

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



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
«ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ
ΠΛΟΙΩΝ ΞΗΡΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ»



ΣΑΒΒΑΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΥ

08113711

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Γ. ΖΑΡΑΦΩΝΙΤΗΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ)

Γ. ΓΡΗΓΟΡΟΠΟΥΛΟΣ

Ε. ΗΛΙΟΠΟΥΛΟΥ

Αθήνα, ΙΟΥΛΙΟΣ 2021

Περιεχόμενα

<i>Ευχαριστίες</i>	0
Περίληψη.....	0
1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην	1
1.1.1 Γενικά.....	1
1.1.2 Κατηγορίες	1
1.1.3 Διάταξη και Υπόβαθρο Κανονισμών	2
2. Βάση Δεδομένων.....	5
3. Στατιστική Ανάλυση.....	17
3.1 Ορισμοί	17
3.1.1. Διάγραμμα Διασποράς(Scatter Diagram)	17
3.1.2. Προσεγγιστικές καμπύλες(Approximating Curves).....	17
3.1.3. Μέθοδος Ελάχιστων Τετραγώνων	18
3.1.4. Παλινδρόμηση (Regression)	19
3.1.5. Θεωρία Συσχέτισης (Correlation Theory).....	19
4. Εκτίμηση Στοιχείων Bulk Carriers	21
4.1. Κύριες Διαστάσεις	21
4.1.1 Ολικό μήκος (L _{OA})	21
4.1.2. Μήκος μεταξύ καθέτων (L _{BP}).....	22
4.1.3. Πλάτος (B).....	24
4.1.4. Κοίλο (D)	26
4.1.5. Βύθισμα Σχεδίασης (T _{Design})	30
4.1.7. Λόγοι κύριων διαστάσεων	35
4.1.8. Ύψος εξάλων σε κατάσταση αντοχής (Freeboard Scantling).....	38
4.2. Πρόσθετο (νεκρό) βάρος (DWT).....	41
4.3. Εκτόπισμα (Δ).....	45
4.5. Ολική Χωρητικότητα (Gross Tonnage)	53
4.6. Καθαρή Χωρητικότητα (Net Tonnage).....	58
4.7. Suez Canal Net Tonnage (SCNT).....	63
4.8. Χωρητικότητα Δεξαμενών.....	64
4.8.1. Όγκος δεξαμενών φορτίου Grain συγκριτικά με τον όγκο δεξαμενών φορτίου Bale	64
4.8.2. Χωρητικότητα δεξαμενών έρματος (Ballast Water)	74
4.8.3. Χωρητικότητα δεξαμενών καυσίμου (Fuel Oil Capacity) Αποτελέσματα προσέγγισης.....	77
4.8.4. Χωρητικότητα δεξαμενών Diesel (Diesel Oil)	80

4.9. Εκτίμηση Ισχύος Πρόωσης.....	82
4.10. Κέντρα βαρών (Centers of Gravity)	84
4.10.1. Κέντρο βάρους Lightship.....	84
4.10.2. Κέντρο βάρους σε κατάσταση Full Load Departure	86
4.10.3. Κέντρο βάρους φορτίου σε κατάσταση Full Load Departure	88
4.11. Λοιπές Παράμετροι Σχεδίασης	90
4.11.1. Συντελεστής γάστρας (Block Coefficient)	90
4.11.2. Συντελεστής Μέσης Τομής (Midship Coefficient)	91
4.11.3. Μήκος πρυμναίου τμήματος (L_{AFT}).....	92
4.11.3. Μήκος μηχανοστασίου (L_{ER})	93
4.11.4. Μήκος χώρου φορτίου (L_{CARGO}).....	95
4.11.5. Διάμετρος έλικας.....	96
5. Συμπεράσματα και προτάσεις	99
6. Βιβλιογραφία	101
7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ-Matlab Curve Fitting Tool.....	102

Διαγράμματα

Διάγραμμα 1: Ενδεικτικό διαγράμματα διασποράς.....	17
Διάγραμμα 2: Διάγραμμα Διασποράς με προσεγγιστική καμπύλη και καμπύλες πρόβλεψης.....	18
Διάγραμμα 3: L_{OA} συναρτήσει του L_{BP}	21
Διάγραμμα 4: L_{BP} συναρτήσει του DWT_{Design}	22
Διάγραμμα 5: L_{BP} συναρτήσει του $DWT_{scantling}$	23
Διάγραμμα 6: B συναρτήσει του L_{BP}	24
Διάγραμμα 7: B συναρτήσει του DWT_{Design}	25
Διάγραμμα 8: D συναρτήσει του DWT_{Design}	26
Διάγραμμα 9: D συναρτήσει του L_{BP}	27
Διάγραμμα 10: D συναρτήσει του B	28
Διάγραμμα 11: D συναρτήσει του T_{Design}	29
Διάγραμμα 12: T_{Design} συναρτήσει του DWT_{Design}	30
Διάγραμμα 13: T_{Design} συναρτήσει του D	31
Διάγραμμα 14: T_{Design} συναρτήσει του B	32
Διάγραμμα 15: $T_{scantling}$ συναρτήσει T_{Design}	33
Διάγραμμα 16: $T_{scantling}$ συναρτήσει $DWT_{scantling}$	34
Διάγραμμα 17: L_{BP}/B συναρτήσει του $DWT_{scantling}$	35
Διάγραμμα 18: L_{BP}/D συναρτήσει του $DWT_{scantling}$	35
Διάγραμμα 19: B/T συναρτήσει $DWT_{scantling}$	36
Διάγραμμα 20: B/D συναρτήσει $DWT_{scantling}$	36
Διάγραμμα 21: D/T συναρτήσει $DWT_{scantling}$	37
Διάγραμμα 22: Freeboard scantling συναρτήσει του $DWT_{scantling}$	38
Διάγραμμα 23: Freeboard scantling συναρτήσει του D	39
Διάγραμμα 24: Freeboard scantling συναρτήσει του L_{BP}	40
Διάγραμμα 25: $DWT_{scantling}$ συναρτήσει DWT_{Design}	41
Διάγραμμα 26: $L_{BP} \cdot B \cdot D$ συναρτήσει του $DWT_{scantling}$	42
Διάγραμμα 27: KG/D συναρτήσει του DWT_{design}	43
Διάγραμμα 28: L_{cg}/L_{bp} συναρτήσει του DWT_{design}	44
Διάγραμμα 29: $Displacement_{Design}(\Delta)$ συναρτήσει DWT_{Design}	45
Διάγραμμα 30: $DWT_{design}/Displacement_{design}$ συναρτήσει DWT_{design}	46
Διάγραμμα 31: $Displacement_{design}$ συναρτήσει του $L_{BP} \cdot B \cdot D$	47
Διάγραμμα 32: $L.S.$ συναρτήσει του L_{BP}	48
Διάγραμμα 33: $L.S.$ συναρτήσει του $L_{BP} \cdot B \cdot D$	49
Διάγραμμα 34: $L.S.$ συναρτήσει DWT_{design}	50
Διάγραμμα 35: $L.S.$ συναρτήσει $DWT_{scantling}$	51
Διάγραμμα 36: $L.S./\Delta_{design}$ συναρτήσει του DWT_{design}	52
Διάγραμμα 37: GT συναρτήσει του DWT_{design}	53
Διάγραμμα 38: GT συναρτήσει του $DWT_{scantling}$	54
Διάγραμμα 39: GT συναρτήσει του L_{BP}	55
Διάγραμμα 40: GT συναρτήσει του $L_{BP} \cdot B \cdot D$	56
Διάγραμμα 41: GT/DWT_{design} συναρτήσει του DWT_{design}	57
Διάγραμμα 42: NT συναρτήσει του DWT_{design}	58
Διάγραμμα 43: NT συναρτήσει του $DWT_{scantling}$	59
Διάγραμμα 44: NT συναρτήσει του $L_{BP} \cdot B \cdot D$	60
Διάγραμμα 45: NT συναρτήσει του GT	61
Διάγραμμα 46: NT/GT συναρτήσει του NT	62

Διάγραμμα 47: SCNT συναρτήσει του GT	63
Διάγραμμα 48: $V_{\text{cargo GRAIN}}$ συναρτήσει του $DWT_{\text{scantling}}$	64
Διάγραμμα 49: $V_{\text{cargo BALE}}$ συναρτήσει του $DWT_{\text{scantling}}$	65
Διάγραμμα 50: $V_{\text{cargo GRAIN}}$ συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$	66
Διάγραμμα 51: $V_{\text{cargo BALE}}$ συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$	67
Διάγραμμα 52: $V_{\text{cargo GRAIN}}$ συναρτήσει του $L_{\text{cargo}} * B * D$	68
Διάγραμμα 53: $V_{\text{cargo BALE}}$ συναρτήσει του $L_{\text{cargo}} * B * D$	69
Διάγραμμα 54: $V_{\text{cargo GRAIN}}$ συναρτήσει του L_{cargo}	70
Διάγραμμα 55: $V_{\text{cargo BALE}}$ συναρτήσει του L_{cargo}	71
Διάγραμμα 56: $V_{\text{cargo GRAIN}}$ συναρτήσει του NT	72
Διάγραμμα 57: $V_{\text{cargo BALE}}$ συναρτήσει του NT	73
Διάγραμμα 58: V_{ballast} συναρτήσει του $DWT_{\text{scantling}}$	74
Διάγραμμα 59: V_{ballast} συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$	75
Διάγραμμα 60: V_{ballast} συναρτήσει του $V_{\text{cargo GRAIN}}$	76
Διάγραμμα 61: V_{fuel} συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$	77
Διάγραμμα 62: V_{fuel} συναρτήσει του P_{MCR}	78
Διάγραμμα 63: V_{fuel} συναρτήσει του $DWT_{\text{scantling}}$	79
Διάγραμμα 64: V_{diesel} συναρτήσει του V_{fuel}	80
Διάγραμμα 65: $V_{\text{diesel}}/V_{\text{fuel}}$ συναρτήσει του V_{fuel}	81
Διάγραμμα 66: C_N συναρτήσει του DWT_{design}	82
Διάγραμμα 67: MCR συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$	83
Διάγραμμα 68: KG_{LS} συναρτήσει του D	84
Διάγραμμα 69: LCG_{LS} συναρτήσει του L_{BP}	85
Διάγραμμα 70: $KG_{\text{departure}}$ συναρτήσει του D	86
Διάγραμμα 71: $LCG_{\text{departure}}$ συναρτήσει του L_{BP}	87
Διάγραμμα 72: $KG_{\text{cargo departure}}$ συναρτήσει του D	88
Διάγραμμα 73: $LCG_{\text{cargo departure}}$ συναρτήσει του L_{BP}	89
Διάγραμμα 74 : C_B συναρτήσει του DWT_{design}	90
Διάγραμμα 75: C_M συναρτήσει του DWT_{design}	91
Διάγραμμα 76: L_{AFT} συναρτήσει του L_{BP}	92
Διάγραμμα 77: L_{ER} συναρτήσει του L_{BP}	93
Διάγραμμα 78 : L_{ER} συναρτήσει του MCR	94
Διάγραμμα 79: L_{cargo} συναρτήσει του L_{BP}	95
Διάγραμμα 80: Propeller Diameter συναρτήσει του $DWT_{\text{scantling}}$	96
Διάγραμμα 81: Propeller Diameter συναρτήσει του T_{design}	97
Διάγραμμα 82: Propeller Diameter συναρτήσει του MCR	98

Πίνακες

Πίνακας 1: Κατηγοριοποίηση πλοίων μεταφοράς ξηρού φορτίου ανάλογα με τη χωρητικότητα τους σε DWT	1
Πίνακας 2: Γενικά Χαρακτηριστικά	5
Πίνακας 3: Λεπτομέρειες γενικών χαρακτηριστικών.....	5
Πίνακας 4: Γενικά χαρακτηριστικά του μηχανοστασίου	6
Πίνακας 5: Λεπτομέρειες γενικών χαρακτηριστικών μηχανοστασίου	7
Πίνακας 6: Χαρακτηριστικά από το General Arrangement.....	8
Πίνακας 7: Χαρακτηριστικά από το General Arrangement.....	8
Πίνακας 8: Δεδομένα για όλες τις καταστάσεις στο βύθισμα σχεδίασης.....	10
Πίνακας 9: Δεδομένα για όλες τις καταστάσεις στο βύθισμα σχεδίασης.....	10
Πίνακας 10: Γενικά χαρακτηριστικά στο βύθισμα αντοχής	12
Πίνακας 11: Λεπτομέρειες γενικών χαρακτηριστικών στο βύθισμα αντοχής.....	13
Πίνακας 12: Δεδομένα για όλες τις καταστάσεις έρματος και χωρητικότητας δεξαμενών.....	13
Πίνακας 13: Δεδομένα για τις καταστάσεις HBD, HBA, LBD, LBA και χωρητικότητες δεξαμενών.....	14
Πίνακας 14: Δείγμα Υπό Μελέτη Πλοίων ανάλογα με την χωρητικότητα και μέγεθος	15
Πίνακας 15: Δείγμα Πλοίων ανά Έτος Ναυπήγησης.....	16
Πίνακας 16: Όρια των λόγων των κύριων διαστάσεων.....	37

Σχήματα

Σχήμα 1: Γενική διάταξη και κάτοψη- 58500 DWT Bulk Carrier	2
Σχήμα 2: Τυπική διάταξη εγκάρσιας τομής Bulk carrier.	4
Σχήμα 3: Δείγμα Πλοίων ανάλογα με την χωρητικότητα και μέγεθος.....	15
Σχήμα 4: Δείγμα Πλοίων ανάλογα με το έτος ναυπήγησης.....	16

Εικόνες

Εικόνα 1: Κώδικας για εκτίμηση στοιχείων	102
Εικόνα 2: Περιβάλλον εργασίας Curve Fitting Tool	102
Εικόνα 3: Εισαγωγή καμπυλών πρόβλεψης.....	103

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να απευθύνω θερμές ευχαριστίες στον κ. Γεώργιο Ζαραφωνίτη για την ανάθεση της διπλωματικής αυτής εργασίας, για την καθοδήγησή του και τη συμβολή του στην ολοκλήρωση της.

Ευχαριστώ επίσης την κα. Ε. Ηλιοπούλου, για την πολύτιμη βοήθειά της όπου και οποιαδήποτε στιγμή την είχα χρειαστεί.

Θερμές ευχαριστίες επίσης απευθύνω στην συνάδελφο μου Ναταλία Ονουφρίου της οποίας η βοήθεια και καθοδήγηση συντέλεσαν σημαντικά στο να φέρω εις πέρας την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια και τους φίλους μου, τόσο εντός, όσο και εκτός σχολής, που με βοήθησαν να ολοκληρώσω τις σπουδές μου.

Περίληψη

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία είχε σκοπό την δημιουργία μιας βάσης δεδομένων και κατ' επέκταση την επεξεργασία και τον εντοπισμό πιθανών σχέσεων μεταξύ των κύριων χαρακτηριστικών πλοίων μεταφοράς ξηρού φορτίου στο στάδιο της προμελέτης.

Αρχικά έγινε η συλλογή των δεδομένων από διάφορα σχέδια και εγχειρίδια που είχε στην διάθεση του το εργαστήριο του Τομέα Μελέτης Πλοίου και Θαλάσσιων Μεταφορών με απώτερο σκοπό την δημιουργία της βάσης δεδομένων. Πρώτα περάσαμε τα δεδομένα στη MS Excel και στην συνέχεια στην MS Access, έτσι αφού δημιουργήθηκε η βάση δεδομένων θα μπορούσε να γίνει η ανάλυση όπου θα μας έδινε του εμπειρικούς τύπους που είναι και το ζητούμενο.

Για την στατιστική ανάλυση κατ' επέκταση την εύρεση εμπειρικών τύπων και συσχετίσεων καθώς και την δημιουργία διαγραμμάτων, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πρόγραμμα MATLAB R2015a και συγκεκριμένα η μέθοδος παλινδρομικής ανάλυσης.

Οι συσχετίσεις που προκύπτουν είναι πολύ σημαντικές καθώς με την πάροδο των χρόνων τα πλοία αλλάζουν σχεδιαστικά τόσο στα κύρια χαρακτηριστικά όσο και στα βάρη, οπότε η πραγματοποίηση αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι αρκετά σημαντική.

Παρόμοιες διπλωματικές εργασίες έχουν ανατεθεί και στο παρελθόν στο Εργαστήριο Μελέτης Πλοίου της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών για άλλους τύπους πλοίων, όπως: για δεξαμενόπλοια οι αντίστοιχες των Nkoko Nossa, 2013 και Καραγεώργο Β., 2016, αλλά και οι διπλωματικές εργασίες επί της Μεθοδολογία Προμελέτης Πλοίων Μεταφοράς Ξηρού Φορτίου του Κάραλη Β., 2016.

1. Εισαγωγή

1.1 Πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην

1.1.1 Γενικά

Η Διεθνής Σύμβαση SOLAS I Chapter IX ορίζει ένα πλοίο μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην ως “ένα φορτηγό πλοίο κατασκευασμένο με ένα κατάστρωμα, άνω και κάτω πλευρικές δεξαμενές στους χώρους φορτίου με σκοπό πρωτίστως τη μεταφορά ξηρού φορτίου χύδην”. Τα Πλοία Μεταφοράς Ξηρού Φορτίου Χύδην χαρακτηρίζονται από την απλή και στιβαρή κατασκευή τους, με πολύ μεγάλο συντελεστή γάστρας, στην περιοχή του 0.85 και χαμηλή ταχύτητα υπηρεσίας που κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 12 και 17kn. Το μηχανοστάσιο και οι υπερκατασκευές τοποθετούνται στην πρύμνη. Πρώραθεν του μηχανοστασίου, και μέχρι την πρωραία φρακτή σύγκρουσης, βρίσκεται ο χώρος φορτίου.

Εγκάρσιες στεγανές φρακτές υποδιαιρούν τον χώρο φορτίου σε έναν αριθμό κυτών (συνήθως από 5 έως 11, ανάλογα με το είδος και το μέγεθος του πλοίου), ενώ δεν υπάρχουν εσωτερικά καταστρώματα κάτω από το κύριο κατάστρωμα. Τα «τυπικά» Πλοία Μεταφοράς Ξηρού Φορτίου Χύδην δεν διαθέτουν διαμήκεις φρακτές, με τα κύτη τους να εκτείνονται από τη μια πλευρά του πλοίου μέχρι την άλλη. Η κατασκευή του πρώτου πλοίου μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην ξεκίνησε το 1852 και δεν έχει σταματήσει η ανάπτυξη του συγκεκριμένου είδους από τότε. Τα σύγχρονα πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην σχεδιάζονται ειδικά για τη μεγιστοποίηση της χωρητικότητας, της ασφάλειας, της αποδοτικότητας και της ανθεκτικότητας. Πρόκειται για έναν από τους πιο διαδεδομένους τύπους πλοίων καθώς αποτελούν το 17.5% (το 2019) του παγκόσμιου εμπορικού στόλου όσον αφορά τον αριθμό των πλοίων και 42.6% (το 2019) όσον αφορά το DWT.

1.1.2 Κατηγορίες

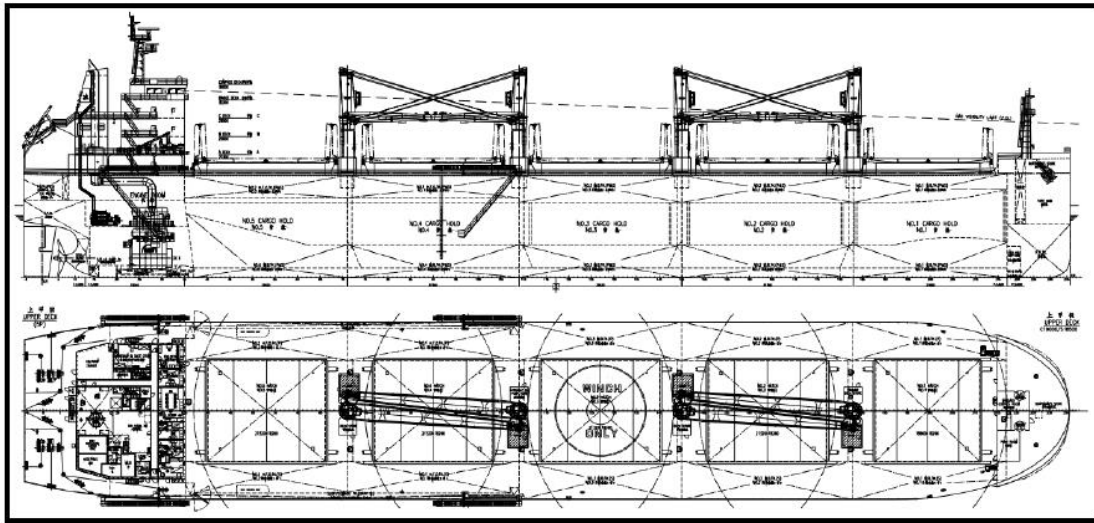
Τα πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με την χωρητικότητά τους σε DWT και διακρίνονται ως εξής:

Πίνακας 1: Κατηγοριοποίηση πλοίων μεταφοράς ξηρού φορτίου ανάλογα με τη χωρητικότητά τους σε DWT

Ship Type	DWT
Minibulkers	Έως 10000
Handysize	10000-35000
Handymax	35000-50000
Supramax	50000-60000
Panamax	60000-80000
Capesize	80000-200000
VLBC (Very Large Bulk Carrier)	200000-

1.1.3 Διάταξη και Υπόβαθρο Κανονισμών

Η γενική διάταξη ενός πλοίου Bulk carrier φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 1: Γενική διάταξη και κάτοψη- 58500 DWT Bulk Carrier

Στη συνέχεια του κειμένου θεωρείται ότι τα κύρια τμήματα που χωρίζεται ένα πλοίο τύπου bulk carrier είναι τα εξής:

- Πρυμναίο τμήμα (L_{AFT}): Ορίζεται από την πρυμναία κάθετο (A.P.) έως την πρυμναία φρακτή του μηχανοστασίου που συμπίπτει με την πρυμναία φρακτή σύγκρουσης.
- Χώρος μηχανοστασίου (L_{ER}): Ορίζεται μεταξύ της πρυμναίας και πρωραίας φρακτής του μηχανοστασίου και περιλαμβάνει την μηχανολογική εγκατάσταση του πλοίου συμπεριλαμβανομένης της κύριας μηχανής, γεννητριών και διάφορων βοηθητικών μηχανημάτων.
- Χώρος φορτίου (L_{CARGO}): Ορίζεται ο χώρος μεταξύ της πρωραίας φρακτής μηχανοστασίου και της πρωραίας φρακτής σύγκρουσης του πλοίου. Στο χώρο αυτό βρίσκονται οι δεξαμενές φορτίου που ορίζονται από στεγανές εγκάρσιες φρακτές.
- Πρωραίο τμήμα (L_{FWR}): Ορίζεται από την πρωραία φρακτή σύγκρουσης έως την πρωραία κάθετο (F.P.). Η θέση της ορίζεται με βάση τον κανονισμό της SOLAS για φορτηγά πλοία ως εξής:

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

Σε περίπτωση ύπαρξης βολβού η απόσταση d μετρείται από το σημείο α όπου:

$$\alpha = \min \left\{ \begin{array}{l} \text{Μέσο του βολβού} \\ 1.5\%L_{BP} \text{ πρώραθεν της } F.P. \\ 3m \text{ πρώραθεν της } F.P. \end{array} \right\}$$

Η τυπική διατομή ενός Bulk Carrier παρουσιάζεται στο Σχήμα 2. Ο χώρος φορτίου (1) έχει οκταγωνικό σχήμα και οριοθετείται από το διπύθμενο (4), τις κατώτερες δεξαμενές έρματος (lower wing tanks) στην κατώτερη αριστερή και δεξιά γωνία (5) και τις ανώτερες δεξαμενές έρματος (upper wing tanks, (3)). Μεταξύ των δύο ανώτερων δεξαμενών έρματος διακρίνεται το στόμιο του κύτους (2). Το διπύθμενο προσφέρει προστασία σε περίπτωση προσάραξης, ώστε να μην κατακλυστούν με νερό τα κύτη. Επί πλέον, είναι απολύτως απαραίτητα και για λειτουργικούς λόγους, προσφέροντας μια λεία επιφάνεια, πάνω στην οποία φορτώνεται το φορτίο. Η ειδική μορφή των πλευρικών δεξαμενών και ο οκταγωνικής μορφής χώρος φορτίου, που είναι χαρακτηριστικά των Bulk Carriers, έχουν αναπτυχθεί ώστε να εξυπηρετούν την λειτουργία του πλοίου.

Οι κατώτερες δεξαμενές έρματος έχουν σχήμα τριγωνικό, έτσι ώστε κατά τη φάση της εκφόρτωσης το φορτίο να συγκεντρώνεται στο κέντρο του κύτους, κάτω από το στόμιο, διευκολύνοντας και επιταχύνοντας τη διαδικασία. Οι ανώτερες δεξαμενές έρματος έχουν, επίσης, σχήμα τριγωνικό, αλλά για διαφορετικούς λόγους: κατά τη διαδικασία της φόρτωσης του πλοίου, η ύπαρξή τους δεν επιτρέπει να παραμένουν κενά (ελεύθερες επιφάνειες) κάτω από το κατάστρωμα. Οι ελεύθερες επιφάνειες είναι ανεπιθύμητες, γιατί κατά τη διάρκεια του ταξιδιού και λόγω των κινήσεων διατοιχισμού του πλοίου είναι δυνατόν να προκληθεί μετακίνηση του φορτίου σε μια πλευρά, με αποτέλεσμα το πλοίο να πάρει μόνιμη κλίση, ή ακόμη και να ανατραπεί. Το διπύθμενο διατίθεται για την μεταφορά καυσίμων και έρματος. Έρμα, επίσης, μπορεί να μεταφερθεί και στις πλευρικές δεξαμενές.

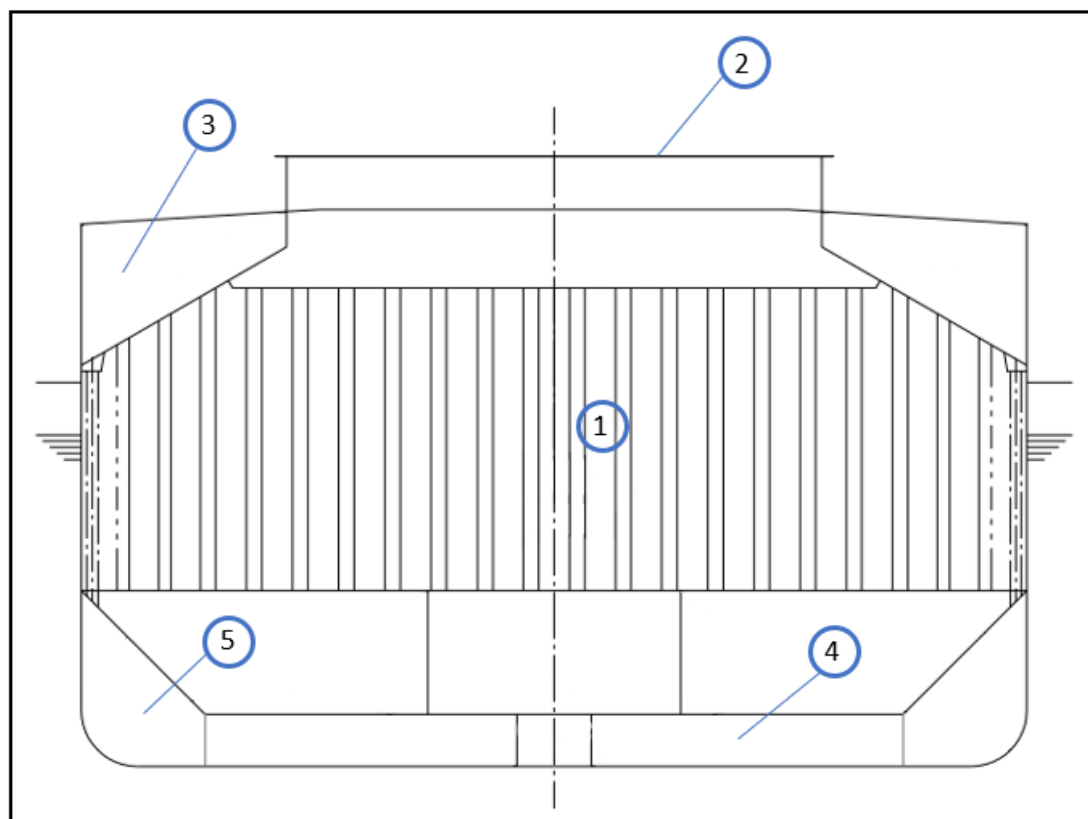
Το Ύψος διπυθμένου (h_{DB}) καθορίζεται από τον εκάστοτε νηογνώμονα ως εξής:

ABS: $h_{DB}[mm] \geq 32 * B[m] + 190 \sqrt{T}[m]$

LR: $h_{DB}[mm] \geq 28 * B[m] + 205 T[m]$ ελάχιστο 650mm

DNV: $h_{DB}[mm] 250 + 20 * B[m] + 50 T[m]$ ελάχιστο 650mm

Πιο κάτω φαίνεται μια τυπική εγκάρσια τομή (Midship Section) στο χώρο φορτίου ενός bulk carrier.



Σχήμα 2: Τυπική διάταξη εγκάρσιας τομής Bulk carrier.

2. Βάση Δεδομένων

Η δημιουργία της βάσης δεδομένων έγινε με την συγκέντρωση τεχνικών στοιχείων πλοίων μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην που υπήρχαν διαθέσιμα στο Εργαστήριο Μελέτης Πλοίου ΕΜΠ. Τα δεδομένα αρχικά καταγράφηκαν στο Excel και στη συνέχεια περάστηκαν στην Ms Access και έχουν αναλυθεί στις εξής κατηγορίες:

1. Γενικά Χαρακτηριστικά

Πίνακας 2: Γενικά Χαρακτηριστικά

General	Machinery	Gen Arrangement	Design	Scantling	Ballast Conds/Capacity
ID	Ship Name	Bulk Five	IMO Number	Call Sign	
a/a	11		Flag		
exNAMES					
SisterShips					
Due or Delivered Date	2006	Classed By	Nippon Kaiji Kyokai		
GT	43189	Suez Canal Net Tonnage SCNT (t)			
NT	27291				
FBtype		Notations	MS*, BC-A, ESP, MNS*, MC		
Ice capability		Notations			
Type of Steel	High tensile				
Speed Design (kn)	14,5	Speed Scantling (kn)		LightShip (t)	LOA (m)
Endurance (sm)				11571	228,99
Crew	25				LBP (m)
					222
					Beam (m)
					32,26
					Depth (m)
					20,03

Όπου:

Πίνακας 3: Λεπτομέρειες γενικών χαρακτηριστικών

Ship Name	Όνομα του πλοίου
IMO Number	Αριθμός του IMO
Call Sign	Σήμα κλήσης
Flag	Σημαία
Ex-names	Προηγούμενο όνομα
Sister ship	Αδελφό πλοίο
Due or Delivered	Έτος ναυπήγησης ή παράδοσης
Classed By	Νηογνώμονας
Gt	Ολική χωρητικότητα
Nt	Καθαρή χωρητικότητα
Suez Canal Net Tonnage	Καθαρή χωρητικότητα σύμφωνα με τον κανόνα της διώρυγας του Σουέζ
FB-type	Είδος (τύπος) εξάλων
Ice Capability	Ικανότητα με πλεύση σε πάγο
Type of Steel	Είδος χάλυβα

Notations	Σημειώσεις
Speed Design	Ταχύτητα υπηρεσίας
Speed Scantling	Ταχύτητα στο βύθισμα αντοχής
Lightship	Βάρος άφορτου σκάφους
Endurance	Αυτονομία του πλοίου (sea miles)
Crew	Αριθμός πληρώματος
Length OA	Ολικό μήκος
Length BP	Μήκος μεταξύ καθέτων
Beam	Πλάτος
Depth	Κοίλο

2. Γενικά χαρακτηριστικά του μηχανοστασίου

Πίνακας 4: Γενικά χαρακτηριστικά του μηχανοστασίου

General	Machinery	Gen Arrangement	Design	Scantling	Ballast Conds/Capacity
Engine Maker	MAN B&W		Number of Engine	1	
Engine Model	7S50MC-C				
MCR (HP)	13142	CSO (KW)	8820	RPM CSO	109
MCR (KW)	9800	RPM MCR	113		
HFO Consumption (t/day)		Shaft Length (m)	8,0481		
Gear Description					
Gen Maker		Number of Propellers	1		
Gen Model		Number of Propeller Blades			
Number of Gen		Gen HP		Type of propeller	NORMAL
Gen KW		Emergency KW		Propeller Diameter (m)	6,3
Gen Sfoc					
Rudder Height (m)	10,05	Max Helm Angle			
Rudder Beam (m)	6,1021	Pump Ballast Power (m3/h)			

Όπου:

Πίνακας 5: Λεπτομέρειες γενικών χαρακτηριστικών μηχανοστασίου

Engine Make	Κατασκευαστής μηχανής
Engine Model	Μοντέλο μηχανής
Number of Engines	Αριθμός μηχανών
MCR (HP)	Μέγιστη συνεχής ισχύς σε HP
MCR (kW)	Μέγιστη συνεχής ισχύς σε kW
CSO (kW)	Ονομαστική συνεχή ισχύς σε kW
RPM MCR	Στροφές ανά λεπτό της MCR
RPM CSO	Στροφές ανά λεπτό της CSO
HFO Consumption	Κατανάλωση καυσίμου
Shaft Length	Μήκος άξονα
Gear Description	Περιγραφή μηχανής
Gen Maker	Κατασκευαστής γεννήτριας
Gen Model	Μοντέλο γεννήτριας
Number of Gen	Αριθμός γεννητριών
Gen HP	Ισχύς γεννήτριας σε HP
Gen kW	Ισχύς γεννήτριας σε kW
Emergency kW	Ισχύς γεννήτριας έκτακτης ανάγκης σε kW
Gen SFOC	Κατανάλωση καυσίμου
Number of Propellers	Αριθμός ελίκων
Number of Propeller Blades	Αριθμός πτερυγίων έλικας
Type of propeller	Είδος έλικας
Propeller's Diameter	Διάμετρος έλικας
Rudder Height	Ύψος πηδαλίου
Rudder Beam	Πλάτος πηδαλίου
Max Helm Angle	Γωνία τιμονιού
Pump Ballast Power	Ισχύς αντλιών έρματος

3. Χαρακτηριστικά από το σχέδιο Γενικής Διάταξης (General Arrangement, GA)

Πίνακας 6: Χαρακτηριστικά από το General Arrangement

General	Machinery	Gen Arrangement	Design	Scantling	Ballast Conds/Capacity
Aft Frame Spacing (mm)	750	E.R. Frame Spacing (mm)	800		
Cargo Frame Spacing (mm)	890	Fore Frame Spacing (mm)	890		
Aft Length (m)	8,25	Cargo Length (m)	186,01	Camber	Yes
E.R. Length (m)	18,4	Forward Length (m)	9,34	Camber Height (mm)	770
				Double Bottom Height (m)	1,7
<input checked="" type="checkbox"/> Sheer_Stem		<input checked="" type="checkbox"/> Sheer_Stern			
Sheer Length Stem (m)	14,685	Sheer Length_Stern (m)	17		
Sheer Height Stem (m)	0,695	Sheer Height_Stern (m)	0		
Transversal Surface (m2)	327,541	Hatches No	7	Bulb	
Centre of Transversal Surface Z (m)	27,9438	Hatch Length (m)	17,8	Bulb Length (m)	3,5028
Longitudinal Surface (m2)	300,1289	Hatch Beam (m)	15,4		
Centre of longitudinal surface Z (m)	27,4272				
Centre of longitudinal surface X (m)	17,2284				
Superstructure Height (m)	16,7	Forecastle	YES	Cranes	NO
Superstructure Length (m)	18,46	Forecastle Length (m)	13,831	Deck Crane Capacity (mt)	
Superstructure Beam (m)	20,74	Forecastle Height (m)	3,176	Number of Cranes	
Poopdeck	NO	Poopdeck Length (m)			
		Poopdeck Height (m)			

Όπου:

Πίνακας 7: Χαρακτηριστικά από το General Arrangement

Aft Frame Spacing	Ισαπόσταση των κατασκευαστικών νομέων στο πρυμναίο τμήμα
E.R. Frame Spacing	Ισαπόσταση των κατασκευαστικών νομέων στο χώρο μηχανοστασίου
Cargo Frame Spacing	Ισαπόσταση των κατασκευαστικών νομέων στον χώρο φορτίου
Fore Frame Spacing	Ισαπόσταση των κατασκευαστικών νομέων στο πρωραίο τμήμα
Aft Length	Μήκος πρυμναίου τμήματος
Cargo Length	Μήκος χώρου φορτίου
E.R. Length	Μήκος χώρου μηχανοστασίου
Forward Length	Μήκος πρωραίου τμήματος
Camber	Ύπαρξη κυρτότητας καταστρώματος (Yes / No)
Camber Height	Ύψος κυρτότητας καταστρώματος
Double Bottom Height	Ύψος διπυθμένου
Sheer Stem	Ύπαρξη σιμότητας στην πλώρη (Yes / No)
Sheer Length Stem	Μήκος πρωραίας σιμότητας
Sheer Height Stem	Ύψος σιμότητας στην πρωραία κάθετο

Sheer Stern	Ύπαρξη σιμότητα στην πρύμνη (Yes / No)
Sheer Length Stern	Μήκος πρυμναίας σιμότητας
Sheer Height Stern	Ύψος σιμότητας στην πρυμναία κάθετο
Transversal Surface	Εγκάρσια επιφάνεια υπερκατασκευών
Centre of Transversal Surface Z	Κέντρο εγκάρσιας επιφάνειας υπερκατασκευών κατά τον κάθετο άξονα
Longitudinal Surface	Διαμήκης επιφάνεια υπερκατασκευών
Centre of Longitudinal Surface Z	Κέντρο διαμήκης επιφάνειας υπερκατασκευών κατά τον κάθετο άξονα
Centre of Longitudinal Surface X	Κέντρο διαμήκης επιφάνειας υπερκατασκευών κατά τον διαμήκης άξονα
Hatches No.	Αριθμός κυτών
Hatch length	Μήκος κυτών
Hatch beam	Πλάτος κυτών
Bulb	Ύπαρξη βολβού (Yes/No)
Bulb Length	Μήκος βολβού από την F.P.
Superstructure Height	Ύψος υπερκατασκευής (συνολικά)
Superstructure Length	Μήκος υπερκατασκευής
Superstructure Beam	Πλάτος υπερκατασκευής
Forecastle	Ύπαρξη πρόστεγου (Yes/No)
Forecastle Length	Μήκος πρόστεγου
Forecastle Height	Ύψος πρόστεγου
Poopdeck	Ύπαρξη επίστεγου (Yes/No)
Poopdeck Length	Μήκος επίστεγου
Poopdeck Height	Ύψος επίστεγου
Cranes	Ύπαρξη γερανού (Yes/No)
Number of cargo cranes	Αριθμός γερανών

4. Δεδομένα για τις καταστάσεις φόρτωσης Homogenous Load Departure and Homogenous Load Arrival στο βύθισμα σχεδίασης.

Πίνακας 8: Δεδομένα για όλες τις καταστάσεις στο βύθισμα σχεδίασης

General	Machinery	Gen Arrangement	Design	Scantling	Ballast Conds/Capacity
Draft Design (m)			12,2		
Displacement Design (t)					
DWT design (t)					
Freeboard Design (m)					
Cb Design	0,8724	Cwp Design	0,9474	Cp Design	0,8753
				TPC Design	69,62
Cm Design	0,9967	MTC Design	1177,91	WSA design (m2)	
Ta dep (m)	13,52	Trim dep (m)	-2,61	Ta arr (m)	12,28
				Trim arr (m)	-0,96
Tf dep (m)	10,91			Tf arr (m)	11,33
KB dep (m)	7,02	KM dep (m)	13,46	KB arr (m)	9,55
				KM arr (m)	13,48
LCB dep (m)	117,47	GM dep (m)	2,51	LCB arr (m)	117,75
				GM arr (m)	2,45
KGdep Cargo (m)	11,0815	LCGdep Cargo (m)	119,277	KGarr Cargo (m)	11,0815
				LCGarr Cargo (m)	119,277
KGdep DWT (m)		LCGdep DWT (m)		KGarr DWT (m)	
				LCGarr DWT (m)	
KGdep FO (m)	6,8132	LCGdep FO (m)	50,239	KGarr FO (m)	9,7403
				LCGarr FO (m)	22,469
KGdep DO (m)	13,73	LCGdep DO (m)	14,3676	KGarr DO (m)	0,95
				LCGarr DO (m)	74,75
KGdep FW (m)	17,8852	LCGdep FW (m)	5,021	KGarr FW (m)	15,479
				LCGarr FW (m)	5,104
KGdep LO (m)		LCGdep LO (m)		KGarr LO (m)	
				LCGarr LO (m)	
KGdep Ship (m)	10,95	LCGdep Ship (m)	113,54	KGarr Ship (m)	11,03
				LCGarr Ship (m)	116,26

Όπου:

Πίνακας 9: Δεδομένα για όλες τις καταστάσεις στο βύθισμα σχεδίασης

Στο βύθισμα σχεδίασης	
Draft Design	Βύθισμα σχεδίασης
Displacement Design	Εκτόπισμα
DWT Design	Πρόσθετο (νεκρό) βάρος
Freeboard Design	Ύψος εξάλων
Cb Design	Συντελεστής γάστρας
Cwp Design	Συντελεστής ίσαλου επιφάνειας
Cp Design	Πρισματικός συντελεστής
Cm Design	Συντελεστής μέσης τομής
TPC design	Τόνοι ανά εκατοστό βύθισης
MTC design	Ροπή διαγωγής ανά εκατοστό διαφοράς βυθισμάτων
WSA design	Βρεχόμενη επιφάνεια
Λεπτομέρειες για τα δεδομένα της Full Load Departure στο βύθισμα σχεδίασης	

Ta dep	Πρυμναίο βύθισμα (στην πρυμναία κάθετο)
Tf dep	Πρωραίο βύθισμα (στην πρωραία κάθετο)
Trim dep T	Διαγωγή
KB dep	Απόσταση κέντρου άντωσης από το βασικό επίπεδο
LCB dep	Διαμήκης θέση του κέντρου άντωσης ομοιογενούς φόρτωσης
Trim dep	Διαγωγή ομοιογενούς φόρτωσης
KM dep	Απόσταση του μετάκεντρου από το βασικό επίπεδο
GM dep	Μετακεντρικό ύψος
KGdep Cargo	Απόσταση του κέντρου βάρους του φορτίου από το βασικό επίπεδο
KGdep DWT	Απόσταση του κέντρου βάρους του πρόσθετου (νεκρού) βάρους από το βασικό επίπεδο
KGdep FO	Απόσταση του κέντρου βάρους του καυσίμου από το βασικό επίπεδο
KGdep DO	Απόσταση του κέντρου βάρους του Diesel από το βασικό επίπεδο
KGdep FW	Απόσταση του κέντρου βάρους του γλυκού νερού από το βασικό επίπεδο
KGdep LO	Απόσταση του κέντρου βάρους των λιπαντικών από το βασικό επίπεδο
KGdep Ship	Απόσταση του κέντρου βάρους του εκτοπίσματος από το βασικό επίπεδο
LCG Cargo	Διαμήκης θέση του κέντρου βάρους του φορτίου
LCGdep DWT	Διαμήκης θέση του κέντρου βάρους του πρόσθετου (νεκρού) βάρους
LCGdep FO	Διαμήκης θέση του κέντρου βάρους του καυσίμου
LCGdep DO	Διαμήκης θέση του κέντρου βάρους του Diesel
LCGdep FW	Διαμήκης θέση του κέντρου βάρους του γλυκού νερού
LCGdep LO	Διαμήκης θέση του κέντρου βάρους των λιπαντικών
LCGdep Ship	Διαμήκης θέση του κέντρου βάρους εκτοπίσματος
Λεπτομέρειες για τα δεδομένα της Full Load Arrival στο βύθισμα σχεδίασης	
Ta arr	Πρυμναίο βύθισμα (στην πρυμναία κάθετο)
Tf arr	Πρωραίο βύθισμα (στην πρωραία κάθετο)
KB arr	Απόσταση κέντρου άντωσης από το βασικό επίπεδο
LCB arr	Διαμήκης θέση του κέντρου άντωσης
Trim arr	Διαγωγή
KM arr	Απόσταση του μετάκεντρου από το βασικό επίπεδο
GM arr	Μετακεντρικό ύψος
KGarr Cargo	Απόσταση του κέντρου βάρους του φορτίου από το βασικό επίπεδο
KGarr DWT	Απόσταση του κέντρου βάρους του πρόσθετου (νεκρού) βάρους από το βασικό επίπεδο
KGarr FO	Απόσταση του κέντρου βάρους του καυσίμου από το βασικό επίπεδο

KGarr DO	Απόσταση του κέντρου βάρους του Diesel από το βασικό επίπεδο
KGarr FW	Απόσταση του κέντρου βάρους του γλυκού νερού από το βασικό επίπεδο
KGarr LO	Απόσταση του κέντρου βάρους των λιπαντικών από το βασικό επίπεδο
KGarr Ship	Απόσταση του κέντρου βάρους του εκτοπίσματος από το βασικό επίπεδο
LCGarr Cargo	Διαμήκης θέση του κέντρου βάρους του φορτίου
LCGarr DWT	Διαμήκης θέση του κέντρου βάρους του πρόσθετου (νεκρού) βάρους
LCGarr FO	Διαμήκης θέση του κέντρου βάρους του καυσίμου
LCGarr DO	Διαμήκης θέση του κέντρου βάρους του Diesel
LCGarr FW	Διαμήκης θέση του κέντρου βάρους του γλυκού νερού
LCGarr LO	Διαμήκης θέση του κέντρου βάρους των λιπαντικών
LCGarr Ship	Διαμήκης θέση του κέντρου βάρους εκτοπίσματος

5. Γενικά χαρακτηριστικά στο βύθισμα αντοχής

Πίνακας 10: Γενικά χαρακτηριστικά στο βύθισμα αντοχής

General	Machinery	Gen Arrangement	Design	Scantling	Ballast Conds/Capacity
Draft Scantling (m)	14,429	Freeboard Scantling (m)			
Displacement Scantling (t)	93780				
DWT Scantling (t)	82209				
KB scantl (m)	10,44	KM scantl (m)	13,52	Cb Scantling	0,8847
LCBscantl (m)	116,12			Cp Scantl.	0,8872
				Cm Scantling	0,9972
				TPC Scantl.	70,21
				Cwp Scantling	0,9543
WSAscantling (m2)					
MTC_Scantling	1202,7				

Όπου:

Πίνακας 11: Λεπτομέρειες γενικών χαρακτηριστικών στο βύθισμα αντοχής

Στο βύθισμα αντοχής	
Draft scantling	Βύθισμα αντοχής
Displacement Scantling	Εκτόπισμα
DWT Scantling	Πρόσθετο (νεκρό) βάρος
Freeboard Scantling	Ύψος εξάλων
KB scantl	Απόσταση κέντρου άντωσης από το βασικό επίπεδο
LCBscantl	Διαμήκης θέση του κέντρου άντωσης
KM scantl	Απόσταση του μετάκεντρου από το βασικό επίπεδο
Cb Scantling	Συντελεστής γάστρας
Cm Scantling	Συντελεστής μέσης τομής
Cwp Scantling	Συντελεστής ίσαλου επιφάνειας
Cp Scantling	Πρισματικός συντελεστής
TPC Scantl.	Τόνοι ανά εκατοστό βύθισης
WSAscantling	Βρεχόμενη επιφάνεια
MTC_Scantling	Ροπή διαγωγής ανά εκατοστό διαφοράς βυθισμάτων

6. Δεδομένα για τις καταστάσεις φόρτωσης Heavy Ballast Departure, Heavy Ballast Arrival, Light Ballast Departure, Light Ballast Arrival και χωρητικότητας δεξαμενών.

Πίνακας 12: Δεδομένα για όλες τις καταστάσεις έρματος και χωρητικότητας δεξαμενών

General	Machinery	Gen Arrangement	Design	Scantling	Ballast Conds/Capacity		
Ta H-B (m)	8,8	Trim H-B (m)	1,35	KB H-B (m)	7,48	KM H-B (m)	14,64
Tf H-B (m)	7,45			LCB H-B (m)	119,96	GM H-B (m)	4,47
Ta L-B (m)	6,83	Trim L-B (m)	1,89	KB L-B (m)	4,56	KM L-B (m)	17,33
Tf L-B (m)	4,94			LCB L-B (m)	120,85	GM L-B (m)	7,84
Ballast Tanks Capacity (m3)	22768,6			LCGarr H-B (m)	117,27	LCGarr L-B (m)	115,91
Ballast Tanks Capacity Max (m3)	37194			KGarr H-B (m)	10,17	KGarr L-B (m)	9,78
Fresh Water Tank Capacity (t)	479,4			KG LS (m)	10,78	KG Crew & Constants (m)	14,6
Fuel Oil Tank Capacity 100% (m3)	2920,5			LCG LS (m)		LCG Crew & Constants (m)	32,87
Diesel Oil Tank Capacity 100% (m3)	259,5						
Lub Oil Tank Capacity 100% (m3)	129,5						
Constant Weight (t)	239						
Holds Number	7	Cargo Capacity Grain (m3)	97186,1	Cargo Capacity Bale (m3)	99307,9		

Όπου:

Πίνακας 13: Δεδομένα για τις καταστάσεις HBD, HBA, LBD, LBA και χωρητικότητες δεξαμενών

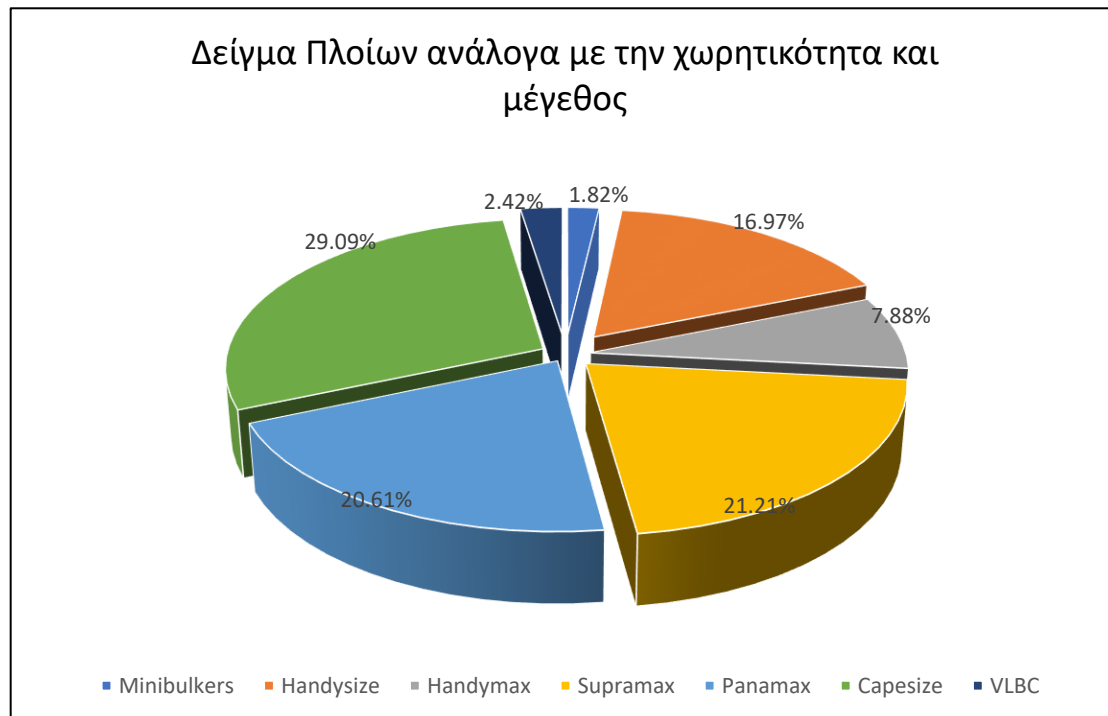
Λεπτομέρειες για τα δεδομένα της Heavy Ballast Departure	
Ta H-B	Πρυμναίο βύθισμα
Ta H-B	Πρωραίο βύθισμα
Trim H-B	Διαγωγή
KB H-B	Απόσταση κέντρου άντωσης από το βασικό επίπεδο
LCB H-B	Διαμήκης θέση του κέντρου άντωσης
KM H-B	Απόσταση του μετάκεντρου από το βασικό επίπεδο
GM H-B	Μετακεντρικό ύψος
Λεπτομέρειες για τα δεδομένα της Light Ballast Departure	
Ta L-B	Πρυμναίο βύθισμα
Ta L-B	Πρωραίο βύθισμα
Trim L-B	Διαγωγή
KB L-B	Απόσταση κέντρου άντωσης από το βασικό επίπεδο
LCB L-B	Διαμήκης θέση του κέντρου άντωσης
KM L-B	Απόσταση του μετάκεντρου από το βασικό επίπεδο
GM L-B	Μετακεντρικό ύψος
Λεπτομέρειες για τα δεδομένα της Heavy Ballast Arrival	
LCGarr H-B	Διαμήκης θέση του κέντρου βάρους
KGarr H-B	Απόσταση του κέντρου βάρους από το βασικό επίπεδο
Λεπτομέρειες για τα δεδομένα της Light Ballast Arrival	
LCGarr L-B	Διαμήκης θέση του κέντρου βάρους
KGarr L-B	Απόσταση του κέντρου βάρους από το βασικό επίπεδο
Χωρητικότητες	
Ballast tanks capacity	Χωρητικότητα δεξαμενών έρματος
Ballast tanks capacity max	Μέγιστη χωρητικότητα δεξαμενών έρματος
Fresh water tank capacity	Χωρητικότητα δεξαμενών γλυκού νερού
Fuel oil tank capacity	Χωρητικότητα δεξαμενών καυσίμου
Diesel oil tank capacity	Χωρητικότητα δεξαμενών Diesel
Lub oil tank capacity	Χωρητικότητα δεξαμενών για λιπαντικά
Constant weight	Σταθερό βάρος
Holds number	Αριθμός δεξαμενών
Cargo Capacity Grain	Χωρητικότητα δεξαμενών φορτίου Grain
Cargo Capacity Bale	Χωρητικότητα δεξαμενών φορτίου Bale
KG LS	Απόσταση του κέντρου βάρους του L.S. από το βασικό επίπεδο
LCG LS	Διαμήκης θέση του κέντρου βάρους του L.S.

KG crew & constant	Απόσταση του κέντρου βάρους από το βασικό επίπεδο (σταθερό βάρος και βάρος πληρώματος)
LCG crew & constant	Διαμήκης θέση του κέντρου βάρους (σταθερό βάρος και βάρος πληρώματος)

Έχουν καταγραφεί και αναλυθεί συνολικά 171 πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην, εκ των οποίων διαθέσιμα ανάλογα με την χωρητικότητα και το μέγεθος τους ήταν 165. Διακρίθηκαν από μικρά πλοία (Minibulkers) μέχρι VLbC (Very Large Bulk Carrier) και συνολικά κατανέμονται ως εξής:

Πίνακας 14: Δείγμα Υπό Μελέτη Πλοίων ανάλογα με την χωρητικότητα και μέγεθος

Ship Type	DWT	Number of ships	%
Minibulkers	Έως 10000	3	1,82%
Handysize	10000-35000	28	16,97%
Handymax	35000-50000	13	7,88%
Supramax	50000-60000	35	21,21%
Panamax	60000-80000	34	20,61%
Capesize	80000-200000	48	29,09%
VLBC (Very Large Bulk Carrier)	200000-	4	2,42%
Total	-	165	100,00%

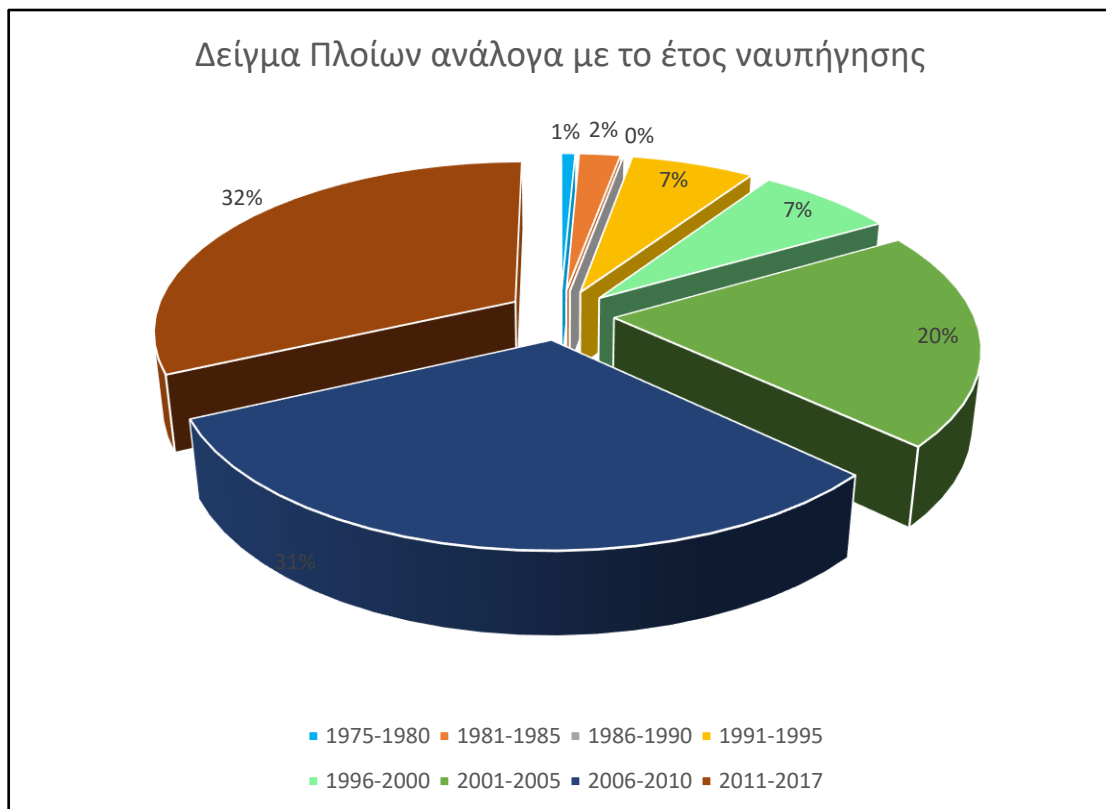


Σχήμα 3: Δείγμα Πλοίων ανάλογα με την χωρητικότητα και μέγεθος

Όσον αφορά την χρονολογία κατασκευής τους κατατάσσονται ως εξής:

Πίνακας 15: Δείγμα Πλοίων ανά Έτος Ναυπήγησης

Χρονολογία	Number of ships	%
1975-1980	1	1%
1981-1985	3	2%
1986-1990	0	0%
1991-1995	9	7%
1996-2000	10	7%
2001-1005	28	20%
2006-2010	43	31%
2011-2017	44	32%



Σχήμα 4: Δείγμα Πλοίων ανάλογα με το έτος ναυπήγησης

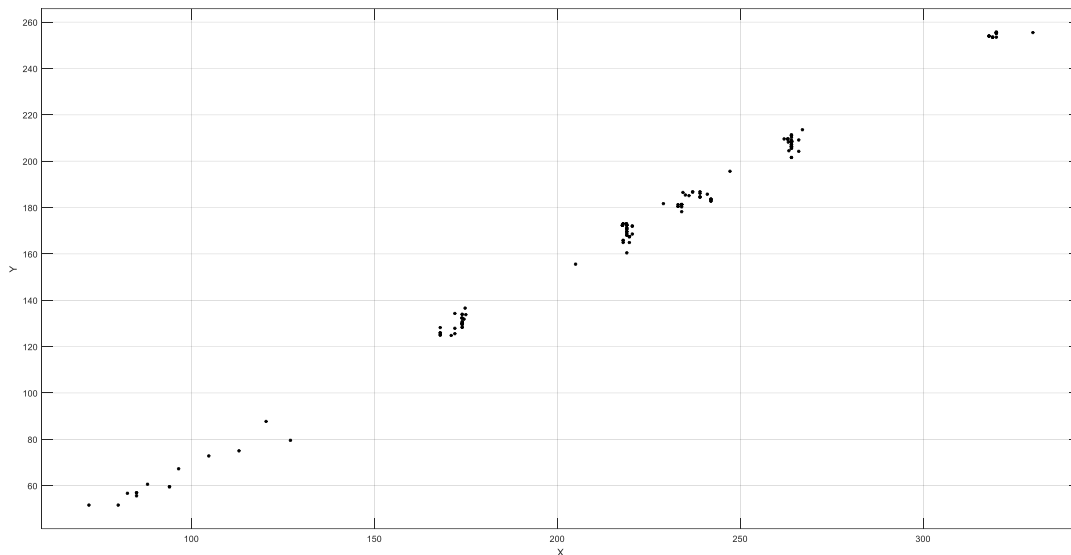
3. Στατιστική Ανάλυση

Στα προκαταρκτικά στάδια της μελέτης ενός πλοίου χρειαζόμαστε μαθηματικές σχέσεις που συσχετίζουν τις διάφορες μεταβλητές σχεδίασης, όπου με την βοήθεια της στατιστικής ανάλυσης μπορούν να παραχθούν κατάλληλες σχέσεις. Πιο κάτω ορίζονται μερικές έννοιες στατιστικής που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια.

3.1 Ορισμοί

3.1.1. Διάγραμμα Διασποράς(Scatter Diagram)

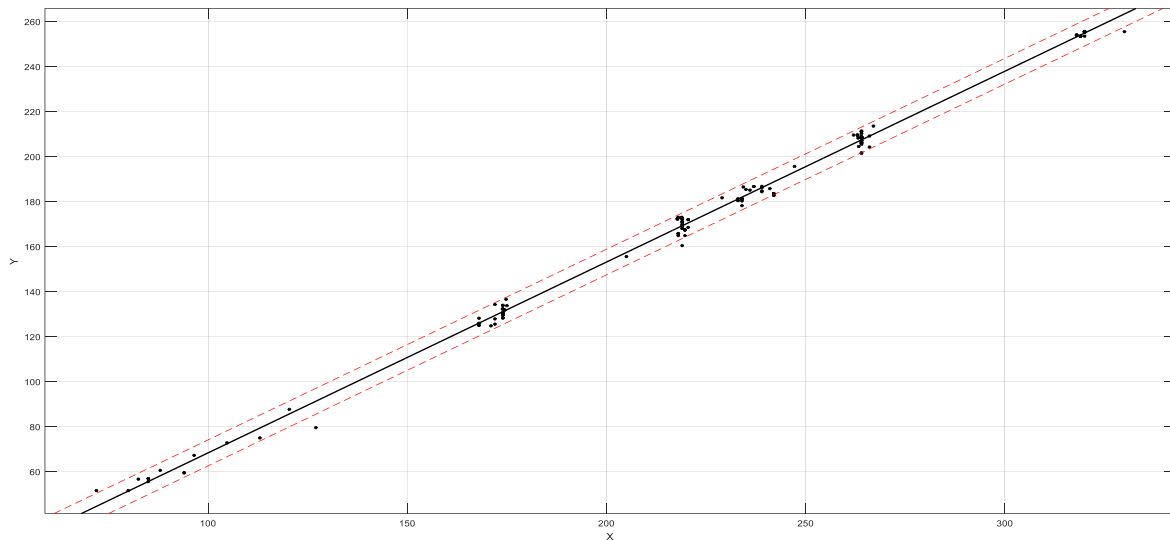
Ένα διάγραμμα διασποράς είναι ένα εργαλείο για την ανάλυση σχέσεων μεταξύ δύο μεταβλητών για τον προσδιορισμό της εγγύτητας των δύο μεταβλητών που σχετίζονται. Η μία μεταβλητή σχεδιάζεται στον οριζόντιο άξονα και η άλλη σχεδιάζεται στον κατακόρυφο άξονα. Το μοτίβο των τεμνόμενων σημείων τους μπορεί να δείξει γραφικά μοτίβα της σχέσης σαν μια ιδεατή γραμμή. Η σχέση μεταξύ των δύο ή περισσότερων μεταβλητών είναι τόσο περισσότερο ισχυρή όσο πιο κοντά στην ιδεατή γραμμή βρίσκονται τα σημεία (x_i, y_i) ή (x_i, y_i, \dots, z_i) .



Διάγραμμα 1: Ενδεικτικό διαγράμματα διασποράς

3.1.2. Προσεγγιστικές καμπύλες(Approximating Curves)

Όπως έχει αναφερθεί πιο πάνω σε ένα διάγραμμα διασποράς η ιδεατή γραμμή η οποία δίνει μια πρώτη εικόνα της σχέσης που συνδέει τις δύο ή περισσότερες μεταβλητές είναι στην ουσία η προσεγγιστική καμπύλη και φαίνεται παρακάτω:



Διάγραμμα 2: Διάγραμμα Διασποράς με προσεγγιστική καμπύλη και καμπύλες πρόβλεψης

Για την εύρεση της προσεγγιστικής καμπύλης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Matlab R2015a και συγκεκριμένα το εργαλείο Curve Fitting Tool. Το εργαλείο αυτό περιέχει κάποιες τυποποιημένες εξισώσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συνάρτηση μίας μεταβλητής, οι τύποι των οποίων φαίνονται πιο κάτω:

- Linear model Poly1: $f(x) = p_1 \cdot x + p_2$
- Linear model Poly2: $f(x) = p_1 \cdot x^2 + p_2 \cdot x + p_3$
- General model Power1: $f(x) = a \cdot x^b$
- General model Power2: $f(x) = a \cdot x^b + c$
- General model Log1: $f(x) = a \cdot \ln(x) + b$
- General model Exp1: $f(x) = a \cdot \exp(b \cdot x)$

Αξίζει να σημειωθεί ότι το Matlab διαθέτει και άλλες εξισώσεις καθώς και τη δυνατότητα ο χρήστης να δημιουργήσει νέα εξίσωση (Custom Equation), όμως στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν κυρίως οι πιο πάνω.

Στο πιο πάνω διάγραμμα καθώς και στα επακόλουθα εκτός από την προσεγγιστική καμπύλη εμφανίζονται και δύο επιπλέον οριακές καμπύλες με διακεκομμένες γραμμές εκατέρωθεν της προσεγγιστικής που ορίζουν το επίπεδο βεβαιότητας (Boundary Curves). Οι καμπύλες αντιστοιχούν στις καμπύλες πρόβλεψης (Prediction Bounds) οι οποίες ορίζουν τις περιοχές στο διάγραμμα που μπορεί μια νέα παρατήρηση να εμφανιστεί με πιθανότητα 95%.

3.1.3. Μέθοδος Ελάχιστων Τετραγώνων

Εξετάζοντας ένα διάγραμμα διασποράς παρατηρούμε ότι η κατανομή των σημείων μπορεί να σχεδιάσει πολλές προσεγγιστικές καμπύλες οι οποίες διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την ποιότητα προσέγγισης. Έτσι από όλες τις πιθανές καμπύλες που έχουν σχεδιαστεί πρέπει να επιλεγεί εκείνη που μας δίνει την καλύτερη προσέγγιση και αυτή θα είναι η βέλτιστη (Best-Fitting Curve). Η διαδικασία επιλογής της βέλτιστης καμπύλης στο Matlab 2015a γίνεται με την μέθοδο ελάχιστων τετραγώνων (Nonlinear Least Squares).

Έτσι θεωρώντας ότι έχουμε ένα διάγραμμα διασποράς με σημεία (x_i, y_i) όπου $i=1, \dots, n$, για μια δεδομένη τιμή του x_i θα υπάρχει διαφορά μεταξύ της τιμής y_i και της τιμής που δίνεται από την καμπύλη $f(x_i)$. Η διαφορά αυτή ονομάζεται απόκλιση ή σφάλμα ή υπόλοιπο (Deviation, Error, Residual) και ορίζεται ως

$$d_i = y_i - f(x_i)$$

Υπολογίζοντας τις τιμές d_i για όλα τα σημεία που έχουμε, τότε μπορούμε να βρούμε το άθροισμα των τετραγώνων των d_i για όλα τα σημεία το οποίο ονομάζεται σύμφωνα με την βιβλιογραφία SSE (Sum of Squares due to Error) και υπολογίζεται:

$$SSE = d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2 = \sum_{i=1}^n d_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2$$

Πόσο καλή είναι η ποιότητα της προσεγγιστικής καμπύλης μας δείχνει το μέγεθος του SSE. Γενικά βέλτιστη προσεγγιστική καμπύλη (Best-Fitting Curve) θεωρείται αυτή με τη μικρότερη τιμή του εν λόγω αθροίσματος και λέγεται καμπύλη ελάχιστων τετραγώνων (Least Squares Curve).

3.1.4. Παλινδρόμηση (Regression)

Με τη μέθοδο της παλινδρόμησης (Regression) εκτιμούμε ένα μοντέλο που αναπαριστά τη σχέση ανάμεσα σε μια εξαρτημένη μεταβλητή y αφενός και μια ή περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές x αφετέρου. Έτσι με βάση το δείγμα που διαθέτουμε η εκτίμηση της τιμής μιας μεταβλητής y που αντιστοιχεί σε μία δεδομένη τιμή της μεταβλητής x μπορεί να προσεγγισθεί από την μέθοδο παλινδρόμησης και γίνεται μέσω της καμπύλης ελάχιστων τετραγώνων.

3.1.5. Θεωρία Συσχέτισης (Correlation Theory)

Ο βαθμός της σχέσης μεταξύ μεταβλητών, δηλαδή το πρόβλημα που έχει σκοπό να προσδιορίσει πόσο καλά η προσεγγιστική εξίσωση περιγράφει τη σχέση ανάμεσα στις μεταβλητές ονομάζεται συσχέτιση. Η συσχέτιση αποτελεί βασικό μέγεθος αξιολόγησης σε όλη την ανάλυση που πραγματοποιείται στην παρούσα εργασία. Εάν όλες οι τιμές των μεταβλητών ικανοποιούν την εξίσωση παλινδρόμησης με ακρίβεια τότε λέμε ότι οι μεταβλητές είναι τέλεια συσχετισμένες ή ότι υπάρχει τέλεια συσχέτιση μεταξύ τους. Στην συγκεκριμένη εργασία αναφερόμαστε μόνο σε απλές συσχετίσεις.

◆ Συντελεστής Συσχέτισης

Το άθροισμα των τετραγώνων των αποκλίσεων των τιμών του y από το μέσο όρο \bar{y} αναφέρεται σαν SST (Total Sum of Squares) και είναι

$$SST = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

Το άθροισμα των τετραγώνων των αποκλίσεων των τιμών της παλινδρόμησης $f(x_i)$ από το μέσο όρο \bar{y} αναφέρεται ως SSR (Sum of Squares due to Regression) και είναι:

$$SSR = \sum_{i=1}^n (f(x_i) - \bar{y})^2$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω θα ισχύει:

$$SST = SSE + SSR \Rightarrow \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2 + \sum_{i=1}^n (f(x_i) - \bar{y})^2$$

Ο συντελεστής προσδιορισμού (Determination Coefficient) δείχνει το ποσοστό της διακύμανσης που εξηγείται από την καμπύλη παλινδρόμησης. Συμβολίζεται με R^2 (R-square) και δίνεται από τη σχέση:

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \Rightarrow R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

Η μεγαλύτερη τιμή που μπορεί να πάρει το R^2 είναι η μονάδα και αυτό θα συμβεί όταν ολόκληρη η μεταβλητότητα της y ερμηνεύεται από την ανεξάρτητη μεταβλητή x . Η μικρότερη τιμή του R^2 είναι το μηδέν, όταν η ανεξάρτητη μεταβλητή x δε συμβάλλει καθόλου στην ερμηνεία της μεταβλητότητας της y . Γενικά όσο πιο κοντά στη μονάδα είναι η τιμή του R^2 τόσο καλύτερη είναι η προσέγγιση.

Από τον πιο πάνω συντελεστή λύνοντας ως προς R προκύπτει ο συντελεστής συσχέτισης (Correlation Coefficient) και υπολογίζεται από:

$$R = \sqrt{\frac{SSR}{SST}} = \sqrt{1 - \frac{SSE}{SST}} \Rightarrow R = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Σε όλες τις περιπτώσεις ο συντελεστής R μετράει το βαθμό της συσχέτισης αναφορικά με τον τύπο της εξίσωσης της αρχικής υπόθεσης, μετράει δηλαδή το πόσο καλά προσεγγίζει η υποτιθέμενη εξίσωση τα δεδομένα. Επίσης πρέπει να επισημανθεί ότι μεγάλη τιμή συντελεστή συσχέτισης δεν συνεπάγεται αναγκαστικά ότι οι μεταβλητές έχουν κάποια εξάρτηση.

♦ Τυπικό Σφάλμα (Standard Error)

Το τυπικό σφάλμα εκτίμησης μετράει τη διασπορά των τιμών που παρατηρήθηκαν γύρω από τη γραμμή παλινδρόμησης. Αναφέρεται σαν RMSE (Root Mean Squared Error) και δίνεται από την πιο κάτω σχέση:

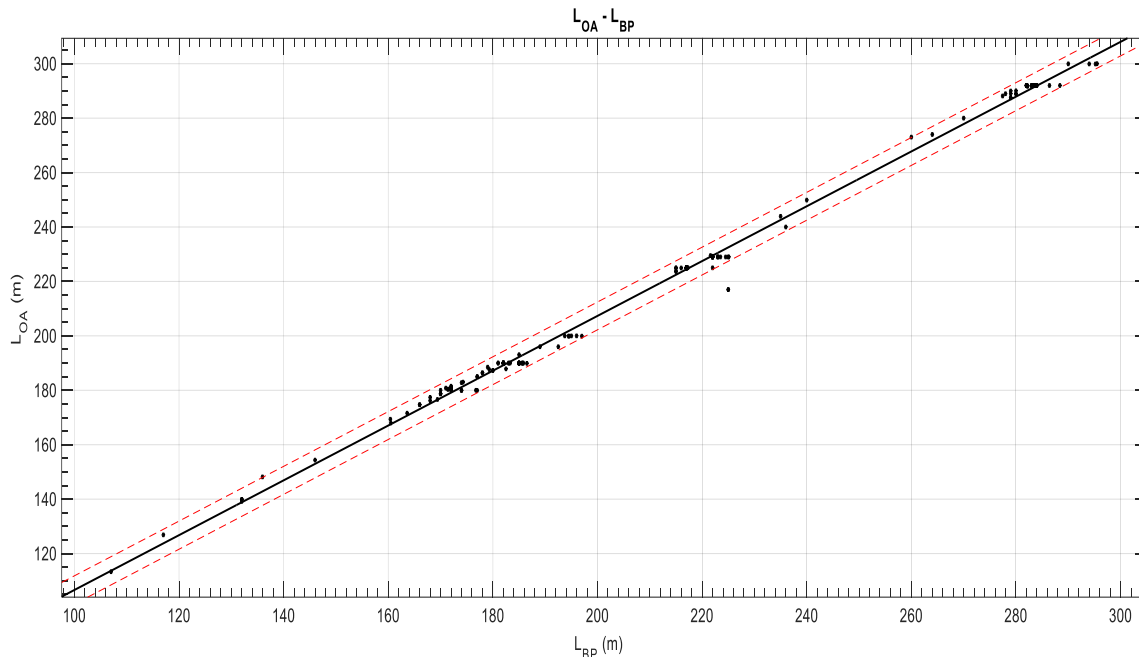
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2}{n}}$$

4. Εκτίμηση Στοιχείων Bulk Carriers

Δημιουργώντας πλέον την βάση δεδομένων, μπορούμε με την χρήση του λογισμικού Matlab R2015a και του εργαλείου Curve Fitting Tool να κάνουμε την στατιστική ανάλυση των δεδομένων μας. Σημειώνεται ότι για την παραγωγή των διαγραμμάτων επιλέξαμε μεγέθη που ήταν πιθανόν να μας δώσουν κάποια σημαντική συσχέτιση μεταξύ τους. Επιπλέον διαγράμματα που δεν μας έδωσαν κάποια σημαντική πληροφορία δεν παρουσιάζονται στην έκθεση.

4.1. Κύριες Διαστάσεις

4.1.1 Ολικό μήκος (L_{OA})



Διάγραμμα 3: L_{OA} συναρτήσεϊ του L_{BP}

Αποτελέσματα προσέγγισης

Linear model Poly1:

$$f(x) = p1 * x + p2$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = 1.007 (0.9981, 1.016)$$

$$p2 = 5.922 (3.988, 7.856)$$

Goodness of fit:

SSE: 1090

R-square: 0.9967

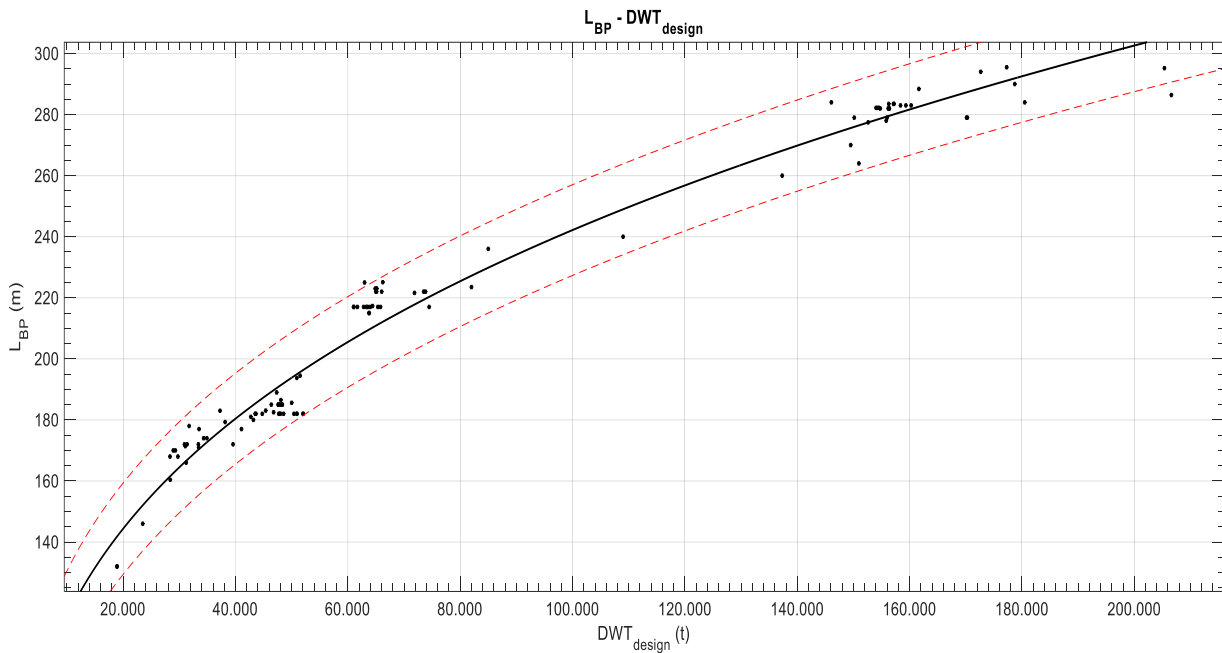
Adjusted R-square: 0.9967

RMSE: 2.578

$$L_{OA} = 1.007 * L_{BP} + 5.922$$

Παρατηρήσεις

Παρατηρούμε μια τις καλύτερες προσεγγίσεις καθώς όπως είναι εμφανές οι οριακές ευθείες σχεδόν ταυτίζονται με την προσεγγιστική.

4.1.2. Μήκος μεταξύ καθέτων (L_{BP})Διάγραμμα 4: L_{BP} συναρτήσεσι του DWT_{Design} Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power1:

$$f(x) = a \cdot x^b$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 5.989 \text{ (5.295, 6.682)}$$

$$b = 0.3214 \text{ (0.3112, 0.3315)}$$

Goodness of fit:

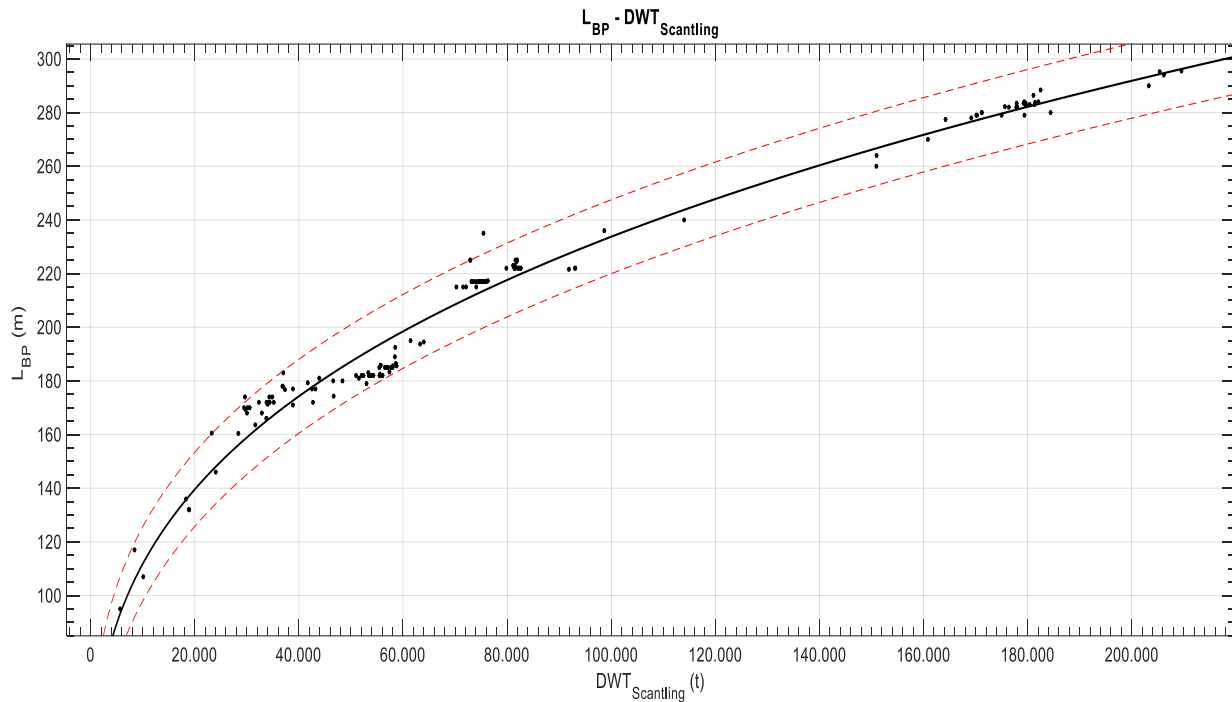
SSE: 5999

R-square: 0.9732

Adjusted R-square: 0.973

RMSE: 7.453

$$L_{BP} = 5.989 * DWT_{Design}^{0.3214}$$



Διάγραμμα 5: L_{BP} συναρτήσει του $DWT_{scantling}$

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power1:

$$f(x) = a \cdot x^b$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 5.84 \quad (5.31, 6.37)$$

$$b = 0.3205 \quad (0.3125, 0.3284)$$

Goodness of fit:

SSE: 7521

R-square: 0.9768

Adjusted R-square: 0.9767

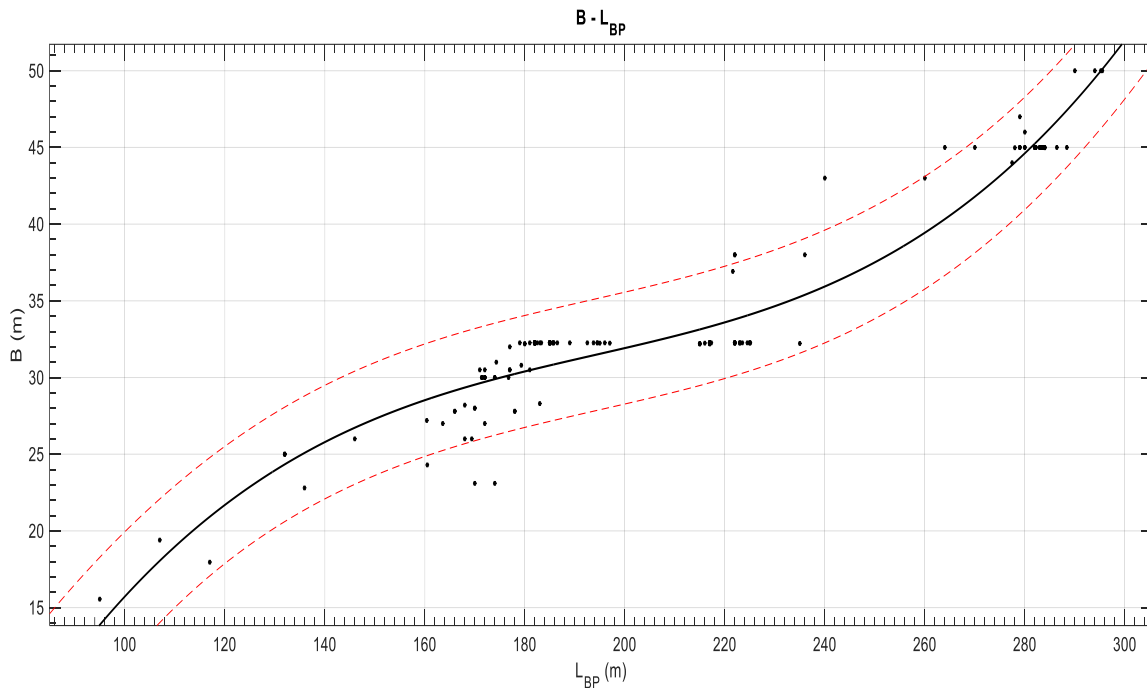
RMSE: 6.943

$$L_{BP} = 5.84 * DWT_{scantling}^{0.3205}$$

Παρατηρήσεις

Η συσχέτιση του L_{BP} και του Deadweight και στις δύο περιπτώσεις είναι πολύ καλή γεγονός που αποδεικνύει την μεγάλη αλληλεπίδραση τους. Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι για κάποια σταθερά μήκη συσσωρεύονται πολλά πλοία για παράδειγμα στα μήκη 280m, 220m και 180m τα οποία σχετίζονται με φυσικούς περιορισμούς. Παρατηρούμε επίσης ότι όχι μόνο συσσωρεύονται σχεδόν όλα τα σημεία γύρω από τις προσεγγιστικές καμπύλες αλλά περιλαμβάνονται και ανάμεσα στα όρια πρόβλεψης.

4.1.3. Πλάτος (B)

Διάγραμμα 6: B συναρτήσει του L_{BP}Αποτελέσματα προσέγγισης

Linear model Poly3:

$$f(x) = p1 \cdot x^3 + p2 \cdot x^2 + p3 \cdot x + p4$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = 1.055e-05 \quad (8.127e-06, 1.298e-05)$$

$$p2 = -0.00614 \quad (-0.007624, -0.004656)$$

$$p3 = 1.265 \quad (0.9728, 1.557)$$

$$p4 = -59.95 \quad (-78.63, -41.28)$$

Goodness of fit:

SSE: 550.2

R-square: 0.9294

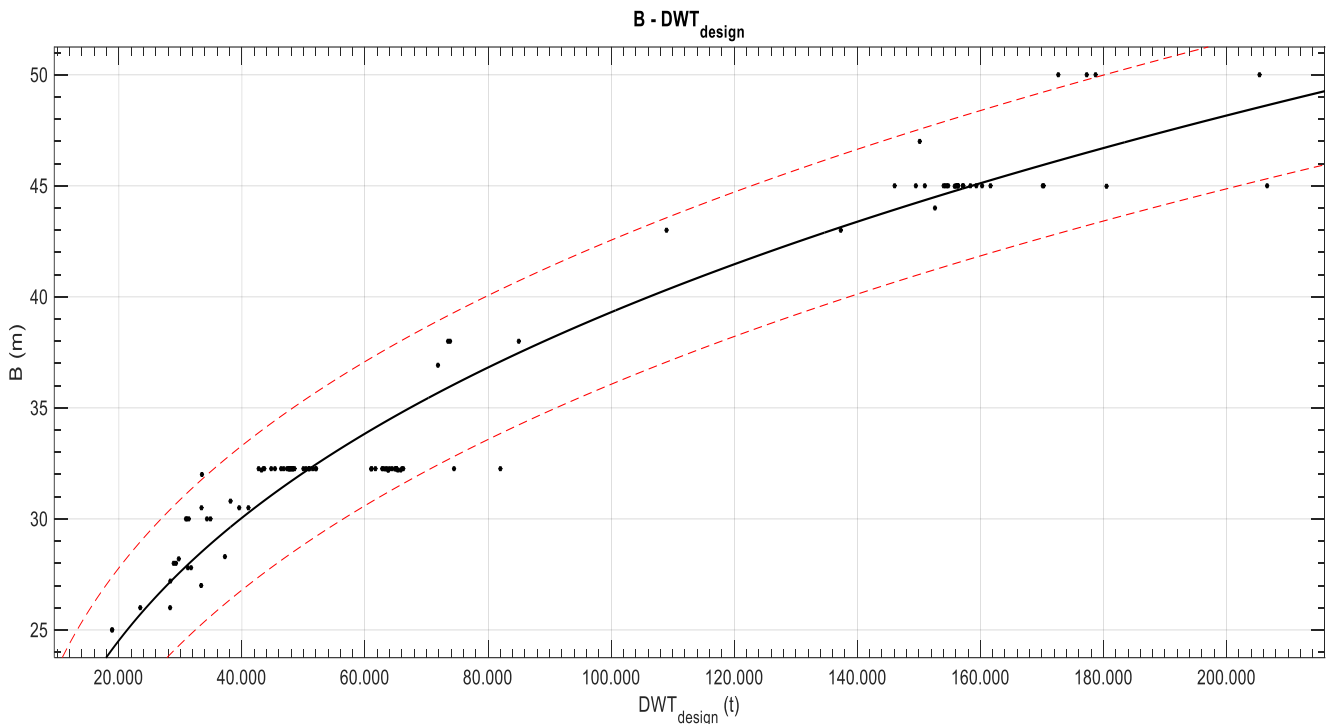
Adjusted R-square: 0.9281

RMSE: 1.837

$$B = 1.055 \cdot 10^{-5} \cdot L_{BP}^3 - 0.00614 \cdot L_{BP}^2 + 1.265 \cdot L_{BP} - 59.95$$

Παρατηρήσεις

Η σχέση του πλάτους B με το μήκος L_{BP} μπορεί να μας δώσει μία πρώτη προσέγγιση των λόγων ανάμεσα στα μεγέθη. Παρόλο που η προσεγγιστική καμπύλη προσεγγίζει πολύ καλά τα σημεία παρατηρούμε ότι υπάρχουν σταθερά πλάτη στα περίπου 32m και 45m. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι υπάρχουν περιορισμοί λόγω της περατότητας της διαδρομής, των εγκαταστάσεων των λιμανιών και των διυλιστηρίων.



Διάγραμμα 7: B συναρτήσει του DWT_{Design}

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power1:

$$f(x) = a \cdot x^b$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 1.344 \quad (1.137, 1.552)$$

$$b = 0.2932 \quad (0.2796, 0.3068)$$

Goodness of fit:

SSE: 286.1

R-square: 0.9431

Adjusted R-square: 0.9426

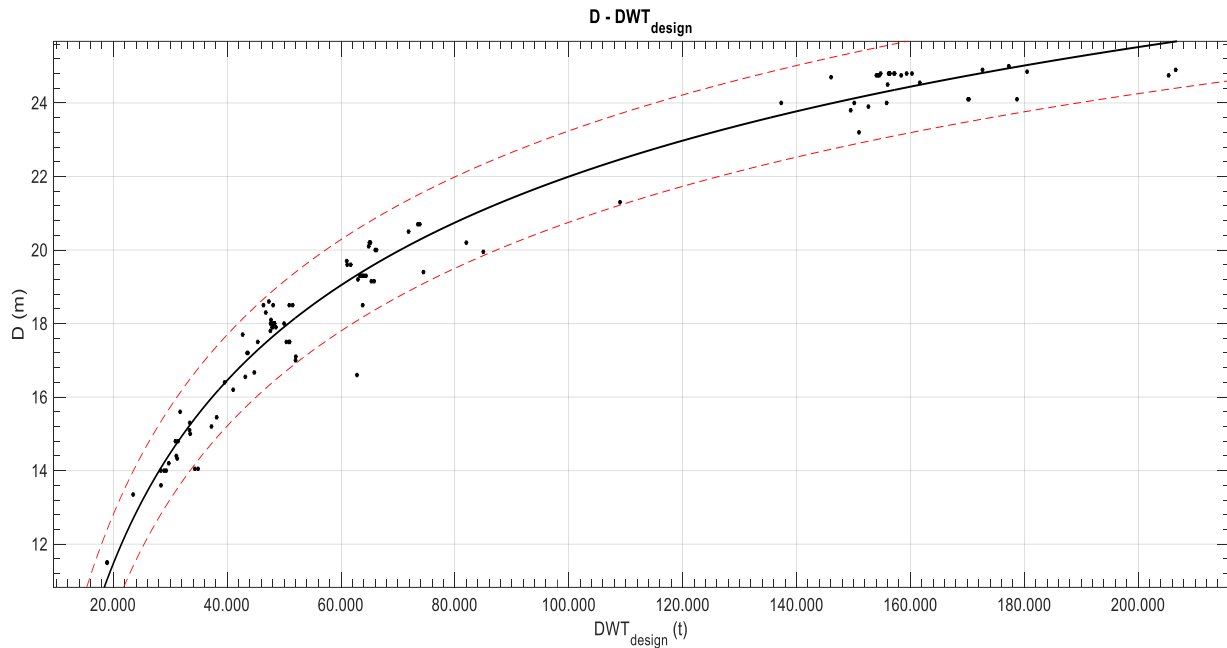
RMSE: 1.628

$$B = 1.344 * DWT_{Design}^{0.2932}$$

Παρατηρήσεις

Στο διάγραμμα B- DWT_{design} φαίνονται οι περιορισμοί στα πλάτη καθώς έχουμε στα 32m τα ranamax και στα 45m τα suezmax. Και εδώ βλέπουμε ότι η παρατήρηση που κάναμε στο διάγραμμα B- L_{BP} σχετικά με τα όρια του πλάτους εμφανίζεται και εδώ συναρτήσει του DWT.

4.1.4. Κοίλο (D)

Διάγραμμα 8: D συναρτήσεσι του DWT_{Design}Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power2:

$$f(x) = a \cdot x^b + c$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = -303.5 \quad (-507.4, -99.55)$$

$$b = -0.2155 \quad (-0.3189, -0.1121)$$

$$c = 47.38 \quad (34.24, 60.53)$$

Goodness of fit:

SSE: 41.35

R-square: 0.9726

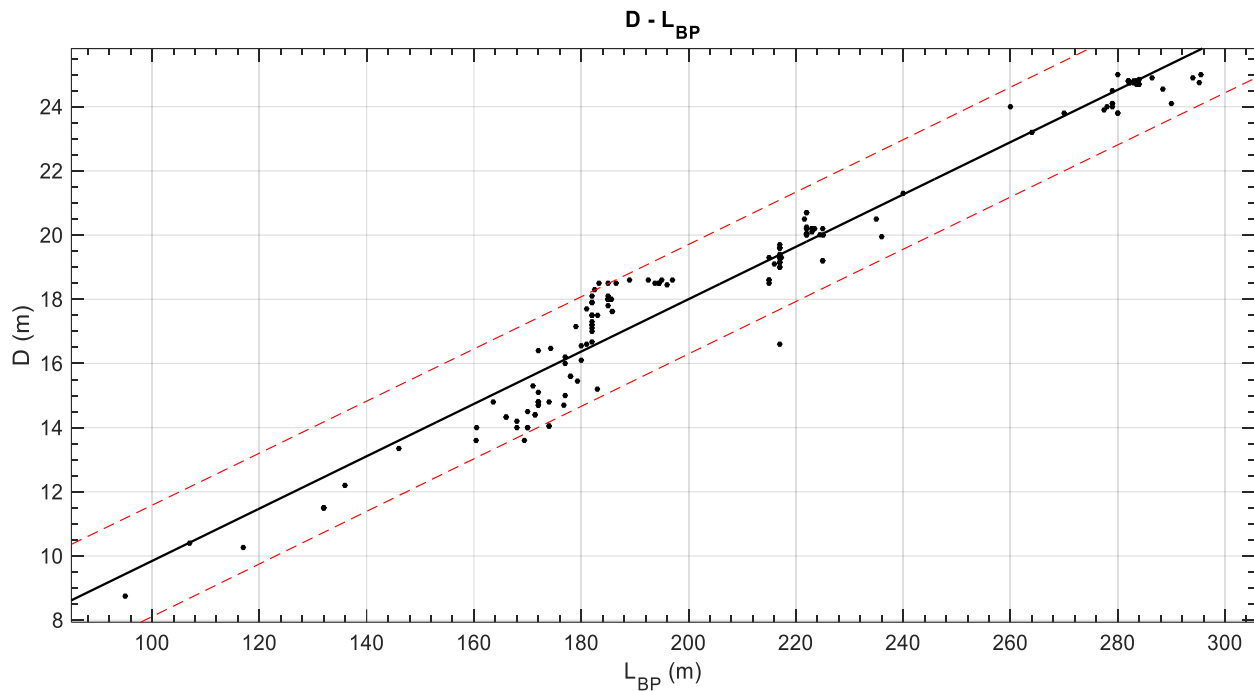
Adjusted R-square: 0.9721

RMSE: 0.6216

$$D = -303.5 * DWT_{Design}^{-0.2155} + 47.38$$

Παρατηρήσεις

Όπως και στα αντίστοιχα διαγράμματα L_{BP} -DWT_{Design} και B -DWT_{Design} παρατηρούμε ότι η προσέγγιση και κατ' επέκταση οι καμπύλες πρόβλεψης είναι πολύ καλές χωρίς ουσιαστικές διαφορές από τα διαγράμματα που προαναφέρθηκαν.



Διάγραμμα 9: D συναρτήσει του L_{BP}

Αποτελέσματα προσέγγισης

Linear model Poly1:

$$f(x) = p1 * x + p2$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = 0.08157 (0.07864, 0.0845)$$

$$p2 = 1.689 (1.058, 2.321)$$

Goodness of fit:

SSE: 122.3

R-square: 0.9482

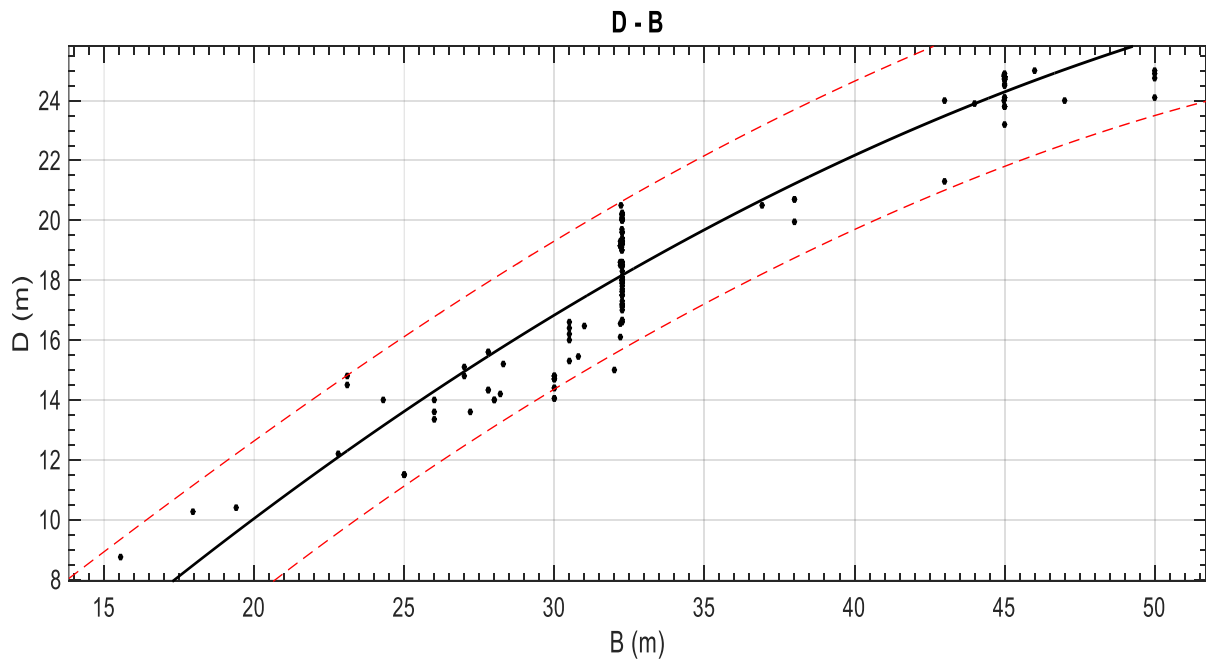
Adjusted R-square: 0.9479

RMSE: 0.861

$$D = 0.08157 * L_{BP} + 1.689$$

Παρατηρήσεις

Παρόλο που η καμπύλη δεν ακολουθεί τέλεια τα διασκορπισμένα σημεία με την βοήθεια των καμπυλών πρόβλεψης μας παρέχει αρκετά χρήσιμη πληροφορία, καθώς ο λόγος μεταξύ τους παίζει σημαντικό ρόλο στη διαμήκη αντοχή του πλοίου. Αυτός ο λόγος ορίζεται από τους νηογνώμονες και σε περίπτωση που δεν τηρείται ο λόγος, δηλαδή είναι εκτός ορίων, τότε απαιτείται περεταίρω εξέταση.



Διάγραμμα 10: D συναρτήσει του B

Αποτελέσματα προσέγγισης

Linear model Poly2:

$$f(x) = p1 \cdot x^2 + p2 \cdot x + p3$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = -0.007297 \quad (-0.01052, -0.004078)$$

$$p2 = 1.044 \quad (0.8096, 1.279)$$

$$p3 = -7.931 \quad (-12.1, -3.759)$$

Goodness of fit:

SSE: 261.5

R-square: 0.8924

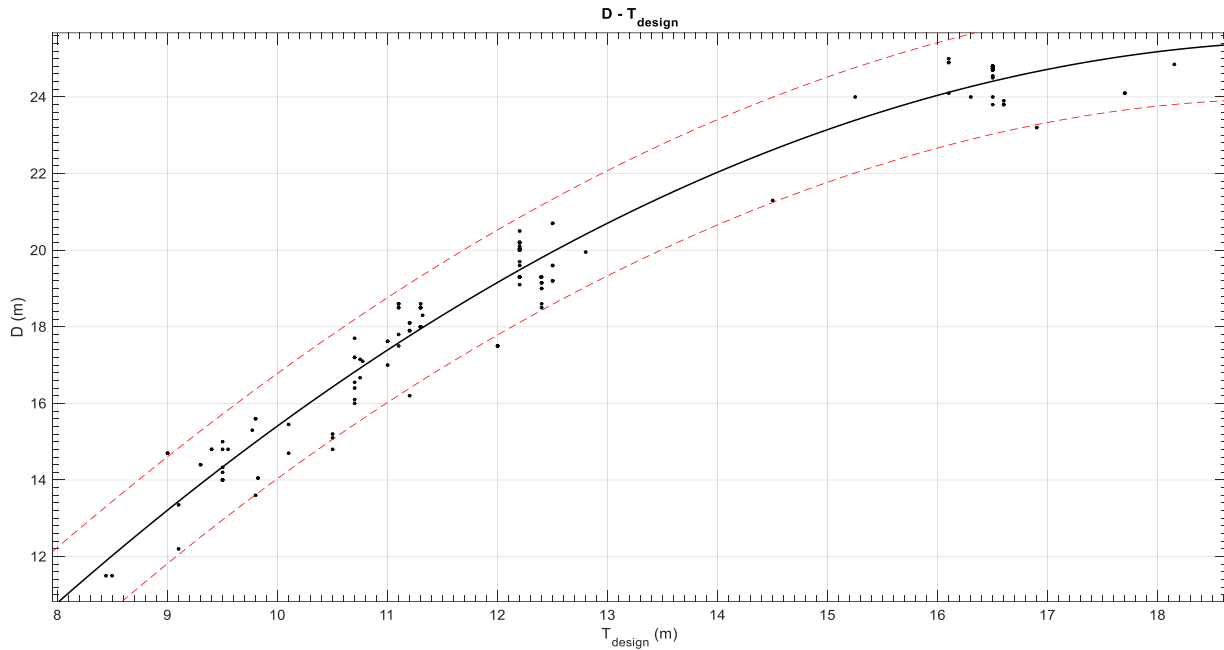
Adjusted R-square: 0.8911

RMSE: 1.248

$$D = -0.007297 \cdot B^2 + 1.044 \cdot B - 7.931$$

Παρατηρήσεις

Στο πιο πάνω διάγραμμα παρατηρήσαμε αυτό που φαίνεται σε όλα τα διαγράμματα συναρτήσει του πλάτους, ότι για συγκεκριμένα πλάτη στα περίπου B=32m (Panamax) και για B=48m (Suezmax) η προσέγγιση δεν είναι ικανοποιητική αφού το κοίλο διαφοροποιείται ενώ το πλάτος παραμένει σταθερό.



Διάγραμμα 11: D συναρτήσει του T_{Design}

Αποτελέσματα προσέγγισης

Linear model Poly2:

$$f(x) = p1 \cdot x^2 + p2 \cdot x + p3$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = -0.1087 \quad (-0.1288, -0.08856)$$

$$p2 = 4.264 \quad (3.726, 4.803)$$

$$p3 = -16.36 \quad (-19.84, -12.88)$$

Goodness of fit:

SSE: 68.37

R-square: 0.9632

Adjusted R-square: 0.9627

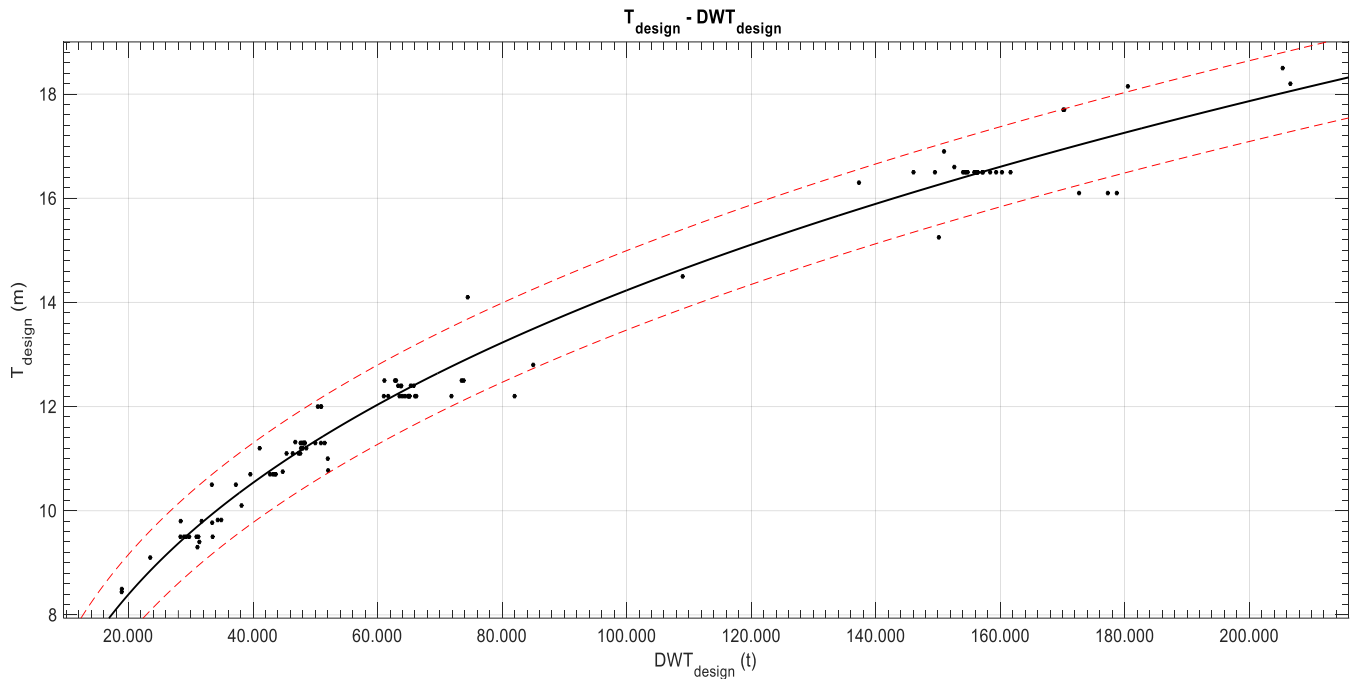
RMSE: 0.689

$$D = -0.1087 * T_{Design}^2 + 4.264 T_{Design} - 16.36$$

Παρατηρήσεις

Το διάγραμμα του κοίλου συναρτήσε του βυθίσματος σχεδίασης, δίνει μια αρκετά καλή συσχέτιση ανάμεσα στα δύο μεγέθη. Παρατηρούμε πως και σε αυτή τη γραφική υπάρχουν κάποιες περιοχές όπου για σταθερό βύθισμα σχεδίασης έχουμε διάφορα κοίλα.

4.1.5. Βύθισμα Σχεδίασης (T_{Design})



Διάγραμμα 12: T_{Design} συναρτήσει του DWT_{Design}

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power1:

$$f(x) = a * x^b$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 0.3257 \quad (0.2927, 0.3587)$$

$$b = 0.3281 \quad (0.3192, 0.337)$$

Goodness of fit:

SSE: 15.8

R-square: 0.9801

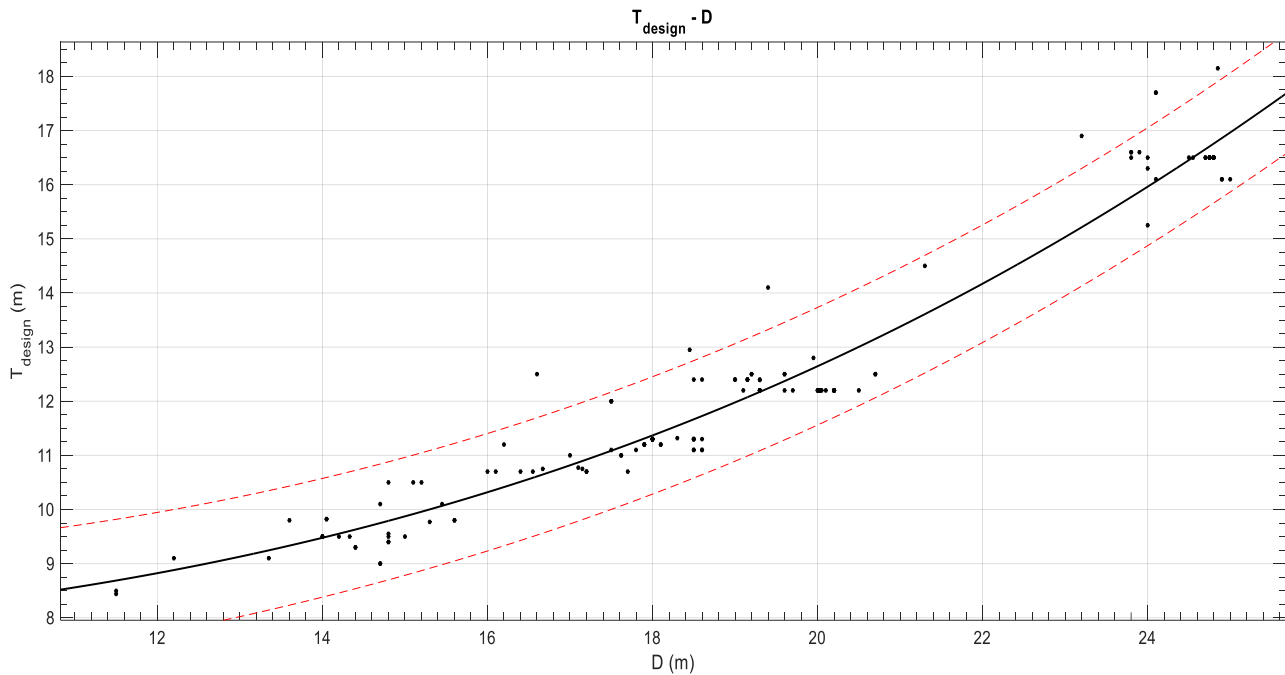
Adjusted R-square: 0.9799

RMSE: 0.3824

$$T_{Design} = 0.3257 * DWT_{Design}^{0.3281}$$

Παρατηρήσεις

Παρατηρούμε ότι παρόλο που έχουμε μια ικανοποιητική συσχέτιση μεταξύ των μεγεθών υπάρχουν κάποιες περιοχές όπου υπάρχει σταθερό βύθισμα, για παράδειγμα στο βύθισμα 12.2m το οποίο και οφείλεται στο ότι υπάρχει περιορισμός βυθίσματος στην διώρυγα του Παναμά



Διάγραμμα 13: T_{Design} συναρτήσει του D

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power2:

$$f(x) = a * x^b + c$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 0.001261 \quad (-0.0005985, 0.003121)$$

$$b = 2.769 \quad (2.332, 3.205)$$

$$c = 7.596 \quad (6.826, 8.366)$$

Goodness of fit:

SSE: 43.78

R-square: 0.953

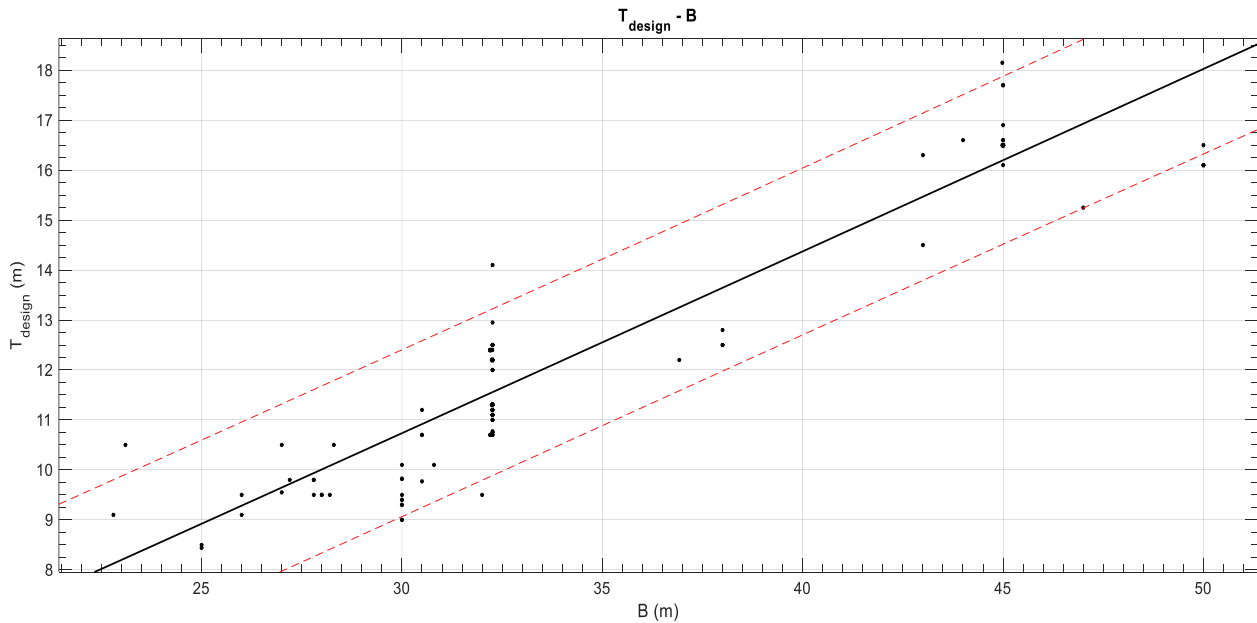
Adjusted R-square: 0.9524

RMSE: 0.5457

$$T_{Design} = 0.001261 * D^{2.769} + 7.596$$

Παρατηρήσεις

Η προσέγγισή μας δίνει πολύ καλή κατανομή των σημείων γύρω από την προσεγγιστική καμπύλη ωστόσο υπάρχει και εδώ η παρατήρηση που κάναμε στο πιο πάνω διάγραμμα σχετικά με το σταθερό βύθισμα.



Διάγραμμα 14: T_{Design} συναρτήσεϊ του B

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power1:

$$f(x) = a \cdot x^b$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 0.3404 \quad (0.271, 0.4099)$$

$$b = 1.015 \quad (0.9581, 1.071)$$

Goodness of fit:

SSE: 104.6

R-square: 0.8878

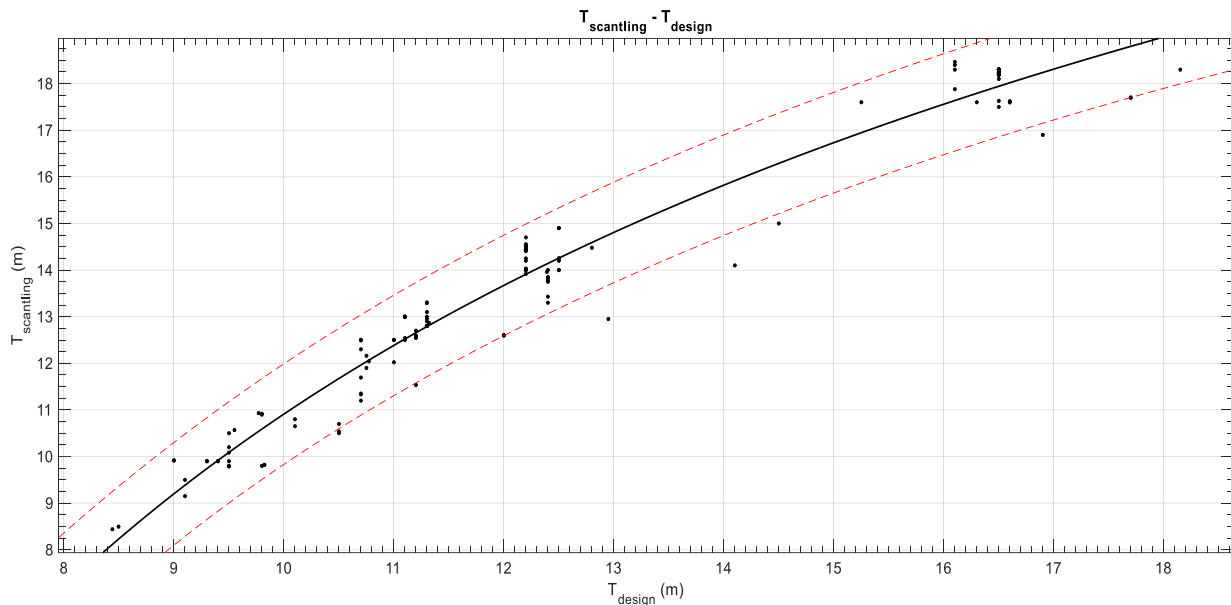
Adjusted R-square: 0.887

RMSE: 0.8406

$$T_{Design} = 0.3404 * B^{1.015}$$

Παρατηρήσεις

Στο συγκεκριμένο διάγραμμα παρατηρούμε μια καλή προσέγγιση παρόλο που βλέπουμε αρκετά σημεία στο εύρος 11.2-12.2m βύθισμα να έχουν σταθερό πλάτος στα 32.2m λόγω του περιορισμού περατότητας που έχει η διώρυγα του Παναμά.

4.1.6. Βύθισμα αντοχής ($T_{scantling}$)Διάγραμμα 15: $T_{scantling}$ συναρτήσει T_{Design} Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power2:

$$f(x) = a \cdot x^b + c$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$\begin{aligned} a &= -99.67 \quad (-114.9, -84.46) \\ b &= -0.4859 \quad (-0.804, -0.1678) \\ c &= 43.47 \quad (24.42, 62.52) \end{aligned}$$

Goodness of fit:

SSE: 43.19

R-square: 0.9625

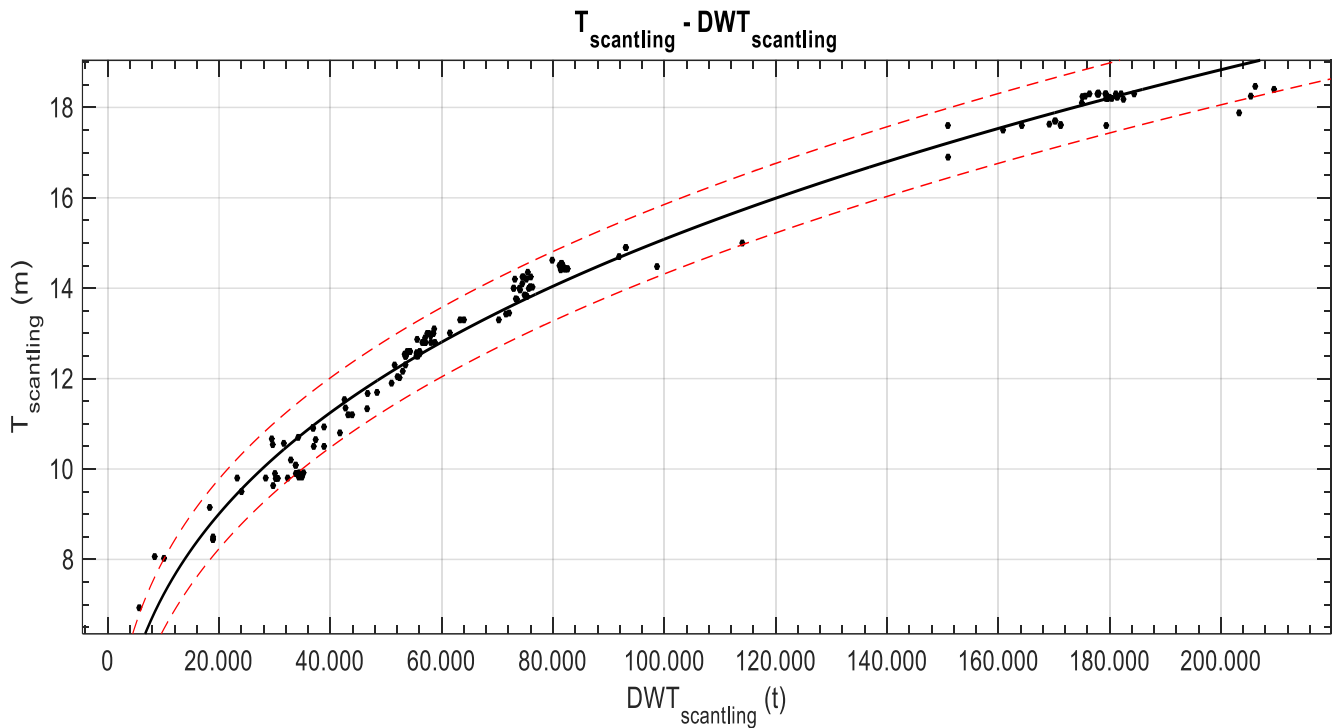
Adjusted R-square: 0.962

RMSE: 0.542

$$T_{scantling} = -99.67 * T_{Design}^{-0.4859} + 43.47$$

Παρατηρήσεις

Στο πιο πάνω διάγραμμα βλέπουμε μια ικανοποιητική προσέγγιση των μεγεθών παρ' όλα αυτά υπάρχουν κάποια σημεία που έχουν μεγάλη απόκλιση από την προσεγγιστική καμπύλη, μειώνονται δηλαδή οι παράμετροι ποιότητας αλλά μπορούμε να πούμε ότι παραμένουν σε ικανοποιητική τάξη μεγέθους.



Διάγραμμα 16: $T_{scantling}$ συναρτήσει $DWT_{scantling}$

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power1:

$$f(x) = a \cdot x^b$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 0.3777 \quad (0.3486, 0.4069)$$

$$b = 0.3203 \quad (0.3135, 0.327)$$

Goodness of fit:

SSE: 24.21

R-square: 0.9829

Adjusted R-square: 0.9828

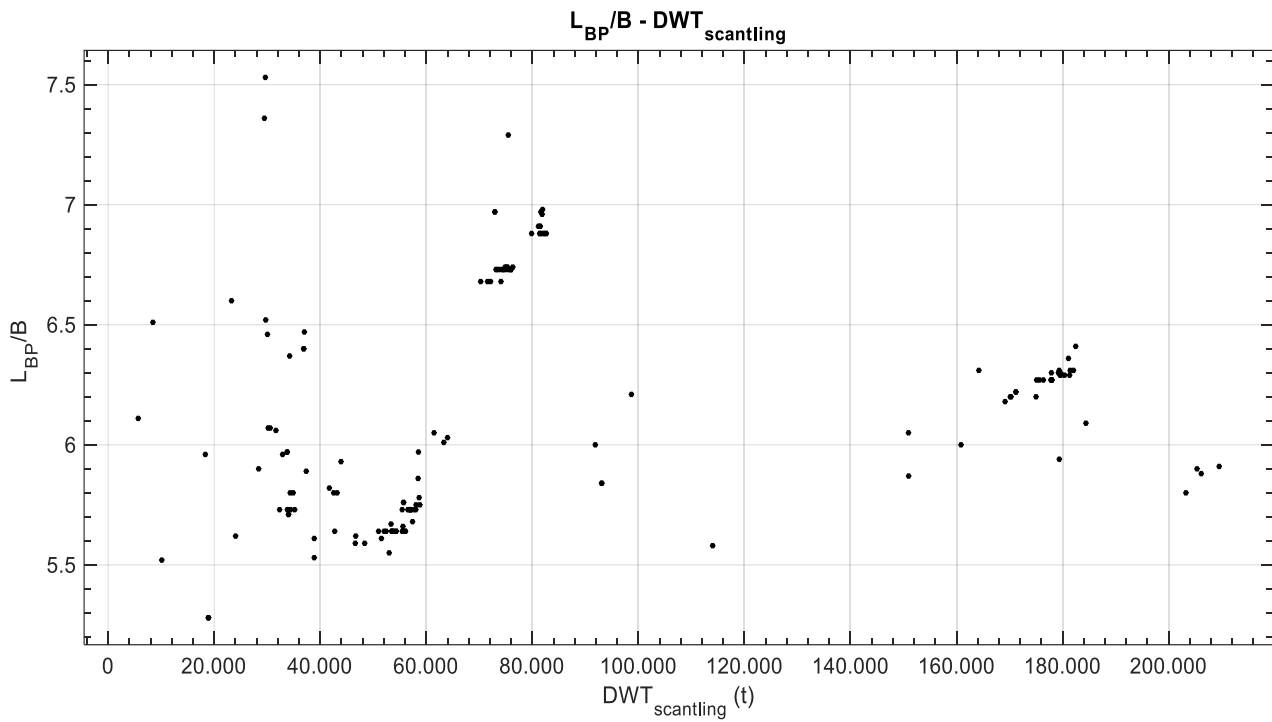
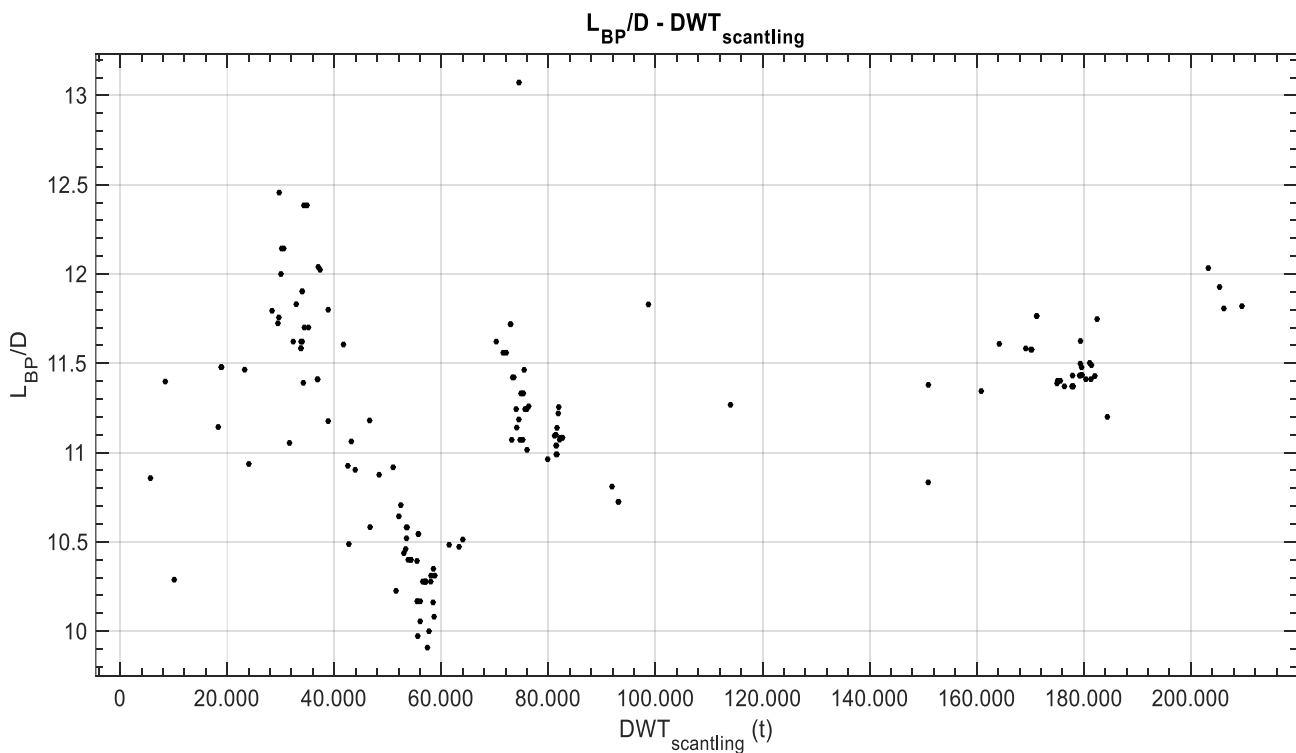
RMSE: 0.3878

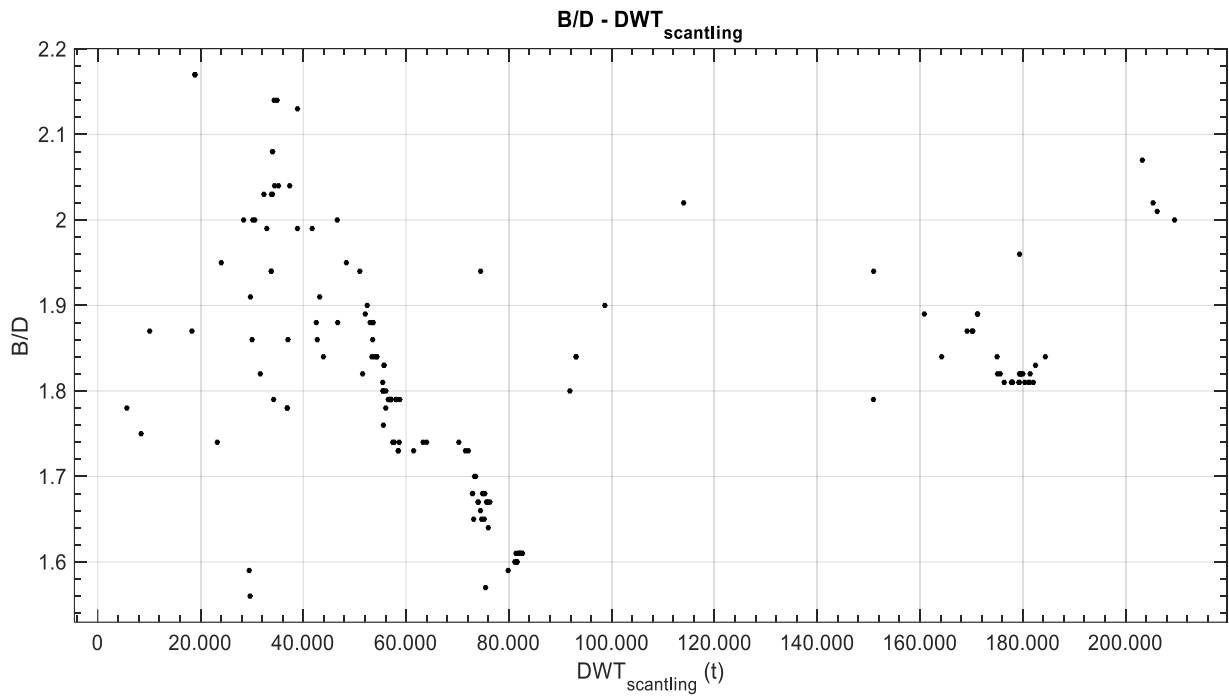
$$T_{scantling} = 0.3777 * DWT_{scantling}^{0.3203}$$

Παρατηρήσεις

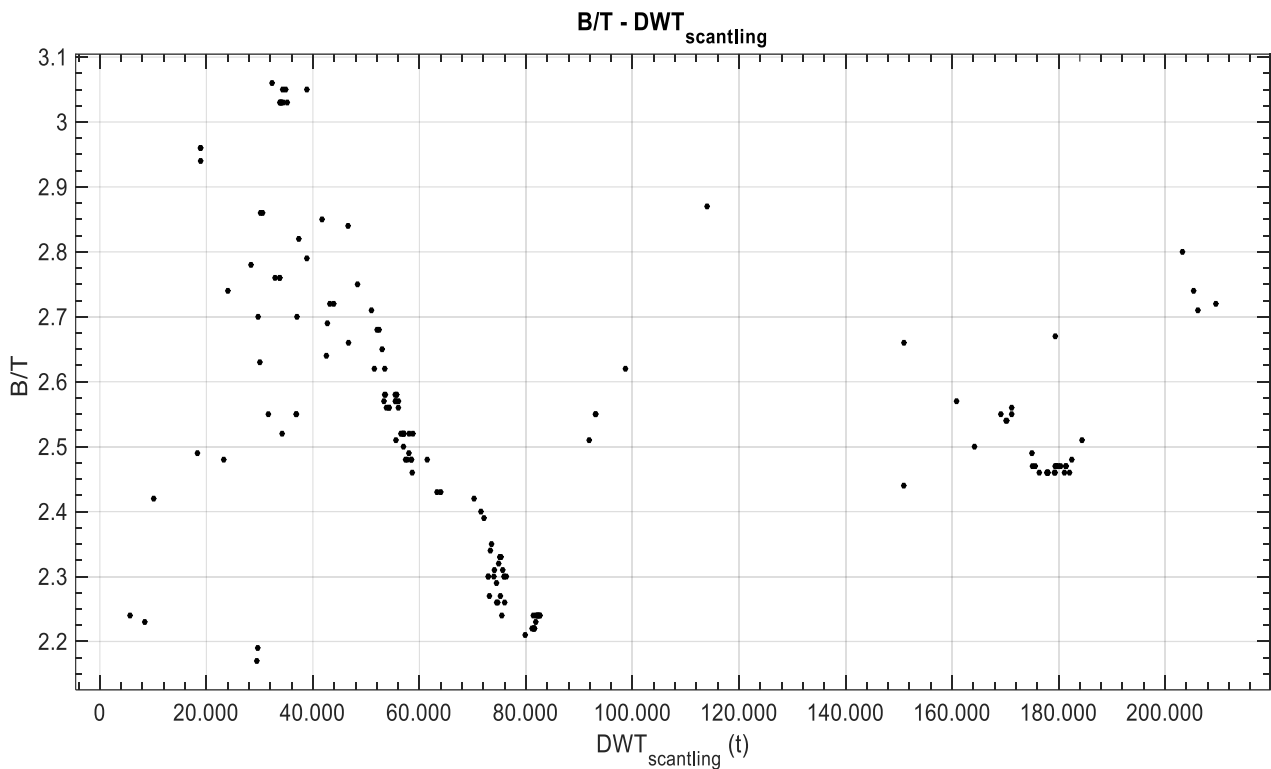
Αρκετά καλή κατανομή των σημείων γύρω από την προσεγγιστική καμπύλη κάτι που αποδεικνύει την πολύ καλή συσχέτιση του βυθίσματος με το DWT παρά το γεγονός ότι υπάρχουν κάποια εκτός των καμπύλων πρόβλεψης .

4.1.7. Λόγοι κύριων διαστάσεων

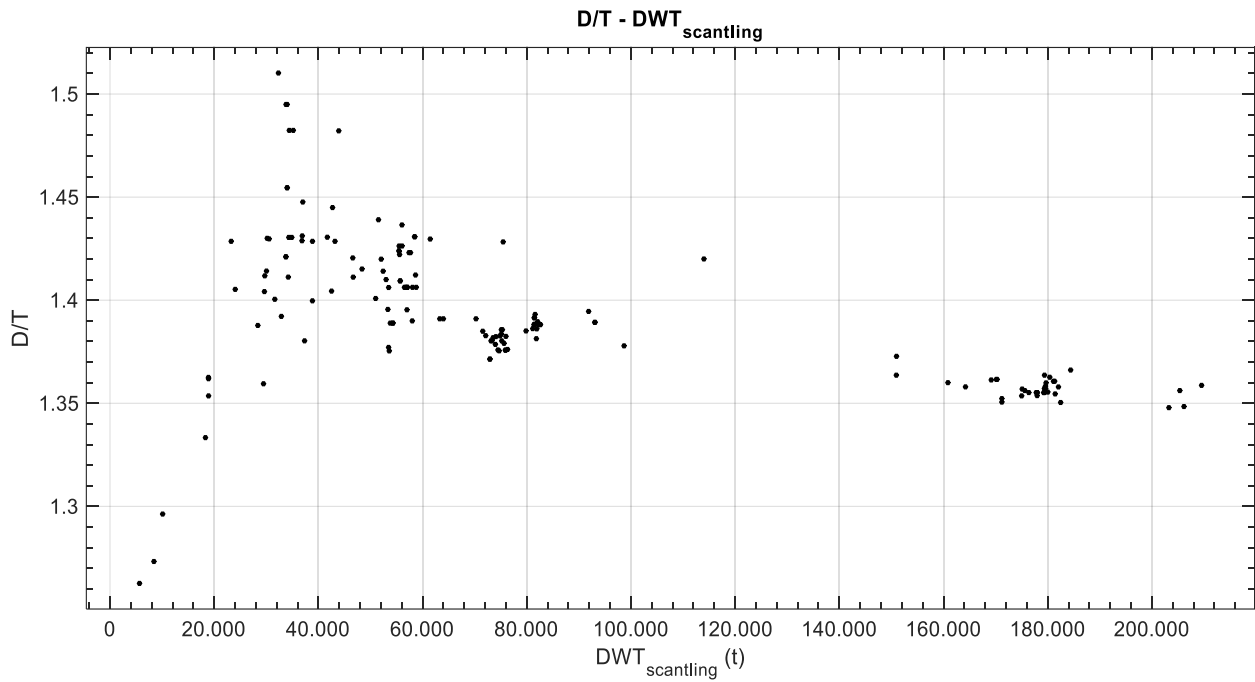
Διάγραμμα 17: L_{BP}/B συναρτήσει του $DWT_{scantling}$ Διάγραμμα 18: L_{BP}/D συναρτήσει του $DWT_{scantling}$



Διάγραμμα 20: B/D συναρτήσει $DWT_{scantling}$



Διάγραμμα 19: B/T συναρτήσει $DWT_{scantling}$



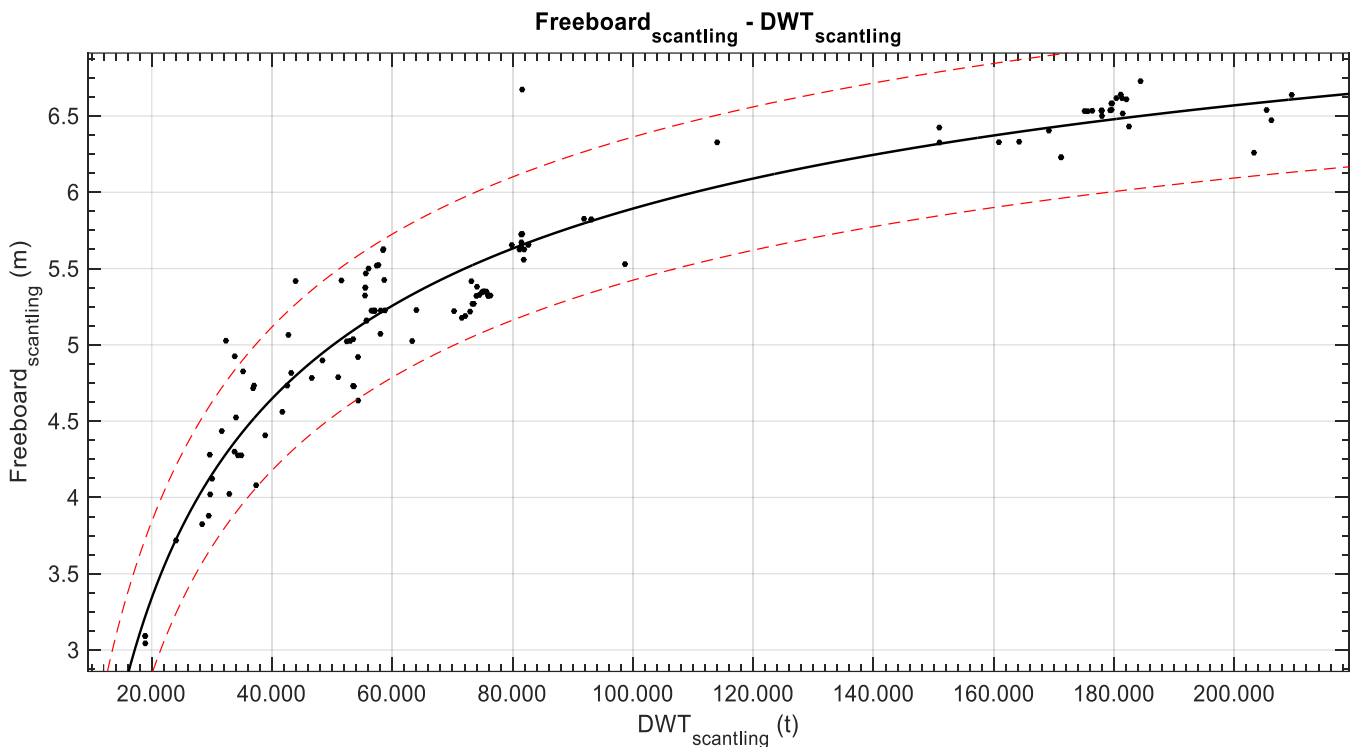
Διάγραμμα 21: D/T συναρτήσει DWT_{scantling}

Τα όρια των λόγων των κύριων διαστάσεων συνοψίζονται στον πιο κάτω πίνακα:

Πίνακας 16: Όρια των λόγων των κύριων διαστάσεων

	MIN	MAX	AVERAGE
L_{BP}/B	5.280	7.532	6.156
L_{BP}/D	9.908	13.072	11.170
B/T	2.166	3.061	2.532
B/D	1.561	2.174	1.821
D/T	1.263	1.510	1.392

4.1.8. Ύψος εξάλων σε κατάσταση αντοχής (Freeboard Scantling)

Διάγραμμα 22: Freeboard scantling συναρτήσει του $DWT_{scantling}$ Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power2:

$$f(x) = a \cdot x^b + c$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = -302.3 \quad (-671.4, 66.85)$$

$$b = -0.4084 \quad (-0.5502, -0.2667)$$

$$c = 8.637 \quad (7.509, 9.765)$$

Goodness of fit:

SSE: 6.713

R-square: 0.921

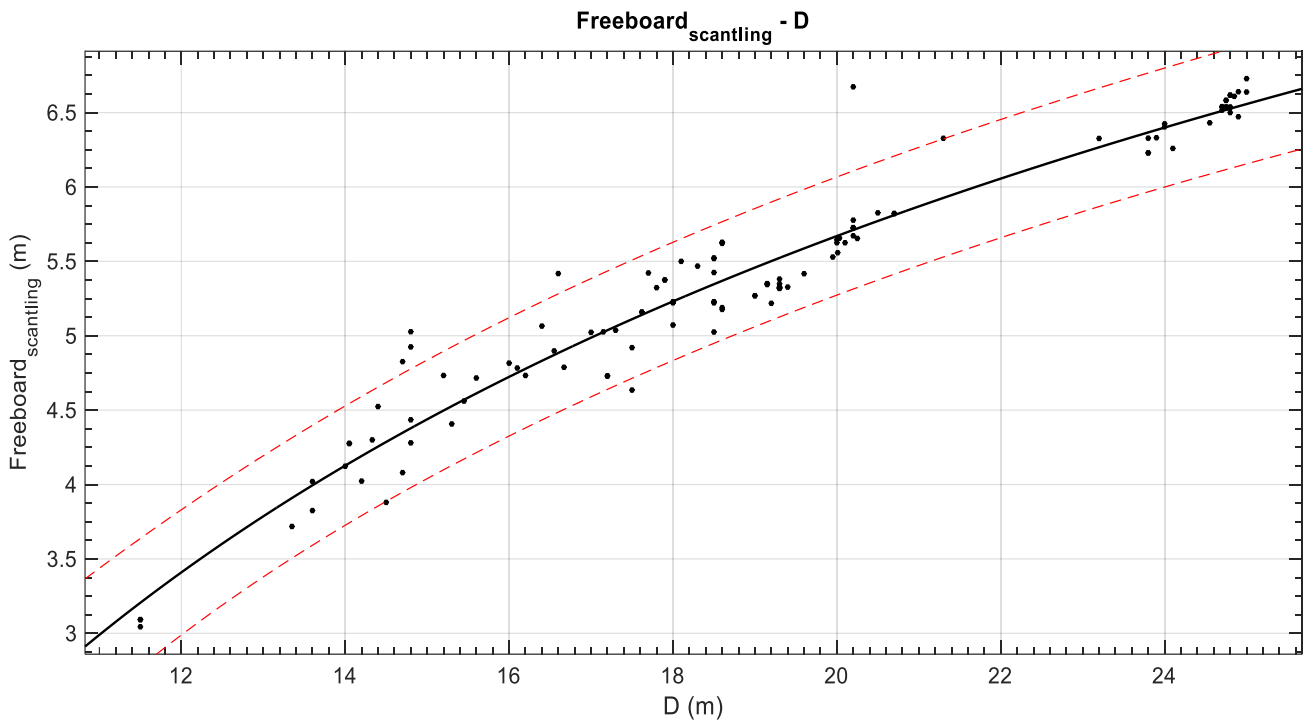
Adjusted R-square: 0.9197

RMSE: 0.2355

$$Freeboard_{scantling} = -302.3 * DWT_{scantling}^{-0.4084} + 8.637$$

Παρατηρήσεις

Και σε αυτό το διάγραμμα υπάρχουν κάποιες αποκλίσεις όμως παρατηρούμε ότι τα σημεία προσεγγίζουν καλύτερα την προσεγγιστική καμπύλη σε σχέση με το διάγραμμα Freeboard – T. Επίσης παρατηρούμε ότι το Freeboard αυξάνεται με την αύξηση του DWT.



Διάγραμμα 23: Freeboard scantling συναρτήσει του D

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power2:

$$f(x) = a \cdot x^b + c$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = -33.75 \quad (-40.52, -26.98)$$

$$b = -0.2902 \quad (-0.6471, 0.06663)$$

$$c = 19.82 \quad (1.934, 37.7)$$

Goodness of fit:

SSE: 4.933

R-square: 0.942

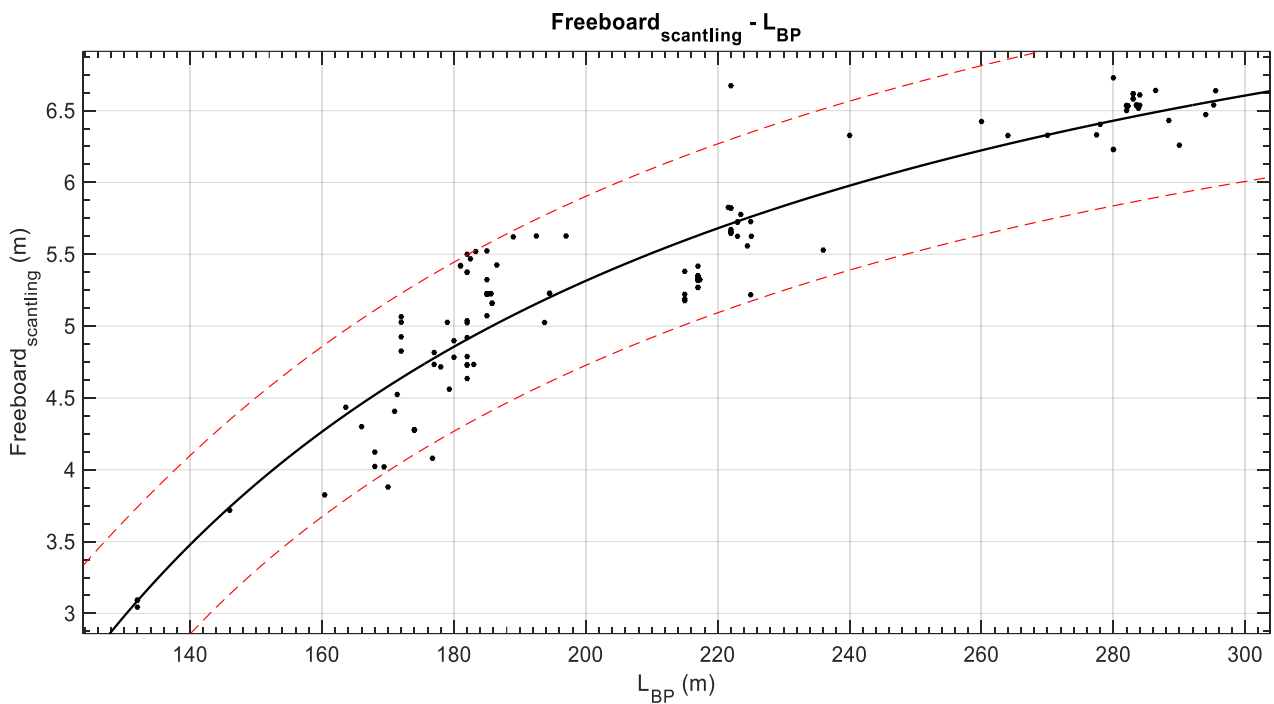
Adjusted R-square: 0.9411

RMSE: 0.1995

$$Freeboard_{scantling} = -33.75 * D^{-0.2902} + 19.82$$

Παρατηρήσεις

Μία αισθητή παρατήρηση είναι και το γεγονός ότι οι γραφικές παραστάσεις των διαγραμμάτων Freeboard-T με το Freeboard-D είναι σχεδόν ίδιες, κάτι που δεν μας παραξενεύει βέβαια καθώς γνωρίζουμε ότι το ύψος εξάλων εξαρτάται και από το T και από το D, οπότε ήταν αναμενόμενο να είχαν παρόμοιες αποκλίσεις.



Διάγραμμα 24: Freeboard scantling συναρτήσει του L_{BP}

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power2:

$$f(x) = a \cdot x^b + c$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$\begin{aligned} a &= -2685 \quad (-9164, 3794) \\ b &= -1.27 \quad (-1.804, -0.7367) \\ c &= 8.519 \quad (7.208, 9.83) \end{aligned}$$

Goodness of fit:

SSE: 10.89

R-square: 0.8721

Adjusted R-square: 0.87

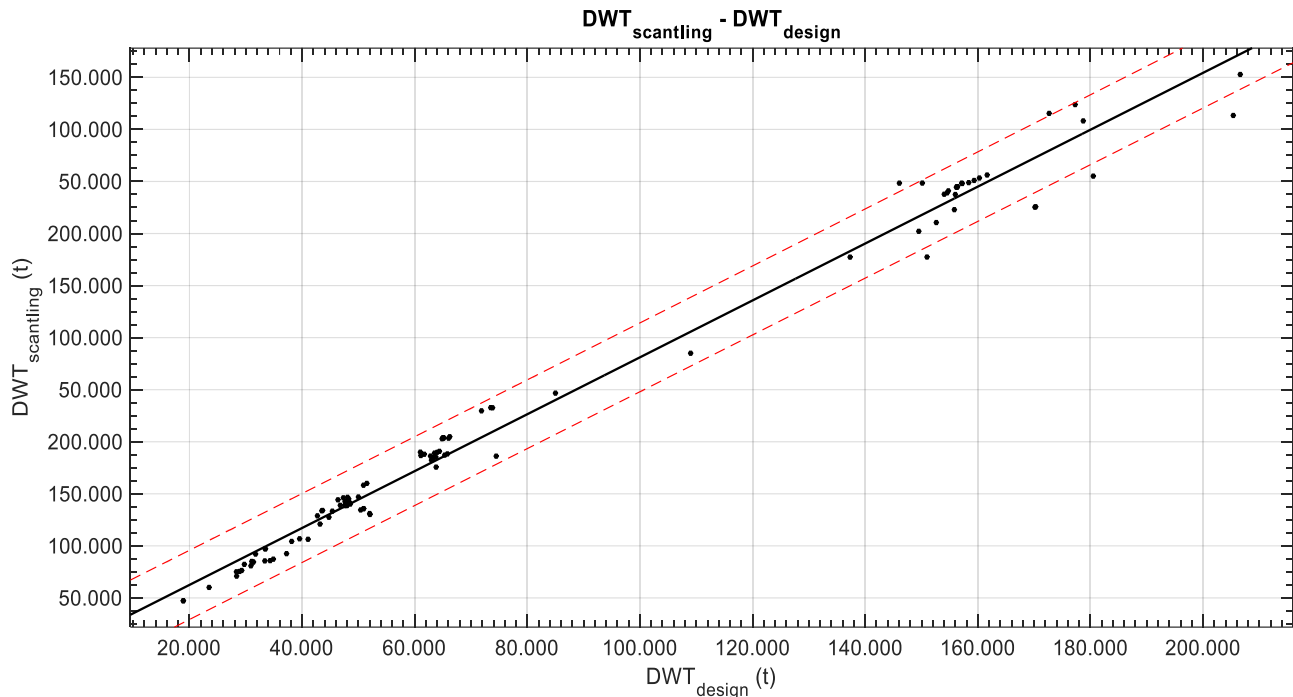
RMSE: 0.2952

$$Freeboard_{scantling} = -2685 * L_{BP}^{-1.27} + 8.519$$

Παρατηρήσεις

Σε αυτό το διάγραμμα παρατηρούνται κάποιες περιοχές όπου για κάποια σταθερά μήκη L_{BP} υπάρχει διακύμανση του Freeboard, παρόλα αυτά βλέπουμε μια ικανοποιητική καμπύλη όπου μπορούμε να κάνουμε μια πρώτη προσέγγιση του ύψους εξάλων ανάλογα με το μήκος του πλοίου, εννοείται όμως πως το ύψος εξάλων πρέπει να υπολογιστεί με βάση τους κανονισμούς γραμμής φόρτωσης.

4.2. Πρόσθετο (νεκρό) βάρος (DWT)



Διάγραμμα 25: $DWT_{scantling}$ συναρτήσει DWT_{Design}

Αποτελέσματα προσέγγισης

Linear model Poly1:

$$f(x) = p1 \cdot x + p2$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = 1.093 \quad (1.069, 1.117)$$

$$p2 = 3137 \quad (812, 5462)$$

Goodness of fit:

SSE: 4.664e+09

R-square: 0.9871

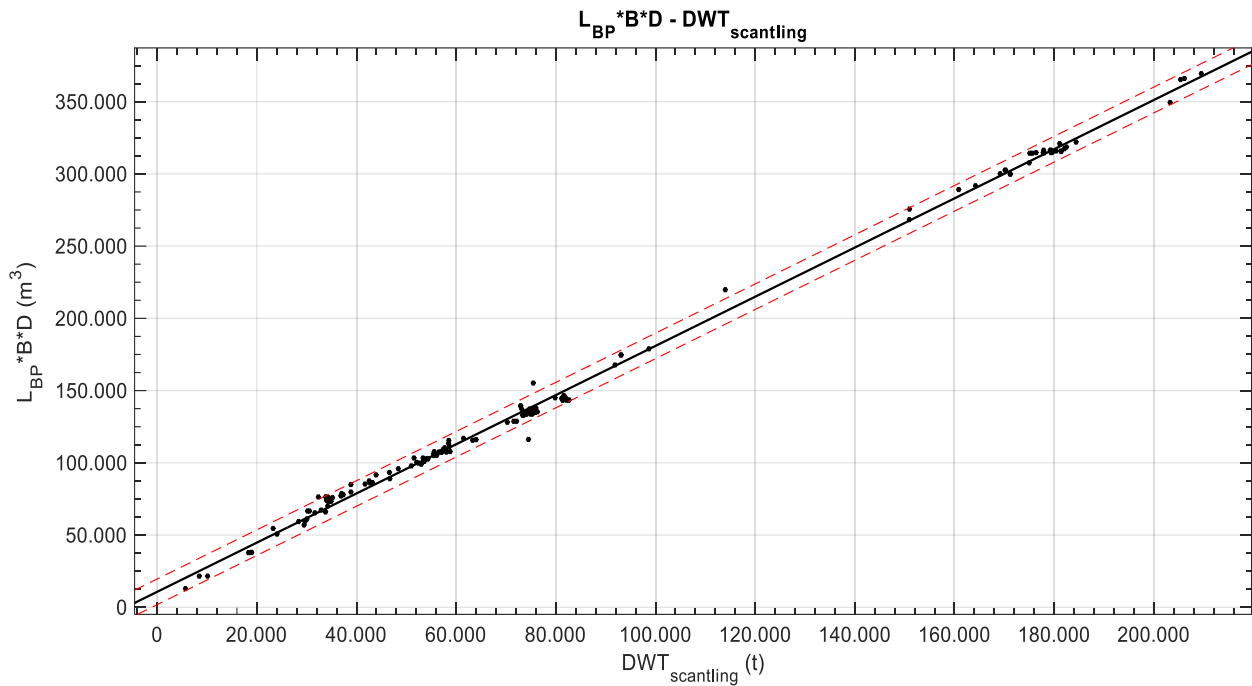
Adjusted R-square: 0.987

RMSE: 6634

$$DWT_{scantling} = 1.093 * DWT_{Design} + 3137$$

Παρατηρήσεις

Στην πιο πάνω γραφική φαίνεται ότι συσχέτιση των δύο μεγεθών είναι πάρα πολύ καλή καθώς τα σημεία σχεδόν ταυτίζονται πάνω στην καμπύλη προσέγγισης και αυτό ισχύει για όλες τις τάξης μεγέθους.



Διάγραμμα 26: $L_{BP} * B * D$ συναρτήσεσι του $DWT_{scantling}$

Αποτελέσματα προσέγγισης

Linear model Poly1:

$$f(x) = p1 * x + p2$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = 1.702 (1.689, 1.715)$$

$$p2 = 1.073e+04 (9467, 1.2e+04)$$

Goodness of fit:

SSE: 3.111e+09

R-square: 0.9978

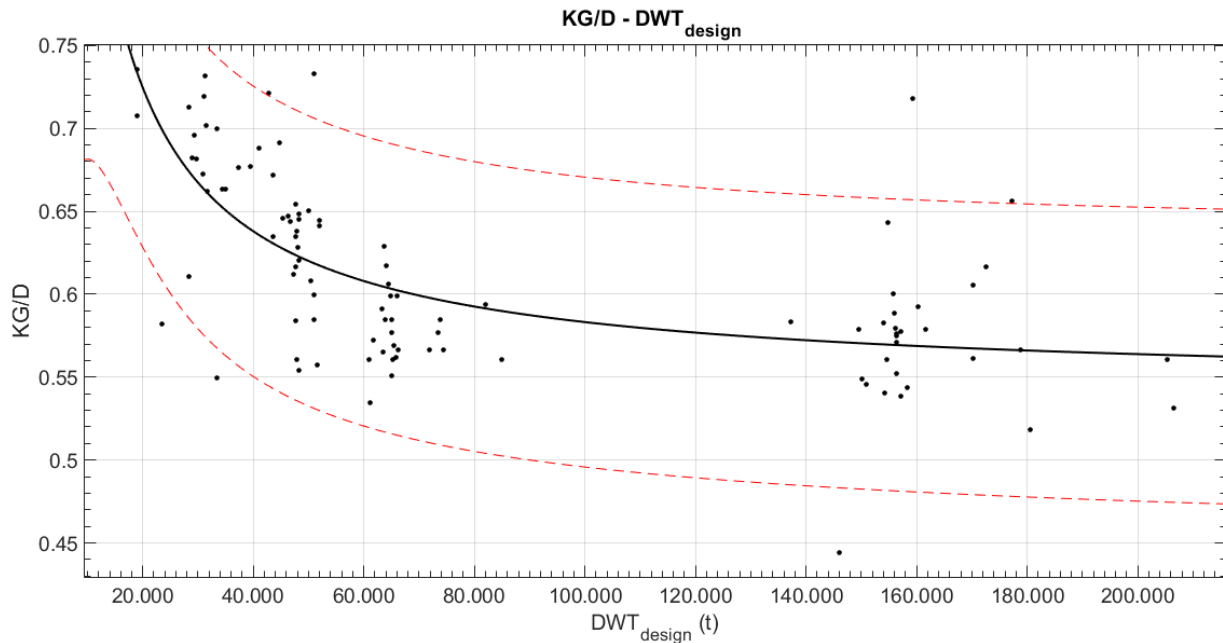
Adjusted R-square: 0.9978

RMSE: 4451

$$L_{BP} * B * D = 1.702 * DWT_{scantling} + 10730$$

Παρατηρήσεις

Προφανώς και η συσχέτιση του γινομένου L_{BP} , B , D με το DWT είναι καλύτερη από τα διαγράμματα που προέκυψαν πιο πάνω που πήραμε ξεχωριστά την κάθε διάσταση με το DWT και αυτό είναι λογικό καθώς είναι και τα δύο μεγέθη όγκου.



Διάγραμμα 27: KG/D συναρτήσει του DWT_{design}

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power2:

$$f(x) = a \cdot x^b + c$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$\begin{aligned} a &= 1856 \quad (-1.022e+04, 1.393e+04) \\ b &= -0.932 \quad (-1.597, -0.2674) \\ c &= 0.5426 \quad (0.493, 0.5922) \end{aligned}$$

Goodness of fit:

SSE: 0.1873

R-square: 0.4287

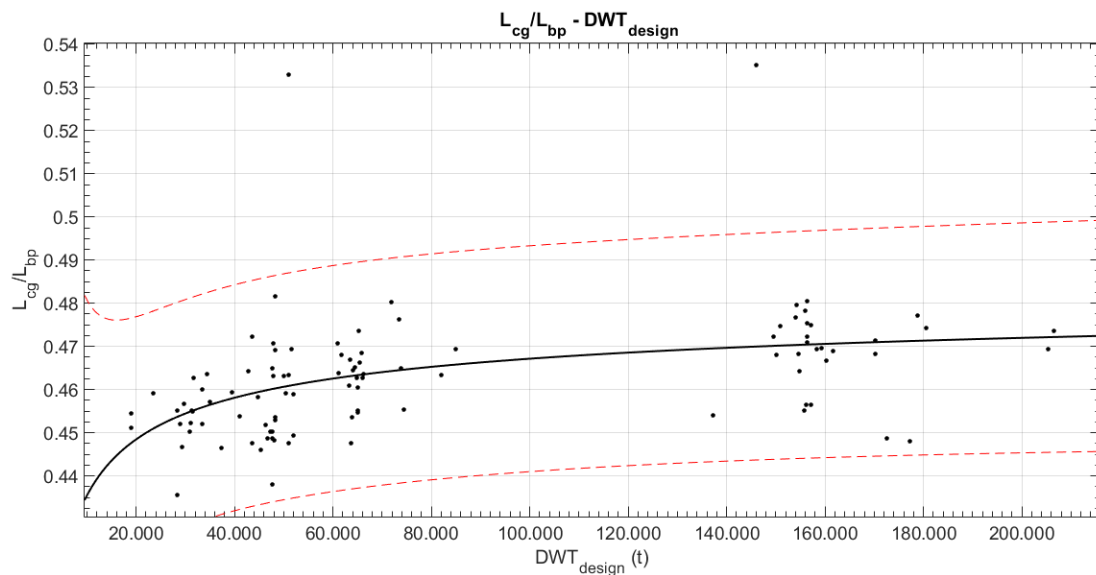
Adjusted R-square: 0.417

RMSE: 0.04371

$$\frac{KG}{D} = 1856 * DWT_{design}^{-0.932} + 0.5426$$

Παρατηρήσεις

Σε αυτό το διάγραμμα παρατηρούμε ότι ο λόγος KG/D δεν παρουσιάζει καλή συσχέτιση με το DWT παρουσιάζοντας αρκετές αποκλίσεις. Γενικά ισχύει πως αυξάνοντας την τιμή του D συνεπακόλουθα αυξάνεται και η τιμή των KG και DWT. Στο διάγραμμα όμως αυτό παρατηρείται πως καθώς το DWT αυξάνεται, ο λόγος KG/D μειώνεται.



Διάγραμμα 28: L_{cg}/L_{bp} συναρτήσεσι του DWT_{design}

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power2:

$$f(x) = a \cdot x^b + c$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = -2.623 \quad (-32.55, 27.3)$$

$$b = -0.4291 \quad (-1.736, 0.8783)$$

$$c = 0.4859 \quad (0.4178, 0.5541)$$

Goodness of fit:

SSE: 0.01675

R-square: 0.1777

Adjusted R-square: 0.1609

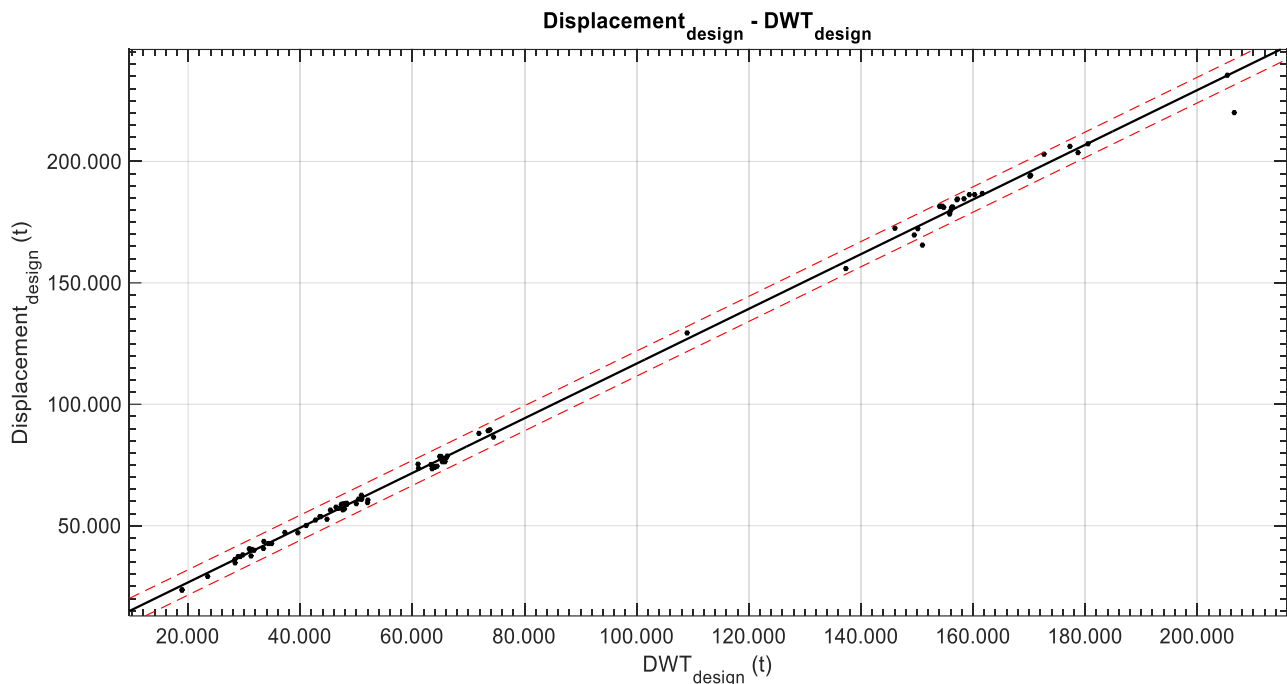
RMSE: 0.01307

$$\frac{L_{CG}}{L_{BP}} = -2.623 * DWT_{design}^{-0.4291} + 0.4859$$

Παρατηρήσεις

Βλέπουμε από το πιο πάνω διάγραμμα ότι ο λόγος L_{CG}/L_{BP} δεν έχει αρκετά καλή συσχέτιση με το DWT . Όπως μπορούμε να δούμε και από το διάγραμμα, για τιμές DWT σχεδόν ίδιες, οι λόγοι L_{CG}/L_{BP} έχουν αρκετά διαφορετικές τιμές. Αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί από το γεγονός ότι το L_{CG} , για πλοία ίδιου μήκους, μπορεί να έχει διαφορετικές τιμές ανάλογα με τις διάφορες παραμέτρους σχεδίασης.

4.3. Εκτόπισμα (Δ)



Διάγραμμα 29: $Displacement_{Design}(\Delta)$ συναρτήσει DWT_{Design}

Αποτελέσματα προσέγγισης

Linear model Poly1:

$$f(x) = p1 * x + p2$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = 1.126 (1.117, 1.136)$$

$$p2 = 4121 (3162, 5080)$$

Goodness of fit:

SSE: 6.364e+08

R-square: 0.9983

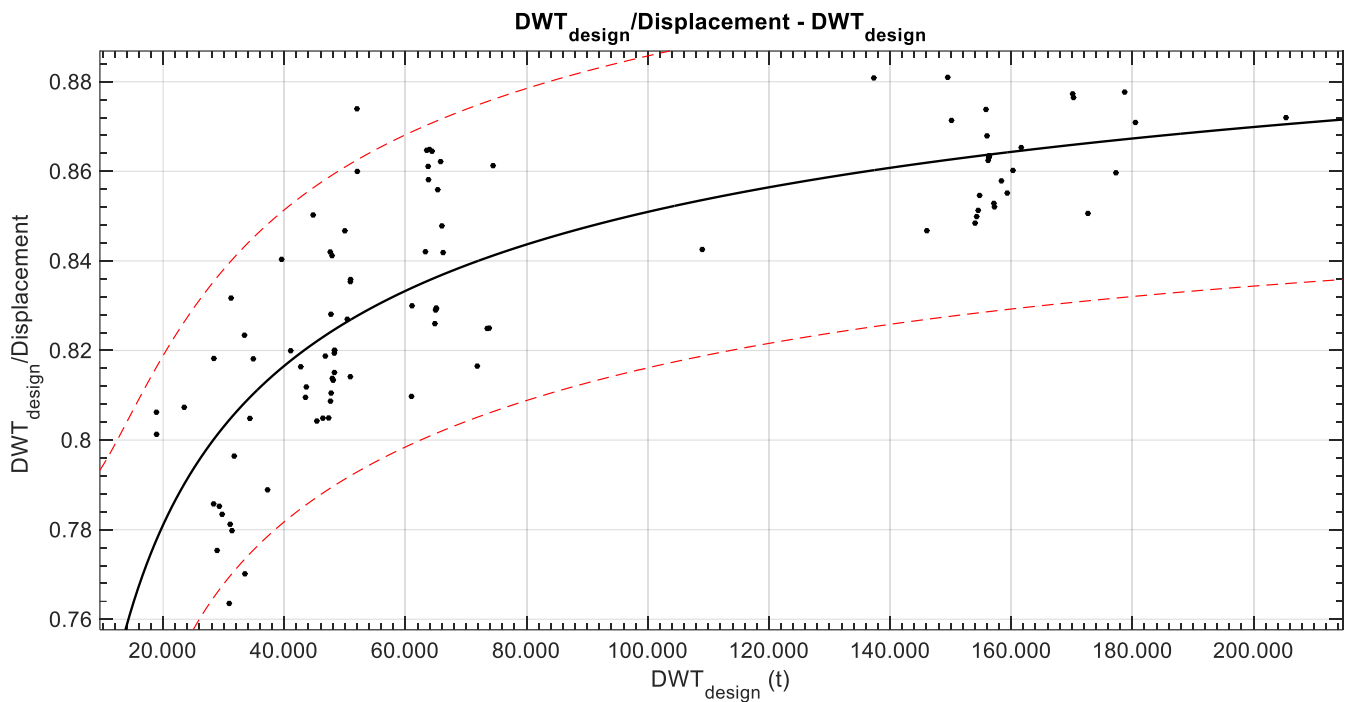
Adjusted R-square: 0.9982

RMSE: 2588

$$\Delta_{design} = 1.126 * DWT_{design} + 4121$$

Παρατηρήσεις

Σε αυτό το διάγραμμα παρατηρούμε πως οι καμπύλες πρόβλεψης σχεδόν ταυτίζονται πάνω στην προσεγγιστική καμπύλη πράγμα που αποδεικνύει την απίστευτη συσχέτιση των δύο μεγεθών. Έτσι λόγω του καλού αποτελέσματος της γραφικής, θα μπορούσαμε να κάνουμε μια πρώτη εκτίμηση των μεγεθών είτε γνωρίζουμε το εκτόπισμα είτε το DWT.



Διάγραμμα 30: $DWT_{design}/Displacement_{design}$ συναρτήσει DWT_{design}

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power2:

$$f(x) = a \cdot x^b + c$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = -7.148 \quad (-36.07, 21.77)$$

$$b = -0.3903 \quad (-0.8665, 0.08586)$$

$$c = 0.9309 \quad (0.8166, 1.045)$$

Goodness of fit:

SSE: 0.02776

R-square: 0.645

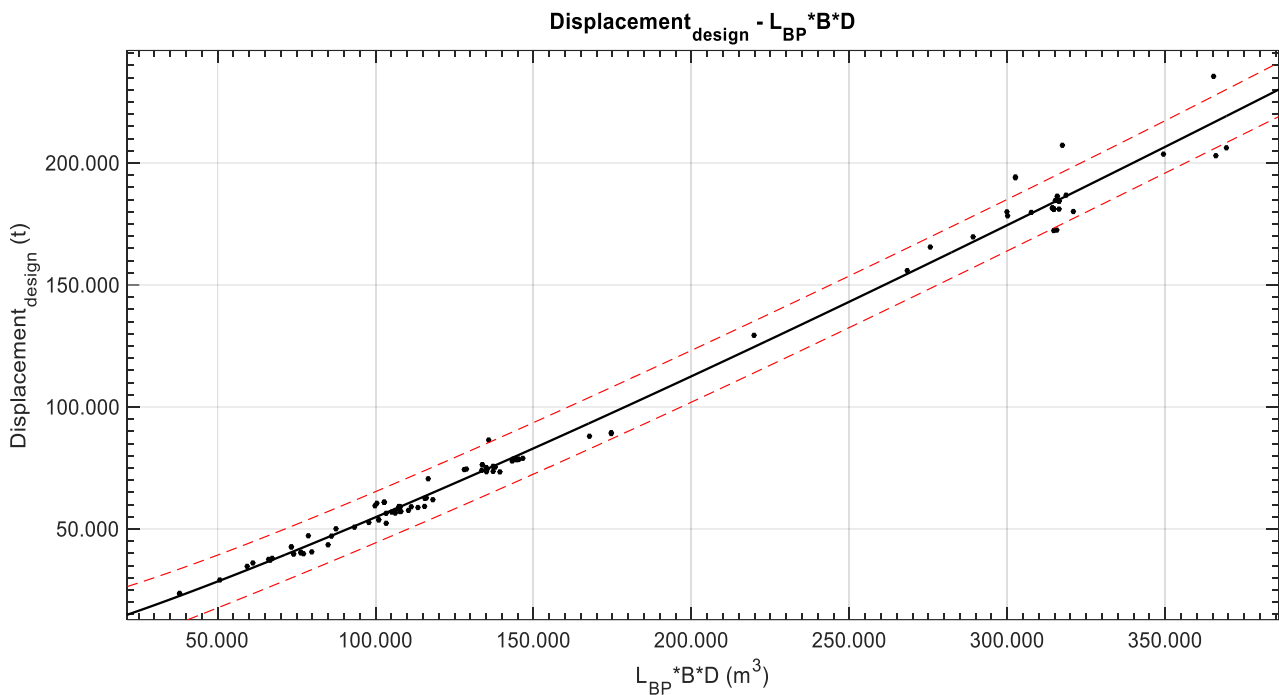
Adjusted R-square: 0.6373

RMSE: 0.01737

$$\frac{DWT_{design}}{\Delta_{design}} = -7.148 * DWT_{design}^{-0.3903} + 0.9309$$

Παρατηρήσεις

Βλέπουμε από το πιο πάνω διάγραμμα ότι ο λόγος DWT/Δ κυμαίνεται ανάμεσα στο 0.76–0.88 και συγκεκριμένα για πλοία με DWT έως 70000t ο λόγος κυμαίνεται από το 0.76-0.87 ενώ για πλοία με DWT από 140000t και πάνω ο λόγος κυμαίνεται από το 0.85-0.88. Άρα αυτό που παρατηρούμε είναι ότι ο λόγος αυξάνεται όταν το DWT καταλαμβάνει μεγαλύτερο ποσοστό του εκτοπίσματος.



Διάγραμμα 31: $Displacement_{design}$ συναρτήσεσι του $L_{BP} * B * D$

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power2:

$$f(x) = a * x^b + c$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 0.1039 \quad (-0.02631, 0.2341)$$

$$b = 1.134 \quad (1.038, 1.23)$$

$$c = 6426 \quad (-1001, 1.385e+04)$$

Goodness of fit:

SSE: 3.075e+09

R-square: 0.992

Adjusted R-square: 0.9918

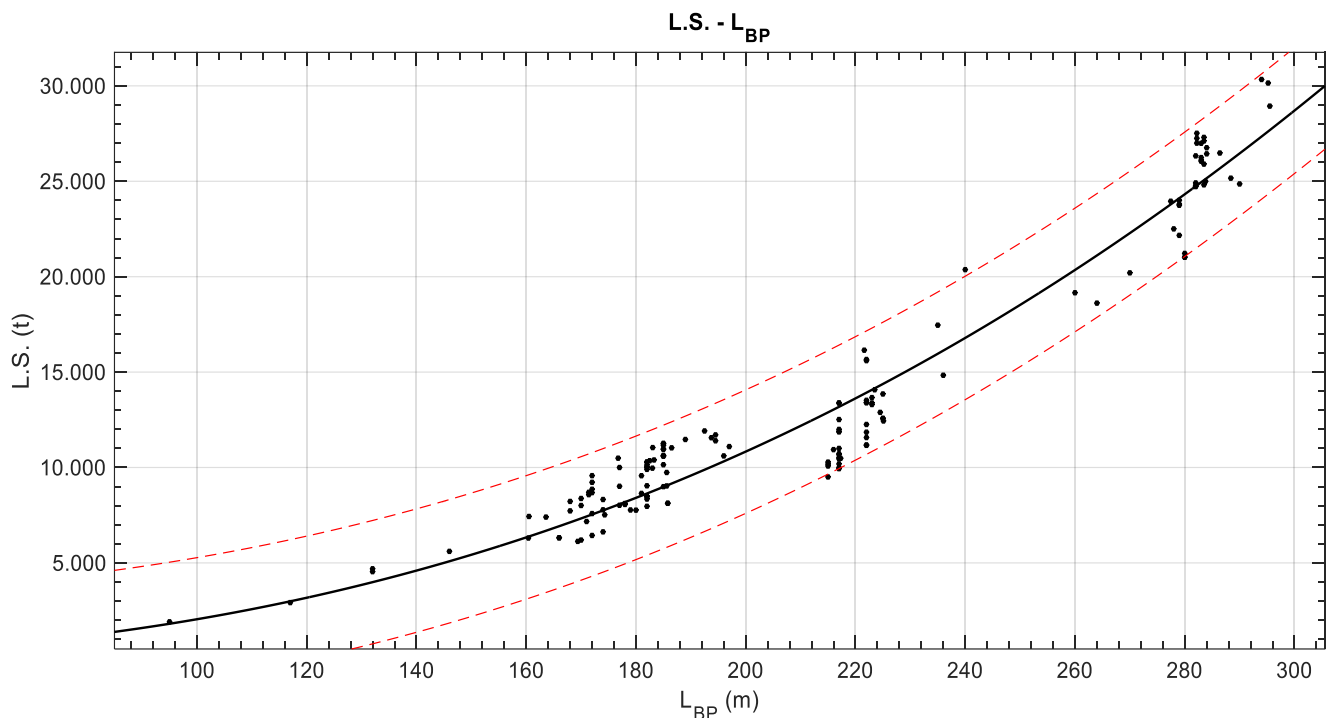
RMSE: 5264

$$\Delta_{design} = 0.1039 * (L_{BP} * B * D)^{1.134} + 6426$$

Παρατηρήσεις

Παρατηρούμε ότι η συσχέτιση είναι εξαιρετική καθώς οι καμπύλες πρόβλεψης δεν απέχουν πολύ από την προσεγγιστική καμπύλη. Επίσης τα σημεία σχεδόν ταυτίζονται πάνω στην καμπύλη προσέγγισης, κάτι που άλλωστε περιμέναμε καθώς γνωρίζουμε από την θεωρία ότι όλα τα πιο πάνω μεγέθη συσχετίζονται.

4.4. Βάρους κενού σκάφους (Lightship (L.S.))



Διάγραμμα 32: L.S. συναρτήσεσι του L_{BP}

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power1:

$$f(x) = a \cdot x^b$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 0.03199 \text{ (0.0144, 0.04957)}$$

$$b = 2.403 \text{ (2.304, 2.503)}$$

Goodness of fit:

SSE: 4.123e+08

R-square: 0.9443

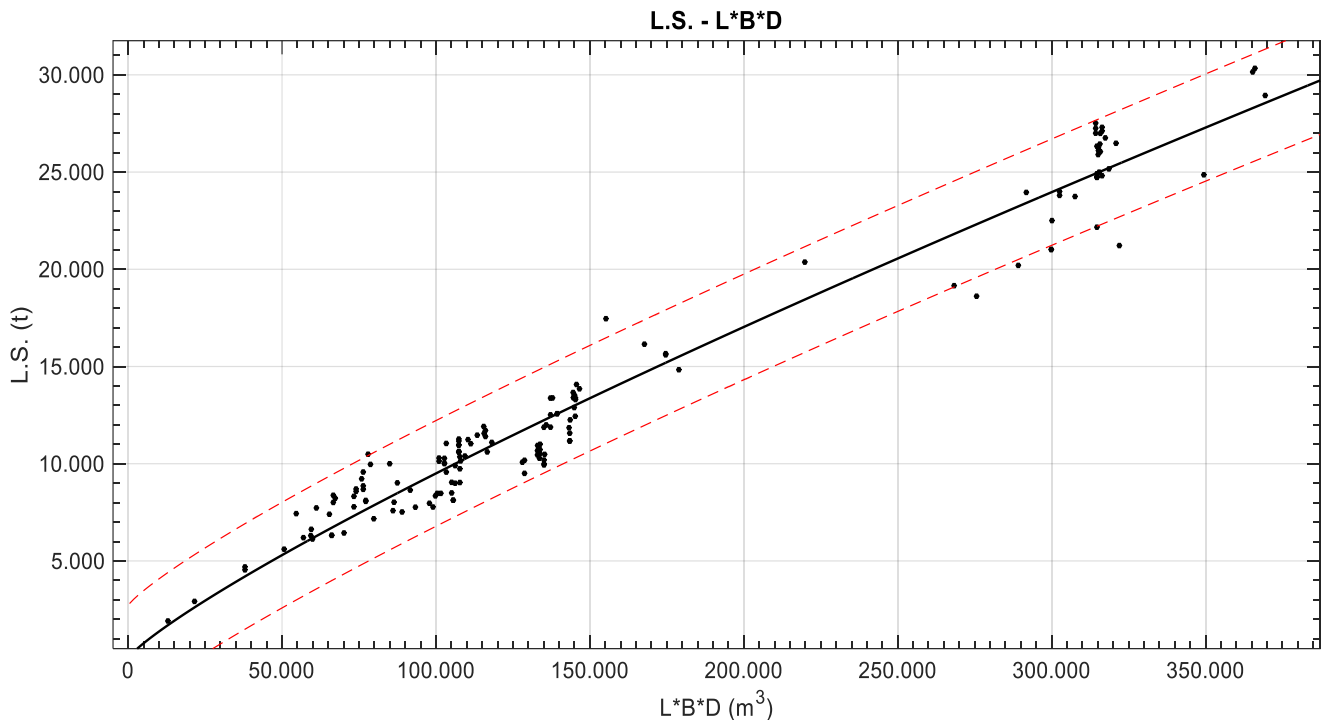
Adjusted R-square: 0.944

RMSE: 1631

$$L.S. = 0.03199 * L_{BP}^{2.403}$$

Παρατηρήσεις

Στην πιο πάνω γραφική βλέπουμε πόσο επηρεάζεται το L.S. σε σχέση με το L_{BP} . Αρχικά παρατηρούμε ότι με την αύξηση του L_{BP} το L.S. αυξάνεται και αυτό είναι απολύτως λογικό καθώς μεγαλύτερο πλοίο μεγαλύτερη μεταλλική κατασκευή. Παρόλο που θεωρείται μια καλή συσχέτιση υπάρχουν κάποιες περιοχές όπου έχουμε σταθερό L_{BP} και μεταβλητό L.S. για παράδειγμα στα 180m και στα 220m αυτό μπορεί να οφείλεται στο περιορισμούς που μπορεί να υπάρχουν είτε στην περατότητα διαδρομής είτε στις εγκαταστάσεις των λιμανιών κ.α. όπου σημαντικό ρόλο παίζουν και οι κύριες διαστάσεις B και D.



Διάγραμμα 33: L.S. συναρτήσεως του $L_{BP} * B * D$

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power1:

$$f(x) = a * x^b$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 0.5845 (0.3771, 0.7918)$$

$$b = 0.8422 (0.8134, 0.871)$$

Goodness of fit:

SSE: 2.908e+08

R-square: 0.9607

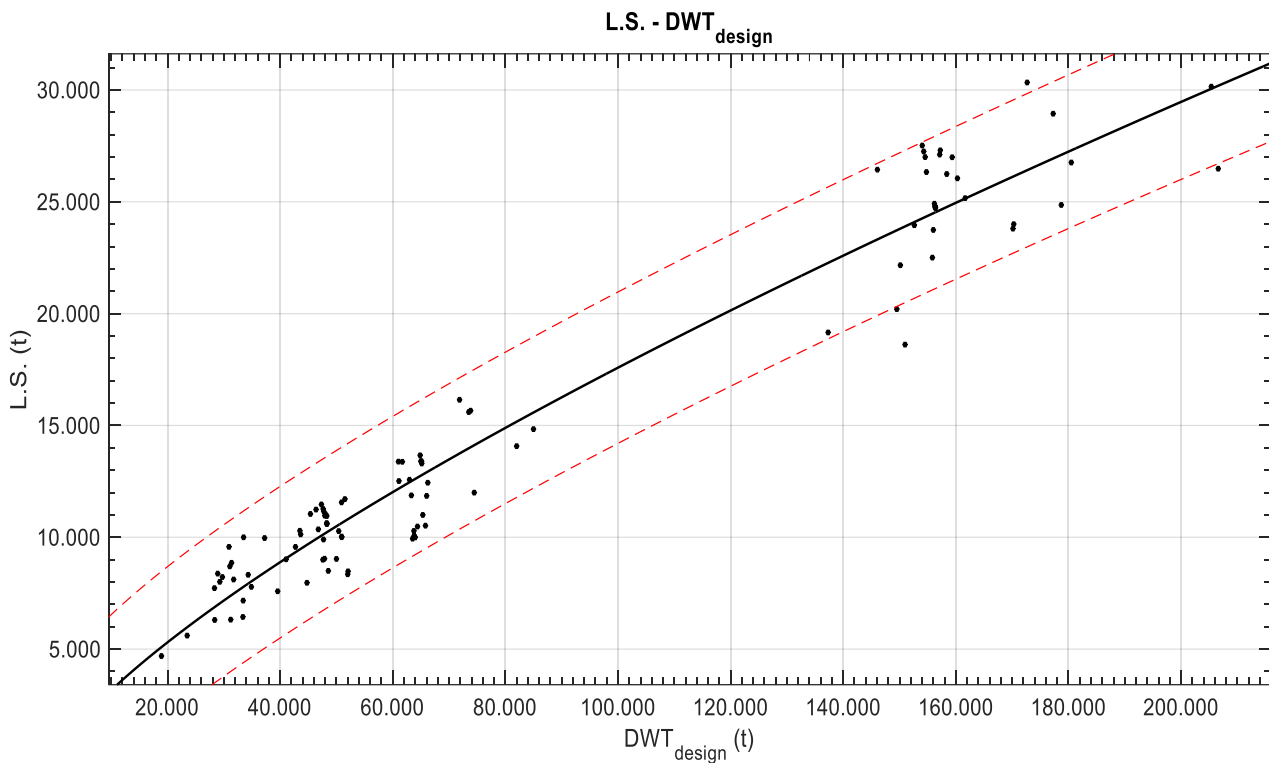
Adjusted R-square: 0.9605

RMSE: 1370

$$L.S. = 0.5845 * (L_{BP} * B * D)^{0.8422}$$

Παρατηρήσεις

Όπως έχει ήδη αναφερθεί και στο προηγούμενο διάγραμμα βλέπουμε και εδώ την επιρροή που έχουν οι κύριες διαστάσεις στο L.S., και μάλιστα το γινόμενο L_{BP} , B και D μας δίνει ακόμη καλύτερα αποτελέσματα καθώς υπάρχουν λιγότερες αποκλίσεις σε όλο το εύρος τιμών.



Διάγραμμα 34: L.S. συναρτήσει DWT_{design}

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power1:

$$f(x) = a \cdot x^b$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 3.318 \quad (1.844, 4.792)$$

$$b = 0.7448 \quad (0.7068, 0.7828)$$

Goodness of fit:

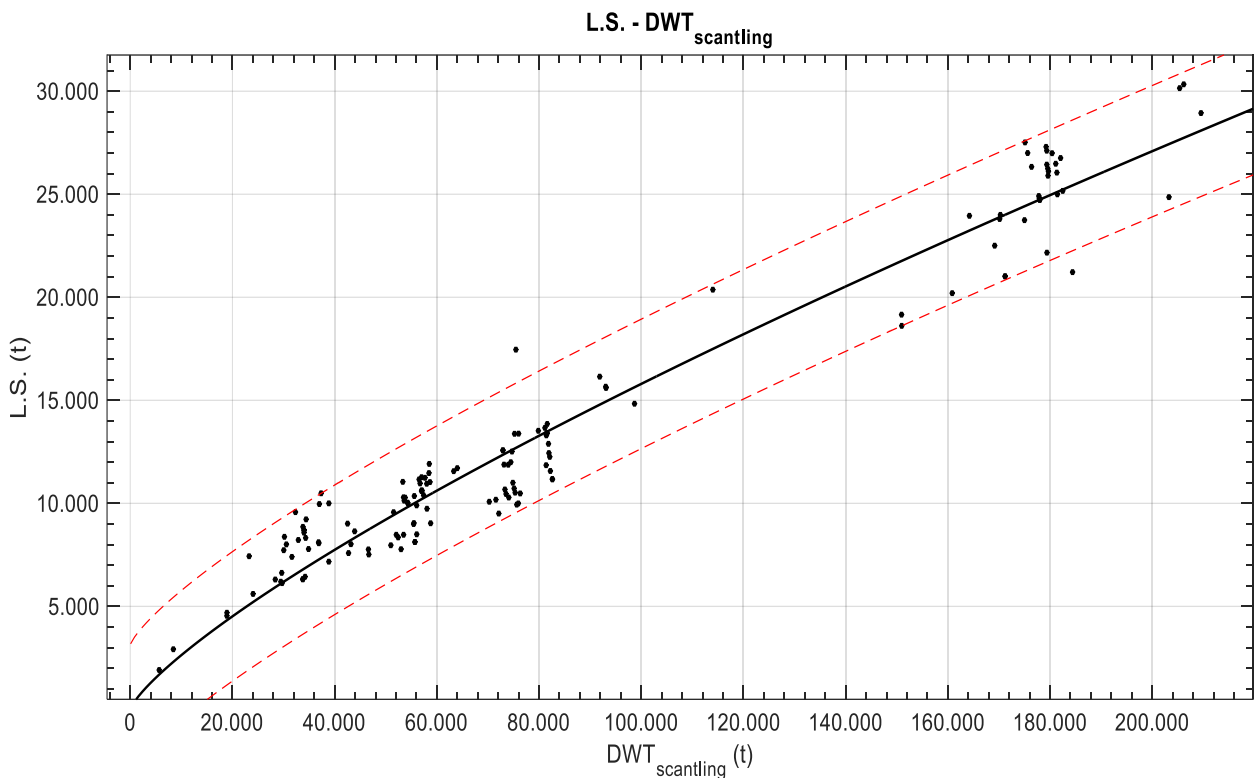
SSE: 2.934e+08

R-square: 0.9462

Adjusted R-square: 0.9457

RMSE: 1696

$$L.S. = 3.318 * DWT_{design}^{0.7448}$$



Διάγραμμα 35: L.S. συναρτήσει $DWT_{scantling}$

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power1:

$$f(x) = a \cdot x^b$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 2.033 \quad (1.269, 2.797)$$

$$b = 0.7781 \quad (0.7461, 0.8101)$$

Goodness of fit:

SSE: 3.683e+08

R-square: 0.9486

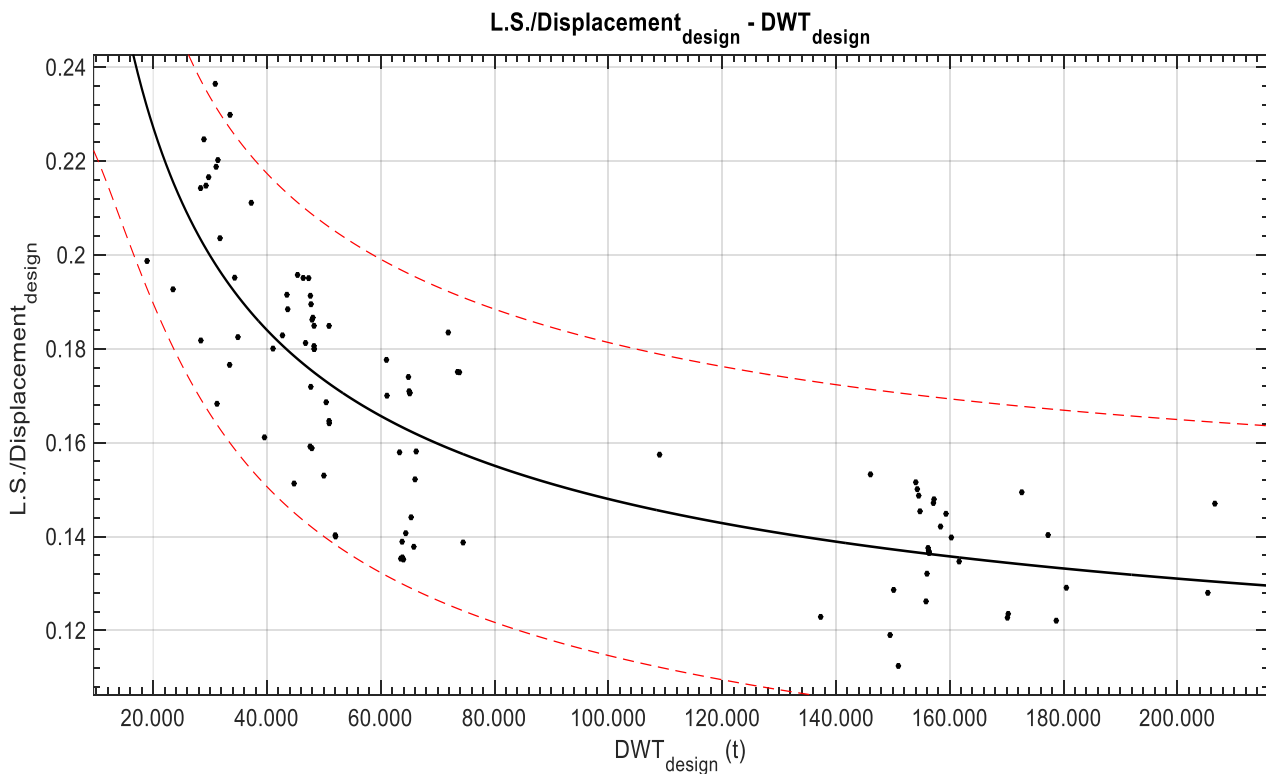
Adjusted R-square: 0.9483

RMSE: 1583

$$L.S. = 2.033 * DWT_{scantling}^{0.7781}$$

Παρατηρήσεις

Τα δύο διαγράμματα είναι σχεδόν ολόγρια και τις παρατηρήσεις που παρατηρούμε στο ένα τις βλέπουμε και στο άλλο. Παρατηρούμε μια αρκετά καλή συσχέτιση καθώς η εξάρτηση των δύο είναι πολύ εμφανής και στα δύο διαγράμματα. Το DWT εξαρτάται από τους χώρους του πλοίου οι οποίοι σε ένα βαθμό καθορίζουν τον όγκο του πλοίου και επομένως το βάρος της μεταλλικής κατασκευής όπως είχαμε αναφέρει και προηγουμένως.



Διάγραμμα 36: $L.S./\Delta_{design}$ συναρτήσεσι του DWT_{design}

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power2:

$$f(x) = a \cdot x^b + c$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 41.17 \quad (-136.5, 218.9)$$

$$b = -0.5811 \quad (-1.044, -0.1179)$$

$$c = 0.09684 \quad (0.04524, 0.1484)$$

Goodness of fit:

SSE: 0.02576

R-square: 0.6727

Adjusted R-square: 0.6656

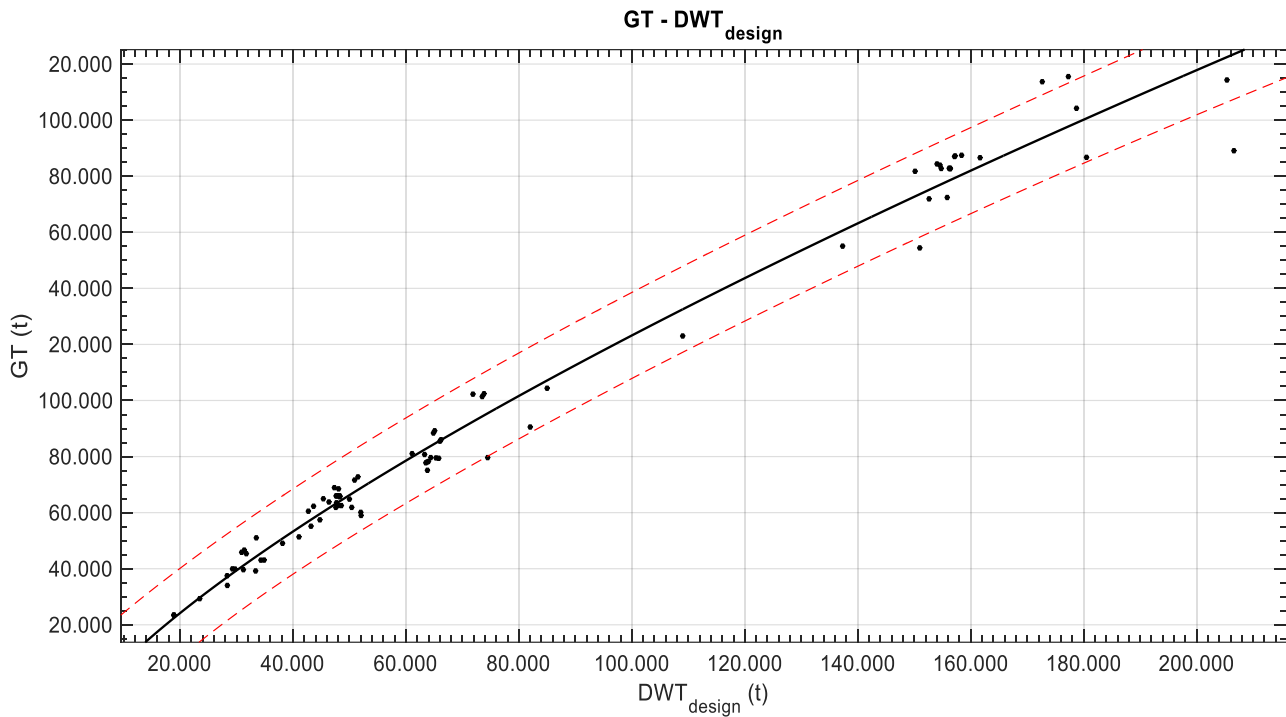
RMSE: 0.01664

$$\frac{L.S.}{\Delta_{design}} = 41.17 * DWT_{design}^{-0.5811} + 0.09684$$

Παρατηρήσεις

Η παρατήρηση που κάνουμε είναι ότι δεν είναι και η πιο καλή συσχέτιση παρόλα αυτά μας δίνει τα όρια του λόγου LS/Δ και πως κυμαίνεται ανάλογα με το DWT. Βλέπουμε δηλαδή ότι ο λόγος κυμαίνεται μεταξύ των 0.14-0.24 για πλοία με DWT έως 80000t και ανάμεσα στο 0.12-0.15 για πλοία με DWT μεγαλύτερο του 140000t, άρα με την αύξηση του DWT ο λόγος μειώνεται.

4.5. Ολική Χωρητικότητα (Gross Tonnage)

Διάγραμμα 37: GT συναρτήσεως του DWT_{design}Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power2:

$$f(x) = a \cdot x^b + c$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 15.56 \quad (-9.517, 40.64)$$

$$b = 0.7325 \quad (0.6064, 0.8586)$$

$$c = -9922 \quad (-2.035e+04, 506)$$

Goodness of fit:

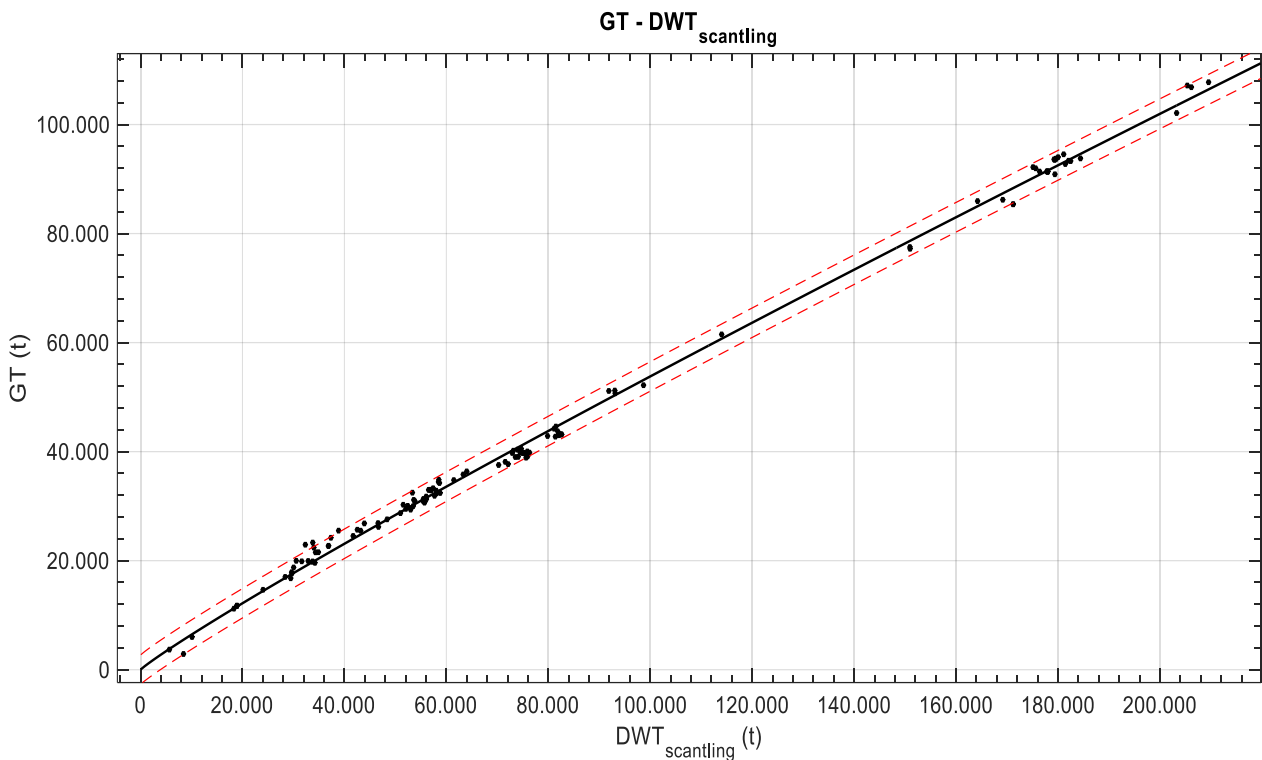
SSE: 1.176e+09

R-square: 0.9829

Adjusted R-square: 0.9825

RMSE: 3786

$$GT = 15.56 * DWT_{design}^{0.7325} - 9922$$



Διάγραμμα 38: GT συναρτήσεϊ του $DWT_{scantling}$

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power1:

$$f(x) = a \cdot x^b$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 1.312 \quad (1.172, 1.451)$$

$$b = 0.9226 \quad (0.9136, 0.9316)$$

Goodness of fit:

SSE: 2.382e+08

R-square: 0.9976

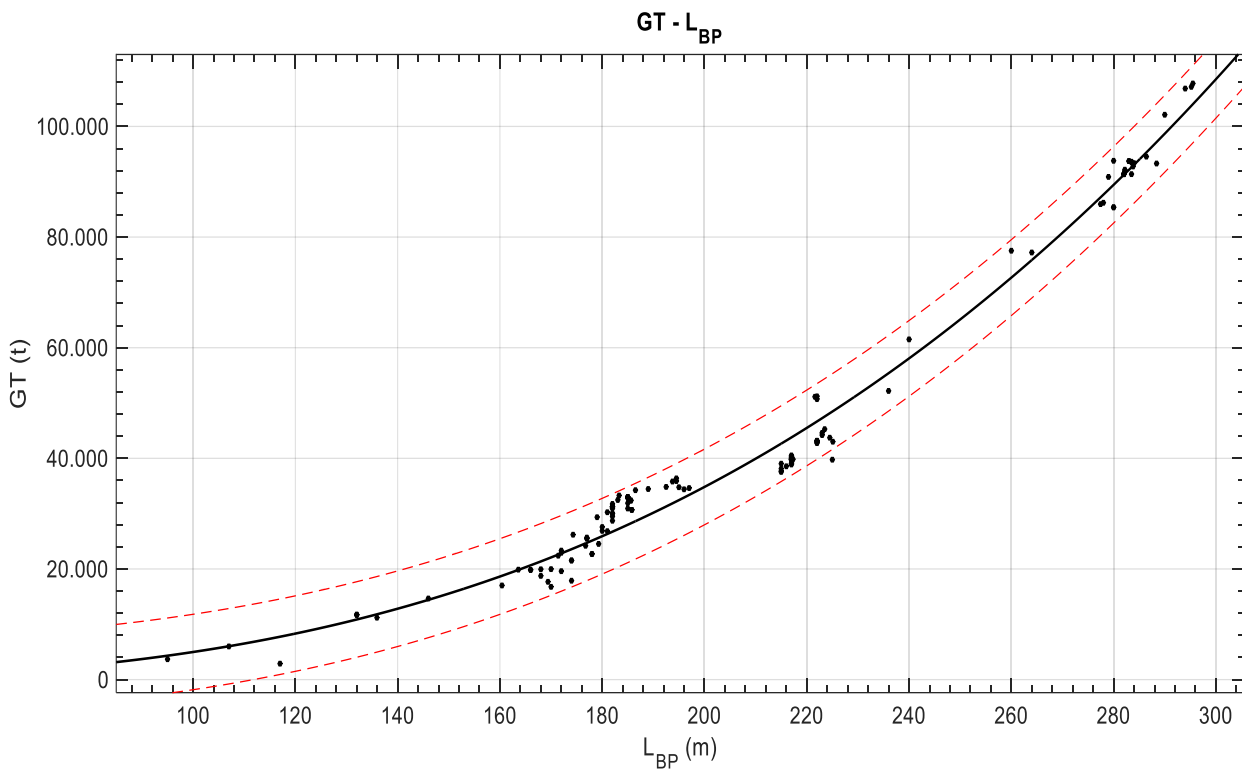
Adjusted R-square: 0.9976

RMSE: 1359

$$GT = 1.312 * DWT_{scantling}^{0.9226}$$

Παρατηρήσεις

Τα αποτελέσματα και των δύο διαγραμμάτων είναι όπως τα περιμέναμε αφού γνωρίζουμε από την θεωρία ότι η ολική χωρητικότητα εξαρτάται από το άθροισμα του όγκου όλων των καταμετρούμενων χώρων του πλοίου. Παρόλο που και τα δύο διαγράμματα έχουν καλή εκτίμηση παρατηρούμε πως το διάγραμμα του GT- $DWT_{scantling}$ έχει λιγότερες αποκλίσεις καθώς οι καμπύλες πρόβλεψης είναι πιο κοντά στην προσεγγιστική καμπύλη σε σχέση με το αντίστοιχο διάγραμμα DWT_{design} , αυτό οφείλεται στο ότι το $DWT_{scantling}$ αποτελεί αντιπροσωπευτικότερο μέγεθος για το πλοίο.



Διάγραμμα 39: GT συναρτήσει του L_{BP}

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power1:

$$f(x) = a \cdot x^b$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 0.01237 \quad (0.007616, 0.01713)$$

$$b = 2.803 \quad (2.734, 2.872)$$

Goodness of fit:

SSE: 1.552e+09

R-square: 0.9838

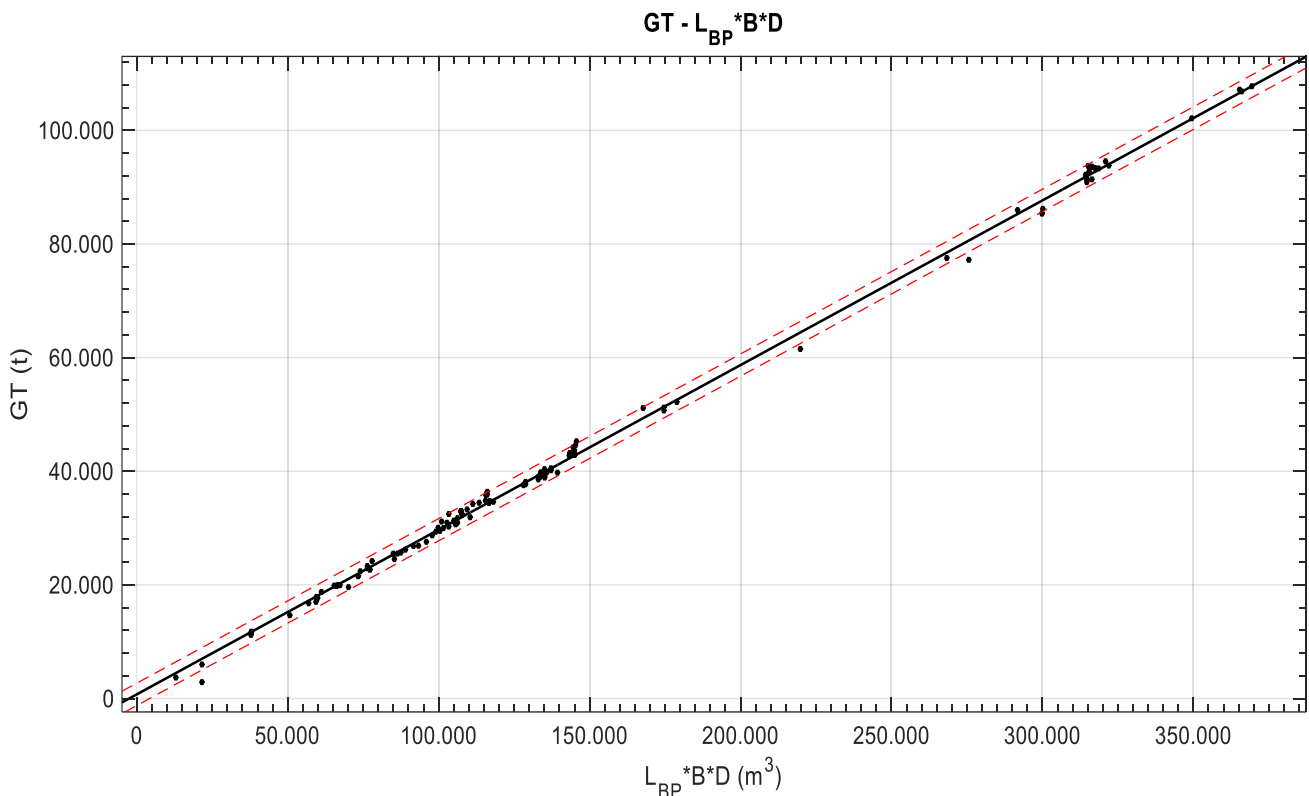
Adjusted R-square: 0.9837

RMSE: 3442

$$GT = 0.01237 * L_{BP}^{2.803}$$

Παρατηρήσεις

Από το πιο πάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι η συσχέτιση ανάμεσα στην ολική χωρητικότητα και το μήκος είναι πολύ καλή και αυτό φαίνεται από την διασπορά των σημείων τα οποία προσεγγίζουν σε μεγάλο βαθμό την προσεγγιστική καμπύλη. Επίσης γνωρίζουμε ότι το μήκος συμβάλει στον όγκο του πλοίου και κατ' επέκταση στην ολική χωρητικότητα οπότε τα αποτελέσματα της γραφικής είναι λογικά.



Διάγραμμα 40: GT συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$

Αποτελέσματα προσέγγισης

Linear model Poly1:

$$f(x) = p1 * x + p2$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = 0.2898 \quad (0.2879, 0.2916)$$

$$p2 = 735.9 \quad (414.8, 1057)$$

Goodness of fit:

SSE: 1.265e+08

R-square: 0.9987

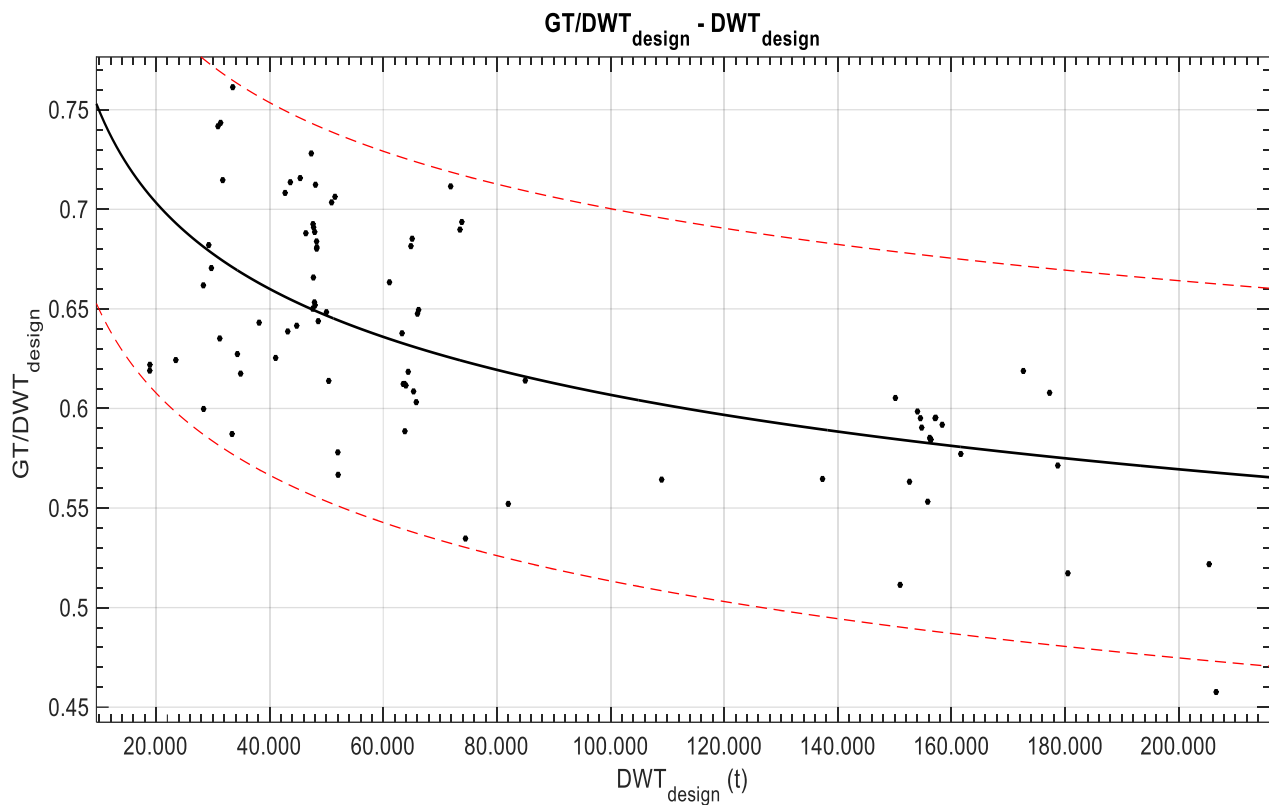
Adjusted R-square: 0.9987

RMSE: 982.5

$$GT = 126500000 * L_{BP} * B * D + 735.9$$

Παρατηρήσεις

Η συσχέτιση του γινομένου L_{BP} , B , D με την ολική χωρητικότητα αποτελεί μία από τις καλύτερες προσεγγίσεις καθώς όπως είναι εμφανές τα σημεία ακολουθούν την προσεγγιστική καμπύλη, και οι καμπύλες πρόβλεψης απέχουν ελάχιστα από την προσεγγιστική καμπύλη. Το αποτέλεσμα ήταν κάτι αναμενόμενο καθώς το γινόμενο των τριών διαστάσεων καθορίζει τον όγκο του πλοίου οπότε η προσέγγιση δύο μεγεθών όγκου έχει μεγάλη ακρίβεια.



Διάγραμμα 41: GT/DWT_{design} συναρτήσεως του DWT_{design}

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power1:

$$f(x) = a \cdot x^b$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 1.744 \quad (1.245, 2.243)$$

$$b = -0.09171 \quad (-0.1176, -0.06582)$$

Goodness of fit:

SSE: 0.1802

R-square: 0.3853

Adjusted R-square: 0.3779

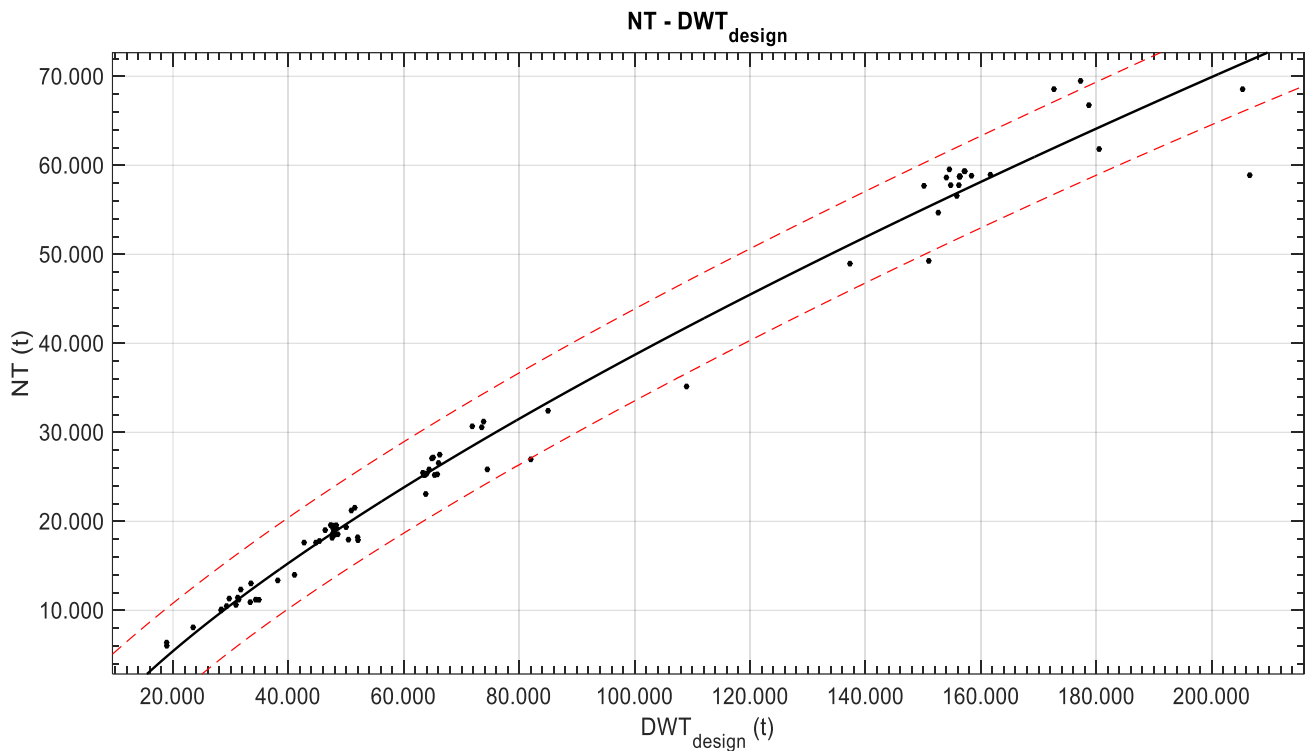
RMSE: 0.04659

$$\frac{GT}{DWT_{design}} = 1.744 * DWT_{Design}^{-0.09171}$$

Παρατηρήσεις

Σε αυτό το διάγραμμα μας ενδιαφέρουν περισσότερο τα όρια των μεταβολών παρά η προσεγγιστική καμπύλη καθώς όπως είναι φανερό η ποιότητα δεν είναι ιδιαίτερα καλή. Τα όρια κυμαίνονται από το 0.46 μέχρι το 0.76, συγκεκριμένα για πλοία με DWT έως 80000t τα όρια κυμαίνονται στα 0.57-0.76, ενώ για πλοία με DWT 140000t και πάνω τα όρια κυμαίνονται στα 0.46-0.62. Η παρατήρηση που κάνουμε είναι ότι με την αύξηση του DWT ο λόγος μειώνεται.

4.6. Καθαρή Χωρητικότητα (Net Tonnage)

Διάγραμμα 42: NT συναρτήσεσι του DWT_{design} Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power2:

$$f(x) = a \cdot x^b + c$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 13.02 \quad (-8.205, 34.24)$$

$$b = 0.7146 \quad (0.5873, 0.8419)$$

$$c = -9994 \quad (-1.735e+04, -2636)$$

Goodness of fit:

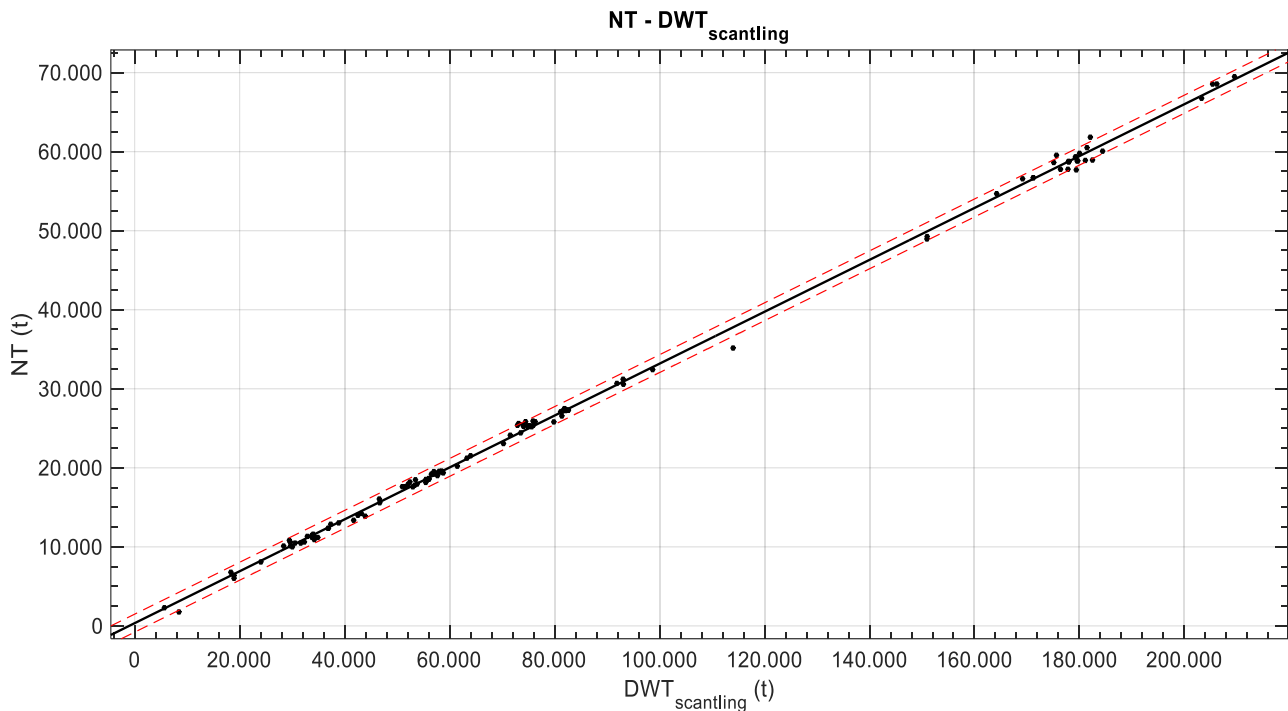
SSE: 5.125e+08

R-square: 0.9829

Adjusted R-square: 0.9825

RMSE: 2547

$$NT = 13.02 * DWT_{design}^{0.7146} - 9994$$



Διάγραμμα 43: NT συναρτήσεϊ του $DWT_{scantling}$

Αποτελέσματα προσέγγισης

Linear model Poly1:

$$f(x) = p1 * x + p2$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = 0.3283 (0.3265, 0.3301)$$

$$p2 = 346.2 (164.3, 528)$$

Goodness of fit:

SSE: 3.999e+07

R-square: 0.9991

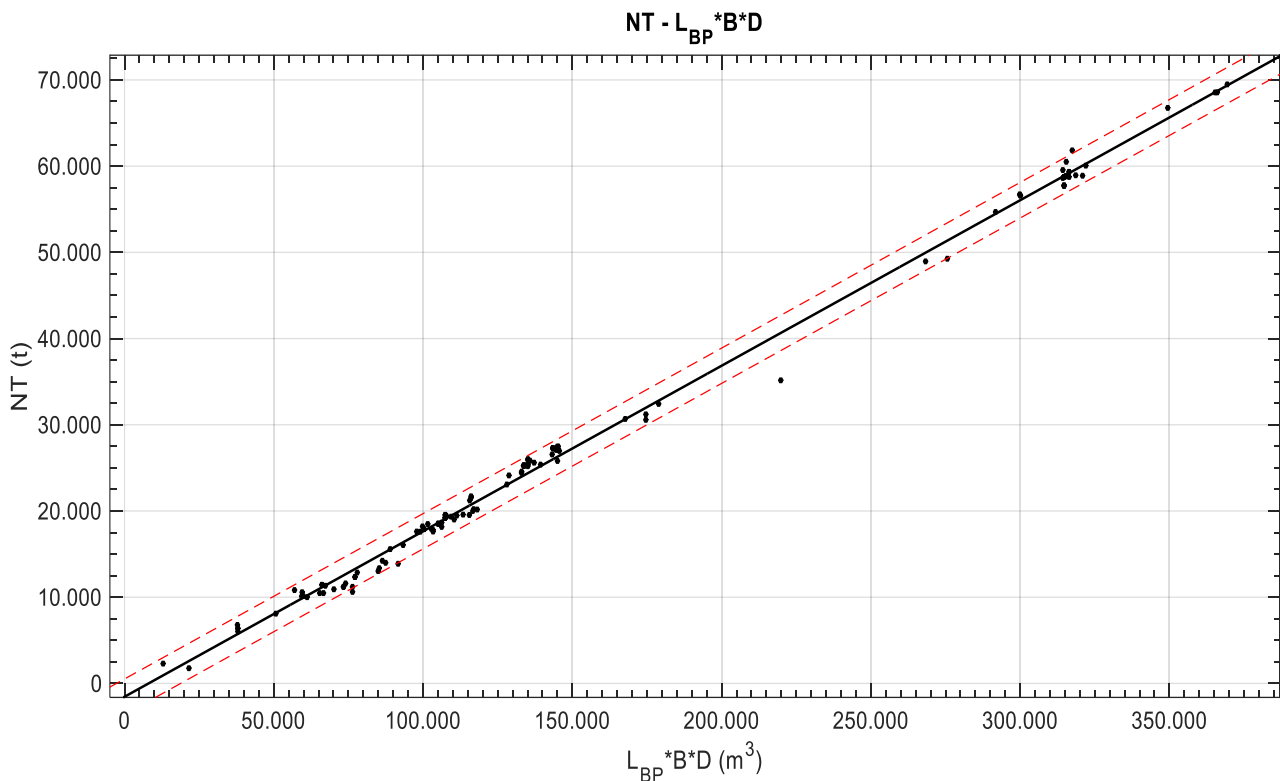
Adjusted R-square: 0.9991

RMSE: 567.9

$$NT = 0.3283 * DWT_{scantling} + 346.2$$

Παρατηρήσεις

Στα δύο πιο πάνω διαγράμματα βρίσκουμε ακριβώς την ίδια παρατήρηση με τα αντίστοιχα του GT, άρα και σε αυτή την περίπτωση η καθαρή χωρητικότητα έχει πολύ καλή συσχέτιση και με τα δύο διαγράμματα αλλά οι αποκλίσεις του NT-DWT_{scantling} είναι μικρότερες από του αντίστοιχου NT-DWT_{design} για τον λόγο που έχει προαναφερθεί.



Διάγραμμα 44: NT συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$

Αποτελέσματα προσέγγισης

Linear model Poly1:

$$f(x) = p1 * x + p2$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = 0.192 \quad (0.19, 0.1939)$$

$$p2 = -1550 \quad (-1895, -1206)$$

Goodness of fit:

SSE: 1.335e+08

R-square: 0.9968

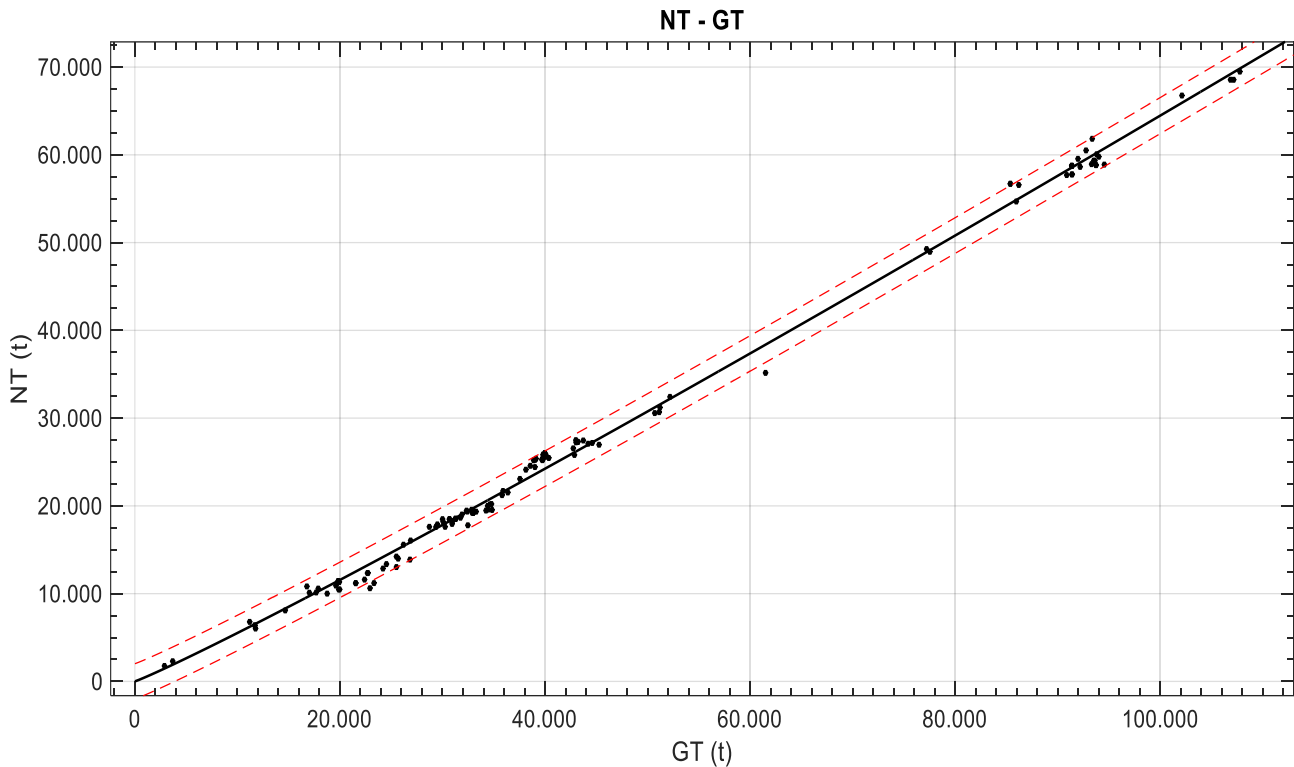
Adjusted R-square: 0.9967

RMSE: 1029

$$NT = 0.192 * L_{BP} * B * D - 1550$$

Παρατηρήσεις

Εξαιρώντας ένα σημείο που βρίσκεται εκτός των καμπύλων πρόβλεψης, το διάγραμμα παρουσιάζει μια εξαιρετική συσχέτιση των μεγεθών αφού τα σημεία έχουν απλωθεί σε όλο το εύρος της προσεγγιστικής καμπύλης.



Διάγραμμα 45: NT συναρτήσει του GT

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power1:

$$f(x) = a \cdot x^b$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 0.2959 \quad (0.2566, 0.3352)$$

$$b = 1.068 \quad (1.056, 1.08)$$

Goodness of fit:

SSE: 1.346e+08

R-square: 0.9969

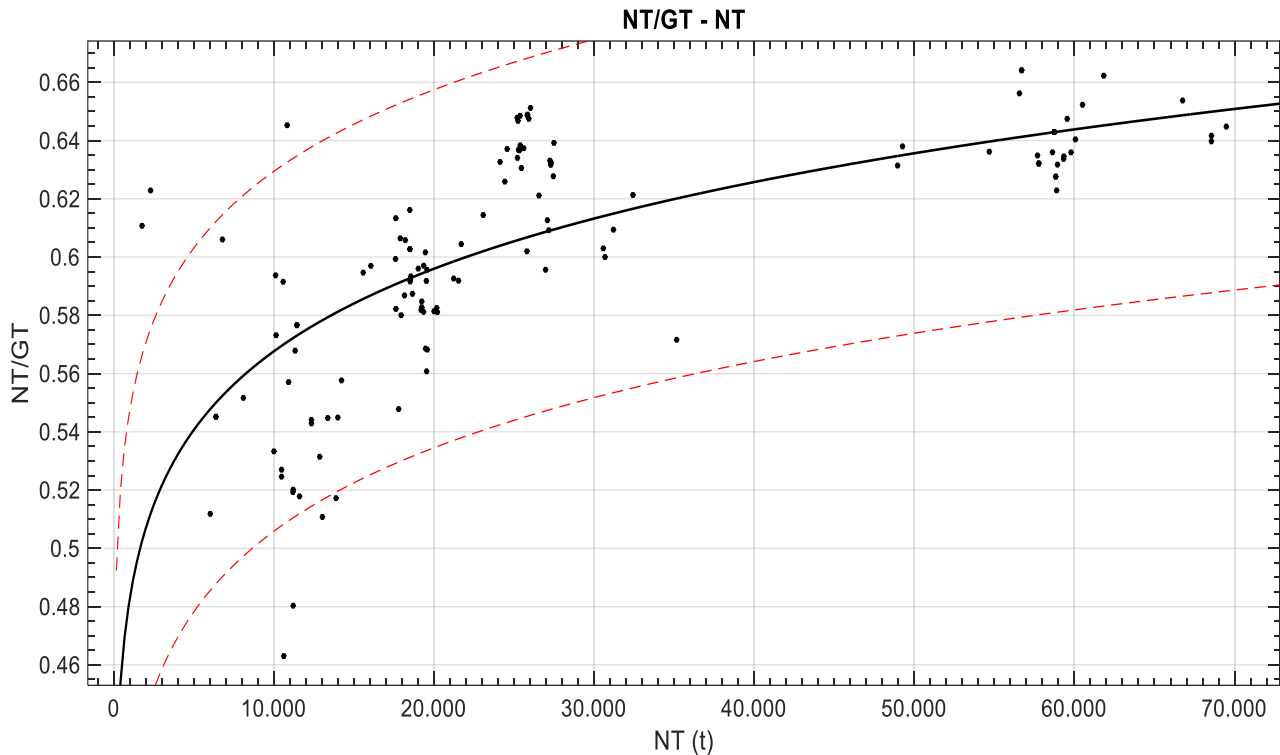
Adjusted R-square: 0.9969

RMSE: 1018

$$NT = 0.2959 * GT^{1.068}$$

Παρατηρήσεις

Η καθαρή χωρητικότητα NT συσχετίζεται άριστα με την ολική χωρητικότητα GT καθώς γίνεται επιβεβαίωση του ορισμού όπου η χωρητικότητα NT προκύπτει από την ολική μείον τον όγκο ορισμένων χώρων που δεν έχουν σκοπό την μεταφορά φορτίου. Έτσι από την γραφική μπορούμε να κάνουμε μια αξιόπιστη εκτίμηση του NT.



Διάγραμμα 46: NT/GT συναρτήσει του NT

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power1:

$$f(x) = a \cdot x^b$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 0.2972 \quad (0.2571, 0.3372)$$

$$b = 0.07028 \quad (0.05695, 0.0836)$$

Goodness of fit:

SSE: 0.1245

R-square: 0.4551

Adjusted R-square: 0.4509

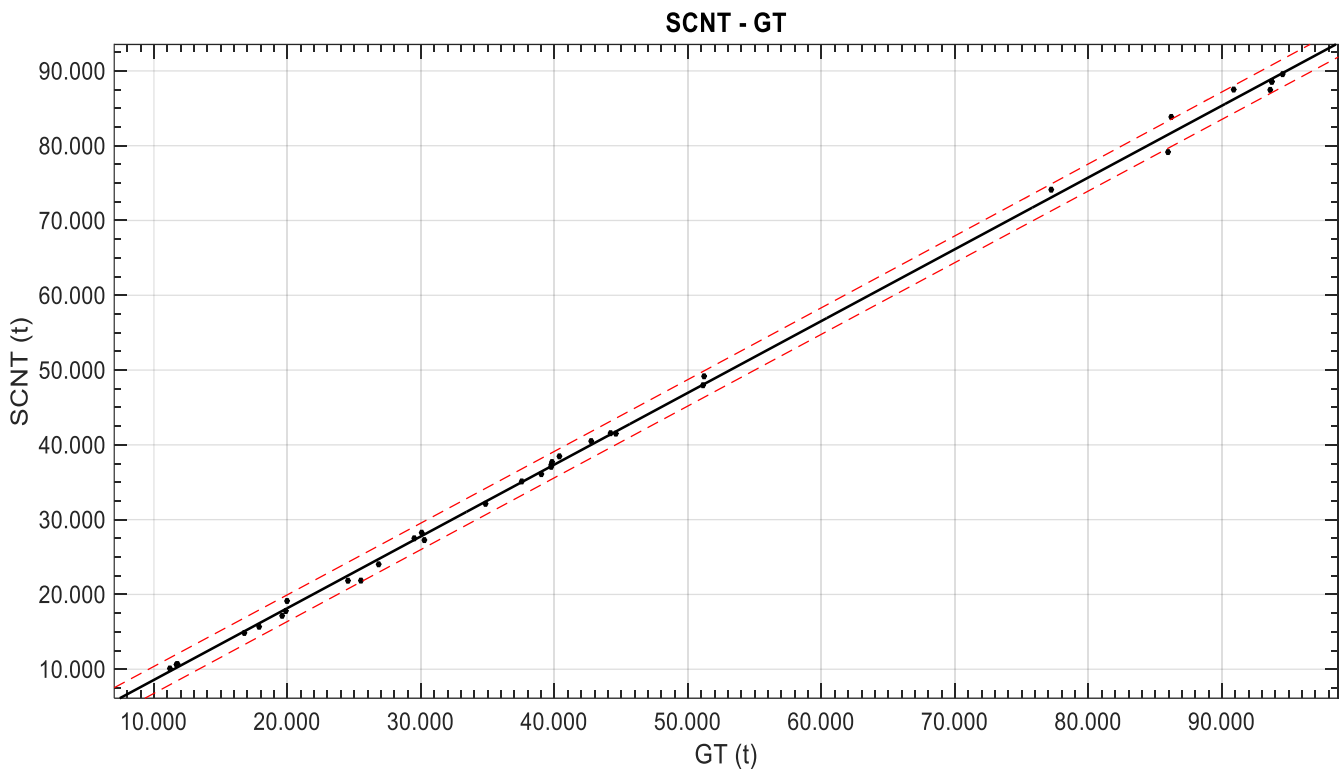
RMSE: 0.03094

$$\frac{NT}{GT} = 0.2972 * NT^{0.07028}$$

Παρατηρήσεις

Πέραν του γεγονότος ότι η ποιότητα της προσέγγισης δεν είναι ικανοποιητική, αυτό που μπορούμε να παρατηρήσουμε είναι πώς μεταβάλλεται ο λόγος NT/GT σε σχέση με την ολική χωρητικότητα. Παρατηρούμε λοιπόν ότι ο λόγος αυξάνεται με την αύξηση της ολικής χωρητικότητας και κυμαίνεται μεταξύ του 0.46 με 0.66.

4.7. Suez Canal Net Tonnage (SCNT)



Διάγραμμα 47: SCNT συναρτήσεως του GT

Αποτελέσματα προσέγγισης

Linear model Poly1:

$$f(x) = p1 * x + p2$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = 0.9598 \quad (0.949, 0.9706)$$

$$p2 = -1025 \quad (-1580, -470.7)$$

Goodness of fit:

SSE: 2.415e+07

R-square: 0.999

Adjusted R-square: 0.999

RMSE: 855.5

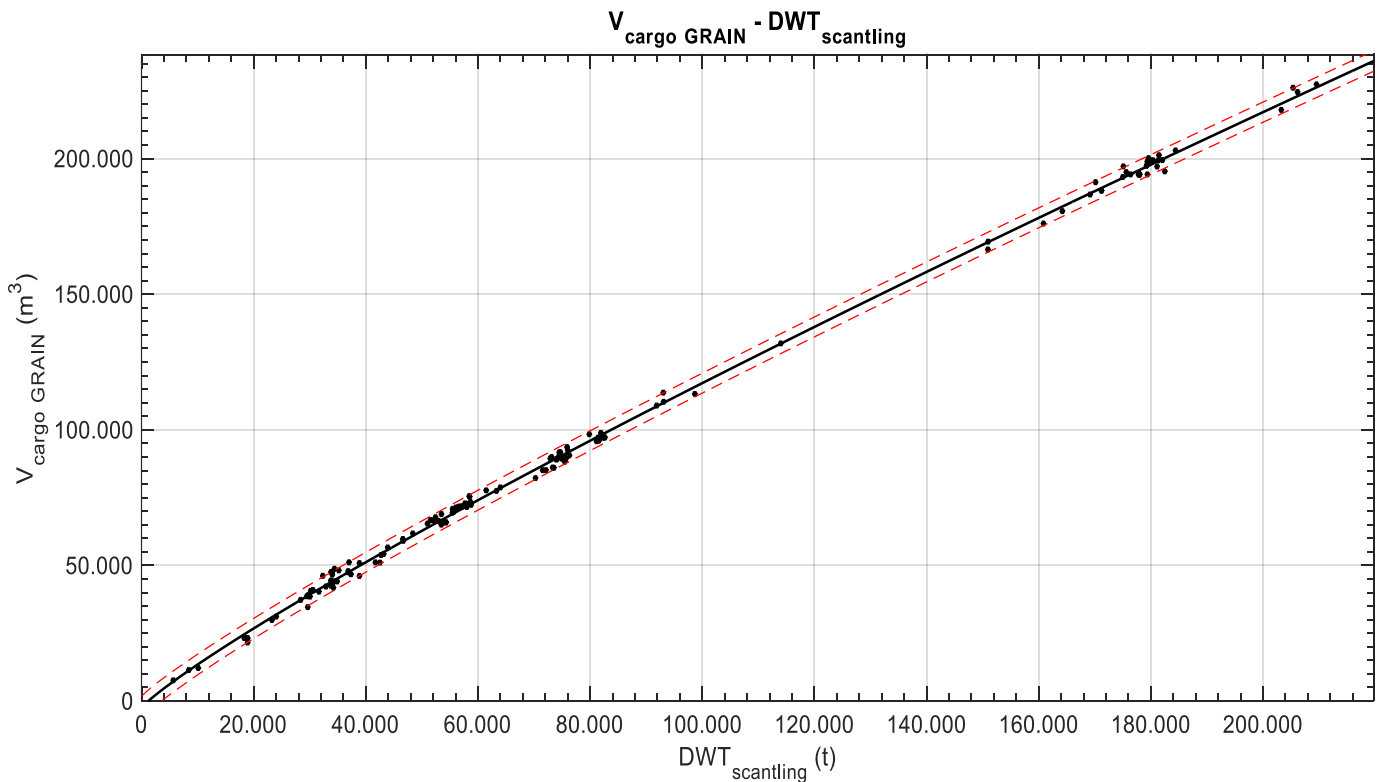
$$SCNT = 0.9598 * GT - 1025$$

Παρατηρήσεις

Παρόλο που στη διάθεση μας είχαμε ελάχιστα δεδομένα βλέπουμε πως η συσχέτιση του Suez Canal Net Tonnage με την ολική χωρητικότητα είναι εξαιρετική καθώς όλα τα σημεία είναι πολύ κοντά στην καμπύλη προσέγγισης οπότε αν θέλουμε να κάνουμε μια πρώτη εκτίμηση το αποτέλεσμα θεωρείται αξιόπιστο.

4.8. Χωρητικότητα Δεξαμενών

4.8.1. Όγκος δεξαμενών φορτίου Grain συγκριτικά με τον όγκο δεξαμενών φορτίου Bale

Διάγραμμα 48: $V_{\text{cargo GRAIN}}$ συναρτήσει του $DWT_{\text{scantling}}$ Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power2:

$$f(x) = a \cdot x^b + c$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$\begin{aligned} a &= 5.025 \quad (3.932, 6.119) \\ b &= 0.8754 \quad (0.8581, 0.8926) \\ c &= -2507 \quad (-4529, -484.8) \end{aligned}$$

Goodness of fit:

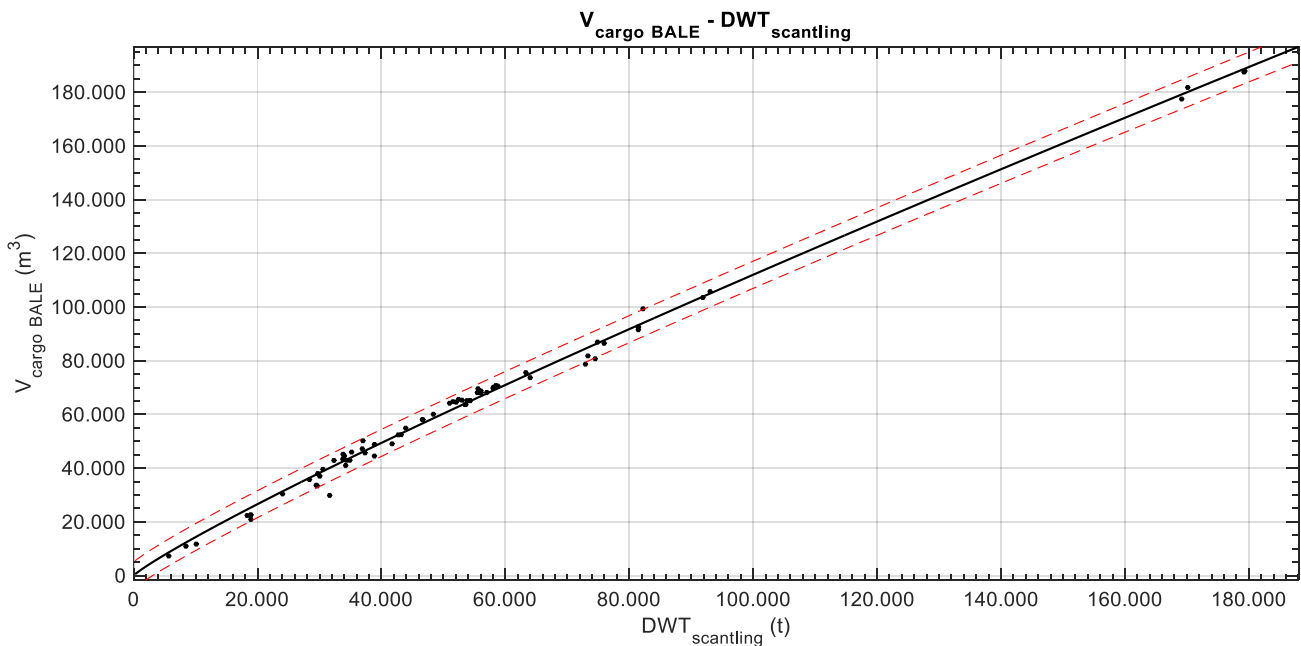
SSE: 5.372e+08

R-square: 0.999

Adjusted R-square: 0.999

RMSE: 1844

$$V_{\text{cargo GRAIN}} = 5.025 * DWT_{\text{scantling}}^{0.8754} - 2507$$



Διάγραμμα 49: $V_{cargo\ BALE}$ συναρτήσεσι του $DWT_{scantling}$

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power1:

$$f(x) = a * x^b$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 3.821 \quad (3.24, 4.402)$$

$$b = 0.8934 \quad (0.88, 0.9068)$$

Goodness of fit:

SSE: 4.514e+08

R-square: 0.9952

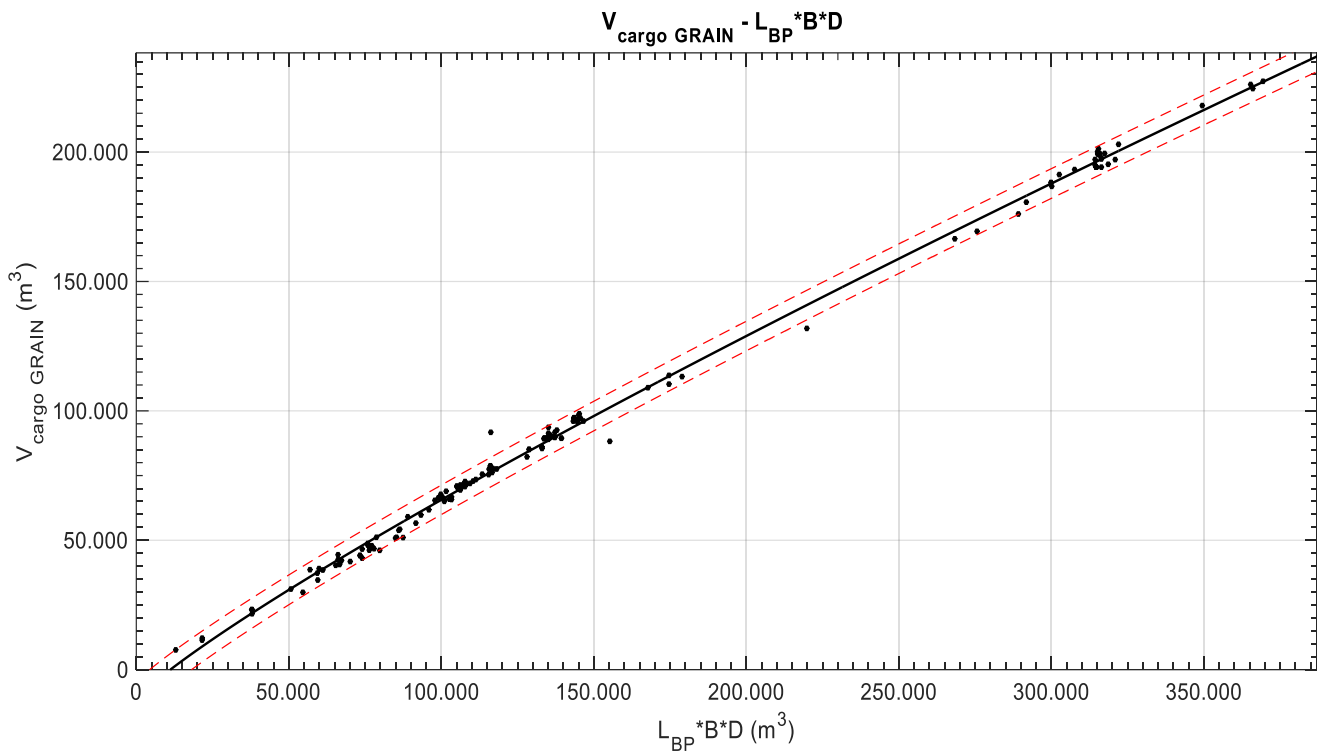
Adjusted R-square: 0.9952

RMSE: 2504

$$V_{cargo\ BALE} = 3.821 * DWT_{scantling}^{0.8934}$$

Παρατηρήσεις

Το διάγραμμα του όγκου φορτίου Grain και του Bale συναρτήσεσι του DWT αποτελεί μια ικανοποιητική συσχέτιση καθώς το βάρος φορτίου αποτελεί το μεγαλύτερο κομμάτι του DWT οπότε και η εξάρτηση είναι λογική. Βέβαια παρατηρούμε ότι το διάγραμμα του Grain έχει μικρότερες αποκλίσεις από το αντίστοιχο με το Bale καθώς οι καμπύλες πρόβλεψης είναι πιο κοντά στην προσεγγιστική. Αυτή η παρατήρηση ίσως να οφείλεται στο γεγονός ότι τα δεδομένα που είχαμε για Grain ήταν περισσότερα.



Διάγραμμα 50: $V_{cargo\ GRAIN}$ συναρτήσεσι του $L_{BP} * B * D$

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power2:

$$f(x) = a * x^b + c$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 3.711 \quad (2.327, 5.094)$$

$$b = 0.8637 \quad (0.8355, 0.8918)$$

$$c = -1.162e+04 \quad (-1.533e+04, -7906)$$

Goodness of fit:

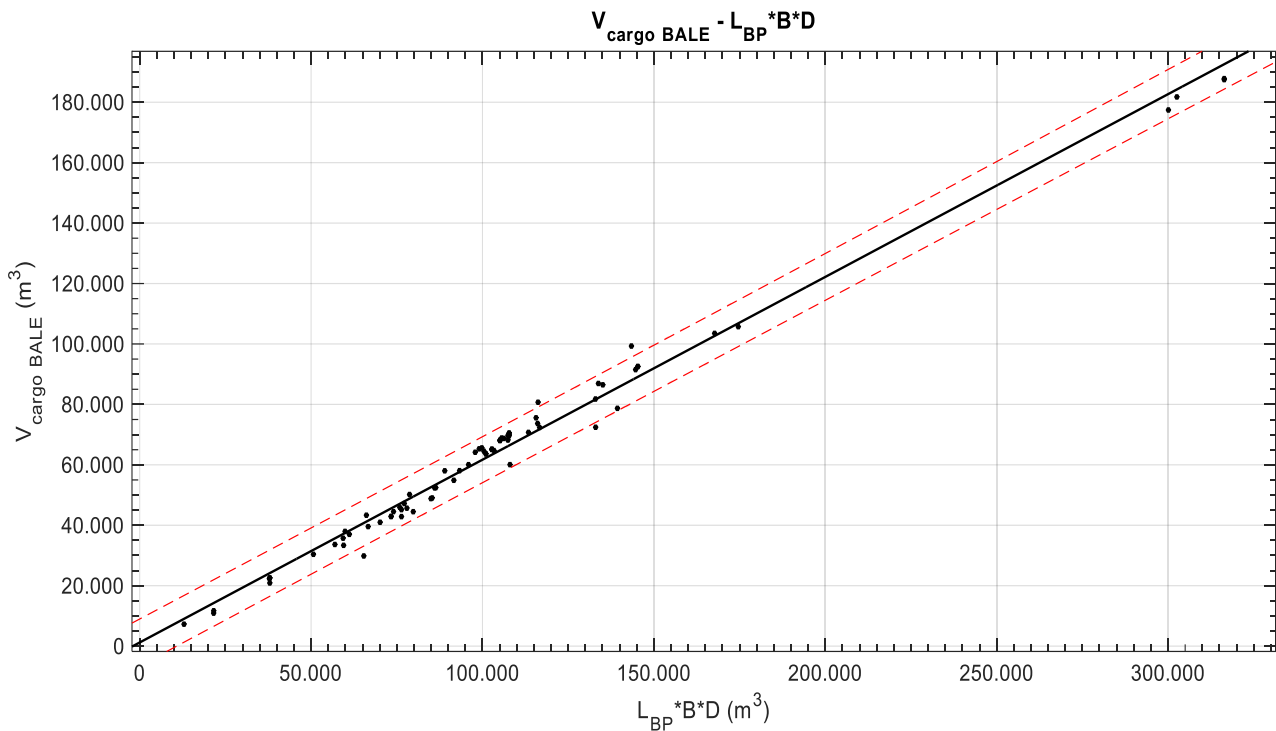
SSE: 1.329e+09

R-square: 0.9975

Adjusted R-square: 0.9974

RMSE: 2873

$$V_{cargo\ GRAIN} = 3.711 * (L_{BP} * B * D)^{0.8637} - 1.162 * 10^4$$



Διάγραμμα 51: $V_{cargo\ BALE}$ συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$

Αποτελέσματα προσέγγισης

Linear model Poly1:

$$f(x) = p1 * x + p2$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = 0.6049 \quad (0.5899, 0.6198)$$

$$p2 = 1208 \quad (-565.5, 2982)$$

Goodness of fit:

SSE: 1.081e+09

R-square: 0.9886

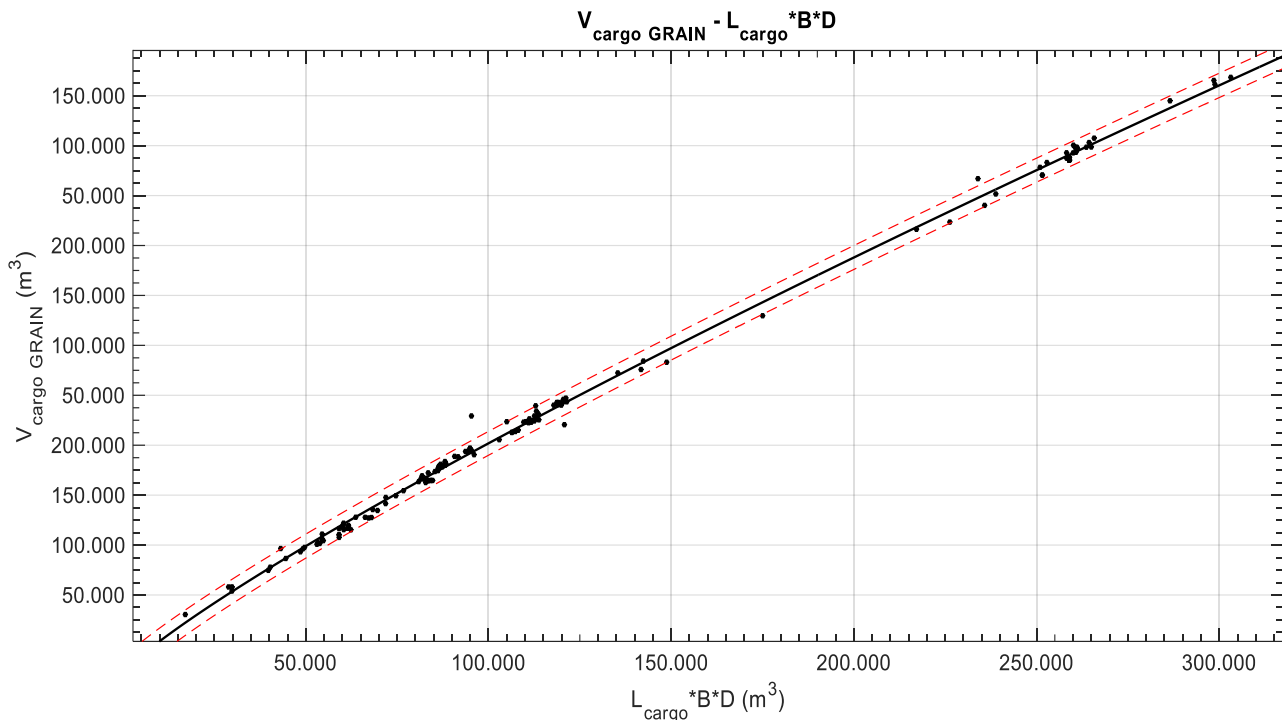
Adjusted R-square: 0.9885

RMSE: 3796

$$V_{cargo\ BALE} = 0.6049 * L_{BP} * B * D + 1208$$

Παρατηρήσεις

Και εδώ παρατηρούμε πως παρόλο που και τα δύο διαγράμματα έχουν πολύ καλές συσχετίσεις, το διάγραμμα του Grain παρουσιάζει ελάχιστα καλύτερα αποτελέσματα για τον ίδιο λόγο που έχουμε ήδη αναφέρει. Αυτό που προσέξαμε όμως είναι πως συγκριτικά τα διαγράμματα V_{cargo} - DWT και V_{cargo} - $L_{BP} * B * D$ και για τις δύο περιπτώσεις είναι σχεδόν ίδια και οι αποκλίσεις που έχουν είναι ελάχιστες καθώς και τα δύο εκφράζουν όγκο. Βέβαια στο διάγραμμα V_{cargo} - $L_{BP} * B * D$ παρατηρούμε μεγαλύτερες αποκλίσεις από το V_{cargo} - DWT και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το μήκος περιλαμβάνει και χώρους πέραν του φορτίου.



Διάγραμμα 52: $V_{\text{cargo GRAIN}}$ συναρτήσεως του $L_{\text{cargo}} * B * D$

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power2:

$$f(x) = a * x^b + c$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 4.947 \quad (3.234, 6.661)$$

$$b = 0.8541 \quad (0.8275, 0.8806)$$

$$c = -1.142e+04 \quad (-1.5e+04, -7840)$$

Goodness of fit:

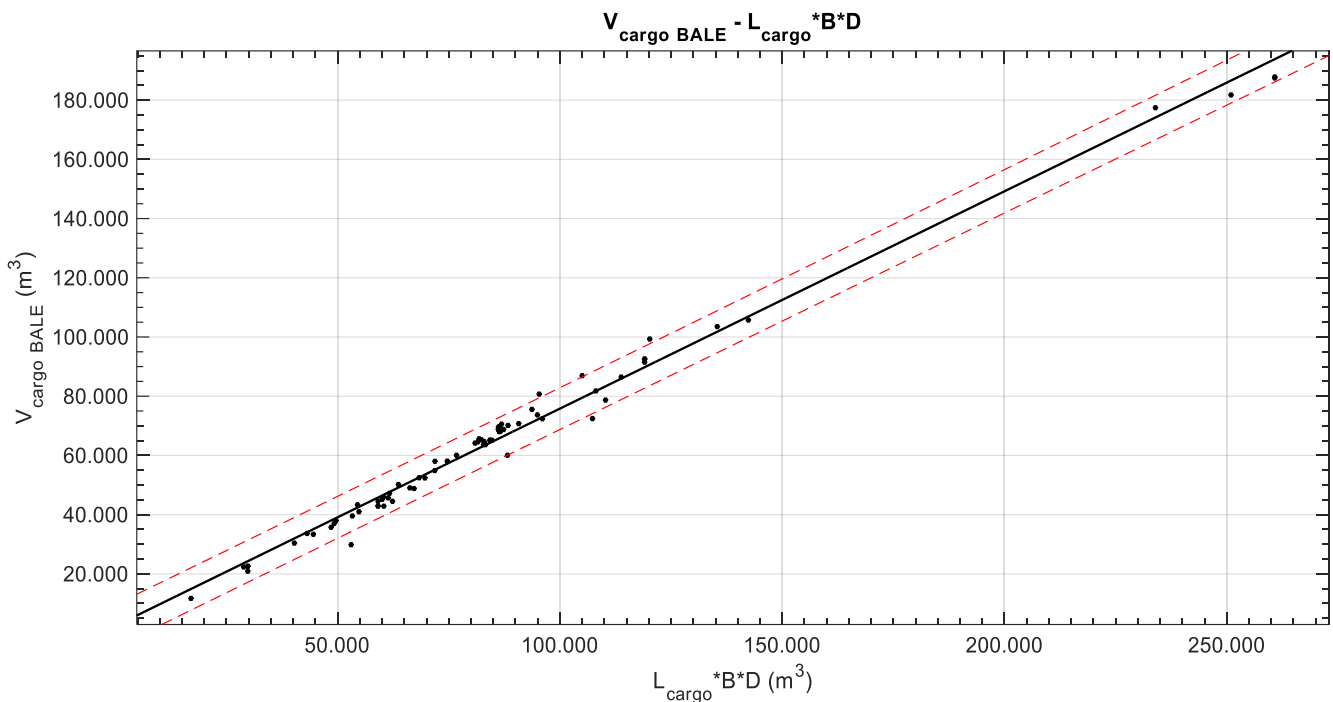
SSE: 9.146e+08

R-square: 0.9982

Adjusted R-square: 0.9982

RMSE: 2406

$$V_{\text{cargo GRAIN}} = 4.947 * (L_{\text{cargo}} * B * D)^{0.8541} - 1.142 * 10^4$$



Διάγραμμα 53: $V_{cargo\ BALE}$ συναρτήσεϊ του $L_{cargo} * B * D$

Αποτελέσματα προσέγγισης

Linear model Poly1:

$$f(x) = p1 * x + p2$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = 0.734 (0.7167, 0.7514)$$

$$p2 = 2399 (702.7, 4095)$$

Goodness of fit:

SSE: 9.016e+08

R-square: 0.9898

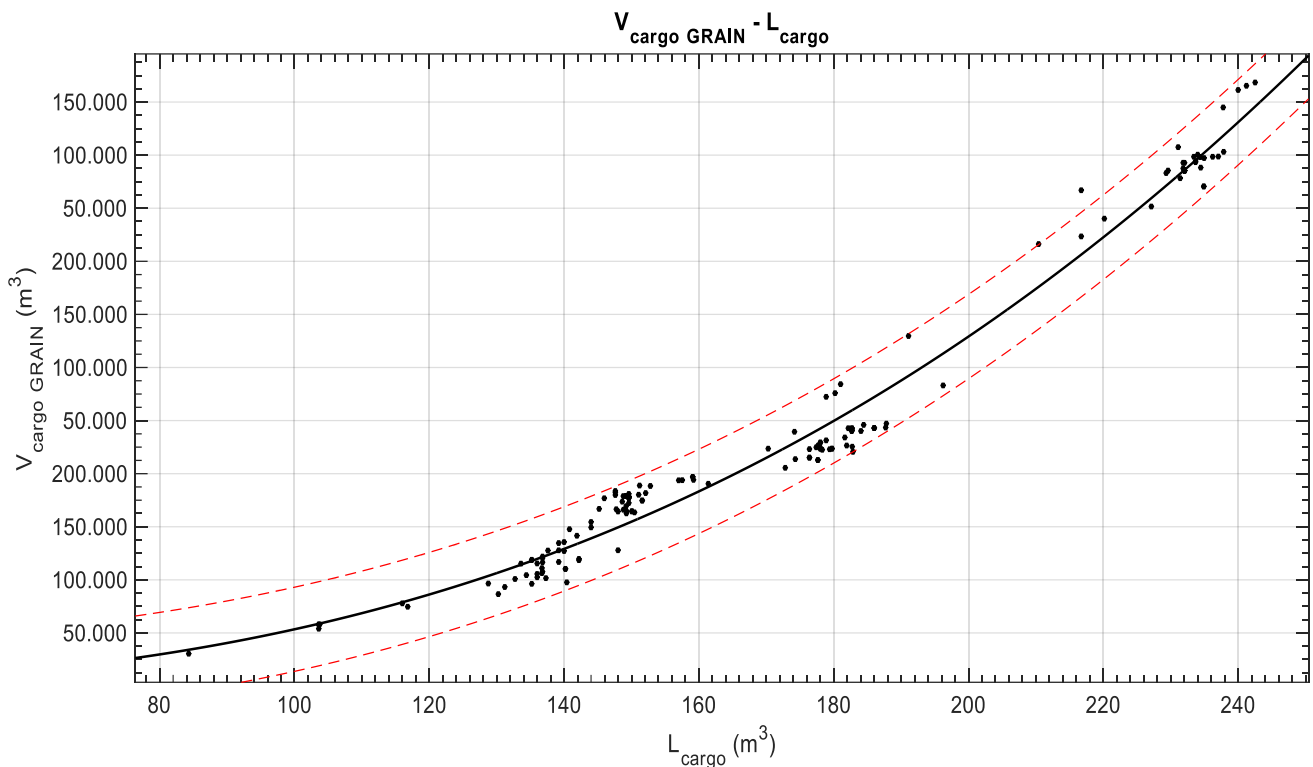
Adjusted R-square: 0.9897

RMSE: 3514

$$V_{cargo\ BALE} = 0.734 * L_{cargo} * B * D + 2399$$

Παρατηρήσεις

Παρόμοια είναι και πάλι τα διαγράμματα, με πολύ καλύτερη διασπορά των σημείων από τα αντίστοιχα με το μήκος L_{BP} , καθώς βλέπουμε ότι ο όγκος εκτιμάται με μεγαλύτερη ακρίβεια αφού με τον περιορισμό που θέσαμε για το μήκος σε μήκος φορτίου, ο όγκος περιορίζεται κοντά στον όγκο φορτίου οπότε η προσέγγιση είναι πολύ καλύτερη κάτι άλλωστε που αναμέναμε.



Διάγραμμα 54: $V_{\text{cargo GRAIN}}$ συναρτήσεσι του L_{cargo}

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power1:

$$f(x) = a \cdot x^b$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 0.1213 \quad (0.07927, 0.1634)$$

$$b = 2.623 \quad (2.558, 2.688)$$

Goodness of fit:

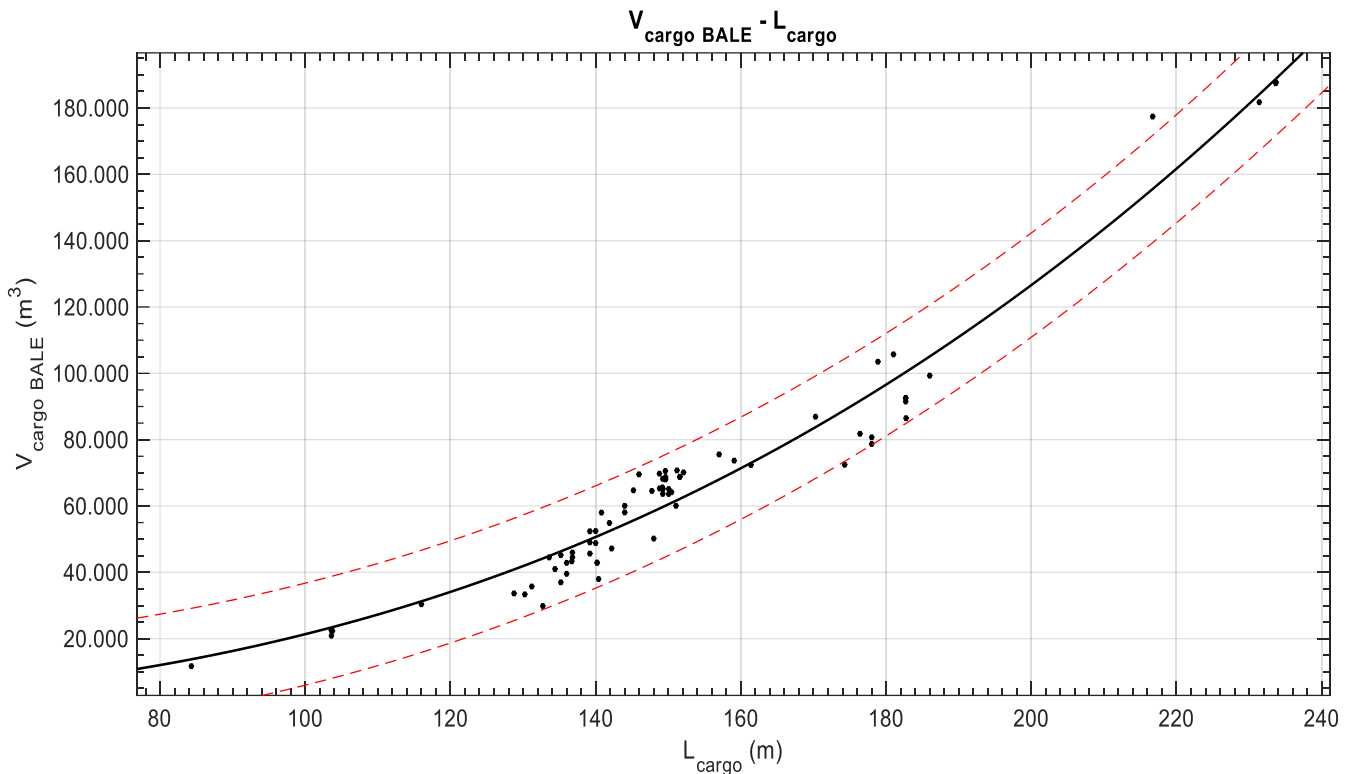
SSE: $1.019e+10$

R-square: 0.9801

Adjusted R-square: 0.98

RMSE: 8007

$$V_{\text{cargo GRAIN}} = 0.1213 * L_{\text{cargo}}^{2.623}$$



Διάγραμμα 55: $V_{cargo\ BALE}$ συναρτήσεως του L_{cargo}

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power1:

$$f(x) = a \cdot x^b$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 0.1565 \quad (0.05944, 0.2535)$$

$$b = 2.568 \quad (2.448, 2.687)$$

Goodness of fit:

SSE: 4.305e+09

R-square: 0.9515

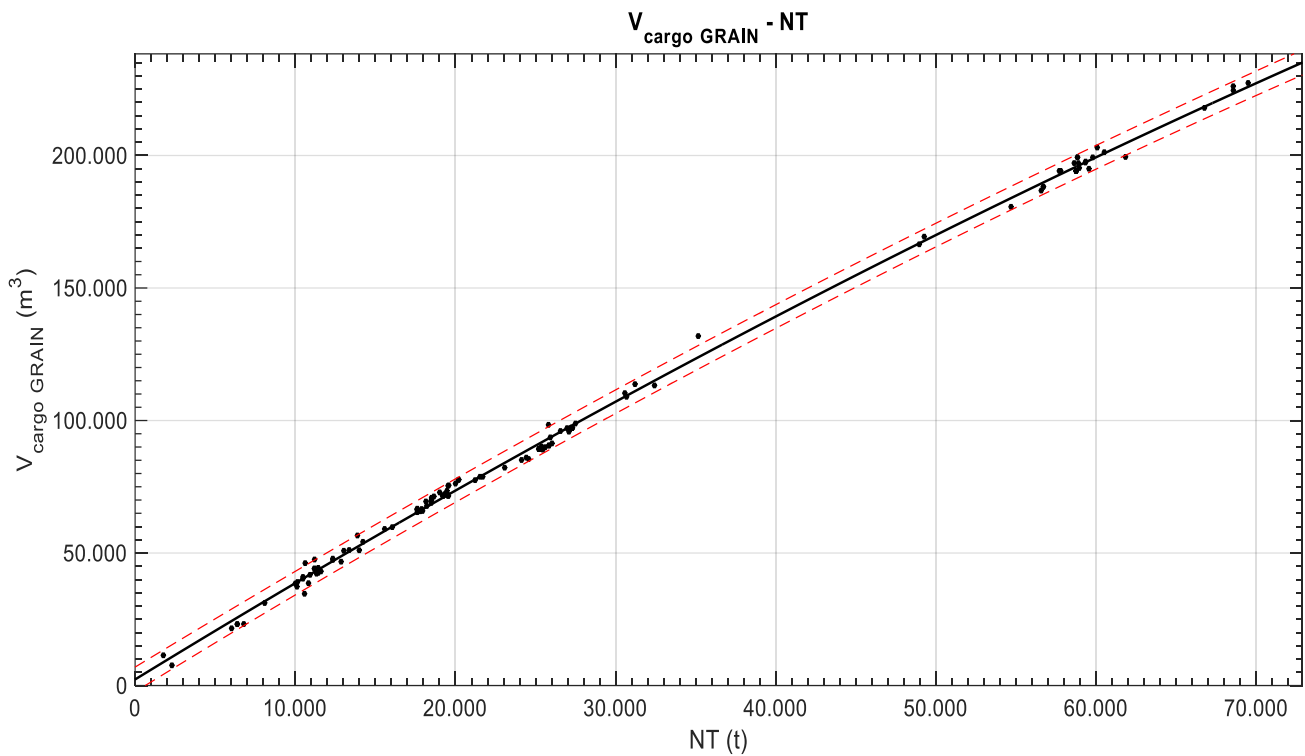
Adjusted R-square: 0.9508

RMSE: 7680

$$V_{cargo\ BALE} = 0.1565 \cdot L_{cargo} + 2.568$$

Παρατηρήσεις

Συγκρίνοντας τα δύο πιο πάνω διαγράμματα κάποιος θα έλεγε ότι είναι ίδια, κάτι που έχει βάση καθώς κυριολεκτικά η μόνη διαφορά είναι στο ότι τα δεδομένα που είχαμε στη διάθεση μας για το Grain ήταν περισσότερα, κάτι που αντιμετωπίσαμε και στα πιο πάνω διαγράμματα. Στα συγκεκριμένα διαγράμματα παρατηρούμε ότι αν πάρουμε ξεχωριστά τις κύριες διαστάσεις και στην περίπτωση μας το L_{cargo} , έχουμε μεγαλύτερες αποκλίσεις σε σχέση με το αντίστοιχο διάγραμμα συναρτήσεως του γινομένου $L_{cargo} \cdot B \cdot D$ το οποίο είναι λογικό καθώς δεν εκφράζει όγκο η μια κύρια διάσταση από μόνη της.



Διάγραμμα 56: $V_{\text{cargo GRAIN}}$ συναρτήσει του NT

Αποτελέσματα προσέγγισης

Linear model Poly2:

$$f(x) = p1 \cdot x^2 + p2 \cdot x + p3$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = -6.982e-06 \quad (-8.443e-06, -5.521e-06)$$

$$p2 = 3.703 \quad (3.594, 3.812)$$

$$p3 = 2300 \quad (754.1, 3846)$$

Goodness of fit:

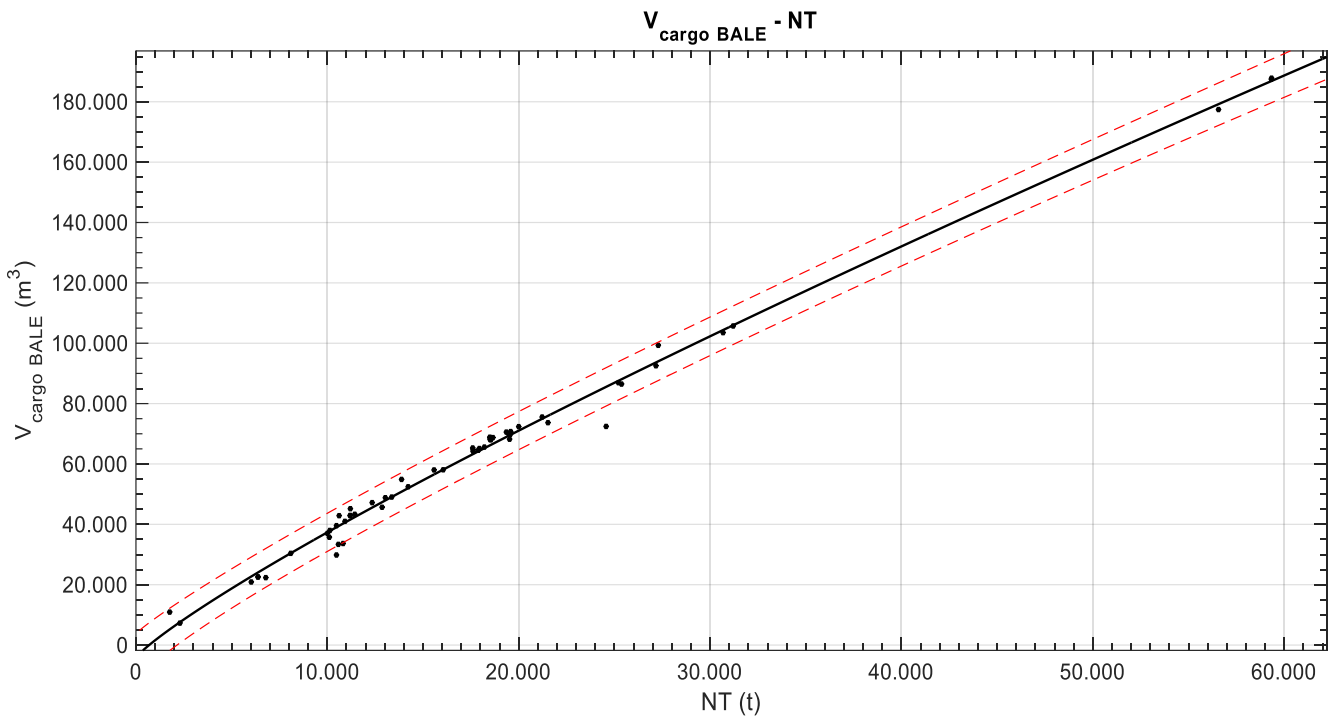
SSE: $6.328e+08$

R-square: 0.9986

Adjusted R-square: 0.9985

RMSE: 2223

$$V_{\text{cargo GRAIN}} = -6.982 \cdot 10^{-6} \cdot NT^2 + 3.703 \cdot NT + 2300$$



Διάγραμμα 57 : $V_{cargo\ BALE}$ συναρτήσεσι του NT

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power2:

$$f(x) = a \cdot x^b + c$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$\begin{aligned} a &= 15.49 \quad (6.566, 24.41) \\ b &= 0.8571 \quad (0.8059, 0.9082) \\ c &= -4196 \quad (-9115, 723.5) \end{aligned}$$

Goodness of fit:

SSE: $5.33e+08$

R-square: 0.9928

Adjusted R-square: 0.9926

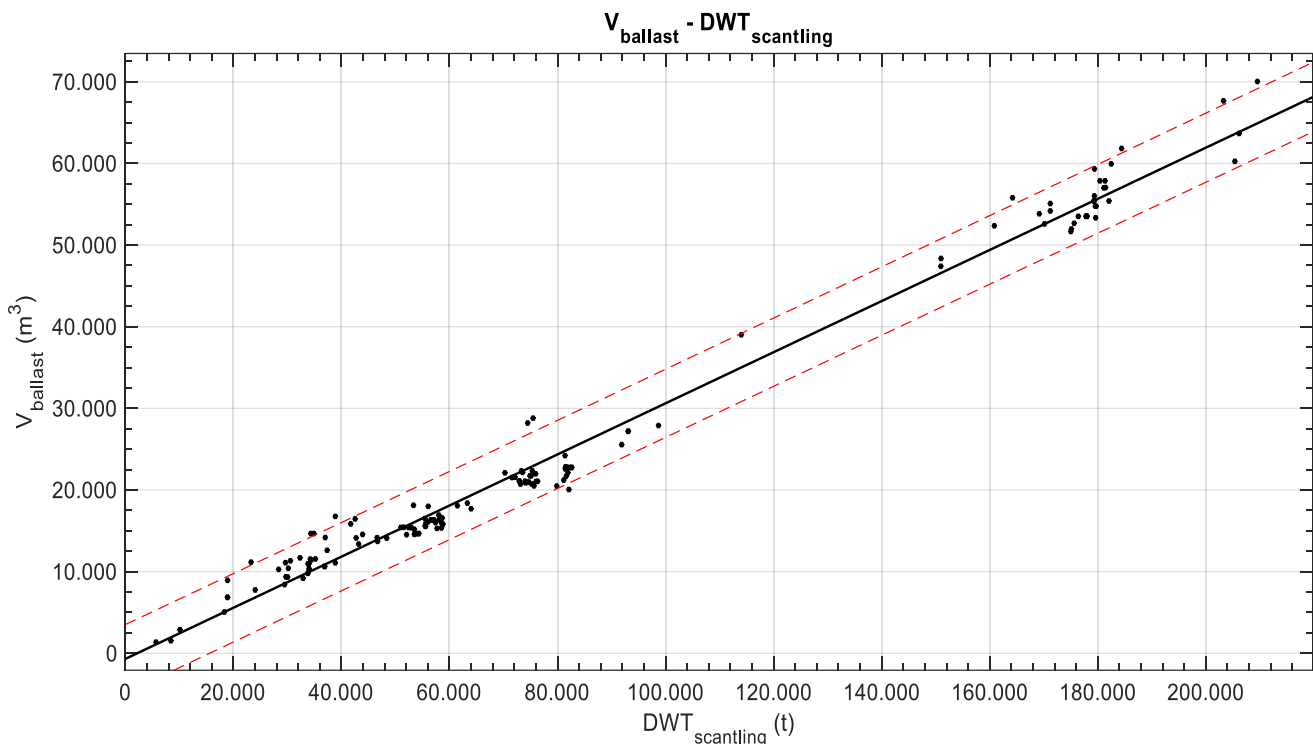
RMSE: 3113

$$V_{cargo\ BALE} = 15.49 \cdot NT^{0.8571} - 4196$$

Παρατηρήσεις

Βλέπουμε μια αρκετά καλή συσχέτιση ανάμεσα στα δύο μεγέθη με ελάχιστες αποκλίσεις καθώς οι καμπύλες πρόβλεψης σχεδόν ταυτίζονται με την προσεγγιστική καμπύλη. Επίσης γνωρίζουμε ότι η καθαρή χωρητικότητα σχετίζεται άμεσα με το χώρο φορτίου έτσι και το αποτέλεσμα της συσχέτισης ήταν αναμενόμενο. Και εδώ παρατηρούμε το φαινόμενο ότι το Grain παρουσιάζει καλύτερη συσχέτιση και είναι λογικό καθώς με λιγότερα δεδομένα η συσχέτιση θα έχει μεγαλύτερες αποκλίσεις.

4.8.2. Χωρητικότητα δεξαμενών έρματος (Ballast Water)

Διάγραμμα 58: $V_{ballast}$ συναρτήσει του $DWT_{scantling}$ Αποτελέσματα προσέγγισης

Linear model Poly1:

$$f(x) = p1 * x + p2$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = 0.3131 \quad (0.307, 0.3191)$$

$$p2 = -688.4 \quad (-1293, -84)$$

Goodness of fit:

SSE: 6.784e+08

R-square: 0.9856

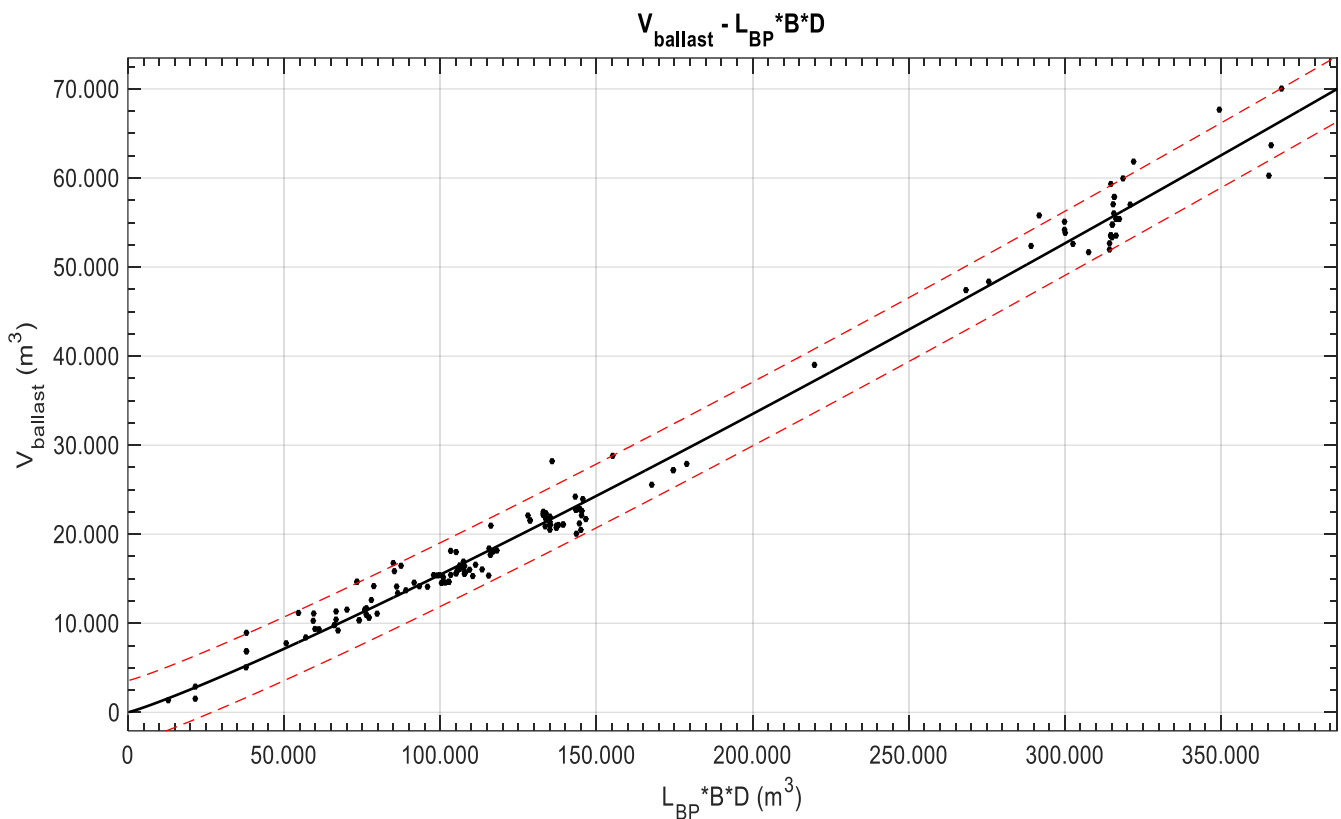
Adjusted R-square: 0.9855

RMSE: 2106

$$V_{ballast} = 0.3131 * DWT_{scantling} - 688.4$$

Παρατηρήσεις

Πολύ καλή προσέγγιση παρουσιάζει η εκτίμηση χώρου έρματος συναρτήσει του DWT, παρατηρούμε πως τα πλείστα σημεία είναι εντός των καμπυλών πρόβλεψης εκτός ενός μικρού αριθμού που παρόλο που βρίσκονται εκτός είναι πολύ κοντά στις καμπύλες πρόβλεψης. Έτσι μπορεί να γίνει μια σχετικά ικανοποιητική προκαταρκτική εκτίμηση του συνολικού όγκου των δεξαμενών έρματος γνωρίζοντας το DWT.



Διάγραμμα 59: $V_{ballast}$ συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power1:

$$f(x) = a * x^b$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 0.04094 (0.03027, 0.05161)$$

$$b = 1.115 (1.094, 1.136)$$

Goodness of fit:

SSE: 5.207e+08

R-square: 0.989

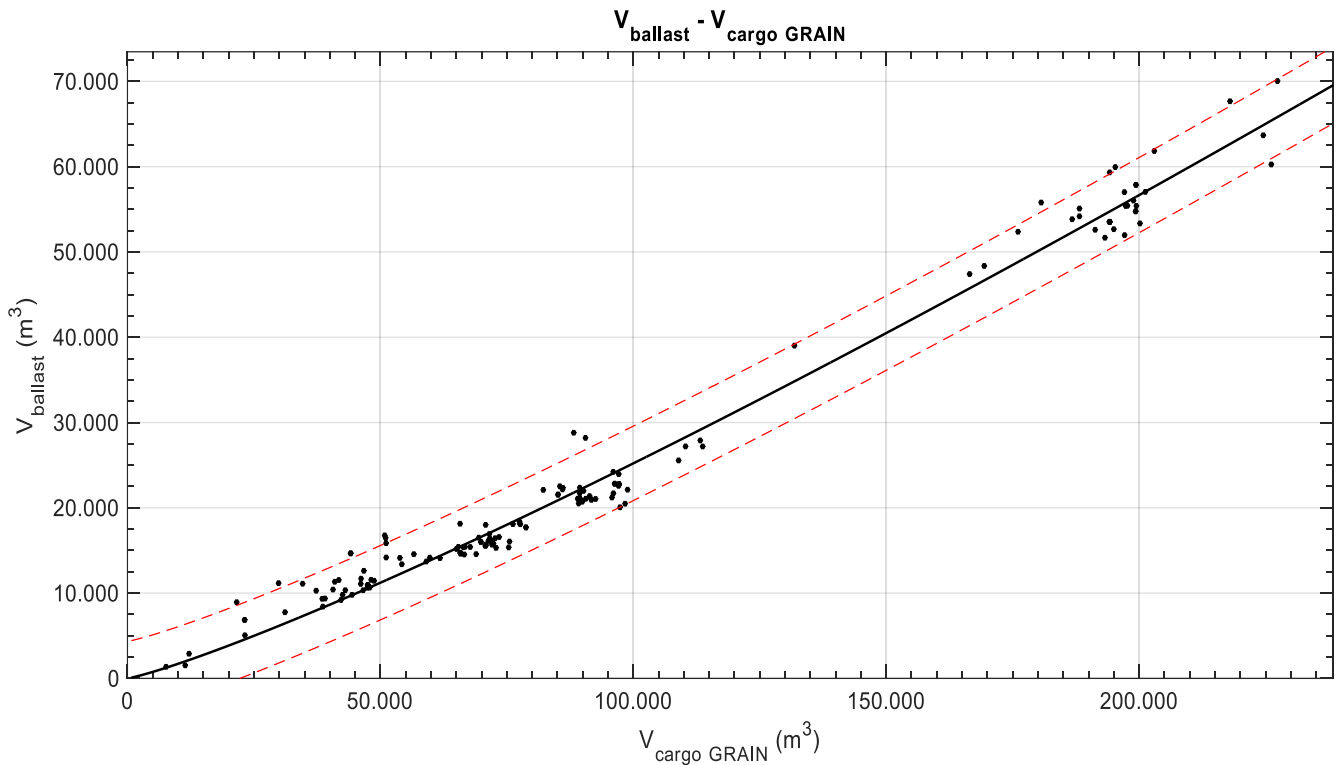
Adjusted R-square: 0.9889

RMSE: 1804

$$V_{ballast} = 0.04094 * L_{BP} * B * D + 1.115$$

Παρατηρήσεις

Η πρώτη παρατήρηση που κάνουμε είναι πως η χωρητικότητα του έρματος μπορεί να εκτιμηθεί καλύτερα με το γινόμενο $L_{BP} * B * D$ αντί με το DWT καθώς οι παράμετροι ποιότητας είναι καλύτεροι με μικρές τάξεις αποκλίσεις.



Διάγραμμα 60: $V_{ballast}$ συναρτήσει του $V_{cargo\ GRAIN}$

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power1:

$$f(x) = a \cdot x^b$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 0.0363 \quad (0.02451, 0.04809)$$

$$b = 1.168 \quad (1.141, 1.195)$$

Goodness of fit:

SSE: 7.744e+08

R-square: 0.9836

Adjusted R-square: 0.9835

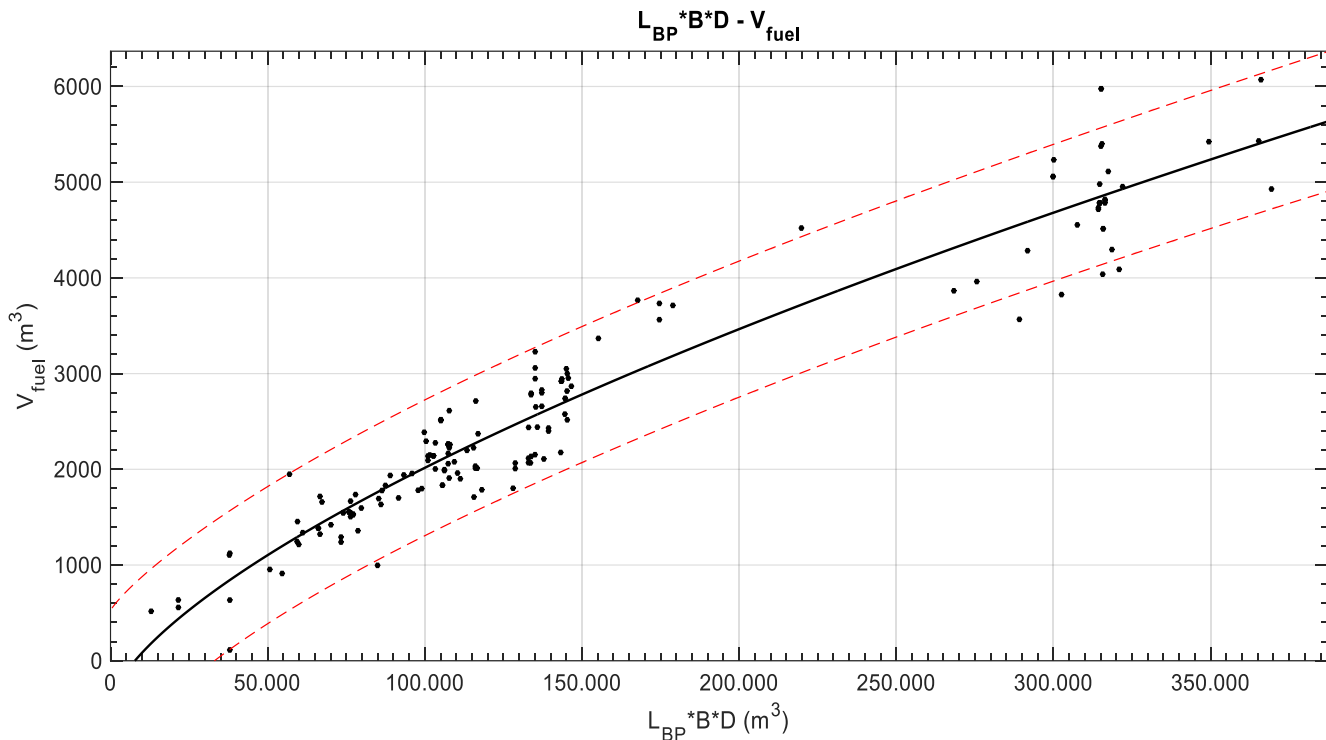
RMSE: 2200

$$V_{ballast} = 0.0363 * V_{cargo\ GRAIN}^{1.168}$$

Παρατηρήσεις

Βλέπουμε μια σχετικά καλή εκτίμηση του όγκου έρματος, και αυτό που παρατηρούμε είναι πως τα ίδια σημεία που έχουν την μεγαλύτερη απόκλιση στο διάγραμμα $V_{ballast}$ -DWT από την καμπύλη προσέγγισης συνεχίζουν να συμπεριφέρονται και σε αυτό το διάγραμμα με τον ίδιο τρόπο.

4.8.3. Χωρητικότητα δεξαμενών καυσίμου (Fuel Oil Capacity)

Διάγραμμα 61: V_{fuel} συνάρτησι του $L_{BP} * B * D$ Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power2:

$$f(x) = a * x^b + c$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$\begin{aligned} a &= 1.129 \quad (-0.9747, 3.234) \\ b &= 0.6677 \quad (0.5298, 0.8056) \\ c &= -446.8 \quad (-1118, 224.5) \end{aligned}$$

Goodness of fit:

SSE: 2.033e+07

R-square: 0.927

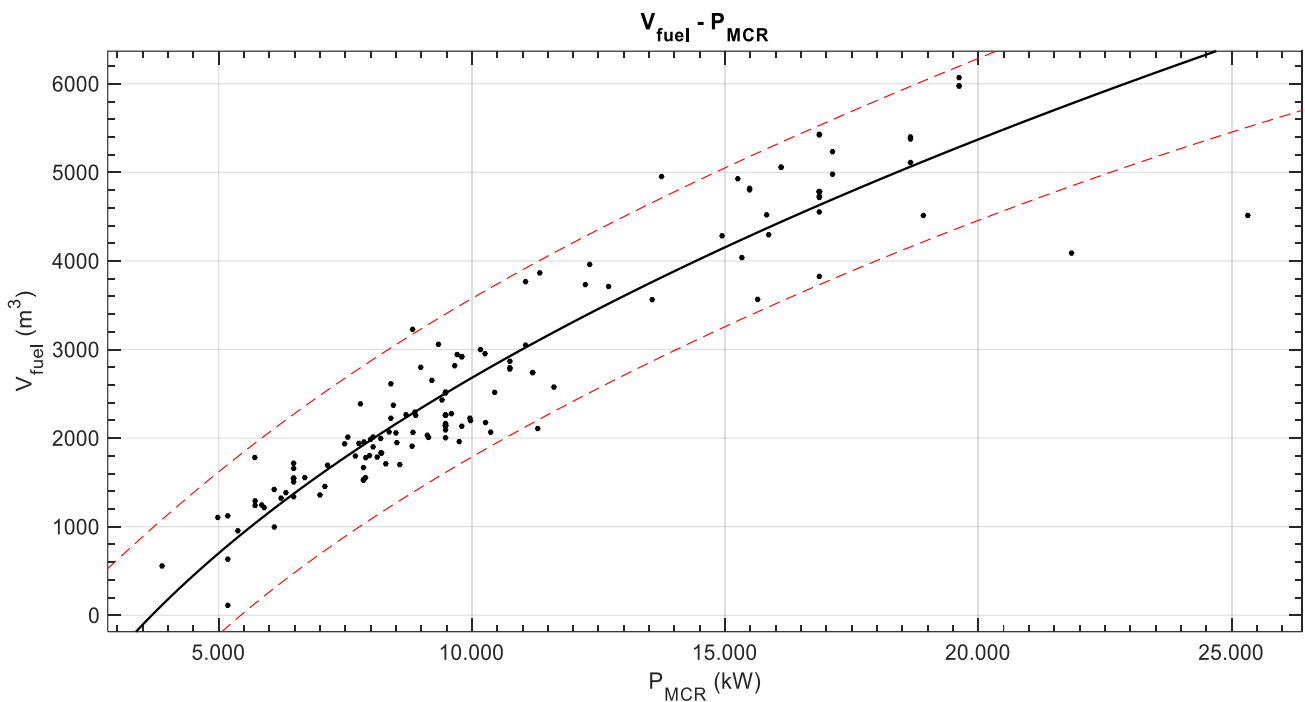
Adjusted R-square: 0.9261

RMSE: 357.6

$$V_{fuel} = 1.129 * (L_{BP} * B * D)^{0.6677} - 446.8$$

Παρατηρήσεις

Και εδώ βλέπουμε ότι τα σημεία έχουν μεγάλη απόκλιση από την προσεγγιστική καμπύλη, μειώνονται δηλαδή οι παράμετροι ποιότητας αλλά μπορούμε να πούμε ότι παραμένουν σε ικανοποιητική τάξη μεγέθους. Υπάρχουν κάποιες περιοχές όπου υπάρχει ένα σταθερό γινόμενο για διαφορετικές χωρητικότητες δεξαμενών καυσίμου και αυτό οφείλεται στο ότι υπάρχουν περιορισμοί λόγω περατότητας της διαδρομής, των εγκαταστάσεων των λιμανιών και των διυλιστηρίων.



Διάγραμμα 62: V_{fuel} συναρτήσεϊ του P_{MCR}

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power2:

$$f(x) = a \cdot x^b + c$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 128.3 \quad (-286.8, 543.4)$$

$$b = 0.4418 \quad (0.1627, 0.721)$$

$$c = -4829 \quad (-9768, 109.9)$$

Goodness of fit:

SSE: 2.853e+07

R-square: 0.8899

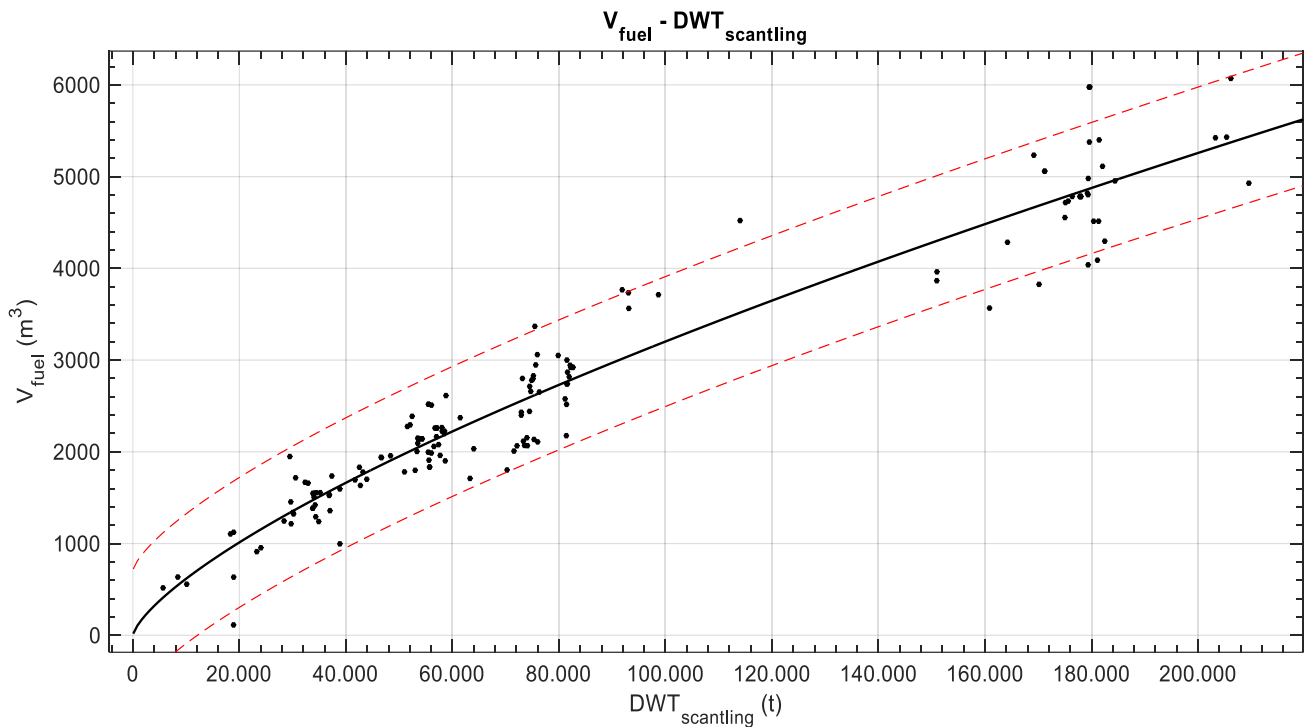
Adjusted R-square: 0.8883

RMSE: 449.9

$$V_{fuel} = 128.3 * P_{MCR}^{0.4418} - 4829$$

Παρατηρήσεις

Γνωρίζουμε ότι η ισχύς MCR έχει άμεση συσχέτιση με την χωρητικότητα δεξαμενών καυσίμου καθώς είναι αυτή που καθορίζει την κατανάλωση που χρειάζεται το πλοίο και κατ' επέκταση την απαίτηση σε ποσότητα καυσίμου.



Διάγραμμα 63: V_{fuel} συναρτήσει του $DWT_{scantling}$

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power1:

$$f(x) = a \cdot x^b$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 0.8486 \quad (0.5095, 1.188)$$

$$b = 0.7154 \quad (0.6812, 0.7495)$$

Goodness of fit:

SSE: 1.949e+07

R-square: 0.9294

Adjusted R-square: 0.929

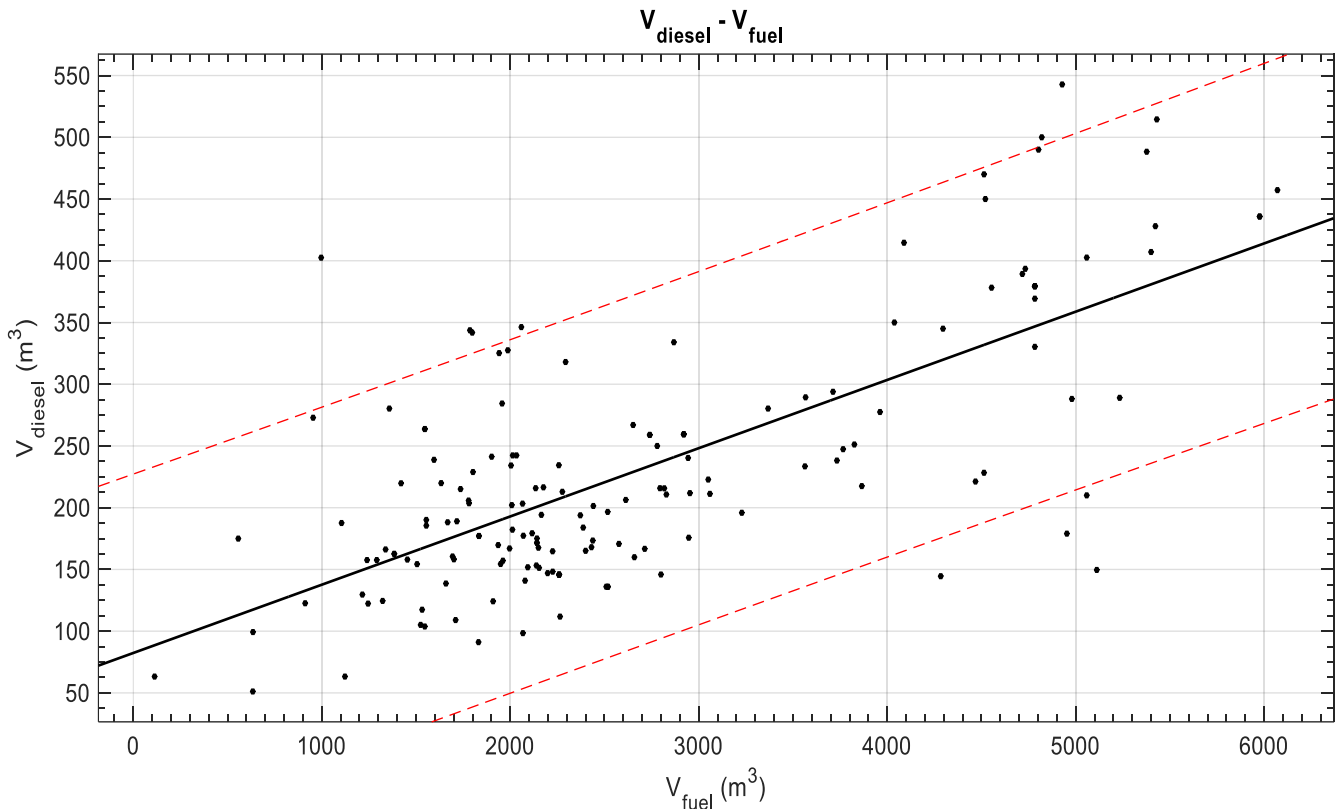
RMSE: 356.9

$$V_{fuel} = 0.8486 * DWT_{scantling}^{0.7154}$$

Παρατηρήσεις

Υπάρχουν ορισμένα σημεία που ξεφεύγουν ελάχιστα από την προσεγγιστική καμπύλη και από τις καμπύλες πρόβλεψης αλλά βρίσκονται στα όρια πρόβλεψης. Οπότε μπορούμε να κάνουμε μια πρώτη εκτίμηση της χωρητικότητας δεξαμενών καυσίμου γνωρίζοντας το DWT.

4.8.4. Χωρητικότητα δεξαμενών Diesel (Diesel Oil)

Διάγραμμα 64: V_{diesel} συναρτήσει του V_{fuel} Αποτελέσματα προσέγγισης

Linear model Poly1:

$$f(x) = p1 * x + p2$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = 0.05528 \quad (0.0467, 0.06386)$$

$$p2 = 82.36 \quad (56.59, 108.1)$$

Goodness of fit:

SSE: 8.235e+05

R-square: 0.5064

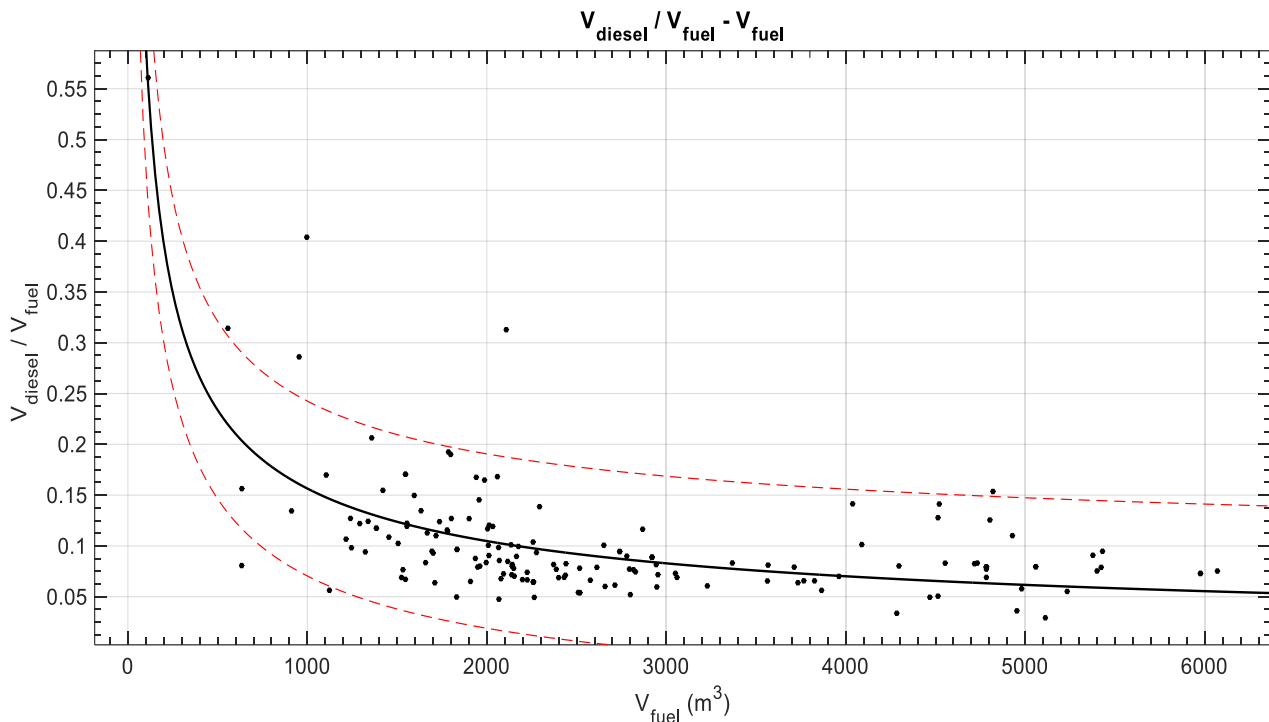
Adjusted R-square: 0.5033

RMSE: 72.19

$$V_{diesel} = 0.05528 * V_{fuel} + 82.36$$

Παρατηρήσεις

Όπως φαίνεται πιο πάνω το διάγραμμα ανάμεσα στο $V_{diesel} - V_{fuel}$ δεν έχει πάρα πολύ ικανοποιητική προσέγγιση αφού οι αποκλίσεις είναι μεγάλες καθώς οι καμπύλες πρόβλεψης απέχουν αρκετά από την προσεγγιστική καμπύλη. Το αποτέλεσμα που λάβαμε έχει να κάνει με το γεγονός ότι το κάθε πλοίο έχει διαφορετική μηχανή, παρόλα αυτά μπορεί να μας δώσει ένα εύρος τιμών στο στάδιο της προμελέτης.



Διάγραμμα 65: V_{diesel}/V_{fuel} συναρτήσεως του V_{fuel}

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power1:

$$f(x) = a \cdot x^b$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 8.515 \quad (5.17, 11.86)$$

$$b = -0.5786 \quad (-0.6334, -0.5237)$$

Goodness of fit:

SSE: 0.298

R-square: 0.5134

Adjusted R-square: 0.5104

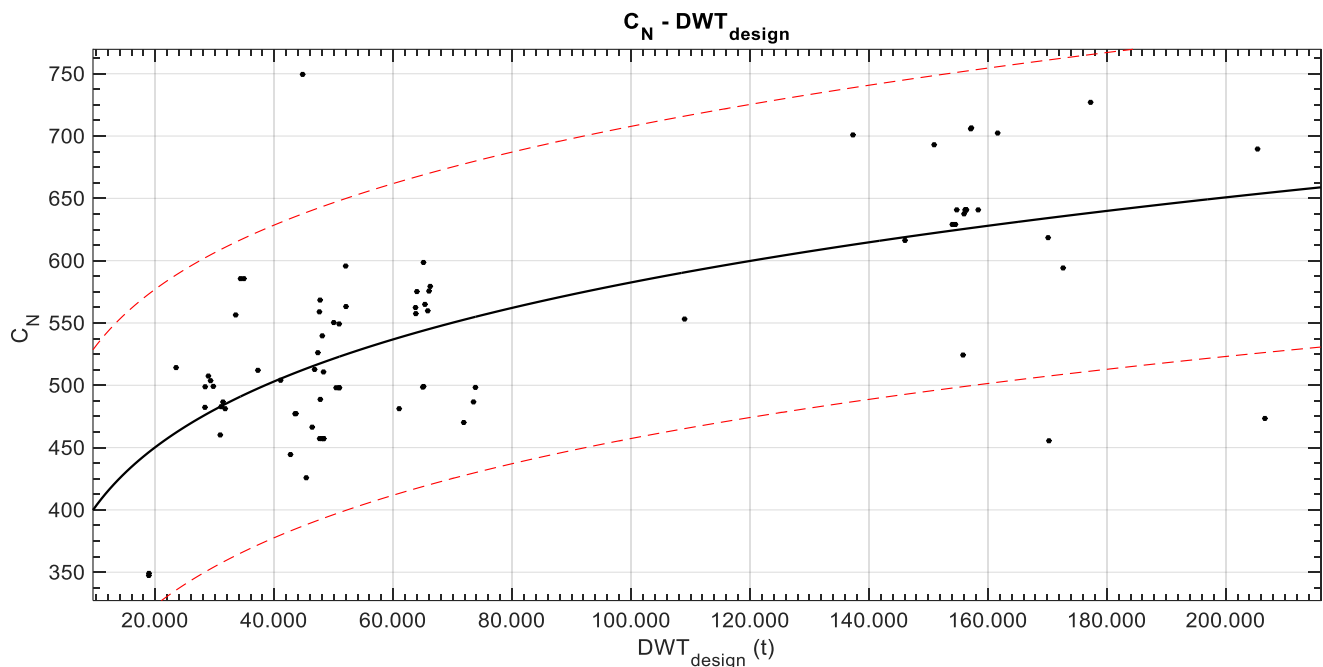
RMSE: 0.04329

$$\frac{V_{diesel}}{V_{fuel}} = 8.515 * V_{fuel}^{-0.5786}$$

Παρατηρήσεις

Και εδώ βλέπουμε ότι η ποιότητα προσέγγισης δεν είναι ικανοποιητική καθώς η μόνη πληροφορία που μπορούμε να πάρουμε από το διάγραμμα είναι ότι ο λόγος κυμαίνεται ανάμεσα στο 0.02-0.56 και ότι με την αύξηση της χωρητικότητας δεξαμενών καυσίμου ο λόγος μειώνεται.

4.9. Εκτίμηση Ισχύος Πρόωσης



Διάγραμμα 66: C_N συναρτήσεϊ του DWT_{design}

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power1:

$$f(x) = a \cdot x^b$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 92.47 \quad (52.43, 132.5)$$

$$b = 0.1599 \quad (0.1214, 0.1984)$$

Goodness of fit:

SSE: 3.036e+05

R-square: 0.4645

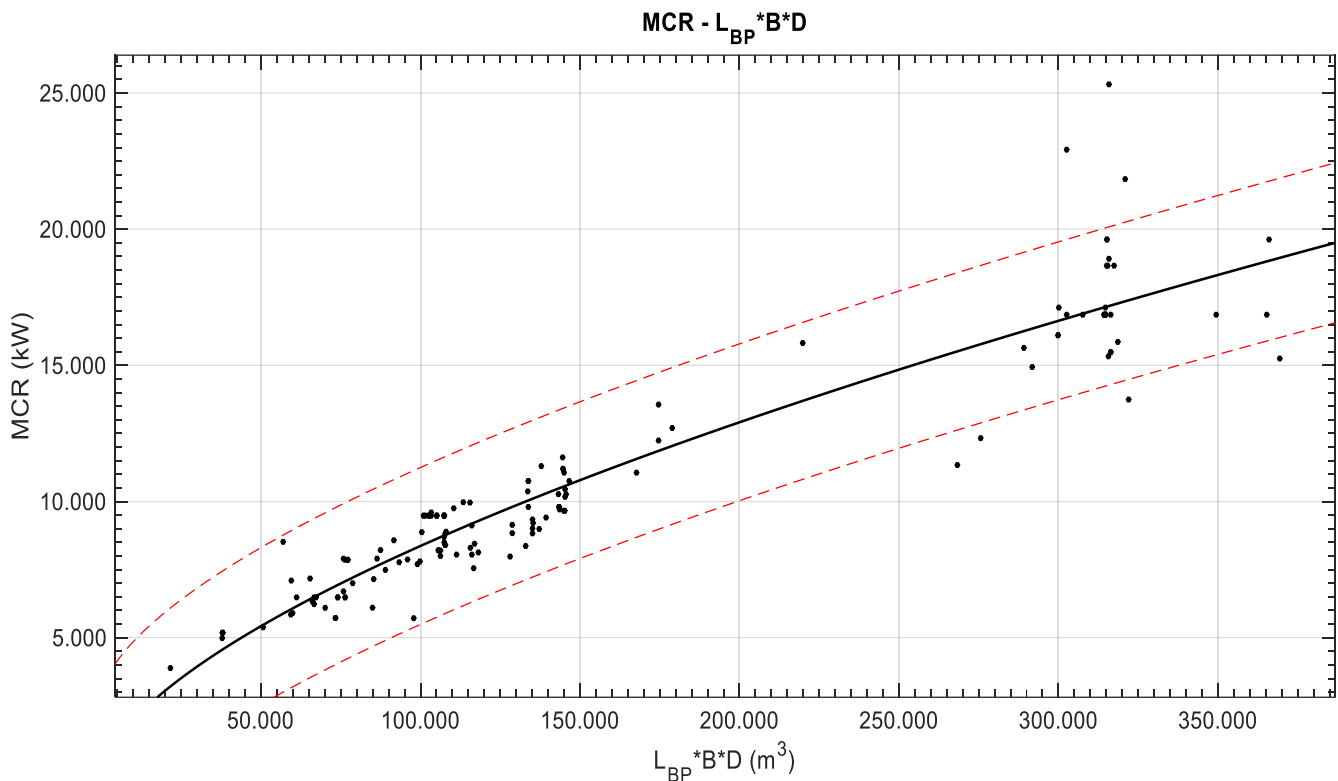
Adjusted R-square: 0.4576

RMSE: 62.39

$$C_N = 92.47 * DWT_{design}^{0.1599}$$

Παρατηρήσεις

Στο συγκεκριμένο διάγραμμα φαίνεται η συσχέτιση του συντελεστή ναυαρχείου συναρτήσεϊ του DWT. Φαίνεται ότι η προσέγγιση δεν είναι η καλύτερη καθώς οι καμπύλες πρόβλεψης απέχουν πολύ από την καμπύλη προσέγγισης. Επίσης τα δεδομένα που διαθέταμε δεν ήταν αρκετά αλλά μπορούμε να δούμε τα όρια που μπορεί να μας δώσει για συγκεκριμένα DWT.



Διάγραμμα 67: MCR συναρτήσει του $L_{BP} * B * D$

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power1:

$$f(x) = a * x^b$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 6.237 \quad (3.335, 9.139)$$

$$b = 0.6255 \quad (0.5875, 0.6636)$$

Goodness of fit:

SSE: 3.073e+08

R-square: 0.8841

Adjusted R-square: 0.8833

RMSE: 1451

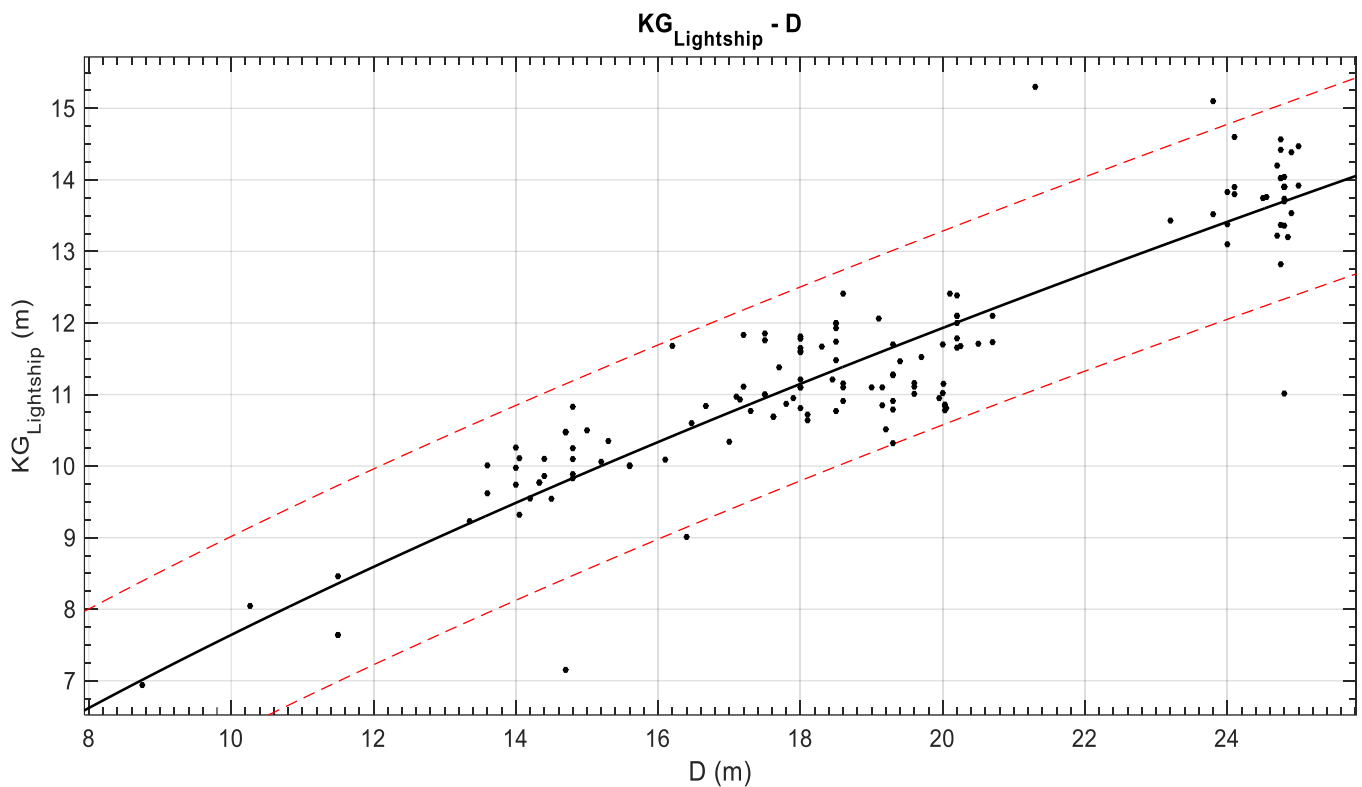
$$MCR = 6.237 * (L_{BP} * B * D)^{0.6255}$$

Παρατηρήσεις

Παρατηρούμε ότι το πιο πάνω διάγραμμα έχει την ίδια μορφή με το αντίστοιχο του DWT σαφώς όμως η ποιότητα της είναι πολύ καλύτερη καθώς τα σημεία προσεγγίζουν καλύτερα την προσεγγιστική καμπύλη και οι καμπύλες πρόβλεψης είναι πολύ πιο κοντά στην προσεγγιστική καμπύλη. Μια άλλη λεπτομέρεια είναι ότι μας δείχνει την επίδραση του όγκου της γάστρας στο MCR.

4.10. Κέντρα βαρών (Centers of Gravity)

4.10.1. Κέντρο βάρους Lightship

Διάγραμμα 68: KG_{LS} συναρτήσεως του D Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power1:

$$f(x) = a \cdot x^b$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 1.739 \quad (1.481, 1.998)$$

$$b = 0.6428 \quad (0.593, 0.6927)$$

Goodness of fit:

SSE: 66.65

R-square: 0.8279

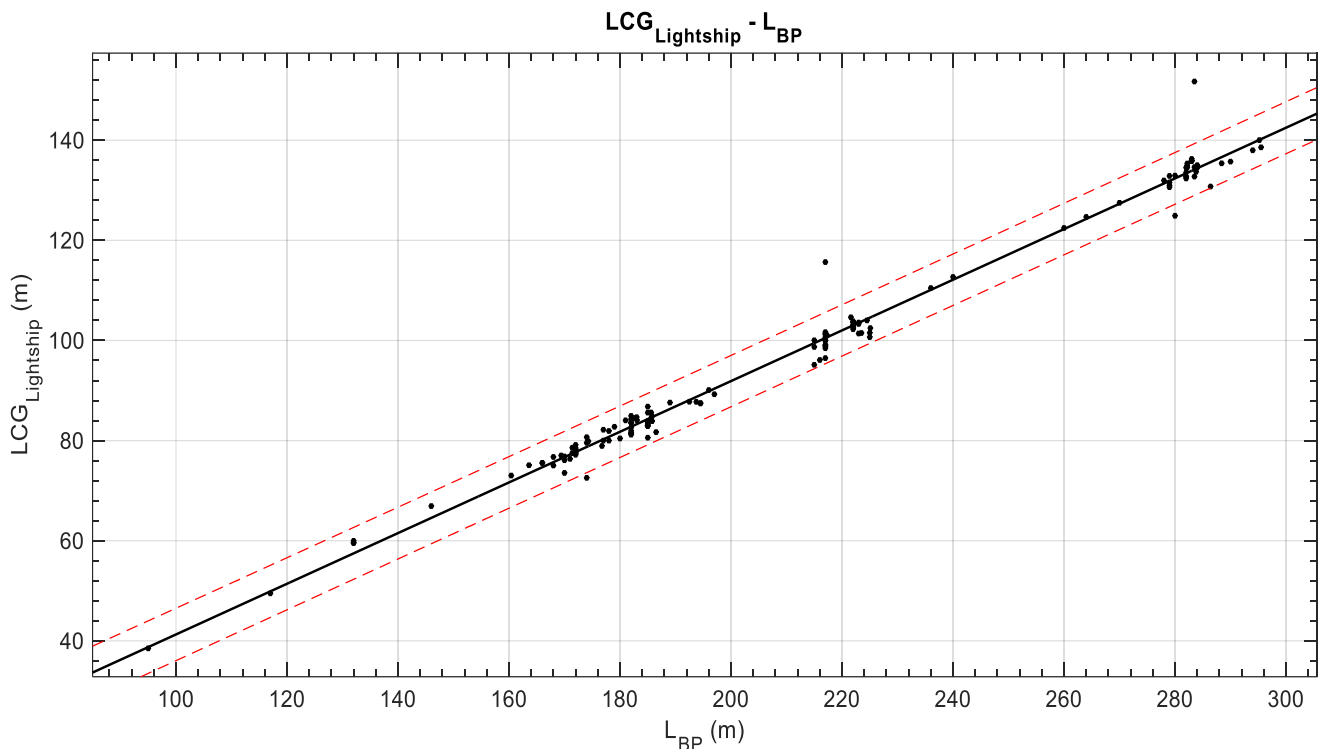
Adjusted R-square: 0.8267

RMSE: 0.6827

$$KG_{LS} = 1.739 * D^{0.6428}$$

Παρατηρήσεις

Το κέντρο βάρους στην κατάσταση Lightship συναρτήσεως του κοίλου D έχει μια αρκετά καλή εκτίμηση. Παρατηρούμε ότι το διάγραμμα χωρίζεται σε διάφορες περιοχές, για παράδειγμα βλέπουμε ότι για κοίλο 13-15 έχουμε κέντρο βάρους περίπου 9-11, για κοίλο 16-21 έχουμε κέντρο βάρους 10.5-12.5 και στην περιοχή για κοίλο 24-26 έχουμε κέντρο βάρους 13-14.5.



Διάγραμμα 69: LCG_{LS} συναρτήσεως του L_{BP}

Αποτελέσματα προσέγγισης

Linear model Poly1:

$$f(x) = p1 * x + p2$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = 0.5061 (0.4967, 0.5155)$$

$$p2 = -9.331 (-11.38, -7.287)$$

Goodness of fit:

SSE: 948.8

R-square: 0.9875

Adjusted R-square: 0.9875

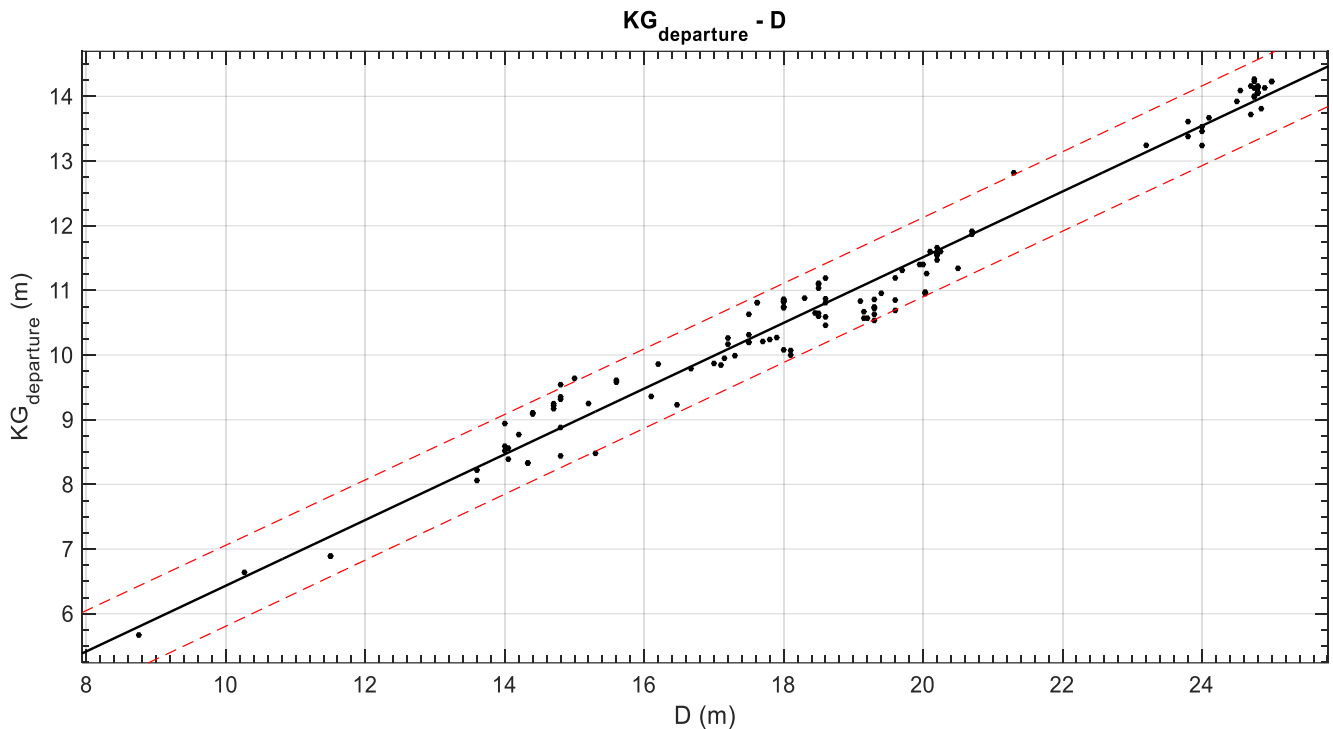
RMSE: 2.585

$$LCG_{LS} = 0.5061 * L_{BP} - 9.331$$

Παρατηρήσεις

Το LCG_{LS} συναρτήσεως του μήκους μεταξύ των καθέτων L_{BP} μας δίνει μια γραμμική συσχέτιση έχοντας ένα ικανοποιητικό συντελεστή συσχέτισης. Μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε σε προκαταρκτική φάση το LCG_{LS} αν γνωρίζουμε το L_{BP} καθώς τα σημεία ταυτίζονται σχεδόν όλα στην προσεγγιστική καμπύλη.

4.10.2. Κέντρο βάρους σε κατάσταση Full Load Departure

Διάγραμμα 70: $KG_{departure}$ συναρτήσει του D Αποτελέσματα προσέγγισης

Linear model Poly1:

$$f(x) = p1 * x + p2$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = 0.5079 (0.4936, 0.5223)$$

$$p2 = 1.354 (1.077, 1.631)$$

Goodness of fit:

SSE: 12.46

R-square: 0.974

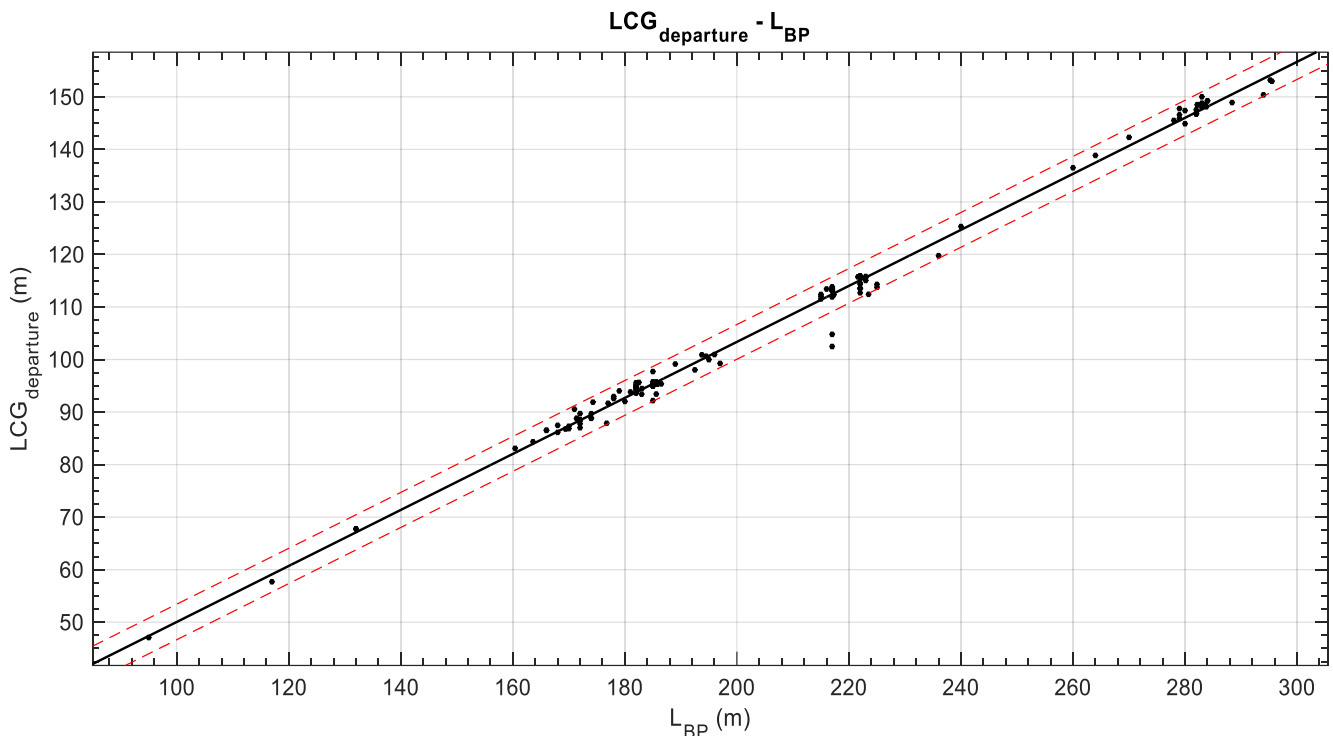
Adjusted R-square: 0.9738

RMSE: 0.3084

$$KG_{departure} = 0.5079 * D + 1.354$$

Παρατηρήσεις

Παρατηρούμε ότι η συσχέτιση που μας δίνει το πιο πάνω διάγραμμα είναι παρά πολύ καλή, αφού οι αποκλίσεις είναι μικρής τάξης μεγέθους και αυτό φαίνεται αφού οι καμπύλες πρόβλεψης δεν απέχουν πολύ από την καμπύλη προσέγγισης, επίσης τα περισσότερα σημεία ταυτίζονται στην προσεγγιστική καμπύλη.



Διάγραμμα 71: $LCG_{departure}$ συναρτήσεσι του L_{BP}

Αποτελέσματα προσέγγισης

Linear model Poly1:

$$f(x) = p1 * x + p2$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = 0.5332 \quad (0.5266, 0.5397)$$

$$p2 = -3.277 \quad (-4.691, -1.863)$$

Goodness of fit:

SSE: 359.6

R-square: 0.995

Adjusted R-square: 0.995

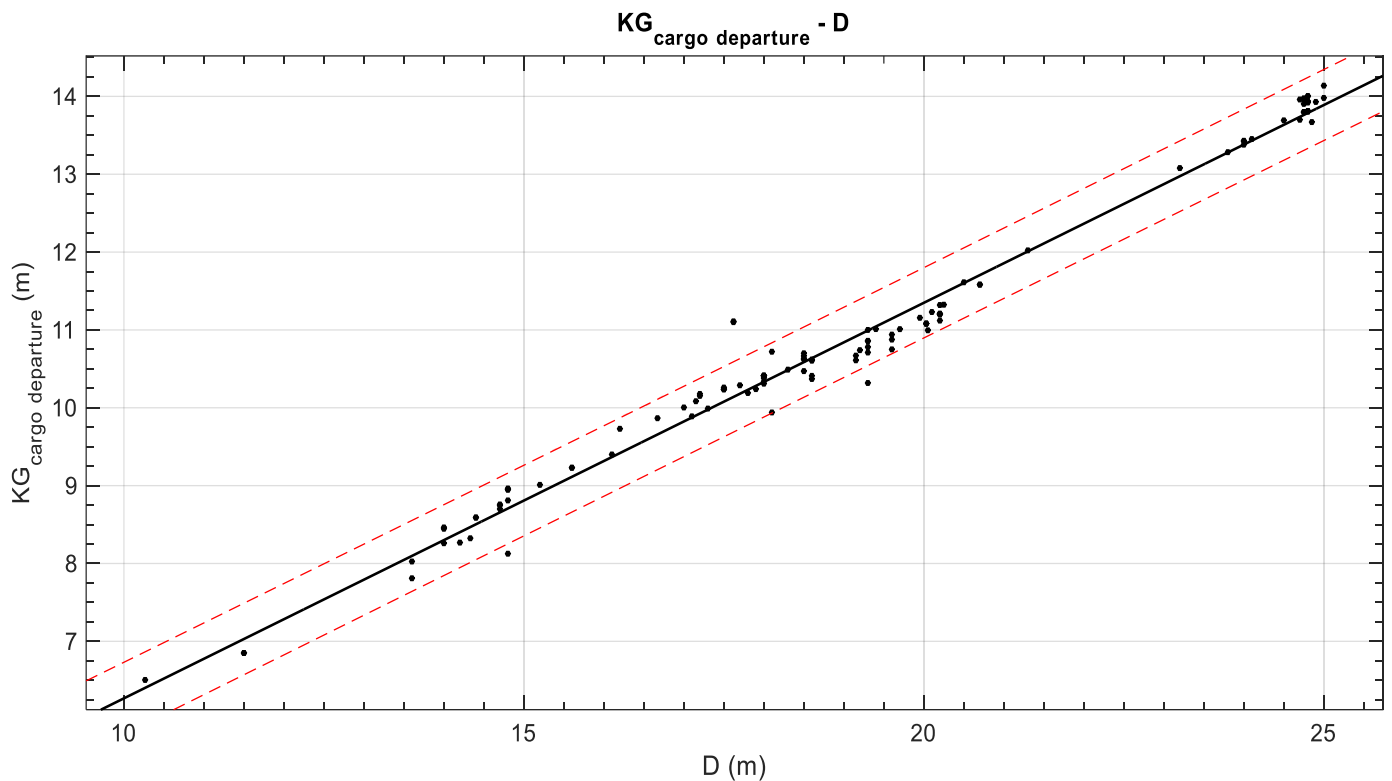
RMSE: 1.663

$$LCG_{departure} = 0.5332 * L_{BP} - 3.277$$

Παρατηρήσεις

Στην κατάσταση Full Load Departure το κέντρο βάρους παρουσιάζει πολύ καλή συσχέτιση σε σχέση με το L_{BP} με τις αποκλίσεις να είναι ελάχιστες και τις καμπύλες πρόβλεψης να μην έχουν μεγάλη διαφορά από την ευθεία.

4.10.3. Κέντρο βάρους φορτίου σε κατάσταση Full Load Departure

Διάγραμμα 72: $KG_{\text{cargo departure}}$ συναρτήσεσι του D Αποτελέσματα προσέγγισης

Linear model Poly1:

$$f(x) = p1 \cdot x + p2$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = 0.5081 \quad (0.4966, 0.5195)$$

$$p2 = 1.187 \quad (0.9636, 1.41)$$

Goodness of fit:

SSE: 6.076

R-square: 0.9849

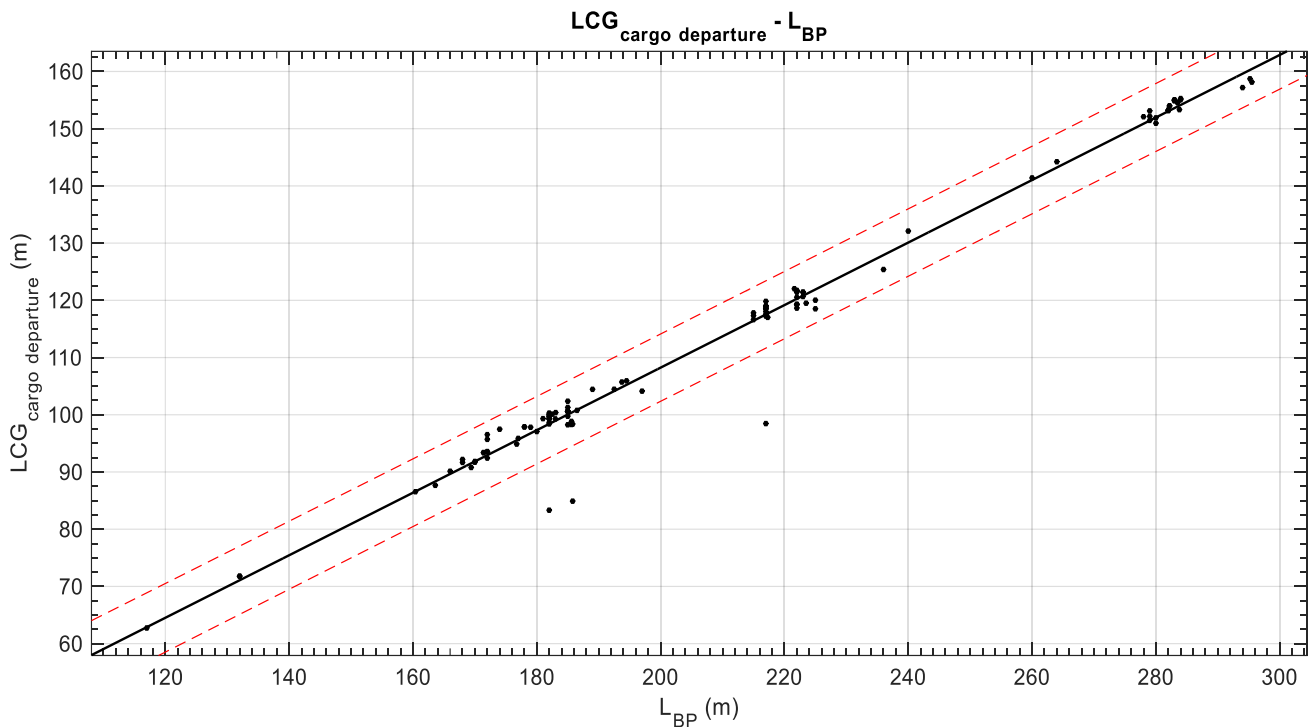
Adjusted R-square: 0.9848

RMSE: 0.2269

$$KG_{\text{cargo departure}} = 0.5081 \cdot D + 1.187$$

Παρατηρήσεις

Από το πιο πάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι η συσχέτιση του κατακόρυφου κέντρου βάρους του φορτίου σε σχέση με το κοίλο είναι αρκετά καλή, καθώς ο συντελεστής συσχέτισης είναι πάρα πολύ καλός.



Διάγραμμα 73: $LCG_{cargo\ departure}$ συναρτήσει του L_{BP}

Αποτελέσματα προσέγγισης

Linear model Poly1:

$$f(x) = p1 * x + p2$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = 0.5465 (0.534, 0.559)$$

$$p2 = -1.066 (-3.775, 1.643)$$

Goodness of fit:

SSE: 1032

R-square: 0.9845

Adjusted R-square: 0.9844

RMSE: 2.957

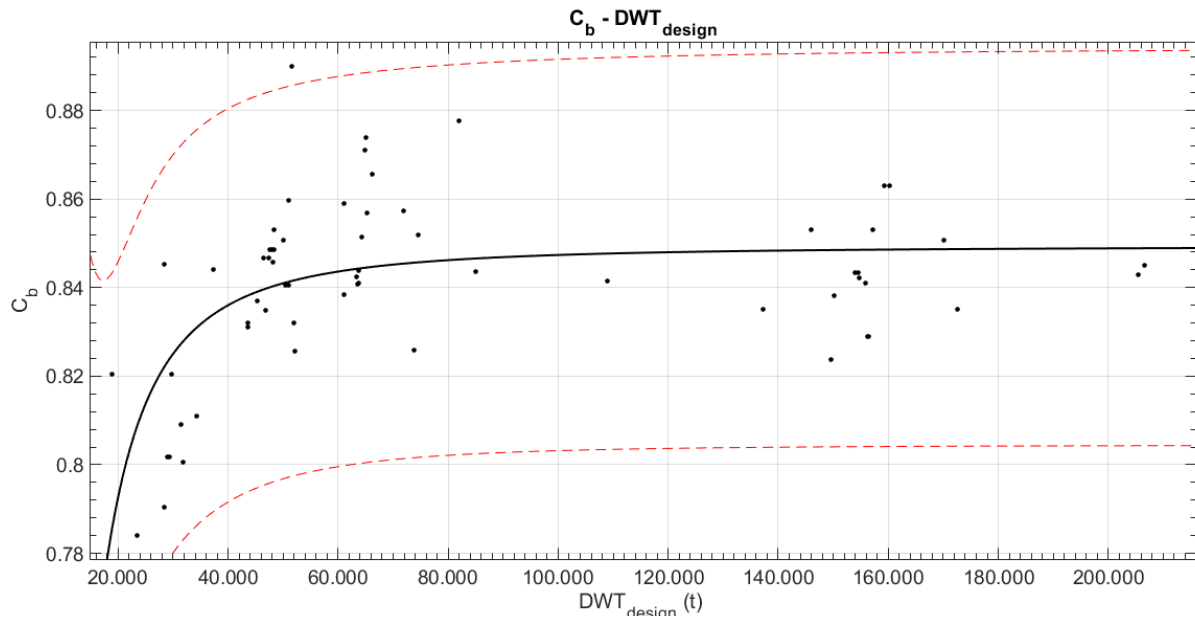
$$LCG_{cargo\ departure} = 0.5465 * L_{BP} - 1.066$$

Παρατηρήσεις

Στο διάγραμμα παρατηρούμε μια πάρα πολύ καλή συσχέτιση του LCG με το L_{BP} καθώς οι αποκλίσεις είναι πολύ μικρές, παρόλο που υπάρχουν κάποια σημεία εκτός των καμπυλών πρόβλεψης.

4.11. Λοιπές Παράμετροι Σχεδίασης

4.11.1. Συντελεστής γάστρας (Block Coefficient)



Διάγραμμα 74 : C_B συναρτήσει του DWT_{design}

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power2:

$$f(x) = a \cdot x^b + c$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = -5.544e+07 \quad (-7.818e+08, 6.71e+08)$$

$$b = -2.09 \quad (-3.399, -0.7814)$$

$$c = 0.8493 \quad (0.8416, 0.8571)$$

Goodness of fit:

SSE: 0.01848

R-square: 0.296

Adjusted R-square: 0.2753

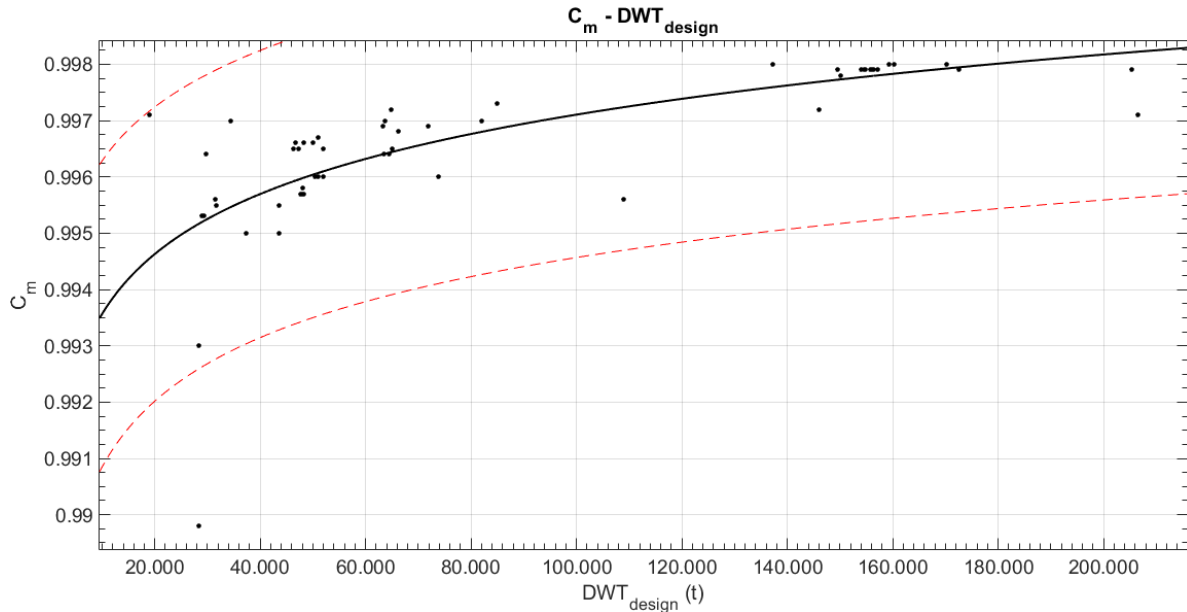
RMSE: 0.01648

$$C_B = -5.544 \cdot 10^7 \cdot DWT_{design}^{-2.09} + 0.8493$$

Παρατηρήσεις

Σε αυτό το διάγραμμα βλέπουμε ότι ο συντελεστής γάστρας δεν παρουσιάζει καλή συσχέτιση με το DWT παρουσιάζοντας αρκετές αποκλίσεις. Αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί από το γεγονός ότι ο συντελεστής γάστρας είναι ένα μέγεθος το οποίο μπορεί να μεταβληθεί κατά την σχεδίαση χωρίς να επηρεάσει ιδιαίτερα την τιμή του DWT. Παρά την κακή συσχέτιση των δύο τιμών από το διάγραμμα παρατηρείται πως για πλοία μικρής χωρητικότητας η τιμή του C_B είναι σχετικά μειωμένη σε σχέση με τα πλοία μεγάλης χωρητικότητας.

4.11.2. Συντελεστής Μέσης Τομής (Midship Coefficient)

Διάγραμμα 75: C_M συναρτήσει του DWT_{design} Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power1:

$$f(x) = a \cdot x^b$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 0.9795 \text{ (0.9754, 0.9837)}$$

$$b = 0.001544 \text{ (0.001166, 0.001922)}$$

Goodness of fit:

SSE: 5.448e-05

R-square: 0.5227

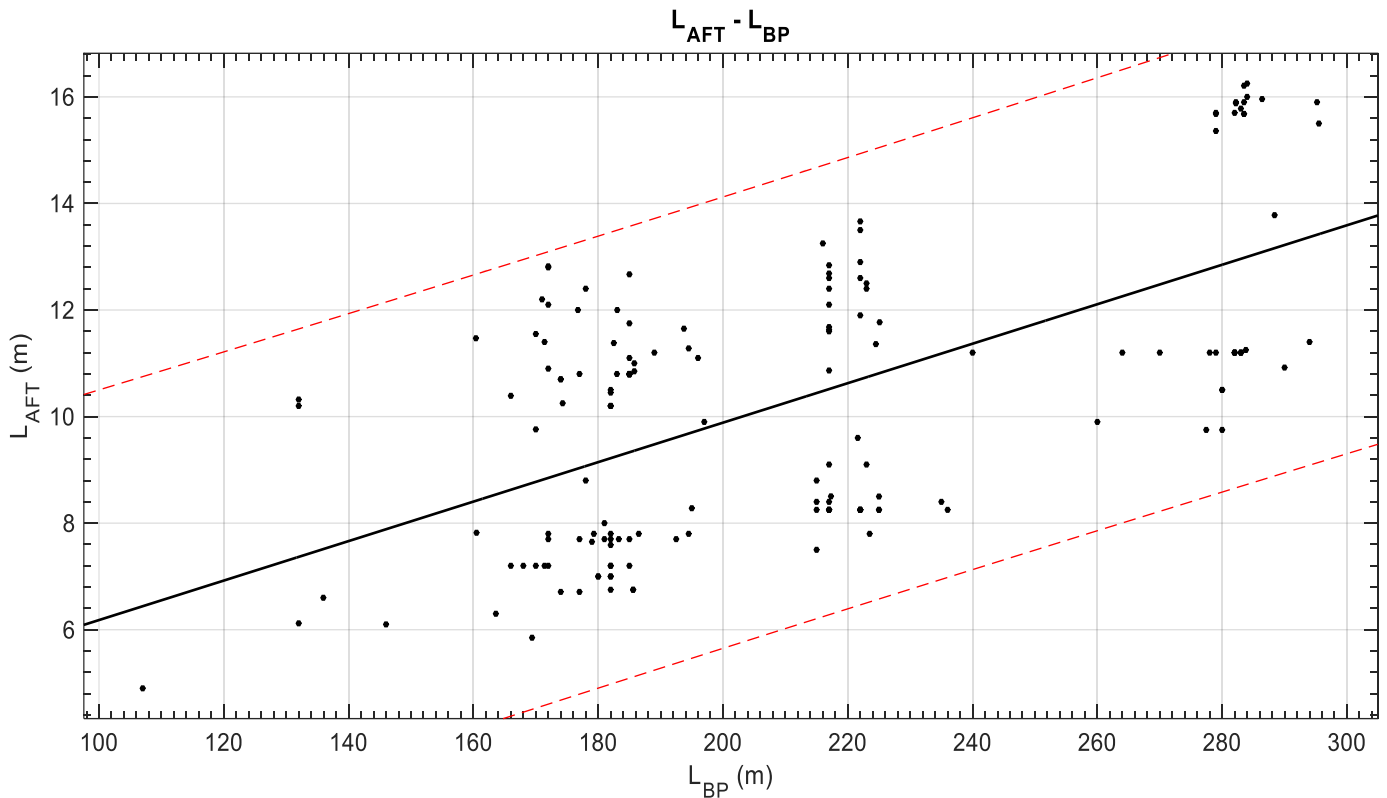
Adjusted R-square: 0.5148

RMSE: 0.0009451

$$C_M = 0.9795 * DWT_{design}^{0.001544}$$

Παρατηρήσεις

Σε αυτό το διάγραμμα παρατηρείται αρκετά καλή συσχέτιση των δύο μεγεθών παρά το γεγονός ότι μερικά σημεία απέχουν σημαντικά από την καμπύλη πρόβλεψης. Λογική παρατήρηση επίσης είναι πως καθώς αυξάνεται η τιμή του C_m , η τιμή του DWT αυξάνεται και αυτή.

4.11.3. Μήκος πρυμναίου τμήματος (L_{AFT})Διάγραμμα 76: L_{AFT} συναρτήσεως του L_{BP} Αποτελέσματα προσέγγισης

Linear model Poly1:

$$f(x) = p1 * x + p2$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = 0.03704 (0.02943, 0.04466)$$

$$p2 = 2.477 (0.8304, 4.124)$$

Goodness of fit:

SSE: 731.1

R-square: 0.3657

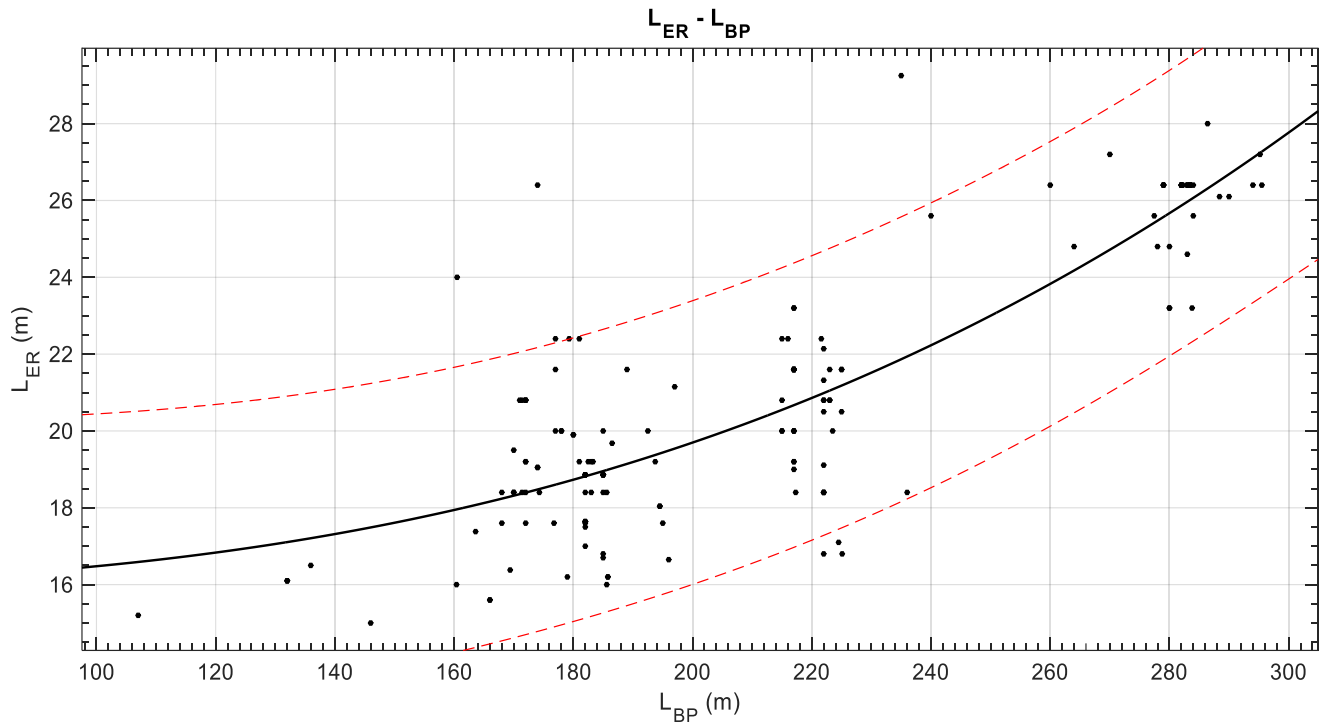
Adjusted R-square: 0.3617

RMSE: 2.138

$$L_{AFT} = 0.03704 * L_{BP} + 2.477$$

Παρατηρήσεις

Οι αποκλίσεις που παρατηρούνται στο πιο πάνω διάγραμμα οφείλονται αρχικά στο ότι κάθε πλοίο έχει διαφορετικό frame spacing, και στο ότι σε κάποια από τα πλοία που διαθέταμε, τα σχέδια δεν δίνανε το frame spacing οπότε οι μετρήσεις γίνονταν μέσω της κλίμακας των σχεδίων. Γενικά όμως μπορούμε να πάρουμε το εύρος που μπορεί να υπάρξει σε L_{AFT} .

4.11.3. Μήκος μηχανοστασίου (L_{ER})Διάγραμμα 77: L_{ER} συναρτήσεσι του L_{BP} Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power2:

$$f(x) = a \cdot x^b + c$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 1.129e-06 \quad (-7.168e-06, 9.425e-06)$$

$$b = 2.834 \quad (1.568, 4.1)$$

$$c = 15.95 \quad (13.69, 18.22)$$

Goodness of fit:

SSE: 553.8

R-square: 0.7123

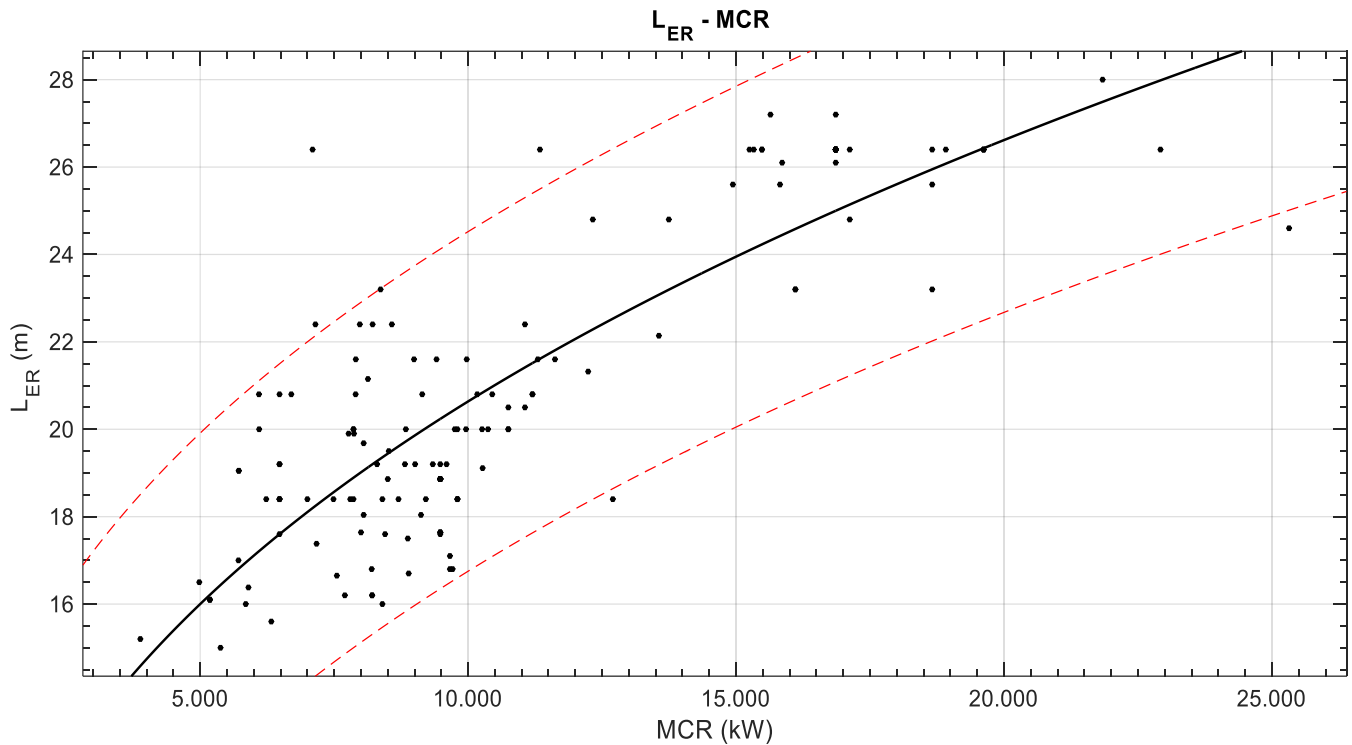
Adjusted R-square: 0.7087

RMSE: 1.861

$$L_{ER} = 1.129 \cdot 10^{-6} \cdot L_{BP}^{2.834} + 15.95$$

Παρατηρήσεις

Το ίδιο φαινόμενο παρατηρούμε και σε αυτό το διάγραμμα αφού οι αποκλίσεις που βλέπουμε ερμηνεύονται για τον ίδιο λόγο που αναφέραμε στο προηγούμενο διάγραμμα.



Διάγραμμα 78 : L_{ER} συναρτήσει του MCR

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power1:

$$f(x) = a \cdot x^b$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 0.7017 \quad (0.4423, 0.9611)$$

$$b = 0.3671 \quad (0.3275, 0.4068)$$

Goodness of fit:

SSE: 556.5

R-square: 0.6871

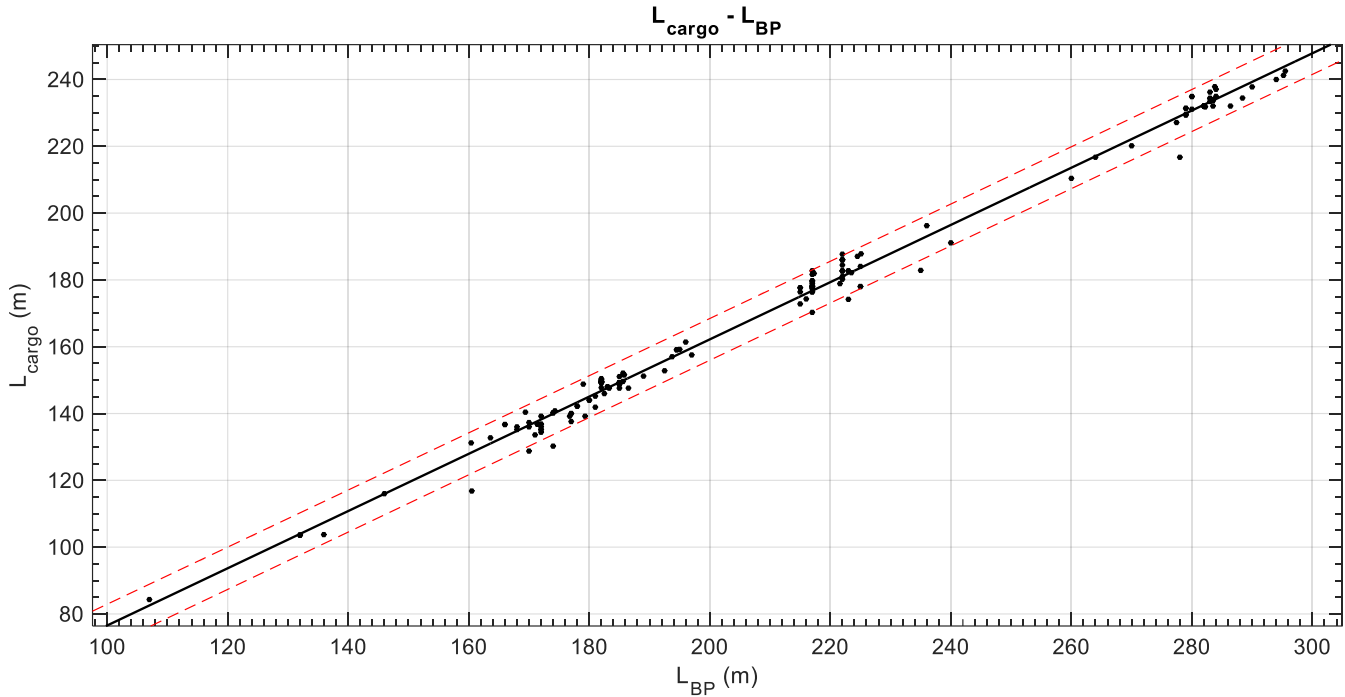
Adjusted R-square: 0.6849

RMSE: 1.959

$$L_{ER} = 0.7017 * MCR^{0.3671}$$

Παρατηρήσεις

Παρατηρούμε πως με την αύξηση του MCR αυξάνεται και το μήκος του μηχανοστασίου. Υπάρχει και εδώ η διασπορά των σημείων και αυτό οφείλεται στο ότι οι απαιτήσεις της κάθε μηχανολογικής εγκατάστασης διαφέρουν από πλοίο σε πλοίο, και στο λόγο που αναφέραμε στα προηγούμενα διαγράμματα.

4.11.4. Μήκος χώρου φορτίου (L_{CARGO})Διάγραμμα 79: L_{cargo} συναρτήσεως του L_{BP} Αποτελέσματα προσέγγισης

Linear model Poly1:

$$f(x) = p1 \cdot x + p2$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = 0.8565 \quad (0.8453, 0.8677)$$

$$p2 = -9.107 \quad (-11.53, -6.689)$$

Goodness of fit:

SSE: 1601

R-square: 0.993

Adjusted R-square: 0.9929

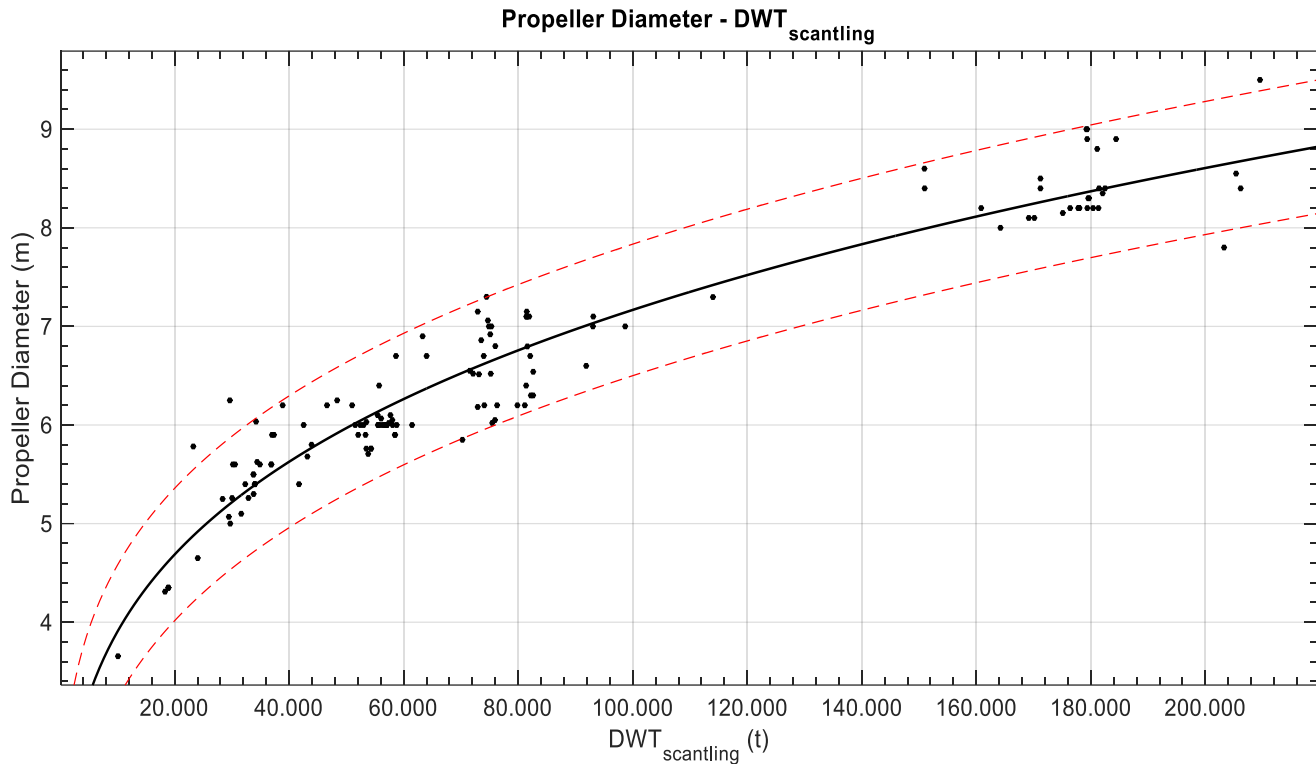
RMSE: 3.153

$$L_{cargo} = 0.8565 \cdot L_{BP} - 9.107$$

Παρατηρήσεις

Βλέπουμε ότι το μήκος του φορτίου έχει την καλύτερη προσέγγιση με το L_{BP} σε σχέση με τα υπόλοιπα διαγράμματα, και αυτό ήταν κάτι που αναμέναμε, καθώς γνωρίζουμε ότι το μήκος του φορτίου αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό του L_{BP} .

4.11.5. Διάμετρος έλικας

Διάγραμμα 80: Propeller Diameter συναρτήσεσι του $DWT_{scantling}$ Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power1:

$$f(x) = a \cdot x^b$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$a = 0.3431 \quad (0.2915, 0.3947)$$

$$b = 0.264 \quad (0.2508, 0.2772)$$

Goodness of fit:

SSE: 15.46

R-square: 0.9199

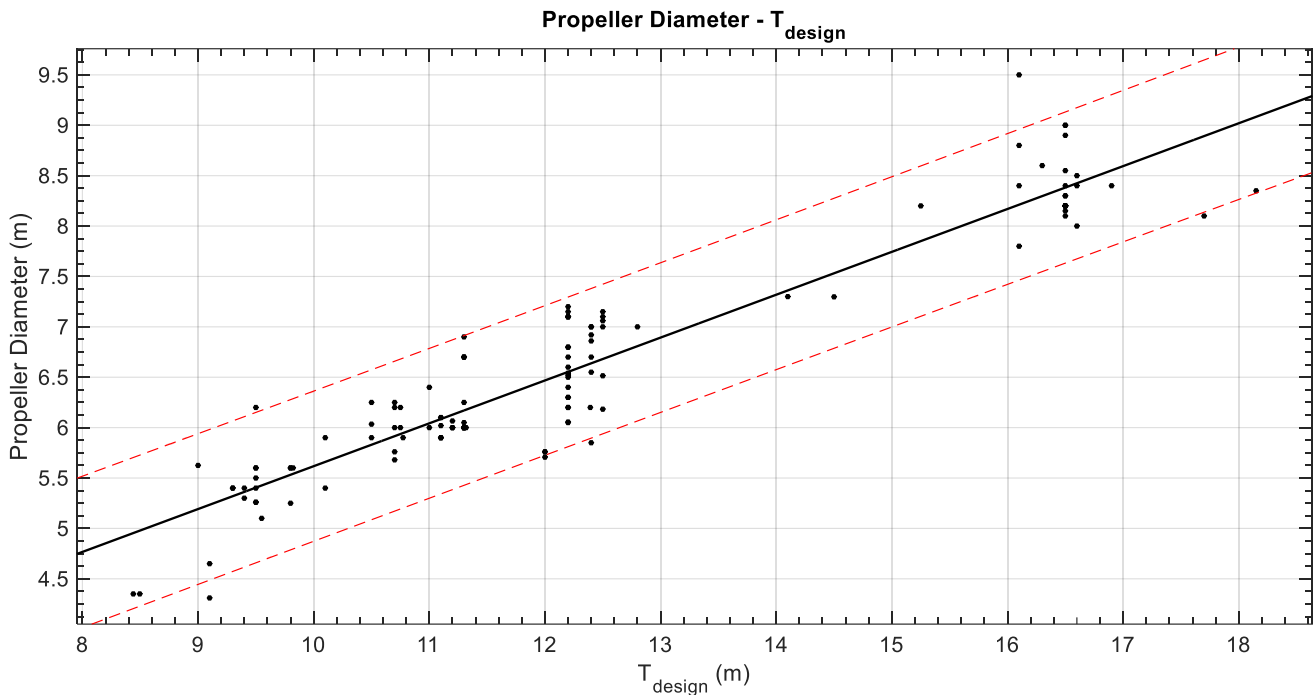
Adjusted R-square: 0.9193

RMSE: 0.3359

$$D_{prop} = 0.3431 * DWT_{scantling}^{0.264}$$

Παρατηρήσεις

Η διάμετρος της έλικας προσεγγίζεται αρκετά καλά από το DWT έχοντας πολύ καλή συσχέτιση. Παρατηρούμε ότι αν χωρίσουμε σε περιοχές την γραφική μπορούμε να πάρουμε το εύρος για διάφορα DWT, για παράδειγμα για DWT έως 60000t η διάμετρος της έλικας βρίσκεται ανάμεσα στα 3-7.5m, για DWT 70000-90000t η διάμετρος κυμαίνεται στα 6-7.5m και για DWT πάνω από 160000t η διάμετρος είναι μεγαλύτερη των 8m.



Διάγραμμα 81: Propeller Diameter συναρτήσει του T_{design}

Αποτελέσματα προσέγγισης

Linear model Poly1:

$$f(x) = p1 \cdot x + p2$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$p1 = 0.4253 \quad (0.3992, 0.4515)$$

$$p2 = 1.364 \quad (1.032, 1.696)$$

Goodness of fit:

SSE: 17.88

R-square: 0.89

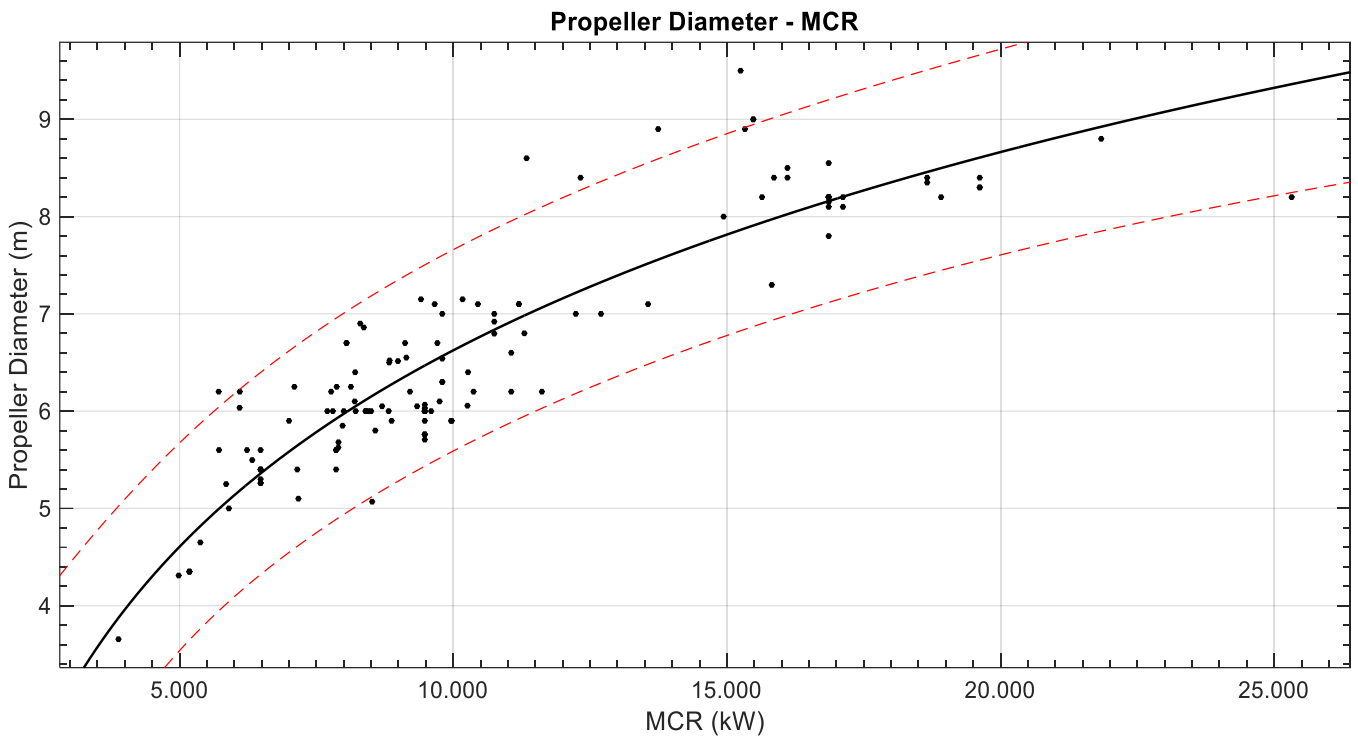
Adjusted R-square: 0.8892

RMSE: 0.3737

$$D_{prop} = 0.4253 \cdot T_{design} + 1.364$$

Παρατηρήσεις

Η διάμετρος της έλικας εξαρτάται από το βύθισμα καθώς απαιτείται πλήρης βύθιση της. Παρατηρούμε πως υπάρχουν περιοχές όπου υπάρχει σταθερό βύθισμα για μεταβλητή διάμετρο της έλικας, αυτό όπως είδαμε σε πολλά διαγράμματα οφείλεται σε περιορισμοί λόγω της περατότητας της διαδρομής, των εγκαταστάσεων των λιμανιών και των διυλιστηρίων.



Διάγραμμα 82: Propeller Diameter συναρτήσει του MCR

Αποτελέσματα προσέγγισης

General model Power2:

$$f(x) = a \cdot x^b + c$$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

$$\begin{aligned} a &= 183.3 \quad (-5245, 5611) \\ b &= 0.01403 \quad (-0.3539, 0.3819) \\ c &= -201.9 \quad (-5672, 5268) \end{aligned}$$

Goodness of fit:

SSE: 35.14

R-square: 0.8146

Adjusted R-square: 0.8117

RMSE: 0.5199

$$D_{prop} = 183.3 * MCR^{0.01403} - 201.9$$

Παρατηρήσεις

Η συσχέτιση της διαμέτρου της έλικας συναρτήσει της MCR είναι πολύ καλή. Παρατηρούμε πως με την αύξηση της MCR αυξάνεται και η διάμετρος της έλικας. Αν δεν υπήρχαν κάποια σημεία εκτός των καμπυλών πρόβλεψης οι αποκλίσεις θα ήταν πολύ μικρότερες.

5. Συμπεράσματα και προτάσεις

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έχει πραγματοποιηθεί μια στατιστική ανάλυση τεχνικών στοιχείων πλοίο μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην. Σε πρώτο στάδιο έγινε η συλλογή των δεδομένων, που υπήρχαν διαθέσιμα στο εργαστήριο Μελέτης Πλοίου, τα οποία σε αρχικό στάδιο είχαν περαστεί στην MS Excel και στην συνέχεια δημιουργήσαμε ένα αρχείο στην MS Access όπου και αυτή ήταν και η βάση δεδομένων. Στη συνέχεια τα δεδομένα μας περάστηκαν στο Matlab όπου και έγινε η στατιστική ανάλυση όλων των μεγεθών που μαζέψαμε στα αναφερθείσα αρχεία για όλα τα πλοία, που συνολικά είναι 171 πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου.

Όλη η στατιστική επεξεργασία έγινε μέσω της παλινδρομικής ανάλυσης που διαθέτει το λογισμικό Matlab R2015a και σκοπό είχε την εύρεση συσχετίσεων ανάμεσα στα κύρια χαρακτηριστικά του πλοίου δίνοντας έτσι εμπειρικές σχέσεις. Οι εμπειρικοί τύποι που προέκυψαν είναι πολύ χρήσιμοι τόσο στη μελέτη αλλά και στην σχεδίαση του πλοίου σε προκαταρκτική φάση. Τα αποτελέσματα που έδωσαν οι σχέσεις και τα διαγράμματα ανάμεσα στα κύρια χαρακτηριστικά συγκρίθηκαν με σχέσεις που υπήρχαν σε διάφορα βιβλία όπως η «Μελέτη και Εξοπλισμός Πλοίου I&II (Μεθοδολογία Προμελέτης) καθώς και με παλαιότερες διπλωματικές εργασίες αντίστοιχου θέματος και αυτό που παρατηρήθηκε είναι ότι τα αποτελέσματα ήταν παρόμοια με ελάχιστες διαφορές.

Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων φαίνεται ότι οι εμπειρικοί τύποι και οι συσχετίσεις ανάμεσα στα κύρια χαρακτηριστικά ποικίλουν. Αρχικά όσον αφορά τις κύριες διαστάσεις είδαμε αρκετά καλές συσχετίσεις με το μόνο πρόβλημα στα περισσότερα διαγράμματα να ήταν ότι κάποια παρέμεναν σταθερά και αυτό οφειλόταν στους περιορισμούς λόγω της περατότητας της διαδρομής, των εγκαταστάσεων των λιμανιών και των διυλιστηρίων. Όσον αφορά τα βάρη του πλοίου και συγκεκριμένα το L.S., DWT και Δ παρατηρήσαμε ότι είχαμε ενδιαφέροντες εμπειρικούς τύπους με τις αποκλίσεις να οφείλονται στο ότι από πλοίο σε πλοίο διαφέρουν οι κατασκευαστικές ιδιαιτερότητες, για παράδειγμα δεν έχουν όλα τα πλοία τις ίδιες υπερκατασκευές σε μέγεθος κάτι που παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στο L.S. καθώς σε μεγαλύτερες υπερκατασκευές, περισσότερος θα είναι και ο χάλυβας που θα χρησιμοποιηθεί άρα και το L.S. θα είναι μεγαλύτερο. Επιπλέον οι λόγοι των κύριων διαστάσεων έχουν καθοριστικό ρόλο στην φάση της προμελέτης ενός πλοίου καθώς από αυτούς μπορούμε να κάνουμε μία πρώτη εκτίμηση των κύριων διαστάσεων.

Μετάπειτα μελετήσαμε τις χωρητικότητες των δεξαμενών, όπου για τις δεξαμενές φορτίου μελετήσαμε και για Bale και για Grain τα ίδια διαγράμματα και οδηγηθήκαμε στο συμπέρασμα ότι τα διαγράμματα του Grain είχαν μικρότερες αποκλίσεις και αυτό οφειλόταν στο γεγονός ότι τα δεδομένα που είχαμε για Bale ήταν λιγότερα από του Grain. Για την χωρητικότητα των δεξαμενών καυσίμου ενδιαφέρον παρουσίασε η συσχέτιση με το MCR καθώς γνωρίζουμε ότι η MCR καθορίζει την κατανάλωση που χρειάζεται το πλοίο και

κατ' επέκταση την απαίτηση σε ποσότητα καυσίμου, οπότε γνωρίζοντας την MCR μπορούμε να κάνουμε μια πρώτη εκτίμηση της διάρκειας των καυσίμων. Στη συνέχεια μελετήσαμε τα μήκη και αυτό που παρατηρήσαμε είναι πως σε όλα είχαμε μεγάλες αποκλίσεις και αυτό οφειλόταν στο ότι κάθε πλοίο έχει διαφορετικό frame spacing οπότε και οι αποκλίσεις ήταν αναμενόμενες. Επιπλέον είδαμε τα κέντρα βαρών στις καταστάσεις L.S. και FLD, όπου τα αποτελέσματα των διαγραμμάτων ήταν πολύ καλά καθώς εκτιμήθηκαν με μεγάλη ακρίβεια αφού οι αποκλίσεις ήταν πολύ μικρές.

Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα:

- 1) Γνωρίζοντας πως εάν είχαμε μεγαλύτερο δείγμα πλοίων τα αποτελέσματα θα ήταν περισσότερο αξιόπιστα. Οπότε ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η πραγματοποίηση παρόμοιας στατιστικής ανάλυσης αλλά για μεγαλύτερο εύρος δείγματος πλοίων.
- 2) Θα μπορούσε να γίνει μια πιο εξειδικευμένη μελέτη κάνοντας διάκριση των πλοίων ανάλογα με:
 - Το μέγεθος των πλοίων, για παράδειγμα να γίνει διαφορετική ανάλυση για Panamax, διαφορετική για VLBC κ.ο.κ.
 - Το είδος του πλοίου.
 - Τη χρονολογία ναυπήγησης.
 - Το νηογνώμονα.
 - Τη χώρα κατασκευής και το ναυπηγείο.
- 3) Θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί παρόμοια στατιστική ανάλυση για διάφορους τύπους πλοίων (π.χ. πλοία μεταφοράς υγρού φορτίου, πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων κλπ.).
- 4) Θα μπορούσε να γίνει στατιστική ανάλυση χρησιμοποιώντας διαφορετικό λογισμικό πέραν του Matlab.
- 5) Θα μπορούσε να γίνει σύγκριση αποτελεσμάτων δύο διαφορετικών λογισμικών έτσι ώστε να δούμε τις διαφορετικές αποκλίσεις που μπορεί να προκύψουν.
- 6) Θα μπορούσε να γίνει μελέτη σε συγκεκριμένα μέρη του πλοίου, για παράδειγμα στο μηχανοστάσιο, στην περιοχή του φορτίου κ.ο.κ.

6. Βιβλιογραφία

1. Ζαραφωνίτης 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), Αθήνα 2009.
4. Γιώργος Τζαμπίρας, «Υδροστατική και Ευστάθεια Πλοίου», Αθήνα 2015.
5. Καραγεώργος Ευάγγελος, «Μεθοδολογία προμελέτης πλοίων μεταφοράς υγρού φορτίου», Διπλωματική Εργασία – Επιβλέπων Καθηγητής κ. Γ. Ζαραφωνίτης, Τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π., Εργαστήριο Μελέτης Πλοίου, Αθήνα 2015.
6. Κάραλης Βασίλης, «Μεθοδολογία προμελέτης πλοίων μεταφοράς ξηρού φορτίου», Διπλωματική Εργασία – Επιβλέπων Καθηγητής κ. Γ. Ζαραφωνίτης, Τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π., Εργαστήριο Μελέτης Πλοίου, Αθήνα 2016.
7. Nkoko Nossa Anneck, «Στατιστική ανάλυση τεχνικών στοιχείων πλοίων μεταφοράς πετρελαίου», Διπλωματική εργασία – Επιβλέπων Καθηγητής κ. Γ. Ζαραφωνίτης, Τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π., Εργαστήριο Μελέτης Πλοίου, Αθήνα 2013.

7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ-Matlab Curve Fitting Tool

Το παράρτημα δημιουργήθηκε για να εξηγηθεί με λεπτομέρεια η διαδικασία που πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό Matlab R2015a για την εκτέλεση της στατιστικής ανάλυσης και κατ' επέκταση την παραγωγή των διαγραμμάτων.

Αρχικά λόγω του ότι το Matlab δεν αντιλαμβάνεται τα κενά δεν μπορέσαμε να κάνουμε την εισαγωγή των στοιχείων της βάσης δεδομένων από το excel στο Matlab αλλά βρήκαμε την λύση με το να γράψουμε ένα μικρό κώδικα. Στον κώδικα περνούσαμε τα δεδομένα που θέλαμε σαν πίνακες και στην συνέχεια τα εκτυπώναμε και με την εντολή cftool μπορούσαμε στην συνέχεια να επιλέξουμε το είδος της γραφικής που ταίριαζε περισσότερο ανάλογα με την διασπορά των σημείων.

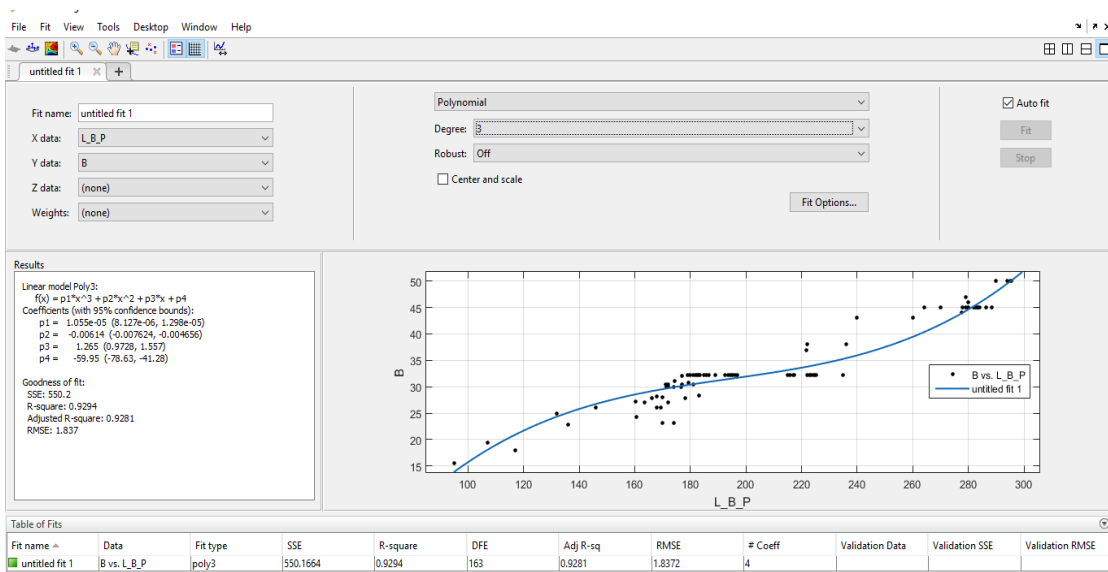
```

B_L_BP.m x +
1 - clear all
2 - close all
3 - L_B_P=[222 178 222 240 283 185 294 283 222 217 221.6 225 282 223 223.5
4 - B=[32.26 27.8 32.26 43 45 32.26 50 45 32.26 32.26 36.92
5 - cftool
6 - plot(L_B_P,B,'O')

```

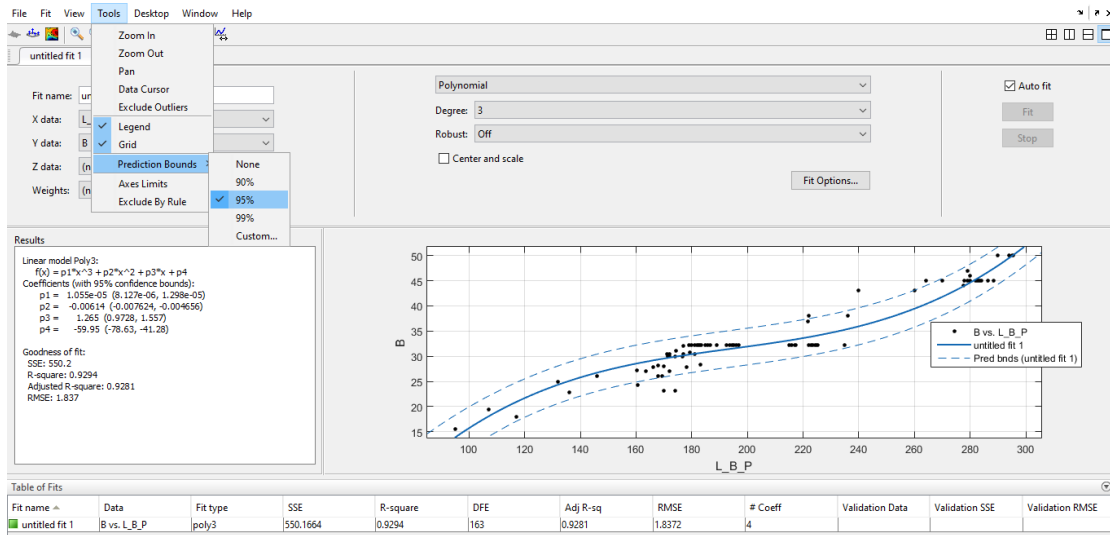
Εικόνα 1:Κώδικας για εκτίμηση στοιχείων

Στη συνέχεια με την χρήση του Curve Fitting Tool κάναμε την επεξεργασία των δεδομένων η οποία εξηγείται πιο κάτω:



Εικόνα 2:Περιβάλλον εργασίας Curve Fitting Tool

Αφού ορίσουμε ποιο δεδομένο θέλουμε να είναι στον x-άξονα και ποιο θα είναι στον y-άξονα, παρουσιάζεται η γραφική όπως φαίνεται πιο πάνω. Στη συνέχεια αφού επιλέξουμε τις μεταβλητές μας, επιλέγουμε την μορφή της καμπύλης από τη λίστα των διαθέσιμων μοντέλων και επιλέγουμε αυτό που πιστεύουμε ότι είναι το πιο σωστό. Τα αποτελέσματα του διαγράμματος, δηλαδή οι παράμετροι της προσεγγιστικής καμπύλης φαίνονται στο παράθυρο στα αριστερά. Την εισαγωγή των καμπυλών πρόβλεψης εξηγεί η πιο κάτω εικόνα:



Εικόνα 3: Εισαγωγή καμπυλών πρόβλεψης

Έχοντας επιλέξει το διάγραμμα που θέλουμε να παρουσιάσουμε επιλέγουμε File→Print to Figure και εμφανίζεται ένα παράθυρο στο οποίο μπορεί να γίνει περαιτέρω επεξεργασία του διαγράμματος. Αφού επεξεργαστήκαμε το διάγραμμα όπως θέλαμε στην συνέχεια πάμε στην εντολή Edit→Copy Figure για να αντιγράψουμε το διάγραμμα στην τεχνική έκθεση.