	$502\psi^2 + 106,8$
Μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη, E_f	$(33,4\psi^2 + 2,2)10^3$
Αντοχή σε θλίψη, σ_{uc}	$150\psi + 72$
Μέτρο ελαστικότητας σε θλίψη, E_c	$(40\psi - 6)10^3$
Αντοχή σε διατμητική τάση, τ_u	$80\psi + 38$
Μέτρο διάτμησης G	$(1,7\psi + 2,24)10^3$
Υαλοπιλημα με επίστρωση με ψεκασμό	
Αντοχή σε εφελκυσμό, σ_{ut}	$150\psi + 25$
Μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό, E_t	$(15\psi + 2)10^3$
Αντοχή σε κάμψη, σ_{uf}	$300\psi^2 + 106,8$
Μονοαξονικά υφάσματα	
Αντοχή σε εφελκυσμό, σ_{ut}	$1800\psi^2 - 1400\psi + 510$
Μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό, E_t	$(130\psi^2 - 104\psi + 39)10^3$
α) Για συνδυασμό υαλοπιλημάτων ή συνδυασμό υαλοπιλημάτων και υαλοϋφασμάτων το ψ υπολογίζεται από το νόμο των αναμειξεων	
β) Σε τυχόν απουσία καλύτερων δεδομένων η αντοχή σε θλίψη των μονοαξονικών υφασμάτων να λαμβάνεται ίση με την αντοχή σε εφελκυσμό	

2.1.2 ABS Motor Pleasure Yachts

Οι μηχανικές ιδιότητες που χρησιμοποιούνται κατά τον σχεδιασμό πρέπει να προκύπτουν από εγκεκριμένες δοκιμές. Στον Πίνακα 2.2 που ακολουθεί δίνονται οι μέσες μηχανικές ιδιότητες για διάφορα υλικά. Αυτές οι τιμές είναι ελάχιστες για κατασκευή με επίστρωση με το χέρι και είναι μόνο για καθοδήγηση.

Πίνακας 2.2: Μηχανικές ιδιότητες σύνθετων υλικών

	Βασικό πολύστρωτο (N/mm ²)	Ίνες γυαλιού τύπου S (N/mm ²)	Ίνες kevlar (N/mm ²)	Ίνες άνθρακα (N/mm ²)
Αντοχή σε κάμψη, σ_f	172	450	230	500
Μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη, E_f	7580	18000	22000	43800
Αντοχή σε εφελκυσμό, σ_t	124	357	386	425
Μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό, E_t	6890	18800	22700	43800
Αντοχή σε θλίψη, σ_c	117	299	142	284
Μέτρο ελαστικότητας σε θλίψη, E_c	6890	18000	22500	43700

2.1.3 Lloyd's Register of Shipping

Οι μηχανικές ιδιότητες των σύνθετων υλικών κατά την απουσία κατάλληλων δοκιμών δίνονται στον Πίνακα 2.3 που ακολουθεί:

Πίνακας 2.3: Μηχανικές ιδιότητες σύνθετων υλικών

Τύπος υλικού	Ιδιότητα	Τιμή
Υαλοπιλημα	Αντοχή σε εφελκυσμό, σ_{ut} (N/mm ²)	200G _c +25
	Μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό, E _t (kN/mm ²)	15G _c +2,0
Διπλής κατεύθυνσης ενίσχυση	Αντοχή σε εφελκυσμό, σ_{ut} (N/mm ²)	400G _c -10
	Μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό, E _t (kN/mm ²)	30G _c -0,5
Μονοαξονικής ενίσχυσης	Αντοχή σε εφελκυσμό, σ_{ut} (N/mm ²)	100G _c ² -1400G _c +510
	Μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό, E _t (kN/mm ²)	130G _c ² -114G _c +39
Όλα	Αντοχή σε κάμψη, σ_{uf} (N/mm ²)	502G _c ² +106,8
	Μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη, E _f (kN/mm ²)	(33,4G _c ² +2,2)10 ³
	Αντοχή σε θλίψη, σ_{uc} (N/mm ²)	150G _c +72
	Μέτρο ελαστικότητας σε θλίψη, E _c (kN/mm ²)	(40G _c -6)10 ³
	Αντοχή σε διατμητική τάση, τ_u (N/mm ²)	22-13,5G _c
<i>G_c = περιεκτικότητα σε γυαλί κατά βάρος</i>		

2.1.4 DET NORSKE VERITAS

Ο νορβηγικός νηογνώμονας δεν δίνει τύπους θεωρητικού υπολογισμού των μηχανικών ιδιοτήτων. Όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο των μηχανικών ιδιοτήτων του νηογνώμονα για τα σύνθετα υλικά αυτές βρίσκονται με πειραματικές δοκιμές του κάθε υλικού όπως αυτές ορίζονται από τον κανονισμό.

2.1.5 GL 2002

Για πολύστρωτο με διαφορετική περιεκτικότητα σε γυαλί κατά βάρος από αυτή του βασικού πολύστρωτου (30%) οι μηχανικές ιδιότητες υπολογίζονται σύμφωνα με τον Πίνακα 2.4 που ακολουθεί.

Πίνακας 2.4: Μηχανικές ιδιότητες σύνθετων υλικών

Ιδιότητα	Τιμές (N/mm ²)
Αντοχή σε εφελκυσμό, σ_{ut}	$1278\psi^2-510\psi+123$
Μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό, E_t	$(37\psi-4,75)10^3$
Αντοχή σε κάμψη, σ_{uf}	$502\psi^2+106,8$
Αντοχή σε θλίψη, σ_{uc}	$150\psi+72$
Αντοχή σε διατμητική τάση, τ_u	$80\psi+38$
Μέτρο διάτμησης G	$(1,7\psi+2,24)10^3$

2.1.6 ΠΑΡΑΘΕΣΗ ΠΙΝΑΚΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

Για την καλύτερη απεικόνιση των διαφορών των μηχανικών ιδιοτήτων που δίνονται από τον κάθε κανονισμό έχει γίνει χρήση των τύπων για διαφορετικές περιεκτικότητες σε γυαλί Ψ και τα αποτελέσματα τους για την κάθε μηχανική ιδιότητα χωριστά παρατίθενται στα διαγράμματα που ακολουθούν. Ακολουθούν πινακοποιημένα αποτελέσματα έτσι όπως προέκυψαν από την επίλυση των εξισώσεων του κάθε κανονισμού. Για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων έχουν χρησιμοποιηθεί 5 διαφορετικές περιεκτικότητες σε γυαλί 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 και 0.6.

Σχήμα 2.1: Μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό

Σχήμα 2.2: Μέτρο ελαστικότητας σε θλίψη

Σχήμα 2.3: Μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη

Σχήμα 2.4: Μέτρο διάτμησης

Σχήμα 2.5: Αντοχή σε εφελκυσμό

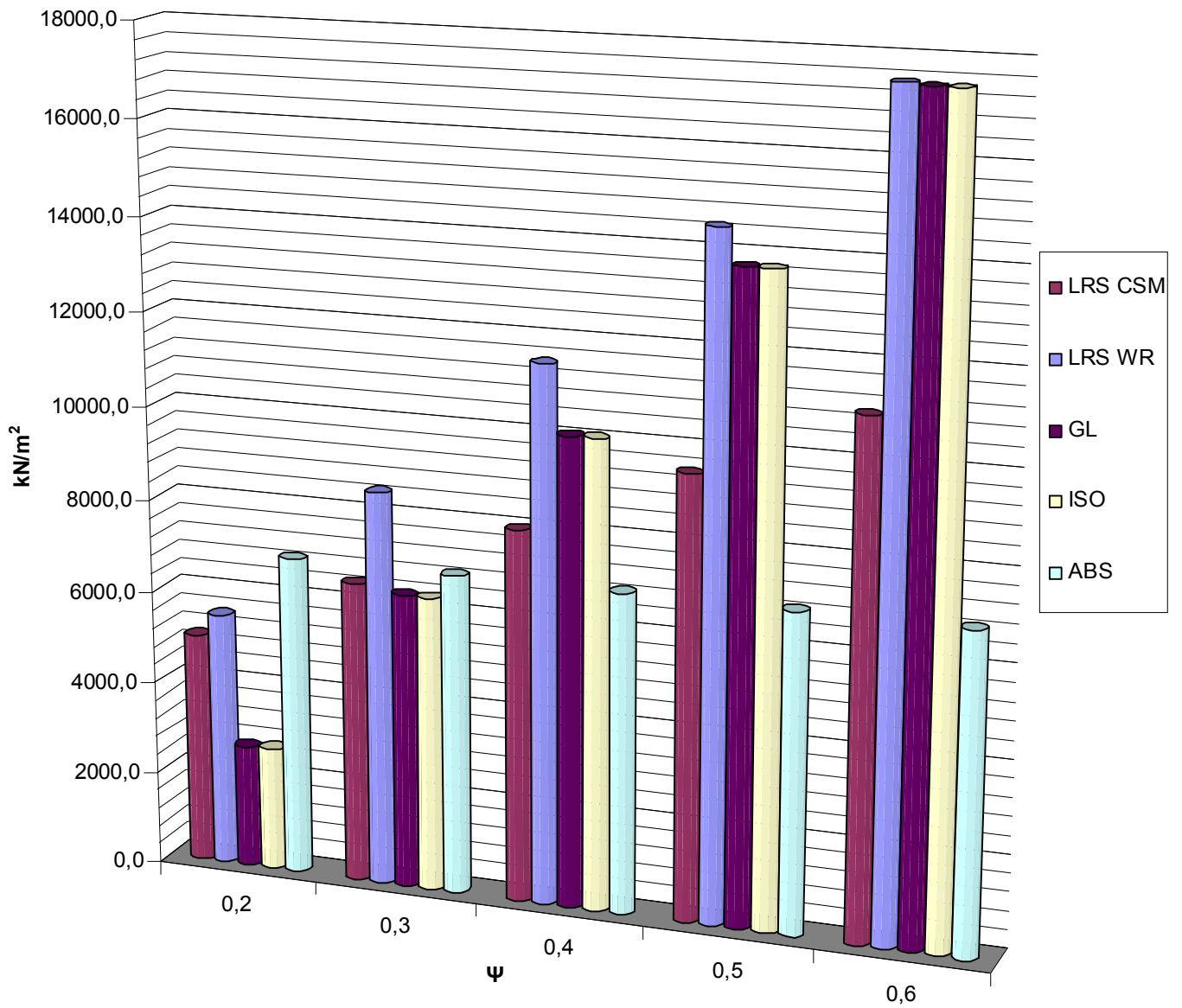
Σχήμα 2.6: Αντοχή σε θλίψη

Σχήμα 2.7: Αντοχή σε κάμψη

Σχήμα 2.8: Αντοχή σε διάτμηση

Τα αποτελέσματα του κάθε κανονισμού για την κάθε μια μηχανική ιδιότητα παρατίθενται σε στήλες ενώ το υπόμνημα στα δεξιά κάθε διαγράμματος αντιστοιχεί την κάθε στήλη σε ένα κανονισμό. Επίσης δίνονται και πινακοποιημένες οι τιμές των αποτελεσμάτων κάτω από κάθε πίνακα. Στο εδάφιο 2.1.7 ακολουθούν πίνακες με ποσοτικοποιημένες επί τοις εκατό τις διαφορές ανά μέγεθος με σημείο αναφοράς τις τιμές που προκύπτουν από το πρότυπο του ISO/DIS 12215-5.2.

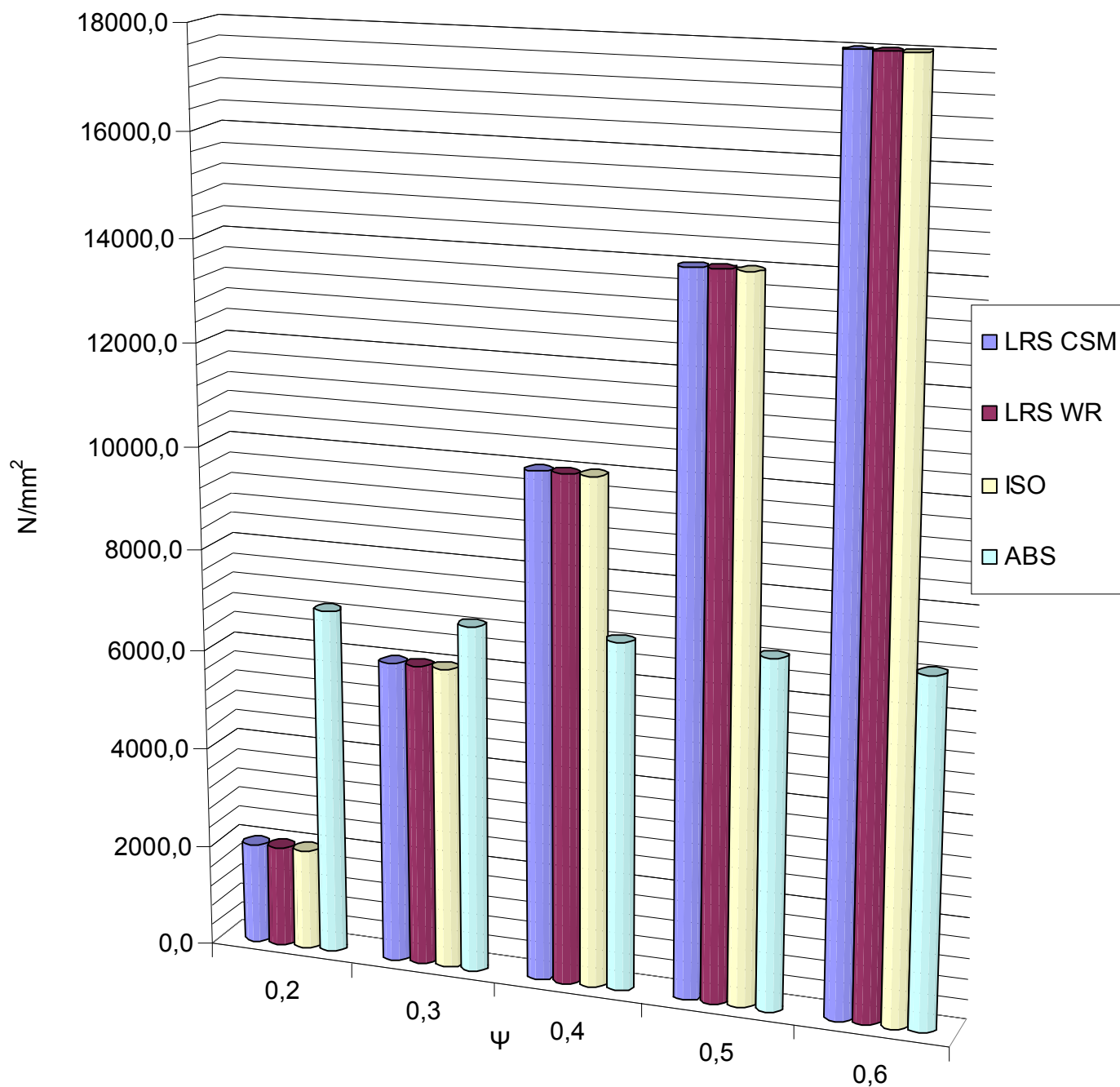
E_t



	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
■ LRS CSM	5000,0	6500,0	8000,0	9500,0	11000,0
■ LRS WR	5500,0	8500,0	11500,0	14500,0	17500,0
■ GL	2650,000	6350,000	10050,000	13750,000	17450,000
■ ISO	2650,000	6350,000	10050,000	13750,000	17450,000
■ ABS	6890	6890	6890	6890	6890

Σχήμα 2.1: Μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό

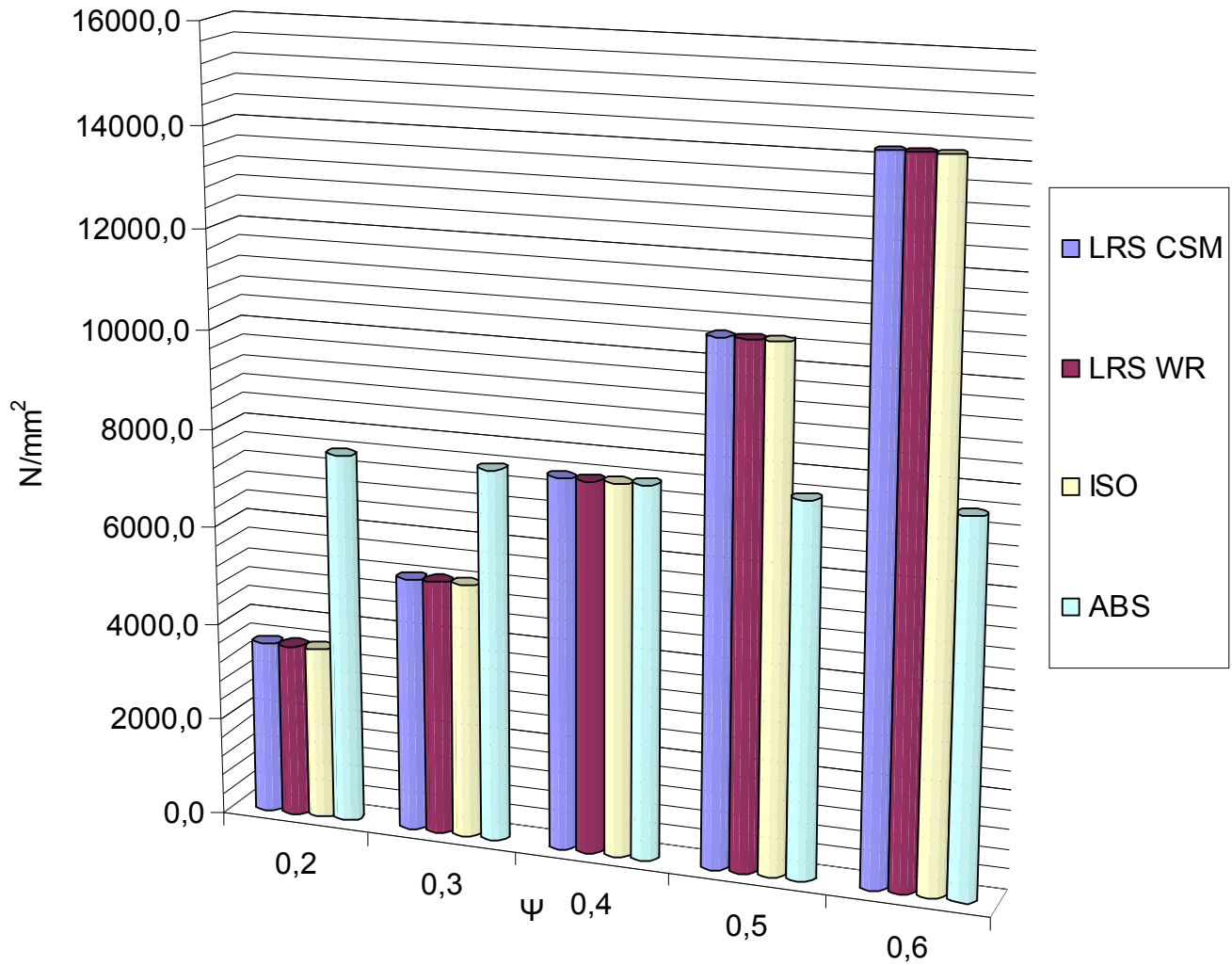
Ec



	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
LRS CSM	2000,0	6000,0	10000,0	14000,0	18000,0
LRS WR	2000,0	6000,0	10000,0	14000,0	18000,0
ISO	2000,000	6000,000	10000,000	14000,000	18000,000
ABS	6890	6890	6890	6890	6890

Σχήμα 2.2: Μέτρο ελαστικότητας σε θλίψη

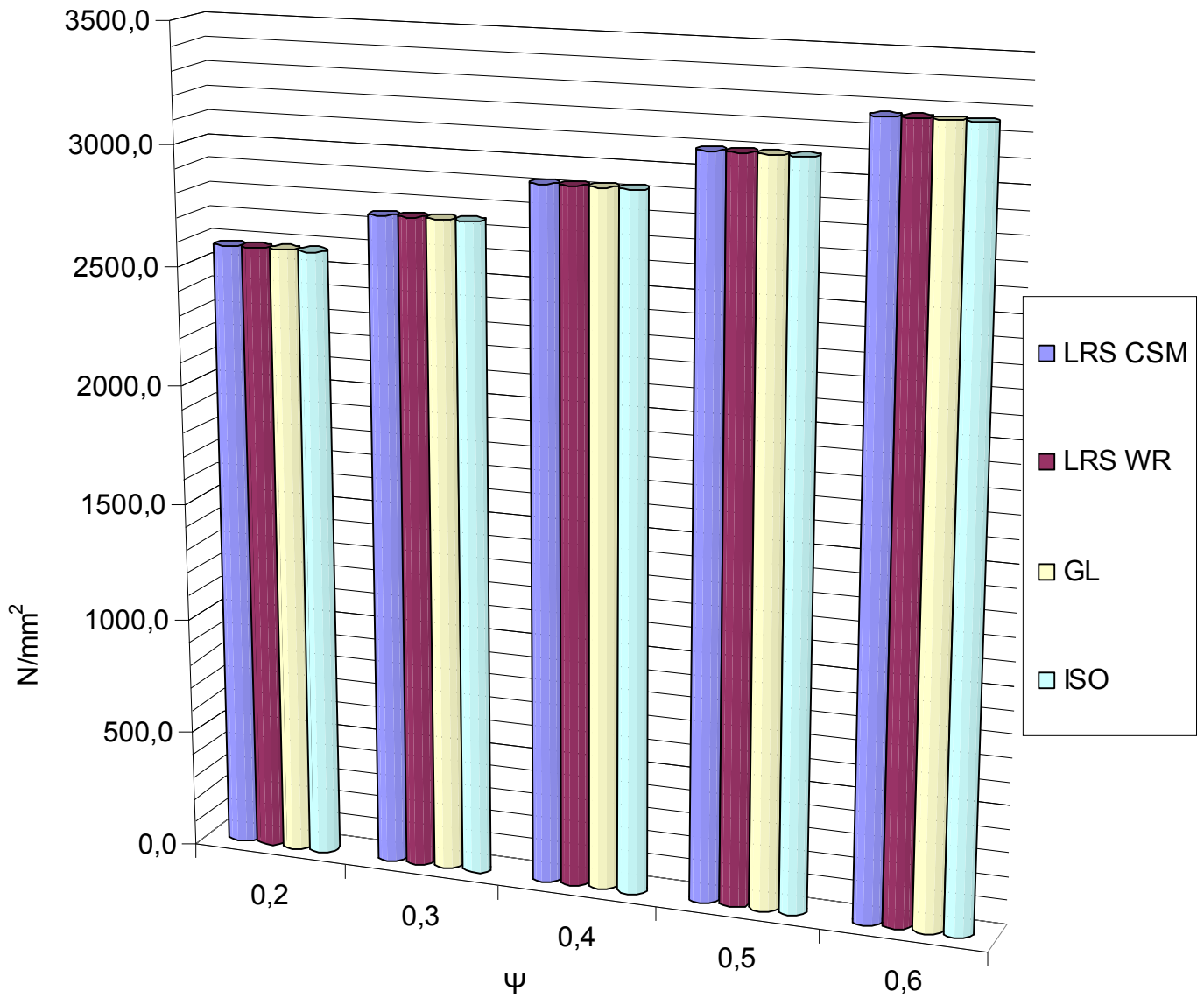
E_f



	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
LRS CSM	3536,0	5206,0	7544,0	10550,0	14224,0
LRS WR	3536,0	5206,0	7544,0	10550,0	14224,0
ISO	3536,000	5206,000	7544,000	10550,000	14224,000
ABS	7580	7580	7580	7580	7580

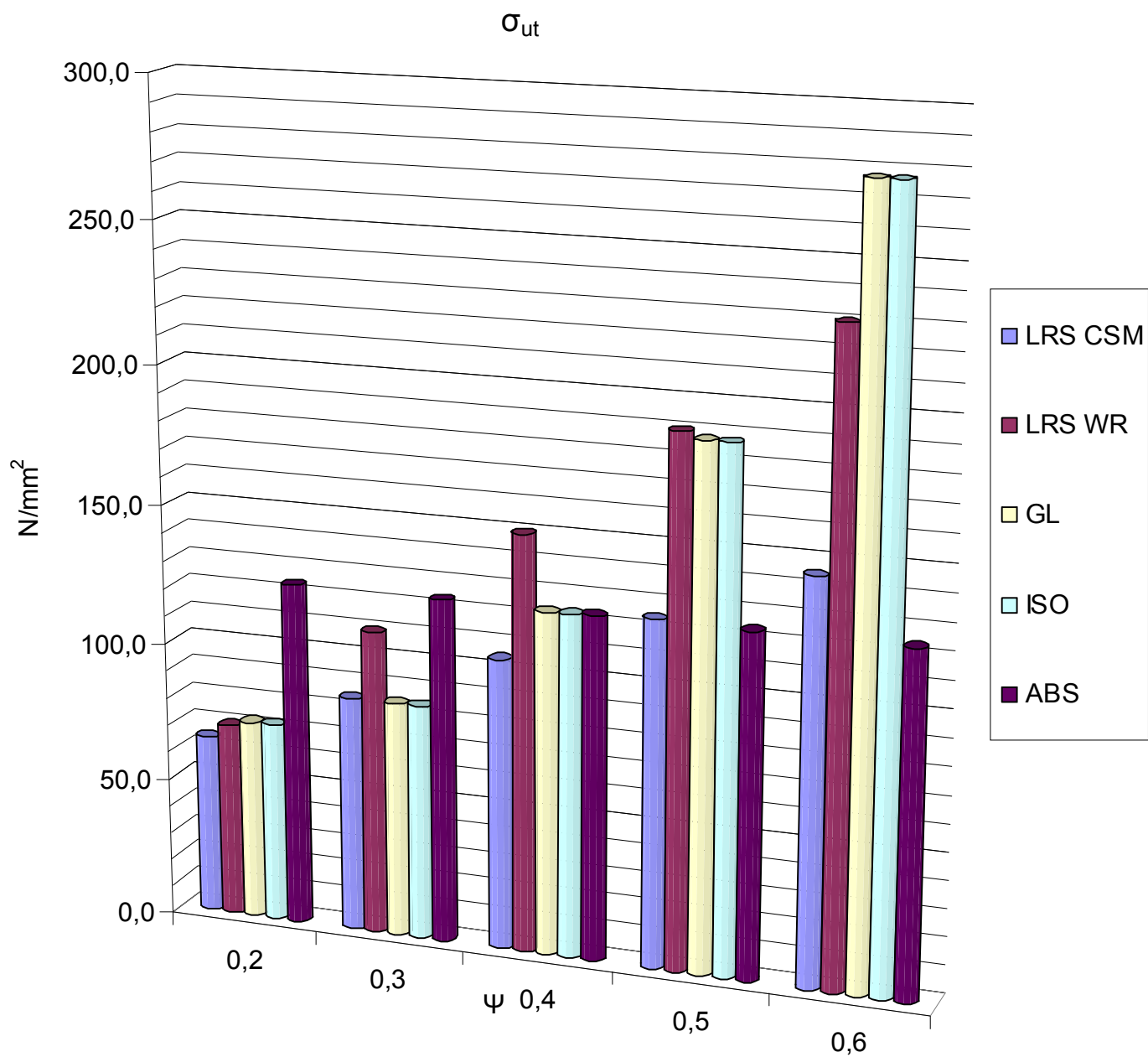
Σχήμα 2.3: Μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη

G



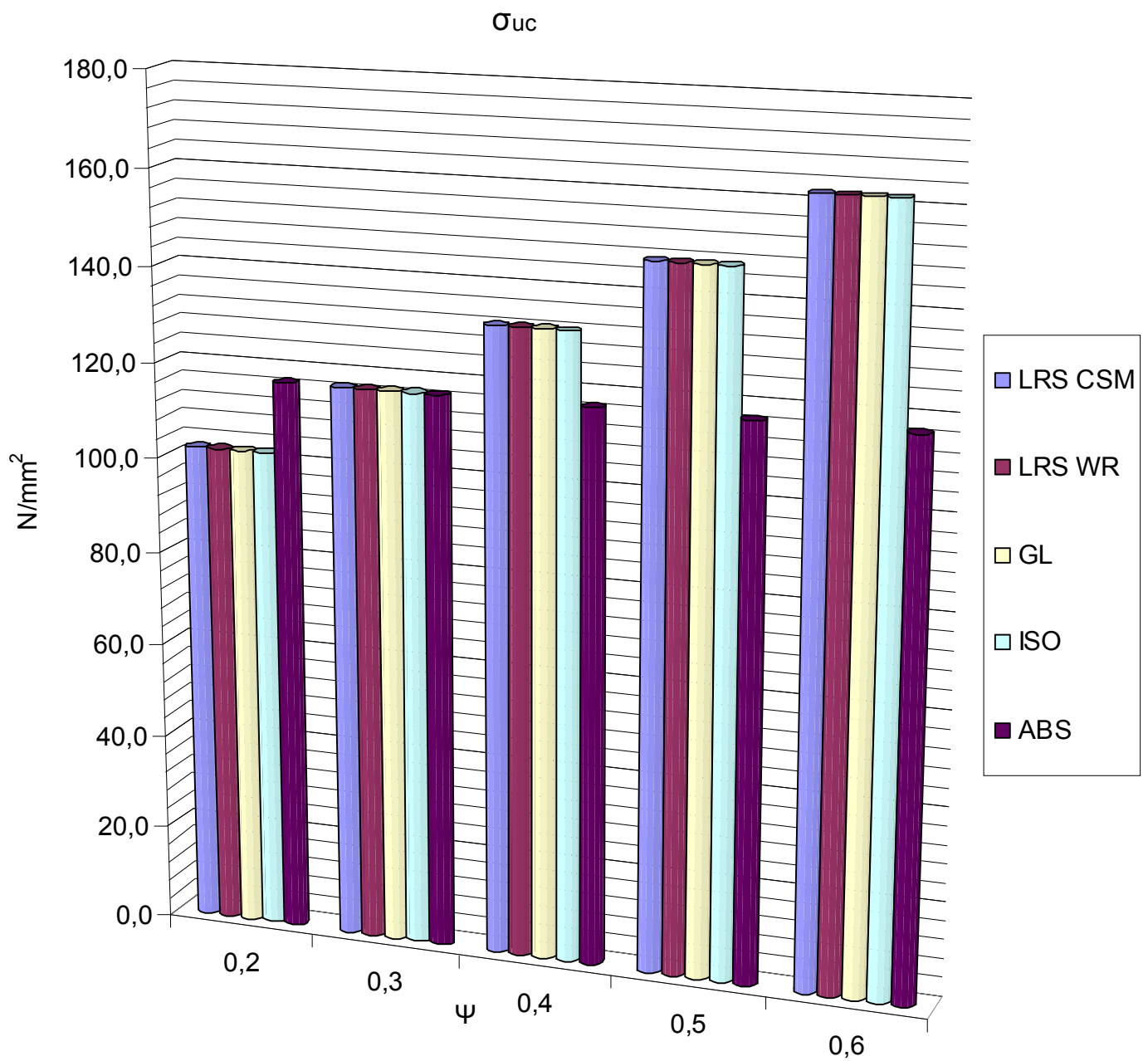
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
LRS CSM	2580,0	2750,0	2920,0	3090,0	3260,0
LRS WR	2580,0	2750,0	2920,0	3090,0	3260,0
GL	2580,000	2750,000	2920,000	3090,000	3260,000
ISO	2580,000	2750,000	2920,000	3090,000	3260,000

Σχήμα 2.4: Μέτρο διάτμησης

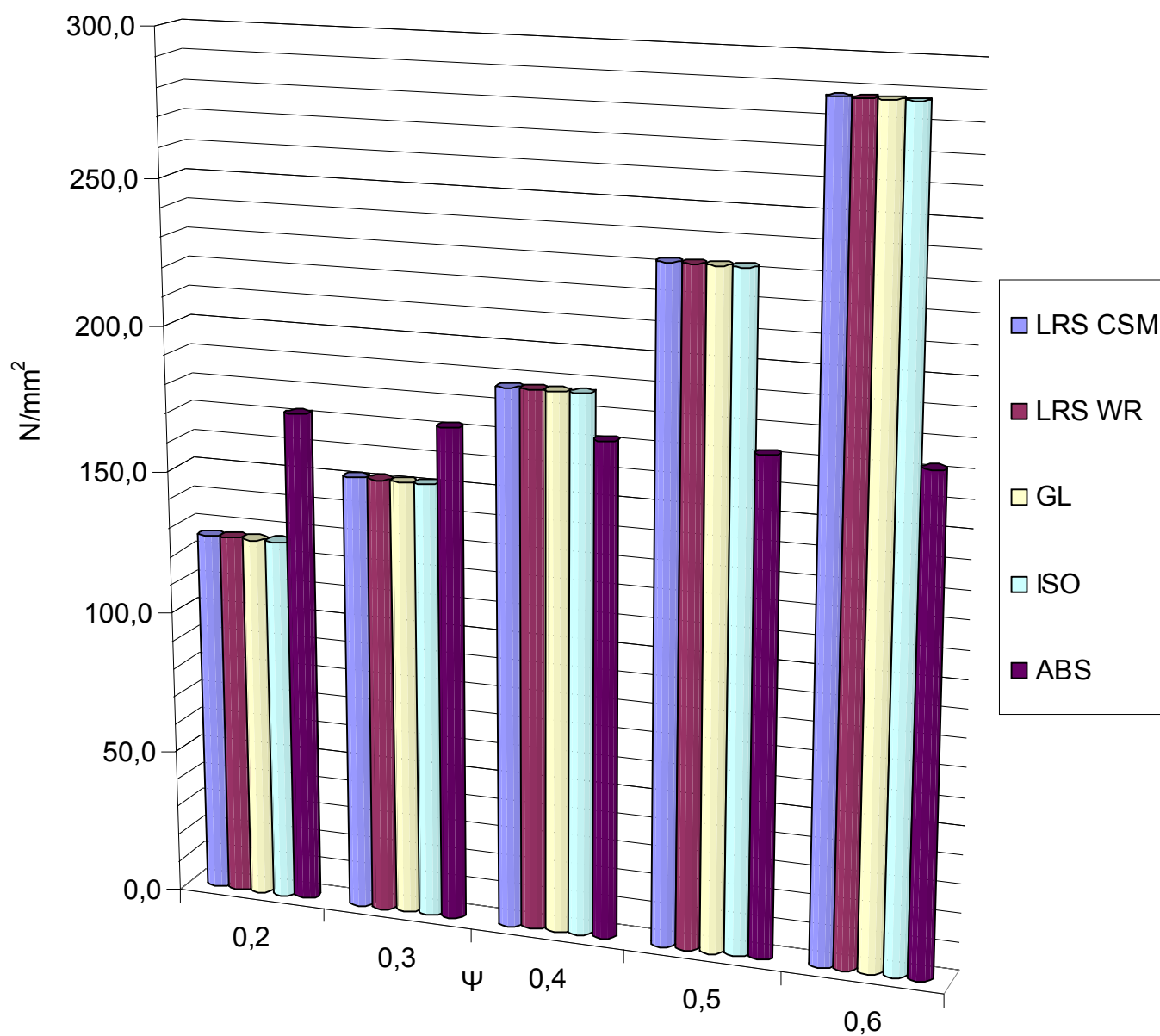


	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
LRS CSM	65,0	85,0	105,0	125,0	145,0
LRS WR	70,0	110,0	150,0	190,0	230,0
GL	72,120	85,020	123,480	187,500	277,080
ISO	72,120	85,020	123,480	187,500	277,080
ABS	124	124	124	124	124

Σχήμα 2.5: Αντοχή σε εφελκυσμό

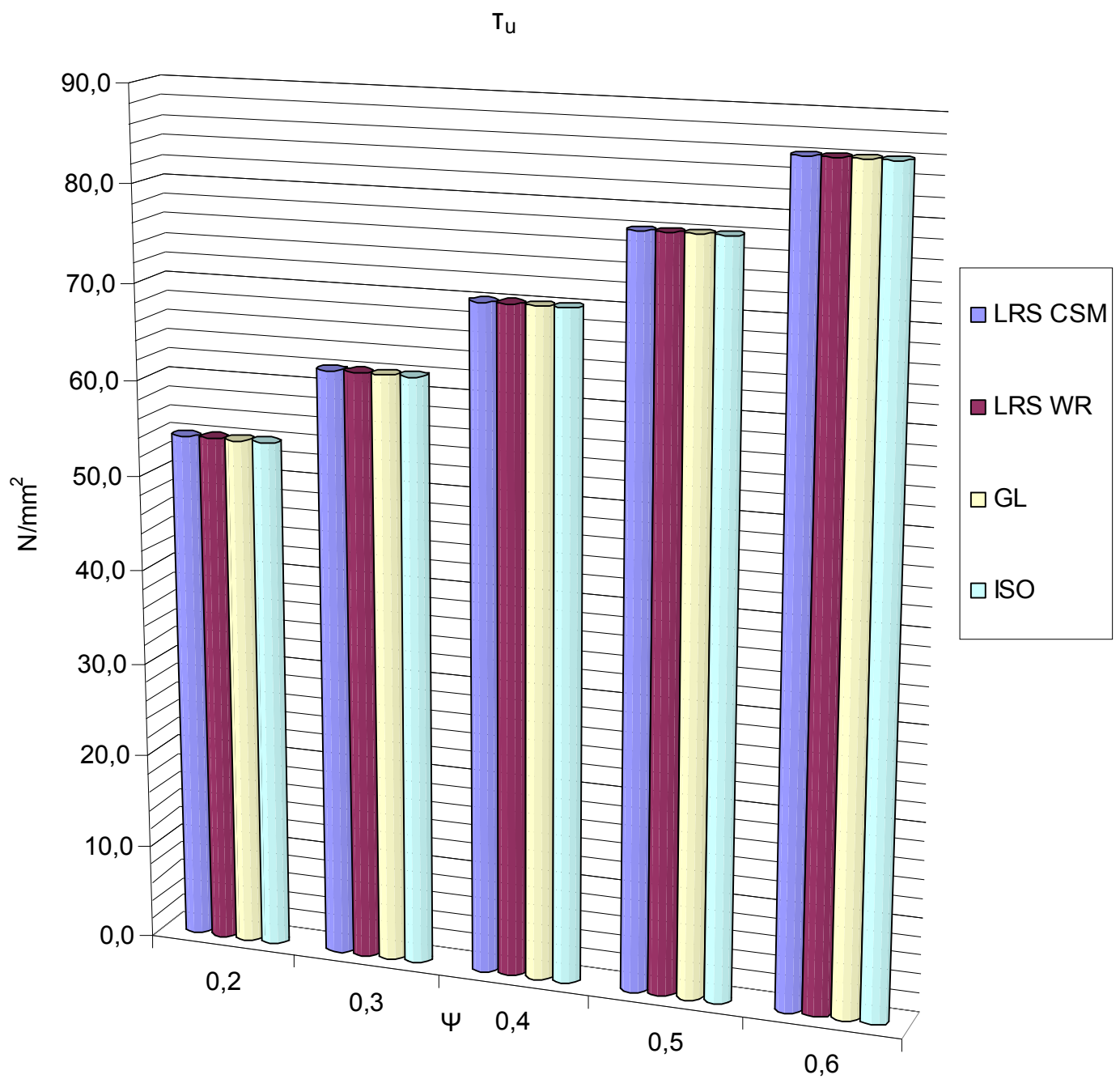


Σχήμα 2.6: Αντοχή σε θλίψη

σ_{uf} 

	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
LRS CSM	126,9	152,0	187,1	232,3	287,5
LRS WR	126,9	152,0	187,1	232,3	287,5
GL	126,880	151,980	187,120	232,300	287,520
ISO	126,880	151,980	187,120	232,300	287,520
ABS	172	172	172	172	172

Σχήμα 2.7: Αντοχή σε κάμψη



	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
■ LRS CSM	54,0	62,0	70,0	78,0	86,0
■ LRS WR	54,0	62,0	70,0	78,0	86,0
■ GL	54,000	62,000	70,000	78,000	86,000
■ ISO	54,000	62,000	70,000	78,000	86,000

Σχήμα 2.8: Αντοχή σε διάτμηση

2.1.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στους πίνακες που ακολουθούν όπως αναφέρθηκε και παραπάνω φαίνονται οι επί τοις εκατό διαφορές στα αποτελέσματα που προέκυψαν για τις μηχανικές ιδιότητες χρησιμοποιώντας τους τύπους που προτείνει ο κάθε κανονισμός. Οι ποσοτικοποιημένες διαφορές έχουν υπολογισθεί σε σύγκριση με τις τιμές που προτείνει το πρότυπο του ISO / DIS 12215-5.2.

Πίνακας 2.5: Μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό

	<i>0,2</i>	<i>0,3</i>	<i>0,4</i>	<i>0,5</i>	<i>0,6</i>
<i>LRS CSM</i>	+88,7	+2,4	-20,4	-30,9	-37
<i>LRS WR</i>	+107,6	+33,9	+14,4	+5,5	+0,3
<i>GL</i>	0	0	0	0	0
<i>ISO</i>	0	0	0	0	0
<i>ABS</i>	+160	+8,5	-31,4	-49,9	-60,5

Πίνακας 2.6: Μέτρο ελαστικότητας σε θλίψη

	<i>0,2</i>	<i>0,3</i>	<i>0,4</i>	<i>0,5</i>	<i>0,6</i>
<i>LRS CSM</i>	0	0	0	0	0
<i>LRS WR</i>	0	0	0	0	0
<i>ISO</i>	0	0	0	0	0
<i>ABS</i>	+244,5	+14,8	-31,1	-50,8	-61,7

Πίνακας 2.7: Μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη

	<i>0,2</i>	<i>0,3</i>	<i>0,4</i>	<i>0,5</i>	<i>0,6</i>
<i>LRS CSM</i>	0	0	0	0	0
<i>LRS WR</i>	0	0	0	0	0
<i>ISO</i>	0	0	0	0	0
<i>ABS</i>	+114,4	+45,6	+0,5	-28,2	-46,7

Πίνακας 2.8: Μέτρο διάτμησης

	<i>0,2</i>	<i>0,3</i>	<i>0,4</i>	<i>0,5</i>	<i>0,6</i>
<i>LRS CSM</i>	0	0	0	0	0
<i>LRS WR</i>	0	0	0	0	0
<i>GL</i>	0	0	0	0	0
<i>ISO</i>	0	0	0	0	0

Πίνακας 2.9: Αντοχή σε εφελκυσμό

	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
<i>LRS CSM</i>	-9,9	0	-15	-33,3	-47,7
<i>LRS WR</i>	-2,9	+29,4	+21,5	+1,3	-17
<i>GL</i>	0	0	0	0	0
<i>ISO</i>	0	0	0	0	0
<i>ABS</i>	+71,9	+45,9	+0,4	-33,9	-55,3

Πίνακας 2.10: Αντοχή σε θλίψη

	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
<i>LRS CSM</i>	0	0	0	0	0
<i>LRS WR</i>	0	0	0	0	0
<i>GL</i>	0	0	0	0	0
<i>ISO</i>	0	0	0	0	0
<i>ABS</i>	+14,7	0	-11,4	-20,4	-27,8

Πίνακας 2.11: Αντοχή σε κάμψη

	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
<i>LRS CSM</i>	0	0	0	0	0
<i>LRS WR</i>	0	0	0	0	0
<i>GL</i>	0	0	0	0	0
<i>ISO</i>	0	0	0	0	0
<i>ABS</i>	+35,6	+13,2	-8,1	-26	-40,2

Πίνακας 2.12: Αντοχή σε διάτμηση

	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
<i>LRS CSM</i>	0	0	0	0	0
<i>LRS WR</i>	0	0	0	0	0
<i>GL</i>	0	0	0	0	0
<i>ISO</i>	0	0	0	0	0

Από τα διαγράμματα που προέκυψαν από την χρήση των σχέσεων των κανονισμών για τις μηχανικές ιδιότητες και από την ποσοτικοποίηση των διαφορών μπορούμε να βγάλουμε εύκολα τα εξής συμπεράσματα.

- Φαίνεται πως ο ISO/DIS 12215-5.2 και ο γερμανικός νηογνώμονας δίνουν ακριβώς τις ίδιες σχέσεις υπολογισμού των μηχανικών ιδιοτήτων.

- Ο βρετανικός νηογνώμονας διαχωρίζει τα πολύστρωτα σε φτιαγμένα από υαλούφασμα ή υαλοπίλημα και δίνει για κάποιες μηχανικές ιδιότητες διαφορετικές εξισώσεις και άρα διαφορετικά αποτελέσματα.

- Αντίθετα για το μέτρο ελαστικότητας σε θλίψη, αντοχή σε κάμψη, αντοχή σε θλίψη, μέτρο διάτμησης, μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη και αντοχή σε διατμητική τάση οι σχέσεις είναι ίδιες με των δυο άλλων κανονισμών.

- Ο κανονισμός του αμερικάνικου νηογνώμονα δεν δίνει σχέσεις υπολογισμού αλλά συγκεκριμένες ελάχιστες τιμές. Από την παρατήρηση των πινάκων βλέπουμε πως οι ελάχιστες αυτές τιμές των μηχανικών ιδιοτήτων προσεγγίζουν τις τιμές που δίνει το πρότυπο του ISO/DIS 12215-5.2 για περιεκτικότητες σε γυαλί 0,3 και 0,4 ενώ είναι αρκετά διαφορετικές για τις υπόλοιπες τιμές περιεκτικότητας.

2.2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΧΟΥΣ ΣΤΡΩΣΗΣ ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

2.2.1 ISO/DIS 12215-5.2

Ο υπολογισμός του πάχους μιας στρώσης σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα σε γυαλί κατά βάρος και με το επιφανειακό βάρος των ενισχυτικών ινών δίνεται από την σχέση:

$$\frac{t}{w} = \frac{\rho_f + \psi(\rho_r - \rho_f)}{\psi \rho_r \rho_f} \quad (2.1)$$

όπου

t = πάχος πολύστρωτου ή στρώσης, σε mm

w = επιφανειακό βάρος γυαλιού, σε kg/m^2

ψ = κατά βάρος περιεκτικότητα σε ίνες

Για ίνες γυαλιού και για πολυεστερική ρητίνη

$\rho_f = 2,56$

$\rho_r = 1,2$

2.2.2 ABS Motor Pleasure Yachts

Το μέσο πάχος που δίνεται από τον αμερικάνικο νηογνώμονα παρέχεται σαν βοήθεια για τον σχεδιαστή για κατασκευές από υαλοπίλημα και υαλοϋφάσματα.

Οι στρώσεις από υαλοπίλημα και ρητίνη λαμβάνεται ότι έχουν μέσο πάχος ίσο με 0,25 mm για κάθε 100 g/m^2 για το βασικό πολύστρωτο. Οι στρώσεις από υαλούφασμα και ρητίνη λαμβάνεται ότι έχουν μέσο πάχος ίσο με 0,12 mm για κάθε 100 g/m^2 για το βασικό πολύστρωτο.

Ως βασικό πολύστρωτο θεωρείται αυτό που αποτελείται από διαδοχικές στρώσεις υαλοπιλημάτων και υαλοϋφασμάτων από γυαλί τύπου E και πολυεστερική ρητίνη κατασκευασμένο με την μέθοδο επίστρωσης με το χέρι. Η ελάχιστη περιεκτικότητα σε γυαλί αυτού του πολύστρωτου είναι 35% κατά βάρος.

Για πολύστρωτα από στρώσεις υαλοπιλημάτων και υαλοϋφασμάτων διαφορετικής περιεκτικότητας σε γυαλί από το βασικό πολύστρωτο, το μέσο πάχος της πλάκας μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση:

$$t = \frac{Wk}{c} \left(\frac{305}{f_g} - 2,69 \right) \quad [\text{mm}] \quad (2.2)$$

όπου

$$k = 0,35 \text{ mm}$$

f_g = η επί τοις εκατό περιεκτικότητα κατά βάρος σε γυαλί μιας στρώσης υαλοπλήματος και μιας στρώσης υαλοϋφάσματος που θα χρησιμοποιηθούν

$$c = 1272 \text{ g/m}^2$$

W = το συνολικό επιφανειακό βάρος των ενισχυτικών ινών γυαλιού του πολύστρωτου, σε g/m^2

2.2.3 Lloyd's Register of Shipping

Το πάχος μιας μεμονωμένης στρώσης υπολογίζεται από τον τύπο:

$$t_i = \frac{m_{Fi} \left[\frac{\zeta_{Fi}}{f_{ci}} - (\zeta_{Fi} - \zeta_{Ri}) \right]}{1000 \zeta_{Fi} \zeta_{Ri}} \quad [\text{mm}] \quad (2.3)$$

όπου

m_{Fi} = το επιφανειακό βάρος των ενισχυτικών ινών μιας στρώσης, σε g/m^2

Για ίνες γυαλιού τύπου E και πολυεστερική ρητίνη

$$\zeta_{Fi} = 2,56$$

$$\zeta_{Ri} = 1,2$$

f_{ci} = περιεκτικότητα σε γυαλί κατά βάρος της στρώσης

2.2.4 GL 2002

Το πάχος μιας μεμονωμένης στρώσης υπολογίζεται από τον τύπο:

$$t = 0,001W \left(\frac{1}{\rho_F} + \frac{1-\Psi}{\Psi} \cdot \frac{1}{\rho_H} \right) \quad [\text{mm}] \quad (2.4)$$

όπου

W = το επιφανειακό βάρος των ενισχυτικών ινών γυαλιού, σε g/m^2

$\rho_F = 2,6 \text{ g/cm}^3$, για ενισχυτικές ίνες γυαλιού

$\rho_H = 1,2 \text{ g/cm}^3$, για πολυεστερικές ρητίνες

Ψ = κατά βάρος περιεκτικότητα σε ίνες

2.2.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΠΑΧΟΥΣ ΖΕΥΓΟΥΣ ΣΤΡΩΣΕΩΝ

Στο τμήμα αυτό γίνεται υπολογισμός του πάχους ενός ζεύγους στρώσεων που αποτελείται από μια στρώση υαλουφάσματος και μια στρώση υαλοπίληματος σε συνδυασμό με πολυεστερική ρητίνη. Το υαλούφασμα έχει επιφανειακό βάρος 800 g/m² και 50% περιεκτικότητα σε γυαλί. Το υαλοπίλημα έχει επιφανειακό βάρος 450 g/m² και 30% περιεκτικότητα σε γυαλί. Τα αποτελέσματα της χρησιμοποίησης των παραπάνω τύπων φαίνονται στο Σχήμα 2.10 υπό μορφή στηλών ενώ στο υπόμνημα δεξιά του διαγράμματος αντιστοιχίζονται τα αποτελέσματα με τις διάφορες μεθόδους υπολογισμού. Επίσης δίνεται και η μέθοδος υπολογισμού του πάχους ενός ζεύγους στρώσεων, έτσι όπως αυτή προτείνεται από την αμερικάνικη εταιρεία παραγωγής πρώτων υλών Owens-Corning. Στο εδάφιο 2.2.6 ακολουθεί πίνακας όπου φαίνονται οι διαφορές στα αποτελέσματα των διάφορων μεθόδων επί της εκατό ως προς το αποτέλεσμα που υπολογίζεται με την μέθοδο του πρότυπου του ISO/DIS 12215-5.2.

OWENS – CORNING

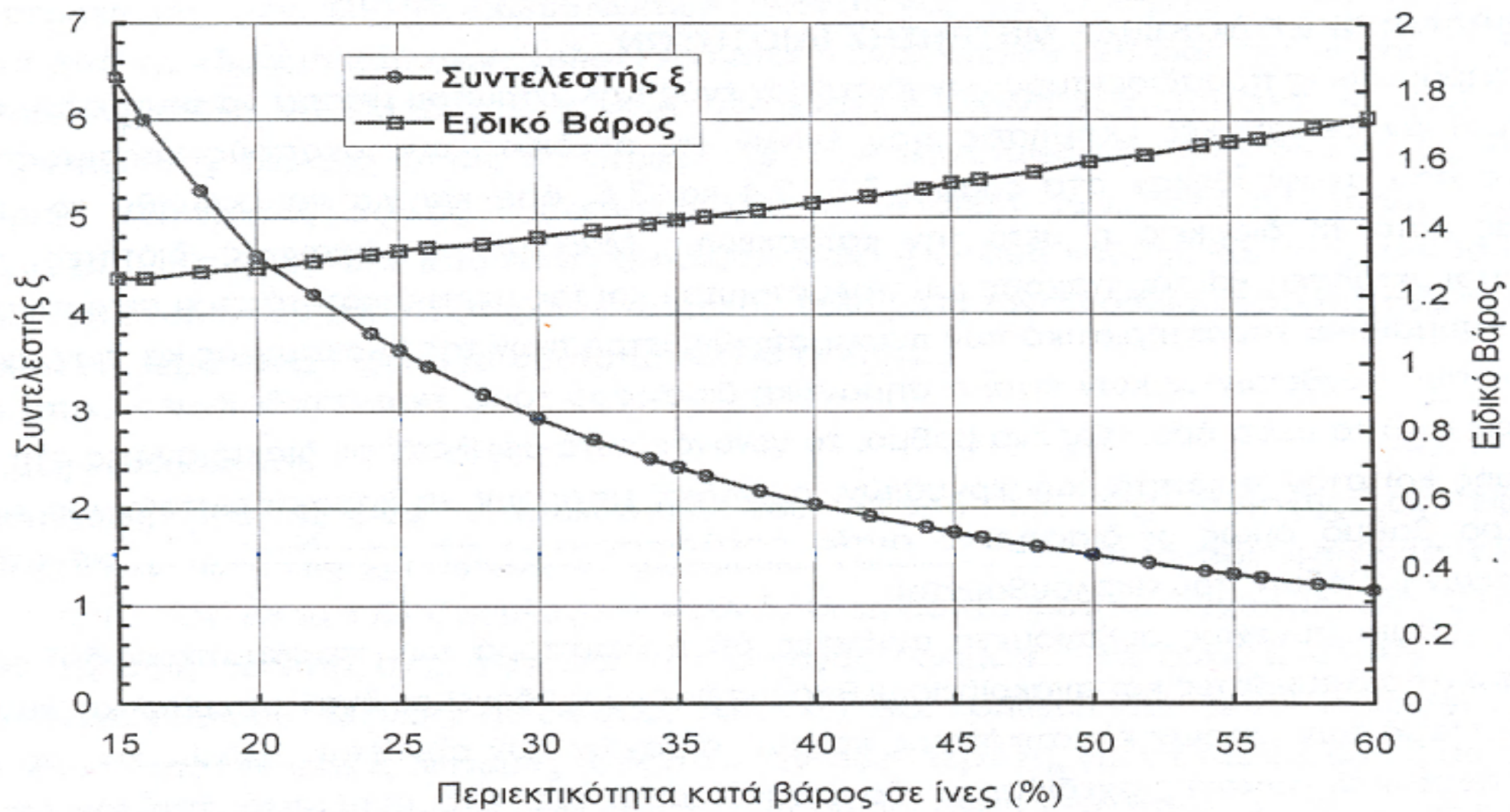
Το πάχος στρώσεων από πολυεστερική ρητίνη και ίνες γυαλιού έτσι όπως προτείνεται από την αμερικάνικη εταιρεία παραγωγής πρώτων υλών για κατασκευές από σύνθετα υλικά Owens – Corning είναι:

$$t = W \xi / 100 \quad [\text{in} = 25,4 \text{ mm}] \quad (2.5)$$

όπου

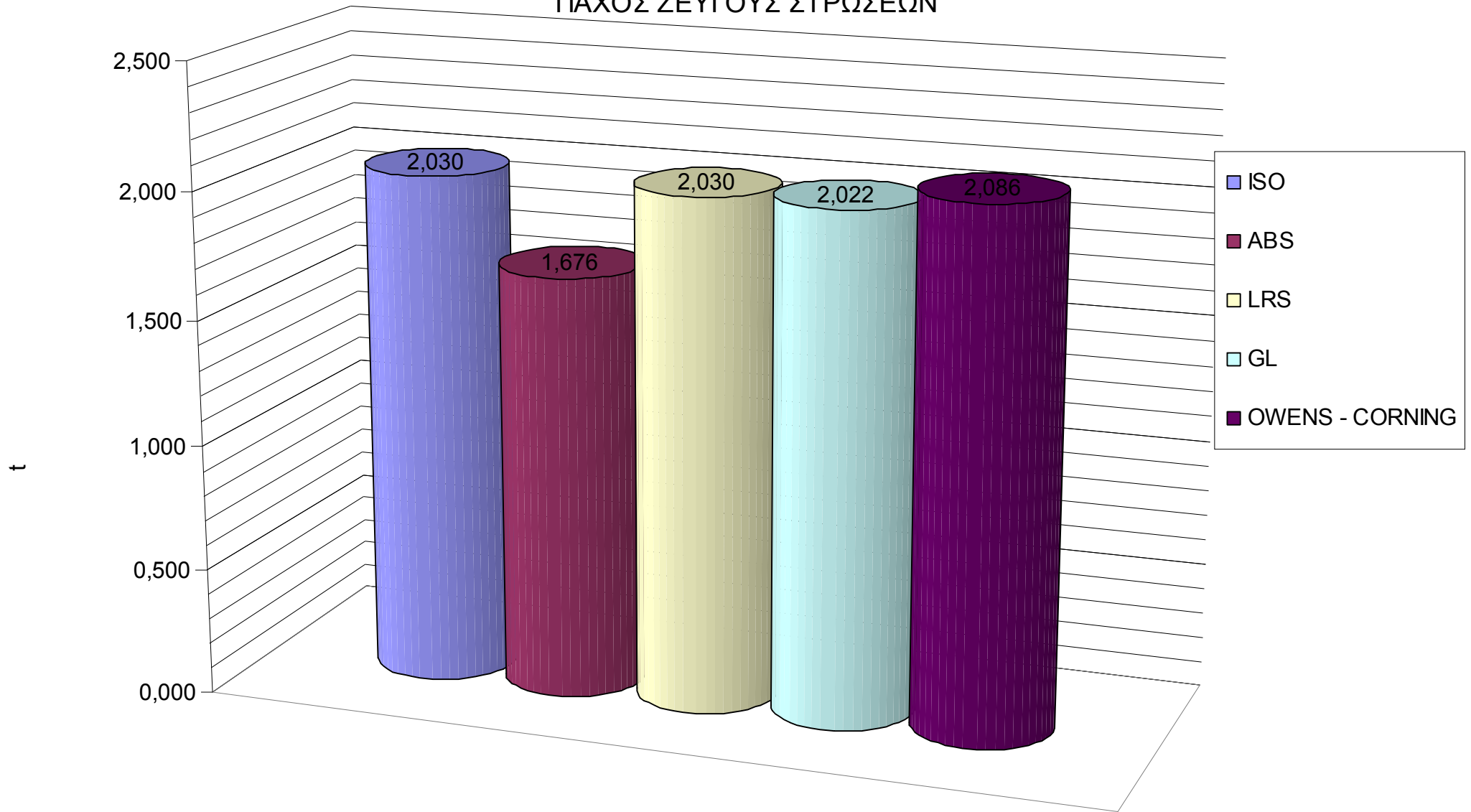
W = το επιφανειακό βάρος των ενισχυτικών ινών γυαλιού, σε oz/ft² (1 oz/ft² = 305 g/m²)

ξ = συντελεστής όπως δίνεται στο Σχήμα 2.9



Σχήμα 2.9: Συντελεστής ξ

ΠΑΧΟΣ ΖΕΥΓΟΥΣ ΣΤΡΩΣΕΩΝ



Σχήμα 2.10: Αποτελέσματα υπολογισμού πάχους ζεύγους στρώσεων

2.2.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο εδάφιο αυτό παρατίθεται πίνακας με τις ποσοτικοποιημένες διαφορές των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις διάφορες μεθόδους για τον υπολογισμό πάχους στρώσης.

Πίνακας 2.13 : Πίνακας ποσοτικοποιημένων διαφορών των αποτελεσμάτων

	ISO/DIS 12215-5.2	ABS	LRS	GL	Owens- Corning
%	0	-17,4	0	-0,4	+2,8

- Από τον Πίνακα 2.13 βλέπουμε πως γενικώς δεν υπάρχουν μεγάλες διαφοροποιήσεις στα τελικά αποτελέσματα και κατ' επέκταση στον τρόπο υπολογισμού του πάχους.
- Το πρότυπο του ISO/DIS 12215-5.2 δίνει ακριβώς το ίδιο αποτέλεσμα με αυτό που προκύπτει από την μέθοδο υπολογισμού του βρετανικού νηογνώμονα.
- Η μεγαλύτερη διαφορά εντοπίζεται στην μέθοδο υπολογισμού του αμερικάνικου νηογνώμονα του οποίου το τελικό αποτέλεσμα είναι ελαφρώς μικρότερο σε σχέση με τα υπόλοιπα.

2.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ ΚΑΙ ΠΙΕΣΕΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ

2.3.1 ISO/DIS 12215-5.2

Υπολογισμός πίεσης σχεδίασης πυθμένα για ταχύπλοα σκάφη.

Ο υπολογισμός της πίεσης σχεδίασεως εφαρμόζεται για σκάφη μεταξύ των ορίων που δίνονται στον Πίνακα 2.14:

Πίνακας 2.14: Όρια εφαρμογής υπολογισμού πίεσης σχεδίασεως για ταχύπλοα σκάφη.

	Ελάχιστο	Μέγιστο
Μήκος / Όγκος εκτοπίσματος $\frac{L_{WL}}{\nabla^{1/3}}$	$3.6 + 0.06 L_{WL}$	$6.2 + 0.04 L_{WL}$
Μέγιστη ταχύτητα	50 knots	

όπου

L_{WL} = μήκος ισάλου, σε m

∇ = όγκος εκτοπίσματος, σε m^3

Η πίεση σχεδίασεως του πυθμένα των ταχύπλοων σκαφών είναι η μεγαλύτερη από:

$$P_{bm} = P_{bm\ base} \cdot k_{ar} \cdot k_L \quad [kN/m^2] \quad (2.6)$$

$$P_{bm\ min} = 10 \left(T_c + \frac{L_h}{17} \cdot f_w \right) \quad [kN/m^2] \quad (2.7)$$

όπου

$$P_{bm\ base} = \frac{0.1 \cdot m_{LDC}}{L_{WL} \cdot B_C} \cdot (1 + f_w \cdot n_{cg}) \quad [kN/m^2] \quad (2.8)$$

όπου

$$n_{cg} = 0,32 \cdot \left(\frac{L_{WL}}{10 \cdot B_C} + 0,084 \right) \cdot (50 - \beta) \cdot \frac{V^2 \cdot B_C^2}{m_{LDC}} \quad [g's] \quad (2.9)$$

Ο συντελεστής δυναμικής φόρτισης n_{cg} ή αλλιώς κατακόρυφη επιτάχυνση του σκάφους δεν πρέπει να ξεπερνά τις τιμές που δίνονται στον Πίνακα 2.15

Πίνακας 2.15: Μέγιστες τιμές δυναμικού συντελεστή φόρτισης

	Παράδειγμα	n_{cg}
Σκάφη που είναι σχεδιασμένα να υποστηρίζονται από συνδυασμό υδροστατικών και υδροδυναμικών δυνάμεων	Σκάφη περιπολίας	3
Σκάφη που μπορούν να είναι έξω από το νερό για μικρές χρονικές περιόδους σε κανονικές συνθήκες υπηρεσίας	Σκάφη αναψυχής ή αγωνιστικά σκάφη	4,5
Σκάφη που μπορούν να είναι έξω από το νερό για μεγάλες χρονικές περιόδους και δεν χρειάζεται να αλλάξουν πορεία και ταχύτητα για να ελαττώσουν τις φορτίσεις	Διασωστικά σκάφη	6
Ίδια με την παραπάνω περίπτωση με την διαφορά της εφαρμογής ασφαλιστικών βοηθητικών μέσων για τους επιβάτες ή απαίτηση ειδικών συνθήκες υπηρεσίας	Σκάφη με αγωνιστικά καθίσματα, ζώνες	7

όπου

m_{LDC} = εκτόπισμα, σε kg

V = μέγιστη ταχύτητα σε ήρεμο νερό, όχι μικρότερη από $2,36 \cdot \sqrt{L_{WL}}$, σε kn

B_C = πλάτος μεταξύ των ακμών της γάστρας στο $0,4 \cdot L_{WL}$, σε m

f_w = συντελεστής σχεδιαστικής κατηγορίας όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.16

T_C = μέγιστο βύθισμα γάστρας χωρίς τα παρελκόμενα, σε m

β = γωνία ανύψωσης πυθμένα στο $0,4 \cdot L_{WL}$, όχι μικρότερη από 10° και όχι μεγαλύτερη από 30° , σε μοίρες

k_L = συντελεστής διαμήκους κατανομής πίεσης γάστρας, έτσι όπως δίνεται από το Σχήμα 2.11 και από τις εξισώσεις 2.10, 2.11

$$k_L = 0,13 \cdot \left[\left(0,35 \cdot \frac{V}{\sqrt{L_{WL}}} \right) + 4,14 \right] \quad \text{για } \frac{x}{L_{WL}} \leq 0,25 \quad (2.10)$$

$$k_L = 1 \quad \text{για } \frac{x}{L_{WL}} \geq 0,6 \quad (2.11)$$

x = διαμήκης θέση του μέσου της πλάκας από το πρυμναίο μέρος της ισάλου γραμμής, σε m

k_{ar} = συντελεστής μείωσης της πίεσης της γάστρας των ταχύπλων σκαφών, όπως προκύπτει από την εξίσωση 2.12 ή από το σχήμα 2.12. Δεν πρέπει να λαμβάνεται μικρότερος από 0,25 όταν χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό καμπτικής δύναμης ή καμπτικής ακαμψίας και 0,4 όταν χρησιμοποιείται στον υπολογισμό των διατμητικών δυνάμεων των πλακών.

$$k_{ar} = \left[0,455 - 0,35 \cdot \left(\frac{u^{0,75} - 1,7}{u^{0,75} + 1,7} \right) \right] \cdot 1,35 \quad (2.12)$$

όπου

$$u = 100 \frac{A_d}{A_r} \quad (2.13)$$

A_d = επιφάνεια σχεδίασης, σε m^2

$A_d = (1b) 10^{-6}$ για τις πλάκες αλλά όχι μεγαλύτερο από $2,5 b^2 10^{-6}$, σε m^2

$A_d = (1_u s) 10^{-6}$ για τα ενισχυτικά αλλά όχι μικρότερο από $0,33 1_u^2$, σε m^2

b = η μικρότερη πλευρά της πλάκας, σε mm

l = η μεγαλύτερη πλευρά της πλάκας, σε mm

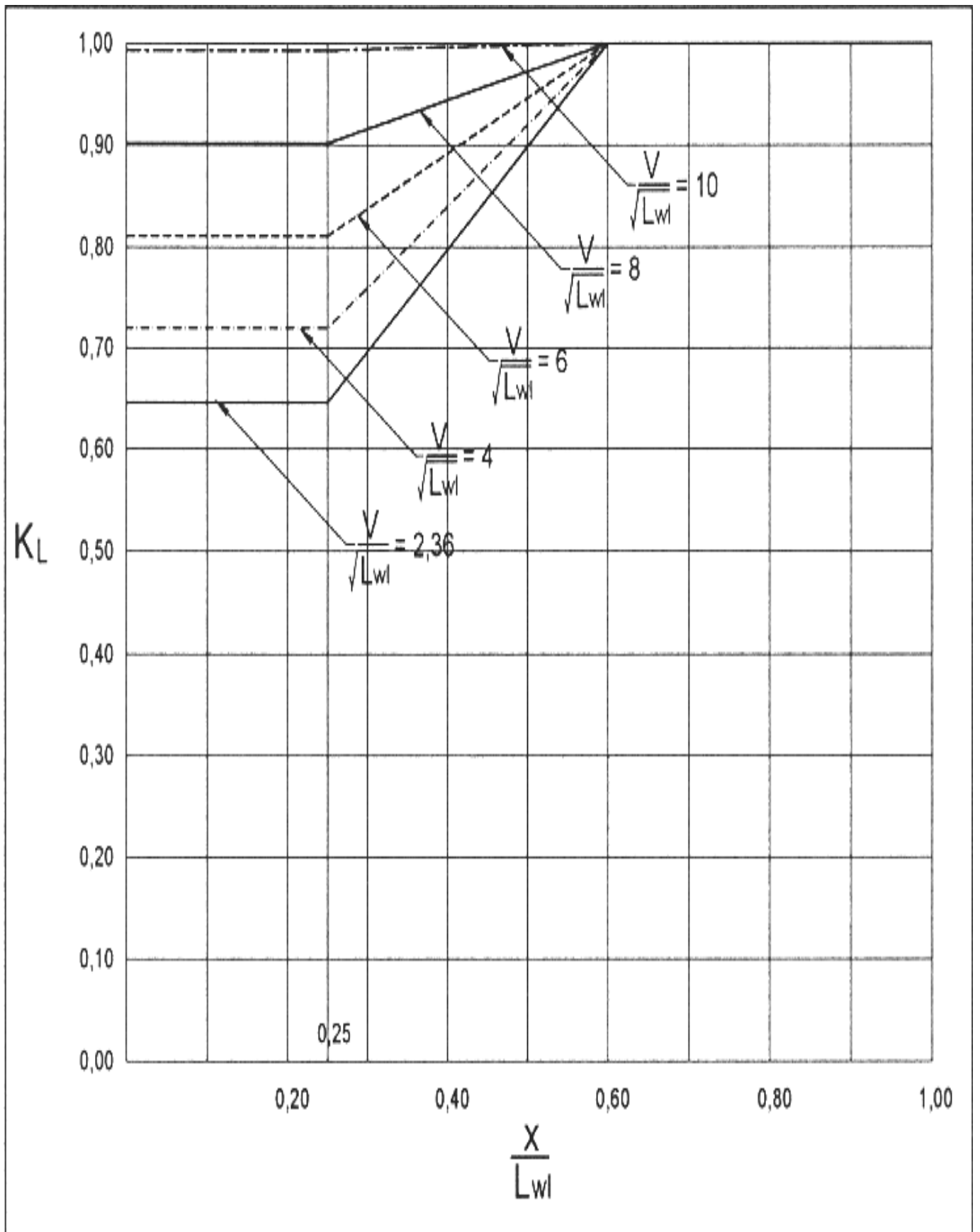
1_u = το ανυποστήρικτο μήκος του ενισχυτικού, σε m

s = η ισαπόσταση των ενισχυτικών, σε m

A_r = η επιφάνεια αναφοράς με $A_r = \left(0,6 - \frac{L_H - 3}{70} \right) \cdot L_{WL} \cdot B_C$, σε m^2

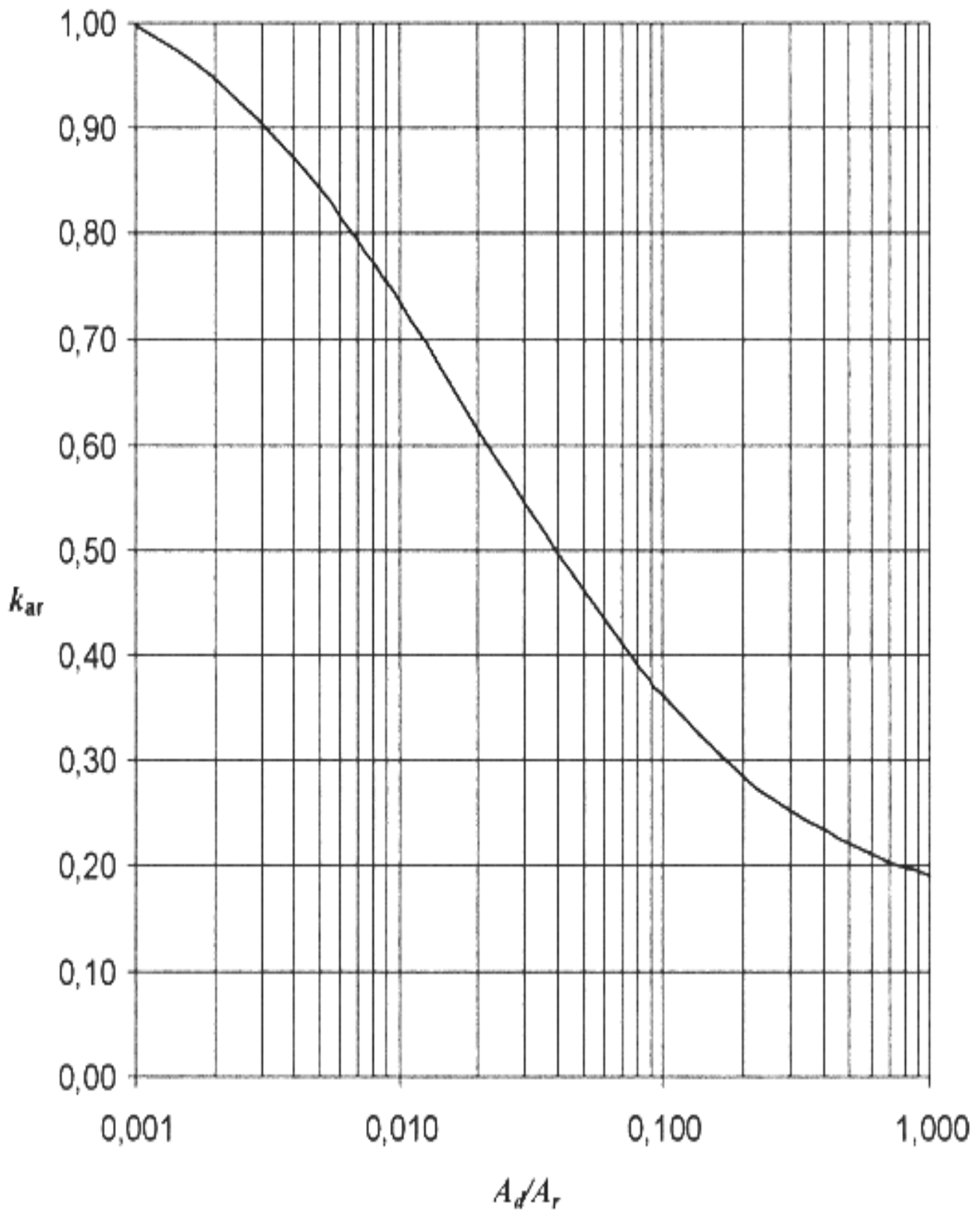
Πίνακα 2.16: Συντελεστής σχεδιαστικής κατηγορίας

Κατηγορία σχεδίασης	A	B	Γ	Δ
f_w	1	0,9	0,75	0,5



Σχήμα 2.11: Συντελεστής διαμήκουσ κατανομής πίεσης γάστρας

k_{ar} versus A_d/A_r



Σχήμα 2.12: Συντελεστής μείωσης πίεσης

Κατηγορίες σχεδίασης:

- A - Σκάφη σχεδιασμένα για συνθήκες υπηρεσίας με σημαντικό ύψος κύματος μεγαλύτερο των 4 μέτρων και ταχύτητα ανέμου μεγαλύτερη των 8 μονάδων της κλίμακας beaufort.
- B – Σκάφη σχεδιασμένα για συνθήκες υπηρεσίας με σημαντικό ύψος κύματος έως 4 μέτρα και ταχύτητα ανέμου μικρότερη των 8 μονάδων της κλίμακας beaufort.
- Γ - Σκάφη σχεδιασμένα για συνθήκες υπηρεσίας με σημαντικό ύψος κύματος έως 2 μέτρα και ταχύτητα ανέμου μικρότερη των 6 μονάδων της κλίμακας beaufort.
- Δ - Σκάφη σχεδιασμένα για συνθήκες υπηρεσίας με σημαντικό ύψος κύματος έως και 0,3 μέτρα με περιστασιακά κύματα 0,5 μέτρων και ταχύτητα ανέμου μικρότερη των 4 μονάδων της κλίμακας beaufort.

Υπολογισμός πίεσης σχεδίασης ιστιοπλοϊκών σκαφών.

Ο υπολογισμός της πίεσης σχεδίασεως εφαρμόζεται για σκάφη μεταξύ των ορίων όπως δίνονται παρακάτω:

Για σκάφη κατηγορίας A και B όπου $\frac{L_{WL}}{\nabla^{1/3}}$ είναι μικρότερο από $5,1 + 0,08 L_H$

Για σκάφη κατηγορίας Γ και Δ όπου $\frac{L_{WL}}{\nabla^{1/3}}$ είναι μικρότερο από 7

Η πίεση σχεδίασεως του πυθμένα των σκαφών εκτοπίσματος είναι η μεγαλύτερη από:

$$P_{bs} = P_{bs\ base} \cdot k_s \cdot k_L \cdot f_w \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2.14)$$

$$P_{bs\ min} = 10 \cdot T_c + 0,83 \cdot L_H \cdot f_w \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2.15)$$

όπου

$$P_{bs\ base} = 36 \cdot T_c + 1,8 \cdot L_{WL} + 19,4 \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2.16)$$

όπου

T_c = μέγιστο βύθισμα γάστρας χωρίς τα παρελκόμενα, με $T_{c\ min} = 0,062 \cdot L_{WL} - 0,26$,
σε m

k_L = όπως ορίστηκε στην παράγραφο 2. 3.1 με $\frac{V}{\sqrt{L_{WL}}} = 2,36$

k_s = συντελεστής μείωσης της πίεσης της γάστρας των ιστιοπλοϊκών σκαφών

$k_s = 1,14 - 0,0019 b / L_{WL}^{0,4}$ για τις πλάκες

$k_s = 1,14 - 1,9 l_u / L_{WL}^{0,4}$ για τα ενισχυτικά

k_s δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή 1 και δεν πρέπει να είναι μικρότερο από:

$k_s = 0,25$ όταν χρησιμοποιείται στον υπολογισμό της καμπτικής αντοχής και της καμπτικής ακαμψίας

$k_s =$ το μεγαλύτερο από τις τιμές 0,4 και $(1,02 - 0,0006 b)$ όταν χρησιμοποιείται για κατασκευές τύπου sandwich πρύμνηθεν του 0,6 L_{WL}

$k_s = 0,75$ όταν χρησιμοποιείται για κατασκευές sandwich πλώραθεν του 0,6 L_{WL}

2.3.2 ABS Motor Pleasure Yachts

Η ελάχιστη πίεση σχεδίασης στον πυθμένα ενός ταχύπλοου σκάφους είναι η μεγαλύτερη από:

$$P_b = N_1 \frac{\Delta}{L_W B} (1+n) F_D F_{V1} \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2.17)$$

$$P_i = 7,5 k_1 N d F_D F_{V2} \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2.18)$$

$$P_D = 9,8 (D+1,22) \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2.19)$$

όπου

$$n = N_2 \left(\frac{L_W}{B} + 1,008 \right) \tau (50 - \beta) \frac{V^2 B^2}{\Delta} \quad [\text{g's}] \quad (2.20)$$

όπου

$N_1 = 0,1$ μονάδες SI

$N_2 = 0,0046$ μονάδες SI

$\Delta =$ εκτόπισμα, σε kg

$L_W =$ μήκος της ισάλου σχεδίασης, σε m

$B =$ μέγιστο πλάτος, σε m

$\tau =$ γωνία trim σε ταχύτητα V , σε μοίρες

$\beta =$ γωνία ανύψωσης πυθμένα στο LCG, σε μοίρες

$V =$ μέγιστη ταχύτητα σε ήρεμο νερό, σε kn

$F_D =$ συντελεστής επιφάνειας σχεδίασης για δοσμένες τιμές των A_D και A_R , όπως δίνεται στο Σχήμα 2.13

$F_{V1} =$ συντελεστής κατανομής κατακόρυφης επιτάχυνσης, όπως δίνεται στο Σχήμα 2.14

$k_1 = 9,8$ μονάδες SI

F_{V2} = συντελεστής κατανομής κατακόρυφης επιφάνειας, όπως δίνεται στο Σχήμα 2.15

A_D = επιφάνεια σχεδίασης, σε cm^2

A_D = για τις πλάκες είναι η επιφάνεια της πλάκας αλλά όχι μεγαλύτερο από 2 s^2 , σε cm^2

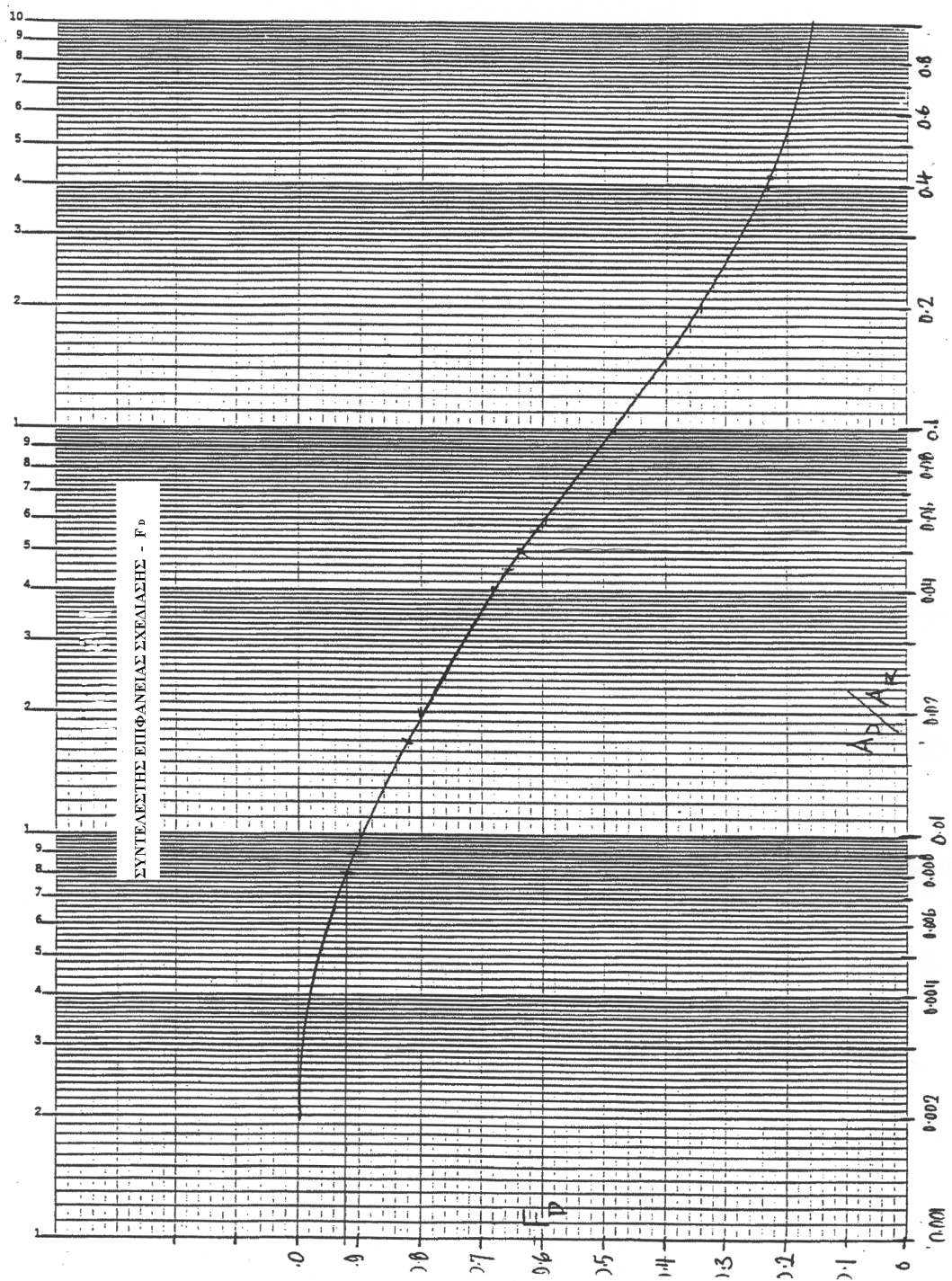
A_D = για τα ενισχυτικά είναι η επιφάνεια της πλάκας υποστηριζόμενη από το ενισχυτικό αλλά όχι μικρότερο από $0,33 I_u^2$, σε cm^2

A_R = επιφάνεια αναφοράς με $A_R = 6,95 \Delta/d$, σε cm^2

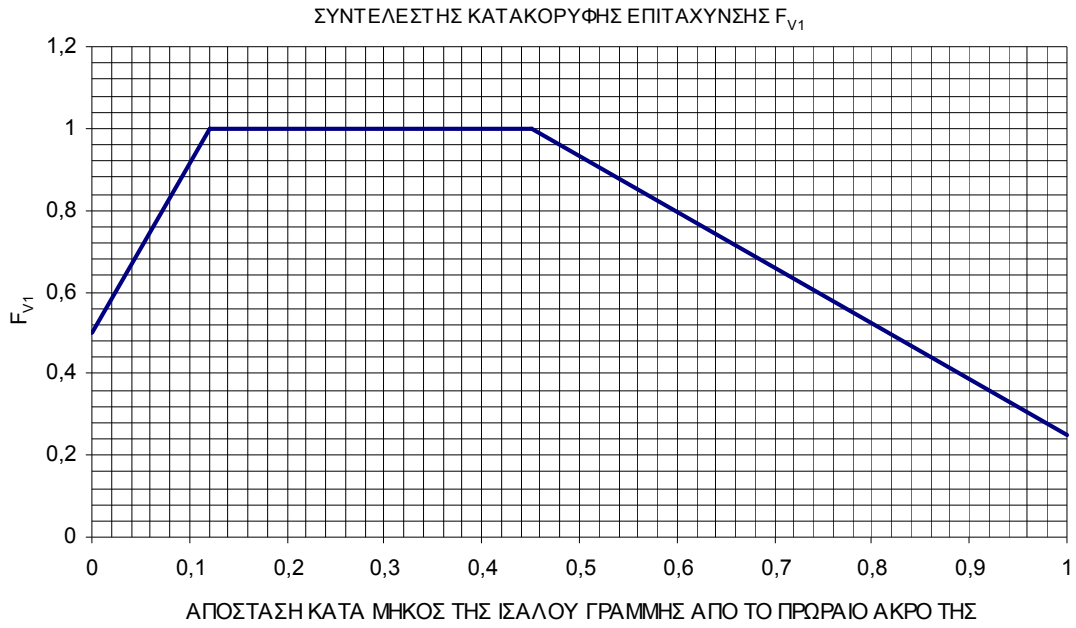
d = η κατακόρυφη απόσταση της εξωτερικής επιφάνειας της πλάκας μέχρι την ίσαλο σχεδίασης αλλά όχι μικρότερη από $0,04L$, σε m

N = συντελεστής υπηρεσίας όχι μικρότερος από 1

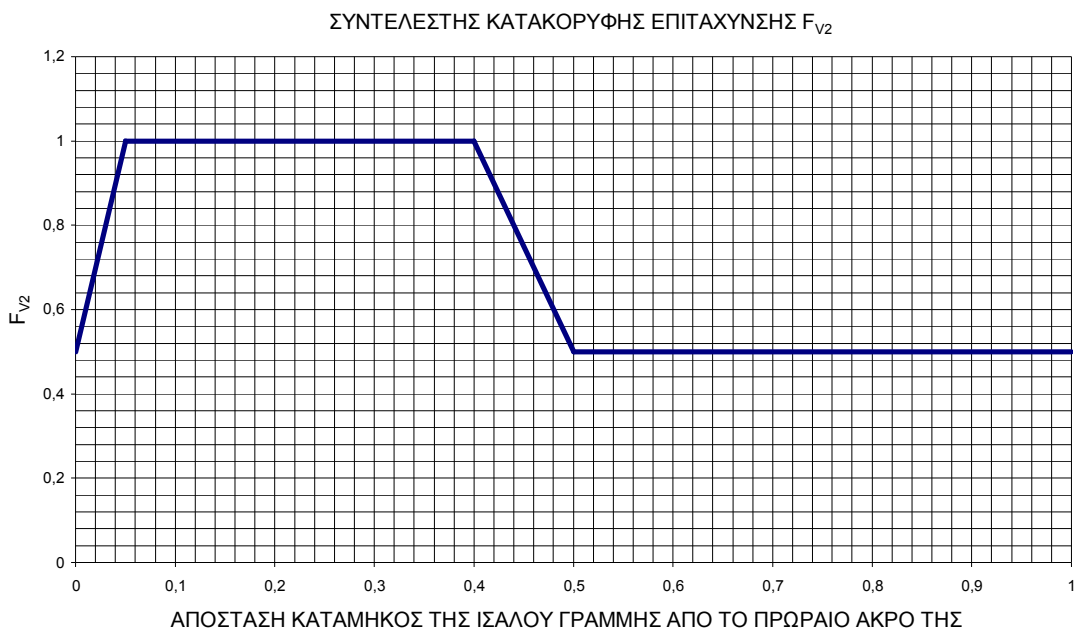
D = κούλο, σε m



Σχήμα 2.13: Συντελεστής επιφάνειας σχεδίασης F_D



Σχήμα 2.14: Συντελεστής κατακόρυφης επιτάχυνσης F_{v1}



Σχήμα 2.15: Συντελεστής κατακόρυφης επιτάχυνσης F_{v2}

Όπου η μέγιστη ταχύτητα σε κόμβους είναι μικρότερη από $2,36\sqrt{L}$, L σε m η ελάχιστη πίεση σχεδίασης στον πυθμένα των σκαφών εκτοπίσματος δίνεται στον Πίνακα 2.17 που ακολουθεί:

Πίνακας 2.17: Σκάφη εκτοπίσματος, σχεδιαστικές υδροστατικές πιέσεις

Κατασκευή πυθμένα	η απόσταση μέχρι το κύριο κατάστρωμα στο πλάι από την χαμηλότερη άκρη της πλάκας και από το κέντρο της περιοχής στήριξης για τα ενισχυτικά, αλλά όχι μικρότερο από L/10 ή 2,15 m, όποιο είναι μεγαλύτερο
Πλευρική κατασκευή	η απόσταση μέχρι το κύριο κατάστρωμα στο πλάι από την χαμηλότερη άκρη της πλάκας και από το κέντρο της περιοχής στήριξης για τα ενισχυτικά, αλλά όχι μικρότερο από 0,5 D ή L/20, όποιο είναι μεγαλύτερο.

2.3.3 Lloyd's Register of Shipping

Κατακόρυφες επιταχύνσεις

Για μονόγαστρα σκάφη με $\Gamma \geq 3$ ή με $\Delta \leq 0,04 (L_R B)^{1,5}$

όπου

$$\Gamma = \frac{V}{\sqrt{L_{WL}}} \quad (2.21)$$

V = επιτρεπόμενη ταχύτητα, σε kn

L_{WL} = μήκος της ισάλου σχεδίασης, σε m

L_R = για την χρήση από τον κανονισμό το L δεν πρέπει να είναι μικρότερο από το 96% και δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το 97% της ισάλου σχεδίασης, σε m

Η κατακόρυφη επιτάχυνση στη διαμήκη θέση του κέντρου βάρους, δίνεται από τον τύπο:

$$a_v = 1,5 \theta_B L_1 (H_1 + 0,084) (5 - 0,1 \theta_D) \Gamma^2 10^{-3} \quad [g's] \quad (2.22)$$

όπου

$$g = 9,81 \quad [\text{m/sec}^2]$$

$$L_1 = \frac{L_{WL} B_c^3}{B_W \Delta}, \text{ με } \frac{L_{WL}}{B_W} \text{ όχι μικρότερο από } 3$$

$$H_1 = \frac{H_{1/3}}{B_W} \text{ αλλά όχι μικρότερο από } 0,2$$

B_c = πλάτος μεταξύ των ακμών της γάστρας στη διαμήκη θέση του κέντρου βάρους, σε m

B_W = μέγιστο πλάτος της γάστρας στη διαμήκη θέση του κέντρου βάρους στην ίσαλο σχεδίασης, σε m

Δ = εκτόπισμα, σε ton

$H_{1/3}$ = σημαντικό ύψος κύματος, σε m

θ_D = γωνία ανύψωσης πυθμένα στη διαμήκη θέση του κέντρου βάρους, σε μοίρες, αλλά όχι μεγαλύτερη από 30°

θ_B = γωνία trim, σε μοίρες, αλλά όχι μικρότερη από 3°

Για σκάφη με $\Gamma < 3$ και με $\Delta > 0,04 (L_R B)^{1,5}$, η κατακόρυφη επιτάχυνση στη διαμήκη θέση του κέντρου βάρους δίνεται από τον τύπο:

$$a_v = 0,2\Gamma + \frac{34}{L_{WL}} \quad [\text{g's}] \quad (2.23)$$

Η κατακόρυφη επιτάχυνση, a_x , σε κάθε δοσμένο σημείο απόστασης x από την πρυμναία κάθετο κατά μήκος της γάστρας δίνεται από τον τύπο:

$$a_x = a_v \left(0,86 - 0,32 \frac{x_a}{L_{WL}} + 1,76 \left(\frac{x_a}{L_{WL}} \right)^2 + \xi_a \right) \quad [\text{g's}] \quad (2.24)$$

όπου

$$\xi_a = 0,14 + 0,32 \frac{x_{LCG}}{L_{WL}} - 1,76 \left(\frac{x_{LCG}}{L_{WL}} \right)^2 \quad (2.25)$$

x_a = η απόσταση από το πρυμναίο άκρο της ισάλου σχεδίασης μέχρι το σημείο υπολογισμού της κατακόρυφης επιτάχυνσης, σε m

x_{LCG} = η απόσταση από το πρυμναίο άκρο της ισάλου σχεδίασης μέχρι τη διαμήκη θέση του κέντρου βάρους, σε m

Σχεδιαστικές πιέσεις:

Η πίεση σχεδίασης του πυθμένα, P_{BP} , για σκάφη που δεν υποστηρίζονται από υδροδυναμική άνωση που δημιουργείται από πτερύγια ή άλλα εξαρτήματα, πρέπει να λαμβάνεται ως η μεγαλύτερη από:

$$(\alpha) H_f S_f P_w + P_{hl} \quad (2.26)$$

$$(\beta) H_f S_f P_p + P_{hl} \quad (2.27)$$

$$(\gamma) H_f S_f C_f P_{dl} \quad (2.28)$$

$$(\delta) H_f G_f S_f C_f P_f \quad (2.29)$$

Η υδροδυναμική πίεση λόγω της σχετικής κίνησης είναι:

$$P_w = 0,78 L_{WL} \left(\frac{h}{2T} + 0,5 \right) P_e \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2.30)$$

όπου

$$P_e = 1 + \left(\nabla_w \left(\frac{x}{L_{WL}} - 0,45 \right) \right)^2 e^{-0,0044 L_{WL}}$$

x = η απόσταση από το πρωραίο άκρο της ισάλου σχεδίασης, σε m

h = η κατακόρυφη απόσταση από το κατώτερο σημείο της γάστρας έως το σημείο υπολογισμού της πίεσης, σε m, αλλά όχι μεγαλύτερη από το βύθισμα

∇_w = συντελεστής μορφής γάστρας όπως δίνεται στον Πίνακα 2.18

T = βύθισμα, σε m

e = η βάση του φυσικού λογάριθμου, 2,7183

L_{WL} = μήκος ισάλου σχεδίασης, σε m

Πίνακας 2.18: Συντελεστής μορφής γάστρας

Τύπος σκάφους	∇_w	
	$x \geq 0,45L_{WL}$	$x < 0,45L_{WL}$
μονόγαστρα με $\Gamma \geq 3$ ή $\Delta \leq 0,04(L_R B)^{1,5}$	2,25	1,5
μονόγαστρα με $\Gamma < 3$ και $\Delta > 0,04(L_R B)^{1,5}$	1,95	1,3
Καταμαράν και πολύγαστρα με μερικώς βυθισμένες γάστρες	2,55	1,7
Swath και πολύγαστρα με ολικώς βυθισμένες γάστρες	2,1	1,4
Σκάφη υποστηριζόμενα από υδροδυναμική άνωση προερχόμενη από πτερύγια ή άλλα εξαρτήματα	1,5	1
ΣΗΜΕΙΩΣΗ όπου εφαρμόζονται περισσότεροι από έναν τύπο σκάφους χρησιμοποιούμε την μεγαλύτερη τιμή του συντελεστή		

Η πίεση λόγω προνευτασμού που ασκείται στον πυθμένα της γάστρας έως την ίσαλο δίνεται από την σχέση:

$$P_p = 11 \left(\frac{2x}{L_{WL}} - 1 \right) \sqrt{L_{WL}} \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2.31)$$

όχι μικρότερο από:

$$P_{p \min} = 6 \sqrt{L_{WL}} \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2.32)$$

Η κρουστική πίεση στον πυθμένα είναι:

Για σκάφη με $\Gamma \geq 3$ ή με $\Delta \leq 0,04 (L_R B)^{1,5}$

$$P_{dl} = \frac{\nabla_d \Delta \Phi (1 + a_v)}{L_{WL} G_0} \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2.33)$$

όπου

$G_0 =$ όπως δίνεται στον Πίνακα 2.19

$\nabla_d = 54$ για μονόγαστρα σκάφη

$$= \frac{81}{N_H} \text{ για catamaran και πολύγαστρα σκάφη}$$

$N_H = 0$ ο αριθμός των γαστρών του σκάφους αλλά όχι μεγαλύτερος από 4

Για σκάφη με συνεχή επαφή με το νερό

$\Phi = 0,5$ στο L_{WL} από το πρυμναίο άκρο της ισάλου σχεδίασης

$= 1$ στο $0,75L_{WL}$ από το πρυμναίο άκρο της ισάλου σχεδίασης

$= 1$ στο $0,5L_{WL}$ από το πρυμναίο άκρο της ισάλου σχεδίασης

$= 0,5$ στο πρυμναίο άκρο της ισάλου σχεδίασης

Ενδιάμεσες τιμές προκύπτουν με γραμμική παρεμβολή

Αλλιώς, $\Phi = 1$

Πίνακας 2.19: Συντελεστής G_0

Περιοχή πυθμένα	G_0	
	Σκάφη με ακμές	Σκάφη χωρίς ακμές
Μεταξύ εφαπτομενικών σημείων ή ακμών	G_s	G_s
Μεταξύ εφαπτομενικών σημείων και ισάλου σχεδίασης	-	G_{WL}
ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ		
1. G_s = Περιμετρική απόσταση μεταξύ των εφαπτομενικών σημείων η των ακμών της γάστρας στο διάμηκες κέντρο βάρους, σε m 2. G_{WL} = Περιμετρική απόσταση μεταξύ των ισάλων στις δυο πλευρές του σκάφους, σε m		

Για σκάφη με $\Gamma < 3$ και με $\Delta > 0,04 (L_R B)^{1,5}$

$$P_{dh} = \Phi_{dh} \left(19 - 2720 \left(\frac{T_o}{L_{WL}} \right)^2 \right) \sqrt{L_{WL} V} \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2.34)$$

όπου

$$P_{dh} \geq P_w$$

$\Phi_{dh} = 0,9$ στο L_{WL} από το πρυμναίο άκρο της ισάλου σχεδίασης
 $= 0,18$ στο $0,9L_{WL}$ από το πρυμναίο άκρο της ισάλου σχεδίασης
 $= 0,18$ στο $0,8L_{WL}$ από το πρυμναίο άκρο της ισάλου σχεδίασης
 $= 0,0$ μεταξύ του πρυμναίου άκρου της ισάλου σχεδίασης και του $0,5L_{WL}$ από το πρυμναίο άκρο της ισάλου σχεδίασης

Ενδιάμεσες τιμές προκύπτουν από γραμμική παρεμβολή

$T_o = T$ αλλά όχι μεγαλύτερο από $0,08L_{WL}$

Η κρουστική πίεση στο πρυμναίο τμήμα δίνεται από τις σχέσεις:

Για σκάφη με $\Gamma < 3$ και με $\Delta > 0,04 (L_R B)^{1,5}$

$$\begin{aligned}
 P_f &= P_{dh} \text{ στο } 0,9L_{WL} \\
 &= P_w \text{ στο } x < 0,75L_{WL}
 \end{aligned}$$

Για σκάφη με $\Gamma \geq 3$ ή με $\Delta \leq 0,04 (L_R B)^{1,5}$

$$\begin{aligned}
 P_f &\geq P_{dl} \text{ στο } 1,0L_{WL} \\
 &= P_{dl} \text{ στο } 0,75L_{WL} \\
 &= P_w \text{ στο } x < 0,75L_{WL}
 \end{aligned}$$

Ενδιάμεσες τιμές προκύπτουν με γραμμική παρεμβολή

Για σκάφη με $\Gamma \geq 3$ ή με $\Delta \leq 0,04 (L_R B)^{1,5}$

$$P_{hl} = 10(T-h) \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2.35)$$

Για σκάφη με $\Gamma < 3$ και με $\Delta > 0,04 (L_R B)^{1,5}$

$$P_{hh} = 10(T-h) \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2.36)$$

και

H_f = δίνεται στον Πίνακα 2.20

G_f = δίνεται στον Πίνακα 2.21

S_f = δίνεται στον Πίνακα 2.22

C_f = δίνεται στον Πίνακα 2.23

δ_f = δίνεται στο Πίνακα 2.24

Πίνακας 2.20: Συντελεστής χαρακτηρισμού γάστρας

Χαρακτηρισμός γάστρας	Συντελεστής
HSC	1
LDC	0,95
Σημείωση: Για γάστρες που μπορούν να χαρακτηρισθούν και ως HSC και ως LDC θα χρησιμοποιείται η μεγαλύτερη τιμή. Για γάστρες που δεν χαρακτηρίζονται ούτε ως HSC ούτε ως LDC τότε ο συντελεστής λαμβάνεται ως 1,0	

Πίνακας 2.21: Συντελεστής χαρακτηρισμού περιοχής υπηρεσίας

Χαρακτηρισμός περιοχής υπηρεσίας	Συντελεστής
G1	0,6
G2	0,75
G3	0,85
G4	1
G5	1,2
G6	1,25

Πίνακας 2.22: Συντελεστής χαρακτηρισμού τύπου υπηρεσίας

Χαρακτηρισμός τύπου υπηρεσίας	Συντελεστής
Cargo (A)	1
Cargo (B)	1,1
Passenger	1
Passenger (A)	1
Passenger (B)	1,1
Patrol	1,2
Pilot	1,25
Yacht (P)	1,1
Yacht (P)	1,1
Workboat	1,25

Πίνακας 2.23: Συντελεστής χαρακτηρισμού τύπου σκάφους

Χαρακτηρισμός τύπου σκάφους	Συντελεστής
Catamaran	1
Hydrofoil	1,1
mono	1
multi	1,1
RIB	1,15
SES	1
SWATH	1

Πίνακας 2.24: Συντελεστής τύπου ενισχυτικού

Τύπος	Συντελεστής
Πρωτεύοντα ενισχυτικά	0,5
Δευτερεύοντα ενισχυτικά	0,8
Εγκάρσιοι δοκοί	

Χαρακτηρισμός περιοχής υπηρεσίας:

G1 – κατηγορία που καλύπτει σκάφη υπηρεσίας σε προστατευμένα νερά κοντά στην ακτή ή υπηρεσία μεταξύ νησιών σε λογικό καιρό και ακτίνα υπηρεσίας κάτω από 5 ναυτικά μιλιά.

G2 – κατηγορία σκαφών με ακτίνα υπηρεσίας κάτω από 20 ναυτικά μιλιά. Αυτή η κατηγορία καλύπτει σκάφη κατασκευασμένα για παράκτια υπηρεσία.

G3 – κατηγορία σκαφών με ακτίνα υπηρεσίας κάτω από 150 ναυτικά μιλιά.

G4 – κατηγορία σκαφών με ακτίνα υπηρεσίας κάτω από 250 ναυτικά μιλιά.

G5 – κατηγορία σκαφών με ακτίνα υπηρεσίας πάνω από 250 ναυτικά μιλιά.

G6 – κατηγορία σκαφών αναψυχής απεριόριστης υπηρεσίας

Η πίεση σχεδίασης του πυθμένα, P_{BP} , για σκάφη που υποστηρίζονται από υδροδυναμική άνοση που δημιουργείται από πτερύγια ή άλλα εξαρτήματα, πρέπει να λαμβάνεται ως η μεγαλύτερη από:

$$(\alpha) H_f S_f P_w + P_{hl} \quad (2.37)$$

$$(\beta) H_f S_f P_p + P_{hl} \quad (2.38)$$

$$(\gamma) H_f S_f C_f P_{fb} \quad (2.39)$$

Η κρουστική πίεση πυθμένα για σκάφη που υποστηρίζονται από υδροδυναμικά βοηθήματα P_{fb} είναι η μεγαλύτερη από:

$$P_{fba} = \frac{16}{L_{WL}} \left(H_{03} + \sqrt{H_0 L_{WL}} \right)^2 \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2.40)$$

$$P_{fbb} = \frac{1}{3} K_{po} V_R V \left(1 - \frac{H_0}{H_{03}} \right) \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2.41)$$

όπου

K_{po} = συντελεστής διαμήκους διανομής
 = 1,0 μεταξύ του πρυμναίου άκρου της ισάλου σχεδίασης και του $0,75L_{WL}$ από
 = 2,0 στο πρυμναίο άκρο της ισάλου σχεδίασης

Ενδιάμεσες τιμές προκύπτουν με γραμμική παρεμβολή

H_0 = υπηρεσιακό ύψος σκάφους, μετρούμενο από την ίσαλο σχεδίασης μέχρι το κάτω άκρο της γάστρας στη διαμήκη θέση του κέντρου βάρους του σκάφους, σε m

$$H_{03} = 1,29 H_{1/3}$$

$$V_R = \frac{8H_{1/3}}{L_{WL}} + 2 \quad [\text{kn}]$$

Η πίεση σχεδίασης του πυθμένα για τα ενισχυτικά, P_{BF} , για σκάφη που δεν υποστηρίζονται από υδροδυναμική άνωση που δημιουργείται από πτερύγια ή άλλα εξαρτήματα, πρέπει να λαμβάνεται ως η μεγαλύτερη από:

$$(\alpha) \delta_f (H_f S_f P_w + P_{hl}) \quad (2.42)$$

$$(\beta) \delta_f (H_f S_f P_p + P_{hl}) \quad (2.43)$$

$$(\gamma) \delta_f (H_f S_f C_f P_{dl}) \quad (2.44)$$

$$(\delta) \delta_f (H_f G_f S_f C_f P_f) \quad (2.45)$$

Η πίεση σχεδίασης του πυθμένα για τα ενισχυτικά, P_{BF} , για σκάφη που υποστηρίζονται από υδροδυναμική άνωση που δημιουργείται από πτερύγια ή άλλα εξαρτήματα, πρέπει να λαμβάνεται ως η μεγαλύτερη από:

$$(\alpha) \delta_f (H_f S_f P_w + P_{hl}) \quad (2.46)$$

$$(\beta) \delta_f (H_f S_f P_p + P_{hl}) \quad (2.47)$$

$$(\gamma) \delta_f (H_f S_f C_f P_{fb}) \quad (2.48)$$

2.3.4 DET NORSKE VERITAS

Κατακόρυφες επιταχύνσεις:

Η κατακόρυφη επιτάχυνση σχεδίασης, στη διαμήκη θέση του κέντρου βάρους, για σκάφη με $\frac{V}{\sqrt{L}} \geq 3$ δίνεται από τον τύπο:

$$a_{cg} = \frac{k_h g_o}{1650} \left(\frac{H_s}{B_{WL2}} + 0,084 \right) (50 - \beta_{cg}) \left(\frac{V}{\sqrt{L}} \right)^2 \frac{LB_{WL2}^2}{\Delta} \quad [\text{m/s}^2] \quad (2.49)$$

όπου

β_{cg} = γωνία ανύψωσης πυθμένα στο LCG, σε μοίρες, όχι μικρότερη από 10 και όχι μεγαλύτερη από 30

H_s = σημαντικό ύψος κύματος, σε m

K_h = συντελεστής τύπου γάστρας, όπως δίνεται στον Πίνακα 2.25

$g_o = 9,81$, σε m/sec^2

B_{WL2} = μέγιστο πλάτος της γάστρας στο L/2 στην ίσαλο σχεδίασης, σε m

V = μέγιστη ταχύτητα, σε kn

L = μήκος μεταξύ κάθετων, σε m

Πίνακας 2.25: Συντελεστής χαρακτηρισμού τύπου γάστρας

Χαρακτηρισμός τύπου γάστρας	k_h
Monohull, Catamaran	1
Wave piercer	0,9
SES, ACV	0,8
Foil assisted hull	0,7
SWATH	0,7

Η κατακόρυφη επιτάχυνση σχεδίασης, στη διαμήκη θέση του κέντρου βάρους, για σκάφη με $\frac{V}{\sqrt{L}} < 3$ δίνεται από τον τύπο:

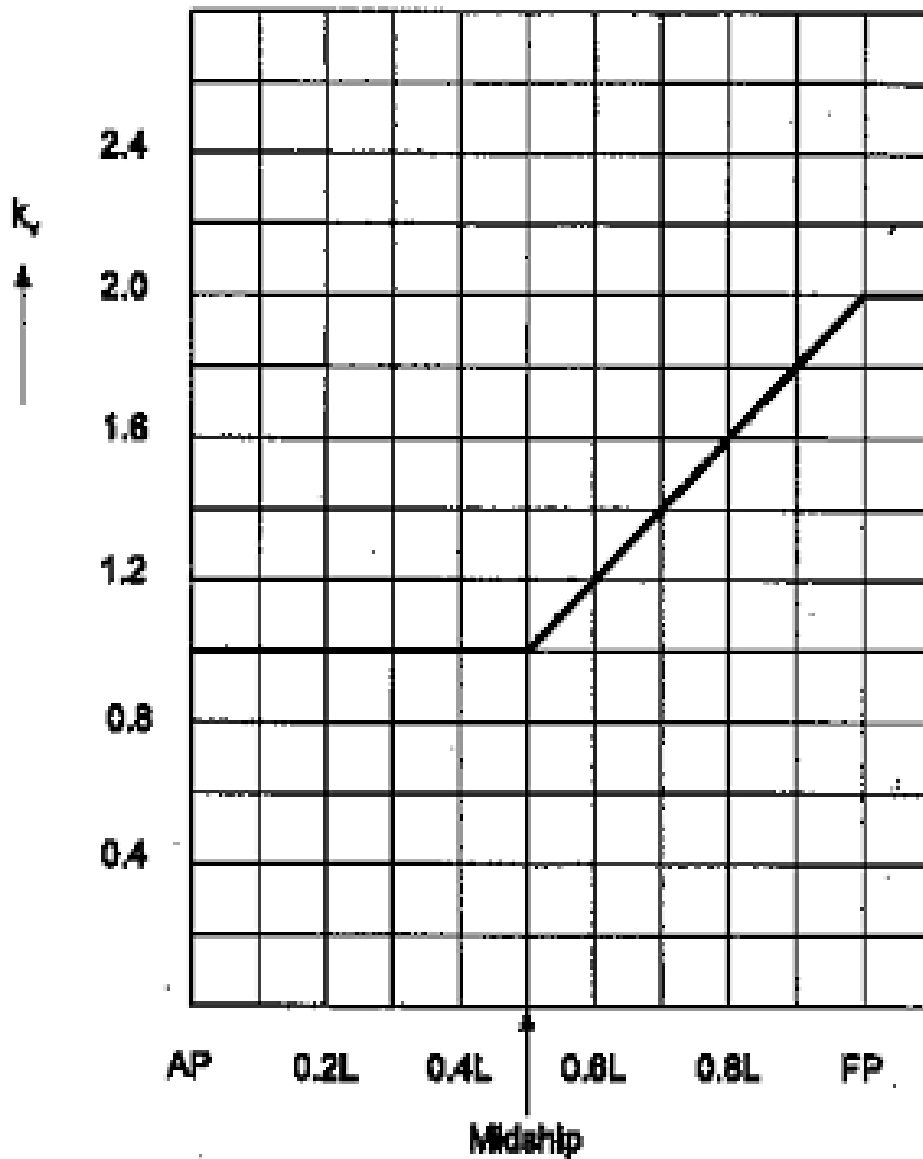
$$a_{cg} = 6 \frac{H_s}{L} \left(0,85 + 0,35 \frac{V}{\sqrt{L}} \right) g_o \quad [\text{m/s}^2] \quad (2.50)$$

Η κατακόρυφη επιτάχυνση σε διαφορετική θέση κατά μήκος της γάστρας του σκάφους δίνεται από τον τύπο:

$$a_v = k_v a_{cg} \quad [m/s^2] \quad (2.51)$$

όπου

k_v = συντελεστής διαμήκου κατανομής όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.16



Σχήμα 2.16 : Συντελεστής διαμήκου κατανομής k_v

Σχεδιαστικές πιέσεις:

Η κρουστική πίεση σχεδίασης στον πυθμένα, για $\frac{V}{\sqrt{L}} \geq 3$ δίνεται από την σχέση:

$$P_{sl} = 1,3k_l \left(\frac{\Delta}{nA} \right)^{0,3} T_o^{0,7} \frac{50 - \beta_x}{50 - \beta_{cg}} a_{cg} \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2.52)$$

όπου

k_l = συντελεστής διαμήκους κατανομής, όπως δίνεται στο Σχήμα 2.19

n = αριθμός γαστρών σκάφους

A = επιφάνεια σχεδίασης στοιχείου, σε m^2

A = για τις πλάκες το A δεν πρέπει να λαμβάνεται μεγαλύτερο από $2,5s^2$

A = για τα ενισχυτικά είναι το γινόμενο του ανυποστήρικτου μήκους του ενισχυτικού επί την ισαπόσταση του

A = δεν πρέπει να λαμβάνεται μικρότερο από $0,002\Delta/Ta$

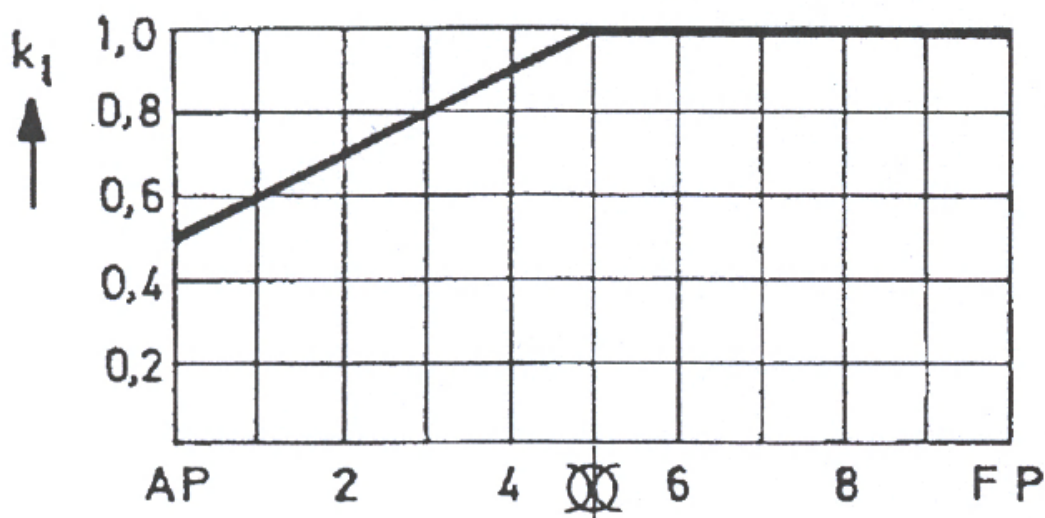
T_o = βύθισμα στο $L/2$, σε m , σε κανονικές συνθήκες υπηρεσίας και σε ταχύτητα υπηρεσίας

Δ = εκτόπισμα, σε ton

β_{cg} = γωνία ανύψωσης πυθμένα στο διάμηκες κέντρο βάρους, σε μοίρες, όχι μικρότερη από 10° και όχι μεγαλύτερη από 30°

β_x = γωνία ανύψωσης πυθμένα σε οποιοδήποτε μέρος της γάστρας του σκάφους, σε μοίρες, όχι μικρότερη από 10° και όχι μεγαλύτερη από 30°

a_{cg} = κατακόρυφη επιτάχυνση σχεδίασης στο διάμηκες κέντρο βάρους όπως υπολογίστηκε παραπάνω, σε m/s^2



Σχήμα 2.17: Συντελεστής διαμήκους κατανομής

Όλα τα σκάφη πρέπει να σχεδιάζονται για μια κρουστική πίεση από προνευτασμό όπως δίνεται από τη σχέση:

$$P_{sl} = \frac{21}{\tan(\beta_x)} k_a k_b C_w \left(1 - \frac{20T_L}{L} \right) \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2.53)$$

όπου

$k_a = 1$ για τις πλάκες

$k_a = 1,1 - 20 l_A/L$, μέγιστο 1, ελάχιστο 0,35, για τα ενισχυτικά

$k_b = 1$ για τις πλάκες και για τα διαμήκη ενισχυτικά

$k_b = L/40l + 0,5$, μέγιστο 1, για εγκάρσια ενισχυτικά

$l_A =$ μήκος φορτιζόμενης περιοχής, σε m

$l =$ ανυποστήρικτο μήκος ενισχυτικού, σε m

$T_L =$ ελάχιστο βύθισμα σε ταχύτητα υπηρεσίας, σε m

Η παραπάνω πίεση εκτείνεται μέχρι ένα μήκος από την προραία κάθετο όπως ορίζεται από την σχέση:

$$\left(0,1 + 0,15 \frac{V}{\sqrt{L}} \right) L \quad (2.54)$$

Ο όρος $\frac{V}{\sqrt{L}}$ δεν πρέπει να ξεπερνά την τιμή 3

Η κρουστική πίεση από προνευτασμό μειώνεται ομαλά μέχρι την τιμή 0 στο 0,175 L μετά από το μήκος της σχέσης 2.58

Η υδροστατική πίεση που εφαρμόζεται στον πυθμένα του σκάφους (κάτω από την ίσαλο σχεδίασης) δίνεται από την σχέση:

$$p = 10h_0 + \left(k_s - 1,5 \frac{h_0}{T} \right) C_w \quad [\text{kN/m}^2] \quad (2.55)$$

όπου

$h_0 =$ κατακόρυφη απόσταση από την ίσαλο μέχρι το σημείο φόρτισης, σε m

$k_s = 7,5$ από το κέντρο του σκάφους μέχρι την πρυμναία κάθετο

$k_s = 5/C_B$ μπροστά από την προραία κάθετο

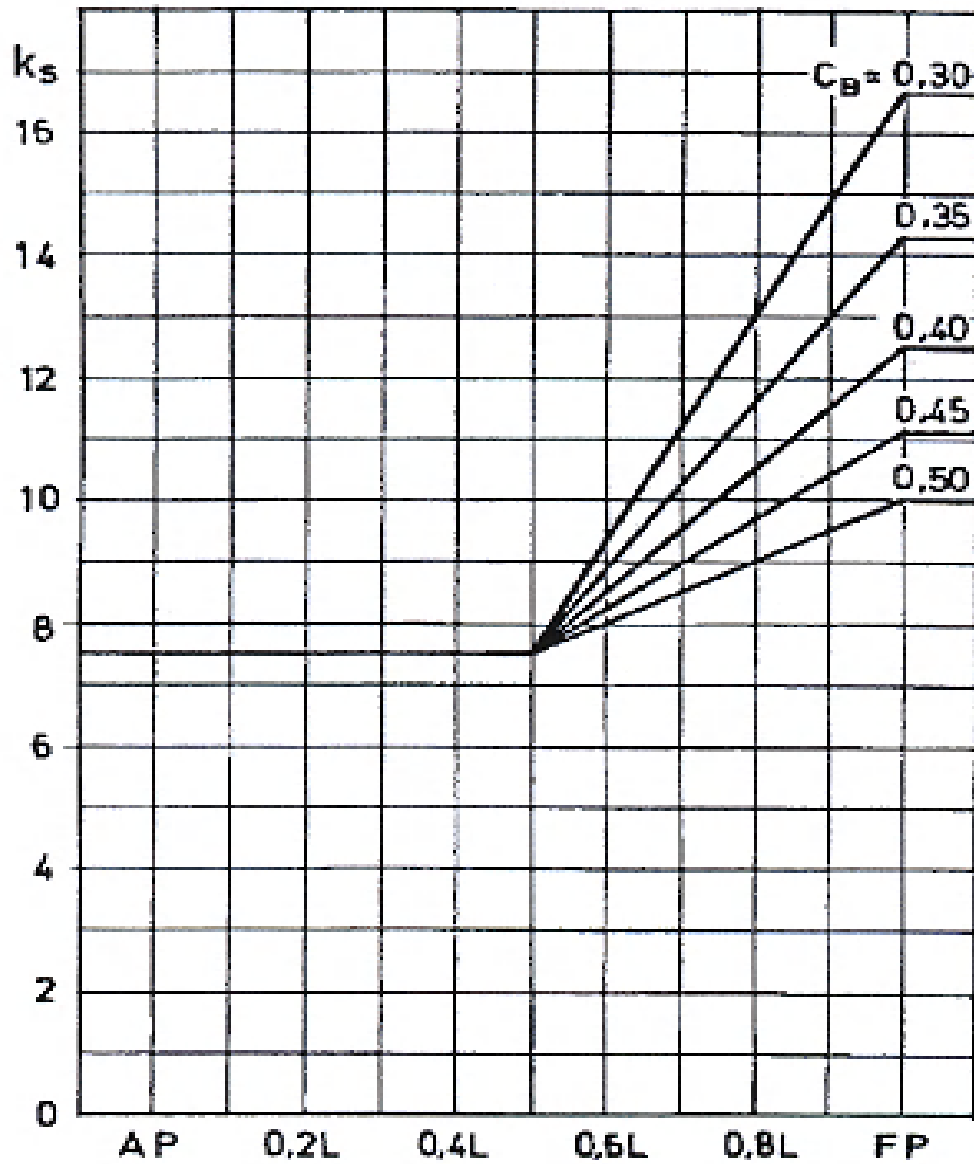
Στις ενδιάμεσες περιοχές η τιμή του k_s υπολογίζεται από το Σχήμα 2.20

$C_W =$ κυματικός συντελεστής όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.21

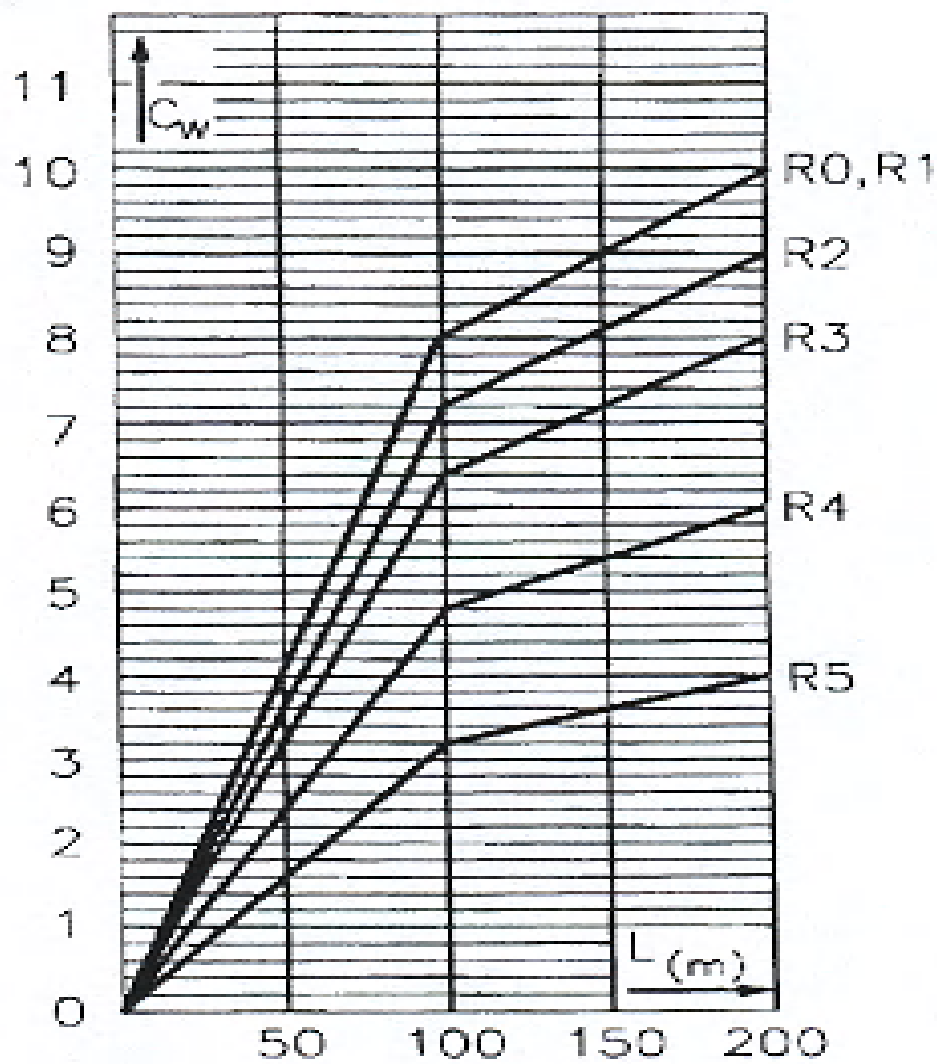
Για απεριόριστη περιοχή υπηρεσίας:

$$C_w = 0,08 L \text{ για } L \leq 100 \text{ m}$$

$$C_w = 6 + 0,02 L \text{ για } L > 100 \text{ m}$$



Σχήμα 2.18: Συντελεστής k_s



Σχήμα 2.19: Κυματικός συντελεστής C_w

Όπως αναγράφεται σαφώς μέσα στον κανονισμό η συνολική πίεση σχεδίασης είναι η μεγαλύτερη από τις πιέσεις που υπολογίζονται παραπάνω.

2.3.5 GL 2002

Οι σχεδιαστικές πιέσεις δίνονται στον Πίνακα 2.26

Πίνακας 2.26: Σχεδιαστικές πιέσεις

Περιοχή γάστρας	Ταχύπλοα σκάφη	Σκάφη εκτοπίσματος
	Σχεδιαστικές φορτίσεις [kN/m ²]	
Πυθμένας γάστρας ≥ 0,4 L έως προραία κάθετο < 0,4 L έως πρυμναία κάθετο	P _{dBM}	P _{dBS}
	2,7 L + 3,29	3,29 L - 1,41
	2,16 L + 2,63	2,63 L - 1,13
Πλευρά γάστρας ≥ 0,4 L έως προραία κάθετο < 0,4 L έως πρυμναία κάθετο	P _{dSM}	P _{dSS}
	1,88 L + 1,76	2,06 L - 2,94
	1,5 L + 1,41	1,65 L - 2,35

όπου

$$L = \frac{L_H + L_{WL}}{2} \quad [\text{m}] \quad (2.56)$$

L_H = ολικό μήκος σκάφους, σε m

L_{WL} = μήκος ισάλου, σε m

Για κατασκευές διαφορετικές από τις συνήθεις μονολιθικές κατασκευές από ίνες γυαλιού και απλούς συνδυασμούς αυτών π.χ. συνδυασμοί στρώσεων υαλοπιλημάτων και υαλοϋφασμάτων, ο γερμανικός νηογνώμονας υπολογίζει με διαφορετικό τρόπο τις σχεδιαστικές πιέσεις με τύπους στην μορφή αυτών του ISO/CD 12215-5 (draft international standard, 2000-06-30). Σε αυτές τις κατασκευές εντάσσονται και οι κατασκευές sandwich που είναι και πιο πιθανό να συναντηθούν σε κατασκευές μικρών σκαφών αναψυχής. Έτσι σύμφωνα με τον κανονισμό, η πίεση σχεδίασης στον πυθμένα είναι η μεγαλύτερη από την κρουστική πίεση στον πυθμένα (σχέση 2.61) και την πίεση του πυθμένα για μορφές εκτοπίσματος (σχέση 2.62).

$$P_{b1} = \frac{100 \cdot D}{L_{WL} \cdot B_{WL}} \cdot (1 + n_{cg}) \cdot k_L \cdot k_{ar} \quad [\text{kPa}] \quad (2.57)$$

$$P_{b2} = 11,76 \cdot (3 \cdot T_C + 0,23 \cdot L_{WL}) \cdot k_{ar} \cdot k_L \cdot f_{oc} \quad [\text{kPa}] \quad (2.58)$$

$$P_{b2,\min} = 10 \cdot H \quad [\text{kPa}] \quad (2.59)$$

όπου

$$n_{cg} = 0,00013 \cdot \left(\frac{f_{oc} \cdot L_{WL}}{10 \cdot B_{WL}} + 0,084 \right) \cdot (50 - \beta) \cdot \frac{V^2 \cdot B_{WL}^2}{D} \quad [\text{g}^3 \text{s}] \quad (2.60)$$

k_L = συντελεστής διαμήκους κατανομής πίεσης γάστρας έτσι όπως υπολογίζεται από τις εξισώσεις που ακολουθούν:

$$k_L = 0,13 \cdot \left[1,4 \cdot x_L \cdot \left(10 - \frac{V}{\sqrt{L_{WL}}} \right) + 0,706 \cdot \frac{V}{\sqrt{L_{WL}}} + 0,64 \right] \quad (2.61)$$

$$k_{L,\min} = 0,13 \cdot \left[\left(0,35 \cdot \frac{V}{\sqrt{L_{WL}}} \right) + 4,14 \right]$$

$$k_{L,\max} = 1$$

k_{ar} = συντελεστής μείωσης της σχεδιαστικής επιφάνειας για ιστιοπλοϊκά σκάφη είναι:

$$k_{ar} = \left[0,673 - 0,52 \cdot \left(\frac{u^{0,75} - 1,7}{u^{0,75} + 1,7} \right) \right] \quad (2.62)$$

$$k_{ar,\min} = 0,4$$

$$u = 100 \frac{A_d}{A_r} \quad (2.63)$$

για ταχύπλοα σκάφη είναι:

$$k_{ar} = \left[0,455 - 0,35 \cdot \left(\frac{u^{0,75} - 1,7}{u^{0,75} + 1,7} \right) \right] \quad (2.64)$$

A_r = η επιφάνεια αναφοράς, σε m

$$A_r = 0,45 \cdot L_{WL} \cdot B_{WL} \quad [\text{m}] \quad (2.65)$$

D = εκτόπισμα, σε m

B_{WL} = μέγιστο πλάτος στην ίσαλο, σε m

V = μέγιστη ταχύτητα σε ήρεμο νερό, όχι μικρότερη από $3 \cdot \sqrt{L_{WL}}$, σε kn

β = γωνία ανύψωσης πυθμένα, όχι μικρότερη από 10° και όχι μεγαλύτερη από 30° , σε μοίρες

f_{oc} = συντελεστής σχεδιαστικής κατηγορίας όπως φαίνεται στον πίνακα 2.27

A_d = επιφάνεια σχεδίασης, σε m^2

A_d = για τις πλάκες είναι η επιφάνεια της πλάκας αλλά όχι μεγαλύτερο από 2 b^2

A_d = για τα ενισχυτικά είναι η επιφάνεια της πλάκας υποστηριζόμενη από το ενισχυτικό αλλά όχι μικρότερο από $0,33 \text{ l}^2$

b = η μικρή πλευρά της πλάκας

l = το ανυποστήρικτο μήκος του ενισχυτικού

T_C = μέγιστο βύθισμα γάστρας χωρίς τα παρελκόμενα, με $T_{c\min} = 0,062 \cdot L_{WL} - 0,26$, σε m

H = είναι η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ του κατώτερου σημείου της γάστρας χωρίς τα παρελκόμενα και της ανώτερης άκρης του καταστρώματος μετρούμενο στο πλάι του σκάφους στην μέση του μήκους της ισάλου.

Πίνακας 2.27: Συντελεστής σχεδιαστικής κατηγορίας

Κατηγορία υπηρεσίας	1	2	3	4 και 5
f_{oc}	1	0,95	0,85	0,7

Σχεδιαστικές κατηγορίες:

- 1 – απεριόριστη περιοχή υπηρεσίας μακριά από τις ακτογραμμές
- 2 – περιοχή υπηρεσία μέσα στα 200 ναυτικά μιλιά από την ακτή
- 3 – περιοχή υπηρεσία μέσα στα 20 ναυτικά μιλιά από την ακτή
- 4 – σκάφη για ημερήσια ταξίδια μεταξύ κοντινών λιμανιών πολύ κοντά στην ακτογραμμή και με περιοχή υπηρεσία μέσα στα 3 ναυτικά μιλιά από την ακτή
- 5 - περιοχή υπηρεσία μέσα στα 0,75 ναυτικά μιλιά από την ακτή

2.3.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρατηρώντας τις εξισώσεις που δίνει ο κάθε κανονισμός για τον υπολογισμό των κατακόρυφων επιταχύνσεων (όπου αυτές δίνονται) και των σχεδιαστικών πιέσεων μπορούμε να καταλήξουμε σε χρήσιμα συμπεράσματα. Αυτά θα μας βοηθήσουν στην κατανόηση και την καλύτερη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν κατά την εφαρμογή των κανονισμών σε σκάφη, που θα γίνει στα επόμενα κεφάλαια.

- Κατακόρυφη επιτάχυνση.

Υπολογισμός της κατακόρυφης επιτάχυνσης η οποία χρησιμεύει στον υπολογισμό των πιέσεων σχεδίασης γίνεται από όλους σχεδόν τους κανονισμούς. Εξαιρέση αποτελούν το πρότυπο του ISO/DIS 12215-5.2 για ιστιοπλοϊκά σκάφη, ο κανονισμός του αμερικάνικου νηογνώμονα για τα σκάφη αναψυχής στο τμήμα για σκάφη εκτοπίσματος, και ο γερμανικός νηογνώμονας ο οποίος δίνει απευθείας τον υπολογισμό των σχεδιαστικών πιέσεων. Από τους κανονισμούς που δίνουν τρόπο υπολογισμού της κατακόρυφης επιτάχυνσης και συγκρίνοντας τις εξισώσεις 2.4 (πρότυπο ISO/DIS 12215-5.2 για ταχύπλοα σκάφη), 2.15 (κανονισμός αμερικάνικου νηογνώμονα για σκάφη αναψυχής), 2.21 (κανονισμός βρετανικού νηογνώμονα για σκάφη με $\Gamma \geq 3$ ή με $\Delta \leq 0,04 (L_R B)^{1,5}$) και 2.48 (κανονισμός νορβηγικού νηογνώμονα για σκάφη με $\frac{V}{\sqrt{L}} \geq 3$) παρατηρούμε πολλές ομοιότητες. Φαίνεται όλοι οι κανονισμοί να ακολουθούν μια γενική μορφή εξίσωσης με κάποιες μικρές διαφοροποιήσεις. Η εξίσωση αυτή είναι της μορφής:

$$n = N_1 \cdot \left(\frac{L_w}{B} + N_2 \right) \cdot \tau \cdot (50 - \beta) \cdot \frac{V^2 B^2}{\Delta}$$

όπου

N_1, N_2 = συντελεστές που δίνει ο κάθε κανονισμός

L_w = μήκος ισάλου γραμμής

B = μέγιστο πλάτος

τ = γωνία trim

β = γωνία ανύψωσης πυθμένα

V = μέγιστη ταχύτητα

Δ = εκτόπισμα

Οι διαφοροποιήσεις που παρατηρούνται σε κάθε κανονισμό πέραν των διαφορετικών συντελεστών είναι:

Στο πρότυπο του ISO/DIS 12215-5.2 και στον κανονισμό του νορβηγικού νηογνώμονα δεν χρησιμοποιείται η γωνία trim και στους κανονισμούς του βρετανικού και νορβηγικού νηογνώμονα το μήκος ισάλου γραμμής αντικαθίσταται από το σημαντικό ύψος κύματος. Η μορφή της εξίσωσης αυτής δεν ακολουθείται για σκάφη με $\Gamma < 3$ και με $\Delta > 0,04 (L_R B)^{1,5}$ όπως ορίζονται από τον βρετανικό νηογνώμονα και για σκάφη με $\frac{V}{\sqrt{L}} < 3$ όπως ορίζονται από τον νορβηγικό νηογνώμονα. Για τα σκάφη που ακολουθούν αυτούς τους περιορισμούς (σκάφη εκτοπίσματος) δίνονται διαφορετικές σχέσεις υπολογισμού της κατακόρυφης επιτάχυνσης μη συγκρίσιμες με τον γενικό τύπο και μεταξύ τους.

- Σχεδιαστικές πιέσεις.

Και κατά τον υπολογισμό των σχεδιαστικών πιέσεων μπορούμε εύκολα να παρατηρήσουμε τις ομοιότητες μεταξύ του προτύπου του ISO/DIS 12215-5.2 και των κανονισμών του αμερικάνικου νηογνώμονα.

2.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΧΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΠΟΛΥΣΤΡΩΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΜΟΝΟΛΙΘΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

2.4.1 ISO/DIS 12215-5.2

Το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος της πλάκας είναι το μεγαλύτερο από:

$$t_1 = b f_k \sqrt{\frac{P k_2}{1000 \sigma_d}} \quad [\text{mm}] \quad (2.66)$$

$$t_2 = b f_k \sqrt[3]{\frac{P k_3}{1000 k_1 E_f}} \quad [\text{mm}] \quad (2.67)$$

όπου

b = η μικρή διάσταση της πλάκας, σε mm

P = πίεση σχεδίασης, σε kN/m^2

k_1 = συντελεστής καμπτικής ακαμψίας

$k_1 = 0,047$

k_2 = συντελεστής εξαρτώμενος από τον λόγο πλευρών της πλάκας, όπως δίνεται από την σχέση 2.68

$$k_2 = \frac{0,271 \left(\frac{l}{b}\right)^2 + 0,910 \left(\frac{l}{b}\right) - 0,554}{\left(\frac{l}{b}\right)^2 - 0,313 \left(\frac{l}{b}\right) + 1,351} \quad (2.68)$$

k_3 = συντελεστής εξαρτώμενος από τον λόγο πλευρών της πλάκας, όπως δίνεται από την σχέση 2.68

$$k_3 = \frac{0,027 \left(\frac{l}{b}\right)^2 - 0,029 \left(\frac{l}{b}\right) + 0,011}{\left(\frac{l}{b}\right)^2 - 1,463 \left(\frac{l}{b}\right) + 1,108} \quad (2.69)$$

f_k = συντελεστής διόρθωσης για κυρτωμένες πλάκες, όπως δίνεται στον Πίνακα 2.28

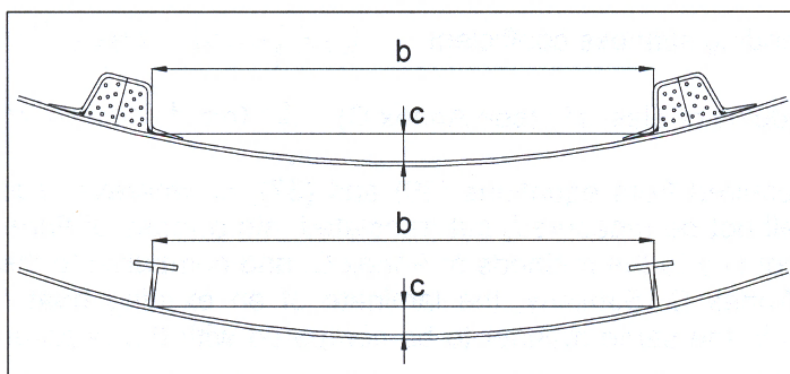
E_f = μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη, σε N/mm^2

σ_d = τάση σχεδίασης της πλάκας, όπως δίνεται στον Πίνακα 2.29

Πίνακας 2.28: Συντελεστής διόρθωσης για κυρτωμένες πλάκες f_k

c/b	f_k
0 έως 0,03	1
0,03 έως 0,12	1,1 - 3,33 c/b
> 0,12	0,7

c = κυρτότητα πλάκας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.20



Σχήμα 2.20: Κυρτότητα πλάκας

Πίνακας 2.29: Τάσεις σχεδίασης πλάκας

Υλικό	Κατασκευαστικό στοιχείο	τάση σχεδίασης
Μονολιθική κατασκευή	Πυθμένας και πλευρές γάστρας	$0,5\sigma_{uf}$
	Καταστρώματα και υπερκατασκευές	$0,5\sigma_{uf}$
	Κατασκευαστικές φρακτές και φρακτές δεξαμενών	$0,5\sigma_{uf}$
	Υδατοστεγείς φρακτές	$0,625\sigma_{uf}$

σ_{uf} = η ελάχιστη τιμή της αντοχής σε κάμψη του υλικού, σε N/mm^2

2.4.2 ABS Motor Pleasure Yachts

Ταχύπλοα σκάφη

Το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος είναι το μεγαλύτερο από αυτά που προκύπτουν από τις παρακάτω σχέσεις:

$$t_1 = s c \sqrt{\frac{p k}{1000 \sigma_a}} \quad [\text{mm}] \quad (2.70)$$

$$t_2 = s c \sqrt[3]{\frac{p k_1}{1000 k_2 E_f}} \quad [\text{mm}] \quad (2.71)$$

$$t_3 = k_3 (c_1 + 0,26L) \sqrt{q_1} \quad [\text{mm}] \quad (2.72)$$

όπου

s = η μικρή διάσταση της πλάκας, σε mm

p = πίεση σχεδίασης, σε kN/m^2

c = συντελεστής διόρθωσης για κυρτωμένες πλάκες, παράλληλα στην κοντή πλευρά

$c = (1-A/s)$ αλλά όχι μικρότερο από 0,70

A = η κάθετη απόσταση μετρούμενη από την χορδή s στο πιο απομακρυσμένο σημείο της κυρτωμένης πλάκας, σε mm

k_1 = συντελεστής εξαρτώμενος από το λόγο πλευρών της πλάκας, όπως δίνεται στον Πίνακα 2.30

$k_2 = 0,015$ για τη γάστρα και για το κύριο κατάστρωμα του σκάφους

$k_2 = 0,020$ για τις υπερκατασκευές και τις καμπίνες καταστρώματος

k_3 και c_1 = συντελεστές για την τοποθεσία και την υπηρεσία όπως δίνονται στον Πίνακα 2.31

k = συντελεστής εξαρτώμενος από το λόγο πλευρών της πλάκας, όπως δίνεται στον Πίνακα 2.30

E_F = μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη, σε N/mm^2

σ_a = τάσης σχεδίασης της πλάκας, όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.32

σ_u = η ελάχιστη αντοχή του υλικού σε κάμψη, σε N/mm^2

$q_1 = 170/F$, μονάδες SI

F = ελάχιστη αντοχή σε κάμψη του πολύστρωτου, σε N/mm^2

L = μήκος σκάφους, σε m

Πίνακας 2.30: Συντελεστής εξαρτώμενος από τον λόγο πλευρών της πλάκας k_1

l/s	k	k_1
> 2.0	0.50	0.028
2.0	0.497	0.028
1.9	0.493	0.027
1.8	0.487	0.027
1.7	0.479	0.026
1.6	0.468	0.025
1.5	0.454	0.024
1.4	0.436	0.024
1.3	0.412	0.021
1.2	0.383	0.019
1.1	0.348	0.017
1.0	0.308	0.014

l = η μεγάλη διάσταση της πλάκας, σε mm

Πίνακας 2.31: Συντελεστές c_1 και k_3

	c_1 mm	k_3	
		πυθμένας	πλευρά και κατάστρωμα
απεριόριστη περιοχή υπηρεσίας	3.2	1.1	1.0
περιορισμένη περιοχή υπηρεσίας	5.7	1.2	1.0

Πίνακας 2.32: Τάση σχεδίασης πλάκας

Πυθμένας γάστρας	0,33 σ_u
Πλευρικό τμήμα γάστρας	0,33 σ_u
Καταστρώματα	0,33 σ_u
Υπερκατασκευές	0,33 σ_u
Φρακτές δεξαμενών	0,33 σ_u
Υδατοστεγείς φρακτές	0,5 σ_u

Σκάφη εκτοπίσματος

Το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος που προκύπτει για τα σκάφη εκτοπίσματος είναι το μεγαλύτερο από:

$$t_1 = 0,015 s c \sqrt{k h q_1} \quad [\text{mm}] \quad (2.73)$$

$$t_2 = 0,0518 s c \sqrt[3]{k_1 h q_2} \quad [\text{mm}] \quad (2.74)$$

$$t_3 = k_3 (c_1 + 0,26L) \sqrt{q_1} \quad [\text{mm}] \quad (2.75)$$

όπου

s = η μικρή διάσταση της πλάκας, σε mm

c = συντελεστής διόρθωσης για κυρτωμένες πλάκες, παράλληλα στην κοντή πλευρά

c = (1-A/s) αλλά όχι μικρότερο από 0,70

A = η κάθετη απόσταση μετρούμενη από την χορδή s στο πιο απομακρυσμένο σημείο της κυρτωμένης πλάκας, σε mm

h = σχεδιαστική υδροστατική πίεση όπως υπολογίζεται από τον κανονισμό, σε m

h = για την κατασκευή του πυθμένα είναι η απόσταση έως το κύριο καιροστεγές κατάστρωμα στις πλευρές, από την κατώτερη άκρη της επιφάνειας για τις πλάκες και από το κέντρο της περιοχής στήριξης για τα ενισχυτικά, αλλά όχι μικρότερο από L/10 ή 2,15 m όποιο είναι μεγαλύτερο.

k = συντελεστής εξαρτώμενος από τον λόγο πλευρών της πλάκας, όπως δίνεται στον Πίνακα 2.30

k₁ = συντελεστής εξαρτώμενος από τον λόγο πλευρών της πλάκας, όπως δίνεται στον Πίνακα 2.30

q₁ = 170/F, μονάδες SI

F = αντοχή σε κάμψη του πολύστρωτου, σε N/mm²

q₂ = 7580/E_F, μονάδες SI

E_F = μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη, σε N/mm²

k₃ και c₁ = συντελεστές για την τοποθεσία και την υπηρεσία όπως δίνονται στον Πίνακα 2.33

L = μήκος σκάφους, σε m

Πίνακας 2.33: Συντελεστές c_1 και k_3

c_1 (mm)	k_3	
	πυθμένας	πλευρά και κατάστρωμα
3.0	1.0	0.90

2.4.3 Lloyd's Register of Shipping

Το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος που προκύπτει με βασικό κριτήριο την καμπτική ακαμψία της κατασκευής προκύπτει από την σχέση:

$$t = 0,146 b \sqrt[3]{\frac{p}{E_{tp}}} \quad [\text{mm}] \quad (2.76)$$

όπου

b = η μικρή διάσταση της πλάκας, σε mm

p = πίεση σχεδίασης, σε kN/m^2

E_{tp} = μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό, in N/mm^2

Σύμφωνα με τον κανονισμό του LRS αφού εκτιμηθεί το πάχος της πλάκας που προκύπτει από την χρήση της σχέσης 2.76, πραγματοποιούμε έλεγχο τάσης της εξώτατης στρώσης με τις παρακάτω σχέσεις:

$$\sigma_{ii} = \frac{0.1 E_{ii} \psi_i M}{\sum (E_i I_i)} \quad (2.77)$$

$$\sigma_{ci} = \frac{0.1 E_{ci} \psi_i M}{\sum (E_i I_i)} \quad (2.78)$$

$$M_b = \frac{k p b^2}{12} 10^{-5} \quad (2.79)$$

Οι τιμές των σ_{ii} , σ_{ci} δεν πρέπει να ξεπερνούν τις αντίστοιχες μέγιστες τιμές του υλικού με έναν συντελεστή ασφαλείας ίσο με 4.

2.4.4 DET NORSKE VERITAS

Ο συντελεστής κάμψης ενός πολύστρωτου δίνεται από τη σχέση:

$$\delta = \frac{w}{t} \quad (2.80)$$

Ο συντελεστής αυτός για μια συγκεκριμένη πλάκα είναι ίσος με:

$$\delta = \frac{10^9 b^4 p}{t^4 E C_1} \quad (2.81)$$

όπου

δ = μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή από τον κανονισμό ίση με 2

C_1 = συντελεστής εξαρτώμενος από τον λόγο πλευρών της πλάκας

$$C_1 = A_0 + A_1(b/a)^1 + A_2(b/a)^2 + A_3(b/a)^3 + A_4(b/a)^4 + A_5(b/a)^5$$

Πακτωμένες πλευρές:

$$A_0 = 35.0; A_1 = 1.0; A_2 = 1.0; A_3 = 8.0; A_4 = 7.0; A_5 = 20.0$$

Μερικώς Πακτωμένες πλευρές:

$$A_0 = 15.0; A_1 = 1.0; A_2 = 1.0; A_3 = 2.0; A_4 = 3.0; A_5 = 10.0$$

Απλά εδρασμένες πλευρές:

$$A_0 = 7.0; A_1 = 1.0; A_2 = 1.0; A_3 = 5.0; A_4 = 5.0; A_5 = 4.0$$

b = η μικρή διάσταση της πλάκας, σε m

p = πίεση σχεδίασης, σε kN/m^2

E = μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό, in N/mm^2

Η καμπτική αντοχή της πλάκας σύμφωνα με τον κανονισμό δίνεται από την σχέση:

$$\sigma = C_3 1000 p \frac{b^2}{t^2} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (2.82)$$

όπου

C_3 = συντελεστής εξαρτώμενος από τον λόγο πλευρών της πλάκας

$$C_3 = A_0 + A_1(1-b/a)^1 + A_2(1-b/a)^2 + A_3(1-b/a)^3 + A_4(1-b/a)^4 + A_5(1-b/a)^5$$

Πακτωμένες πλευρές:

$$A_0 = 0.3; A_1 = 0.5; A_2 = -0.2; A_3 = -0.08; A_4 = 0.0; A_5 = 0.0 \text{ for } b/a > 0.45$$

Μερικώς Πακτωμένες πλευρές:

$$A_0 = 0.3; A_1 = 0.3; A_2 = -0.15; A_3 = 0.0; A_4 = -0.004; A_5 = 0.0 \text{ for } b/a > 0.40$$

Απλά εδρασμένες πλευρές:

$$A0 = 0.3; A1 = 0.58; A2 = 0.04; A3 = -0.06; A4 = -0.07; A5 = -0.04$$

$$\sigma = 0.3 \sigma_{nu}$$

$$\sigma_{nu} = \text{αντοχή σε εφελκυσμό του πολύστρωτου, σε } N/mm^2$$

2.4.5 GL 2002

Σύμφωνα με τον κανονισμό του γερμανικού νηογνώμονα δεν δίνεται κάποια απαίτηση για το πάχος του πολύστρωτου αλλά για το επιφανειακό του βάρος, όπως αυτό υπολογίζεται από τους Πίνακες 2.34 και 2.35.

Πίνακας 2.34: Απαίτηση ελάχιστου επιφανειακού βάρους γυαλιού για ταχύπλοα σκάφη

Συνολικό βάρος γυαλιού πολύστρωτου γάστρας ταχύπλοων σκαφών [g/m ²]	
Πυθμένες γάστρας	$G_{WB} = 1,57 b F_p F_{VB} P_{dBM}^{1/2}$ $G_{WB(min)} = 1,10 (350 + 5L) P_{dBM}^{1/2}$ $G_{WB(min)} \geq G_{WS}$
Πλευρές γάστρας	$G_{WS} = 1,57 b F_p F_{VS} P_{dSM}^{1/2}$ $G_{WS(min)} = 1,10 (350 + 5L) P_{dSM}^{1/2}$ $G_{WS(min)} \geq 1200$
Τρόπιδα	$G_{WS(min)} = 2,35 (350 + 5L) P_{dBM}^{1/2}$

Πίνακας 2.35: Απαίτηση ελάχιστου επιφανειακού βάρους γυαλιού για ιστιοπλοϊκά σκάφη (σκάφη εκτοπίσματος)

Συνολικό βάρος γυαλιού πολύστρωτου γάστρας ιστιοπλοϊκών σκαφών [g/m ²]	
Πυθμένες γάστρας	$G_{WB} = 1,57 b F_p F_{VB} P_{dBS}^{1/2}$ $G_{WB(min)} = 1,10 (350 + 5L) P_{dBS}^{1/2}$ $G_{WB(min)} \geq G_{WS}$
Πλευρές γάστρας	$G_{WS} = 1,57 b F_p F_{VS} P_{dSS}^{1/2}$ $G_{WS(min)} = 1,10 (350 + 5L) P_{dSS}^{1/2}$ $G_{WS(min)} \geq 1200$
Καρίνα	$G_{WF} = 1,70 (350 + 5L) (2,4 L + 28)^{1/2}$
Τρόπιδα	$G_{WK} = 1,70 (350 + 5L) (3,3 L + 66,5)^{1/2}$

όπου

F_p = συντελεστής διόρθωσης για λόγο πλευρών R

$$F_p = (0,54 + 0,23 R) \leq 1,0$$

R = λόγος πλευρών πλάκας ≥ 1

F_{VB}, F_{VS} = όπως δίνονται στον Πίνακα 2.48

$b = \eta$ μικρή πλευρά της πλάκας, σε mm

Αν οι μηχανικές ιδιότητες ή η περιεκτικότητα σε γυαλί του πολύστρωτου που χρησιμοποιείται διαφέρουν από αυτές του βασικού πολύστρωτου, όπως αυτό αναφέρεται από τον κανονισμό, τότε οι τιμές από τους Πίνακες 2.20 και 2.21 πρέπει να πολλαπλασιαστούν με τους συντελεστές k_w και k_t όπως αυτοί υπολογίζονται παρακάτω.

A. Αν οι τιμές της αντοχής σε κάμψη και της περιεκτικότητας σε γυαλί κατά βάρος του πολύστρωτου έχουν υπολογισθεί βάσει των κεφαλαίων C4 έως C6 του κανονισμού, τότε:

$$k_w = \frac{5,27 - \Psi}{1,88 - \Psi} \cdot \sqrt{\frac{152}{\sigma_{bB}}} \quad (2.83)$$

B. Αν οι τιμές της αντοχής σε κάμψη και της περιεκτικότητας σε γυαλί κατά βάρος του πολύστρωτου δεν έχουν υπολογισθεί βάσει των κεφαλαίων C4 έως C6 του κανονισμού, τότε:

$$k_w = 2,8\Psi + 0,16 \quad (2.84)$$

Γ. Αν οι τιμές της αντοχής σε κάμψη και της περιεκτικότητας σε γυαλί κατά βάρος του πολύστρωτου έχουν υπολογισθεί βάσει των κεφαλαίων C4 έως C6 του κανονισμού, τότε:

$$k_t = \sqrt{\frac{152}{\sigma_{bB}}} \quad (2.85)$$

Δ. Αν οι τιμές της αντοχής σε κάμψη και της περιεκτικότητας σε γυαλί κατά βάρος του πολύστρωτου δεν έχουν υπολογισθεί βάσει των κεφαλαίων C4 έως C6 του κανονισμού, τότε:

$$k_t = \sqrt{\frac{1}{3,3\Psi^2 + 0,703}} \quad (2.86)$$

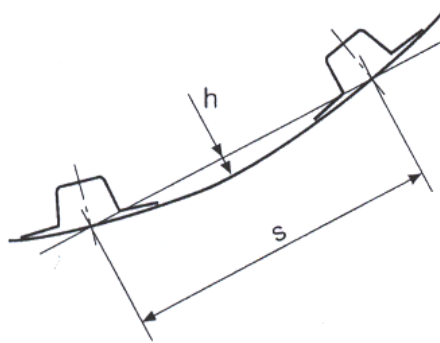
Για πλάκες με κυρτότητα οι τιμές των Πινάκων 2.22 και 2.23 πρέπει να πολλαπλασιαστούν με τον συντελεστή f_k όπως αυτός φαίνεται στον Πίνακα 2.2

Πίνακας 2.36: Συντελεστής f_k

h/s	f_k
0 – 0,03	1,0
0,03 – 0,1	$1,1 - 3 \cdot \frac{h}{s}$
$\geq 0,1$	0,8

όπου

h και s = όπως φαίνονται στο Σχήμα 2.21



Σχήμα 2.21: h και s

2.4.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την μελέτη των εξισώσεων που προτείνει ο κάθε κανονισμός, έτσι όπως αυτές παρατέθηκαν στο κεφάλαιο αυτό, μπορούμε να καταλήξουμε στα εξής βασικά συμπεράσματα.

- Όλοι οι κανονισμοί δίνουν τουλάχιστον δυο εξισώσεις υπολογισμού του ελάχιστου πάχους σχεδίασης πολύστρωτης πλάκας μονολιθικής κατασκευής. Η μια εξίσωση δίνει το πάχος της πλάκας με κριτήριο την καμπτική ακαμψία και η άλλη το πάχος της πλάκας που προκύπτει με κριτήριο την καμπτική αντοχή. Ο βρετανικός νηογνώμονας δεν δίνει εξίσωση υπολογισμού του πάχους με κριτήριο την καμπτική αντοχή αλλά προτείνει έλεγχο τάσης της πλάκας με χρήση του πάχους που έχει προκύψει από την απαίτηση για την καμπτική ακαμψία.
- Κατά την σύγκριση των κανονισμών του προτύπου του ISO/DIS 12215-5.2 και του αμερικάνικου νηογνώμονα για σκάφη αναψυχής παρατηρούμε την χρήση ίδιων συντελεστών. Και στους δυο κανονισμούς εμφανίζεται ο συντελεστής διόρθωσης για κυρτωμένες πλάκες και δυο συντελεστές εξαρτώμενοι από τον λόγο πλευρών της πλάκας.
- Στον κανονισμό του αμερικάνικου νηογνώμονα για σκάφη αναψυχής στο τμήμα για σκάφη εκτοπίσματος οι συντελεστές ασφαλείας που χρησιμοποιούνται από τον κανονισμό είναι κρυμμένοι μέσα στις εξισώσεις και δεν δίνονται καθαρά όπως γίνεται στους υπόλοιπους κανονισμούς. Αυτό συμβαίνει λόγω της διαφοροποίησης των εξισώσεων από την χρήση του υδροστατικού ύψους στη θέση της πίεσης σχεδίασης που χρησιμοποιείται από τους υπόλοιπους κανονισμούς. Θα γίνει προσπάθεια εύρεσης των συντελεστών ασφαλείας αυτού του τμήματος του κανονισμού στο κεφάλαιο της αντίστροφης ανάλυσης.
- Ο νορβηγικός νηογνώμονας δεν δίνει απευθείας σχέσεις υπολογισμού του πάχους, αλλά δίνει εξισώσεις υπολογισμού του συντελεστή κάμψης και της καμπτικής αντοχής ως προς το πάχος του πολύστρωτου. Δίνοντας και τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές των δύο μεγεθών, μπορούμε να λύσουμε τις δυο σχέσεις ως προς το πάχος και να καταλήξουμε σε εξισώσεις αντίστοιχες με των άλλων κανονισμών. Αυτό θα γίνει στο κεφάλαιο της αντίστροφης ανάλυσης των εξισώσεων των κανονισμών όπου θα υπάρχουν και αναλυτικότερα συμπεράσματα για τις ομοιότητες και τις διαφορές των σχέσεων μεταξύ τους.
- Ο κανονισμός του γερμανικού νηογνώμονα δίνει πίνακες απαιτήσεων του ελάχιστου επιφανειακού βάρους του πολύστρωτου για ταχύπλοα σκάφη και σκάφη εκτοπίσματος. Γενικά η μέθοδος υπολογισμού που έχει επιλέξει διαφέρει από τις μεθόδους των υπόλοιπων κανονισμών. Οι συντελεστές ασφαλείας είναι κρυμμένοι μέσα στους τύπους υπολογισμού.
- Οι συντελεστές ασφαλείας που χρησιμοποιούνται κατά τον υπολογισμό του ελάχιστου απαιτούμενου πάχους της πλάκας με βασικό κριτήριο την καμπτική

αντοχή, σε όσους κανονισμούς αυτοί δίνονται, διαφέρουν μεταξύ τους και δίνονται αναλυτικά στον Πίνακα 2.37 που ακολουθεί.

- Στον υπολογισμό του βρετανικού νηογνώμονα χρησιμοποιείται το μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό σε αντίθεση με τους υπόλοιπους κανονισμούς που χρησιμοποιούν το μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη. Αυτός είναι ένας παράγοντας διαφοροποίησης των αποτελεσμάτων στα Κεφάλαια 3 και 5.
- Η τιμή της τάσης σχεδίασης της πλάκας εκτός από τον συντελεστή ασφαλείας επηρεάζεται και από το είδος της αντοχής του πολύστρωτου που έχει επιλεγεί από τον κάθε κανονισμό (εφελκυσμός, θλίψη ή κάμψη). Στον Πίνακα 2.38 φαίνονται οι απαιτήσεις του κάθε κανονισμού στο είδος της αντοχής του πολύστρωτου που θα χρησιμοποιήσουμε κατά τους υπολογισμούς μας.

Πίνακας 2.37: Συντελεστές ασφαλείας κατά τον υπολογισμό της ροπής αντίστασης

	ISO/DIS 12215-5.2	ABS Motor Pleasure Yachts	Lloyd's Register of Shipping	Det Norske Veritas
Πυθμένας γάστρας	2	3	4	3,33

Πίνακας 2.38: Απαίτηση κανονισμών στο είδος της αντοχής

	ISO/DIS 12215-5.2	ABS Motor Pleasure Yachts		Det Norske Veritas
		Ταχύπλοα σκάφη	Σκάφη εκτοπίσματος	
	σ_{uf}	σ_{uf}	σ_{uf}	σ_{ut}

- Από τον Πίνακα 2.38 παρατηρούμε ότι όλοι οι κανονισμοί χρησιμοποιούν την αντοχή σε κάμψη του πολύστρωτου με μόνη εξαίρεση των νορβηγικό νηογνώμονα που χρησιμοποιεί την αντοχή σε εφελκυσμό.
- Αναλυτικότερα συμπεράσματα από την σύγκριση του τυπολογίου του κάθε κανονισμού θα βγουν στο κεφάλαιο της αντίστροφης ανάλυσης.

2.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΧΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΠΛΑΚΑΣ SANDWICH

2.5.1 ISO/DIS 12215-5.2

Η ελάχιστη απαιτούμενη ροπή αντίστασης του εξωτερικού περιβλήματος του υλικού sandwich πλάτους 1cm είναι:

$$SM_o / 1 \text{ cm width} = \frac{b^2 f_k^2 P k_2}{6 \cdot 10^5 \sigma_{do}} \quad [\text{cm}^3] \quad (2.87)$$

Η ελάχιστη απαιτούμενη ροπή αντίστασης του εσωτερικού περιβλήματος του υλικού sandwich πλάτους 1cm είναι:

$$SM_i / 1 \text{ cm width} = \frac{b^2 f_k^2 P k_2}{6 \cdot 10^5 \sigma_{di}} \quad [\text{cm}^3] \quad (2.88)$$

Η ελάχιστη απαιτούμενη ροπή αδράνειας για μια λωρίδα υλικού sandwich πλάτους 1cm είναι:

$$I / 1 \text{ cm width} = \frac{b^3 f_k^3 P k_3}{12 \cdot 10^6 k_1 E_{TC}} \quad [\text{cm}^4] \quad (2.89)$$

όπου

b = η μικρή διάσταση της πλάκας, σε mm

f_k = συντελεστής διόρθωσης για κυρτωμένες πλάκες, όπως δίνεται στον Πίνακα 2.28

P = πίεση σχεδίασης, σε kN/m²

k₁ = συντελεστής καμπτική ακαμψίας

k₁ = 0,017

k₂ = συντελεστής εξαρτώμενος από τον λόγο πλευρών της πλάκας, όπως δίνεται από την σχέση 2.68

k₃ = συντελεστής εξαρτώμενος από τον λόγο πλευρών της πλάκας, όπως δίνεται από την σχέση 2.69

σ_{do} = τάση σχεδίασης του εξωτερικού περιβλήματος του υλικού sandwich, όπως δίνεται στον Πίνακα 2.39, σε N/mm²

σ_{di} = τάση σχεδίασης του εσωτερικού περιβλήματος του υλικού sandwich, όπως δίνεται στον Πίνακα 2.39, σε N/mm²

E_{tc} = είναι ο μέσος όρος των μέτρων ελαστικότητας σε εφελκυσμό και θλίψη του εξωτερικού και εσωτερικού περιβλήματος, σε N/mm²

Πίνακας 2.39: Σχεδιαστικές τάσεις

Υλικό	Κατασκευαστικό στοιχείο	τάση σχεδίασης σ_d [N/mm ²]
sandwich	Γάστρα, κατάστρωμα, υπερκατασκευές και δεξαμενές	0,5 σ_{ut} ή 0,5 σ_{uc}
	Υδατοστεγείς φρακτές	0,625 σ_{ut} ή 0,625 σ_{uc}

σ_{ut} = η ελάχιστη απόλυτη αντοχή σε εφελκυσμό του περιβλήματος, σε N/mm²

σ_{uc} = η ελάχιστη απόλυτη αντοχή σε θλίψη του περιβλήματος, σε N/mm²

Το ελάχιστο απαιτούμενο επιφανειακό βάρος γυαλιού ανά m² δίνεται από τις σχέσεις:

$$w_{os} = f_w k_4 k_5 k_6 (0,1 L_{wl} + 0,15) \quad [\text{kg/m}^2] \quad (2.90)$$

$$w_{is} = 0,7 w_{os} \quad [\text{kg/m}^2] \quad (2.91)$$

όπου

w_{os} = είναι το επιφανειακό βάρος γυαλιού ανά m² του εξωτερικού περιβλήματος

w_{is} = είναι το επιφανειακό βάρος γυαλιού ανά m² του εσωτερικού περιβλήματος

$k_4 = 1,0$ για τον πυθμένα και το πλευρικό μέρος της γάστρας μπροστά από το 0,6L_{WL}

$k_4 = 0,9$ για το πλευρικό μέρος της γάστρας, πίσω από το 0,6 L_{WL}

$k_4 = 0,8$ για το κατάστρωμα

$k_5 = 1,0$ για ενίσχυση με ίνες γυαλιού που περιέχει πάνω από 50% υαλούφασμα κατά βάρος

$k_5 = 0,9$ για συνεχόμενη ενίσχυση από γυαλί (π.χ. υαλούφασμα)

$k_5 = 0,7$ για συνεχόμενη ενίσχυση από ίνες aramid ή carbon

$k_6 = 0,9$ για σχεδιαστική κατηγορία C και D αγωνιστικών σκαφών

$k_6 = 1$ για τα υπόλοιπα σκάφη

2.5.2 ABS Motor Pleasure Yachts

Ταχύπλοα σκάφη

Η ελάχιστη απαιτούμενη ροπή αντίστασης του εξωτερικού περιβλήματος του υλικού sandwich πλάτους 1cm είναι:

$$SM_o = \frac{(sc)^2 p k}{6 \cdot 10^5 \sigma_{ao}} \quad [\text{cm}^3] \quad (2.92)$$

Η ελάχιστη απαιτούμενη ροπή αντίστασης του εσωτερικού περιβλήματος του υλικού sandwich πλάτους 1cm είναι:

$$SM_i = \frac{(sc)^2 p k}{6 \cdot 10^5 \sigma_{ai}} \quad [\text{cm}^3] \quad (2.93)$$

Η ελάχιστη απαιτούμενη ροπή αδράνειας για μια λωρίδα υλικού sandwich πλάτους 1cm είναι:

$$I = \frac{(sc)^3 P k_1}{120 \cdot 10^5 k_2 E_{TC}} \quad [\text{cm}^4] \quad (2.94)$$

όπου

s = η ισαπόσταση των διαμήκων ενισχυτικών της γάστρας, η μικρή διάσταση της πλάκας, σε mm

c = συντελεστής διόρθωσης για κυρτωμένες πλάκες, παράλληλα στην κοντή πλευρά

c = (1-A/s) αλλά όχι μικρότερο από 0,70

A = η κατακόρυφη απόσταση μετρούμενη από την χορδή s στο πιο απομακρυσμένο σημείο της κυρτωμένης πλάκας, σε mm

p = πίεση σχεδίασης, σε kN/m²

k = συντελεστής εξαρτώμενος από τον λόγο πλευρών της πλάκας, όπως δίνεται στον Πίνακα 2.30

k₂ = 0,015 για τη γάστρα και για το κύριο κατάστρωμα του σκάφους

k₂ = 0,020 για τις υπερκατασκευές και τις καμπίνες καταστρώματος

k₁ = συντελεστής εξαρτώμενος από τον λόγο πλευρών της πλάκας, όπως δίνεται στον Πίνακα 2.30

σ_{ao} = τάση σχεδίασης του εξωτερικού περιβλήματος του υλικού sandwich, όπως δίνεται στον Πίνακα 2.32, σε N/mm²

σ_{ai} = τάση σχεδίασης του εσωτερικού περιβλήματος του υλικού sandwich, όπως δίνεται στον Πίνακα 2.32, σε N/mm²

σ_u = για το εξωτερικό περίβλημα της γάστρας και του καταστρώματος, η ελάχιστη αντοχή σε εφελκυσμό του περιβλήματος, σε N/mm^2

σ_u = για το εσωτερικό περίβλημα της γάστρας και του καταστρώματος, η ελάχιστη απόλυτη αντοχή σε θλίψη του περιβλήματος, σε N/mm^2

$$E_{tc} = 0,5 (E_c + E_t)$$

E_t = η μέση τιμή του μέτρου ελαστικότητας σε εφελκυσμό της εξωτερικής και εσωτερικής στρώσης, σε N/mm^2

E_c = η μέση τιμή του μέτρου ελαστικότητας σε θλίψη της εξωτερικής και εσωτερικής στρώσης, σε N/mm^2

Το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος για το εξωτερικό και εσωτερικό περίβλημα δίνεται από τις σχέσεις:

$$t_{os} = 0,35k_3(C_1 + 0,26L) \quad [mm] \quad (2.95)$$

$$t_{is} = 0,25k_3(C_1 + 0,26L) \quad [mm] \quad (2.96)$$

όπου

k_3 και c_1 = συντελεστές για την τοποθεσία και την υπηρεσία όπως δίνονται στον Πίνακα 2.31

L = μήκος σκάφους, σε m

Σκάφη εκτοπίσματος

Η ελάχιστη απαιτούμενη ροπή αντίστασης του εξωτερικού περιβλήματος του υλικού sandwich πλάτους 1cm είναι:

$$SM_o = 5,2 \times 10^{-7} (sc)^2 khq_3 \quad [cm^3] \quad (2.97)$$

Η ελάχιστη απαιτούμενη ροπή αντίστασης του εσωτερικού περιβλήματος του υλικού sandwich πλάτους 1cm είναι:

$$SM_i = 5,2 \times 10^{-7} (sc)^2 khq_3 \quad [cm^3] \quad (2.98)$$

Η ελάχιστη απαιτούμενη ροπή αδράνειας για μια λωρίδα υλικού sandwich πλάτους 1cm είναι:

$$I = 1,1 \times 10^{-8} (sc)^3 k_1 hq_4 \quad [cm^4] \quad (2.99)$$

όπου

s = η μικρή διάσταση της πλάκας, σε mm

c = συντελεστής διόρθωσης για κυρτωμένες πλάκες, παράλληλα στην κοντή πλευρά

$c = (1-A/s)$ αλλά όχι μικρότερο από 0,70

A = η κατακόρυφη απόσταση μετρούμενη από την χορδή s στο πιο απομακρυσμένο σημείο της κυρτωμένης πλάκας, σε mm

k_1 = συντελεστής εξαρτώμενος από τον λόγο πλευρών της πλάκας, όπως δίνεται στον Πίνακα 2.30

h = σχεδιαστική υδροστατική πίεση όπως υπολογίζεται στο εδάφιο 2.3.2

k = συντελεστής εξαρτώμενος από τον λόγο πλευρών της πλάκας, όπως δίνεται στον Πίνακα 2.30

$q_3 = 124/\sigma_u$, μονάδες SI

$q_4 = 7580/E_{TC}$, μονάδες SI

$E_{tc} = 0,5 (E_c + E_t)$

E_t = η μέση τιμή του μέτρου ελαστικότητας σε εφελκυσμό του εξωτερικού και εσωτερικού περιβλήματος, σε N/mm^2

E_c = η μέση τιμή του μέτρου ελαστικότητας σε θλίψη του εξωτερικού και εσωτερικού περιβλήματος, σε N/mm^2

σ_{uo} = για το εσωτερικό περίβλημα της γάστρας και του καταστρώματος, η ελάχιστη απόλυτη αντοχή σε εφελκυσμό του περιβλήματος, σε N/mm^2

σ_{ui} = για το εσωτερικό περίβλημα της γάστρας και του καταστρώματος, η ελάχιστη απόλυτη αντοχή σε θλίψη του περιβλήματος, σε N/mm^2

Το ελάχιστο απαιτούμενο πάχος για το εξωτερικό και εσωτερικό περίβλημα δίνεται από τις σχέσεις:

$$t_{os} = 0,5k_3(C_1 + 0,26L) \quad [mm] \quad (2.100)$$

$$t_{is} = 0,35k_3(C_1 + 0,26L) \quad [mm] \quad (2.101)$$

όπου

k_3 και c_1 = συντελεστές για την τοποθεσία και την υπηρεσία όπως δίνονται στον Πίνακα 2.31

L = μήκος σκάφους, σε m

2.5.3 Lloyd's Register of Shipping

Μια εκτίμηση του συνολικού πάχους των στρώσεων και του πυρήνα δίνεται από την σχέση:

$$t_s = \phi_1 k_s b \sqrt[3]{\frac{p}{E_{tps}}} \quad [\text{mm}] \quad (2.102)$$

όπου

$\phi_1 = 0,0214$ για τις στρώσεις του εσωτερικού περιβλήματος

$\phi_1 = 0,0286$ για τις στρώσεις του εξωτερικού περιβλήματος

$\phi_1 = 0,1440$ για τον πυρήνα

$k_s =$ συντελεστής διόρθωσης λόγου πλευρών

$k_s = 0,32 A_R + 0,36$ για $A_R \leq 2$

$k_s = 1,0$ για $A_R > 2$

$A_R =$ μήκος πλάκας / πλάτος πλάκας

$$E_{tps} = \frac{\sum (E_{it_i})}{\sum t_i} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (2.103)$$

$E_{it_i} =$ μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό της κάθε ξεχωριστής στρώσης, σε N/mm^2

$t_i =$ πάχος της κάθε ξεχωριστής στρώσης, σε mm

$b =$ η μικρή διάσταση της πλάκας, σε mm

$p =$ πίεση σχεδίασης, σε kN/m^2

Όπου πρέπει να χρησιμοποιηθεί παχύτερος πυρήνας από αυτόν που προκύπτει από την σχέση 2.99, το απαιτούμενο πάχος των περιβλημάτων δίνεται από την σχέση:

$$t_s = \frac{\phi_2 p b^3}{E_{tps} t_c^2} \times 10^{-3} \quad [\text{mm}] \quad (2.104)$$

όπου

$\phi_2 = 0,446$ για τις εσωτερικές στρώσεις

$\phi_2 = 0,594$ για τις εξωτερικές στρώσεις

$t_c =$ πάχος πυρήνα, σε mm

2.5.4 DET NORSKE VERITAS

Η μέγιστη τάση που μπορεί να εφαρμοσθεί στις στρώσεις των περιβλημάτων μιας πλάκας από υλικό sandwich δίνεται από τον τύπο:

$$\sigma_n = \frac{160 p b^2}{W} C_N C_1 \quad [\text{N/mm}^2] \quad (2.105)$$

όπου

$C_N = C_2 + \nu C_3$, για τάσεις παράλληλες στην μεγάλη πλευρά

$C_N = C_3 + \nu C_2$, για τάσεις παράλληλες στην μικρή πλευρά

ν = ο λόγος του Poisson

W = ροπή αντίστασης της πλάκας ανά μονάδα πλάτους, σε mm^3/mm

Για πλάκα υλικού sandwich με εξωτερικό και εσωτερικό περίβλημα ίσου πάχους

$W = dt$.

$C_1 = 1.0$ για πλάκα με απλά εδρασμένες πλευρές

$C_1 = A_0 + A_1(b/a) + A_2(b/a)^2 + A_3(b/a)^3 + A_4(b/a)^4 + A_5(b/a)^5$

Πακτωμένες Πλευρές:

$A_0 = 0.67; A_1 = 0.05; A_2 = 0.32; A_3 = 0.4; A_4 = -0.12; A_5 = -0.32$

Μερικώς Πακτωμένες Πλευρές:

$A_0 = 0.57; A_1 = 0.05; A_2 = 0.32; A_3 = 0.4; A_4 = -0.12; A_5 = -0.32$

$C_2 = A_0 + A_1(b/a) + A_2(b/a)^2 + A_3(b/a)^3 + A_4(b/a)^4 + A_5(b/a)^5$

με

$A_0 = 0.0; A_1 = 0.0; A_2 = 0.4; A_3 = 0.04; A_4 = -0.15; A_5 = -0.05$

$C_3 = A_0 + A_1(1-b/a) + A_2(1-b/a)^2 + A_3(1-b/a)^3 + A_4(1-b/a)^4 + A_5(1-b/a)^5$

με

$A_0 = 0.24; A_1 = 0.65; A_2 = 0.06; A_3 = 0.0; A_4 = -0.05; A_5 = -0.15$

$\sigma_n = 0,3 \sigma_{nu}$

σ_{nu} = η απόλυτη αντοχή σε εφελκυσμό για τις πλάκες που φορτίζονται με εφελκυστικά φορτία

σ_{nu} = η απόλυτη αντοχή σε θλίψη για τις πλάκες που φορτίζονται με θλιπτικά φορτία

Λύνοντας την εξίσωση 2.105 ως προς W βρίσκω τη ροπή αντίστασης της πλάκας ανά μονάδα πλάτους

Η κάμψη στο μέσο της πλάκας δίνεται από τη σχέση:

$$w = \frac{10^6 p b^4}{D_2} (C_6 C_8 + \rho C_7) \quad (2.106)$$

όπου

Για πλάκα υλικού sandwich με εξωτερικό και εσωτερικό περίβλημα ίσου πάχους και ίδια μέτρα ελαστικότητας

$$D_2 = \frac{E t d^2}{2(1-\nu^2)} \quad (2.107)$$

Για πλάκα υλικού sandwich με εξωτερικό και εσωτερικό περίβλημα διαφορετικού πάχους και με διαφορετικά μέτρα ελαστικότητας

$$D_2 = \frac{E_1 E_2 t_1 t_2 d^2}{(1-\nu^2)(E_1 t_1 + E_2 t_2)} \quad (2.108)$$

$$\rho = \frac{\pi^2 D_2}{10^6 G_c d b^2} \quad (2.109)$$

$$C6 = A0 + A1(1-b/a)^1 + A2(1-b/a)^2 + A3(1-b/a)^3 + A4(1-b/a)^4 + A5(1-b/a)^5$$

$A0 = 4.2; A1 = 12.5; A2 = -0.4; A3 = 0.0; A4 = -2.7; A5 = -0.4$

$$C7 = A0 + A1(1-b/a)^1 + A2(1-b/a)^2 + A3(1-b/a)^3 + A4(1-b/a)^4 + A5(1-b/a)^5$$

$A0 = 7.5; A1 = 11; A2 = -3; A3 = -5.5; A4 = 0.0; A5 = 2.5$

$C8 = 1.0$ για πλάκα με Απλά εδρασμένα άκρα

$$C8 = A0 + A1(b/a)^1 + A2(b/a)^2 + A3(b/a)^3 + A4(b/a)^4 + A5(b/a)^5$$

Πακτωμένες πλευρές:

$$A0 = 0.2; A1 = 0.008; A2 = 0.06; A3 = 0.39; A4 = -0.36; A5 = 0.013$$

Μερικώς Πακτωμένες πλευρές:

$$A0 = 0.4; A1 = 0.016; A2 = 0.12; A3 = 0.78; A4 = -0.72; A5 = 0.026$$

$$w/b = 0,02$$

Άρα αντικαθιστώντας στην εξίσωση 2.106 το $w/b = 0,02$ και λύνοντας ως προς τα t_1, t_2 υπολογίζω το ελάχιστο πάχος των περιβλημάτων με κριτήριο την καμπτική ακαμψία.

2.5.5 GL 2002

Ο γερμανικός νηογνώμονας πέραν του διαφορετικού τρόπου υπολογισμού των σχεδιαστικών πιέσεων για κατασκευές από sandwich υλικά, δεν δίνει τύπους για την διαστασιολόγηση των πλακών

2.5.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την παράθεση των σχέσεων για τις απαιτήσεις του κάθε νηογνώμονα για τις πλάκες από υλικό sandwich που έγινε παραπάνω μπορούμε να βγάλουμε τα εξής χρήσιμα συμπεράσματα.

- Ο κανονισμός ISO/DIS 12215-5.2 είναι βασισμένος στον κανονισμό του αμερικάνικου νηογνώμονα εφόσον οι εξισώσεις υπολογισμού είναι ακριβώς ίδιες. Οι μόνες διαφοροποιήσεις είναι οι αλλαγές σε κάποιους από τους συντελεστές και η απαίτηση για το εξωτερικό και εσωτερικό περίβλημα του υλικού που στον μεν κανονισμό του αμερικάνικου νηογνώμονα δίνεται σαν ελάχιστο πάχος ενώ στο πρότυπο του ISO/DIS 12215-5.2 σαν ελάχιστο επιφανειακό βάρος.
- Ο κανονισμός του γερμανικού νηογνώμονα δεν δίνει σχέσεις υπολογισμού για υλικά κατασκευής sandwich.

2.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

2.6.1 ISO/DIS 12215-5.2

Η ελάχιστη ροπή αντίστασης συμπεριλαμβανομένου και του ισοδύναμου πλάτους ελάσματος, καθώς και η επιφάνεια διάτμησης του ενισχυτικού δεν πρέπει να είναι μικρότερες από αυτές που προκύπτουν από τις παρακάτω σχέσεις:

$$SM = \frac{R_C K_B P l_u^2 s}{\sigma_d} \quad [\text{cm}^3] \quad (2.110)$$

$$A_w = \frac{k_{sa} P_s l_u}{\tau_d} \quad [\text{cm}^2] \quad (2.111)$$

όπου

σ_d = τάση σχεδίασης για τα ενισχυτικά όπως δίνεται στον Πίνακα 2.41, σε N/mm^2

R_C = συντελεστής κυρτότητας, όπως δίνεται στον Πίνακα 2.40

K_B = συντελεστής οριακών συνθηκών

$K_B = 83,3$ για πακτωμένα άκρα

$K_B = 125$ για απλά εδρασμένα άκρα

P = πίεση σχεδίασης, σε kN/m^2

c_u = κυρτότητα ενισχυτικού, όπως δίνεται στο Σχήμα 2.22, σε m

s = η ισαπόσταση των διαμήκων ενισχυτικών της γάστρας, σε m

A_w = επιφάνεια σχεδίασης, σε cm^2

l_u = ανυποστήρικτο μήκος ενισχυτικού, όπως δίνεται στο Σχήμα 2.22, σε m

τ_d = η διατμητική τάση σχεδίασης, όπως δίνεται στον Πίνακα 2.41, σε N/mm^2

k_{sa} = συντελεστής επιφάνειας διάτμησης, ίσος με 5 για ενισχυτικά συνδεδεμένα στις πλάκες του περιβλήματος που εξασφαλίζουν μια ισοδύναμη εγκάρσια επιφάνεια μεγαλύτερη από την εγκάρσια επιφάνεια του ενισχυτικού. Σε άλλη περίπτωση λαμβάνεται ίσος με 7,5

Πίνακας 2.40: Συντελεστής κυρτότητας

c_u/l_u	R_c
0 έως 0,03	1
0,03 έως 0,1	$1,1-3(c_u/l_u)$
> 0,1	0,7

Πίνακας 2.41: Τάσεις σχεδίασης για τα ενισχυτικά

Υλικό	Εφελκυστική και θλιπτική τάση σχεδίασης σ_d (N/mm ²)	Διατμητική τάση σχεδίασης τ_d (N/mm ²)
Πλαστικό	0,5 σ_{ut} ή 0,5 σ_{uc}	0,5 τ_u
Κράμα αλουμινίου	0,7 σ_{yw}	0,4 σ_{yw}
Χάλυβας	0,8 σ_y	0,45 σ_y
Νομείς από κοντραπλακέ	0,45 σ_{uc}	0,45 τ_u
Νομείς από μασίφ ξύλο	0,4 σ_{uc}	0,4 τ_u
Άκρες νομέων από κοντραπλακέ	0,45 σ_{ut} ή 0,45 σ_{uc}	0,45 τ_u

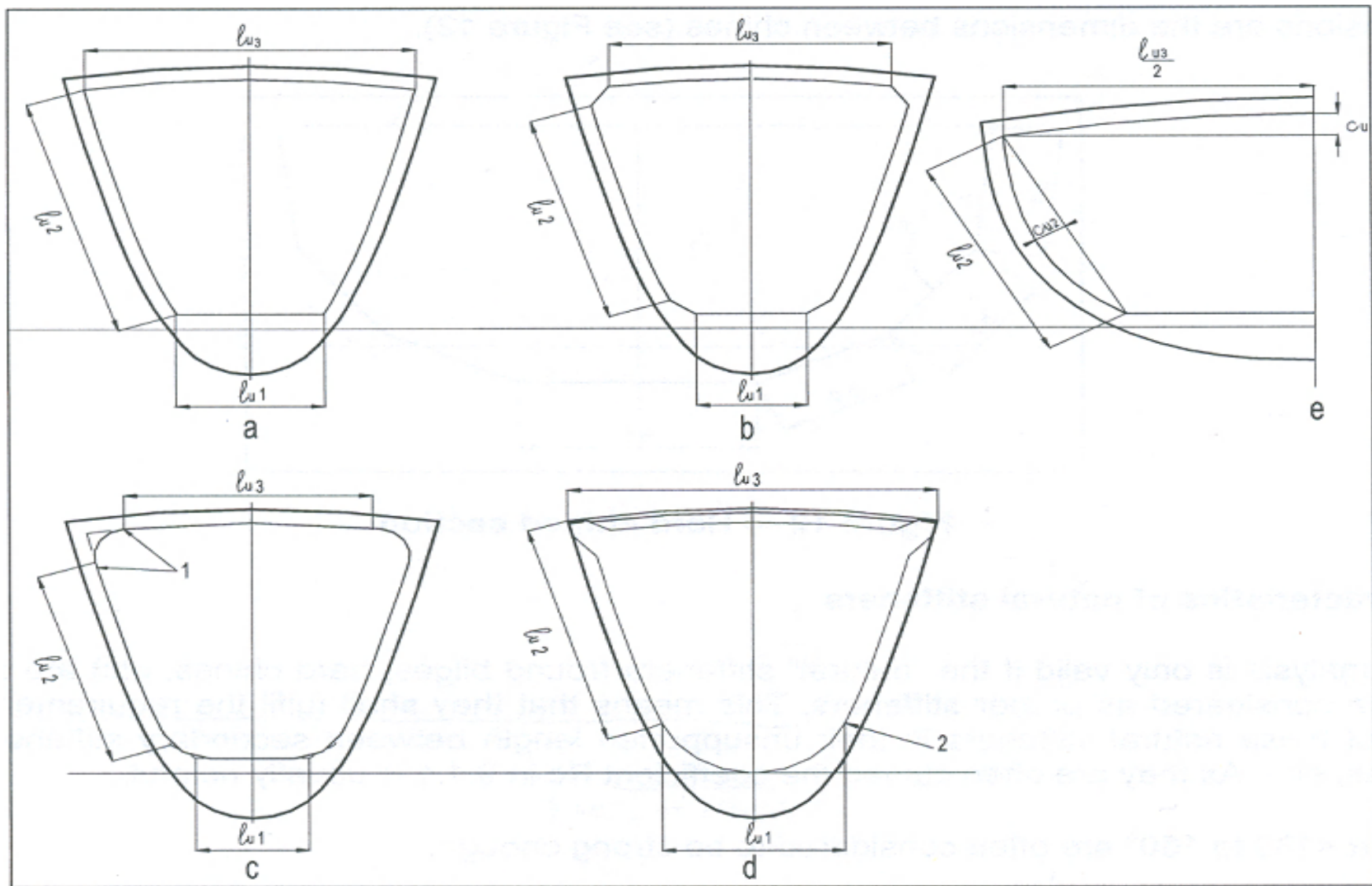
σ_{ut} = η ελάχιστη τιμή της αντοχής σε εφελκυσμό του υλικού, σε N/mm²

σ_{uc} = η ελάχιστη τιμή της αντοχής σε θλίψη του υλικού, σε N/mm²

τ_u = η ελάχιστη διατμητική αντοχή του υλικού, σε N/mm²

σ_y = για τον χάλυβα, η ελάχιστη αντοχή του υλικού σε εφελκυσμό, σε N/mm²

σ_{yw} = για το συγκολλητό αλουμίνιο, η ελάχιστη αντοχή του υλικού σε εφελκυσμό, σε N/mm²



Σχήμα 2.22: Κυρτότητα και ανυποστήρικτο μήκος ενισχυτικού

Για ενισχυτικά από σύνθετα υλικά, η ροπή αδράνειας συμπεριλαμβανομένου και του ισοδύναμου πλάτους ελάσματος, δεν πρέπει να λαμβάνεται μικρότερη από την τιμή που προκύπτει από την σχέση που ακολουθεί.

$$I = \frac{N_B R_C^{1.5} P s l_u^3}{E_{TC}} \quad [\text{cm}^4] \quad (2.112)$$

όπου

N_B = συντελεστής οριακών συνθηκών των ενισχυτικών

$N_B = 26040$ για πακτωμένα άκρα

$N_B = 130200$ για απλά εδρασμένα άκρα

E_{TC} = είναι το μέσο όρο των μέτρων ελαστικότητας σε εφελκυσμό και θλίψη, σε N/mm^2

2.6.2 ABS Motor Pleasure Yachts

Ταχύπλοα σκάφη

Η ροπή αντίστασης κάθε ενισχυτικού μαζί με το ισοδύναμο πλάτος ελάσματος δε πρέπει να είναι μικρότερη από:

$$SM = 83,3 \frac{p s l^2}{\sigma_a} \quad [\text{cm}^3] \quad (2.113)$$

όπου

p = πίεση σχεδίασης, σε kN/m^2

s = η μικρή διάσταση της πλάκας, σε mm

l = το ανυποστήρικτο μήκος του ενισχυτικού, σε m

σ_a = τάσεις σχεδίασης, όπως φαίνονται στον Πίνακα 2.42

Η ροπή αδράνειας κάθε ενισχυτικού μαζί με το ισοδύναμο πλάτος ελάσματος δε πρέπει να είναι μικρότερη από:

$$I = \frac{260 p s l^3}{K_4 E} \quad [\text{cm}^4] \quad (2.114)$$

όπου

E = μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό ή θλίψη, σε N/mm^2

$K_4 = 0,015$ για τα ενισχυτικά του πυθμένα, του πλευρικού μέρους της γάστρας και του καταστρώματος

$K_4 = 0,020$ για τα ενισχυτικά των υπερκατασκευών και των καμπινών

Η επιφάνεια διάτμησης δεν πρέπει να είναι μικρότερη από:

$$A = \frac{7,5 psl}{\tau} \quad [cm^2] \quad (2.115)$$

όπου

τ = διατμητική τάση σχεδίασης, να μην λαμβάνεται μικρότερη από $0,4 \tau_u$, σε N/mm^2

τ_u = η μικρότερη διατμητική τάση είτε στην *warp* είτε στην *fill* διεύθυνση, σε N/mm^2

Πίνακας 2.42: Τάσεις σχεδίασης της πλάκας

Θέση	Σύνθετο υλικό
Διαμήκη ενισχυτικά πυθμένα	0,50 σ_u
Διαμήκη ενισχυτικά πλευρικού μέρους	0,40 σ_u
Διαμήκη ενισχυτικά καταστρώματος	0,40 σ_u
Εγκάρσια ενισχυτικά πυθμένα	0,33 σ_u
Εγκάρσια ενισχυτικά πλευρικού μέρους	0,33 σ_u
Εγκάρσια ενισχυτικά καταστρώματος	0,33 σ_u
Ενισχυτικά υδατοστεγών φρακτών	0,55 σ_u
Ενισχυτικά υδατοστεγών δεξαμενών	0,33 σ_u
εγκάρσια και διαμήκη ενισχυτικά υδατοστεγών φρακτών	0,50 σ_u
εγκάρσια και διαμήκη ενισχυτικά δεξαμενών	0,33 σ_u
Υπερκατασκευές και καμπίνες καταστρώματος	0,33 σ_u

σ_u = αντοχή σε εφελκυσμό, σε N/mm^2

Σκάφη εκτοπίσματος

Η ροπή αντίστασης κάθε ενισχυτικού μαζί με το ισοδύναμο πλάτος ελάσματος δεν πρέπει να είναι μικρότερη από:

$$SM = 22.91 c h s l^2 q_3 \quad [cm^3] \quad (2.116)$$

όπου

$c = 0,85$ για τα διαμήκη ενισχυτικά του πυθμένα, και τα ενισχυτικά των φρακτών των υπερκατασκευών και των υπερστεγασμάτων

$c = 0,70$ για όλα τα υπόλοιπα κατασκευαστικά τμήματα της γάστρας και για τμήματα στα όρια των δεξαμενών συμπεριλαμβανομένων και αυτών στα διπύθμενα

$c = 0,64$ για διαμήκη ενισχυτικά κύριου καταστρώματος στο κέντρο του σκάφους, $0,48$ για αυτά που δεν βρίσκονται στο κέντρο

$c = 0,51$ για τα υπόλοιπα τμήματα του κύριου καταστρώματος και για τα ενισχυμένα διαμήκη και εγκάρσια ενισχυτικά των φρακτών

$c = 0,48$ για ανώτερα τμήματα υπερκατασκευών και καμπινών

$c = 0,37$ για πακτωμένα ενισχυτικά στεγανών φρακτών

$c = 0,46$ για απλά εδρασμένα ενισχυτικά στεγανών φρακτών

h = σχεδιαστική υδροστατική πίεση όπως υπολογίζεται από τον κανονισμό

s = η ισαπόσταση των διαμήκων ενισχυτικών της γάστρας, η μικρή διάσταση της πλάκας, σε mm

l = το ανυποστήρικτο μήκος του ενισχυτικού, σε m

$q_3 = 124/\sigma_u$, μονάδες SI

σ_u = ελάχιστη αντοχή σε θλίψη, σε N/mm^2

Η ροπή αδράνειας κάθε ενισχυτικού μαζί με το ισοδύναμο πλάτος ελάσματος δε πρέπει να είναι μικρότερη από:

$$I = 34.85 c h s l^3 q_5 \quad [cm^4] \quad (2.117)$$

όπου

$q_5 = 6890/E$, μονάδες SI

E = το μέτρο ελαστικότητας του πολύστρωτου στην παράλληλη διεύθυνση με το ενισχυτικό, σε N/mm^2

2.6.3 Lloyd's Register of Shipping

Η ροπή κάμψης που εφαρμόζεται σε όλα τα ενισχυτικά προερχόμενη από την ομοιόμορφη πλευρική πίεση υπολογίζεται από τον τύπο:

$$M_s = \Phi_M s l_e^2 p \quad [\text{Nm}] \quad (2.118)$$

όπου

p = πίεση σχεδίασης, σε kN/m^2

s = ισαπόσταση ενισχυτικών, σε mm

l_e = ανυποστήρικτο μήκος ενισχυτικού, σε m

Φ_M = συντελεστής ροπής κάμψης, όπως δίνεται στον Πίνακα 2.43

Το μέγιστο βέλος κάμψης, των ενισχυτικών, προερχόμενο από την ενιαία πλευρική πίεση, δίνεται από τον τύπο:

$$\delta_s = \frac{\phi_\delta p s l_e^4}{(EI)_s} \times 10^5 \quad [\text{mm}] \quad (2.119)$$

όπου

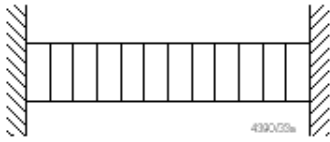
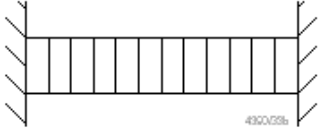
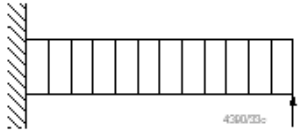
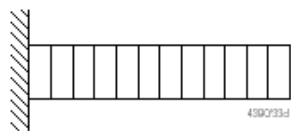

$(EI)_s$ = το συνολικό EI για το τμήμα του ενισχυτικού, συμπεριλαμβανομένου και του ισοδύναμου πλάτους ελάσματος, σε Ncm^4/mm^2

ϕ_δ = συντελεστής κάμψης, έτσι όπως φαίνεται στον πίνακα 2.43

E = μέτρο ελαστικότητας, σε N/mm^2

I = ροπή αδράνειας μήκους ενός εκατοστού, σε cm^4

Πίνακας 2.43: Συντελεστές ροπής κάμψης και κάμψης

Μορφή φόρτισης	Θέση			Θέση	Διαμητική δύναμη φ_s	Καμπτική ροπή φ_M	Βέλος κάμψης φ_δ	Εφαρμογή
	1	2	3					
α		1 2 3	$\frac{1}{2}$ - $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{12}$ $\frac{1}{24}$ $\frac{1}{12}$	- $\frac{1}{384}$ -	Πρωτεύοντα και άλλα ενισχυτικά που θεωρούνται πακτωμένα		
β		1 2 3	$\frac{1}{2}$ - $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{10}$ $\frac{1}{10}$ $\frac{1}{10}$	- $\frac{1}{288}$ -	Τοπικά και δευτερεύοντα ενισχυτικά που θεωρούνται μερικώς πακτωμένα		
γ		1 2 3	$\frac{5}{8}$ - $\frac{3}{8}$	$\frac{1}{8}$ $\frac{9}{128}$ -	- $\frac{1}{185}$ -	Διάφορα		
δ		1 2 3	1 - -	$\frac{1}{2}$ - -	- - $\frac{1}{8}$	Διάφορα		
ε		1 2 3	$\frac{1}{2}$ - $\frac{1}{2}$	- $\frac{1}{8}$ -	- $\frac{5}{384}$ -	Καλύμματα στομίων, υαλοεπιφάνειες και άλλα ενισχυτικά που θεωρούνται απλά εδρασμένα		

2.6.4 DET NORSKE VERITAS

Η ροπή κάμψης ενός ενισχυτικού που υπόκειται σε φορτία πιέσεων δίνεται από τον τύπο:

$$M = \frac{p b_1 l^2}{c_1} \quad [\text{kNm}] \quad (2.120)$$

όπου

b_1 = το πλάτος της φορτισμένης περιοχής, $b_1 = 0,5 (l_1 + l_2)$, σε m

l_1 και l_2 = το πλάτος των υποστηριζόμενων πλακών, σε m

p = πίεση σχεδίασης, σε kN/m^2

l = μήκος ενισχυτικού, σε m

$c_1 = 12$ για πακτωμένες πλευρές

$c_1 = 8$ για απλά εδρασμένες πλευρές

Η ροπή αντίστασης δεν πρέπει να είναι μικρότερη από:

$$Z = \frac{M}{\sigma_d} \quad [\text{mm m}^2] \quad (2.121)$$

όπου

M = η ροπή κάμψης έτσι όπως δίνεται από τη σχέση 2.120

σ_d = τάση σχεδίασης, όπως δίνεται στον Πίνακα 2.44

σ_u = αντοχή πολύστρωτου σε εφελκυσμό ή θλίψη, σε N/mm^2

Πίνακας 2.44: Τάση σχεδίασης

Κατασκευαστικό στοιχείο	Τάση σχεδίασης σ_d
Ενισχυτικό	$0,3 \sigma_u$
Νομείς	$0,3 \sigma_u$
Πλευρικές σταθμίδες	$0,3 \sigma_u$

2.6.5 GL 2002

Οι ροπές αντίστασης των διαμήκων και εγκάρσιων ενισχυτικών δίνονται στους Πίνακες 2.46 και 2.47, σε cm^3

Αν οι μηχανικές ιδιότητες ή η περιεκτικότητα σε γυαλί του πολύστρωτου που χρησιμοποιείται διαφέρουν από αυτές του βασικού πολύστρωτου όπως αυτό αναφέρεται από τον κανονισμό τότε οι τιμές από τους Πίνακες 2.46 και 2.47 πρέπει να πολλαπλασιαστούν με τον συντελεστή k_Z όπως αυτός υπολογίζεται παρακάτω.

A. Αν οι τιμές της αντοχής σε κάμψη και της περιεκτικότητας σε γυαλί κατά βάρος του πολύστρωτου έχουν υπολογισθεί βάσει των κεφαλαίων C4 έως C6 του κανονισμού τότε:

$$k_Z = \frac{85}{\sigma_{zB}} \quad (2.122)$$

B. Αν οι τιμές της αντοχής σε κάμψη και της περιεκτικότητας σε γυαλί κατά βάρος του πολύστρωτου δεν έχουν υπολογισθεί βάσει των κεφαλαίων C4 έως C6 του κανονισμού τότε:

$$k_Z = \frac{1}{15\Psi^2 - 6\Psi + 1,45} \quad (2.123)$$

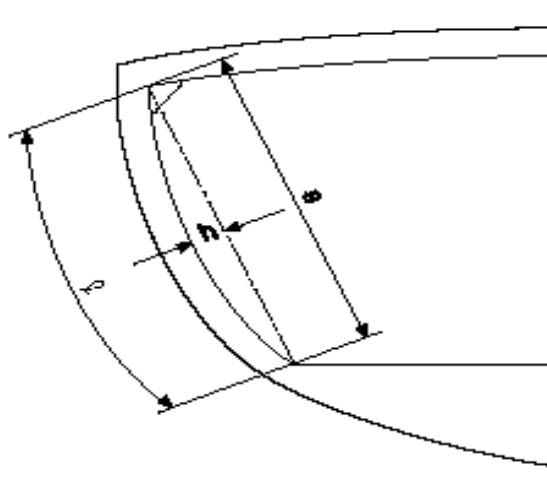
Για εγκάρσια ενισχυτικά με κυρτότητα οι τιμές των Πινάκων 2.32 και 2.33 πρέπει να πολλαπλασιαστούν με τον συντελεστή f_{kw} όπως αυτός φαίνεται στον Πίνακα 2.45

Πίνακας 2.45: Συντελεστής f_{kw}

h/s	f_{kw}
0 έως 0,03	1
0,03 έως 0,1	1,15-5(h/s)
$\geq 0,1$	0,65

όπου

h και s = όπως φαίνονται στο Σχήμα 2.15



Σχήμα 2.23: h και s

Πίνακας 2.46: Ροπή αντίστασης πατώματων και εγκάρσιων ενισχυτικών

Ροπή αντίστασης πατώματων και εγκάρσιων ενισχυτικών ταχύπλοων και ιστιοπλοϊκών σκαφών [cm ³]		
Πατώματα	Ταχύπλοα	$W_B = 3,21 e l^2 F_{VF} P_{dBM} 10^{-3}$ $W_{B(\min)} = 3,21 e k_4^2 F_{VF} P_{dBM} 10^{-3} \geq W_s$
	Ιστιοπλοϊκά	$W_B = 2,72 e l^2 P_{dBS} 10^{-3}$ $W_{B(\min)} = 2,72 e k_4^2 P_{dBS} 10^{-3} \geq W_s$
Εγκάρσια ενισχυτικά	Ταχύπλοα	$W_B = 2,18 e l^2 F_{VSF} P_{dSM} 10^{-3}$ $W_{B(\min)} = 2,18 e k_4^2 F_{VSF} P_{dSM} 10^{-3} \geq L$
	Ιστιοπλοϊκά	$W_B = 2,26 e l^2 P_{dSS} 10^{-3}$ $W_{B(\min)} = 2,26 e k_4^2 P_{dSS} 10^{-3} \geq L$
<p>e = απόσταση εγκάρσιων ενισχυτικών, σε mm l = ανυποστήρικτο μήκος ενισχυτικού F_{VF} = όπως δίνεται στον Πίνακα 2.32 F_{VSF} = όπως δίνεται στον Πίνακα 2.32 k₄ = 0,045 L + 0,10 ή 0,60 για ταχύπλοα, να χρησιμοποιείται η μεγαλύτερη τιμή k₄ = 0,065 L + 0,30 ή 0,60 για ιστιοπλοϊκά, να χρησιμοποιείται η μεγαλύτερη τιμή</p>		

Πίνακας 2.47: Ροπή αντίστασης διαμήκων ενισχυτικών

Ροπή αντίστασης διαμήκων ενισχυτικών ταχύπλων και ιστιοπλοϊκών σκαφών [cm ³]		
Διαμήκη ενισχυτικά πυθμένα	Ταχύπλοα	$W_{BL} = 2,14 e l^2 F_{VL} P_{dBM} 10^{-3}$ $W_{BL(min)} = 2,14 e k_5^2 F_{VL} P_{dBM} 10^{-3} \geq L$
	Ιστιοπλοϊκά	$W_{BL} = 1,82 e l^2 P_{dBS} 10^{-3}$ $W_{BL(min)} = 1,82 e k_4^2 P_{dBS} 10^{-3} \geq W_s$
Εγκάρσια ενισχυτικά πυθμένα	Ταχύπλοα	$W_{SL} = 2,07 e l^2 F_{VSL} P_{dSM} 10^{-3}$ $W_{SL(min)} = 2,07 e k_4^2 F_{VSL} P_{dSM} 10^{-3} \geq L$
	Ιστιοπλοϊκά	$W_{SL} = 2,16 e l^2 P_{dSS} 10^{-3}$ $W_{SL(min)} = 2,16 e k_5^2 P_{dSS} 10^{-3} \geq L$
<p>e = απόσταση εγκάρσιων ενισχυτικών, σε mm l = ανυποστήρικτο μήκος ενισχυτικού F_{VF} = όπως δίνεται στον Πίνακα 2.32 F_{VSF} = όπως δίνεται στον Πίνακα 2.32 k₅ = (0,01 L + 0,7) ή 0,75 να χρησιμοποιείται η μεγαλύτερη τιμή</p>		

Πίνακας 2.48: Συντελεστές διόρθωσης για την ταχύτητα

Περιοχή φόρτισης	Συντελεστής διόρθωσης
πυθμένας γάστρας	$F_{VB} = 0,34 \sqrt{\frac{v}{\sqrt{L_{WL}}}} + 0,355 \geq 1,0$
πλευρικό μέρος γάστρας	$F_{VS} = \left(0,024 \frac{v}{\sqrt{L_{WL}}} + 0,91 \right) (1,018 - 0,0024L) \geq 1$
εσωτερικά δομικά στοιχεία, πατώματα	$F_{VF} = \left(0,78 \sqrt{\frac{v}{\sqrt{L_{WL}}}} - 0,48 \right) (1,335 - 0,01L) \geq 1$
νομείς στο μέσο του σκάφους, διαμήκη ενισχυτικά πυθμένα	$F_{VBW} \text{ ή } F_{VL} = 0,075 \frac{v}{\sqrt{L_{WL}}} + 0,73 > 1,0$
εγκάρσιοι νομείς, εγκάρσια ενισχυτικά	$F_{VSF} \text{ ή } F_{VSW} = \left(0,1 \frac{v}{\sqrt{L_{WL}}} + 0,52 \right) (1,19 - 0,01L) > 1$
διαμήκη ενισχυτικά πλευρικού μέρους	$F_{VSL} = \left(0,14 \frac{v}{\sqrt{L_{WL}}} + 0,47 \right) (1,07 - 0,008L) > 1$
<p>v = μέγιστη ταχύτητα σκάφους, σε kn L_{WL} = μήκος ισάλου, σε m</p>	

2.6.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρατηρώντας το τυπολόγιο υπολογισμού που προτείνει ο κάθε κανονισμός μπορούμε να βγάλουμε τα εξής χρήσιμα συμπεράσματα.

- Κατά τον υπολογισμό της ροπής αντίστασης σύμφωνα με το πρότυπο του ISO/DIS 12215-5.2 χρησιμοποιείται ο συντελεστής κυρτότητας σε αντίθεση με τον αμερικάνικο νηογνώμονα όπου δεν υπάρχει τέτοιος συντελεστής.
- Στο πρότυπο του ISO/DIS 12215-5.2 δίνεται η δυνατότητα επιλογής των οριακών συνθηκών μεταξύ πακτωμένων και απλά εδρασμένων άκρων σε αντίθεση με τον αμερικάνικο νηογνώμονα που χρησιμοποιώντας τον συντελεστή 83,3 υποθέτει πακτωμένα άκρα.
- Στην εξίσωση υπολογισμού της ροπής αδράνειας κατά το πρότυπο του ISO/DIS 12215-5.2 χρησιμοποιείται συντελεστής κυρτότητας όπως και στην ροπή αντίστασης σε αντίθεση με τον κανονισμό του αμερικάνικου νηογνώμονα.
- Στον κανονισμό του αμερικάνικου νηογνώμονα στο τμήμα για σκάφη εκτοπίσματος οι συντελεστές ασφαλείας που χρησιμοποιούνται από τον κανονισμό είναι κρυμμένοι μέσα στις εξισώσεις και δεν δίνονται καθαρά όπως γίνεται στους υπόλοιπους κανονισμούς. Θα γίνει προσπάθεια εύρεσης των συντελεστών ασφαλείας αυτού του τμήματος του κανονισμού στο κεφάλαιο της αντίστροφης ανάλυσης.
- Στον κανονισμό του βρετανικού νηογνώμονα δεν υπολογίζεται η ροπή αντίστασης και αδράνειας αλλά η ροπή κάμψης και το μέγιστο βέλος κάμψης μέσω των οποίων μπορούμε να υπολογίσουμε τα άλλα δυο μεγέθη. Επίσης όπως φαίνεται καθαρά στον Πίνακα 2.43 δίνεται η δυνατότητα επιλογής των οριακών συνθηκών που θα χρησιμοποιηθούν.
- Ο νορβηγικός νηογνώμονας υπολογίζει την ροπή αντίστασης μέσω της ροπής κάμψης ενώ δίνει την δυνατότητα επιλογής μεταξύ πακτωμένων και απλά εδρασμένων πλευρών για τις οριακές συνθήκες. Δεν δίνει εξίσωση υπολογισμού για τη ροπή αδράνειας των ενισχυτικών στοιχείων.
- Ο κανονισμός του γερμανικού νηογνώμονα δίνει πίνακες υπολογισμού της ροπής αντίστασης ξεχωριστά για τα εγκάρσια και τα διαμήκη ενισχυτικά ενώ γενικά η μέθοδος υπολογισμού που έχει επιλέξει διαφέρει από τις μεθόδους των υπόλοιπων κανονισμών. Οι συντελεστές ασφαλείας είναι κρυμμένοι μέσα στους τύπους υπολογισμού.
- Οι συντελεστές ασφαλείας που χρησιμοποιούνται κατά τον υπολογισμό της ροπής αντίστασης στους κανονισμούς διαφέρουν μεταξύ τους και δίνονται αναλυτικά στον Πίνακα 2.49 που ακολουθεί.
- Η τιμή της τάσης σχεδίασης εκτός από τον συντελεστή ασφαλείας επηρεάζεται και από το είδος της αντοχής του πολύστρωτου που έχει επιλεγεί από τον κάθε κανονισμό (εφελκυσμός, θλίψη ή κάμψη). Στον Πίνακα 2.50 φαίνονται οι απαιτήσεις

του κάθε κανονισμού στο είδος της αντοχής του πολύστρωτου που θα χρησιμοποιήσουμε κατά τους υπολογισμούς μας.

Πίνακας 2.49: Συντελεστές ασφαλείας κατά τον υπολογισμό της ροπής αντίστασης

		ISO/DIS 12215-5.2	ABS Motor Pleasure Yachts	Det Norske Veritas
Πυθμένας γάστρας	Εγκάρσια ενισχυτικά	2	3	3,33
	Διαμήκη ενισχυτικά	2	2	3,33

Πίνακας 2.50: Απαίτηση κανονισμών στο είδος της αντοχής

	ISO/DIS 12215-5.2	ABS Motor Pleasure Yachts		Det Norske Veritas
		Ταχύπλοα σκάφη	Σκάφη εκτοπίσματος	
	σ_{ut} ή σ_{uc}	σ_{ut}	σ_{uc}	σ_{ut} ή σ_{uc}

- Το πρότυπο του ISO/DIS 12215-5.2 και ο κανονισμός του νορβηγικού νηογνώμονα δίνουν την δυνατότητα επιλογής μεταξύ αντοχής σε θλίψη και αντοχής σε εφελκυσμό. Η μικρότερη αντοχή από τις δυο είναι αυτή σε εφελκυσμό άρα θα είναι και αυτή που θα επιλεγεί κατά την εφαρμογή των κανονισμών. Άρα παρατηρούμε ότι όλοι οι κανονισμοί επιλέγουν την αντοχή σε εφελκυσμό εκτός του κανονισμού του αμερικάνικου νηογνώμονα για σκάφη εκτοπίσματος όπου γίνεται επιλογή της αντοχής σε θλίψη.
- Οι ομοιότητες και οι διαφορές στην χρήση των συντελεστών ασφαλείας, στην επιλογή των οριακών συνθηκών και γενικότερα του τυπολογίου υπολογισμού των απαιτήσεων των ενισχυτικών μερών από τον κάθε κανονισμό θα γίνει στο κεφάλαιο της αντίστροφης ανάλυσης.

2.7 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ

Όπως θα δούμε κατά τον υπολογισμό των απαιτήσεων των ενισχυτικών μερών για τους κανονισμούς, οι τιμές των αποτελεσμάτων συμπεριλαμβάνουν και το ισοδύναμο πλάτος ελάσματος του ενισχυτικού όπως αυτό ορίζεται από τον κάθε κανονισμό. Σ' αυτό το κεφάλαιο αρχικά αναλύεται η γενική έννοια του ισοδύναμου πλάτους ελάσματος ενώ ακολουθεί η παράθεση των προτάσεων του κάθε κανονισμού για τον υπολογισμό του.

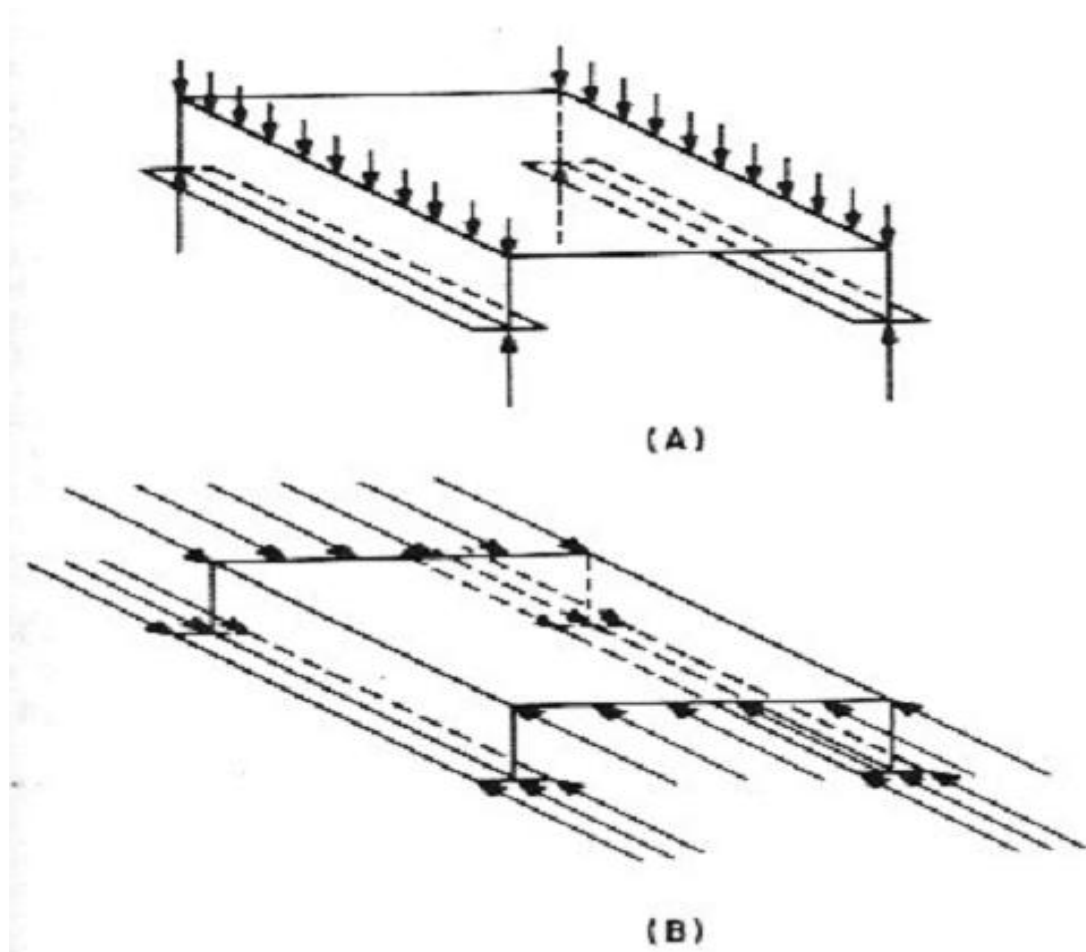
2.7.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ

Δυο από τα προβλήματα που αντιμετωπίζουμε κατά τη μελέτη των ενισχυμένων ελασμάτων είναι:

- α) Η επίδραση του ενισχυτικού στην υποστήριξη του ελάσματος
- β) Ο βαθμός στον οποίο η πλάκα συνεισφέρει στο ενισχυτικό για την επίτευξη του σκοπού του.

Η δυσκολία κατά την αντιμετώπιση του δεύτερου προβλήματος έγκειται στο ότι οι τάσεις κατά μήκος του ενισχυτικού δεν είναι ομοιόμορφες και η κατανομή των τάσεων εξαρτάται από τον τύπο της εφαρμοζόμενης φόρτισης. Επίσης ο βαθμός επίδρασης της πλάκας μπορεί να επηρεάζεται εκτός από την κατανομή και την ένταση της εφαρμοζόμενης φόρτισης και από τον λόγο πλευρών και το πάχος του ελάσματος. Στο Σχήμα 2.24 που ακολουθεί εμφανίζονται δυο διαφορετικοί τρόποι φόρτισης μιας ενισχυμένης πλάκας: (Α) σε κάμψη (Β) με αξονική φόρτιση που εφαρμόζεται ομοιόμορφα στη διατομή του.

Στην πρώτη περίπτωση η ανομοιομορφία στην κατανομή της τάσης προκαλείται από το φαινόμενο της υστέρησης διάτμησης ενώ στη δεύτερη περίπτωση προκαλείται από την ανομοιομορφία του ελάσματος όπως αυτή υπάρχει εξ αρχής ή εμφανίζεται κατά την κάμψη. Εμείς θα ασχοληθούμε κυρίως με τον πρώτο τρόπο φόρτισης και γι' αυτό θα αναφέρουμε δυο λόγια για το φαινόμενο της υστέρησης διάτμησης.



Σχήμα 2.24: Τρόποι φόρτισης ενισχυμένης πλάκας

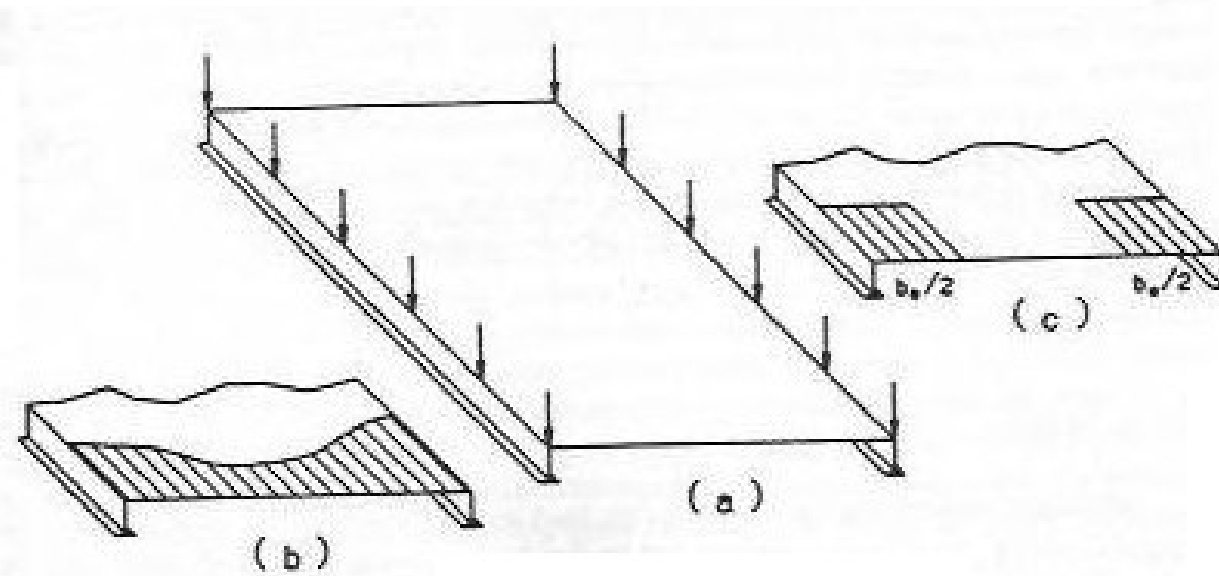
Το φαινόμενο της υστέρησης διάτμησης:

Σύμφωνα με την απλή θεωρία κάμψης των δοκών, η κατανομή των ορθών τάσεων και των παραμορφώσεων για μια δεδομένη απόσταση από τον ουδέτερο άξονα παραμένει ομοιόμορφη και σταθερή. Εάν όμως διεξάγουμε μετρήσεις των παραμορφώσεων σε ενισχυμένα ελάσματα, θα δούμε ότι η πραγματική κατανομή των ορθών τάσεων δεν είναι γραμμική αλλά μη γραμμική. Αυτό προκύπτει από την διαφοροποίηση της καμπτικής ακαμψίας του πέλματος και του κορμού. Για τον λόγο αυτό κατά την επιβολή καμπτικής φόρτισης κατά τον ουδέτερο άξονα για να επιτευχθεί γεωμετρική συμβατότητα κατά μήκος του άξονα σύνδεσης του πέλματος με τον κορμό, θα αναπτυχθούν διαμήκειες διατμητικές τάσεις κατά μήκος της σύνδεσης όπως φαίνονται στο Σχήμα 2.25 που ακολουθεί.

Το φαινόμενο αυτό καλείται υστέρηση διάτμησης, εμφανίζεται σε διατομές όπως τα ενισχυμένα ελάσματα που οι καμπτικές ακαμψίες των στοιχείων τους διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους και οδηγεί σε μια εσωτερική στο έλασμα κατανομή τάσης που φαίνεται στο Σχήμα 2.26 που ακολουθεί.



Σχήμα 2.25: Διαμήκεις διατμητικές τάσεις κατά μήκος της σύνδεσης



Σχήμα 2.26: Κατανομή τάσης

Ισοδύναμο πλάτος ελάσματος:

Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητο να ορίσουμε ένα ισοδύναμο πλάτος ελάσματος τέτοιο ώστε να έχουμε σταθερή κατανομή της τάσης όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.26 c.

Ορίζουμε ως ισοδύναμο πλάτος ελάσματος που φορτίζεται σε διάτμηση στο επίπεδο του κατά μήκος των πλευρών, το πλάτος υποθετικού ελάσματος που φορτίζεται ομοιόμορφα, έχει το ίδιο πάχος, υπόκειται στην ίδια μέγιστη τάση και φέρει το ίδιο συνολικό φορτίο όπως και το πραγματικό.

Το ισοδύναμο αυτό πλάτος ελάσματος θα χρησιμοποιείται στον υπολογισμό της καμπτική ακαμψίας του συνδυασμού ελάσματος – ενισχυτικού. Η τιμή του b_e θα είναι συνάρτηση του λόγου πλευρών του ελάσματος και του πάχους του καθώς και της κατανομής της φόρτισης, της κυρτότητας της επιφάνειας και των παραμενουσών τάσεων.

2.7.2 ISO/DIS 12215-5.2

Το ισοδύναμο πλάτος ελάσματος b_e υπολογίζεται σύμφωνα με τον Πίνακα 2.51 αλλά δεν πρέπει να λαμβάνεται μεγαλύτερο από την πραγματική ισαπόσταση των ενισχυτικών.

Πίνακας 2.51: τιμές b_e/t

Υλικό	Χάλυβας	Αλουμίνιο	Σύνθετο υλικό μονολιθικής κατασκευής	Sandwich	Ξύλο
b_e/t	80	60	20	$20(t_i + t_o)$	15

t_i = το πάχος της εσωτερικής στρώσης, σε mm

t_o = το πάχος της εξωτερικής στρώσης, σε mm

Για ενισχυτικά κατά μήκος ενός ανοίγματος, το ισοδύναμο πλάτος πρέπει να λαμβάνεται ως το μισό της τιμής που υπολογίζεται στον Πίνακα 2.51

Στον τελικό υπολογισμό πρέπει να προστίθεται και το πλάτος του ενισχυτικού.

Άρα τελικά έχουμε

$$b_e = c x + b \quad (2.124)$$

x = ο συντελεστής που εξαρτάται από το υλικό όπως αυτός δίνεται στον Πίνακα 2.51

b = πλάτος ενισχυτικού

2.7.3 ABS Motor Pleasure Yachts

Για πλάκες από σύνθετο υλικό το ισοδύναμο πλάτος ελάσματος δεν πρέπει να ξεπερνά είτε την ισαπόσταση των ενισχυτικών είτε την τιμή που προκύπτει από την Σχέση 2.125.

$$w = 18t + b \quad (2.125)$$

όπου

t = για σύνθετα υλικά μονολιθικής κατασκευής είναι το πάχος της πλάκας, σε mm

t = για υλικά sandwich είναι το πάχος της μονολιθικής κατασκευής που έχει την ίδια ροπή αδράνειας ανά μονάδα πλάτους ως προς τον ουδέτερο άξονα του, σε mm

b = το καθαρό πλάτος του ενισχυτικού, όχι μεγαλύτερο από $18t$, σε mm

Για ενισχυτικά κατά μήκος ενός ανοίγματος, το ισοδύναμο πλάτος πρέπει να λαμβάνεται ως το μισό της τιμής που υπολογίζεται από την Σχέση 2.125

2.7.4 Lloyd's Register of Shipping

Το ισοδύναμο πλάτος ελάσματος $2b_1$ που χρησιμοποιείται στον υπολογισμό των απαιτήσεων των ενισχυτικών μερών δίνεται από την σχέση:

α) Για μονολιθικής κατασκευής σύνθετα υλικά:

$$b_1 = 0,5b_w + 10t_{ap} \quad [\text{mm}] \quad (2.126)$$

β) Για σύνθετα υλικά κατασκευής sandwich:

$$b_1 = 0,5b_w + 10(t_{outer} + t_{inner}) \quad [\text{mm}] \quad (2.127)$$

όπου

b_w = το πλάτος της βάσης του ενισχυτικού, σε mm

t_{ap} = το πάχος της πλάκας, σε mm

t_{inner} = το πάχος της εσωτερικής στρώσης, σε mm

t_{outer} = το πάχος της εξωτερικής στρώσης, σε mm

2.7.5 DET NORSKE VERITAS

Το ισοδύναμο πλάτος ελάσματος για μια ομοιόμορφα φορτισμένη δοκό δίνεται από το Σχήμα 2.27. Για τις πλάκες από υλικό sandwich μόνο η στρώση της πλάκας στην οποία ακουμπάει το ενισχυτικό θα θεωρείται ως ισοδύναμο πλάτος ελάσματος.

Το μήκος που χρησιμοποιείται στο Σχήμα 2.27 είναι το μήκος μεταξύ των σημείων μηδενικής καμπτικής ροπής. Ως πλάτος b λαμβάνεται η ισαπόσταση των ενισχυτικών. Για μια δοκό με πακτωμένα άκρα το μήκος μεταξύ των σημείων μηδενικής καμπτικής ροπής θα λαμβάνεται ως $0,58 l$ όπου l είναι το μήκος του ενισχυτικού. Για δοκούς με πακτωμένα άκρα, το ισοδύναμο πλάτος ελάσματος εκτός των σημείων μηδενικής καμπτικής ροπής, (στα άκρα), θα λαμβάνεται ως $0,67$ φορές την τιμή που προκύπτει από το διάγραμμα.

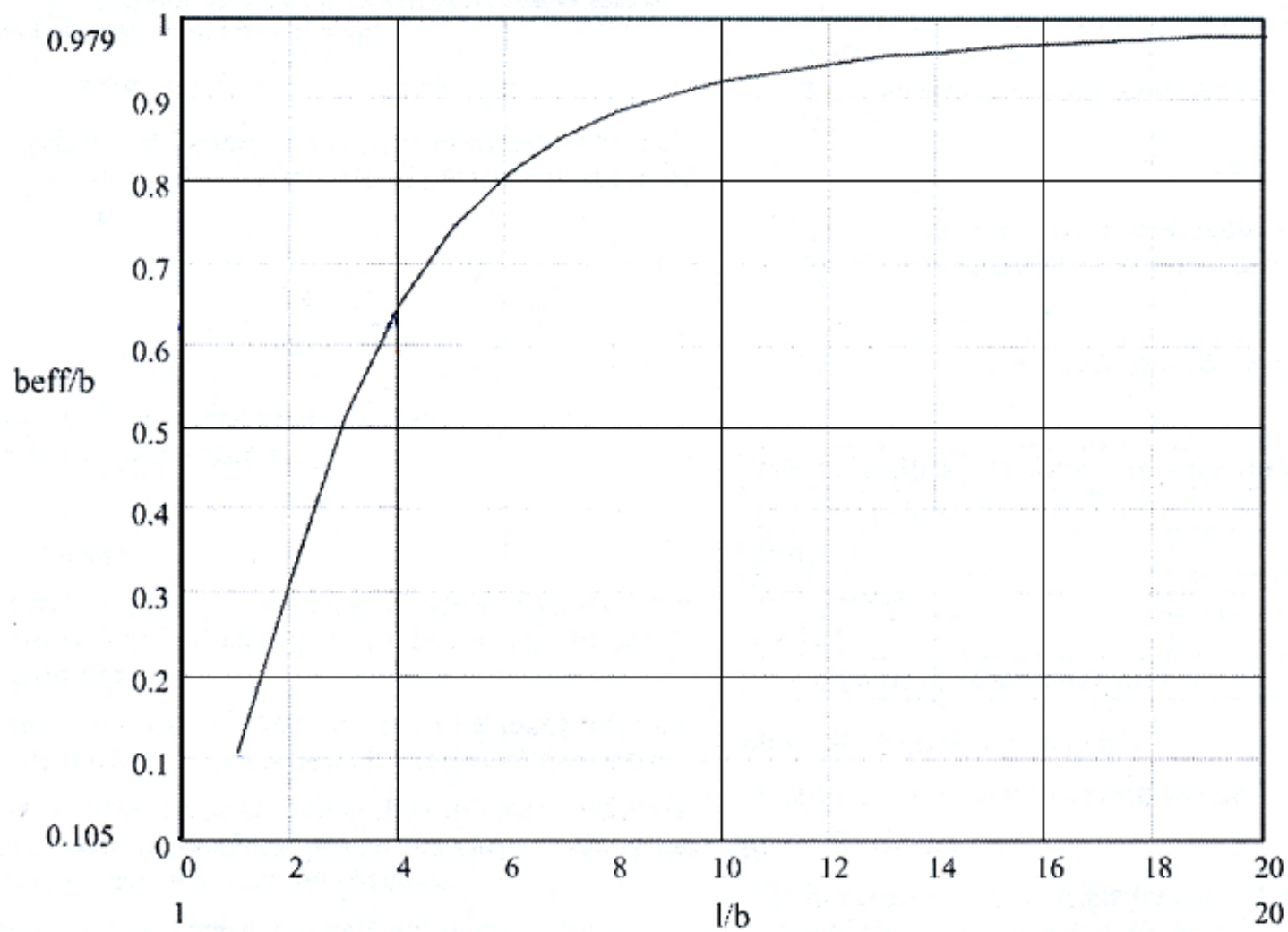
Για πλάκες με λόγους E/G μεγαλύτερους από $3,3$ το ισοδύναμο πλάτος θα λαμβάνεται σύμφωνα με την σχέση:

$$\frac{b_{eff}}{b} = \frac{1}{1 + 3,3 \frac{E}{G} \left(\frac{b}{l}\right)^2} \quad (2.128)$$

όπου

E = μέτρο ελαστικότητας της πλάκας

G = μέτρο διάτμησης της πλάκας



Σχήμα 2.27: Ισοδύναμο πλάτος ελάσματος

2.7.6 GL 2002

Το ισοδύναμο πλάτος ελάσματος σύμφωνα με τον κανονισμό του γερμανικού νηογνώμονα είναι το μήκος της απόστασης των δυο κέντρων της ανυποστήρικτης πλάκας που ενώνεται με το ενισχυτικό. Δεν πρέπει να ξεπερνά την τιμή των 300 mm.

Αναλυτικότερα έχουν γίνει υπολογισμοί για το ισοδύναμο πλάτος ελάσματος που δίνει ο κάθε κανονισμός στα κεφάλαια 3 και 5 και έτσι δεν θα παρατεθούν.

2.7.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η πρόταση του ISO/DIS 12215-5.2 για το υπολογισμό του ισοδύναμου πλάτους ελάσματος είναι ακριβώς ίδια με αυτή του Lloyds Register of Shipping. Η μόνη διαφορά είναι ότι ο Lloyds Register of Shipping δεν δίνει τον περιορισμό της ισαπόστασης των ενισχυτικών.
- Και ο αμερικάνικος νηογνώμονας χρησιμοποιεί στην ίδια λογική τον ίδιο ακριβώς τύπο με τους δυο προαναφερθέντες με την μόνη διαφορά την αλλαγή του συντελεστή για σύνθετα υλικά. Για το ISO/DIS 12215-5.2 και για τον Lloyds Register of Shipping ο συντελεστής είναι 20 σε αντίθεση με τον αμερικάνικο νηογνώμονα που δίνει συντελεστή 18.
- Για τον γερμανικό νηογνώμονα τα πράγματα είναι πιο απλά αφού σε κάθε περίπτωση σαν ισοδύναμο πλάτος ελάσματος βάζουμε την ισαπόσταση των ενισχυτικών υπό την προϋπόθεση ότι αυτή δεν είναι μεγαλύτερη των 300 χιλιοστών.
- Ο μόνος κανονισμός που διαφοροποιείται στον υπολογισμό του ισοδύναμου πλάτους ελάσματος είναι του νορβηγικού νηογνώμονα. Ο υπολογισμός γίνεται από το διάγραμμα που έχει παρατεθεί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η εφαρμογή των τύπων που παρατέθηκαν στο Κεφάλαιο 2 και ο υπολογισμός των αποτελεσμάτων σε δυο σκάφη, ένα ταχύπλοο και ένα σκάφος εκτοπίσματος, έτσι ώστε να φανεί πως οι διαφορές του τυπολογίου κάθε κανονισμού αντικατοπτρίζεται στα τελικά αποτελέσματα. Τέλος γίνεται η παράθεση των αποτελεσμάτων στους πίνακες και τα διαγράμματα που ακολουθούν.

3.1 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ ΣΕ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΑΧΥΠΛΟΥΥ ΣΚΑΦΟΥΣ

Κύρια χαρακτηριστικά και γεωμετρία του σκάφους.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του σκάφους που χρησιμοποιήθηκε για τη συγκριτική μελέτη των αποτελεσμάτων των κανονισμών είναι:

$\Delta = 40000$ kg	Εκτόπισμα
$L_{OA} = 22,65$ m	Ολικό μήκος σκάφους
$L_{WL} = 19,23$ m	Μήκος ισάλου
$L_{PP} = 20,94$ m	Μήκος μεταξύ κάθετων
$B = 4,63$ m	Πλάτος γάστρας
$B_{WL} = 3,84$ m	Πλάτος ισάλου
$B_C = 3,17$ m	Πλάτος μεταξύ των ακμών της γάστρας
$T = 1,08$ m	Βύθισμα
$LCG = 7,905$ m	Διάμηκες κέντρο βάρους
$\beta = 24,5$ °	Γωνία ανύψωσης πυθμένα
$V = 20$ kn	Ταχύτητα
$\tau = 3,5$ °	Γωνία διαγωγής για ταχύτητα 20 kn
$H_s = 2,5$ m	Σημαντικό ύψος κύματος
$C_B = 0,373$	Συντελεστής γάστρας

Το LCG έχει μετρηθεί από την προωαία κάθετο. Η χρήση των κανονισμών για τη διαστασιολόγηση του πολύστρωτου και των ενισχυτικών θα γίνει για τον πυθμένα του σκάφους του οποίου η γεωμετρία φαίνεται στα Σχήματα 3.1 και 3.2. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ενισχυτικών καθώς και του ελάσματος για τα οποία θα εφαρμοστούν οι κανονισμοί είναι:

Έλασμα:

$b = 0.45$ κοντύτερη πλευρά του ελάσματος, σε m
 $a = 0.48$ μακρύτερη πλευρά του ελάσματος, σε m
 $c = 0$ μήκος τόξου κυρτής πλάκας, σε mm

Διαμήκη ενισχυτικά:

$c_u = 0.00$ μήκος τόξου κυρτωμένου ενισχυτικού, σε m
 $l = 2.45$ ανυποστήρικτο μήκος ενισχυτικού, σε m
 $s = 0.63$ ισαπόσταση ενισχυτικών, σε m
 $b_w = 0.15$ πλάτος της βάσης του ενισχυτικού, σε m (θεωρείται γνωστό)

Εγκάρσια ενισχυτικά:

$c_u = 0.00$ μήκος τόξου κυρτωμένου ενισχυτικού, σε m

$l = 0.48$ ανυποστήρικτο μήκος ενισχυτικού, σε m

$s = 0.5$ ισαπόσταση ενισχυτικών, σε m

$b_w = 0.05$ πλάτος της βάσης του ενισχυτικού, σε m (θεωρείται γνωστό)

Επίσης για την χρήση του τυπολογίου των κανονισμών και την εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων, θα χρειαστούμε την διαμήκη και κατακόρυφη θέση της πλάκας και των ενισχυτικών που θα διαστασιολογηθούν. Η χειρότερη κατάσταση προκύπτει για:

$x = 12\text{m}$ διαμήκης θέση από το πυρναίο τέλος της ισάλου γραμμής

$d = 1,08\text{m}$ κατακόρυφη θέση μετρούμενη από την ίσαλο γραμμή

Το υλικό από το οποίο θεωρείται πως είναι κατασκευασμένα τόσο οι πλάκες όσο και τα ενισχυτικά του πυθμένα, αποτελείται από ζεύγη στρώσεων αποτελούμενα από μια στρώση υαλοπλήματος και μια στρώση υαλοϋφάσματος. Το υαλοπίλημα έχει επιφανειακό βάρος 450 gr/m^2 και 30% περιεκτικότητα σε ίνες γυαλιού κατά βάρος ενώ το υαλούφασμα έχει επιφανειακό βάρος 800 gr/m^2 και 50% περιεκτικότητα κατά βάρος σε ίνες γυαλιού. Οι ίνες του υαλοϋφάσματος είναι παράλληλες στην διαμήκη και στην εγκάρσια διεύθυνση του σκάφους.

Οι τελικές τιμές των αποτελεσμάτων που παρατίθενται στους Πινάκες και στα διαγράμματα που ακολουθούν έχουν υπολογισθεί βάσει των εξισώσεων έτσι όπως αυτές δίνονται από κάθε κανονισμό και έχουν περιγραφεί στο Κεφάλαιο 2.

Χρησιμοποιώντας τη γεωμετρία και τα υλικά που υποτέθηκαν παραπάνω και ακολουθώντας το τυπολόγιο και τις οδηγίες κάθε κανονισμού καταλήγουμε στα αποτελέσματα που παρατίθενται στους Πίνακες 3.1 έως 3.12 και στα Σχήματα 3.3 έως 3.26

όπου

n = κατακόρυφη επιτάχυνση στο LCG

p_{design} = σχεδιαστική πίεση στον πυθμένα

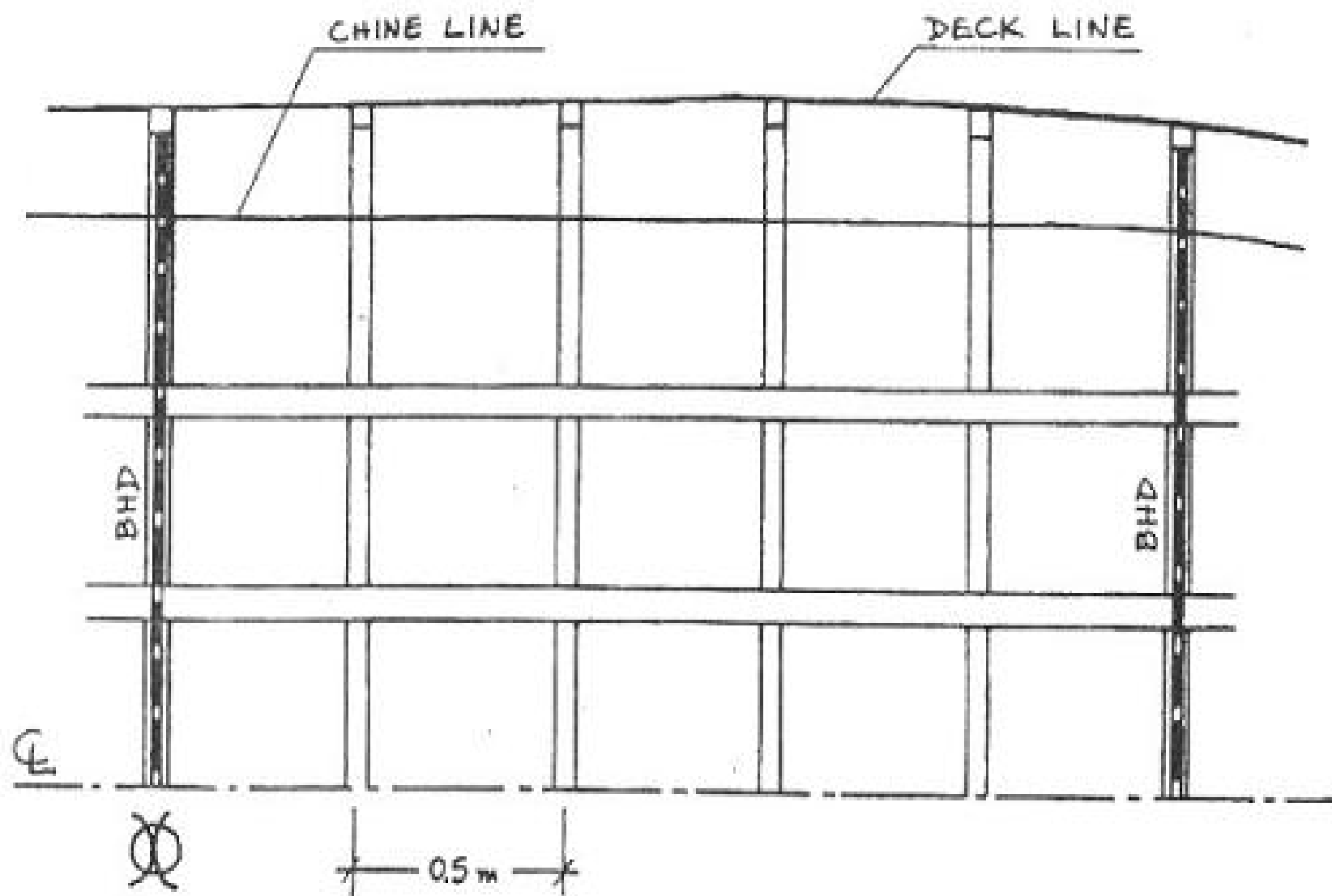
t_{req} = απαιτούμενο πάχος πλάκας σύμφωνα με τους κανονισμούς

W_{req} = απαιτούμενο επιφανειακό βάρος πλάκας σύμφωνα με τους κανονισμούς

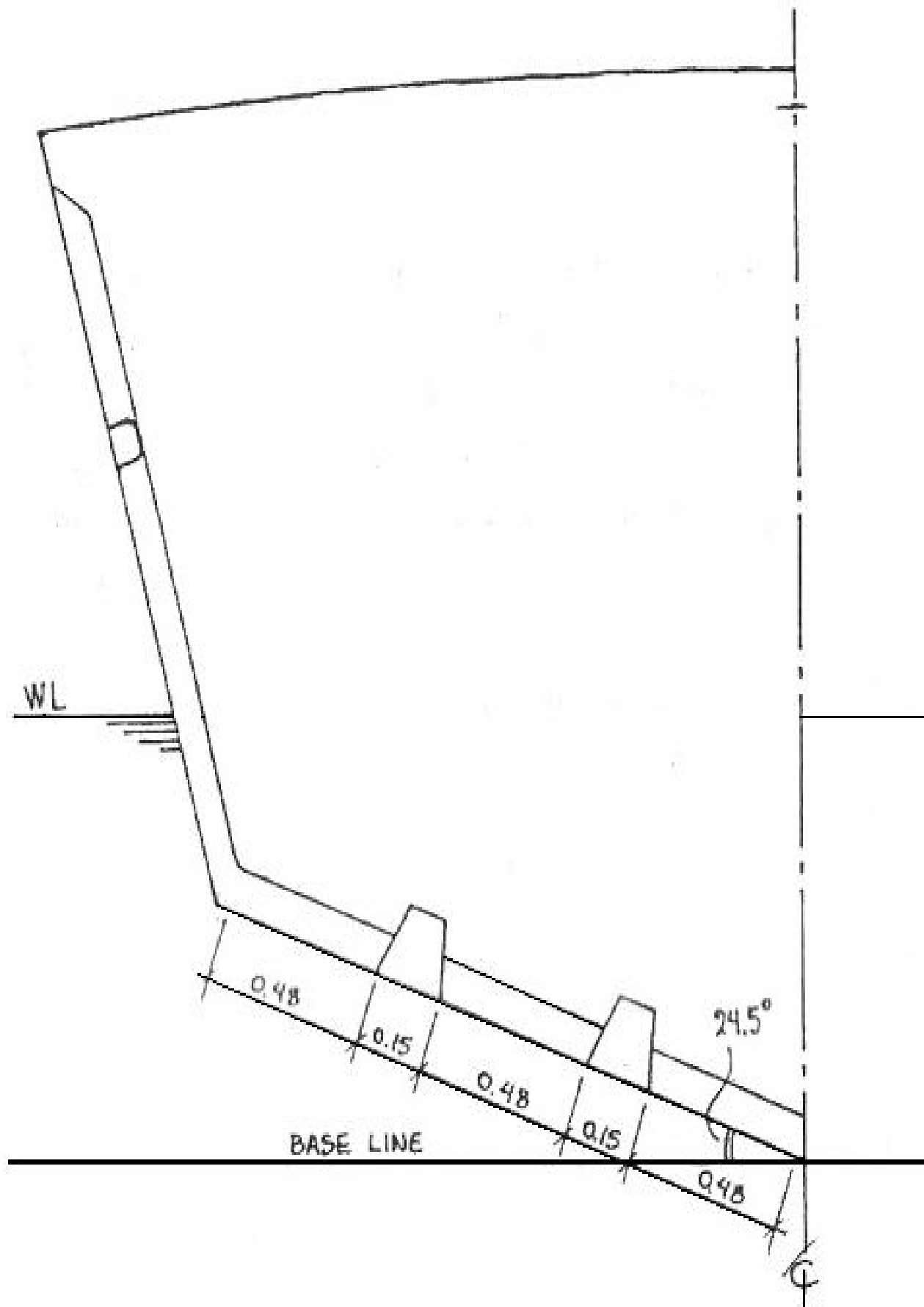
N = απαιτούμενος αριθμός ζεύγους στρώσεων (CSM 450 + WR 800)

t_{fin} = τελικό πάχος πλάκας που προκύπτει για N ζεύγη στρώσεων

W_{fin} = τελικό επιφανειακό βάρος πλάκας που προκύπτει για N ζεύγη στρώσεων



Σχήμα 3.1: Σχηματική κάτοψη του πυθμένα του σκάφους στην υπό μελέτη περιοχή



Σχήμα 3.2: Σχηματική αναπαράσταση της μέσης τομής του σκάφους

Το πάχος ενός ζεύγους στρώσεων που έχει χρησιμοποιηθεί σε όλους τους υπολογισμούς είναι αυτό που προκύπτει από το πρότυπο του ISO/DIS 12215-5.2 όπως έχει παρατεθεί στο εδάφιο 2.7.1 ενώ οι μηχανικές ιδιότητες έχουν υπολογισθεί κι αυτές βάσει του ίδιου κανονισμού με χρήση των τύπων που παρατίθενται στο εδάφιο 2.6.1. Για τον υπολογισμό των μηχανικών ιδιοτήτων ενός ζεύγους στρώσεων η κατά βάρος περιεκτικότητα σε γυαλί έχει υπολογισθεί με την χρήση του νόμου των αναμειξέων καθ' υπόδειξη του προτύπου και είναι ίση με:

$$\Psi = \frac{w_1 + w_2}{\frac{w_1}{\psi_1} + \frac{w_2}{\psi_2}}$$

$$\Psi = 0,403$$

Το συνολικό επιφανειακό βάρος ενός ζεύγους στρώσεων είναι το άθροισμα των επιφανειακών βαρών μιας στρώσης υαλοπιλήματος και μιας στρώσης υαλουφάσματος και είναι ίσο με:

$$W = 1250 \text{ g/m}^2$$

Η τιμή του απαιτούμενου πάχους t_{req} που υπολογίζεται και παρατίθεται στους πίνακες των τελικών αποτελεσμάτων ακολουθείται από έναν δείκτη, που δείχνει αν η καμπτική ακαμψία (*) ή η καμπτική αντοχή (**) είναι το κρίσιμο κριτήριο (αυτό που δίνει την μεγαλύτερη τιμή) στον υπολογισμό του. Όπως έχει επισημανθεί και στο εδάφιο 2.4 οι κανονισμοί δίνουν συνήθως δυο εξισώσεις για τον υπολογισμό του απαιτούμενου πάχους, μια που προκύπτει με βασικό κριτήριο την καμπτική αντοχή και μια με βασικό κριτήριο την καμπτική ακαμψία. Άρα ανάλογα με το ποια από τις δυο εξισώσεις έχει δώσει την μεγαλύτερη τιμή για το πάχος, που είναι και η αποδεκτή, έχουμε συμπληρώσει και τον αντίστοιχο δείκτη όπως αυτός ορίστηκε παραπάνω.

Οι τιμές που φαίνονται στους πίνακες των αποτελεσμάτων χωρίζονται σε δυο ομάδες. Οι τιμές με κόκκινο χρώμα είναι αυτές που προκύπτουν απευθείας από την χρήση των εξισώσεων που δίνει ο κάθε κανονισμός. Έχοντας όμως υπολογίσει το πάχος ενός ζεύγους στρώσεων από το πρότυπο του ISO/DIS 12215-5.2 από το απαιτούμενο πάχος του κάθε κανονισμού μπορούμε να υπολογίσουμε τον αριθμό των ζευγών στρώσεων που απαιτούνται. Άρα στους πίνακες των αποτελεσμάτων με μπλε χρώμα αποτυπώνονται τα πρακτικά αποτελέσματα ανάλογα με τον αριθμό των ζευγών που θα χρησιμοποιηθούν.

Για την καλύτερη κατανόηση και σύγκριση του προτύπου ISO/DIS 12215-5.2 με τους ήδη υπάρχοντες κανονισμούς των νηογνομώνων καθώς και για τη

διευκόλυνση της εύρεσης των διαφορών μεταξύ τους, έχουν γίνει 6 διαφορετικοί υπολογισμοί που αντικατοπτρίζονται στους πίνακες που ακολουθούν. Από την μελέτη των κανονισμών των νηογνομώνων έτσι όπως έχουν παρατεθεί στο Κεφάλαιο 2, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τα βασικά μεγέθη που επηρεάζουν τα τελικά αποτελέσματα είναι 3.

- α. Οι συντελεστές ασφάλειας που χρησιμοποιούνται κατά τους υπολογισμούς.
- β. Η κατακόρυφη επιτάχυνση όπως αυτή υπολογίζεται από τον κάθε κανονισμό.
- γ. Η πίεση σχεδίασης όπως υπολογίζεται από τον κάθε κανονισμό.

Άρα για την καλύτερη κατανόηση των κανονισμών βγάζουμε τρεις διαφορετικές ομάδες αποτελεσμάτων. Για τους τρεις πρώτους πίνακες χρησιμοποιούμε τους συντελεστές ασφάλειας όπως δίνονται από τον κάθε κανονισμό. Σε αντιπαράθεση στους τρεις τελευταίους βάζουμε παντού τους συντελεστές ασφάλειας που δίνει το πρότυπο ISO/DIS 12215-5.2. Με αυτό τον τρόπο βλέπουμε την διαφοροποίηση στα τελικά αποτελέσματα ανάλογα με τους συντελεστές ασφάλειας. Στους Πινάκες 3.3 και 3.9 σαν κατακόρυφη επιτάχυνση βάζουμε αυτή που προκύπτει από τους υπολογισμούς του ISO/DIS 12215-5.2. Τελικά στους Πινάκες 3.5 και 3.11 βγάζουμε τα τελικά αποτελέσματα χρησιμοποιώντας παντού την πίεση σχεδίασης που προκύπτει από το πρότυπο του ISO/DIS 12215-5.2. Από τις διαφοροποιήσεις των τελικών αποτελεσμάτων μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα για τον τρόπο και τον βαθμό που αυτά επηρεάζονται από τα τρία βασικά μεγέθη.

Πίνακας 3.1: Αποτελέσματα προερχόμενα από κάθε κανονισμό χωριστά, χρησιμοποιώντας τους συντελεστές ασφάλειας που καθορίζονται από τον καθένα.

Πίνακας 3.3: Αποτελέσματα προερχόμενα από κάθε κανονισμό, χρησιμοποιώντας τους συντελεστές ασφάλειας που καθορίζονται από τον καθένα χωριστά αλλά την ίδια κατακόρυφη επιτάχυνση σε όλες τις περιπτώσεις (αυτή που υπολογίζεται στον κανονισμό του ISO/DIS 12215-5.2).

Πίνακας 3.5: Αποτελέσματα προερχόμενα από κάθε κανονισμό, χρησιμοποιώντας τους συντελεστές ασφάλειας που καθορίζονται από τον καθένα χωριστά αλλά την ίδια πίεση σχεδίασης σε όλες τις περιπτώσεις (αυτή που υπολογίζεται στον κανονισμό του ISO/DIS 12215-5.2).

Πίνακας 3.7: Αποτελέσματα που προκύπτουν χρησιμοποιώντας τους συντελεστές ασφάλειας του κανονισμού του ISO/DIS 12215-5.2 σε όλους τους υπολογισμούς.

Πίνακας 3.9: Αποτελέσματα που προκύπτουν χρησιμοποιώντας τους συντελεστές ασφάλειας του ISO σε όλους τους υπολογισμούς και χρησιμοποιώντας την ίδια

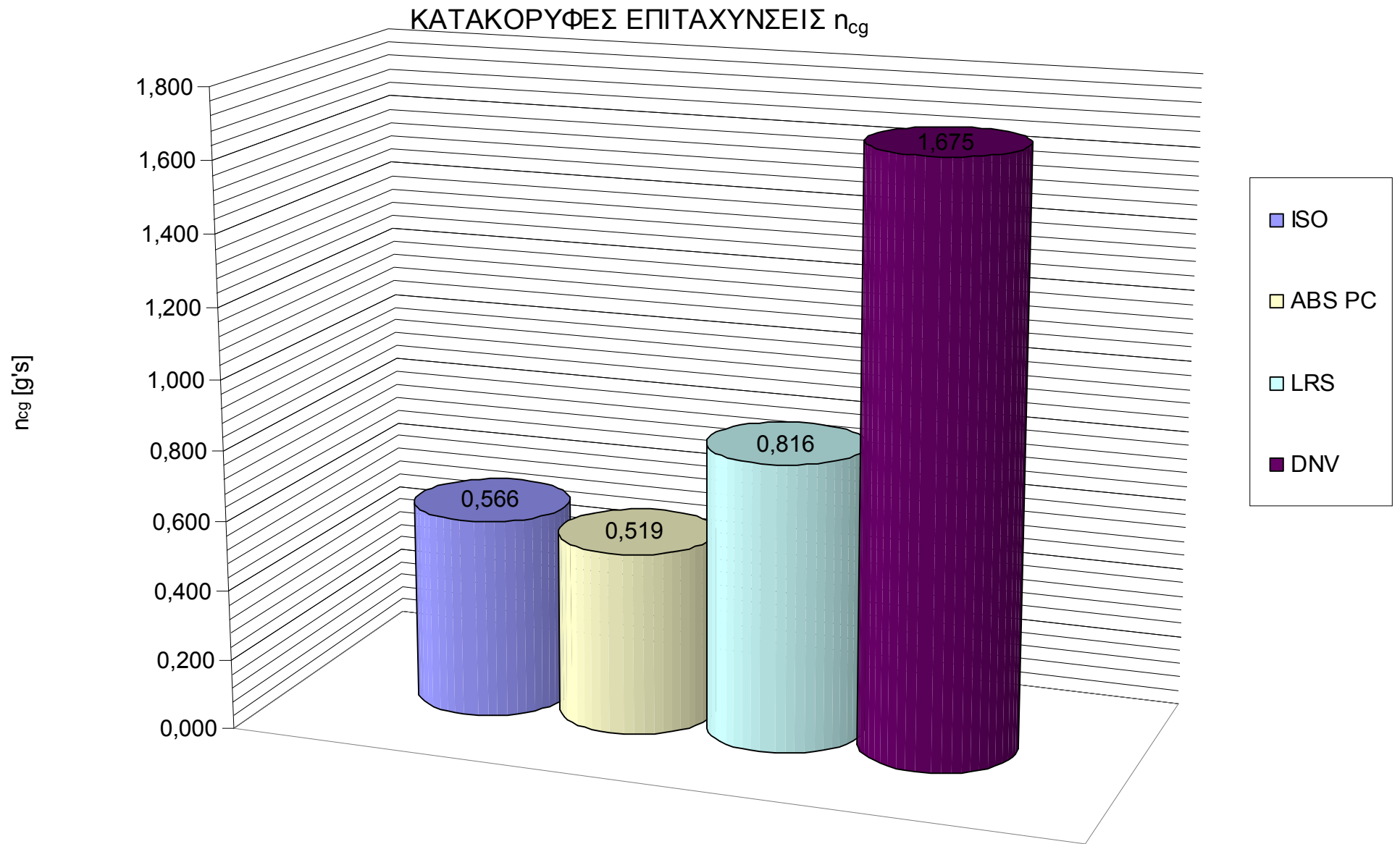
κατακόρυφη επιτάχυνση (αυτή που υπολογίζεται στον κανονισμό του ISO/DIS 12215-5.2).

Πίνακας 3.11: Αποτελέσματα που προκύπτουν χρησιμοποιώντας τους συντελεστές ασφάλειας του ISO σε όλους τους υπολογισμούς και χρησιμοποιώντας την ίδια πίεση σχεδίασης (αυτή που υπολογίζεται στον κανονισμό του ISO/DIS 12215-5.2).

Για καλύτερη και ευκολότερη μελέτη, τα αποτελέσματα για το απαιτούμενο πάχος της πλάκας την ροπή αντίστασης των ενισχυτικών και το ισοδύναμο πλάτος ελάσματος που φαίνονται στους πίνακες, αποτυπώνονται και στα διαγράμματα που ακολουθούν μετά τους πίνακες. Επίσης υπάρχουν πίνακες με τις επί τοις εκατό διαφορές των αποτελεσμάτων με συγκριτική τιμή αυτή του ISO/DIS 12215-5.2.

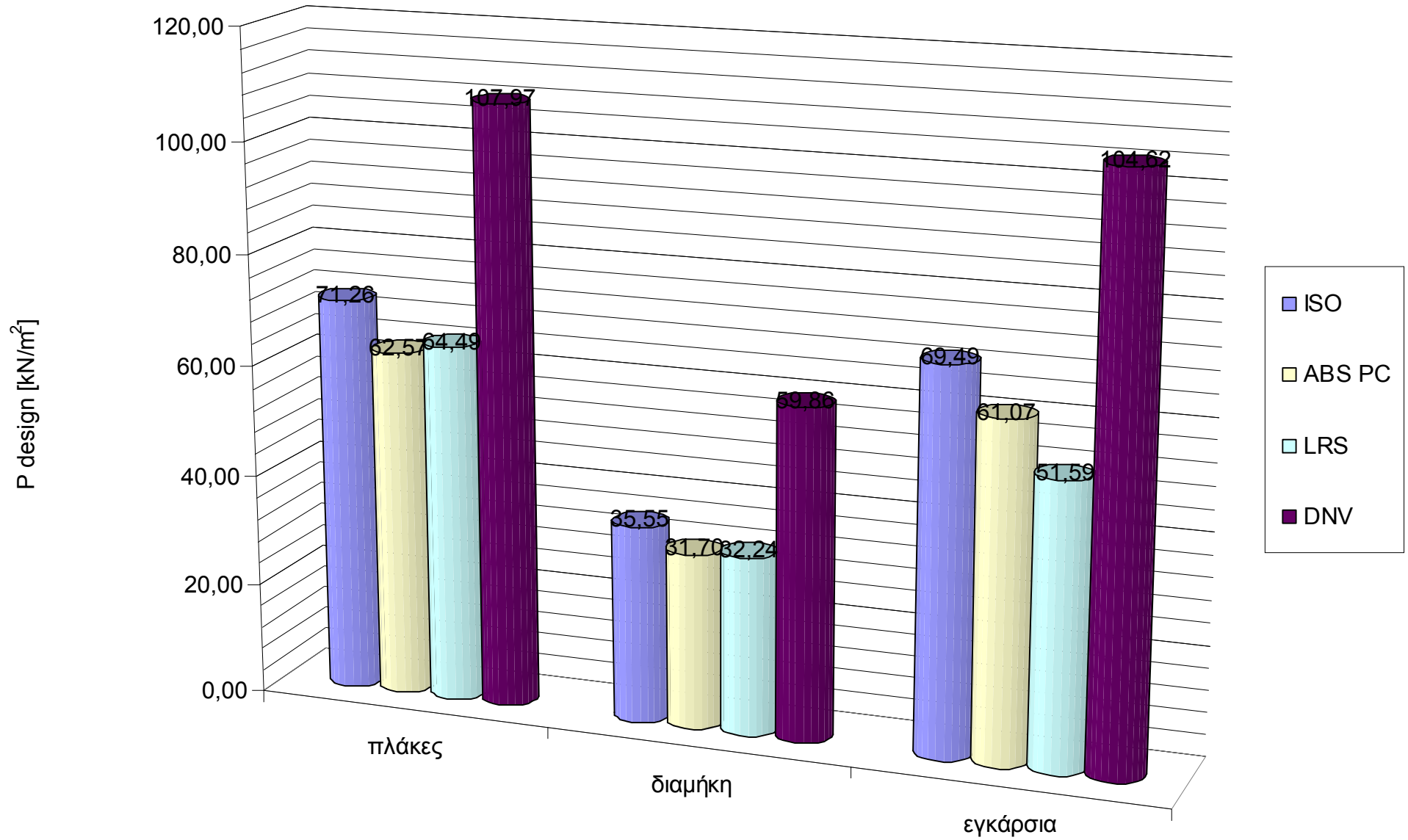
Πίνακας 3.1: Αποτελέσματα προερχόμενα από κάθε κανονισμό χωριστά, χρησιμοποιώντας τους συντελεστές ασφάλειας που καθορίζονται από τον καθένα.

ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ							
		ABS	GL	DNV	LRS	ISO	
n_{cg}		0,519		1,675	0,816	0,566	g's
p_{design}	πλάκες	62,57	59,83	107,97	64,49	71,26	kN/m ²
	διαμήκη	31,70		59,86	32,24	35,55	kN/m ²
	εγκάρσια	61,07		104,62	51,59	69,49	kN/m ²
$t_{req.}$		*9,3	-	**13,9	*12,2	**7,2	mm
$W_{req.}$		-	6379,4	-	-	-	g/m ²
N		5	6	7	6	4	
$t_{fin.}$		10,1	12,2	14,2	12,2	8,1	mm
$W_{fin.}$		6250,0	7500,0	8750,0	7500,0	5000,0	g/m ²
καμπτική ροπή	διαμήκη			18862,4	10161,1		Nm
	εγκάρσια			1004,3	594,3		Nm
ροπή αντίστασης	διαμήκη	159,6	353,2	502,4	246,0	179,0	cm ³
	εγκάρσια	14,2	27,7	26,8	15,8	10,7	cm ³
ροπή αδράνειας	διαμήκη	502,6			1536,1	846,8	cm ⁴
	εγκάρσια	5,8			14,7	9,9	cm ⁴
περιοχή διατμητικής τάσης	διαμήκη	13,1				11,7	cm ²
	εγκάρσια	3,9				3,6	cm ²
ισοδύναμο πλάτος ελάσματος	διαμήκη	332,7	300,0	390,6	393,6	293,6	mm
	εγκάρσια	232,7	300,0	55,0	293,6	193,6	mm

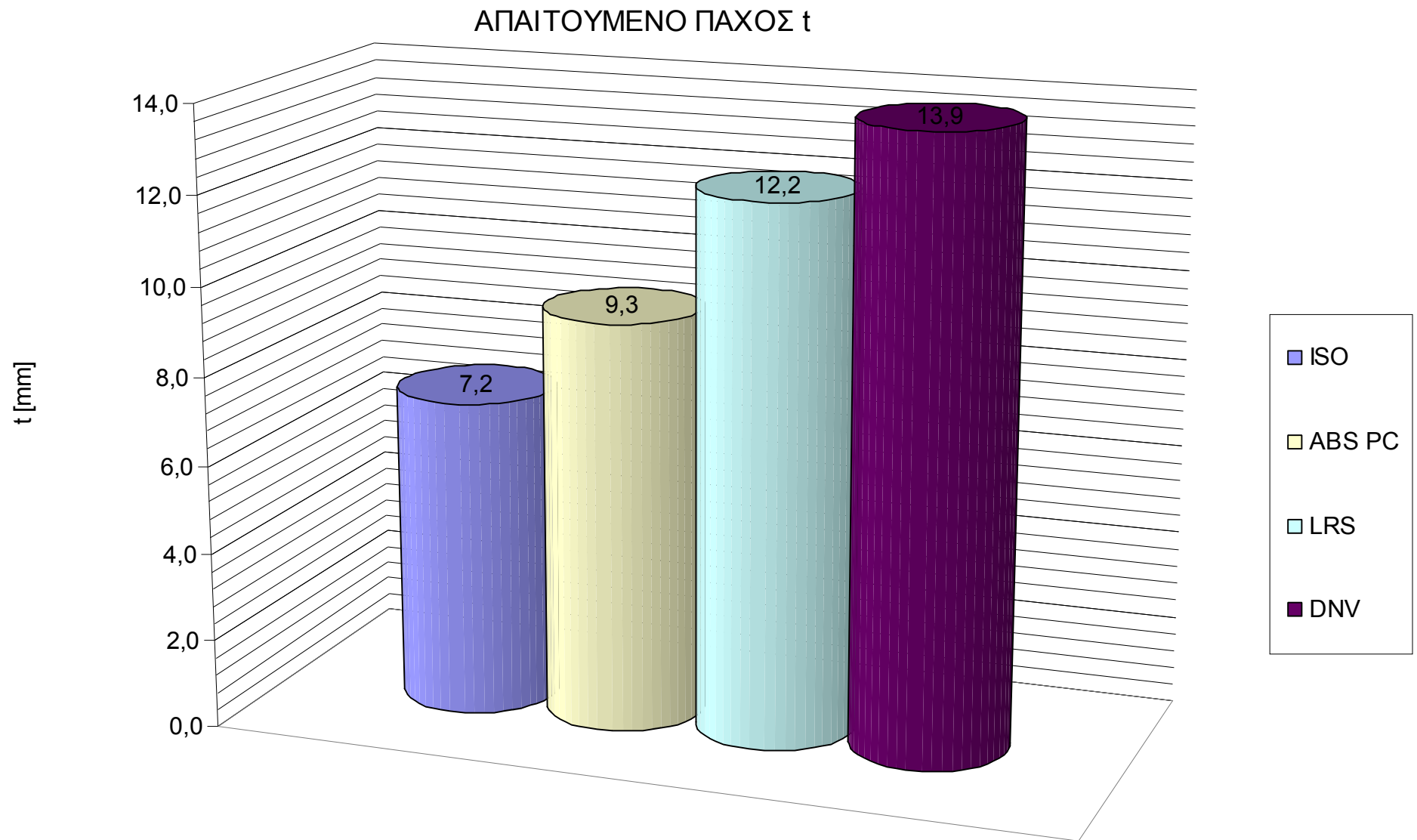


Σχήμα 3.3: Κατακόρυφες επιταχύνσεις

ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ

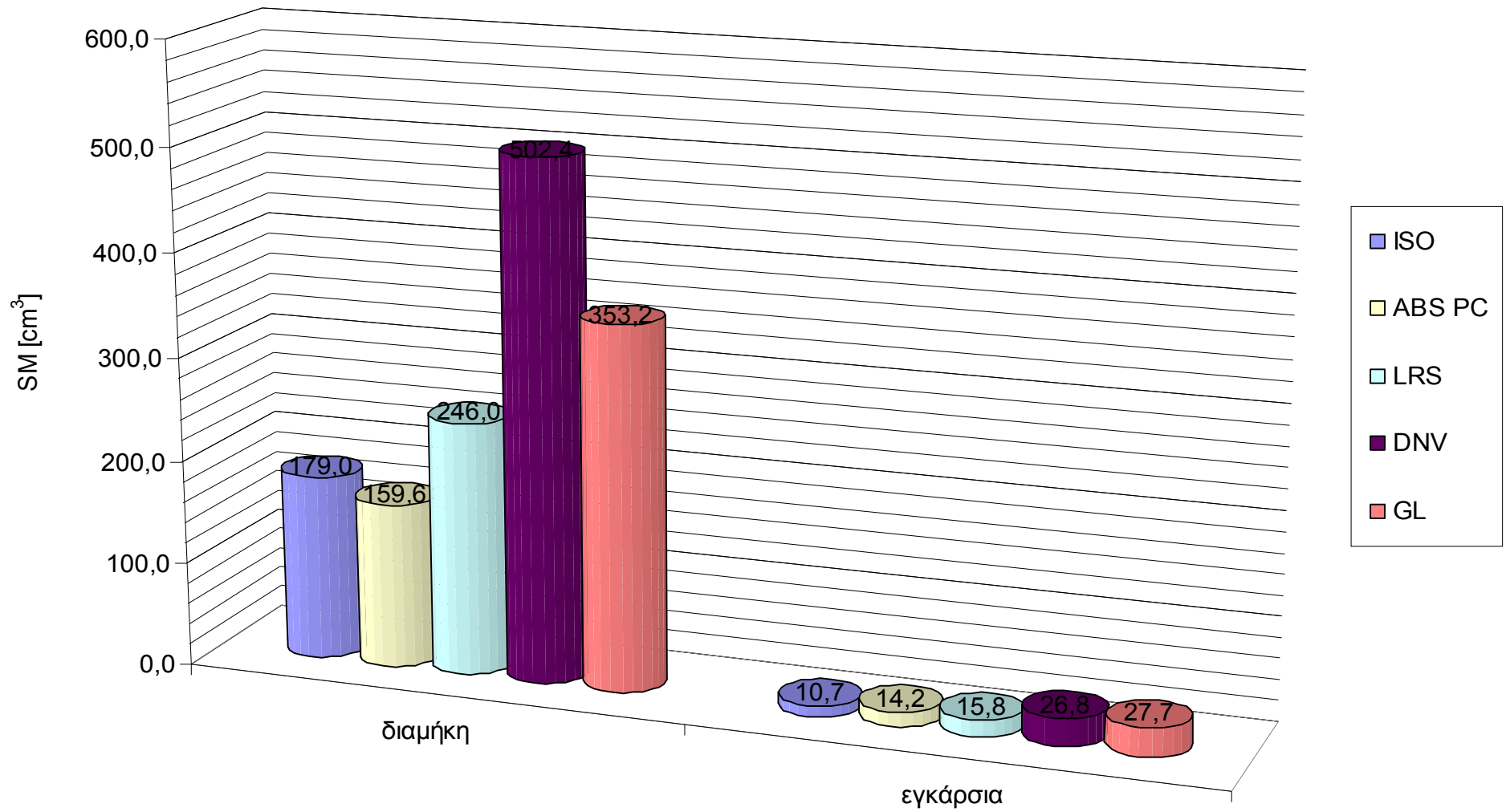


Σχήμα 3.4: Σχεδιαστικές πιέσεις



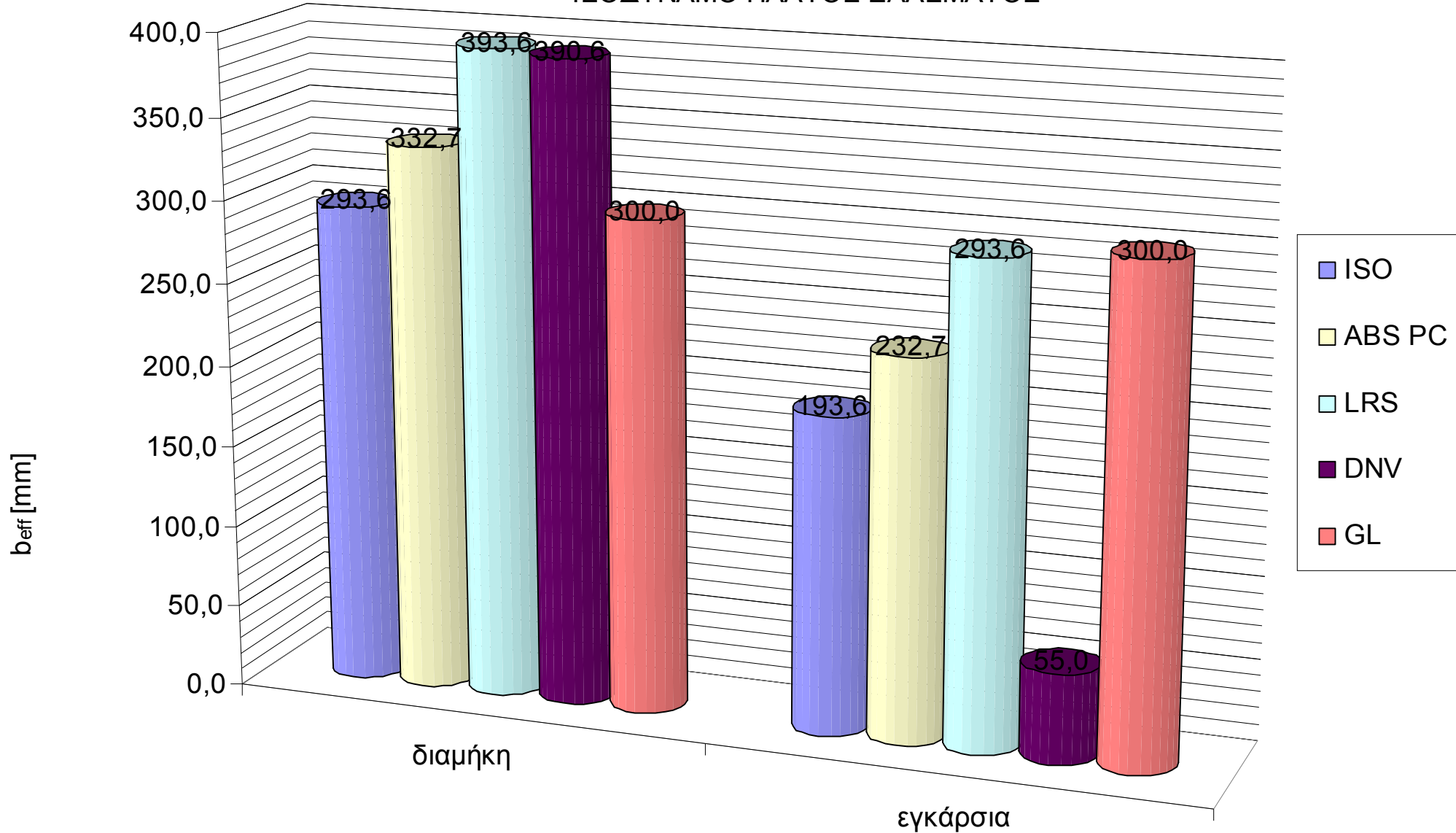
Σχήμα 3.5: Απαιτούμενο πάχος

ΡΟΠΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ



Σχήμα 3.6: Ροπή αντίστασης ενισχυτικών

ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΠΛΑΤΟΣ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ



Σχήμα 3.7: Ισοδύναμο πλάτος ελάσματος

Από τον Πίνακα 3.1 μπορούμε να βγάλουμε κάποια πρώτα σημαντικά συμπεράσματα. Τα αποτελέσματα που παρατίθενται σε αυτόν τον πίνακα είναι τα αποτελέσματα που προκύπτουν με την ακριβή χρήση των τυπολογίων έτσι όπως αυτά ορίζονται από τον κάθε κανονισμό. Δεν υπάρχουν εξομοιώσεις κατά τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων άρα αυτά είναι και τα πραγματικά αποτελέσματα. Οι αρκετά μεγάλες διαφοροποιήσεις που παρατηρούνται στα τελικά αποτελέσματα έγκεινται στις διαφοροποιήσεις που έχουν αναλυθεί στο Κεφάλαιο 2 για τις σχέσεις των κανονισμών. Ακολουθούν πινάκες με τις επί τοις εκατό διαφορές που προκύπτουν για τα αποτελέσματα των κανονισμών με συγκριτικό μέγεθος τα αποτελέσματα του ISO / DIS 12215-5.2.

Πίνακας 3.2: Επί τοις εκατό διαφορές αποτελεσμάτων.

%		ISO	ABS	DNV	LRS	GL
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΙΣ		0	-8,3	+195,9	+44,2	-
ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ	ΠΛΑΚΕΣ	0	-12,2	+51,5	-9,5	-
	ΔΙΑΜΗΚΗ	0	-10,8	+68,4	-9,3	-
	ΕΓΚΑΡΣΙΑ	0	-12,1	+50,6	-25,8	-
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΠΑΧΟΣ		0	+29,2	+93,1	+69,4	-
ΡΟΠΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ	ΔΙΑΜΗΚΗ	0	-10,8	+180,7	+37,4	+97,3
	ΕΓΚΑΡΣΙΑ	0	+32,7	+150,5	+47,7	+158,9
ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΠΛΑΤΟΣ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ	ΔΙΑΜΗΚΗ	0	+13,3	+33,0	+34,1	+2,2
	ΕΓΚΑΡΣΙΑ	0	+20,2	-71,6	+51,7	+55,0

Οι διαφορές στον υπολογισμό των κατακόρυφων επιταχύνσεων και κατ' επέκταση των σχεδιαστικών πιέσεων καθώς και η χρήση διαφορετικών συντελεστών ασφάλειας και οριακών συνθηκών είναι οι βασικοί λόγοι για τις αρκετά μεγάλες διαφοροποιήσεις των τελικών αποτελεσμάτων. Αυτό θα φανεί περισσότερο στους πινάκες και στα αποτελέσματα που ακολουθούν καθώς και στο Κεφάλαιο 4 που γίνεται η αντίστροφη ανάλυση των τύπων υπολογισμού.

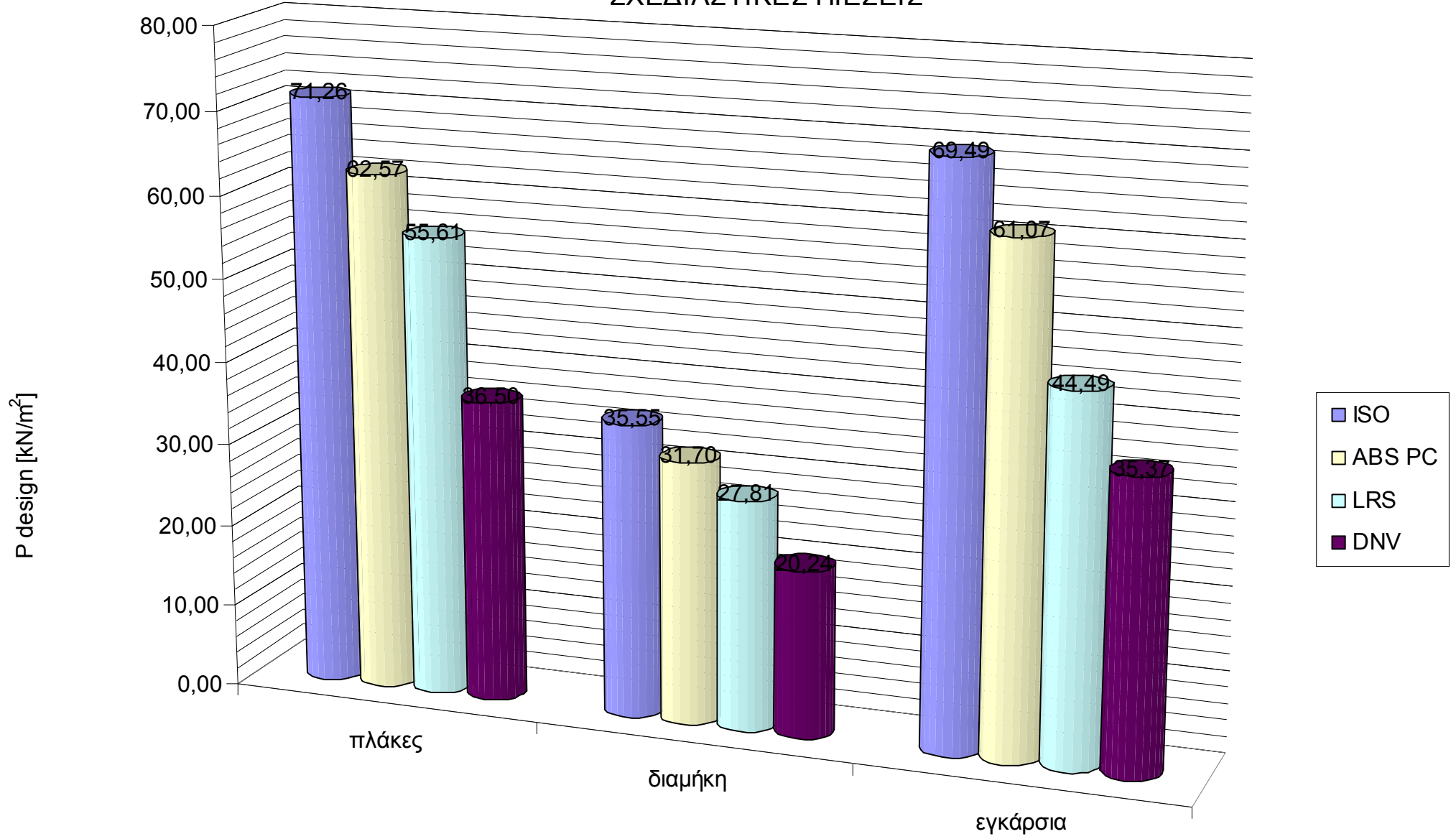
Σαν πρώτο συμπέρασμα μπορούμε να πούμε ότι τα αποτελέσματα που δίνει ο ISO / DIS 12215-5.2 για το πάχος του πολύστρωτου αλλά και για τις απαιτήσεις των ενισχυτικών είναι τα μικρότερα από όλους τους υπόλοιπους κανονισμούς. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι ο ISO / DIS 12215-5.2 χρησιμοποιεί τους μικρότερους συντελεστές ασφάλειας σε σχέση με τον αμερικάνικο και τον βρετανικό νηογνώμονα αφού αυτοί παρόλο που δίνουν μικρότερες τιμές για τις σχεδιαστικές πιέσεις τελικά το απαιτούμενο πάχος που δίνουν είναι μεγαλύτερο.

Πίνακας 3.3: Αποτελέσματα προερχόμενα από κάθε κανονισμό, χρησιμοποιώντας τους συντελεστές ασφάλειας που καθορίζονται από τον καθένα χωριστά αλλά την ίδια κατακόρυφη επιτάχυνση σε όλες τις περιπτώσεις (αυτή που υπολογίζεται στον κανονισμό του ISO).

ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

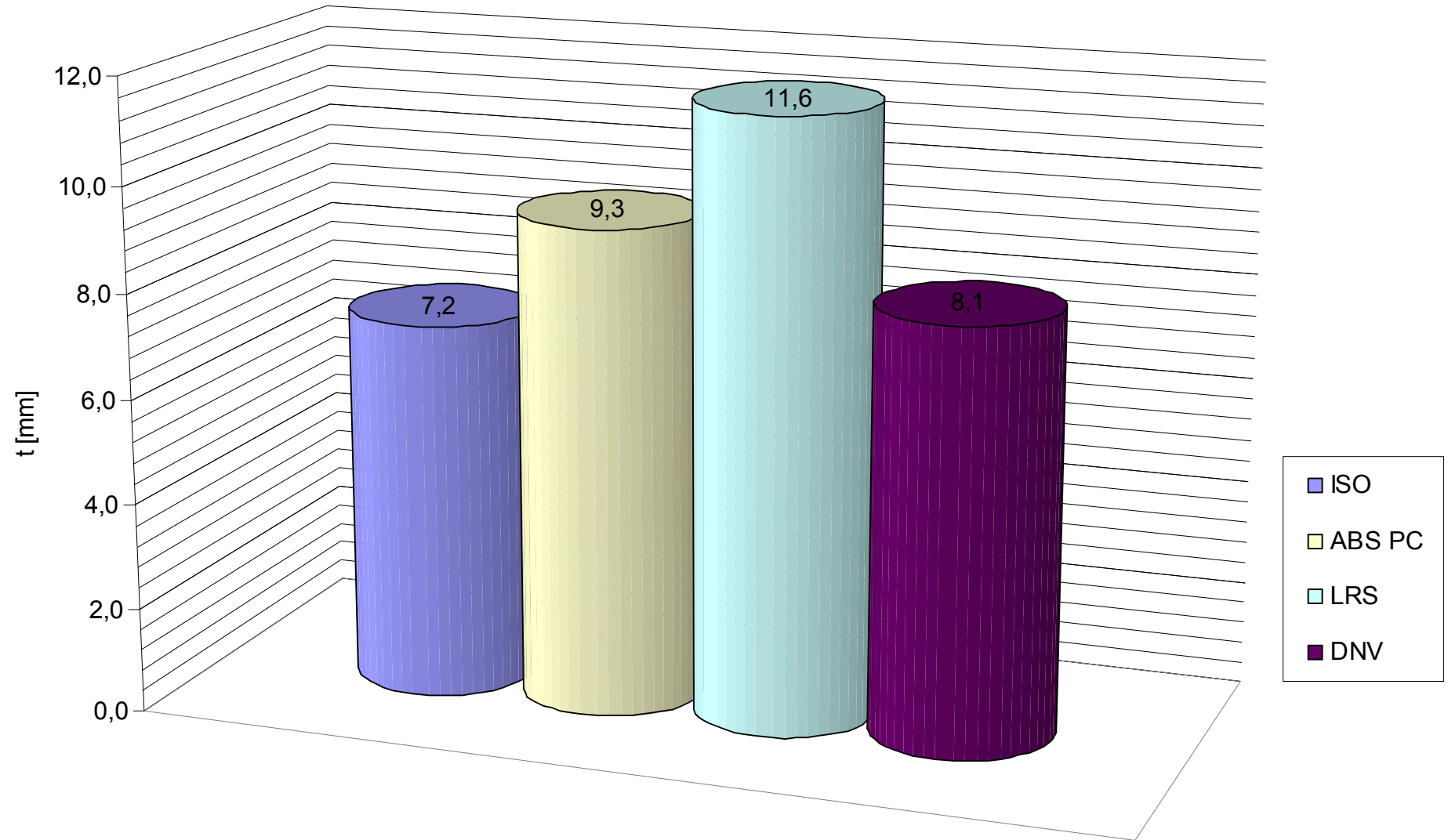
		ABS	GL	DNV	LRS	ISO	
n_{cg}		0,566		0,566	0,566	0,566	g's
p_{design}	πλάκες	62,57	59,83	36,50	55,61	71,26	kN/m²
	διαμήκη	31,70		20,24	27,81	35,55	kN/m²
	εγκάρσια	61,07		35,37	44,49	69,49	kN/m²
$t_{req.}$		*9,3	-	**8,1	*11,6	**7,2	mm
$W_{req.}$		-	6379,4	-	-	-	g/m²
N		5	6	4	6	4	
$t_{fin.}$		10,1	12,2	8,1	12,2	8,1	mm
$W_{fin.}$		6250,0	7500,0	5000,0	7500,0	5000,0	g/m²
καμπτική ροπή	διαμήκη			6377,0	8762,5		Nm
	εγκάρσια			339,5	512,5		Nm
ροπή αντίστασης	διαμήκη	159,6	353,2	169,9	212,2	179,0	cm³
	εγκάρσια	14,2	27,7	9,0	13,7	10,7	cm³
ροπή αδράνειας	διαμήκη	502,6			1324,7	846,8	cm⁴
	εγκάρσια	5,8			12,6	9,9	cm⁴
περιοχή διατμητικής τάσης	διαμήκη	13,1				11,7	cm²
	εγκάρσια	3,9				3,6	cm²
ισοδύναμο πλάτος ελάσματος	διαμήκη	332,7	300,0	390,6	393,6	293,6	mm
	εγκάρσια	232,7	300,0	55,0	293,6	193,6	mm

ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ



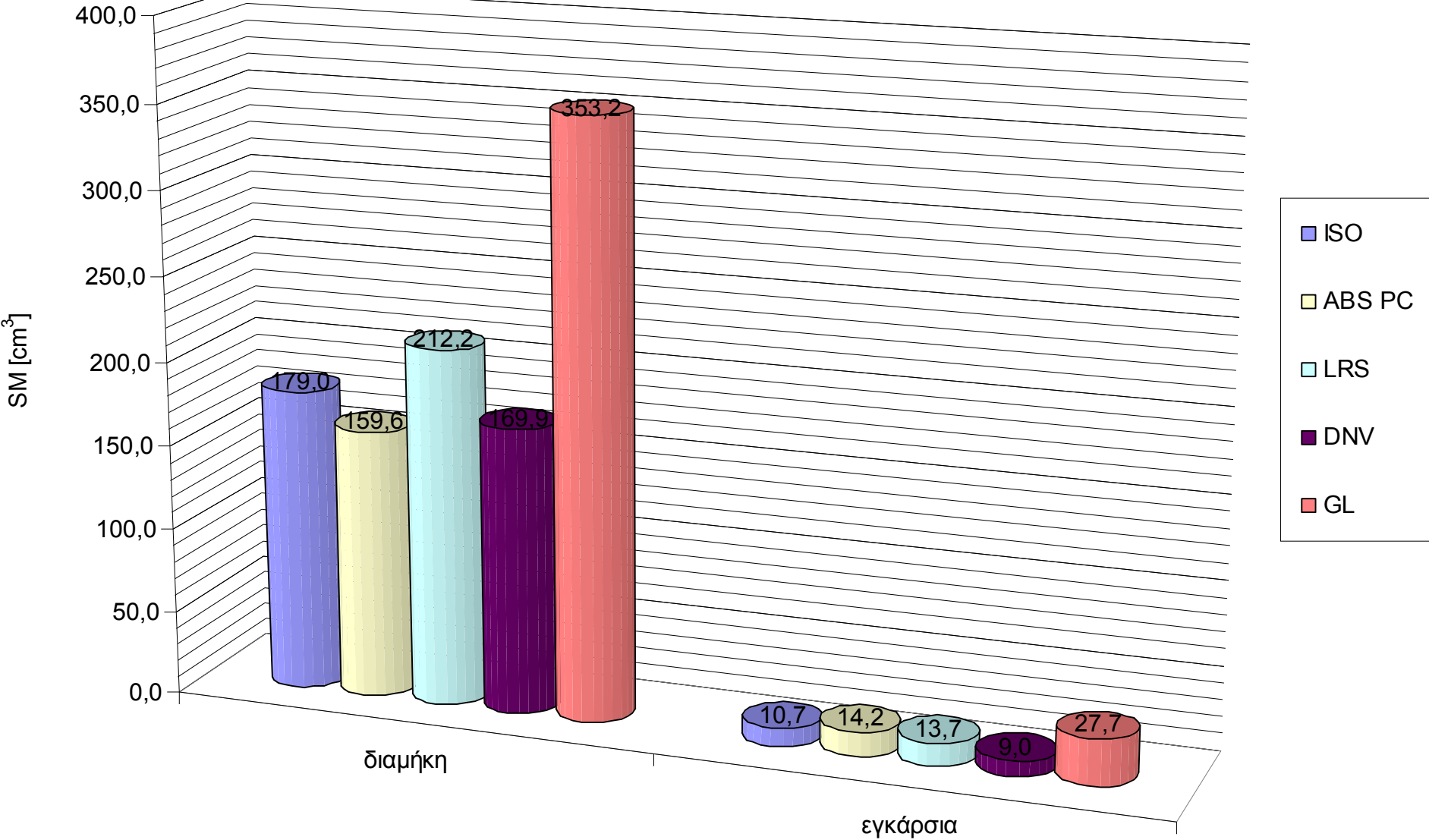
Σχήμα 3.8: Σχεδιαστικές πιέσεις

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΠΑΧΟΣ t



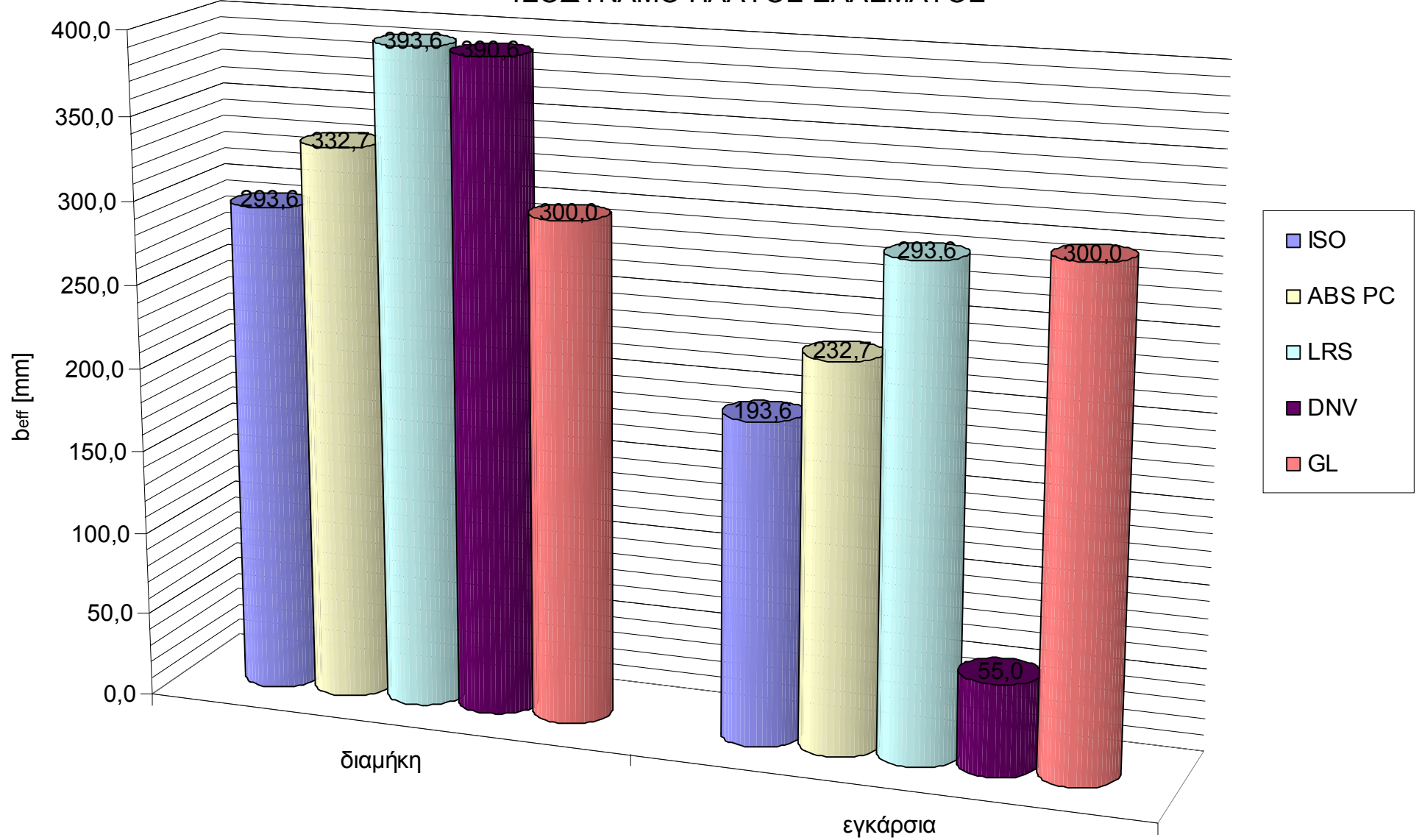
Σχήμα 3.9: Απαιτούμενο πάχος

ΡΟΠΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ



Σχήμα 3.10: Ροπή αντίστασης ενισχυτικών

ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΠΛΑΤΟΣ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ



Σχήμα 3.11: Ισοδύναμο πλάτος ελάσματος

Πίνακας 3.4: Επί τοις εκατό διαφορές αποτελεσμάτων.

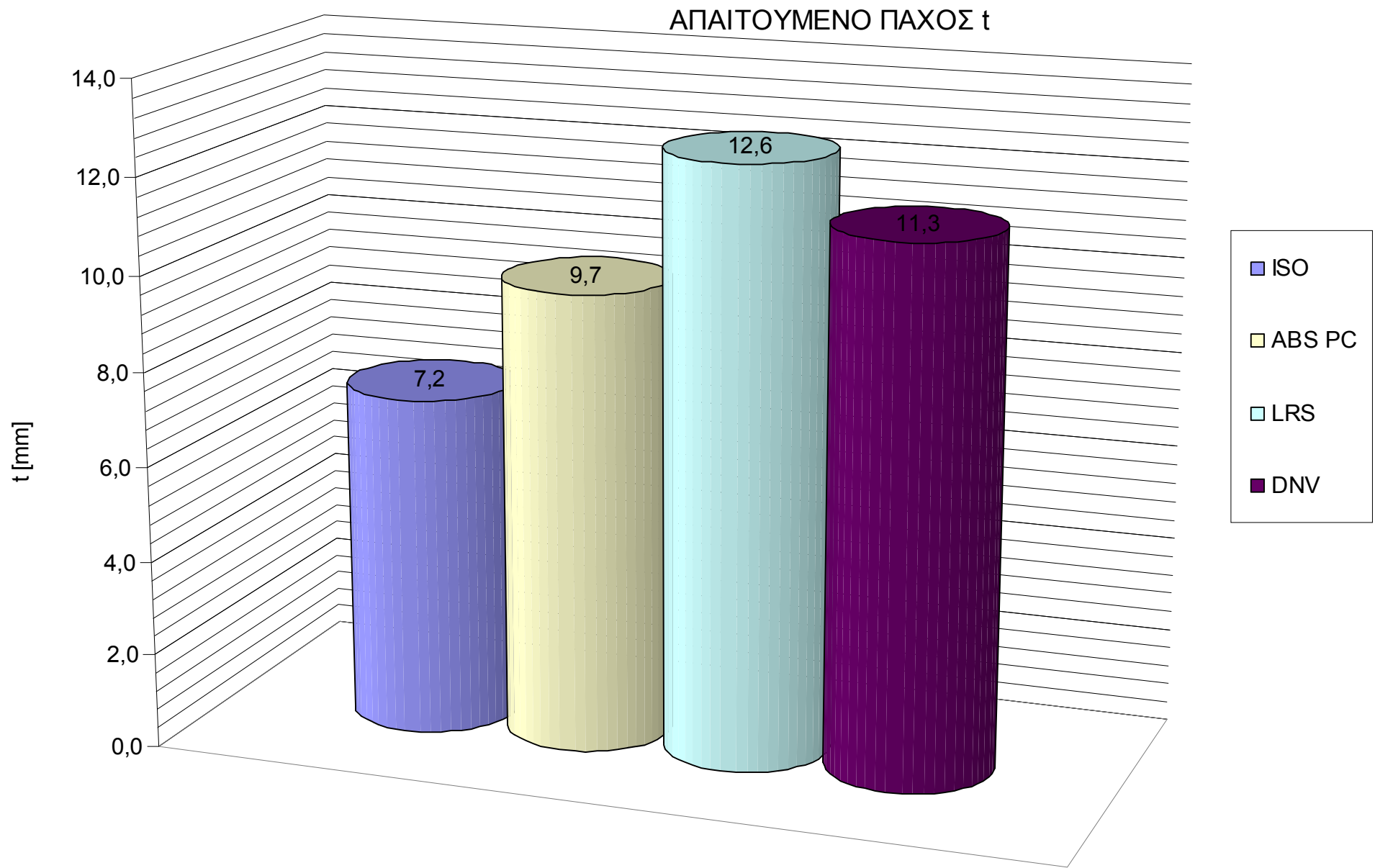
		<i>ISO</i>	<i>ABS</i>	<i>DNV</i>	<i>LRS</i>	<i>GL</i>
<i>ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ</i>	<i>ΠΛΑΚΕΣ</i>	0	-12,2	-48,8	-22,0	-
	<i>ΔΙΑΜΗΚΗ</i>	0	-10,8	-43,1	-21,8	-
	<i>ΕΓΚΑΡΣΙΑ</i>	0	-12,1	-49,1	-36,0	-
<i>ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΠΑΧΟΣ</i>		0	+29,2	+12,5	+61,1	-
<i>ΡΟΠΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ</i>	<i>ΔΙΑΜΗΚΗ</i>	0	-10,8	-5,1	+18,5	+97,3
	<i>ΕΓΚΑΡΣΙΑ</i>	0	+32,7	-15,9	+28,0	+158,9
<i>ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΠΛΑΤΟΣ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ</i>	<i>ΔΙΑΜΗΚΗ</i>	0	+13,3	+33,0	+34,1	+2,2
	<i>ΕΓΚΑΡΣΙΑ</i>	0	+20,2	-71,6	+51,7	+55,0

Από τους Πινάκες 3.2 και 3.4 παρατηρούμε ότι παρά την εξομοίωση της κατακόρυφης επιτάχυνσης οι διαφορές των αποτελεσμάτων που δίνει ο αμερικάνικος νηογνώμονας και το ISO / DIS 12215-5.2 είναι ίδιες. Αυτό σημαίνει πως τα τελικά αποτελέσματα του αμερικάνικου νηογνώμονα δεν επηρεάζονται από την κατακόρυφη επιτάχυνση. Επίσης τα τελικά αποτελέσματα του γερμανικού νηογνώμονα είναι κι αυτά ίδια με τους προηγούμενους πίνακες που δείχνει ότι και ο γερμανικός νηογνώμονας δεν επηρεάζεται από την διαφοροποίηση της κατακόρυφης επιτάχυνσης. Το ίδιο ισχύει και για τα ισοδύναμα πλάτη ελάσματος που δεν έχουν διαφοροποιηθεί. Αντίθετα στον νορβηγικό και τον βρετανικό νηογνώμονα οι διαφοροποίηση στην τιμή των κατακόρυφων επιταχύνσεων έχει αλλάξει πολύ τα τελικά τους αποτελέσματα. Ακόμα όμως και σε αυτήν την περίπτωση που οι σχεδιαστικές πιέσεις πέφτουν κάτω από τις τιμές του ISO / DIS 12215-5.2 τα αποτελέσματα για το απαιτούμενο πάχος είναι μεγαλύτερες πράγμα που επιβεβαιώνει την χρήση μικρότερων συντελεστών ασφάλειας από το ISO / DIS 12215-5.2.

Πίνακας 3.5: Αποτελέσματα προερχόμενα από κάθε κανονισμό, χρησιμοποιώντας τους συντελεστές ασφαλείας που καθορίζονται από τον καθένα χωριστά αλλά την ίδια πίεση σχεδίασης σε όλες τις περιπτώσεις (αυτή που υπολογίζεται στον κανονισμό του ISO).

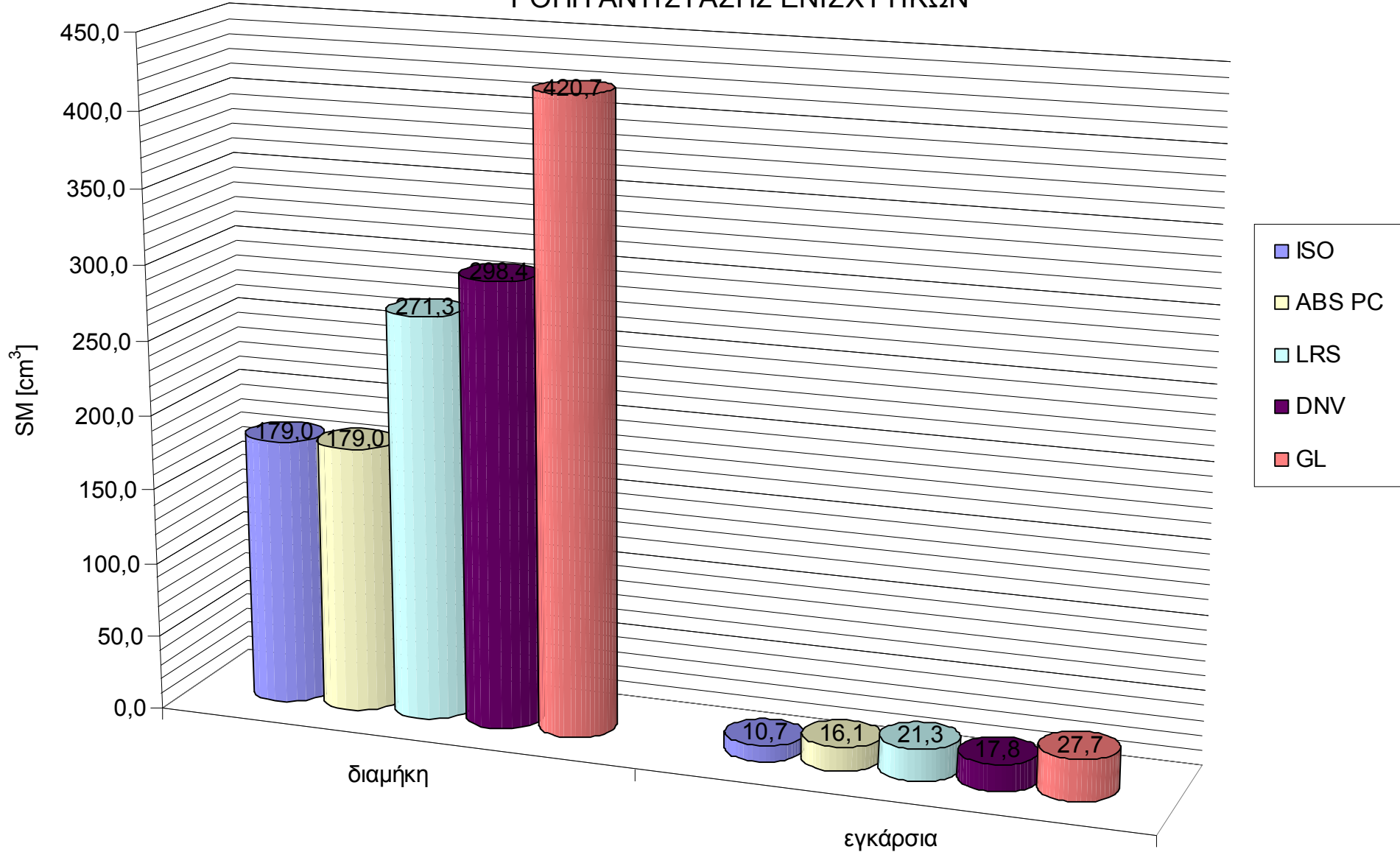
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

		ABS	GL	DNV	LRS	ISO	
n_{cg}		0,519		1,675	0,816	0,566	g's
p_{design}	πλάκες	71,26	71,26	71,26	71,26	71,26	kN/m²
	διαμήκη	35,55		35,55	35,55	35,55	kN/m²
	εγκάρσια	69,49		69,49	69,49	69,49	kN/m²
$t_{req.}$		*9,7	-	**11,3	*12,6	**7,2	mm
$W_{req.}$		-	6962,3	-	-	-	g/m²
N		5	6	6	7	4	
$t_{fin.}$		10,1	12,2	12,2	14,2	8,1	mm
$W_{fin.}$		6250,0	7500,0	7500,0	8750,0	5000,0	g/m²
καμπτική ροπή	διαμήκη			11204,0	11204,0		Nm
	εγκάρσια			667,1	800,5		Nm
ροπή αντίστασης	διαμήκη	179,0	420,7	298,4	271,3	179,0	cm³
	εγκάρσια	16,1	27,7	17,8	21,3	10,7	cm³
ροπή αδράνειας	διαμήκη	563,7			1693,8	846,8	cm⁴
	εγκάρσια	6,6			19,8	9,9	cm⁴
περιοχή διατμητικής τάσης	διαμήκη	14,6				11,7	cm²
	εγκάρσια	4,5				3,6	cm²
ισοδύναμο πλάτος ελάσματος	διαμήκη	332,7	300,0	390,6	434,2	293,6	mm
	εγκάρσια	232,7	300,0	55,0	334,2	193,6	mm

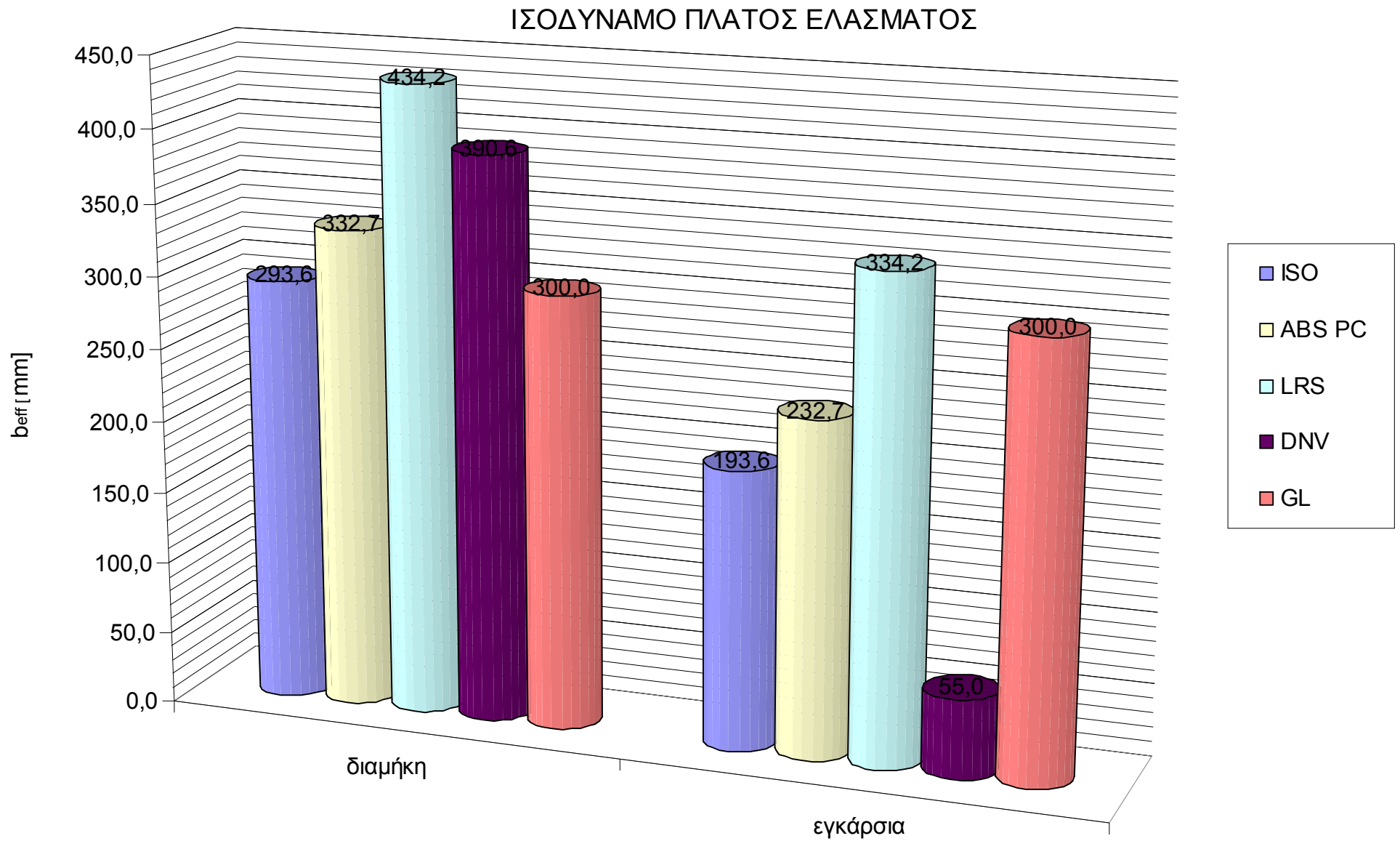


Σχήμα 3.12: Απαιτούμενο πάχος

ΡΟΠΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ



Σχήμα 3.13: Ροπή αντίστασης ενισχυτικών



Σχήμα 3.14: Ισοδύναμο πλάτος ελάσματος

Πίνακας 3.6: Επί τοις εκατό διαφορές αποτελεσμάτων.

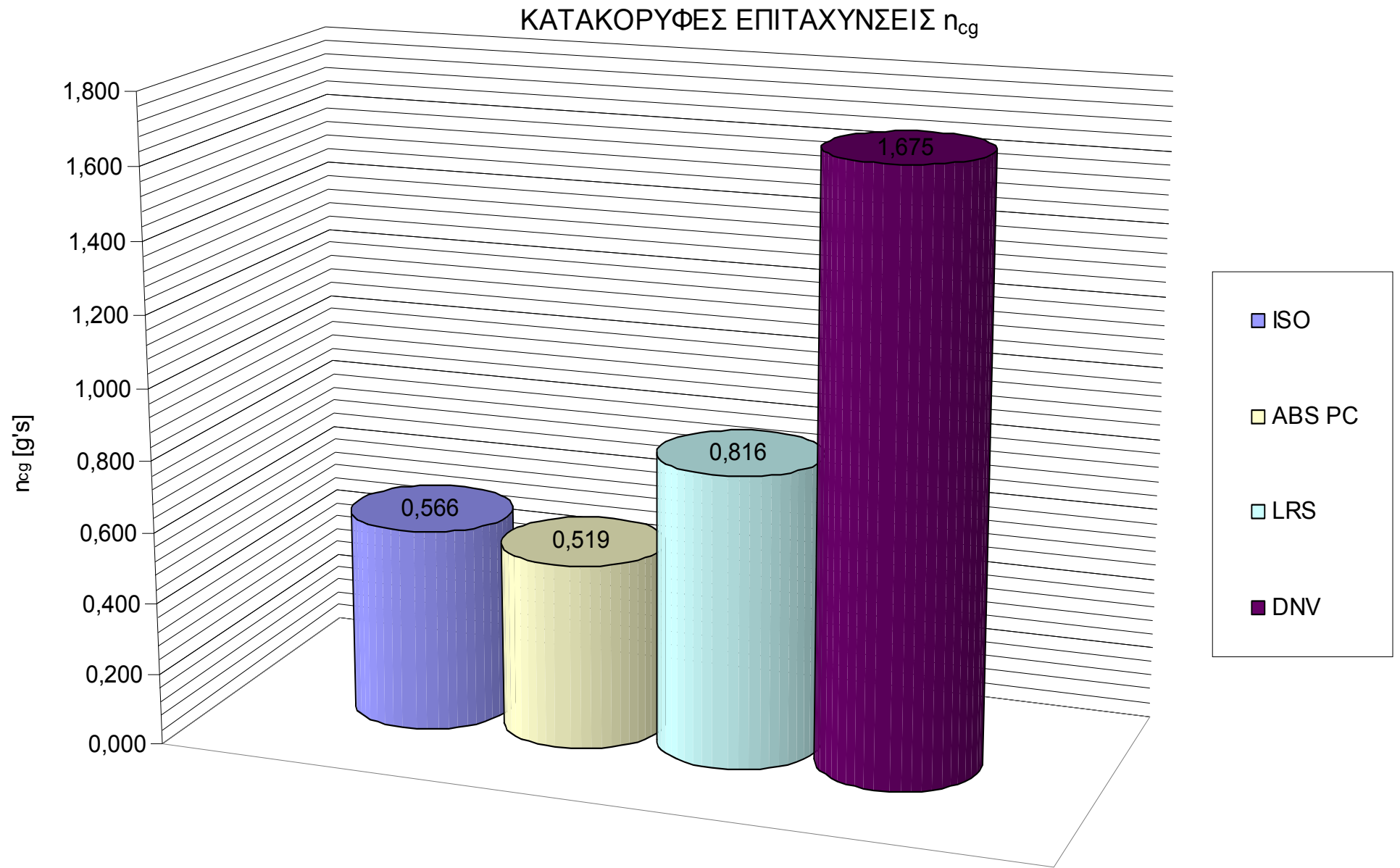
		<i>ISO</i>	<i>ABS</i>	<i>DNV</i>	<i>LRS</i>	<i>GL</i>
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΠΑΧΟΣ		0	+34,7	+56,9	+75,0	-
ΡΟΠΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ	ΔΙΑΜΗΚΗ	0	0	+66,7	+51,6	+135,0
	ΕΓΚΑΡΣΙΑ	0	+50,5	+66,4	+66,4	+158,9
ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΠΛΑΤΟΣ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ	ΔΙΑΜΗΚΗ	0	+13,3	+33,0	+47,9	+2,2
	ΕΓΚΑΡΣΙΑ	0	+20,2	-71,6	+72,6	+55,0

Μετά την εξομοίωση των σχεδιαστικών πιέσεων για όλους τους κανονισμούς παρατηρούμε ότι οι μόνες τιμές που δεν επηρεάζονται είναι οι τιμές του ισοδύναμου πλάτους ελάσματος που παραμένουν ίδιες (εκτός από τον βρετανικό νηογνώμονα). Όλα τα υπόλοιπα τελικά αποτελέσματα επηρεάζονται από αυτή την αλλαγή χωρίς απαραίτητα να παρατηρείται μεγαλύτερη σύγκλιση στις τελικές τιμές. Η μόνη τιμή που εξομοιώνεται με αυτή του ISO / DIS 12215-5.2 είναι η ροπή αντίστασης των διαμήκων ενισχυτικών σύμφωνα με τον αμερικάνικο νηογνώμονα. Και σε προηγούμενα κεφάλαια έχει παρατηρηθεί η αρκετά μεγάλη ομοιότητα των δυο κανονισμών που τώρα φαίνεται και στην τελική τιμή.

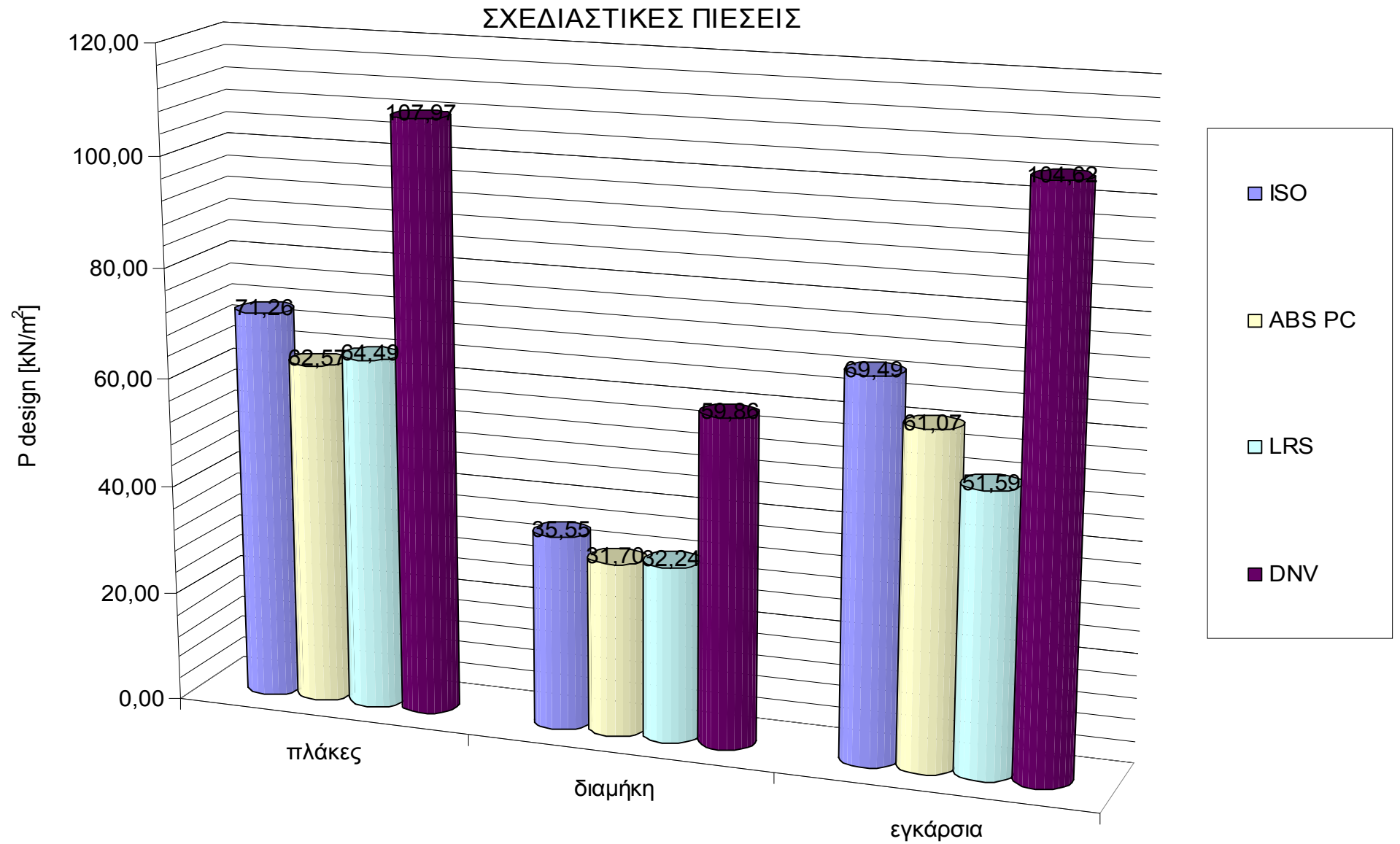
Πίνακας 3.7: Αποτελέσματα που προκύπτουν χρησιμοποιώντας τους συντελεστές ασφάλειας του κανονισμού του ISO/DIS 12215-5.2 σε όλους τους υπολογισμούς.

ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

		ABS	GL	DNV	LRS	ISO	
n_{cg}		0,519		1,675	0,816	0,566	g's
p_{design}	πλάκες	62,57	59,83	107,97	64,49	71,26	kN/m ²
	διαμήκη	31,70		59,86	32,24	35,55	kN/m ²
	εγκάρσια	61,07		104,62	51,59	69,49	kN/m ²
$t_{req.}$		*9,3	-	**10,7	*12,2	**7,2	mm
$W_{req.}$		-	6379,4	-	-	-	g/m ²
N		5	6	6	6	4	
$t_{fin.}$		10,1	12,2	12,2	12,2	8,1	mm
$W_{fin.}$		6250,0	7500,0	7500,0	7500,0	5000,0	g/m ²
καμπτική ροπή	διαμήκη			18862,4	10161,1		Nm
	εγκάρσια			1004,3	594,3		Nm
ροπή αντίστασης	διαμήκη	159,6	353,2	301,4	162,4	179,0	cm ³
	εγκάρσια	9,4	27,7	16,1	9,5	10,7	cm ³
ροπή αδράνειας	διαμήκη	502,6			1536,1	846,8	cm ⁴
	εγκάρσια	5,8			14,7	9,9	cm ⁴
περιοχή διατμητικής τάσης	διαμήκη	10,4				11,7	cm ²
	εγκάρσια	3,1				3,6	cm ²
ισοδύναμο πλάτος ελάσματος	διαμήκη	332,7	300,0	390,6	393,6	293,6	mm
	εγκάρσια	232,7	300,0	55,0	293,6	193,6	mm

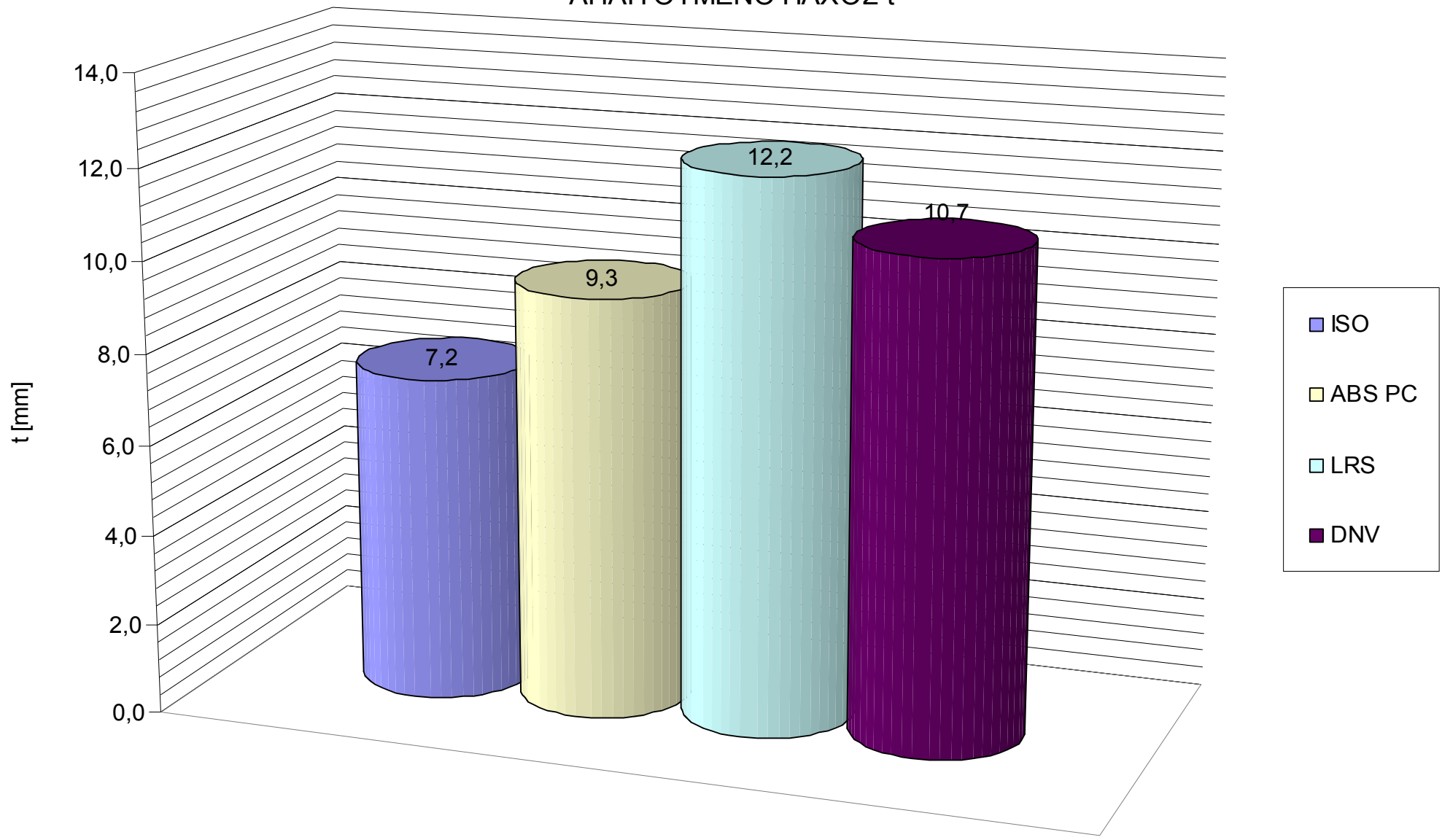


Σχήμα 3.15: Κατακόρυφες επιταχύνσεις



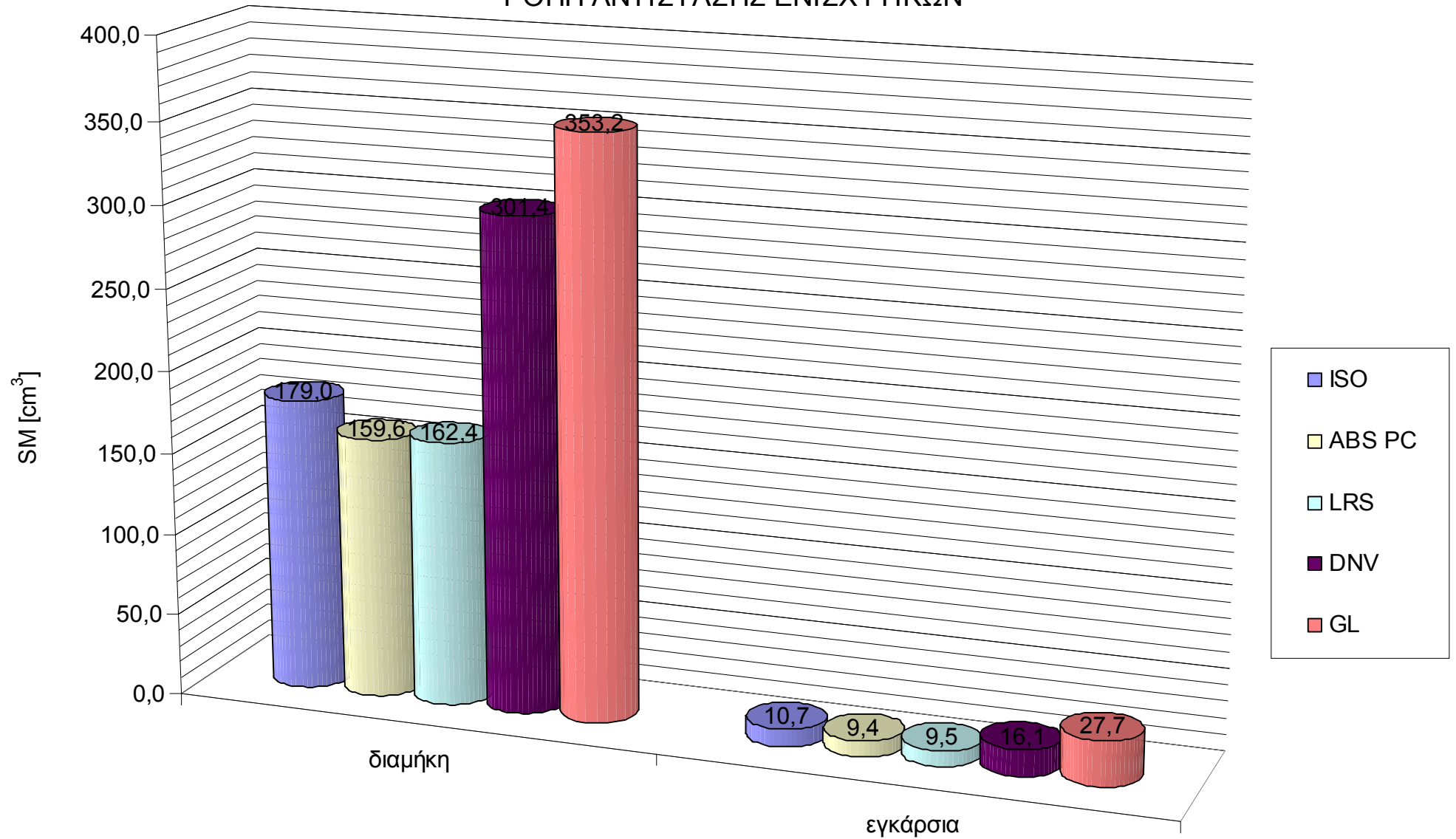
Σχήμα 3.16: Σχεδιαστικές πιέσεις

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΠΑΧΟΣ t

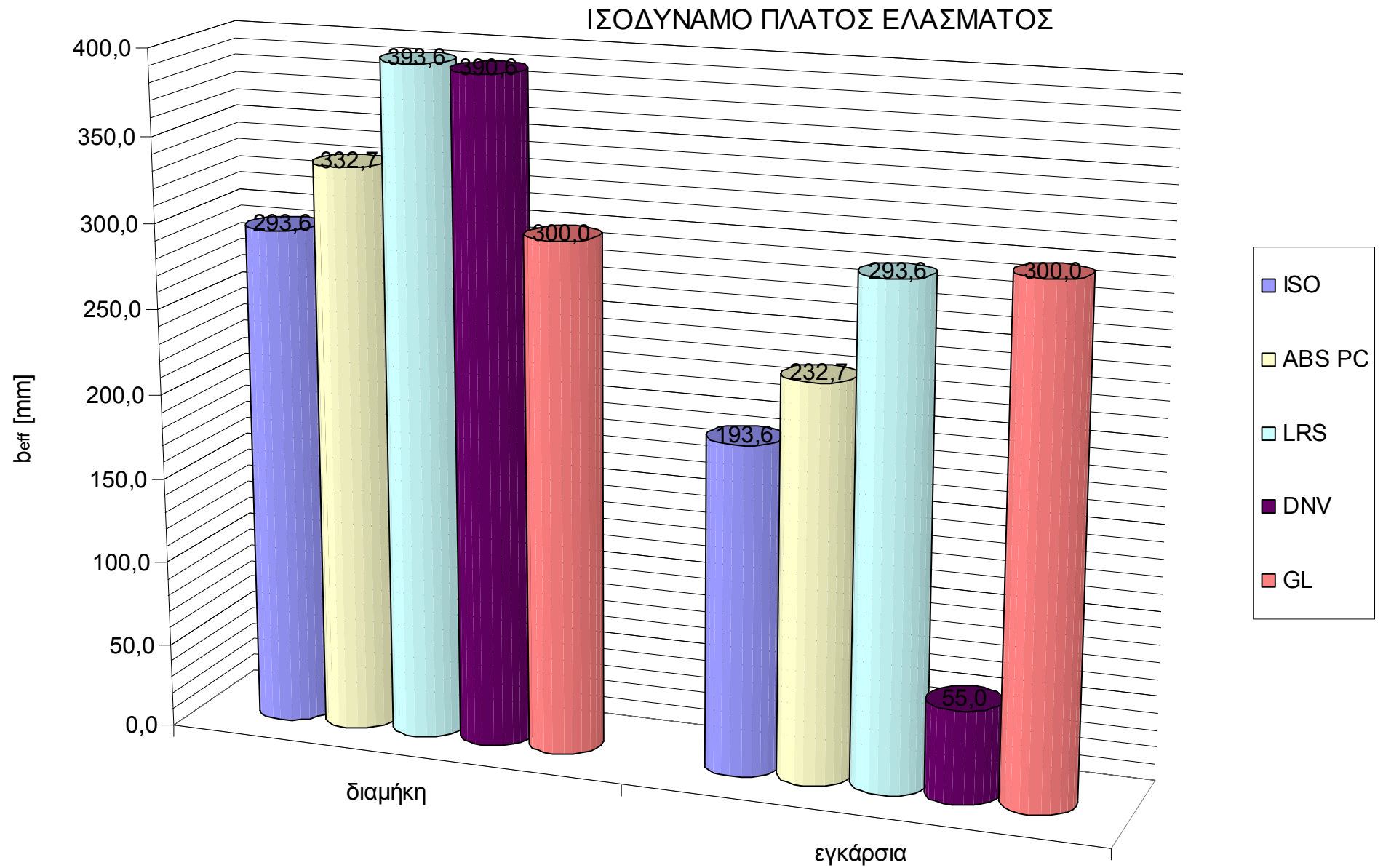


Σχήμα 3.17: Απαιτούμενο πάχος

ΡΟΠΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ



Σχήμα 3.18: Ροπή αντίστασης ενισχυτικών



Σχήμα 3.19: Ισοδύναμο πλάτος ελάσματος

Σε αυτή την ομάδα των αποτελεσμάτων τα τελικά αποτελέσματα έχουν προκύψει χρησιμοποιώντας (όπου είναι δυνατόν και όπου αυτοί είναι εμφανείς μέσα στις εξισώσεις) τους συντελεστές ασφάλειας του ISO/DIS 12215-5.2. Αυτό θα μας διαφωτίσει για το κατά πόσο οι συντελεστές ασφάλειας που χρησιμοποιούνται από τους κανονισμούς τροποποιούν τα τελικά αποτελέσματα. Αυτό δεν είναι βέβαια παντού εφικτό γιατί σε πολλές περιπτώσεις οι συντελεστές ασφάλειας είναι κρυμμένοι μέσα στις εξισώσεις των κανονισμών με την μορφή συντελεστών.

Πίνακας 3.8: Επί τοις εκατό διαφορές αποτελεσμάτων.

		<i>ISO</i>	<i>ABS</i>	<i>DNV</i>	<i>LRS</i>	<i>GL</i>
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΙΣ		0	-8,3	+195,9	+44,2	-
ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ	<i>ΠΛΑΚΕΣ</i>	0	-12,2	+51,5	-9,5	-
	<i>ΔΙΑΜΗΚΗ</i>	0	-10,8	+68,4	-9,3	-
	<i>ΕΓΚΑΡΣΙΑ</i>	0	-12,1	+50,6	-25,8	-
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΠΛΑΧΟΣ		0	+29,2	+48,6	+69,4	-
ΡΟΠΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ	<i>ΔΙΑΜΗΚΗ</i>	0	-10,8	+68,4	-9,3	+97,3
	<i>ΕΓΚΑΡΣΙΑ</i>	0	-12,2	+50,5	-11,2	+158,9
ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΠΛΑΤΟΣ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ	<i>ΔΙΑΜΗΚΗ</i>	0	+13,3	+33,0	+34,1	+2,2
	<i>ΕΓΚΑΡΣΙΑ</i>	0	+20,2	-71,6	+51,7	+55,0

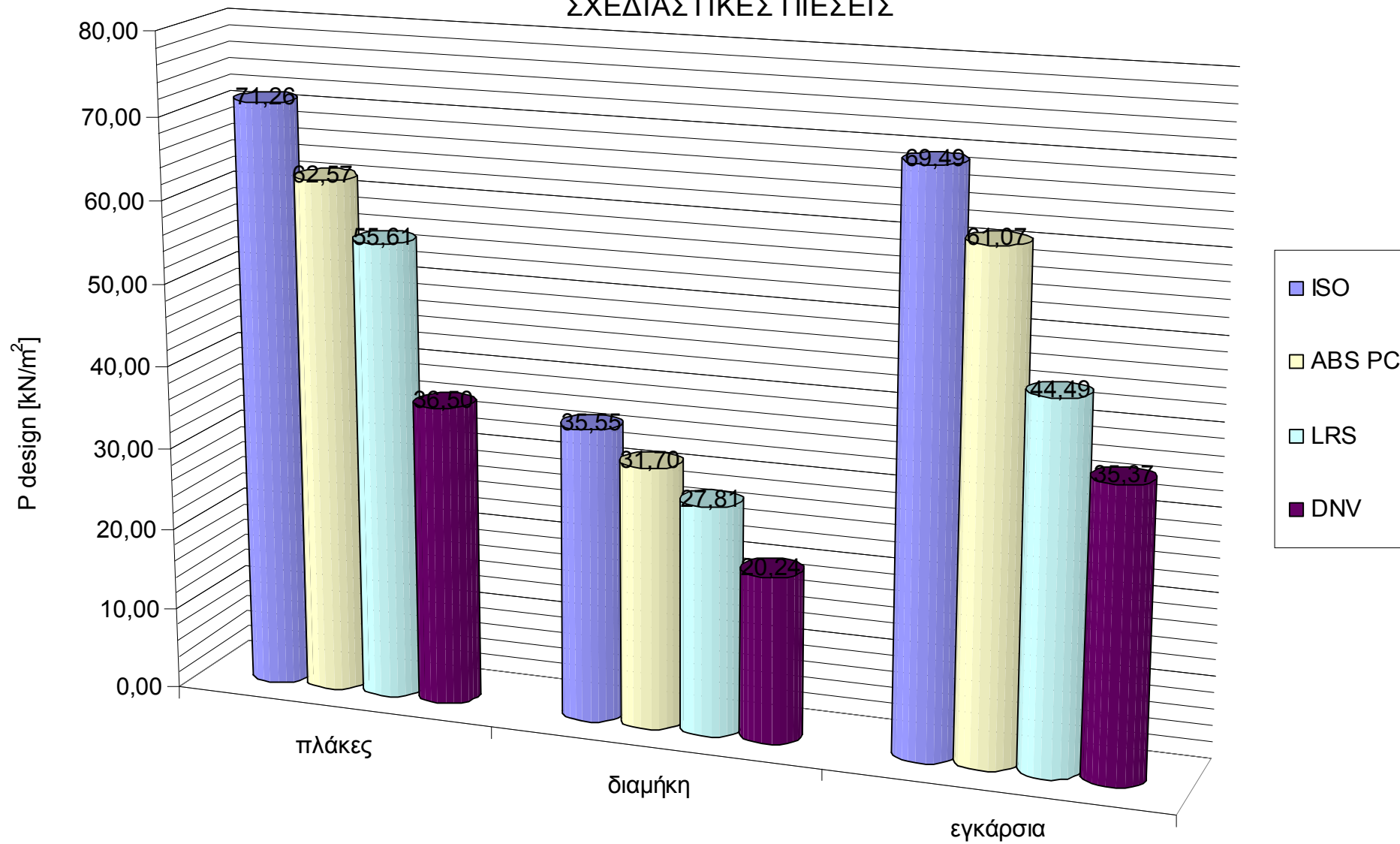
Συγκρίνοντας τους Πινάκες 3.2 και 3.8 παρατηρούμε ότι οι κατακόρυφες επιταχύνσεις, οι σχεδιαστικές πιέσεις και το ισοδύναμο πλάτος ελάσματος δεν επηρεάζονται από αυτή τη διαφοροποίηση. Για τα υπόλοιπα μεγέθη και για τους κανονισμούς που παρατηρούνται διαφοροποιήσεις στα αποτελέσματα βλέπουμε ότι με την χρήση κοινών συντελεστών ασφάλειας οι διαφορές έχουν αμβλυνθεί. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι όντως οι συντελεστές ασφάλειας που χρησιμοποιεί το ISO/DIS 12215-5.2 είναι μικρότεροι σε σχέση με τους άλλους κανονισμούς.

Πίνακας 3.9: Αποτελέσματα που προκύπτουν χρησιμοποιώντας τους συντελεστές ασφάλειας του ISO/DIS 12215-5.2 σε όλους τους υπολογισμούς και χρησιμοποιώντας την ίδια κατακόρυφη επιτάχυνση (αυτή που υπολογίζεται στον κανονισμό του ISO/DIS 12215-5.2).

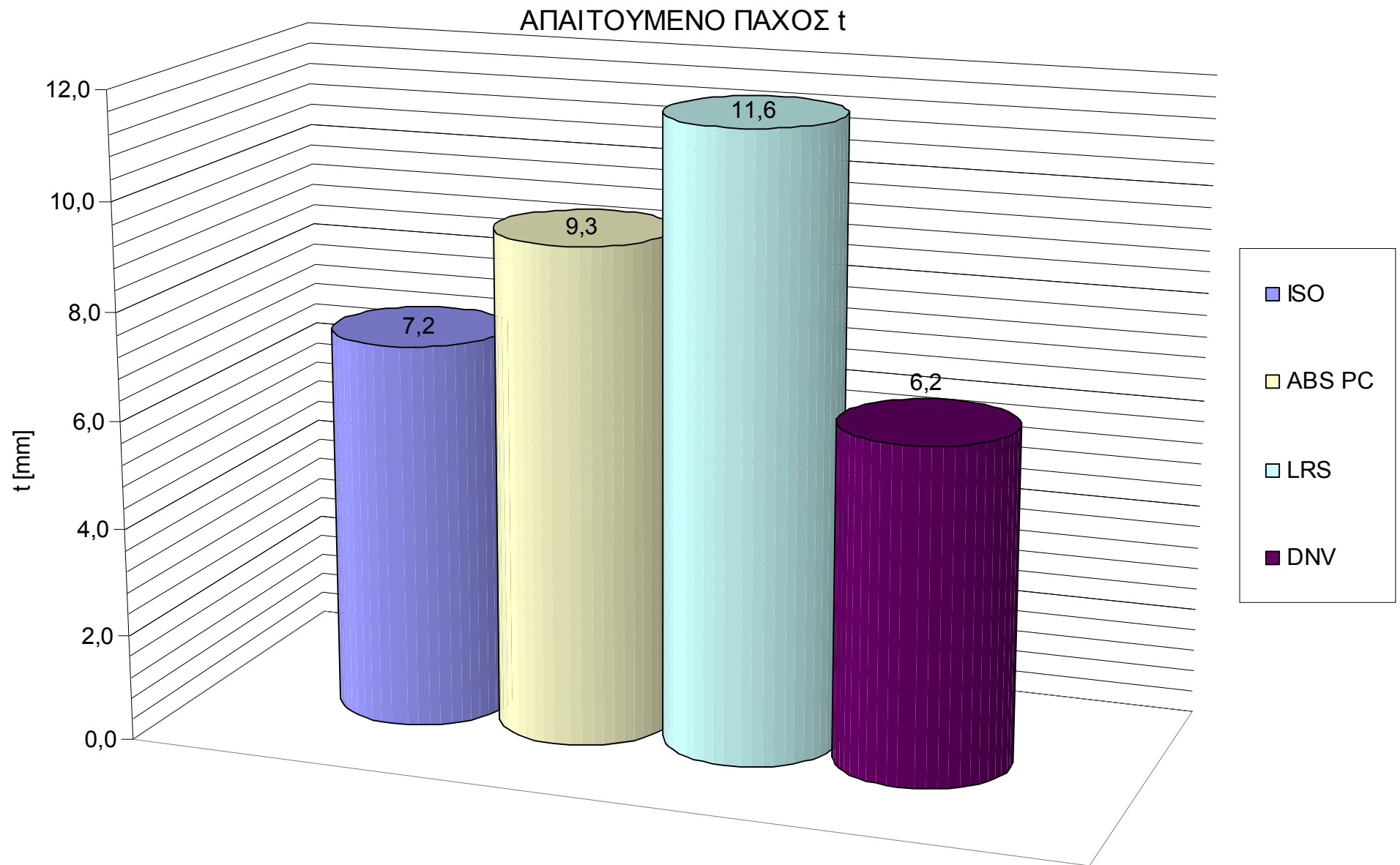
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

		ABS	GL	DNV	LRS	ISO	
n_{cg}		0,566		0,566	0,566	0,566	g's
p_{design}	πλάκες	62,57	59,83	36,50	55,61	71,26	kN/m ²
	διαμήκη	31,70		20,24	27,81	35,55	kN/m ²
	εγκάρσια	61,07		35,37	44,49	69,49	kN/m ²
$t_{req.}$		*9,3	-	**6,2	*11,6	**7,2	mm
$W_{req.}$		-	6379,4	-	-	-	g/m ²
N		5	6	4	6	4	
$t_{fin.}$		10,1	12,2	8,1	12,2	8,1	mm
$W_{fin.}$		6250,0	7500,0	5000,0	7500,0	5000,0	g/m ²
καμπτική ροπή	διαμήκη			6377,0	8762,5		Nm
	εγκάρσια			339,5	512,5		Nm
ροπή αντίστασης	διαμήκη	159,6	353,2	101,9	140,0	179,0	cm ³
	εγκάρσια	9,4	27,7	5,4	8,2	10,7	cm ³
ροπή αδράνειας	διαμήκη	502,6			1324,7	846,8	cm ⁴
	εγκάρσια	5,8			12,6	9,9	cm ⁴
περιοχή διατμητικής τάσης	διαμήκη	10,4				11,7	cm ²
	εγκάρσια	3,1				3,6	cm ²
ισοδύναμο πλάτος ελάσματος	διαμήκη	332,7	300,0	390,6	393,6	293,6	mm
	εγκάρσια	232,7	300,0	55,0	293,6	193,6	mm

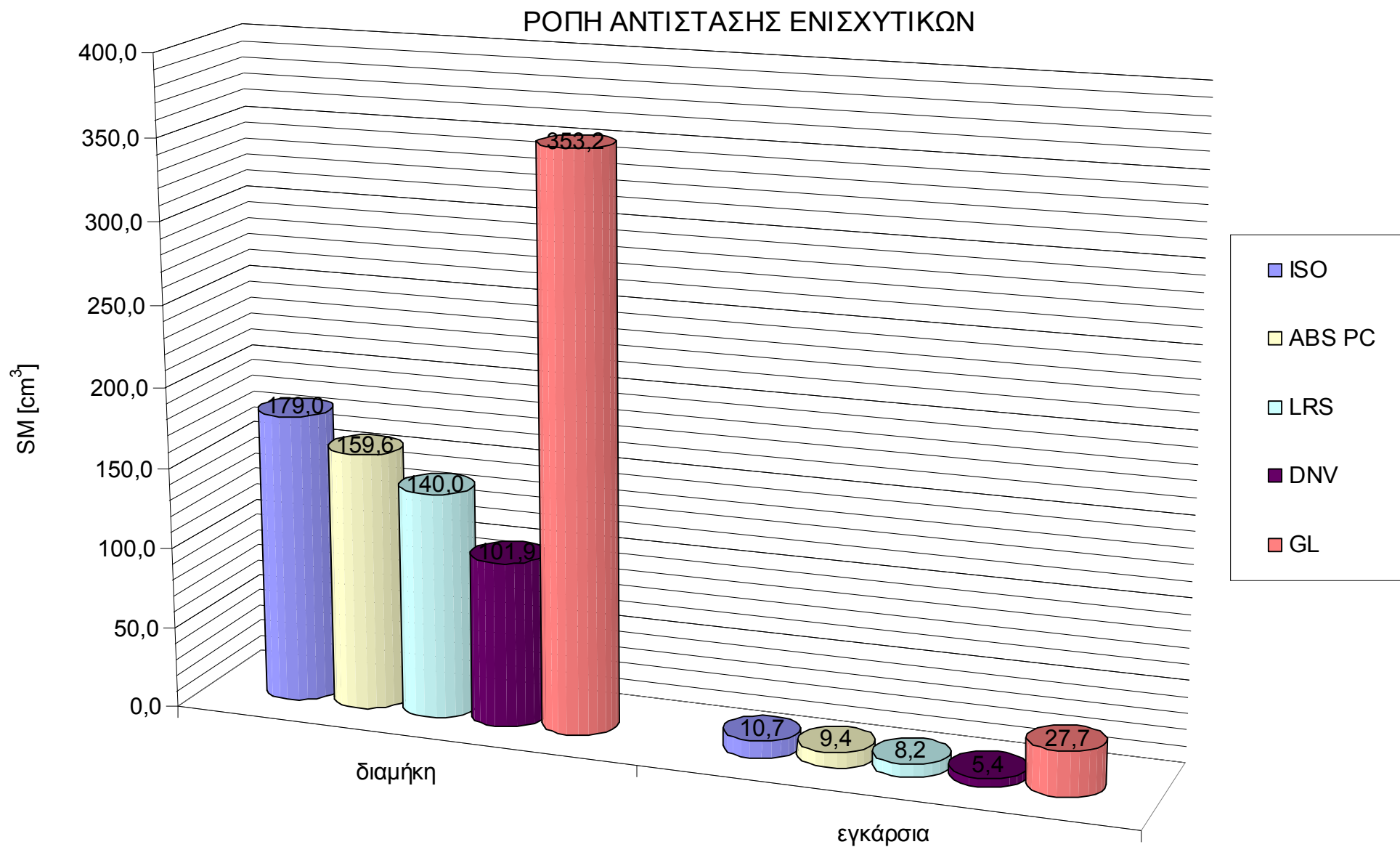
ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ



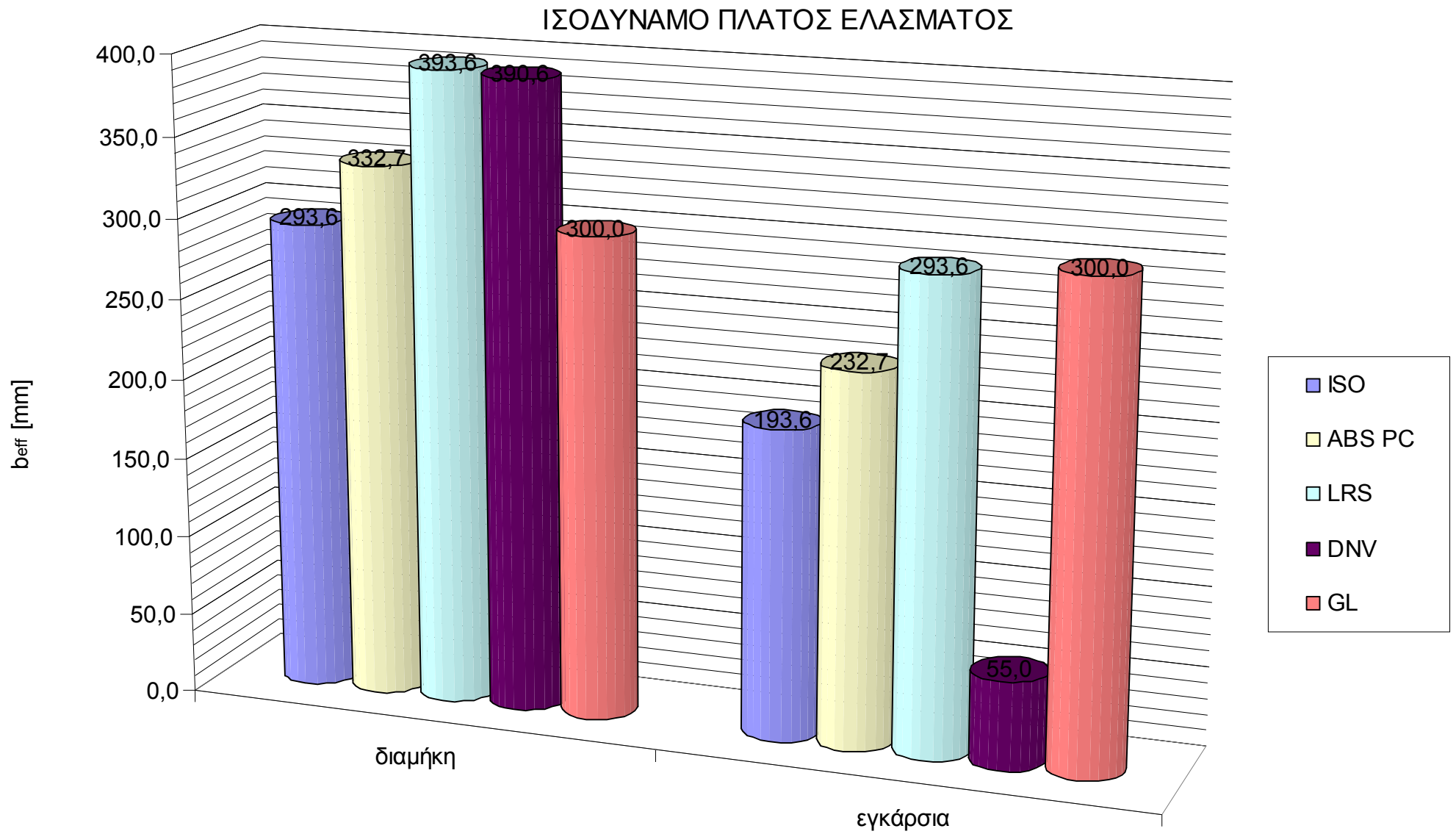
Σχήμα 3.20: Σχεδιαστικές πιέσεις



Σχήμα 3.21: Απαιτούμενο πάχος



Σχήμα 3.22: Ροπή αντίστασης ενισχυτικών



Σχήμα 3.23: Ισοδύναμο πλάτος ελάσματος

Πίνακας 3.10: Επί τοις εκατό διαφορές αποτελεσμάτων.

		<i>ISO</i>	<i>ABS</i>	<i>DNV</i>	<i>LRS</i>	<i>GL</i>
<i>ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ</i>	<i>ΠΛΑΚΕΣ</i>	0	-12,2	-48,8	-22,0	-
	<i>ΔΙΑΜΗΚΗ</i>	0	-10,8	-43,1	-21,8	-
	<i>ΕΓΚΑΡΣΙΑ</i>	0	-12,1	-49,1	-36,0	-
<i>ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΠΑΧΟΣ</i>		0	+29,2	-13,9	+61,1	-
<i>ΡΟΠΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ</i>	<i>ΔΙΑΜΗΚΗ</i>	0	-10,8	-43,1	-21,8	+97,3
	<i>ΕΓΚΑΡΣΙΑ</i>	0	-12,2	-49,5	+23,4	+158,9
<i>ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΠΛΑΤΟΣ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ</i>	<i>ΔΙΑΜΗΚΗ</i>	0	+13,3	+33,0	+34,1	+2,2
	<i>ΕΓΚΑΡΣΙΑ</i>	0	+20,2	-71,6	+51,7	+55,0

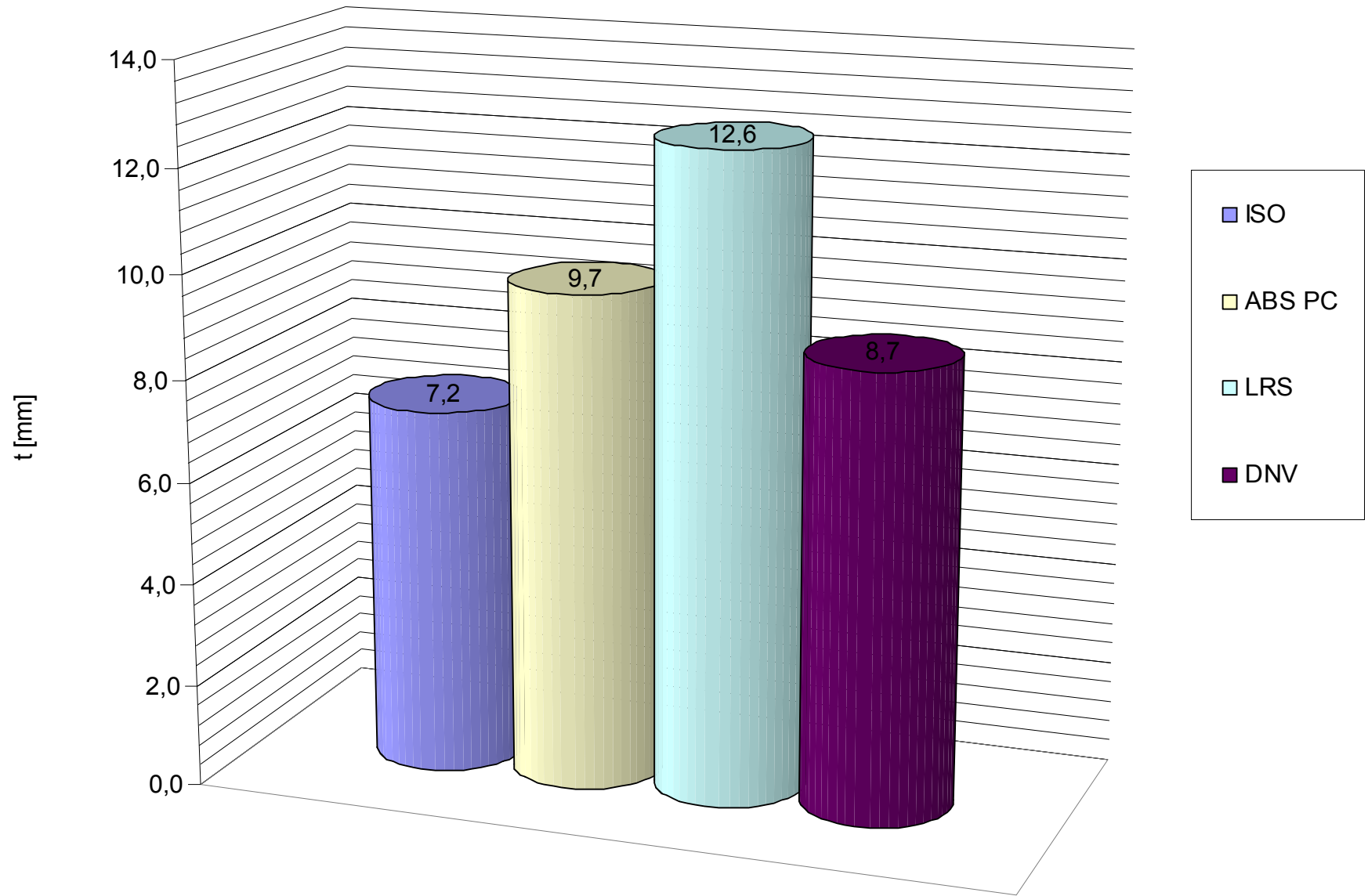
Τα συμπεράσματα μετά τον επαναυπολογισμό των αποτελεσμάτων μετά την εξίσωση των κατακόρυφων επιταχύνσεων είναι αντίστοιχα με αυτά του Πίνακα 3.2. Παρατηρούμε την μη διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων του αμερικάνικου και του γερμανικού νηογνώμονα, ενώ αντίθετα παρατηρείται μεγάλη μείωση των αποτελεσμάτων του νορβηγικού νηογνώμονα.

Πίνακας 3.11: Αποτελέσματα που προκύπτουν χρησιμοποιώντας τους συντελεστές ασφάλειας του ISO/DIS 12215-5.2 σε όλους τους υπολογισμούς και χρησιμοποιώντας την ίδια πίεση σχεδίασης (αυτή που υπολογίζεται στον κανονισμό του ISO/DIS 12215-5.2).

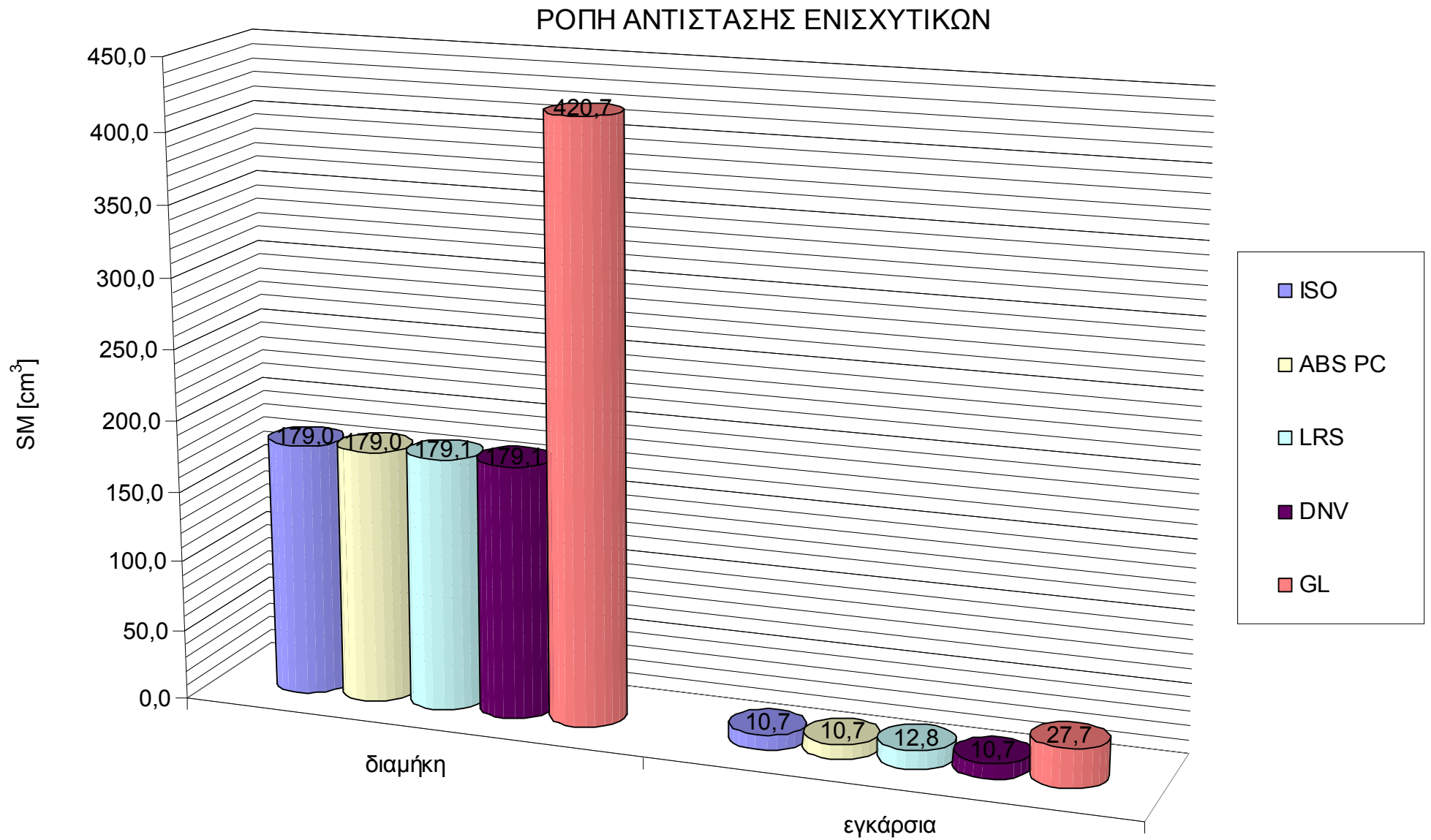
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

		ABS	GL	DNV	LRS	ISO	
n_{cg}		0,519		1,675	0,816	0,566	g's
p_{design}	πλάκες	71,26		71,26	71,26	71,26	kN/m²
	διαμήκη	35,55	71,26	35,55	35,55	35,55	kN/m²
	εγκάρσια	69,49		69,49	69,49	69,49	kN/m²
$t_{req.}$		*9,7	-	**8,7	*12,6	**7,2	mm
$W_{req.}$		-	6962,3	-	-	-	g/m²
N		5	6	5	7	4	
$t_{fin.}$		10,1	12,2	10,1	14,2	8,1	mm
$W_{fin.}$		6250,0	7500,0	6250,0	8750,0	5000,0	g/m²
καμπτική ροπή	διαμήκη			11204,0	11204,0		Nm
	εγκάρσια			667,1	800,5		Nm
ροπή αντίστασης	διαμήκη	179,0	420,7	179,1	179,1	179,0	cm³
	εγκάρσια	10,7	27,7	10,7	12,8	10,7	cm³
ροπή αδράνειας	διαμήκη	563,7			1693,8	846,8	cm⁴
	εγκάρσια	6,6			19,8	9,9	cm⁴
περιοχή διατμητικής τάσης	διαμήκη	11,7				11,7	cm²
	εγκάρσια	3,6				3,6	cm²
ισοδύναμο πλάτος ελάσματος	διαμήκη	332,7	300,0	390,6	434,2	293,6	mm
	εγκάρσια	232,7	300,0	55,0	334,2	193,6	mm

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΠΑΧΟΣ t

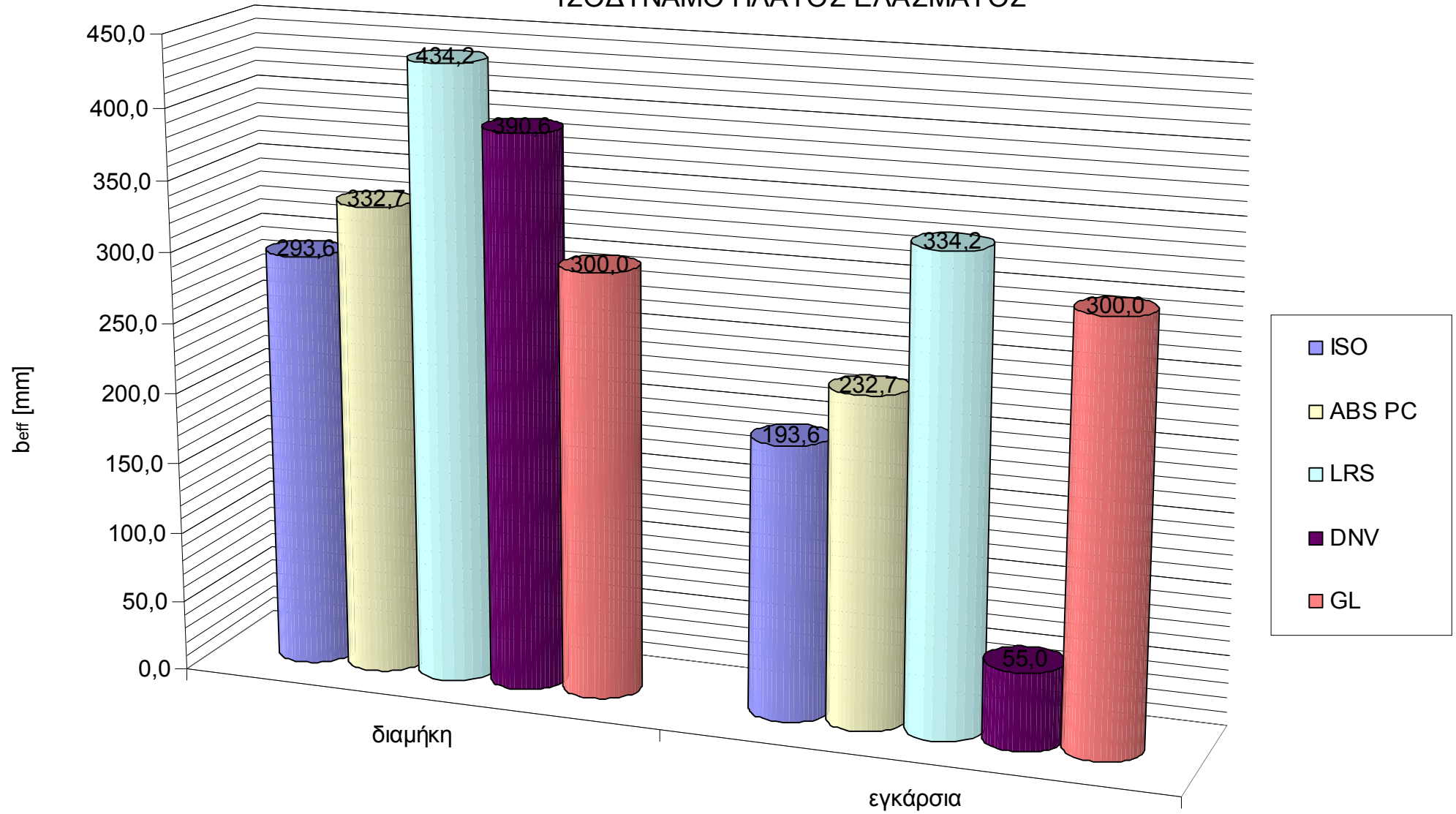


Σχήμα 3.24: Απαιτούμενο πάχος



Σχήμα 3.25: Ροπή αντίστασης ενισχυτικών

ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΠΛΑΤΟΣ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ



Σχήμα 3.26: Ισοδύναμο πλάτος ελάσματος

Πίνακας 3.12: Επί τοις εκατό διαφορές αποτελεσμάτων.

		<i>ISO</i>	<i>ABS</i>	<i>DNV</i>	<i>LRS</i>	<i>GL</i>
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΠΑΧΟΣ		0	+34,7	+20,8	+75,0	-
ΡΟΠΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ	ΔΙΑΜΗΚΗ	0	0	0	0	+135,0
	ΕΓΚΑΡΣΙΑ	0	0	0	+19,6	+158,9
ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΠΛΑΤΟΣ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ	ΔΙΑΜΗΚΗ	0	+13,3	+33,0	+47,9	+2,2
	ΕΓΚΑΡΣΙΑ	0	+20,2	-71,6	+72,6	+55,0

Από τον Πίνακα 3.12 χρίζει σχολιασμού το γεγονός της μεγάλης σύγκλισης των αποτελεσμάτων της ροπής αντίστασης των ενισχυτικών. Βλέπουμε πια ότι οι διαφοροποιήσεις που παρατηρούνταν στα τελικά αποτελέσματα προέκυπταν από την διαφοροποίηση των συντελεστών ασφάλειας αλλά και των κατακόρυφων επιταχύνσεων.

Ως προς απαιτούμενο πάχος της πλάκας του περιβλήματος του σκάφους συνεχίζει να φαίνεται ότι το ISO/DIS 12215-5.2 είναι πιο ελαστικό σε σχέση με τους υπόλοιπους νηογνώμονες.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την εξέταση των τελικών αποτελεσμάτων που παρατίθενται και με την σωστή παρατήρηση των σχέσεων που προτείνει ο κάθε νηογνώμονας μπορούμε να βγάλουμε μερικά γενικά συμπεράσματα για την σύγκριση του προτύπου ISO/DIS 12215-5.2 με τους υπόλοιπους κανονισμούς.

- Παρατηρώντας τον Πίνακα 3.1 που φαίνονται οι τελικές τιμές του κάθε κανονισμού έτσι όπως προκύπτουν από την αυτούσια χρήση του τυπολογίου μπορούμε εύκολα να δούμε ότι ο κανονισμός του ISO/DIS 12215-5.2 είναι πιο ελαστικός από τους υπόλοιπους αφού δίνει την μικρότερη τιμή για το απαιτούμενο πάχος και από τις μικρότερες τιμές για τις απαιτήσεις των ενισχυτικών μερών μαζί με τον κανονισμό για τα σκάφη αναψυχής του αμερικάνικου νηογνώμονα, χωρίς αυτό να δικαιολογείται από τις τιμές των σχεδιαστικών πιέσεων. Αντίθετα για τον κανονισμό του νορβηγικού νηογνώμονα, που έχει και τις μεγαλύτερες απαιτήσεις εύκολα καταλαβαίνουμε ότι αυτές προκύπτουν από την πολύ αυξημένη τιμή της κατακόρυφης επιτάχυνσης, αφού στους πίνακες που έχουν εξισωθεί οι τιμές για την κατακόρυφη επιτάχυνση οι απαιτήσεις του κανονισμού τόσο για το απαιτούμενο πάχος όσο και για τα ενισχυτικά μέρη μειώνονται αρκετά και έρχονται στα επίπεδα των άλλων κανονισμών.
- Επίσης μια παρατήρηση που δικαιολογείται και από την μελέτη των τύπων είναι οι αρκετά κοντινές τιμές του κανονισμού του ISO/DIS 12215-5.2 με τον κανονισμό του αμερικάνικου νηογνώμονα. Κάτι τέτοιο είναι εύλογο αφού ο κανονισμός του ISO/DIS 12215-5.2 είναι κατά ένα πολύ μεγάλο βαθμό στηριγμένος στον αντίστοιχο κανονισμό του αμερικανικού νηογνώμονα.
- Στους τρεις τελευταίους πίνακες που έχουν χρησιμοποιηθεί οι ίδιοι συντελεστές ασφάλειας παρατηρούμε μια μείωση του εύρους της διαφοράς των τιμών πράγμα απόλυτα λογικό αφού οι συντελεστές ασφάλειας παίζουν πολύ μεγάλο ρόλο στις τελικές τιμές. Μεγαλύτερο ενδιαφέρον έχει ο Πίνακας 3.12 όπου έχουμε χρησιμοποιήσει και τους ίδιους συντελεστές ασφάλειας αλλά και τις ίδιες σχεδιαστικές πιέσεις. Αυτό που κάνει εντύπωση είναι οι ακριβώς ίδιες τιμές για την ροπή αντίστασης των ενισχυτικών πράγμα που δηλώνει την χρήση ακριβώς ίδιων τύπων από όλους τους κανονισμούς.
- Αναλυτικότερα θα γίνουν ορατές πολλές από τις διαφορές στους πίνακες των αποτελεσμάτων μετά την αντίστροφη ανάλυση των τύπων που θα γίνει στο Κεφάλαιο 4. Εκεί θα γίνει η ακριβής σύγκριση των τύπων και άρα θα εξηγηθούν ικανοποιητικά οι διαφορές στα τελικά αποτελέσματα.

3.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ ΣΕ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΚΑΦΟΥΣ ΕΚΤΟΠΙΣΜΑΤΟΣ

Γεωμετρία και κύρια χαρακτηριστικά σκάφους

Τα κύρια χαρακτηριστικά του σκάφους που χρησιμοποιήθηκε για την συγκριτική μελέτη των αποτελεσμάτων των κανονισμών είναι:

$\Delta = 12600$	kg	Εκτόπισμα
$L_{OA} = 15,4$	m	Ολικό μήκος σκάφους
$L_{WL} = 13,45$	m	Μήκος ισάλου
$L_{PP} = 14,99$	m	Μήκος μεταξύ κάθετων
$B = 4,49$	m	Πλάτος γάστρας
$B_{WL} = 3,84$	m	Πλάτος ισάλου
$B_C = 3,17$	m	Πλάτος εφαπτομενικών σημείων γάστρας
$T = 1,85$	m	Βύθισμα
$LCG = 8$	m	Διάμηκες κέντρο βάρους
$\beta = 10$	°	Γωνία ανύψωσης πυθμένα
$V = 8,5$	kn	Ταχύτητα
$\tau = 0$	°	Γωνία διαγωγής σε ταχύτητα 8,5 kn
$H_s = 2,5$	m	Σημαντικό ύψος κύματος
$C_B = 0,400$		Συντελεστής γάστρας
$c = 45$	mm	Μήκος τόξου κυρτής πλάκας

Το LCG έχει μετρηθεί από την πωραία κάθετο. Η χρήση των κανονισμών για την διαστασιολόγηση του πολύστρωτου και τον ενισχυτικών θα γίνει για τον πυθμένα του σκάφους του οποίου η γεωμετρία θεωρείται γνωστή. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ενισχυτικών καθώς και του ελάσματος είναι:

Έλασμα

$b = 0.45$ κοντύτερη πλευρά του ελάσματος, σε m

$a = 0.48$ μακρύτερη πλευρά του ελάσματος, σε m

$c = 0$ μήκος τόξου κυρτής πλάκας, σε mm

Διαμήκη ενισχυτικά

$c_u = 0.00$ μήκος τόξου κυρτωμένου ενισχυτικού, σε m

$l = 2.45$ ανυποστήρικτο μήκος ενισχυτικού, σε m

$s = 0.63$ ισαπόσταση ενισχυτικών, σε m

$b_w = 0.15$ πλάτος βάσης ενισχυτικού, σε m (θεωρείται γνωστό)

Εγκάρσια ενισχυτικά

$c_u = 0.048$ μήκος τόξου κυρτωμένου ενισχυτικού, σε m

$l = 0,48$ ανυποστήρικτο μήκος ενισχυτικού, σε m

$s = 0.5$ ισαπόσταση ενισχυτικών, σε m

$b_w = 0.05$ πλάτος βάσης ενισχυτικού, σε m (θεωρείται γνωστό)

Επίσης για την χρήση του τυπολογίου των κανονισμών και την εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων, θα χρειαστούμε την διαμήκη και κατακόρυφη θέση της πλάκας και των ενισχυτικών που θα διαστασιολογηθούν. Οι χειρότερη κατάσταση προκύπτει για:

$x = 9m$ διαμήκης θέση από το πυρμναίο τέλος της ισάλου γραμμής

$d = 1,75m$ κατακόρυφη θέση μετρούμενη από την ίσαλο γραμμή

Τα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι τα ίδια με αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στο παράδειγμα του ταχύπλοου σκάφους στο Εδάφιο 3.1

Οι τελικές τιμές των αποτελεσμάτων που παρατίθενται στους πίνακες και στα διαγράμματα που ακολουθούν έχουν υπολογισθεί βάσει των εξισώσεων έτσι όπως αυτές δίνονται από κάθε κανονισμό και έχουν περιγραφεί στο Κεφάλαιο 2.

Χρησιμοποιώντας την γεωμετρία και τα υλικά που υποτέθηκαν παραπάνω και ακολουθώντας το τυπολόγιο και τις οδηγίες κάθε κανονισμού καταλήγουμε στα αποτελέσματα που παρατίθενται στους Πίνακες 3.13 έως 3.19 και στα Σχήματα 3.27 έως 3.40.

όπου

n = κατακόρυφη επιτάχυνση στο LCG

p_{design} = σχεδιαστική πίεση στον πυθμένα

t_{req} = απαιτούμενο πάχος πλάκας σύμφωνα με τους κανονισμούς

W_{req} = απαιτούμενο επιφανειακό βάρος πλάκας σύμφωνα με τους κανονισμούς

N = απαιτούμενος αριθμός ζεύγους στρώσεων (CSM 450 + WR 800)

t_{fin} = τελικό πάχος πλάκας που προκύπτει για N ζεύγη στρώσεων

W_{fin} = τελικό επιφανειακό βάρος πλάκας που προκύπτει για N ζεύγη στρώσεων

Το πάχος και το επιφανειακό βάρος ενός ζεύγους στρώσεων είναι όπως έχει υπολογισθεί στο παράδειγμα του Κεφαλαίου 3.1.

Η τιμή του απαιτούμενου πάχους t_{req} σε κάθε πίνακα ακολουθείται από έναν δείκτη, που δείχνει αν η καμπτική ακαμψία (*) ή η καμπτική αντοχή (***) είναι το

κρίσιμο κριτήριο (αυτό που δίνει την μεγαλύτερη τιμή) στον υπολογισμό του. Όπως έχει επισημανθεί και στο εδάφιο 2.4 οι κανονισμοί δίνουν συνήθως δυο εξισώσεις για τον υπολογισμό του απαιτούμενου πάχους, μια που προκύπτει με βασικό κριτήριο την καμπτική αντοχή και μια με βασικό κριτήριο την καμπτική ακαμψία. Άρα βάσει με το ποια από τις δυο εξισώσεις έχει δώσει την μεγαλύτερη τιμή για το πάχος, που είναι και η αποδεκτή, έχουμε συμπληρώσει και τον αντίστοιχο δείκτη όπως αυτός ορίστηκε παραπάνω.

Οι τιμές που φαίνονται στους πίνακες των αποτελεσμάτων χωρίζονται σε δυο ομάδες. Οι τιμές με κόκκινο χρώμα είναι αυτές που προκύπτουν απευθείας από την χρήση των εξισώσεων που δίνει ο κάθε κανονισμός. Έχοντας όμως υπολογίσει το πάχος ενός ζεύγους στρώσεων από το πρότυπο του ISO/DIS 12215-5.2 από το απαιτούμενο πάχος του κάθε κανονισμού μπορούμε να υπολογίσουμε τον αριθμό των ζευγών στρώσεων που απαιτούνται. Άρα στους πίνακες των αποτελεσμάτων με μπλε χρώμα αποτυπώνονται τα πρακτικά αποτελέσματα ανάλογα με τον αριθμό των ζευγών που θα χρησιμοποιηθούν.

Για την καλύτερη κατανόηση και σύγκριση του προτύπου ISO με τους ήδη υπάρχοντες κανονισμούς των νηογνομώνων καθώς και για τη διευκόλυνση της εύρεσης των διαφορών μεταξύ τους, έχουν γίνει 4 διαφορετικοί υπολογισμοί που αντικατοπτρίζονται στους πίνακες που ακολουθούν:

Πίνακας 3.13: Αποτελέσματα προερχόμενα από κάθε κανονισμό χωριστά, χρησιμοποιώντας τους συντελεστές ασφάλειας που καθορίζονται από τον καθένα.

Πίνακας 3.15: Αποτελέσματα προερχόμενα από κάθε κανονισμό, χρησιμοποιώντας τους συντελεστές ασφάλειας που καθορίζονται από τον καθένα χωριστά αλλά την ίδια πίεση σχεδίασης σε όλες τις περιπτώσεις (αυτή που υπολογίζεται στον κανονισμό του ISO/DIS 12215-5.2).

Πίνακας 3.17: Αποτελέσματα που προκύπτουν χρησιμοποιώντας τους συντελεστές ασφάλειας του κανονισμού του ISO/DIS 12215-5.2 σε όλους τους υπολογισμούς.

Πίνακας 3.19: Αποτελέσματα που προκύπτουν χρησιμοποιώντας τους συντελεστές ασφάλειας του ISO σε όλους τους υπολογισμούς και χρησιμοποιώντας την ίδια πίεση σχεδίασης (αυτή που υπολογίζεται στον κανονισμό του ISO/DIS 12215-5.2).

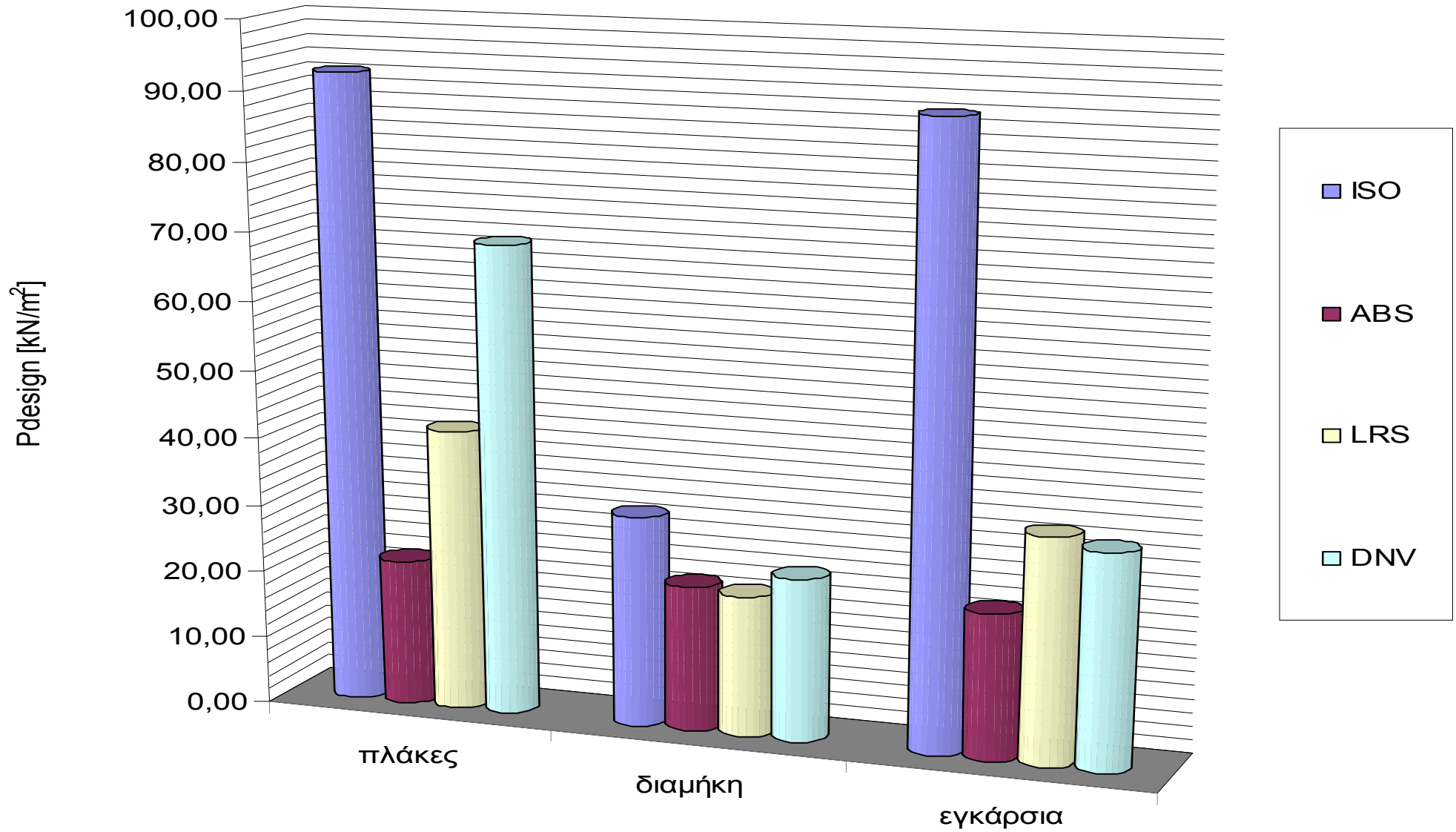
Για καλύτερη και ευκολότερη μελέτη, τα αποτελέσματα για το απαιτούμενο πάχος της πλάκας την ροπή αντίστασης των ενισχυτικών και το ισοδύναμο πλάτος ελάσματος που φαίνονται στους πίνακες, αποτυπώνονται και στα διαγράμματα που ακολουθούν μετά τους πίνακες. Επίσης υπάρχουν πίνακες με τις επί τοις εκατό διαφορές των αποτελεσμάτων με συγκριτική τιμή αυτή του ISO/DIS 12215-5.2.

Πίνακας 3.13: Αποτελέσματα προερχόμενα από κάθε κανονισμό χωριστά, χρησιμοποιώντας τους συντελεστές ασφάλειας που καθορίζονται από τον καθένα.

ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

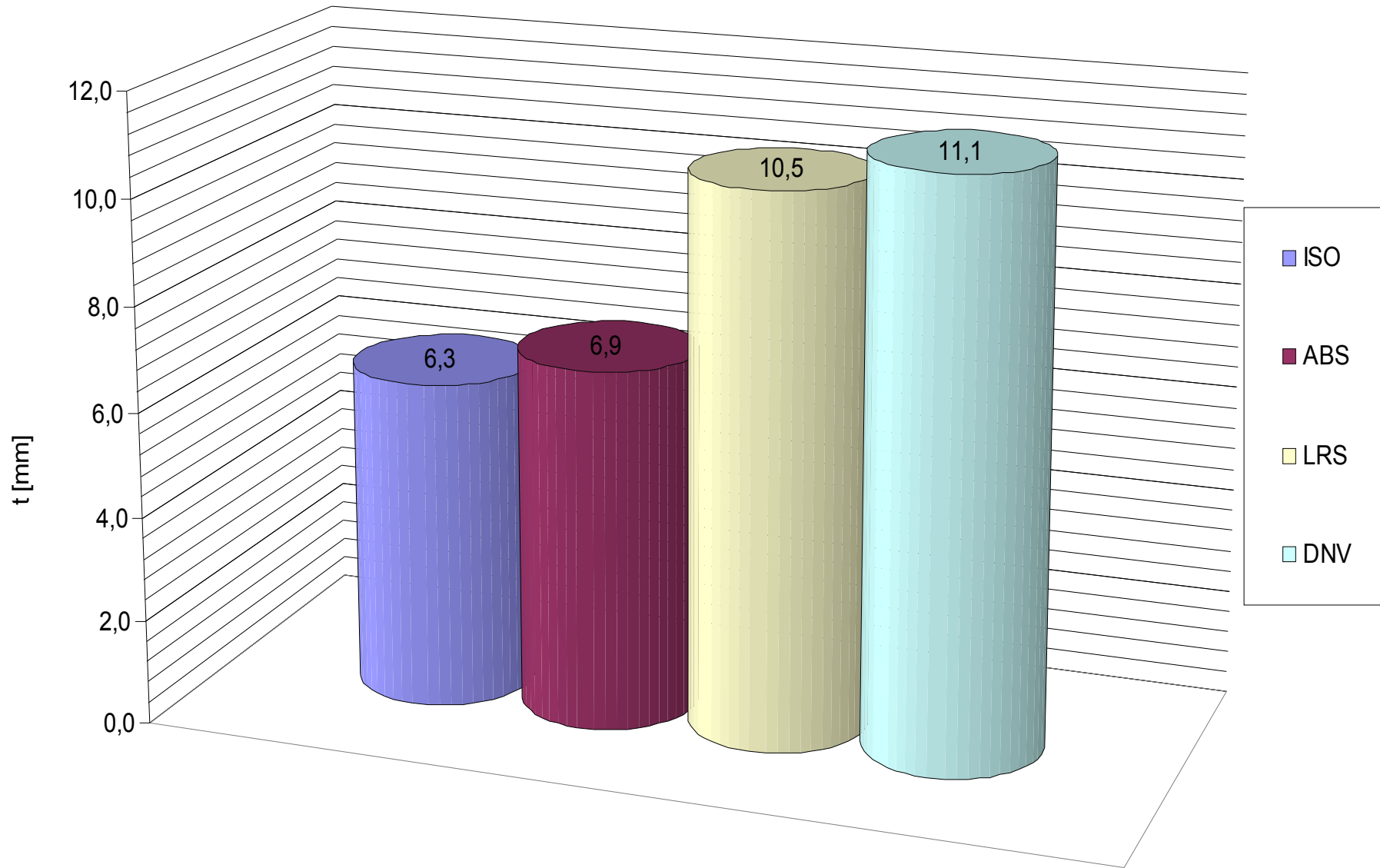
		GL	DNV	LRS	ISO	ABS	
n			1,837	0,546			g's
p design	πλάκες	46,05	69,19	41,70	92,32	21,62	kN/m²
	διαμήκη		24,22	20,85	31,28	21,62	kN/m²
	εγκάρσια		31,80	33,36	90,10	21,62	kN/m²
t req.		-	**11,1	*10,5	**6,3	*6,9	mm
W req.		4141,5	-	-	-	-	g/m²
N		4	6	6	4	4	
t fin.		8,1	12,2	12,2	8,1	8,1	mm
W fin.		5000,0	7500,0	7500,0	5000,0	5000,0	g/m²
καμπτική ροπή	διαμήκη		7631,4	6571,3			Nm
	εγκάρσια		305,3	384,4			Nm
ροπή αντίστασης	διαμήκη	215,7	192,0	150,3	148,8	148,2	cm³
	εγκάρσια	7,9	7,7	9,7	9,1	9,1	cm³
ροπή αδράνειας	διαμήκη			993,4	745,1	401,4	cm⁴
	εγκάρσια			9,5	7,5	2,0	cm⁴
περιοχή διατμητικής τάσης	διαμήκη				10,3		cm²
	εγκάρσια				4,6		cm²
ισοδύναμο πλάτος ελάσματος	διαμήκη	300,0	409,5	360,3	275,3	247,3	mm
	εγκάρσια	300,0	55,0	260,3	175,3	173,7	mm

ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ



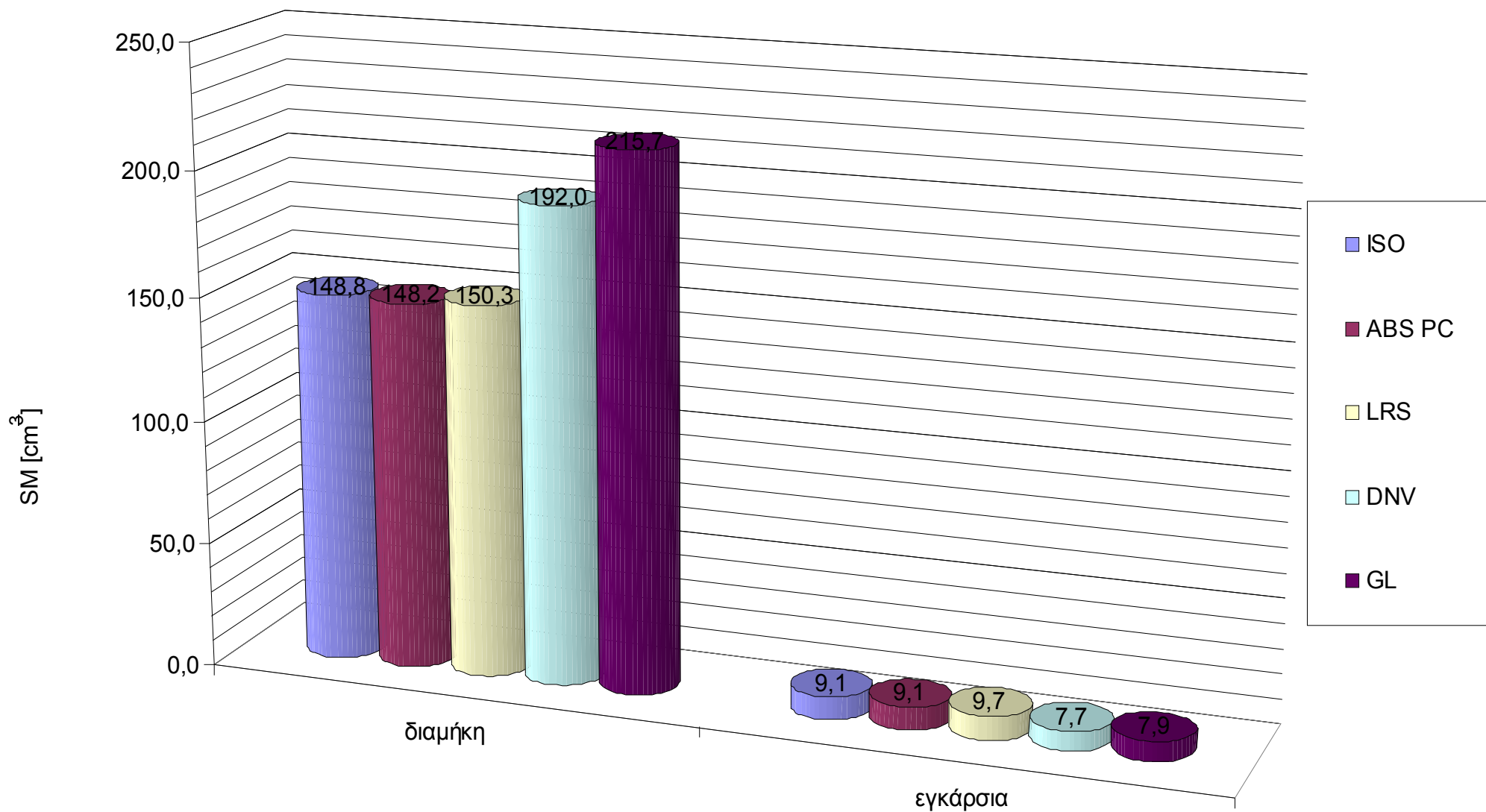
Σχήμα 3.27: Σχεδιαστικές πιέσεις

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΠΑΧΟΣ t

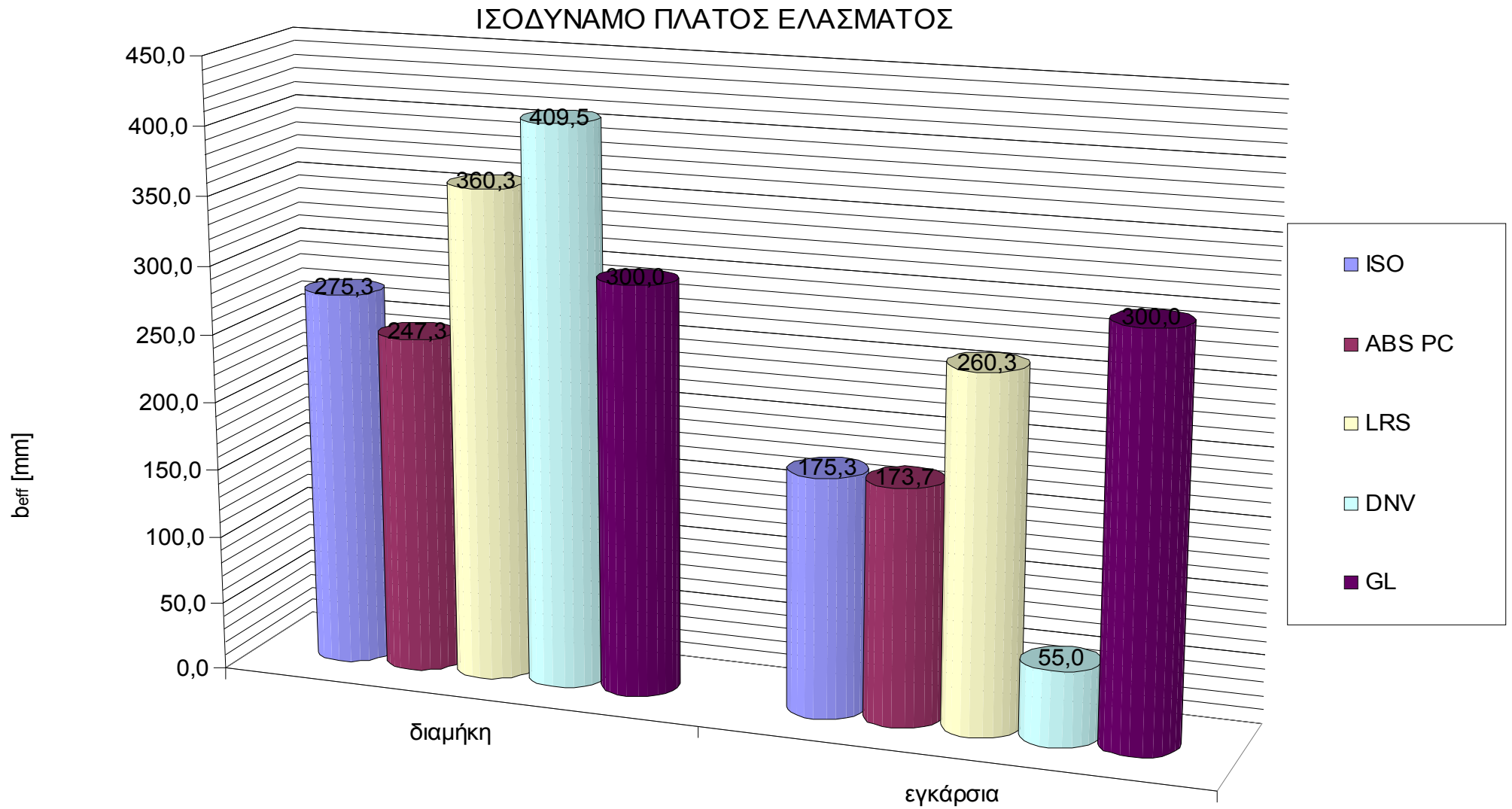


Σχήμα 3.28: Απαιτούμενο πάχος

ΡΟΠΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ



Σχήμα 3.29: Ροπή αντίστασης ενισχυτικών



Σχήμα 3.30: Ισοδύναμο πλάτος ελάσματος

Όπως στον Πίνακα 3.1 έτσι και στον Πίνακα 3.13 τα αποτελέσματα που παρατίθενται είναι αυτά που προκύπτουν από την ακριβή χρήση των κανονισμών χωρίς καμία εξομοίωση. Είναι οι πραγματικές τιμές που μας δίνουν την δυνατότητα σύγκρισης αποτελεσμάτων μεταξύ των κανονισμών. Για τα σκάφη εκτοπίσματος δεν έχουν παρατεθεί οι τιμές των κατακόρυφων επιταχύνσεων αφού σε πολλούς κανονισμούς δεν υπολογίζονται καθόλου ενώ σε αυτούς που προκύπτει τιμή κρίνεται πως δεν είναι κριτήριο μέγεθος για τα τελικά αποτελέσματα.

Σε σύγκριση με τον Πίνακα 3.2 που δίνει τα αποτελέσματα για ταχύπλοα σκάφη, παρατηρείται η διαφοροποίηση ως προς τις τιμές των σχεδιαστικών πιέσεων. Ενώ στα ταχύπλοα σκάφη ο νορβηγικός και ο βρετανικός νηογνώμονας δίνουν μεγαλύτερες τιμές σε σχέση με το ISO/DIS 12215-5.2, αυτό αντιστρέφεται για τα σκάφη εκτοπίσματος. Και σε αυτή όμως την περίπτωση ο ISO/DIS 12215-5.2 δίνει την μικρότερη τιμή για το απαιτούμενο πάχος της πλάκας της γάστρας. Επιβεβαιώνεται άρα το συμπέρασμα πως είναι ελαστικότερος των άλλων στις απαιτήσεις του, και αυτό προκύπτει από την χρήση των συντελεστών ασφάλειας που χρησιμοποιεί (έμμεσων ή άμεσων).

Πίνακας 3.14: Επί τοις εκατό διαφορές αποτελεσμάτων.

%		ISO	ABS	DNV	LRS	GL
ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ	ΠΛΑΚΕΣ	0	-76,6	-25,0	-56,0	-
	ΔΙΑΜΗΚΗ	0	-30,9	-22,6	-33,3	-
	ΕΓΚΑΡΣΙΑ	0	-76,0	-64,7	-63,0	-
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΠΑΧΟΣ		0	+9,5	+76,2	+66,7	-
ΡΟΠΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ	ΔΙΑΜΗΚΗ	0	-0,4	+29,0	+1,0	+45,0
	ΕΓΚΑΡΣΙΑ	0	0	-15,4	+6,6	-13,2
ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΠΛΑΤΟΣ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ	ΔΙΑΜΗΚΗ	0	-10,2	+48,7	+30,4	+9,0
	ΕΓΚΑΡΣΙΑ	0	-0,9	-68,6	+32,7	+71,1

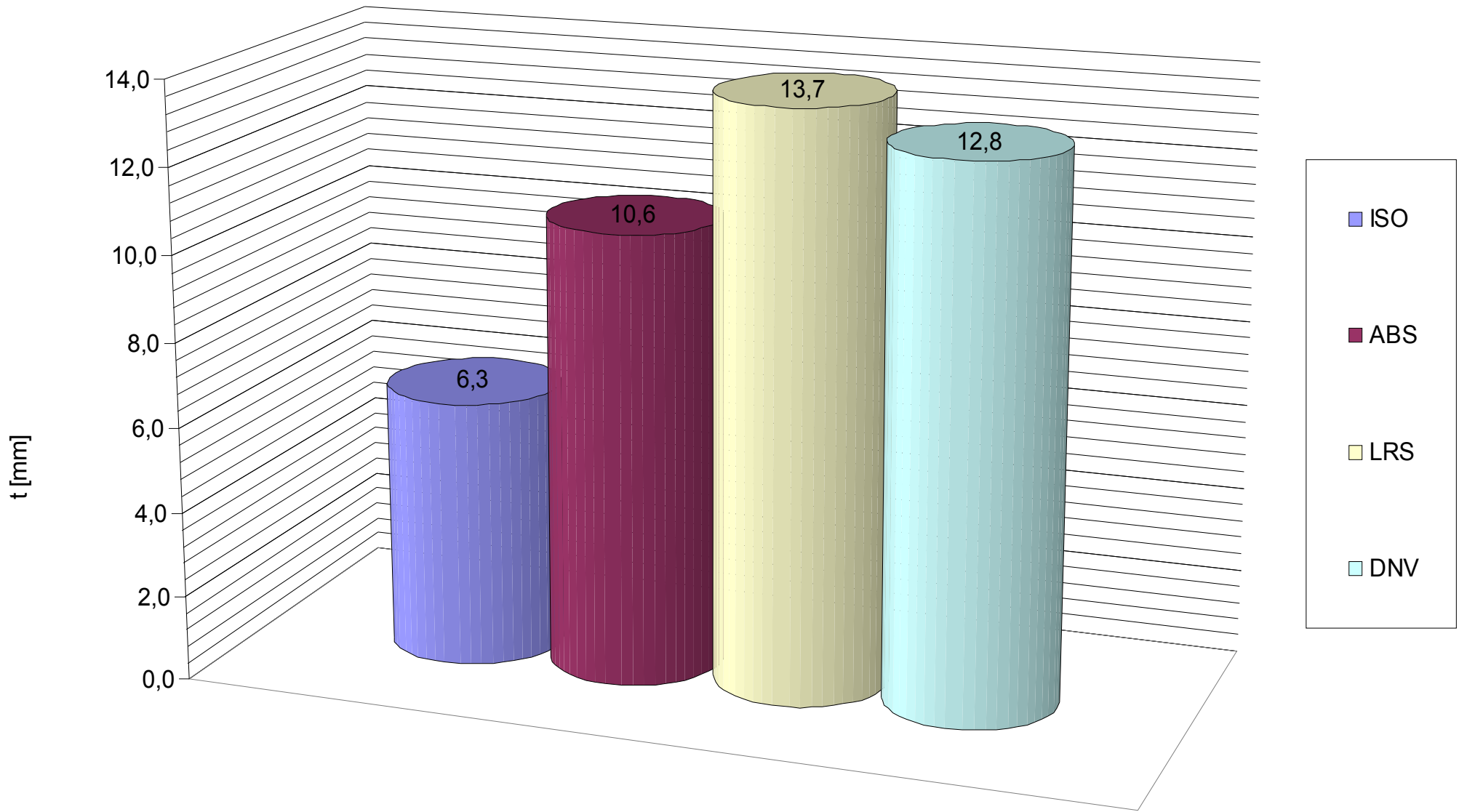
Για την απαίτηση της ροπής αντίστασης για τα ενισχυτικά, οι τιμές που προκύπτουν από τους κανονισμούς είναι πολύ πιο κοντά μεταξύ τους σε σχέση με τα αποτελέσματα για τα ταχύπλοα σκάφη. Αυτό προκύπτει από τις τιμές των σχεδιαστικών πιέσεων.

Πίνακας 3.15: Αποτελέσματα προερχόμενα από κάθε κανονισμό, χρησιμοποιώντας τους συντελεστές ασφάλειας που καθορίζονται από τον καθένα χωριστά αλλά την ίδια πίεση σχεδίασης σε όλες τις περιπτώσεις (αυτή που υπολογίζεται στον κανονισμό του ISO/DIS 12215-5.2).

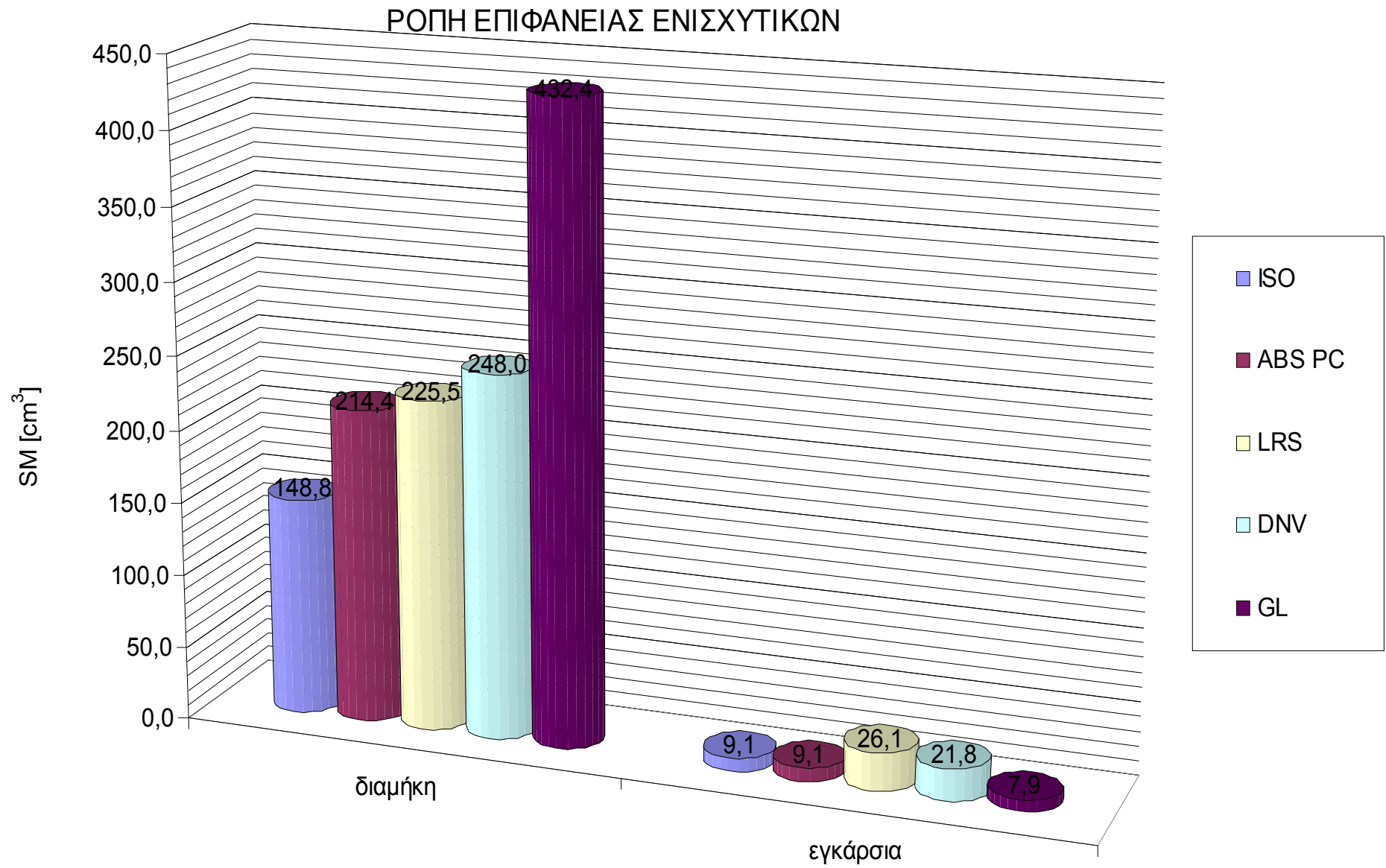
ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΕΛΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

		GL	DNV	LRS	ISO	ABS	
n			1,837	0,546			g's
P_{design}	πλάκες		92,32	92,32	92,32	92,32	kN/m²
	διαμήκη	92,32	31,28	31,28	31,28	31,28	kN/m²
	εγκάρσια		90,10	90,10	90,10	90,10	kN/m²
t_{req.}		-	**12,8	*13,7	**6,3	*10,6	mm
W_{req.}		5864,0	-	-	-	-	g/m²
N		5	7	7	4	6	
t_{fin.}		10,1	14,2	14,2	8,1	12,2	mm
W_{fin.}		6250,0	8750,0	8750,0	5000,0	7500,0	g/m²
καμπτική ροπή	διαμήκη		9857,9	9857,9			Nm
	εγκάρσια		864,9	1037,9			Nm
ροπή αντίστασης	διαμήκη	432,4	248,0	225,5	148,8	214,4	cm³
	εγκάρσια	7,9	21,8	26,1	9,1	9,1	cm³
ροπή αδράνειας	διαμήκη			1490,3	745,1	580,8	cm⁴
	εγκάρσια			25,6	7,5	8,2	cm⁴
περιοχή διατμητικής τάσης	διαμήκη				10,3		cm²
	εγκάρσια				4,6		cm²
ισοδύναμο πλάτος ελάσματος	διαμήκη	300,0	409,5	424,1	275,3	340,2	mm
	εγκάρσια	300,0	55,0	324,1	175,3	240,2	mm

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΠΑΧΟΣ t

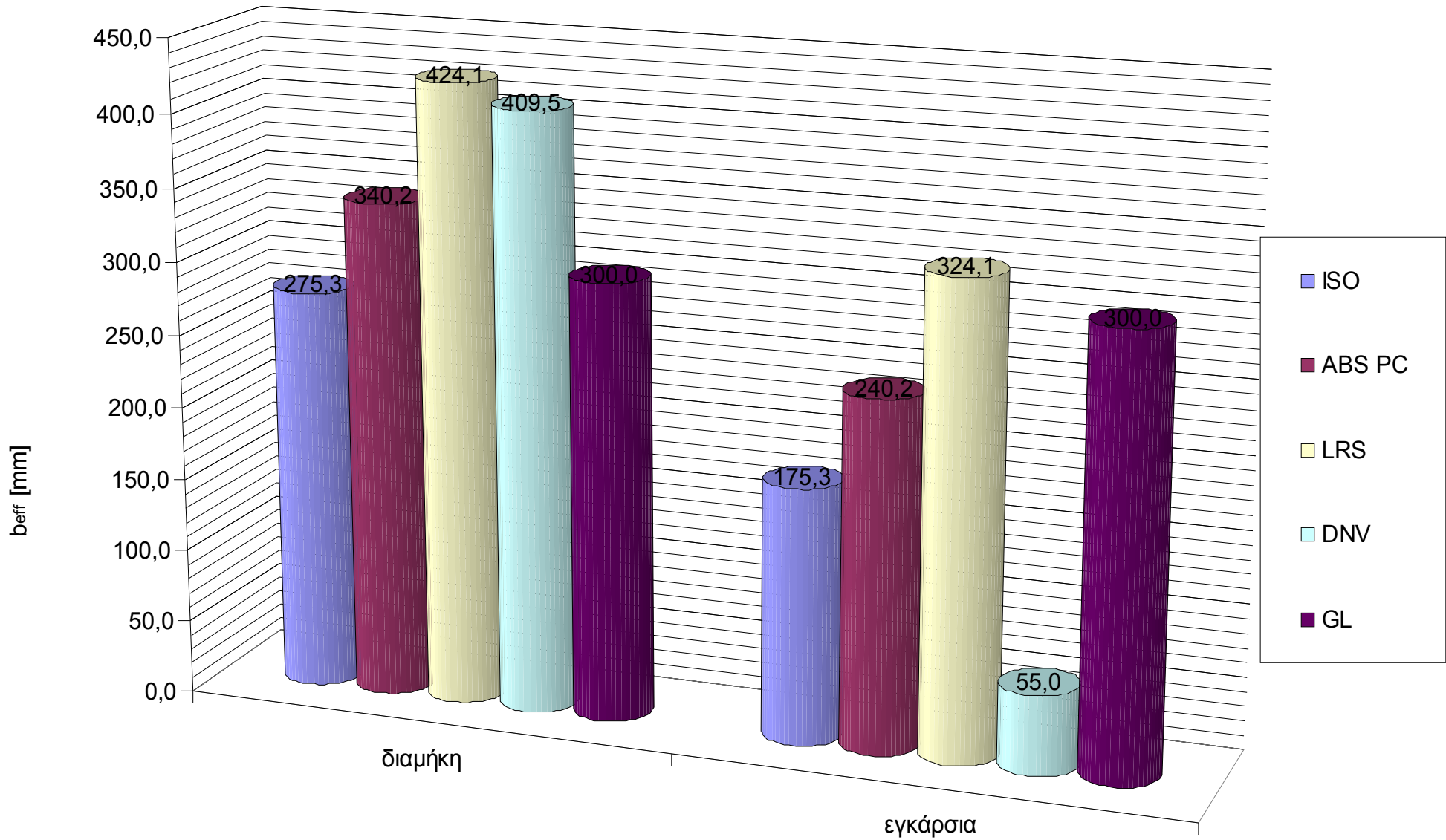


Σχήμα 3.31: Απαιτούμενο πάχος



Σχήμα 3.32: Ροπή αντίστασης ενισχυτικών

ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΠΛΑΤΟΣ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ



Σχήμα 3.33: Ισοδύναμο πλάτος ελάσματος

Πίνακας 3.16: Επί τοις εκατό διαφορές αποτελεσμάτων.

		<i>ISO</i>	<i>ABS</i>	<i>DNV</i>	<i>LRS</i>	<i>GL</i>
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΠΑΧΟΣ		0	+68,3	+103,2	+117,5	-
ΡΟΠΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ	ΔΙΑΜΗΚΗ	0	+44,1	+66,7	+51,6	+190,6
	ΕΓΚΑΡΣΙΑ	0	0	+139,6	+186,8	-13,2
ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΠΛΑΤΟΣ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ	ΔΙΑΜΗΚΗ	0	+23,6	+48,7	+54,1	+9,0
	ΕΓΚΑΡΣΙΑ	0	+37,0	-68,6	+84,9	+71,1

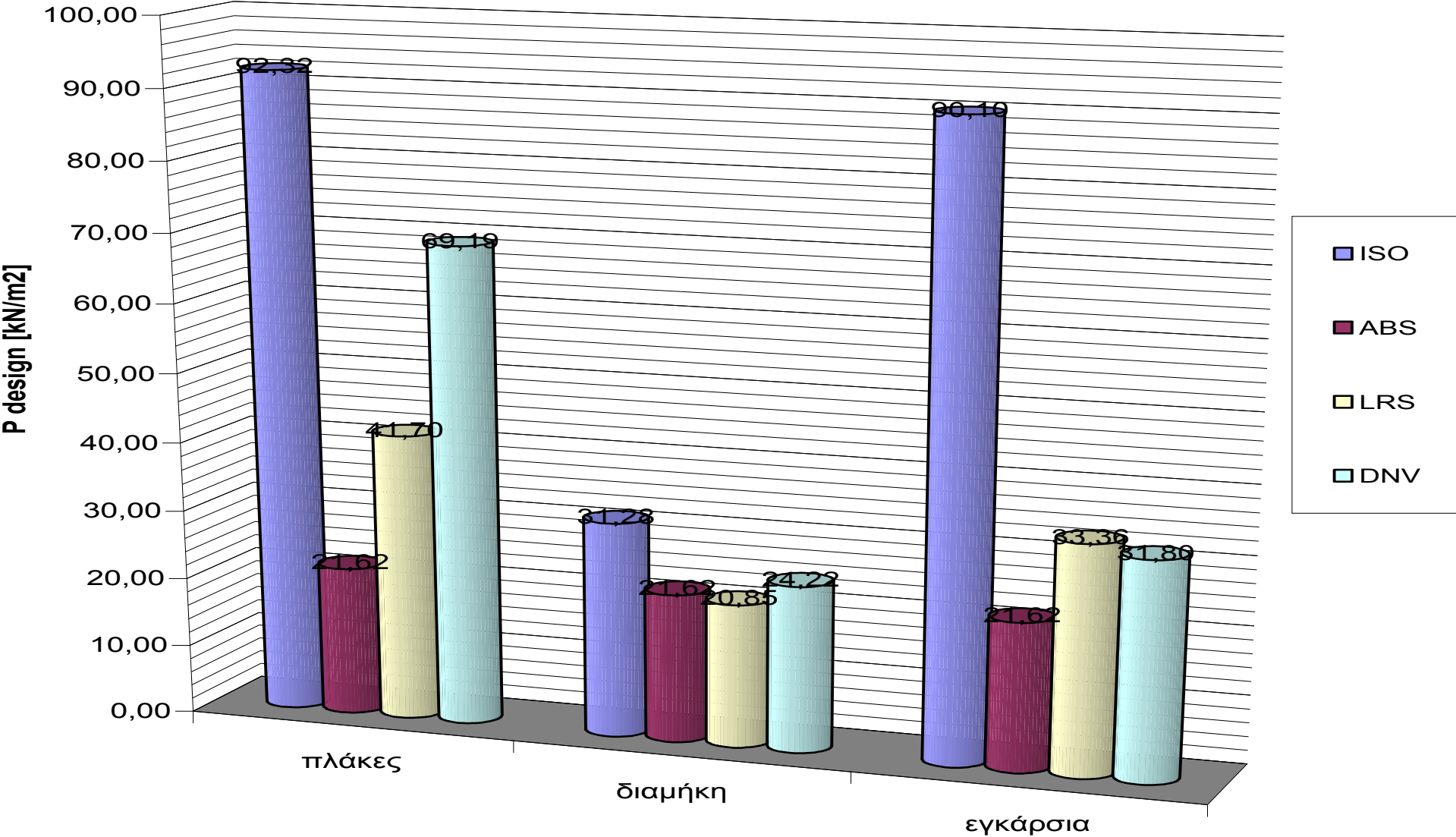
Μετά τον επαναυπολογισμό με χρήση της τιμής των σχεδιαστικών πιέσεων που δίνει το ISO/DIS 12215-5.2 παρατηρείται μεγαλύτερη διαφοροποίηση των τελικών αποτελεσμάτων για το απαιτούμενο πάχος σε σχέση με τον Πίνακα 3.14. Πράγμα λογικό αφού για όλους τους κανονισμούς, όπως έχει ήδη αναφερθεί οι τιμές των σχεδιαστικών πιέσεων που προκύπτουν είναι μικρότερες αυτής του ISO/DIS 12215-5.2. Κάτι αντίστοιχο και για τον ίδιο λόγο παρατηρείται και για την ροπή αντίστασης των ενισχυτικών και για το ισοδύναμο πλάτος ελάσματος.

Πίνακας 3.17: Αποτελέσματα που προκύπτουν χρησιμοποιώντας τους συντελεστές ασφάλειας του κανονισμού του ISO/DIS 12215-5.2 σε όλους τους υπολογισμούς.

ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

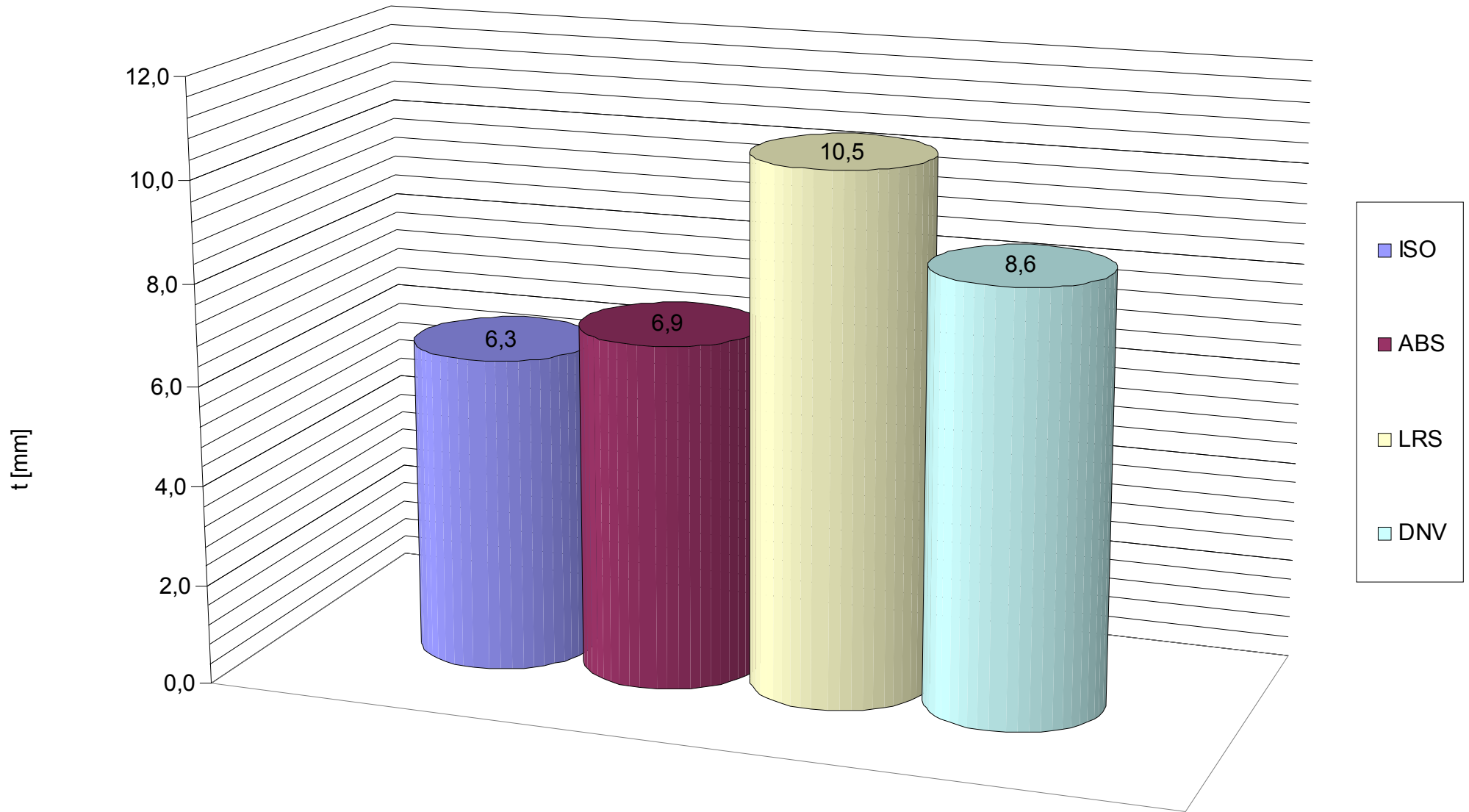
		GL	DNV	LRS	ISO	ABS	
n			1,837	0,546			g's
p_{design}	πλάκες	46,05	69,19	41,70	92,32	21,62	kN/m²
	διαμήκη		24,22	20,85	31,28	21,62	kN/m²
	εγκάρσια		31,80	33,36	90,10	21,62	kN/m²
t_{req.}		-	**8,6	*10,5	**6,3	*6,9	mm
W_{req.}		4141,5	-	-	-	-	g/m²
N		4	5	6	4	4	
t_{fin.}		8,1	10,1	12,2	8,1	8,1	mm
W_{fin.}		5000,0	6250,0	7500,0	5000,0	5000,0	g/m²
καμπτική ροπή	διαμήκη		7631,4	6571,3			Nm
	εγκάρσια		305,3	384,4			Nm
ροπή αντίστασης	διαμήκη	215,7	115,2	99,2	148,8	148,2	cm³
	εγκάρσια	7,9	4,6	5,8	9,1	9,1	cm³
ροπή αδράνειας	διαμήκη			993,4	745,1	401,4	cm⁴
	εγκάρσια			9,5	7,5	2,0	cm⁴
περιοχή διατμητικής τάσης	διαμήκη				10,3		cm²
	εγκάρσια				4,6		cm²
ισοδύναμο πλάτος ελάσματος	διαμήκη	300,0	409,5	360,3	275,3	247,3	mm
	εγκάρσια	300,0	55,0	260,3	175,3	173,7	mm

ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ

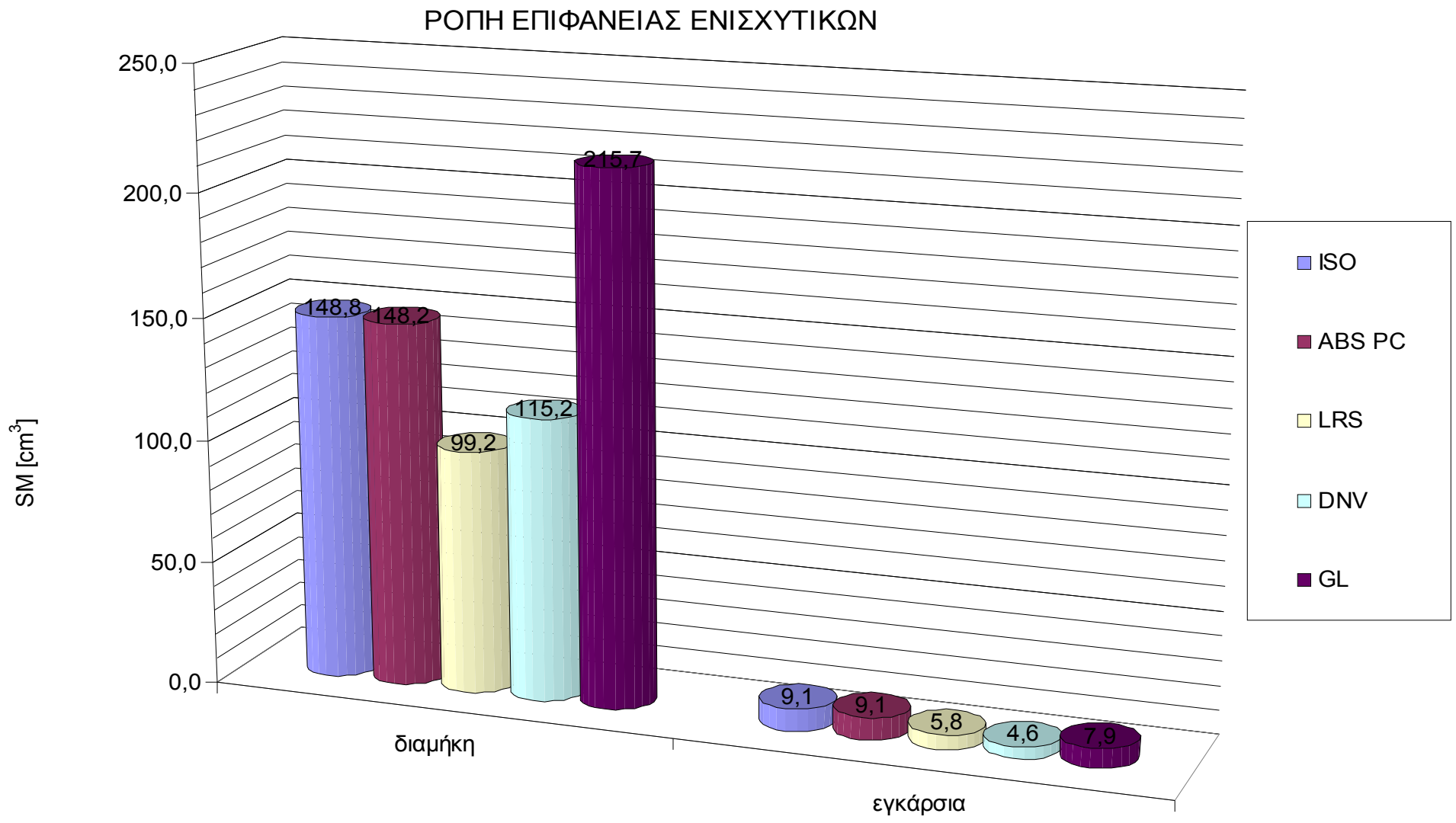


Σχήμα 3.34: Σχεδιαστικές πιέσεις

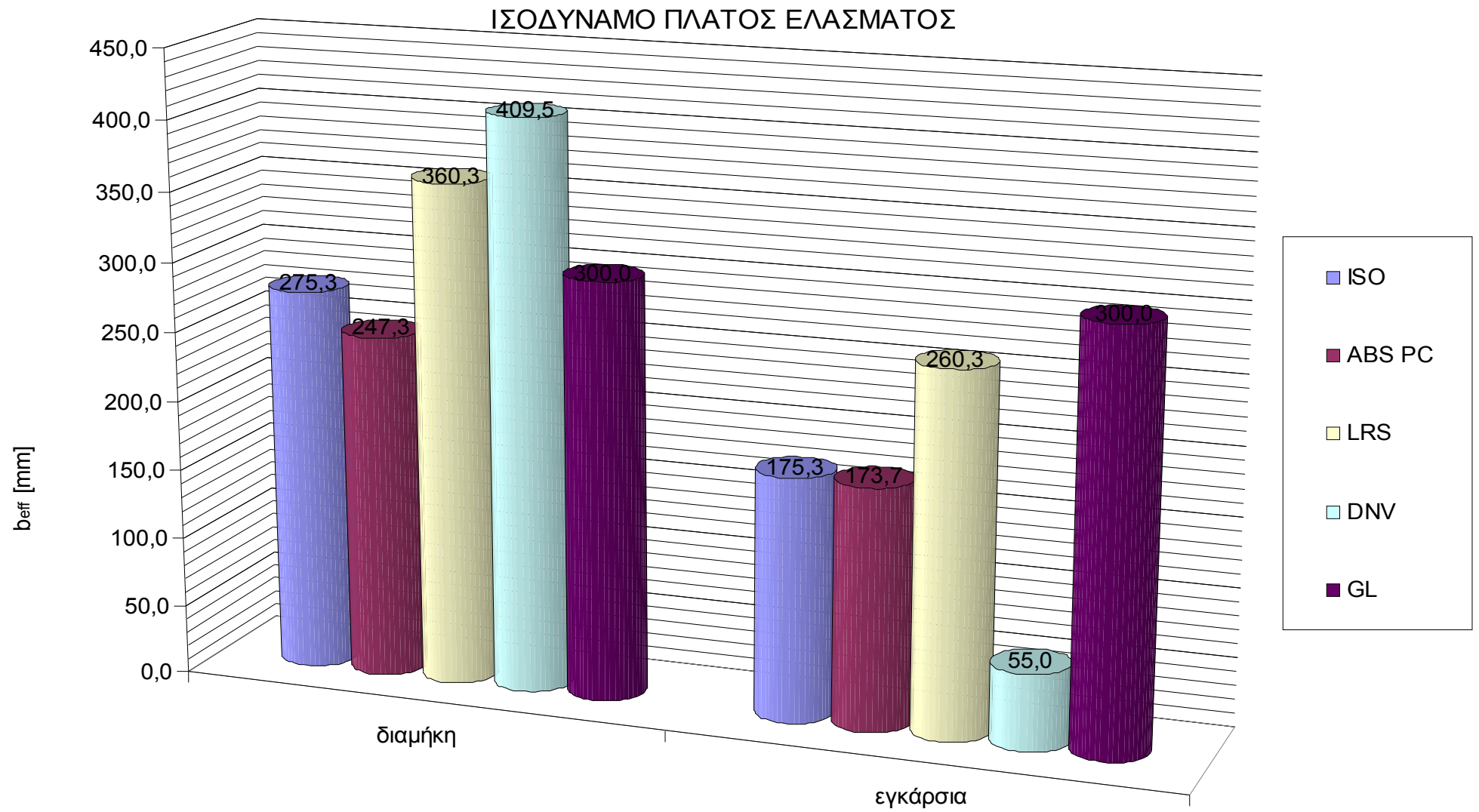
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΠΑΧΟΣ t



Σχήμα 3.35: Απαιτούμενο πάχος



Σχήμα 3.36: Ροπή αντίστασης ενισχυτικών



Σχήμα 3.37: Ισοδύναμο πλάτος ελάσματος

Σε αυτή την ομάδα των αποτελεσμάτων, σε αντιστοιχία με τα ταχύπλοα σκάφη, τα τελικά αποτελέσματα έχουν προκύψει χρησιμοποιώντας (όπου είναι δυνατόν και όπου αυτοί είναι εμφανείς μέσα στις εξισώσεις) τους συντελεστές ασφάλειας του ISO/DIS 12215-5.2. Αυτό θα μας δια φωτίσει για το κατά πόσο οι συντελεστές ασφάλειας που χρησιμοποιούνται από τους κανονισμούς τροποποιούν τα τελικά αποτελέσματα. Αυτό δεν είναι βέβαια παντού εφικτό γιατί σε πολλές περιπτώσεις οι συντελεστές ασφάλειας είναι κρυμμένοι μέσα στις εξισώσεις των κανονισμών με την μορφή συντελεστών.

Πίνακας 3.18: Επί τοις εκατό διαφορές αποτελεσμάτων.

%		ISO	ABS	DNV	LRS	GL
ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ	ΠΛΑΚΕΣ	0	-76,6	-25,0	-56,0	-
	ΔΙΑΜΗΚΗ	0	-30,9	-22,6	-33,3	-
	ΕΓΚΑΡΣΙΑ	0	-76,0	-64,7	-63,0	-
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΠΑΧΟΣ		0	+9,5	+36,5	+66,7	-
ΡΟΠΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ	ΔΙΑΜΗΚΗ	0	-0,4	-22,6	-33,3	+45,0
	ΕΓΚΑΡΣΙΑ	0	0	-49,5	-36,3	-13,2
ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΠΛΑΤΟΣ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ	ΔΙΑΜΗΚΗ	0	-10,2	+48,7	+30,4	+9,0
	ΕΓΚΑΡΣΙΑ	0	-0,9	-68,6	+32,7	+71,1

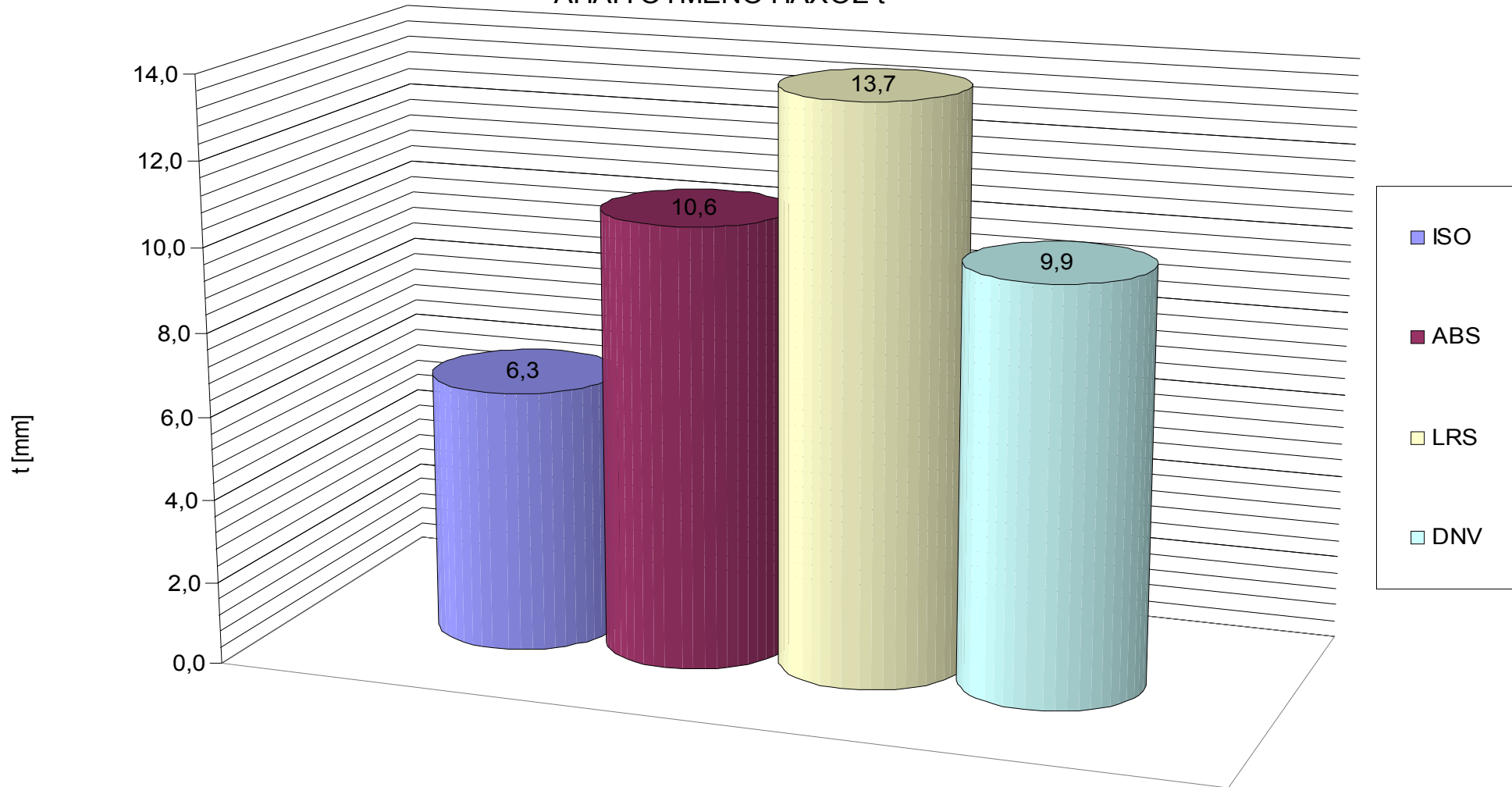
Συγκρίνοντας τις τιμές του Πίνακα 3.18 και του Πίνακα 3.14 παρατηρούμε ότι οι τιμές των σχεδιαστικών πιέσεων παραμένουν αναλλοίωτες όπως και του απαιτούμενου πάχους γάστρας και του ισοδύναμου πλάτους ελάσματος. Η μόνη διαφορά είναι η αύξηση της τιμής του απαιτούμενου πάχους από τον νορβηγικό νηογνώμονα. Επίσης υπάρχει διαφοροποίηση και στις τιμές της απαιτούμενης ροπής αντίστασης ενισχυτικών του νορβηγικού και βρετανικού νηογνώμονα.

Πίνακας 3.19: Αποτελέσματα που προκύπτουν χρησιμοποιώντας τους συντελεστές ασφάλειας του ISO/DIS 12215-5.2 σε όλους τους υπολογισμούς και χρησιμοποιώντας την ίδια πίεση σχεδίασης (αυτή που υπολογίζεται στον κανονισμό του ISO/DIS 12215-5.2).

ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΕΛΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

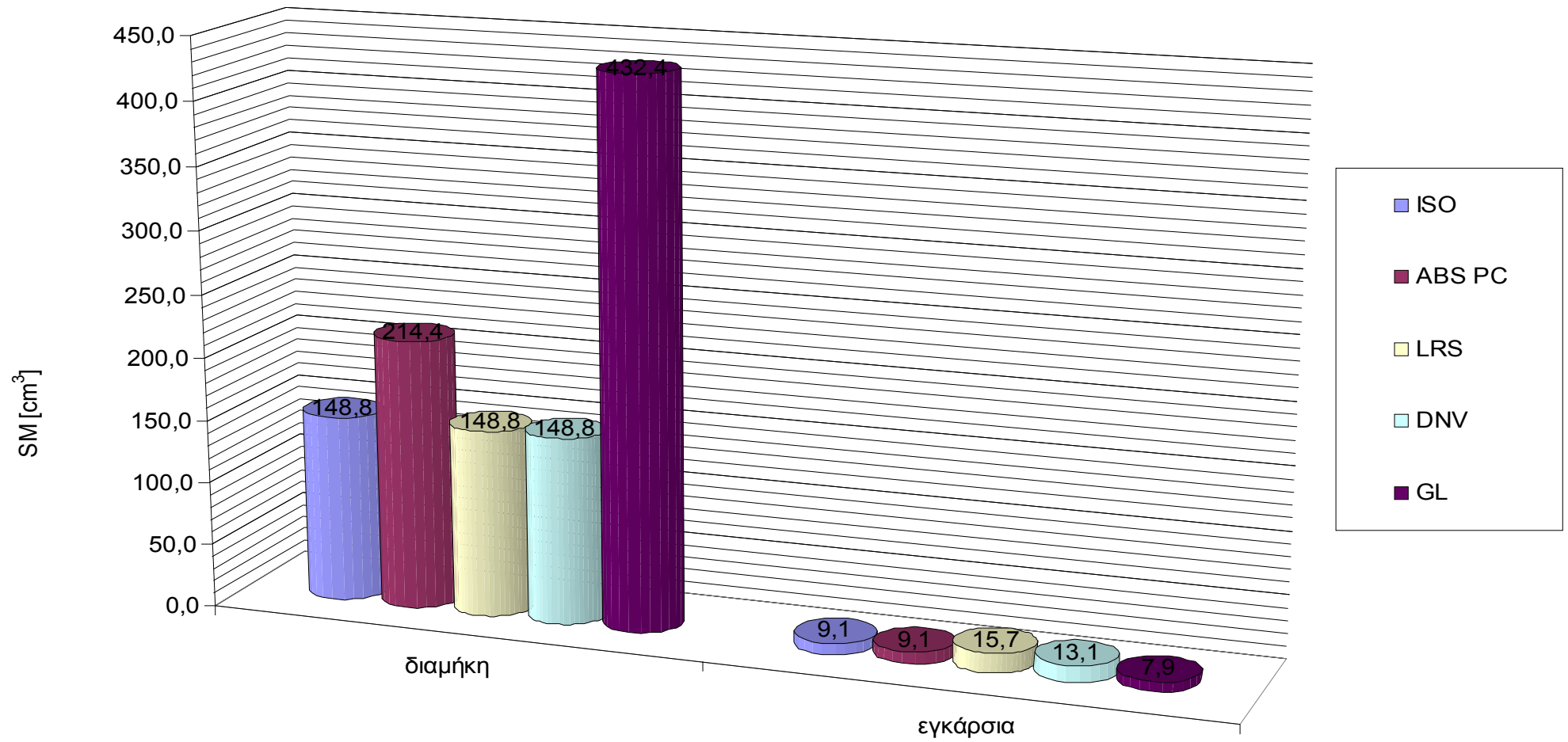
		GL	DNV	LRS	ISO	ABS	
n			1,837	0,546			g's
p design	πλάκες	92,32	92,32	92,32	92,32	92,32	kN/m²
	διαμήκη		31,28	31,28	31,28	31,28	kN/m²
	εγκάρσια		90,10	90,10	90,10	90,10	kN/m²
t req.		-	**9,9	*13,7	**6,3	*10,6	mm
W req.		5864,0	-	-	-	-	g/m²
N		5	5	7	4	6	
t fin.		10,1	10,1	14,2	8,1	12,2	mm
W fin.		6250,0	6250,0	8750,0	5000,0	7500,0	g/m²
καμπτική ροπή	διαμήκη		9857,9	9857,9			Nm
	εγκάρσια		864,9	1037,9			Nm
ροπή αντίστασης	διαμήκη	432,4	148,8	148,8	148,8	214,4	cm³
	εγκάρσια	7,9	13,1	15,7	9,1	9,1	cm³
ροπή αδράνειας	διαμήκη			1490,3	745,1	580,8	cm⁴
	εγκάρσια			25,6	7,5	8,2	cm⁴
περιοχή διατμητικής τάσης	διαμήκη				10,3		cm²
	εγκάρσια				4,6		cm²
ισοδύναμο πλάτος ελάσματος	διαμήκη	300,0	409,5	424,1	275,3	340,2	mm
	εγκάρσια	300,0	55,0	324,1	175,3	240,2	mm

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΠΑΧΟΣ t



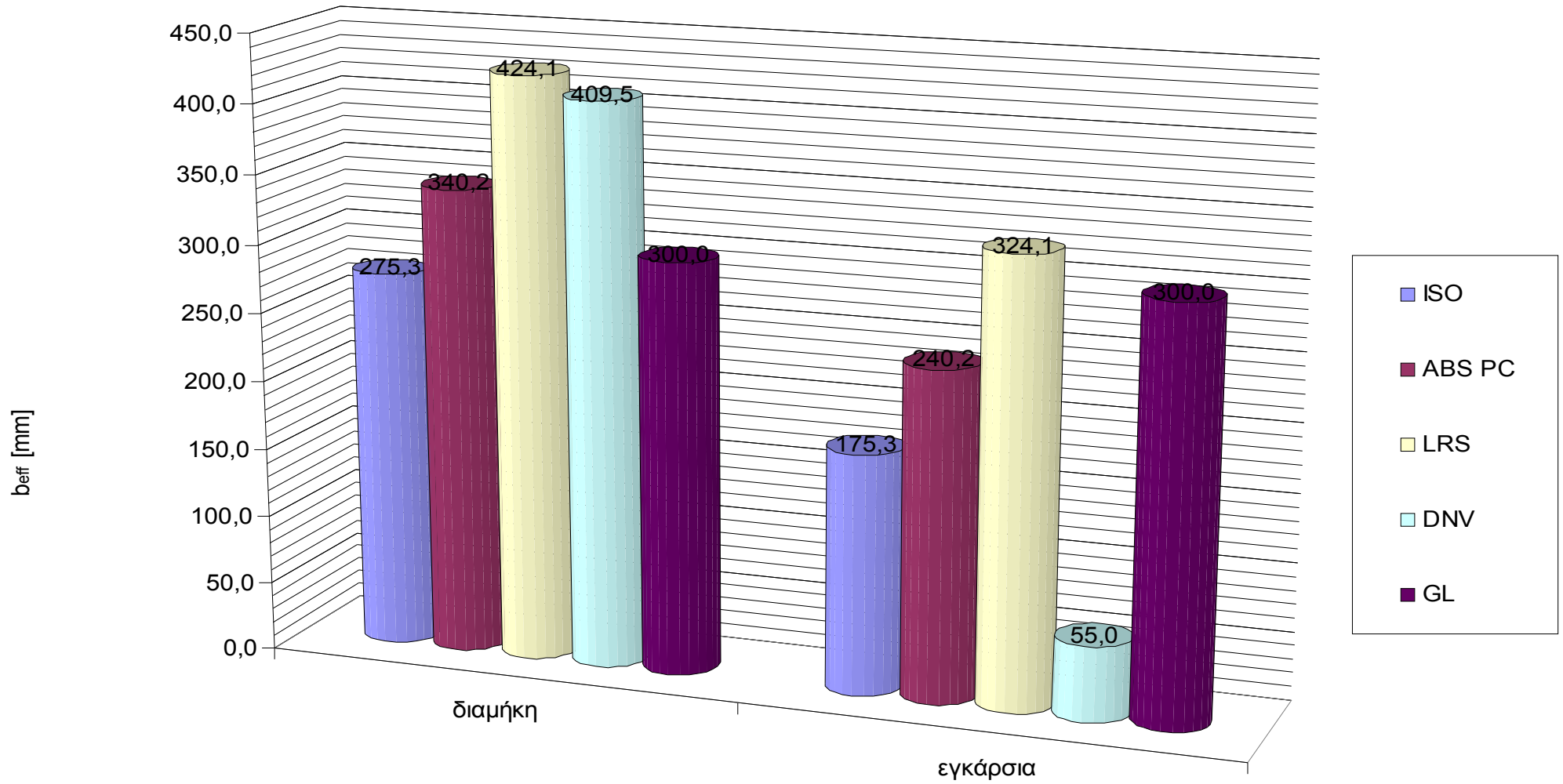
Σχήμα 3.38: Απαιτούμενο πάχος

ΡΟΠΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ



Σχήμα 3.39: Ροπή αντίστασης ενισχυτικών

ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΠΛΑΤΟΣ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ



Σχήμα 3.40: Ισοδύναμο πλάτος ελάσματος

Τα αποτελέσματα που φαίνονται στους Πίνακες 3.19 και 3.20 έχουν προκύψει με την χρήση των τιμών των σχεδιαστικών πιέσεων και των συντελεστών ασφάλειας που δίνει ο ISO/DIS 12215-5.2. Όπως και στον Πίνακα 3.16 έτσι και εδώ φαίνεται πως οι διαφοροποιήσεις στα αποτελέσματα του απαιτούμενου πάχους έχουν μεγαλώσει σε σχέση με τους πίνακες χωρίς την αλλαγή των τιμών των σχεδιαστικών πιέσεων. Αυτό έχει προκύψει από την μεγάλη διαφορά των πραγματικών σχεδιαστικών πιέσεων που δίνει ο κάθε κανονισμός, (είναι πολύ μικρότερες οι τιμές), σε σχέση με αυτές του ISO/DIS 12215-5.2.

Πίνακας 3.20: Επί τοις εκατό διαφορές αποτελεσμάτων.

%		ISO	ABS	DNV	LRS	GL
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΠΑΧΟΣ		0	+68,3	+57,1	+117,5	-
ΡΟΠΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ	ΔΙΑΜΗΚΗ	0	+44,1	0	0	+190,6
	ΕΓΚΑΡΣΙΑ	0	0	+44,0	+72,5	-13,2
ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΠΛΑΤΟΣ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ	ΔΙΑΜΗΚΗ	0	-10,2	+48,7	+30,4	+9,0
	ΕΓΚΑΡΣΙΑ	0	-0,9	-68,6	+32,7	+71,1

Στην ροπή αντίστασης των ενισχυτικών όμως παρατηρείται, μετά τις αλλαγές, η πλήρη ταύτιση των τιμών του νορβηγικού και του βρετανικού νηογνώμονα με το ISO/DIS 12215-5.2, για τα διαμήκη ενισχυτικά. Οι τιμές που προκύπτουν για το ισοδύναμο πλάτος ελάσματος δεν επηρεάζονται από τις σχεδιαστικές πιέσεις και έτσι τα αποτελέσματα δεν διαφοροποιούνται.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Για την εύρεση των αποτελεσμάτων των παραπάνω πινάκων έχει χρησιμοποιηθεί από τον κανονισμό του αμερικάνικου νηογνώμονα για σκάφη αναψυχής το τμήμα για σκάφη εκτοπίσματος. Από το κομμάτι αυτό δεν προκύπτουν σχεδιαστικές πιέσεις όπως έχει παρατηρηθεί και στο Κεφάλαιο 2 αλλά σχεδιαστικά υδροστατικά ύψη. Για την καλύτερη σύγκριση των αποτελεσμάτων με τους υπόλοιπους κανονισμούς έχουμε μετατρέψει τα ύψη αυτά σε πίεση.
- Όπως και στο παράδειγμα του ταχύπλου σκάφους έτσι και εδώ εύκολα παρατηρούμε σε όλους σχεδόν τους πίνακες ότι ο προτεινόμενος κανονισμός του ISO/DIS 12215-5.2 δίνει την μικρότερη τιμή για το απαιτούμενο πάχος ελάσματος καθώς και τις μικρότερες απαιτήσεις για τα ενισχυτικά μέρη, παρόλο που οι υπολογισμένες σχεδιαστικές πιέσεις είναι οι μεγαλύτερες από όλους τους κανονισμούς.
- Επίσης παρατηρείται ανομοιομορφία στα αποτελέσματα των απαιτήσεων των ενισχυτικών μερών για τα εγκάρσια ενισχυτικά. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι για το παράδειγμα του σκάφους εκτοπίσματος έχουμε υποθέσει κυρτότητα των εγκάρσιων ενισχυτικών και των πλακών κατά μήκος της κοντής πλευράς. Αυτό σε συνδυασμό με την χρήση συντελεστών λόγω κυρτότητας που χρησιμοποιούνται από κάποιους από τους κανονισμούς επιφέρει την διαφοροποίηση αυτή που είναι αρκετά εμφανής στον Πίνακα 3.20. Στον πίνακα αυτόν λόγω του ότι έχουν χρησιμοποιηθεί οι ίδιοι συντελεστές ασφάλειας και οι ίδιες σχεδιαστικές πιέσεις περιμέναμε πολύ κοντινά αποτελέσματα.
- Γενικώς καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων θα γίνει μετά την αντίστροφη ανάλυση των τύπων που έχουν χρησιμοποιηθεί στο Κεφάλαιο 4.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό με χρήση της γεωμετρίας των σκαφών που χρησιμοποιήθηκαν στο Κεφάλαιο 3, γίνεται η ανάλυση των βασικών τύπων υπολογισμού των παχών του πολύστρωτου και των απαιτήσεων των ενισχυτικών έτσι ώστε να βρεθεί από πού προέρχονται οι τύποι, οι συντελεστές ασφάλειας και οι πιθανές υποθέσεις που έχει κάνει κάθε κανονισμός για τις οριακές συνθήκες, ώστε να καταλήξει στους τελικούς τύπους.

4.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΑΧΟΥΣ ΠΛΑΚΑΣ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗΝ ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΚΑΜΨΙΑ

4.1.1 ΓΕΝΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΕΞΙΣΩΣΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΑΧΟΥΣ ΠΛΑΚΑΣ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗΝ ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΚΑΜΨΙΑ

Το μέγιστο βέλος κάμψης στο κέντρο μιας ορθοτροπικής πλάκας είτε για απλά εδρασμένες, είτε για πακτωμένες πλευρές δίνεται από τον τύπο:

$$w = k_w \frac{12(1-\nu_{12}\nu_{21})\rho_0 b^4}{E_2 t^3 10^3} \quad [m] \quad (4.1)$$

όπου

t = πάχος της πλάκας, σε m

k_w = συντελεστής κάμψης εξαρτώμενος από το λόγο πλευρών της πλάκας, όπως δίνεται στα Σχήματα 4.1 και 4.2

b = η μικρή διάσταση της πλάκας, σε m

ρ_0 = πίεση σχεδίασης, σε N/m²

E_2 = μέτρο ελαστικότητας της πλάκας σε διεύθυνση παράλληλη με την πλευρά b , σε N/m²

$$\rho = \frac{a}{b} \sqrt[4]{\frac{E_2}{E_1}} \quad (4.2)$$

$$\eta = \frac{\nu_{12} E_2 + 2 G_{12} (1 - \nu_{12} \nu_{21})}{\sqrt{E_1 E_2}} \quad (4.3)$$

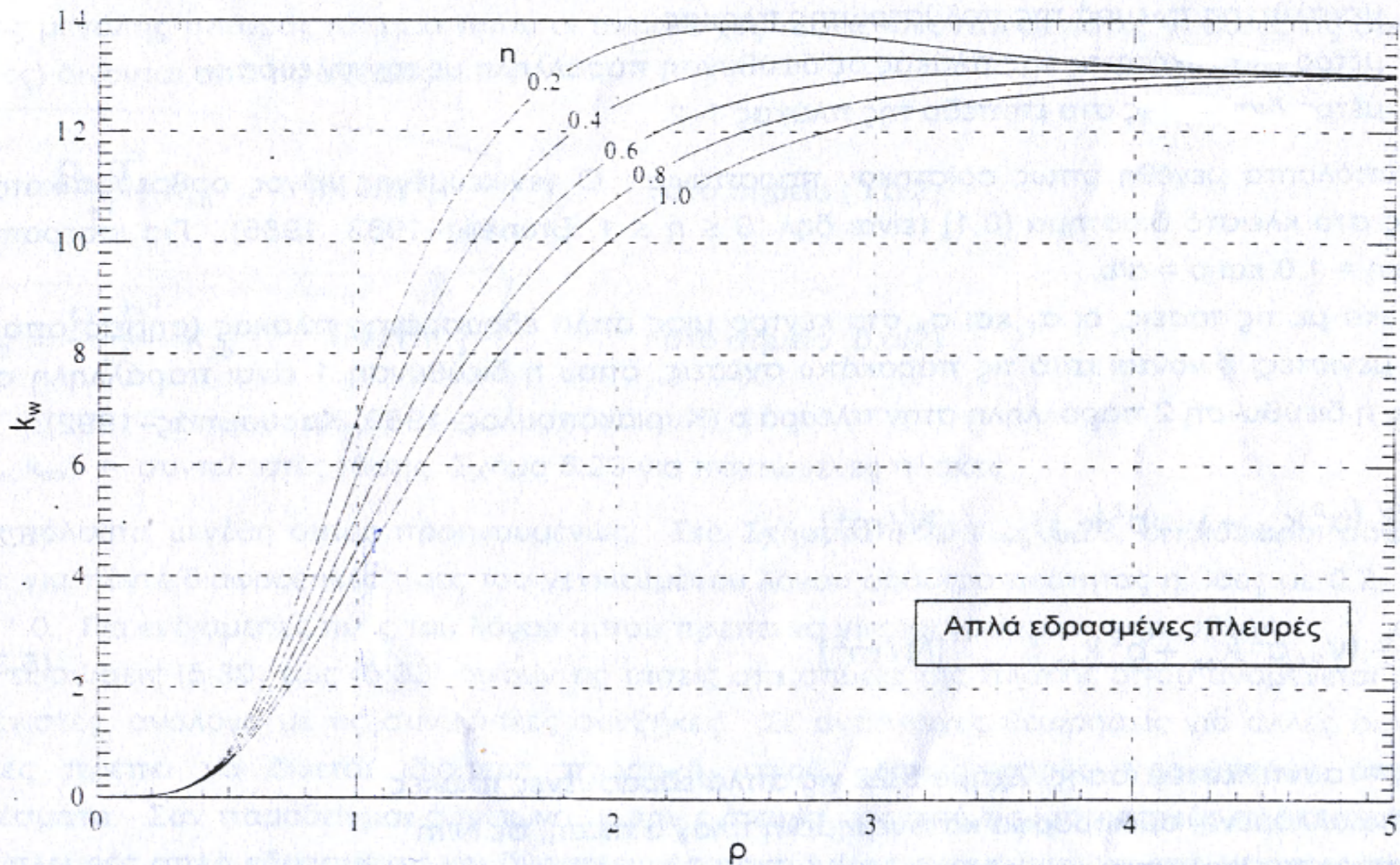
όπου

a = η μεγάλη διάσταση της πλάκας, σε m

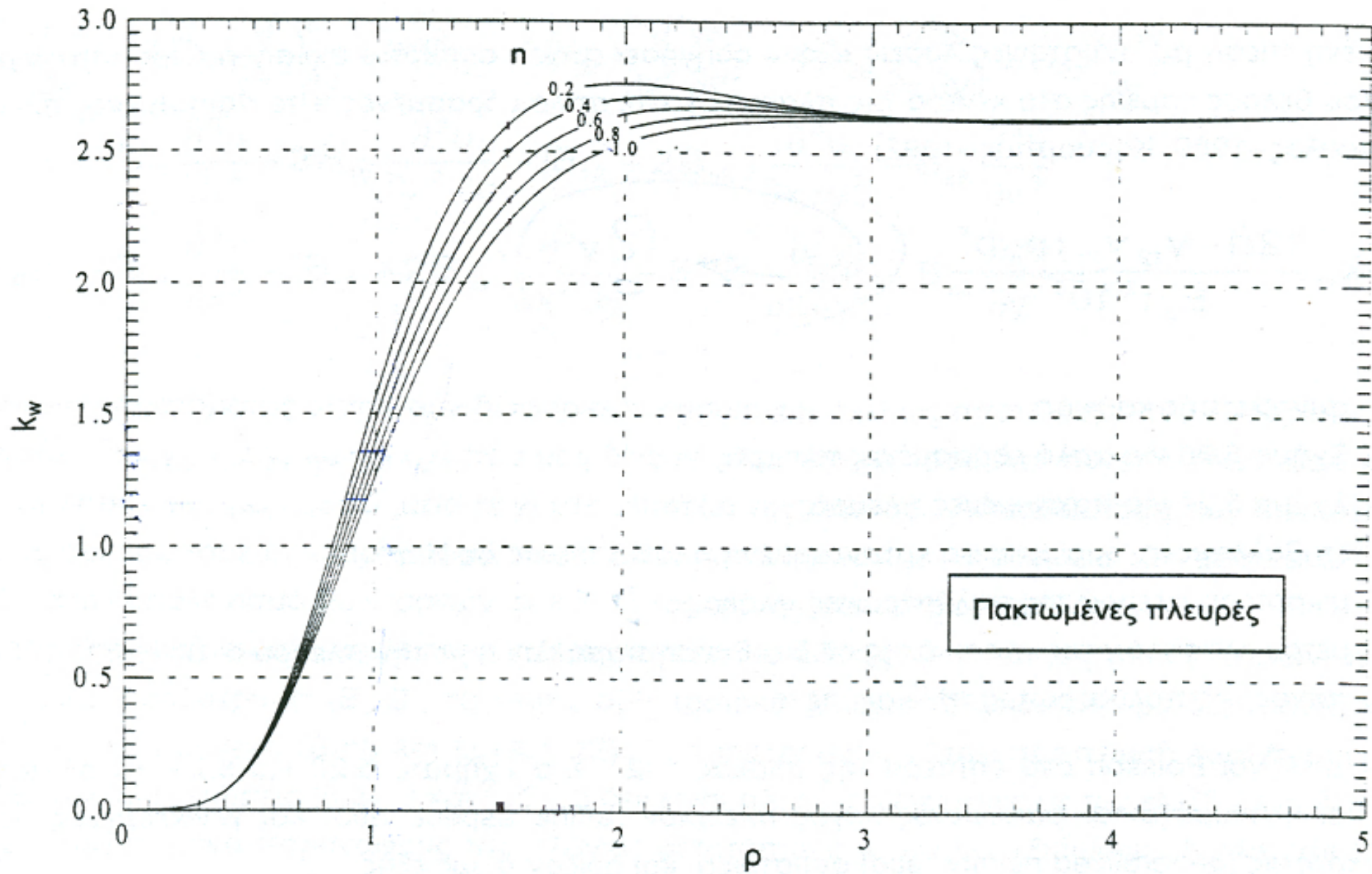
E_1 = μέτρο ελαστικότητας της πλάκας σε διεύθυνση παράλληλη με την πλευρά a , σε N/m²

G_{12} = μέτρο διάτμησης στο επίπεδο της πλάκας 1-2

¹ Τσούβαλης Γ. Ν. , “Ανάλυση και σχεδίαση σκαφών από σύνθετα υλικά (σημειώσεις)”, Αθήνα (1998)



Σχήμα 4.1: Συντελεστής κάμψης εξαρτώμενος από τον λόγο πλευρών για απλά εδρασμένα άκρα



Σχήμα 4.2: Συντελεστής κάμψης εξαρτώμενος από τον λόγο πλευρών για πακτωμένα άκρα

Υποθέτουμε ότι $E_2 = E_1$, $\nu_{12} = \nu_{21} = 0.3$, $\eta = 1$ και έχουμε:

Για πακτωμένα άκρα:

$$k_w = 1.45$$

Για απλά εδρασμένα άκρα:

$$k_w = 4.6$$

Οι τιμές για το k_w προέκυψαν χρησιμοποιώντας τη γεωμετρία των πλακών που χρησιμοποιήθηκαν στις εφαρμογές των κανονισμών στα παραδείγματα σκαφών (Κεφάλαιο 3) όπου $a = 0.48$ m, $b = 0,45$ m και $b/a = \rho = 1.06667$.

Αυτή η γεωμετρία των πλακών θα χρησιμοποιηθεί και στους τύπους όλων των κανονισμών στην προσπάθεια για σύγκριση με τον γενικό τύπο.

Η σχέση 4.1 για τις τιμές του k_w που υπολογίσθηκαν γίνεται:

Για πακτωμένες πλευρές:

$$w = \frac{15.834 p_0 b^4}{E t^3 10^3} \quad [\text{m}] \quad (4.4)$$

Για απλά εδρασμένες πλευρές:

$$w = \frac{50.232 p_0 b^4}{E t^3 10^3} \quad [\text{m}] \quad (4.5)$$

Χρησιμοποιώντας σαν μέγιστο επιτρεπόμενο βέλος κάμψης ένα λόγο της μικρής πλευράς b , έστω $1/\lambda$, έχουμε:

$$w = \frac{b}{\lambda}$$

για πακτωμένες πλευρές:

$$t = b \sqrt[3]{\frac{p_0 15.834 \lambda}{E 10^3}} \quad [\text{m}] \quad (4.6)$$

και για απλά εδρασμένες πλευρές:

$$t = b \sqrt[3]{\frac{p_0 \cdot 50.232 \lambda}{E \cdot 10^3}} \quad [\text{m}] \quad (4.7)$$

Αλλάζοντας τις μονάδες του b σε mm το τελικό αποτέλεσμα της τιμής t μετατρέπεται σε mm.

Επίσης γίνεται μετατροπή των μονάδων των p και E σε kPa και MPa, αντίστοιχα, και τελικά καταλήγουμε στις σχέσεις:

Για πακτωμένες πλευρές:

$$t = b \sqrt[3]{\frac{p_0 \cdot 0.015834 \lambda}{E \cdot 10^3}} \quad [\text{mm}] \quad (4.8)$$

Για απλά εδρασμένες πλευρές:

$$t = b \sqrt[3]{\frac{p_0 \cdot 0.050232 \lambda}{E \cdot 10^3}} \quad [\text{mm}] \quad (4.9)$$

όπου

t = πάχος της πλάκας, σε mm

b = η μικρή διάσταση της πλάκας, σε mm

p₀ = πίεση σχεδίασης, σε kPa

E₂ = μέτρο ελαστικότητας της πλάκας σε διεύθυνση παράλληλη με την πλευρά b, σε MPa

4.1.2 ISO/DIS 12215-5.2

Χρησιμοποιώντας τους τύπους του εδάφιου 2.4.1 για τον υπολογισμό του πάχους πλάκας από σύνθετα υλικά μονολιθικής κατασκευής του ISO/DIS 12215-5.2 και την γεωμετρία των πλακών όπως αυτή χρησιμοποιήθηκε στα παραδείγματα σκαφών στο Κεφάλαιο 3 και αναφέρεται παραπάνω βρίσκω ότι:

$$k_1 = 0.047$$

$$k_3 = 0.0157$$

όπου

k_1 = συντελεστής καμπτικής ακαμψίας

k_3 = συντελεστής εξαρτώμενος από τον λόγο πλευρών της πλάκας, όπως δίνεται από την σχέση 2.68

Η σχέση 2.66 γίνεται:

$$t_2 = b f_k \sqrt[3]{\frac{p \cdot 0.334}{1000 E_f}} \quad [\text{mm}] \quad (4.10)$$

όπου

E_F = μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη, σε N/mm^2

f_k = συντελεστής διόρθωσης για κυρτωμένες πλάκες

b = η μικρή διάσταση της πλάκας, σε mm

p = πίεση σχεδίασης, σε kN/m^2

Εξισώνοντας τις σχέσεις 4.10 και 4.8 υπολογίζουμε το λόγο $1/\lambda$ που έχει λάβει υπ' όψιν του ο κανονισμός υποθέτοντας πακτωμένες πλευρές:

$$10^{-3} \cdot 0.015834 \lambda = 0.334 \cdot 10^{-3} \Rightarrow 0.0158 \lambda = 0.334 \Rightarrow \lambda = 21.1 \square 20$$

Χρησιμοποιώντας τη σχέση για απλά εδρασμένες πλευρές ακολουθούμε την ίδια διαδικασία με τις σχέσεις 4.10 και 4.9 και βρίσκουμε ότι:

$$10^{-3} \cdot 0.050232 \lambda = 0.334 \cdot 10^{-3} \Rightarrow 0.0502 \lambda = 0.334 \Rightarrow \lambda = 6.6 \square 7$$

Η τιμή για τις πακτωμένες πλευρές είναι πιο κοντά σε αυτή που περιμέναμε άρα βγάζουμε το συμπέρασμα πως ο κανονισμός έχει υποθέσει πακτωμένες πλευρές για την πλάκα και επιτρέπει σαν μέγιστο βέλος κάμψης το $1/20$ της πλευράς b . Για να μπορέσουμε να συγκρίνουμε τις τιμές των μέγιστων επιτρεπόμενων βελών κάμψης όλων των κανονισμών μεταξύ τους θα υποθέσουμε για όλους χρήση πακτωμένων πλευρών.

Στον υπολογισμό που έγινε δεν λάβαμε υπ' όψιν μας τον συντελεστή διόρθωσης για κυρτωμένες πλάκες f_k ο οποίος στο παράδειγμα του ιστιοπλοϊκού σκάφους είναι διαφορετικός από 1 λόγω της ύπαρξης κυρτότητας στην πλάκα. Αυτό έγινε έτσι ώστε να υπάρχει συγκρισιμότητα μεταξύ των τύπων των νηογνωμόνων μεταξύ τους και με τον γενικό τύπο αφού αυτός ο συντελεστής δεν λαμβάνεται υπ' όψιν από όλους. Ο συντελεστής κυρτότητας δεν θα ληφθεί υπ' όψιν και σε όλους τους κανονισμούς στους οποίους υπάρχει.

4.1.3 ABS Motor Pleasure Yachts

Ταχύπλοα

Ακολουθώντας το τυπολόγιο του Κεφαλαίου 2.4.2 για τον υπολογισμό πάχους πλάκα σύμφωνα με τον κανονισμό του αμερικάνικου νηογνώμονα και χρησιμοποιώντας την γνωστή γεωμετρία βρίσκω ότι:

$$k_1 = 0.016$$

$k_2 = 0.015$ αφού έχει υποθεθεί υπολογισμός πάχους πλάκας για ένα κομμάτι του πυθμένα της γάστρας.

όπου

k_1 = συντελεστής εξαρτώμενος από το λόγο πλευρών της πλάκας, όπως δίνεται στον Πίνακα 2.30

$k_2 = 0,015$ για τη γάστρα και για το κύριο κατάστρωμα του σκάφους

$k_2 = 0,020$ για τις υπερκατασκευές και τις καμπίνες καταστρώματος

Αντικαθιστώντας το στον βασικό τύπο καταλήγουμε στην μορφή:

$$t_2 = s c \sqrt[3]{\frac{p \cdot 1.067}{1000 E_f}} \quad [\text{mm}] \quad (4.12)$$

όπου

E_F = μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη, σε N/mm^2

c = συντελεστής διόρθωσης για κυρτωμένες πλάκες

s = η ισαπόσταση των διαμήκων ενισχυτικών της γάστρας, η μικρή διάσταση της πλάκας, σε mm

p = πίεση σχεδίασης, σε kN/m^2

Εξισώνοντας τις εξισώσεις 4.8 και 4.11 υπολογίζουμε τον λόγο της πλευράς B που είναι το μέγιστο επιτρεπόμενο βέλος κάμψης.

$$0.0158 \lambda \cdot 10^{-3} = 1.067 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \lambda = 67.5$$

Άρα βλέπουμε ότι σε αντίθεση με τον ISO/DIS 12215-5.2 ο αμερικάνικος νηογνώμονας επιτρέπει σαν μέγιστο βέλος κάμψης το $1/67,5$ της πλευράς b δηλαδή πολύ μικρότερη τιμή.

Σκάφη εκτοπίσματος

Αρχικά υπολογίζω τον εξαρτώμενο από τον λόγο πλευρών συντελεστή k_1 .

$$k_1 = 0.16$$

Αντικαθιστώντας το συντελεστή k_1 και τη σχέση για το q_2 στην σχέση 2.73 καταλήγω στην τελική μορφή που είναι:

$$t = s c \sqrt[3]{\frac{0.169 h}{E_F}} \quad [\text{mm}] \quad (4.13)$$

όπου

E_F = μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη, σε N/mm^2

c = συντελεστής διόρθωσης για κυρτωμένες πλάκες

s = η μικρή διάσταση της πλάκας, σε mm

h = σχεδιαστική υδροστατική πίεση όπως υπολογίζεται από τον κανονισμό, σε m

Για να μετατρέψουμε την μορφή της εξίσωσης αυτής στην μορφή της 4.8 ακολουθώ την παρακάτω διαδικασία:

$$P = \rho g h / 1000 \quad [\text{kN/m}^2] \quad (4.14)$$

$$h = \frac{1000 P}{\rho g} \quad [\text{m}] \quad (4.15)$$

Αντικαθιστώντας στην σχέση 4.13 έχω:

$$t = b c \sqrt[3]{\frac{0.169 \frac{1000 P}{\rho g}}{E_F}} \quad [\text{mm}] \quad (4.16)$$

όπου

$$\rho = 1025 \quad [\text{kg/m}^3]$$

$$g = 9.81 \quad [\text{m/sec}^2]$$

άρα η τελική μορφή της σχέσης για τον υπολογισμό του πάχους της πλάκας είναι:

$$t = b c \sqrt[3]{\frac{16.8 P}{1000 E_F}} \quad [\text{mm}] \quad (4.17)$$

και εξισώνοντας τις σχέσεις 4.8 και 4.17 καταλήγω στο ότι:

$$10^{-3} 0.15834 \lambda = 16.8 10^{-3} \Rightarrow 0.158 \lambda = 16.8 \Rightarrow \lambda = 106.33 \Rightarrow \lambda \square 100$$

Άρα ο αμερικάνικος νηογνώμονας χρησιμοποιεί σαν μέγιστο επιτρεπόμενο βέλος κάμψης το 1/100 της πλευράς b. Όπως στο κανονισμό του ISO/DIS 12215-5.2 δεν λαμβάνουμε υπ' όψιν μας τον συντελεστή κυρτότητας των πλακών που διαφοροποιεί τα τελικά αποτελέσματα.

4.1.4 Lloyd's Register of Shipping

Η σχέση 2.75 καταλήγει στην μορφή

$$t = b \sqrt[3]{\frac{p 3.112}{1000 E_{tp}}} \quad [\text{mm}] \quad (4.18)$$

όπου

E_{tp} = μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό, in N/mm^2

b = η μικρή διάσταση της πλάκας, σε mm

p = πίεση σχεδίασης, σε kN/m^2

Κατά την ίδια διαδικασία εξισώνω την σχέση 4.8 και 4.18 και καταλήγουμε στην μέγιστη τιμή του επιτρεπόμενου βέλους κάμψης:

$$10^{-3} 0.015834 \lambda = 3.112 10^{-3} \Rightarrow 0.0158 \lambda = 3.112 \Rightarrow \lambda = 196.7 \square 200$$

Άρα το μέγιστο επιτρεπόμενο βέλος κάμψης του κανονισμού είναι το 1/200 της πλευράς b.

Επίσης πρέπει να επισημανθεί η χρήση του μέτρου ελαστικότητας σε εφελκυσμό σε αντίθεση με τους τύπους των κανονισμών που εξετάσαμε παραπάνω και χρησιμοποιούν το μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη όπως έχει επισημανθεί και στα Εδάφια 2.4.6. Άρα εκτός από το διαφορετικό μέγιστο επιτρεπόμενο βέλος κάμψης που χρησιμοποιεί ο κάθε κανονισμός και διαφοροποιεί τα τελικά αποτελέσματα που παρατέθηκαν στο Κεφάλαιο 3 άλλος ένας παράγοντας είναι το διαφορετικό μέτρο ελαστικότητας που χρησιμοποιείται.

4.1.5 DET NORSKE VERITAS

Χρησιμοποιώντας το γνωστό λόγο πλευρών υπολογίζω τον συντελεστή C_1 υποθέτοντας πακτωμένες πλευρές:

$$C_1 = 63.3$$

Αντικαθιστώντας αυτή την τιμή στην σχέση 2.81 που δίνει το πάχος της πλάκας με βασικό κριτήριο την καμπτική ακαμψία προκύπτει η σχέση:

$$t = b \sqrt[4]{\frac{10^9 p}{126.6 E}} \quad [\text{mm}] \quad (4.19)$$

όπου

E = μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό, σε N/mm^2

b = η μικρή διάσταση της πλάκας, σε m

p = πίεση σχεδίασης, σε kN/m^2

Παρατηρούμε ότι σε αντίθεση με τις αντίστοιχες σχέσεις των άλλων νηογνώμωνων ο νορβηγικός νηογνώμονας σαν μέγιστο επιτρεπόμενο βέλος κάμψης δεν χρησιμοποιεί ένα λόγο της πλευράς b αλλά του πάχους t όπως αυτό φαίνεται καθαρά στη σχέση που δίνεται από τον κανονισμό:

$$\delta = \frac{w}{t} \Rightarrow w = \delta t \quad (4.20)$$

όπου

δ = μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή από τον κανονισμό ίση με 2

w = μέγιστο βέλος κάμψης

Άρα το μέγιστο επιτρεπόμενο βέλος κάμψης είναι 2 φορές το πάχος της πλάκας. Επίσης όπως ο βρετανικός έτσι και ο νορβηγικός νηογνώμονας χρησιμοποιεί το μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό και όχι αυτό σε κάμψη.

4.1.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Πίνακας 4.1: Συγκεντρικά αποτελέσματα επιτρεπόμενου βέλους κάμψης κάθε κανονισμού υποθέτοντας πακτωμένα άκρα.

	ISO/DIS 12215-5.2	ABS Planning	ABS Displacement	LRS	DNV
1/λ	1/20	1/67,5	1/100	1/200	1/25 για b/t = 50
					1/50 για b/t = 100
					1/100 για b/t = 200

- Στον Πίνακα 4.1 φαίνονται όλα τα τελικά αποτελέσματα για το επιτρεπόμενο βέλος κάμψης που δίνει ο κάθε κανονισμός. Στον νορβηγικό νηογνώμονα επειδή το επιτρεπόμενο βέλος κάμψης δίνεται βάσει του πάχους της πλάκας υποθέσαμε τρεις λόγους πλάτους προς πάχος για να μπορούμε να έχουμε αντίστοιχο αποτέλεσμα.
- Είναι εμφανές ότι το ISO/DIS 12215-5.2 δίνει το μεγαλύτερο επιτρεπόμενο βέλος κάμψης πράγμα που δικαιολογεί κατά πολύ τα αποτελέσματα του Κεφαλαίου 3 στο οποίο υπολογίζαμε πάντα το μικρότερο απαιτούμενο πάχος πλάκας από τον ISO/DIS 12215-5.2.

4.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΑΧΟΥΣ ΠΛΑΚΑΣ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗΝ ΚΑΜΠΙΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

4.2.1 ΓΕΝΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΕΞΙΣΩΣΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΠΑΧΟΥΣ ΠΛΑΚΑΣ ΜΕ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗΝ ΚΑΜΠΙΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

Η μέγιστη τάση, που αναπτύσσεται στο μέσο της μεγάλης πλευράς και παράλληλα στη διεύθυνση της μικρής πλευράς της πλάκας, δίνεται από την σχέση:

$$\sigma = \frac{p_0 b^2}{t^2} k_{sb}^2 \quad [\text{N/m}^2] \quad (4.21)$$

όπου

t = πάχος της πλάκας, σε m

b = η μικρή διάσταση της πλάκας, σε m

p_0 = πίεση σχεδίασης, σε N/m^2

k_{sb} = συντελεστής τάσης, έτσι όπως δίνεται στα Σχήματα 4.3 και 4.4
τα υπόλοιπα μεγέθη όπως έχουν οριστεί παραπάνω

Υποθέτουμε ότι $E_2 = E_1$, $\nu_{12} = \nu_{21} = 0.3$, $\eta = 1$ και έχουμε:

Για πακτωμένα άκρα:

$$k_{sb} = 0.335$$

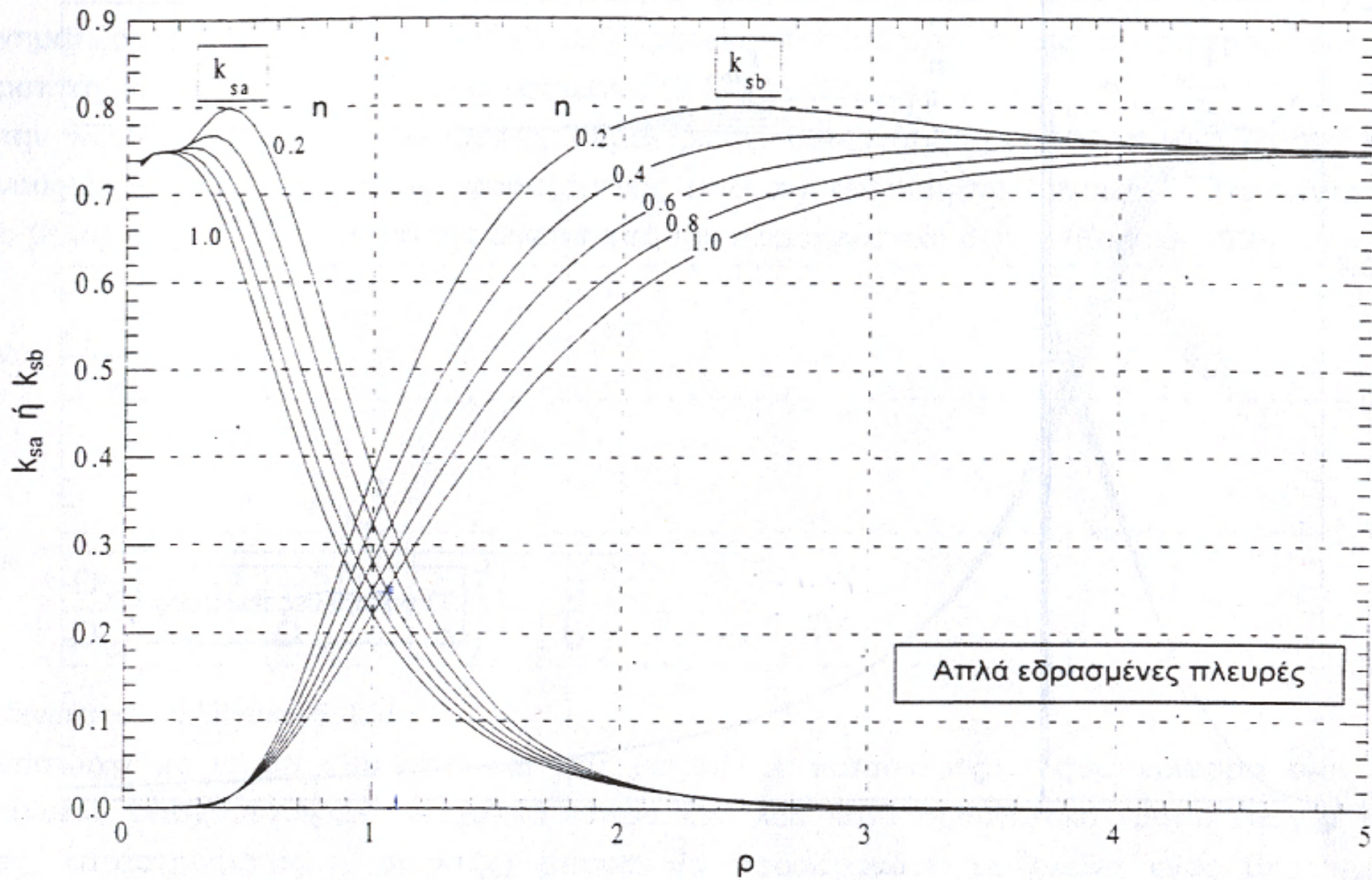
Για απλά εδρασμένα άκρα:

$$k_{sb} = 0.25$$

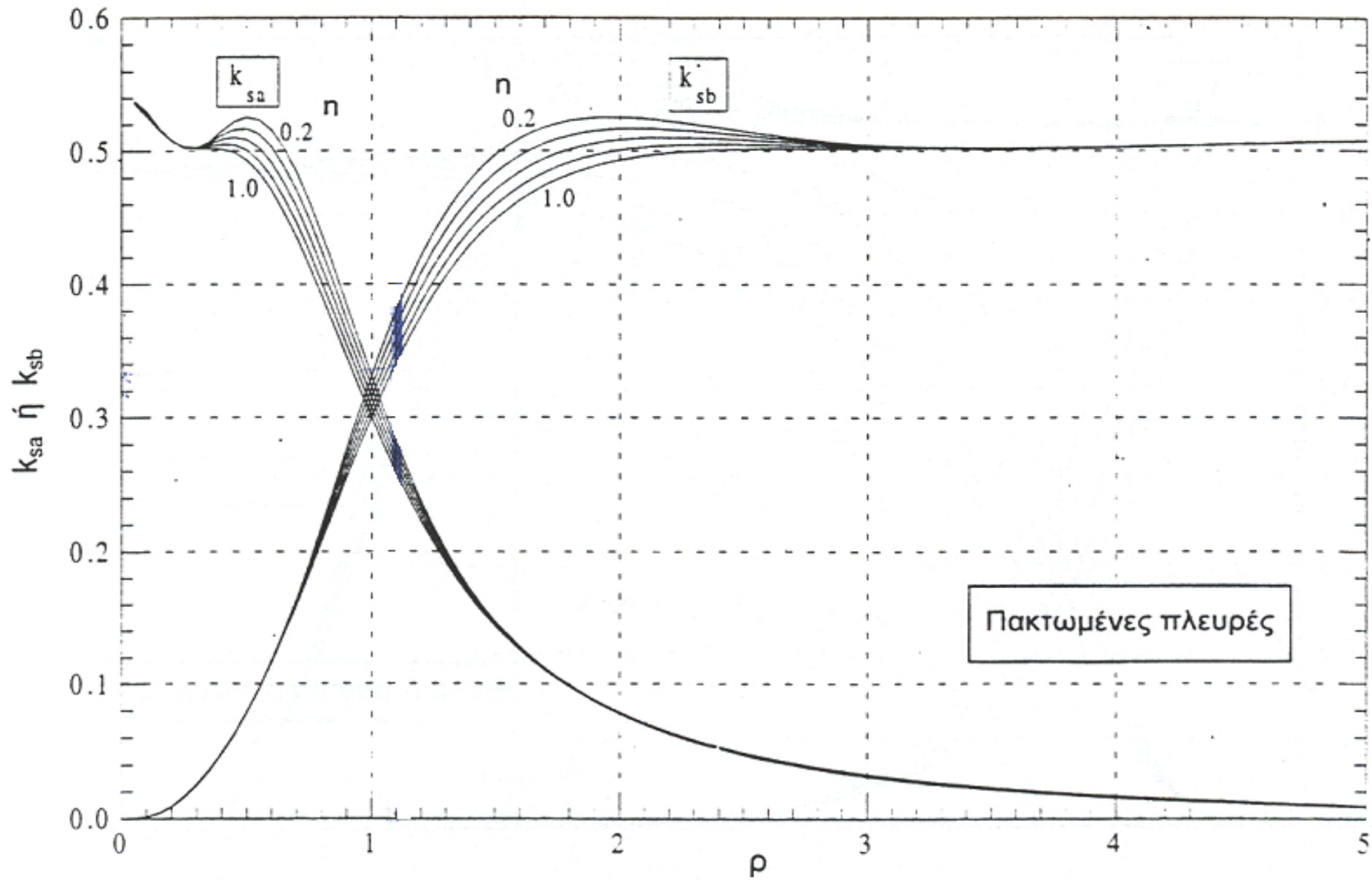
Από την εξίσωση λύνοντας ως προς το πάχος t έχουμε τη γενική σχέση υπολογισμού του πάχους μιας πλάκας με βασικό κριτήριο την αντοχή σε κάμψη:

$$t = b \sqrt{\frac{p_0 k_{sb}}{\sigma}} \quad [\text{m}] \quad (4.22)$$

² Τσούβαλης Γ. Ν. , “Ανάλυση και σχεδίαση σκαφών από σύνθετα υλικά (σημειώσεις)”, Αθήνα (1998)



Σχήμα 4.3: Συντελεστής τάσης εξαρτώμενος από τον λόγο πλευρών για απλά εδρασμένα άκρα



Σχήμα 4.4: Συντελεστής τάσης εξαρτώμενος από τον λόγο πλευρών για πακτωμένα άκρα

Αλλάζοντας τις μονάδες του b σε mm το τελικό αποτέλεσμα της τιμής t μετατρέπεται σε mm.

Επίσης γίνεται μετατροπή των μονάδων των p και E σε kPa και MPa, αντίστοιχα, και τελικά καταλήγουμε στις σχέσεις:

Για πακτωμένες πλευρές:

$$t = b \sqrt{\frac{p_0 \cdot 0.335}{1000 \sigma}} \quad [\text{mm}] \quad (4.23)$$

Για απλά εδρασμένες πλευρές:

$$t = b \sqrt{\frac{p_0 \cdot 0.25}{1000 \sigma}} \quad [\text{mm}] \quad (4.24)$$

όπου

t = πάχος της πλάκας, σε mm

b = η μικρή διάσταση της πλάκας, σε mm

p_0 = πίεση σχεδίασης, σε kPa

E_2 = μέτρο ελαστικότητας της πλάκας σε διεύθυνση παράλληλη με την πλευρά b , σε MPa

4.2.2 ISO/DIS 12215-5.2

Το απαιτούμενο πάχος της πλάκας με βασικό κριτήριο την καμπτική αντοχή δίνεται από την σχέση 2.65. Υπολογίζουμε τον συντελεστή k_2 και τον βάζουμε στην σχέση αυτή.

$$k_2 = 0.3364$$

Έτσι η τελική μορφή της σχέσης είναι:

$$t_1 = b f_k \sqrt{\frac{0.3364 P}{1000 \sigma_d}} \quad [\text{mm}] \quad (4.25)$$

όπου

σ_d = τάση σχεδίασης της πλάκας, όπως δίδεται στον Πίνακα 2.15

$\sigma_d = 0,5 \sigma_{uf}$ για τμήμα της γάστρας

σ_{uf} = η ελάχιστη τιμή της αντοχής σε κάμψη του υλικού, in N/mm^2

f_k = συντελεστής διόρθωσης για κυρτωμένες πλάκες

b = η μικρή διάσταση της πλάκας, σε mm

P = πίεση σχεδίασης, σε kN/m^2

Ουσιαστικά ψάχνουμε να βρούμε τις οριακές συνθήκες που έχουν υποθεθεί από τον κανονισμό. Παρατηρούμε ότι ο συντελεστής 0,3364 είναι πολύ κοντινός με αυτόν της σχέσης 2.23 που είναι 0,335. Άρα καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως ο κανονισμός έχει χρησιμοποιήσει σαν οριακή συνθήκη τις πακτωμένες πλευρές των πλακών.

Και σ' αυτή τη σχέση δεν έχουμε λάβει υπ' όψιν τον συντελεστή για κυρτωμένες πλάκες όπως και σε όλες τις σχέσεις που υπάρχει τέτοιος συντελεστής.

Επίσης προσδιορίζεται και η μέγιστη επιτρεπόμενη τάση που είναι η τάση σχεδίασης κάθε κανονισμού. Εδώ παρατηρούμε ότι για τον ISO/DIS 12215-5.2 σαν μέγιστη επιτρεπόμενη τάση χρησιμοποιείται η αντοχή του υλικού σε κάμψη με έναν συντελεστή ασφάλειας 2.

4.2.3 ABS Motor Pleasure Yachts

Ταχύπλοα σκάφη

Υπολογίζουμε τον συντελεστή k έχουμε:

$$k = 0.334$$

Αντικαθιστώντας αυτή την τιμή στον τύπο 2.69 παίρνουμε την τελική μορφή του τύπου:

$$t_1 = s c \sqrt{\frac{0.334 p}{1000 \sigma_a}} \quad [\text{mm}] \quad (4.26)$$

όπου

σ_a = τάσης σχεδίασης της πλάκας, όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.18

$\sigma_a = 0,33 \sigma_u$ για τμήμα του πυθμένα

σ_u = η ελάχιστη αντοχή του υλικού σε κάμψη, σε N/mm^2

s = η ισαπόσταση των διαμήκων ενισχυτικών της γάστρας, η μικρή διάσταση της πλάκας, σε mm

p = πίεση σχεδίασης, σε kN/m^2

c = συντελεστής διόρθωσης για κυρτωμένες πλάκες, παράλληλα στην κοντή πλευρά

Η ομοιότητα με τον τύπο 4.23 είναι προφανής. Άρα βγάζουμε το συμπέρασμα ότι και ο κανονισμός του αμερικάνικου νηογνώμονα έχει υποθέσει πακτωμένα άκρα. Η διαφορά με τον κανονισμό του ISO/DIS 12215-5.2 είναι ο συντελεστής ασφάλειας που χρησιμοποιείται στην τάση σχεδίασης της πλάκας. Η τάση σχεδίασης είναι και εδώ η ελάχιστη αντοχή του υλικού σε κάμψη αλλά με έναν συντελεστή ασφάλειας ίσο με 3.

Σκάφη εκτοπίσματος

Χρησιμοποιώντας τον Πίνακα 2.16 υπολογίζουμε τον συντελεστή k :

$$k = 0.335$$

Αντικαθιστώντας τον μαζί με την τιμή του q_1 καταλήγουμε στην τελική μορφή της εξίσωσης που είναι:

$$t = s c \sqrt{\frac{12.8 h}{1000 F}} \quad [\text{mm}] \quad (4.27)$$

όπου

s = η μικρή διάσταση της πλάκας, σε mm

c = συντελεστής διόρθωσης για κυρτωμένες πλάκες, παράλληλα στην κοντή πλευρά

h = σχεδιαστική υδροστατική πίεση όπως υπολογίζεται από τον κανονισμό, σε m

F = αντοχή σε κάμψη του πολύστρωτου, σε N/mm^2

Για να την συγκρίνουμε με τις σχέσεις 4.23 και 4.24 πρέπει να μετατρέψουμε το υδροστατικό ύψος h σε υδροστατική πίεση. Αντικαθιστώντας τις σχέσεις 4.14 και 4.15 στην 4.27 βρίσκουμε ότι:

$$t = s c \sqrt{\frac{12.8 \frac{1000 P}{\rho g}}{1000 F}} \quad [\text{mm}] \quad (4.28)$$

όπου

$$\rho = 1025 \quad [\text{kg/m}^3]$$

$$g = 9.81 \quad [\text{m/sec}^2]$$

F = αντοχή σε κάμψη του πολύστρωτου, σε N/mm^2

$$F = \sigma/x$$

σ = η τάση σχεδίασης της πλάκας
 $1/x$ = συντελεστής ασφάλειας
 c = συντελεστής διόρθωσης για κυρτωμένες πλάκες

Άρα η τελική μορφή της σχέσης για τον υπολογισμό του πάχους της πλάκας είναι:

$$t = s c \sqrt{\frac{x 1.274 P}{1000 \sigma}} \quad [\text{mm}] \quad (4.29)$$

Κάνοντας την υπόθεση ότι έχουμε πακτωμένα άκρα (η οποία είναι και η πιο πιθανή περίπτωση) και εξισώνοντας την σχέση 4.29 με την σχέση 4.23 υπολογίζουμε τον συντελεστή ασφάλειας του κανονισμού.

$$x = 0.26$$

Άρα ο συντελεστής ασφάλειας που χρησιμοποιεί ο κανονισμός είναι ίσος με 4.

4.2.4 Lloyd's Register of Shipping

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο κεφάλαιο 2 σύμφωνα με τον βρετανικό νομογώνονα, δεν δίνεται τύπος εύρεσης του πάχους με κριτήριο την καμπτική αντοχή αλλά εξετάζεται το ελάχιστο πάχος που έχει βρεθεί με κριτήριο την καμπτική ακαμψία με έλεγχο τάσης. Ο συντελεστής ασφάλειας που χρησιμοποιείται είναι ίσος με 4.

4.2.5 DET NORSKE VERITAS

Από τον τύπο της καμπτικής αντοχής της πλάκας (σχέση 2.82) λύνουμε ως προς το πάχος t και καταλήγουμε στην σχέση 2.83. Υπολογίζουμε το συντελεστή του λόγου πλευρών της πλάκας υποθέτοντας πακτωμένες πλευρές και έχουμε:

$$C_3 = 0.331$$

αντικαθιστώντας την τιμή αυτή στην σχέση 2.83 βρίσκουμε:

$$t = b (m) \sqrt{\frac{0.331 1000 p}{\sigma}} \quad [\text{mm}] \quad (4.30)$$

όπου

b = η μικρή διάσταση της πλάκας, σε m
 p = πίεση σχεδίασης, σε kN/m^2

Μετατρέπουμε τις μονάδες του b σε mm έτσι ώστε η σχέση να είναι συγκρίσιμη με τον γενικό τύπο και παίρνουμε την τελική μορφή της σχέσης που είναι:

$$t = b \text{ (mm)} \sqrt{\frac{0.331 p}{1000 \sigma}} \quad [\text{mm}] \quad (4.31)$$

όπου

$$\sigma = 0.3 \sigma_{\text{nu}}$$

σ_{nu} = αντοχή σε εφελκυσμό του πολύστρωτου, σε N/mm^2

Συγκρίνοντας τις σχέσεις 4.31 και 4.23 παρατηρούμε ότι είναι ίδιοι. Ο συντελεστής ασφάλειας που χρησιμοποιείται από τον κανονισμό είναι ίσος με 3,333.

4.2.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η βασική διαφορά του νορβηγικού σε σχέση με τους υπόλοιπους κανονισμούς, στην οποία πρέπει να εστιάσουμε και η οποία εξηγεί την διαφορά των αποτελεσμάτων του κανονισμού σε σχέση με τους υπόλοιπους έτσι όπως παρουσιάζονται στους πίνακες και στα διαγράμματα του κεφαλαίου 3 είναι η τάση που χρησιμοποιείται. Σε αντίθεση με τους υπόλοιπους κανονισμούς που χρησιμοποιούν την αντοχή σε κάμψη του υλικού ο νορβηγικός νηογνώμονας χρησιμοποιεί την αντοχή σε εφελκυσμό. Παρόλη λοιπόν την χρήση του ίδιου τύπου με την υπόθεση των πακτωμένων πλευρών από όλους τους κανονισμούς τα αποτελέσματα είναι διαφορετικά όχι μόνο λόγω των διαφορετικών συντελεστών ασφάλειας αλλά και της διαφορετικής αντοχής που χρησιμοποιείται. Άλλωστε στην χρήση των κανονισμών στα παραδείγματα σκαφών στο κεφάλαιο 3 υπάρχουν πίνακες αποτελεσμάτων που έχουν χρησιμοποιηθεί οι ίδιοι συντελεστές ασφάλειας με διαφορετικά τελικά αποτελέσματα, πράγμα που επιβεβαιώνει αυτό που προκύπτει από την παραπάνω ανάλυση.

Πίνακας 4.2: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα συντελεστών ασφάλειας.

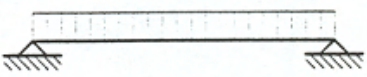
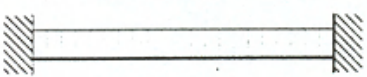
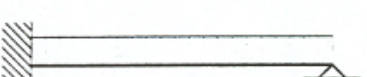


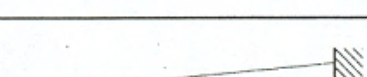
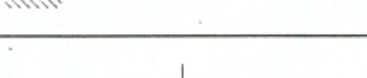

	ISO/DIS 12215-5.2	ABS		LRS	DNV
		planning	displacement		
ΑΝΤΟΧΗ	ΣΕ ΚΑΜΨΗ	ΣΕ ΚΑΜΨΗ	ΣΕ ΚΑΜΨΗ'	ΣΕ ΚΑΜΨΗ	ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	2	3	4	4	3.33

- Επίσης για άλλη μια φορά επιβεβαιώνεται η μεγαλύτερη ελαστικότητα του κανονισμού του ISO/DIS 12215-5.2 σε σχέση με τους υπόλοιπους αφού και σε αυτή τη περίπτωση χρησιμοποιεί τον μικρότερο συντελεστή ασφάλειας.

4.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΞΙΩΣΕΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΡΟΠΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

4.3.1 ΓΕΝΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΕΞΙΩΣΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΡΟΠΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Πίνακας 4.3: Μέγιστη ροπή, μέγιστο βέλος κάμψης και μέγιστη διατμητική δύναμη για μερικές περιπτώσεις κάμψης δοκών³

Φόρτιση και συνοριακές συνθήκες	Μέγιστη Ροπή	Μέγιστο βέλος κάμψης	Μέγιστη διατμητική δύναμη
	$\frac{qL^2}{8}$	$\frac{5qL^4}{384E_1I}$	$\frac{qL}{2}$
	$\frac{qL^2}{12}$	$\frac{qL^4}{384E_1I}$	$\frac{qL}{2}$
	$\frac{qL^2}{8}$	$0.00542 \frac{qL^4}{E_1I}$	$\frac{5qL}{8}$
	$\frac{qL^2}{9\sqrt{3}}$	$0.00653 \frac{qL^4}{E_1I}$	$\frac{qL}{3}$
	$\frac{qL^2}{20}$	$0.001309 \frac{qL^4}{E_1I}$	$\frac{7qL}{20}$
	$\frac{qL^2}{15}$	$0.00239 \frac{qL^4}{E_1I}$	$\frac{2qL}{5}$
	$\frac{PL}{4}$	$\frac{PL^3}{48E_1I}$	$\frac{P}{2}$
	$\frac{PL}{8}$	$\frac{PL^3}{192E_1I}$	$\frac{P}{2}$

Από τον Πίνακα 4.3 βλέπουμε πως για ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο και πακτωμένα άκρα η μέγιστη ροπή δίνεται από τον τύπο:

$$M_{\max} = \frac{1}{12} q L^2 = \frac{1}{12} p s L^2 \quad [\text{kNm}] \quad (4.32)$$

³ Τσούβαλης Γ. Ν. , “Ανάλυση και σχεδίαση σκαφών από σύνθετα υλικά (σημειώσεις)”, Αθήνα (1998)

Για ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο και απλά εδρασμένα άκρα η μέγιστη καμπτική ροπή είναι:

$$M_{\max} = \frac{1}{8} q L^2 = \frac{1}{8} p s L^2 \quad [\text{kNm}] \quad (4.33)$$

όπου

q = το κατανεμημένο φορτίο ανά μέτρο μήκους, σε kN/m

L = το μήκος του ενισχυτικού, σε m

p = κατανεμημένη πίεση, σε kN/m²

s = ισαπόσταση ενισχυτικών, σε m

Η ροπή αντίστασης δίνεται από τον τύπο:

$$SM = \frac{M_{\max}}{\sigma} \Rightarrow SM = K \frac{p s L^2}{\sigma} \quad [\text{m}^2 \text{ mm}] \quad (4.34)$$

όπου

$K = 1/12$ για πακτωμένα άκρα

$K = 1/8$ για απλά εδρασμένα άκρα

σ = η μέγιστη τάση ή τάση σχεδίασης του ενισχυτικού, in N/mm²

Μετατρέποντας τις μονάδες σε cm³ έχουμε την τελική μορφή της ροπής αντίστασης που είναι:

$$SM = \frac{M_{\max}}{\sigma} = 10^3 K \frac{p s L^2}{\sigma} \quad [\text{cm}^3] \quad (4.35)$$

4.3.2 ISO/DIS 12215-5.2

Οι συντελεστές οριακών συντελεστών έτσι όπως δίνονται από τον κανονισμό είναι οι εξής:

$K_B = 10^3 \cdot 0.08333 = 10^3 \cdot 1/12$ για πακτωμένα άκρα

$K_B = 10^3 \cdot 0.125 = 10^3 \cdot 1/8$ για απλά εδρασμένα άκρα

Εφαρμόζοντας τους συντελεστές αυτούς στην σχέση 2.111 καταλήγουμε στην σχέση:

$$SM = R_C 10^3 K \frac{p s l_u^2}{\sigma_d} \quad [\text{cm}^3] \quad (4.36)$$

όπου

$$\sigma_d = 0,5 \sigma_{ut} \text{ ή } 0,5 \sigma_{uc}$$

σ_{ut} = η ελάχιστη τιμή της αντοχής σε εφελκυσμό του υλικού, σε N/mm^2

σ_{uc} = η ελάχιστη τιμή της αντοχής σε θλίψη του υλικού, σε N/mm^2

P = πίεση σχεδίασης, σε kN/m^2

s = η ισαπόσταση των διαμήκων ενισχυτικών της γάστρας, σε m

l_u = ανυποστήρικτο μήκος ενισχυτικού, σε m

Η σχέση αυτή είναι ίδια με την σχέση 4.35. Η μόνη διαφορά είναι ο συντελεστής κυρτότητας R_C . Αυτός ο συντελεστής μειώνει την τελική τιμή της ροπής αντίστασης για ενισχυτικά με κυρτότητα. Αυτή η περίπτωση φαίνεται στο παράδειγμα του ιστιοπλοϊκού σκάφους στο Κεφάλαιο 3 στα εγκάρσια ενισχυτικά. Επίσης παρατηρούμε ότι η τάση σχεδίασης είναι η αντοχή του υλικού σε εφελκυσμό ή θλίψη με έναν συντελεστή ασφάλειας ίσο με 2.

4.3.3 ABS Motor Pleasure Yachts

Ταχύπλοα σκάφη

Σύμφωνα με τον αμερικάνικο νηογνώμονα η ροπή αντίστασης των ενισχυτικών δίνεται από την σχέση 2.114. Γράφοντας την σχέση στην μορφή που ακολουθεί μπορούμε εύκολα να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι έχουν υποτεθεί από τον κανονισμό πακτωμένα άκρα:

$$SM = 10^3 \frac{1}{12} \frac{p s l^2}{\sigma_a} \quad [\text{cm}^3] \quad (4.37)$$

όπου

$\sigma_a = 0.33 \sigma_u$ για εγκάρσια ενισχυτικά (συντελεστής ασφάλειας 3)

$\sigma_a = 0.5 \sigma_u$ για διαμήκη ενισχυτικά (συντελεστής ασφάλειας 2)

σ_u = αντοχή σε εφελκυσμό, σε N/mm^2

p = πίεση σχεδίασης, σε kN/m^2

s = η ισαπόσταση των διαμήκων ενισχυτικών της γάστρας, η μικρή διάσταση της πλάκας, σε mm

l = το ανυποστήρικτο μήκος του ενισχυτικού, σε m

Η τάση σχεδίασης που χρησιμοποιείται εδώ είναι η αντοχή του υλικού σε εφελκυσμό με συντελεστή ασφάλειας ίσο με 2 ή 3 ανάλογα με την κατεύθυνση του ενισχυτικού.

Σκάφη εκτοπίσματος

Για τα σκάφη εκτοπίσματος ο κανονισμός για τη ροπή αντίστασης δίνει τον τύπο 2.117. Για να συγκρίνουμε τη σχέση αυτή με τη σχέση 4.35 πρέπει να μετατρέψουμε το υδροστατικό ύψος h σε υδροστατική πίεση. Αντικαθιστώντας τις σχέσεις 4.14 και 4.15 βρίσκουμε ότι:

$$SM = c 10^3 0.282 \frac{p s l^2}{\sigma_u} \quad [\text{cm}^3] \quad (4.38)$$

όπου

σ_u = ελάχιστη αντοχή σε θλίψη, σε N/mm^2

$\sigma_u = \sigma/x$

$1/x$ = συντελεστής ασφάλειας

$c = 0.85$ για διαμήκη ενισχυτικά

$c = 0.70$ για όλα τα υπόλοιπα κατασκευαστικά στοιχεία της γάστρας

s = η ισαπόσταση των διαμήκων ενισχυτικών της γάστρας, η μικρή διάσταση της πλάκας, σε mm

l = το ανυποστήρικτο μήκος του ενισχυτικού, σε m

p = πίεση σχεδίασης, σε kN/m^2

Αντικαθιστώντας τις τιμές του c και του σ_u βρίσκω ότι:

Για τα διαμήκη ενισχυτικά:

$$SM = 10^3 0.24 x \frac{p s l^2}{\sigma} \quad [\text{cm}^3] \quad (4.39)$$

Για τα εγκάρσια ενισχυτικά:

$$SM = 10^3 0.2 x \frac{p s l^2}{\sigma} \quad [\text{cm}^3] \quad (4.40)$$

Συγκρίνοντας τις δυο αυτές σχέσεις με την σχέση 4.35 και υποθέτοντας πακτωμένα άκρα που είναι και το πιο πιθανό μπορούμε να υπολογίσουμε τους συντελεστές ασφάλειας:

$$x = 0.35 \text{ για τα διαμήκη ενισχυτικά } \Rightarrow \Sigma.A. = 2,86$$

$$x = 0.42 \text{ για τα εγκάρσια ενισχυτικά } \Rightarrow \Sigma.A. = 2,38$$

4.3.4 Lloyd's Register of Shipping

Η ροπή αντίστασης υπολογίζεται από τον τύπο:

$$SM = \frac{M_s}{\sigma_d} \quad [\text{cm}^3] \quad (4.41)$$

όπου

M_s = ροπή κάμψης όπως δίνεται από την σχέση 2.119, σε Nm

σ_d = η τάση σχεδίασης, σε N/mm^2

$\sigma_d = 0,33 \sigma_{ut}$ ή $0,33 \sigma_{uc}$ για τα διαμήκη ενισχυτικά

$\sigma_d = 0,3 \sigma_{ut}$ ή $0,3 \sigma_{uc}$ για τα εγκάρσια ενισχυτικά

σ_{ut} = η ελάχιστη τιμή της αντοχής σε εφελκυσμό του υλικού, σε N/mm^2

σ_{uc} = η ελάχιστη τιμή της αντοχής σε θλίψη του υλικού, σε N/mm^2

Αντικαθιστώντας τη σχέση 2.119 στη σχέση 4.41 παίρνω την τελική μορφή της ροπής αντίστασης που είναι:

$$SM = \frac{\Phi_M s l_e^2 p}{\sigma_d} \quad [\text{cm}^3] \quad (4.42)$$

όπου

$$\Phi_M = 0.08333 = \frac{1}{12} \text{ για τα διαμήκη ενισχυτικά}$$

$$\Phi_M = 0.1 = \frac{1}{10} \text{ για τα εγκάρσια ενισχυτικά}$$

p = πίεση σχεδίασης, σε kN/m^2

s = ισαπόσταση ενισχυτικών, σε mm

l_e = ανυποστήρικτο μήκος ενισχυτικού, σε m

Συγκρίνοντας αυτούς τους συντελεστές με αυτούς του γενικού τύπου (σχέση 4.35) βγάζουμε το συμπέρασμα πως για τα διαμήκη ενισχυτικά έχουν υποτεθεί πακτωμένα άκρα ενώ για τα εγκάρσια ενισχυτικά σαν οριακή συνθήκη έχει υποτεθεί μια ενδιάμεση κατάσταση από πακτωμένα και απλά εδρασμένα άκρα. Οι συντελεστές

ασφάλειας που χρησιμοποιούνται είναι 3 για τα διαμήκη ενισχυτικά και 3,333 για τα εγκάρσια ενισχυτικά.

4.3.5 DET NORSKE VERITAS

Η ροπή αντίστασης υπολογίζεται από τον τύπο:

$$SM = \frac{M_s}{\sigma_d} \quad [\text{mm m}^2] \quad (4.43)$$

όπου

M_s = ροπή κάμψης όπως δίνεται από την σχέση 2.121, σε kNm

σ_d = τάση σχεδίασης

$\sigma_d = 0,3 \sigma_u$

σ_u = αντοχή πολύστρωτου σε εφελκυσμό ή θλίψη, σε N/mm²

Αντικαθιστώντας την σχέση 2.121 στην σχέση 4.43 βρίσκουμε ότι:

$$SM = \frac{p b_1 l^2}{c_1 \sigma_d} \quad [\text{mm m}^2] \quad (4.44)$$

όπου

b_1 = το πλάτος της φορτισμένης περιοχής, $b_1 = 0,5 (l_1 + l_2)$, σε m

l_1 και l_2 = το πλάτος των υποστηριζόμενων πλακών, σε m

p = πίεση σχεδίασης, σε kN/m²

l = μήκος ενισχυτικού, σε m

$c_1 = 12$ για πακτωμένες πλευρές

$c_1 = 8$ για απλά εδρασμένες πλευρές

Μετατρέποντας τις μονάδες σε cm³ βρίσκω την τελική μορφή της εξίσωσης που είναι:

$$SM = 10^3 \frac{1}{c_1} \frac{p b l^2}{\sigma_d} \quad [\text{cm}^3] \quad (4.45)$$

Η μορφή της σχέσης είναι ακριβώς ίδια με αυτή της βασικής σχέσης 4.35. Ο συντελεστής ασφάλειας που χρησιμοποιείται είναι ίσος με 3,333.

4.3.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Πίνακας 4.4: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα συντελεστών ασφάλειας.

		ISO/DIS 12215-5.2	ABS		LRS	DNV
			planning	displacement		
ΑΝΤΟΧΗ	ΔΙΑΜΗΚΗ	ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ & ΣΕ ΘΛΙΨΗ	ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ	ΣΕ ΘΛΙΨΗ	ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ & ΣΕ ΘΛΙΨΗ	ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ & ΣΕ ΘΛΙΨΗ
	ΕΓΚΑΡΣΙΑ	ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ & ΣΕ ΘΛΙΨΗ	ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ	ΣΕ ΘΛΙΨΗ	ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ & ΣΕ ΘΛΙΨΗ	ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ & ΣΕ ΘΛΙΨΗ
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	ΔΙΑΜΗΚΗ	2	3	2,9	3	3,3
	ΕΓΚΑΡΣΙΑ	2	2	2,4	3,3	3,3

- Παρατηρούμε όπως και πριν ότι για άλλη μια φορά ο ISO/DIS 12215-5.2 δίνει τους μικρότερους συντελεστές ασφάλειας σε σχέση με τους υπόλοιπους κανονισμούς. Οι διαφορές στους συντελεστές ασφάλειας δεν είναι τόσο μεγάλες ενώ για τον ISO/DIS 12215-5.2 και για τον αμερικάνικο νηογνώμονα οι τιμές των συντελεστών ασφάλειας είναι σχετικά κοντινές. Αυτά επιβεβαιώνουν τα αποτελέσματα του Κεφαλαίου 3 όπου οι διάφορες για τις απαιτήσεις των ενισχυτικών στοιχείων μεταξύ των κανονισμών, και ειδικά του ISO/DIS 12215-5.2 και του αμερικάνικου νηογνώμονα δεν είναι μεγάλες
- Ένα στοιχείο που διαφοροποιεί τα τελικά αποτελέσματα είναι η αντοχή που χρησιμοποιείται από κάθε κανονισμό. Η διαφοροποίηση υπάρχει για τον αμερικάνικο νηογνώμονα που για τα ταχύπλοα σκάφη χρησιμοποιεί την αντοχή σε εφελκυσμό ενώ για τα σκάφη εκτοπίσματος την αντοχή σε θλίψη.

4.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΡΟΠΗΣ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

4.4.1 ΓΕΝΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΕΞΙΣΩΣΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΡΟΠΗΣ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.3 το μέγιστο βέλος κάμψης σε μια δοκό δίνεται από τις σχέσεις:

Για ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο και πακτωμένα άκρα:

$$W_{\max} = \frac{q L^4}{384 E I} = \frac{p s L^4}{384 E I} \quad [\text{m}] \quad (4.46)$$

Για ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο και απλά εδρασμένα άκρα:

$$W_{\max} = \frac{5 q L^4}{384 E I} = \frac{5 p s L^4}{384 E I} \quad [\text{m}] \quad (4.47)$$

όπου

q = το κατανεμημένο φορτίο ανά μέτρο μήκους, σε kN/m

L = το μήκος του ενισχυτικού, σε m

p = κατανεμημένη πίεση, σε kN/m²

s = ισαπόσταση ενισχυτικών, σε m

E = μέτρο ελαστικότητας, σε N/mm²

I = ροπή αδρανείας ενισχυτικού, σε mm³

Χρησιμοποιώντας σαν μέγιστο βέλος κάμψης έναν λόγο λ , του μήκους L έχουμε:

$$W_{\max} = \frac{L}{\lambda} \quad [\text{m}] \quad (4.48)$$

Άρα αντικαθιστώντας την σχέση 4.48 στην σχέση 4.47 και λύνοντας ως προς I βρίσκω ότι η ροπή αδρανείας του ενισχυτικού είναι:

$$I = N \lambda \frac{p s L^3}{E} \quad [\text{mm m}^3] \quad (4.49)$$

όπου

$$N = \frac{1}{384} \text{ για πακτωμένα άκρα}$$

$$N = \frac{5}{384} \text{ για απλά εδρασμένα άκρα}$$

και μετατρέποντας τις μονάδες σε cm^4 βρίσκω την τελική μορφή του τύπου:

$$I = 10^5 N \lambda \frac{p s L^3}{E} \quad [\text{cm}^4] \quad (4.50)$$

4.4.2 ISO/DIS 12215-5.2

Όπως έχουν παρατεθεί στο Κεφάλαιο 2 οι συντελεστές οριακών συνθηκών δίνονται ως εξής:

$$N_B = 26040 = 10^5 0,26040 \text{ για πακτωμένα άκρα}$$

$$N_B = 130200 = 10^5 1,302 \text{ για απλά εδρασμένα άκρα}$$

$$R_C = \text{συντελεστής κυρτότητας}$$

έτσι για πακτωμένα άκρα η σχέση 2.113 γίνεται:

$$I = R_C 10^5 0.26040 \frac{p s l_u^3}{E_{TC}} \quad [\text{cm}^4] \quad (4.51)$$

και για απλά εδρασμένα άκρα η σχέση 2.113 γίνεται:

$$I = R_C 10^5 1.302 \frac{p s l_u^3}{E_{TC}} \quad [\text{cm}^4] \quad (4.52)$$

όπου

$$P = \text{πίεση σχεδίασης, σε } \text{kN/m}^2$$

$$s = \text{η ισαπόσταση των διαμήκων ενισχυτικών της γάστρας, σε } \text{m}$$

$$l_u = \text{ανυποστήρικτο μήκος ενισχυτικού, σε } \text{m}$$

$$E_{TC} = \text{είναι το μέσο όρο των μέτρων ελαστικότητας σε εφελκυσμό και θλίψη, σε } \text{N/mm}^2$$

Εξισώνοντας τις σχέσεις 4.51 και 4.52 με την 4.50 χρησιμοποιώντας τους αντίστοιχους συντελεστές βρίσκω την τιμή του λ που είναι το ποσοστό του μήκους του ενισχυτικού που χρησιμοποιείται σαν μέγιστο επιτρεπόμενο βέλος κάμψης.

$$\frac{\lambda}{384} = 0.26040 \Rightarrow \lambda = 100 \text{ για πακτωμένα άκρα}$$

$$\frac{5\lambda}{384} = 1.302 \Rightarrow \lambda = 100 \text{ για απλά εδρασμένα άκρα}$$

Άρα σαν μέγιστο επιτρεπόμενο βέλος κάμψης χρησιμοποιείται το 1/100 του μήκους του ενισχυτικού. Δεν έχει ληφθεί υπ' όψιν ο συντελεστής κυρτότητας για τους λόγους που έχουν αναφερθεί παραπάνω.

4.4.3 ABS Motor Pleasure Yachts

Ταχύπλοα σκάφη

Σύμφωνα με τον κανονισμό του αμερικάνικου νηογνώμονα για τα ταχύπλοα σκάφη η ροπή αδρανείας των ενισχυτικών δίνεται από την σχέση 2.115. Ο συντελεστής k_4 είναι:

$$k_4 = 0.015 \text{ για ενισχυτικά πυθμένα}$$

Αντικαθιστώντας τον συντελεστή στην σχέση 2.115 και μετατρέποντας την στη μορφή της βασικής σχέσης έχουμε:

$$I = 10^5 \cdot 0.173 \frac{p s l^3}{E} \quad [\text{cm}^4] \quad (4.54)$$

όπου

p = πίεση σχεδίασης, σε kN/m^2

s = η ισαπόσταση των διαμήκων ενισχυτικών της γάστρας, η μικρή διάσταση της πλάκας, σε mm

l = το ανυποστήρικτο μήκος του ενισχυτικού, σε m

E = μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό ή θλίψη, σε N/mm^2

Εξισώνοντας την σχέση 4.54 με την σχέση 4.50 και υποθέτοντας πακτωμένα άκρα μπορούμε να υπολογίσουμε το λ .

$$\frac{\lambda}{384} = 0.173 \Rightarrow \lambda = 67$$

Άρα το μέγιστο επιτρεπόμενο βέλος κάμψης είναι το 1/67 του μήκους του ενισχυτικού.

Σκάφη εκτοπίσματος

Η ροπή αδράνειας των ενισχυτικών δίνεται από την σχέση 2.118. αντικαθιστώντας το υδροστατικό ύψος h από τις σχέσεις 4.14 και 4.15 τον συντελεστή c από τις τιμές που δίνονται στο Κεφάλαιο 2.4 και μετατρέποντας την εξίσωση στη μορφή της σχέση 4.50 καταλήγω στην μορφή:

Για τα διαμήκη ενισχυτικά:

$$I = 10^5 \cdot 0.204 \frac{P s l^3}{E} \quad [\text{cm}^4] \quad (4.55)$$

Για τα εγκάρσια ενισχυτικά:

$$I = 10^5 \cdot 0.168 \frac{P s l^3}{E} \quad [\text{cm}^4] \quad (4.56)$$

όπου

s = η ισαπόσταση των διαμήκων ενισχυτικών της γάστρας, η μικρή διάσταση της πλάκας, σε mm

l = το ανυποστήρικτο μήκος του ενισχυτικού, σε m

E = το μέτρο ελαστικότητας του πολύστρωτου στην παράλληλη διεύθυνση με το ενισχυτικό, σε N/mm^2

Υποθέτοντας πακτωμένα άκρα και εξισώνοντας τις εξισώσεις 4.55 και 4.56 με την 4.50 υπολογίζω το λ για τα δυο είδη ενισχυτικών.

$$\frac{\lambda}{384} = 0.204 \Rightarrow \lambda = 78$$

$$\frac{\lambda}{384} = 0.168 \Rightarrow \lambda = 65$$

Έτσι για τα διαμήκη ενισχυτικά το μέγιστο επιτρεπόμενο βέλος κάμψης είναι το $1/78$ του μήκους L ενώ για τα εγκάρσια είναι το $1/65$ του μήκους L .

4.4.4 Lloyd's Register of Shipping

Από την εξίσωση 2.120 για το βέλος κάμψης λύνοντας ως προς τη ροπή αδρανείας I έχουμε:

$$I = \frac{\phi_{\delta} p s l_e^4}{E \delta_s} \times 10^5 \quad [\text{cm}^4] \quad (4.57)$$

όπου

ϕ_{δ} = συντελεστής κάμψης

$\phi_{\delta} = 1/384$ για τα διαμήκη ενισχυτικά

$\phi_{\delta} = 1/288$ για τα εγκάρσια ενισχυτικά

p = πίεση σχεδίασης, σε kN/m^2

s = ισαπόσταση ενισχυτικών, σε mm

l_e = ανυποστήρικτο μήκος ενισχυτικού, σε m

E = μέτρο ελαστικότητας, σε N/mm^2

$\delta_s = l_e / f_{\delta}$

f_{δ} = είναι το ποσοστό του μήκους του ενισχυτικού που ορίζεται σαν μέγιστο επιτρεπόμενο βέλος κάμψης.

$f_{\delta} = 200$ για τα διαμήκη ενισχυτικά

$f_{\delta} = 150$ για τα εγκάρσια ενισχυτικά

Άρα το μέγιστο επιτρεπόμενο βέλος κάμψης για τα διαμήκη ενισχυτικά είναι το 1/200 του μήκους του ενισχυτικού ενώ για τα εγκάρσια είναι το 1/150 του μήκους του ενισχυτικού. αντικαθιστώντας τις τιμές του ϕ_{δ} και του δ_s βρίσκω την τελική μορφή των εξισώσεων που είναι:

Για τα διαμήκη ενισχυτικά:

$$I = \frac{f_{\delta}}{384} \frac{p s l_e^3}{E} \times 10^5 \quad [\text{cm}^4] \quad (4.58)$$

Για τα εγκάρσια ενισχυτικά:

$$I = \frac{f_{\delta}}{288} \frac{p s l_e^3}{E} \times 10^5 \quad [\text{cm}^4] \quad (4.59)$$

Εξισώνοντας τις δυο αυτές σχέσεις με την σχέση 4.50 μπορούμε να βρούμε τις οριακές συνθήκες που έχουν υποτεθεί. Είναι εύκολο να δούμε ότι για τα διαμήκη

ενισχυτικά έχουν υποθεθεί πακτωμένα άκρα ενώ για τα εγκάρσια ο συντελεστής 1/288 δεν ταιριάζει με κάποια από τις γνωστές περιπτώσεις του Πίνακα 4.1.

4.4.5 DET NORSKE VERITAS

Ο νορβηγικός νηογνώμονας δεν δίνει τύπο υπολογισμού της ροπής αδράνειας των ενισχυτικών.

4.4.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Πίνακας 4.5: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα επιτρεπόμενου βέλους κάμψης κάθε κανονισμού

		ISO/DIS 12215-5.2	ABS		LRS	DNV
			planning	displacement		
1/λ	ΔΙΑΜΗΚΗ	1/100	1/67	1/78	1/200	-
	ΕΓΚΑΡΣΙΑ	1/100	1/67	1/65	1/150	-

- Οι διαφοροποιήσεις σε αυτό το τμήμα των κανονισμών έγκεινται στην διαφοροποίηση για τη υπόθεση πακτωμένων ή απλά εδρασμένων άκρων που κάνει κάθε κανονισμός. Έτσι για τον ISO/DIS 12215-5.2 παρατηρούμε ότι δίνει τύπους υπολογισμού και για τις δυο περιπτώσεις.
- Αντίθετα ο αμερικάνικος νηογνώμονας και για τα ταχύπλοα και για τα σκάφη εκτοπίσματος υποθέτει πακτωμένα άκρα.
- Αντίστοιχα ο βρετανικός νηογνώμονας για τα διαμήκη ενισχυτικά υποθέτει πακτωμένα άκρα ενώ για τα εγκάρσια δίνει έναν συντελεστή ενδιάμεσο των δυο καταστάσεων.

4.5 ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΙΣΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΤΕΛΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Πίνακας 4.6: Διαφορές στους υπολογισμούς διαστασιολόγησης

	ISO/DIS 12215-5.2	ABS		LRS	DNV	
		planning	displacement			
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΧΟΥΣ ΜΕ ΒΑΣΙΚΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗΝ ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΚΑΜΨΙΑ						
ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	E_f	E_f	E_f	E_t	E_t	
ΜΕΓΙΣΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΒΕΛΟΣ ΚΑΜΨΗΣ	$b/20$	$b/67,5$	$b/100$	$b/200$	$2t$	
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΧΟΥΣ ΜΕ ΒΑΣΙΚΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗΝ ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ						
ΤΑΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ	$0,5 \sigma_{uc}$	$0,33 \sigma_{uc}$	$0,26 \sigma_u$	$0,25 \sigma_u$	$0,3 \sigma_{ut}$	
ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	Πακτωμένα άκρα	Πακτωμένα άκρα	Πακτωμένα άκρα	Δεν ορίζεται από τον κανονισμό	Πακτωμένα άκρα	
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΡΟΠΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ						
ΤΑΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ	ΔΙΑΜΗΚΗ	$0,5 \sigma_{ut}$ ή $0,5 \sigma_{uc}$	$0,33 \sigma_{ut}$	$0,35 \sigma_{uc}$	$0,33 \sigma_{ut}$ ή $0,33 \sigma_{uc}$	$0,3 \sigma_{ut}$ ή $0,3 \sigma_{uc}$
	ΕΓΚΑΡΣΙΑ	$0,5 \sigma_{ut}$ ή $0,5 \sigma_{uc}$	$0,5 \sigma_{ut}$	$0,42 \sigma_{uc}$	$0,3 \sigma_{ut}$ ή $0,3 \sigma_{uc}$	$0,3 \sigma_{ut}$ ή $0,3 \sigma_{uc}$
ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	ΔΙΑΜΗΚΗ	Πακτωμένα & απλά εδρασμένα άκρα	Πακτωμένα άκρα	Πακτωμένα άκρα	Πακτωμένα άκρα	Πακτωμένα & απλά εδρασμένα άκρα
	ΕΓΚΑΡΣΙΑ	Πακτωμένα & απλά εδρασμένα άκρα	Πακτωμένα άκρα	Πακτωμένα άκρα	Μερικώς πακτωμένα	Πακτωμένα & απλά εδρασμένα άκρα
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΡΟΠΗΣ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ						
ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	ΔΙΑΜΗΚΗ	E_{tc}	E_c ή E_t	E	E	-
	ΕΓΚΑΡΣΙΑ	E_{tc}	E_c ή E_t	E	E	-
ΜΕΓΙΣΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΒΕΛΟΣ ΚΑΜΨΗΣ	ΔΙΑΜΗΚΗ	$L/100$	$L/67$	$L/78$	$L/200$	-
	ΕΓΚΑΡΣΙΑ	$L/100$	$L/67$	$L/65$	$L/150$	-

- Στον Πίνακα 4.6 έχουν συγκεντρωθεί τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των τύπων των κανονισμών. Με την ανάλυση αυτή μπορούμε εύκολα να κατανοήσουμε τους τύπους που έχουν χρησιμοποιηθεί και να δικαιολογήσουμε τις ομοιότητες και διαφορές στα τελικά αποτελέσματα των σκαφών των Κεφαλαίων 3 και 5. Για τον κανονισμό του ISO/DIS 12215-5.2 παραδείγματος χάριν βλέπουμε πως είναι δικαιολογημένο το ότι στα τελικά αποτελέσματα πάντα δίνει τις μικρότερες τιμές για το απαιτούμενο πάχος ελάσματος αφού στον τύπο με βασικό κριτήριο την καμπτική ακαμψία χρησιμοποιεί το μεγαλύτερο επιτρεπόμενο βέλος κάμψης από όλους τους κανονισμούς, ενώ στον τύπο με βασικό κριτήριο την καμπτική αντοχή έχει τον μικρότερο συντελεστή ασφάλειας. Γενικώς για τον κανονισμό του ISO/DIS 12215-5.2 καταλαβαίνουμε ότι είναι αρκετά ανεκτικός σε σχέση με τους υπόλοιπους κανονισμούς. Οι πιο αυστηροί κανονισμοί είναι αυτοί του βρετανικού και του νορβηγικού νηογνώμονα, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα στα παραδείγματα σκαφών.
- Στον Πίνακα 4.6 δίνονται και οι διαφορετικές τάσεις, τα διαφορετικά μέτρα ελαστικότητας και οι διαφορετικές οριακές συνθήκες που έχουν υποτεθεί, μεγέθη που επηρεάζουν τις τελικές τιμές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΣΚΑΦΗ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η εφαρμογή των τύπων κάθε κανονισμού σε ήδη υπάρχοντα σκάφη, δυο ταχύπλοα και δυο σκάφη εκτοπίσματος και γίνεται η παράθεση και ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων σε πίνακες και διαγράμματα.

5.1 ΤΑΧΥΠΛΟΟ ΣΚΑΦΟΣ 1

Τα κύρια χαρακτηριστικά του σκάφους που χρησιμοποιήθηκε για την συγκριτική μελέτη των αποτελεσμάτων των κανονισμών είναι:

$\Delta =$	2100	kg	Εκτόπισμα
$L_{OA} =$	7,5	m	Ολικό μήκος σκάφους
$L_{WL} =$	7	m	Μήκος ισάλου
$L_{PP} =$	6,9	m	Μήκος μεταξύ κάθετων
$B =$	3,16	m	Πλάτος γάστρας
$B_{WL} =$	3	m	Πλάτος ισάλου
$B_C =$	2,9	m	Πλάτος μεταξύ των ακμών της γάστρας
$T =$	0,9	m	Βύθισμα
$LCG =$	3,3	m	Διάμηκες κέντρο βάρους
$\beta =$	19	°	Γωνία ανύψωσης πυθμένα
$V =$	25	kn	Ταχύτητα
$\tau =$	3,5	°	Γωνία διαγωγής για ταχύτητα 25kn
$H_s =$	2,5	m	Σημαντικό ύψος κύματος
$C_B =$	0,110		Συντελεστής γάστρας
$c =$	0	mm	Μήκος τόξου κυρτής πλάκας

Τα διαθέσιμα σχέδια του σκάφους παρατίθενται στο Παράρτημα Α που ακολουθεί.

Το LCG έχει μετρηθεί από την προραία κάθετο,

Η ακολουθία των στρώσεων που έχει χρησιμοποιηθεί στους υπολογισμούς είναι η πραγματική ακολουθία που δίνεται από τον κατασκευαστή και φαίνεται στα σχέδια του σκάφους που παρατίθενται.

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ενισχυτικών καθώς και των πολύστρωτων πλακών έχουν ληφθεί από τα κατασκευαστικά σχέδια και φαίνονται στον Πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά πλακών και ενισχυτικών

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΛΑΚΑΣ		
$s =$	312,50 mm	Κοντή πλευρά ενισχυτικού
$l =$	450 mm	Μακριά πλευρά ενισχυτικού
ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΑ		
$c_u =$	0,0000 m	Κυρτότητα ενισχυτικού
$l =$	0,3375 m	Ανυποστήρικτο μήκος ενισχυτικού
$s =$	0,5000 m	Ισαπόσταση ενισχυτικών
$b_w =$	0,0500 m	Πλάτος βάσης ενισχυτικού
ΔΙΑΜΗΚΗ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΑ		
$c_u =$	0,0000 m	Κυρτότητα ενισχυτικού
$l =$	2,1500 m	Ανυποστήρικτο μήκος ενισχυτικού
$s =$	0,3875 m	Ισαπόσταση ενισχυτικών
$b_w =$	0,0750 m	Πλάτος βάσης ενισχυτικού

Η διαμήκης και η κατακόρυφη θέση της πλάκας και των ενισχυτικών μερών είναι:

$x = 5\text{m}$ διαμήκης θέση από το πρυμναίο τέλος της ισάλου γραμμής

$d = 0,9\text{m}$ κατακόρυφη θέση μετρούμενη από την ίσαλο γραμμή

Αυτή η διαμήκης και κατακόρυφη θέση για τις πλάκες και τα ενισχυτικά έχουν επιλεγεί με κριτήριο να δίνουν τα μεγαλύτερα αποτελέσματα. είναι η θέσεις του σκάφους που δίνουν τις μεγαλύτερες τιμές των κάθετων επιταχύνσεων και των σχεδιαστικών πιέσεων άρα κατ' επέκταση και των τελικών αποτελεσμάτων του πάχους των πλακών και των απαιτήσεων των ενισχυτικών.

Οι τελικές τιμές των διαστάσεων με χρήση όλων των κανονισμών φαίνονται στον πίνακα και στα διαγράμματα που ακολουθούν.

όπου

n = κάθετη επιτάχυνση στο LCG

p_{design} = σχεδιαστική πίεση στον πυθμένα

t_{req} = απαιτούμενο πάχος πλάκας σύμφωνα με τους κανονισμούς

W_{req} = απαιτούμενο επιφανειακό βάρος πλάκας σύμφωνα με τους κανονισμούς

t_{real} = πάχος πλάκας πραγματικής ακολουθίας στρώσεων

W_{real} = επιφανειακό βάρος πλάκας πραγματικής ακολουθίας στρώσεων

Σαν πάχος πλάκας πραγματικής ακολουθίας στρώσεων ορίζεται το πάχος που υπολογίζεται από την χρήση της μεθόδου που βρίσκεται στον κανονισμό του ISO/DIS 12215-5.2 για τον θεωρητικό υπολογισμό πάχους στρώσης (Κεφάλαιο 2.2), με την χρήση της ακολουθίας στρώσεων έτσι όπως αυτή δίνεται από τον κατασκευαστή. Όπου υπάρχει τιμή μέσα σε παρένθεση είναι η τιμή του πάχους όπως δίνεται από τον ίδιο τον κατασκευαστή.

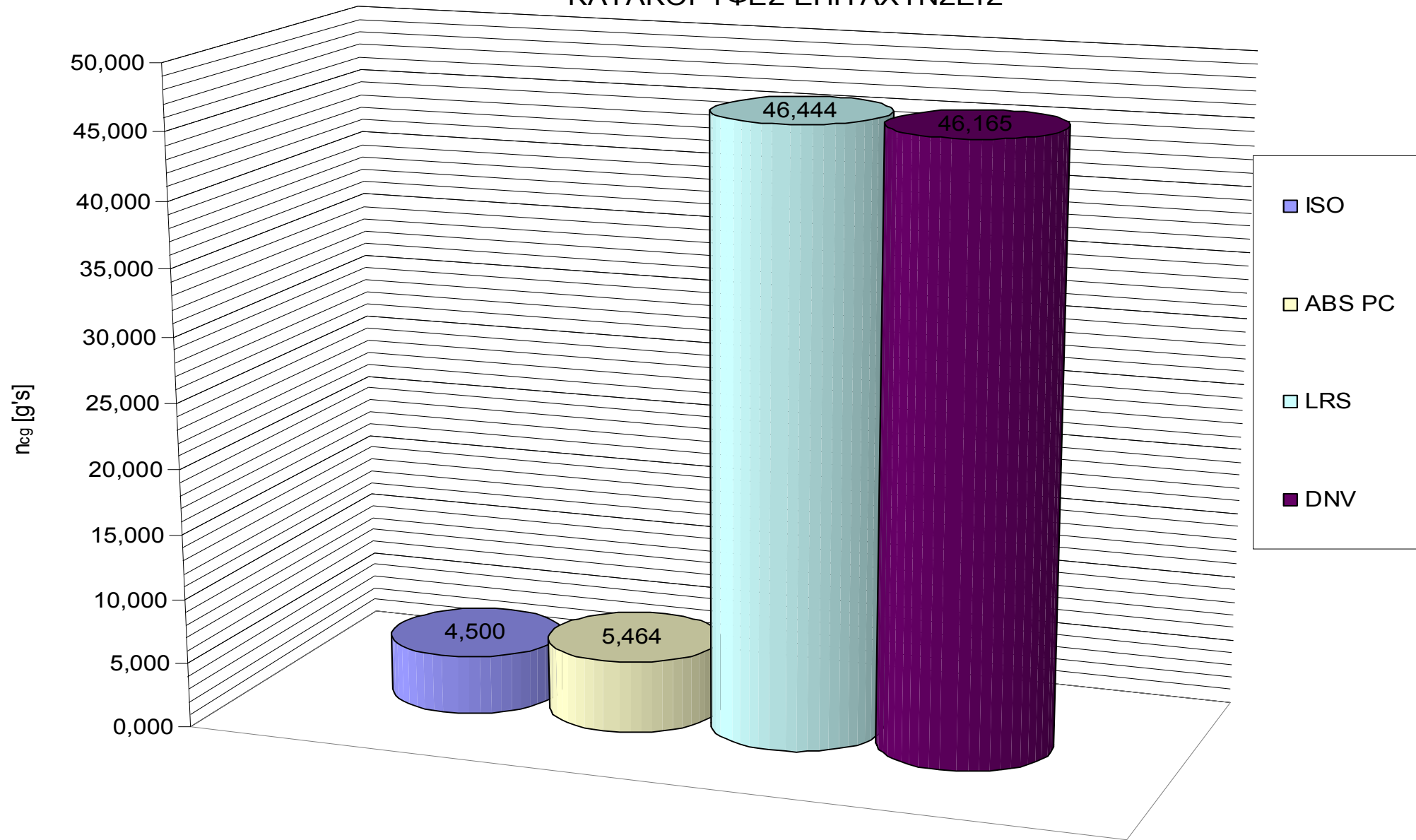
Οι μηχανικές ιδιότητες που έχουν χρησιμοποιηθεί όπου αυτές απαιτούνται από τους κανονισμούς, είναι αυτές που υπολογίστηκαν από την μεθοδολογία που περιέχεται στον κανονισμό του ISO/DIS 12215-5.2 (Κεφάλαιο 2.1) και είναι ίδιες σε όλες τις περιπτώσεις. Ακολουθούν πίνακες και διαγράμματα των τελικών αποτελεσμάτων.

Πίνακας 5.2: Τελικά αποτελέσματα προερχόμενα από την χρήση του κάθε κανονισμού.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΕΛΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

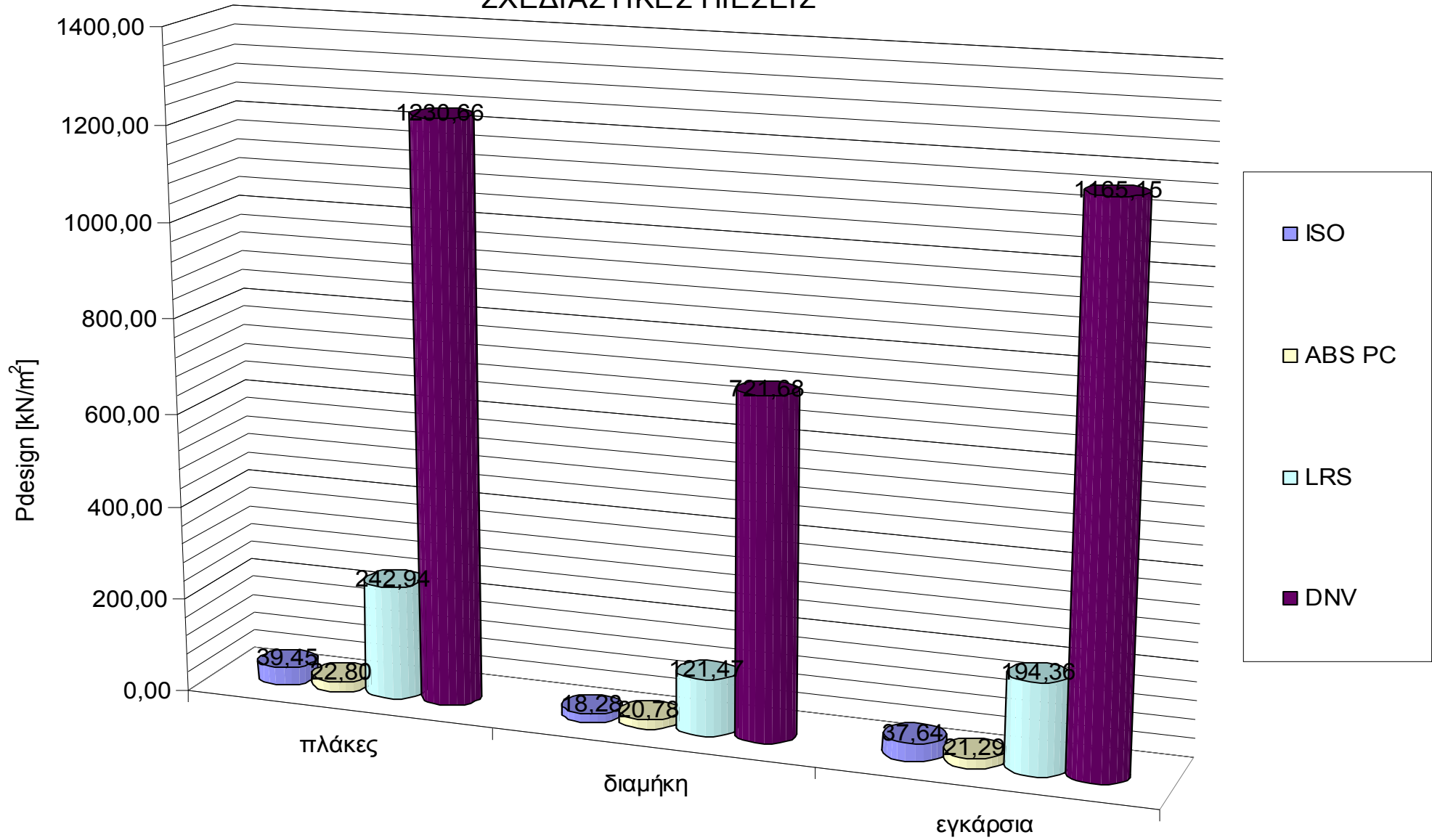
		ABS	GL	DNV	LRS	ISO	
n		5,464		46,165	46,444	4,500	g's
p design	πλάκες	22,80	22,87	1230,66	242,94	39,45	kN/m²
	διαμήκη	20,78		721,68	121,47	18,28	kN/m²
	εγκάρσια	21,29		1165,15	194,36	37,64	kN/m²
t req.		5,6	-	45,1	13,5	4,7	mm
W req.		-	5092,5	-	-	-	g/m²
t real		12,6					mm
W real		7300,0					g/m²
καμπτική ροπή	διαμήκη			107723,5	18131,9		Nm
	εγκάρσια			5529,9	1106,9		Nm
ροπή αντίστασης	διαμήκη	72,9	92,8	4223,5	646,3	64,2	cm³
	εγκάρσια	3,6	7,3	216,8	43,4	4,2	cm³
ροπή αδράνειας	διαμήκη	138,7			2436,5	183,3	cm⁴
	εγκάρσια	0,7			19,5	1,9	cm⁴
περιοχή διατμητικής τάσης	διαμήκη	5,2				3,3	cm²
	εγκάρσια	1,1				1,4	cm²
ισοδύναμο πλάτος ελάσματος	διαμήκη	176,1	300,0	240,3	344,2	169,8	mm
	εγκάρσια	151,1	300,0	55,0	319,2	144,8	mm

ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΙΣ

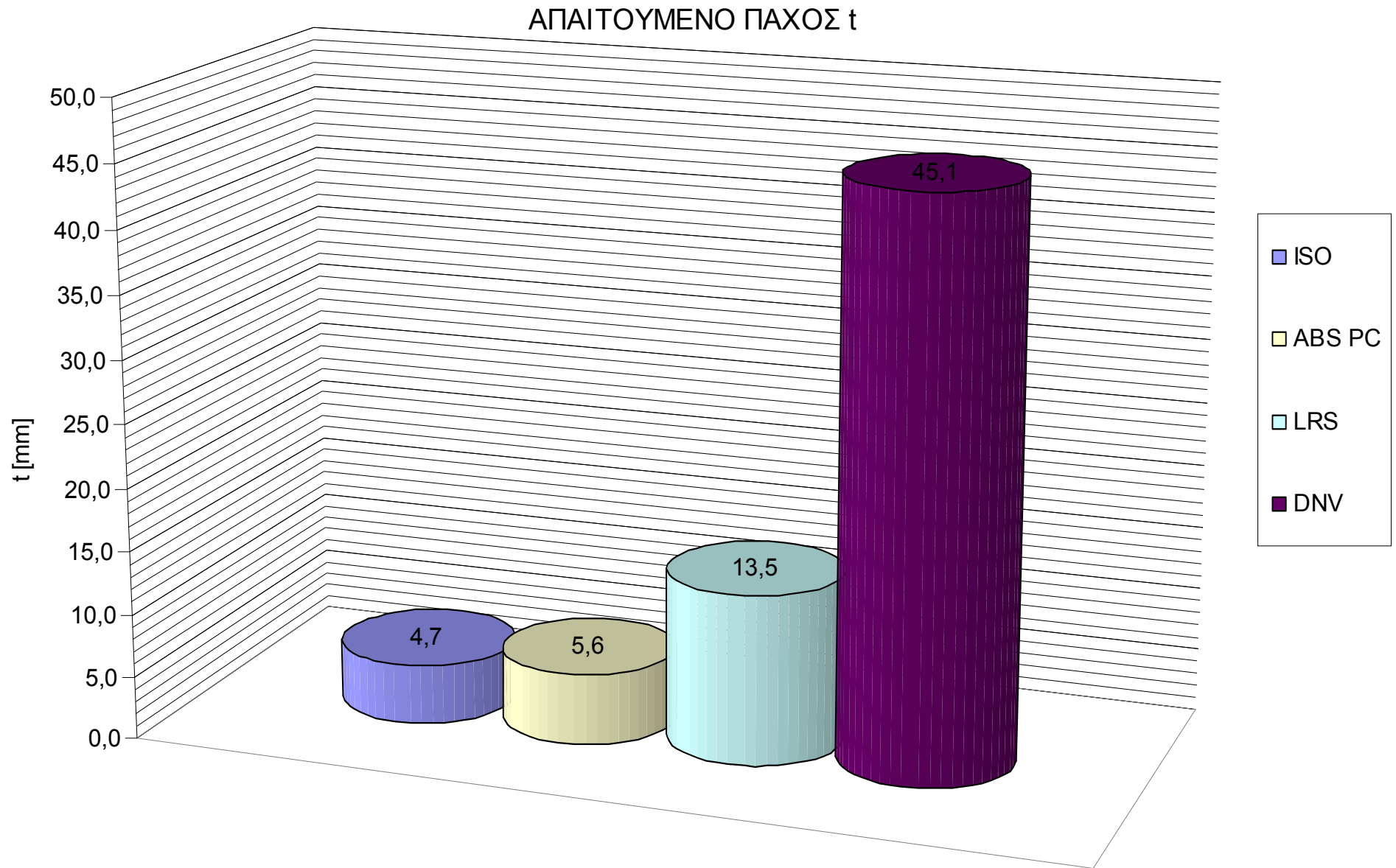


Σχήμα 5.1: Κατακόρυφες επιταχύνσεις

ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ

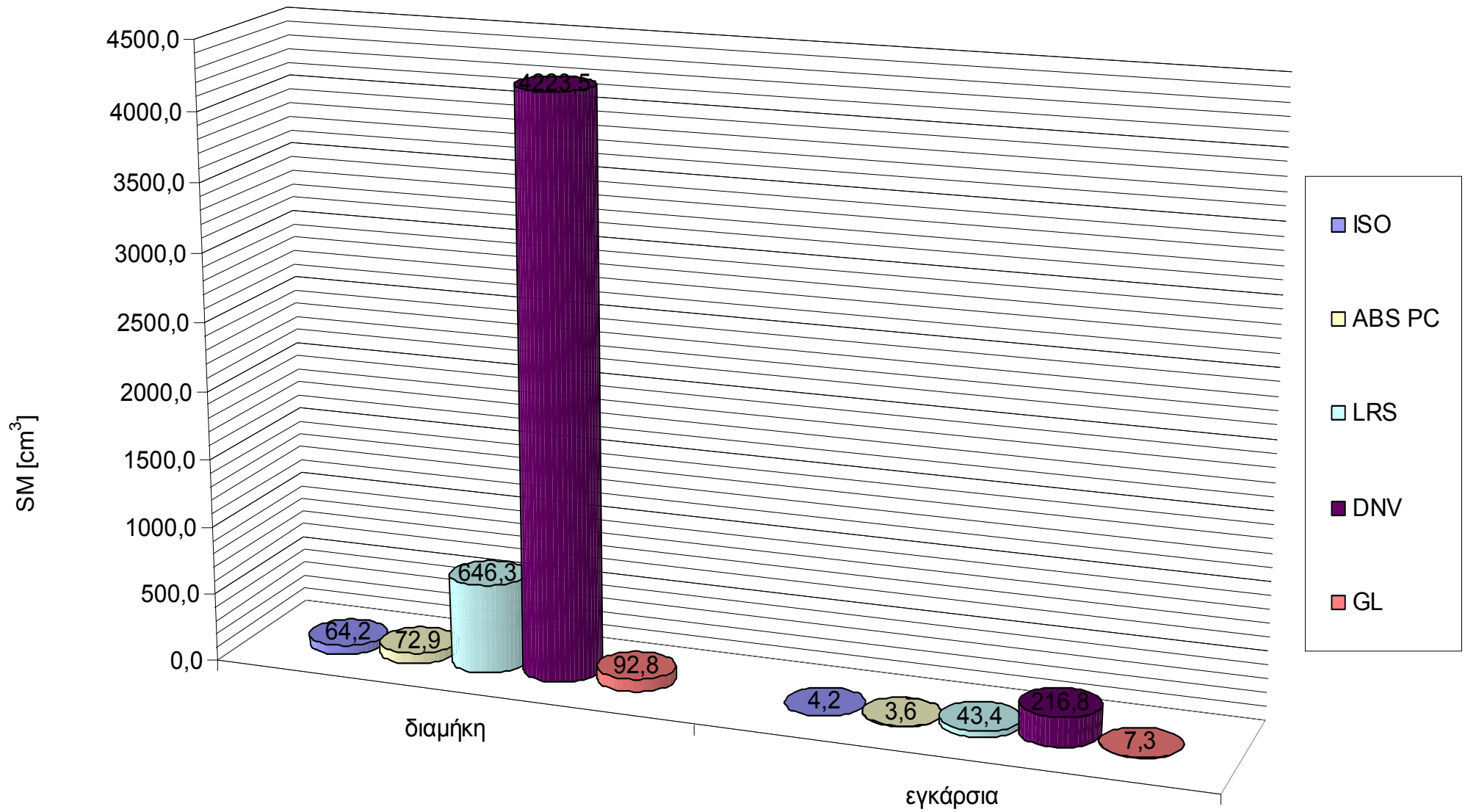


Σχήμα 5.2: Σχεδιαστικές πιέσεις



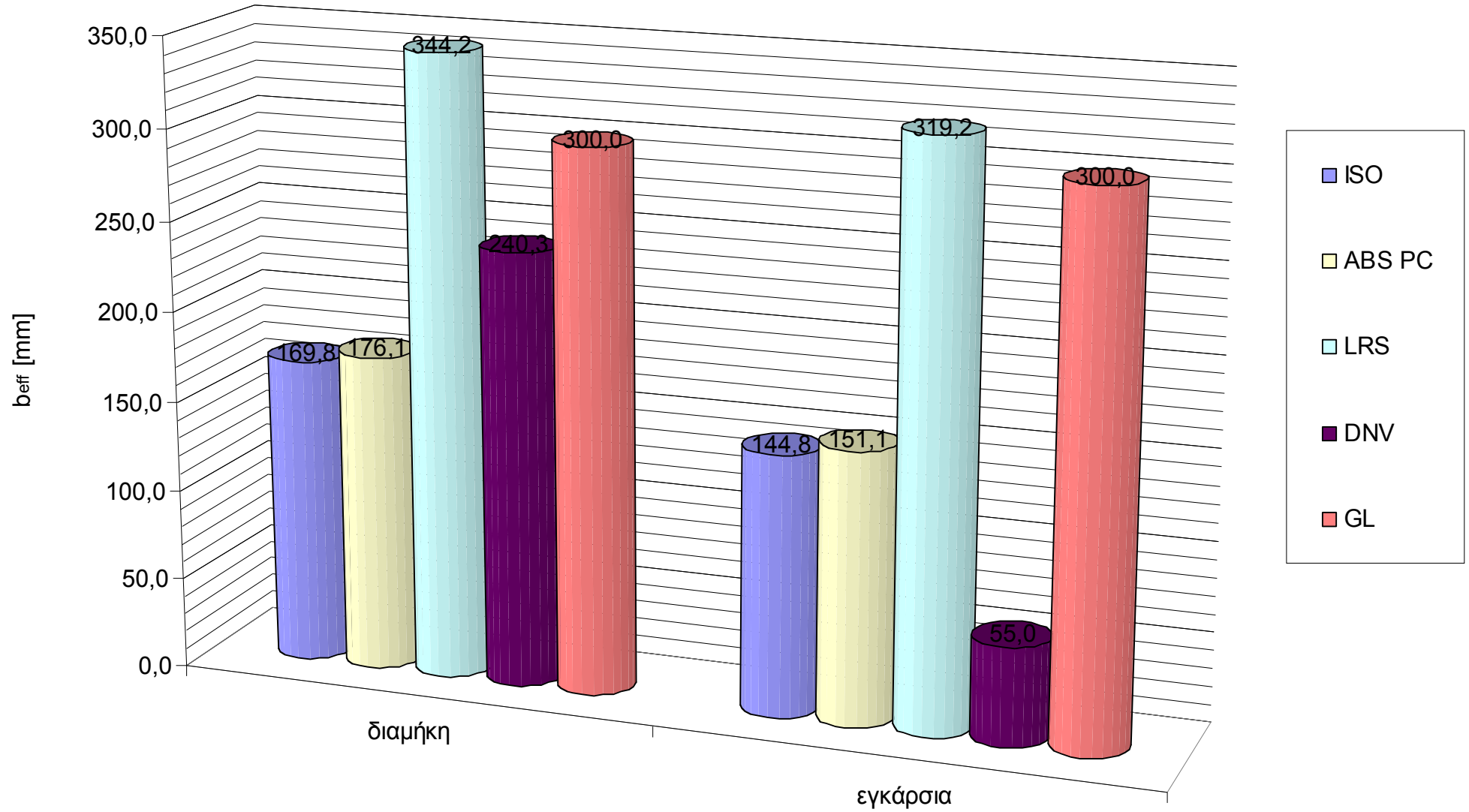
Σχήμα 5.3: Απαιτούμενο πάχος

ΡΟΠΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ



Σχήμα 5.4: Ροπή αντίστασης ενισχυτικών

ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΠΛΑΤΟΣ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ



Σχήμα 5.5: Ισοδύναμο πλάτος ελάσματος

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Από τα αποτελέσματα του πρώτου ταχύπλοου σκάφους αυτό που κάνει αμέσως εντύπωση είναι οι πολύ μεγάλες τιμές στις απαιτήσεις του νορβηγικού νηογνώμονα. Παρατηρώντας καλύτερα βλέπουμε πως ενώ η υπολογισμένη κάθετη επιτάχυνση είναι πολύ κοντινή με αυτή του βρετανικού νηογνώμονα, ο νορβηγικός νηογνώμονας δίνει πολύ μεγαλύτερη τιμή για τις σχεδιαστικές πιέσεις πράγμα που έχει σαν αποτέλεσμα τις αφύσικα σε σχέση με τους άλλους κανονισμούς μεγάλες τιμές στις απαιτήσεις των πλακών και των ενισχυτικών. Γενικά οι τιμές που έχουν υπολογισθεί είναι πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με το ταχύπλοο σκάφος του παραδείγματος και αυτό οφείλεται στην μεγαλύτερη ταχύτητα και στο μικρότερο μήκος και εκτόπισμα του σκάφους αυτού. Έτσι μπορούμε να καταλάβουμε ότι για σκάφη με μικρά εκτόπισματα και μεγάλες ταχύτητες συγκριτικά οι απαιτήσεις των κανονισμών αυξάνονται.
- Αυτό δεν ισχύει για τους κανονισμούς του ISO/DIS 12215-5.2 και του αμερικάνικου νηογνώμονα για σκάφη αναψυχής. Παρατηρούμε ότι παρόλο που η υπολογισμένη κάθετη επιτάχυνση είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή του παραδείγματος οι σχεδιαστικές πιέσεις είναι μικρότερες. Εξετάζοντας τις σχέσεις καταλαβαίνουμε ότι σε αυτό πολύ μεγάλο ρόλο παίζει η μεγάλη διαφορά στο εκτόπισμα και στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των σκαφών. Έτσι καταλαβαίνουμε ότι για αυτούς τους δυο κανονισμούς πολύ μεγάλο ρόλο στην διαστασιολόγηση παίζει το μέγεθος του σκάφους. Έτσι για ένα μεγάλο σκάφος όπως είναι αυτά των παραδειγμάτων, έχουμε μεγαλύτερες απαιτήσεις από ότι για ένα μικρό σκάφος όπως το πρώτο ταχύπλοο.
- Άλλη μια πολύ χρήσιμη παρατήρηση είναι ότι και στα αποτελέσματα αυτού του σκάφους όπως και σε αυτά των παραδειγμάτων, ο κανονισμός του ISO/DIS 12215-5.2 δίνει τις μικρότερες τιμές στις απαιτήσεις του. Όπως προκύπτει και από την εξέταση των τυπολογίων είναι και ο μόνος κανονισμός που δίνει άνω όριο για την υπολογισθείσα κάθετη επιτάχυνση που επηρεάζει και τις τελικές τιμές.
- Γενικώς φαίνεται οι κανονισμοί του ISO/DIS 12215-5.2 του αμερικάνικου νηογνώμονα για τα σκάφη αναψυχής και του γερμανικού νηογνώμονα που είναι τρεις κανονισμοί καθαρά προσανατολισμένοι για χρήση σε μικρά σκάφη αναψυχής να είναι και οι πιο ελαστικοί βάσει των τελικών αποτελεσμάτων τους.

5.2 ΤΑΧΥΠΛΟΟ ΣΚΑΦΟΣ 2

Τα κύρια χαρακτηριστικά του σκάφους που χρησιμοποιήθηκε για την συγκριτική μελέτη των αποτελεσμάτων των κανονισμών είναι:

$\Delta = 8000$	kg	Εκτόπισμα
$L_{OA} = 14$	m	Ολικό μήκος σκάφους
$L_{WL} = 11$	m	Μήκος ισάλου
$L_{PP} = 10,8$	m	Μήκος μεταξύ κάθετων
$B = 3,13$	m	Πλάτος γάστρας
$B_{WL} = 2,76$	m	Πλάτος ισάλου
$B_C = 2,52$	m	Πλάτος μεταξύ των ακμών της γάστρας
$T = 0,8$	m	Βύθισμα
$LCG = 5,6$	m	Διάμηκες κέντρο βάρους
$\beta = 24,5$	°	Γωνία ανύψωσης πυθμένα
$V = 55$	kn	Ταχύτητα
$\tau = 3,5$	°	Γωνία διαγωγής για ταχύτητα 55kn
$H_s = 2,5$	m	Σημαντικό ύψος κύματος
$C_B = 0,327$		Συντελεστής γάστρας
$c = 0$	mm	Μήκος τόξου κυρτής πλάκας

Τα διαθέσιμα σχέδια του σκάφους παρατίθενται στο Παράρτημα Α που ακολουθεί.

Το LCG έχει μετρηθεί από την προωαία κάθετο.

Η ακολουθία των στρώσεων που έχει χρησιμοποιηθεί στους υπολογισμούς είναι η πραγματική ακολουθία που δίνεται από τον κατασκευαστή και φαίνεται στα σχέδια του σκάφους που παρατίθενται.

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ενισχυτικών καθώς και των πολύστρωτων πλακών έχουν ληφθεί από τα κατασκευαστικά σχέδια και φαίνονται στον Πίνακα 5.3.

Η διαμήκης και η κατακόρυφη θέση της πλάκας και των ενισχυτικών μερών είναι:

$x = 7\text{m}$ διαμήκης θέση από το πρυμναίο τέλος της ισάλου γραμμής

$d = 0,8\text{m}$ κατακόρυφη θέση μετρούμενη από την ίσαλο γραμμή

Αυτή η διαμήκης και κατακόρυφη θέση για τις πλάκες και τα ενισχυτικά έχουν επιλεγεί με κριτήριο να δίνουν τα μεγαλύτερα αποτελέσματα. είναι η θέσεις του σκάφους που δίνουν τις μεγαλύτερες τιμές των κάθετων επιταχύνσεων και των σχεδιαστικών πιέσεων άρα κατ' επέκταση και των τελικών αποτελεσμάτων του πάχους των πλακών και των απαιτήσεων των ενισχυτικών.

Οι τελικές τιμές των διαστάσεων με χρήση όλων των κανονισμών φαίνονται στον πίνακα και στα διαγράμματα που ακολουθούν.

όπου

n = κάθετη επιτάχυνση στο LCG

p_{design} = σχεδιαστική πίεση στον πυθμένα

t_{req} = απαιτούμενο πάχος πλάκας σύμφωνα με τους κανονισμούς

W_{req} = απαιτούμενο επιφανειακό βάρος πλάκας σύμφωνα με τους κανονισμούς

t_{real} = πάχος πλάκας πραγματικής ακολουθίας στρώσεων

W_{real} = επιφανειακό βάρος πλάκας πραγματικής ακολουθίας στρώσεων

Σαν πάχος πλάκας πραγματικής ακολουθίας στρώσεων ορίζεται το πάχος που υπολογίζεται από την χρήση της μεθόδου που βρίσκεται στον κανονισμό του ISO/DIS 12215-5.2 για τον θεωρητικό υπολογισμό πάχους στρώσης (Κεφάλαιο 2.2), με την χρήση της ακολουθίας στρώσεων έτσι όπως αυτή δίνεται από τον κατασκευαστή. Όπου υπάρχει τιμή μέσα σε παρένθεση είναι η τιμή του πάχους όπως δίνεται από τον ίδιο τον κατασκευαστή.

Οι μηχανικές ιδιότητες που έχουν χρησιμοποιηθεί όπου αυτές απαιτούνται από τους κανονισμούς, είναι αυτές που υπολογίστηκαν από την μεθοδολογία που περιέχεται στον κανονισμό του ISO/DIS 12215-5.2 (Κεφάλαιο 2.1) και είναι ίδιες σε όλες τις περιπτώσεις. Ακολουθούν πίνακες και διαγράμματα των τελικών αποτελεσμάτων.

Πίνακας 5.3: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά πλακών και ενισχυτικών

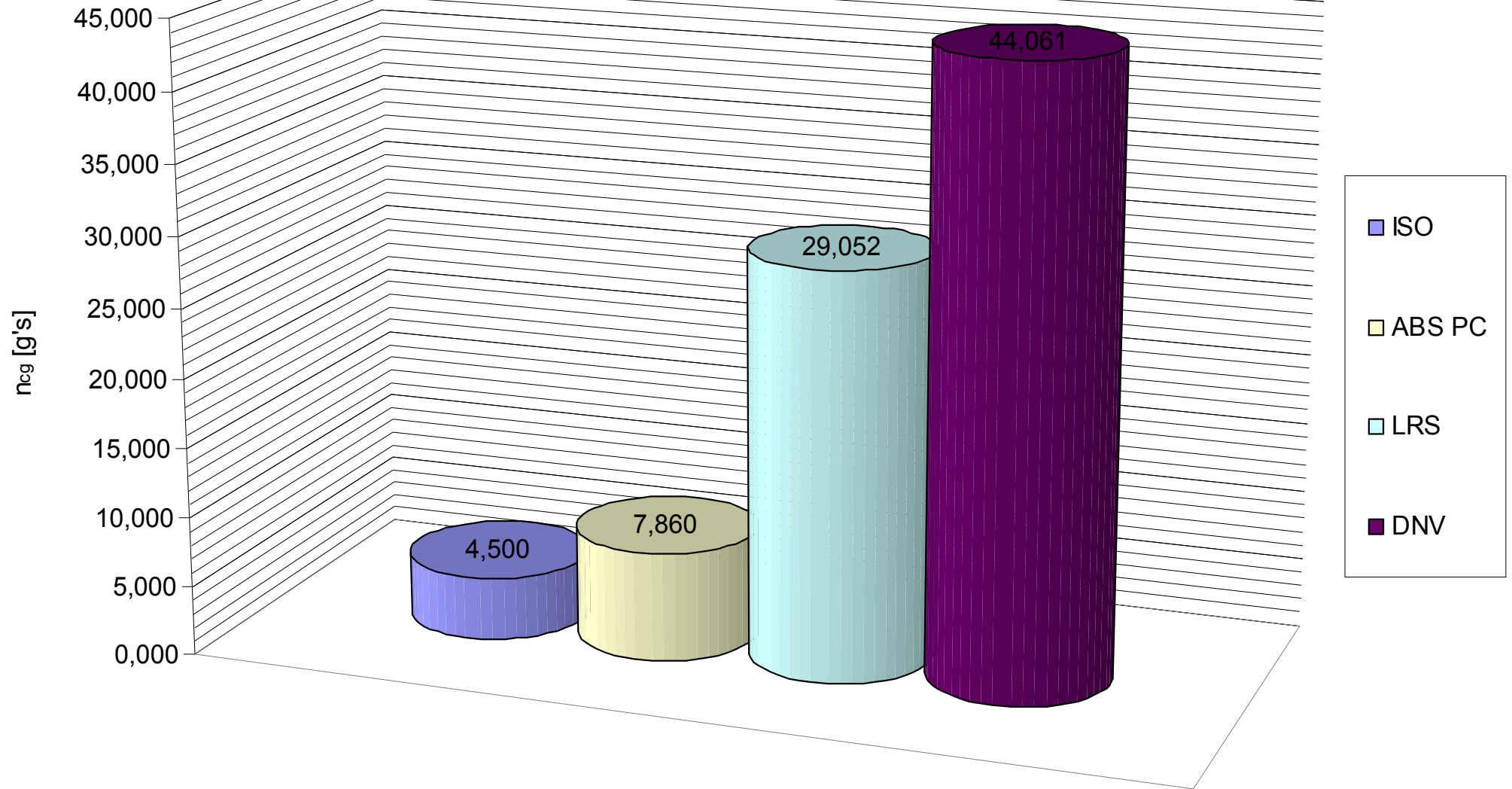
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΛΑΚΑΣ			
$s =$	320	mm	Κοντή πλευρά ενισχυτικού
$l =$	1330	mm	Μακριά πλευρά ενισχυτικού
ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΑ			
$c_u =$	0,000	m	Κυρτότητα ενισχυτικού
$l =$	0,480	m	Ανυποστήρικτο μήκος ενισχυτικού
$s =$	0,500	m	Ισαπόσταση ενισχυτικών
$b_w =$	0,050	m	Πλάτος βάσης ενισχυτικού
ΔΙΑΜΗΚΗ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΑ			
$c_u =$	0,000	m	Κυρτότητα ενισχυτικού
$l =$	5,000	m	Ανυποστήρικτο μήκος ενισχυτικού
$s =$	0,400	m	Ισαπόσταση ενισχυτικών
$b_w =$	0,080	m	Πλάτος βάσης ενισχυτικού

Πίνακας 5.4: Τελικά αποτελέσματα προερχόμενα από την χρήση του κάθε κανονισμού.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΕΛΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

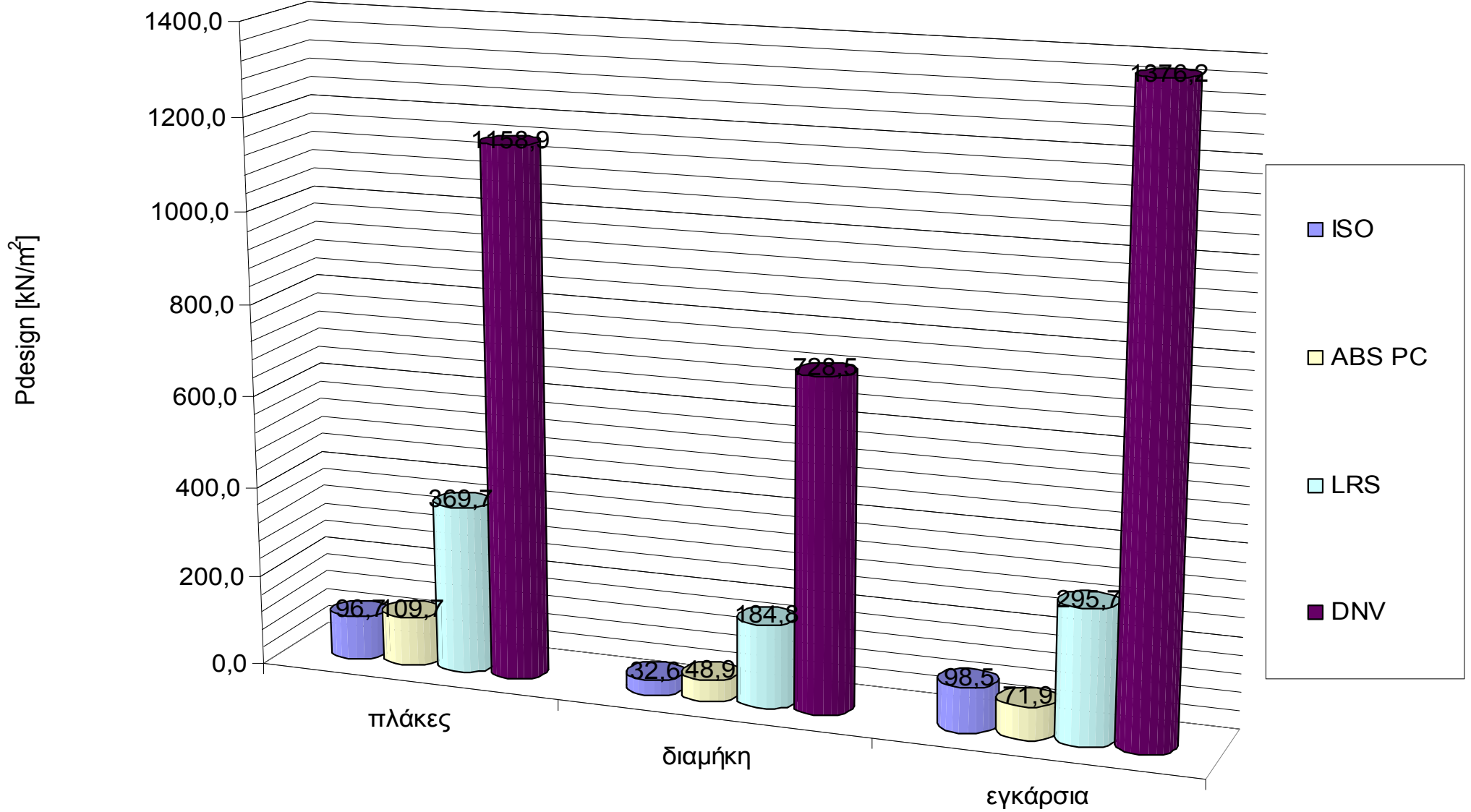
		ABS	GL	DNV	LRS	ISO	
n		7,860		44,061	29,052	4,500	g's
p design	πλάκες	109,67	37,04	1158,93	369,67	96,73	kN/m ²
	διαμήκη	48,87		728,53	184,83	32,63	kN/m ²
	εγκάρσια	71,86		1376,24	295,73	98,54	kN/m ²
t req.		18,8	-	49,6	16,4	7,7	mm
W req.		-	9264,5	-	-	-	g/m ²
t real		12,4 (13,0)					mm
W real		6600,0					g/m ²
καμπτική ροπή	διαμήκη			607111,0	154027,4		Nm
	εγκάρσια			13211,9	3406,8		Nm
ροπή αντίστασης	διαμήκη	957,6	1274,3	23802,7	5489,9	639,4	cm ³
	εγκάρσια	24,6	18,7	518,0	133,6	22,2	cm ³
ροπή αδράνειας	διαμήκη	4822,3			54805,6	4837,4	cm ⁴
	εγκάρσια	7,8			97,0	16,2	cm ⁴
περιοχή διατμητικής τάσης	διαμήκη	29,6				14,5	cm ²
	εγκάρσια	5,2				5,3	cm ²
ισοδύναμο πλάτος ελάσματος	διαμήκη	400,0	300,0	248,0	400,0	234,3	mm
	εγκάρσια	387,6	300,0	55,0	378,3	204,3	mm

ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΙΣ



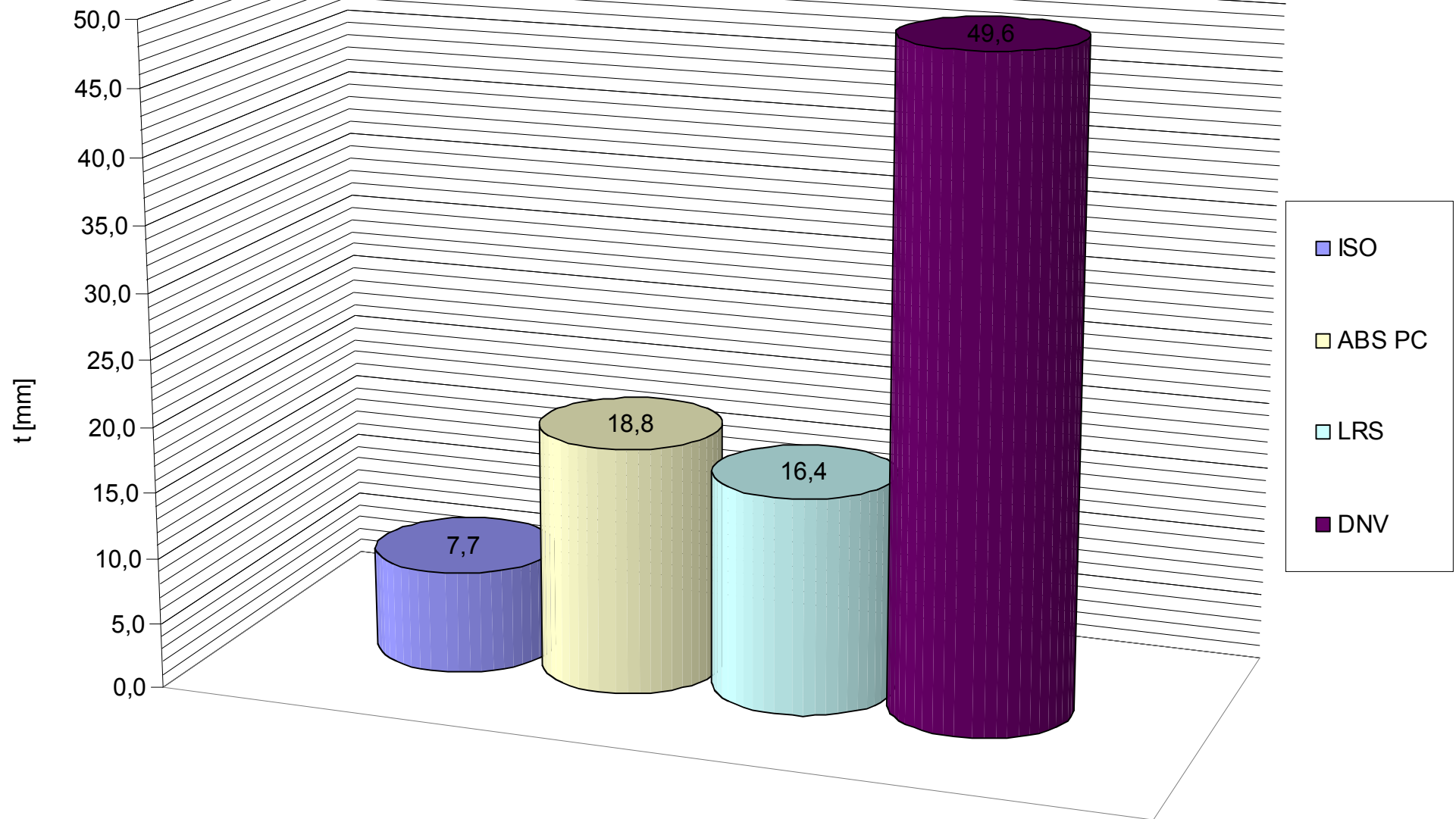
Σχήμα 5.6: Κατακόρυφες επιταχύνσεις

ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ

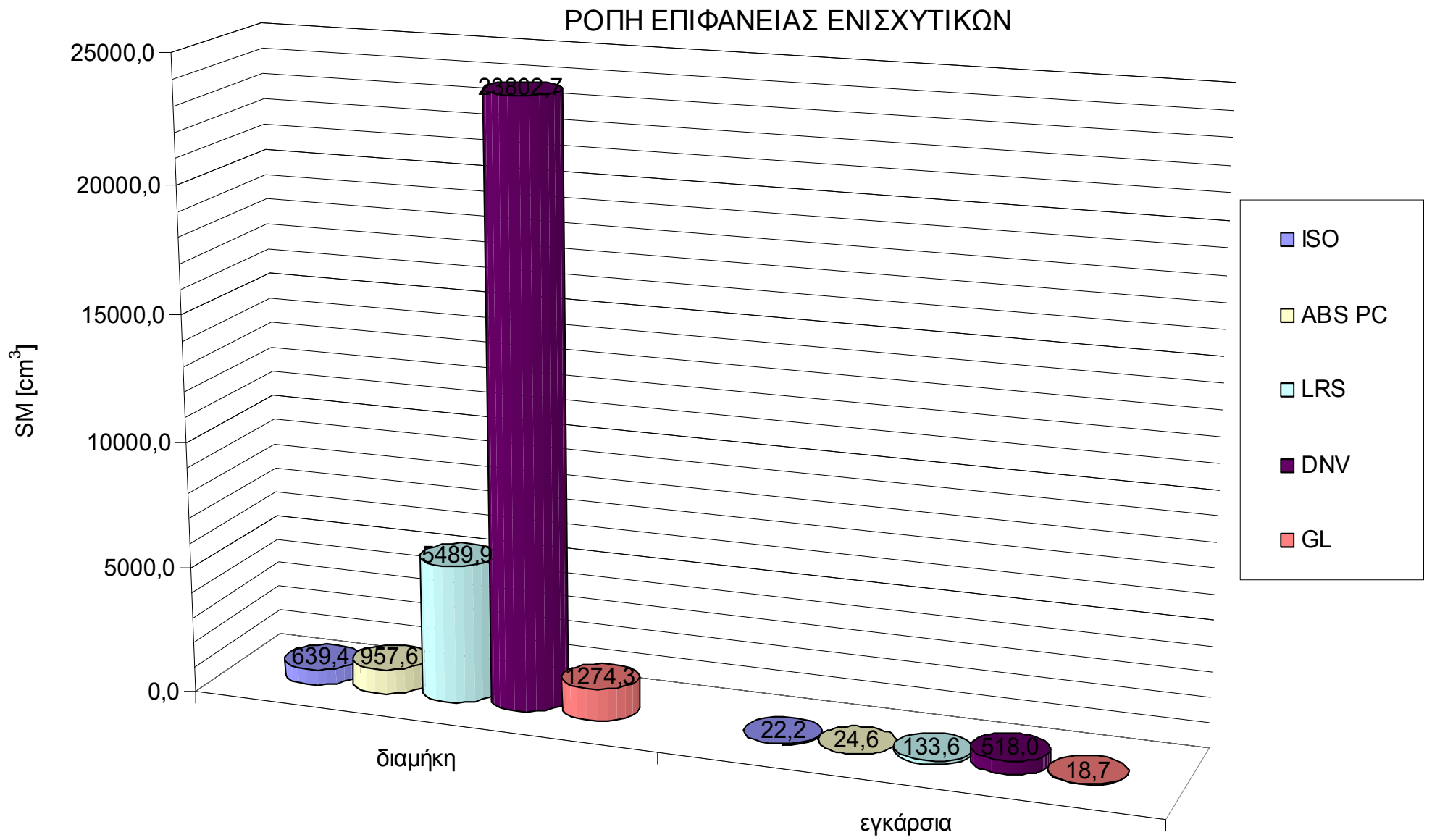


Σχήμα 5.7: Σχεδιαστικές πιέσεις

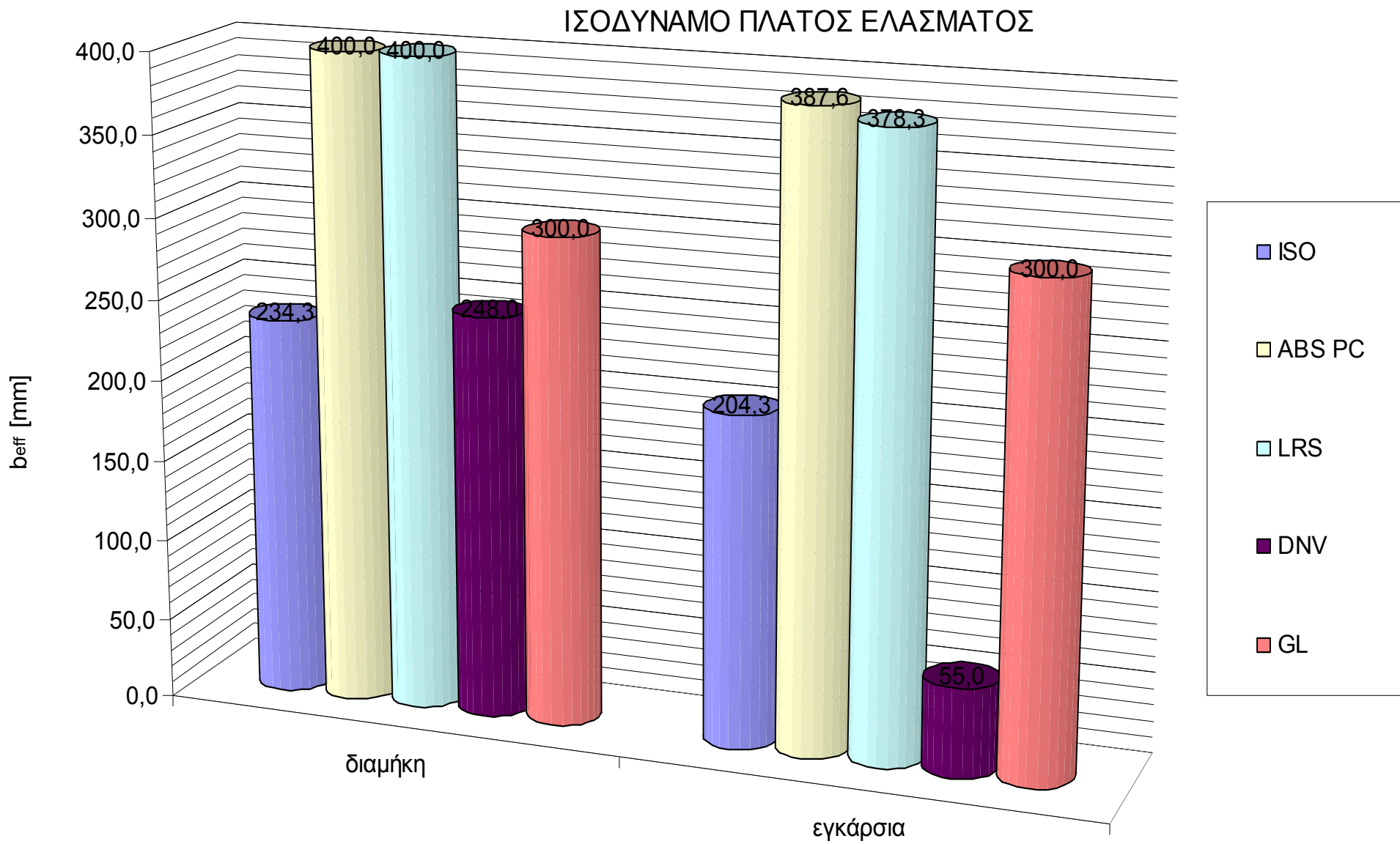
ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΠΑΧΟΣ t



Σχήμα 5.8: Απαιτούμενο πάχος



Σχήμα 5.9: Ροπή αντίστασης ενισχυτικών



Σχήμα 5.10: Ισοδύναμο πλάτος ελάσματος

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Ουσιαστικά τα συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από τα αποτελέσματα του δεύτερου ταχύπλοου σκάφους είναι ίδια με αυτά του πρώτου. Η πολύ μεγάλη ταχύτητα του σκάφους αυτού (55 κόμβοι) αυξάνει πολύ τις κάθετες επιταχύνσεις και τις πιέσεις σχεδίασης, πράγμα που έχει σαν αντίκτυπο τις μεγάλες τιμές στις απαιτήσεις των πλακών και των ενισχυτικών. Για άλλη μια φορά οι μικρότερες τιμές δίνονται από τον ISO/DIS 12215-5.2 λόγω του ανώτατου ορίου που δίνεται από τον κανονισμό για την κάθετη επιτάχυνση.

5.3 ΣΚΑΦΟΣ ΕΚΤΟΠΙΣΜΑΤΟΣ 1

Τα κύρια χαρακτηριστικά του σκάφους που χρησιμοποιήθηκε για την συγκριτική μελέτη των αποτελεσμάτων των κανονισμών είναι:

$\Delta = 10750$	kg	Εκτόπισμα
$L_{OA} = 13,13$	m	Ολικό μήκος σκάφους
$L_{WL} = 11,83$	m	Μήκος ισάλου
$L_{PP} = 11,23$	m	Μήκος μεταξύ κάθετων
$B = 4,07$	m	Πλάτος γάστρας
$B_{WL} = 2,68$	m	Πλάτος ισάλου
$B_C = 3,12$	m	Πλάτος εφαπτομενικών σημείων γάστρας
$T = 0,61$	m	Βύθισμα
$LCG = 5,32$	m	Διάμηκες κέντρο βάρους
$\beta = 29$	°	Γωνία ανύψωσης πυθμένα
$V = 7$	kn	Ταχύτητα
$\tau = 0$	°	Γωνία διαγωγής για ταχύτητα 7 kn
$H_s = 2,5$	m	Σημαντικό ύψος κύματος
$C_B = 0,376$		Συντελεστής γάστρας
$D = 1,710$	m	Κοίλο
$c = 40$	mm	Μήκος τόξου κυρτής πλάκας

Τα διαθέσιμα σχέδια του σκάφους παρατίθενται στο Παράρτημα Α που ακολουθεί.

Το LCG έχει μετρηθεί από την προραία κάθετο,

Η ακολουθία των στρώσεων που έχει χρησιμοποιηθεί στους υπολογισμούς είναι η πραγματική ακολουθία που δίνεται από τον κατασκευαστή και φαίνεται στα σχέδια του σκάφους που παρατίθενται.

Λόγο της διάταξης των ενισχυτικών έτσι όπως φαίνονται στο κατασκευαστικό σχέδιο έχουν γίνει δυο διαφορετικοί υπολογισμοί με δυο διαφορετικές υποθέσεις. Στον πρώτο υπολογισμό έχουμε υποθέσει διάμηκες σύστημα ενίσχυσης ενώ στον δεύτερο υπολογισμό έχουμε υποθέσει εγκάρσιο σύστημα ενίσχυσης.

Ουσιαστικά ο πυθμένας αποτελείται από ένα ενιαίο δικτύωμα ενισχυτικών όπως φαίνεται και στο κατασκευαστικό σχέδιο του σκάφους. Οι υποθέσεις αυτές έγιναν για να μπορέσουμε να διαστασιολογήσουμε τα ενισχυτικά και να

υπολογίσουμε τις απαιτήσεις από την χρήση κάθε κανονισμού. Οι διαφορετικές αυτές υποθέσεις επιφέρουν αλλαγές στα αποτελέσματα των απαιτήσεων των ενισχυτικών μερών γι' αυτό και υπάρχουν διαφορετικοί πίνακες με αποτελέσματα για την κάθε περίπτωση.

Οι γεωμετρίες των πλακών και των ενισχυτικών για τις δυο αυτές περιπτώσεις φαίνονται στους Πίνακες 5.5 και 5.6

Πίνακας 5.5: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά πλακών και ενισχυτικών για διάμηκες σύστημα ενίσχυσης

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΛΑΚΑΣ		
$s =$	380 mm	Κοντή πλευρά ενισχυτικού
$l =$	520 mm	Μακριά πλευρά ενισχυτικού
ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΑ		
$c_u =$	0,000 m	Κυρτότητα ενισχυτικού
$l =$	0,700 m	Ανυποστήρικτο μήκος ενισχυτικού
$s =$	0,560 m	Ισαπόσταση ενισχυτικών
$b_w =$	0,090 m	Πλάτος βάσης ενισχυτικού
ΔΙΑΜΗΚΗ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΑ		
$c_u =$	0,000 m	Κυρτότητα ενισχυτικού
$l =$	2,840 m	Ανυποστήρικτο μήκος ενισχυτικού
$s =$	0,700 m	Ισαπόσταση ενισχυτικών
$b_w =$	0,160 m	Πλάτος βάσης ενισχυτικού

Πίνακας 5.6: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά πλακών και ενισχυτικών για εγκάρσιο σύστημα ενίσχυσης

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΛΑΚΑΣ		
$s =$	380 mm	Κοντή πλευρά ενισχυτικού
$l =$	520 mm	Μακριά πλευρά ενισχυτικού
ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΑ		
$c_u =$	0,000 m	Κυρτότητα ενισχυτικού
$l =$	1,960 m	Ανυποστήρικτο μήκος ενισχυτικού
$s =$	0,560 m	Ισαπόσταση ενισχυτικών
$b_w =$	0,090 m	Πλάτος βάσης ενισχυτικού
ΔΙΑΜΗΚΗ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΑ		
$c_u =$	0,000 m	Κυρτότητα ενισχυτικού
$l =$	0,480 m	Ανυποστήρικτο μήκος ενισχυτικού
$s =$	0,700 m	Ισαπόσταση ενισχυτικών
$b_w =$	0,160 m	Πλάτος βάσης ενισχυτικού

Η διαμήκης και η κατακόρυφη θέση της πλάκας και των ενισχυτικών μερών είναι:

$x = 7,5\text{m}$ διαμήκης θέση από το πρυμναίο τέλος της ισάλου γραμμής

$d = 0,61\text{m}$ κατακόρυφη θέση μετρούμενη από την ίσαλο γραμμή

Αυτή η διαμήκης και κατακόρυφη θέση για τις πλάκες και τα ενισχυτικά έχουν επιλεγεί με κριτήριο να δίνουν τα μεγαλύτερα αποτελέσματα. είναι η θέσεις του σκάφους που δίνουν τις μεγαλύτερα τιμές των κάθετων επιταχύνσεων και των σχεδιαστικών πιέσεων άρα κατ' επέκταση και των τελικών αποτελεσμάτων του πάχους των πλακών και των απαιτήσεων των ενισχυτικών.

Οι τελικές τιμές των διαστάσεων με χρήση όλων των κανονισμών φαίνονται στον πίνακα και στα διαγράμματα που ακολουθούν.

όπου

n = κάθετη επιτάχυνση στο LCG

p_{design} = σχεδιαστική πίεση στον πυθμένα

t_{req} = απαιτούμενο πάχος πλάκας σύμφωνα με τους κανονισμούς

W_{req} = απαιτούμενο επιφανειακό βάρος πλάκας σύμφωνα με τους κανονισμούς

t_{real} = πάχος πλάκας πραγματικής ακολουθίας στρώσεων

W_{real} = επιφανειακό βάρος πλάκας πραγματικής ακολουθίας στρώσεων

Σαν πάχος πλάκας πραγματικής ακολουθίας στρώσεων ορίζεται το πάχος που υπολογίζεται από την χρήση της μεθόδου που βρίσκεται στον κανονισμό του ISO/DIS 12215-5.2 για τον θεωρητικό υπολογισμό πάχους στρώσης (Κεφάλαιο 2.2), με την χρήση της ακολουθίας στρώσεων έτσι όπως αυτή δίνεται από τον κατασκευαστή. Όπου υπάρχει τιμή μέσα σε παρένθεση είναι η τιμή του πάχους όπως δίνεται από τον ίδιο τον κατασκευαστή.

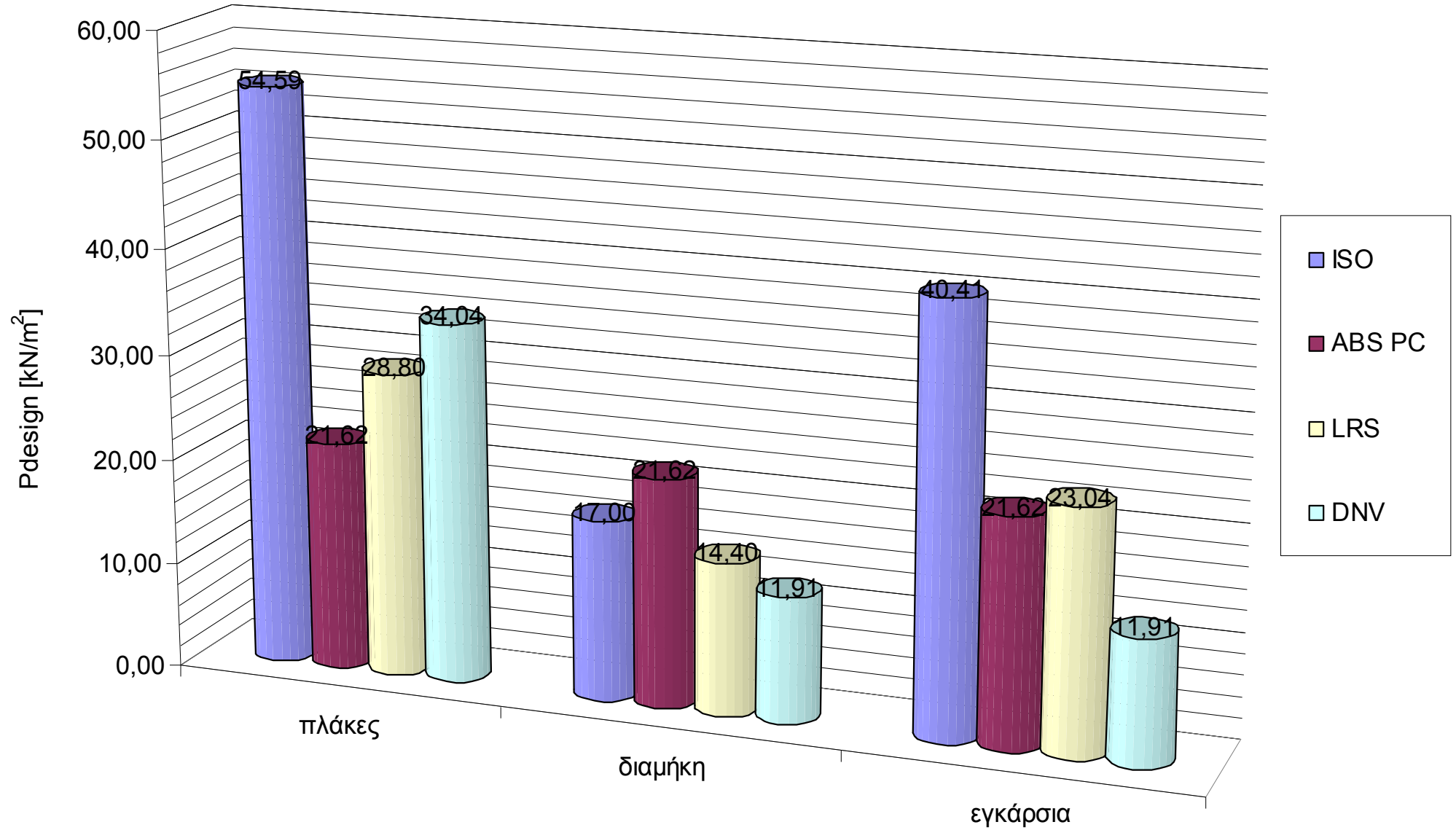
Οι μηχανικές ιδιότητες που έχουν χρησιμοποιηθεί όπου αυτές απαιτούνται από τους κανονισμούς, είναι αυτές που υπολογίστηκαν από την μεθοδολογία που περιέχεται στον κανονισμό του ISO/DIS 12215-5.2 (Κεφάλαιο 2.1) και είναι ίδιες σε όλες τις περιπτώσεις. Ακολουθούν πίνακες και διαγράμματα των τελικών αποτελεσμάτων.

Πίνακας 5.7: Τελικά αποτελέσματα προερχόμενα από την χρήση του κάθε κανονισμού με την υπόθεση διαμήκους συστήματος ενίσχυσης

ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΕΛΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

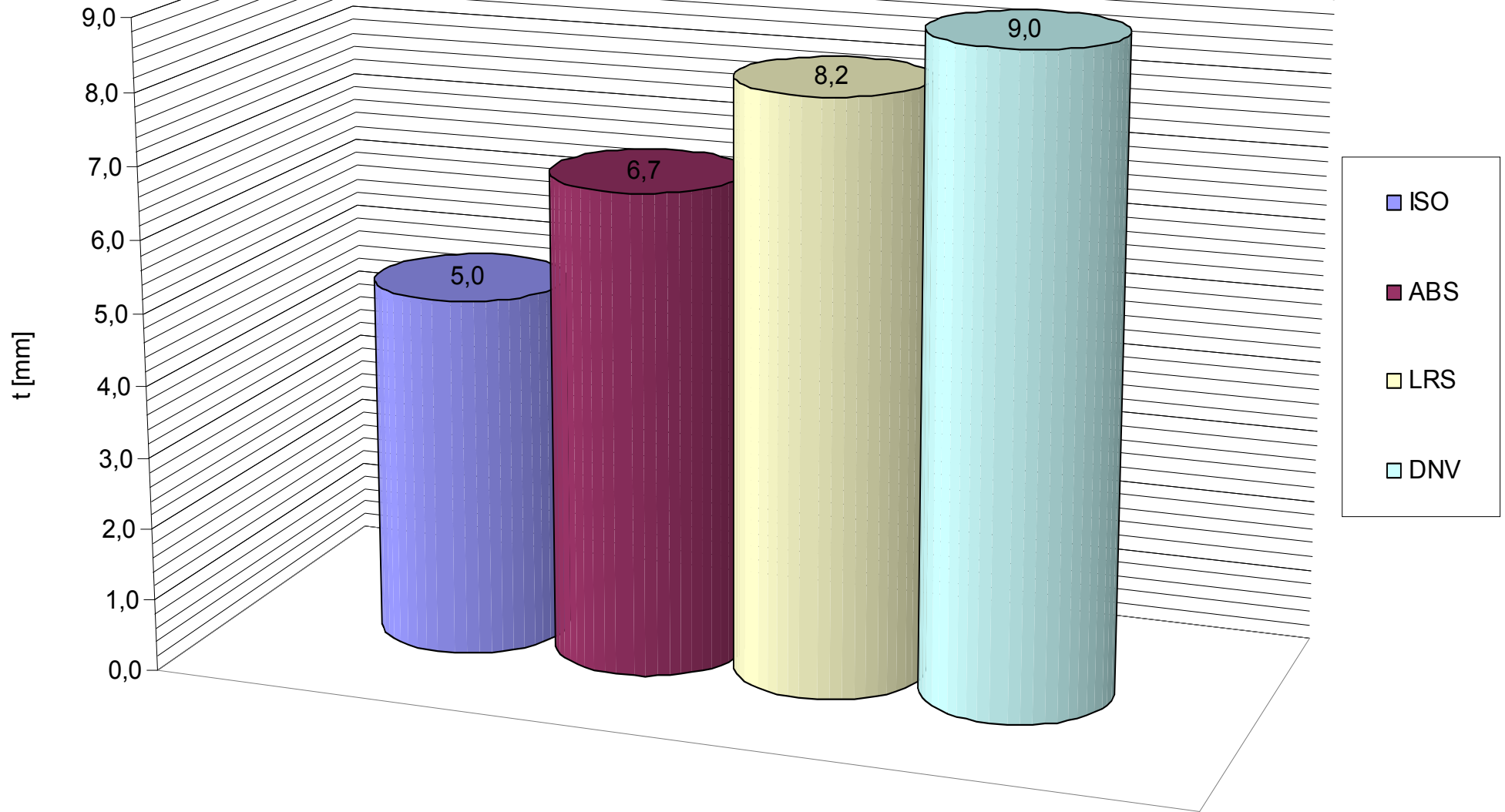
		GL	DNV	LRS	ISO	ABS	
n			2,821	0,570			g's
p_{design}	πλάκες		34,04	28,80	54,59	21,62	kN/m²
	διαμήκη	39,65	11,91	14,40	17,00	21,62	kN/m²
	εγκάρσια		11,91	23,04	40,41	21,62	kN/m²
t_{req.}		-	9,0	8,2	5,0	6,7	mm
W_{req.}		4211,5	-	-	-	-	g/m²
t_{real}			9,8		(13 mm)		mm
W_{real}			5450,0				g/m²
καμπτική ροπή	διαμήκη		5604,8	6775,2			Nm
	εγκάρσια		272,4	632,2			Nm
ροπή αντίστασης	διαμήκη	316,5	159,7	175,5	136,7	250,5	cm³
	εγκάρσια	11,0	7,8	18,0	15,8	10,0	cm³
ροπή αδράνειας	διαμήκη			2004,3	817,2	810,1	cm⁴
	εγκάρσια			38,4	23,3	8,0	cm⁴
περιοχή διατμητικής τάσης	διαμήκη				14,5		cm²
	εγκάρσια				4,0		cm²
ισοδύναμο πλάτος ελάσματος	διαμήκη	300,0	455,0	323,7	260,0	241,6	mm
	εγκάρσια	300,0	61,6	253,7	190,0	210,8	mm

ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ



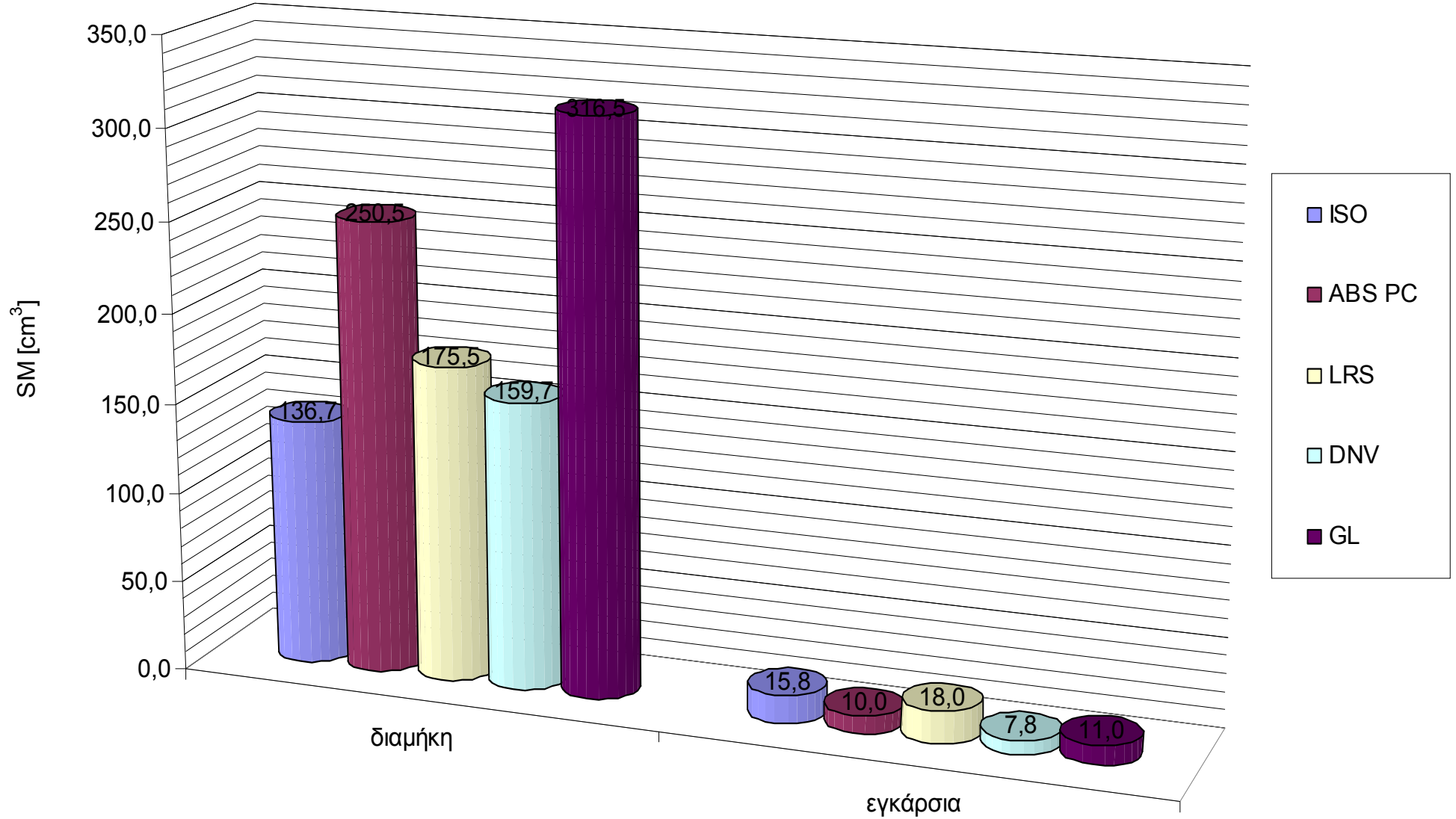
Σχήμα 5.11: Σχεδιαστικές πιέσεις

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΠΑΧΟΣ t

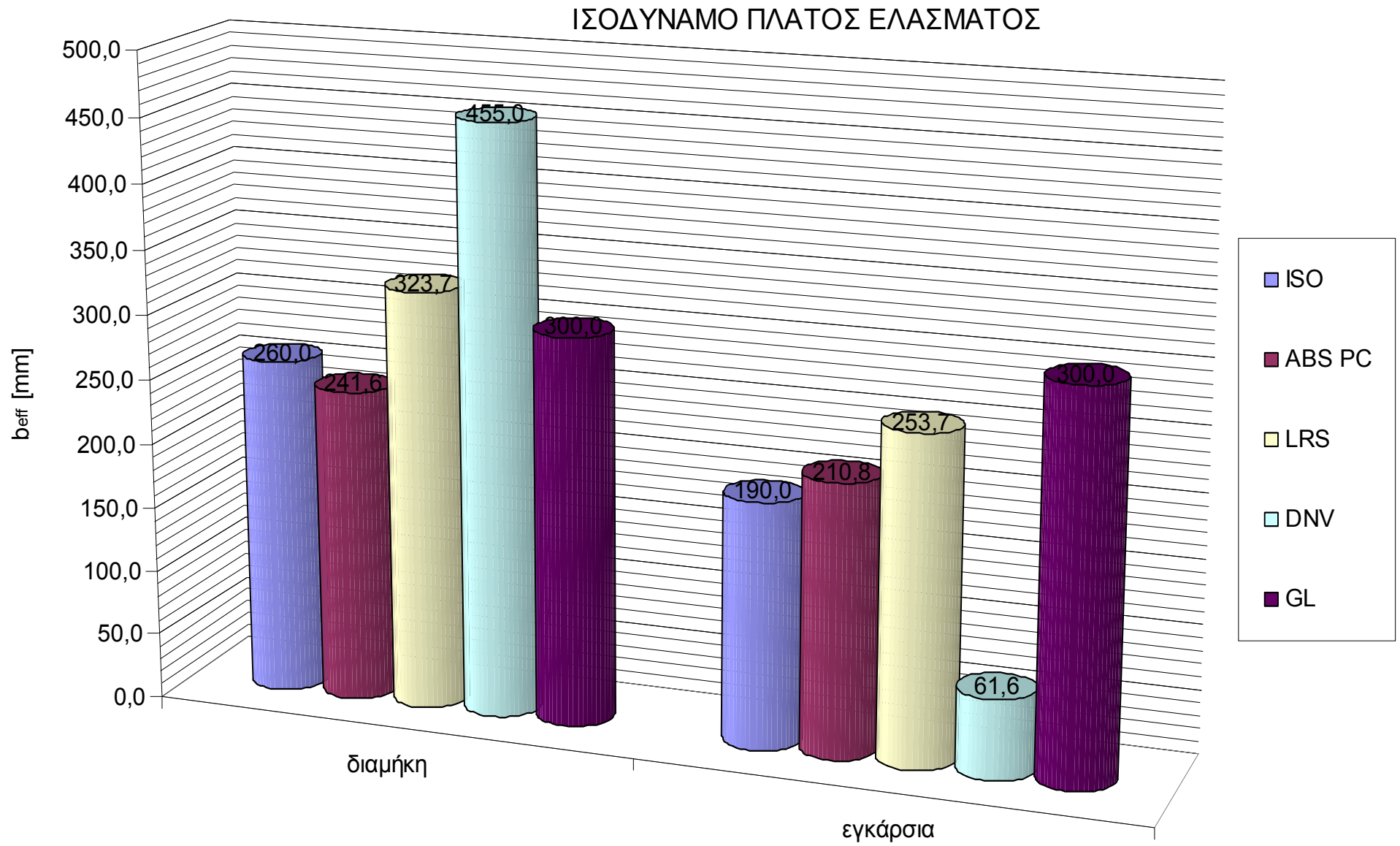


Σχήμα 5.12: Απαιτούμενο πάχος

ΡΟΠΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ



Σχήμα 5.13: Ροπή αντίστασης ενισχυτικών



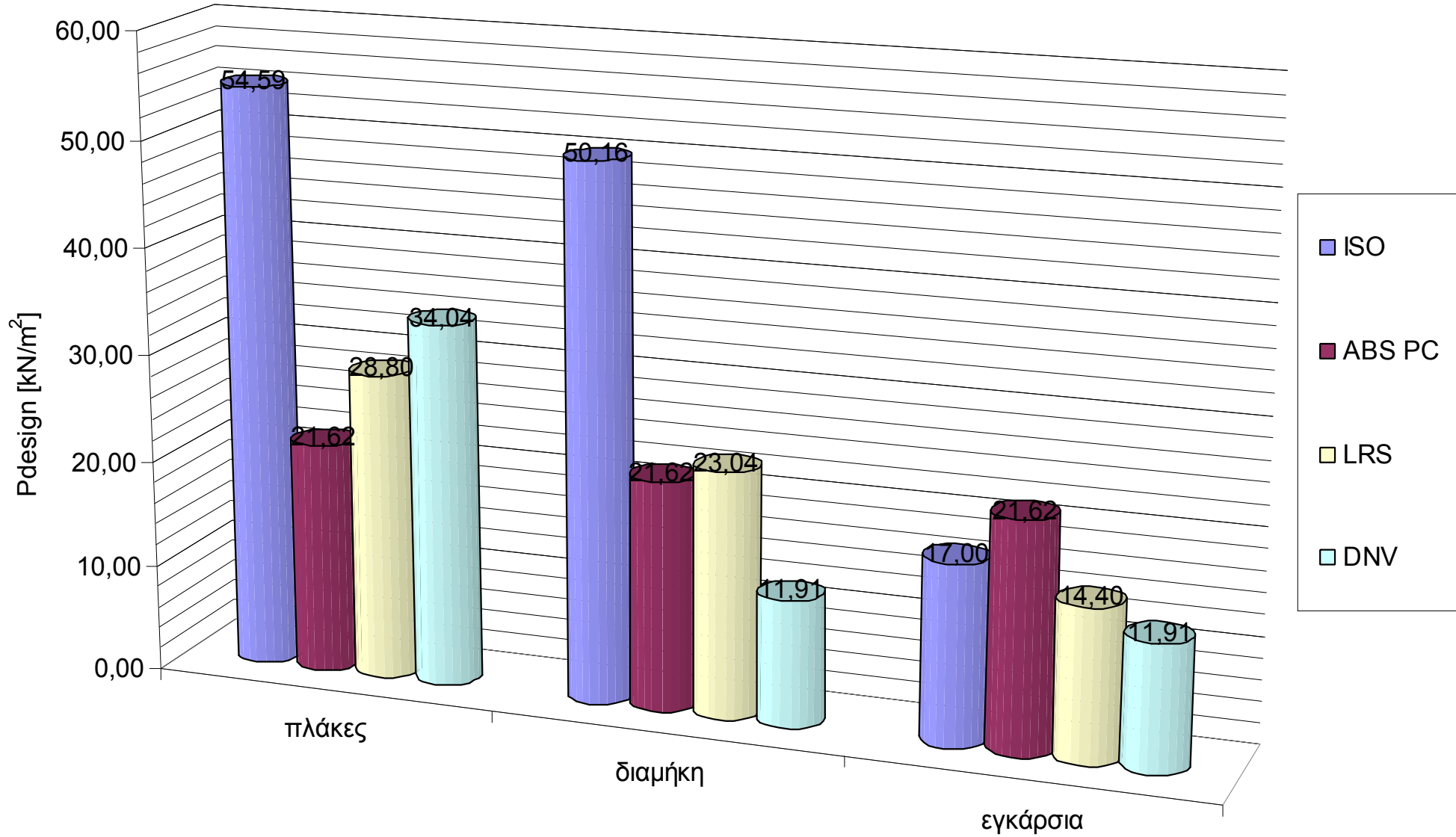
Σχήμα 5.14: Ισοδύναμο πλάτος ελάσματος

Πίνακας 5.8: Τελικά αποτελέσματα προερχόμενα από την χρήση του κάθε κανονισμού με την υπόθεση εγκάρσιου συστήματος ενίσχυσης

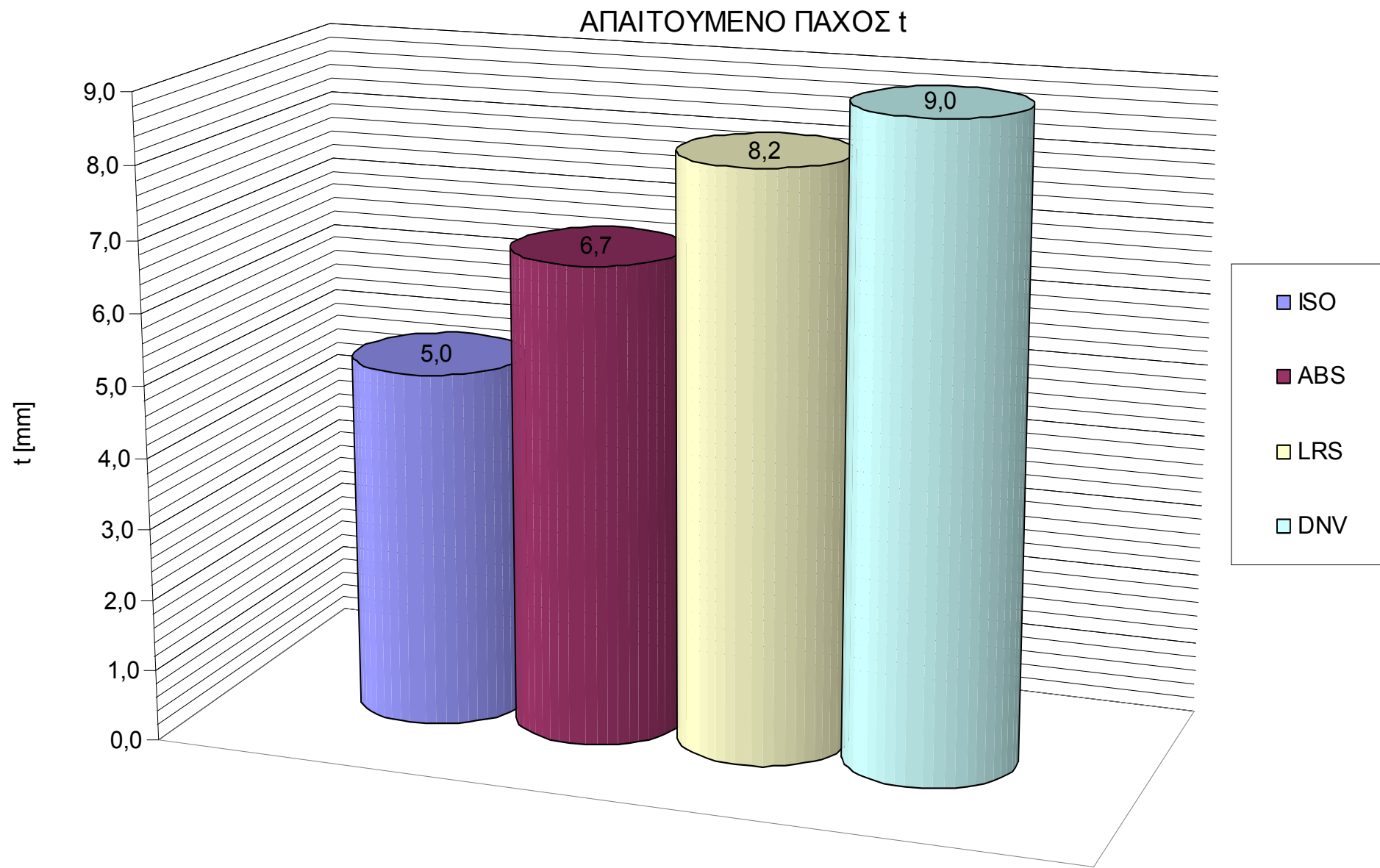
ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΕΛΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

		GL	DNV	LRS	ISO	ABS	
n			2,821	0,570			g's
P_{design}	πλάκες		34,04	28,80	54,59	21,62	kN/m²
	διαμήκη	39,65	11,91	23,04	50,16	21,62	kN/m²
	εγκάρσια		11,91	14,40	17,00	21,62	kN/m²
t_{req.}		-	9,0	8,2	5,0	6,7	mm
W_{req.}		4211,5	-	-	-	-	g/m²
t_{real}			9,8		(13 mm)		mm
W_{real}			5450,0				g/m²
καμπτική ροπή	διαμήκη		160,1	309,7			Nm
	εγκάρσια		2135,6	3097,9			Nm
ροπή αντίστασης	διαμήκη	31,4	4,6	8,0	11,5	7,2	cm³
	εγκάρσια	86,0	60,8	88,3	52,1	78,6	cm³
ροπή αδράνειας	διαμήκη			15,5	11,6	3,9	cm⁴
	εγκάρσια			527,1	214,9	175,4	cm⁴
περιοχή διατμητικής τάσης	διαμήκη				14,5		cm²
	εγκάρσια				4,0		cm²
ισοδύναμο πλάτος ελάσματος	διαμήκη	300,0	0,0	323,7	260,0	241,6	mm
	εγκάρσια	300,0	168,0	253,7	190,0	210,8	mm

ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ

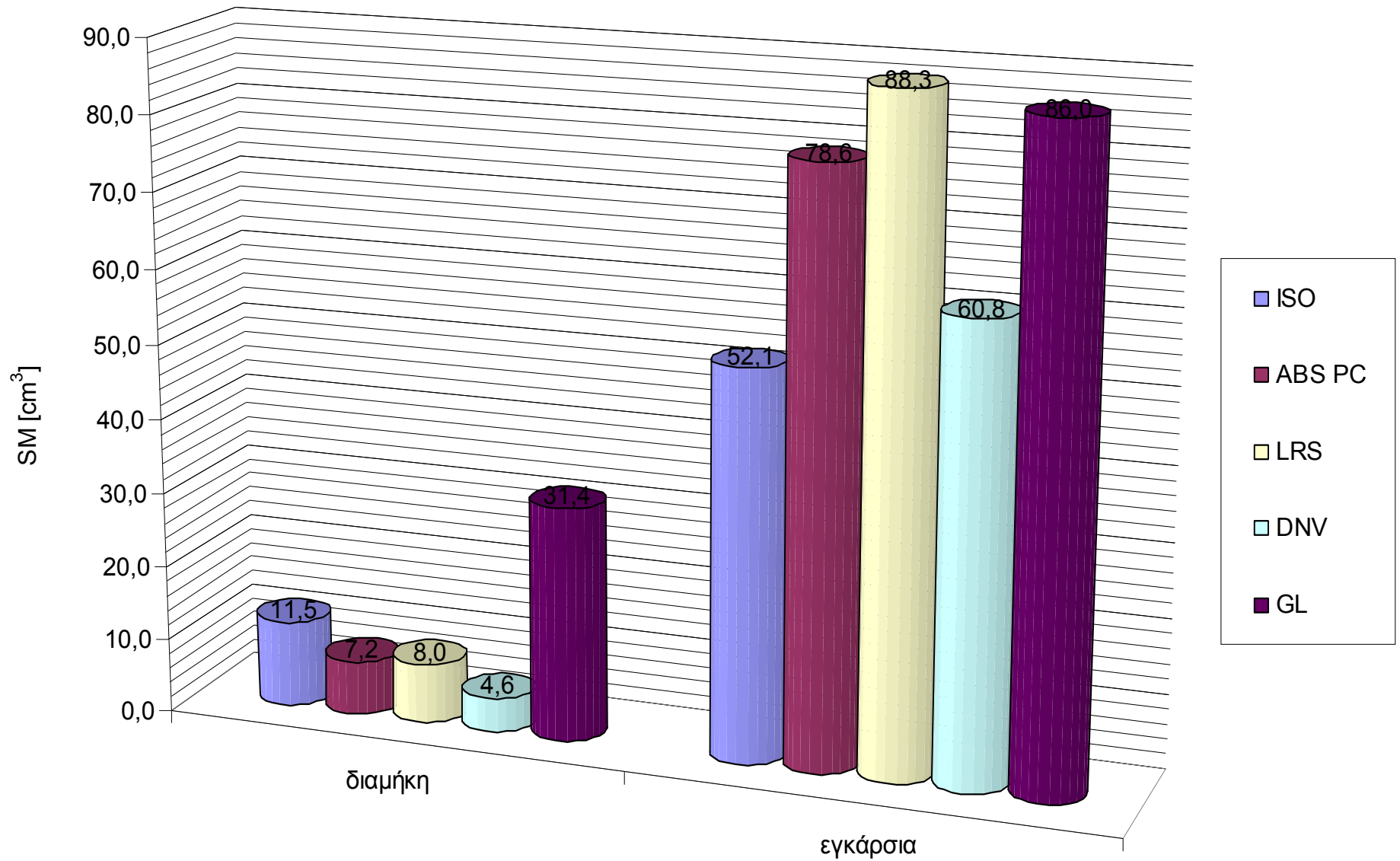


Σχήμα 5.15: Σχεδιαστικές πιέσεις

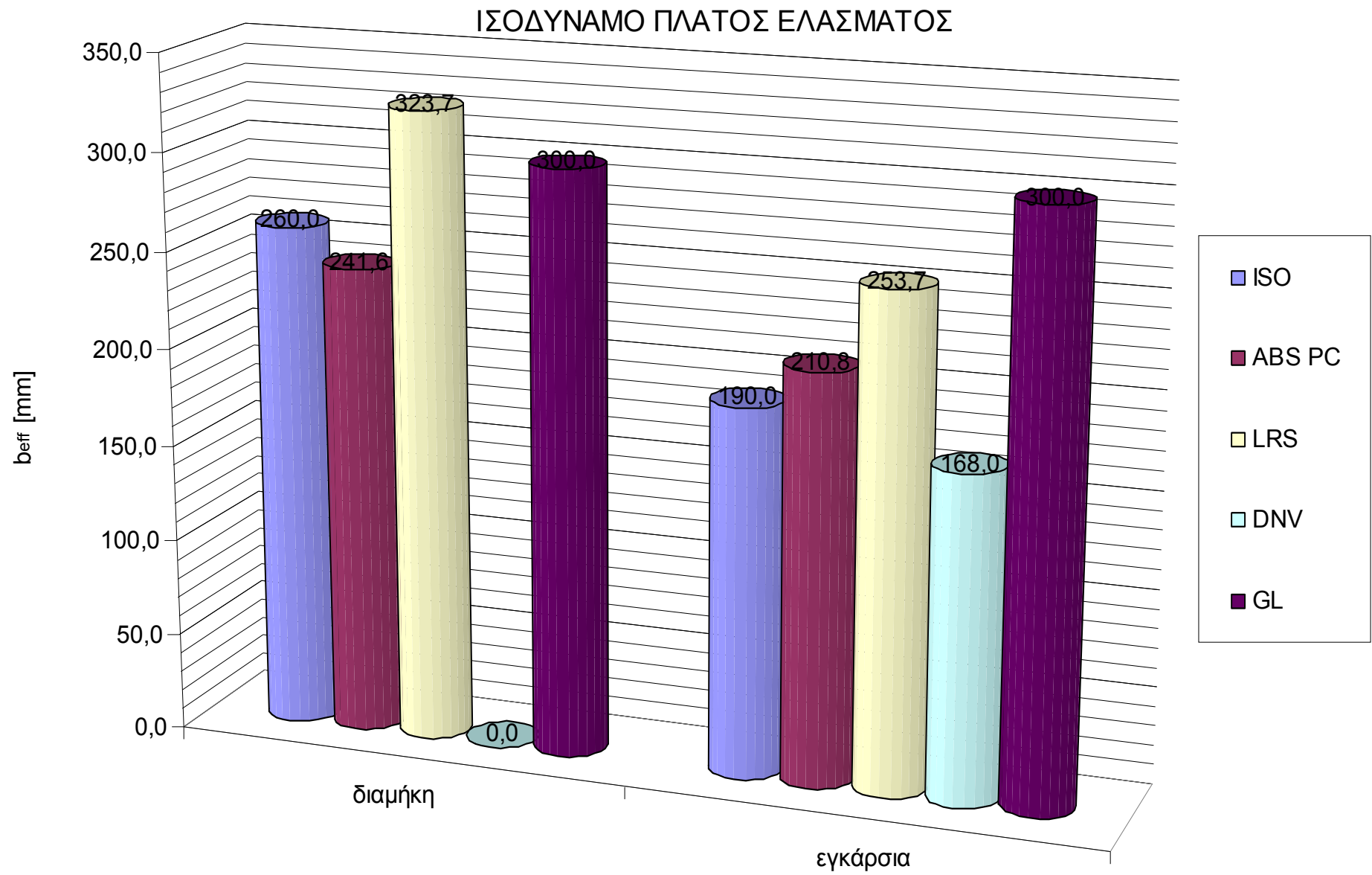


Σχήμα 5.16: Απαιτούμενο πάχος

ΡΟΠΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ



Σχήμα 5.17: Ροπή αντίστασης ενισχυτικών



Σχήμα 5.18: Ισοδύναμο πλάτος ελάσματος

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Τα αποτελέσματα για το πρώτο σκάφος εκτοπίσματος είναι πολύ κοντά σε αυτά που περιμέναμε σύμφωνα με το παράδειγμα του σκάφους εκτοπίσματος αφού ταιριάζουν πάρα πολύ. Γενικά οι τιμές των απαιτήσεων των κανονισμών είναι πολύ πιο κοντινές μεταξύ τους και όπως και στο παράδειγμα έτσι κι εδώ παρόλο την μεγαλύτερη τιμή για τις σχεδιαστικές πιέσεις από τον ISO/DIS 12215-5.2 έχουμε την μικρότερη απαίτηση για το πάχος της πλάκας.
- Αυτό που κάνει εντύπωση είναι στο εγκάρσιο σύστημα ενίσχυσης η μηδενική τιμή του DNV για το ισοδύναμο πλάτος ελάσματος στα διαμήκη ενισχυτικά. Εξετάζοντας τον τρόπο υπολογισμού που δίνει ο DNV για το ισοδύναμο πλάτος ελάσματος στο Κεφάλαιο 2.5 παρατηρούμε ότι ο λόγος b_{eff}/b που δίνεται από το διάγραμμα είναι μηδέν για μικρούς λόγους του l/b όπως συμβαίνει σε αυτή την περίπτωση.

5.4 ΣΚΑΦΟΣ ΕΚΤΟΠΙΣΜΑΤΟΣ 2

Τα κύρια χαρακτηριστικά του σκάφους που χρησιμοποιήθηκε για την συγκριτική μελέτη των αποτελεσμάτων των κανονισμών είναι:

$\Delta = 25200$ kg	Εκτόπισμα
$L_{OA} = 18,1$ m	Ολικό μήκος σκάφους
$L_{WL} = 15,45$ m	Μήκος ισάλου
$L_{PP} = 13,65$ m	Μήκος μεταξύ κάθετων
$B = 5,15$ m	Πλάτος γάστρας
$B_{WL} = 4$ m	Πλάτος ισάλου
$B_C = 3,92$ m	Πλάτος εφαπτομενικών σημείων γάστρας
$T = 0,77$ m	Βύθισμα
$LCG = 7$ m	Διάμηκες κέντρο βάρους
$\beta = 20$ °	Γωνία ανύψωσης πυθμένα
$V = 8$ kn	Ταχύτητα
$\tau = 0$ °	Γωνία διαγωγής
$H_s = 2,5$ m	Σημαντικό ύψος κύματος
$C_B = 0,454$	Συντελεστής γάστρας
$D = 2,200$ m	Κοίλο
$x = 9,5$ m	
$c = 35$ mm	Μήκος τόξου κυρτής πλάκας
$d = 0,77$ m	

Τα διαθέσιμα σχέδια του σκάφους παρατίθενται στο Παράρτημα Α που ακολουθεί.

Το LCG έχει μετρηθεί από την προωαία κάθετο.

Όπως και στο προηγούμενο σκάφος εκτοπίσματος έτσι και σ' αυτό δίνονται δυο διαφορετικές ομάδες αποτελεσμάτων μια για διάμηκες σύστημα ενίσχυσης και μια για εγκάρσιο σύστημα ενίσχυσης. Και σε αυτό το σκάφος ο τύπος ενίσχυσης είναι ένα ενιαίο δικτύωμα ενισχυτικών όπως φαίνεται και στο κατασκευαστικό σχέδιο αλλά για λόγους χρησιμότητας και διευκόλυνσης των κανονισμών υποθέτουμε τις δυο αυτές μορφές ενίσχυσης.

Εκτός όμως από το σύστημα ενίσχυσης υπάρχει μια βασική διαφορά του σκάφους αυτού με τα υπόλοιπα σκάφη που έχουμε μελετήσει μέχρι τώρα και αυτή είναι χρησιμοποιούμενο υλικό κατασκευής της γάστρας. Το συγκεκριμένο σκάφος σύμφωνα με τον κατασκευαστή αποτελείται από υλικό sandwich με πυρήνα 10 mm

και εσωτερική και εξωτερική στρώση από ακολουθία στρώσεων έτσι όπως φαίνεται στο σχέδιο του σκάφους.

Για το συγκεκριμένο σκάφος έγινε χρήση των τύπων των κανονισμών για υλικά sandwich έτσι όπως παρατίθενται στο Κεφάλαιο 2.3. Οι διαφοροποιήσεις των τελικών αποτελεσμάτων σε σχέση με τα σκάφη που είναι κατασκευασμένα από μονολιθικές κατασκευές είναι μεγάλες και έτσι δεν μπορεί να υπάρξει σύγκριση μεταξύ τους ως προς τις τιμές για τις πλάκες. Για τα ενισχυτικά έχουν χρησιμοποιηθεί οι τύποι των κανονισμών όπως και στα υπόλοιπα σκάφη.

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μεγεθών που υπολογίζονται έτσι όπως δίνονται από τους κανονισμούς

όπου

n = κάθετη επιτάχυνση στο LCG

p_{design} = σχεδιαστική πίεση στον πυθμένα

$t_{ολ.}$ = απαιτούμενο πάχος πλάκας σύμφωνα με τους κανονισμούς

$W_{ολ.}$ = απαιτούμενο επιφανειακό βάρος πλάκας σύμφωνα με τους κανονισμούς

I = ελάχιστη απαιτούμενη ροπή αδρανείας μιας λωρίδας υλικού sandwich πλάτους ενός εκατοστού

$t_{εξ. στρ. και εσω. στρ.}$ = απαίτηση πάχους εσωτερικής και εξωτερικής πλάκας υλικού sandwich

$W_{εξ. στρ. και εσω. στρ.}$ = απαίτηση επιφανειακού βάρους εσωτερικής και εξωτερικής πλάκας υλικού sandwich

Οι γεωμετρίες των πλακών και των ενισχυτικών για τις δυο αυτές περιπτώσεις φαίνονται στους Πίνακες 5.9 και 5.10

Η διαμήκης και η κατακόρυφη θέση της πλάκας και των ενισχυτικών μερών είναι:

$x = 9,5m$ διαμήκης θέση από το πρυμναίο τέλος της ισάλου γραμμής

$d = 0,77m$ κατακόρυφη θέση μετρούμενη από την ίσαλο γραμμή

Αυτή η διαμήκης και κατακόρυφη θέση για τις πλάκες και τα ενισχυτικά έχουν επιλεγεί με κριτήριο να δίνουν τα μεγαλύτερα αποτελέσματα. είναι η θέσεις του σκάφους που δίνουν τις μεγαλύτερες τιμές των κάθετων επιταχύνσεων και των σχεδιαστικών πιέσεων άρα κατ' επέκταση και των τελικών αποτελεσμάτων του πάχους των πλακών και των απαιτήσεων των ενισχυτικών.

Πίνακας 5.9: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά πλακών και ενισχυτικών για διάμηκες σύστημα ενίσχυσης

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΛΑΚΑΣ			
$s=$	560	mm	Κοντή πλευρά ενισχυτικού
$l=$	735	mm	Μακριά πλευρά ενισχυτικού
ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΑ			
$c_u =$	0,000	m	Κυρτότητα ενισχυτικού
$l=$	0,560	m	Ανυποστήρικτο μήκος ενισχυτικού
$s=$	0,875	m	Ισαπόσταση ενισχυτικών
$b_w=$	0,140	m	Πλάτος βάσης ενισχυτικού
ΔΙΑΜΗΚΗ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΑ			
$c_u =$	0,000	m	Κυρτότητα ενισχυτικού
$l=$	2,520	m	Ανυποστήρικτο μήκος ενισχυτικού
$s=$	0,700	m	Ισαπόσταση ενισχυτικών
$b_w=$	0,140	m	Πλάτος βάσης ενισχυτικού

Πίνακας 5.10: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά πλακών και ενισχυτικών για εγκάρσιο σύστημα ενίσχυσης

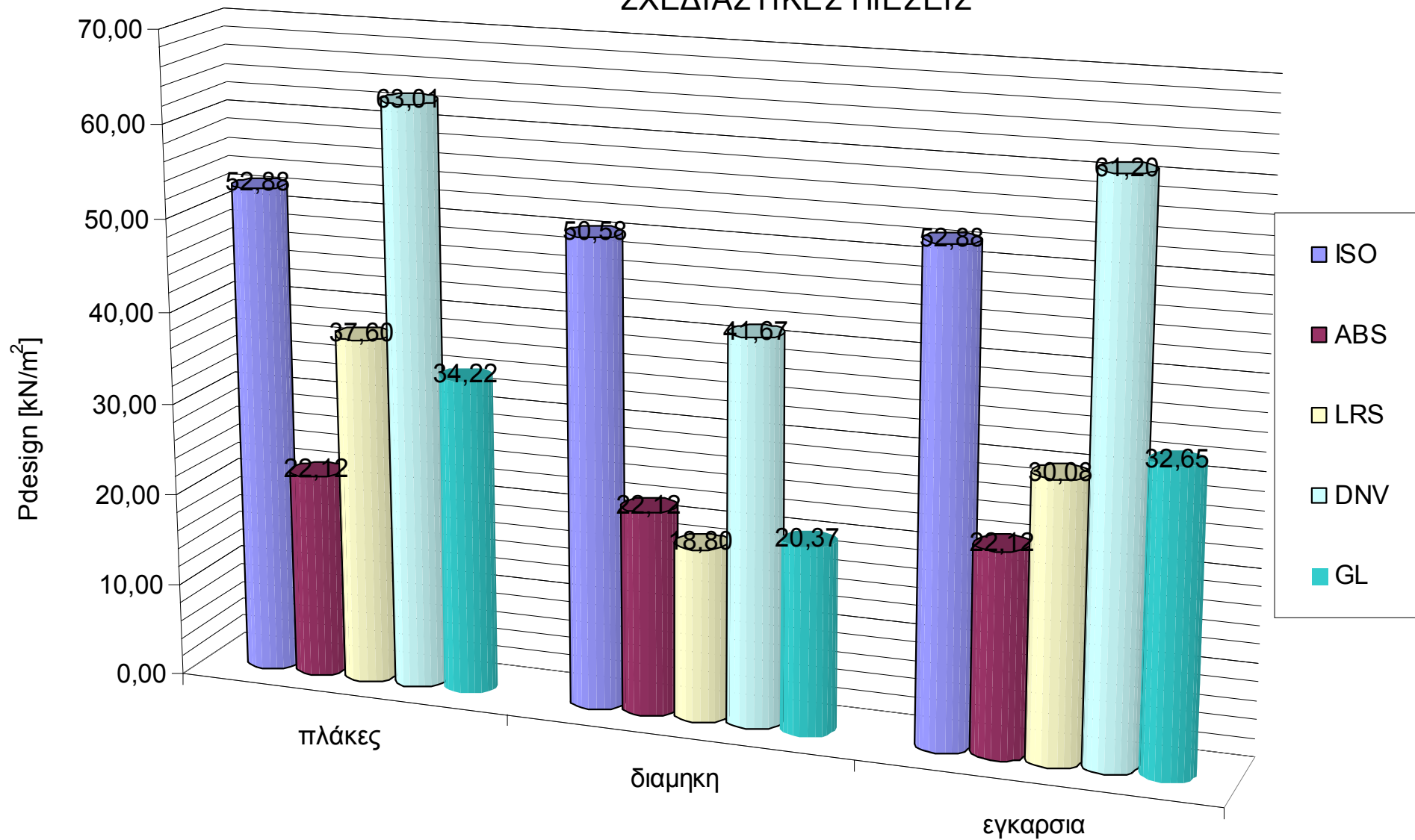
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΛΑΚΑΣ			
$s=$	560	mm	Κοντή πλευρά ενισχυτικού
$l=$	735	mm	Μακριά πλευρά ενισχυτικού
ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΑ			
$c_u =$	0,000	m	Κυρτότητα ενισχυτικού
$l=$	2,625	m	Ανυποστήρικτο μήκος ενισχυτικού
$s=$	0,875	m	Ισαπόσταση ενισχυτικών
$b_w=$	0,140	m	Πλάτος βάσης ενισχυτικού
ΔΙΑΜΗΚΗ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΑ			
$c_u =$	0,000	m	Κυρτότητα ενισχυτικού
$l=$	0,875	m	Ανυποστήρικτο μήκος ενισχυτικού
$s=$	0,700	m	Ισαπόσταση ενισχυτικών
$b_w=$	0,140	m	Πλάτος βάσης ενισχυτικού

Πίνακας 5.11: Τελικά αποτελέσματα προερχόμενα από την χρήση του κάθε κανονισμού με διάμηκες σύστημα ενίσχυσης

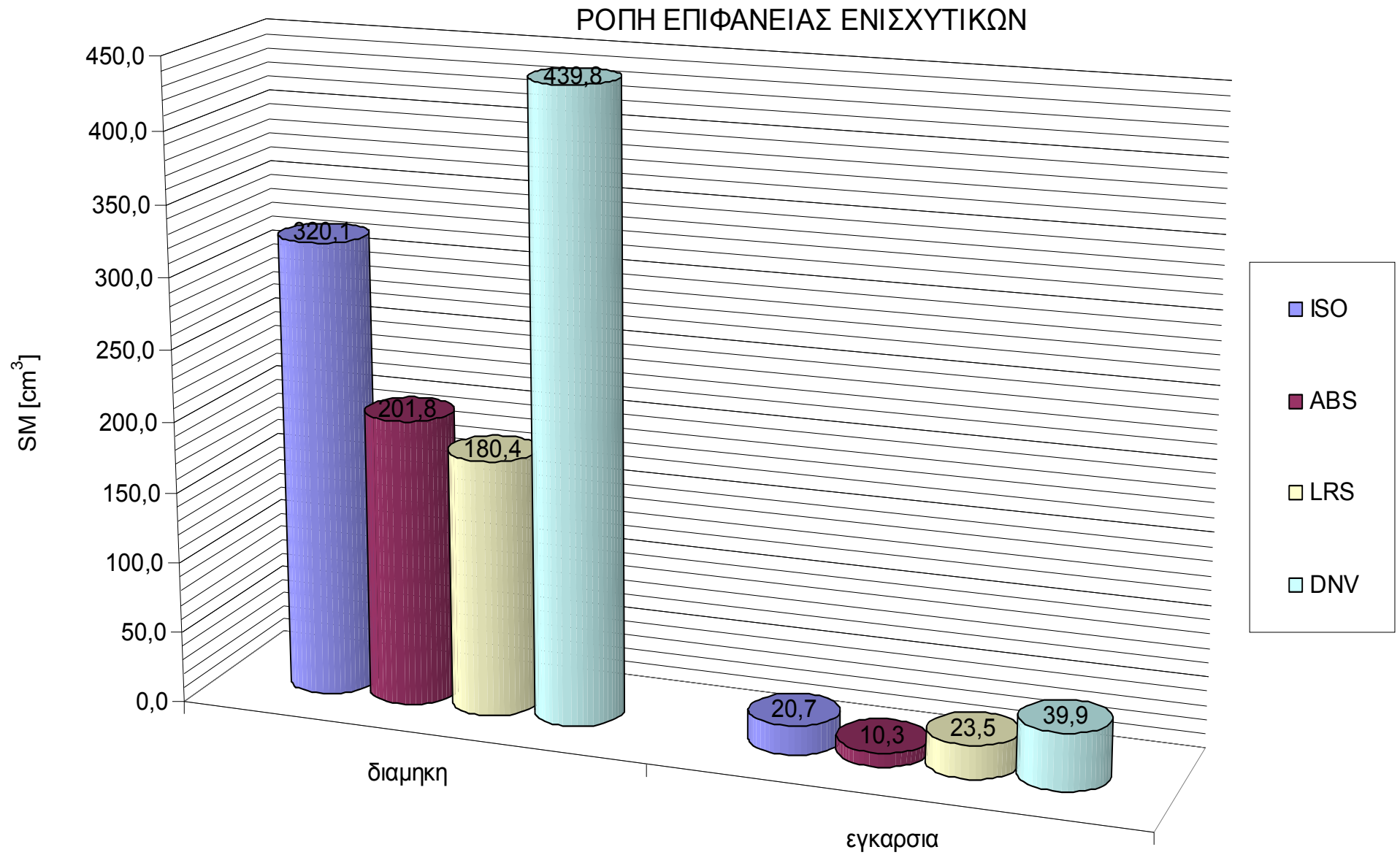
ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΕΛΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

		ISO	ABS	LRS	DNV	GL	
P design	πλάκες	52,875	22,122	37,600	63,005	34,216	kN/m ²
	διαμήκη	50,578	22,122	18,800	41,671	20,373	kN/m ²
	εγκάρσια	52,875	22,122	30,080	61,196	32,650	kN/m ²
καμπτική ροπή	κέντρο της πλάκας			6,755			Nm
	όρια της πλάκας			7,984			Nm
ροπή αντίστασης	εσωτερική στρώση	0,170	0,128				cm ³
	εξωτερική στρώση	0,170	0,150				cm ³
I		0,079	0,065				cm ⁴
t	ολικό	52,989	18,000				mm
w	ολικό				2400,000		g/m ²
w	εσωτερική στρώση	1,068					kg/m ²
w	εξωτερική στρώση	1,526					kg/m ²
t	εσωτερική στρώση		2,724	3,425			mm
t	εξωτερική στρώση		3,892	4,561			mm
ενισχυτικά							
καμπτική ροπή	διαμήκη			6964,3	15436,6		Nm
	εγκάρσια			825,4	1399,4		Nm
ροπή αντίστασης	διαμήκη	320,1	201,8	180,4	439,8		cm ³
	εγκάρσια	20,7	10,3	23,5	39,9		cm ³
ροπή αδρανείας	διαμήκη	1665,7	567,9	1828,1			cm ⁴
	εγκάρσια	23,9	6,4	23,5			cm ⁴

ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ



Σχήμα 5.19: Σχεδιαστικές πιέσεις



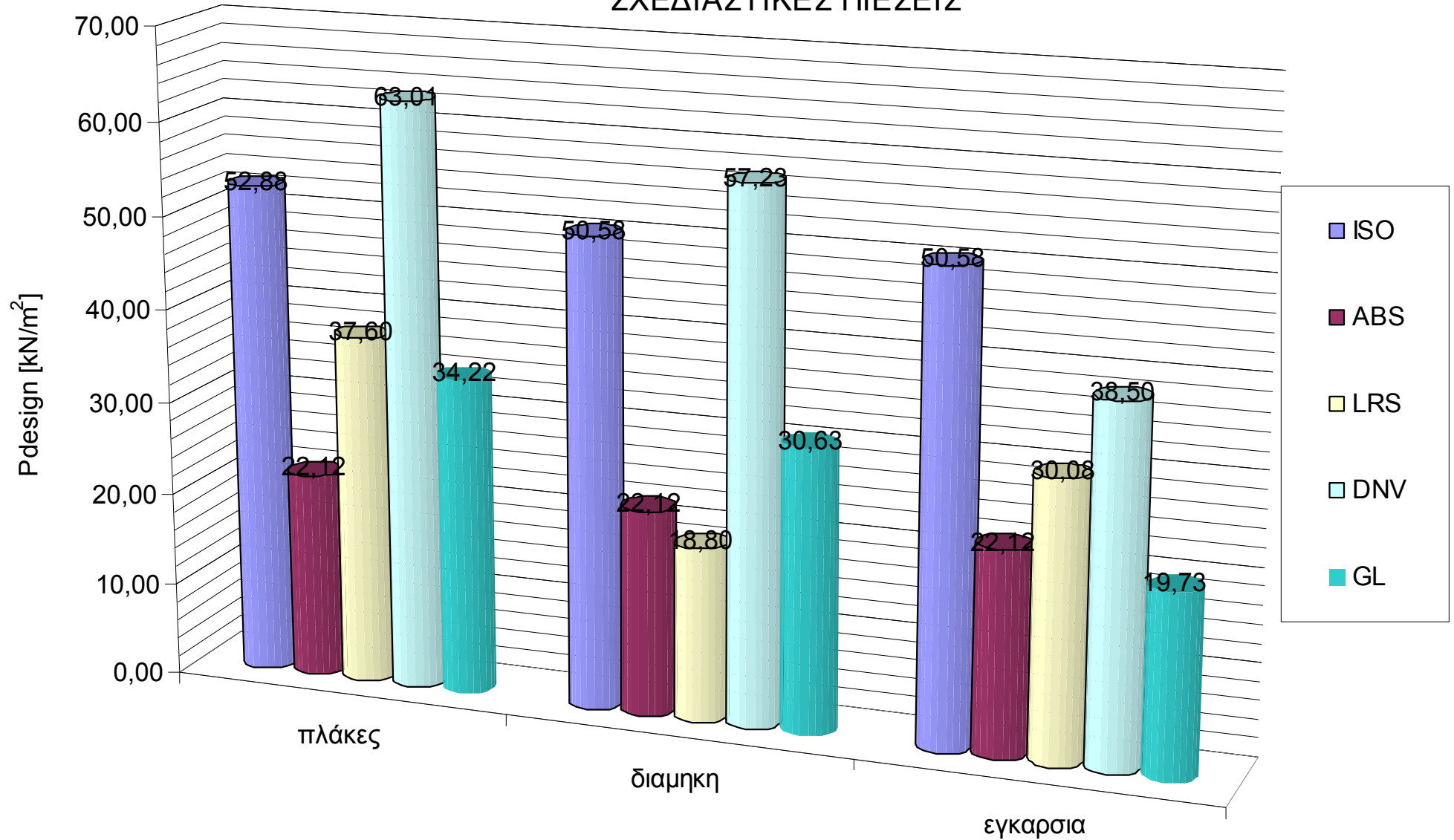
Σχήμα 5.20: Ροπή αντίστασης ενισχυτικών

Πίνακας 5.12: Τελικά αποτελέσματα προερχόμενα από την χρήση του κάθε κανονισμού με εγκάρσιο σύστημα ενίσχυσης

ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΕΛΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

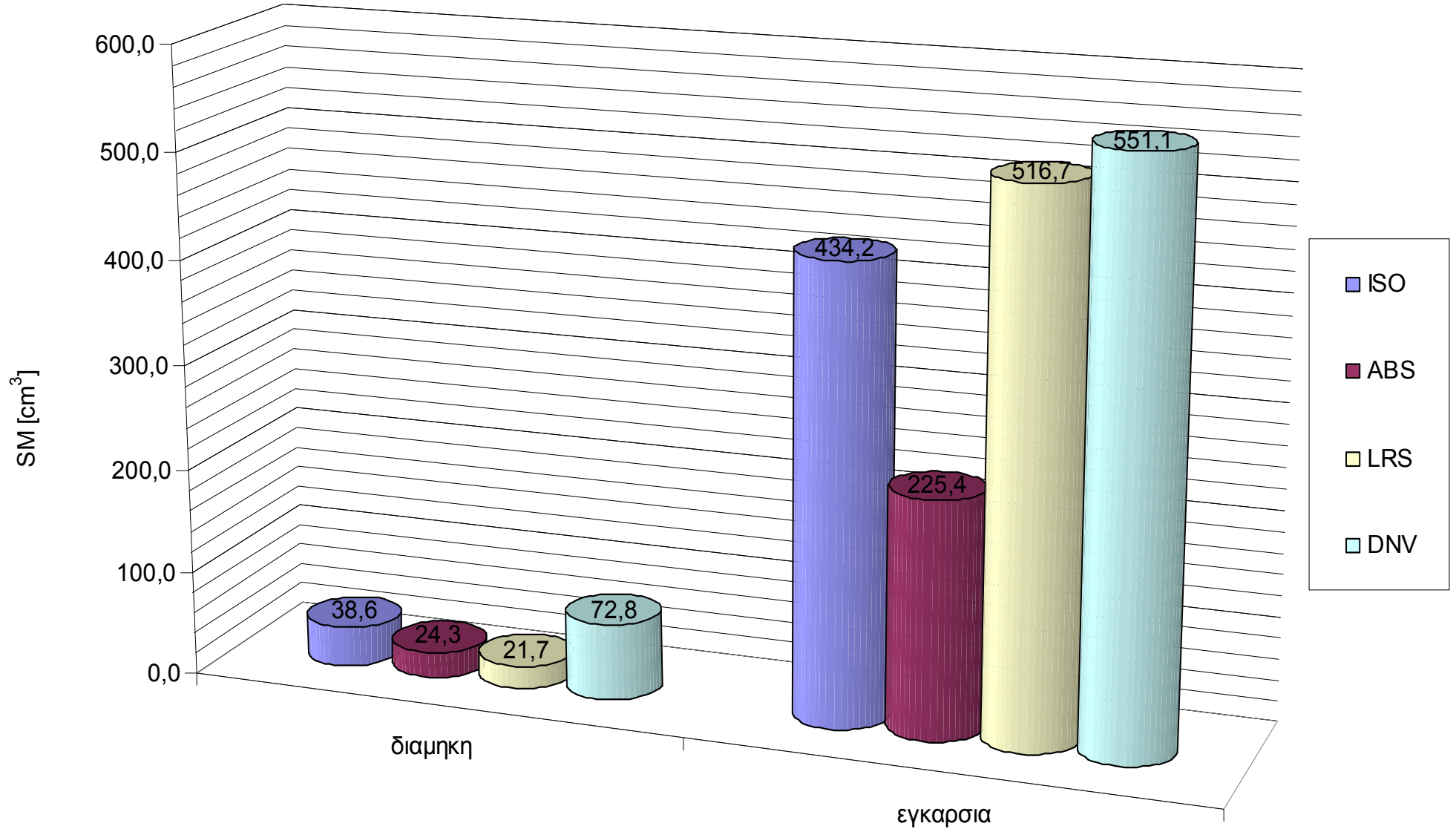
		ISO	ABS	LRS	DNV	GL	
P design	πλάκες	52,875	22,122	37,600	63,005	34,216	kN/m ²
	διαμήκη	50,578	22,122	18,800	57,234	30,632	kN/m ²
	εγκάρσια	50,578	22,122	30,080	38,498	19,726	kN/m ²
καμπτική ροπή	κέντρο της πλάκας			6,755			Nm
	όρια της πλάκας			7,984			Nm
ροπή αντίστασης	εσωτερική στρώση	0,170	0,128				cm ³
	εξωτερική στρώση	0,170	0,150				cm ³
I		0,079	0,065				cm ⁴
t	ολικό	52,989	18,000				mm
w	ολικό				2400,000		g/m ²
w	εσωτερική στρώση	1,068					kg/m ²
w	εξωτερική στρώση	1,526					kg/m ²
t	εσωτερική στρώση		2,724	3,425			mm
t	εξωτερική στρώση		3,892	4,561			mm
ενισχυτικά							
καμπτική ροπή	διαμήκη			839,6	2556,1		Nm
	εγκάρσια			18136,1	19343,2		Nm
ροπή αντίστασης	διαμήκη	38,6	24,3	21,7	72,8		cm ³
	εγκάρσια	434,2	225,4	516,7	551,1		cm ³
ροπή αδρανείας	διαμήκη	69,7	23,8	76,5			cm ⁴
	εγκάρσια	2353,4	660,8	516,7			cm ⁴

ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ



Σχήμα 5.21: Σχεδιαστικές πιέσεις

ΡΟΠΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ



Σχήμα 5.22: Ροπή αντίστασης ενισχυτικών

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Ουσιαστικά δεν μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα από τα αποτελέσματα για την διαστασιολόγηση των πλακών υλικού sandwich που προκύπτουν από την εφαρμογή των κανονισμών σε αυτό το σκάφος. Αυτό συμβαίνει εφόσον δεν υπάρχει παράδειγμα σκάφους από υλικό sandwich έτσι ώστε να υπάρχει σύγκριση και γιατί δεν έχει διεξαχθεί η αντίστροφη ανάλυση των τύπων που χρησιμοποιούνται σε αυτό το τμήμα των κανονισμών. Παρόλα αυτά δίνεται μια πρώτη ιδέα για το τι ζητάει ο κάθε κανονισμός για τέτοιου είδους κατασκευές.
- Ουσιαστικά οι δυο κύριες απαιτήσεις έτσι όπως δίνονται από τους κανονισμούς του αμερικάνικου νηογνώμονα και του ISO/DIS 12215-5.2 είναι η ροπή αντίστασης και η ροπή αδράνειας της εσωτερικής και εξωτερικής στρώσης του υλικού ενώ δίνονται και από κάποιους κανονισμούς και ελάχιστες τιμές του πάχους του υλικού sandwich με ή χωρίς τον πυρήνα.
- Αντίθετα οι υπολογισμοί για τα ενισχυτικά μέρη είναι οι ίδιοι όπως και στα προηγούμενα σκάφη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η παράθεση των γενικών συμπερασμάτων που βγήκαν από τα προηγούμενα κεφάλαια.

- Από την σύγκριση του κανονισμού του διεθνούς οργανισμού προτύπων, με τους ήδη υπάρχοντες κανονισμούς των νηογνώμωνων μπορούμε να βγάλουμε το συμπέρασμα ότι ο ISO/DIS 12215-5.2 προσπαθεί να καλύψει ένα κομμάτι των κανονισμών, αυτό για σκάφη κάτω των 24 μέτρων, που είναι σχετικά ελλιπές και δεν καλύπτεται πλήρως από τους υπόλοιπους κανονισμούς.
- Οι κανονισμοί του αγγλικού, του νορβηγικού και του αμερικανικού νηογνώμονα για ταχύπλοα σκάφη, ουσιαστικά καλύπτουν μεγαλύτερα και ταχύτερα σκάφη κυρίως εμπορικού χαρακτήρα με μικρές διαφοροποιήσεις και γενικότητες για σκάφη τέτοιου μήκους και υπηρεσίας. Κάτι τέτοιο είναι προφανές και από την σύγκριση των τελικών αποτελεσμάτων που έχουν υπολογισθεί τόσο για τα παραδείγματα όσο και για τα ήδη υπάρχοντα σκάφη αφού οι απαιτήσεις των τριών αυτών κανονισμών σε σχέση με τους υπόλοιπους είναι αρκετά υψηλότερες.
- Οι μόνοι κανονισμοί που καλύπτουν αυτού του μήκους και υπηρεσίας σκάφη είναι του γερμανικού νηογνώμονα και του αμερικανικού για σκάφη αναψυχής. Ειδικότερα ο κανονισμός του γερμανικού νηογνώμονα είναι αρκετά διαφοροποιημένος από τους υπόλοιπους και δεν μπορεί να θεωρηθεί πλήρης αφού υπάρχουν αρκετές ασάφειες και ελλιπή τμήματα όπως αυτό για σκάφη κατασκευασμένα από υλικά sandwich ή διαφορετικά από τα απλά σύνθετα υλικά ενισχυμένα με ίνες γυαλιού. Ουσιαστικά ο μόνος αντίστοιχος κανονισμός είναι αυτός του αμερικανικού νηογνώμονα για σκάφη αναψυχής.
- Εξετάζοντας τώρα αναλυτικότερα τους τύπους που προτείνονται από τον ISO/DIS 12215-5.2 και τον αμερικάνικο νηογνώμονα και φαίνονται στο κεφάλαιο 2 και συγκρίνοντας τα τελικά αποτελέσματα που έχουν υπολογισθεί στα κεφάλαια 3 και 5 εύκολα καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ο προτεινόμενος κανονισμός του διεθνούς οργανισμού πρότυπων έχει βασιστεί στον κανονισμό του αμερικανικού νηογνώμονα με κάποιες διαφοροποιήσεις σε μερικά τμήματα, πράγμα που δικαιολογείται και από τα παραπάνω συμπεράσματα.
- Ειδικότερα όπως έχει τονιστεί και στα συμπεράσματα κάθε κεφαλαίου χωριστά παρατηρούμε ότι για τον υπολογισμό των κάθετων επιταχύνσεων και των σχεδιαστικών πιέσεων έχει χρησιμοποιήσει το ίδιο γενικό πλαίσιο με τον αμερικάνικο νηογνώμονα αποφεύγοντας την χρήση των σχεδιαστικών υδροστατικών υψών που χρησιμοποιούνται από τον τελευταίο για σκάφη εκτοπίσματος. Και στην διαστασιοποίηση των πλακών και των ενισχυτικών μερών η ομοιότητα είναι προφανής αφού οι τύποι υπολογισμού είναι σχεδόν ίδιοι με διαφορά σε αυτούς που δίνονται από τον αμερικάνικο νηογνώμονα για σκάφη εκτοπίσματος. Ουσιαστικά δηλαδή έχει χρησιμοποιηθεί το τυπολόγιο υπολογισμού του αμερικάνικου νηογνώμονα για ταχύπλοα σκάφη προσαρμοσμένο και για τα σκάφη εκτοπίσματος.

- Η διαφοροποίηση του προτύπου του ISO σε σχέση με τον κανονισμό του αμερικανικού νηογνώμονα είναι στην χρήση των συντελεστών ασφάλειας και στην ανοχή των σχεδιαστικών τμημάτων σε αντοχή και κάμψη. Αυτό προκύπτει σαν συμπέρασμα και από τα αποτελέσματα των κεφαλαίων 3 και 5 όπου οι τελικές απαιτήσεις του ISO/DIS 12215-5.2 είναι χαμηλότερες από των υπολοίπων κανονισμών αλλά και από την αντίστροφη ανάλυση των τύπων που διεξήχθη στο κεφάλαιο 4. Εκεί φαίνεται αναλυτικά η χρήση μικρότερων συντελεστών ασφάλειας και μεγαλύτερων επιτρεπόμενων βελών κάμψης σε σχέση με όλους τους κανονισμούς.
- Στα τμήματα υπολογισμού των μηχανικών ιδιοτήτων και του πάχους στρώσης από σύνθετα υλικά έχουν χρησιμοποιηθεί αναλυτικές και εύχρηστες μέθοδοι παρόμοιες με αυτές που χρησιμοποιούνται από τον γερμανικό νηογνώμονα.
- Άρα σαν τελικό συμπέρασμα που προκύπτει μετά την χρήση του προτύπου και την σύγκριση του με τους ήδη υπάρχοντες κανονισμούς μπορούμε να πούμε ότι είναι ένας σχετικά καλά δομημένος, πλήρης και εύχρηστος κανονισμός, βασισμένος στους κανονισμούς του αμερικανικού νηογνώμονα με μεγαλύτερη ανοχή λόγω του πεδίου σκαφών που καλύπτει.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΣΧΕΔΙΑ ΣΚΑΦΩΝ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 5

ΣΧΕΔΙΑ ΤΑΧΥΠΛΟΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ 1

ΣΧΕΔΙΑ ΤΑΧΥΠΛΟΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ 2

ΣΧΕΔΙΑ ΣΚΑΦΟΥΣ ΕΚΤΟΠΙΣΜΑΤΟΣ 1

ΣΧΕΔΙΑ ΣΚΑΦΟΥΣ ΕΚΤΟΠΙΣΜΑΤΟΣ 2

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] – Guide for building and classing, Motor Pleasure Yachts, American Bureau of Shipping, New York, USA (February 2000)
- [2] – Rules and regulations for the classification of special service craft, Lloyd's Register of shipping, London (July 2002)
- [3] – Rules for classification of high speed - light craft and naval surface craft, Det Norske Veritas Classification AS, Oslo, Norway (January 1999)
- [4] – Rules for classification and construction, Pleasure craft, Germanischer Lloyd, Hamburg (February 2002)
- [5] – ISO/DIS 12215-5.2, Hull construction – Scantlings – Part 5: Design pressures for monohulls, design stresses, scantlings determination, (March 2004)
- [6] – Τσούβαλης Γ. Ν. , “Ανάλυση και σχεδίαση σκαφών από σύνθετα υλικά (σημειώσεις)”, Αθήνα (1998)
- [7] – D W Chalmers, “Design of ships’ structures”, Ministry of defence, London
- [8] – I. Harvey Evans, “Ship structural design concepts”, Cornell maritime press, inc. 1975

