

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ



ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ
ΠΛΟΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χρυσικόπουλος Αλέξανδρος

Επιβλέπων: ΖΑΡΑΦΩΝΙΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ



**ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ
ΠΛΟΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ.**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χρυσικόπουλος Αλέξανδρος

Επιβλέπων: ΖΑΡΑΦΩΝΙΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ, Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών.

Εγκρίθηκε από την επιτροπή στις

ΖΑΡΑΦΩΝΙΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, Αναπληρωτής Καθηγητής,
ΓΚΙΝΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ-ΑΛΒΕΡΤΟΣ, Επίκουρος Καθηγητής,
ΒΕΝΤΙΚΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ, Επίκουρος Καθηγητής,

ΑΘΗΝΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2016

Περιεχόμενα

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
1.1	Ευχαριστίες	11
1.2	Περίληψη	11
2.	ΠΛΟΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ.....	13
2.1	Γενικά	13
2.2	Εξέλιξη.....	13
2.3	Μεγέθη.....	13
2.4	Διάταξη και υπόβαθρο κανονισμών.....	15
2.5	Σχεδιαστικά χαρακτηριστικά των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων.....	16
2.5.1	Κυψέλες – Οδηγοί	16
2.5.2	Καλύμματα ανοιγμάτων.....	16
2.6	Προβλήματα στα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων	17
2.7	Εμπορευματοκιβώτια	18
3.	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ CONTAINER SHIP	23
3.1	Βάση δεδομένων.....	23
3.2	Κύριες διαστάσεις.....	25
3.2.1	Μήκος μεταξύ καθέτων (L _{BP}).....	25
3.2.2	Ολικό Μήκος (L _{OA})	27
3.2.3	Πλάτος (B)	28
3.2.4	Κοίλο (D).....	31
3.2.5	T design	35
3.2.6	T scantling.....	37
3.2.7	Λόγοι κυρίων διαστάσεων	38
3.3	Χωρητικότητες-Βάρη.....	40
3.3.1	DWT scantling	40
3.3.2	Εκτόπισμα Δ.....	43
3.3.3	TEU	46
3.3.4	Βάρος κενού Σκάφους (Lightship)	50
3.3.5	Ολική Χωρητικότητα (Gross Tonnage).....	54
3.3.6	Καθαρή Χωρητικότητα (Net Tonnage).....	56
3.3.7	Όγκος δεξαμενών έρματος (V water ballast).....	60
3.3.8	Όγκος δεξαμενών fuel oil.....	61
3.3.9	Λόγοι βαρών – χωρητικότητων	63
3.4	Εκτίμηση ισχύος (M.C.R.)	64
3.5	Κέντρα βαρών	66
3.5.1	Κατακόρυφη θέση κέντρου βάρους κενού σκάφους.....	66
3.5.2	Διαμήκης θέση κέντρου βάρους κενού σκάφους.....	68
3.5.3	Κατακόρυφη θέση κέντρου βάρους Full Load Departure	70
3.5.4	Κατακόρυφη θέση μετάκεντρου στη κατάσταση F.L.D.	72
3.5.5	GM στη κατάσταση F.L.D.	74
3.5.6	Διαμήκης θέση κέντρου βάρους στη κατάσταση F.L.D.	75

3.5.7	Διαμήκης θέση κέντρου άντωσης στη κατάσταση F.L.D.....	77
3.5.8	Διαμήκης θέση κέντρου πλευστότητας στη κατάσταση F.L.D.....	79
3.6	Ύψος εξάλων.....	80
3.7	Σχεδιαστικές λεπτομέρειες.....	81
3.7.1	L cargo.....	81
3.7.2	Θέση μηχανοστασίου.....	82
3.7.3	B hatch.....	83
4.	ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ.....	85
4.1	Γενικά.....	85
4.2	Εισαγωγή δεδομένων.....	85
4.3	Υπολογισμός κύριων χαρακτηριστικών.....	86
4.4	Υπολογισμός χωρητικότητας δεξαμενών.....	88
4.5	Καθορισμός διάταξης και οριοθέτηση φρακτών.....	90
4.6	Υπολογισμός κέντρου βάρους και υδροστατικών στοιχείων.....	91
4.6.1	Κέντρα βάρους και υδροστατικά στοιχεία για την κατάσταση Lightship.....	91
4.6.2	Κέντρα βάρους και υδροστατικά στοιχεία για την κατάσταση Full Load Departure.....	92
4.7	Υπολογισμός αντίστασης και πρόωσης.....	92
4.7.1	Απαιτούμενη ισχύς ρυμούλκησης.....	93
4.7.2	Υπολογισμός ισχύος και στροφών έλικας.....	93
4.8	Ισχύς πρόωσης.....	93
4.9	EEDI.....	93
4.9.1	Περιγραφή του τύπου και των παραγόντων υπολογισμού του.....	94
4.9.2	Γραμμή αναφοράς.....	94
4.9.3	Απαιτούμενος Δείκτης Σχεδίασης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (required EEDI).....	94
4.9.4	Παραδοχές για τον υπολογισμό EEDI.....	95
4.10	Μέθοδος υπολογισμού Lightship.....	95
4.10.1	Βάρος μεταλλικής κατασκευής (W_{ST}).....	95
4.10.2	Βάρος ενδιαίτησης και εξοπλισμού (W_{OT}).....	96
4.10.3	Βάρος μηχανολογικής εγκατάστασης (W_M).....	97
4.10.4	Lightship (LS).....	97
4.11	Μέθοδος υπολογισμού κόστους απόκτησης και λειτουργικών εξόδων.....	97
4.11.1	Κόστος κατασκευής.....	97
4.11.2	Λειτουργικά έξοδα του πλοίου.....	98
4.11.3	Ελάχιστος απαιτούμενος ναύλος.....	100
5.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ.....	101
5.1	Γενικά.....	101
5.2	T scantling.....	101
5.3	Δ displacement.....	102
5.4	DWT scantling.....	104
5.5	Ισοδύναμα TEU.....	105
5.6	Gross Tonnage.....	107
5.7	Ισχύς πρόωσης (M.C.R.).....	108

5.8	L cargo	110
5.9	KG Lightship	111
5.10	LCG Lightship	112
6.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	115
7.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α - ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ	117
8.	Βιβλιογραφία	119

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Διάγραμμα 1:	Κατάταξη βάσης δεδομένων ανάλογα με τη χρονολογία	23
Διάγραμμα 2:	Κατάταξη βάσης δεδομένων ανάλογα με τη χωρητικότητα	24
Διάγραμμα 3:	L_{BP} συναρτήσει DWT scantling	25
Διάγραμμα 4:	L_{BP} συναρτήσει ισοδύναμα TEU	26
Διάγραμμα 5:	L_{OA} συναρτήσει του L_{BP}	27
Διάγραμμα 6:	B συναρτήσει του L_{BP}	28
Διάγραμμα 7:	B συναρτήσει του DWT scantling	29
Διάγραμμα 8:	B συναρτήσει των TEU κατά τη διάσταση του πλάτους (y)	30
Διάγραμμα 9:	D συναρτήσει του L_{BP}	31
Διάγραμμα 10:	D συναρτήσει του B	32
Διάγραμμα 11:	D συναρτήσει του DWT scantling	33
Διάγραμμα 12:	D συναρτήσει του T scantling	34
Διάγραμμα 13:	T design συναρτήσει του T scantling	35
Διάγραμμα 14:	T design συναρτήσει του D	36
Διάγραμμα 15:	T scantling συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$	37
Διάγραμμα 16:	Ο λόγος L_{BP}/B συναρτήσει του L_{BP}	38
Διάγραμμα 17:	Ο λόγος L_{BP}/B συναρτήσει του TEU	39
Διάγραμμα 18:	Ο λόγος L_{BP}/B συναρτήσει του M.C.R.	39
Διάγραμμα 19:	Ο λόγος L_{OA}/L_{BP} συναρτήσει του L_{BP}	40
Διάγραμμα 20:	DWT scantling συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$	41
Διάγραμμα 21:	DWT scantling συναρτήσει του T scantling	42
Διάγραμμα 22:	Δ συναρτήσει του L_{BP}	43
Διάγραμμα 23:	Δ συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$	44
Διάγραμμα 24:	Δ συναρτήσει του DWT scantling	45
Διάγραμμα 25:	TEU συναρτήσει του DWT scantling	46
Διάγραμμα 26:	TEU συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$	47
Διάγραμμα 27:	TEU in holds συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$	48
Διάγραμμα 28:	TEU on deck συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$	49
Διάγραμμα 29:	Lightship συναρτήσει του L_{BP}	50
Διάγραμμα 30:	Lightship συναρτήσει του DWT scantling	51
Διάγραμμα 31:	Lightship συναρτήσει του DWT design	52
Διάγραμμα 32:	Lightship συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$	53
Διάγραμμα 33:	Gross tonnage συναρτήσει του DWT scantling	54
Διάγραμμα 34:	Gross tonnage συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$	55
Διάγραμμα 35:	NET tonnage συναρτήσει του DWT scantling	56
Διάγραμμα 36:	NET tonnage συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$	57
Διάγραμμα 37:	NET tonnage συναρτήσει του Gross tonnage	58
Διάγραμμα 38:	NET tonnage συναρτήσει των TEU in holds	59
Διάγραμμα 39:	Όγκος δεξαμενών water ballast συναρτήσει του DWT scantling	60
Διάγραμμα 40:	Fuel oil συναρτήσει του DWT scantling	61
Διάγραμμα 41:	Fuel oil συναρτήσει του M.C.R.	62
Διάγραμμα 42:	DWT scantling/ Δ scantling συναρτήσει Δ scantling	63
Διάγραμμα 43:	DWT scantling/TEU συναρτήσει Δ scantling	63
Διάγραμμα 44:	M.C.R. συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$	64
Διάγραμμα 45:	M.C.R. συναρτήσει του $\Delta^{2/3} * V^3$	65
Διάγραμμα 46:	KG κενού σκάφους συναρτήσει του κοίλου	66

Διάγραμμα 47: KG κενού σκάφους συναρτήσει του Lightship.....	67
Διάγραμμα 48: LCG κενού σκάφους συναρτήσει του L_{BP}	68
Διάγραμμα 49: LCG κενού σκάφους συναρτήσει του Lightship.....	69
Διάγραμμα 50: KG F.L.D. συναρτήσει του κοίλου	70
Διάγραμμα 51: KG F.L.D. συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$	71
Διάγραμμα 52: KM F.L.D. συναρτήσει του D	72
Διάγραμμα 53: KM F.L.D. συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$	73
Διάγραμμα 54: GM F.L.D. συναρτήσει του DWT scantling.....	74
Διάγραμμα 55: LCG F.L.D. συναρτήσει του L_{BP}	75
Διάγραμμα 56: LCG F.L.D. συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$	76
Διάγραμμα 57: LCB F.L.D. συναρτήσει του L_{BP}	77
Διάγραμμα 58: LCB F.L.D. συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$	78
Διάγραμμα 59: LCF F.L.D. συναρτήσει του LCG F.L.D	79
Διάγραμμα 60: freeboard συναρτήσει του L_{BP}	80
Διάγραμμα 61: L cargo συναρτήσει του L_{BP}	81
Διάγραμμα 62: Θέση του μηχανοστασίου του μήκους του πλοίου συναρτήσει του L_{BP}	82
Διάγραμμα 63: Πλάτος καλύμματος στομίου συναρτήσει του αριθμού των TEU κατά πλάτος	83
Διάγραμμα 64: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για T scantling	102
Διάγραμμα 65: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για displacement	103
Διάγραμμα 66: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για DWT scantling.....	105
Διάγραμμα 67: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για TEU.....	106
Διάγραμμα 68: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για Gross Tonnage	108
Διάγραμμα 69: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για M.C.R.....	109
Διάγραμμα 70: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για L cargo	111
Διάγραμμα 71: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για KG Lightship	112
Διάγραμμα 72: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για LCG Lightship	113

Πίνακες

Πίνακας 1: Παραδείγματα από Ultra large container ships.....	14
Πίνακας 2: Παγκόσμιος στόλος	15
Πίνακας 3: Τυποποιημένες διαστάσεις container κατά ISO 668.....	18
Πίνακας 4: Κατηγοριοποίηση των πλοίων ανάλογα με τη χρονολογία	23
Πίνακας 5: Κατηγοριοποίηση των πλοίων ανάλογα με τη χωρητικότητα των TEU.....	24
Πίνακας 6: Input χρήστη.....	86
Πίνακας 7: Παράγοντας x για τους διάφορους τύπους πλοίων, ανάλογα με την φάση που χτίστηκε αυτό.	95
Πίνακας 8: Παραδοχές για τον υπολογισμό του EEDI	95
Πίνακας 9: Βάρος ανά μέτρο μήκους στομίου	96
Πίνακας 10: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για T scantling	102
Πίνακας 11: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για displacement	103
Πίνακας 12: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για DWT scantling.....	104
Πίνακας 13: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για TEU.....	106
Πίνακας 14: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για Gross Tonnage	107
Πίνακας 15: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για M.C.R.	109
Πίνακας 16: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για L cargo	110
Πίνακας 17: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για KG Lightship	112
Πίνακας 18: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για LCG Lightship	113

Εικόνες

Εικόνα 1: Small feeder vessel. WEC van Gogh 868 TEU	13
Εικόνα 2: Panamax vessel, Providence Bay 4224 TEU	14
Εικόνα 3: Πλάγια όψη από container ship	15
Εικόνα 4: Κυψελοειδές αμπάρι	16
Εικόνα 5: Hatchcoverless container ship	16
Εικόνα 6: Dry storage container	19
Εικόνα 7: Flat rack container	19
Εικόνα 8: Open top container.....	20
Εικόνα 9: Tunnel container	20

Εικόνα 10: Open side storage container.....	20
Εικόνα 11: Double doors container	21
Εικόνα 12: Refrigerated ISO containers	21
Εικόνα 13: Insulated or thermal containers.....	21
Εικόνα 14: Tanks.....	22
Εικόνα 15: Special purpose containers	22

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας ολοκληρώνεται ο κύκλος σπουδών μου στη Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π.. Θα ήθελα σ' αυτό το σημείο να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου απέναντι στα άτομα που με βοήθησαν και με στήριξαν καθ' όλη τη διάρκεια της φοιτητικής μου διαδρομής.

Κατ' αρχάς θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, η οποία μου έδωσε τη δυνατότητα να σπουδάσω και μου πρόσφερε, άνευ ανταλλαγμάτων, αμέριστη βοήθεια και υποστήριξη, τους φίλους και συμφοιτητές μου για τις εμπειρίες που μοιραστήκαμε, και την σύντροφο μου για τη συμπαράσταση και υπομονή της.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω στον καθηγητή μου και υπεύθυνο της διπλωματικής αυτής κύριο Γ. Ζαραφωνίτη. Η ανάθεση και η καθοδήγηση της εργασίας καθώς και η βοήθεια του ήταν καθοριστική για την εκπόνηση της.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα πρόσωπα των ναυτιλιακών εταιρειών για την αμέριστη βοήθεια θυσιάζοντας τον πολύτιμο χρόνο εργασίας τους.

1.2 Περίληψη

Οι στόχοι της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι δύο. Ο πρώτος στόχος είναι η στατιστική ανάλυση και δημιουργία διαγραμμάτων από μία βάση δεδομένων με τεχνικά στοιχεία από ένα σύνολο 1530 πλοίων container ships. Στη συνέχεια, γίνεται μελέτη της πιθανής συσχέτισης των στοιχείων και ανάπτυξη προσεγγιστικών τύπων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στη προμελέτη μιας νέας κατασκευής container ship. Οι προσεγγιστικοί τύποι δημιουργήθηκαν με τη μέθοδο της παλινδρομικής ανάλυσης (Regression analysis) μέσω του προγράμματος excel 2016. Η δημιουργία της βάσης δεδομένων έγινε με συλλογή στοιχείων και σχεδίων από ναυτιλιακές εταιρείες που διέθεταν στο στόλο τους container ships και από τη βάση δεδομένων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Ο δεύτερος στόχος είναι η υλοποίηση ενός κώδικα στο MATLAB R2016, ο οποίος θα πραγματοποιεί την προμελέτη ενός πλοίου container ship με βάση τα δεδομένα που θα επιθυμεί ο χρήστης και ως αποτέλεσμα θα παίρνει μία πρώτη εικόνα των κυρίων χαρακτηριστικών του, αλλά και πιο λεπτομερών στοιχείων. Πιο συγκεκριμένα, ο χρήστης μέσω ενός αρχείου excel που χρησιμοποιείται ως input θα δίνει τις κύριες διαστάσεις (π.χ. L_{BP}) και άλλα πιο λεπτομερή στοιχεία όπως μήκος βολβού, διαστάσεις υπερκατασκευών, χρόνο αποπληρωμής δανείου κ.λπ.. Έπειτα, αφού τρέξει το πρόγραμμα στο ίδιο αρχείο για καλύτερη σύγκριση των δεδομένων input και output, ο κώδικας επιστρέφει το πλάτος του πλοίου βελτιστοποιημένο ανάλογα με την χωρητικότητα των TEU κατά τη διάσταση του πλάτους, το συνολικό αριθμό των TEU, τους όγκους των δεξαμενών, υδροστατικά και άλλα σχεδιαστικά στοιχεία. Τέλος επιστρέφει τα αποτελέσματα μίας οικονομικής ανάλυσης για το κόστος κατασκευής του πλοίου και το κόστος λειτουργίας του. Ακριβή επεξήγηση του κώδικα και περιγραφή των στοιχείων εισαγωγής και εξαγωγής θα δοθεί στο κεφάλαιο 3.

2. ΠΛΟΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ

2.1 Γενικά

Τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων είναι φορτηγά πλοία αρκετά λεπτόγραμμα για να ταξιδεύουν σε υψηλές ταχύτητες (25 knots), τα οποία μεταφέρουν όλο το φορτίο τους σε τυποποιημένα μεταλλικά κιβώτια (container). Η χωρητικότητα των συγκεκριμένων πλοίων μετριέται σε ισοδύναμα TEU (κιβώτια 20 ποδών μήκους). Διαθέτουν μεγάλα ανοίγματα κυτών στο κατάστρωμα λόγω της αποκλειστικής κάθετης φορτοεκφόρτωσης των εμπορευματοκιβωτίων.

2.2 Εξέλιξη

Από την έναρξη της μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων μέχρι σήμερα, δηλαδή πάνω από 60 χρόνια, η συμβολή στην παγκόσμια οικονομία ήταν τόσο μεγάλη που σήμερα πάνω από το 90% των μη χύδην φορτίων παγκοσμίως, μεταφέρονται με containers. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι ως τον Φεβρουάριο του 2016 υπήρχαν 6060 container ships ενεργά, ικανά να μεταφέρουν 20.768.498 TEU¹. Η σημαντική αυτή ανάπτυξη της εισαγωγής μεταφορών φορτίου εντός τυποποιημένων εμπορευματοκιβωτίων στηρίζεται σε τρεις αρχές :

1. Ταχεία μεταφορά (JIT: Just in Time products)
2. Ασφαλής μεταφορά (ασφάλεια έναντι καταστροφής/ βλάβης ή κλοπής/ απώλειας)
3. Άνετη παραλαβή και παράδοση (“door to door delivery concept”)

Τα αποτελέσματα αυτής της στροφής στα container ships είναι το λιγότερο εντυπωσιακά. Μείωση του συνολικού χρόνου παράδοσης αγαθών σε παγκόσμια κλίμακα κατά 90% και του κόστους κατά 35% είναι μόνο δύο από αυτά.² Σε αυτό το σημαντικό επίτευγμα σημαντικό ρόλο έπαιξε και το πολύ μικρό χρονικό διάστημα που μένει το πλοίο στο λιμάνι, κάτι που μειώνει ακόμα περισσότερο το κόστος για τους πλοιοκτήτες και κατ' επέκταση για όλους τους εμπλεκόμενους φορείς. Αυτό συμβαίνει γιατί όπως είναι λογικό οι εξελίξεις στα λιμάνια έχουν πραγματοποιήσει τη διαδικασία φόρτωσης και εκφόρτωσης ταχύτερα, με πλήρως αυτοματοποιημένες διαδικασίες (ειδικές γερανογέφυρες και γερανοφόρα οχήματα) και εξειδικευμένο προσωπικό όπου χρειάζεται. Παρόλα αυτά, έχει πολύ μεγάλη σημασία και η ασφάλεια που παρέχεται με αυτόν τον τρόπο μεταφοράς φορτίου καθώς υπάρχει πολύ μικρότερος κίνδυνος αλλοίωσης του φορτίου κατά τη διάρκεια του ταξιδιού και σχεδόν μηδαμινός κίνδυνος κλοπής εφόσον το φορτίο τοποθετείται μέσα στο κιβώτιο, σφραγίζεται και ανοίγει μόνο στον προορισμό του.

2.3 Μεγέθη

Τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων διακρίνονται σε επτά μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθός τους:

- 1) small feeder (κάτω από 1000 TEU)
- 2) feeder (1001-2000 TEU)
- 3) feedermax (2001-3000 TEU)
- 4) panamax (3001-5000 TEU)
- 5) post panamax (5001-10000 TEU)
- 6) new panamax (10001-14500 TEU)
- 7) ultra large (14501 TEU και πάνω)



Εικόνα 1: Small feeder vessel. WEC van Gogh 868 TEU

¹ <http://www.alphaliner.com>

² <http://www.wikipedia.com>

Τα μικρότερα πλοία των κατηγοριών που ονομάζονται feeder συνήθως έχουν τοποθετημένους γερανούς για μεγαλύτερη ευελιξία στα λιμάνια που δεν έχουν τις απαραίτητες εγκαταστάσεις.

Τα πλοία της κατηγορίας Panamax με μήκος ως 294.13 m, πλάτος ως 32.31 m και βύθισμα ως 12.04 σχεδιάστηκαν με σκοπό να διασχίζουν τη διώρυγα του Παναμά. Όμως από το 1985 μέχρι σήμερα γίνονται έργα επέκτασης της διώρυγας του Παναμά με αποτέλεσμα να δημιουργούνται νέες κατηγορίες πλοίων κάθε 10 περίπου χρόνια. Μετά την τελευταία επέκταση της διώρυγας δημοσιεύτηκαν νέα όρια διαστάσεων των πλοίων που έχουν την δυνατότητα να περάσουν δημιουργώντας την κατηγορία new – panamax με τα εξής όρια: μήκος ως 365.8 m, πλάτος ως 48.8 m και βύθισμα ως 15.2 m.

Τέλος τα Ultra large container ships έχουν αυξηθεί δραματικά τα τελευταία χρόνια, παρόλο που η παγκόσμια οικονομική κρίση έχει πλήξει την ναυτιλία. Μερικά παραδείγματα τέτοιων πλοίων είναι:



Εικόνα 2: Panamax vessel, Providence Bay 4224 TEU

MEGA CONTAINER SHIPS

	HYUNDAI TOGETHER	HAMBURG EXPRESS	CSCL STAR	CMA CGM MARCO POLO	MAERSK TRIPLE-E
Shipyard	HSHI	HHI	Samsung	DSME	DSME
Year	2012	2012	2011	2012	2013
L _{OA} (m)	366.53m	366.45m	366m	396.0m	399.0m
L _{BP} (m)	350.00m	350.00m	350m	378.4m	374.4m
B (m)	48.20m	48.2m	51.2m	53.6m	59.0m
D (m)	29.85m	29.85m	29.9m	29.9m	30.3m
Design draft	14.5m	14.5m	14.5m	14.0m	14.5m
Max draft	15.5m	15.5m	15.5m	16.0m	16.0m
DWT design	126,000dwt	127,170dwt	139,200dwt	149,470dwt	166,500dwt
DWT max	141,000dwt	142,092dwt	155,400dwt	186,470dwt	196,050dwt
TEU Capacity	13,082	13,169	14,074	16,000	18,340
In holds	6008	6064	6416	7,400	7696
On deck	7074	7105	7658	8,600	10,644
Bays in holds	21	21	21	22	22
Bays on deck	22	22	22	24	24
Rows	17/19	17/19	18/20	19/21	21/23
Stability TEU	8927	9074		12,000	10,562
LBD (m ³)	503,569m ³	503,569m ³	535,808m ³	606,439m ³	
LBD/stability	56.41m ³ /TEU	55.50m ³ /TEU		50.54m ³ /TEU	
Reefer plugs	800	800	1000	800	600
MCR (kW)	72,240kW	58,274kW	72,240kW	80,080kW	59,360kW
Service speed	24.7kn	23.6kn	24.2kn	25.1kn	23.0kn
Engine Consumption	270t/day	214.4t/day	261.4t/day	288.5t/day	

Πίνακας 1: Παραδείγματα από Ultra large container ships

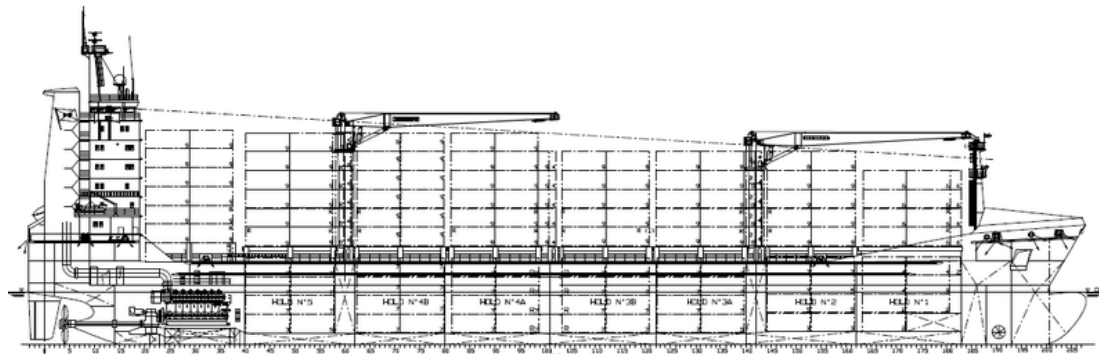
Όσον αφορά την ικανότητα μεταφοράς των container ships, μία εικόνα για τον παγκόσμιο στόλο ως τον Δεκέμβριο του 2015 είναι ο παρακάτω πίνακας:

ΤΕΥ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΛΟΙΩΝ
18000 - 20000	35
13300 - 17999	109
10000 - 13299	193
7500 - 9999	454
5100 - 7499	510
4000 - 5099	735
3000 - 3999	262
2000 - 2999	648
1500 - 1599	581
1000 - 1499	696
500 - 999	748
100 - 499	182

Πίνακας 2: Παγκόσμιος στόλος³

2.4 Διάταξη και υπόβαθρο κανονισμών

Ένα σκαρίφημα από μία γενική διάταξη ενός πλοίου container ship στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 3: Πλάγια όψη από container ship

Τα κύρια τμήματα που χωρίζεται ένα πλοίο τύπου container ship είναι τα εξής:

- Πρύμνηθεν της πρυμναίας καθέτου ($L_{A.P.}$): ορίζεται η απόσταση απ' το πιο πρυμναίο σημείο της ισάλου γραμμής ως την πρυμναία κάθετο του πλοίου.
- Πρύμνηθεν της πρυμναίας φρακτής (L_{AFT}): ορίζεται η απόσταση από την πρυμναία κάθετο (A.P.) έως την πρυμναία φρακτή του μηχανοστασίου που συμπίπτει με την πρυμναία φρακτή σύγκρουσης.
- Χώρος μηχανοστασίου (L_{ER}): ορίζεται το τμήμα μεταξύ της πρυμναίας και πρωαίας φρακτής του μηχανοστασίου. Περιλαμβάνει την μηχανολογική εγκατάσταση του πλοίου συμπεριλαμβανομένης της κύριας μηχανής, των γεννητριών και των διάφορων βοηθητικών μηχανημάτων.
- Χώρος φορτίου (L_{CARGO}): ορίζεται ο χώρος μεταξύ της πρωαίας φρακτής μηχανοστασίου και της πρωαίας φρακτής σύγκρουσης του πλοίου. Στο χώρο αυτό βρίσκονται τα κύττη δηλαδή τα αμπάρια του πλοίου (Cargo Holds) που ορίζονται από εγκάρσιες φρακτές.
- Πρώραθεν της φρακτής σύγκρουσης (L_{FWD}): ορίζεται η απόσταση από την πρωαία φρακτή σύγκρουσης έως την πρωαία κάθετο (F.P.). Η θέση της πρωαίας φρακτής σύγκρουσης ορίζεται σύμφωνα με τον κανονισμό της SOLAS ως εξής:

³ <http://www.statista.com>

$$\min \left\{ \begin{array}{l} 5\% L_{subdivision} \\ 10m \end{array} \right\} \leq d \leq \max \left\{ \begin{array}{l} 8\% L_{subdivision} \\ 5\% L_{subdivision} + 3m \end{array} \right\}$$

- Πρώραθεν της πρωραίας καθέτου ($L_{F.P.}$): ορίζεται το τμήμα από τη πρωραία κάθετο του πλοίου ως το πιο πρωραίο σημείο της ισάλου γραμμής.

όπου d , η απόσταση της φρακτής από την πρωραία κάθετο σε πλοία χωρίς βολβό. Ενώ σε πλοία με βολβό, το d ορίζεται ως η απόσταση της φρακτής από σημείο που βρίσκεται πρώραθεν της πρωραίας καθέτου σε απόσταση a από αυτή ίση με:

$$\alpha = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{L_{BULB}}{2} \\ 1.5\% L_{BP} \\ 3m \end{array} \right\}$$

Από τους κανονισμούς των νηογνωμόνων ορίζεται ότι κάθε πλοίο πρέπει να έχει κατ' ελάχιστον μία πρωραία φράκτη σύγκρουσης (Collision Bulkhead), μια πρυμναία φρακτή σύγκρουσης (After Peak Bulkhead) και από μία φρακτή στο πρυμναίο και πρωραίο όριο του μηχανοστασίου (πρυμναία και πρωραία φρακτή μηχανοστασίου). Στις περιπτώσεις που εξετάζουμε όπου το μηχανοστάσιο βρίσκεται πρύμνηθεν, η πρυμναία φρακτή σύγκρουσης συμπίπτει με την πρυμναία φρακτή του μηχανοστασίου.

2.5 Σχεδιαστικά χαρακτηριστικά των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων

2.5.1 Κυψέλες – Οδηγοί

Για να διευκολυνθεί η φορτοεκφόρτωση των containers και για μεγαλύτερη ασφάλεια σε τυχόν μετακινήσεις τους κατά τη διάρκεια του ταξιδιού, υπάρχουν μέσα στα αμπάρια κάθετοι οδηγοί που ονομάζονται κυψέλες – οδηγοί (cell guides). Επίσης, σε container ships τύπου hatchcoverless, δηλαδή χωρίς καλύμματα στομίων, οι κυψέλες – οδηγοί συνεχίζονται από τη βάση του αμπαριού και πάνω από το κατάστρωμα έως ένα συγκεκριμένο ύψος.⁴



Εικόνα 4: Κυψελοειδές αμπάρι

2.5.2 Καλύμματα ανοιγμάτων

2.5.2.1 Σχεδίαση “Hatchcoverless”

Η ιδέα της σχεδίασης “hatchcoverless” container ships ή αλλιώς “open – top” container ships δημιουργήθηκε από την ανάγκη μείωσης του χρόνου και κατ' επέκταση του κόστους παραμονής των πλοίων στα λιμάνια. Η μείωση αυτή του χρόνου οφείλεται στο γεγονός ότι δεν χρειάζεται να αφαιρεθούν τα καλύμματα αφού δεν υπάρχουν. Επίσης, δεν υπάρχει η ανάγκη χρήσης συστημάτων προσδέσεως και ασφαλίσεως των containers, γιατί υπάρχουν οι κυψέλες – οδηγοί που εκτείνονται και πάνω από το κατάστρωμα. Έτσι, εξαλείφεται και ο χρόνος εγκατάστασης - απεγκατάστασης αυτών των συστημάτων. Συνολικά τα πλεονεκτήματα αυτά οδήγησαν σε μείωση κατά 20% του χρόνου παραμονής στο λιμάνι και ουσιαστική μείωση



Εικόνα 5: Hatchcoverless container ship

⁴ Wärtsilä Encyclopedia of Ship Technology

των λειτουργικών εξόδων. Το πιο σημαντικό όμως πλεονέκτημα των πλοίων αυτού του είδους είναι το αυξημένο “tonnage” σε σύγκριση με ένα αντίστοιχο συμβατικό container ship. Αντίθετα, τα πλοία αυτά παρουσιάζουν ένα πολύ αρνητικό χαρακτηριστικό που είναι η χαμηλή ακαμψία τους σε στρέψη. Το γεγονός αυτό περιορίζει την εφαρμογή αυτής της σχεδίασης μόνο σε μικρά σχετικά πλοία. Το μεγαλύτερο “hatchcoverless” πλοίο είναι το “NEDLLOYD HONGKONG” χωρητικότητας 4112 TEU. Επιπροσθέτως, αυτού του είδους τα πλοία έχουν αυξημένα έξαλα. Έτσι, σε περίπτωση «άσχημου» καιρού ή βροχόπτωσης είναι εφοδιασμένα πάντα με πολύ μεγάλες αντλίες για να αντλήσουν το νερό που θα εισέλθει στους υδροσυλλέκτες και έπειτα να το αδειάσουν στη θάλασσα.

2.5.2.2 Σχεδίαση “Hatch cover”

Για τα container ships που είναι σχεδιασμένα να έχουν καλύμματα, οι πιο κοινοί τύποι καλυμμάτων είναι οι παρακάτω:

- **Lift – away hatch covers:** Αποτελεί τον πιο διαδεδομένο τύπο καλυμμάτων στομίων στα container ships, γιατί η χρήση τους δίνει μερικά πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα. Το πιο σημαντικό απ’ αυτά είναι ότι μπορεί να ανοίξει μόνο ένα τμήμα του αμπαριού, αφαιρώντας μόνο τα πάνελ που στις συγκεκριμένες κυψέλες από κάτω είναι επιθυμητή η φορτοεκφόρτωση containers. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα αφαίρεσης των πάνελ και στοίβαξης τους στη προβλήτα του λιμανιού, έτσι ώστε το κατάστρωμα να είναι τελείως ανοιχτό.
- **Folding hatch cover:** Πρόκειται για αναδιπλούμενα καλύμματα στομίων τα οποία κατασκευάζονται σε μεγάλη ποικιλία ανάλογα με τη χρήση που επιθυμεί ο μελετητής (π.χ. υψηλής ή χαμηλής στοίβαξης και δίπλωμα των πάνελ από την μία ή και από τις δύο πλευρές).

2.6 Προβλήματα στα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων

- Εκμετάλλευση χώρων
Οι τυποποιημένες διαστάσεις των εμπορευματοκιβωτίων έχουν ως αποτέλεσμα να μένουν αναξιοποίητοι (χωρίς φορτίο) χώροι, που ως επί το πλείστον χρησιμοποιούνται ως διάδρομοι.
- Αντοχή
Λόγω των μεγάλων ανοιγμάτων του καταστρώματος, τα συγκεκριμένα πλοία παρουσιάζουν σχετικά χαμηλή ακαμψία έναντι στρέψης.
- Ευστάθεια
Ο διατοιχισμός (roll) και ο προνευτασμός (pitch) είναι φαινόμενα τα οποία εντοπίζονται σε όλα τα είδη πλοίων. Η διαφορά είναι ότι στα μεγάλα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων έχει παρατηρηθεί τα τελευταία χρόνια ένα είδος διατοιχισμού, που ονομάζεται parametric rolling. Πιο συγκεκριμένα, οι εναλλαγές της τιμής της άντωσης, λόγω της εναλλαγής κορυφής-κοιλιάδας ενός κυματισμού μπορεί να δημιουργήσει τέτοιες φορτίσεις έτσι ώστε το πλοίο να παίρνει κλίσεις της τάξεως των 35°. Το χρονικό διάστημα το οποίο χρειάζεται το πλοίο για να πάρει τέτοιες κλίσεις είναι τόσο μικρό που πολλές φορές έχει παρατηρηθεί εξέλιξη του φαινομένου σε μόλις 5 κύκλους φόρτισης. Γενικά, το parametric rolling έχει παρατηρηθεί σε μεμονωμένες συνθήκες όπως οι παρακάτω ή και σε συνδυασμό αυτών⁵:
 - Η τιμή του μήκους κύματος είναι σχετικά κοντά στη τιμή του μήκους του πλοίου.
 - Το ύψος κύματος ξεπερνάει κάποια κρίσιμη τιμή.
 - Η περίοδος διατοιχισμού είναι σχεδόν διπλάσια από τη περίοδο του κύματος, με αποτέλεσμα να συμβαίνουν δύο κύκλοι προνευτασμού ανά ένα κύκλο διατοιχισμού.

⁵ <http://www.siwertell.com>

- Το πλοίο δέχεται προσπίπτοντες (που γενικά αποτελούν το χειρότερο σενάριο φόρτισης ενός πλοίου) ή ακολουθούντες κυματισμούς.

Από την άλλη τα πλοία στα οποία εμφανίζεται έχουν συνήθως τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Μεγάλα τόξα στο σχεδιασμό του προωαίου τμήματος της γάστρας “Bow flare”.
- Σχεδίαση νομέων στο πρυμναίο τμήμα, σχήματος U.
- Λεπτόγραμμη σχεδίαση.
- Ο μοχλοβραχίονας επαναφοράς αλλάζει σημαντικά τιμή ανάλογα του βυθίσματος του πλοίου.
- Έλλειψη αντιδιατοιχιστικών μέσων (π.χ. stabilizers).

Ως εκ τούτου, τα αποτελέσματα όπως είναι φυσικό είναι δυσάρεστα με τα πιο σημαντικά να αναφέρονται παρακάτω⁶:

- Εμφανίζονται πολύ ισχυρές τάσεις στο πλοίο, ειδικά στη πλώρη και στη πρύμνη.
- Παρουσιάζονται μεγάλες τιμές τάσεων στα μεταφερόμενα container με αποτέλεσμα τα συστήματα πρόσδεσης να αστοχούν και πολλά από αυτά να καταλήγουν στη θάλασσα.
- Μεγάλες διακυμάνσεις στη φόρτιση του κινητήρα του πλοίου.
- Το πλήρωμα εργάζεται σε δυσάρεστο περιβάλλον.
- Αν δεν αντιμετωπιστεί γρήγορα, το πλοίο μπορεί να ανατραπεί.

2.7 Εμπορευματοκιβώτια

Τα εμπορευματοκιβώτια ή όπως αναφέρονται πιο συχνά τα containers, είναι κιβώτια ειδικά σχεδιασμένα ώστε να μπορούν να μεταφερθούν στον τελικό προορισμό χωρίς να χρειάζεται να γίνει κάποια επέμβαση στο περιεχόμενο τους για λόγους που επιβάλλονται από τη μεταφορά. Υπάρχουν διεθνώς αναγνωρισμένες διαστάσεις τέτοιων κιβωτίων που μπορούν να μεταφερθούν και από μέσα μεταφοράς εκτός των πλοίων όπως φορτηγά αυτοκίνητα, τραίνα κ.λπ.. Ως εκ τούτου, ανάλογα με το είδος του μεταφερόμενου αγαθού, τα containers μπορούν να διαφέρουν σε διαστάσεις, δομή και υλικά κατασκευής. Όσον αφορά τις διαστάσεις (σύμφωνα με τις τυποποιημένες διαστάσεις κατά ISO) τα container χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

Μήκος	Πλάτος	Ύψος	Όγκος	ισοδύναμα TEU
10 ft (3.048 m)	8 ft (2.44 m)	8 ft 6 in (2.59 m)	680 cu ft (19.25 m ³)	0.5
20 ft (6.1 m)	8 ft (2.44 m)	8 ft 6 in (2.59 m)	1,360 cu ft (38.5 m ³)	1
40 ft (12.2 m)	8 ft (2.44 m)	8 ft 6 in (2.59 m)	2,720 cu ft (77 m ³)	2
45 ft (13.7 m)	8 ft (2.44 m)	8 ft 6 in (2.59 m)	3,060 cu ft (86.6 m ³)	2.25
48 ft (14.6 m)	8 ft (2.44 m)	8 ft 6 in (2.59 m)	3,264 cu ft (92.4 m ³)	2.4
53 ft (16.2 m)	8 ft (2.44 m)	8 ft 6 in (2.59 m)	3,604 cu ft (102.1 m ³)	2.65

Πίνακας 3: Τυποποιημένες διαστάσεις container κατά ISO 668

⁶ <http://www.marineinsight.com>

Στη πραγματικότητα τα containers 20 ποδών είναι λίγο μικρότερα από 20 πόδια για να μπορούν να τοποθετηθούν δύο από αυτά σε μία θέση ενός container 40 ποδών (40-foot bay). Το πραγματικό μήκος ενός FEU είναι 12.192 m και ενός TEU 6.058 m. Επιπλέον η απόσταση των 76 mm που περισσεύει όταν δύο TEU τοποθετούνται σε ένα “40-foot bay” είναι το διάκενο ανάμεσα τους και αναφέρεται ως “ISO gap”⁷.

Επίσης, πρέπει να αναφερθεί ότι για όλα τα μήκη των container υπάρχουν δύο κατηγορίες ανάλογα τη διάσταση του ύψους. Η μία κατηγορία ονομάζεται “High Cube” και το ύψος της έχει καθοριστεί στα 2.90 m., ενώ η άλλη ονομάζεται “Half Height” και το ύψος της είναι καθορισμένο στα 1.30 m..

Ένας ακόμα μεγάλος διαχωρισμός που υπάρχει στα container έχει σχέση με τη δομή τους. Αυτό καθορίζεται από το είδος του μεταφερόμενου φορτίου. Παρακάτω αναφέρονται οι πιο διαδεδομένοι τύποι (η ονοματολογία είναι στην αγγλική γλώσσα γιατί έτσι γίνεται πιο σαφής ο προσδιορισμός του τύπου container)⁸:

1. Dry storage container

Αποτελεί τον πιο συχνά χρησιμοποιούμενο τύπο μεταφοράς και χρησιμοποιείται για τη μεταφορά ξηρών φορτίων και μεμονωμένων προϊόντων.



Εικόνα 6: Dry storage container

2. Flat rack container

Ο συγκεκριμένος τύπος διαθέτει πτυσσόμενες πλευρές όπου μπορούν να διπλωθούν δημιουργώντας μια επίπεδη πλατφόρμα προσφέροντας τη δυνατότητα μεταφοράς μεγαλύτερης ποικιλίας προϊόντων.



Εικόνα 7: Flat rack container

⁷ Lloyd’s Register: “A MASTER GUIDE TO: CONTAINER SECURING 2nd edition”

⁸ <http://www.marineinsight.com>

3. **Open top container**

Σε αυτό το είδος container η οροφή μπορεί να αφαιρεθεί, έτσι ώστε τα προϊόντα που πρόκειται να μεταφερθούν να μην δέχονται περιορισμό στη διάσταση του ύψους.



Εικόνα 8: Open top container

4. **Tunnel container**

Αυτό το είδος container διαθέτει πόρτες και στα δύο άκρα και το κάνει πολύ χρήσιμο στη φορτοεκφόρτωση του φορτίου.



Εικόνα 9: Tunnel container

5. **Open side storage container**

Αυτός ο τύπος container διαθέτει πόρτες στις πλευρές που το καθιστά πολύ χρήσιμο στη φορτοεκφόρτωση φορτίων με ιδιαιτερότητες στις διαστάσεις τους.



Εικόνα 10: Open side storage container

6. Double doors container

Πρόκειται για ένα είδος container το οποίο διαθέτει πόρτες σε δύο διαφορετικές διαστάσεις κάνοντας το μία ιδανική λύση για μεταφορά οικοδομικών υλικών.



Εικόνα 11: Double doors container

7. Refrigerated ISO containers

Σε αυτό το είδος container η θερμοκρασία μπορεί να ρυθμιστεί σε χαμηλά επίπεδα για προϊόντα που χρειάζονται ψύξη κατά τη μεταφορά τους όπως φρούτα και λαχανικά.



Εικόνα 12: Refrigerated ISO containers

8. Insulated or thermal containers

Αυτά τα containers διαθέτουν μία μονάδα ελέγχου της θερμοκρασίας καθώς και θερμική μόνωση στο εσωτερικό τους που τα καθιστά ικανά να διατηρήσουν μία υψηλή θερμοκρασία καθ' όλη τη διάρκεια του ταξιδιού.



Εικόνα 13: Insulated or thermal containers

9. Tanks

Αυτό το είδος είναι ουσιαστικά δεξαμενές στις διαστάσεις των container οι οποίες περιβάλλονται από ένα χαλύβδινο δικτύωμα για την στοίβαξη τους στα container ships.



Εικόνα 14: Tanks

10. Special purpose containers

Τα συγκεκριμένα containers δεν είναι συνηθισμένα, αφού αφορούν φορτία ειδικού σκοπού. Ενδεικτικά αυτά τα φορτία είναι όπλα ή εκρηκτικά που η μεταφορά τους με ένα απλό container είναι επικίνδυνη. Ως εκ τούτου, η ποιότητα και τα υλικά κατασκευής είναι πολύ υψηλών προδιαγραφών.



Εικόνα 15: Special purpose containers

3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ CONTAINER SHIP

3.1 Βάση δεδομένων

Για την καταγραφή των στοιχείων των πλοίων που μελετήθηκαν χρησιμοποιήθηκε η βάση δεδομένων του Εργαστηρίου Μελέτης Πλοίου ΕΜΠ. Ο αριθμός των πλοίων που μελετήθηκαν από τη βάση αυτή ανέρχεται στα 1489. Έπειτα, συλλέχθηκαν από ναυτιλιακές εταιρείες στοιχεία και σχέδια για 41 πλοία. Τα δεδομένα που καταγράφηκαν αναφέρονται παρακάτω:

- Στοιχεία πλοίου (όνομα πλοίου, αριθμός IMO, τύπος, σημαία, αριθμός πληρώματος κλπ.).
- Κύρια χαρακτηριστικά πλοίου (κύριες διαστάσεις, εκτόπισμα, DWT, Lightship, GT, NT κλπ.).
- Σχεδιαστικά στοιχεία (ύψος διπυθμένων, μήκος βολβού, κυρτότητα, σιμότητα, μήκος προραίου και πρυμναίου τμήματος, μήκος και διαμήκης θέση μηχανοστασίου, μήκος και αριθμός αμπαριών, ισαπόσταση νομέων).
- Χωρητικότητα και κέντρα βάρους δεξαμενών.
- Υδροστατικά μεγέθη σε διάφορες καταστάσεις φόρτωσης.
- Διαστάσεις-διαμήκης θέση των υπερκατασκευών.
- Στοιχεία της προωστήριας εγκατάστασης (κύρια μηχανή, MCR, NCR, στροφές, έλικα, πηδάλιο, κ.λπ.).
- Βοηθητικά μηχανήματα (thrusters, γερανοί).

Συνολικά καταγράφηκαν τεχνικά στοιχεία για 1530 container ships τα οποία όσον αφορά τη χρονολογία κατασκευής τους κατατάσσονται ως εξής:

Χρονολογία	Αριθμός
< 1989	2
1990-1995	458
1996-2001	516
2002-2007	362
> 2008	191

Πίνακας 4: Κατηγοριοποίηση των πλοίων ανάλογα με τη χρονολογία



Διάγραμμα 1: Κατάταξη βάσης δεδομένων ανάλογα με τη χρονολογία

Όσον αφορά το μέγεθος των πλοίων του δείματός με κριτήριο τη χωρητικότητα των ισοδύναμων TEU μπορούμε να τα κατατάξουμε στις παρακάτω κατηγορίες:

TEU	ΑΡΙΘΜΟΣ
και κάτω-1000 (small feeder)	261
1001-2000 (feeder)	383
2001-3000 (feeder max)	216
3001-5000 (panamax)	620
5001-10000 (post panamax)	236
10001-14500 (new panamax)	21
14501- και πάνω (ultra large)	8

Πίνακας 5: Κατηγοριοποίηση των πλοίων ανάλογα με τη χωρητικότητα των TEU

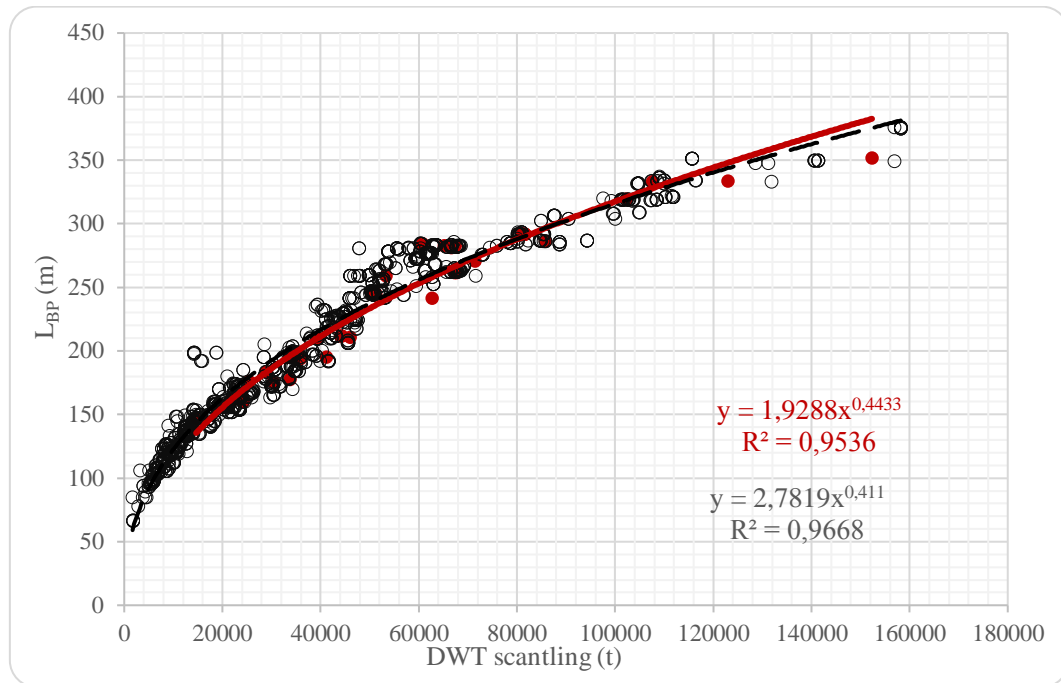


Διάγραμμα 2: Κατάταξη βάσης δεδομένων ανάλογα με τη χωρητικότητα

Δημιουργώντας πλέον τη βάση δεδομένων, μπορούμε με τη χρήση του λογισμικού excel, να κάνουμε τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων μας. Να σημειωθεί ότι για την παραγωγή των διαγραμμάτων, επιλέξαμε μεγέθη που είναι πιθανό να έχουν κάποια αλληλεξάρτηση και όχι μεγέθη που δεν έχουν κάποια φυσική σχέση μεταξύ τους. Επίσης, οι προσεγγιστικοί τύποι που είναι με κόκκινο χρώμα είναι για τα πλοία που συλλέχθηκαν από τις ναυτιλιακές εταιρείες και με μαύρο χρώμα είναι από τη βάση δεδομένων του Ε.Μ.Π.. Επιπλέον, για τον προγραμματισμό του κώδικα χρησιμοποιήθηκαν οι προσεγγιστικοί τύποι που εξάγονται από το συνδυασμό των δύο βάσεων δεδομένων. Στο κεφάλαιο 2 της εργασίας, η βάση δεδομένων με στοιχεία που συλλέχθηκαν από ναυτιλιακές εταιρείες θα αναφέρεται ως Data base A, ενώ η βάση δεδομένων του Ε.Μ.Π. ως Data base B. Τέλος, διαγράμματα που δεν μας έδωσαν κάποια σημαντική πληροφορία δεν παρουσιάζονται στην έκθεση.

3.2 Κύριες διαστάσεις

3.2.1 Μήκος μεταξύ καθέτων (L_{BP})



Διάγραμμα 3: L_{BP} συναρτήσει DWT scantling

Data base AType: $y = 1.9288 * x^{0.4433}$

R-square: 0.9536

Data base BType: $y = 2.7819 * x^{0.411}$

R-square: 0.9668

$$L_{BP} = 2.7805 * DWT^{0.411}$$

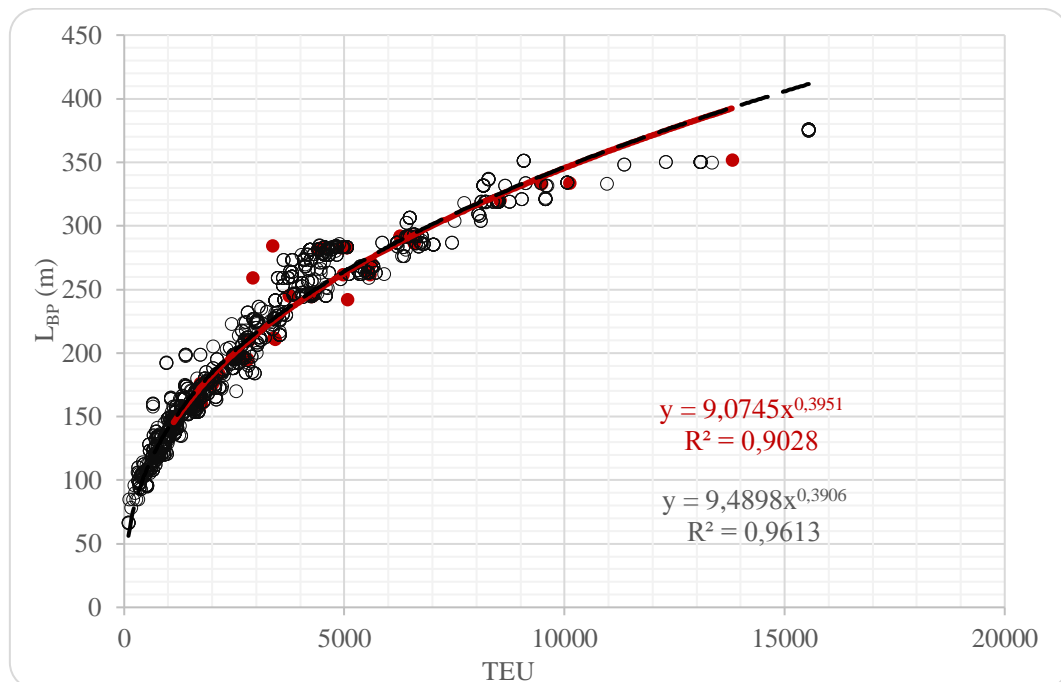
Παρατηρήσεις: Η συσχέτιση του L_{BP} και του deadweight δίνει μία από τις καλύτερες προσεγγιστικά καμπύλες γεγονός που αποδεικνύει τη μεγάλη αλληλεπίδρασή τους. Παρατηρούμε ότι οι δύο καμπύλες σχεδόν ταυτίζονται, ενώ υπάρχει μία μικρή υποεκτίμηση του L_{BP} για πλοία με DWT από 50.000 – 70.000.

Συνδυασμός των δύο Data baseType: $y = 9.4934 * x^{0.3905}$

R-square: 0.9609

Συνδυασμός των δύο Data baseType: $y = 2.7805 * x^{0.411}$

R-square: 0.9668

Διάγραμμα 4: L_{BP} συναρτήσσει ισodύναμα TEU

Data base AType: $y = 9.0745 * x^{0.3951}$

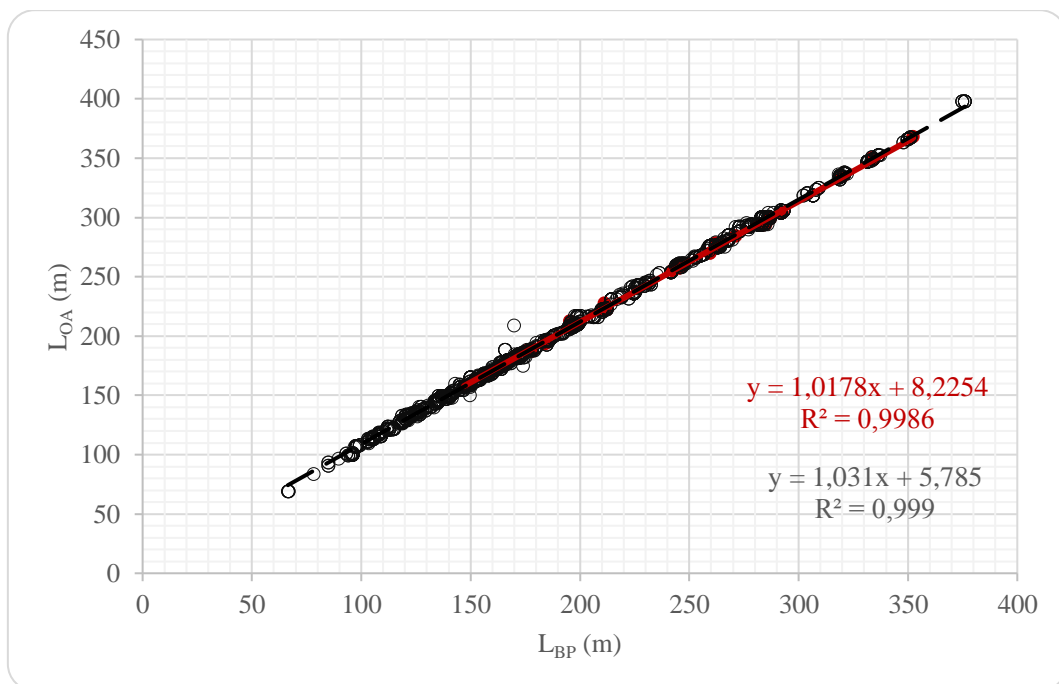
R-square: 0.9028

Data base BType: $y = 9.4898 * x^{0.3906}$

R-square: 0.9613

$$L_{BP} = 0.4934 * DWT^{0.3905}$$

Παρατηρήσεις: Στο διάγραμμα μήκους συναρτήσει των ισοδύναμων TEU, οι δύο προσεγγιστικές καμπύλες σχεδόν συμπίπτουν. Παρατηρούμε ότι σε μεγάλα πλοία το L_{BP} υπερεκτιμάται, ενώ πάλι στη περιοχή από 3.800 – 5.000 υπάρχει μικρή υποεκτίμηση του L_{BP} .

3.2.2 Ολικό Μήκος (LOA)Διάγραμμα 5: L_{OA} συναρτήσει του L_{BP}

Data base AType: $y = 1.0178 * x + 8.2254$

R-square: 0.9986

Data base BType: $y = 1.031 * x + 5.785$

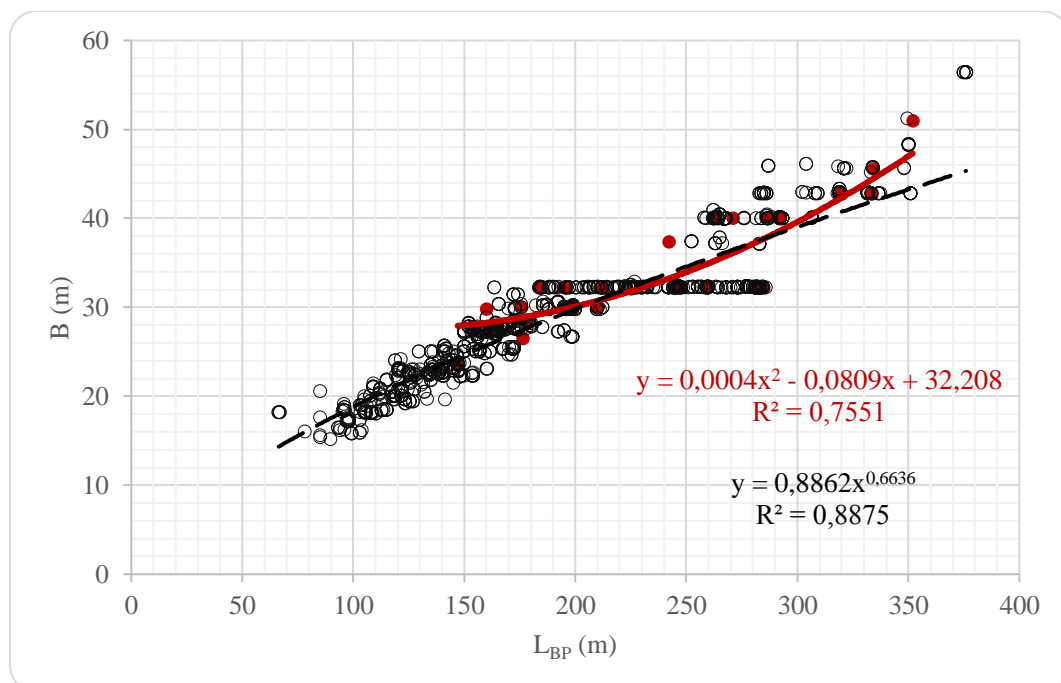
R-square: 0.999

$$L_{OA} = 1.0306 * L_{BP} + 5.8426$$

Παρατηρήσεις: Το διάγραμμα του ολικού μήκους συναρτήσει του μήκους μεταξύ καθέτων αποτελεί ίσως το καλύτερο διάγραμμα της εργασίας, απ' την άποψη της καλής συσχέτισης των δύο μεγεθών.

Συνδυασμός των δύο Data baseType: $y = 1.0306 * x + 5.8426$

R-square: 0.999

3.2.3 Πλάτος (B)Διάγραμμα 6: B συναρτήσει του L_{BP}

Data base AType: $y = 4 * 10^{-4} * x^2 - 0.0809 * x + 32.208$

R-square: 0.7551

Data base BType: $y = 0.8862 * x^{0.6636}$

R-square: 0.8875

$$B = 0.8872 * L_{BP}^{0.6635}$$

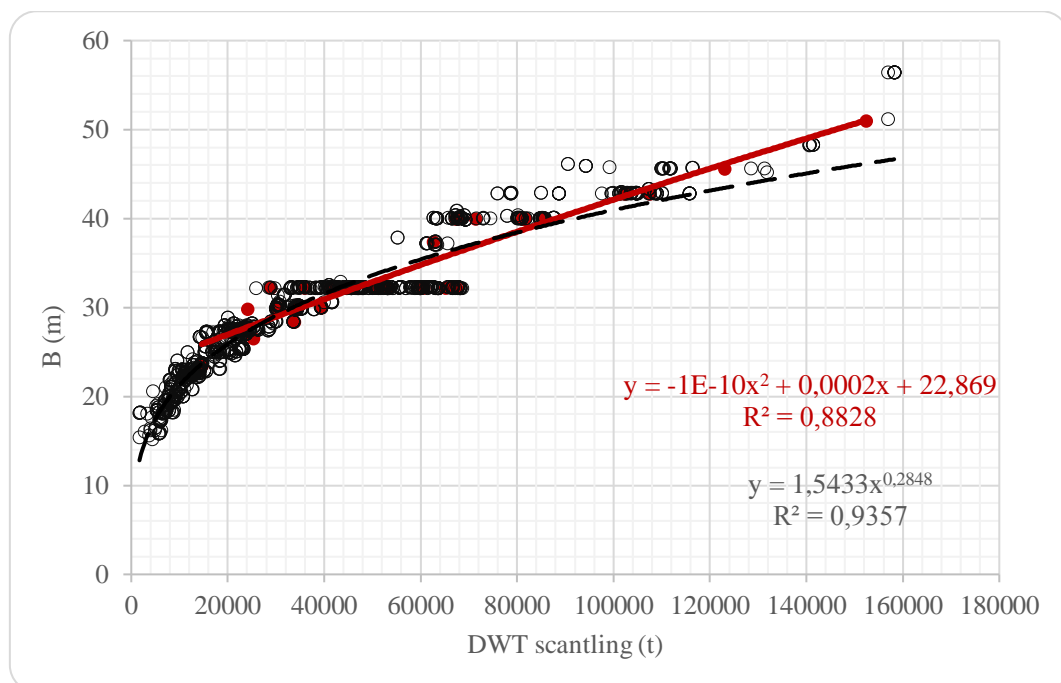
Παρατηρήσεις: Στο διάγραμμα του πλάτους συναρτήσεως του L_{BP} χρησιμοποιήσαμε διαφορετικού τύπου προσεγγιστικές καμπύλες για τις δύο βάσεις δεδομένων, γιατί έτσι είχαμε μικρότερες αποκλίσεις στις συσχετίσεις. Αυτό όμως που είναι ιδιαίτερα εμφανές σ' αυτό το διάγραμμα είναι ότι το πλάτος παραμένει σταθερό για κάποια διαστήματα μηκών, με πιο εμφανή τα πλάτη των πλοίων panamax (32.2 m). Γεγονός που δικαιολογεί τη μέτρια συσχέτιση των δύο μεγεθών

Συνδυασμός των δύο Data baseType: $y = 1.5433 * x^{0.2848}$

R-square: 0.9357

Type: $y = 0.8872 * x^{0.6635}$

R-square: 0.8863



Διάγραμμα 7: B συναρτήσεως του DWT scantling

Data base A

Type: $y = -1 * 10^{-10} * x^2 + 0.0002 * x + 22.869$

R-square: 0.8828

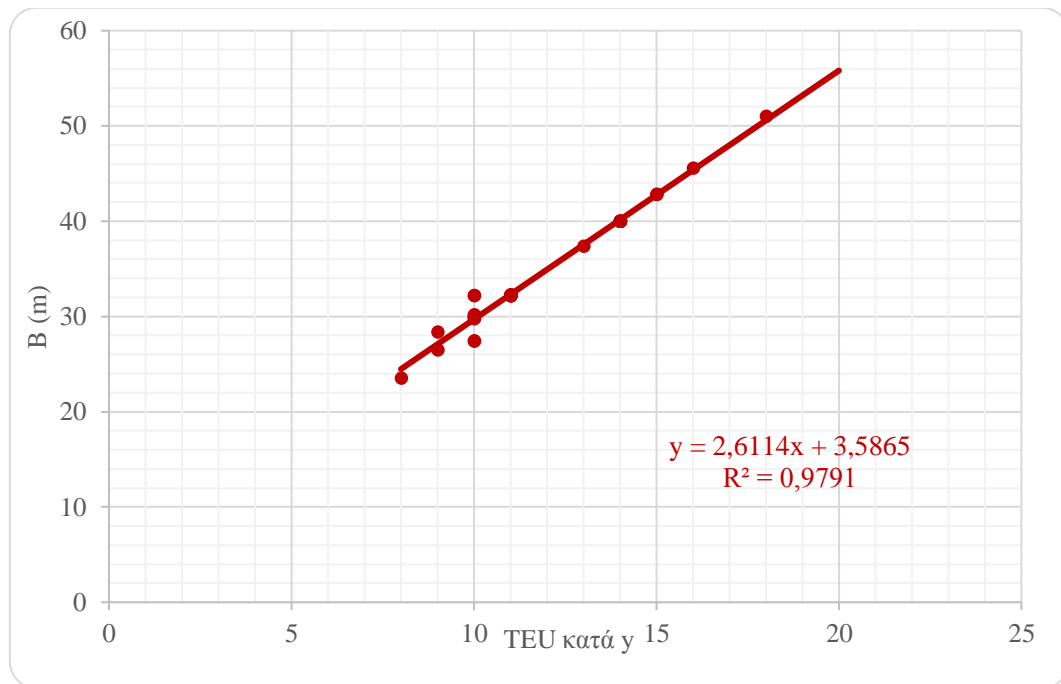
Data base B

Type: $y = 1.5433 * x^{0.2848}$

R-square: 0.9357

$$B = 1.5433 * DWTscant^{0.2848}$$

Παρατηρήσεις: Σ' αυτό το διάγραμμα B και DWT scantling διακρίνουμε παρόμοια χαρακτηριστικά με το διάγραμμα B συναρτήσεως του L_{BP} . Συγκεκριμένα, παρατηρείται σταθερά πλάτη για μεγάλα διαστήματα του DWT, που δικαιολογεί και τη σχετικά μέτρια συσχέτιση των δύο μεγεθών. Οι δύο προσεγγιστικές καμπύλες περιγράφονται από διαφορετικό μαθηματικό τύπο γι' αυτό σε μεγάλα πλάτη υπάρχουν διαφορές στις δύο καμπύλες.



Διάγραμμα 8: B συναρτήσεως των TEU κατά τη διάσταση του πλάτους (y)

Data base A

Type: $y = 2.6114 * x + 3.5865$

R-square: 0.9791

$$B = 2.6114 * TEUy + 3.5865$$

Παρατηρήσεις: Η παραπάνω καμπύλη έχει πολύ μεγάλη σημασία καθώς το πλάτος της σχεδόν πάντα υπολογίζεται όπως έχει προαναφερθεί, δηλαδή με την χωρητικότητα των TEU που επιθυμεί ο μελετητής κατά τη διάσταση του πλάτους. Επίσης, παρατηρούμε ότι ο προσεγγιστικός τύπος πλησιάζει αρκετά τον τύπο που χρησιμοποιούμε στη μελέτη που δίνει το πλάτος συναρτήσεως των TEU,

$$B=3n + 2.2, \text{ όπου } n \text{ ο αριθμός των TEU.}$$

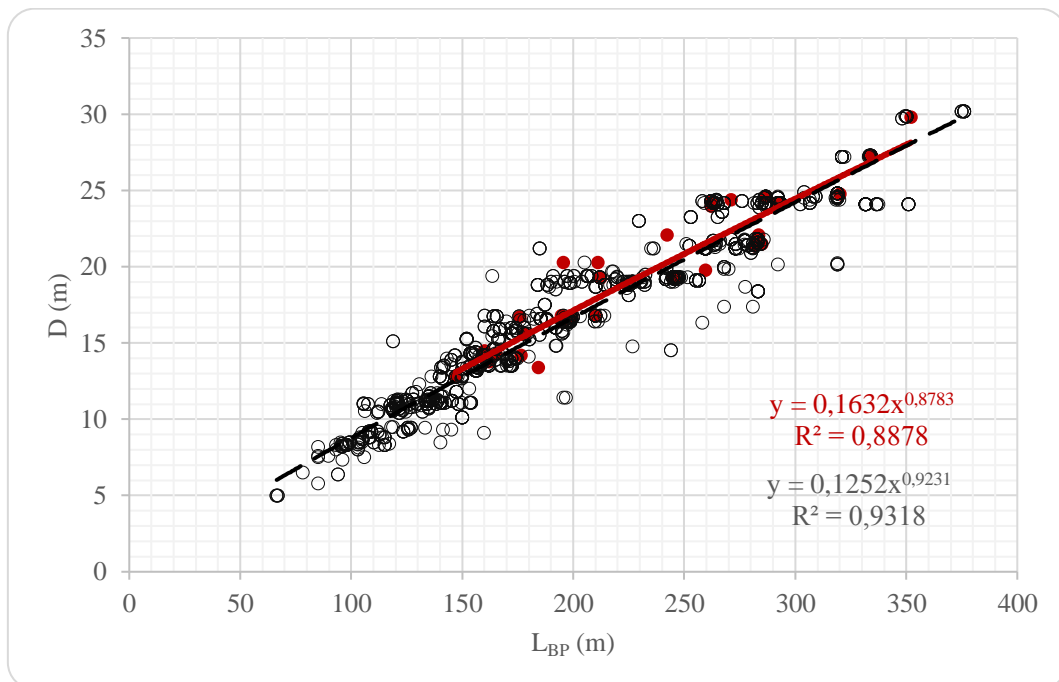
Ακόμα να σημειωθεί σ' αυτό το σημείο ότι το πλάτος όλων των τύπων container είναι 2.44 m..

3.2.4 Κοίλο (D)

Συνδυασμός των δύο Data base

$$\text{Type: } y = 0.1251 * x^{0.9234}$$

$$\text{R-square: } 0.9318$$



Διάγραμμα 9: D συναρτήσει του LBP

Data base A

$$\text{Type: } y = 0.1632 * x^{0.8783}$$

R-square: 0.8878

Data base B

$$\text{Type: } y = 0.1252 * x^{0.9231}$$

R-square: 0.9318

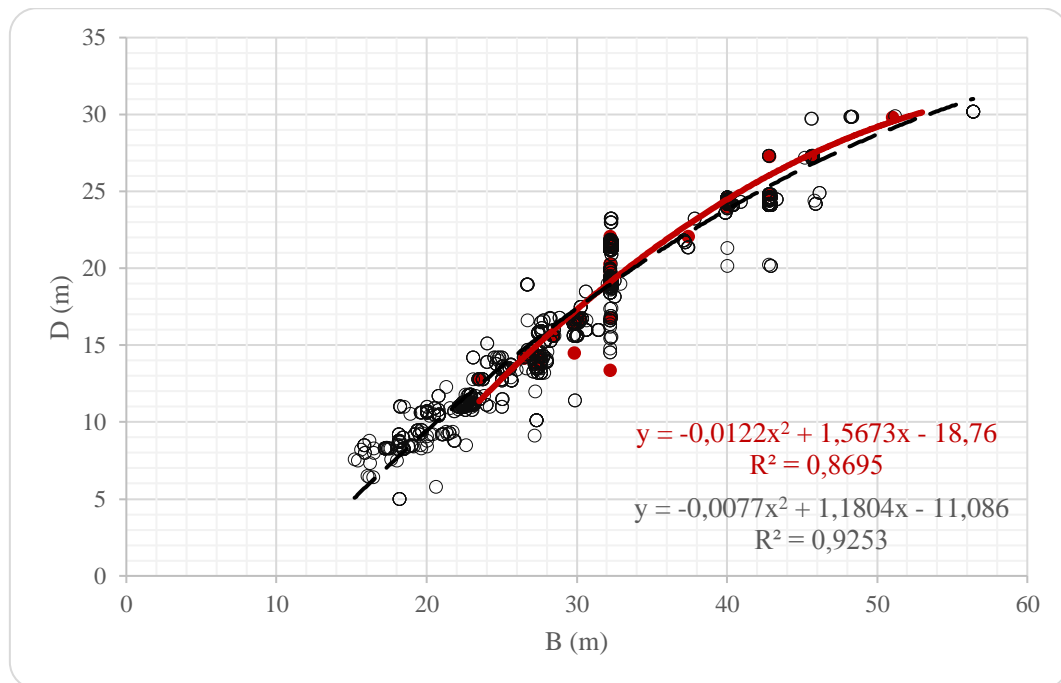
$$D = 0.1251 * L_{BP}^{0.9234}$$

Παρατηρήσεις: Στο διάγραμμα του κοίλου συναρτήσε του L_{BP} βλέπουμε μία καλή συσχέτιση σχεδόν γραμμικής αναλογίας. Αρκετές τιμές του κοίλου παρατηρούμε να έχουν σχετικά μεγάλο σφάλμα διότι το κοίλο είναι η πιο συνηθισμένη διάσταση να αλλάξει, σε σχέση με το πλάτος και το μήκος. Παρ' όλα αυτά, δίνει πολύ χρήσιμες συμβουλές για τον σχεδιαστή καθώς ο λόγος L_{BP}/D σε συνδυασμό με το λόγο L_{BP}/B παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμική αντοχή του πλοίου αφού για υψηλές τιμές αυτών το πρόβλημα ανάγεται στη θεώρηση του πλοίου ως καμπτόμενη δοκός και χρήζει ιδιαίτερης εξέτασης. Οι δύο καμπύλες φαίνεται να μην έχουν ουσιαστικές διαφορές μεταξύ τους.

Συνδυασμός των δύο Data base

$$\text{Type: } y = -0.0077 * x^2 + 1.797 * x - 11.091$$

R-square: 0.9248



Διάγραμμα 10: D συναρτήσε του B

Data base A

$$\text{Type: } y = -0.0122 * x^2 + 1.5673 * x - 18.76$$

R-square: 0.8695

Data base BType: $y = -0.0077 * x^2 + 1.1804 * x - 11.086$

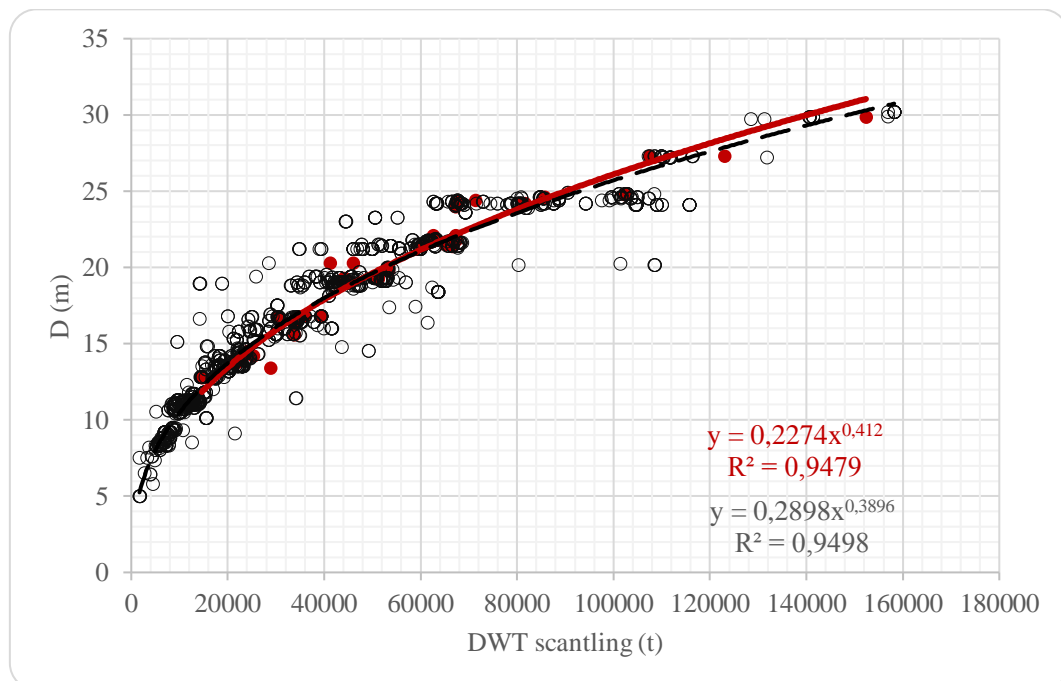
R-square: 0.9253

$$D = -0.0077 * B^2 + 1.797 * B - 11.091$$

Παρατηρήσεις: Στο συγκεκριμένο διάγραμμα παρατηρούμε αυτό που φαίνεται σε όλα τα διαγράμματα που εμπλέκεται το πλάτος, ότι δηλαδή παραμένει σταθερό για κάποια διαστήματα του άλλου μεγέθους, στη συγκεκριμένη περίπτωση του κοίλου. Μία τιμή του πλάτους που είναι αρκετά εμφανής ότι παραμένει σταθερή για ένα μεγάλο διάστημα του κοίλου είναι το 32.2, το οποίο αντιστοιχεί σε χωρητικότητα κατά τη διάσταση του πλάτους 10 TEU.

Συνδυασμός των δύο Data baseType: $y = 0.2891 * x^{0.3898}$

R-square: 0.9502



Διάγραμμα 11: D συναρτήσει του DWT scantling

Data base AType: $y = 0.2274 * x^{0.412}$

R-square: 0.9479

Data base BType: $y = 0.2898 * x^{0.3896}$

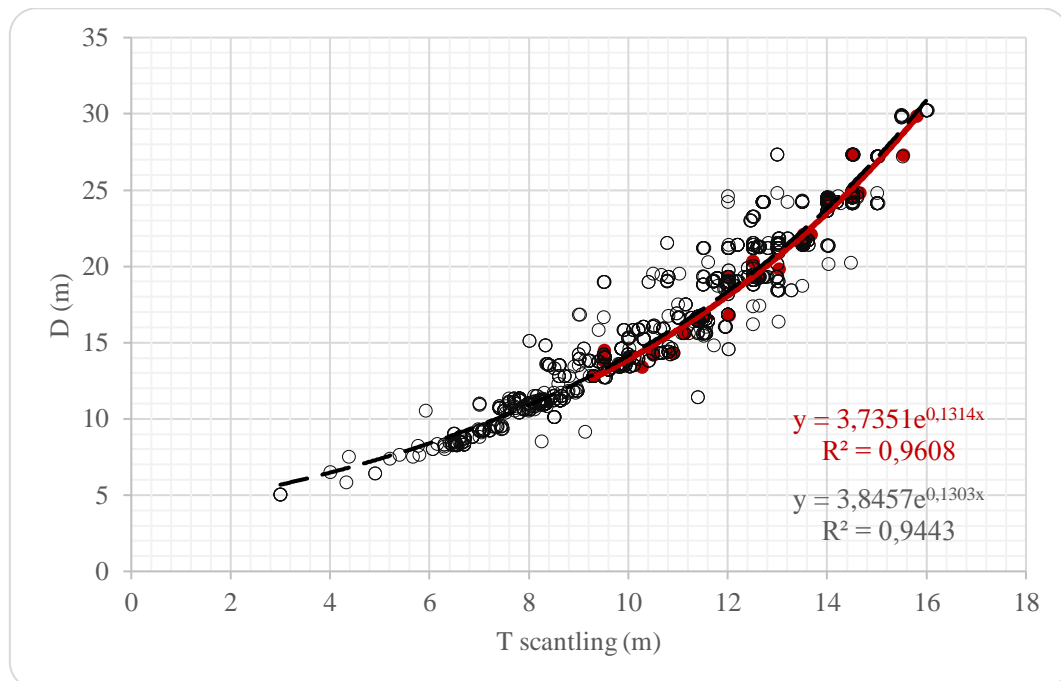
R-square: 0.9498

$$D = 0.2891 * DWT_{scant.}^{0.3898}$$

Παρατηρήσεις: Στο διάγραμμα του κοίλου σε συνάρτηση με το deadweight scantling παρατηρούμε δύο προσεγγιστικές καμπύλες με πολύ καλή συσχέτιση, οι οποίες δεν έχουν ουσιαστικές διαφορές. Επίσης παρατηρούμε την μεγάλη διασπορά ενός μικρού αριθμού πλοίων.

Συνδυασμός των δύο Data baseType: $y = 3.848 * e^{0.1302 * x}$

R-square: 0.9449



Διάγραμμα 12: D συναρτήσει του T scantling

Data base AType: $y = 3.7351 * e^{0.1314 * x}$

R-square: 0.9608

Data base B

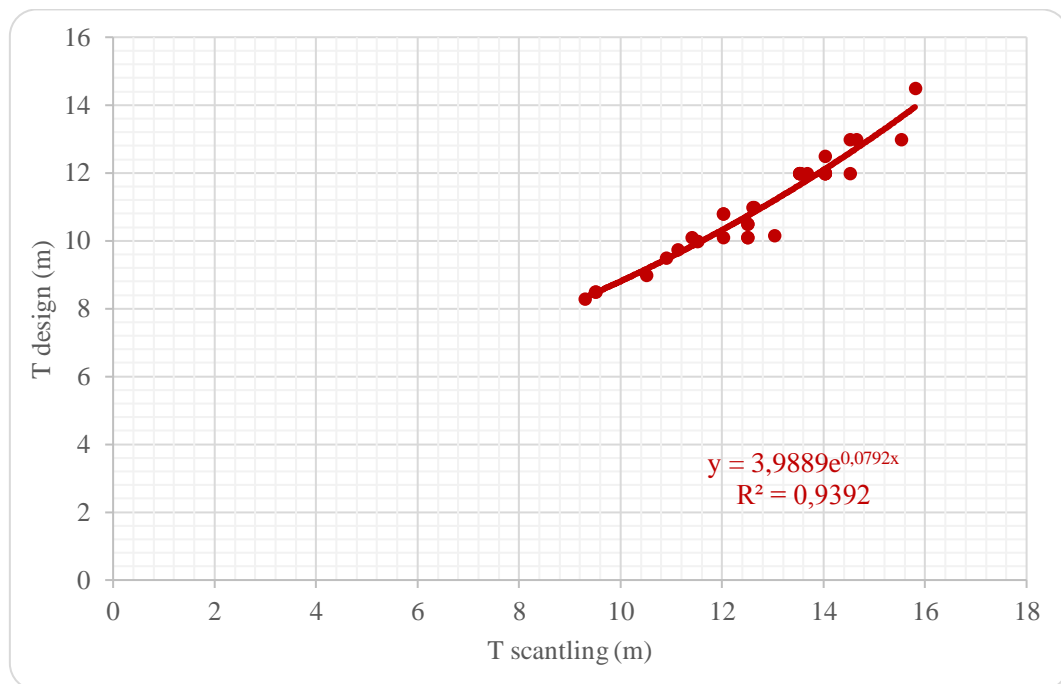
Type: $y = 3.8457 * e^{0.1303 * x}$

R-square: 0.9443

$$D = 3.848 * e^{0.1302 * T_{scant.}}$$

Παρατηρήσεις: Το διάγραμμα του κούλου συναρτήσει του βυθίσματος αντοχής, δίνει μία πολύ καλή εικόνα στον μελετητή για τα δύο μεγέθη με μικρή πιθανότητα λάθους της εκτίμησης του ενός απ' το άλλο αν και εδώ υπάρχει μεγάλη απόκλιση από τη προσεγγιστική καμπύλη μικρού αριθμού πλοίων.

3.2.5 T design



Διάγραμμα 13: T design συναρτήσει του T scantling

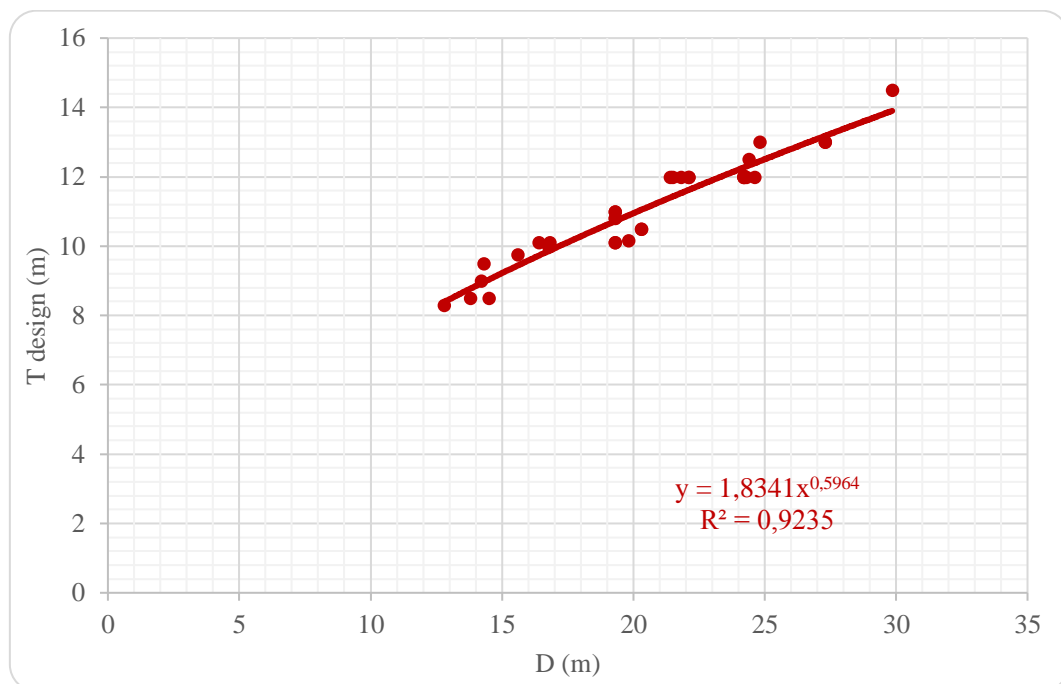
Data base A

Type: $y = 3.9889 * e^{0.0792 * x}$

R-square: 0.9392

$$T_{des.} = 3.9889 * e^{0.0792 * T_{scant.}}$$

Παρατηρήσεις: Στο παραπάνω διάγραμμα παρόλο ότι υπάρχουν δεδομένα μόνο από την μία βάση δεδομένων, η οποία δεν αποτελείται από πολλά πλοία, παρατηρείται ότι υπάρχει πολύ καλή συσχέτιση του βυθίσματος σχεδίασης με το βύθισμα αντοχής.



Διάγραμμα 14: T design συναρτήσει του D

Data base A

Type: $y = 1.8341 * x^{0.5964}$

R-square: 0.9235

$$T_{des.} = 1.8341 * D^{0.5964}$$

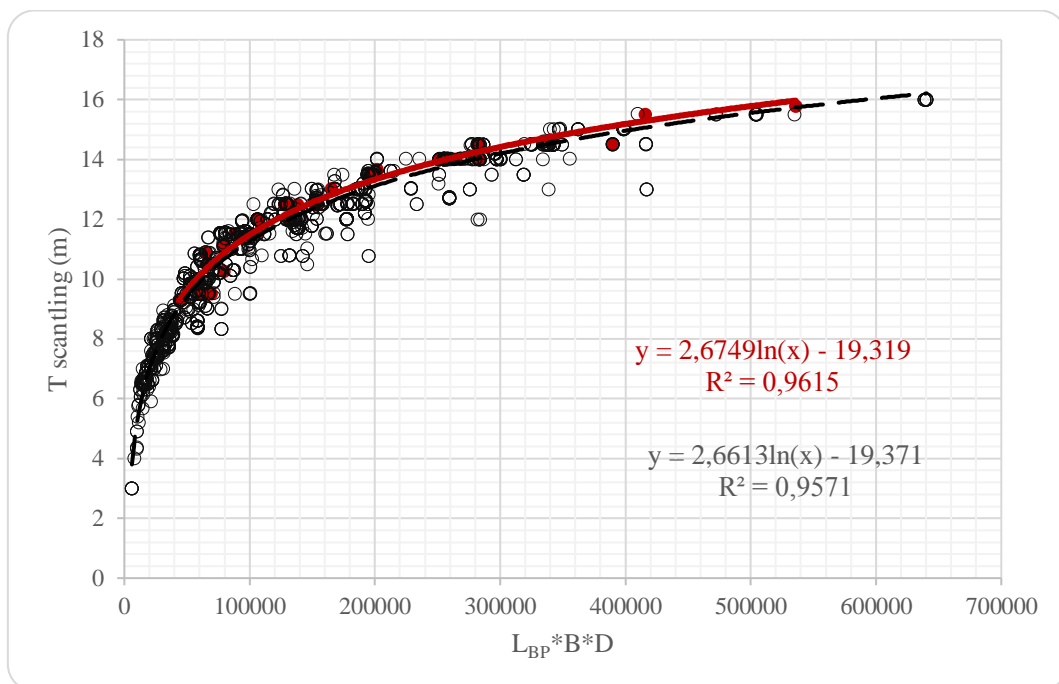
Παρατηρήσεις: Το διάγραμμα που παρουσιάζει το βύθισμα σχεδίασης σχετικά με το κοίλο δείχνει ότι τα δύο μεγέθη έχουν άμεσο συσχετισμό μεταξύ τους. Ο συσχετισμός αυτός μπορεί να δώσει στο σχεδιαστή του πλοίου σημαντικές πληροφορίες για την επιλογή του κοίλου, γνωρίζοντας τους περιορισμούς βυθίσματος.

3.2.6 T scantling

Συνδυασμός των δύο Data base

$$y = 2.665 * \ln(x) - 19.407$$

R-square: 0.9575



Διάγραμμα 15: T scantling συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$

Data base A

Type: $y = 2.6749 * \ln(x) - 19.319$

R-square: 0.9235

Data base B

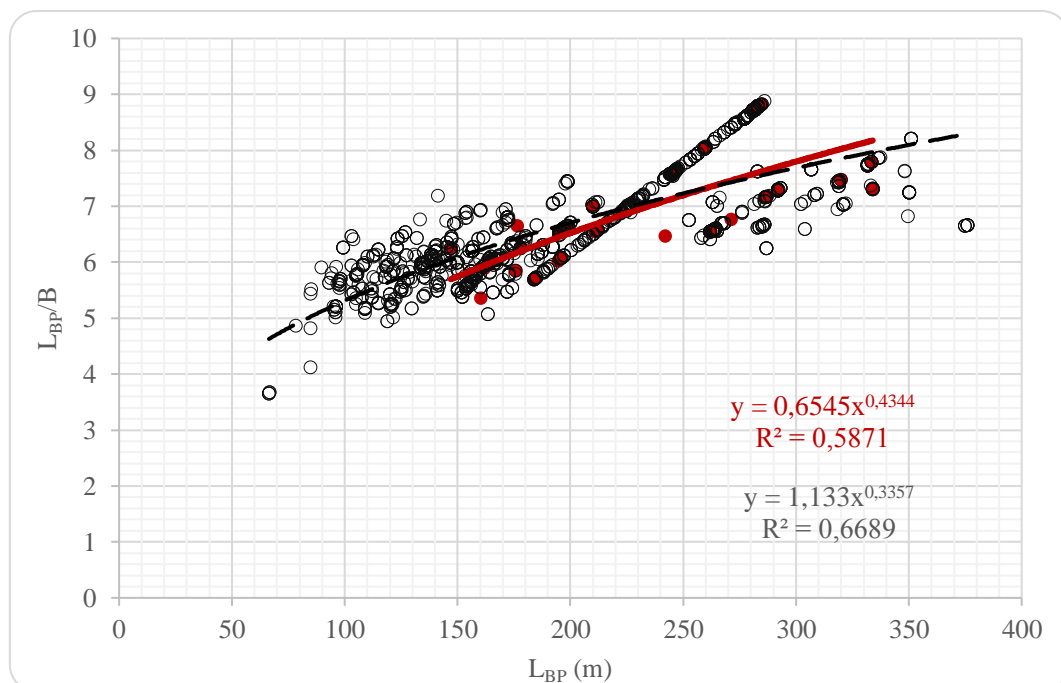
Type: $y = 2.6749 * \ln(x) - 19.319$

R-square: 0.9615

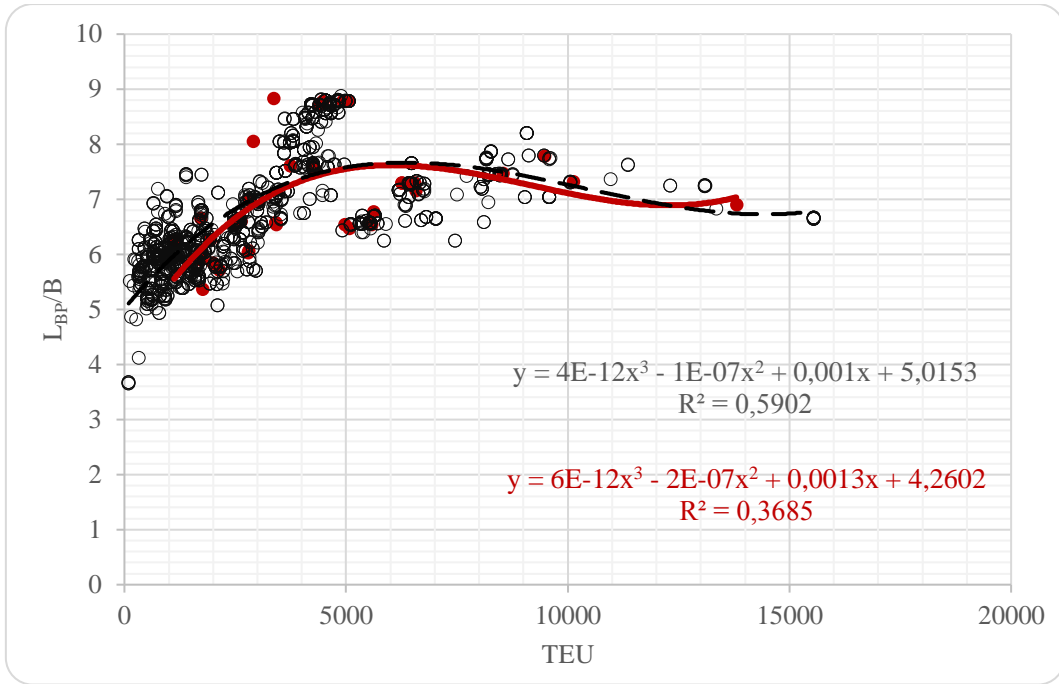
$$Tscant. = 2.6765 * \ln(L_{BP} * B * D) - 19.407$$

Παρατηρήσεις: Στο διάγραμμα που παρουσιάζεται σ' αυτό το σημείο, εξετάζεται η συσχέτιση του βυθίσματος αντοχής ενός μεγέθους πολλές φορές πιο σημαντικό απ' το βύθισμα σχεδίασης, συναρτήσει του γινομένου των τριών κύριων διαστάσεων. Το αποτέλεσμα είναι μία αρκετά ποιοτική προσεγγιστική καμπύλη.

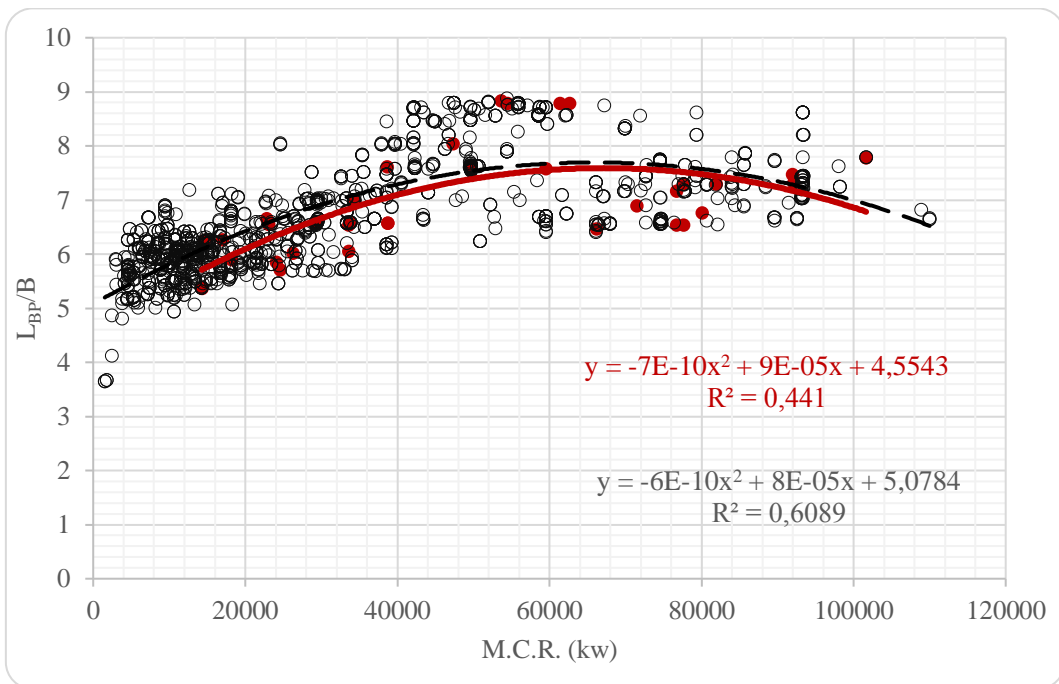
3.2.7 Λόγοι κύριων διαστάσεων



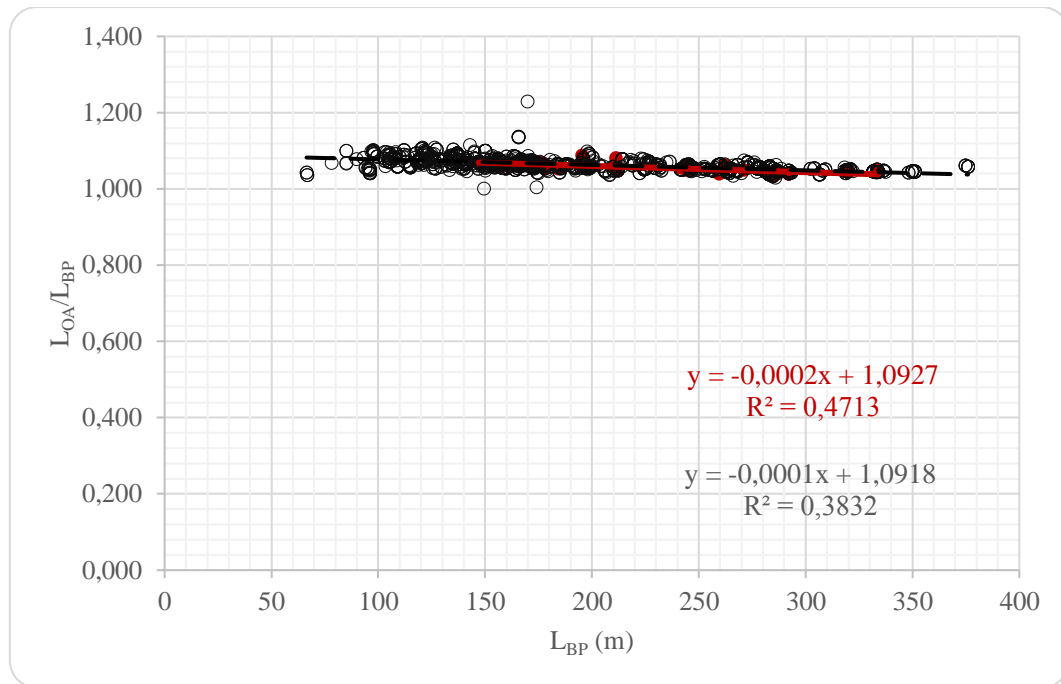
Διάγραμμα 16: Ο λόγος L_{BP}/B συναρτήσει του L_{BP}



Διάγραμμα 17: Ο λόγος L_{BP}/B συναρτήσει του TEU



Διάγραμμα 18: Ο λόγος L_{BP}/B συναρτήσει του M.C.R.

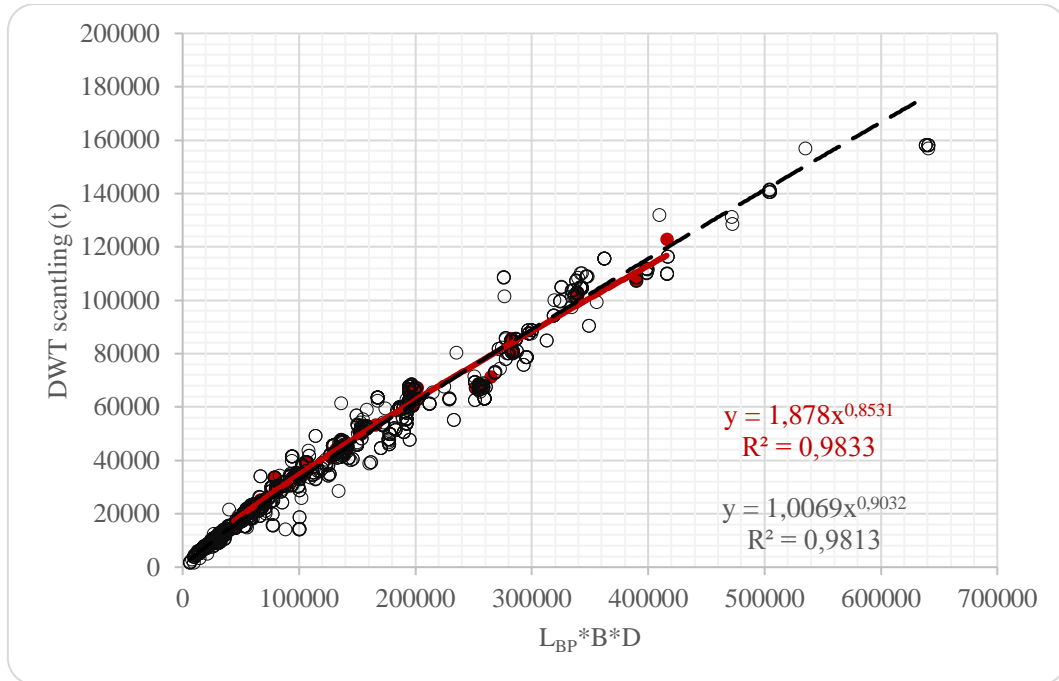


Διάγραμμα 19: Ο λόγος L_{OA}/L_{BP} συναρτήσει του L_{BP}

Παρατηρήσεις: Τα διαγράμματα τα οποία παρουσιάζουν συσχετίσεις λόγων μεγεθών είναι πολύ χρήσιμα στη φάση της προμελέτης. Παραπάνω φαίνονται κάποια ποιοτικά διαγράμματα για να γίνει κατανοητό που περίπου κυμαίνονται οι λόγοι των κυρίων διαστάσεων των container ships. Στο [διάγραμμα 16](#) παρατηρούνται κάποιοι λόγοι που αυξάνονται για σταθερό πλάτος με πιο εμφανή τα πλοία panamax.

3.3 Χωρητικότητες-Βάρη

3.3.1 DWT scantling



Διάγραμμα 20: DWT scantling συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$

Data base A

Type: $y = 1.878 * x^{0.8531}$

R-square: 0.9833

Data base B

Type: $y = 1.0069 * x^{0.9032}$

R-square: 0.9813

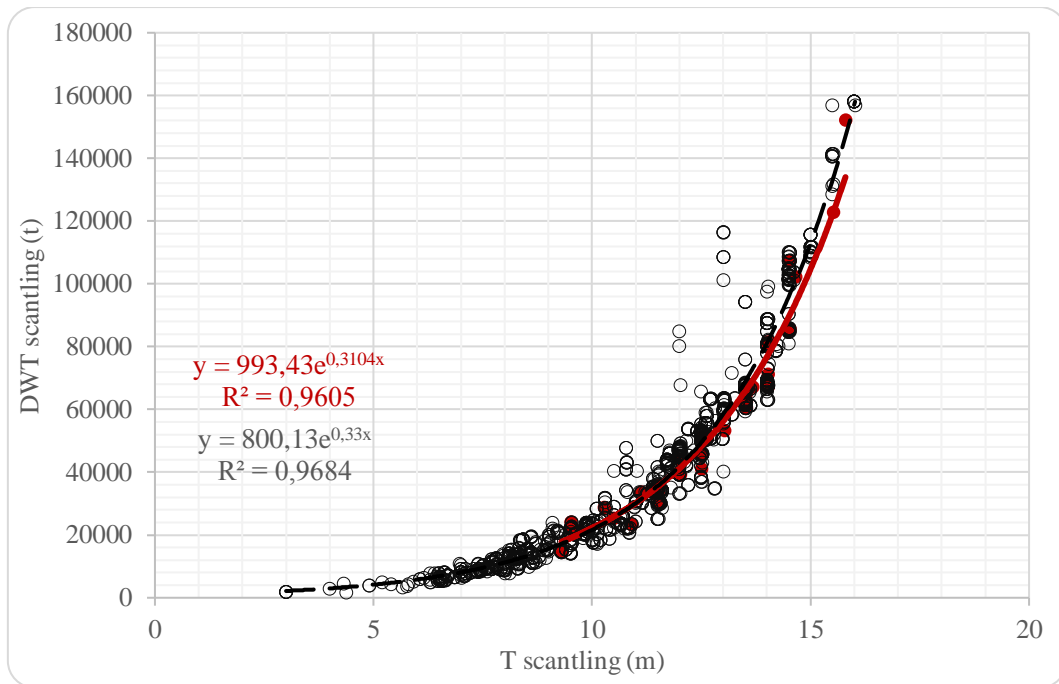
Συνδυασμός των δύο Data base

Type: $y = 1.0085 * x^{0.9031}$

R-square: 0.9815

$$DWT_{scant.} = 1.0085 * (L_{BP} * B * D)^{0.9031}$$

Παρατηρήσεις: Το διάγραμμα του DWT scantling συναρτήσει του γινομένου μήκους, πλάτους και κοίλου αποτελεί ένα από τα καλύτερα διαγράμματα της μελέτης από άποψη συσχέτισης, πράγμα που το κάνει ένα σημαντικότερο εργαλείο στα χέρια του μελετητή.



Διάγραμμα 21: DWT scantling συναρτήσει του T scantling

Data base A

Type: $y = 993.43 * e^{0.3104 * x}$

R-square: 0.9605

Συνδυασμός των δύο Data base

Type: $y = 803.32 * e^{0.3295 * x}$

R-square: 0.9685

Data base B

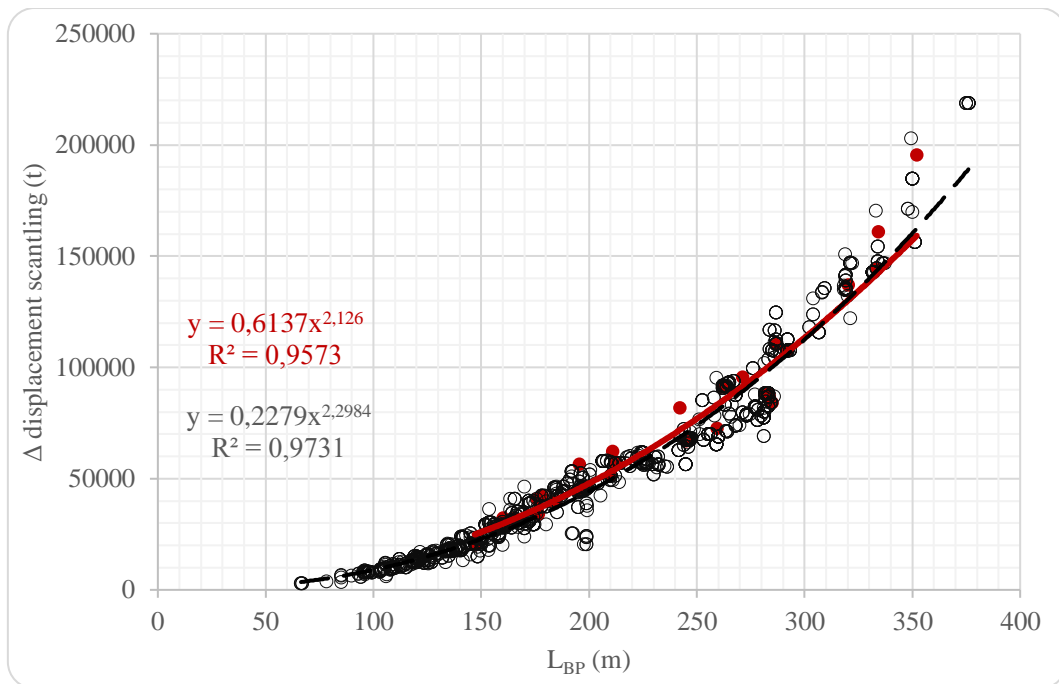
Type: $y = 800.13 * e^{0.33 * x}$

R-square: 0.9684

$$DWT_{scant.} = 803.32 * e^{0.3295 * T_{scant.}}$$

Παρατηρήσεις: Η εκτίμηση του DWT scantling από το βύθισμα αντοχής ή και το αντίθετο αποτελεί ένα απ' τους πιο αξιόπιστους τρόπους υπολογισμού των δύο αυτών μεγεθών. Επιπροσθέτως, οι δύο προσεγγιστικές καμπύλες των δύο βάσεων δεδομένων σχεδόν ταυτίζονται.

3.3.2 Εκτόπισμα Δ



Διάγραμμα 22: Δ συναρτήσει του L_{BP}

Data base A

Type: $y = 0.6137 * x^{2.126}$

R-square: 0.9573

Συνδυασμός των δύο Data base

Type: $y = 0.2281 * x^{2.2984}$

R-square: 0.973

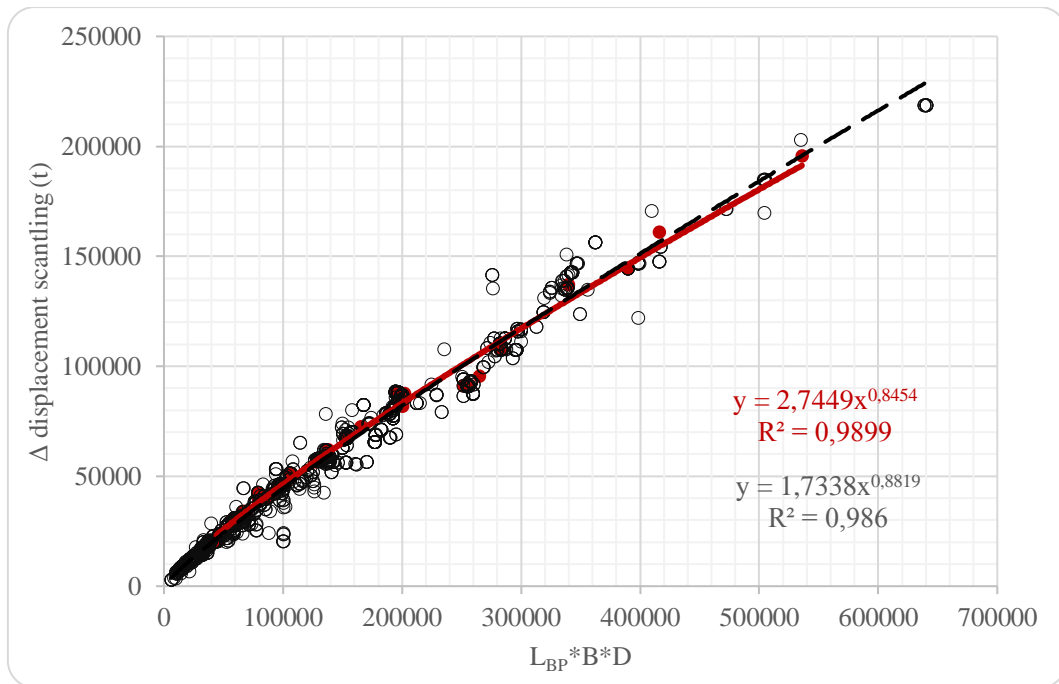
Data base B

Type: $y = 0.2279 * x^{2.2984}$

R-square: 0.9731

$$\Delta = 0.2281 * L_{BP}^{2.2984}$$

Παρατηρήσεις: Η επιλογή του μήκους έχει άμεση σχέση με το εκτόπισμα του πλοίου, αφού συνεπάγεται αρχικά αύξηση της χωρητικότητας, και έπειτα αύξηση της μεταλλικής κατασκευής και του βάρους εξοπλισμού.



Διάγραμμα 23: Δ συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$

Data base A

Type: $y = 2.7449 * x^{0.8454}$
R-square: 0.9899

Συνδυασμός των δύο Data base

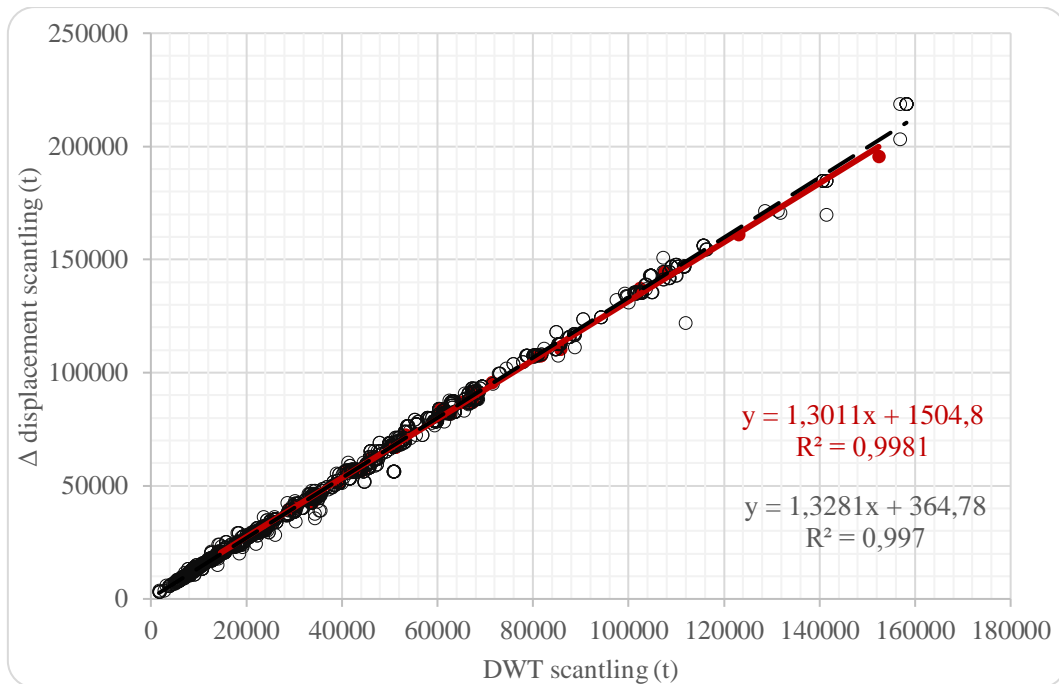
Type: $y = 1.7356 * x^{0.8819}$
R-square: 0.9861

Data base B

Type: $y = 1.7338 * x^{0.8819}$
R-square: 0.986

$$\Delta = 1.7356 * (L_{BP} * B * D)^{0.8819}$$

Παρατηρήσεις: Το διάγραμμα του εκτοπίσματος συναρτήσει το γινομένου μήκους, πλάτους και κοίλου αποτελεί ένα ακόμα πολύ καλό διάγραμμα της εργασίας λαμβάνοντας υπόψη το συσχετισμό των δύο μεγεθών. Ο συσχετισμός αυτός εκτός από λογικός, αποδεικνύεται όπως φαίνεται και πειραματικά.



Διάγραμμα 24: Δ συναρτήσεσι του DWT scantling

Data base A

Type: $y = 1.3011 \cdot x + 1504.8$

R-square: 0.9981

Συνδυασμός των δύο Data base

Type: $y = 1.3273 \cdot x + 386.9$

R-square: 0.997

Data base B

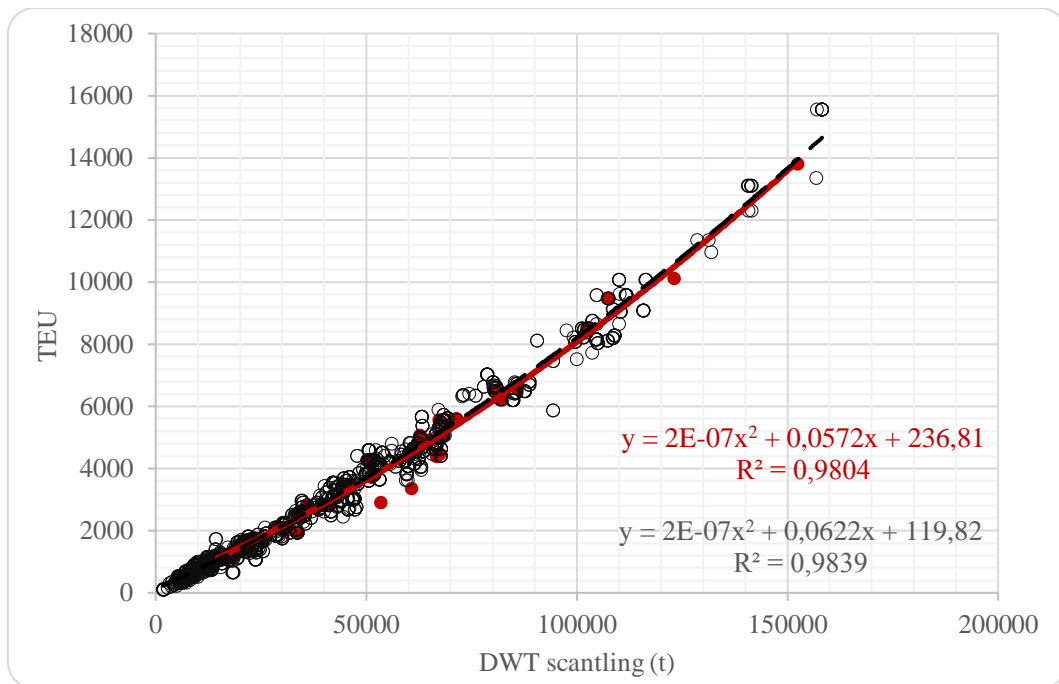
Type: $y = 1.3281 \cdot x + 364.78$

R-square: 0.997

$$\Delta = 1.3273 \cdot DWTscant. + 386.9$$

Παρατηρήσεις: Το εκτόπισμα όπως φαίνεται παραπάνω και είναι λογικό να αλλάζει αναλογικά με το DWT scantling. Η ακρίβεια των προσεγγιστικών καμπύλων είναι σχεδόν τέλεια και βοηθά σ' έναν πολύ αξιόπιστο υπολογισμό του εκτοπίσματος στη περίπτωση που γνωρίζουμε το DWT scantling ή και το αντίθετο.

3.3.3 TEU



Διάγραμμα 25: TEU συναρτήσει του DWT scantling

Data base AType: $y = 2 * 10^{-7} * x^2 + 0.0572 * x + 236.81$

R-square: 0.9804

Συνδυασμός των δύο Data baseType: $y = 2 * 10^{-7} * x^2 + 0.0621 * x + 121.7$

R-square: 0.9839

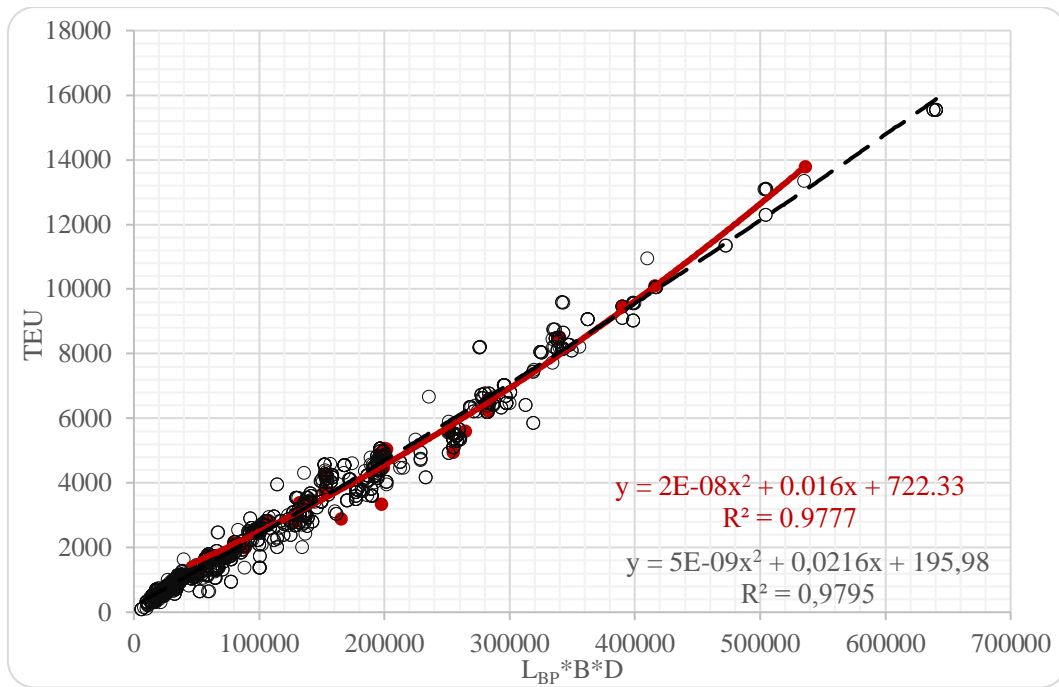
Data base BType: $y = 2 * 10^{-7} * x^2 + 0.0622 * x + 119.82$

R-square: 0.9839

$$TEU = 2 * 10^{-7} * DWTscant.^2 + 0.0621 * DWTscant. + 121.7$$

$$DWTscant. = -0.0003 * TEU^2 + 14.309 * TEU + 187.41$$

Παρατηρήσεις: Το διάγραμμα που περιγράφει το συσχετισμό των ισοδύναμων TEU με το DWT scantling αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για τον σχεδιαστή αφού προσφέρει πολύ καλή ακρίβεια και πολύ μικρό σφάλμα. Παραπάνω δίνεται και η σχέση του DWT scantling συναρτήσει των TEU.



Διάγραμμα 26: TEU συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$

Data base A

Type: $y = 2 * 10^{-8} * x^2 + 0.016 * x + 722.33$
 R-square: 0.9777

Συνδυασμός των δύο Data base

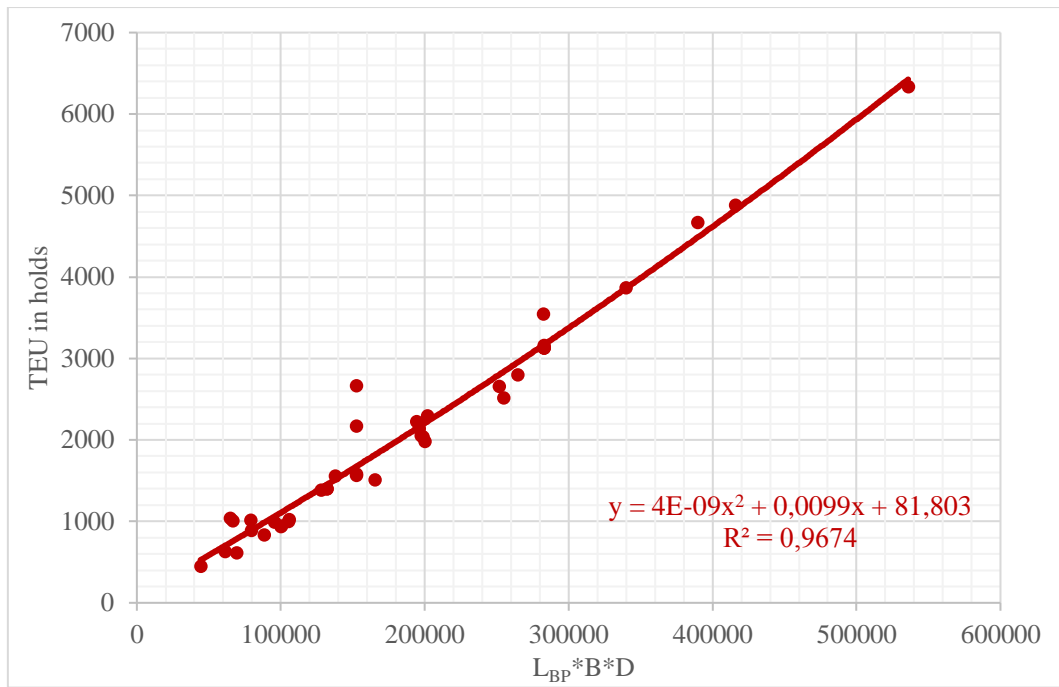
Type: $y = 5 * 10^{-9} * x^2 + 0.0215 * x + 202.04$
 R-square: 0.9795

Data base B

Type: $y = 5 * 10^{-9} * x^2 + 0.0216 * x + 195.98$
 R-square: 0.9795

$$TEU = 5 * 10^{-9} * (L_{BP} * B * D)^2 + 0.0215 * (L_{BP} * B * D) + 202.04$$

Παρατηρήσεις: Το παραπάνω διάγραμμα αποτελεί ίσως τον πιο αξιόπιστο τρόπο υπολογισμού των ισοδύναμων TEU εφόσον ο μελετητής γνωρίζει τις διαστάσεις του μήκους, του πλάτους και του κοίλου. Αν και σε γενικές γραμμές η ακρίβεια των δύο προσεγγιστικών καμπύλων είναι αρκετά καλή, στα πολύ μεγάλα μεγέθη πλοίων παρατηρείται ότι οι δύο καμπύλες δεν ταυτίζονται.



Διάγραμμα 27: TEU in holds συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$

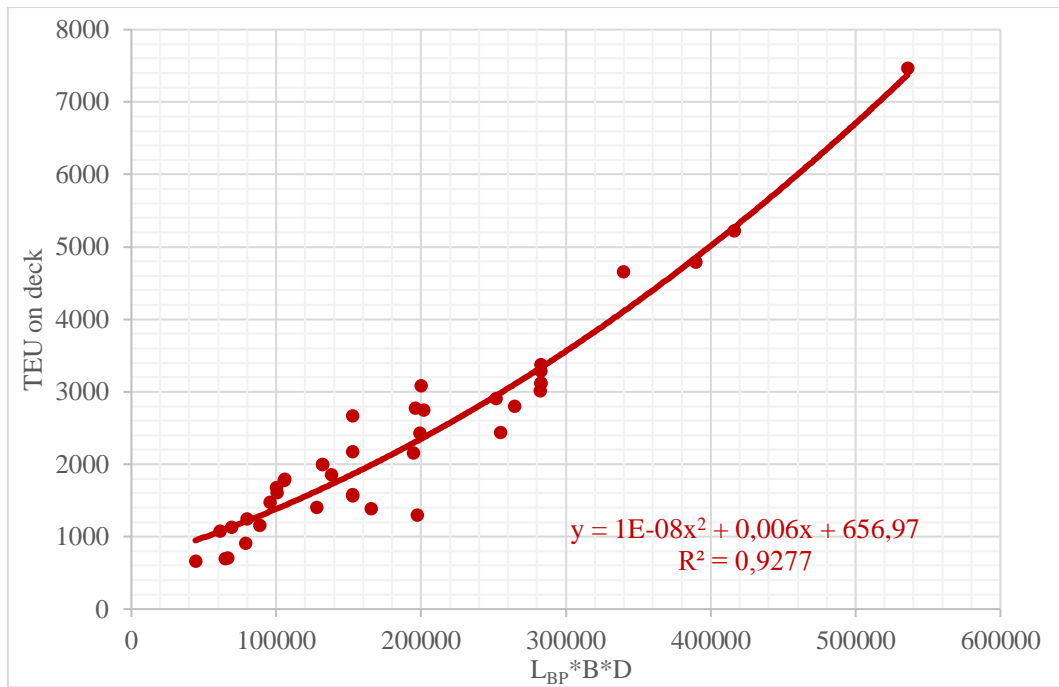
Data base ναυτιλιακών εταιρειών

Type: $y = 4 * 10^{-9} * x^2 + 0.0099 * x + 81.803$

R-square: 0.9674

$$TEU_{inhold} = 4 * 10^{-9} * (L_{BP} * B * D)^2 + 0.0099 * (L_{BP} * B * D) + 81.803$$

Παρατηρήσεις: Τα ισοδύναμα TEU που τοποθετούνται κάτω από το κύριο συνεχές κατάστρωμα μπορούμε να τα υπολογίσουμε με αρκετά καλή ακρίβεια συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$ αν και το δείγμα που έχουμε δεν είναι αρκετά μεγάλο.



Διάγραμμα 28: TEU on deck συναρτήσει του $L_{BP} \cdot B \cdot D$

Data base A

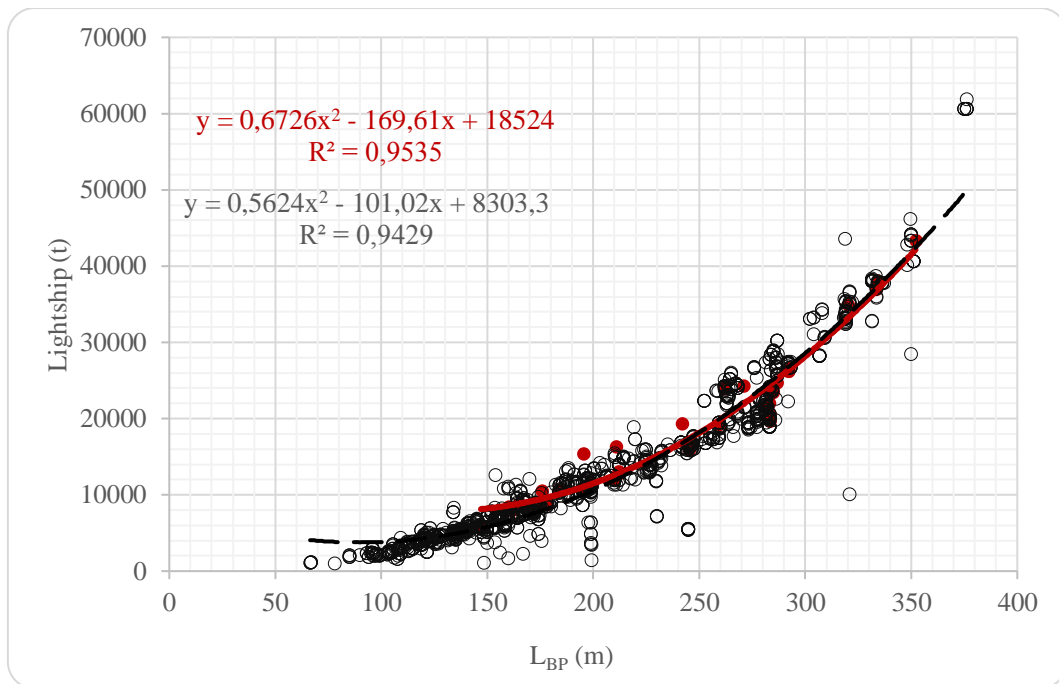
Type: $y = 1 \cdot 10^{-8} \cdot x^2 + 0.006 \cdot x + 656.97$

R-square: 0.9277

$$TEU_{ondeck} = 1 \cdot 10^{-8} \cdot x^2 + 0.006 \cdot x + 656.97$$

Παρατηρήσεις: Στο διάγραμμα των ισοδύναμων TEU συναρτήσει του $L_{BP} \cdot B \cdot D$ βλέπουμε ένα μέτριο συσχετισμό σε σχέση με άλλα διαγράμματα, παρόλα αυτά μπορούμε να λάβουμε μία πρώτη εικόνα των δύο μεγεθών. Το πιο πιθανό γι' αυτόν το μέτριο συσχετισμό είναι ότι τα TEU πάνω από το κατάστρωμα δεν είναι μόνο ένα πρόβλημα χωρητικότητας, αλλά υπεισέρχονται και άλλα προβλήματα όπως της ευστάθειας και του οπτικού πεδίου που πρέπει να υπάρχει απ' τη γέφυρα (visibility line), με αποτέλεσμα ο συνδυασμός αυτών να διαφέρει από πλοίο σε πλοίο.

3.3.4 Βάρος κενού Σκάφους (Lightship)



Διάγραμμα 29: Lightship συναρτήσεως του L_{BP}

Data base A

Type: $y = 0.6726 * x^2 - 169.61 * x + 18524$

R-square: 0.9535

Συνδυασμός των δύο Data base

Type: $y = 0.5599 * x^2 - 100.14 * x + 8247$

R-square: 0.9433

Data base B

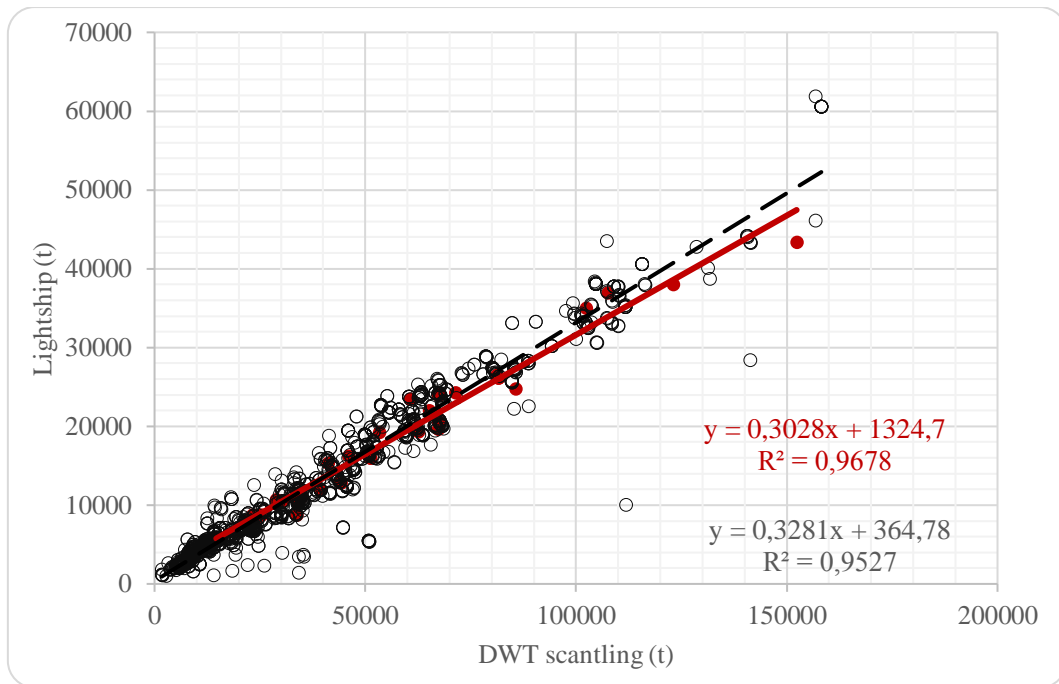
Type: $y = 0.5624 * x^2 - 101.02 * x + 8303.3$

R-square: 0.9429

$$Lightship = 0.5599 * L_{BP}^2 - 100.14 * L_{BP} + 8247$$

Παρατηρήσεις: Το βάρος του κενού σκάφους εξαρτάται άμεσα από το μήκος του πλοίου και μάλιστα αυξάνεται με μεγάλη σχετικά ταχύτητα. Αυτό συμβαίνει γιατί όταν αυξάνεται το μήκος του πλοίου, τότε θα χρησιμοποιηθούν και περισσότερα ενισχυτικά ή μεγαλύτερα πάχη ελασμάτων ή και τα δύο. Αυτό συμβαίνει για λόγους αντοχής και για να μην υπάρχουν μεγάλα βέλη κάμψης σε καταστάσεις hogging και sagging. Παράλληλα, όταν αυξηθεί το μήκος του υπό μελέτη πλοίου αυξάνονται τα βάρη μίας μεγάλης ποικιλίας από κατασκευαστικά στοιχεία (σωληνώσεις, καλωδιώσεις, άγκυρες, πηδάλιο κ.λπ.) με αποτέλεσμα την περαιτέρω αύξηση του βάρους του κενού σκάφους. Τέλος, επειδή για συνήθη πλοία, αύξηση του μήκους συνεπάγεται μείωση της ολικής αντίστασης για δεδομένη ταχύτητα και εκτόπισμα, προκύπτει μείωση της απαιτούμενης ισχύος πρόωσης, οπότε και μείωση του βάρους της μηχανολογικής εγκατάστασης. Ωστόσο, επειδή η αύξηση της μεταλλικής κατασκευής και του βάρους εξοπλισμού είναι μεγαλύτερη, σημειώνεται και αύξηση του βάρους⁹

⁹ Παπανικολάου Δ. Απόστολος, «Μελέτη Πλοίου – Μεθοδολογίες Προμελέτης Πλοίου»



Διάγραμμα 30: Lightship συναρτήσει του DWT scantling

Data base A

Type: $y = 0.3028 * x + 1324.7$
R-square: 0.9678

Συνδυασμός των δύο Data base

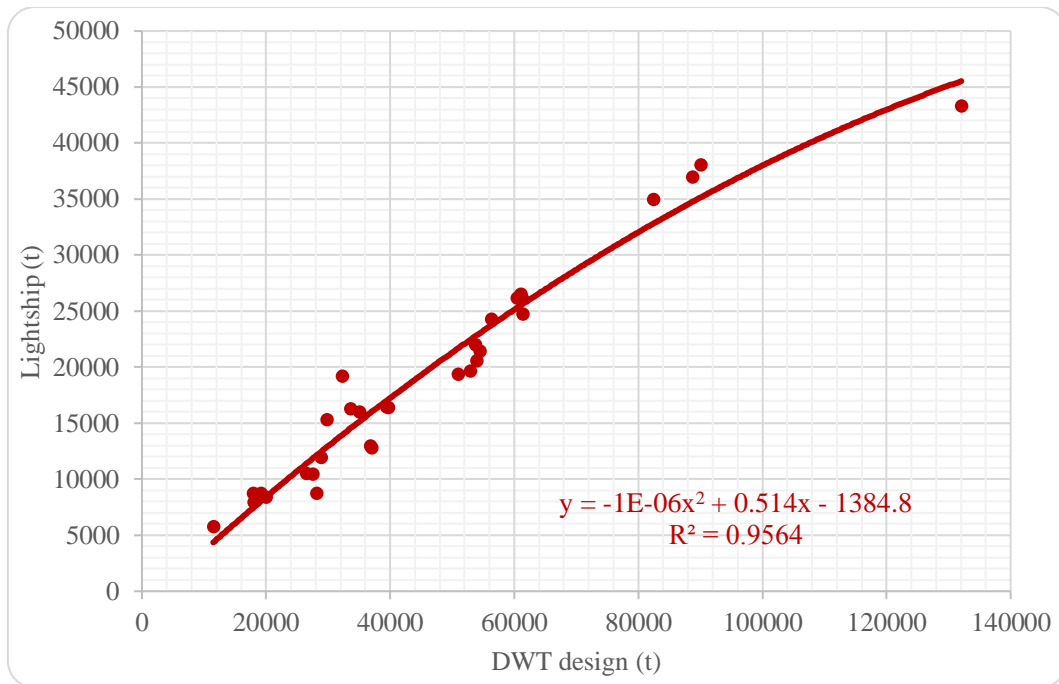
Type: $y = 0.3273 * x + 386.86$
R-square: 0.9531

Data base B

Type: $y = 0.3281 * x + 364.78$
R-square: 0.9527

$$Lightship = 0.3273 * DWTscant. + 386.86$$

Παρατηρήσεις: Το διάγραμμα του βάρους του κενού σκάφους συναρτήσει του DWT scantling δίνει μία προσεγγιστική καμπύλη με πολύ καλή συσχέτιση, κάτι που δείχνει την άμεση σχέση των δύο μεγεθών.



Διάγραμμα 31: Lightship συναρτήσει του DWT design

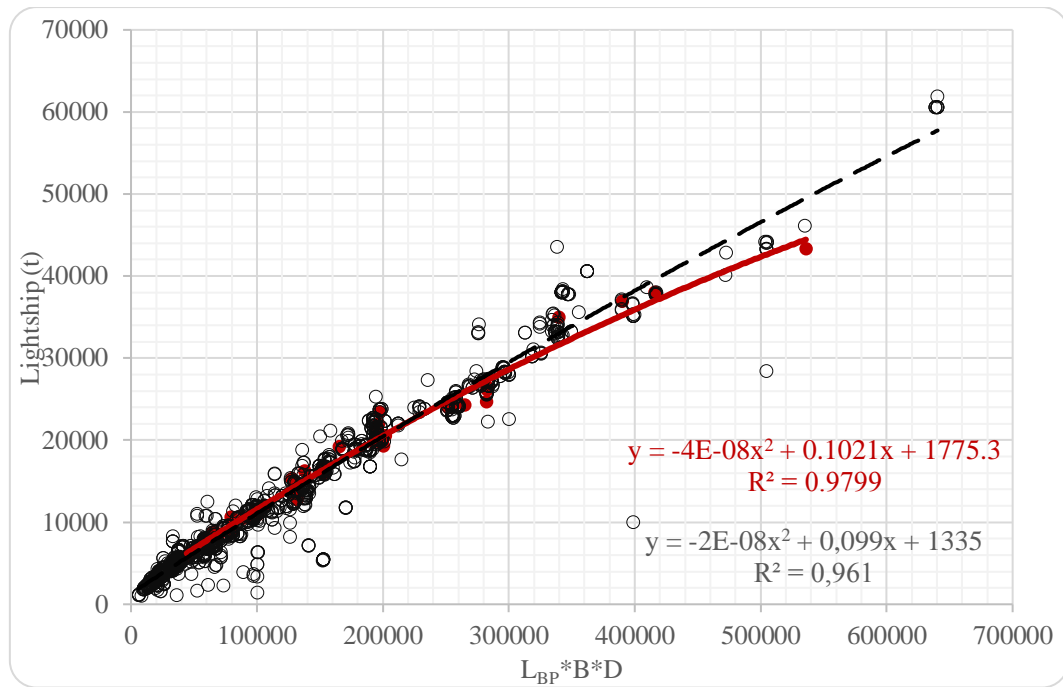
Data base A

Type: $y = -1 * 10^{-6} * x^2 + 0.514 * x - 1384.8$

R-square: 0.9564

$$Lightship = -1 * 10^{-6} * DWT^2 + 0.514 * DWT - 1384.8$$

Παρατηρήσεις: Το διάγραμμα του Lightship συναρτήσει του DWT design έχει και αυτό πολύ καλή συσχέτιση και συγκρίνοντας το με το παραπάνω διάγραμμα βλέπουμε τις διαφορές τους. Συγκεκριμένα αυτό που φαίνεται απ' τα δύο διαγράμματα με μία ματιά είναι ότι στο διάγραμμα του Lightship συναρτήσει του DWT design, η προσεγγιστική καμπύλη αυξάνεται με πιο αργό ρυθμό σε σχέση με τη προσεγγιστική καμπύλη του διαγράμματος του Lightship με το DWT scantling.



Διάγραμμα 32: Lightship συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$

Data base A

Type: $y = -4 * 10^{-8} * x^2 + 0.1021 * x + 1775.3$
 R-square: 0.9799

Συνδυασμός των δύο Data base

Type: $y = -2 * 10^{-8} * x^2 + 0.0992 * x + 1338.1$
 R-square: 0.9613

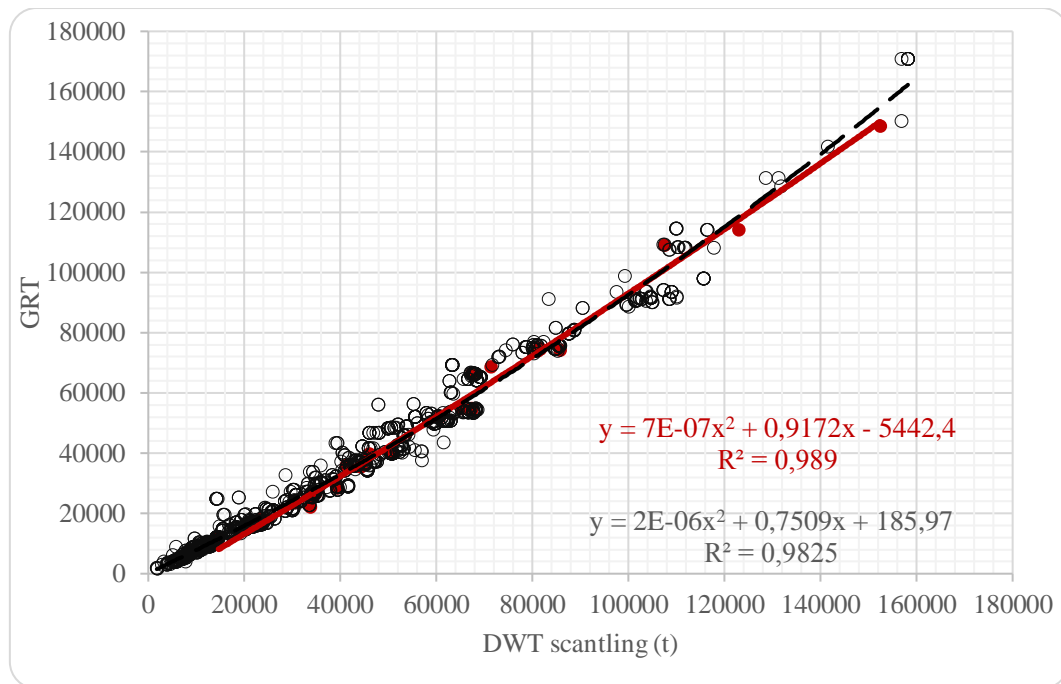
Data base B

Type: $y = -2 * 10^{-8} * x^2 + 0.099 * x + 1335$
 R-square: 0.961

$$Lightship = -2 * 10^{-8} * (L_{BP} * B * D)^2 + 0.0992 * (L_{BP} * B * D) + 1338.1$$

Παρατηρήσεις: Το Lightship συναρτήσει του γινομένου του μήκους, του πλάτους και του κοίλου φαίνεται να είναι καλύτερος τρόπος υπολογισμού σε σχέση με τους μαθηματικούς τύπους των δύο παραπάνω διαγραμμάτων.

3.3.5 Ολική Χωρητικότητα (Gross Tonnage)



Διάγραμμα 33: Gross tonnage συναρτήσει του DWT scantling

Data base A

$$\text{Type: } y = 7 * 10^{-7} * x^2 + 0.9172 * x - 5442.4$$

R-square: 0.989

Συνδυασμός των δύο Data base

$$\text{Type: } y = 2 * 10^{-6} * x^2 + 0.7509 * x + 185.97$$

R-square: 0.9825

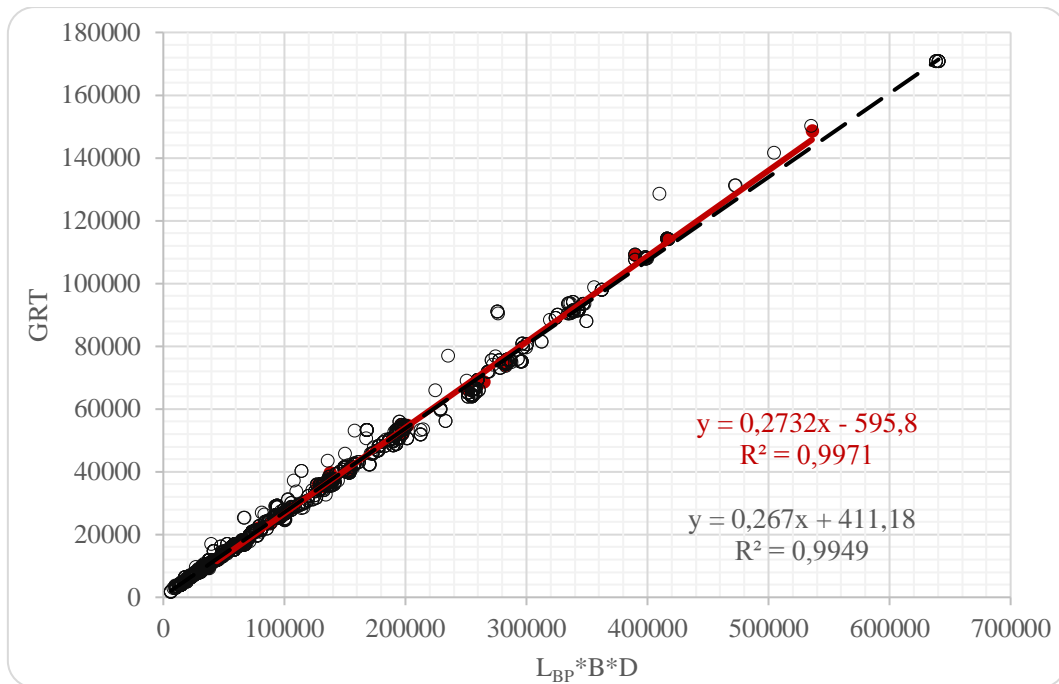
Data base B

$$\text{Type: } y = 2 * 10^{-6} * x^2 + 0.7509 * x + 185.97$$

R-square: 0.9825

$$GRT = 2 * 10^{-6} * DWTscant.^2 + 0.7509 * DWTscant. + 185.97$$

Παρατηρήσεις: Στο διάγραμμα της ολικής χωρητικότητας συναρτήσει του DWT scantling παρατηρούμε ότι υπάρχει αρκετά καλή συσχέτιση όπως είναι αναμενόμενο.



Διάγραμμα 34: Gross tonnage συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$

Data base ναυτιλιακών εταιρειών

Type: $y = 0.2732 * x - 595.8$

R-square: 0.9971

Συνδυασμός των δύο Data base

Type: $y = 0.2671 * x + 394.02$

R-square: 0.995

Data base E.M.H.

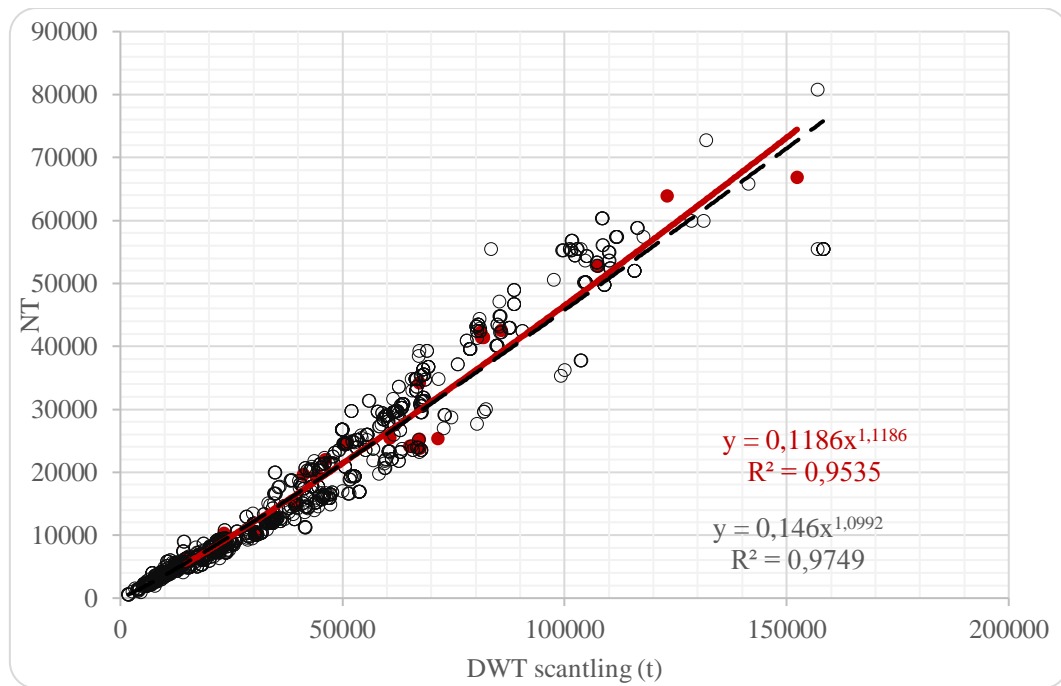
Type: $y = 0.267 * x + 411.18$

R-square: 0.9949

$$GRT = 0.2671 * (L_{BP} * B * D) + 394.02$$

Παρατηρήσεις: Η λογική σχέση της ολικής χωρητικότητας συναρτήσει του γινομένου $L_{BP} * B * D$ επαληθεύεται από την άριστη συσχέτιση που παρουσιάζει το διάγραμμα παραπάνω.

3.3.6 Καθαρή Χωρητικότητα (Net Tonnage)



Διάγραμμα 35: NET tonnage συναρτήσει του DWT scantling

Data base A

Type: $y = 0.1186 * x^{1.1186}$

R-square: 0.9535

Συνδυασμός των δύο Data base

Type: $y = 0.1457 * x^{1.0994}$

R-square: 0.975

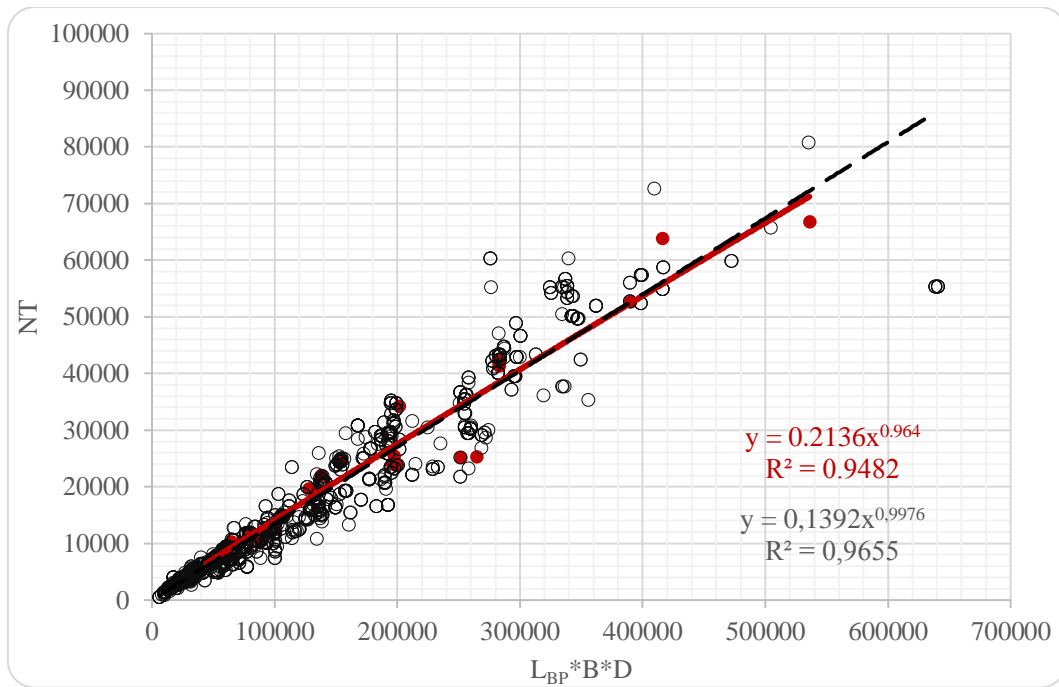
Data base B

Type: $y = 0.146 * x^{1.0992}$

R-square: 0.9749

$$NT = 0.1457 * DWTscant.^{1.0994}$$

Παρατηρήσεις: Όπως και στην περίπτωση της ολικής χωρητικότητας, έτσι και στην καθαρή χωρητικότητα η συσχέτιση των δύο μεγεθών είναι πολύ καλή.



Διάγραμμα 36: NET tonnage συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$

Data base A

Type: $y = 0.2136 * x^{0.964}$

R-square: 0.9482

Συνδυασμός των δύο Data base

Type: $y = 0.1391 * x^{0.9977}$

R-square: 0.9657

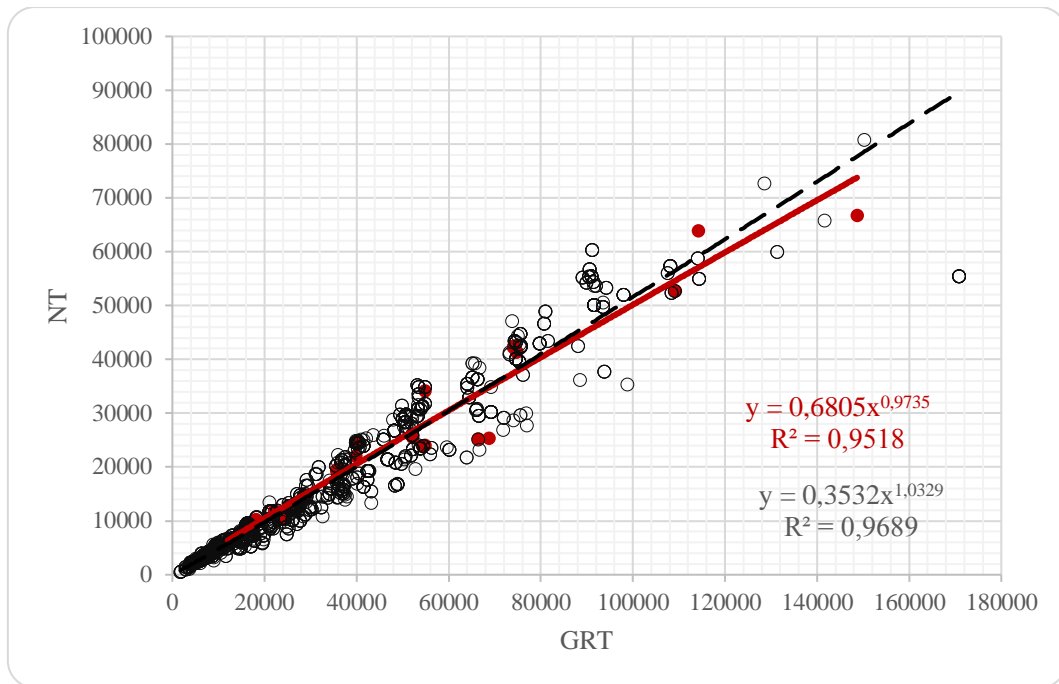
Data base B

Type: $y = 0.1392 * x^{0.9976}$

R-square: 0.9655

$$NT = 0.1391 * (L_{BP} * B * D)^{0.9977}$$

Παρατηρήσεις: Στο διάγραμμα της καθαρής χωρητικότητας συναρτήσει του γινομένου των κύριων διαστάσεων παρατηρούμε μία σχετικά καλή συσχέτιση των δύο μεγεθών, αλλά και πάλι η συσχέτιση της ολικής χωρητικότητας με το γινόμενο των τριών κύριων διαστάσεων είναι σαφέστατα πιο ποιοτική. Εάν παρατηρήσουμε πιο προσεκτικά βλέπουμε ότι στα μικρά μεγέθη η προσεγγιστική καμπύλη περιγράφει αρκετά καλά τα δύο μεγέθη. Ωστόσο, στα μεγαλύτερα πλοία η διασπορά των σημείων είναι μεγάλη.



Διάγραμμα 37: NET tonnage συναρτήσει του Gross tonnage

Data base A

Type: $y = 0.6805 * x^{0.9735}$

R-square: 0.9518

Συνδυασμός των δύο Data base

Type: $y = 0.3542 * x^{1.0327}$

R-square: 0.969

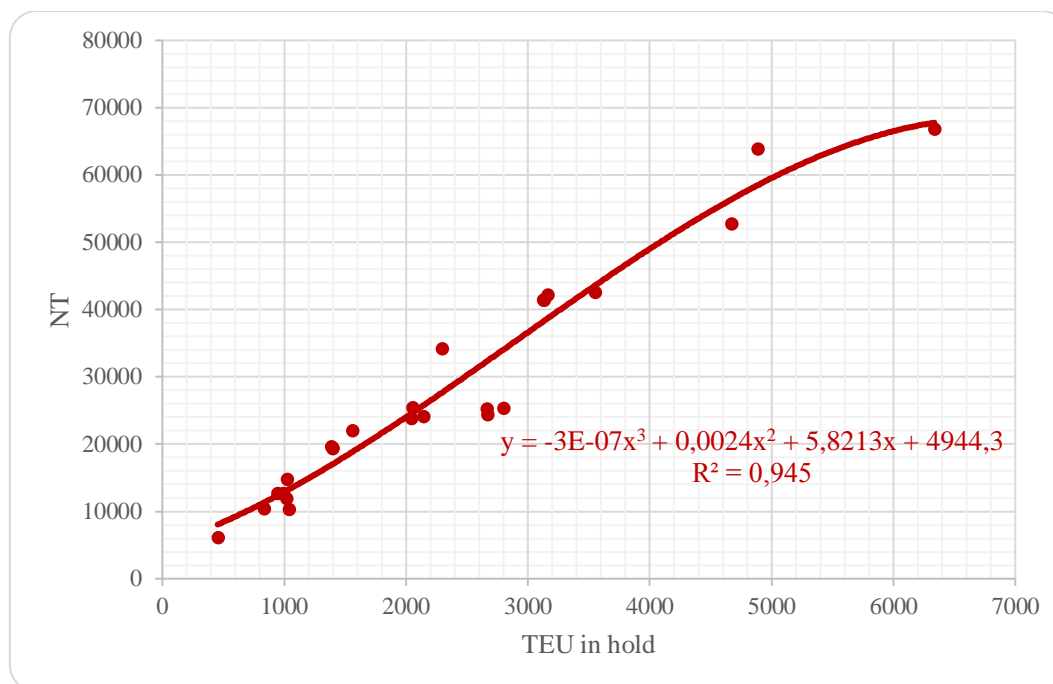
Data base B

Type: $y = 0.3532 * x^{1.0329}$

R-square: 0.9689

$$NT = 0.3542 * (GRT)^{1.0327}$$

Παρατηρήσεις: Αυτό το διάγραμμα παρουσιάζει επίσης μία πολύ καλή συσχέτιση όπως τα δύο προηγούμενα, αλλά για τα μεγαλύτερα μεγέθη πλοίων η καθαρή χωρητικότητα είναι προτιμότερο να υπολογιστεί συναρτήσει του DWT scantling.



Διάγραμμα 38: NET tonnage συναρτήσει των TEU in holds

Data base A

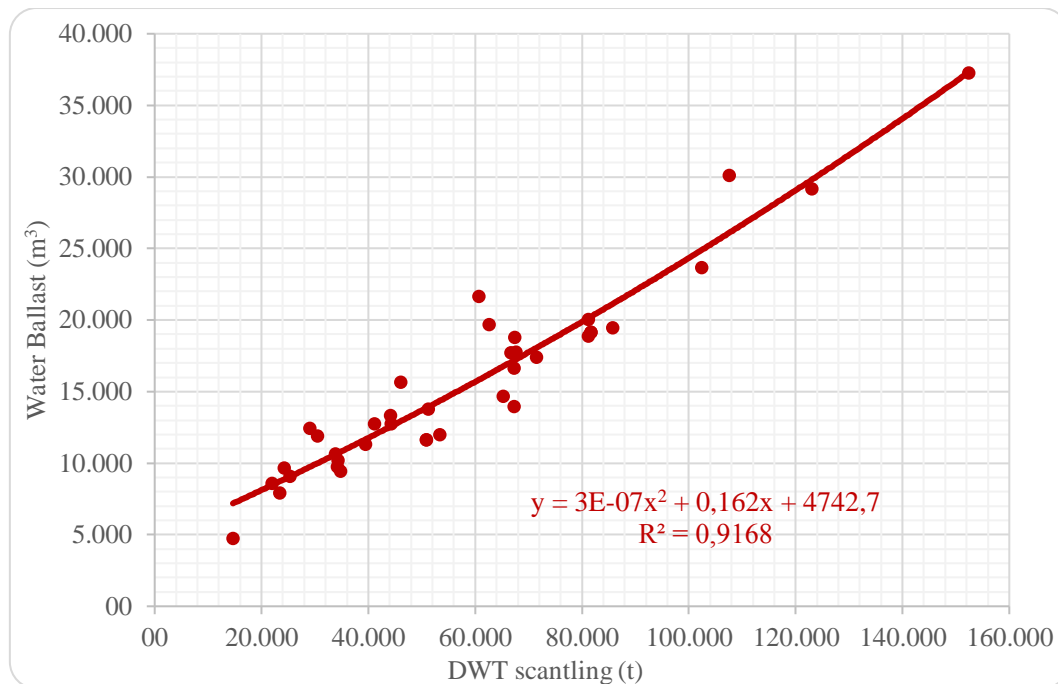
Type: $y = -3 * 10^{-7} * x^3 + 0.0024 * x^2 + 5.8213 * x + 4944.3$

R-square: 0.945

$$NT = -3 * 10^{-7} * TEUinhold^3 + 0.0024 * TEUinhold^2 + 5.8213 * TEUinhold + 4944.3$$

Παρατηρήσεις: Για το διάγραμμα της καθαρής χωρητικότητας συναρτήσει των TEU in holds προτιμήθηκε η προσεγγιστική καμπύλη να είναι πολυώνυμο 3^{ου} βαθμού, γιατί δίνει καλύτερη συσχέτιση σε όλο το φάσμα των σημείων.

3.3.7 Όγκος δεξαμενών έρματος (V water ballast)



Διάγραμμα 39: Όγκος δεξαμενών water ballast συναρτήσει του DWT scantling

Data base A

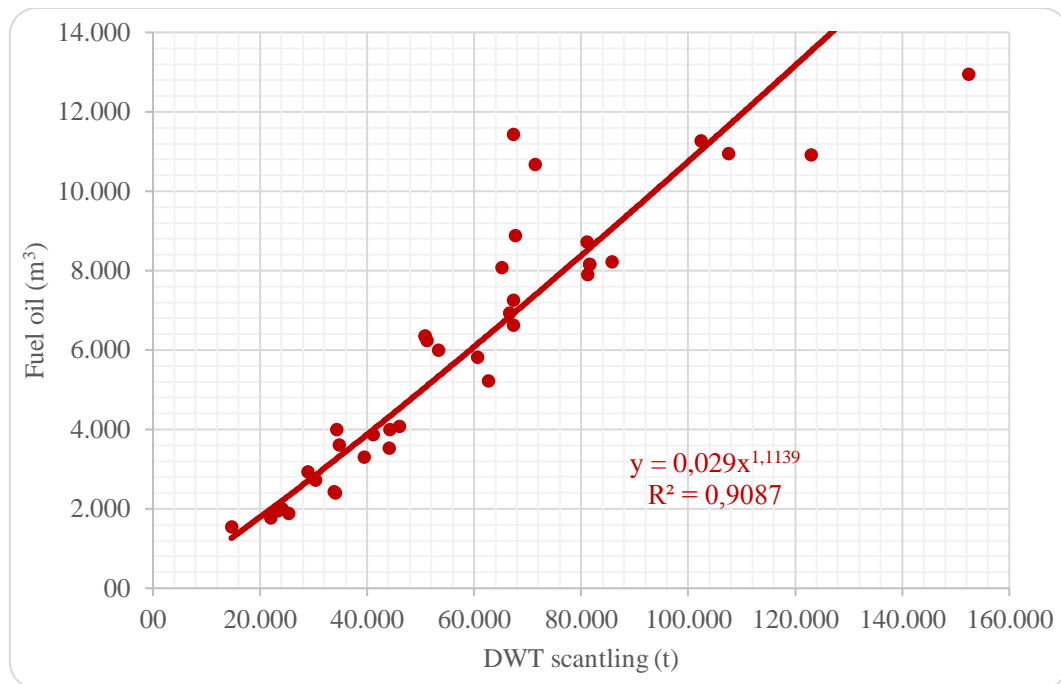
Type: $y = 3 \cdot 10^{-7} \cdot x^2 + 0.162 \cdot x + 4742.7$

R-square: 0.9168

$$V_{waterballast} = 3 \cdot 10^{-7} \cdot DWTscant.^2 + 0.162 \cdot DWTscant. + 4742.7$$

Παρατηρήσεις: Η χωρητικότητα των δεξαμενών έρματος στα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων αποτελεί ένα πολύ σημαντικό κομμάτι σχεδίασης, που χρήζει εκτενής μελέτη διότι τα πλοία αυτά χρειάζονται σχεδόν σε όλες τις καταστάσεις φόρτωσης ερματισμό. Ένα ακόμα σοβαρό πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το βάρος του μεταφερόμενου φορτίου δεν μπορεί να υπολογιστεί με κάποιο τρόπο πριν την μεταφορά των TEU ή FEU στον λιμένα φορτοεκφόρτωσης, γιατί άλλα εμπορευματοκιβώτια μπορεί να έχουν σχετικά μεγάλο βάρος και άλλα να έχουν ελάχιστο βάρος (π.χ. μεταφορά βαμβακιού). Γι' αυτούς κυρίως τους λόγους, η μελέτη των δεξαμενών έρματος είναι ένα σημαντικό κομμάτι της σχεδίασης, ωστόσο μπορούμε να πάρουμε μία καλή εικόνα από το διάγραμμα που παρουσιάζεται συναρτήσει του DWT scantling.

3.3.8 Όγκος δεξαμενών fuel oil



Διάγραμμα 40: Fuel oil συναρτήσεσι του DWT scantling

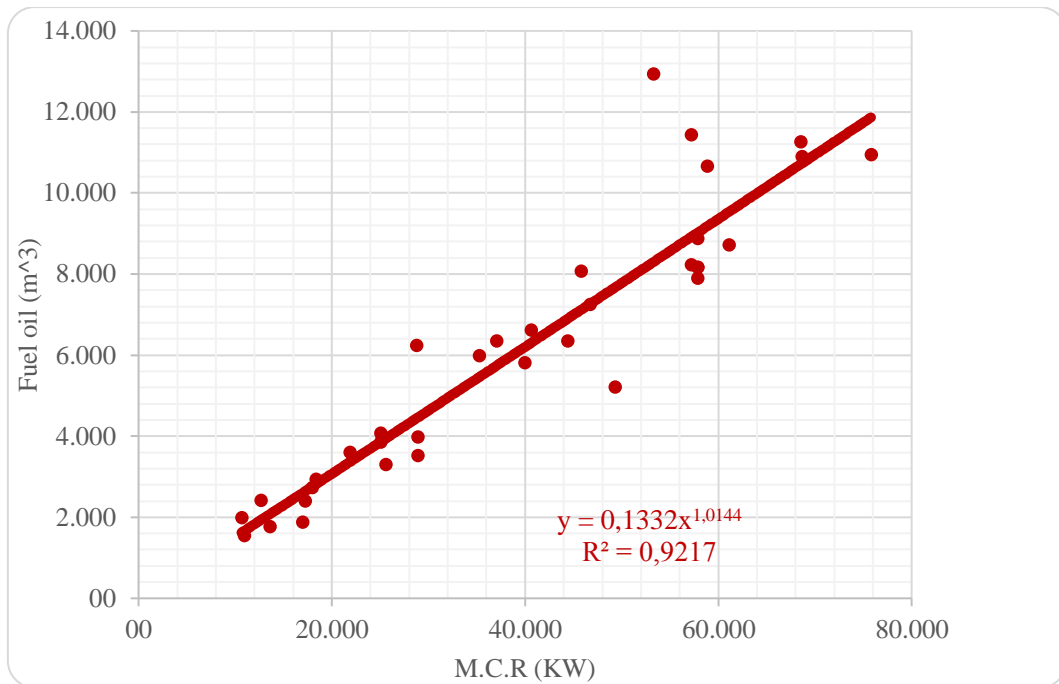
Data base A

Type: $y = 0.029 * x^{1.1139}$

R-square: 0.9087

$$V_{fuel_oil} = 0.029 * DWTscant.^{1.1139}$$

Παρατηρήσεις: Η εκτίμηση της δεξαμενής fuel oil δεν έχει την καλύτερη συσχέτιση που θα μπορούσε να είχε πιθανόν λόγω του μικρού αριθμού του δείγματος και της σχεδιαστικής λεπτομέρειας που εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως κύρια μηχανή, κατανάλωση καυσίμου, τεχνολογικές εξελίξεις στο μηχανολογικό κομμάτι κ.α.



Διάγραμμα 41: Fuel oil συναρτήσει του M.C.R.

Data base A

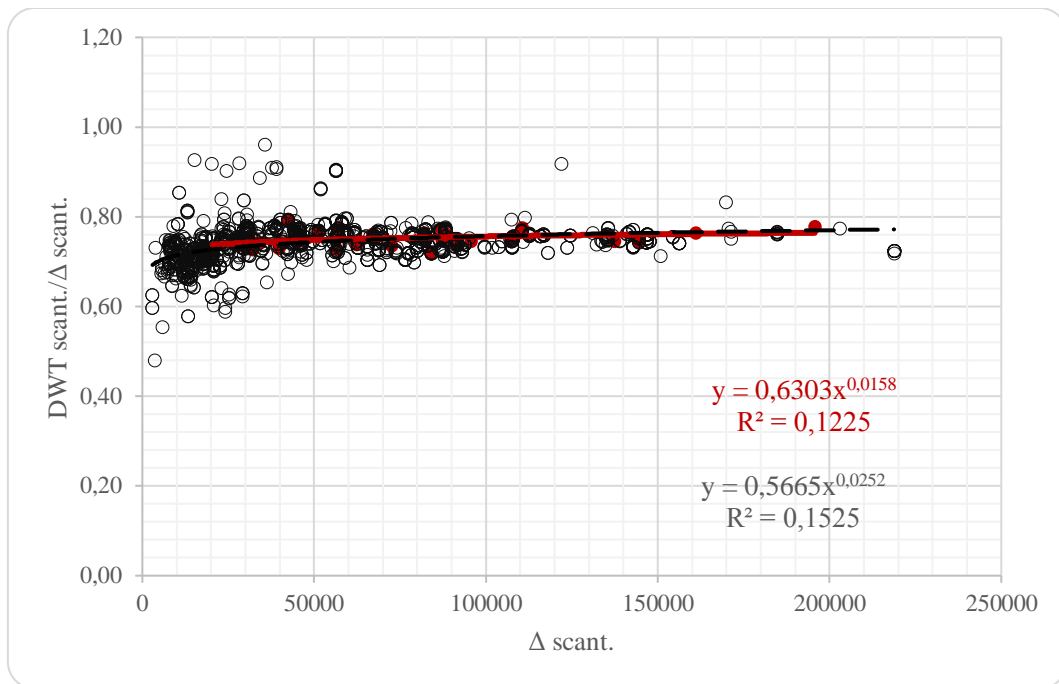
Type: $y = 0.1332 * x^{1.0144}$

R-square: 0.9217

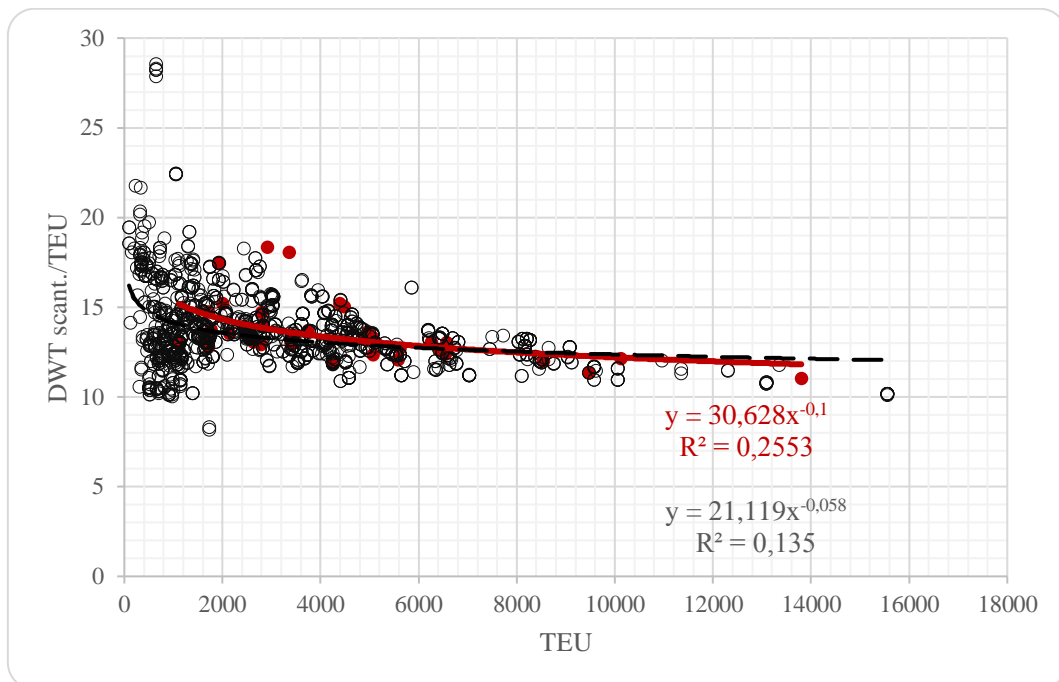
$$V_{fuel_oil} = 0.1332 * M.C.R.^{1.0144}$$

Παρατηρήσεις: Η εκτίμηση της δεξαμενής fuel oil είναι καλύτερη συναρτήσει του M.C.R. όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα, αλλά όπως προαναφέρθηκε οι εξαρτώμενοι παράγοντες είναι πολλοί για να υπάρξει τέλεια συσχέτιση.

3.3.9 Λόγοι βαρών – χωρητικότητας



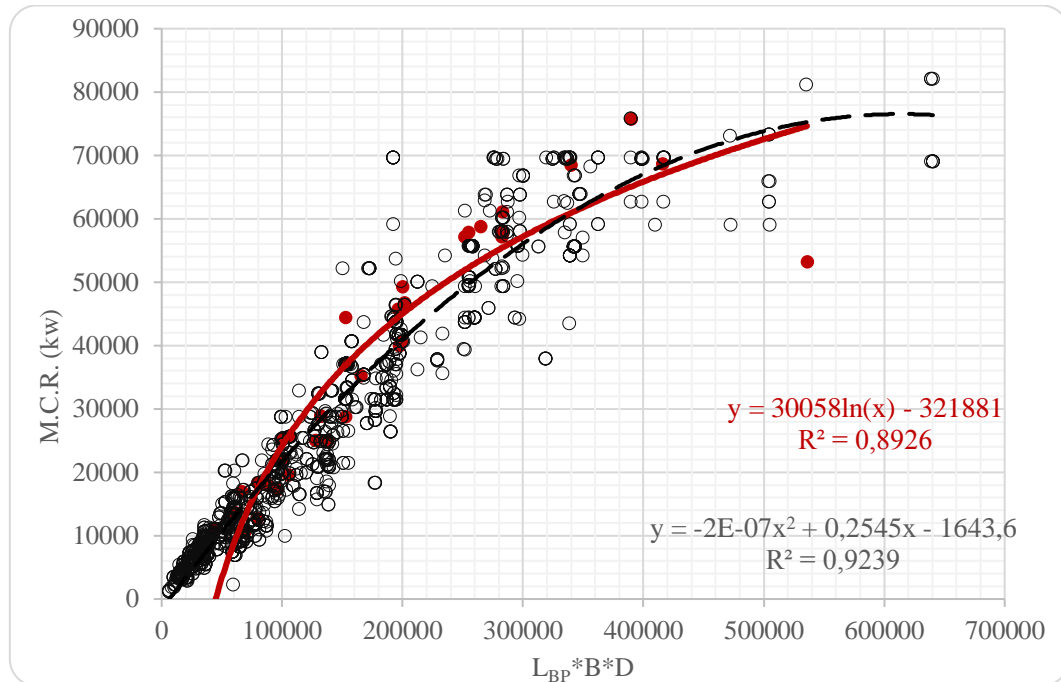
Διάγραμμα 42: $DWT_{scantling}/\Delta_{scantling}$ συναρτήσει $\Delta_{scantling}$



Διάγραμμα 43: $DWT_{scantling}/TEU$ συναρτήσει $\Delta_{scantling}$

Παρατηρήσεις: Στα δύο παραπάνω διαγράμματα αυτό που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι στα μικρά πλοία υπάρχει μεγάλη διασπορά των σημείων, σε αντίθεση με τα μεγάλα πλοία.

3.4 Εκτίμηση ισχύος (M.C.R.)



Διάγραμμα 44: M.C.R. συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$

Data base A

Type: $y = 30058 * \ln(x) - 321881$

R-square: 0.8926

Συνδυασμός των δύο Data base

Type: $y = -2 * 10^{-7} * x^2 + 0.257 * x - 1771.2$

R-square: 0.924

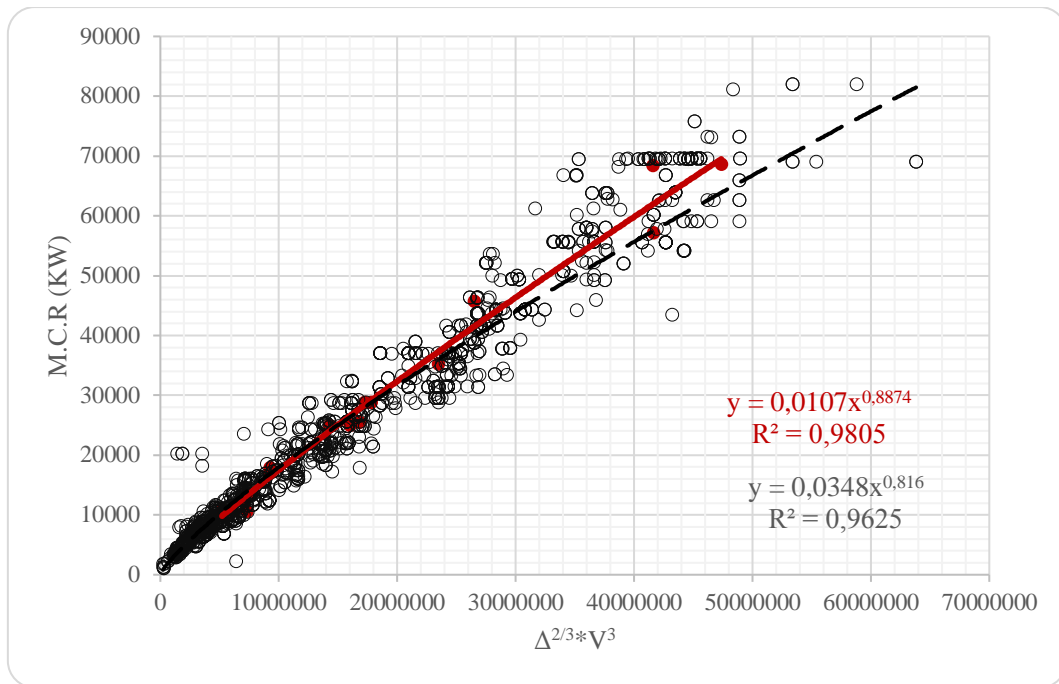
Data base B

Type: $y = -2 * 10^{-7} * x^2 + 0.2545 * x - 1643.6$

R-square: 0.9239

$$M.C.R. = -2 * 10^{-7} * (L_{BP} * B * D)^2 + 0.257 * (L_{BP} * B * D) - 1771.2$$

Παρατηρήσεις: Ο υπολογισμός της απαιτούμενης δύναμης της κύριας μηχανής μέσω στατιστικής ανάλυσης δεν ενδείκνυται για το προφανή λόγο ότι δε δίνει αποτελέσματα με μεγάλη εγκυρότητα. Αυτό φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα που υπάρχει μεγάλη διασπορά των σημείων.



Διάγραμμα 45: M.C.R. συναρτήσει του $\Delta^{2/3} * V^3$

Data base A

Type: $y = 0.0107 * x^{0.8874}$

R-square: 0.9805

Συνδυασμός των δύο Data base

Type: $y = 0.0346 * x^{0.8164}$

R-square: 0.9626

Data base B

Type: $y = 0.0348 * x^{0.816}$

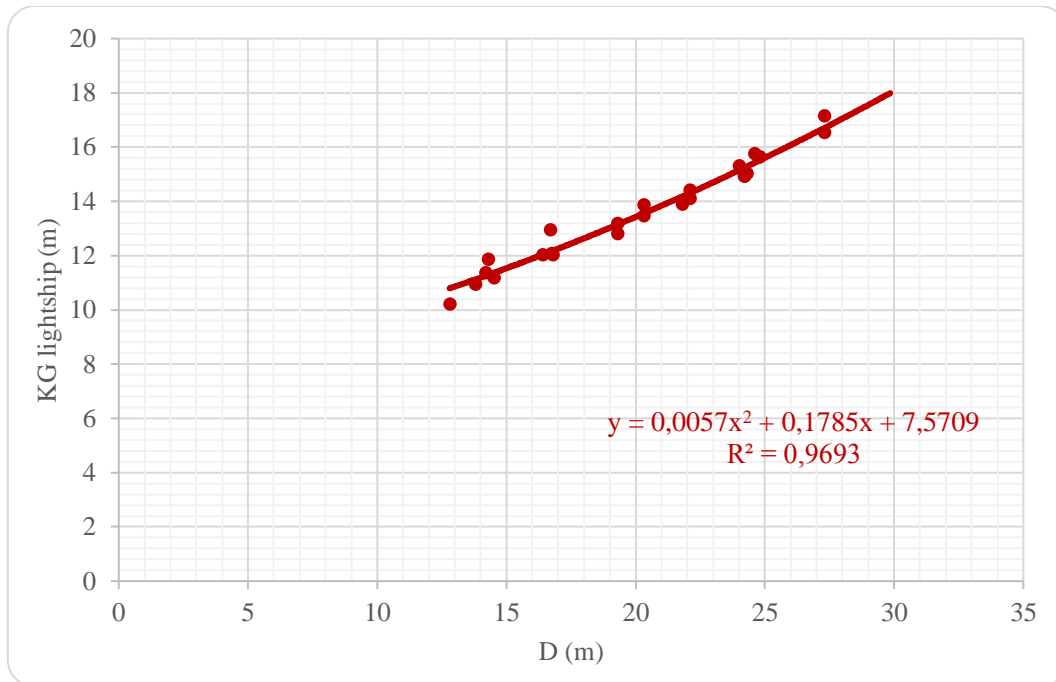
R-square: 0.9625

$$M.C.R. = 0.0346 * (\Delta^{2/3} * V^3)^{0.8164}$$

Παρατηρήσεις: Στο συγκεκριμένο διάγραμμα φαίνεται μία σχετικά καλή συσχέτιση του M.C.R. συναρτήσει ενός διαφορετικού τύπου του συντελεστή ναυαρχείου.

3.5 Κέντρα βαρών

3.5.1 Κατακόρυφη θέση κέντρου βάρους κενού σκάφους



Διάγραμμα 46: KG κενού σκάφους συναρτήσει του κοίλου

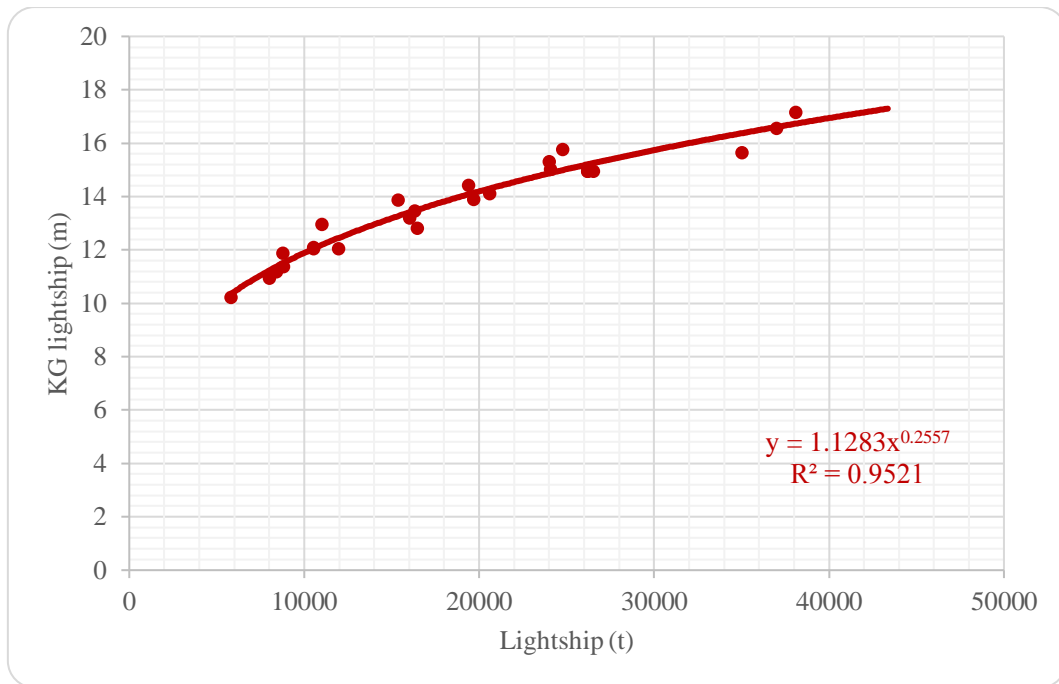
Data base A

Type: $y = 0.0057 * x^2 + 0.1785 * x + 7.5709$

R-square: 0.9693

$$KG_Lightship = 0.0057 * D^2 + 0.1785 * D + 7.5709$$

Παρατηρήσεις: Το κέντρο βάρους στην κατάσταση Lightship συναρτήσει του κοίλου έχει μία πολύ καλή εκτίμηση που βοηθάει σε μεγάλο βαθμό στη φάση της προμελέτης.



Διάγραμμα 47: KG κενού σκάφους συναρτήσει του Lightship

Data base A

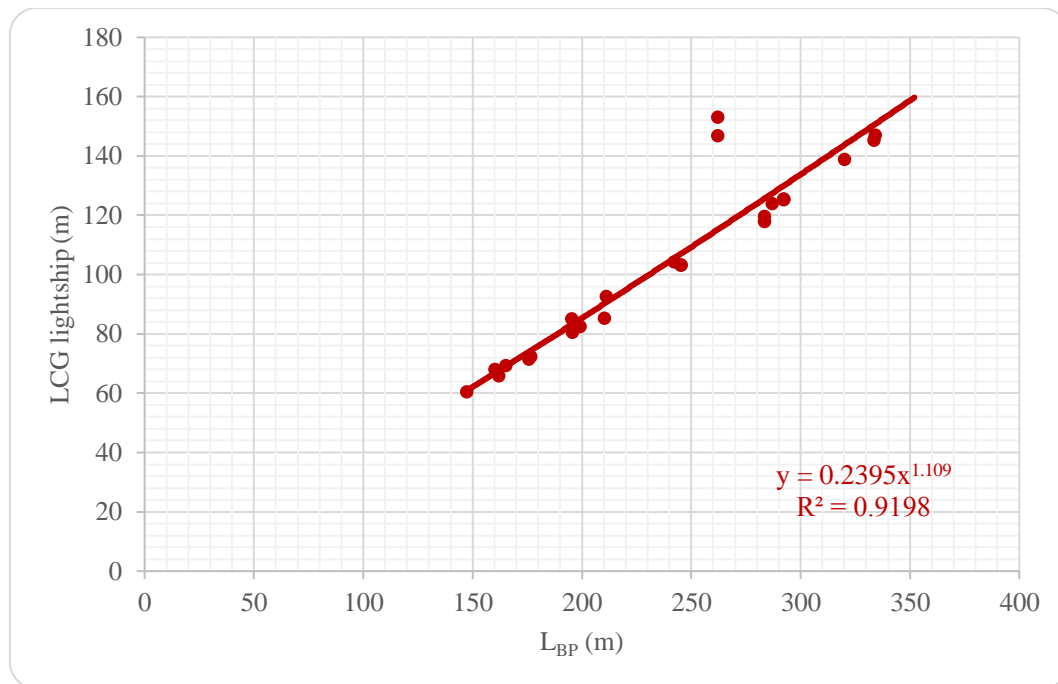
Type: $y = 1.1283 * x^{0.2557}$

R-square: 0.9521

$$KG_Lightship = 1.1283 * Lightship^{0.2557}$$

Παρατηρήσεις: Το παραπάνω διάγραμμα δίνει και αυτό με μεγάλη ακρίβεια το καθ' ύψος κέντρο βάρους συναρτήσει αυτή τη φορά με το βάρος του Lightship, αν και τα δύο μεγέθη δε σχετίζονται τόσο λογικά μεταξύ τους. Γενικά παρατηρείται ότι δεν υπάρχει μεγάλη διασπορά σε όλο το φάσμα των βαρών.

3.5.2 Διαμήκης θέση κέντρου βάρους κενού σκάφους



Διάγραμμα 48: LCG κενού σκάφους συναρτήσει του L_{BP}

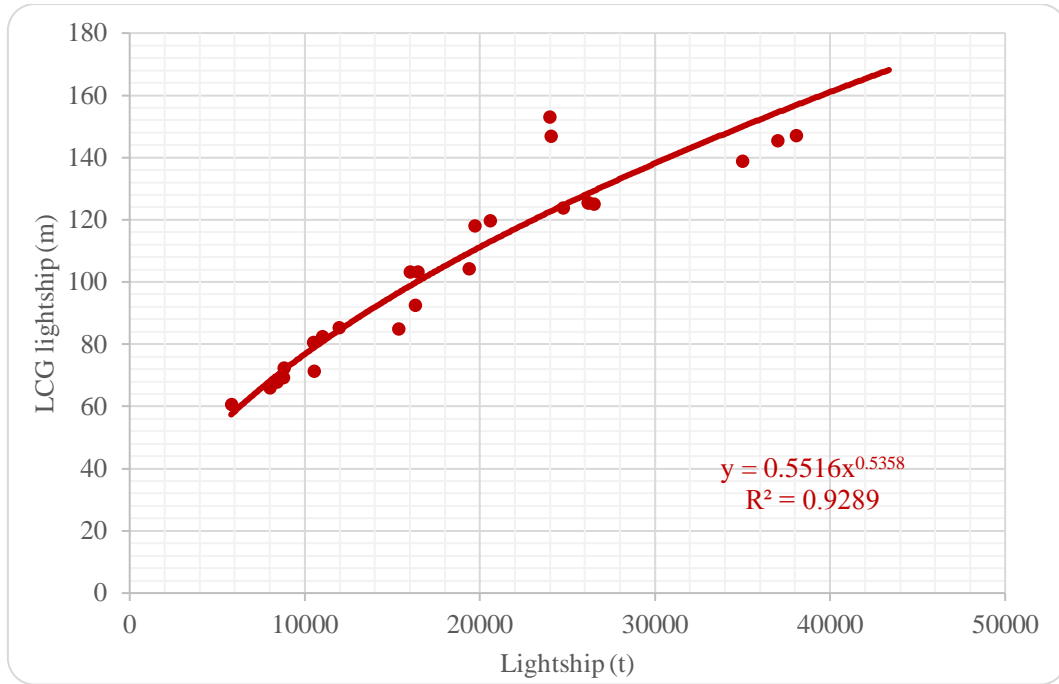
Data base A

Type: $y = 0.2395 * x^{1.109}$

R-square: 0.9198

$$LCG_Lightship = 0.2395 * L_{BP}^{1.109}$$

Παρατηρήσεις: Η διαμήκης θέση του κέντρου βάρους σε συνάρτηση με το μήκος μεταξύ καθέτων μπορεί να δώσει μία πολύ καλή προσεγγιστική καμπύλη όπως είναι αναμενόμενο, αφού τα δύο μεγέθη έχουν και λογική σύνδεση μεταξύ τους. Αυτό που κάνει εντύπωση όμως στο διάγραμμα είναι τα δύο σημεία που ξεφεύγουν αρκετά από τη προσεγγιστική καμπύλη, γεγονός που μπορεί να οφείλεται σε τυπογραφικό λάθος των σχεδίων των δύο πλοίων.



Διάγραμμα 49: LCG κενού σκάφους συναρτήσει του Lightship

Data base A

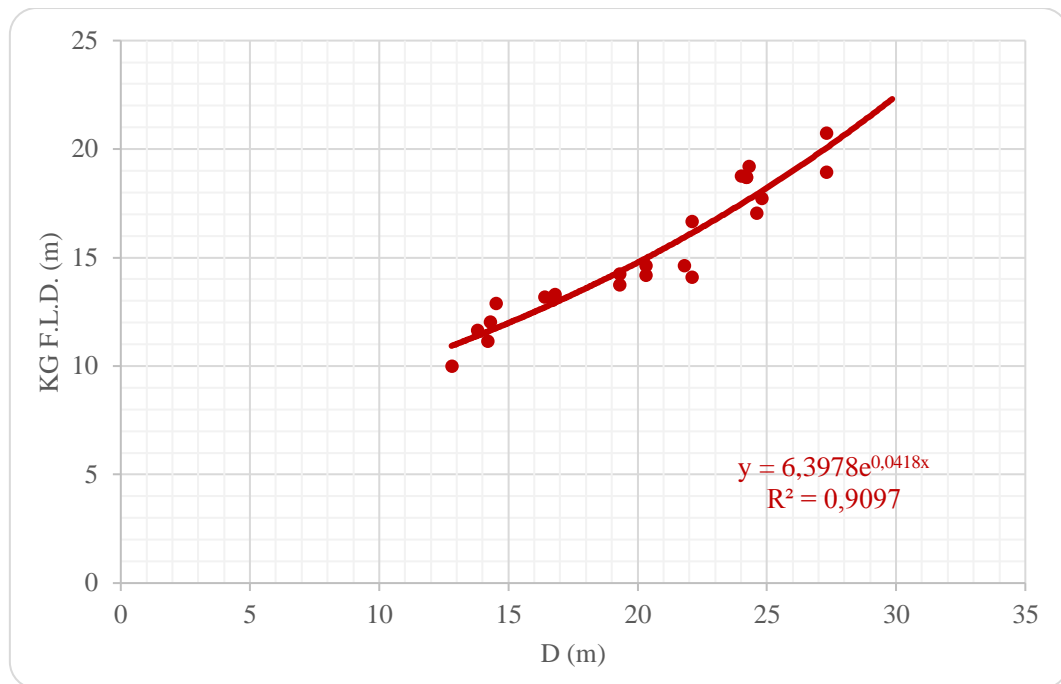
Type: $y = 0.5516 * x^{0.5358}$

R-square: 0.9289

$$LCG_Lightship = 0.5516 * Lightship^{0.5358}$$

Παρατηρήσεις: Η ίδια παρατήρηση ισχύει και σ' αυτό το διάγραμμα που εξετάζεται το ίδιο μέγεθος, αλλά αυτή τη φορά με το βάρος του κενού σκάφους. Παρόλα αυτά, υπάρχει αρκετά καλή εκτίμηση για το LCG του Lightship αν και τα δύο μεγέθη δεν έχουν μεγάλη λογική σύνδεση μεταξύ τους.

3.5.3 Κατακόρυφη θέση κέντρου βάρους Full Load Departure



Διάγραμμα 50: KG F.L.D. συναρτήσει του κοίλου

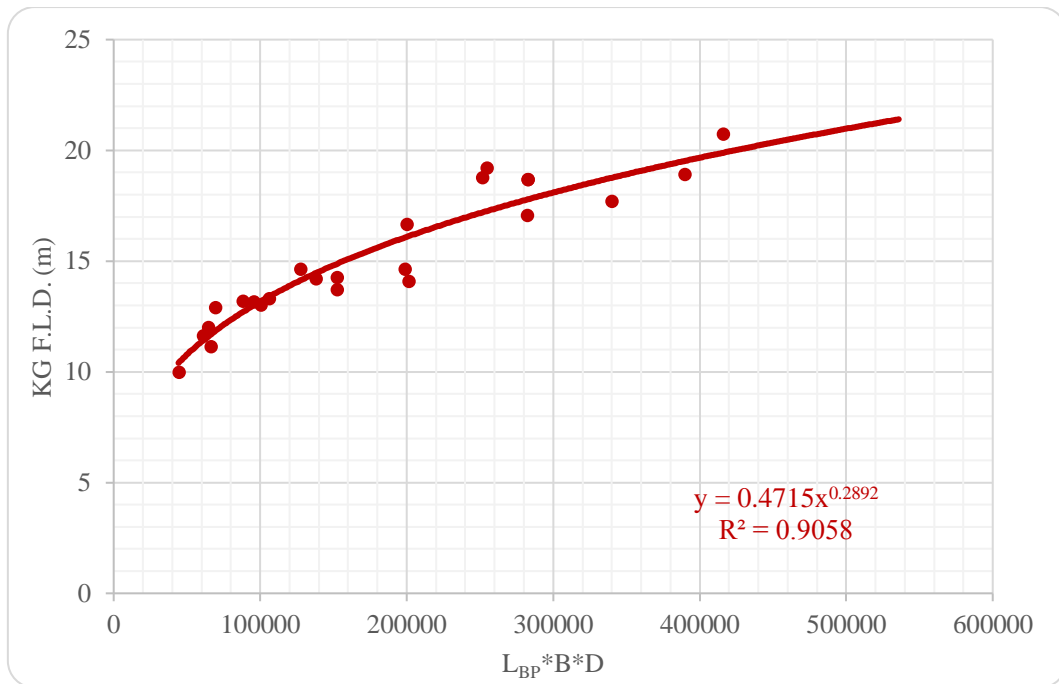
Data base A

Type: $y = 6.3978 * e^{0.0418 * x}$

R-square: 0.9097

$$KG_F.L.D = 6.3978 * e^{0.0418 * D}$$

Παρατηρήσεις: Στο διάγραμμα αυτό παρατηρείται καλή συσχέτιση της καθ' ύψος θέσης του κέντρου βάρους σε σχέση με το κοίλο D παρουσιάζοντας αποκλίσεις της τάξης του 0.5m και αποτελώντας έναν αξιόπιστο τρόπο προσέγγισης της.



Διάγραμμα 51: KG F.L.D. συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$

Data base A

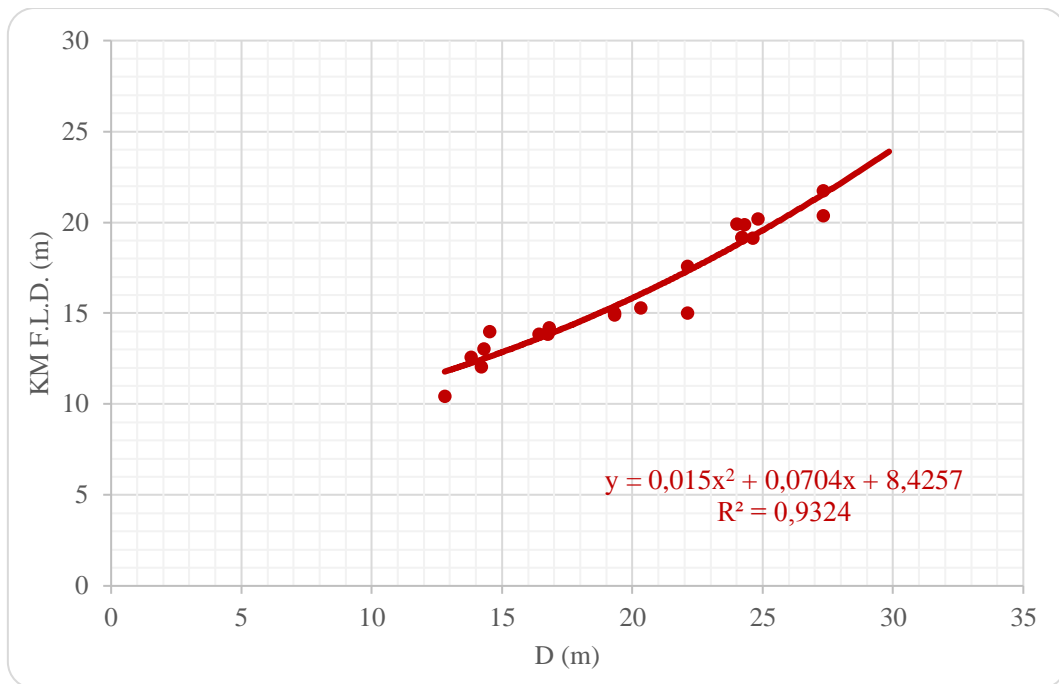
Type: $y = 0.4715 * x^{0.2892}$

R-square: 0.9058

$$KG_F.L.D = 0.4715 * (L_{BP} * B * D)^{0.2892}$$

Παρατηρήσεις: Στο διάγραμμα αυτό παρόλο ότι εξετάζεται το ίδιο μέγεθος δηλαδή τη κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους συναρτήσει όμως αυτή τη φορά με το γινόμενο του μήκους, του πλάτους και του κοίλου και έχοντας την ίδια ακρίβεια στη προσέγγιση, παρατηρείται ότι τα σημεία είναι πιο απομακρυσμένα από τη προσεγγιστική καμπύλη από το προηγούμενο διάγραμμα. Έτσι, το KG είναι πιο ασφαλές να εκτιμηθεί συναρτήσει του κοίλου.

3.5.4 Κατακόρυφη θέση μετάκεντρου στη κατάσταση F.L.D.



Διάγραμμα 52: KM F.L.D. συναρτήσει του D

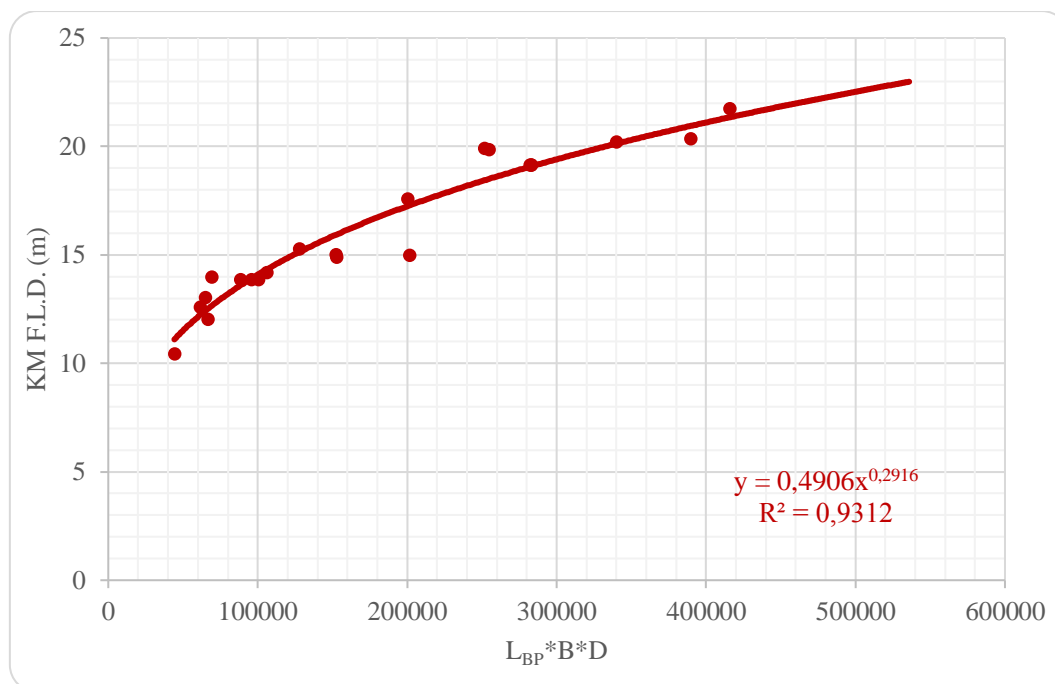
Data base A

Type: $y = 0.015 * x^2 + 0.0704 * x + 8.4257$

R-square: 0.9324

$$KM_F.L.D = 0.015 * D^2 + 0.0704 * D + 8.4257$$

Παρατηρήσεις: Στο διάγραμμα της κατακόρυφης θέσης του μετάκεντρου συναρτήσει του κοίλου παρατηρείται ότι η συσχέτιση των μεγεθών είναι πολύ καλή, με πολύ μικρή διασπορά των σημείων, γεγονός που οδηγεί σε μία ασφαλή εκτίμηση ενός υδροστατικού στοιχείου, το οποίο η ακριβής τιμή του υπολογίζεται συνήθως σε προχωρημένο στάδιο στη φάση της προμελέτης.



Διάγραμμα 53: KM F.L.D. συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$

Data base A

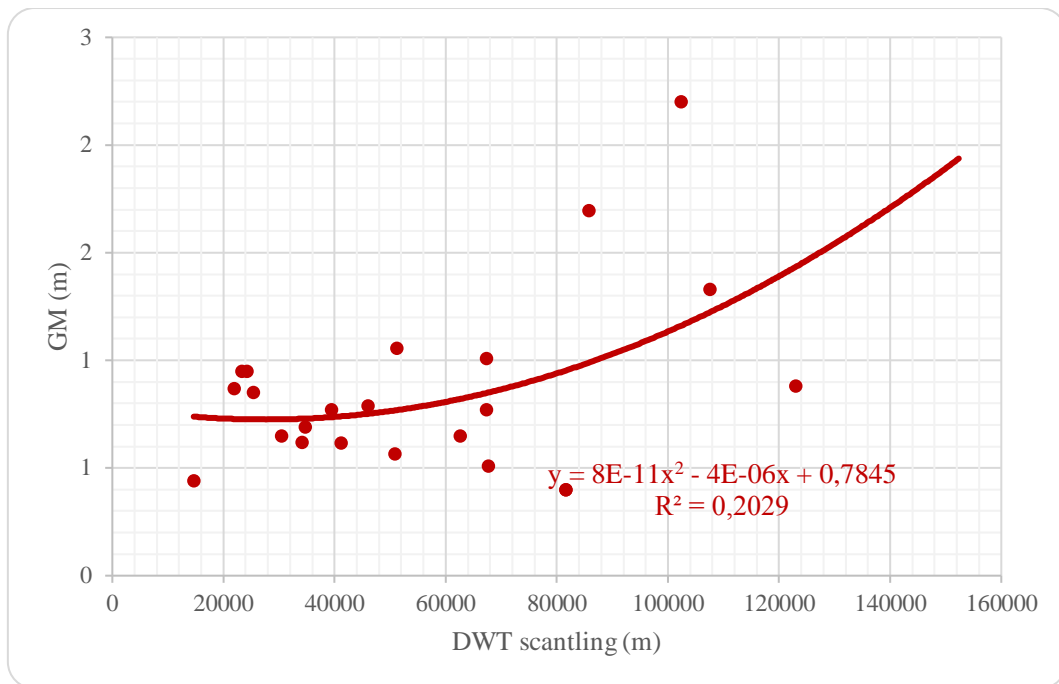
Type: $y = 0.4906 * x^{0.2916}$

R-square: 0.9312

$$KM_F.L.D = 0.4906 * (L_{BP} * B * D)^{0.2916}$$

Παρατηρήσεις: Όπως και στο προηγούμενο διάγραμμα, έτσι και εδώ φαίνεται μία ποιοτική προσεγγιστική καμπύλη του KM στη κατάσταση φόρτωσης F.L.D. σε σχέση με το γινόμενο των τριών κυρίων διαστάσεων.

3.5.5 GM στη κατάσταση F.L.D.



Διάγραμμα 54: GM F.L.D. συναρτήσει του DWT scantling

Data base A

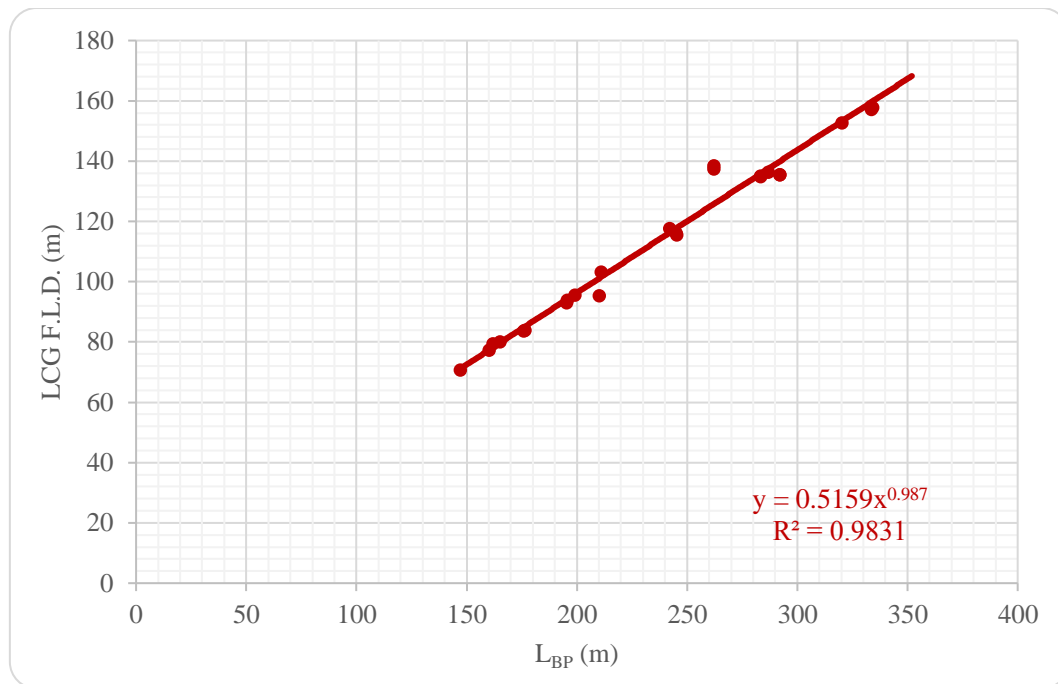
Type: $y = 8 * 10^{-11} * x^2 - 4 * 10^{-6} * x + 0.7845$

R-square: 0.2029

$$GM_{F.L.D} = y = 8 * 10^{-11} * DWTscant.^2 - 4 * 10^{-6} * DWTscant. + 0.7845$$

Παρατηρήσεις: Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνονται οι τιμές που μπορεί να πάρει το GM συναρτήσει του DWT scantling, ενώ η προσεγγιστική καμπύλη δεν έχει τόσο μεγάλη σημασία. Αυτό που έχει νόημα να αναφερθεί είναι ότι όλες οι τιμές του GM είναι πάνω από τη μονάδα, ενώ δύο πλοία έχουν GM στη Full load departure 0.8 m και 0.9 m αντίστοιχα.

3.5.6 Διαμήκης θέση κέντρου βάρους στη κατάσταση F.L.D.



Διάγραμμα 55: LCG F.L.D. συναρτήσει του L_{BP}

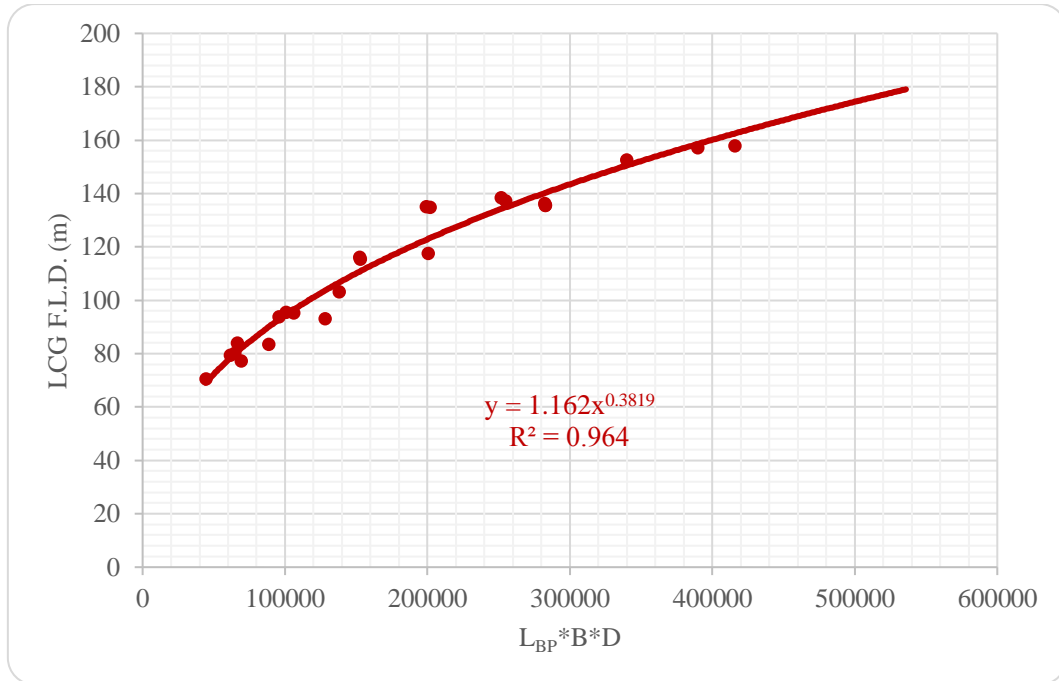
Data base A

Type: $y = 0.5159 * x^{0.987}$

R-square: 0.9831

$$LCG_F.L.D = 0.5159 * L_{BP}^{0.987}$$

Παρατηρήσεις: Στην κατάσταση Full Load Departure το κέντρο βάρους παρουσιάζει πολύ καλή συσχέτιση σε σχέση με το L_{BP}. Παρόλο που το δείγμα των πλοίων είναι μικρό, η προσεγγιστική καμπύλη είναι από τις πιο ποιοτικές της εργασίας.



Διάγραμμα 56: LCG F.L.D. συναρτήσσει του $L_{BP} * B * D$

Data base A

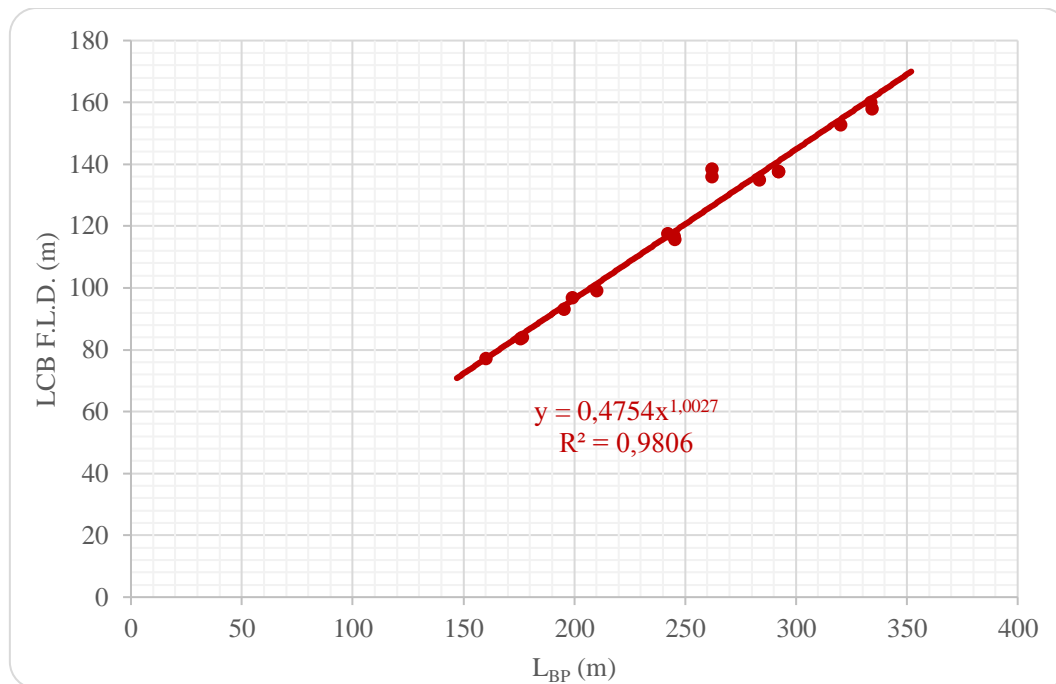
Type: $y = 1.162 * x^{0.3819}$

R-square: 0.964

$$LCG_F.L.D = 1.162 * (L_{BP} * B * D)^{0.3819}$$

Παρατηρήσεις: Το LCG στη κατάσταση φόρτωσης Full Load Departure φαίνεται απ' το διάγραμμα ότι μπορεί να υπολογιστεί με πάρα πολύ καλή ακρίβεια αν είναι γνωστά το μήκος, το πλάτος και το κοίλο.

3.5.7 Διαμήκης θέση κέντρου άντωσης στη κατάσταση F.L.D.



Διάγραμμα 57: LCB F.L.D. συναρτήσει του L_{BP}

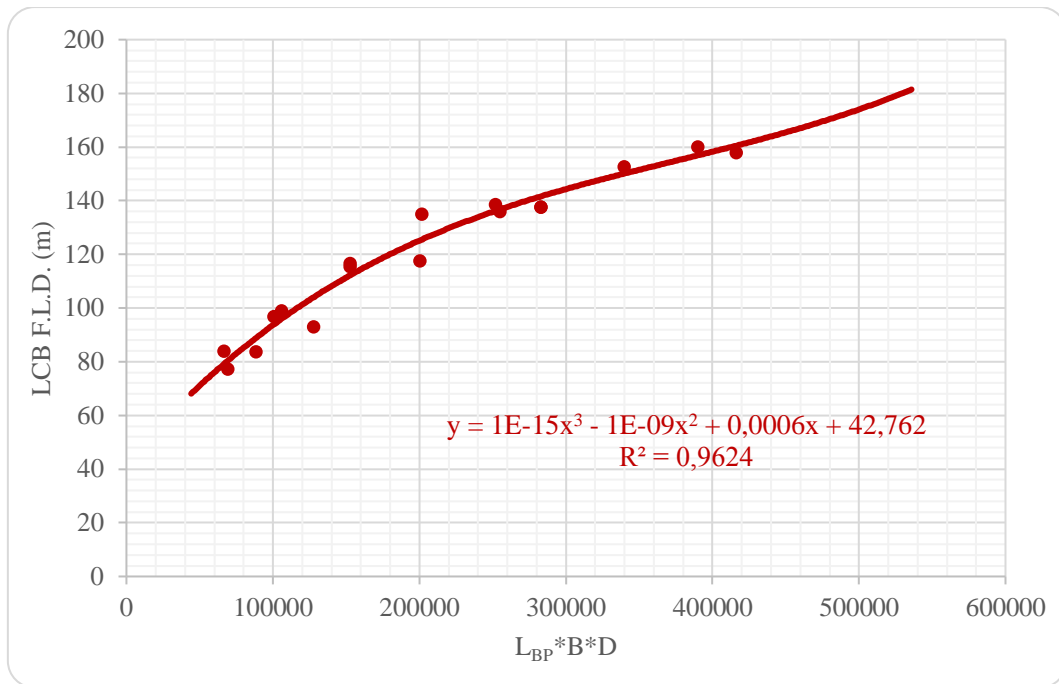
Data base A

Type: $y = 0.4754 * x^{1.0027}$

R-square: 0.9806

$$LCB_F.L.D. = 0.4754 * L_{BP}^{1.0027}$$

Παρατηρήσεις: Για το διάμηκες κέντρο άντωσης είναι εμφανές η εξαιρετική συσχέτιση του με το μήκος L_{BP}, έχοντας ελάχιστες αποκλίσεις και αποτελώντας έναν πολύ χρήσιμο τρόπο εκτίμησης του LCB στο στάδιο της προμελέτης.



Διάγραμμα 58: LCB F.L.D. συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$

Data base A

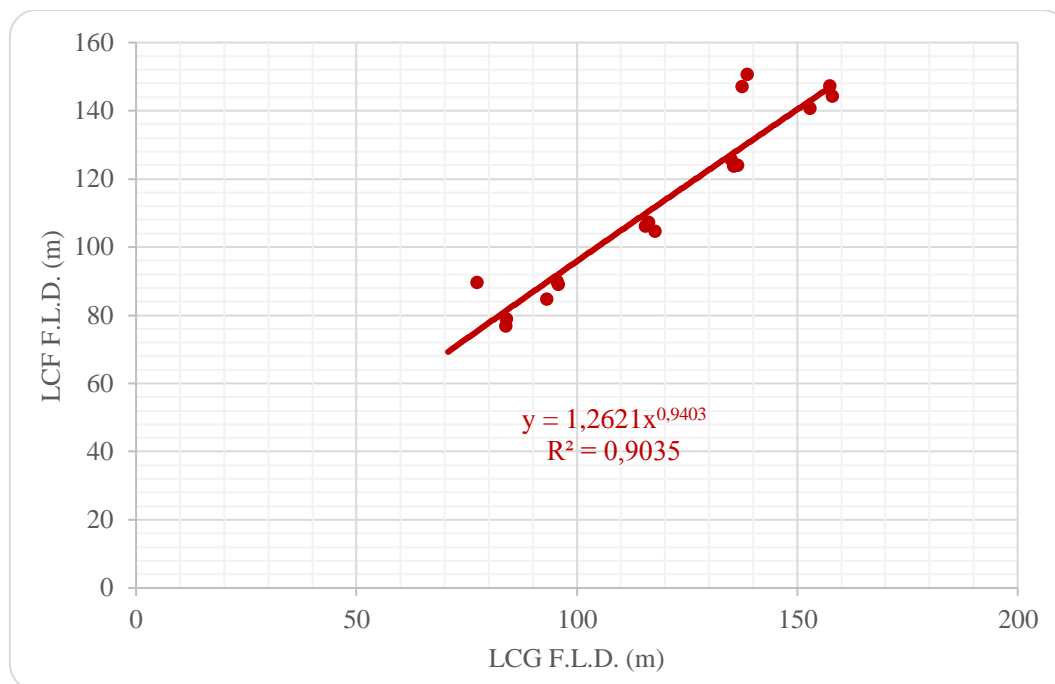
Type: $y = 1 * 10^{-15} * x^3 - 1 * 10^{-9} * x^2 + 0.0006 * x + 42.762$

R-square: 0.9624

$$LCB_F.L.D = 1 * 10^{-15} * (L_{BP} * B * D)^3 - 1 * 10^{-9} * (L_{BP} * B * D)^2 + 0.0006 * (L_{BP} * B * D) + 42.762$$

Παρατηρήσεις: Στο διάγραμμα παραπάνω παρατηρείται ότι το κέντρο άντωσης κατά το διάμηκες (LCB) στη κατάσταση φόρτωσης Full Load Departure μπορεί να εκτιμηθεί με αρκετά μεγάλη ακρίβεια. Αυτό που αξίζει να σχολιαστεί είναι ότι το LCB αυξάνεται με πιο γρήγορο ρυθμό στα μικρά πλοία απ' ότι στα μεγαλύτερα μεγέθη πλοίων.

3.5.8 Διαμήκης θέση κέντρου πλευστότητας στη κατάσταση F.L.D.



Διάγραμμα 59: LCF F.L.D. συναρτήσει του LCG F.L.D

Data base A

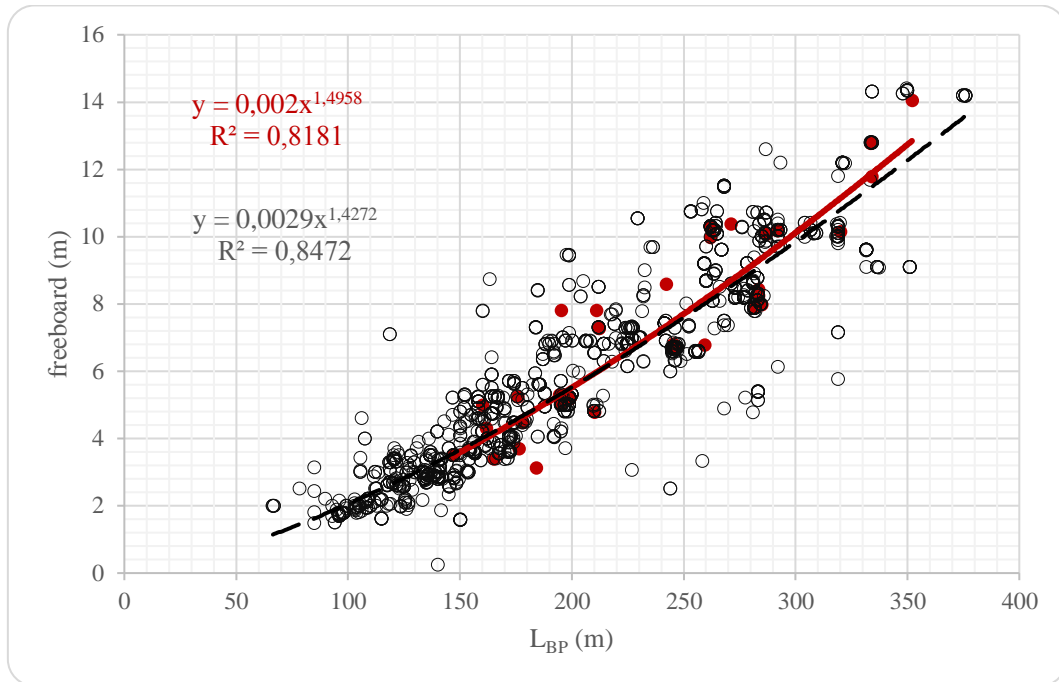
Type: $y = 1.2621 * x^{0.9403}$

R-square: 0.9035

$$LCF_F.L.D. = 1.2621 * LCG_F.L.D.^{0.9403}$$

Παρατηρήσεις: Το κέντρο πλευστότητας στη κατάσταση Full Load Departure συναρτήσει του κέντρου βάρους κατά το διάμηκες στην ίδια κατάσταση φόρτωσης, είναι ένα διάγραμμα το οποίο έχει καλή συσχέτιση αν ληφθεί υπόψη βέβαια και η λεπτομέρεια των μεγεθών που μελετώνται.

3.6 Ύψος εξάλων

Διάγραμμα 60: freeboard συναρτήσει του L_{BP} **Data base A**Type: $y = 0.002 * x^{1.4958}$

R-square: 0.8181

Συνδυασμός των δύο Data baseType: $y = 0.0029 * x^{1.4284}$

R-square: 0.8478

Data base BType: $y = 0.0029 * x^{1.4272}$

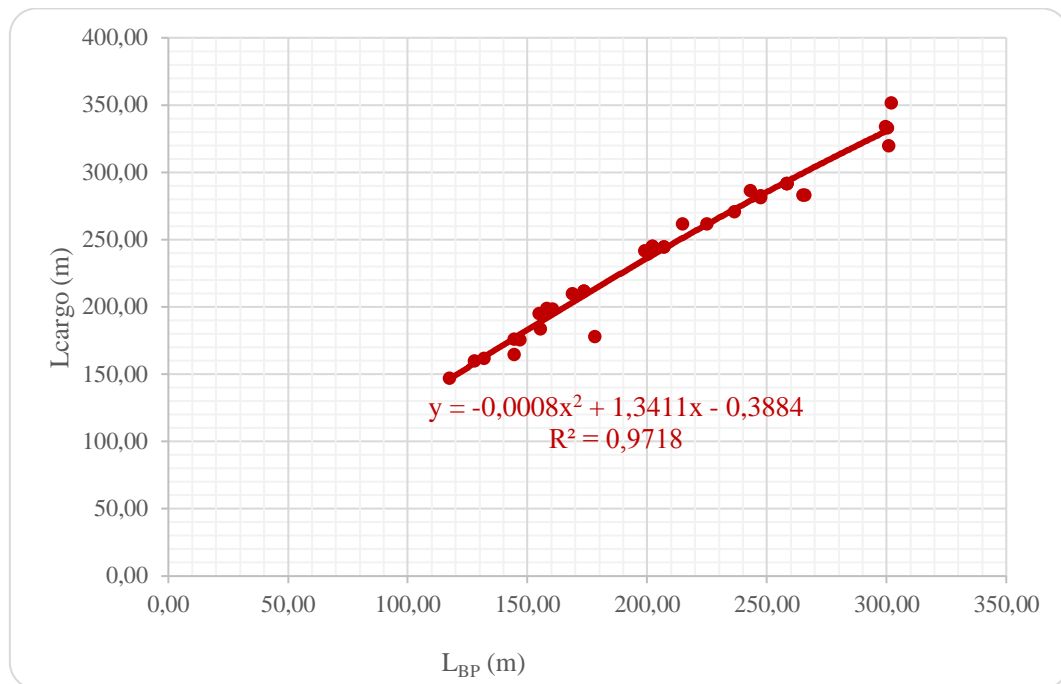
R-square: 0.8472

$$freeboard = 0.0029 * L_{BP}^{1.4284}$$

Παρατηρήσεις: Στο παραπάνω διάγραμμα μελετήθηκαν τα μεγέθη: $freeboard=D-Tscantling$ σε σχέση με το L_{BP} . Η συσχέτιση παρόλο ότι δεν είναι τόσο καλή, δείχνει ότι υπάρχει σχέση μεταξύ των δύο μεγεθών.

3.7 Σχεδιαστικές λεπτομέρειες

3.7.1 L cargo



Διάγραμμα 61: L cargo συναρτήσει του L_{BP}

Data base A

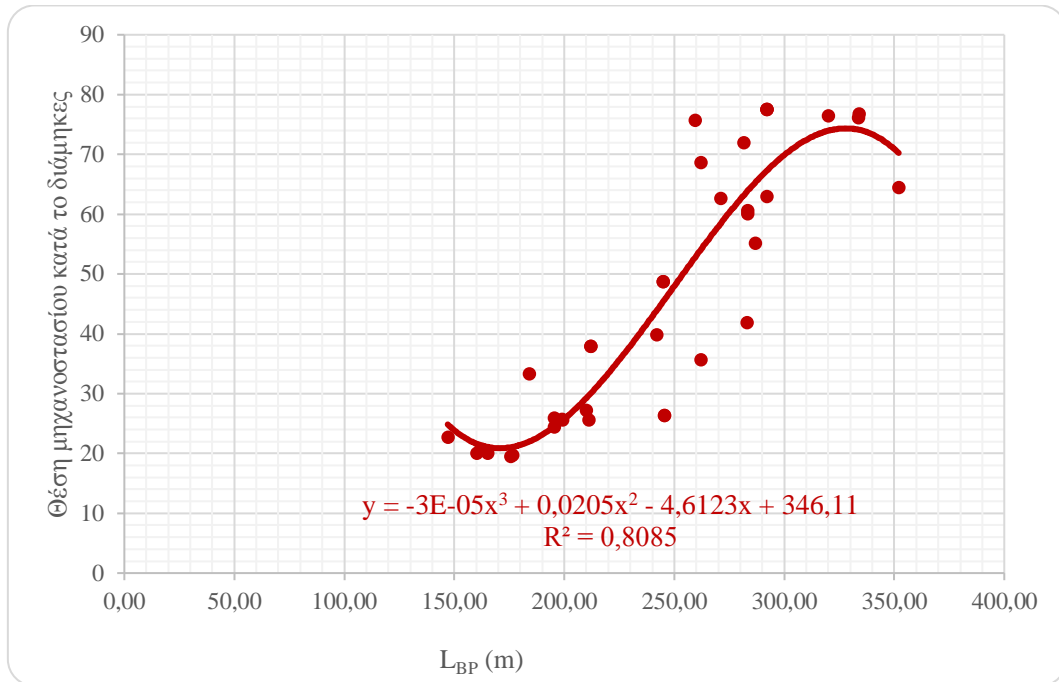
Type: $y = 8 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 1.3411 \cdot x - 0.3884$

R-square: 0.9718

$$L_cargo = 8 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 1.3411 \cdot x - 0.3884$$

Παρατηρήσεις: Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται πολύ καλή συσχέτιση τού ολικού μήκους του φορτίου συναρτήσει του μήκους μεταξύ καθέτων.

3.7.2 Θέση μηχανοστασίου



Διάγραμμα 62: Θέση του μηχανοστασίου του μήκους του πλοίου συναρτήσει του L_{BP}

Data base A

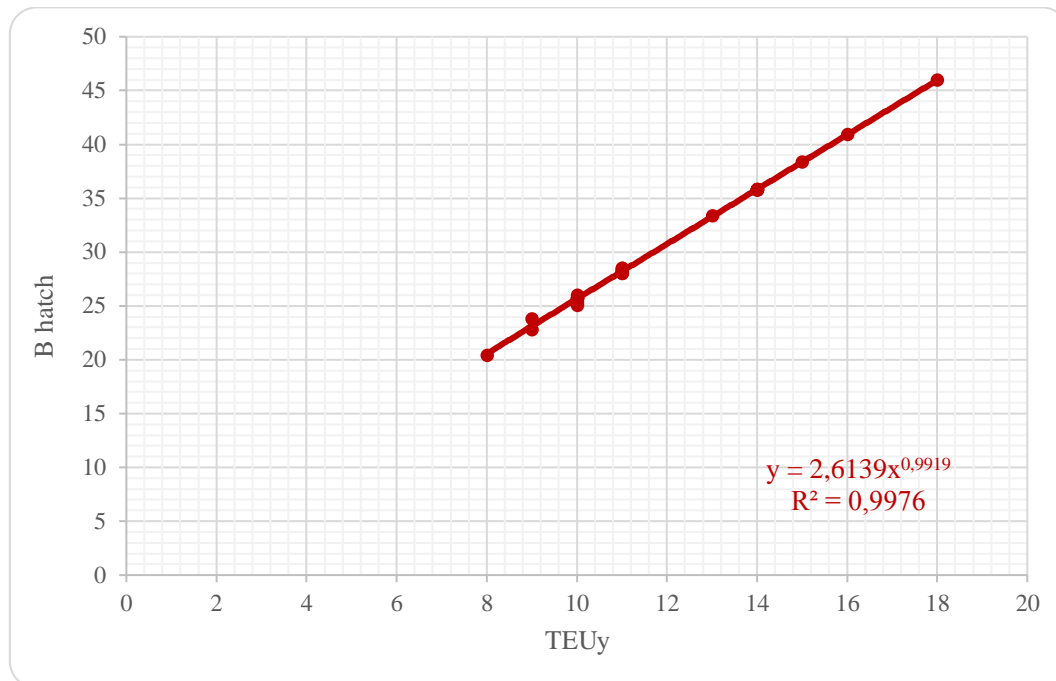
Type: $y = -3 * 10^{-5} * x^3 + 0.0205 * x^2 - 4.6123 * x + 346.11$

R-square: 0.8085

$$x_eng.room = -3 * 10^{-5} * L_{BP}^3 + 0.0205 * L_{BP}^2 - 4.6123 * L_{BP} + 346.11$$

Παρατηρήσεις: Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται η συσχέτιση της θέσης του μηχανοστασίου (μετρημένο από την Α.Ρ. ως το μέσο του μήκους του μηχανοστασίου) συναρτήσει του μήκους μεταξύ καθέτων.

3.7.3 B hatch



Διάγραμμα 63: Πλάτος καλύμματος στομίου συναρτήσει του αριθμού των TEU κατά πλάτος

Data base A

Type: $y = 2.6139 * x^{0.9919}$

R-square: 0.9976

$$B_hatch = 2.6139 * TEUy^{0.9919}$$

Παρατηρήσεις: Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται πολύ καλή συσχέτιση του πλάτους του στομίου συναρτήσει της χωρητικότητας των TEU κατά το πλάτος.

4. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

4.1 Γενικά

Στο τρίτο μέρος της εργασίας παρουσιάζεται η ανάπτυξη του κώδικα σε γλώσσα MATLAB. Η μέθοδος που πραγματοποιήθηκε είναι μία παραλλαγή της μεθόδου συσχετισμού. Συγκεκριμένα, στην παρούσα εργασία ο καθορισμός των κυρίων διαστάσεων γίνεται με βάση συγκριτικά στοιχεία από όμοια κατασκευασμένα πλοία αλλά και με βάση εμπειρικούς τύπους, διαγράμματα και συντελεστές¹⁰.

Τα δεδομένα που χρειάζεται το πρόγραμμα για να τρέξει εισάγονται μέσω ενός αρχείου Excel που λειτουργεί ως input. Στη συνέχεια, το πρόγραμμα μέσω κάποιων υπολογισμών που πραγματοποιεί ελέγχει αν τα δεδομένα που εισήγαγε ο χρήστης ανταποκρίνονται σε λογικά πλαίσια. Εφόσον είναι όλα τα δεδομένα σωστά, το πρόγραμμα κάνει ένα είδος βελτιστοποίησης του πλάτους του πλοίου έτσι ώστε να εκμεταλλευτούμε σύμφωνα με τις διαστάσεις ενός TEU, με το καλύτερο δυνατό τρόπο, τις διαστάσεις των αμπαριών. Στη συνέχεια, μέσα από μία σειρά υπολογισμών που θα επεξηγηθούν αναλυτικά παρακάτω, το πρόγραμμα εκτιμά τα σημαντικότερα μεγέθη που θα χρειαστεί ο μελετητής σαν πρώτη εικόνα πριν την κανονική μελέτη. Τέλος, πραγματοποιείται μία οικονομική μελέτη, η οποία στόχο έχει την εκτίμηση του συνολικού κόστους κατασκευής και του κόστους λειτουργίας του πλοίου. Με βάση τα στοιχεία αυτά, γίνεται μελέτη της οικονομικής βιωσιμότητας του πλοίου σε όλη τη διάρκεια της ζωής του.

4.2 Εισαγωγή δεδομένων

Η ανάγνωση των δεδομένων πραγματοποιείται όπως προαναφέρθηκε μέσω ενός αρχείου excel, το οποίο περιλαμβάνει τις εξής παραμέτρους:

Lbp	Μήκος μεταξύ καθέτων [m]
B	Πλάτος [m]
D	Κοίλο [m]
Cb	Συντελεστής γάστρας
Vs	Ταχύτητα υπηρεσίας [kn]
Range	Ακτίνα ενέργειας [miles]
Crew	Αριθμός πληρώματος
Lbulb	Μήκος βολβού [m]
FR_hold	No. of Web Frames per hold
FSaft	Frame Spacing πρύμνης [m]
FSer	Frame Spacing μηχανοστασίου [m]
FSfwd	Frame Spacing πλώρης [m]
Hhatch	Ύψος καλύματος στομίων [m]
margin plate thickness	margin plate thickness
Camper	Κυρτότητα [m]
Wcranes	Βάρος γερανών
z	αριθμός πτερυγίων έλικας
Abt	Το εμβαδόν της εγκάρσιας επιφάνειας βολβού στο σημείο τομής της ισάλου με το προφίλ της πλώρης [m ²]
hb	Η απόσταση του κέντρου του A _{BT} από τον πυθμένα [m]
At	Η βυθισμένη επιφάνεια της πρύμνης άβακα [m ²]
S_APP	Η συνολική επιφάνεια των παρελκομένων [m ²]
Kst1	Steel Price [\$/ton]

¹⁰ Παπανικολάου Δ. Απόστολος, «Μελέτη Πλοίου – Μεθοδολογίες Προμελέτης Πλοίου»

Kst2	Work Price [\$/Hour]
Kfuel	fuel cost [\$/ton]
Kdiesel	diesel cost [\$/ton]
Klub	Lubricant cost [\$/ton]
T_loan	Χρόνος αποπληρωμής δανείου σε χρόνια

Πίνακας 6: Input χρήστη

4.3 Υπολογισμός κύριων χαρακτηριστικών

Αρχικά, το πρόγραμμα ελέγχει τα ακόλουθα στοιχεία του χρήστη με βάση τους παρακάτω περιορισμούς και επιστρέφει μήνυμα σε περίπτωση που κάποιο από τα κριτήρια δεν ικανοποιείται:

- $70 < L_{BP} [m] < 350$
- $0.55 \leq cb \leq 0.8$
- $5000 \leq \text{Range [miles]} \leq 25000$
- $3 < \text{αριθμός πτερυγίων έλικας} < 8$
- $15 < \text{αριθμός πληρώματος} < 35$
- $FS_{AFT}, FS_{ER}, FS_{FWD} [m] \leq 1$
- $L_{bulb} \leq 0.8 * T_{scant}$.

Στη συνέχεια, το πρόγραμμα βρίσκει 10 όμοια πλοία με κριτήριο την μικρότερη διαφορά του L_{bp} και υπολογίζει τα παρακάτω:

- **Αριθμός Froude:** Γίνεται έλεγχος συγκριτικά με τα όμοια πλοία και επιστρέφει μήνυμα στο χρήστη για διόρθωση της ταχύτητας που έχει δώσει στο αρχείο input.
- **Κοίλο (D):** Γίνεται έλεγχος συγκριτικά με τα όμοια πλοία και επιστρέφει μήνυμα στο χρήστη για διόρθωση.
- **Πλάτος (B):** Γίνεται έλεγχος συγκριτικά με τα πλάτη των όμοιων πλοίων και επιστρέφει μήνυμα στο χρήστη για διόρθωση. Έπειτα, γίνεται βελτιστοποίηση του πλάτους του πλοίου ανάλογα με τα TEU που χωράνε κατά πλάτος:

$$B = 3 * n + 2.2$$

- **Βύθισμα σχεδίασης (T design):** Το βύθισμα σχεδίασης υπολογίζεται από τον ακόλουθο προσεγγιστικό τύπο:

$$T_{design} = 2.6349 * \ln(L_{BP} * B * D) - 19.1$$

- **Βύθισμα αντοχής (T scant.):** Το βύθισμα αντοχής υπολογίζεται από τον ακόλουθο προσεγγιστικό τύπο (Διάγραμμα 15):

$$T_{scant.} = 2.665 * \ln(L_{BP} * B * D) - 19.407$$

- **Εκτόπισμα (Displacement):** Υπολογίζεται από την σχέση υδροστατικής μέσω των κύριων διαστάσεων:

$$\Delta = c\gamma * L_{BP} * B * T * C_B$$

όπου γ είναι το ειδικό βάρος του θαλασσινού νερού (1.025 t/m³) και c ένας συντελεστής περιβλήματος γάστρας. Το γινόμενο $c\gamma$ κυμαίνεται μεταξύ 1.026 (για μικρά πλοία) και 1.031 (για μεγάλα πλοία) και υπολογίζεται από το πρόγραμμα με γραμμική παρεμβολή.

- **Εκτόπισμα στο βύθισμα αντοχής (Displacement scantling):** Υπολογίζεται από τον παρακάτω προσεγγιστικό τύπο (Διάγραμμα 23):

$$\Delta_{scant.} = 1.7356 * (L_{BP} * B * D)^{0.8819}$$

- **Βάρος άφορτου σκάφους (Lightship):** Το βάρος του άφορτου σκάφους υπολογίζεται απ' το προσεγγιστικό τύπο (Διάγραμμα 32):

$$Lightship = 2 * 10^{-8} * (L_{BP} * B * D)^2 + 0.0992 * (L_{BP} * B * D) + 1338.1$$

- **Πρόσθετο βάρος στο βύθισμα αντοχής (Deadweight scant.):** Το πρόσθετο βάρος στο βύθισμα αντοχής υπολογίζεται από τη διαφορά του βάρους του κενού σκάφους από το εκτόπισμα στο βύθισμα αντοχής:

$$DWT_{scant.} = \Delta_{scant.} - Lightship$$

- **Πρόσθετο βάρος (Deadweight):** Το DWT υπολογίζεται από τη διαφορά του Lightship από το εκτόπισμα στο βύθισμα σχεδίασης:

$$DWT_{des.} = \Delta - Lightship$$

- **Ολική χωρητικότητα (Gross Tonnage):** Υπολογίζεται από τον προσεγγιστικό τύπο (Διάγραμμα 34):

$$GrT = 0.2671 * (L_{BP} * B * D) + 394.02$$

- **Καθαρή χωρητικότητα (Net Tonnage):** Υπολογίζεται από τον προσεγγιστικό τύπο (Διάγραμμα 36):

$$NrT = 0.1391 * (L_{BP} * B * D)^{0.9977}$$

- **Ολικό μήκος (Length overall):** Υπολογίζεται με πολύ καλή προσέγγιση από τον προσεγγιστικό τύπο (Διάγραμμα 5):

$$L_{OA} = 1.0306 * L_{BP} + 5.8426$$

- **Όγκος γάστρας (Volume):** Ο βυθισμένος όγκος της γάστρας στο βύθισμα σχεδίασης υπολογίζεται από:

$$V = L_{BP} * B * T * C_B$$

- **Συντελεστής λυγηρότητας :** Ο συντελεστής λυγηρότητας υπολογίζεται από το παρακάτω τύπο:

$$L_{BP} / V^{1/3}$$

- **Συντελεστής μέσης τομής (C_M):** Υπολογίστηκε με το μέσο όρο των τριών τύπων της μελέτης γιατί η στατιστική ανάλυση δεν έδωσε καλή συσχέτιση (Παπανικολάου, 2009):

$$C_M = Average \left\{ \begin{array}{l} 0.9 + 0.1 * C_B \\ 1.006 - 0.0056 * C_B^{-3.56} \\ 1 / (1 + (1 - C_B)^{3.5}) \end{array} \right\}$$

- **Πρισματικός συντελεστής (C_P):** υπολογίζεται από τον τύπο:

$$C_P = C_B / C_M$$

- **Συντελεστής ισάλου επιφάνειας (C_{WL}):** Χρησιμοποιήθηκε και εδώ ο μέσος όρος από τους ήδη υπάρχοντες τύπους της μελέτης (Παπανικολάου, 2009) λόγω μη καλής συσχέτισης στη στατιστική ανάλυση:

$$C_{WL} = Average \left\{ \begin{array}{l} 0.778 * C_B + 0.248 \\ 0.95 * C_P + 0.17 * (1 - C_P)^{1/3} \\ (1 + 2 * C_B) / 3 \end{array} \right\}$$

4.4 Υπολογισμός χωρητικότητας δεξαμενών

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται λεπτομερής ανάλυση του DWT και εκτίμηση των επιμέρους βαρών. Τα βάρη για τις δεξαμενές fuel oil, diesel oil και lubricant oil υπολογιστήκαν πολλαπλασιάζοντας τους όγκους με το ειδικό βάρος (0.9 t/m³) και με την πλήρωση στο 98%. Οι όγκοι εκτιμώνται με τους παρακάτω τύπους:

- **Fuel oil:** Ο όγκος δεξαμενών καυσίμων Heavy Fuel Oil εκτιμάται από τον παρακάτω τύπο (Διάγραμμα 40):

$$V_{FUEL} = 0.029 * DWT_{scant}^{1.1139}$$

- **Diesel oil:** Αν και η προσεγγιστική καμπύλη του όγκου δεξαμενών καυσίμων Diesel Oil και του πρόσθετου βάρους στο βύθισμα αντοχής δεν δίνει καλή εκτίμηση, ο προσεγγιστικός τύπος δίνει μία καλή πρώτη εικόνα:

$$V_{DIESEL} = -3 * 10^{-8} * DWT_{scant.}^2 + 0.0088 * DWT_{scant.} - 25.137$$

- **Lubricant oil:** Το βάρος των δεξαμενών λιπαντικών θεωρείται ότι αντιστοιχεί στο 3-5% του συνόλου των δεξαμενών Fuel και Diesel (Παπανικολάου, 2009) οπότε επιλέγοντας τον μέσο όρο έχουμε:

$$W_{LUBRICANT} = 0.04 * (W_{FUEL} + W_{DIESEL})$$

$$V_{LUBRICANT} = W_{LUBRICANT} / (0.99 * 0.98)$$

- **Water Ballast:** Ο όγκος δεξαμενών water ballast υπολογίζεται με πολύ καλή ακρίβεια από τον παρακάτω προσεγγιστικό τύπο (Διάγραμμα 39):

$$V_{WATER_BALLAST} = 3 * 10^{-7} * DWT_{scant.}^2 + 0.162 * DWT_{scant.} + 4742.7$$

- **Fresh Water:** Ο προσεγγιστικός τύπος για τον όγκο του Fresh Water εκτιμάται βάση των αριθμών μελών του πληρώματος που εισάγει ο χρήστης στο αρχείο input:

$$W_{FW} = (15 + 200) / 1000 * crew * trip * 1.15$$

$$V_{FW} = W_{FW}$$

- **Crew & Effects:** Το μέσο βάρος για κάθε μέλος του πληρώματος θεωρείται ότι είναι 75 kg/άτομο συν 60 kg/άτομο για τις αποσκευές τους (Παπανικολάου, 2009):

$$W_{CREW} = (75 + 60) * crew$$

- **Provisions:** Τα εφόδια που χρειάζονται για κάθε μέρα στο ταξίδι του πλοίου θεωρούμε ότι είναι 7 – 16 kg ανά άτομο (Παπανικολάου, 2009), οπότε παίρνοντας το μέσο όρο παίρνουμε:

$$W_{PR} = 12 / 1000 * crew * trip$$

- **Ωφέλιμο φορτίο (Payload):** Το ωφέλιμο φορτίο στο βύθισμα σχεδίασης και στο βύθισμα αντοχής υπολογίζεται ως εξής:

$$Payload = DWT - W_{FUEL} - W_{DIESEL} - W_{LUB} - W_{FW} - W_{CREW} - W_{PR}$$

$$Payload_{scant.} = DWT_{scant.} - W_{FUEL} - W_{DIESEL} - W_{LUB} - W_{FW} - W_{CREW} - W_{PR}$$

- **Ισοδύναμα TEU:** Τα ισοδύναμα TEU υπολογίζονται ως η ελάχιστη τιμή των δύο παρακάτω τύπων στρογγυλοποιώντας το αποτέλεσμα προς τα κάτω (Διάγραμμα 25 & 26):

$$\min \left\{ \begin{array}{l} TEU = 2 * 10^{-7} * DWT_{scant.}^2 + 0.0621 * DWT_{scant.} + 121.7 \\ TEU = 5 * 10^{-9} * (L_{BP} * B * D)^2 + 0.0215 * (L_{BP} * B * D) + 202.04 \end{array} \right\}$$

Σημείωση: Η μελέτη έγινε για ισοδύναμα TEU.

- **Ισοδύναμα TEU in holds:** Υπολογίζονται από τον παρακάτω τύπο συναρτήσεως του Deadweight scantling (Διάγραμμα 27):

$$TEU_in_hold = 4 * 10^{-9} * (L_{BP} * B * D)^2 + 0.0099 * (L_{BP} * B * D) + 81.803$$

- **Ισοδύναμα TEU on deck:** Υπολογίστηκαν από τη διαφορά των ισοδυναμών TEU in hold από τα ισοδύναμα TEU:

$$TEU_on_deck = TEU - TEU_in_hold$$

- **Ratio:** Το ratio δείχνει την αναλογία των TEU in hold σε σχέση με τα TEU on deck:

$$Ratio = TEU_in_hold / TEU_on_deck$$

- **tons per teu:** Το μέσο βάρος ανά TEU υπολογίζεται από το πηλίκο του Payload scantling με τα ισοδύναμα TEU:

$$tons_per_TEU = Payload\ scant. / TEU$$

4.5 Καθορισμός διάταξης και οριοθέτηση φρακτών

- **Μήκη (Lcarg, Laft, Lfwd, Leng.room):** Γίνεται εύρεση και βελτιστοποίηση των μηκών του πλοίου ανάλογα με τα TEU που χωράνε κατά μήκος και σύμφωνα με την προσεγγιστική καμπύλη για το Lcarg, Laft και Lfwd συναρτήσεως του L_{BP} :

$$Lcarg = -0.0008 * L_{BP}^2 + 1.3411 * L_{BP} + 0.3884 \quad (\text{Διάγραμμα 61})$$

$$Lfwd = 5.7528 * \ln(L_{BP}) - 19.376$$

$$Laft = 5.7541 * e^{0.0033 * L_{BP}}$$

Στη συνέχεια, έγινε μία εκτίμηση του μήκους του μηχανοστασίου με γραμμική παρεμβολή από τα 18 – 35 μέτρα ανάλογα το L_{BP} του πλοίου, επειδή η στατιστική ανάλυση δεν έδινε κάποια συσχέτιση με κάποιο άλλο σχετικό μέγεθος έτσι ώστε να βγάλουμε μία σαφή προσεγγιστική καμπύλη.

Αμέσως μετά ελέγχθηκε αν το άθροισμα των τριών μηκών τους ισούται με το L_{BP} και έγιναν οι σχετικές διορθώσεις σε περίπτωση που διέφερε απ' αυτό.

- **HOLDS:** Από τη μελέτη που πραγματοποιήθηκε, παρατηρήθηκε ότι η συντριπτική πλειοψηφία των container ships διαθέτουν αμπάρια χωρητικότητας τεσσάρων TEU ή δυο FEU κατά το

διάμηκες. Έτσι και στη προμελέτη που πραγματοποιήθηκε, θεωρήθηκε ότι όλα τα αμπάρια έχουν χωρητικότητα κατά το διάμηκες τεσσάρων TEU ή δύο FEU εκτός από το πρώτο αμπάρι (δηλ. αυτό που βρίσκεται πιο κοντά στη πλώρη), που η διάσταση του αλλάζει (3, 4, 5 και 6 TEU) ανάλογα με το L_{BP} που έχει δώσει ο χρήστης με αποτέλεσμα να έχουμε πλήρη εκμετάλλευση του χώρου.

- **HATCH:** Σε αυτό το σημείο υπολογίζεται το πλάτος των hatch από τον παρακάτω προσεγγιστικό τύπο ([Διάγραμμα 63](#)):

$$B_hatch = 2.6139 * TEU^{0.9919}$$

Το μήκος του hatch θεωρήθηκε ίσο με 12.64 m, αφού θεωρήθηκε ότι η χωρητικότητα των αμπαριών κατά το διάμηκες θα είναι 4 TEU και το ύψος του hatch δίνεται από τον χρήστη.

- Σε αυτό το στάδιο, επειδή το τοίχωμα της τελευταίας δεξαμενής συμπίπτει με την τοποθέτηση της προωρίας φρακτής σύγκρουσης, πρέπει να γίνει έλεγχος της απόστασης της φρακτής σύμφωνα με τους κανονισμούς της SOLAS (2014) που την περιορίζουν στα ακόλουθα όρια:

$$\min \left\{ \begin{array}{l} 5\% L_{subdivision} \\ 10m \end{array} \right\} \leq d \leq \max \left\{ \begin{array}{l} 8\% L_{subdivision} \\ 5\% L_{subdivision} + 3m \end{array} \right\}$$

Όπου d η απόσταση της προωρίας φρακτής σύγκρουσης από την προωρία κάθετο (F.P.). Στη περίπτωση που το πλοίο έχει βολβό, η απόσταση της προωρίας φρακτής σύγκρουσης μετρείται από το σημείο α όπου:

$$\alpha = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{L_{BULB}}{2} \\ 1.5\% L_{BP} \\ 3m \end{array} \right\}$$

Συνεπώς τα μήκη επαναπροσδιορίζονται.

4.6 Υπολογισμός κέντρου βάρους και υδροστατικών στοιχείων

4.6.1 Κέντρα βάρους και υδροστατικά στοιχεία για την κατάσταση Lightship

- **KG:** Υπολογίζεται ως συναρτήσει του κοίλου ([Διάγραμμα 46](#)):

$$KG = 0.0057 * D^2 + 0.1785 * D + 7.5709$$

- **LCG:** Υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των δύο προσεγγιστικών τύπων παρακάτω ([Διάγραμμα 48 & 49](#)):

$$LCG = 0.2395 * L_{BP}^{1.109}$$

$$LCG = 0.5516 * Lightship^{0.5358}$$

4.6.2 Κέντρα βάρους και υδροστατικά στοιχεία για την κατάσταση Full Load Departure

- **KG:** Υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των δύο προσεγγιστικών τύπων παρακάτω (Διάγραμμα 50 & 51):

$$KG = 6.3978 * e^{0.0418 * D}$$

$$KG = 0.4715 * (L_{BP} * B * D)^{0.2892}$$

- **LCG:** Υπολογίζεται και το LCG ως ο μέσος όρος των δύο προσεγγιστικών τύπων παρακάτω (Διάγραμμα 55 & 56):

$$LCG = 0.5159 * L_{BP}^{0.987}$$

$$LCG = 1.162 * (L_{BP} * B * D)^{0.3819}$$

- **LCB:** Εδώ έχουμε τον μέσο όρο των προσεγγιστικών τύπων (Διάγραμμα 57 & 58):

$$LCB = 0.4754 * L_{BP}^{1.0027}$$

$$LCB = 1 * 10^{-15} * (L_{BP} * B * D)^3 - 1 * 10^{-9} * (L_{BP} * B * D)^2 + 0.0006 * (L_{BP} * B * D) + 42.762$$

- **LCF:** Υπολογίζεται συναρτήσει του κέντρου βάρους κατά το διάμηκες στη κατάσταση full load departure από τον προσεγγιστικό τύπο παρακάτω (Διάγραμμα 59):

$$LCF = 1.2621 * LCG_{FLD}^{0.9403}$$

- **KM:** Υπολογίστηκε συναρτήσει του κοίλου, από τον παρακάτω προσεγγιστικό τύπο (Διάγραμμα 52):

$$KM = 0.015 * D^2 + 0.0704 * D + 8.4257$$

- **GM:** Υπολογίζεται ως η διαφορά του KG από το KM στη κατάσταση full load departure

$$GM = KM_{F.L.D.} - KG_{F.L.D.}$$

4.7 Υπολογισμός αντίστασης και πρόωσης

Για τον υπολογισμό της ισχύος πρόωσης του υπό μελέτη πλοίου, αρχικά υπολογίστηκε η αντίσταση του πλοίου. Η μέθοδος που εφαρμόστηκε είναι η Holtrop – Mennen 1978, η οποία προγραμματίστηκε στο MATLAB αποτελώντας υποπρόγραμμα του κύριου προγράμματος.

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή η συνολική αντίσταση του πλοίου είναι:

$$R_{TOTAL} = R_F * (1 + k1) + R_{APP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A$$

Όπου:

- R_F : αντίσταση τριβής (Frictional Resistance).
- R_W : αντίσταση κυματισμού (Wave Resistance).
- R_{APP} : αντίσταση παρελκομένων (Appendages Resistance).

- R_B : αντίσταση λόγω βολβοειδούς πρόρας (Bulbous Bow Resistance).
- R_{TR} : αντίσταση λόγω βύθισης της πρύμνης (Transom Stern Resistance).
- R_A : αντίσταση λόγω συντελεστή συσχέτισης (Correlation Resistance).
- $1+k_1$: συντελεστής μορφής γάστρας.

4.7.1 Απαιτούμενη ισχύς ρυμούλκησης

Αφού υπολογίσαμε την συνολική αντίσταση μπορούμε να εκτιμήσουμε την απαιτούμενη ισχύ ρυμούλκησης:

$$EHP = R_{TOTAL} * V_S$$

Στη συνέχεια υπολογίζονται κάποιοι συντελεστές πρόωσης που είναι απαραίτητοι για τον προσδιορισμό της κατάλληλης έλικας. Οι συντελεστές αυτοί είναι:

- Συντελεστής μείωσης ώσης t (Thrust deduction factor)
- Ποσοστό ομόρρου w (Wake fraction).
- Βαθμός απόδοσης σχετικής περιστροφής έλικας η_R (Relative rotative efficiency).
- Λόγος εκτεταμένης επιφάνειας πτερυγίων έλικας A_E/A_0 (Expanded Area Ratio, EAR).
- Απαιτούμενη ώση της έλικας:

$$Thrust = \frac{R_{TOTAL}}{1-t}$$

- V_A η ταχύτητα προχώρησης της έλικας:

$$V_A = V_S * (1-w)$$

4.7.2 Υπολογισμός ισχύος και στροφών έλικας

Για την επιλογή της κατάλληλης έλικας της σειράς Wageningen-B πρέπει να επιλυθεί το πρόβλημα βελτιστοποίησης των δύο παραμέτρων P/D και n , που καλείται στο κύριο πρόγραμμα μέσω υποπρογράμματος. Ο κώδικας του υποπρογράμματος που χρησιμοποιήθηκε είναι από τη διπλωματική μελέτη του Κάραλη Βασίλη «ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΞΗΡΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ».

4.8 Ισχύς πρόωσης

Ο υπολογισμός του M.C.R. (Maximum Continuous Rating) γίνεται μέσω του της ισχύς SHP (Shaft Horse Power) που απαιτεί η έλικα σε ήρεμη θάλασσα και καθαρή γάστρα με μία προσαύξηση 17% για ένα περιθώριο θάλασσας (Sea Margin) και για ρυπασμένη γάστρα (Fouled Hull):

$$MCR = \frac{SHP}{0.83}$$

4.9 EEDI

Στο σημείο αυτό γίνεται υπολογισμός του δείκτη EEDI αφού πρώτα γίνει επεξήγηση στη χρησιμότητα του. Ο δείκτης Σχεδίασης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (Energy Efficiency Design Index) αποτελεί ένα μαθηματικό τύπο, που δημιουργήθηκε ύστερα απ' τις κατευθυντήριες οδηγίες του IMO, με σκοπό τη μείωση μόλυνσης του περιβάλλοντος. Πιο συγκεκριμένα, εκφράζει την αναλογία μεταξύ της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος (δηλαδή CO_2) και του μεταφορικού έργου που παράγεται, το οποίο εκφράζεται ως ικανότητα μεταφοράς αγαθών, από τη λειτουργία του πλοίου. Οι εκπομπές CO_2 θεωρείται

ότι προέρχονται από τις κύριες μηχανές και από τις βοηθητικές μηχανές (δευτερεύουσες) μετά την αφαίρεση των εκπομπών που αναλογούν στην ισχύ που προσφέρεται από τη χρήση αντίστοιχων καινοτόμων τεχνολογιών. Το κέρδος που παράγεται θεωρείται ότι αποτελείται από το μεταφερόμενο φορτίο επί την ταχύτητα του πλοίου.

$$EEDI = \frac{CO_2 \text{ emission}}{\text{transport_work}}$$

Η μονάδα μέτρησης του EEDI είναι «γραμμάρια CO₂ ανά χωρητικότητα-μίλι». Για τα περισσότερα σκάφη, η «χωρητικότητα» εκφράζεται ως deadweight. Η βασική ιδέα είναι ότι η τιμή του EEDI ενός νέου πλοίου πρέπει να είναι ίση ή μικρότερη από την απαιτούμενη τιμή (target) του EEDI.

4.9.1 Περιγραφή του τύπου και των παραγόντων υπολογισμού του

Ο τελικός τύπος υπολογισμού του Δείκτη Ενεργειακής Αποδοτικότητας, ο οποίος πήρε την τελική μορφή στην MEPC 66, είναι ο ακόλουθος ο οποίος ισχύει για πλοία με DWT μεγαλύτερο από 10.000 t :

$$\frac{\left(\prod_{j=1}^n f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}^*) + \left(\left(\prod_{j=1}^n f_j \cdot \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} P_{AE_{eff(i)}} \right) C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right) - \left(\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} C_{FME} \cdot SFC_{ME}^{**} \right)}{f_i \cdot f_c \cdot f_l \cdot Capacity \cdot f_w \cdot V_{ref}}$$

4.9.2 Γραμμή αναφοράς

Η γραμμή αναφοράς ορίζεται ως μια καμπύλη που αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή του δείκτη, βασισμένη σε ένα σύνολο επιμέρους τιμών του δείκτη για μια καθορισμένη ομάδα πλοίων. Μια γραμμή αναφοράς έχει αναπτυχθεί, για κάθε τύπο πλοίου, εξασφαλίζοντας ότι μόνο δεδομένα από συγκρίσιμα πλοία περιλαμβάνονται στον υπολογισμό της κάθε γραμμής αναφοράς.

Η τιμή γραμμή αναφοράς είναι συνάρτηση της χωρητικότητας του πλοίου, και δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$Reference_Line_value = a \times (100\% _of_DWT)^{-c}$$

Τα a και c είναι σταθερές, που προσδιορίζονται από την προσαρμογή της καμπύλης παλινδρόμησης.

4.9.3 Απαιτούμενος Δείκτης Σχεδίασης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (required EEDI)

Απαιτούμενος EEDI είναι η μέγιστη τιμή του Επιτευχθέντος EEDI, που επιτρέπεται για κάθε νέο πλοίο συγκεκριμένης κατηγορίας και μεγέθους. Αφού υπολογίσουμε όλα τα παραπάνω η σχέση που πρέπει να ισχύσει είναι η εξής:

Επιτευχθείς EEDI ≤ Απαιτούμενος EEDI = (1-x/100)*Τιμή Γραμμής Αναφοράς

Όπου x είναι ο παράγοντας μείωσης, όπως καθορίζεται στον παρακάτω πίνακα για τον απαιτούμενο EEDI έναντι του EEDI της γραμμής αναφοράς.

Ship type	Size in GT	Phase 0 1 Jan 2013 – 31 Dec 2014	Phase 1 1 Jan 2015 – 31 Dec 2019	Phase 2 1 Jan 2020 – 31 Dec 2024	Phase 3 1 Jan 2025 and onwards
Cruise passenger ships ⁴	25.000 – 85.000	n/a	0-5	0-20	0-30
Ro-Ro passenger ships	1.000 – 4.000	n/a	0-5	0-20	0-30

Ship type	Size in DWT	Phase 0 1 Jan 2013 – 31 Dec 2014	Phase 1 1 Jan 2015 – 31 Dec 2019	Phase 2 1 Jan 2020 – 31 Dec 2024	Phase 3 1 Jan 2025 and onwards
Bulk carriers	10.000 – 20.000	n/a	0-10	0-20	0-30
Tankers	2.000 – 10.000	n/a	0-10	0-20	0-30
Gas carriers	4.000 – 20.000	n/a	0-10	0-20	0-30
Container ships	10.000 – 15.000	n/a	0-10	0-20	0-30
General cargo ships	3.000 – 15.000	n/a	0-10	0-20	0-30
Refrigerated cargo ships	3.000 – 5.000	n/a	0-10	0-20	0-30
Combined carrier	4.000 – 20.000	n/a	0-10	0-20	0-30
Vehicle / car carriers ²	10.000 and above	n/a	5	15	30
Ro-Ro cargo ships	1.000 – 2.000	n/a	0-5	0-20	0-30
LNG carriers ³	10.000 and above	n/a	10	20	30

Πίνακας 7: Παράγοντας x για τους διάφορους τύπους πλοίων, ανάλογα με την φάση που χτίστηκε αυτό.

4.9.4 Παραδοχές για τον υπολογισμό EEDI

Στη παρούσα εργασία, επειδή θα ήταν αδύνατο ο χρήστης του προγράμματος να γνωρίζει στη φάση της προμελέτης τις παραπάνω παραμέτρους, χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω παράμετροι:

παράμετροι	τιμή
capacity	70% *DWT scantling
$f_j, f_w, f_{eff(i)}, f_i, f_c, f_l$	1
a (για containership)	174.22
c (για containership)	0.2
$C_{F, ME}$	3.144
$C_{A, AE}$	3.206
SFC_{ME}	175
SFC_{AE}	185
V_{ref}	Η ταχύτητα για Δ scantling υπολογισμένη μέσω του συντελεστή ναυαρχείου.

Πίνακας 8: Παραδοχές για τον υπολογισμό του EEDI

4.10 Μέθοδος υπολογισμού Lightship

Στο σημείο αυτό γίνεται αναλυτικός υπολογισμός του Lightship με σκοπό να γίνει έλεγχος σχετικά με το Lightship που υπολογίστηκε στην αρχή του κώδικα. Η ανάλυση χωρίζεται στις παρακάτω επιμέρους κατηγορίες:

- Βάρος μεταλλικής κατασκευής (W_{ST})
- Βάρος ενδιάιτησης και εξοπλισμού (W_{OT})
- Βάρος μηχανολογικής εγκατάστασης (W_M)

4.10.1 Βάρος μεταλλικής κατασκευής (W_{ST})

Το βάρος της μεταλλικής κατασκευής προσεγγίζεται με τη μέθοδο Schneekluth. Το βάρος των υπερκατασκευών (W_{SS}) δίνεται ενδεικτικά από τον χρήστη. Η μέθοδος αναλύεται περιληπτικά παρακάτω:

- Στην αρχή υπολογίζουμε τον όγκο από ως το ανώτερο συνεχές κατώστρωμα

- Έπειτα, εκτιμάμε το βάρος της μεταλλικής κατασκευής χωρίς τις υπερκατασκευές συναρτήσει του συνολικού όγκου του προηγούμενου βήματος με το παρακάτω τύπο:

$$W'_{ST} = \nabla_U * C'_{ST} * [1 + 0.033(\frac{L}{D} - 12)] * [1 + 0.06(n - \frac{D}{D_0})] \\ * [1 + 0.05(1.85 - \frac{B}{D})] * [1 + 0.2(\frac{T}{D} - 0.85)] * [0.92 + (1 - C_{BD})^2] * [1 + 0.75 * C_{BD} * (C_M - 0.98)]$$

Όπου:

- ✓ n=1 αριθμός καταστρωμάτων
- ✓ $D_0 = 4\text{m}$
- ✓ $L/D \geq 9$
- ✓ $C'_{ST} = 0.108 - 0.117$ συντελεστής ειδικού μοναδιαίου βάρους (t/m^3)
Τέλος γίνεται διόρθωση για:
- ✓ Βολβοειδή πλώρα: αύξηση 0.4 – 0.7 %
- ✓ Χρήση χάλυβα υψηλής αντοχής: μείωση 5 – 7%

4.10.2 Βάρος ενδίαιτησης και εξοπλισμού (W_{OT})

Για το βάρος ενδίαιτησης και εξοπλισμού χρησιμοποιούμε δύο μεθόδους και στη συνέχεια παίρνουμε το μέσο όρο.

- 1^η Μέθοδος : προσεγγιστικός τύπος Παπανικολάου 2009
Ο προσεγγιστικός τύπος για φορτηγά πλοία είναι:

$$W_{OT,1} = K_{OT} * L_{BP} * B$$

- 2^η Μέθοδος: ομάδων βαρών Schneekluth
Στη μέθοδο αυτή μελετάμε τέσσερις μεγάλες ομάδες βαρών:

Καλύμματα στομίων κυτών

Υπολογίζεται με γραμμική παρεμβολή από τον παρακάτω πίνακα:

	Βάρος [kp] ανά μέτρο μήκους στομίου				
Πλάτος στομίου [m]	6	8	10	12	14
[kp/m ³]	826	1230	1720	2360	3150

Πίνακας 9: Βάρος ανά μέτρο μήκους στομίου

Φορτοεκφορτωτικά μέσα

Σε αυτή τη κατηγορία ανήκουν όλοι οι γερανοί, το βάρος των οποίων εισάγετε από το χρήστη.

Ενδίαιτηση

Για το βάρος ενδίαιτησης θεωρούμε ένα συντελεστή βάρους ίσο με $80 \div 90 \text{ kp/m}^3$. Ο όγκος των υπερκατασκευών θα υπολογιστεί προσεγγιστικά από τις τιμές που δίνει ο χρήστης:

$$V_{SS} = L_{SS} * B_{SS} * H_{SS}$$

Αρα το βάρος ενδίαιτησης σε τόνους υπολογίζεται:

$$W_3 = V_{SS} * 85 / 1000$$

Λοιπά Βάρη

Για τα υπόλοιπα βάρη χρησιμοποιούμε το παρακάτω τύπο:

$$W_4 = (L_{BP} * B * D)^{2/3} * C_1 \quad , \text{όπου } C_1 = 0.18 - 0.26 \text{ t/m}^3$$

Αρα τελικά προκύπτει: $W_{OT,2} = W_1 + W_2 + W_3 + W_4$

4.10.3 Βάρος μηχανολογικής εγκατάστασης (W_M)

Το βάρος της μηχανολογικής εγκατάστασης εκτιμάται με τη μέθοδο Strohbusch σύμφωνα με την οποία αναλύουμε τρεις ομάδες βαρών:

- W_{MM}: Βάρος κύριας μηχανής και μειωτήρα
- W_{MS}: Βάρος ελικοφόρου άξονα και έλικας
- W_{MR}: Βάρος λοιπής μηχανολογικής εγκατάστασης

Για τις τρεις ομάδες χρησιμοποιούμε συνδυασμό από τους τύπους της βιβλιογραφίας με τη μέθοδο της γραμμικής παρεμβολής ανάλογα με το MCR και SHP που υπολογίστηκε νωρίτερα.

4.10.4 Lightship (LS)

Εν κατακλείδι, αθροίζοντας τα επιμέρους βάρη καταλήγουμε στο Lightship calc.:

$$LS_{CALC} = W_{ST,CALC} + W_{OT,CALC} + W_{M,CALC}$$

Τα τελικά βάρη των επιμέρους ομάδων θα προκύψουν χρησιμοποιώντας έναν συντελεστή διόρθωσης λ_{LS} μεταξύ του υπολογιζόμενου Lightship (LS_{CALC}) και του πραγματικού (LS) που έχει υπολογιστεί προηγουμένως από προσεγγιστικό τύπο.

4.11 Μέθοδος υπολογισμού κόστους απόκτησης και λειτουργικών εξόδων**4.11.1 Κόστος κατασκευής**

Το κόστος κατασκευής του πλοίου το χωρίζουμε σε τρεις επιμέρους ομάδες οι οποίες είναι:

- Μεταλλική κατασκευή
- Ενδιαίτηση και εξοπλισμός
- Μηχανολογική εγκατάσταση

Παράλληλα για κάθε ομάδα αναλύεται σε κόστη εργατικών και κόστη υλικών.

Το κόστος της εργατοώρας είναι στις επιλογές του χρήστη αφού διαφέρει ανάλογα με τη χώρα και το ναυπηγείο.

- Μεταλλική κατασκευή

Μία εκτίμηση για τις αναγκαίες εργατοώρες που χρειάζονται για την μεταλλική κατασκευή της γάστρας δίνεται από τον τύπο του Benford:

$$MHS = a * (W_{ST})^b \quad , \text{όπου } a=243 \text{ και } b=0,85$$

Και συνεπώς το κόστος των εργατικών είναι:

$$C_{ST,WORK} = MHS * KMANHOUR$$

Επιπροσθέτως το κόστος για την ποσότητα του χάλυβα που θα χρειαστεί αντιστοιχεί στο βάρος του χάλυβα που έχουμε υπολογίσει συνυπολογίζοντας μία αύξηση 12.5% για ασφάλεια πολλαπλασιασμένο με την τιμή του ακατέργαστου χάλυβα που δίνει ο χρήστης. Δηλαδή:

$$C_{ST, MAT} = 1.125 * W_{ST} * K_{ST}$$

- Κόστος ενδίαίτησης και εξοπλισμού

Για τον υπολογισμό του κόστους ενδίαίτησης και εξοπλισμού θεωρούμε ότι το κόστος των υλικών αποτελεί το 79% και το κόστος των εργατικών το υπόλοιπο ποσοστό. Το κόστος των υλικών το εκτιμούμε από τη σχέση (Benford, 1967):

$$C_{OT, MAT} = 5000 * W_{OT}^{0.95}$$

Έτσι το συνολικό κόστος είναι:

$$C_{OT} = \frac{C_{OT, MAT}}{0.79}$$

Και το κόστος εργατικών:

$$C_{OT, WORK} + C_{OT} - C_{OT, MAT}$$

- Κόστος μηχανολογικής εγκατάστασης

Το συνολικό κόστος της μηχανολογικής εγκατάστασης υπολογίστηκε από το MCR που έχουμε υπολογίσει παραπάνω προσαυξημένο μ' ένα συντελεστή ασφαλείας. Για το κάθε KW ισχύς της μηχανής θεωρήθηκε ένα ενδεικτικό κόστος 600\$. Έτσι η σχέση που χρησιμοποιήθηκε είναι η παρακάτω:

$$C_{MACHINERY} = MCR * 1.2 * 600$$

Τέλος, το συνολικό κόστος κατασκευής του πλοίου ως εξής:

$$C_{BUILD} = C_{ST} + C_{OT} + C_{MACHINERY}$$

4.11.2 Λειτουργικά έξοδα του πλοίου

Αν θεωρήσουμε ότι 15 ημέρες το χρόνο, το πλοίο θα βρίσκεται σε κατάσταση δεξαμενισμού (Dock days), ο αριθμός ταξιδιών του πλοίου σ' ένα χρόνο είναι ο εξής:

$$N_{TRIPS} = \frac{365 - Dockdays}{t_{TRIP}}, \text{ όπου } t_{TRIP} = 2 * \frac{Range}{V_S * 24} + tportA + tportB + tportC$$

Range: Η ακτίνα ενέργειας σε μίλια.

tport: Ο χρόνος παραμονής σε μέρες του πλοίου ως τρία λιμάνια.

V_S: Η ταχύτητα υπηρεσίας σε knots.

4.11.2.1 Κόστος καυσίμων

Τα κόστη των fuel oil, diesel oil και lubricant oil υπολογίστηκαν ως το βάρος τους επί μία ενδεικτική τιμή που εισάγει ο χρήστης.

4.11.2.2 Κόστος τροφοδοσίας και μισθοδοσίας

Για τη τροφοδοσία του πληρώματος θεωρούμε κατά μέσο όρο 15 \$/ημέρα, οπότε το συνολικό κόστος τροφοδοσίας προκύπτει:

$$C_{FS} = crew * \frac{15\$}{\eta\mu\acute{\epsilon}\rho\alpha} * Seatetime$$

Το κόστος μισθοδοσίας, κατά μέσο όρο θεωρείται ίσο με 3000 \$/μήνα. Το συνολικό ετήσιο κόστος τροφοδοσίας με την προσαύξηση 2 μηνών δώρο προκύπτει:

$$C_{PR} = crew * \frac{3000\$}{person * month} * \frac{14months}{year}$$

4.11.2.3 Κόστος Συντηρήσεως & Επισκευών

- Οι δαπάνες συντηρήσεως και επισκευών της μεταλλικής κατασκευής δίνονται από την παρακάτω εμπειρική σχέση:

$$C_{R+M,ST} = 25000 \cdot \left(\frac{L_{BP} \times B \times D}{10^5} \right)^{2/3}$$

Όπου, L_{BP} , B , D : οι κύριες διαστάσεις του υπό μελέτη πλοίου

- Οι δαπάνες συντηρήσεως & επισκευών της μηχανολογικής εγκατάστασης δίνονται από την παρακάτω εμπειρική σχέση:

$$C_{R+M,M} = 13.6 \cdot SHP$$

όπου, SHP : η ισχύς της κύριας μηχανής

Συνεπώς, οι συνολικές ετήσιες δαπάνες συντηρήσεως & επισκευών θα είναι:

$$C_{R+M} = C_{R+M,ST} + C_{R+M,M}$$

4.11.2.4 Κόστος Ασφαλίσεως:

Το κόστος ασφαλίσεως για το πλήρωμα δίνεται από τη σχέση:

$$C_{IN} = 1925 \cdot \left(N_{CREW} + \frac{GT}{1000} \right)$$

4.11.2.5 Έξοδα Λιμένων:

Τα έξοδα για κάθε προσέγγιση σε λιμένα δίδονται από την εξής σχέση:

$$C_{port} = 600 + 50 * \left(\frac{L_{BP} * B * D}{10^5} \right) * 2 * Ntrips$$

4.11.2.6 Γενικά Έξοδα:

Τα γενικά έξοδα ανά έτος δίδονται από τον παρακάτω εμπειρικό τύπο:

$$C_G = 6500 + 70 \cdot \left(\frac{L_{BP} * B * D}{100} \right)$$

Όπου, L_{BP} , B , D : οι κύριες διαστάσεις του υπό μελέτη πλοίου

Συνεπώς το συνολικό κόστος εκμετάλλευσης του πλοίου ανά έτος θα προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους εξόδων, όπως αυτά υπολογίστηκαν σε κάθε μια απ' τις παραπάνω περιπτώσεις.

4.11.3 Ελάχιστος απαιτούμενος ναύλος

Για τον υπολογισμό του Ελάχιστου Απαιτούμενου Ναύλου που θα καθιστά το υπό σχεδίαση πλοίο οικονομικά βιώσιμο, θεωρούμε τα εξής:

- Ύψος δανείου: 60% του κόστους κτήσης του πλοίου με τόκο 8%

$$K_{\Delta} = 60\% \cdot C_T$$

- Κεφάλαιο πλοιοκτήτη: $K_{\Pi} = 40\% \cdot C_T$
- Διάρκεια εκμετάλλευσης πλοίου: 20 χρόνια
- Προσδοκώμενη απόδοση επενδυμένου κεφαλαίου: 12%
- Αξία πλοίου στο τέλος της διάρκειας ζωής του: 2.5% της αρχικής τιμής

Ο υπολογισμός του ελάχιστου απαιτούμενου ναύλου F γίνεται με το μηδενισμό της εξίσωσης της Καθαρής Παρούσας Αξίας (Κ.Π.Α.) του πλοίου για την αναμενόμενη διάρκεια ζωής του.

Η Κ.Π.Α. δίνεται από τον γενικό τύπο: $K.P.A. = \sum \left(\frac{E_{\Sigma t} - E_{\Xi t}}{(1+i)^t} \right)$

Με βάση τα παραπάνω, προκύπτει:

$$K.P.A. = -K_{\Pi} + \frac{\Pi_{20}}{(1+i)^{20}} + (F \cdot \sum \text{Payload} - E_{\Delta} - \Delta) \cdot \sum_{N=1}^{20} (1+i)^{-N}$$

Όπου, E_{Δ} : τα ετήσια λειτουργικά έξοδα,

$\sum \text{Payload}$: το ετήσιο μεταφερόμενο φορτίο,

$\Delta = K_{\Delta} \cdot \frac{r(1+r)^N}{(1+r)^N - 1}$ η σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του πλοίου δόση του δανείου.

Αντικαθιστώντας τα παραπάνω και λύνοντας την εξίσωση για $K.P.A. = 0$, προκύπτει ο ελάχιστος απαιτούμενος ναύλος για να είναι το πλοίο οικονομικά βιώσιμο.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

5.1 Γενικά

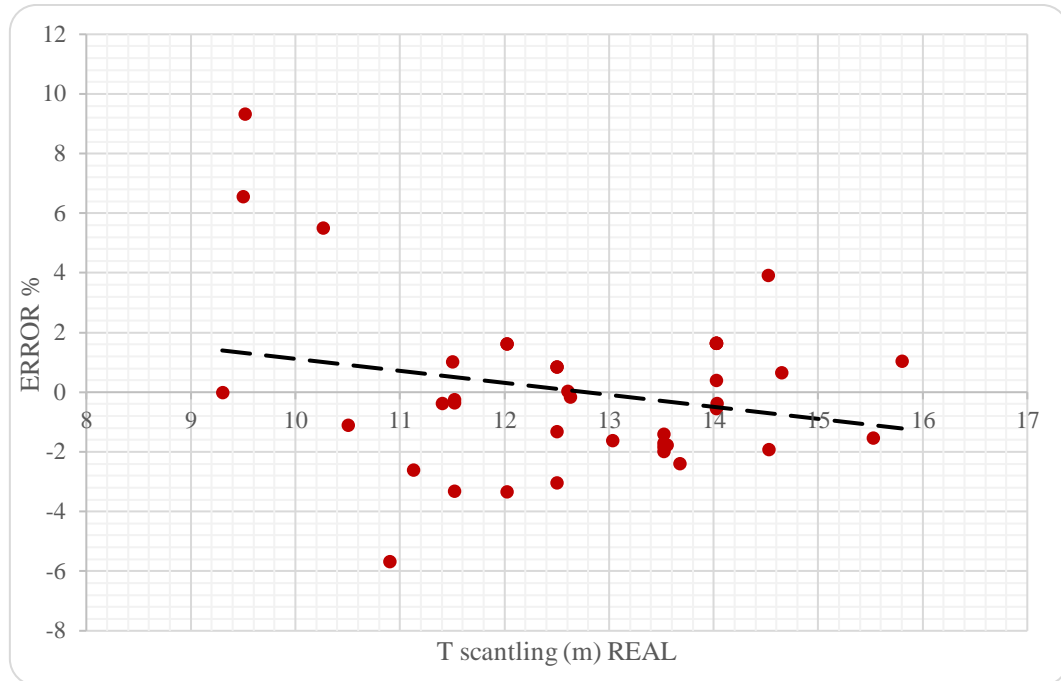
Ο κώδικας που δημιουργήθηκε εκτελέστηκε για ένα μικρό δείγμα πλοίων από τις βάσεις δεδομένων με τα οποία θα ελέγξουμε τα αποτελέσματα με τα πραγματικά τους δεδομένα. Παράλληλα, στο αρχείο input κάποιες τιμές που χρησιμοποιήθηκαν είναι ενδεικτικές λόγω έλλειψης δεδομένων, αλλά δεν έχουν μεγάλη επιρροή στα αποτελέσματα. Ο έλεγχος που θα παρουσιαστεί θα είναι ενδεικτικός μόνο για κάποια σημαντικά στοιχεία του πλοίου.

5.2 T scantling

	<u>REAL</u>	<u>PROGRAM</u>	<u>ποσοστιαία διαφορά %</u>
vessel 1	13.03	12.82	-1.61
vessel 2	13.55	13.32	-1.75
vessel 3	13.52	13.30	-1.69
vessel 4	14.02	14.26	1.65
vessel 5	14.65	14.75	0.66
vessel 6	14.02	14.26	1.65
vessel 7	12.50	12.61	0.84
vessel 8	13.52	13.26	-1.98
vessel 9	13.52	13.28	-1.83
vessel 10	14.02	13.95	-0.54
vessel 11	13.67	13.35	-2.39
vessel 12	14.02	14.26	1.64
vessel 13	12.50	12.61	0.84
vessel 14	12.02	11.63	-3.33
vessel 15	12.60	12.61	0.05
vessel 16	9.30	9.30	0.00
vessel 17	10.50	10.39	-1.10
vessel 18	11.40	11.36	-0.38
vessel 19	14.52	15.11	3.92
vessel 20	9.50	10.17	6.57
vessel 21	9.52	10.49	9.33
vessel 22	14.02	14.08	0.41
vessel 23	11.50	11.62	1.02
vessel 24	11.13	10.85	-2.60
vessel 25	10.27	10.86	5.50
vessel 26	11.52	11.15	-3.32
vessel 27	11.52	11.49	-0.24
vessel 28	12.02	12.22	1.62
vessel 29	12.50	12.13	-3.02
vessel 30	10.90	10.32	-5.67
vessel 31	12.50	12.34	-1.31
vessel 32	12.02	12.22	1.62
vessel 33	14.52	14.25	-1.91
vessel 35	15.52	15.29	-1.54
vessel 36	11.52	11.48	-0.34
vessel 37	14.02	14.26	1.65

vessel 38	12.63	12.61	-0.16
vessel 39	14.03	13.98	-0.38
vessel 40	13.52	13.33	-1.40
vessel 41	15.80	15.97	1.04

Πίνακας 10: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για T scantling



Διάγραμμα 64: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για T scantling

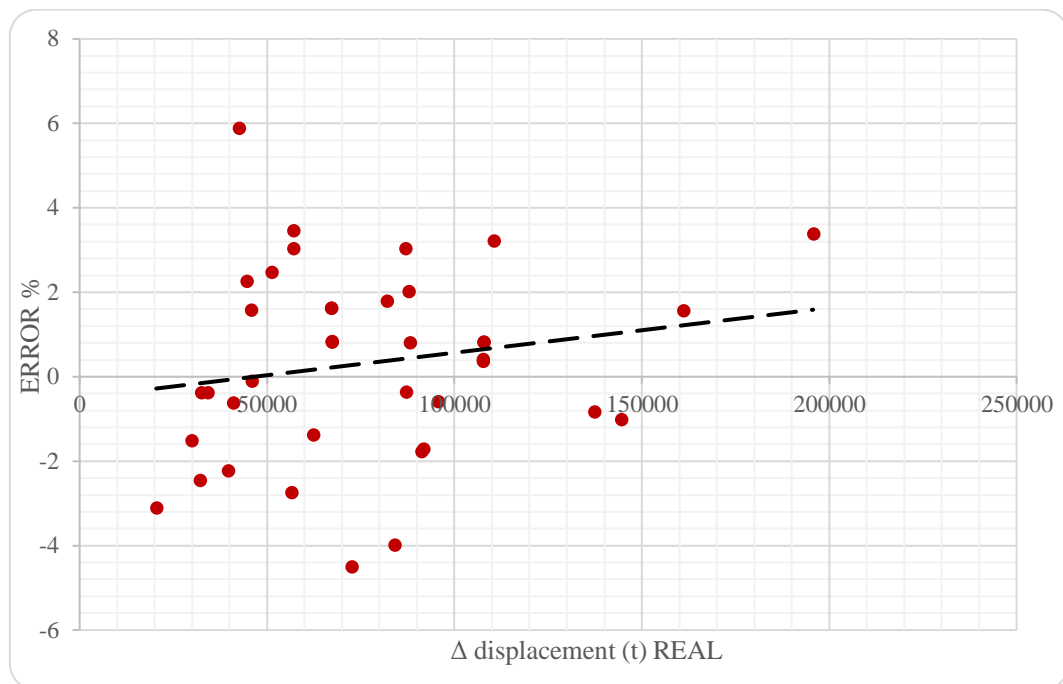
Παρατηρήσεις: Το T scantling παρουσιάζει γενικά καλή προσέγγιση, με τη μεγαλύτερη διαφορά να εμφανίζεται στο 9.31%. Επίσης, οι μεγαλύτερες παρουσιάζονται για 4 πλοία από τα 41, ενώ σε όλα τα υπόλοιπα παρατηρούμε διαφορές από -4% ως 2%.

5.3 Δ displacement

	REAL	PROGRAM	<u>ποσοστιαία</u> <u>διαφορά %</u>
vessel 1	72545.0	69425.45677	-4.49
vessel 2	86976.6	89709.67718	3.05
vessel 3	84090.0	80874.372	-3.98
vessel 4	107762.0	108660.6011	0.83
vessel 5	137288.3	136173.2737	-0.82
vessel 6	107683.0	108141.0959	0.42
vessel 7	67108.8	68226.13211	1.64
vessel 8	88086.0	88809.50232	0.81
vessel 9	87123.0	86824.6579	-0.34
vessel 10	91250.0	89674.371	-1.76
vessel 11	87829.0	89643.8431	2.02
vessel 12	107626.3	108029.6027	0.37
vessel 13	67099.6	68213.92095	1.63
vessel 14	51309.0	52617.4823	2.49
vessel 15	67271.0	67841.74603	0.84
vessel 16	20443.0	19830.5177	-3.09

vessel 17	34104.2	33982.1903	-0.36
vessel 18	44572.0	45610.6656	2.28
vessel 19	144477.0	143048.4223	-1.00
vessel 20	29895.1	29454.77	-1.49
vessel 21	32521.7	32403.63241	-0.36
vessel 22	95660.0	95110.9918	-0.58
vessel 24	42485.0	45150.0925	5.90
vessel 25	39625.0	38768.4341	-2.21
vessel 26	40930.0	40683.728	-0.61
vessel 27	45725.0	46466.7741	1.60
vessel 28	57067.0	58858.57963	3.04
vessel 29	56496.1	54991.22562	-2.74
vessel 30	32071.0	31306.3535	-2.44
vessel 31	62292.5	61454.6457	-1.36
vessel 32	57052.7	59105.59016	3.47
vessel 33	110446.7	114137.6382	3.23
vessel 35	161023.0	163594.3626	1.57
vessel 36	45881.0	45842.04717	-0.08
vessel 37	107762.0	108660.6011	0.83
vessel 38	67271.0	67832.98585	0.83
vessel 39	91698.0	90161.4901	-1.70
vessel 40	81976.0	83479.8619	1.80
vessel 41	195707.0	202592.693	3.40

Πίνακας 11: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για displacement



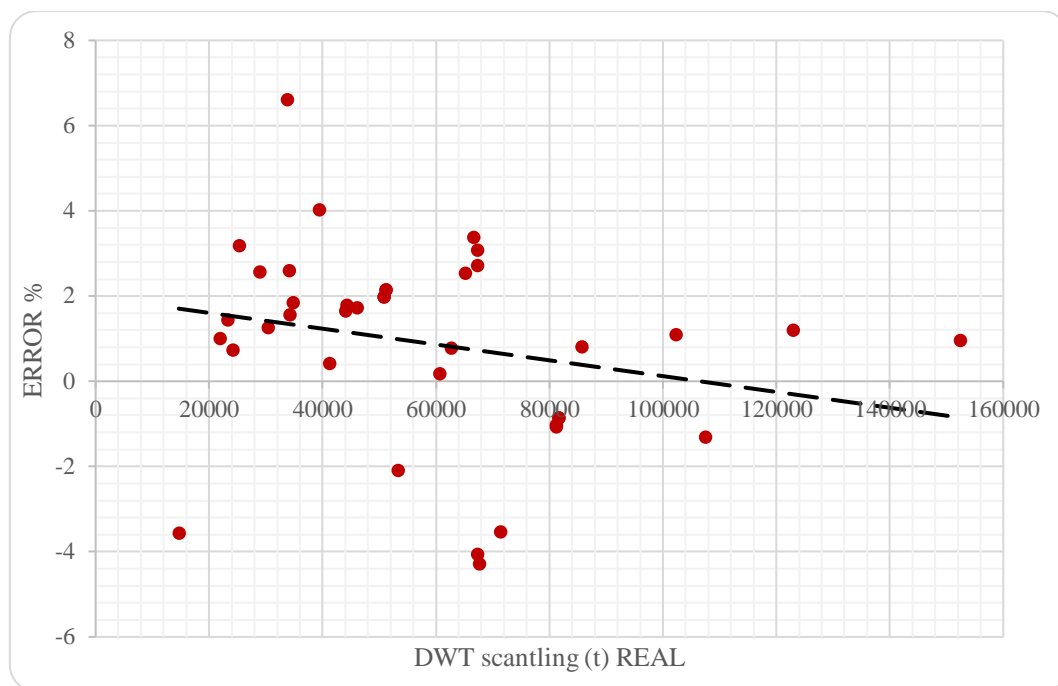
Διάγραμμα 65: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για displacement

Παρατηρήσεις: Ο έλεγχος για το εκτόπισμα πραγματοποιήθηκε για το βύθισμα αντοχής (scantling). Να σημειωθεί σ' αυτό το σημείο ότι το Δ scantling υπολογίστηκε συναρτήσει του γινομένου των τριών κύριων διαστάσεων όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο 3.3 και ήταν η καλύτερη προσέγγιση που δοκιμάστηκε. Οι αποκλίσεις όπως φαίνεται παραπάνω εκτός από 2 container ships είναι της τάξεως του $\pm 4\%$.

5.4 DWT scantling

	<u>REAL</u>	<u>PROGRAM</u>	<u>ποσοστιαία διαφορά %</u>
vessel 1	53325.0	52233.11	-2.09
vessel 2	67296.6	69441.50	3.09
vessel 3	60640.0	60748.68	0.18
vessel 4	81574.4	80880.91	-0.86
vessel 5	102302.7	103448.21	1.11
vessel 6	81183.0	80361.41	-1.02
vessel 7	51110.7	52233.83	2.15
vessel 8	66618.4	68947.66	3.38
vessel 9	65123.0	66818.90	2.54
vessel 10	67270.0	64650.73	-4.05
vessel 11	67247.0	69126.18	2.72
vessel 12	81099.0	80249.92	-1.06
vessel 13	51101.5	52221.62	2.14
vessel 14	39351.0	41004.10	4.03
vessel 15	50821.1	51852.91	1.99
vessel 16	14649.0	14145.14	-3.56
vessel 17	25311.0	26146.30	3.19
vessel 18	34072.0	34981.76	2.60
vessel 19	107482.5	106097.38	-1.31
vessel 20	21900.0	22122.49	1.01
vessel 21	24121.7	24302.84	0.75
vessel 22	71366.0	68934.05	-3.53
vessel 24	33725.0	36113.35	6.61
vessel 25	28917.0	29680.68	2.57
vessel 26	30360.0	30748.04	1.26
vessel 27	34717.0	35374.06	1.86
vessel 28	44053.1	44798.09	1.66
vessel 29	41139.4	41315.21	0.43
vessel 30	23295.0	23638.54	1.45
vessel 31	46009.0	46821.23	1.73
vessel 32	44239.2	45045.10	1.79
vessel 33	85700.9	86405.70	0.82
vessel 35	122962.0	124467.53	1.21
vessel 36	34246.3	34790.54	1.56
vessel 37	81574.4	80880.91	-0.86
vessel 38	50814.5	51844.15	1.99
vessel 39	67637.0	64857.80	-4.29
vessel 40	62603.0	63099.69	0.79
vessel 41	152343.7	153839.64	0.97

Πίνακας 12: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για DWT scantling



Διάγραμμα 66: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για DWT scantling

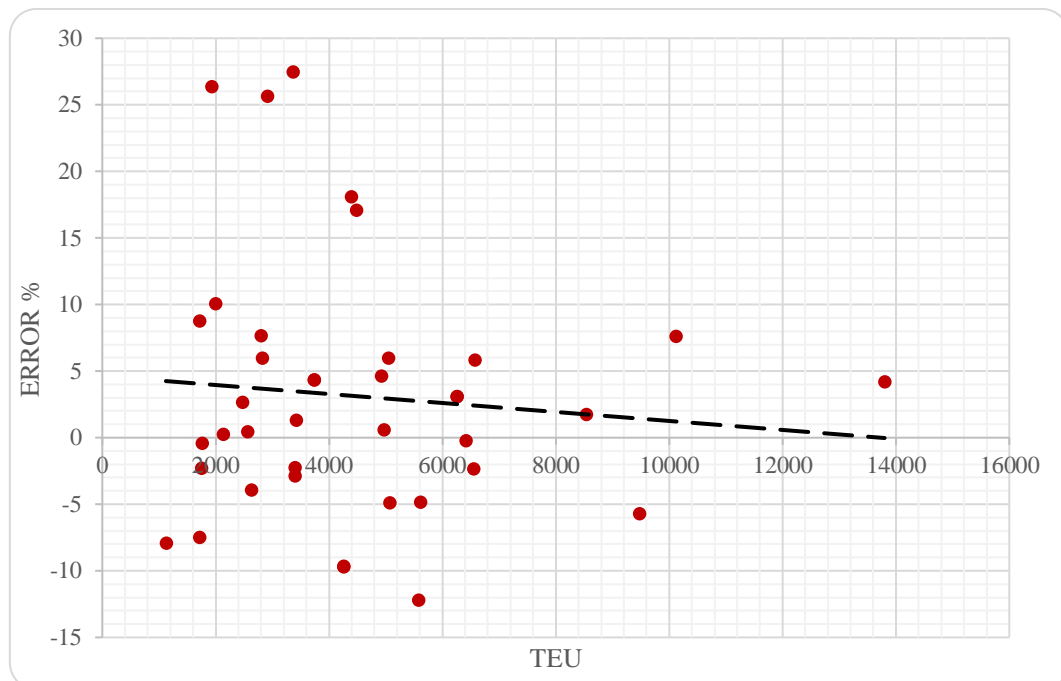
Παρατηρήσεις: Οι αποκλίσεις για το DWT scantling είναι παρόμοιες με τις αποκλίσεις για το εκτόπισμα για το ίδιο βύθισμα αφού υπολογίστηκε ως η διαφορά του βάρους του κενού σκάφους από το εκτόπισμα.

5.5 Ισοδύναμα TEU

	<u>REAL</u>	<u>PROGRAM</u>	<u>ποσοστιαία διαφορά %</u>
vessel 1	2906	3911	25.70
vessel 2	4474	5398	17.12
vessel 3	3359	4632	27.49
vessel 4	6252	6453	3.11
vessel 5	8533	8686	1.76
vessel 6	6416	6404	-0.19
vessel 7	3739	3911	4.40
vessel 8	4384	5354	18.12
vessel 9	4923	5164	4.67
vessel 10	5576	4972	-12.14
vessel 11	5047	5370	6.02
vessel 12	6541	6393	-2.31
vessel 13	3739	3910	4.38
vessel 14	2824	3004	6.00
vessel 15	4253	3880	-9.63
vessel 16	1122	1040	-7.87
vessel 17	1716	1882	8.83
vessel 18	2470	2539	2.71
vessel 19	9469	8962	-5.66
vessel 20	1712	1593	-7.44
vessel 21	1756	1749	-0.40
vessel 22	5610	5353	-4.80

vessel 24	1932	2625	26.40
vessel 25	2135	2141	0.28
vessel 26	1996	2220	10.10
vessel 27	2556	2569	0.49
vessel 28	3398	3305	-2.81
vessel 29	2796	3029	7.69
vessel 30	1740	1701	-2.27
vessel 31	3421	3468	1.35
vessel 32	3398	3325	-2.20
vessel 33	6572	6981	5.85
vessel 35	10114	10950	7.63
vessel 36	2622	2524	-3.87
vessel 37	6252	6453	3.11
vessel 38	4253	3879	-9.65
vessel 39	4960	4991	0.61
vessel 40	5071	4837	-4.85
vessel 41	13800	14408	4.22

Πίνακας 13: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για TEU



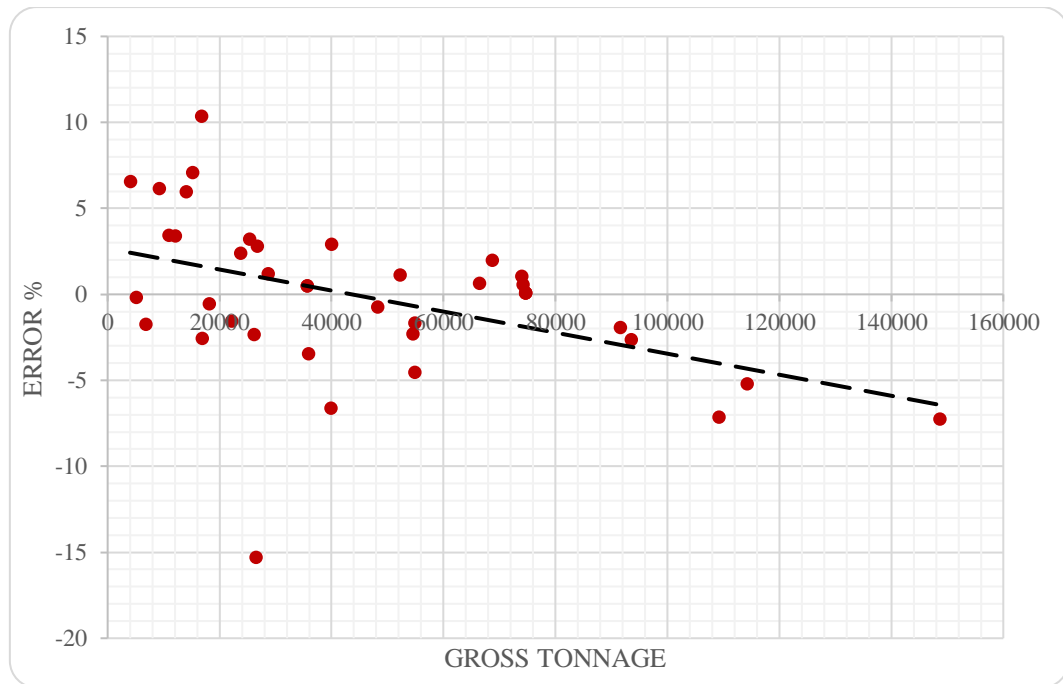
Διάγραμμα 67: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για TEU

Παρατηρήσεις: Η εκτίμηση των ισοδύναμων TEU δεν ήταν τόσο καλή όσο οι εκτιμήσεις άλλων μεγεθών και αυτό οφείλεται σε πολλούς παράγοντες με το κυριότερο να είναι τα ισοδύναμα TEU στο κατάστρωμα. Η χωρητικότητα των TEU on deck είναι ένα πρόβλημα πολυσύνθετο που εξαρτάται από παράγοντες όπως η ορατότητα του πληρώματος της γέφυρας, η διαμήκης θέση των καταστρωμάτων (όπου και αυτό εξαρτάται από άλλους παράγοντες), από το μέσο βάρος των TEU, από την ευστάθεια κ.α.. Στις περισσότερες μάλιστα περιπτώσεις, ο αριθμός των TEU στο κατάστρωμα καθορίζεται την ώρα της φορτοεκφόρτωσης στο λιμένα. Για όλους αυτούς τους λόγους η προσέγγιση των ισοδύναμων TEU δεν είναι τόσο καλή.

5.6 Gross Tonnage

	<u>REAL</u>	<u>PROGRAM</u>	<u>ποσοστιαία διαφορά %</u>
vessel 1	10868	11255.098	3.44
vessel 2	54415	53202.861	-2.28
vessel 3	52191	52799.291	1.15
vessel 4	74661	74743.824	0.11
vessel 5	91560	89844.7	-1.91
vessel 6	74656	74743.824	0.12
vessel 7	48154	47809.359	-0.72
vessel 8	5025	5017.8048	-0.14
vessel 9	54828	52459.702	-4.51
vessel 10	66332	66775.632	0.66
vessel 11	54809	53909.879	-1.67
vessel 12	73934	74743.824	1.08
vessel 13	13941	14826.581	5.97
vessel 14	28592	28941.05	1.21
vessel 15	39941	41149.694	2.94
vessel 16	12029	12456.194	3.43
vessel 17	16731	18671.133	10.39
vessel 18	25357	26204.278	3.23
vessel 19	109149	101903.44	-7.11
vessel 20	6773	6657.9006	-1.73
vessel 21	26435	22930.588	-15.28
vessel 22	68687	70100.259	2.02
vessel 23	3992	4272.5006	6.57
vessel 24	22120	21781.356	-1.55
vessel 25	93496	91116.495	-2.61
vessel 26	23690	24278.316	2.42
vessel 27	26718	27493.355	2.82
vessel 28	35581	35757.785	0.49
vessel 29	35878	34685.081	-3.44
vessel 30	18075	17977.74	-0.54
vessel 31	39824	37357.602	-6.60
vessel 32	35573	35757.785	0.52
vessel 33	74175	74605.077	0.58
vessel 35	114144	108511.4	-5.19
vessel 36	15095	16250.502	7.11
vessel 37	74661	74743.824	0.11
vessel 38	26131	25541.094	-2.31
vessel 39	16801	16383.967	-2.55
vessel 40	9131	9730.5369	6.16
vessel 41	148667	138644.08	-7.23

Πίνακας 14: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για Gross Tonnage



Διάγραμμα 68: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για Gross Tonnage

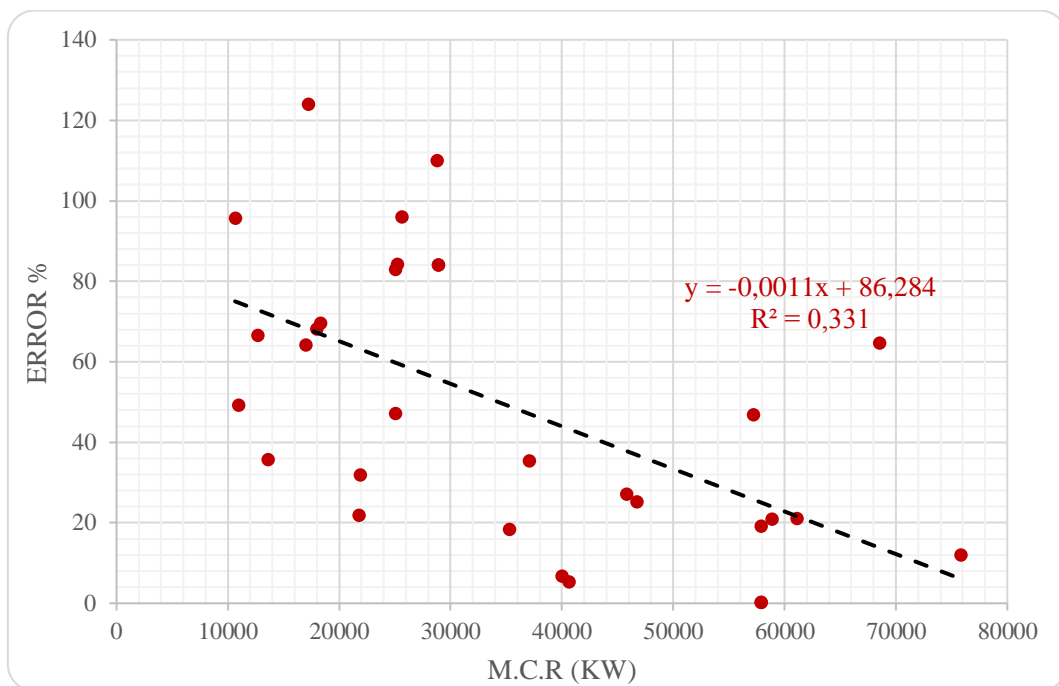
Παρατηρήσεις: Ο προσεγγιστικός τύπος που προέκυψε από τη στατιστική ανάλυση και χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της ολικής χωρητικότητας δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα εκτός από δύο πλοία που η διαφορά είναι 10% και -15% αντίστοιχα. Όλα τα υπόλοιπα κυμαίνονται στο $\pm 7\%$.

5.7 Ισχύς πρόωσης (M.C.R.)

	<u>REAL</u>	<u>PROGRAM</u>	<u>ποσοστιαία διαφορά %</u>
vessel 10	35271.6	41813.00	18.5
vessel 11	40610.8	42808.00	5.4
vessel 12	39969.5	42725.00	6.9
vessel 13	57866.3	58078.00	0.4
vessel 14	68518.9	112920.00	64.8
vessel 15	57866.3	58078.00	0.4
vessel 16	45760.0	58188.00	27.2
vessel 17	57200.0	84094	47.0
vessel 18	46710.6	58510	25.3
vessel 19	61072.8	73977	21.1
vessel 20	28761.6	60433	110.1
vessel 21	25577.5	50156	96.1
vessel 22	37046.4	50176	35.4
vessel 23	10920.0	16310	49.4
vessel 24	16980.0	27887	64.2
vessel 25	17200.0	38550	124.1
vessel 26	75792.9	84937.00	12.1
vessel 27	13560.0	18420.00	35.8
vessel 28	10648.6	20855.00	95.8

vessel 29	58820.0	71219.00	21.1
vessel 30	21735.0	26499.00	21.9
vessel 31	12662.0	21111.00	66.7
vessel 32	18314.4	31088.00	69.7
vessel 33	17940.0	30183.00	68.2
vessel 35	21871.4	28866	32.0
vessel 36	28880.0	53193	84.2
vessel 37	25040.0	36893	47.3
vessel 38	25040.0	45824	83.0
vessel 39	28880.0	53193	84.2
vessel 40	25174.8	46412	84.4
vessel 41	57866.3	69058	19.3

Πίνακας 15: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για M.C.R.



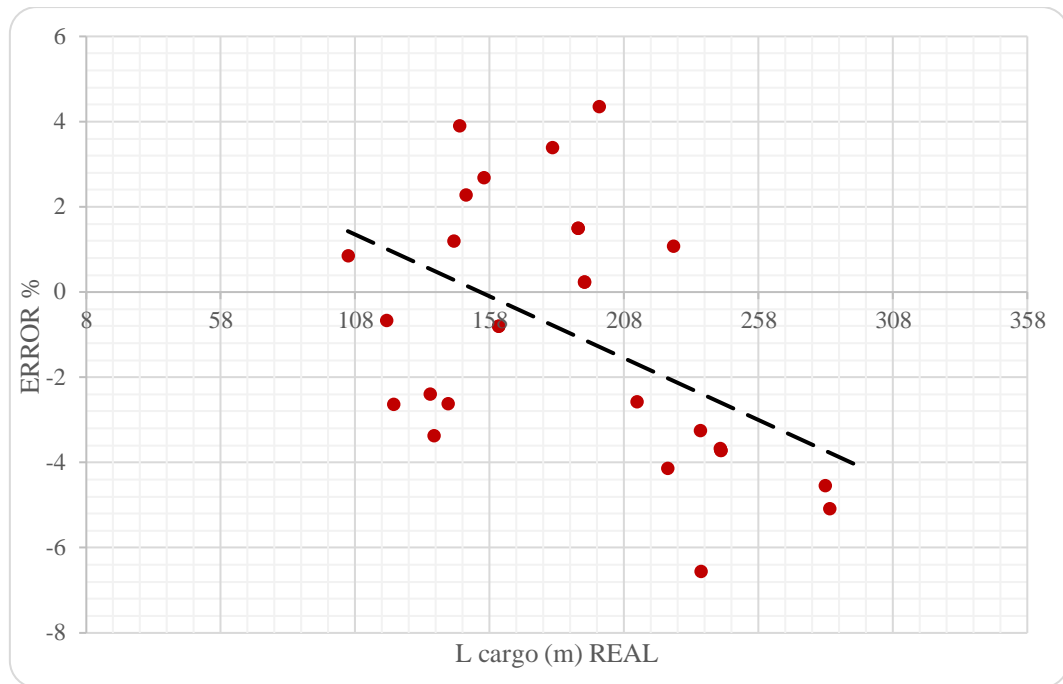
Διάγραμμα 69: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για M.C.R

Παρατηρήσεις: Στο παραπάνω διάγραμμα είναι εμφανές ότι οι αποκλίσεις της υπολογιζόμενης M.C.R συγκριτικά με την πραγματική M.C.R. είναι πολύ μεγάλες. Για την ακρίβεια γίνεται τεράστια υπερεκτίμηση της M.C.R. σχεδόν σε όλα τα πλοία. Η αιτία για αυτό το γεγονός είναι ότι η μέθοδος Holtrop – Mennen αποτελεί παλιά μέθοδος υπολογισμού της αντίστασης με αποτέλεσμα την υπερεκτίμηση της στα σύγχρονα πλοία.

5.8 L cargo

	REAL	PROGRAM	<u>ποσοστιαία</u> <u>διαφορά</u> <u>%</u>
vessel 7	190.72	193.58	1.50
vessel 8	236.59	221.10	-6.55
vessel 9	236.35	228.70	-3.24
vessel 10	212.82	207.34	-2.57
vessel 12	243.74	234.79	-3.67
vessel 13	190.72	193.58	1.50
vessel 14	155.85	160.04	2.69
vessel 15	193.11	193.58	0.24
vessel 16	105.30	106.20	0.85
vessel 17	135.84	132.59	-2.39
vessel 18	144.61	146.35	1.20
vessel 19	284.28	269.84	-5.08
vessel 20	122.10	118.90	-2.62
vessel 21	119.68	118.90	-0.66
vessel 22	224.20	214.94	-4.13
vessel 25	142.41	138.68	-2.62
vessel 26	137.20	132.59	-3.36
vessel 27	146.70	152.442	3.91
vessel 28	161.33	160.04	-0.80
vessel 32	161.33	160.04	-0.80
vessel 33	226.26	228.70	1.08
vessel 35	282.68	269.84	-4.54
vessel 36	149.05	152.44	2.28
vessel 37	243.82	234.79	-3.70
vessel 38	193.11	193.58	0.24
vessel 39	198.68	207.34	4.36
vessel 40	181.32	187.49	3.40

Πίνακας 16: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για L cargo



Διάγραμμα 70: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για L cargo

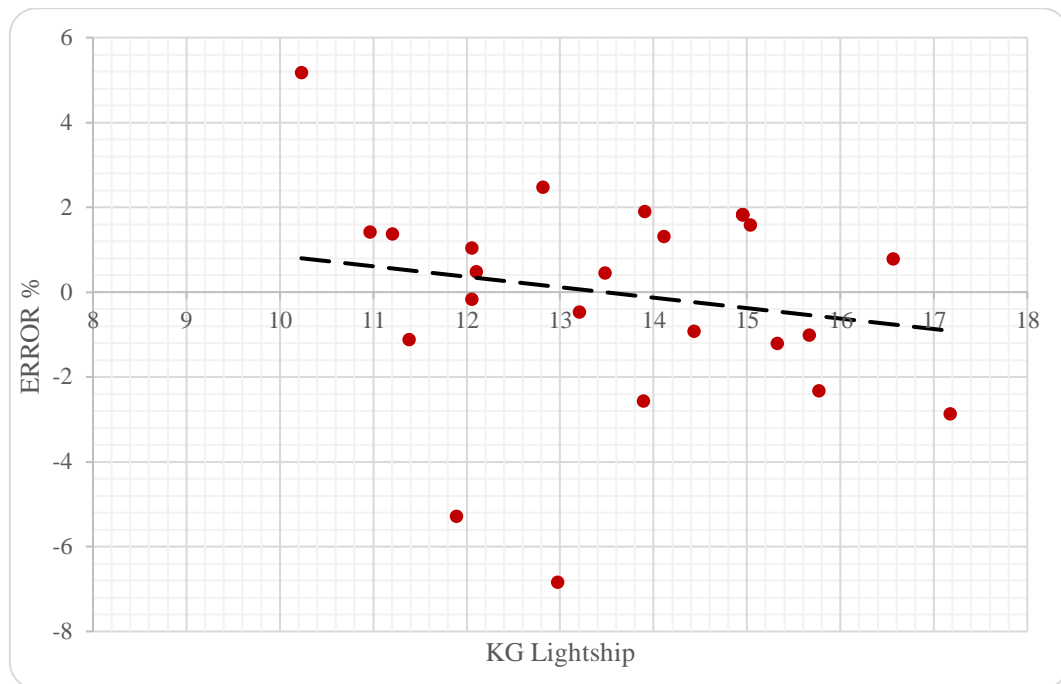
Παρατηρήσεις: Η εκτίμηση του συνολικού μήκους του χώρου του φορτίου δίνει αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα με τη μεγαλύτερη απόκλιση να είναι της τάξης του 6%. Ωστόσο οι αποκλίσεις θα μπορούσαν να ήταν μικρότερες αν για το μήκος του μηχανοστασίου, που εξαρτάται άμεσα το L cargo, υπήρχε ικανοποιητικός προσεγγιστικός τύπος από την στατιστική ανάλυση.

5.9 KG Lightship

	<u>REAL</u>	<u>PROGRAM</u>	<u>ποσοστιαία διαφορά %</u>
vessel 2	13.9	14.17	1.91
vessel 4	14.95	15.23	1.83
vessel 5	15.66	15.50	-1.01
vessel 6	14.95	15.23	1.83
vessel 10	15.32	15.14	-1.20
vessel 11	14.11	14.30	1.33
vessel 13	13.2	13.14	-0.46
vessel 14	12.05	12.18	1.05
vessel 15	12.813	13.14	2.48
vessel 16	10.23	10.79	5.19
vessel 17	11.38	11.25	-1.11
vessel 18	12.05	12.03	-0.15
vessel 19	16.56	16.69	0.79
vessel 20	10.961	11.12	1.43
vessel 21	11.2	11.36	1.39
vessel 26	12.1	12.16	0.49
vessel 27	12.97	12.14	-6.82
vessel 29	13.889	13.54	-2.55
vessel 30	11.884	11.29	-5.27

vessel 31	13.48	13.54	0.47
vessel 33	15.768	15.41	-2.31
vessel 35	17.17	16.69	-2.86
vessel 37	14.95	15.23	1.83
vessel 39	15.03	15.27	1.60
vessel 40	14.43	14.30	-0.91

Πίνακας 17: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για KG Lightship



Διάγραμμα 71: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για KG Lightship

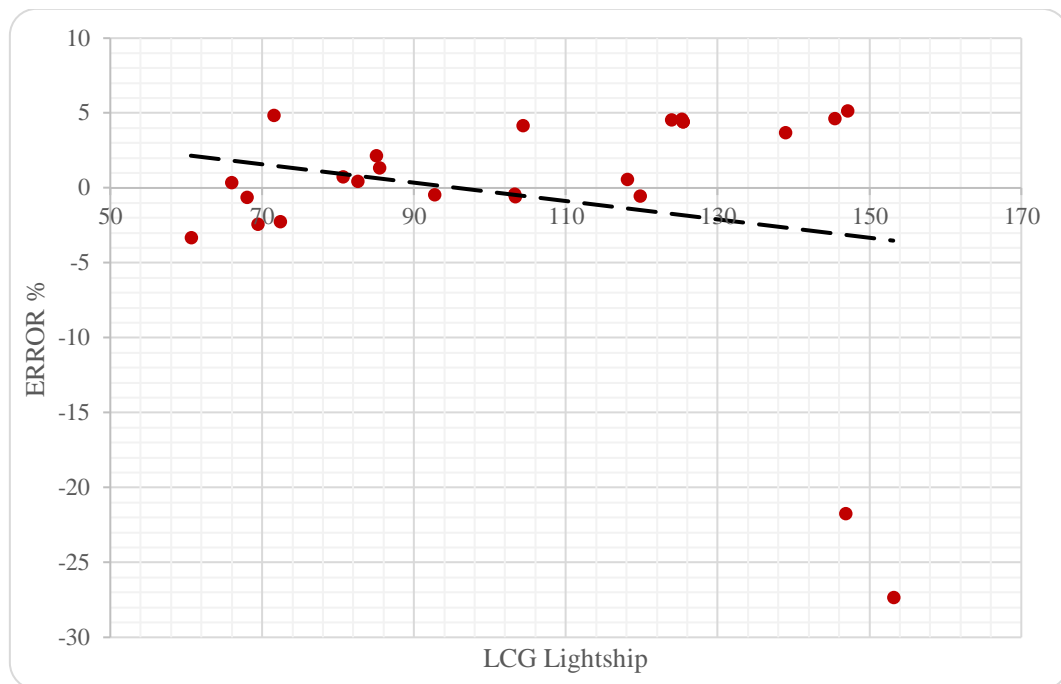
Παρατηρήσεις: Η εκτίμηση για το κέντρο βάρους του κενού σκάφους δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα σχεδόν για όλα τα πλοία που εξετάστηκαν με τις διαφορές να κυμαίνονται στο $\pm 3\%$. Επιπροσθέτως, βλέπουμε ότι τρία πλοία με χαμηλό κέντρο βάρους παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες διαφορές. Το πιο πιθανό για αυτά τα τρία πλοία είναι ότι έχει γίνει κάποιο τυπογραφικό λάθος στα σχέδια τους.

5.10 LCG Lightship

	REAL	PROGRAM	<u>ποσοστιαία</u> <u>διαφορά %</u>
vessel 2	118.05	118.754488	0.59
vessel 4	125.43	131.225542	4.42
vessel 5	138.93	144.248047	3.69
vessel 6	125.2	131.225542	4.59
vessel 10	153.13	120.261385	-27.33
vessel 11	119.78	119.122763	-0.55
vessel 13	103.228	102.820385	-0.40
vessel 14	85.43	86.5945989	1.34
vessel 15	103.313	102.708225	-0.59

vessel 16	60.61	58.6667195	-3.31
vessel 17	72.37	70.7847411	-2.24
vessel 18	80.59	81.209121	0.76
vessel 19	145.43	152.469966	4.62
vessel 20	65.975	66.2092711	0.35
vessel 21	68	67.5750522	-0.63
vessel 26	71.5	75.156478	4.87
vessel 27	82.59	82.9768926	0.47
vessel 29	85.041	86.9156139	2.16
vessel 30	69.38	67.7379595	-2.42
vessel 31	92.7	92.2872725	-0.45
vessel 33	123.927	129.858951	4.57
vessel 35	147.05	155.015053	5.14
vessel 37	125.43	131.225542	4.42
vessel 39	146.86	120.636361	-21.74
vessel 40	104.35	108.879357	4.16

Πίνακας 18: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για LCG Lightship



Διάγραμμα 72: Συγκριτικά αποτελέσματα του κώδικα για LCG Lightship

Παρατηρήσεις: Οι ίδιες παρατηρήσεις με τη κατακόρυφη θέση του κέντρου βάρους ισχύουν και για τη διαμήκη θέση του κέντρου βάρους όσον αναφορά τις μεγάλες αποκλίσεις που παρουσιάζονται σε δύο πλοία όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα. Αντίθετα σε όλα τα υπόλοιπα πλοία η ποσοστιαία διαφορά δεν ξεπερνάει το $\pm 5\%$.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Ολοκληρώνοντας την παρούσα εργασία δεν θα γινόταν να μην αναφερθούν τα συμπεράσματα καθώς και οι προτάσεις για μία πιθανή, μελλοντική και πιο βαθιά μελέτη των πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Όπως έχει αναφερθεί και πιο πάνω αρχικά, πραγματοποιήθηκε μία στατιστική ανάλυση για δύο βάσεις δεδομένων, με εξαγωγή διαφορετικής προσεγγιστικής καμπύλης, για να δούμε και τυχόν διαφορές στοιχείων των οποίων υπήρχε λογική συσχέτιση μεταξύ τους. Φυσικά δοκιμές για την εξαγωγή μίας ποιοτικής προσεγγιστικής καμπύλης στοιχείων που η σύνδεση μεταξύ τους δεν είχε κάποια φυσική σημασία, πραγματοποιήθηκαν αρκετές. Αλλά όπως ήταν αναμενόμενο οι καλύτερες συσχετίσεις έγιναν για μεγέθη που υπήρχε λογική σχέση μεταξύ τους. Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων έγινε με τη μέθοδο της παλινδρομικής ανάλυσης μέσω του προγράμματος excel και είχε ως σκοπό την παραγωγή εμπειρικών τύπων οι οποίοι θα προσέγγιζαν όσο το δυνατό καλύτερα στοιχεία του υπό μελέτη πλοίου.

Τα στοιχεία που αφορούσαν πολύ βασικά χαρακτηριστικά, όπως βύθισμα σχεδίασης, βύθισμα αντοχής, DWT, Lightship, εκτόπισμα κ.α. του πλοίου παρουσίαζαν αρκετά ικανοποιητική προσέγγιση. Κάποιες μεγάλες διαφορές των χαρακτηριστικών σ' ένα μικρό αριθμό πλοίων που παρατηρήθηκαν έχουν λογική εξήγηση αν λάβουμε υπόψη πιθανές ιδιαιτερότητες της κατασκευής της γάστρας (ενίσχυση της διαμήκης αντοχής, διαφορετική σύσταση του χρησιμοποιημένου χάλυβα, για μείωση του βάρους της μεταλλικής κατασκευής ή για πλεύση σε περιοχές όπου η θερμοκρασία του νερού είναι αρκετά χαμηλή) που είναι πολύ δύσκολο να καταγραφτούν και να μελετηθούν για ένα τόσο μεγάλο δείγμα πλοίων. Παρόλα αυτά, ο μελετητής που θέλει να έχει μία εικόνα των χαρακτηριστικών ενός πλοίου, που ήταν και ο αρχικός στόχος της παρούσας εργασίας, πριν την αναλυτική φάση της προμελέτης μπορεί να το πετύχει, με τον κώδικα που προγραμματίστηκε σε MATLAB, και μάλιστα σε χρόνο της τάξεως δευτερολέπτων, γλιτώνοντας πάρα πολύ κόπο και χρόνο εργασίας.

Ο κώδικας που πραγματοποιήθηκε ήταν ένα αρκετά δύσκολο κομμάτι της εργασίας αφού έπρεπε να προγραμματιστεί με όλες τις παραμέτρους ενός μεγάλου τμήματος της φάσης της προμελέτης ενός πλοίου μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Επίσης, έπρεπε να χρησιμοποιηθούν για το κάθε μέγεθος οι καλύτεροι προσεγγιστικοί τύποι και πολλές φορές οι μέσοι όροι αυτών. Παράλληλα, έπρεπε να ελεγχθεί αν τα στοιχεία που υπολογίστηκαν είχαν καλύτερη προσέγγιση απ' τους τύπους της στατιστικής ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε στη παρούσα εργασία ή τους εμπειρικούς τύπους που χρησιμοποιούνται στη φάση της προμελέτης. Εν κατακλείδι, ο κατάλληλος συνδυασμός έδωσε και τα καλύτερα αποτελέσματα.

Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα:

- Η πραγματοποίηση στατιστικής ανάλυσης και ανάπτυξη αντίστοιχου λογισμικού για άλλα είδη πλοίων (π.χ. πλοία μεταφοράς φυσικού αερίου).
- Η πραγματοποίηση στατιστικής ανάλυσης και ανάπτυξη αντίστοιχου λογισμικού διαφορετικού του MATLAB (π.χ. NAPA).
- Η δυνατότητα διασύνδεσης του MATLAB με άλλα λογισμικά όπως Rhinoceros ή ναυπηγικά πακέτα. Στα οποία θα υπάρχει η δυνατότητα εκτός του υπολογισμού των υδροστατικών στοιχείων και εκτίμηση των TEU, οπτικοποίηση του μοντέλου.
- Η δυνατότητα μελέτης πλοίων εμπορευματοκιβωτίων με κριτήριο την ελαχιστοποίηση της αντίστασης του αέρα ή την μείωση του Lightship.
- Αρκετό ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη και σχεδίαση ενός τμήματος του πλοίου με μεγαλύτερη λεπτομέρεια π.χ. μηχανοστάσιο.

7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α - ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΩΝ

- L_{OA} : ολικό μήκος (m).
 L_{BP} : μήκος μεταξύ καθέτων (m).
 B : πλάτος (m).
 D : κοίλο (m).
 T : βύθισμα σχεδίασης (m).
 T_{SCANT} : βύθισμα αντοχής (m).
 DWT : πρόσθετο (νεκρό) βάρος στο βύθισμα σχεδίασης (t).
 DWT_{SCANT} : πρόσθετο (νεκρό) βάρος στο βύθισμα αντοχής (t).
 Δ : εκτόπισμα στο βύθισμα σχεδίασης (t).
 Δ_{SCANT} : εκτόπισμα στο βύθισμα αντοχής (t).
 LS : βάρος άφορτου σκάφους (t).
 GT : ολική χωρητικότητα (Gross Tonnage).
 NT : καθαρή χωρητικότητα (Net Tonnage).
 $V_{BALLAST}$: χωρητικότητα δεξαμενών έρματος (m^3).
 V_{FUEL} : χωρητικότητα δεξαμενών καυσίμου (m^3).
 V_{DIESEL} : χωρητικότητα δεξαμενών Diesel (m^3).
 P : μέγιστη συνεχής ισχύς MCR (Maximum Continuous Rating) σε kW. Στις περιπτώσεις όπου η ισχύς θα αναφέρεται σε PS θα αναγράφεται στο κείμενο (π.χ. συντελεστής ναυαρχείου).
 $Range$: ακτίνα ενέργειας σε ναυτικά μίλια (sm).
 V_S : ταχύτητα υπηρεσίας (kn).
 L_{AFT} : μήκος πρυμναίου τμήματος (m) L_{ER} : μήκος χώρου μηχανοστασίου (m)
 L_{CARGO} : μήκος χώρου φορτίου (m)
 C_B : συντελεστής γάστρας στο βύθισμα σχεδίασης.
 C_P : πρισματικός συντελεστής στο βύθισμα σχεδίασης.
 C_M : συντελεστής μέσης τομής στο βύθισμα σχεδίασης.
 C_{WL} : συντελεστής ισάλου επιφάνειας στο βύθισμα σχεδίασης.
 h_{DB} : ύψος διπυθμένου (m).
 FB_{SCANT} : ύψος εξάλων στο βύθισμα αντοχής (m).
 D_{PROP} : διάμετρος έλικας (m).

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ζαραφονίτης Γεώργιος, «Εισαγωγή στη Ναυπηγική και τη Θαλάσσια Τεχνολογία», Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2015.
2. Παπανικολάου Α. – Αναστασόπουλος Κ., «Μελέτη και Εξοπλισμός Πλοίου Ι (Μεθοδολογία Προμελέτης) – Συλλογή Βοηθημάτων», Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2007.
3. Παπανικολάου Δ. Απόστολος, «Μελέτη Πλοίου – Μεθοδολογίες Προμελέτης Πλοίου» (Τεύχος 1 & 2), Εκδόσεις Συμεών, τεύχος 1: ISBN 978-960-9600-09-01 & τεύχος 2: ISBN 978-969-9400-11-4, Αθήνα 2009.
4. Πολίτης Κ. Γ., «Σημειώσεις Μαθήματος: Αντίστασης και Πρόωσης Πλοίου», Μάιος 2008.
5. Τζαμπίρας Γεώργιος Δ., «Υδροστατική και Ευστάθεια πλοίου Ι (Ευστάθεια άθικτου πλοίου), Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2007.
6. Nkoko Nossa Anneck, «Στατιστική Ανάλυση Τεχνικών Στοιχείων Πλοίων Μεταφοράς Πετρελαίου», Διπλωματική εργασία, Επιβλέπων Καθηγητής κ. Γ. Ζαραφονίτης, Εργαστήριο Μελέτης Πλοίου ΕΜΠ, Αθήνα 2013.
7. Ευάγγελος Καραγεώργος, «Μεθοδολογία Προμελέτης Πλοίων Μεταφοράς Υγρού Φορτίου» Διπλωματική εργασία, Επιβλέπων Καθηγητής κ. Γ. Ζαραφονίτης, Εργαστήριο Μελέτης Πλοίου ΕΜΠ, Αθήνα 2015.
8. Βασιλίας Κάραλης, «Μεθοδολογία Προμελέτης Πλοίων Μεταφοράς Ξηρού Φορτίου», Διπλωματική εργασία, Επιβλέπων Καθηγητής κ. Γ. Ζαραφονίτης, Εργαστήριο Μελέτης Πλοίου ΕΜΠ, Αθήνα 2016.
9. Αθανάσιος Α. Μπαστούνης, «Προκαταρκτική Σχεδίαση & Ευστάθεια ULTRA LARGE MEGA - CONTAINERSHIP», Διπλωματική εργασία, Επιβλέπων Καθηγητής κ. Α. Παπανικολάου, Εργαστήριο Μελέτης Πλοίου ΕΜΠ, Αθήνα 2008.
10. Τσούμαρης Χρήστος, «Δείκτης EEDI, ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ», Διπλωματική εργασία, Επιβλέπων Καθηγητής κ. Α. Παπανικολάου, Εργαστήριο Μελέτης Πλοίου ΕΜΠ, Αθήνα 2015.
11. Κασούμη Α. Μαρία, «Διερεύνηση των επιπτώσεων των νέων κανονισμών ευστάθειας κατόπιν βλάβης στη σχεδίαση panama containerships – Εξέταση εναλλακτικών σχεδιάσεων», Διπλωματική εργασία, Επιβλέπων Καθηγητής κ. Α. Παπανικολάου, Εργαστήριο Μελέτης Πλοίου ΕΜΠ, Αθήνα 2006.
12. Τσουβαλά Δημητρίου, “General Description Of Container Vessels”, Διπλωματική εργασία, Επιβλέπων Καθηγήτρια κ. Παναγοπούλου Μαρία.
13. Hans Otto Kristensen, “Statistical Analysis and Determination of Regression Formulas for Main Dimensions of Container Ships based on IHS Fairplay Data”, Technical University of Denmark, February 2013.
14. Wafaa Souadji, “Structural design of a containership approximately 3100 TEU according to the concept of general ship design B-178”, 2010 – 2012
15. “WÄRTSILÄ ENCYCLOPEDIA OF SHIP TECHNOLOGY” 2nd Edition by Jan Babicz
16. “HOLDS AND COVERS”, A. Bilbrough & Co. Ltd.
17. “A MASTER’ S GUIDE TO: CONTAINER SECURING” 2nd Edition, Lloyd’s Register

Πρόσβαση σε πληροφορίες από τις παρακάτω διευθύνσεις ιστοσελίδων:

18. <http://en.wikipedia.org>
19. <http://www.worldsteelprices.com>
20. MAN, Diesel & Turbo, «Marine Engine – IMO Tier II Programme 2nd edition 2014», <http://marine.man.eu>
21. Mathworks MATLAB R2016b, «Optimization Toolbox – User’s Guide», <http://www.mathworks.com>

