

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



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ανάπτυξη βάσης δεδομένων με τεχνικά στοιχεία πλοίων
μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην**



ΒΡΑΧΙΜΗ ΚΥΡΙΑΚΟΣ

08116804

Τριμελής Επιτροπή:

Γ. ΖΑΡΑΦΩΝΙΤΗΣ (Επιβλέπων Καθηγητής)

Ε. ΗΛΙΟΠΟΥΛΟΥ

ΓΡ. ΓΡΗΓΟΡΟΠΟΥΛΟΣ

Περιεχόμενα

Περίληψη	σελ. 9
Εισαγωγή.....	σελ. 10
1. Πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην	σελ. 11
1.1 Γενικά	σελ. 11
1.2 Κατηγορίες	σελ. 12
1.3 Διάταξη	σελ. 12
1.4 Κανονισμοί	σελ. 15
2. Βάση Δεδομένων	σελ. 17
2.1 Περιγραφή βάσης δεδομένων.....	σελ. 17
2.2 Περιγραφή δείγματος ανάλυσης.....	σελ. 26
3. Στατιστική Ανάλυση	σελ. 28
3.1 Διάγραμμα Διασποράς (Scatter Diagram).....	σελ. 28
3.2 Προσεγγιστικές Καμπύλες (Approximating Curves).....	σελ. 29
3.3 Μέθοδος Ελάχιστων Τετραγώνων.....	σελ. 30
3.4 Παλινδρόμηση (Regression).....	σελ. 31
3.5 Θεωρία Συσχέτισης (Correlation Theory).....	σελ. 31
4. Εκτίμηση Στοιχείων Bulk Carriers	σελ. 33
4.1 Κύριες Διαστάσεις.....	σελ. 33
4.2 Πρόσθετο βάρος (DWT).....	σελ. 53
4.3 Εκτόπισμα (Δ).....	σελ. 57
4.4 Βάρος κενού σκάφους (LightShip (L.S)).....	σελ. 60
4.5 Ολική Χωρητικότητα (Gross Tonnage).....	σελ. 65
4.6 Καθαρή Χωρητικότητα (Net Tonnage).....	σελ. 70
4.7 Suez Canal Net Tonnage (SCNT).....	σελ. 75
4.8 Χωρητικότητα Δεξαμενών.....	σελ. 76
4.9 Εκτίμηση Ισχύος Πρόωσης.....	σελ. 94
4.10 Κέντρα Βαρών (Centers of Gravity).....	σελ. 97
4.11 Λοιποί Παράμετροι Σχεδίασης.....	σελ. 103
5. Συμπεράσματα και προτάσεις	σελ. 118
6. Βιβλιογραφία	σελ. 122
Παράρτημα	σελ. 123

Πίνακες

Πίνακας 1: Κατηγοριοποίηση πλοίων μεταφοράς ξηρού φορτίου ανάλογα με τη χωρητικότητα τους σε DWT.....σελ.	12
Πίνακας 2: Γενικά Χαρακτηριστικά.....σελ.	17
Πίνακας 3: Κύρια και βοηθητικά μηχανήματα, έλικα και πηδάλιο.....σελ.	18
Πίνακας 4: Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά και υπερκατασκευές.....σελ.	19
Πίνακας 5: Homogenous Load Departure&Arrival στο βύθισμα σχεδίασης...σελ.	21
Πίνακας 6: Γενικά χαρακτηριστικά στο βύθισμα αντοχής.....σελ.	23
Πίνακας 7α: Heavy Ballast Departure & Arrival, Light Ballast Departure & Arrival.....σελ.	24
Πίνακας 7β: Χωρητικότητες δεξαμενών, πλήρωμα και Lightship.....σελ.	25
Πίνακας 8: Δείγμα υπό μελέτη πλοίων με βάση το DWT.....σελ.	26
Πίνακας 9: Δείγμα πλοίων ανάλογα με το έτος ναυπήγησης.....σελ.	27
Πίνακας 10: LOA συναρτήσσει του LBP.....σελ.	33
Πίνακας 11: LBP συναρτήσσει του DWT_{Design}σελ.	34
Πίνακας 12: LBP συναρτήσσει του $DWT_{Scantling}$σελ.	35
Πίνακας 13: B συναρτήσσει του LBP.....σελ.	36
Πίνακας 14: B συναρτήσσει του DWT_{Design}σελ.	37
Πίνακας 15: D συναρτήσσει του DWT_{Design}σελ.	38
Πίνακας 16: D συναρτήσσει του LBP.....σελ.	39
Πίνακας 17: D συναρτήσσει του B.....σελ.	40
Πίνακας 18: D συναρτήσσει του T_{Design}σελ.	41
Πίνακας 19: T_{Design} συναρτήσσει του DWT_{Design}σελ.	42
Πίνακας 20: T_{Design} συναρτήσσει του D.....σελ.	43
Πίνακας 21: T_{Design} συναρτήσσει του B.....σελ.	44
Πίνακας 22: $T_{scantling}$ συναρτήσσει του T_{Design}σελ.	45
Πίνακας 23: $T_{scantling}$ συναρτήσσει του $DWT_{Scantling}$σελ.	46
Πίνακας 24: Όρια των λόγων των κύριων διαστάσεων.....σελ.	49
Πίνακας 25: Freeboard scantling συναρτήσσει του $DWT_{scantling}$σελ.	50
Πίνακας 26: Freeboard scantling συναρτήσσει του D.....σελ.	51
Πίνακας 27: Freeboard scantling συναρτήσσει του LBP.....σελ.	52
Πίνακας 28: $DWT_{scantling}$ συναρτήσσει του DWT_{Design}σελ.	53
Πίνακας 29: $LBP*B*D$ συναρτήσσει του $DWT_{scantling}$σελ.	54
Πίνακας 30: KG/D συναρτήσσει του DWT_{design}σελ.	55
Πίνακας 31: L_{cg}/L_{bp} συναρτήσσει του DWT_{design} σε κατάσταση FLD.....σελ.	56
Πίνακας 32: $Displacement_{Design}(\Delta)$ συναρτήσσει του DWT_{Design}σελ.	57
Πίνακας 33: $DWT_{design}/Displacement_{design}$ συναρτήσσει του DWT_{design}σελ.	58
Πίνακας 34: $Displacement_{design}$ συναρτήσσει του $LBP*B*D$σελ.	59
Πίνακας 35: L.S. συναρτήσσει του LBP.....σελ.	60
Πίνακας 36: L.S. συναρτήσσει του $LBP*B*D$σελ.	61

Πίνακας 37: L.S. συναρτήσεσι του DWT_{design}σελ.	62
Πίνακας 38: L.S. συναρτήσεσι του $DWT_{scantling}$σελ.	63
Πίνακας 39: L.S./ Δ_{design} συναρτήσεσι του DWT_{design}σελ.	64
Πίνακας 40: GT συναρτήσεσι του DWT_{design}σελ.	65
Πίνακας 41: GT συναρτήσεσι του $DWT_{scantling}$σελ.	66
Πίνακας 42: GT συναρτήσεσι του L_{BP}σελ.	67
Πίνακας 43: GT συναρτήσεσι του $L_{BP} \cdot B \cdot D$σελ.	68
Πίνακας 44: GT/ DWT_{design} συναρτήσεσι του DWT_{design}σελ.	69
Πίνακας 45: NT συναρτήσεσι του DWT_{design}σελ.	70
Πίνακας 46: NT συναρτήσεσι του $DWT_{scantling}$σελ.	71
Πίνακας 47: NT συναρτήσεσι του $L_{BP} \cdot B \cdot D$σελ.	72
Πίνακας 48: NT συναρτήσεσι του GT.....σελ.	73
Πίνακας 49: NT/GT συναρτήσεσι του NT.....σελ.	74
Πίνακας 50: SCNT συναρτήσεσι του GT.....σελ.	75
Πίνακας 51: V_{cargo} GRAIN συναρτήσεσι του $DWT_{scantling}$σελ.	76
Πίνακας 52: V_{cargo} BALE συναρτήσεσι του $DWT_{scantling}$σελ.	77
Πίνακας 53: V_{cargo} GRAIN συναρτήσεσι του $L_{BP} \cdot B \cdot D$σελ.	78
Πίνακας 54: V_{cargo} BALE συναρτήσεσι του $L_{BP} \cdot B \cdot D$σελ.	79
Πίνακας 55: V_{cargo} GRAIN συναρτήσεσι του $L_{cargo} \cdot B \cdot D$σελ.	80
Πίνακας 56: V_{cargo} BALE συναρτήσεσι του $L_{cargo} \cdot B \cdot D$σελ.	81
Πίνακας 57: V_{cargo} GRAIN συναρτήσεσι του L_{cargo}σελ.	82
Πίνακας 58: V_{cargo} BALE συναρτήσεσι του L_{cargo}σελ.	83
Πίνακας 59: V_{cargo} GRAIN συναρτήσεσι του NT.....σελ.	84
Πίνακας 60: V_{cargo} BALE συναρτήσεσι του NT.....σελ.	85
Πίνακας 61: $V_{ballast}$ συναρτήσεσι του $DWT_{scantling}$σελ.	86
Πίνακας 62: $V_{ballast}$ συναρτήσεσι του $L_{BP} \cdot B \cdot D$σελ.	87
Πίνακας 63: $V_{ballast}$ συναρτήσεσι του V_{cargo} GRAIN.....σελ.	88
Πίνακας 64: V_{fuel} συναρτήσεσι του $L_{BP} \cdot B \cdot D$σελ.	89
Πίνακας 65: V_{fuel} συναρτήσεσι του P_{MCR}σελ.	90
Πίνακας 66: V_{fuel} συναρτήσεσι του $DWT_{scantling}$σελ.	91
Πίνακας 67: V_{diesel} συναρτήσεσι του V_{fuel}σελ.	92
Πίνακας 68: V_{diesel}/V_{fuel} συναρτήσεσι του V_{fuel}σελ.	93
Πίνακας 69: C_N συναρτήσεσι του DWT_{design}σελ.	94
Πίνακας 70: MCR συναρτήσεσι του $L_{BP} \cdot B \cdot D$σελ.	95
Πίνακας 71: V_s συναρτήσεσι του L_{BP}σελ.	96
Πίνακας 72: KG_{LS} συναρτήσεσι του Dσελ.	97
Πίνακας 73: LCG_{LS} συναρτήσεσι του L_{BP}σελ.	98
Πίνακας 74: $KG_{departure}$ συναρτήσεσι του Dσελ.	99
Πίνακας 75: $LCG_{departure}$ συναρτήσεσι του L_{BP}σελ.	100
Πίνακας 76: KG_{cargo} departure συναρτήσεσι του Dσελ.	101
Πίνακας 77: LCG_{cargo} departure συναρτήσεσι του L_{BP}σελ.	102

Πίνακας 78: C_B συναρτήσεσι του DWT_{design}σελ.	103
Πίνακας 79: C_M συναρτήσεσι του DWT_{design}σελ.	104
Πίνακας 80: C_P συναρτήσεσι του DWT_{design}σελ.	105
Πίνακας 81: C_W συναρτήσεσι του DWT_{design}σελ.	106
Πίνακας 82: $KB_{departure}$ συναρτήσεσι του T_{design}σελ.	107
Πίνακας 83: $LCB_{departure}$ συναρτήσεσι του L_{BP}σελ.	108
Πίνακας 84: $KM_{departure}$ συναρτήσεσι του Dσελ.	109
Πίνακας 85: $GM_{departure}$ συναρτήσεσι του $DWT_{scantling}$σελ.	110
Πίνακας 86: LA_{FT} συναρτήσεσι του L_{BP}σελ.	111
Πίνακας 87: LER συναρτήσεσι του L_{BP}σελ.	112
Πίνακας 88: LER συναρτήσεσι του MCRσελ.	113
Πίνακας 89: L_{cargo} συναρτήσεσι του L_{BP}σελ.	114
Πίνακας 90: Propeller Diameter συναρτήσεσι του $DWT_{scantling}$σελ.	115
Πίνακας 91: Propeller Diameter συναρτήσεσι του T_{design}σελ.	116
Πίνακας 92: Propeller Diameter συναρτήσεσι του MCRσελ.	117
Πίνακας 94: Επισύναψη σημαντικών λόγων για την προμελέτη σχεδίασης πλοίου μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην.....σελ.	120

Σχήματα

Σχήμα 1: Γενική διάταξη, κάτοψη και MidShip Bulk Carrier.....σελ.	12
Σχήμα 2: Τυπική διάταξη εγκάρσιας τομής Bulk Carrier.....σελ.	14
Σχήμα 3: Δείγμα Πλοίων με βάση το DWTσελ.	26
Σχήμα 4: Δείγμα Πλοίων ανάλογα με το έτος ναυπήγησης.....σελ.	27

Εικονες

Εικόνα 1: Διασπορά σημείων.....σελ.	129
Εικόνα 2: Βέλτιστη προσεγγιστική καμπύλη.....σελ.	129
Εικόνα 3: Εισαγωγή καμπύλων πρόβλεψης.....σελ.	130

Διαγράμματα

Διάγραμμα 1: Ενδεικτικό διάγραμμα διασποράς.....σελ.	9
Διάγραμμα 2: Διάγραμμα Διασποράς με προσεγγιστική καμπύλη και καμπύλες πρόβλεψης.....σελ.	10
Διάγραμμα 3: LOA συναρτήσεσι του L_{BP}σελ.	33
Διάγραμμα 4: L_{BP} συναρτήσεσι του DWT_{Design}σελ.	34
Διάγραμμα 5: L_{BP} συναρτήσεσι του $DWT_{Scantling}$σελ.	35
Διάγραμμα 6: B συναρτήσεσι του L_{BP}σελ.	36
Διάγραμμα 7: B συναρτήσεσι του DWT_{Design}σελ.	37
Διάγραμμα 8: D συναρτήσεσι του DWT_{Design}σελ.	38

Διάγραμμα 9: D συναρτήσει του L_{BP}σελ.	39
Διάγραμμα 10: D συναρτήσει του B.....σελ.	40
Διάγραμμα 11: D συναρτήσει του T_{Design}σελ.	41
Διάγραμμα 12: T_{Design} συναρτήσει του DWT_{Design}σελ.	42
Διάγραμμα 13: T_{Design} συναρτήσει του D.....σελ.	43
Διάγραμμα 14: T_{Design} συναρτήσει του B.....σελ.	44
Διάγραμμα 15: $T_{scantling}$ συναρτήσει του T_{Design}σελ.	45
Διάγραμμα 16: $T_{scantling}$ συναρτήσει του $DWT_{Scantling}$σελ.	46
Διάγραμμα 17: L_{BP}/B συναρτήσει του $DWT_{scantling}$σελ.	47
Διάγραμμα 18: L_{BP}/D συναρτήσει του $DWT_{scantling}$σελ.	47
Διάγραμμα 19: B/T συναρτήσει του $DWT_{scantling}$σελ.	48
Διάγραμμα 20: B/D συναρτήσει του $DWT_{scantling}$σελ.	48
Διάγραμμα 21: D/T συναρτήσει του $DWT_{scantling}$σελ.	49
Διάγραμμα 22: Freeboard scantling συναρτήσει του $DWT_{scantling}$σελ.	50
Διάγραμμα 23: Freeboard scantling συναρτήσει του D.....σελ.	51
Διάγραμμα 24: Freeboard scantling συναρτήσει του L_{BP}σελ.	52
Διάγραμμα 25: $DWT_{scantling}$ συναρτήσει του DWT_{Design}σελ.	53
Διάγραμμα 26: $L_{BP} \cdot B \cdot D$ συναρτήσει του $DWT_{scantling}$σελ.	54
Διάγραμμα 27: KG/D συναρτήσει του DWT_{design}σελ.	55
Διάγραμμα 28: $L_{cg\Delta}/L_{bp}$ συναρτήσει του DWT_{design} σε κατάσταση FLD.....σελ.	56
Διάγραμμα 29: $Displacement_{Design}(\Delta)$ συναρτήσει του DWT_{Design}σελ.	57
Διάγραμμα 30: $DWT_{design}/Displacement_{design}$ συναρτήσει του DWT_{design}σελ.	58
Διάγραμμα 31: $Displacement_{design}$ συναρτήσει του $L_{BP} \cdot B \cdot D$σελ.	59
Διάγραμμα 32: L.S. συναρτήσει του L_{BP}σελ.	60
Διάγραμμα 33: L.S. συναρτήσει του $L_{BP} \cdot B \cdot D$σελ.	61
Διάγραμμα 34: L.S. συναρτήσει του DWT_{design}σελ.	62
Διάγραμμα 35: L.S. συναρτήσει του $DWT_{scantling}$σελ.	63
Διάγραμμα 36: $L.S./\Delta_{design}$ συναρτήσει του DWT_{design}σελ.	64
Διάγραμμα 37: GT συναρτήσει του DWT_{design}σελ.	65
Διάγραμμα 38: GT συναρτήσει του $DWT_{scantling}$σελ.	66
Διάγραμμα 39: GT συναρτήσει του L_{BP}σελ.	67
Διάγραμμα 40: GT συναρτήσει του $L_{BP} \cdot B \cdot D$σελ.	68
Διάγραμμα 41: GT/DWT_{design} συναρτήσει του DWT_{design}σελ.	69
Διάγραμμα 42: NT συναρτήσει του DWT_{design}σελ.	70
Διάγραμμα 43: NT συναρτήσει του $DWT_{scantling}$σελ.	71
Διάγραμμα 44: NT συναρτήσει του $L_{BP} \cdot B \cdot D$σελ.	72
Διάγραμμα 45: NT συναρτήσει του GT.....σελ.	73
Διάγραμμα 46: NT/GT συναρτήσει του NT.....σελ.	74
Διάγραμμα 47: SCNT συναρτήσει του GT.....σελ.	75
Διάγραμμα 48: V_{cargo} GRAIN συναρτήσει του $DWT_{scantling}$σελ.	76
Διάγραμμα 49: V_{cargo} BALE συναρτήσει του $DWT_{scantling}$σελ.	77

Διάγραμμα 50: $V_{\text{cargo GRAIN}}$ συναρτήσεως του $L_{\text{BP}} \cdot B \cdot D$σελ.	78
Διάγραμμα 51: $V_{\text{cargo BALE}}$ συναρτήσεως του $L_{\text{BP}} \cdot B \cdot D$σελ.	79
Διάγραμμα 52: $V_{\text{cargo GRAIN}}$ συναρτήσεως του $L_{\text{cargo}} \cdot B \cdot D$σελ.	80
Διάγραμμα 53: $V_{\text{cargo BALE}}$ συναρτήσεως του $L_{\text{cargo}} \cdot B \cdot D$σελ.	81
Διάγραμμα 54: $V_{\text{cargo GRAIN}}$ συναρτήσεως του L_{cargo}σελ.	82
Διάγραμμα 55: $V_{\text{cargo BALE}}$ συναρτήσεως του L_{cargo}σελ.	83
Διάγραμμα 56: $V_{\text{cargo GRAIN}}$ συναρτήσεως του NTσελ.	84
Διάγραμμα 57: $V_{\text{cargo BALE}}$ συναρτήσεως του NTσελ.	85
Διάγραμμα 58: V_{ballast} συναρτήσεως του $DWT_{\text{scantling}}$σελ.	86
Διάγραμμα 59: V_{ballast} συναρτήσεως του $L_{\text{BP}} \cdot B \cdot D$σελ.	87
Διάγραμμα 60: V_{ballast} συναρτήσεως του $V_{\text{cargo GRAIN}}$σελ.	88
Διάγραμμα 61: V_{fuel} συναρτήσεως του $L_{\text{BP}} \cdot B \cdot D$σελ.	89
Διάγραμμα 62: V_{fuel} συναρτήσεως του P_{MCR}σελ.	90
Διάγραμμα 63: V_{fuel} συναρτήσεως του $DWT_{\text{scantling}}$σελ.	91
Διάγραμμα 64: V_{diesel} συναρτήσεως του V_{fuel}σελ.	92
Διάγραμμα 65: $V_{\text{diesel}}/V_{\text{fuel}}$ συναρτήσεως του V_{fuel}σελ.	93
Διάγραμμα 66: C_N συναρτήσεως του DWT_{design}σελ.	94
Διάγραμμα 67: MCR συναρτήσεως του $L_{\text{BP}} \cdot B \cdot D$σελ.	95
Διάγραμμα 68: V_s συναρτήσεως του L_{BP}σελ.	96
Διάγραμμα 69: KG_{LS} συναρτήσεως του Dσελ.	97
Διάγραμμα 70: LCG_{LS} συναρτήσεως του L_{BP}σελ.	98
Διάγραμμα 71: $KG_{\text{departure}}$ συναρτήσεως του Dσελ.	99
Διάγραμμα 72: $LCG_{\text{departure}}$ συναρτήσεως του L_{BP}σελ.	100
Διάγραμμα 73: $KG_{\text{cargo departure}}$ συναρτήσεως του Dσελ.	101
Διάγραμμα 74: $LCG_{\text{cargo departure}}$ συναρτήσεως του L_{BP}σελ.	102
Διάγραμμα 75: C_B συναρτήσεως του DWT_{design}σελ.	103
Διάγραμμα 76: C_M συναρτήσεως του DWT_{design}σελ.	104
Διάγραμμα 77: C_P συναρτήσεως του DWT_{design}σελ.	105
Διάγραμμα 78: C_W συναρτήσεως του DWT_{design}σελ.	106
Διάγραμμα 79: $KB_{\text{departure}}$ συναρτήσεως του T_{design}σελ.	107
Διάγραμμα 80: $LCB_{\text{departure}}$ συναρτήσεως του L_{BP}σελ.	108
Διάγραμμα 81: $KM_{\text{departure}}$ συναρτήσεως του Dσελ.	109
Διάγραμμα 82: $GM_{\text{departure}}$ συναρτήσεως του $DWT_{\text{scantling}}$σελ.	110
Διάγραμμα 83: L_{AFT} συναρτήσεως του L_{BP}σελ.	111
Διάγραμμα 84: L_{ER} συναρτήσεως του L_{BP}σελ.	112
Διάγραμμα 85: L_{ER} συναρτήσεως του MCRσελ.	113
Διάγραμμα 86: L_{cargo} συναρτήσεως του L_{BP}σελ.	114
Διάγραμμα 87: Propeller Diameter συναρτήσεως του $DWT_{\text{scantling}}$σελ.	115
Διάγραμμα 88: Propeller Diameter συναρτήσεως του T_{design}σελ.	116
Διάγραμμα 89: Propeller Diameter συναρτήσεως του MCRσελ.	117

Ευχαριστίες

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

Ευχαριστώ επίσης την κυρία Ελευθερία Ηλιοπούλου και τον κύριο Γεώργιο Παπαντζανάκη για την πολύτιμη βοήθειά τους όπου και οποιαδήποτε στιγμή την είχα χρειαστεί.

Θερμές ευχαριστίες επίσης απευθύνω και σε παλαιότερους συμφοιτητές μου στους οποίους, η βοήθεια, που είχαν φέρει εις πέρας παλαιότερες διπλωματικές εργασίες όμοιου θέματος, συντέλεσαν σημαντικά στο να φέρω εις πέρας την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

Περίληψη

Η διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό την εύρεση εμπειρικών τύπων και τον εντοπισμό πιθανών σχέσεων μεταξύ των κύριων χαρακτηριστικών των πλοίων μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην στο αρχικό στάδιο της προμελέτης.

Αρχικά, συλλέχθηκαν τα δεδομένα από διάφορα σχέδια και εγχειρίδια, τα οποία είχε στην διάθεση του το εργαστήριο του Τομέα Μελέτης Πλοίου και Θαλάσσιων Μεταφορών. Ακολουθώντας, καταχωρήθηκαν τα δεδομένα στην βάση δεδομένων που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο, σε λογισμικό πρόγραμμα της MS Access και συμπληρώθηκε από άλλους φοιτητές.

Έπειτα, η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με την εύρεση εμπειρικών τύπων και συσχετίσεων, όπου χρησιμοποιήθηκε και το λογισμικό πρόγραμμα Python, με τη βοήθεια της μεθόδου της παλινδρομικής ανάλυσης.

Με βάση τα δεδομένα της διπλωματικής εργασίας και τις απαιτήσεις του πλοιοκτήτη, μπορούν να υπολογιστούν κάποια σημαντικά βασικά χαρακτηριστικά των πλοίων ξηρού φορτίου χύδην καθώς και να γίνουν διάφορες συσχετίσεις και να προκύψουν συντελεστές. Όλοι οι υπολογισμοί γίνονται συναρτήσει των χαρακτηριστικών στοιχείων του πλοίου.

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. Εν κατακλείδι, αξίζει να σημειωθεί ότι η υλοποίηση της διπλωματικής εργασίας είναι αρκετά σημαντική.

Εισαγωγή

Αρχικά, γίνεται μια περίληψη για το τι περιλαμβάνει η διπλωματική εργασία.

Στο 1^ο κεφάλαιο 'Πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην', της διπλωματικής εργασίας, γίνεται μια περιγραφή για τα πλοία ξηρού φορτίου χύδην.

Στο 2^ο κεφάλαιο 'Βάση Δεδομένων', περιγράφεται η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε, καθώς και του δείγματος ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε.

Στο 3^ο κεφάλαιο 'Στατική Ανάλυση', περιγράφεται η διαδικασία και οι τύποι για την ανάλυση των δεδομένων που είχε στη διάθεση του το εργαστήριο της σχολής.

Στο 4^ο κεφάλαιο 'Εκτίμηση Στοιχείων Bulk Carriers', παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μέσα από την ανάλυση των δεδομένων. Σημαντικό σε αυτό το κεφάλαιο είναι οι εμπειρικοί τύποι στους οποίους καταλήξαμε, όπως και τα διαγράμματα που δείχνουν τα όρια σε κάθε περίπτωση για την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων μας.

Στο 5^ο κεφάλαιο 'Συμπεράσματα και προτάσεις', παραθέτουμε κάποια συμπεράσματα στα οποία καταλήξαμε μέσα από τα αποτελέσματα μετά την ανάλυση των δεδομένων, και σύμφωνα με τους εμπειρικούς τύπους που υπάρχουν σε κάποια βιβλία. Επίσης, παραθέτουμε και κάποιες προτάσεις που θα οδηγούσαν σε καλύτερα αποτελέσματα.

Στο 6^ο κεφάλαιο 'Βιβλιογραφία', αναφέρονται τα βιβλία και τα αρχεία που χρησιμοποιήθηκαν και βοήθησαν για να έρθει εις πέρας η πτυχιακή εργασία.

Τέλος, αναφέρεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε στο λογισμικό πρόγραμμα Python για την ανάλυση των δεδομένων μας, καθώς και ο κώδικας ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για την επίτευξη της εργασίας.

1. Πλοία Μεταφοράς Ξηρού φορτίου χύδην

1.1 Γενικά

Σύμφωνα με την διεθνή σύμβαση SOLAS I Chapter IX, ένα φορτηγό πλοίο ορίζεται και ως πλοίο μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην όταν διαθέτει ένα κατάστρωμα, τα κύτη που μεταφέρουν το φορτίο και άνω και κάτω πλευρικές δεξαμενές στους χώρους φορτίου. Αξίζει να σημειωθεί ότι στις μέρες μας κατασκευάζονται και πλοία με διπλή γάστρα, που αλλάζει ελαφρώς τη διατομή του. Διαθέτουν μια στιβαρή και απλή κατασκευή με μεγάλο συντελεστή γάστρας περί τα 0.85, και η υπηρεσιακή τους ταχύτητα κυμαίνεται μεταξύ 12 και 17kn. Το πλοίο μεταφοράς ξηρού φορτίου αποτελείται από το μηχανοστάσιο που τοποθετείται κοντά στην πρύμνη του από τον πυθμένα του έως και το κατάστρωμα, τις υπερκατασκευές που τοποθετούνται και αυτές στην πρύμνη του από το κατάστρωμα μέχρι το ύψος που μπορεί να έχει σε κάθε περίπτωση και τον χώρο του φορτίου, τα αμπάρια δηλαδή που βρίσκονται πλώραθεν του μηχανοστασίου και φτάνουν μέχρι την πρωραία φρακτή σύγκρουσης. Μεταξύ του χώρου φορτίου (που συνήθως αποτελείται από 5 έως 11 κύτη) τοποθετούνται εγκάρσιες στεγανές φρακτές για την καλύτερη ασφάλεια μεταφοράς του φορτίου. Αυτό το είδος πλοίου δεν διαθέτει εσωτερικά καταστρώματα κάτω από το κύριο κατάστρωμα, όπως και διαμήκεις φρακτές, με τα κύτη τους να εκτείνονται από την μια πλευρά του πλοίου μέχρι την άλλη. Το πρώτο πλοίο μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην κατασκευάστηκε το μακρινό 1852, και έκτοτε δεν έχει σταματήσει η ανάπτυξη και η εξέλιξη του. Τα σύγχρονα πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην σχεδιάζονται ειδικά για τη μεγιστοποίηση της χωρητικότητας, της ασφάλειας, της αποδοτικότητας και της ανθεκτικότητας. Επίσης, αποτελούν έναν από τους πιο διαδεδομένους τύπους πλοίων του παγκόσμιου εμπορικού στόλου.

Το σύγχρονο bulk carrier έχει εξελιχθεί σταδιακά αλλά από τη δεκαετία του 1960, ο τυπικός σχεδιασμός ήταν ένα πλοίο μονού κύτους με διπλό πυθμένα, όπου το μεγάλο φορτίο να τοποθετείται μεταξύ δεξαμενών χοάνης και καλυμμένες δεξαμενές που στο επάνω μέρος έχουν καταπακτές. Το bulk carrier αναπτύχθηκε για πρώτη φορά για να μεταφέρει στεγνό φορτία, τα οποία αποστέλλονται σε μεγάλες ποσότητες και δεν χρειάζεται να μεταφερθούν σε συσκευασμένη μορφή. Τα κύρια φορτία χύδην είναι σιτηρά, όπως το σιτάρι, άνθρακα, σιδηρομετάλλευμα, βωξίτη, φωσφορικά και νιτρικά. Το πλεονέκτημα της μεταφοράς τέτοιων φορτίων χύμα είναι ότι το κόστος συσκευασίας μπορεί να μειωθεί σημαντικά και οι εργασίες φόρτωσης και εκφόρτωσης μπορούν να επιταχυνθούν πάνω.

1.2 Κατηγορίες

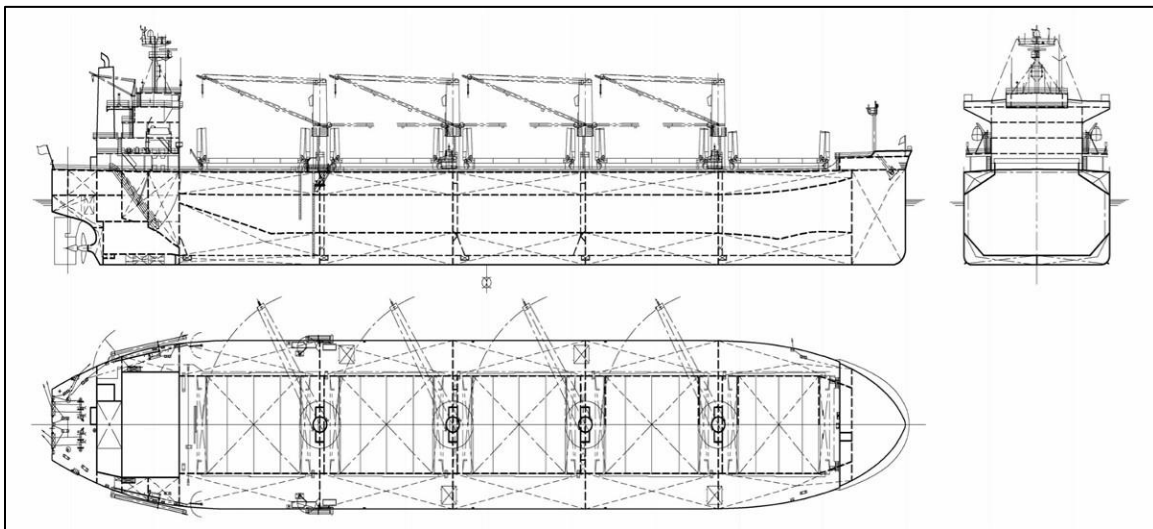
Τα πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με την χωρητικότητά τους σε DWT και διακρίνονται ως εξής:

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

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

1.3 Διάταξη

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



Σχήμα 1: Γενική διάταξη, κάτοψη και MidShip Bulk Carrier [8]

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

- Πρυμναίο τμήμα (LAFT): Ορίζεται από την πρυμναία κάθετο (A.P.) έως την πρυμναία φρακτή του μηχανοστασίου που συμπίπτει με την πρυμναία φρακτή σύγκρουσης.
- Χώρος μηχανοστασίου(LER): 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(LCARGO): 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(LFWR): 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:

$$\min\left\{\frac{5\%LBP}{10m}\right\} \leq d \leq \max\left\{\frac{8\%LBP}{5\%LBP + 3m}\right\}$$

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

Μέσω το βολβού

$$a = \min\{1.5\% LBP \text{ πρῶραθεν της F.P. } \}$$

$$3m \text{ πρῶραθεν της F.P.}$$

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.

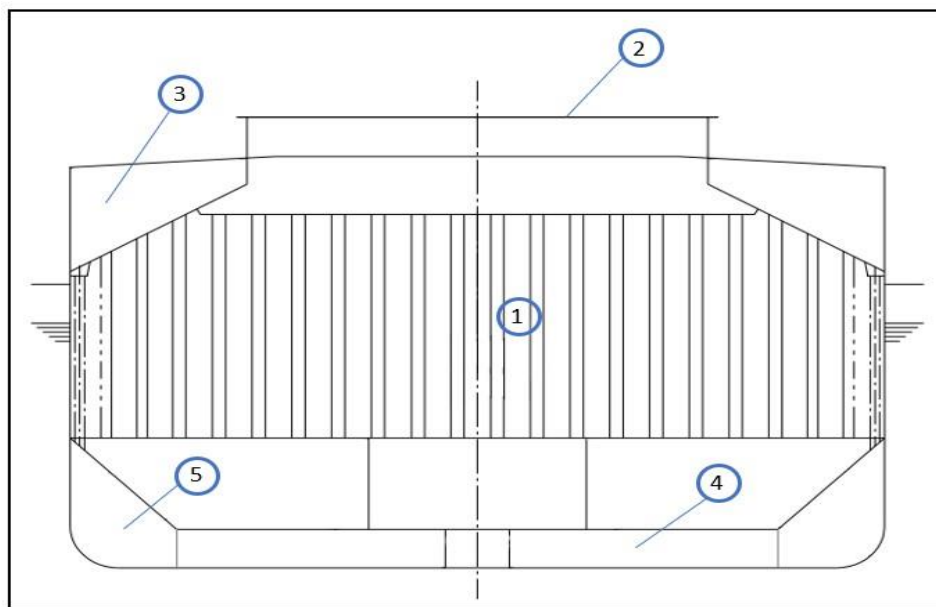
Το Ύψος διπυθμένου (hDB) καθορίζεται από τον εκάστοτε νηογνώμονα ως εξής:

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

LR: $hDB[mm] \geq 28 * B[m] + 205 T[m]$ ελάχιστο 650mm

DNV: $hDB[mm] 250 + 20 * B[m] + 50 T[m]$ 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 [1]

1.4 Κανονισμοί

Κατά τη δεκαετία του 1990, ο ΙΜΟ υιοθέτησε μια σειρά από μέτρα για τη βελτίωση της ασφάλειας των πλοίων μεταφοράς χύδην, με αποκορύφωμα τον Νοέμβριο του 1997, όταν η ΙΜΟ σε μια διάσκεψη ενέκρινε σημαντικούς νέους κανονισμούς με σκοπό την μελέτη και την σχεδίαση των πλοίων για να αποτρέπουν τη βύθιση των φορτηγών χύδην μετά από ένα ατύχημα. Όσον αφορά την ασφάλεια γενικότερα από τον ΙΜΟ, έχει αναπτύξει συνθήκες που αφορούν την ασφάλεια της ζωής στη θάλασσα, την πρόληψη συγκρούσεων, την βελτίωση των ραδιοεπικοινωνιών στη θάλασσα, τις γραμμές φόρτωσης και τη χωρητικότητα.

Σύμφωνα με την SOLAS και το ψήφισμα το οποίο τέθηκε σε ισχύ για πλοία που θα κατασκευάζονται μετά το 1999 θα πρέπει τα πλοία αυτά να προϋποθέτουν κάποιες απαιτήσεις για την διαμήκη αντοχή, τις απαραίτητες αξιολογήσεις για τις καταστάσεις σχεδίασης και λειτουργίας του πλοίου και της ασφάλειας της φορτοεκφόρτωσης του φορτίου, μερικές οι οποίες είναι:

- Τις απαραίτητες αξιολογήσεις και βεβαιώσεις για τα τεχνικά πρότυπα που πρέπει να έχει το υλικό από το οποίο κατασκευάζεται το πλοίο, κυρίως χάλυβα, και τότε θα πρέπει να γίνεται η ανακατασκευή του για την ασφαλή λειτουργία του πλοίου, λαμβάνοντας υπόψη την καταπόνηση από το φορτίο και την διατμητική ικανότητα που λαμβάνει το διπύθμενο
- Τις απαραίτητες βεβαιώσεις σύμφωνα με τους αναγνωρισμένους οργανισμούς για συστήματα φόρτωσης που χρειάζεται να τοποθετηθούν
- Τις ενισχυμένες έρευνες που έγιναν για την μεταφορική ικανότητα των βαρέων φορτίων που θα μπορεί να μεταφέρει το πλοίο, ανάλογα με την πυκνότητα του φορτίου
- Τις περαιτέρω εργασίες για την ασφάλεια των πλοίων εν πλω σύμφωνα με το νέο κεφάλαιο XII και την ανάπτυξη μονόπλευρου side-skin για τα πλοία αυτά
- Τις πιστοποιήσεις που απαιτείται να λάβουν όλες οι ναυτιλιακές εταιρείες για τα πλοία τους, μέσω της εφαρμογής του διεθνές κώδικα ασφάλειας και διαχείρισης (ISM)

Στη συνέχεια αναφέρονται τα πέντε βήματα τα οποία αποτελείται η FSA:

- Την αναγνώριση κινδύνων (κατάλογος όλων των σχετικών σεναρίων ατυχημάτων με πιθανές αιτίες και αποτελέσματα)
- Την αξιολόγηση του κινδύνου (αξιολόγηση παραγόντων κινδύνου)
- Τις επιλογές ελέγχου του κινδύνου (επινοήση ρυθμιστικών μέτρων για τον έλεγχο και να μειώσει τους εντοπισμένους κινδύνους)
- Το όφελος κόστους αξιολόγησης (καθορισμός της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας του καθενός ελέγχου κινδύνου)
- Τις συστάσεις για τη λήψη αποφάσεων (πληροφορίες σχετικά με τους κινδύνους και τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας που παρέχουν οι εναλλακτικές επιλογές ελέγχου του κίνδυνου)

Τέλος, η διεθνής ένωση νηογνωμόνων (IACS), έχει να κάνει με τους ελέγχους περί του τεχνικού συστήματος του πλοίου, τις λειτουργίες επί του σκάφους, της διαχείρισης του φορτίου, καθώς και της φορτοεκφόρτωσης του, τόσο επί του πλοίου όσο και επί των λιμανιών και των διυλιστηρίων.

Συνοπτικά, οι κανονισμοί που αναφέρεται ο κάθε φορέας είναι πάρα πολύ σημαντικοί και είναι αδύνατο να αναφερθούμε σε όλους γιατί αποτελούνται από τόμους ολόκληρους. Παρόλα αυτά αποτελούν σαφέστατα το σημαντικότερο κομμάτι για την ασφαλή λειτουργία ενός πλοίου μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην και έχουν ως σκοπό με τις απαιτήσεις που προϋποθέτουν, την αποφυγή των ατυχημάτων και την ασφαλή μεταφορά του φορτίου.

2. Βάση Δεδομένων

Αφού ολοκληρώσαμε την συγκέντρωση των τεχνικών στοιχείων των πλοίων μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην που υπήρχαν διαθέσιμα στο Εργαστήριο Μελέτης Πλοίου ΕΜΠ, καταχωρήσαμε τα δεδομένα σε μια βάση δεδομένων που έχει αναπτυχθεί στο λογισμικό της MS Access. Τα πεδία της βάσης δεδομένων συνοψίζονται πιο κάτω.

2.1 Περιγραφή Βάσης Δεδομένων

Καρτέλα 1: Γενικά Χαρακτηριστικά

Πίνακας 2: Γενικά Χαρακτηριστικά

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 (t)	Ολική χωρητικότητα
Nt (t)	Καθαρή χωρητικότητα
Suez Canal Net Tonnage (t)	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 (kn)	Ταχύτητα υπηρεσίας
Speed Scantling (kn)	Ταχύτητα στο βύθισμα αντοχής
Lightship (t)	Βάρος άφορτου σκάφους
Endurance (sm)	Αυτονομία του πλοίου (sea miles)
Crew	Αριθμός πληρώματος
Length OA (m)	Ολικό μήκος
Length BP (m)	Μήκος μεταξύ καθέτων
Beam (m)	Πλάτος
Depth (m)	Κοίλο
Double Hull (Yes/No)	Διπλή γάστρα
Distance of Double Hull (m)	Απόσταση διπλής γάστρας

Καρτέλα 2: Κύρια και βοηθητικά μηχανήματα, έλικα και πηδάλιο**Πίνακας 3:** Κύρια και βοηθητικά μηχανήματα, έλικα και πηδάλιο

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 (r/min)	Στροφές ανά λεπτό της MCR
RPM CSO (r/min)	Στροφές ανά λεπτό της CSO
HFO Consumption (t/day)	Κατανάλωση καυσίμου
Shaft Length (m)	Μήκος άξονα
Gear Description	Περιγραφή μηχανής
Gen Maker	Κατασκευαστής γεννήτριας
Gen Model	Μοντέλο γεννήτριας
Number of Gen	Αριθμός γεννητριών
Gen HP (kw)	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 (m)	Διάμετρος έλικας
Rudder Height (m)	Ύψος πηδαλίου
Rudder Beam (m)	Πλάτος πηδαλίου
Max Helm Angle (°)	Γωνία τιμονιού
Pump Ballast Power (m ³ /h)	Ισχύς αντλιών έρματος

Καρτέλα 3: Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά και υπερκατασκευές**Πίνακας 4:** Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά και υπερκατασκευές

Aft Frame Spacing (mm)	Ισαπτόσταση των κατασκευαστικών νομέων στο πρυμναίο τμήμα
E.R. Frame Spacing (mm)	Ισαπτόσταση των κατασκευαστικών νομέων στο χώρο μηχανοστασίου
Cargo Frame Spacing (mm)	Ισαπτόσταση των κατασκευαστικών νομέων στον χώρο φορτίου
Fore Frame Spacing (mm)	Ισαπτόσταση των κατασκευαστικών νομέων στο πρωραίο τμήμα
Aft Length (m)	Μήκος πρυμναίου τμήματος
Cargo Length (m)	Μήκος χώρου φορτίου
E.R. Length (m)	Μήκος χώρου μηχανοστασίου
Forward Length (m)	Μήκος πρωραίου τμήματος
Camber (Yes/No)	Ύπαρξη κυρτότητας καταστρώματος (Yes / No)
Camber Height (mm)	Ύψος κυρτότητας καταστρώματος
Double Bottom Height (m)	Ύψος διπύθμενου
Sheer Stem (Yes/No)	Ύπαρξη σιμότητας στην πλώρη (Yes / No)
Sheer Length Stem (m)	Μήκος πρωραίας σιμότητας
Sheer Height Stem (m)	Ύψος σιμότητας στην πρωραία κάθετο
Sheer Stern (Yes/No)	Ύπαρξη σιμότητα στην πρύμνη (Yes / No)
Sheer Length Stern (m)	Μήκος πρυμναίας σιμότητας
Sheer Height Stern (m)	Ύψος σιμότητας στην πρυμναία κάθετο
Transversal Surface (m ²)	Εγκάρσια επιφάνεια υπερκατασκευών
Centre of Transversal Surface Z (m)	Κέντρο εγκάρσιας επιφάνειας υπερκατασκευών κατά τον κάθετο άξονα
Longitudinal Surface (m ²)	Διαμήκης επιφάνεια υπερκατασκευών
Centre of Longitudinal Surface Z (m)	Κέντρο διαμήκης επιφάνειας υπερκατασκευών κατά τον κάθετο άξονα
Centre of Longitudinal Surface X (m)	Κέντρο διαμήκης επιφάνειας υπερκατασκευών κατά τον διαμήκης άξονα
Hatches No.	Αριθμός κυτών
Hatch length (m)	Μήκος κυτών
Hatch beam (m)	Πλάτος κυτών

Bulb (Yes/No)	Ύπαρξη βολβού (Yes/No)
Bulb Length (m)	Μήκος βολβού από την F.P.
Superstructure Height (m)	Ύψος υπερκατασκευής (συνολικά)
Superstructure Length (m)	Μήκος υπερκατασκευής
Superstructure Beam (m)	Πλάτος υπερκατασκευής
Forecastle (Yes/No)	Ύπαρξη πρόστεγου (Yes/No)
Forecastle Length (m)	Μήκος πρόστεγου
Forecastle Height (m)	Ύψος πρόστεγου
Poopdeck (Yes/No)	Ύπαρξη επίστεγου (Yes/No)
Poopdeck Length (m)	Μήκος επίστεγου
Poopdeck Height (m)	Ύψος επίστεγου
Cranes (Yes/No)	Ύπαρξη γερανού (Yes/No)
Number of cargo cranes	Αριθμός γερανών

Καρτέλα 5: Homogenous Load Departure & Arrival στο βύθισμα σχεδίασης**Πίνακας 5:** Homogenous Load Deprture & Arrival στο βύθισμα σχεδίασης

Στο βύθισμα σχεδίασης	
Draft Design (m)	Βύθισμα σχεδίασης
Displacement Design (t)	Εκτόπισμα
DWT Design (t)	Πρόσθετο (νεκρό) βάρος
Freeboard Design (m)	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 (m ²)	Βρεχόμενη επιφάνεια
Λεπτομέρειες για τα δεδομένα της Full Load Departure στο βύθισμα σχεδίασης	
Ta dep (m)	Πρυμναίο βύθισμα (στην πρυμναία κάθετο)
Tf dep (m)	Πρωραίο βύθισμα (στην πρωραία κάθετο)
Trim dep T (m)	Διαγωγή
KB dep (m)	Απόσταση κέντρου άντωσης από το βασικό επίπεδο
LCB dep (m)	Διαμήκης θέση του κέντρου άντωσης ομοιογενούς φόρτωσης
Trim dep (m)	Διαγωγή ομοιογενούς φόρτωσης
KM dep (m)	Απόσταση του μετάκεντρου από το βασικό επίπεδο
GM dep (m)	Μετακεντρικό ύψος
KGdep Cargo (m)	Απόσταση του κέντρου βάρους του φορτίου από το βασικό επίπεδο
KGdep DWT (m)	Απόσταση του κέντρου βάρους του πρόσθετου (νεκρού) βάρους από το βασικό επίπεδο
KGdep FO (m)	Απόσταση του κέντρου βάρους του καυσίμου από το βασικό επίπεδο
KGdep DO (m)	Απόσταση του κέντρου βάρους του Diesel από το βασικό επίπεδο
KGdep FW (m)	Απόσταση του κέντρου βάρους του γλυκού νερού από το βασικό επίπεδο

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

LCGarr DWT (m)	Διαμήκης θέση του κέντρου βάρους του πρόσθετου (νεκρού) βάρους
LCGarr FO (m)	Διαμήκης θέση του κέντρου βάρους του καυσίμου
LCGarr DO (m)	Διαμήκης θέση του κέντρου βάρους του Diesel
LCGarr FW (m)	Διαμήκης θέση του κέντρου βάρους του γλυκού νερού
LCGarr LO (m)	Διαμήκης θέση του κέντρου βάρους των λιπαντικών
LCGarr Ship (m)	Διαμήκης θέση του κέντρου βάρους εκτοπίσματος

Καρτέλα 5: Γενικά Χαρακτηριστικά στο βύθισμα αντοχής

Πίνακας 6: Γενικά χαρακτηριστικά στο βύθισμα αντοχής

Στο βύθισμα αντοχής	
Draft scantling (m)	Βύθισμα αντοχής
Displacement Scantling (m)	Εκτόπισμα
DWT Scantling (t)	Πρόσθετο (νεκρό) βάρος
Freeboard Scantling (m)	Ύψος εξάλων
KB scantl (m)	Απόσταση κέντρου άντωσης από το βασικό επίπεδο
LCBscantl (m)	Διαμήκης θέση του κέντρου άντωσης
KM scantl (m)	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 (m ²)	Βρεχόμενη επιφάνεια
MTC_Scantling	Ροπή διαγωγής ανά εκατοστό διαφοράς βυθισμάτων

Καρτέλα 7α: Heavy Ballast Departure & Arrival, Light Ballast Departure & Arrival**Πίνακας 7α:** Heavy Ballast Departure & Arrival, Light Ballast Departure & Arrival

Λεπτομέρειες για τα δεδομένα της Heavy Ballast Departure	
Ta H-B (m)	Πρυμναίο βύθισμα
Ta H-B (m)	Πρωραίο βύθισμα
Trim H-B (m)	Διαγωγή
KB H-B (m)	Απόσταση κέντρου άντωσης από το βασικό επίπεδο
LCB H-B (m)	Διαμήκης θέση του κέντρου άντωσης
KM H-B (m)	Απόσταση του μετάκεντρου από το βασικό επίπεδο
GM H-B (m)	Μετακεντρικό ύψος
Λεπτομέρειες για τα δεδομένα της Light Ballast Departure	
Ta L-B (m)	Πρυμναίο βύθισμα
Ta L-B (m)	Πρωραίο βύθισμα
Trim L-B (m)	Διαγωγή
KB L-B (m)	Απόσταση κέντρου άντωσης από το βασικό επίπεδο
LCB L-B (m)	Διαμήκης θέση του κέντρου άντωσης
KM L-B (m)	Απόσταση του μετάκεντρου από το βασικό επίπεδο
GM L-B (m)	Μετακεντρικό ύψος
Λεπτομέρειες για τα δεδομένα της Heavy Ballast Arrival	
LCGarr H-B (m)	Διαμήκης θέση του κέντρου βάρους
KGarr H-B (m)	Απόσταση του κέντρου βάρους από το βασικό επίπεδο
Λεπτομέρειες για τα δεδομένα της Light Ballast Arrival	
LCGarr L-B (m)	Διαμήκης θέση του κέντρου βάρους
KGarr L-B (m)	Απόσταση του κέντρου βάρους από το βασικό επίπεδο

Καρτέλα 7β: Χωρητικότητα δεξαμενών, πλήρωμα και Lightship**Πίνακας 7β:** Χωρητικότητα δεξαμενών, πλήρωμα και Lightship

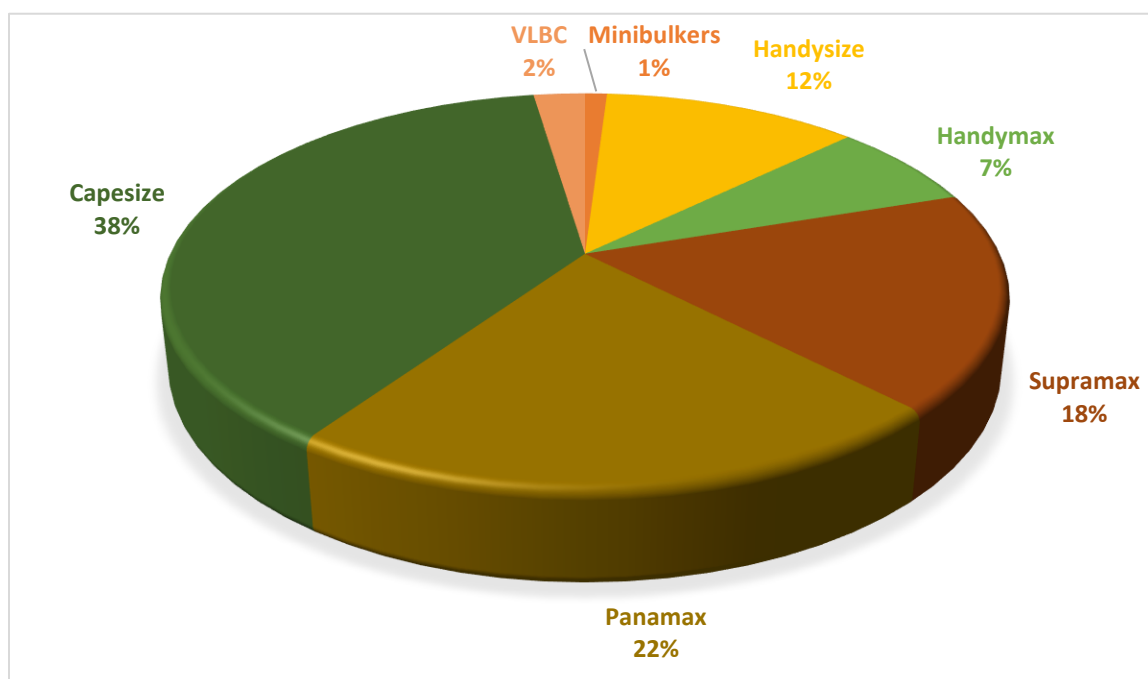
Χωρητικότητες δεξαμενών, πλήρωμα και Lightship	
Ballast tanks capacity (m ³)	Χωρητικότητα δεξαμενών έρματος
Ballast tanks capacity max (m ³)	Μέγιστη χωρητικότητα δεξαμενών έρματος
Fresh water tank capacity (t)	Χωρητικότητα δεξαμενών γλυκού νερού
Fuel oil tank capacity (m ³)	Χωρητικότητα δεξαμενών καυσίμου
Diesel oil tank capacity (m ³)	Χωρητικότητα δεξαμενών Diesel
Lub oil tank capacity (m ³)	Χωρητικότητα δεξαμενών για λιπαντικά
Constant weight (t)	Σταθερό βάρος
Holds number	Αριθμός δεξαμενών
Cargo Capacity Grain (m ³)	Χωρητικότητα δεξαμενών φορτίου Grain
Cargo Capacity Bale (m ³)	Χωρητικότητα δεξαμενών φορτίου Bale
KG LS (m)	Απόσταση του κέντρου βάρους του L.S. από το βασικό επίπεδο
LCG LS (m)	Διαμήκης θέση του κέντρου βάρους του L.S.
KG crew & constant (m)	Απόσταση του κέντρου βάρους από το βασικό επίπεδο (σταθερό βάρος και βάρος πληρώματος)
LCG crew & constant (m)	Διαμήκης θέση του κέντρου βάρους (σταθερό βάρος και βάρος πληρώματος)

2.2 Περιγραφή δείγματος ανάλυσης των bulk carrier

Στη διπλωματική εργασία έχουν καταγραφεί και αναλυθεί συνολικά 297 πλοία μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην, τα οποία είναι διαθέσιμα ανάλογα με την χωρητικότητα και το μέγεθος τους. Διακρίθηκαν από μικρά πλοία (Minibulkers) μέχρι VLBC (Very Large Bulk Carrier) και συνολικά κατανέμονται ως εξής:

Πίνακας 8: Δείγμα Υπό Μελέτη Πλοίων με βάση το DWT [1]

Ship Type	DWT (t)	Number of ships	%
Minibulkers	Έως 10000	3	1,01
Handysize	10000-35000	35	11,78
Handymax	35000-50000	21	7,07
Supramax	50000-60000	53	17,85
Panamax	60000-80000	65	21,89
Capesize	80000-200000	113	38,04
VLBC (Very Large Bulk Carrier)	200000-	7	2,36
Total	-	297	100,00%

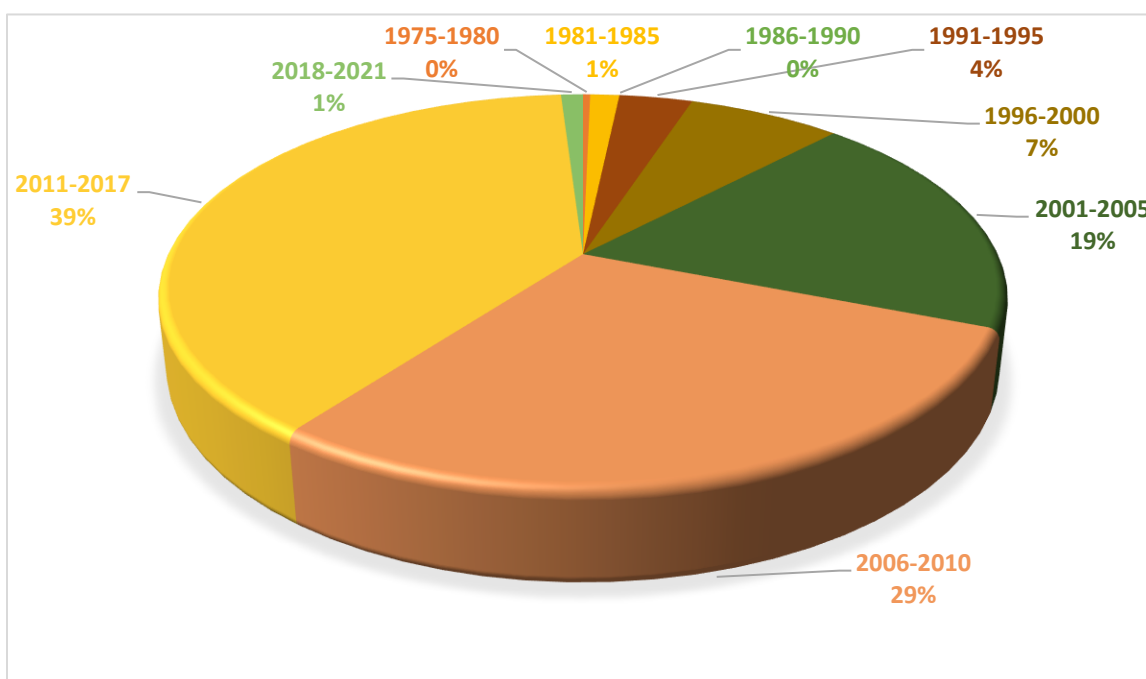


Σχήμα 3: Δείγμα Πλοίων με βάση το DWT

Όσον αφορά την χρονολογία κατασκευής τους κατατάσσονται ως εξής:

Πίνακας 9: Δείγμα Πλοίων ανάλογα με το έτος ναυπήγησης

Χρονολογία	Number of ships	%
1975-1980	1	0,33%
1981-1985	4	1,34%
1986-1990	0	0%
1991-1995	10	3,37%
1996-2000	21	7,07%
2001-2005	56	18,86%
2006-2010	87	29,29%
2011-2017	115	38,73%
2018-2021	3	1,01%



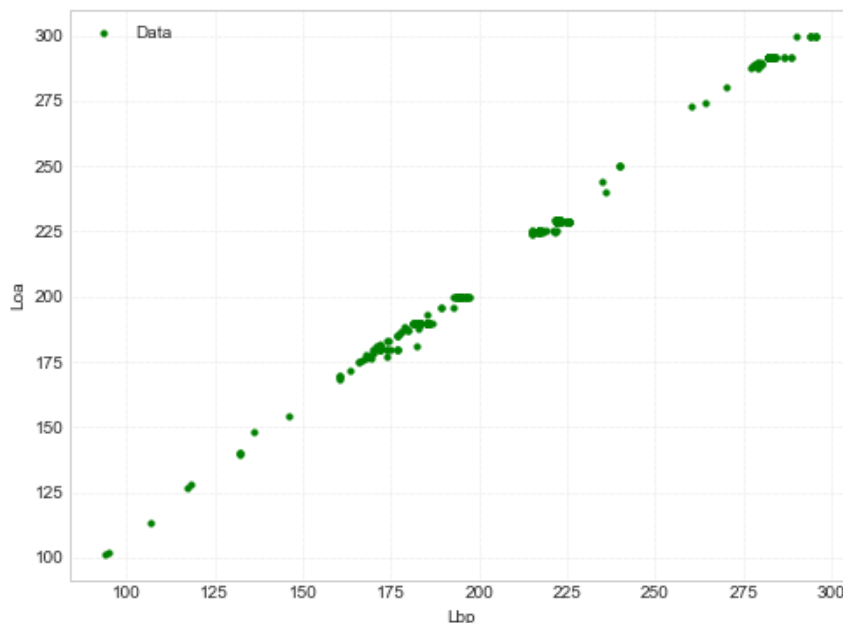
Σχήμα 4: Δείγμα Πλοίων ανάλογα με το έτος ναυπήγησης

3 Στατιστική Ανάλυση

Στα προκαταρκτικά στάδια της μελέτης ενός πλοίου χρειάζονται 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 Διάγραμμα Διασποράς (Scatter Diagram)

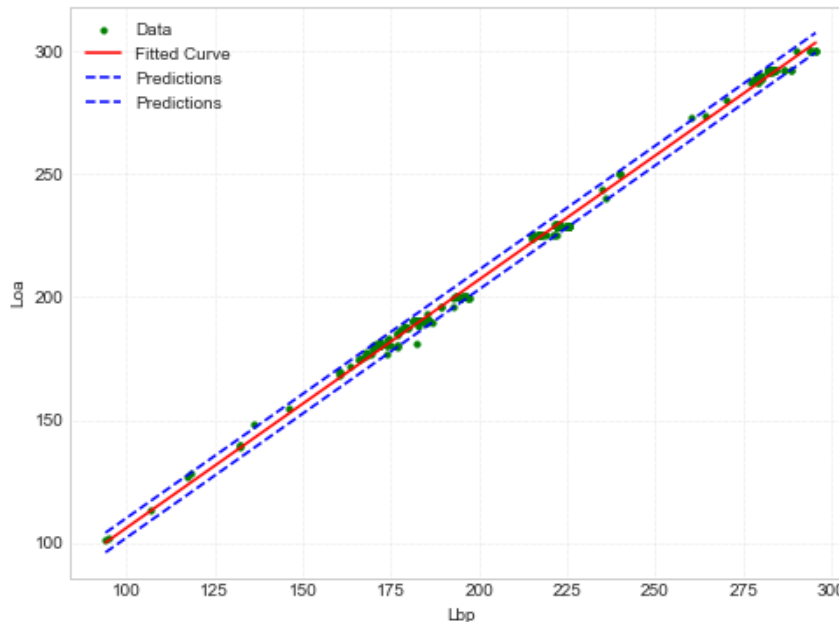
Ένα διάγραμμα διασποράς είναι ένα εργαλείο για την ανάλυση σχέσεων μεταξύ δύο μεταβλητών για τον προσδιορισμό της εγγύτητας των δύο μεταβλητών που σχετίζονται. Η μία μεταβλητή σχεδιάζεται στον οριζόντιο άξονα και η άλλη σχεδιάζεται στον κατακόρυφο άξονα. Το μοτίβο των τεμνόμενων σημείων τους μπορεί να 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

3.2 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 Python, και με την βοήθεια διάφορων μελετών που έχουν γίνει από συναδέλφους και με το υλικό που είχε στη διάθεση του το εργαστήριο, χρησιμοποιήθηκαν κάποιες τυποποιημένες εξισώσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συνάρτηση μίας μεταβλητής. Οι τύποι που χρησιμοποιήθηκαν και περάστηκαν στο λογισμικό φαίνονται πιο κάτω:

- Linear model Poly1: $f(x) = p1 \cdot x + p2$
- Linear model Poly2: $f(x) = p1 \cdot x^2 + p2 \cdot x + p3$
- Linear model Poly3: $f(x) = p1 \cdot x^3 + p2 \cdot x^2 + p3 \cdot x + p4$
- General model Power1: $f(x) = a \cdot x^b$
- General model Power2: $f(x) = a \cdot x^b + c$

Αξίζει να σημειωθεί ότι το Python διαθέτει και άλλες εξισώσεις, 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%.

3.3 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 Python 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).

3.4 Παλινδρόμηση (Regression)

Με τη μέθοδο της παλινδρόμησης (Regression) εκτιμάται 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.

3.5 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:

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

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:

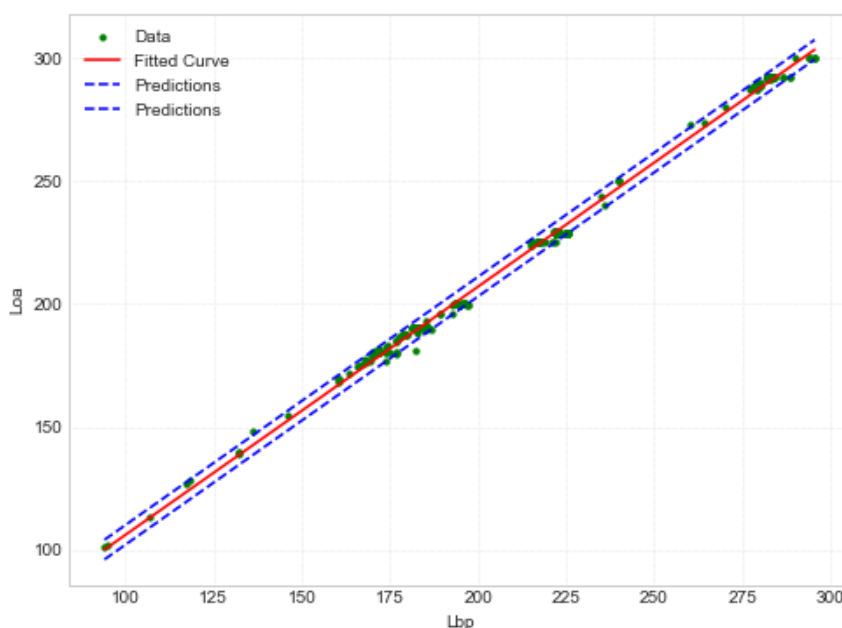
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2}{n}}$$

4 Εκτίμηση στοιχείων Bulk Carriers

Ολοκληρώνοντας πλέον την συμπλήρωση των δεδομένων στην βάση την οποία είχαμε στο λογισμικό πρόγραμμα της MS Access, μπορούμε με την χρήση του λογισμικού Python 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 (LOA)

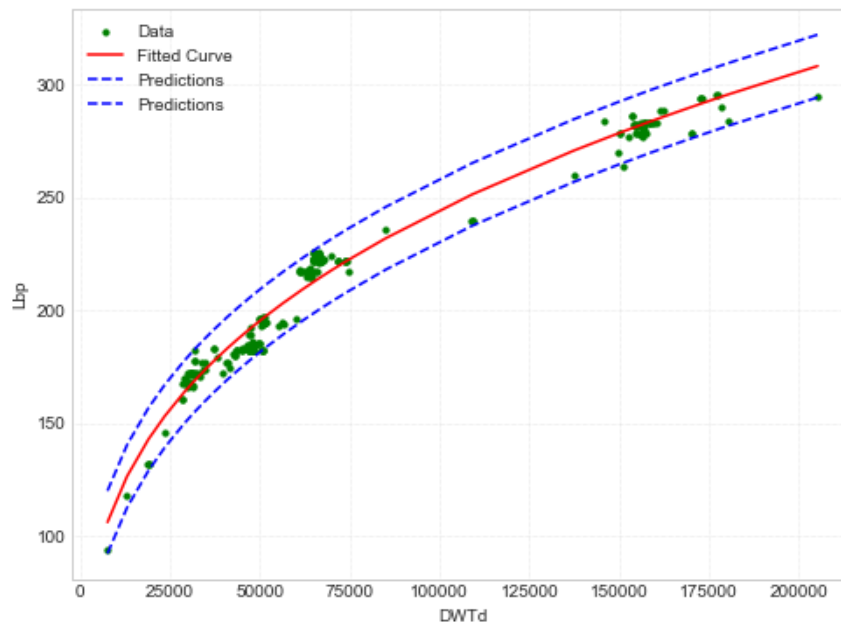


Διάγραμμα 3: LOA συναρτήσει του LBP

Πίνακας 10: LOA συναρτήσει του LBP

Αποτελέσματα προσέγγισης Linear Model	Poly1: $f(x)=p1*x+p2$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$p1=1.010(1.0042,1.0152)$
	$p2=5.128(3.9265,6.3294)$
Goodness of fit	
SSE	1212.5498
R-square	0.9977
Adjusted R-square	0.9978
RMSE	2.0308
$LOA=1.010*LBP+5.128$	
Παρατηρήσεις: Οι καμπύλες πρόβλεψης πλησιάζουν αρκετά στην προσεγγιστική καμπύλη, όπως ήταν και το αναμενόμενο.	

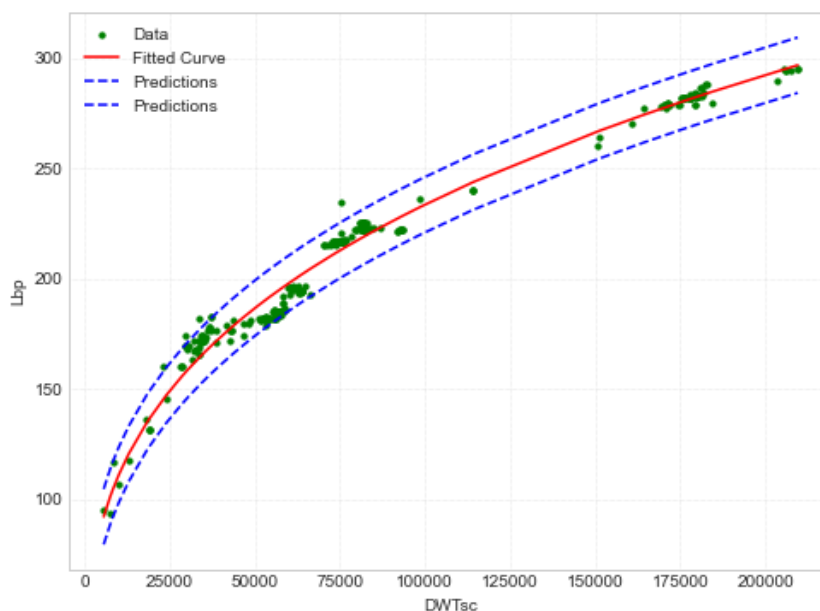
4.1.2 Μήκος μεταξύ καθέτων



Διάγραμμα 4: LBP συναρτήσεϊ του DWT_{design}

Πίνακας 11: LBP συναρτήσεϊ του DWT_{design}

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power1: $f(x)=a*x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=5.944(5.4770,6.4109)$
	$b=0.323(0.3159,0.3298)$
Goodness of fit	
SSE	12240.2654
R-square	0.9713
Adjusted R-square	0.9711
RMSE	7.0539
$LBP=5.944*(DWT_{design}^{0.323})$	

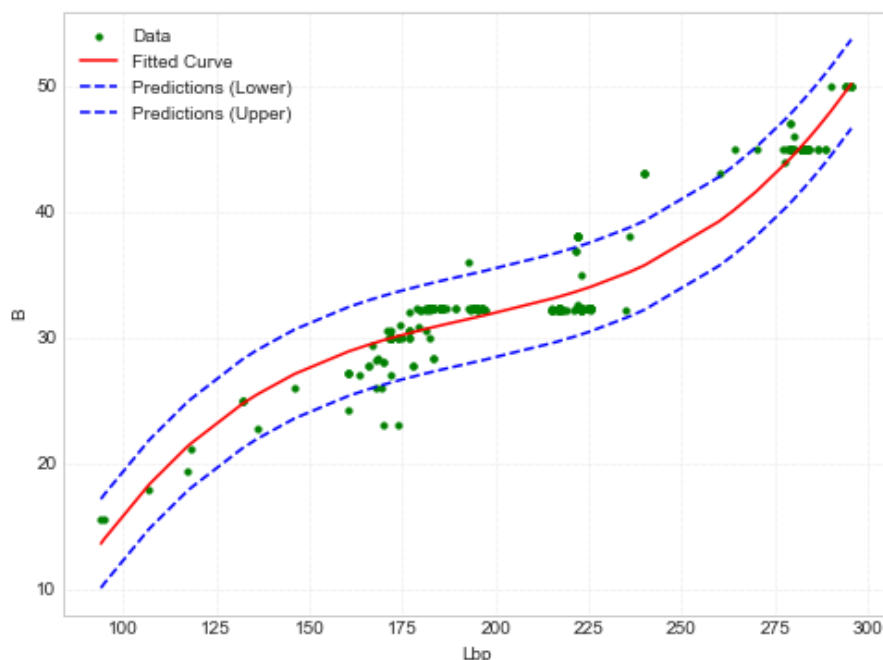


Διάγραμμα 5: LBP συναρτήσεσι του $DWT_{scantling}$

Πίνακας 12: LBP συναρτήσεσι του $DWT_{scantling}$

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power1: $f(x)=a^x \cdot b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=5.621(5.2498,5.9914)$
	$b=0.324(0.3180,0.3295)$
Goodness of fit	
SSE	11993.9207
R-square	0.9774
Adjusted R-square	0.9771
RMSE	6.3763
$LBP=5.621 \cdot (DWT_{scantling}^{0.324})$	
<p>Παρατηρήσεις: Η συσχέτιση του LBP και του Deadweight είναι πολύ καλή και στις δύο περιπτώσεις, design και scantling. Παρατηρείται για κάποια σταθερά μήκη (180m,220m,280m) με σχετικά μεγάλο εύρος τιμών που πιθανόν να οφείλεται σε διαφοροποιήσεις των άλλων κύριων διαστάσεων λόγω φυσικών περιορισμών. Σχεδόν όλα τα σημεία γύρω από τις προσεγγιστικές καμπύλες περιλαμβάνονται και εντός του διαστήματος εμπιστοσύνης.</p>	

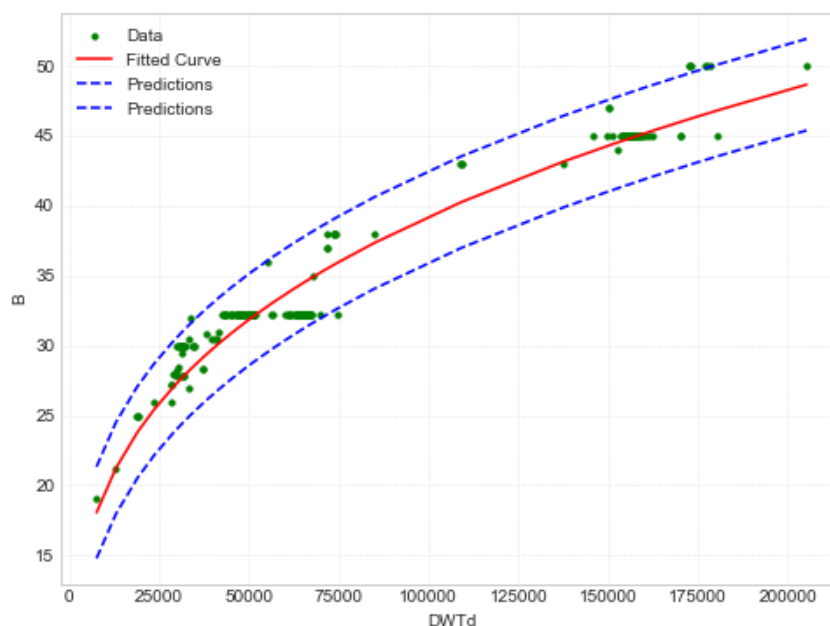
4.1.3 Πλάτος (B)

**Διάγραμμα 6:** B συναρτήσεσι του LBP**Πίνακας 13:** B συναρτήσεσι του LBP

Αποτελέσματα προσέγγισης Linear Model	Poly3: $f(x)=p1*x^3+p2*x^2+p3*x+p4$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$p1=0.000012(0.000006,0.000018)/$ $p2=-0.0065(-0.0076,0.0055)$
	$p3=1.338(1.1248,1.5502)/$ $p4=-66.567(-80.2401,-52.8939)$
Goodness of fit	
SSE	930.7123
R-square	0.9242
Adjusted R-square	0.9206
RMSE	1.7792

$$B=0.000012*(LBP^3)-0.0066*(LBP^2)+1.338*LBP-66.567$$

Παρατηρήσεις: Το διάγραμμα δίνει μια πρώτη προσέγγιση των λόγων ανάμεσα στα μεγέθη. Παρατηρείται ότι υπάρχει μεγάλη διασπορά των σημείων στα πλοία με σταθερό πλάτος στα 32.2m (Panamax) λόγω των περιορισμών της περατότητας της διαδρομής, των εγκαταστάσεων των λιμανιών και των διυλιστηρίων. Οι περιορισμοί ισχύουν και για τα πλοία με πλάτος 49m (New Panamax), όπως και για τα πλοία στο πλάτος 45m (Suezmax).

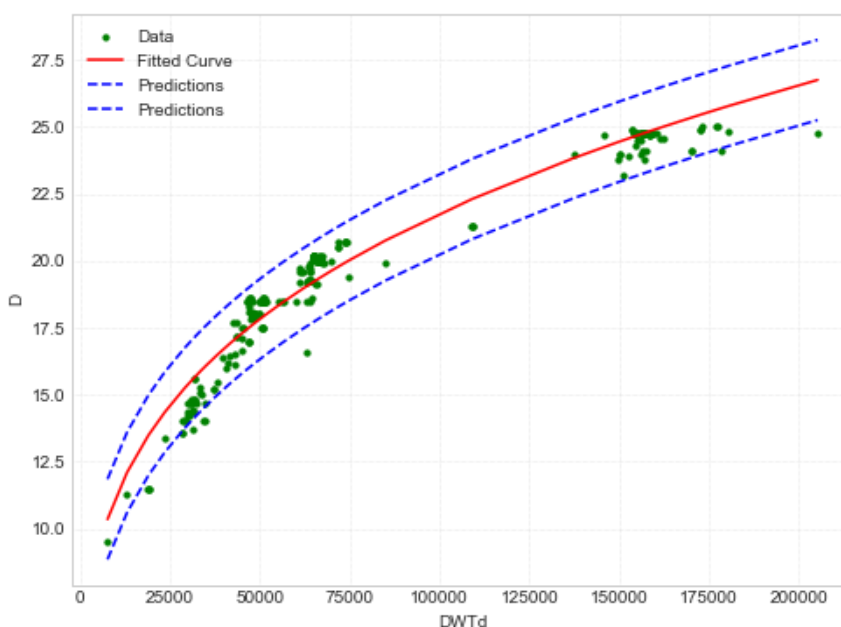


Διάγραμμα 7: B συναρτήσεσι του DWT_{design}

Πίνακας 14: B συναρτήσεσι του DWT_{design}

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power1: $f(x)=a*x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=1.240(1.0982,1.3824)$
	$b=0.300(0.2898,0.3101)$
Goodness of fit	
SSE	678.7859
R-square	0.9298
Adjusted R-square	0.9297
RMSE	1.6611
$B=1.240*(DWT_{design}^{0.300})$	
<p>Παρατηρήσεις: Υπάρχει και σε αυτό το διάγραμμα μια αρκετά καλή ποιότητα συσχέτισης B και DWT_{design} όπως και με το μήκος L. Επίσης, φαίνονται και εδώ οι περιορισμοί γύρω από τα πλάτη 32.2m-32.26m (Panamax), στο πλάτος 49m (New Panamax) καθώς και στο πλάτος 45m (Suezmax).</p>	

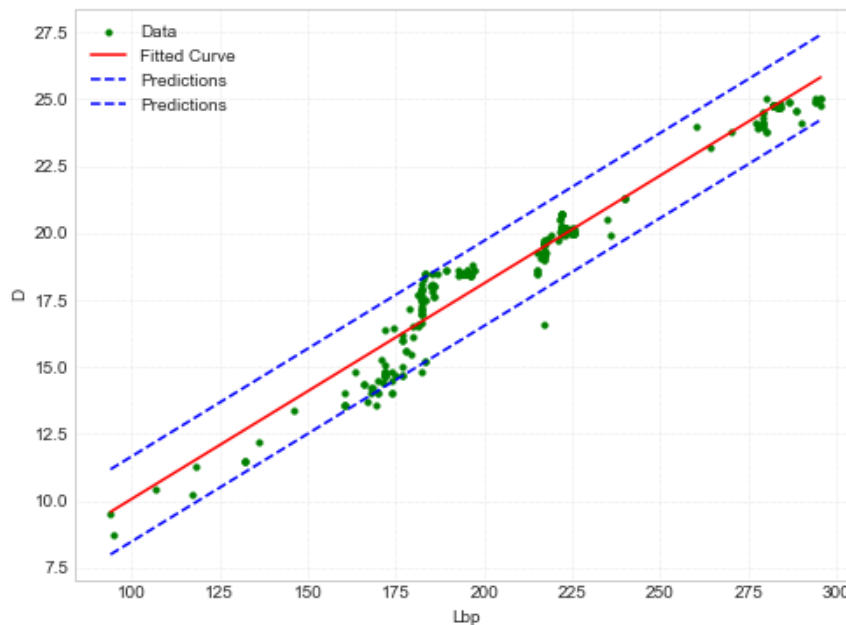
4.1.4 Κοίλο (D)



Διάγραμμα 8: D συναρτήσει του DWT_{design}

Πίνακας 15: D συναρτήσει του DWT_{design}

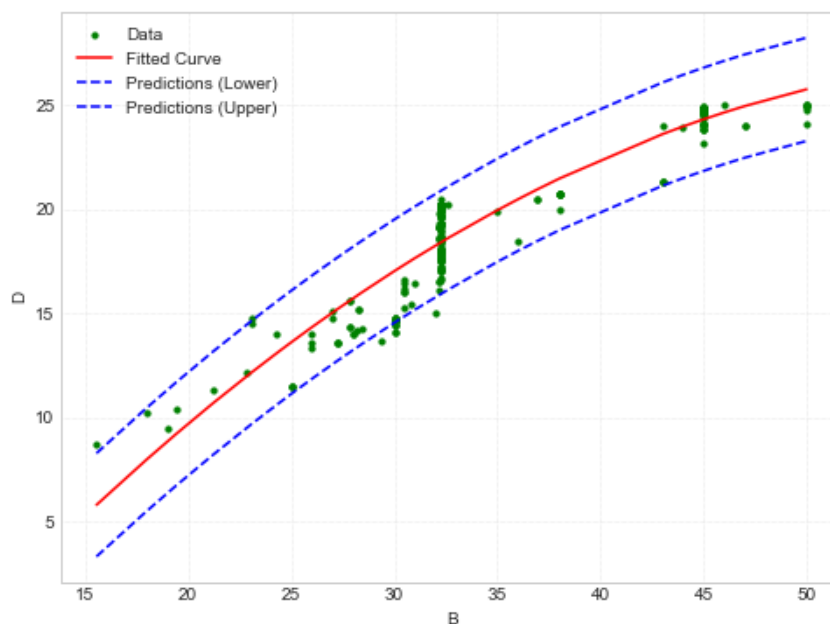
Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power2: $f(x)=a*x^b+c$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.795(0.7198,0.8693)$
	$b=0.288(0.2792,0.2959) /$ $c=1.062(1.048,1.076)$
Goodness of fit	
SSE	142.2257
R-square	0.9499
Adjusted R-square	0.9399
RMSE	0.7604
$D=0.795*(DWT_{design}^{0.288})+1.062$	
Παρατηρήσεις: Παρατηρείται και σε αυτό το διάγραμμα ότι οι καμπύλες πρόβλεψης και η προσεγγιστική καμπύλη είναι πολύ καλή, όπως και στα προηγούμενα διαγράμματα συναρτήσει του DWT_{design} που αναφέρονται πιο πάνω .	



Διάγραμμα 9: D συναρτήσει του LBP

Πίνακας 16: D συναρτήσει του LBP

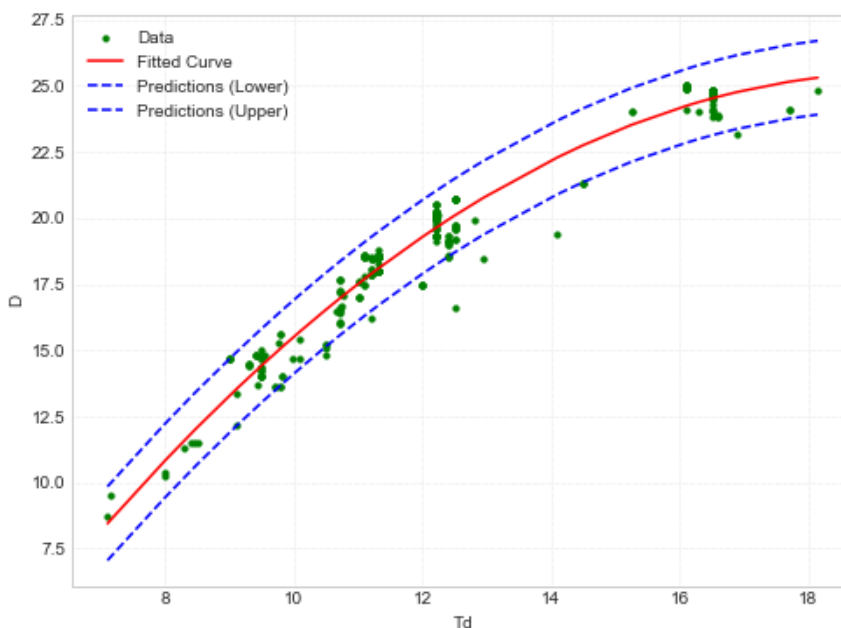
Αποτελέσματα προσέγγισης Linear Model	Poly1: $f(x)=p1*x+p2$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$p1=0.081(0.0784,0.0828)$
	$p2=2.014(1.5367,2.4913)$
Goodness of fit	
SSE	191.3757
R-square	0.947
Adjusted R-square	0.947
RMSE	0.8068
$D=0.081*LBP+2.014$	
Παρατηρήσεις: Στο συγκεκριμένο διάγραμμα η συσχέτιση δεν είναι και τόσο καλή. Ωστόσο, δίνει χρήσιμες πληροφορίες για τον σχεδιαστή, καθώς οι λόγοι LBP/D και LBP/B παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμήκη αντοχή του πλοίου.	



Διάγραμμα 10: D συναρτήσει του B

Πίνακας 17: D συναρτήσει του B

Αποτελέσματα προσέγγισης Linear Model	Poly2: $f(x)=p1*x^2+p2*x+p3$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$p1=-0.010(-0.0126,-0.0072)$
	$p2=1.227(1.0289,1.4254) /$ $p3=-10.889(-14.4622,-7.3151)$
Goodness of fit	
SSE	147.6869
R-square	0.9598
Adjusted R-square	0.9596
RMSE	0.7040
$D=-0.010*(B^2)+1.227*B-10.889$	
<p>Παρατηρήσεις: Διακρίνεται η ίδια παρατήρηση όπως και στα άλλα διαγράμματα συναρτήσει του πλάτους. Επίσης, παρατηρείται ότι για πλοία ίδιου πλάτους υπάρχει διαφορετικό κοίλο και αυτό οφείλεται σε διαφορετικούς παραμέτρους σχεδίασης που επέλεξαν οι πλοιοκτήτες να κατασκευάσουν τα πλοία τους. Λόγω της διαφοροποίησης του κοίλου D η προσέγγιση δεν είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική, αλλά βρίσκονται μέσα στο εύρος εμπιστοσύνης.</p>	

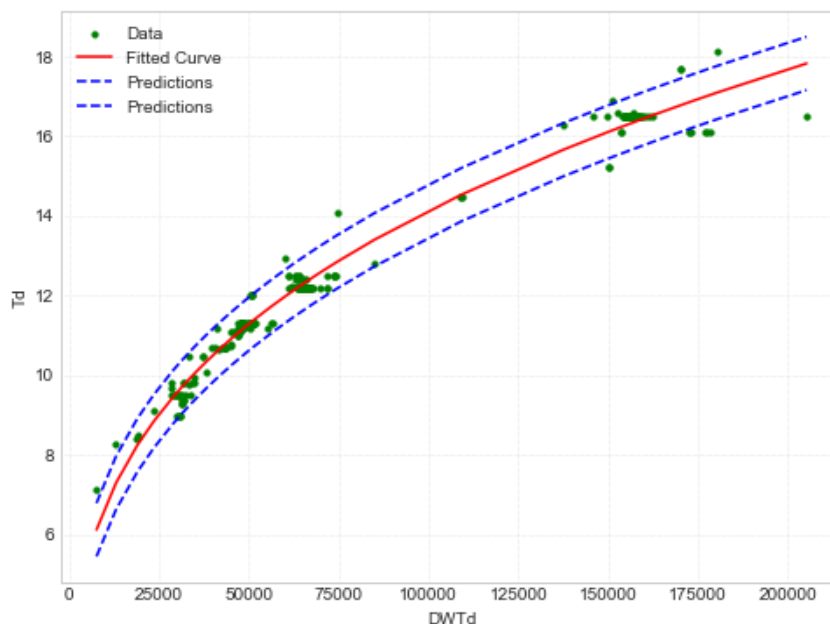


Διάγραμμα 11: D συναρτήσει του T_{design}

Πίνακας 18: D συναρτήσει του T_{design}

Αποτελέσματα προσέγγισης Linear Model	Poly2: $f(x)=p_1 \cdot x^2+p_2 \cdot x+p_3$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$p_1=-0.112(-0.1247,-0.0985)$
	$p_2=4.343(3.9978,4.6885) /$ $p_3=-16.759(-18.9757,-14.5420)$
Goodness of fit	
SSE	147.6869
R-square	0.9598
Adjusted R-square	0.9596
RMSE	0.7040
$D=-0.112 \cdot (T_{design}^2)+4.343 \cdot T_{design}-16.759$	
Παρατηρήσεις: Το πιο πάνω διάγραμμα δίνει μια αρκετά καλή συσχέτιση των δύο μεγεθών. Παρατηρείται ότι σε κάποιες περιοχές όπου έχουμε σταθερό βύθισμα σχεδίασης έχουμε διάφορες τιμές του κοίλου.	

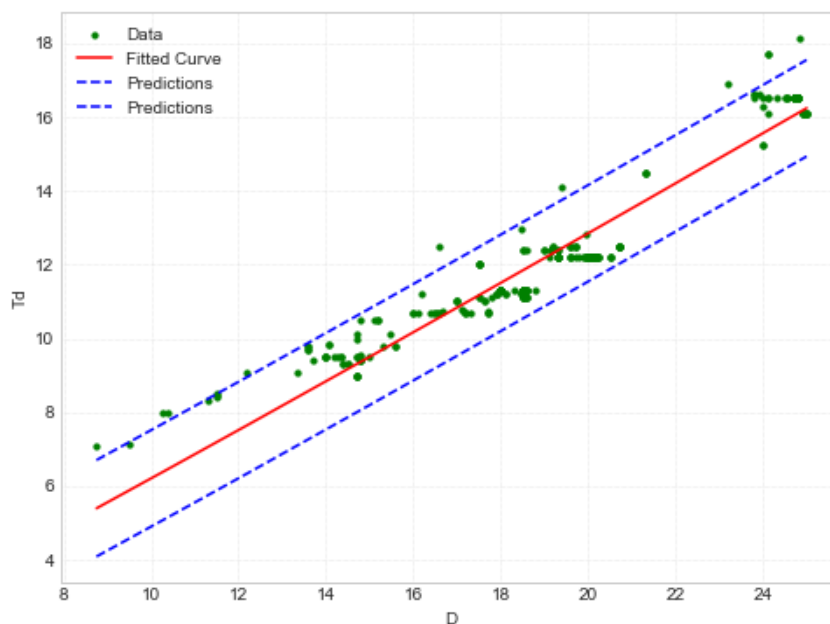
4.1.5 Βύθισμα Σχεδίασης (T_{design})



Διάγραμμα 12: T_{design} συναρτήσεσι του DWT_{design}

Πίνακας 19: T_{design} συναρτήσεσι του DWT_{design}

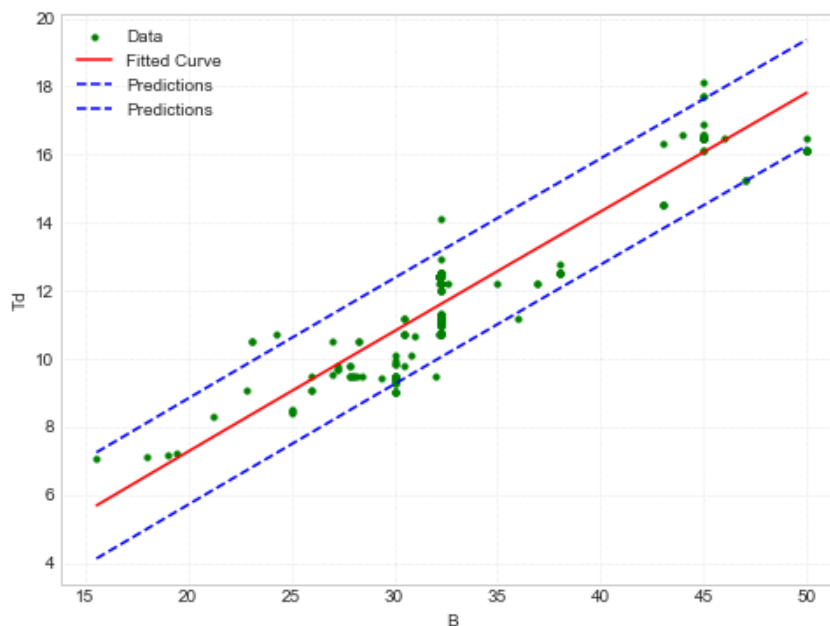
Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power1: $f(x)=a*x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.342(0.3198,0.3645)$
	$b=0.323(0.3174,0.3290)$
Goodness of fit	
SSE	28.3086
R-square	0.9797
Adjusted R-square	0.9797
RMSE	0.3392
$T_{design}=0.342*(DWT_{design}^{0.323})$	
Παρατηρήσεις: Διακρίνεται μια ικανοποιητική συσχέτιση μεταξύ των μεγεθών. Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχουν κάποιες περιοχές με σταθερό βύθισμα όπως τα 12.2m λόγω του περιορισμού βυθίσματος στη διώρυγα του Παναμά, και στα 17m λόγω του περιορισμού της διώρυγας του Suez.	



Διάγραμμα 13: T_{design} συναρτήσει του D

Πίνακας 20: T_{design} συναρτήσει του D

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power2: $f(x)=a*x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.554(0.4949,0.6135)$
	$b=1.049(1.0138,1.0849)$
Goodness of fit	
SSE	2
R-square	3
Adjusted R-square	4
RMSE	2
$T_{design}=0.554*(D^{1.049})$	
<p>Παρατηρήσεις: Η προσέγγιση δίνει μια καλή κατανομή των σημείων γύρω από την προσεγγιστική καμπύλη. Επίσης, ισχύει και σε αυτό το διάγραμμα η παρατήρηση που έγινε και στο προηγούμενο διάγραμμα σχετικά με το σταθερό βύθισμα.</p>	

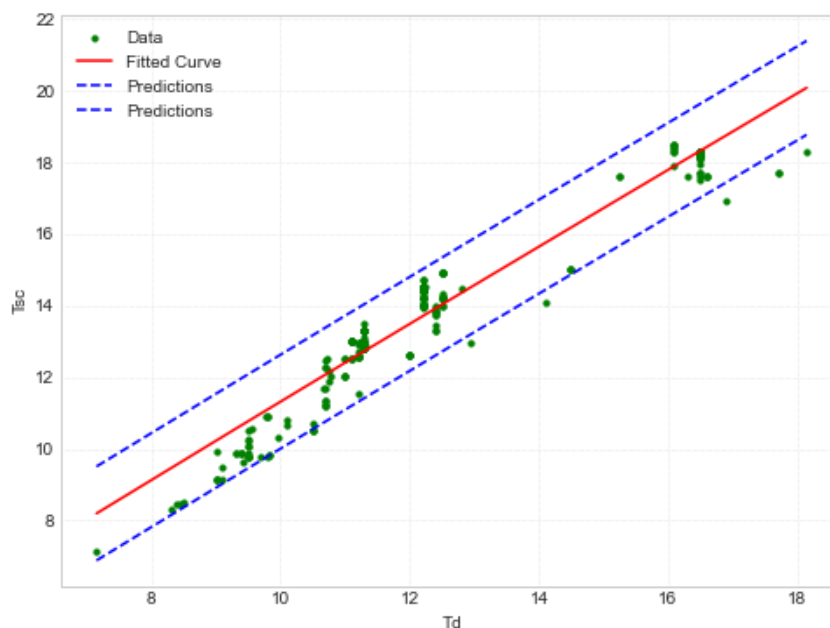


Διάγραμμα 14: T_{design} συναρτήσεσι του B

Πίνακας 21: T_{design} συναρτήσεσι του B

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power1: $f(x)=a*x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.390(0.3359,0.4432)$
	$b=0.977(0.9389,1.0155)$
Goodness of fit	
SSE	186.7726
R-square	0.8905
Adjusted R-square	0.8904
RMSE	0.7917
$T_{design}=0.390*(B^{0.977})$	
<p>Παρατηρήσεις: Παρατηρείται μια καλή προσέγγιση παρόλο που μερικά σημεία με εύρος 11.2m-12.2m βύθισμα να έχουν σταθερό πλάτος περί τα 32m λόγω του περιορισμού περατότητας της διώρυγας του Παναμά, όπως και στο βύθισμα στα 17m να έχουν σταθερό πλάτος περί τα 45m λόγω περιορισμού περατότητας της διώρυγας του Σουέζ.</p>	

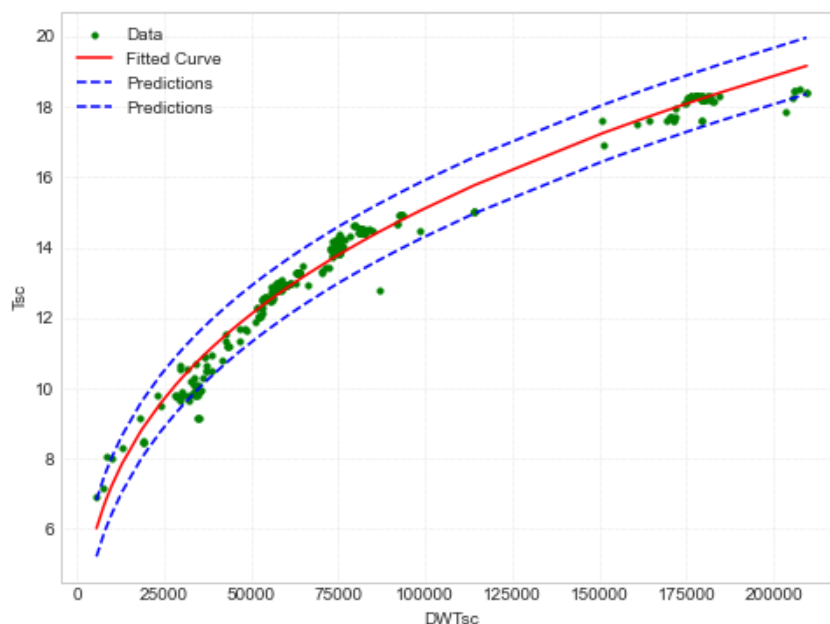
4.1.6 Βύθισμα αντοχής ($T_{scantling}$)



Διάγραμμα 15: $T_{scantling}$ συναρτήσεσι του T_{design}

Πίνακας 22: $T_{scantling}$ συναρτήσεσι του T_{design}

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power2: $f(x)=a*x^b+c$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=1.237(1.1426,1.3312)$
	$b=0.962(0.9320,0.9911) /$ $c=-0.015(-0.035,0.005)$
Goodness of fit	
SSE	121.2758
R-square	0.9371
Adjusted R-square	0.9251
RMSE	0.6653
$T_{scantling}=1.237*(T_{design}^{0.962})-0.015$	
Παρατηρήσεις: Υπάρχει μια ικανοποιητική προσέγγιση των μεγεθών ,ασχέτως που υπάρχουν και σημεία με μεγαλύτερη απόκλιση από την καμπύλη προσέγγισης. Ισχύει και σε αυτή την περίπτωση ο περιορισμός της διώρυγας του Παναμά για τα σημεία περί της διασποράς στα βυθίσματα σχεδίασης στα 12.2m.	

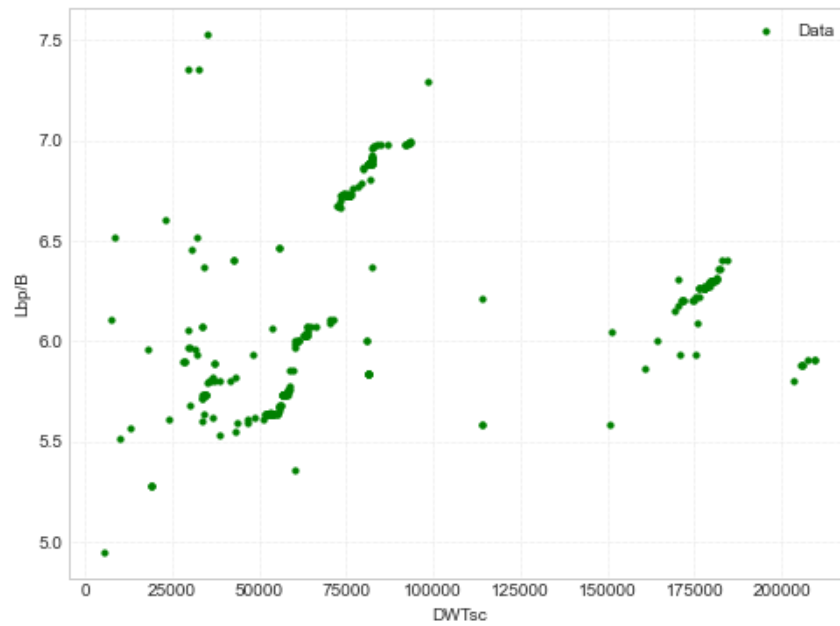


Διάγραμμα 16: $T_{scantling}$ συναρτήσεϊ του $DWT_{scantling}$

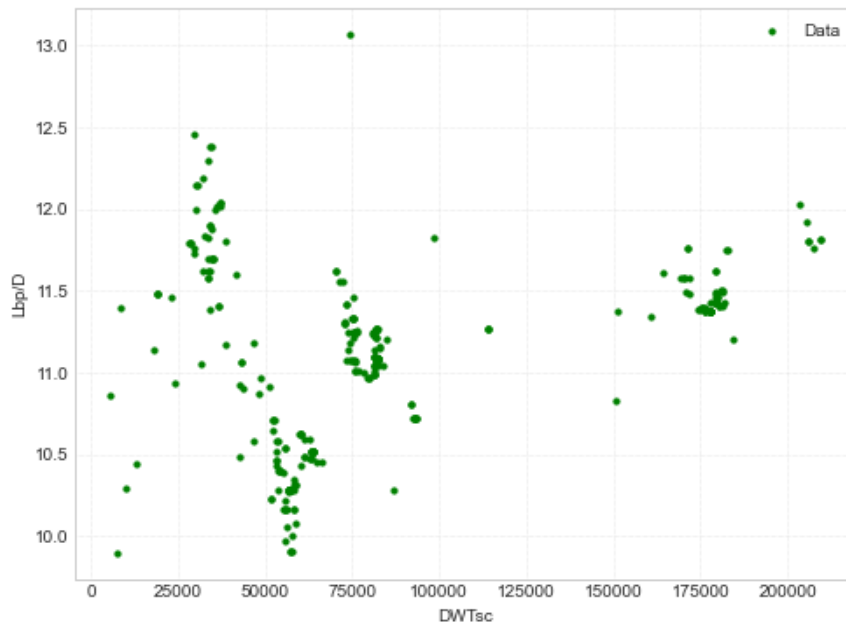
Πίνακας 23: $T_{scantling}$ συναρτήσεϊ του $DWT_{scantling}$

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power1: $f(x)=a*x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.377(0.3529,0.4019)$
	$b=0.321(0.3149,0.3262)$
Goodness of fit	
SSE	48.8304
R-square	0.9779
Adjusted R-square	0.9778
RMSE	0.4068
$T_{scantling}=0.377*(DWT_{scantling}^{0.321})$	
Παρατηρήσεις: Στο πιο πάνω διάγραμμα φαίνεται μια πολύ καλή συσχέτιση του βυθίσματος αντοχής με το $DWT_{scantling}$ της κατανομής των σημείων γύρω από την προσεγγιστική καμπύλη.	

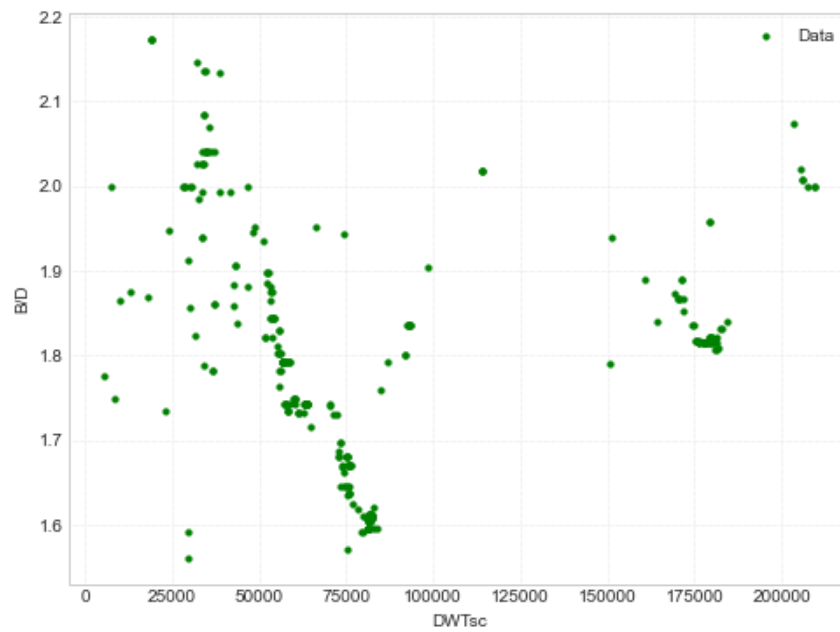
4.1.7 Λόγοι κύριων διαστάσεων



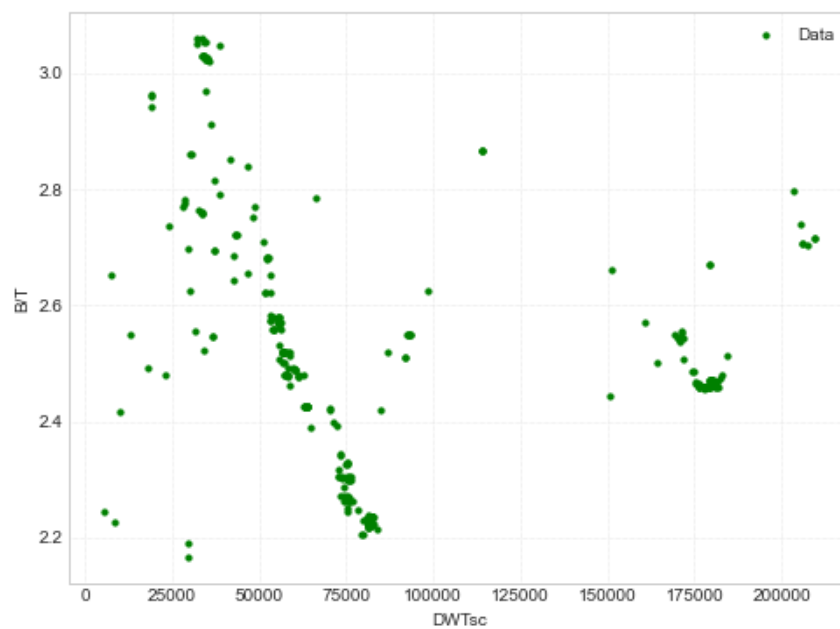
Διάγραμμα 17: *LBP/B* συναρτήσεσι του *DWT_{scantling}*



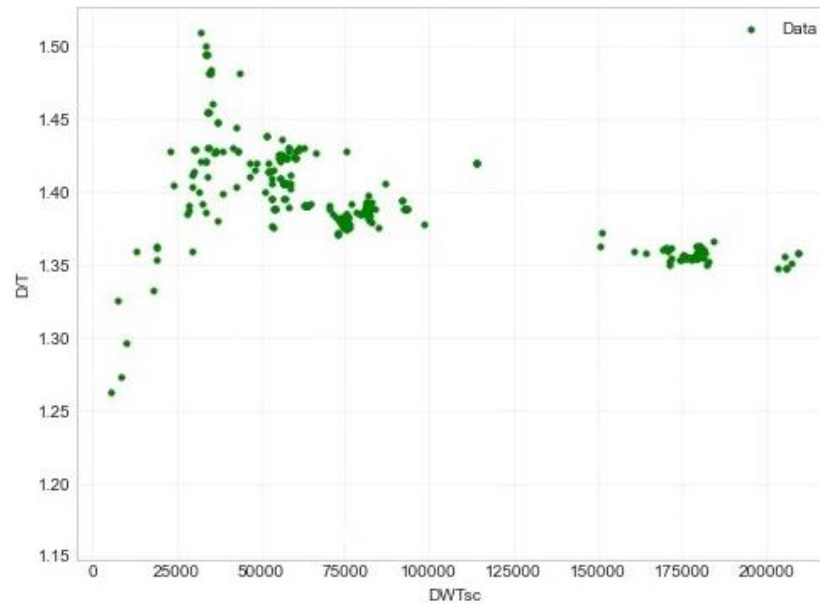
Διάγραμμα 18: *LBP/D* συναρτήσεσι του *DWT_{scantling}*



Διάγραμμα 19: B/D συναρτήσεσι του $DWT_{scantling}$



Διάγραμμα 20: B/T συναρτήσεσι του $DWT_{scantling}$



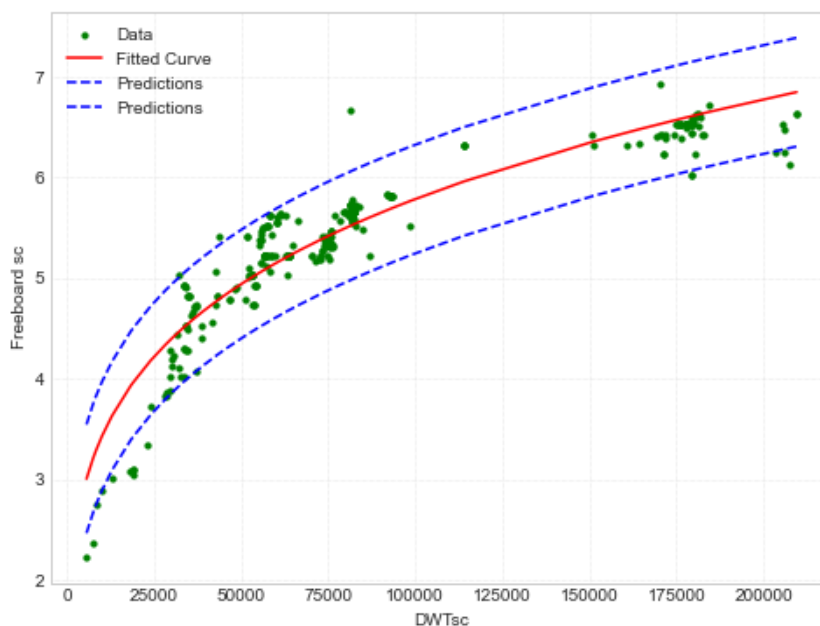
Διάγραμμα 21: D/T συναρτήσει του DWT_{scantling}

Τα όρια των λόγων των κύριων διαστάσεων συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 24: Όρια των λόγων των κύριων διαστάσεων

	MIN	MAX	AVERAGE
LBP/B	4,95	7,53	6,20
LBP/D	9,89	13,07	11,10
B/T	2,17	3,06	2,50
B/D	1,56	2,17	1,80
D/T	1,16	1,51	1,39

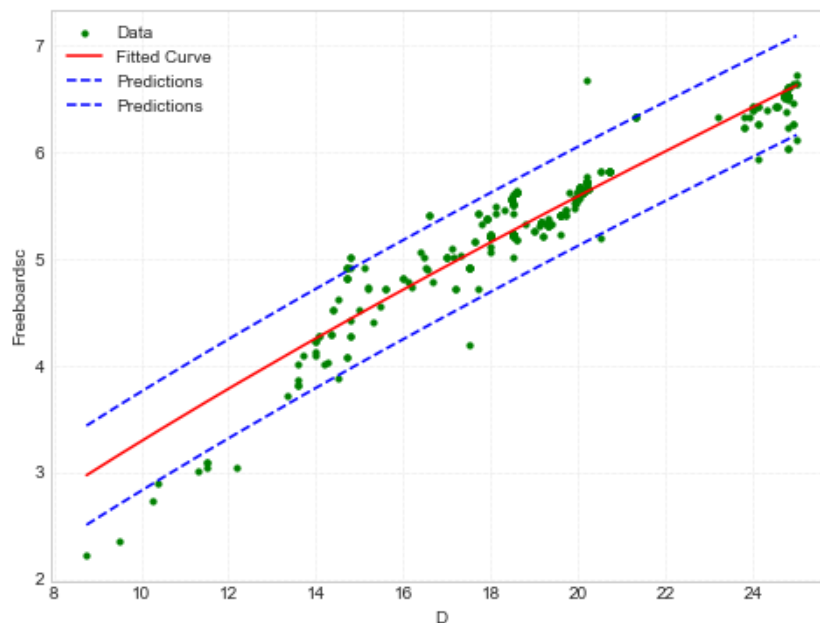
4.1.8 Ύψος εξάλων αντοχής (Freeboard Scantling)



Διάγραμμα 22: Freeboard scantling συναρτήσεσι του $DWT_{scantling}$

Πίνακας 25: Freeboard scantling συναρτήσεσι του $DWT_{scantling}$

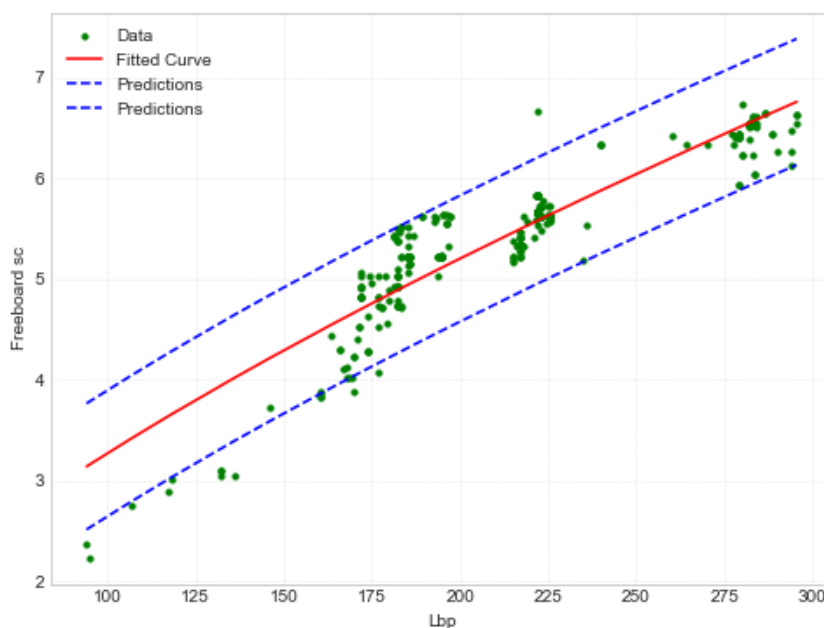
Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power2: $f(x)=a*x^b+c$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.419(0.3726,0.4651)$
	$b=0.228(0.2184,0.2378) /$ $c=0.067(0.0452,0.08621)$
Goodness of fit	
SSE	22.1713
R-square	0.8878
Adjusted R-square	0.8715
RMSE	0.2741
$Freeboard_{scantling}=0.419*(DWT_{scantling}^{0.228})+0.067$	
Παρατηρήσεις: Παρατηρείται ότι κάποια σημεία προσεγγίζουν καλύτερα την προσεγγιστική καμπύλη, ενώ υπάρχουν και ορισμένες αποκλίσεις. Επίσης, φαίνεται μια αύξηση του Freeboard, καθώς αυξάνει το DWT.	



Διάγραμμα 23: Freeboard scantling συναρτήσεως του D

Πίνακας 26: Freeboard scantling συναρτήσεως του D

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power2: $f(x)=a*x^b+c$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.569(0.5209,0.6169)$
	$b=0.763(0.7347,0.7910) /$ $c=0.123(0.1201,0.1245)$
Goodness of fit	
SSE	16.5631
R-square	0.9151
Adjusted R-square	0.9111
RMSE	0.2358
$Freeboard_{scantling}=0.569*(D^{0.763})+0.123$	
Παρατηρήσεις: Η συγκεκριμένη γραφική παράσταση του διαγράμματος έχει την ίδια μορφή με την αντίστοιχη του Freeboard scantling με το T, και αυτό συμβαίνει για τον λόγο ότι είναι ευρέως γνωστό ότι το ύψος των εξάλων εξαρτάται και από το T και από το D.	

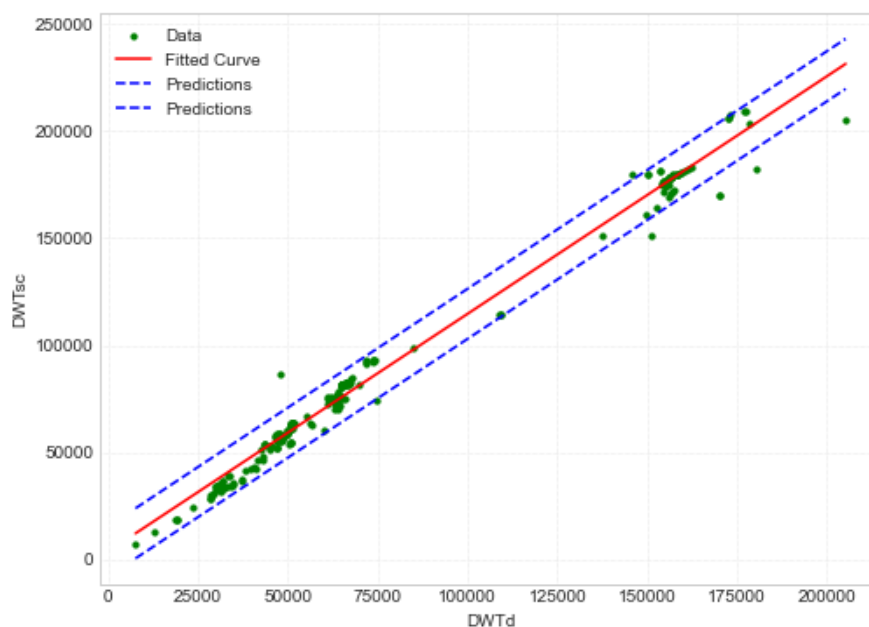


Διάγραμμα 24: Freeboard scantling συναρτήσεϊ του LBP

Πίνακας 27: Freeboard scantling συναρτήσεϊ του LBP

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power2: $f(x)=a*x^b+c$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.150(0.1217,0.1773)$
	$b=0.670(0.6335,0.7044) /$ $c=0.067(0.059,0.075)$
Goodness of fit	
SSE	29.6580
R-square	0.8436
Adjusted R-square	0.8318
RMSE	0.3176
Freeboard_{scantling}=0.150*(LBP^{0.670})+0.067	
Παρατηρήσεις: Διακρίνεται μια αρκετά ικανοποιητική προσεγγιστική καμπύλη που μπορεί να γίνει μια πρώτη εκτίμηση του ύψους των εξάλων, παρόλο που υπάρχουν κάποιες διακυμάνσεις . Πρακτικά όμως το ύψος των εξάλων υπολογίζεται με βάση τους κανονισμούς της γραμμής φόρτωσης που αποτελεί απαραίτητο τμήμα της προμελέτης του πλοίου.	

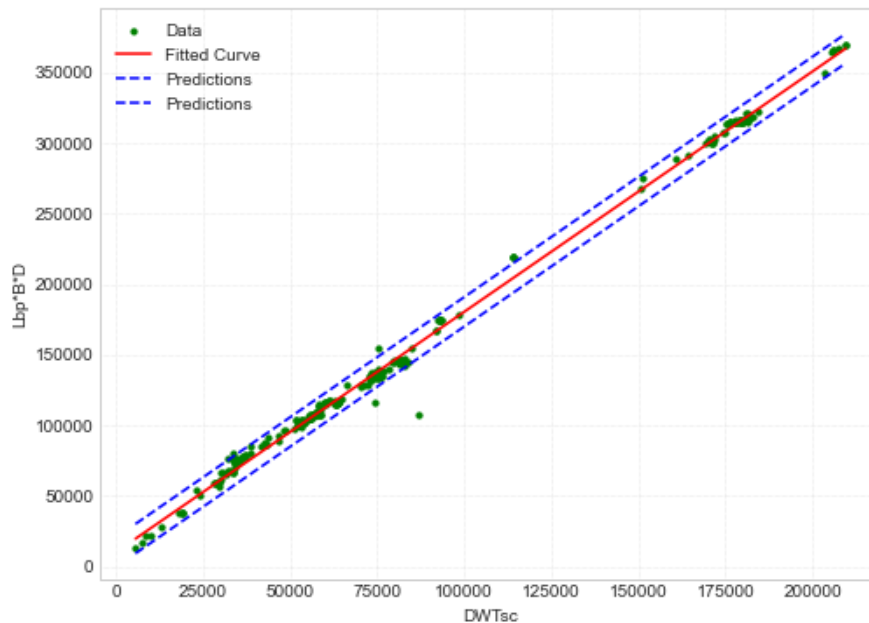
4.2 Πρόσθετο (νεκρό) βάρος (DWT)



Διάγραμμα 25: $DWT_{scantling}$ συναρτήσεϊ του DWT_{design}

Πίνακας 28: $DWT_{scantling}$ συναρτήσεϊ του DWT_{design}

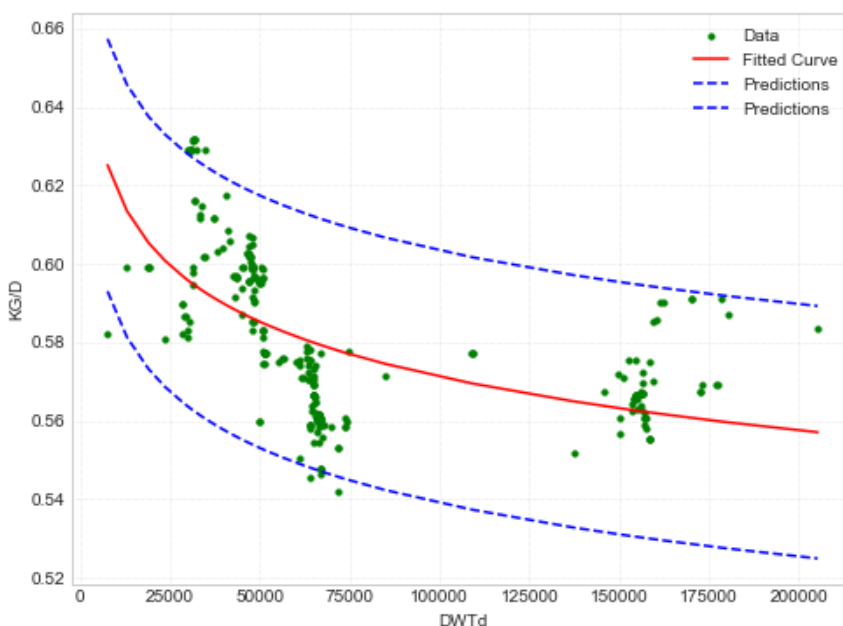
Αποτελέσματα προσέγγισης Linear Model	Poly1: $f(x)=p1*x+p2$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$p1=1.108(1.0915,1.1235)$
	$p2=3854.637(2424.4959,5284.7777)$
Goodness of fit	
SSE	8644305670.3793
R-square	0.9870
Adjusted R-square	0.987
RMSE	5927.8541
$DWT_{scantling}=1.108*DWT_{design}+3854.637$	
Παρατηρήσεις: Παρατηρείται μια πολύ καλή συσχέτιση των μεγεθών αφού τα σημεία πλησιάζουν αρκετά στην καμπύλη προσέγγισης για όλα τα μεγέθη.	



Διάγραμμα 26: $LBP*B*D$ συναρτήσεϊ του $DWT_{scantling}$

Πίνακας 29: $LBP*B*D$ συναρτήσεϊ του $DWT_{scantling}$

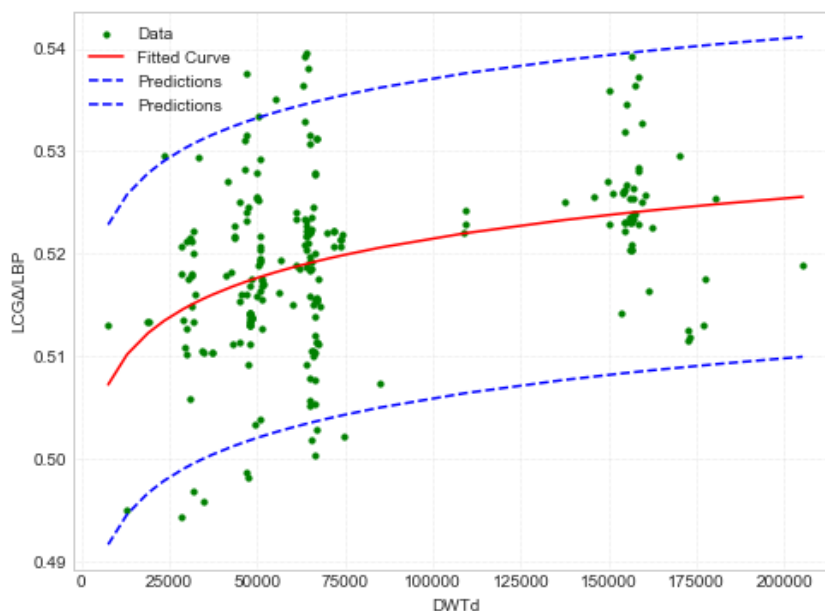
Αποτελέσματα προσέγγισης Linear Model	Poly1: $f(x)=p1*x+p2$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$p1=1.704(1.6923,1.7160)$ $p2=10061.578(8883.2389,11239.9172)$
Goodness of fit	
SSE	8269829256.8928
R-square	0.9964
Adjusted R-square	0.9963
RMSE	5303.6449
$LBP*B*D=1.704*DWT_{scantling}+10061.578$	
Παρατηρήσεις: Παρατηρείται ακόμη πιο καλή συσχέτιση σε σχέση με το προηγούμενο διάγραμμα αφού και τα δύο μεγέθη είναι όγκου.	



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

Πίνακας 30: KG/D συναρτήσει του DWT_{design}

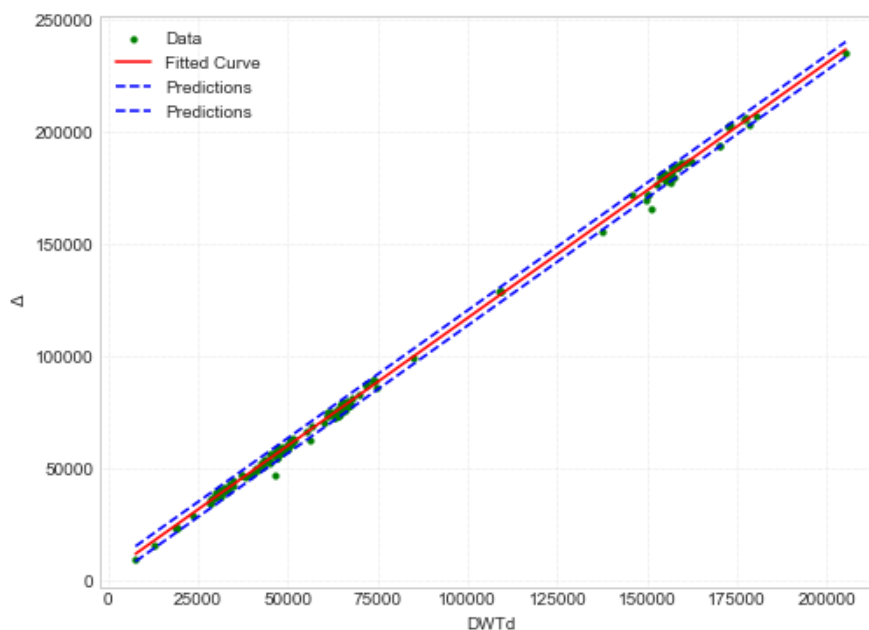
Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power2: $f(x)=a*x^b+c$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.854(0.7951,0.9119)$
	$b=-0.035(-0.0411,-0.0287)$ /
	$c=0.0161(0.1231,0.2009)$
Goodness of fit	
SSE	0.0654
R-square	0.3347
Adjusted R-square	0.3226
RMSE	0.0163
$KG/D=0.854*(DWT_{design}^{-0.035})+0.0161$	
Παρατηρήσεις: Στο συγκεκριμένο διάγραμμα υπάρχουν αρκετές αποκλίσεις. Επίσης, καθώς το DWT αυξάνεται ο λόγος KG/D μειώνεται, ενώ κανονικά ισχύει ότι αυξάνοντας την τιμή του D αυξάνεται τόσο το KG όσο και το DWT.	



Διάγραμμα 28: $LCG\Delta/LBP$ συναρτήσεσι του DWT_{design} σε κατάσταση FLD

Πίνακας 31: $LCG\Delta/LBP$ συναρτήσεσι του DWT_{design} σε κατάσταση FLD

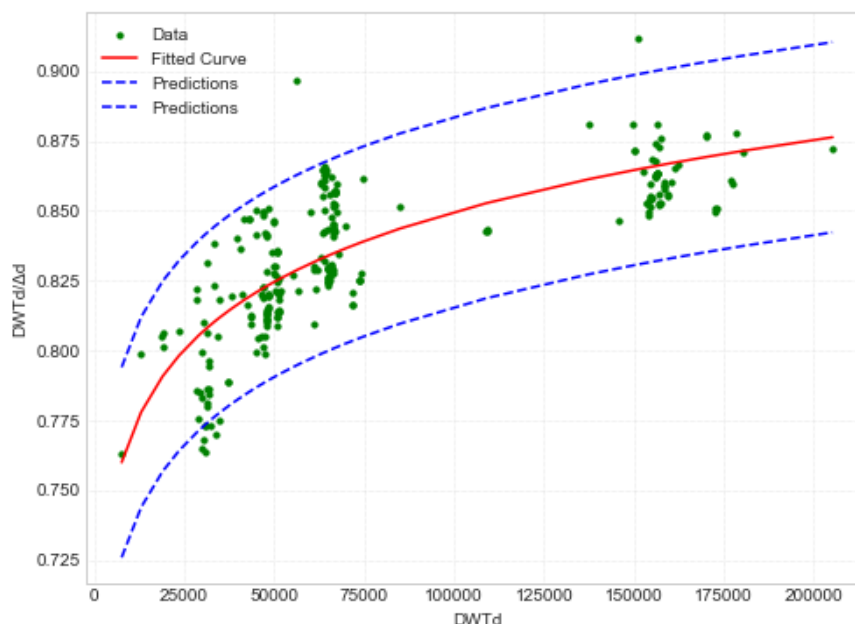
Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power2: $f(x)=a*x^b+c$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.461(0.4427,0.4792)$
	$b=0.011(0.0072,0.0143) /$ $c=0.001(-0.003,0.008)$
Goodness of fit	
SSE	0.0139
R-square	0.01376
Adjusted R-square	0.01371
RMSE	0.0079
$LCG/LBP=0.461*(DWT_{design}^{0.011})+0.001$	
Παρατηρήσεις: Στο συγκεκριμένο διάγραμμα δεν υπάρχει αρκετά καλή συσχέτιση και οι λόγοι LCG/LBP έχουν αρκετά διαφορετικές τιμές για ίδια DWT , και αυτό συμβαίνει γιατί το LCG αλλάζει για πλοία ίδιου μήκους ανάλογα με τις διάφορες παραμέτρους σχεδίασης.	

4.3 Εκτόπισμα (Δ)

Διάγραμμα 29: $Displacement_{design}(\Delta)$ συναρτήσεσι του DWT_{design}

Πίνακας 32: $Displacement_{design}(\Delta)$ συναρτήσεσι του DWT_{design}

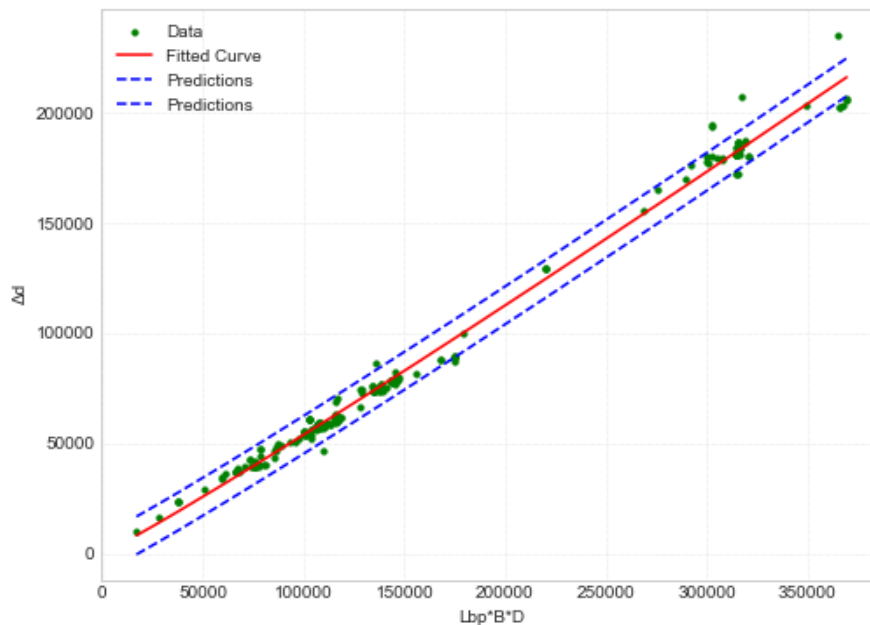
Αποτελέσματα προσέγγισης Linear Model	Poly1: $f(x)=p1*x+p2$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$p1=1.138(1.1330,1.1422)$
	$p2=3474.588(3061.3004,3887.8750)$
Goodness of fit	
SSE	721899177.3522
R-square	0.9990
Adjusted R-square	0.999
RMSE	1713.0527
$\Delta_{design}=1.138*DWT_{design}+3474.588$	
Παρατηρήσεις: Παρατηρείται ότι οι καμπύλες πρόβλεψης πλησιάζουν αρκετά στην προσεγγιστική καμπύλη, όπου δείχνει την απίστευτα καλή συσχέτιση των μεγεθών και βοηθάει σε μια πολύ καλή πρώτη εκτίμηση των μεγεθών , γνωρίζοντας οποιοδήποτε από τα δύο μεγέθη.	



Διάγραμμα 30: $DWT_{design} / Displacement_{design}(\Delta)$ συναρτήσεως του DWT_{design}

Πίνακας 33: $DWT_{design} / Displacement_{design}(\Delta)$ συναρτήσεως του DWT_{design}

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 2: $f(x)=a*x^b+c$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.517(0.4915,0.5435)$
	$b=0.043(0.0385,0.0476) /$ $c=0.00165(0.001523,0.001773)$
Goodness of fit	
SSE	0.0732
R-square	0.5904
Adjusted R-square	0.5812
RMSE	0.0173
$DWT_{design} / \Delta_{design}=0.517*(DWT_{design}^{0.043})+0.00165$	
Παρατηρήσεις: Ο λόγος DWT/Δ κυμαίνεται από 0.76 έως 0.88 , και γενικότερα για πλοία με DWT τους 70000t κυμαίνεται στα 0.76-0.86, ενώ για πλοία με DWT μεγαλύτερου των 140000t από 0.85-0.88. Εν κατακλείδι, καταλήγει στο συμπέρασμα ότι ο λόγος αυξάνεται καθώς το DWT καταλαμβάνει μεγαλύτερο ποσοστό του εκτοπίσματος Δ .	

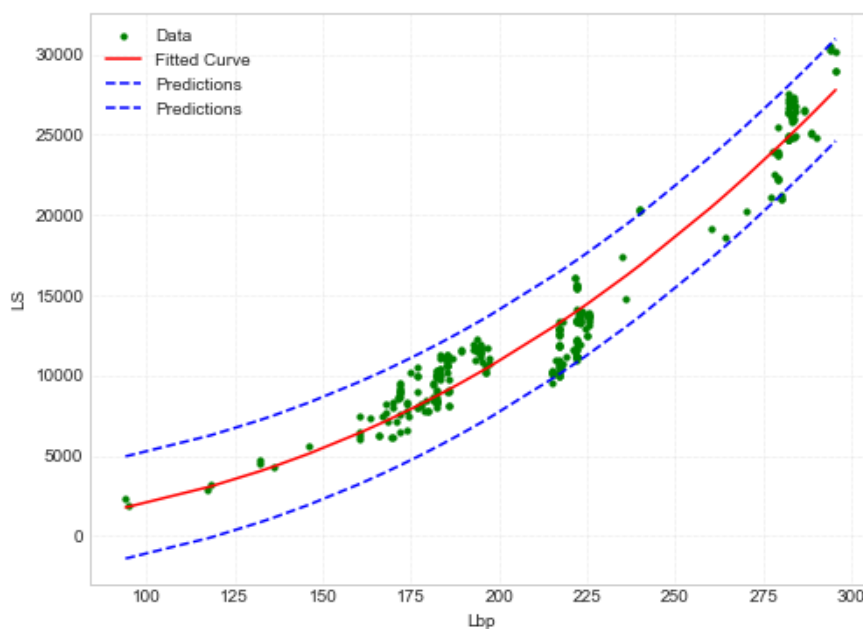


Διάγραμμα 31: $Displacement_{design}(\Delta)$ συναρτήσεως του $LBP*B*D$

Πίνακας 34: $Displacement_{design}(\Delta)$ συναρτήσεως του $LBP*B*D$

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 1: $f(x)=a*x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.264(0.2250,0.3032)$
	$b=1.062(1.0502,1.0740)$
Goodness of fit	
SSE	4694807873.1387
R-square	0.9932
Adjusted R-square	0.9892
RMSE	4359.7384
$\Delta_{design}=0.264*((LBP*B*D)^{1.062})$	
Παρατηρήσεις: Διακρίνεται μια καλή συσχέτιση αφού οι καμπύλες πρόβλεψης και η προσεγγιστική καμπύλη δεν απέχουν πολύ, ενώ τα σημεία ταυτίζονται αρκετά πάνω στη καμπύλη προσέγγισης αφού είναι γνωστό και από τη θεωρία ότι όλα τα μεγέθη συσχετίζονται μεταξύ τους.	

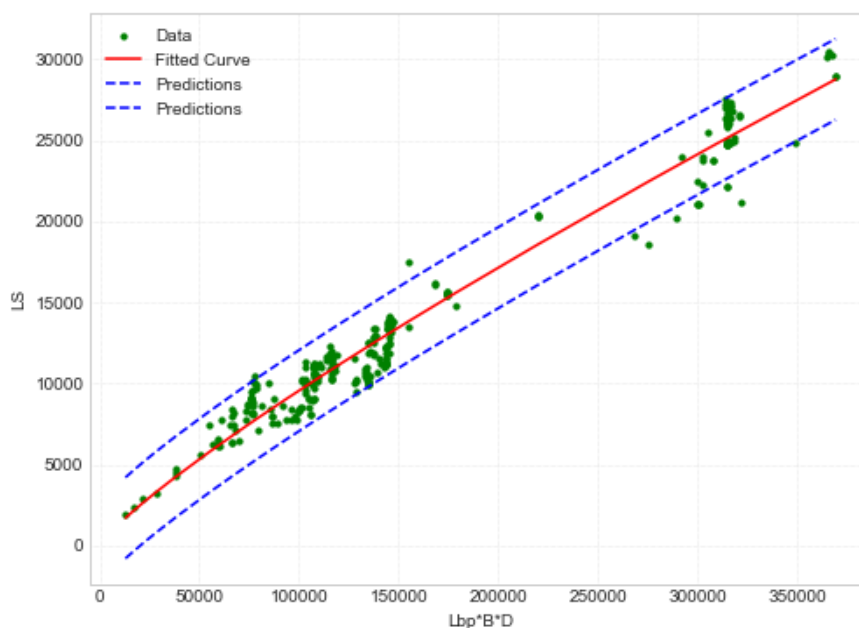
4.4 Βάρος κενού σκάφους (Lightship(L.S))



Διάγραμμα 32: L.S. συναρτήσει του LBP

Πίνακας 35: L.S. συναρτήσει του LBP

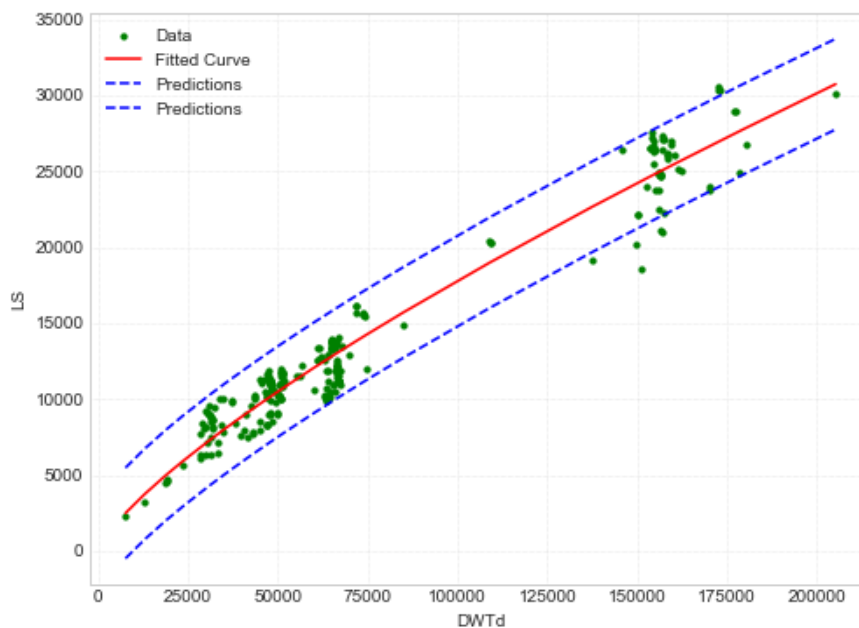
Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 1: $f(x)=a*x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.033(0.0195,0.0468)$
	$b=2.398(2.3232,2.4723)$
Goodness of fit	
SSE	744212071.3421
R-square	0.9388
Adjusted R-square	0.9387
RMSE	1615.9426
$L.S.=0.033*(LBP^{2.398})$	
<p>Παρατηρήσεις: Στη συγκεκριμένη γραφική παράσταση φαίνεται ότι καθώς αυξάνεται το LBP αυξάνεται και το L.S. αφού όσο μεγαλύτερο πλοίο τόσο πιο μεγάλη μεταλλική κατασκευή θα υπάρξει. Παρόλα αυτά παρατηρείται σε συγκεκριμένα σταθερά LBP, όπως τα 180m και τα 220m έχουμε διαφορετικές τιμές του L.S., και αυτό συμβαίνει πιθανόν των περιορισμών των εγκαταστάσεων των λιμανιών. Θα μπορούσε να θεωρηθεί μια καλή συσχέτιση των μεγεθών.</p>	



Διάγραμμα 33: L.S. συναρτήσει του $LBP*B*D$

Πίνακας 36: L.S. συναρτήσει του $LBP*B*D$

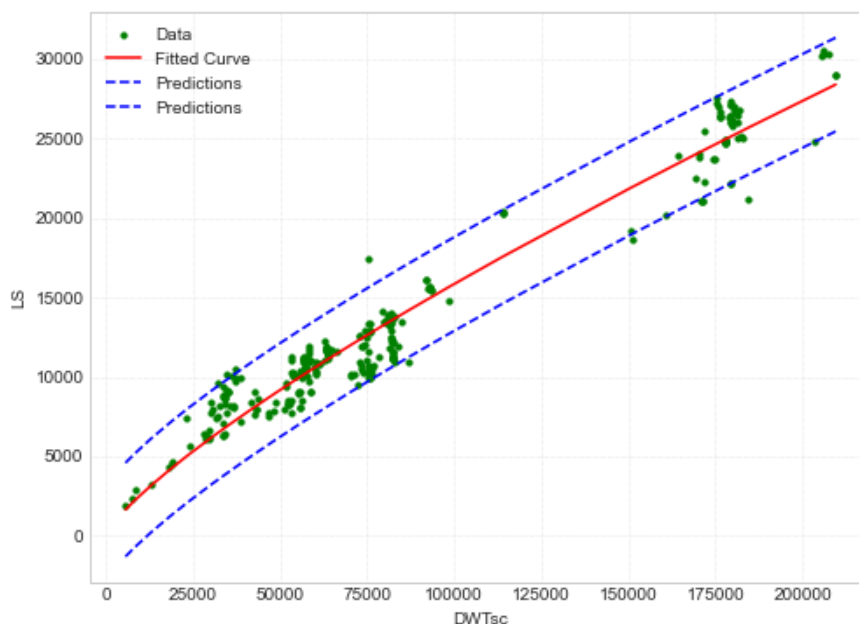
Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 1: $f(x)=a*x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.581(0.4377,0.7251)$
	$b=0.843(0.8231,0.8633)$
Goodness of fit	
SSE	458431434.2982
R-square	0.9623
Adjusted R-square	0.9622
RMSE	1268.2789
$L.S.=0.581*((LBP*B*D)^{0.843})$	
<p>Παρατηρήσεις: Όπως και στο προηγούμενο διάγραμμα έτσι και εδώ διακρίνεται η επιρροή που έχουν οι κύριες διαστάσεις στο L.S. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα όμως παρατηρείται μια καλύτερη συσχέτιση του γινομένου με το L.S. αφού υπάρχουν λιγότερες αποκλίσεις.</p>	



Διάγραμμα 34: L.S. συναρτήσεϊ του DWT_{design}

Πίνακας 37: L.S. συναρτήσεϊ του DWT_{design}

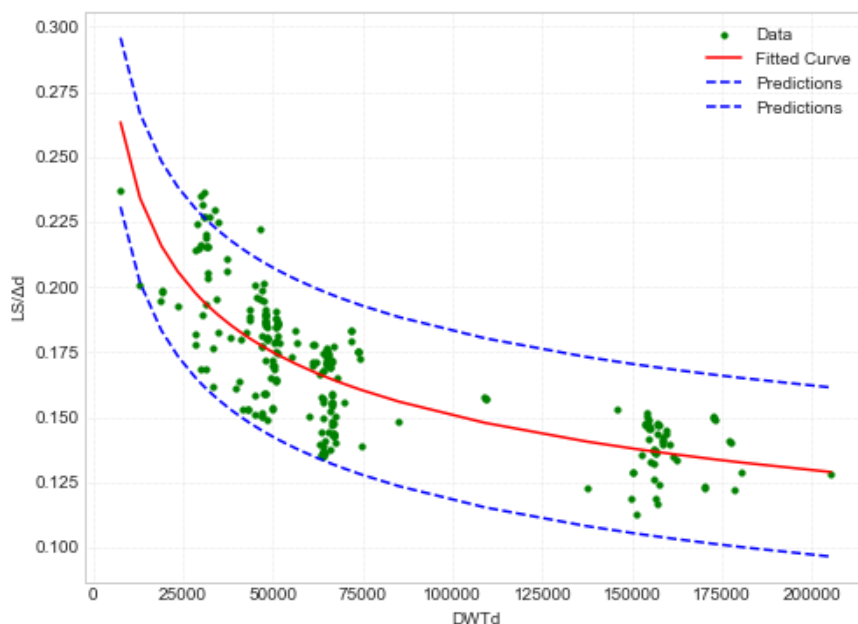
Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 1: $f(x)=a*x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=2.796(2.0461,3.5456)$
	$b=0.761(0.7375,0.7839)$
Goodness of fit	
SSE	563512121.1834
R-square	0.9472
Adjusted R-square	0.9472
RMSE	1513.5058
$L.S.=2.796*(DWT_{design}^{0.761})$	



Διάγραμμα 35: L.S. συναρτήσεσι του $DWT_{scantling}$

Πίνακας 38: L.S. συναρτήσεσι του $DWT_{scantling}$

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 1: $f(x)=a*x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=1.809(1.3476314,2.2864)$
	$b=0.788(0.7659,0.8110)$
Goodness of fit	
SSE	637426094.5959
R-square	0.9476
Adjusted R-square	0.9475
RMSE	1495.5209
L.S.=1.809*($DWT_{scantling}^{0.788}$)	
Παρατηρήσεις: Από τα δύο τελευταία διαγράμματα παρατηρείται ότι δεν υπάρχουν διαφορές μεταξύ τους. Υπάρχει μια αρκετά καλή συσχέτιση και των δύο μεγεθών σε κάθε περίπτωση. Συμπερασματικά, οι χώροι του πλοίου που καθορίζουν και τον όγκο του, καθώς και το βάρος της μεταλλικής κατασκευής δείχνουν ότι το DWT εξαρτάται και από αυτά.	



Διάγραμμα 36: $L.S./Displacement_{design}(\Delta)$ συναρτήσεως του DWT_{design}

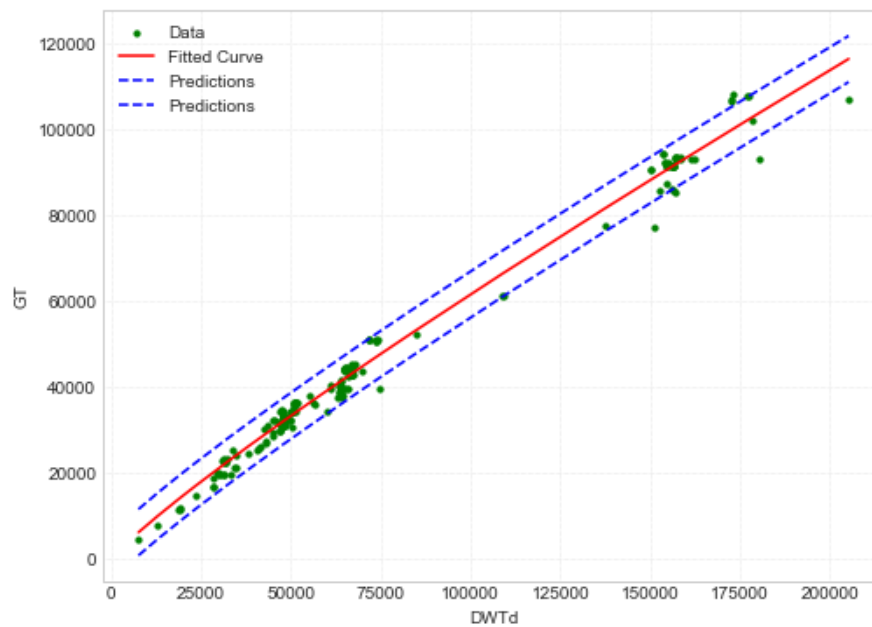
Πίνακας 39: $L.S./Displacement_{design}(\Delta)$ συναρτήσεως του DWT_{design}

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 2: $f(x)=a*x^b+c$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=1.808(1.3776,2.2378)$
	$b=-0.216(-0.2376,-0.1941)$ / $c=0.00265(0.00222,0.003006)$
Goodness of fit	
SSE	0.0670
R-square	0.6116
Adjusted R-square	0.5998
RMSE	0.0165

$$L.S./\Delta_{design}=1.808*(DWT_{design}^{-0.216})+0.00265$$

Παρατηρήσεις: Στο πιο πάνω διάγραμμα δεν φαίνεται και η καλύτερη συσχέτιση μεταξύ των καμπύλων πρόβλεψης και της προσεγγιστικής καμπύλης, όμως δίνει τα όρια του λόγου $L.S./\Delta$ και πως κυμαίνεται ανάλογα με το DWT . Τέλος, καταλήγει στο συμπέρασμα ότι καθώς αυξάνεται το DWT ο λόγος $L.S./\Delta$ μειώνεται, και συγκεκριμένα για DWT έως 80000t λαμβάνει τιμές 0.13-0.24 και για DWT μεγαλύτερα των 140000t λαμβάνει τιμές 0.11-0.15.

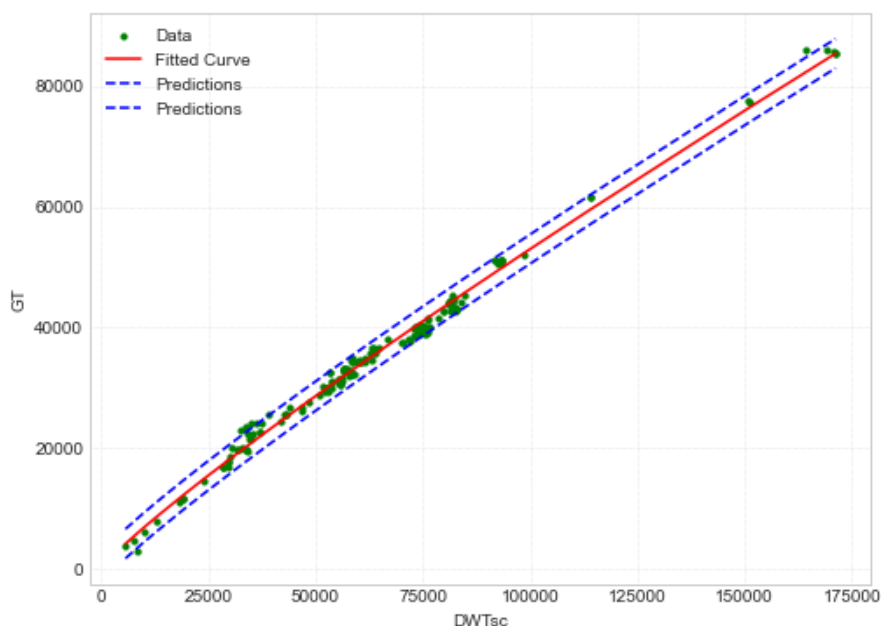
4.5 Ολική χωρητικότητα (Gross Tonnage)



Διάγραμμα 37: GT συναρτήσεσι του DWT_{design}

Πίνακας 40: GT συναρτήσεσι του DWT_{design}

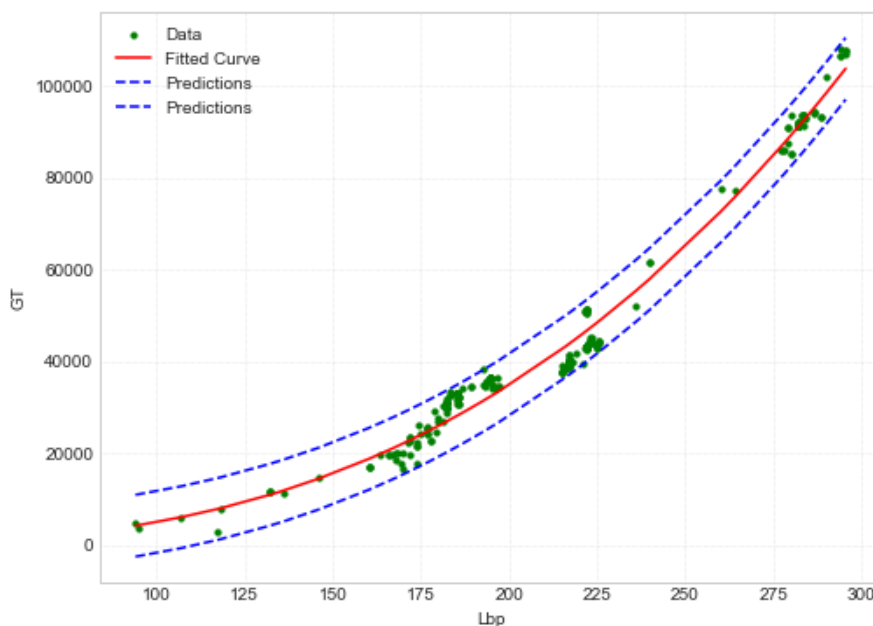
Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 1: $f(x)=a*x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=2.336(1.9538,2.7187)$
	$b=0.884(0.8702,0.8983)$
Goodness of fit	
SSE	1454322470.7169
R-square	0.9888
Adjusted R-square	0.9868
RMSE	2723.9700
$GT=2.336*(DWT_{design}^{0.884})$	



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

Πίνακας 41: GT συναρτήσεϊ του $DWT_{scantling}$

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 1: $f(x)=a*x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=1.937(1.6895,2.1842)$
	$b=0.888(0.8762,0.8988)$
Goodness of fit	
SSE	297504912.3481
R-square	0.9921
Adjusted R-square	0.992
RMSE	1232.0236
$GT=1.937*(DWT_{scantling}^{0.888})$	
<p>Παρατηρήσεις: Και στα δύο διαγράμματα τα αποτελέσματα ήταν αναμενόμενα αφού από την θεωρία είναι γνωστό ότι η ολική χωρητικότητα εξαρτάται από το άθροισμα όλου του όγκου όλων των χώρων του πλοίου. Επίσης, διακρίνεται και στα δύο διαγράμματα μια καλή εκτίμηση, όμως στο δεύτερο του $GT-DWT_{scantling}$ έχει λιγότερες αποκλίσεις αφού το $DWT_{scantling}$ αποτελεί πιο αντιπροσωπευτικό μέγεθος για το πλοίο σε σχέση με το DWT_{design}.</p>	



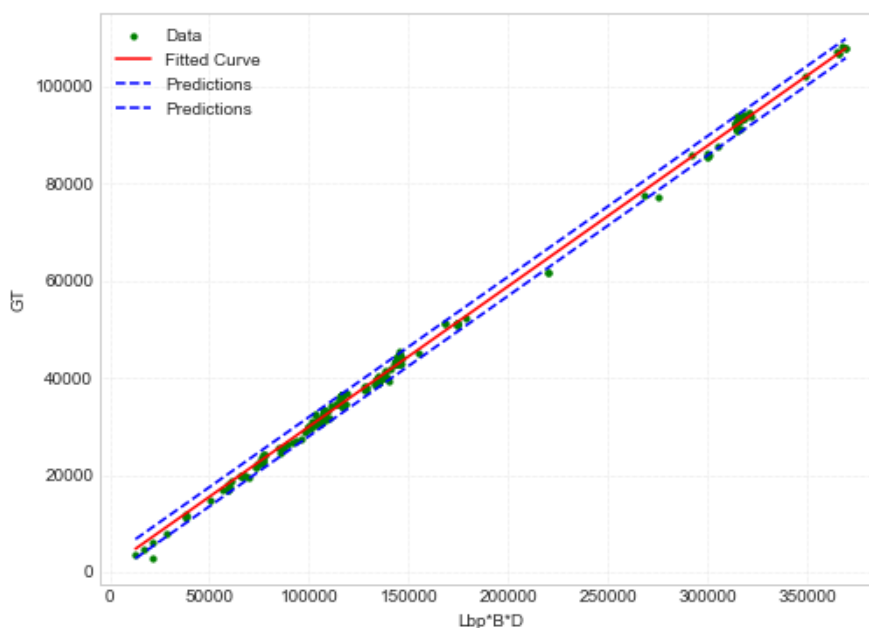
Διάγραμμα 39: GT συναρτήσει του LBP

Πίνακας 42: GT συναρτήσει του LBP

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 1: $f(x)=a*x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.013(0.0093,0.0168)$
	$b=2.793(2.7408,2.8450)$
Goodness of fit	
SSE	2764852595.6895
R-square	0.9824
Adjusted R-square	0.9824
RMSE	3415.5592

$$GT=0.013*(LBP^{2.793})$$

Παρατηρήσεις: Στο πιο πάνω διάγραμμα υπάρχει μια πολύ καλή συσχέτιση των δύο μεγεθών και φαίνεται από τη διασπορά των σημείων που προσεγγίζουν την προσεγγιστική καμπύλη σε μεγάλο βαθμό. Επίσης, είναι γνωστό ότι το μήκος συμβάλει άμεσα στον όγκο του και εν συνεχεία στην ολική χωρητικότητα του.



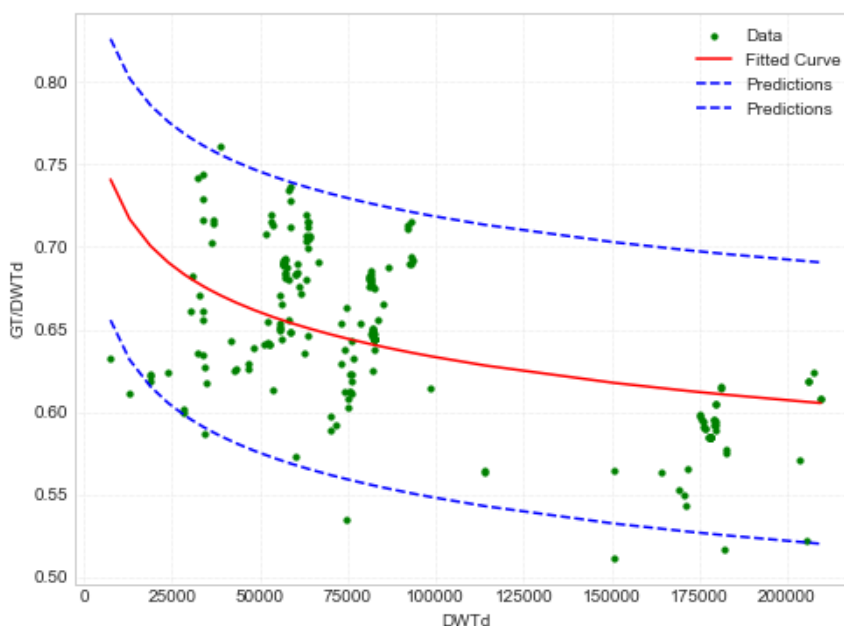
Διάγραμμα 40: GT συναρτήσεϊ του $LBP*B*D$

Πίνακας 43: GT συναρτήσεϊ του $LBP*B*D$

Αποτελέσματα προσέγγισης Linear Model	Poly 1: $f(x)=p1*x+p2$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$p1=0.289(0.2875,0.2904)$
	$p2=1054.995(795.8280,1314.1611)$
Goodness of fit	
SSE	238460650.3600
R-square	0.9985
Adjusted R-square	0.9984
RMSE	1003.0768

$$GT=0.289*(LBP*B*D)+1054.995$$

Παρατηρήσεις: Το γινόμενο με τη ολική χωρητικότητα αποτελεί μία από τις καλύτερες προσεγγίσεις όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, όπου ήταν αναμενόμενο κιάλας αφού το γινόμενο των τριών διαστάσεων καθορίζει και τον όγκο του πλοίου. Παρατηρείται προφανώς ότι τα σημεία ακολουθούν τη προσεγγιστική καμπύλη και οι καμπύλες πρόβλεψης απέχουν ελάχιστα από την προσεγγιστική. Τέλος, καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η προσέγγιση δύο μεγεθών όγκου έχει μεγαλύτερη ακρίβεια σε σχέση με του ενός μεγέθους που είχαμε στο προηγούμενο συμπέρασμα.



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

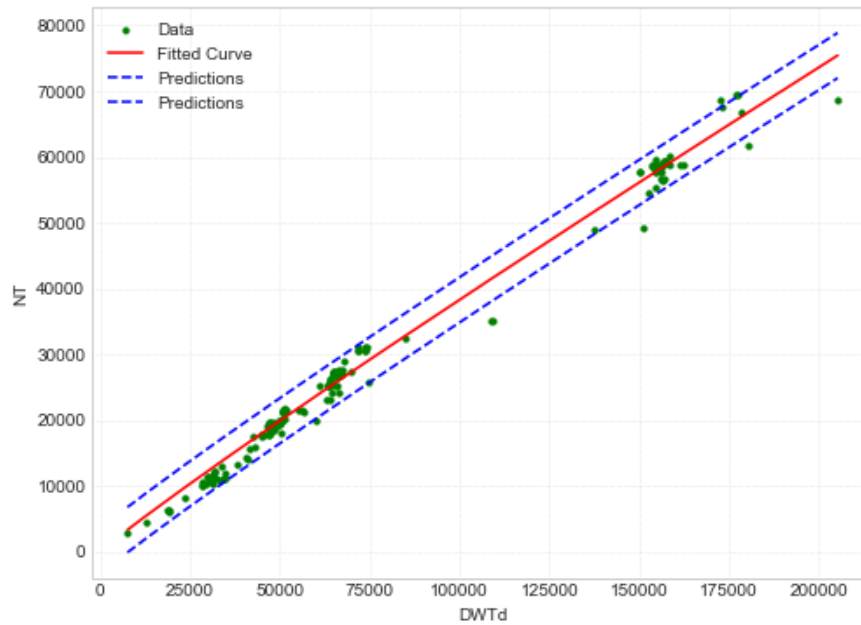
Πίνακας 43: GT/DWT_{design} συναρτήσεσι του DWT_{design}

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 1: $f(x)=a*x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=1.273(1.0461,1.5001)$
	$b=-0.061(-0.0766,-0.0447)$
Goodness of fit	
SSE	0.3642
R-square	0.2329
Adjusted R-square	0.2329
RMSE	0.0431

$$GT/DWT_{design}=1.273*(DWT_{design}^{-0.061})$$

Παρατηρήσεις: Στη συγκεκριμένο διάγραμμα παρατηρείται ότι τα μεγέθη δεν έχουν και την καλύτερη συσχέτιση μεταξύ τους, αφού τα σημεία απέχουν από την προσεγγιστική καμπύλη και οι καμπύλες πρόβλεψης δεν πλησιάζουν αρκετά την προσεγγιστική, όμως δείχνει τους λόγους πληρότητας και βοηθάει στο Design του πλοίου. Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται το DWT ο λόγος μειώνεται, αφού για πλοία έως 80000t DWT τα όρια είναι 0.57-0.75, ενώ για πλοία μεγαλύτερου των 140000t DWT έχει όρια στα 0.53-0.62.

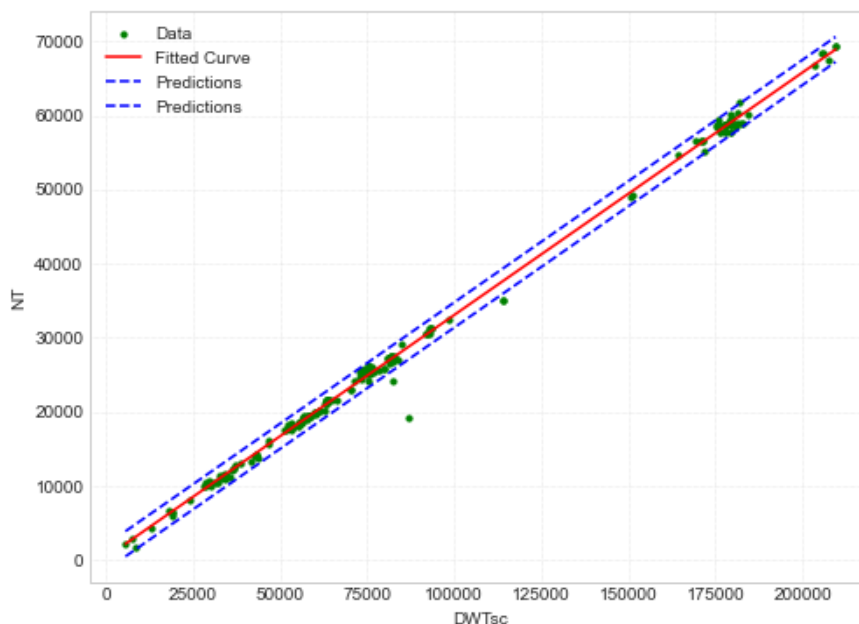
4.6 Καθαρή χωρητικότητα (Net Tonnage)



Διάγραμμα 42: NT συναρτήσεσι του DWT_{design}

Πίνακας 45: NT συναρτήσεσι του DWT_{design}

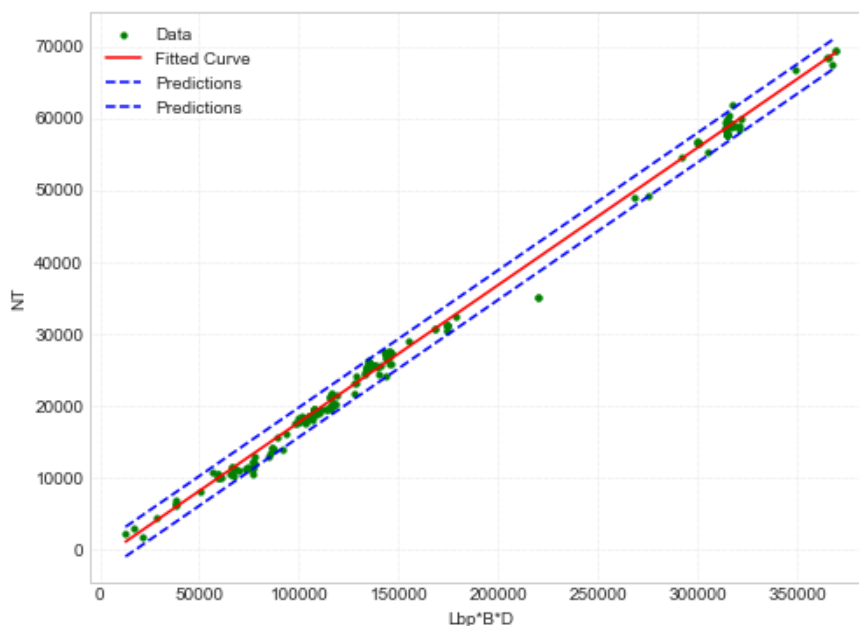
Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 1: $f(x)=a*x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.746(0.6160,0.8761)$
	$b=0.942(0.9272,0.9570)$
Goodness of fit	
SSE	581169249.3998
R-square	0.9894
Adjusted R-square	0.9793
RMSE	1739.8055
$NT=0.746*(DWT_{design}^{0.942})$	



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

Πίνακας 46: NT συναρτήσεϊ του $DWT_{scantling}$

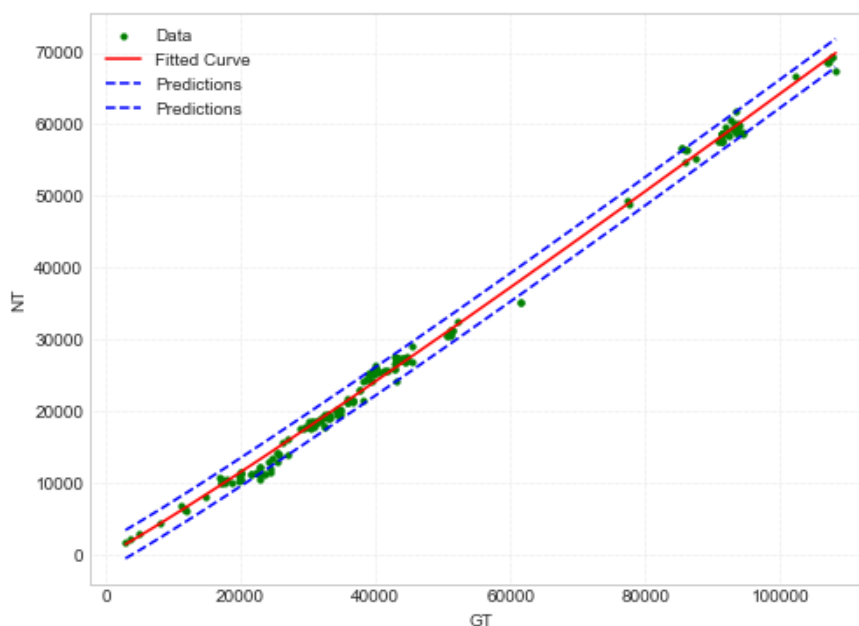
Αποτελέσματα προσέγγισης Linear Model	Poly 1: $f(x)=p1*x+p2$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$p1=0.327(0.3253,0.3296)$
	$p2=342.932(125.8889,559.979)$
Goodness of fit	
SSE	171448827.2403
R-square	0.9974
Adjusted R-square	0.9973
RMSE	861.5119
$NT=0.327*DWT_{scantling}+342.932$	
Παρατηρήσεις: Όπως και στα διαγράμματα του GT έτσι και εδώ φαίνεται η ίδια παρατήρηση, η καθαρή χωρητικότητα έχει πολύ καλή συσχέτιση όπως και προηγουμένως για τους ίδιους ακριβώς λόγους.	



Διάγραμμα 44: NT συναρτήσεϊ του $LBP*B*D$

Πίνακας 47: NT συναρτήσεϊ του $LBP*B*D$

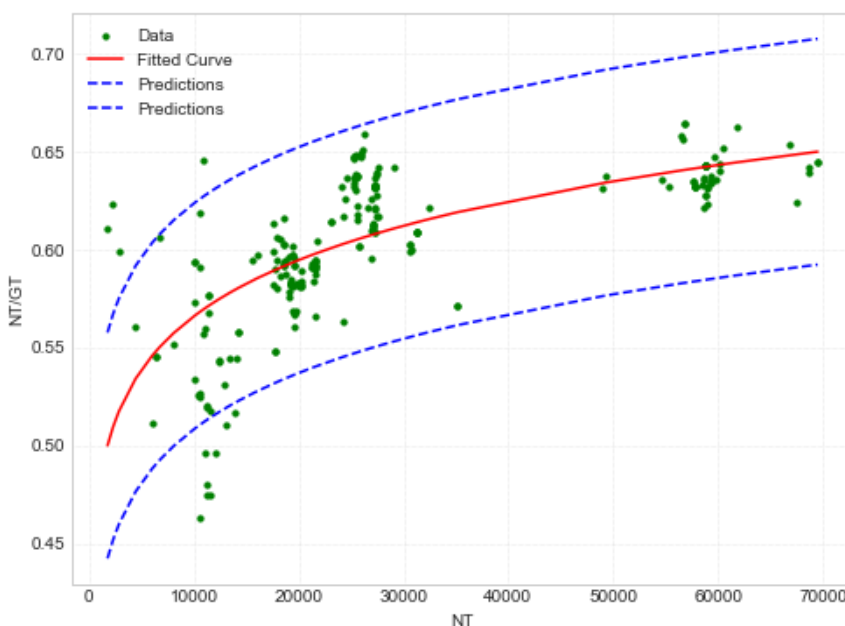
Αποτελέσματα προσέγγισης Linear Model	Poly 1: $f(x)=p1*x+p2$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$p1=0.191(0.1895,0.1926)$
	$p2=-1375.241(-1650.6625,-1099.8187)$
Goodness of fit	
SSE	252437031.2033
R-square	0.9962
Adjusted R-square	0.9962
RMSE	1045.3712
$NT=0.191*(LBP*B*D)-1375.241$	
Παρατηρήσεις: Στο συγκεκριμένο διάγραμμα υπάρχει μια πολύ καλή συσχέτιση των μεγεθών αφού τα σημεία έχουν απλωθεί σε όλο το εύρος της προσεγγιστικής καμπύλης εξαιρώντας ελάχιστα σημεία εκτός των καμπύλων πρόβλεψης.	



Διάγραμμα 45: NT συναρτήσευ του GT

Πίνακας 48: NT συναρτήσευ του GT

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 1: $f(x)=a*x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.299(0.2689,0.3285)$
	$b=1.067(1.0576,1.0755)$
Goodness of fit	
SSE	231832050.7861
R-square	0.9965
Adjusted R-square	0.9964
RMSE	1001.7994
$NT=0.299*(GT^{1.067})$	
<p>Παρατηρήσεις: Από την πιο πάνω γραφική μπορεί να γίνει μια αξιόπιστη εκτίμηση του NT, αφού συσχετίζεται άριστα με το GT. Αυτό επιβεβαιώνεται από τον ορισμό, όπου η ολική χωρητικότητα NT προκύπτει από τη ολική μείον τον όγκο ορισμένων χώρων που δεν έχουν σκοπό να μεταφέρουν κάποιο φορτίο.</p>	

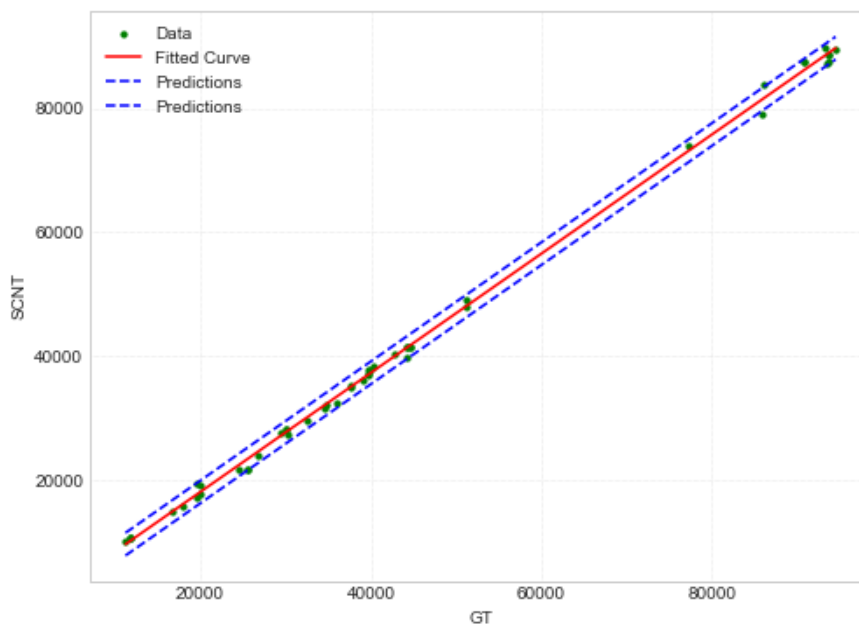


Διάγραμμα 46: NT/GT συναρτήσεσι του NT

Πίνακας 49: NT/GT συναρτήσεσι του NT

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 1: $f(x)=a*x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.293(0.2626,0.3243)$
	$b=0.071(0.0610,0.0817)$
Goodness of fit	
SSE	0.1970
R-square	0.4463
Adjusted R-square	0.4462
RMSE	0.0292
$NT/GT=0.293*(NT^{0.071})$	
Παρατηρήσεις: Η ποιότητα προσέγγισης δεν είναι και τόσο καλή, όμως διακρίνεται η μεταβολή που έχει ο λόγος NT/GT σε σχέση με την ολική. Συμπερασματικά, λόγος αυξάνεται με την αύξηση της ολικής χωρητικότητας και κυμαίνεται μεταξύ 0.46-0.67.	

4.7 Suez Canal Net Tonnage (SCNT)



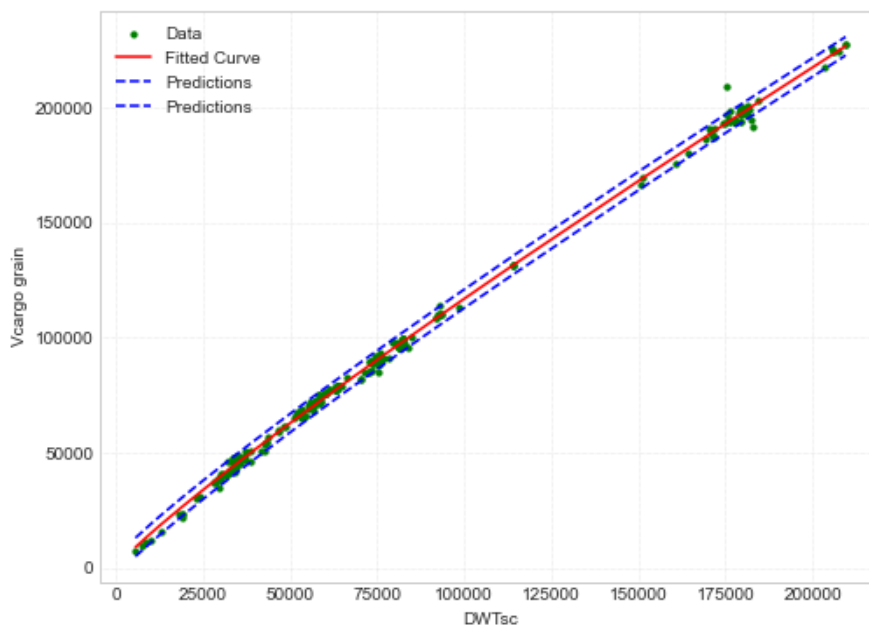
Διάγραμμα 47: SCNT συναρτήσεσι του GT

Πίνακας 50: SCNT συναρτήσεσι του GT

Αποτελέσματα προσέγγισης Linear Model	Poly 1: $f(x)=p1*x+p2$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$p1=0.961(0.9512,0.9712)$
	$p2=-1112.421(-1633.2078,-591.6334)$
Goodness of fit	
SSE	40232426.2058
R-square	0.9987
Adjusted R-square	0.9986
RMSE	906.1291
SCNT=0.961*GT-1112.421	
Παρατηρήσεις: Δίνεται η δυνατότητα για μια πρώτη αξιόπιστη εκτίμηση, αφού η συσχέτιση των δύο μεγεθών είναι εξαιρετική, καθώς τα σημεία (παρόλο που δεν είναι αρκετά τα δεδομένα που έχουν ληφθεί) είναι πολύ κοντά στην καμπύλη προσέγγισης.	

4.8 Χωρητικότητα Δεξαμενών

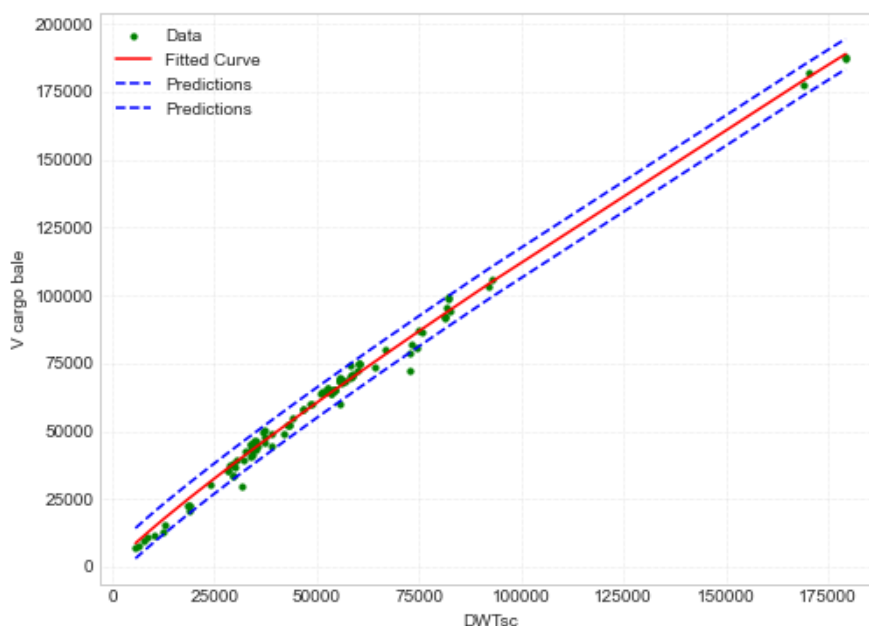
4.8.1 Όγκος δεξαμενών φορτίου Grain συγκριτικά με τον όγκο δεξαμενών φορτίου Bale



Διάγραμμα 48: VCARGO GRAIN συναρτήσεσι του $DWT_{scantling}$

Πίνακας 51: VCARGO GRAIN συναρτήσεσι του $DWT_{scantling}$

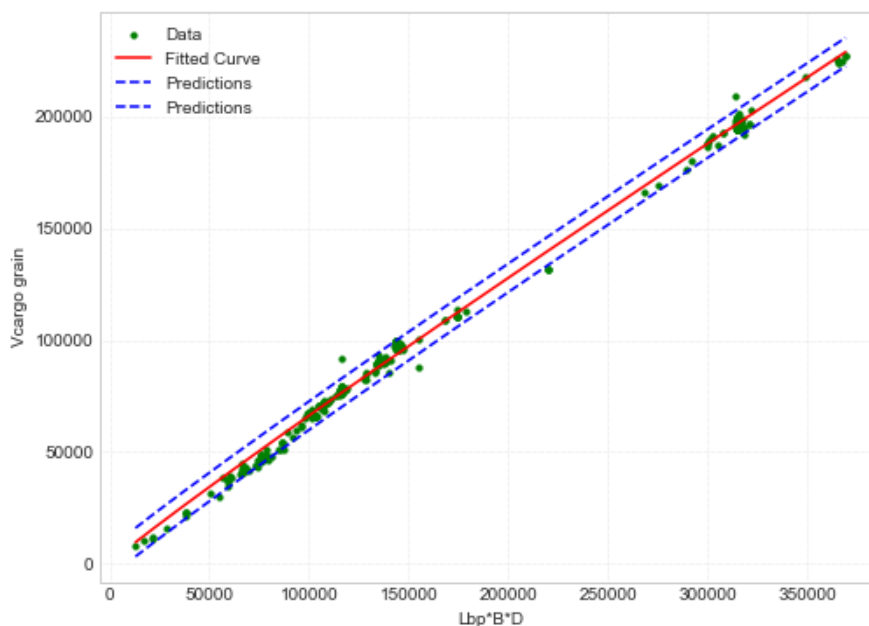
Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 2: $f(x)=a \cdot x^b+c$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=3.885(3.6926,4.0766)$
	$b=0.896(0.8916,0.9000) /$ $c=145(103,187)$
Goodness of fit	
SSE	1243601967.4761
R-square	0.9986
Adjusted R-square	0.9923
RMSE	2049.7214
$VCARGO\ GRAIN=3.885 \cdot (DWT_{scantling})^{0.896}-145$	



Διάγραμμα 49: VCARGO BALE συναρτήσεϊ του DWT_{scantling}

Πίνακας 52: VCARGO BALE συναρτήσεϊ του DWT_{scantling}

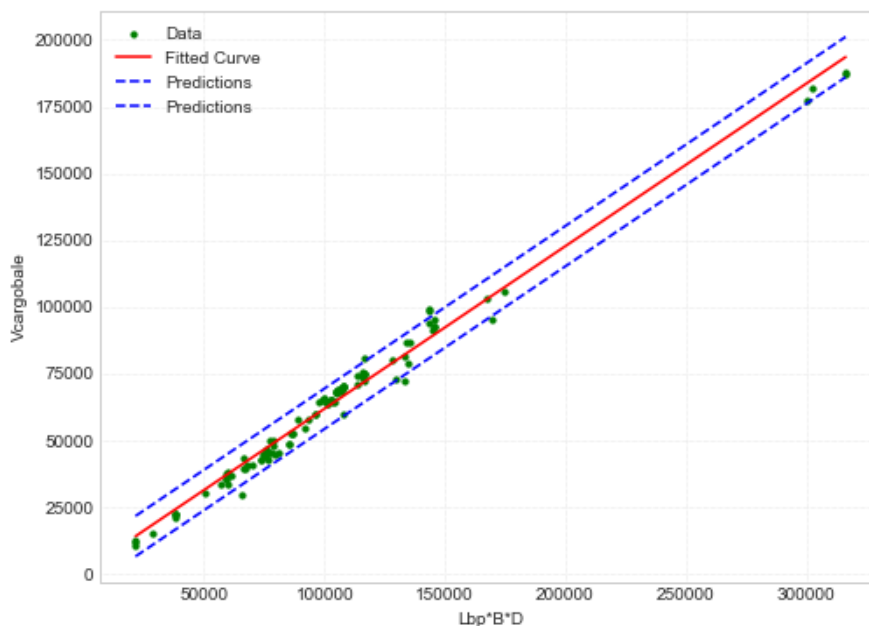
Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 1: $f(x)=a \cdot x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=3.899(3.2881,4.5102)$
	$b=0.892(0.8779,0.9057)$
Goodness of fit	
SSE	818806775.5072
R-square	0.9928
Adjusted R-square	0.9928
RMSE	2805.9120
$VCARGO \ BALE=3.899 \cdot (DWT_{scantling})^{0.892}$	
<p>Παρατηρήσεις: Και τα δύο διαγράμματα αποτελούν μια ικανοποιητική συσχέτιση των δύο μεγεθών σε κάθε περίπτωση, αφού το βάρος αποτελεί το μεγαλύτερο κομμάτι του DWT, έτσι και η εξάρτηση είναι άκρως λογική και αναμενόμενη. Το διάγραμμα του V_{GRAIN} σε σχέση με του V_{BALE} έχει μικρότερες αποκλίσεις και αυτό μπορεί να συμβαίνει για τον λόγο ότι τα δεδομένα ήταν περισσότερα για την πρώτη περίπτωση.</p>	



Διάγραμμα 50: VCARGO GRAIN συναρτήσεσι του LBP*B*D

Πίνακας 53: VCARGO GRAIN συναρτήσεσι του LBP*B*D

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 2: $f(x)=a*x^b+c$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=1.179(1.0776,1.2805)$
	$b=0.950(0.9429,0.9569) /$ $c=-1148(-10800,8504)$
Goodness of fit	
SSE	3116414160.2186
R-square	0.9964
Adjusted R-square	0.9892
RMSE	3244.7536
$VCARGO\ GRAIN=1.179*((LBP*B*D)^{0.95})-1148$	

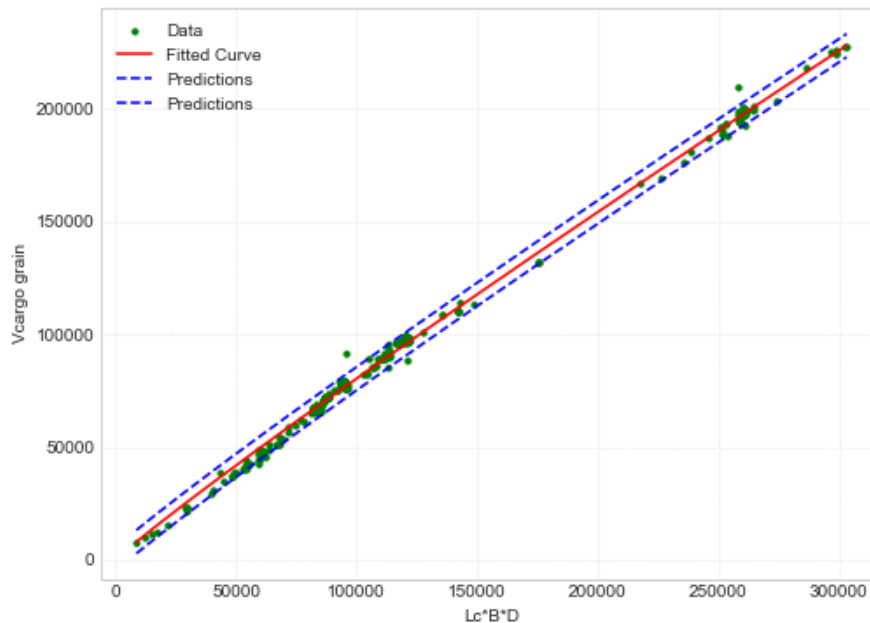


Διάγραμμα 51: VCARGO BALE συναρτήσεως του LBP*B*D

Πίνακας 54: VCARGO BALE συναρτήσεως του LBP*B*D

Αποτελέσματα προσέγγισης Linear Model	Poly 1: $f(x)=p1*x+p2$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$p1=0.609(0.5944,0.6231)$
	$p2=1038.886(-614.1251,2691.8964)$
Goodness of fit	
SSE	1503544062.0211
R-square	0.9858
Adjusted R-square	0.9817
RMSE	3802.2565
$VCARGO\ BALE=0.609*(LBP*B*D)+1038.886$	

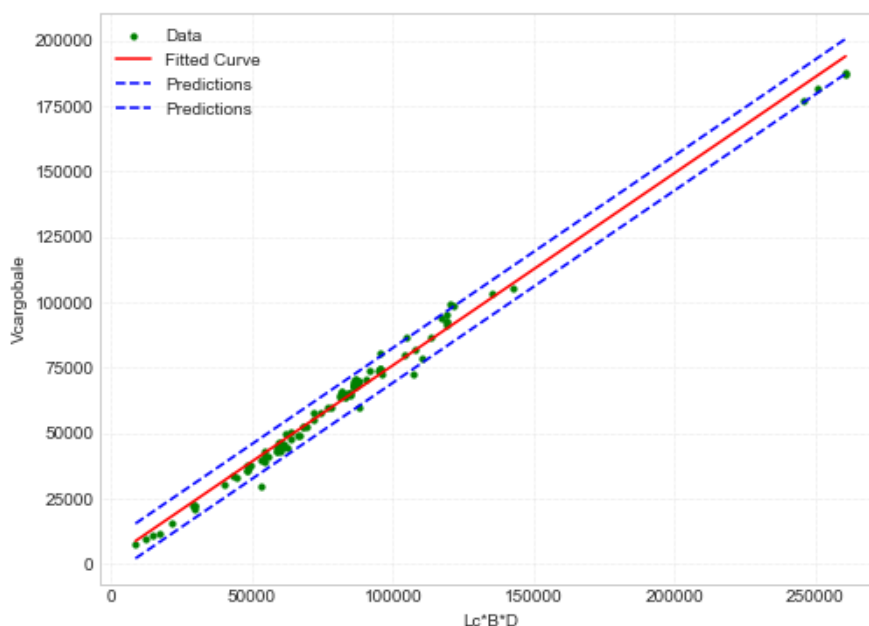
Παρατηρήσεις: Διακρίνονται πολύ καλές συσχετίσεις και στα δύο διαγράμματα, σχεδόν παρόμοια χωρίς ιδιαίτερες αποκλίσεις, με το διάγραμμα του VGRAIN να παρουσιάζει ελαφρώς καλύτερα αποτελέσματα για τον ίδιο λόγο που προαναφέρθηκε για τα δεδομένα που έχουν ληφθεί. Στη μια περίπτωση βέβαια του VCARGO-LBP*B*D φαίνονται λίγο μεγαλύτερες αποκλίσεις αφού το μήκος περιλαμβάνει και χώρους πέραν του φορτίου.



Διάγραμμα 52: VCARGO GRAIN συναρτήσεως του LCARGO*B*D

Πίνακας 55: VCARGO GRAIN συναρτήσεως του LCARGO*B*D

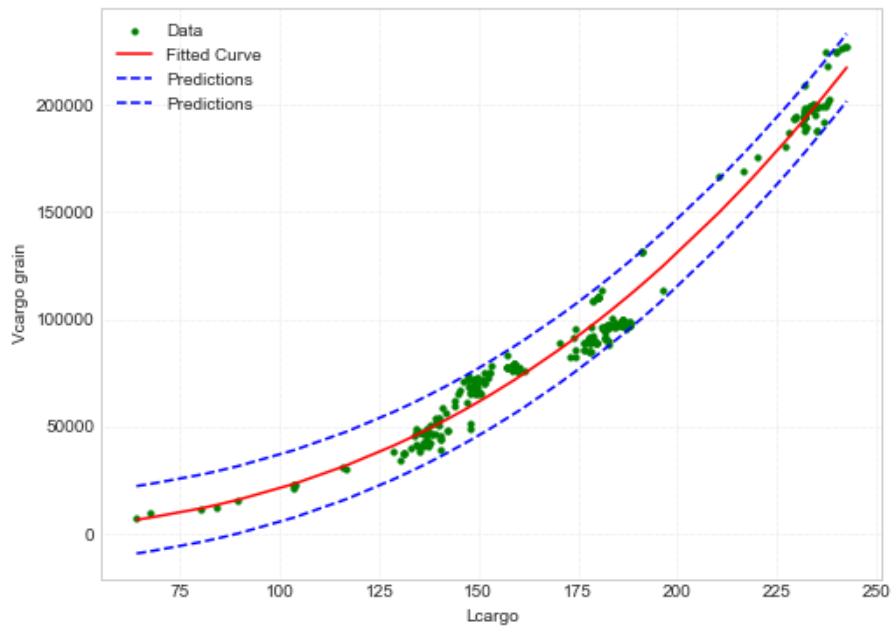
Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 2: $f(x)=a*x^b+c$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=1.624(1.5143,1.7346)$
	$b=0.939(0.9334,0.9445) /$ $c=-1021(-10242,8200)$
Goodness of fit	
SSE	2033615232.8514
R-square	0.9977
Adjusted R-square	0.9912
RMSE	2621.1299
$VCARGO\ GRAIN=1.624*((LCARGO*B*D)^{0.939})-1021$	



Διάγραμμα 53: VCARGO BALE συναρτήσεϊ του LCARGO *B*D

Πίνακας 56: VCARGO BALE συναρτήσεϊ του LCARGO *B*D

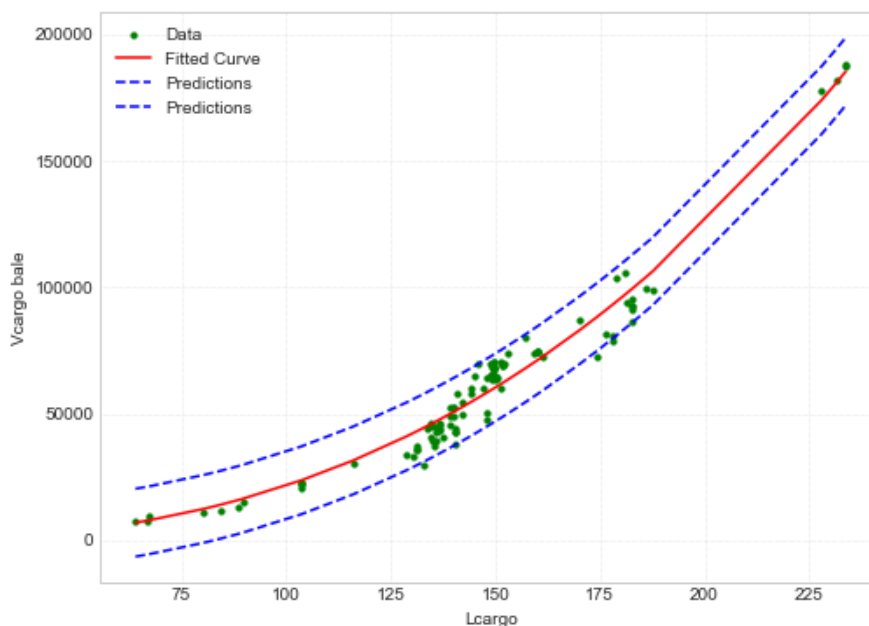
Αποτελέσματα προσέγγισης Linear Model	Poly 1: $f(x)=p1*x+p2$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$p1=0.735(0.7202,0.7504)$
	$p2=2384.859(982.1564,3787.5610)$
Goodness of fit	
SSE	1146166918.9150
R-square	0.9894
Adjusted R-square	0.9893
RMSE	3352.1531
$VCARGO\ BALE=0.735*(LCARGO*B*D)+2384.859$	
Παρατηρήσεις: Διακρίνονται παρόμοια διαγράμματα όπως και ήταν αναμενόμενο, με καλύτερη διασπορά των σημείων και καλύτερη εκτίμηση του όγκου με μεγαλύτερη ακρίβεια, αφού τέθηκε ο περιορισμός για το μήκος σε φορτίο και ο όγκος περιορίζεται κοντά στον όγκο φορτίου.	



Διάγραμμα 54: VCARGO GRAIN συναρτήσεσι του LCARGO

Πίνακας 57: VCARGO GRAIN συναρτήσεσι του LCARGO

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 1: $f(x)=a*x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.119(0.0881,0.1504)$
	$b=2.625(2.5724,2.6744)$
Goodness of fit	
SSE	188018067.9490
R-square	0.9785
Adjusted R-square	0.9784
RMSE	7969.9195
$VCARGO\ GRAIN=0.119*(LCARGO^2.625)$	

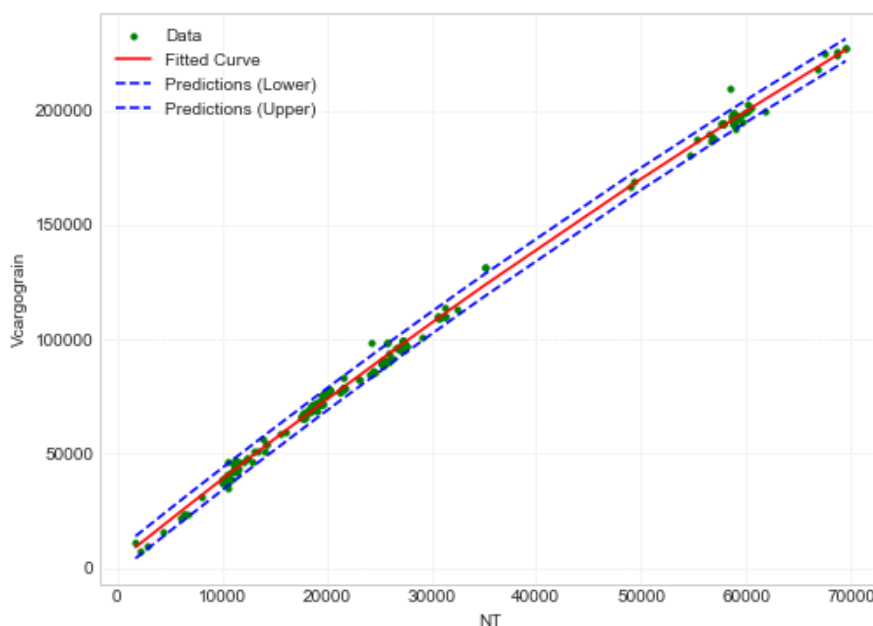


Διάγραμμα 55: VCARGO BALE συναρτήσεϊ του LCARGO

Πίνακας 58: VCARGO BALE συναρτήσεϊ του LCARGO

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 1: $f(x)=a*x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.194(0.0981,0.2890)$
	$b=2.525(2.4296,2.6206)$
Goodness of fit	
SSE	4718230321.8731
R-square	0.9585
Adjusted R-square	0.9585
RMSE	6735.5474
$VCARGO\ BALE=0.194*(LCARGO^2.525)$	

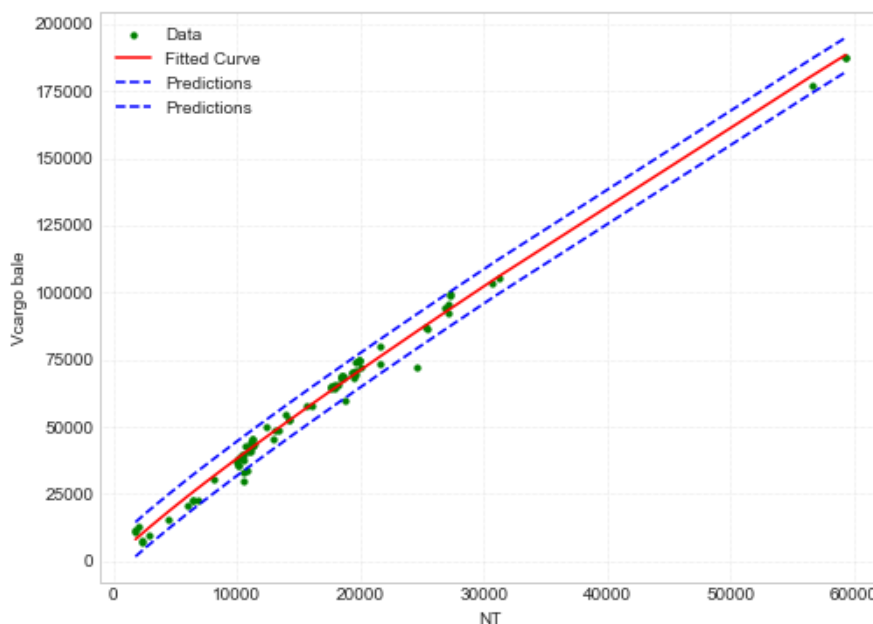
Παρατηρήσεις: Πανομοιότητα και τα δύο διαγράμματα, με τη μονή διαφορά τα δεδομένα στην περίπτωση VGRAIN να είναι περισσότερα σε σχέση με την περίπτωση VBALE. Τέλος, εάν συγκριθεί η περίπτωση του γινομένου και της μιας διάστασης, φαίνεται ότι οι αποκλίσεις στη δεύτερη περίπτωση είναι μεγαλύτερες και απόλυτα φυσιολογικές καθώς δεν εκφράζεται ο όγκος με την μια διάσταση από μόνη της.



Διάγραμμα 56: VCARGO GRAIN συναρτήσεσι του NT

Πίνακας 59: VCARGO GRAIN συναρτήσεσι του NT

Αποτελέσματα προσέγγισης Linear Model	Poly 2: $f(x)=p1*x^2+p2*x+p3$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$p1=-6.981(10^{-6})(-8.44(10^{-6}),(-5.5210^{-6}))$
	$p2=3.691(3.5977,3.7843) /$ $p3=2545.959(1154.1379,3937.7797)$
Goodness of fit	
SSE	1381708276.3069
R-square	0.9980
Adjusted R-square	0.9980
RMSE	2445.6944
$VCARGO\ GRAIN=-6.981*(10^{-6})*(NT^2)+3.691*NT+2545.959$	

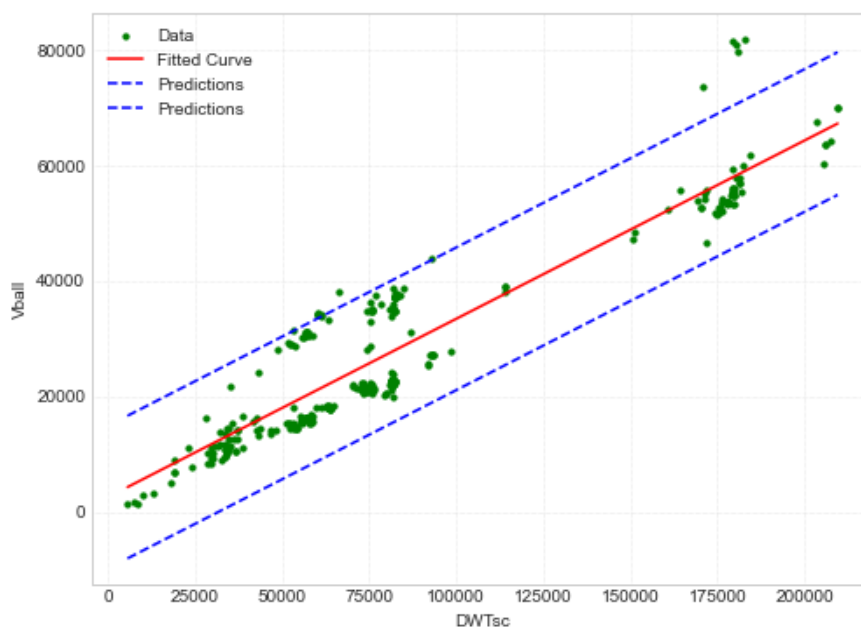


Διάγραμμα 57: VCARGO BALE συναρτήσεϊ του NT

Πίνακας 60: VCARGO BALE συναρτήσεϊ του NT

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 2: $f(x)=a*x^b+c$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=9.939(8.1010,11.7770)$
	$b=0.896(0.8781,0.9144) /$ $c=-1196(-9850,7458)$
Goodness of fit	
SSE	832614688.1010
R-square	0.9912
Adjusted R-square	0.9879
RMSE	3206.1182
$VCARGO\ BALE=9.939*(NT^{0.896})-1196$	
<p>Παρατηρήσεις: Πολύ καλή συσχέτιση και σε αυτή την περίπτωση με ελάχιστες αποκλίσεις, με το φαινόμενο για τα λιγότερα δεδομένα στη περίπτωση του VBALE να παρουσιάζεται και εδώ έχοντας μεγαλύτερες αποκλίσεις σε σχέση με το άλλο του VCARGO όπου τα δεδομένα είναι περισσότερα. Επίσης, η καθαρή χωρητικότητα σχετίζεται άμεσα με το χώρο φορτίου και το αποτέλεσμα της συσχέτισης ήταν αναμενόμενο.</p>	

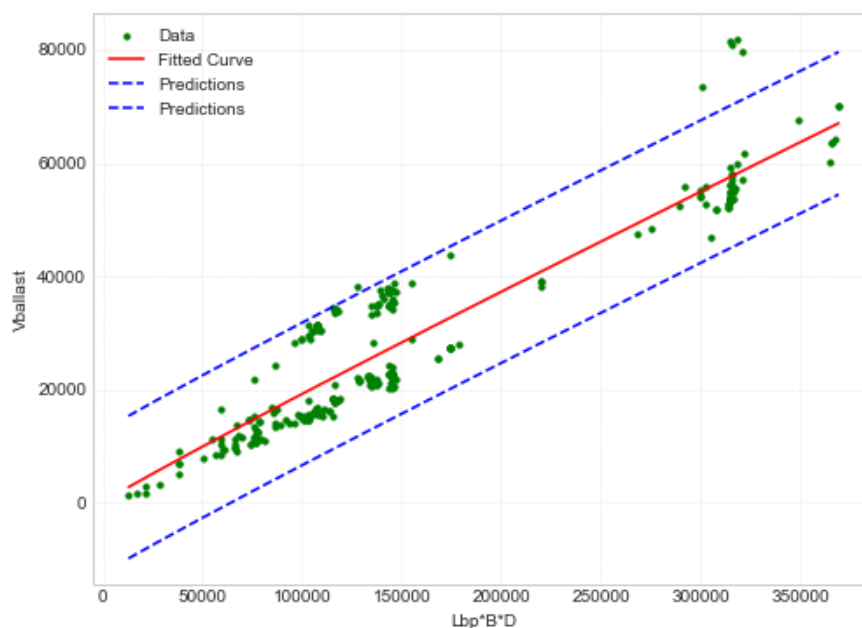
4.8.2 Όγκος δεξαμενών έρματος (Ballast Water)



Διάγραμμα 58: $V_{BALLAST}$ συναρτήσεως του $DWT_{scantling}$

Πίνακας 61: $V_{BALLAST}$ συναρτήσεως του $DWT_{scantling}$

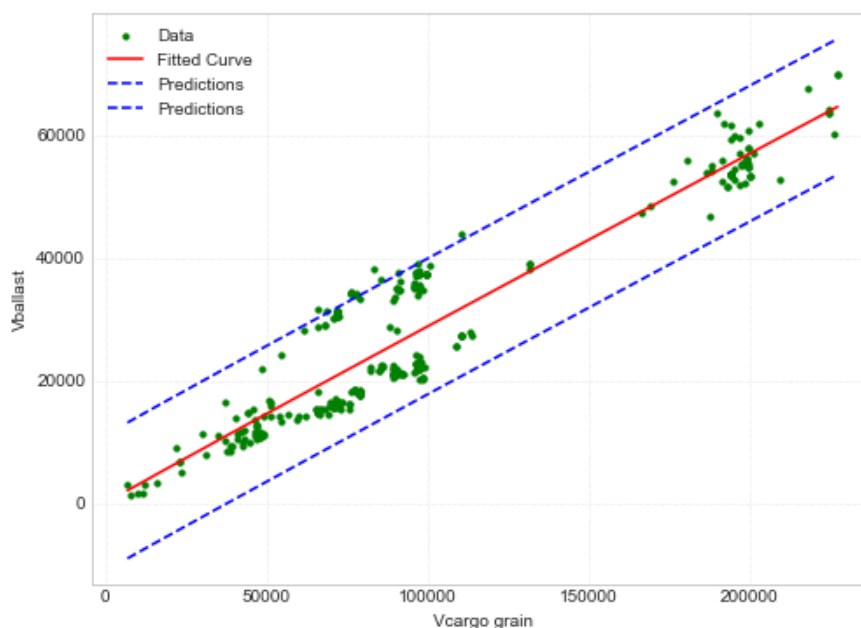
Αποτελέσματα προσέγγισης Linear Model	Poly 1: $f(x)=p1*x+p2$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$p1=0.309(0.2948,0.3226)$
	$p2=2611.054(1220.1731,4001.9350)$
Goodness of fit	
SSE	11583591525.0420
R-square	0.8669
Adjusted R-square	0.867
RMSE	6266.2917
$V_{BALLAST}=0.309*(DWT_{scantling})+2611.054$	
Παρατηρήσεις: Παρουσιάζεται μια καλή προσέγγιση με την εκτίμηση χώρου έρματος συναρτήσεως του DWT, αφού αρκετά σημεία είναι εντός των καμπύλων πρόβλεψης και ελάχιστα εκτός αλλά κοντά σε αυτές. Τέλος, γνωρίζοντας το DWT δίνεται η δυνατότητα να γίνει μια πρώτη και ικανοποιητική εκτίμηση του συνολικού όγκου των δεξαμενών έρματος.	



Διάγραμμα 59: $V_{BALLAST}$ συναρτήσεσι του $LBP*B*D$

Πίνακας 62: $V_{BALLAST}$ συναρτήσεσι του $LBP*B*D$

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 1: $f(x)=a*x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.311(0.1279,0.4948)$
	$b=0.958(0.9102,1.0056)$
Goodness of fit	
SSE	11845540658.5633
R-square	0.8614
Adjusted R-square	0.8613
RMSE	6391.1417
$V_{BALLAST}=0.311*((LBP*B*D)^{0.958})$	
Παρατηρήσεις: Στη συγκεκριμένη περίπτωση υπάρχει μια καλύτερη πρώτη εκτίμηση της χωρητικότητας δεξαμενών έρματος αφού το γινόμενο δίνει καλύτερη ποιότητα των παραμέτρων σε σχέση με το DWT με μικρότερες αποκλίσεις.	

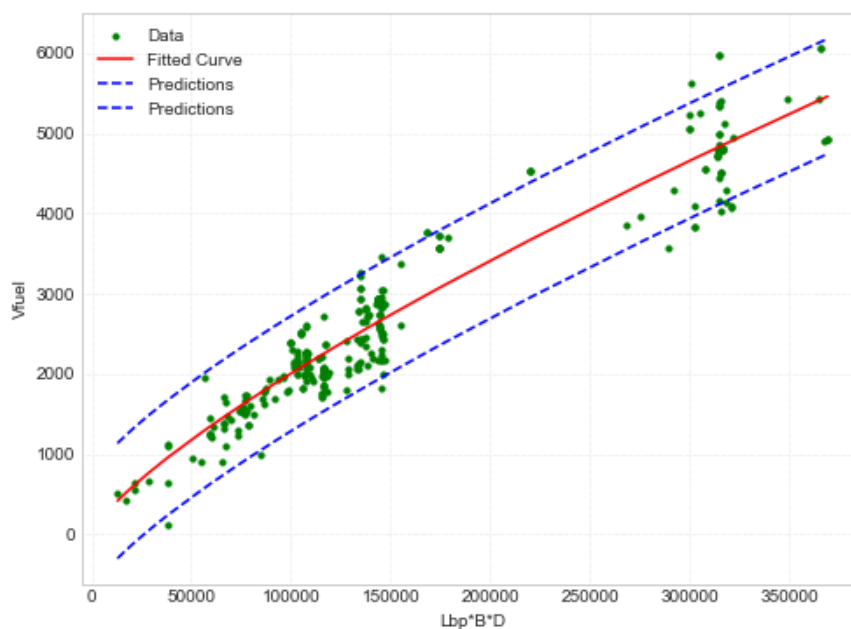


Διάγραμμα 60: *VBALLAST* συναρτήσεσι του *VCARGO GRAIN*

Πίνακας 63: *VBALLAST* συναρτήσεσι του *VCARGO GRAIN*

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 1: $f(x)=a*x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.347(0.1611,0.5332)$
	$b=0.984(0.9387,1.0289)$
Goodness of fit	
SSE	9195931561.3090
R-square	0.8830
Adjusted R-square	0.8735
RMSE	5621.4891
$V_{BALLAST}=0.347*(V_{CARGO\ GRAIN}^{0.984})$	
Παρατηρήσεις: Διακρίνεται μια όχι και τόσο καλή σχετικά εκτίμηση του όγκου έρματος. Παρατηρείται και εδώ ίδια συμπεριφορά της απόκλισης των σημείων από την καμπύλη προσέγγισης όπως και στο διάγραμμα <i>VBALLAST-DWT</i> .	

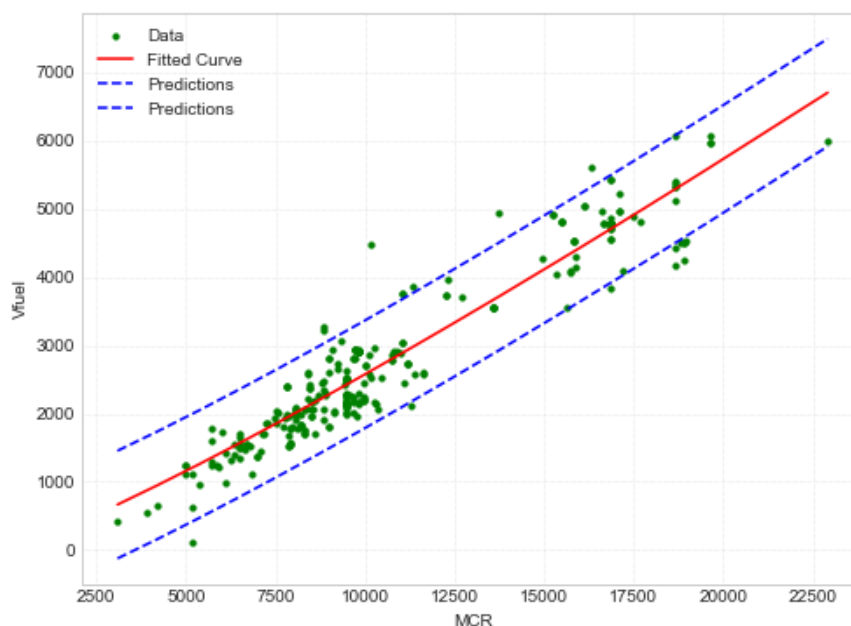
4.8.3 Χωρητικότητα δεξαμενών καυσίμου (Fuel Oil Capacity)



Διάγραμμα 61: $LBP*B*D$ συναρτήσεσι του V_{fuel}

Πίνακας 64: $LBP*B*D$ συναρτήσεσι του V_{fuel}

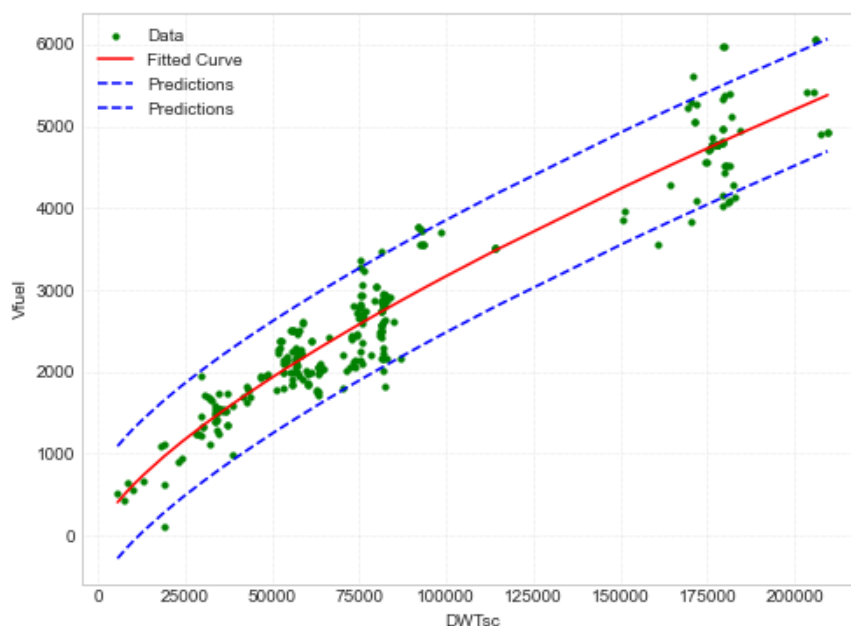
Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 2: $f(x)=a*x^b+c$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.295(0.1936,0.03972)$
	$b=0.766(0.7382,0.7945) /$ $c=144.5(103,186)$
Goodness of fit	
SSE	38711252.0422
R-square	0.9150
Adjusted R-square	0.9068
RMSE	364.1055
$V_{fuel}=0.295*((LBP*B*D)^{0.766})+144.5$	
Παρατηρήσεις: Φαίνεται μια καμπύλη με μεγάλες αποκλίσεις σχετικά από την προσεγγιστική καμπύλη, όμως οι παράμετροι παραμένουν σε ικανοποιητική τάξη μεγέθους. Τέλος, παρατηρείται ότι λόγω των περιορισμών που υπάρχουν στη περατότητα της διαδρομής, των λιμανιών αλλά και των διυλιστηρίων διακρίνεται σταθερό γινόμενο για διαφορετικές χωρητικότητες δεξαμενών καυσίμου.	



Διάγραμμα 62: V_{fuel} συναρτήσεως του $PMCR$

Πίνακας 65: V_{fuel} συναρτήσεως του $PMCR$

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 2: $f(x)=a*x^b+c$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.063(0.0347,0.0904)$
	$b=1.154(1.1069,1.2005) /$ $c=45(32,58)$
Goodness of fit	
SSE	44302384.1366
R-square	0.9013
Adjusted R-square	0.9001
RMSE	400.6443
$V_{fuel}=0.063*((PMCR)^{1.154})-45$	
Παρατηρήσεις: Εκφράζεται μια άμεση συσχέτιση της ισχύς MCR με την χωρητικότητα των δεξαμενών καυσίμου, αφού καθορίζει με την σειρά της την κατανάλωση που χρειάζεται το πλοίο και εν συνεχεία την απαίτηση σε ποσότητα καυσίμου.	

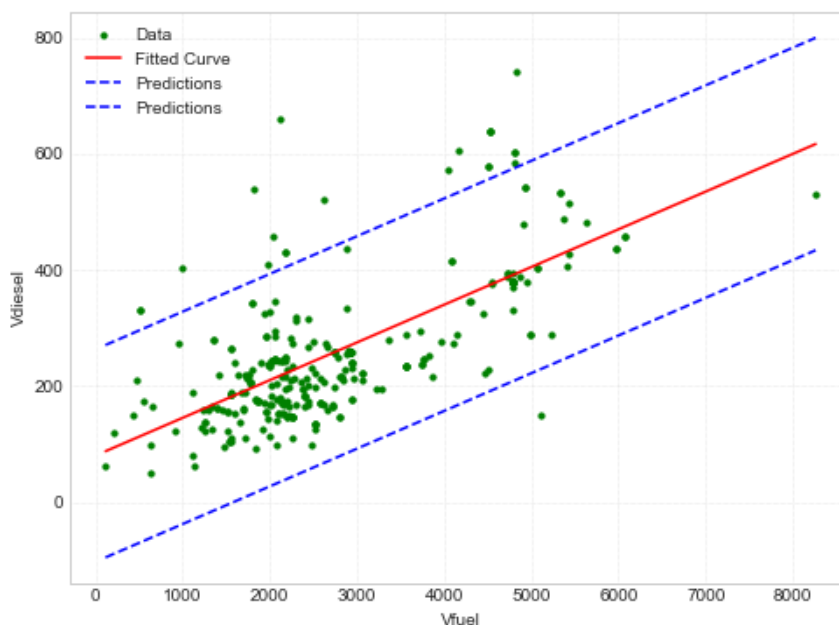


Διάγραμμα 63: V_{fuel} συναρτήσεϊ του $DWT_{scantling}$

Πίνακας 66: V_{fuel} συναρτήσεϊ του $DWT_{scantling}$

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 1: $f(x)=a*x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.836(0.5876, 1.0842)$
	$b=0.716(0.6903, 0.7412)$
Goodness of fit	
SSE	35762448.1754
R-square	0.9206
Adjusted R-square	0.9105
RMSE	348.1790
$V_{fuel}=0.836*(DWT_{scantling}^{0.716})$	
Παρατηρήσεις: Υπάρχει η δυνατότητα μιας πρώτης εκτίμησης της χωρητικότητας των δεξαμενών καυσίμου γνωρίζοντας το DWT, παρόλο που κάποια σημεία ξεφεύγουν ελάχιστα από την προσεγγιστική καμπύλη και τις καμπύλες πρόβλεψης.	

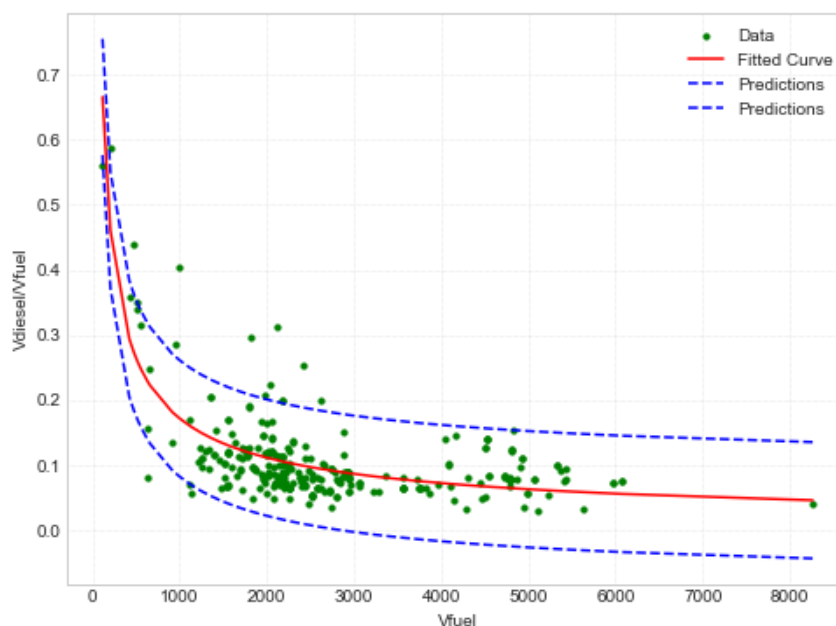
4.8.4 Χωρητικότητα δεξαμενών Diesel (Diesel Oil Capacity)



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

Πίνακας 67: V_{diesel} συναρτήσει του V_{fuel}

Αποτελέσματα προσέγγισης Linear Model	Poly 1: $f(x)=p1*x+p2$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$p1=0.065(0.0567,0.0732)$
	$p2=80.264(55.3190,105.2100)$
Goodness of fit	
SSE	2507853.4794
R-square	0.4535
Adjusted R-square	0.4434
RMSE	92.8335
$V_{diesel}=0.065*(V_{fuel})+80.264$	
<p>Παρατηρήσεις: Δεν υπάρχει και την καλύτερη δυνατή προσέγγιση ανάμεσα στα δύο μεγέθη αφού οι αποκλίσεις είναι μεγάλες και οι καμπύλες πρόβλεψης απέχουν αρκετά από την προσεγγιστική καμπύλη, όμως μπορεί να δώσει ένα εύρος τιμών στο στάδιο της προμελέτης. Αυτή η απόκλιση συμβαίνει για τον λόγο ότι το κάθε πλοίο έχει διαφορετική μηχανή.</p>	



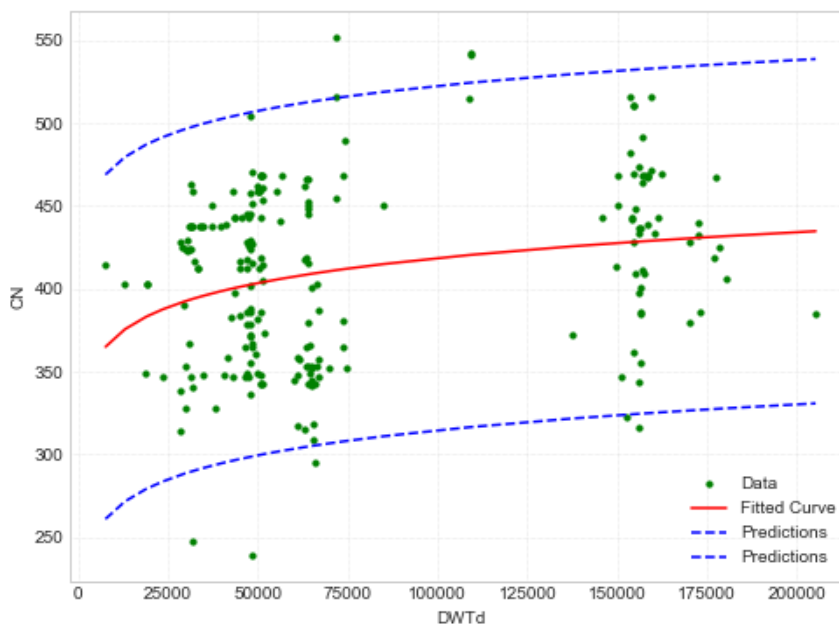
Διάγραμμα 65: V_{diesel}/V_{fuel} συναρτήσεϊ του V_{fuel}

Πίνακας 68: V_{diesel}/V_{fuel} συναρτήσεϊ του V_{fuel}

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 1: $f(x)=a*x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=12.511(8.8800,16.1419)$
	$b=0.621(-0.6615,-0.5800)$
Goodness of fit	
SSE	0.5985
R-square	0.5667
Adjusted R-square	0.566
RMSE	0.0453
$V_{diesel} / V_{fuel}=12.511*(V_{fuel}^{-0.621})$	

Παρατηρήσεις: Και σε αυτό το διάγραμμα δεν υπάρχει ικανοποιητική ποιότητα προσέγγισης, ενώ τα μόνα στοιχεία που θα μπορούσαμε να κρατήσουμε από αυτή την περίπτωση είναι ότι καθώς αυξάνεται η χωρητικότητα των δεξαμενών ο λόγος μειώνεται και ότι ο λόγος κυμαίνεται στο εύρος τιμών 0.04-0.59.

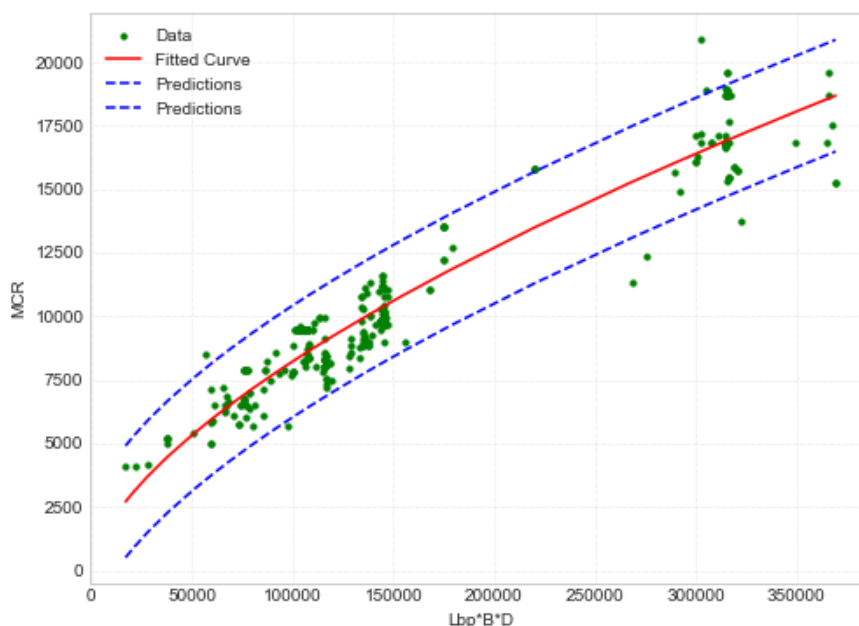
4.9 Εκτίμηση ισχύος πρόωσης



Διάγραμμα 66: CN συναρτήσεσι του DWT_{design}

Πίνακας 69: CN συναρτήσεσι του DWT_{design}

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 1: $f(x)=a*x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=227.478(156.1719,298.7833)$
	$b=0.053(0.0248,0.0811)$
Goodness of fit	
SSE	599554.2110
R-square	0.0592
Adjusted R-square	0.0592
RMSE	52.6850
$CN=227.478*(DWT_{design}^{0.053})$	
<p>Παρατηρήσεις: Εκφράζεται μια καμπύλη της συσχέτισης του συντελεστή του ναυαρχείου με το DWT. Δεν είχαμε στη διάθεση μας αρκετά δεδομένα και έτσι η προσέγγιση δεν είναι ιδιαίτερα καλή όμως από το διάγραμμα μπορούμε να λάβουμε τα όρια που μπορεί να μας δώσει για συγκεκριμένα DWT.</p>	

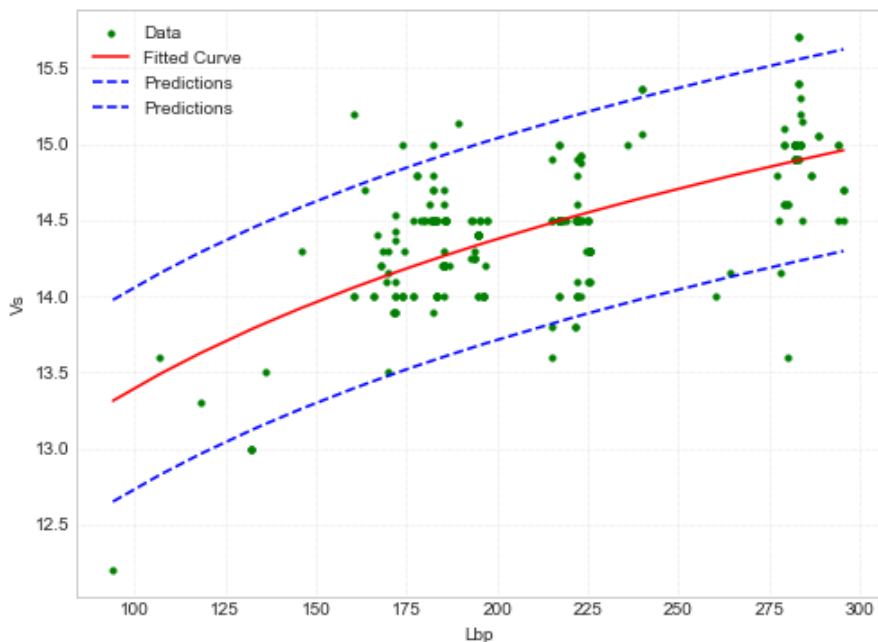


Διάγραμμα 67: MCR συναρτήσεσι του $LBP*B*D$

Πίνακας 70: MCR συναρτήσεσι του $LBP*B*D$

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 1: $f(x)=a*x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=6.000(4.3369,7.6629)$
	$b=0.627(0.6047,0.6501)$
Goodness of fit	
SSE	343055622.3764
R-square	0.9175
Adjusted R-square	0.8975
RMSE	1114.8790
$MCR=6.000*(LBP*B*D)^{0.627}$	

Παρατηρήσεις: Εκφράζεται μια καμπύλη ίδιας μορφής με την προηγούμενη, σαφώς καλύτερη όμως σε αυτή την περίπτωση αφού τα σημεία προσεγγίζουν καλύτερα την προσεγγιστική καμπύλη και οι καμπύλες πρόβλεψης είναι πιο κοντά στην προσεγγιστική. Τέλος, σημαντικό στο συγκεκριμένο διάγραμμα είναι την επίδραση του όγκου της γάστρας στο MCR.



Διάγραμμα 68: Vs συναρτήσεσι του LBP

Πίνακας 71: Vs συναρτήσεσι του LBP

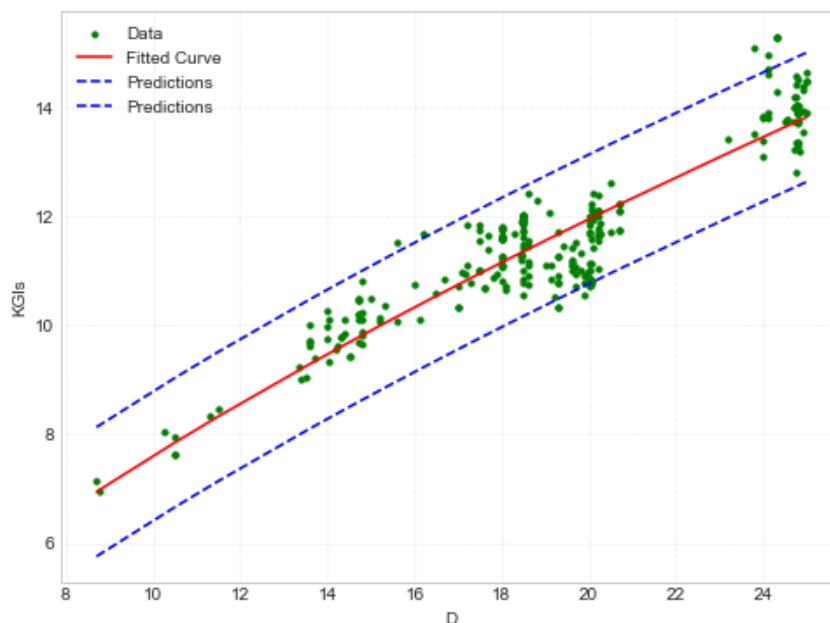
Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 1: $f(x)=a*x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=8.384(7.7224,9.0447)$
	$b=0.102(0.0871,0.1165)$
Goodness of fit	
SSE	28.2294
R-square	0.4303
Adjusted R-square	0.4289
RMSE	0.3360

$$Vs=6.000*LBP^{0.627}$$

Παρατηρήσεις: Διακρίνεται μια προσέγγιση όχι και τόσο αρκετά ικανοποιητική μεταξύ των δύο μεγεθών, αλλά σημαντικό είναι από το συγκεκριμένο διάγραμμα το εύρος των τιμών που μπορεί να λάβει για ταχύτητα πρόωσης ένα πλοίο ανάλογα με το μήκος του. Παρατηρείται ότι τα πλοία με ίδιο μήκος μπορεί να έχουν διαφορετική ταχύτητα πρόωσης και αυτό μπορεί να οφείλεται κυρίως στη διαφορετική επιλογή της κύριας μηχανής που θα έχει το κάθε πλοίο.

4.10 Κέντρα Βαρών (Centers of Gravity)

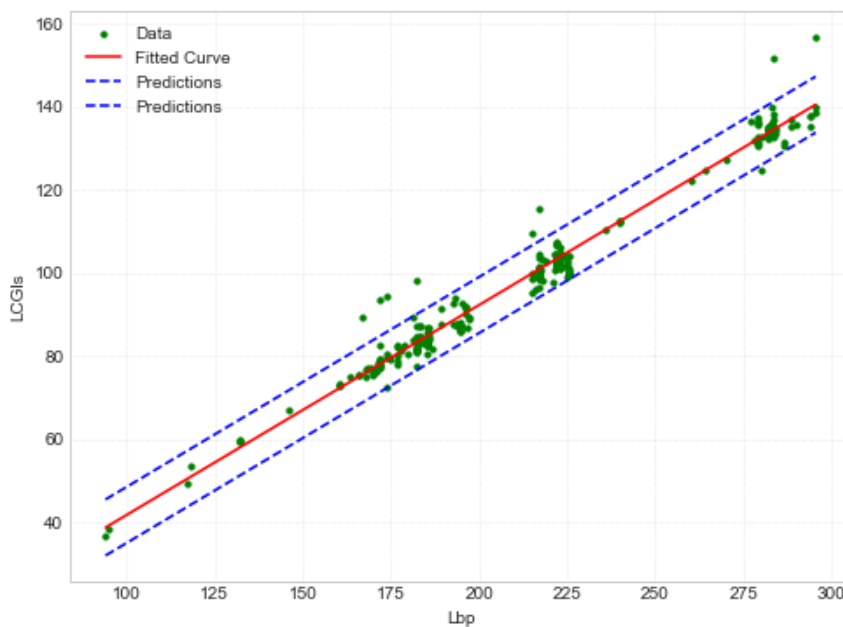
4.10.1 Κέντρο βάρους Lightship



Διάγραμμα 69: KGLs συναρτήσει του D

Πίνακας 72: KGLs συναρτήσει του D

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 1: $f(x)=a \cdot x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=1.691(1.5175,1.8651)$
	$b=0.653(0.6183,0.6870)$
Goodness of fit	
SSE	97.2232
R-square	0.8494
Adjusted R-square	0.8394
RMSE	0.6023
$KGLs=1.691 \cdot (D^{0.653})$	
Παρατηρήσεις: Υπάρχει μια αρκετά καλή εκτίμηση του KGLs συναρτήσει του D, και διακρίνονται κάποιες περιοχές όπου χωρίζεται το διάγραμμα, όπως για κοίλα στις περιοχές 13-15m, 16-21m και 24-26m, έχουμε αντίστοιχα κέντρο βάρους 9-11m, 10.5-12.5m και 13-14.5m.	

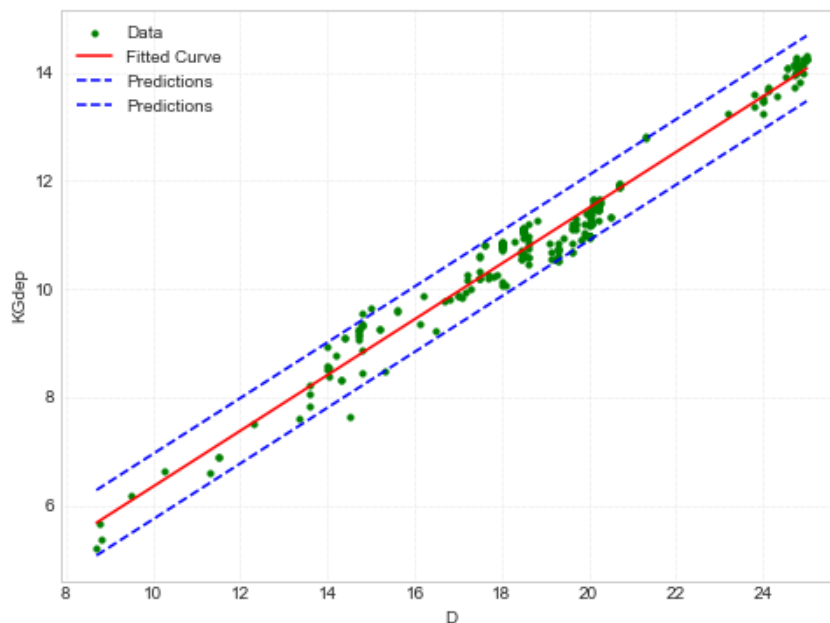


Διάγραμμα 70: LCGls συναρτήσεσι του LBP

Πίνακας 73: LCGls συναρτήσεσι του LBP

Αποτελέσματα προσέγγισης Linear Model	Poly 1: $f(x)=p1*x+p2$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$p1=0.505(0.4955,0.5151)$
	$p2=-8.666(-10.8088,-6.5225)$
Goodness of fit	
SSE	3140.3684
R-square	0.9748
Adjusted R-square	0.9648
RMSE	3.4231
$LCGls=0.505*(LBP)-8.666$	
Παρατηρήσεις: Η πιο πάνω γραφική δίνει τη γραμμική συσχέτιση των δύο μεγεθών με πολύ καλό συντελεστή συσχέτισης, όπου μπορεί στην προκαταρκτική φάση να υπολογιστεί το LCGls γνωρίζοντας το LBP αφού σχεδόν όλα τα σημεία πλησιάζουν αρκετά στην προσεγγιστική καμπύλη.	

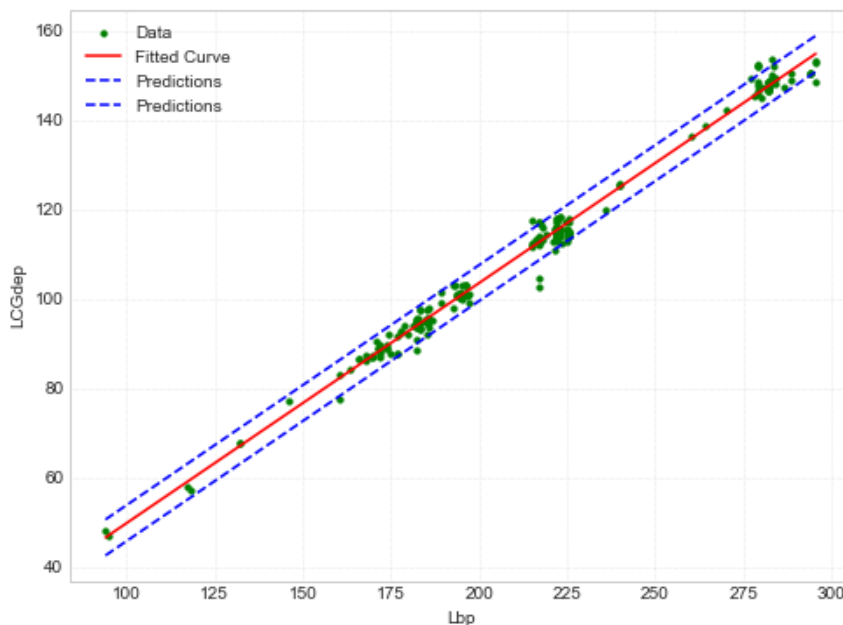
4.10.2 Κέντρο βάρους σε κατάσταση Full Load Departure



Διάγραμμα 71: $KG_{departure}$ συναρτήσεσι του D

Πίνακας 74: $KG_{departure}$ συναρτήσεσι του D

Αποτελέσματα προσέγγισης Linear Model	Poly 1: $f(x)=p1*x+p2$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$p1=0.515(0.5037,0.5253)$
	$p2=1.208(0.9968,1.4195)$
Goodness of fit	
SSE	23.6058
R-square	0.9723
Adjusted R-square	0.9722
RMSE	0.3061
$KG_{departure}=0.515*D+1.208$	
Παρατηρήσεις: Εκφράζεται μια πάρα πολύ καλή προσέγγιση των δύο μεγεθών με μικρές αποκλίσεις των σημείων από την προσεγγιστική καμπύλη και τις καμπύλες πρόβλεψης να μην απέχουν πολύ από την προσεγγιστική .	

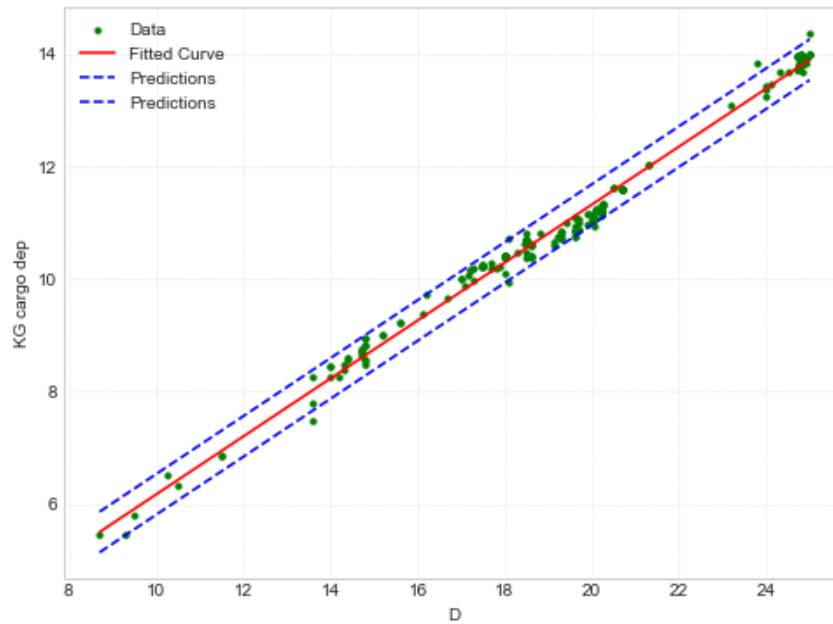


Διάγραμμα 72: $LCG_{departure}$ συναρτήσεσι του LBP

Πίνακας 75: $LCG_{departure}$ συναρτήσεσι του LBP

Αποτελέσματα προσέγγισης Linear Model	Poly 1: $f(x)=p1*x+p2$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$p1=0.538(0.5317,0.5440)$
	$p2=-4.028(-5.3797,-2.6770)$
Goodness of fit	
SSE	1045.9959
R-square	0.9916
Adjusted R-square	0.9915
RMSE	2.0414
$LCG_{departure}=0.538*LBP-4.028$	
Παρατηρήσεις: Όπως και στο προηγούμενο διάγραμμα έτσι και εδώ υπάρχει μια πολύ καλή συσχέτιση των μεγεθών με τα ίδια ακριβώς συμπεράσματα όπως και πριν.	

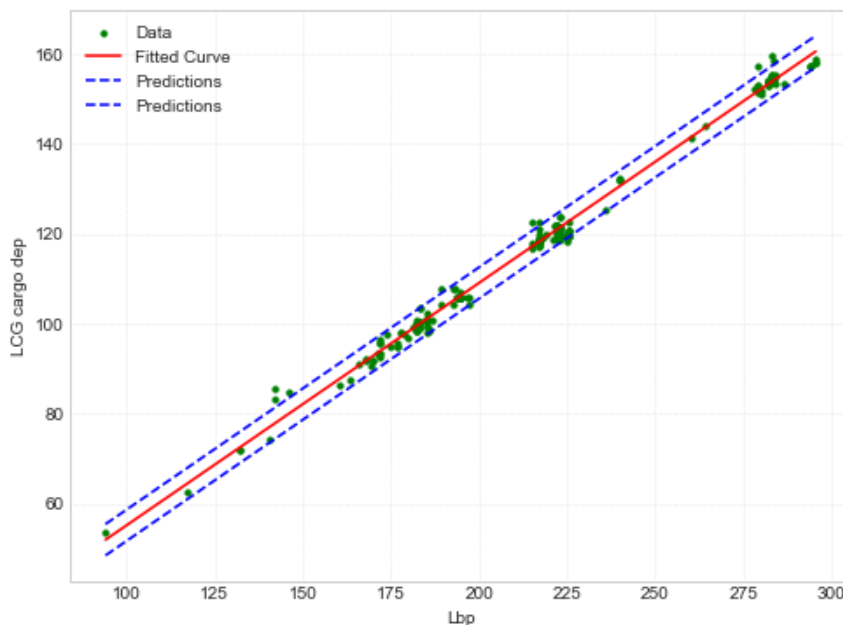
4.10.3 Κέντρο βάρους φορτίου σε κατάσταση Full Load Departure



Διάγραμμα 73: $KG_{CARGOdeparture}$ συναρτήσεσι του D

Πίνακας 76: $KG_{CARGOdeparture}$ συναρτήσεσι του D

Αποτελέσματα προσέγγισης Linear Model	Poly 1: $f(x)=p1*x+p2$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$p1=0.515(0.5080,0.5221)$
	$p2=1.024(0.8859,1.1619)$
Goodness of fit	
SSE	6.9923
R-square	0.9902
Adjusted R-square	0.9901
RMSE	0.1829
$KG_{departure}=0.515*D+1.024$	
Παρατηρήσεις: Διακρίνεται πολύ καλή συσχέτιση των δύο μεγεθών και εδώ.	



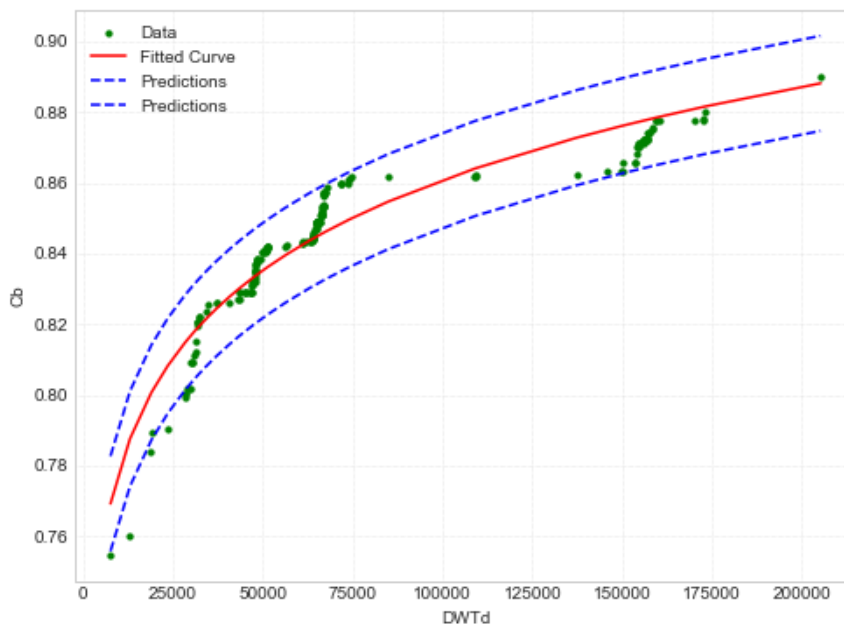
Διάγραμμα 74: $LCGCARGO_{departure}$ συναρτήσεσι του LBP

Πίνακας 77: $LCGCARGO_{departure}$ συναρτήσεσι του LBP

Αποτελέσματα προσέγγισης Linear Model	Poly 1: $f(x)=p1*x+p2$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$p1=0.5365(0.5331,0.5445)$
	$p2=1.363(0.1122,2.6131)$
Goodness of fit	
SSE	648.9893
R-square	0.9941
Adjusted R-square	0.994
RMSE	1.7622
$LCG_{departure}=0.539*LBP+1.363$	
Παρατηρήσεις: Διακρίνεται πολύ μικρές αποκλίσεις με κάποια σημεία εκτός καμπυλών πρόβλεψης, όμως έχουμε μια πολύ καλή συσχέτιση.	

4.11 Λοιποί Παράμετροι Σχεδίασης

4.11.1 Συντελεστής Γάστρας C_B (Block Coefficient)

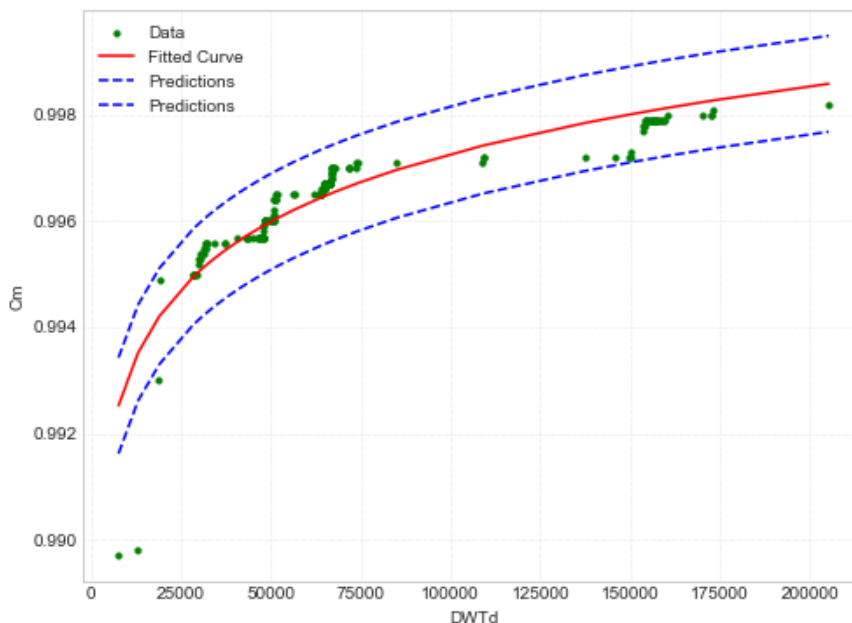


Διάγραμμα 75: C_B συναρτήσεσι του DWT_{design}

Πίνακας 78: C_B συναρτήσεσι του DWT_{design}

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 1: $f(x)=a*x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.522(0.5099,0.5339)$
	$b=0.043(0.0414,0.0455)$
Goodness of fit	
SSE	0.0086
R-square	0.9045
Adjusted R-square	0.9039
RMSE	0.0068
$C_B=0.522*(DWT_{design}^{0.043})$	
<p>Παρατηρήσεις: Στο πιο πάνω διάγραμμα δεν έχουμε καλή συσχέτιση του συντελεστή γάστρας με το DWT και αυτό συμβαίνει γιατί ο C_B είναι ένα μέγεθος που μπορεί να μεταβληθεί κατά τη σχεδίαση χωρίς να επηρεαστεί ιδιαίτερα η τιμή του DWT. Τέλος, μπορούμε να κρατήσουμε από το διάγραμμα ότι για πλοία μικρής χωρητικότητας η τιμή του C_B είναι σχετικά μειωμένη με αυτή στα πλοία μεγαλύτερης χωρητικότητας.</p>	

4.11.2 Συντελεστής Μέσης Τομής C_M (Midship Coefficient)

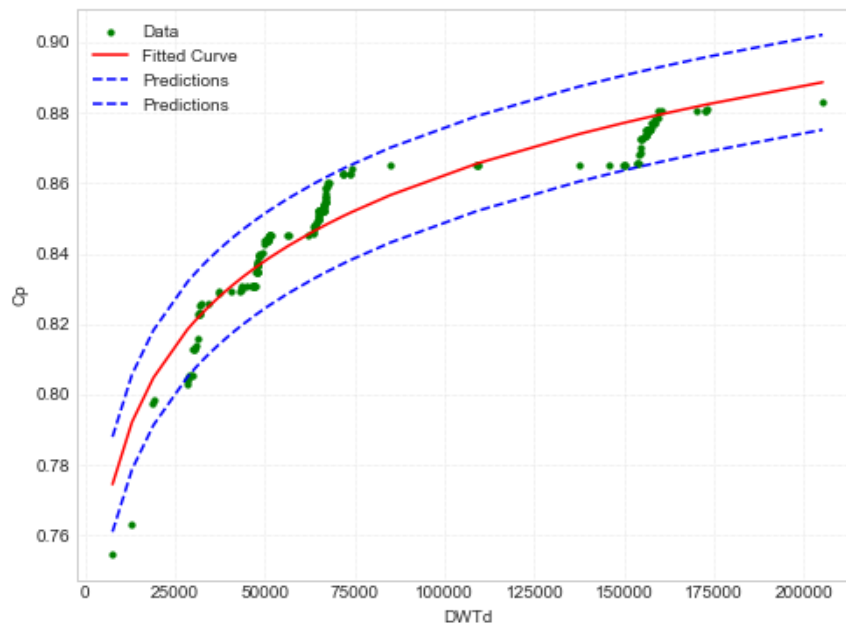


Διάγραμμα 76: C_M συναρτήσεως του DWT_{design}

Πίνακας 79: C_M συναρτήσεως του DWT_{design}

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 1: $f(x)=a \cdot x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.976(0.9750,0.9776)$
	$b=0.002(0.0017,0.0020)$
Goodness of fit	
SSE	0
R-square	0.8449
Adjusted R-square	0.8449
RMSE	0.0005
$C_M=0.976 \cdot (DWT_{design})^{0.002}$	
<p>Παρατηρήσεις: Στο πιο πάνω διάγραμμα έχουμε καλή συσχέτιση του συντελεστή μέσης τομής με το DWT παρόλο που κάποια σημεία απέχουν σημαντικά από την καμπύλη προσέγγισης, ενώ λογικό είναι και αυτό που φαίνεται στο διάγραμμα καθώς αυξάνεται η τιμή του C_M αυξάνεται και η τιμή του DWT.</p>	

4.11.3 Πρισματικός Συντελεστής C_P (Prismatic Coefficient)

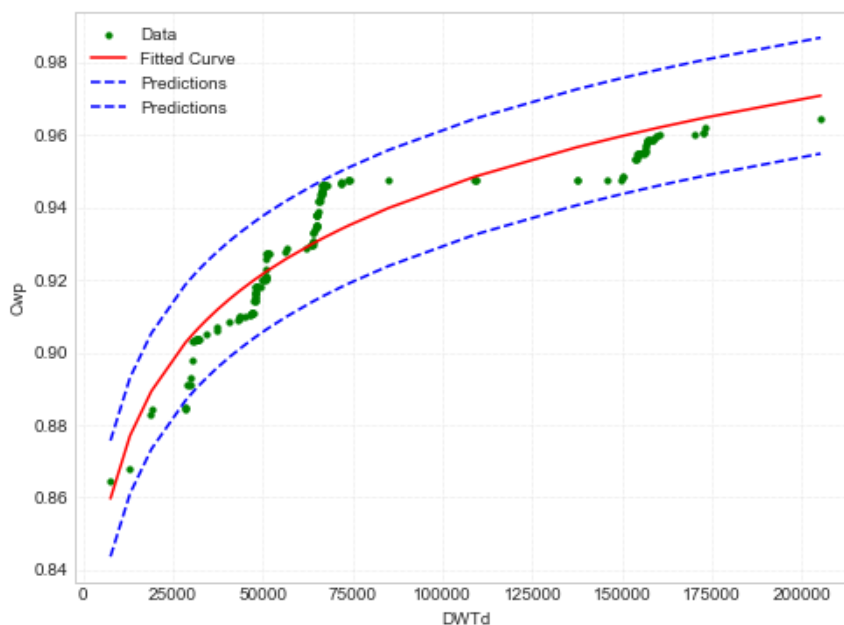


Διάγραμμα 77: C_P συναρτήσεσι του DWT_{design}

Πίνακας 80: C_P συναρτήσεσι του DWT_{design}

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 1: $f(x)=a*x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.534(0.5219,0.5468)$
	$b=0.042(0.0395,0.0437)$
Goodness of fit	
SSE	0.0079
R-square	0.9027
Adjusted R-square	0.9026
RMSE	0.0068
$C_P=0.534*(DWT_{design}^{0.042})$	
<p>Παρατηρήσεις: Στο πιο πάνω διάγραμμα έχουμε σχετικά καλή συσχέτιση του πρισματικού συντελεστή με το DWT, και μπορούμε όμως να κρατήσουμε από το διάγραμμα ότι για πλοία μικρής χωρητικότητας η τιμή του C_P είναι σχετικά μειωμένη με αυτή στα πλοία μεγαλύτερης χωρητικότητας.</p>	

4.11.4 Συντελεστής Ισάλου Επιφάνειας C_{WP} (Waterplane Coefficient)

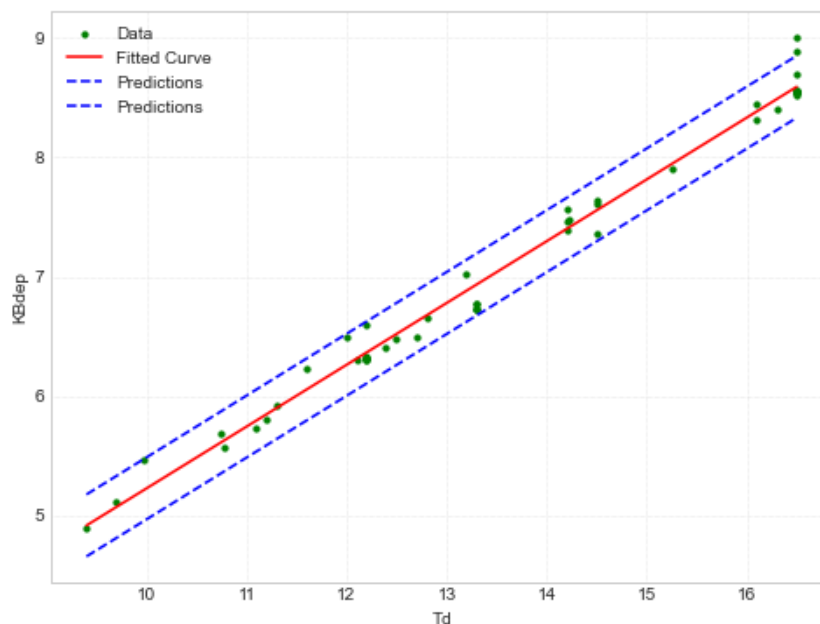


Διάγραμμα 78: C_{WP} συναρτήσεως του DWT_{design}

Πίνακας 81: C_{WP} συναρτήσεως του DWT_{design}

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 1: $f(x)=a*x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.619(0.6036,0.6349)$
	$b=0.037(0.0345,0.0390)$
Goodness of fit	
SSE	0.0111
R-square	0.8598
Adjusted R-square	0.8598
RMSE	0.0081
$C_{WP}=0.619*(DWT_{design}^{0.037})$	
Παρατηρήσεις: Στο πιο πάνω διάγραμμα έχουμε σχετικά καλή συσχέτιση του συντελεστή ισάλου επιφάνειας με το DWT, και μπορούμε όμως να κρατήσουμε από το διάγραμμα ότι καθώς αυξάνει η τιμή του C_{WP} αυξάνεται και η τιμή του DWT.	

4.11.5 Βασικά Υδροστατικά Στοιχεία



Διάγραμμα 79: $KB_{departure}$ συναρτήσεϊ του T_{design}

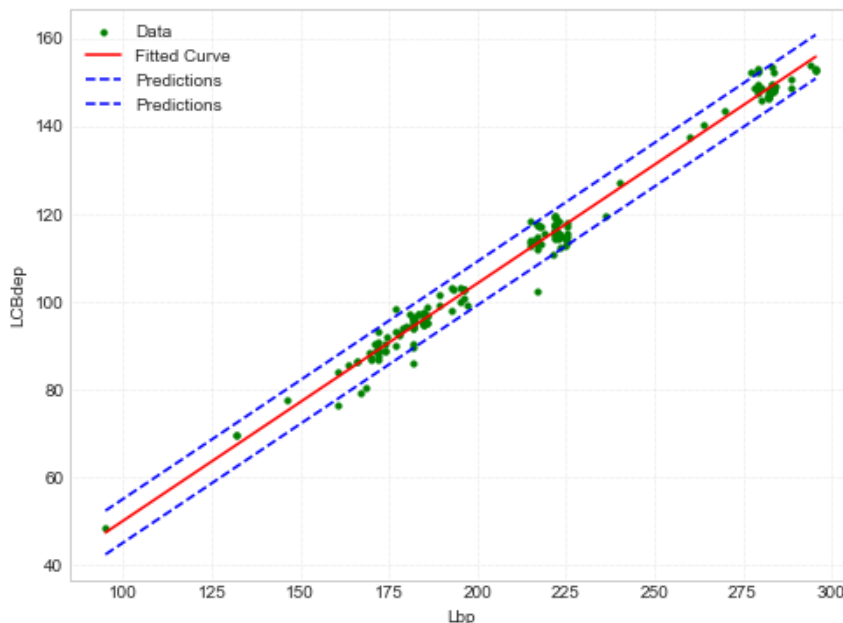
Πίνακας 82: $KB_{departure}$ συναρτήσεϊ του T_{design}

Αποτελέσματα προσέγγισης Linear Model	Poly 1: $f(x)=p1*x+p2$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$p1=0.518(0.5004,0.5349)$
	$p2=0.050(-0.1890,0.2885)$
Goodness of fit	
SSE	0.8437
R-square	0.9867
Adjusted R-square	0.9866
RMSE	0.1286

$$KB_{departure}=0.518*T_{design}+0.050$$

Παρατηρήσεις: Στο πιο πάνω διάγραμμα παρατηρείται κάποιου είδους συσχέτισης των δύο μεγεθών, όπου το κέντρο άντωσης KB αντιστοιχεί σε κατάσταση Full Load Departure . Αν και η διασπορά των σημείων δεν είναι ιδιαίτερα καλή, μέσα από το διάγραμμα μπορούμε να κάνουμε έναν προκαταρκτικό υπολογισμό του κέντρου άντωσης εάν γνωρίζουμε το βύθισμα σχεδίασης.

4.11.5.1 Διαμήκες Κέντρο Άντωσης LCB (Longitudinal Center of Buoyancy)

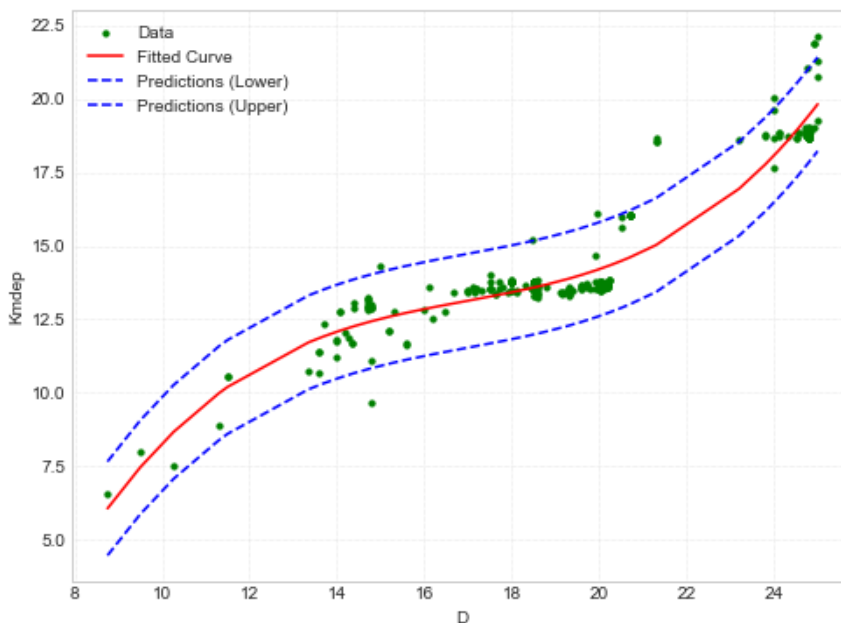


Διάγραμμα 80: $LCB_{departure}$ συναρτήσεσι του LBP

Πίνακας 83: $LCB_{departure}$ συναρτήσεσι του LBP

Αποτελέσματα προσέγγισης Linear Model	Poly 1: $f(x)=p1*x+p2$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$p1=0.5441(0.5320,0.5499)$
	$p2=-3.945(-5.9086,-1.9812)$
Goodness of fit	
SSE	1163.9995
R-square	0.9875
Adjusted R-square	0.9874
RMSE	2.5220
$LCB_{departure}=0.5441*LBP-3.945$	
Παρατηρήσεις: Στο πιο πάνω διάγραμμα παρατηρείται μια πάρα πολύ καλή συσχέτιση των μεγεθών με ελάχιστες αποκλίσεις, όπου αποτελεί έναν πολύ χρήσιμο τρόπο στο στάδιο της προμελέτης την εκτίμηση του LCB.	

4.11.5.2 Μετάκεντρο KM

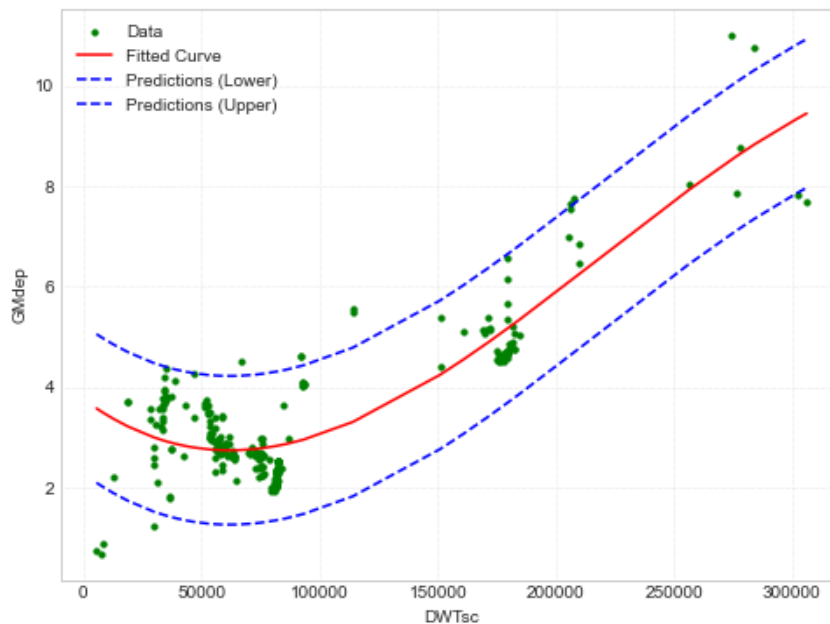


Διάγραμμα 81: $KM_{departure}$ συναρτήσεσι του D

Πίνακας 84: $KM_{departure}$ συναρτήσεσι του D

Αποτελέσματα προσέγγισης Linear Model	Poly 1: $f(x)=p1*x^3+p2*x^2+p3*x+p4$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$p1=0.009(0.0071,0.0101) /$ $p2=-0.439(-0.5228,-0.3550)$
	$p3=7.723(6.2307,9.2146) /$ $p4=-33.676(-42.2624,-25.0903)$
Goodness of fit	
SSE	164.7000
R-square	0.9075
Adjusted R-square	0.9075
RMSE	0.8021
$KM_{departure}=0.009*(D^3)-0.439(D^2)+7.723*D-33.676$	
<p>Παρατηρήσεις: Υπάρχει μια συσχέτιση του μετακεντρικού ύψους σε κατάσταση Full Load Departure με το κοίλο D, όπου σε κάποια σημεία όμως δεν φαίνεται και τόσο καλή διασπορά. Από το πιο πάνω διάγραμμα διακρίνεται ότι πλοία με κοίλο μεταξύ 16-21m έχουν μετακεντρικό ύψος KM μεταξύ 13-14m.</p>	

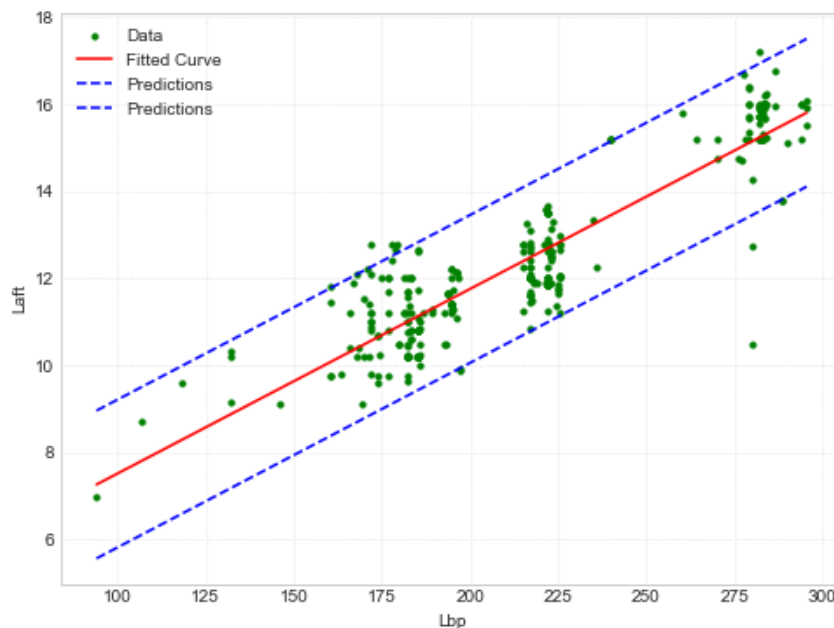
4.11.5.3 Μετακεντρικό ύψος GM (Metacentric Height)



Διάγραμμα 82: $GM_{departure}$ συναρτήσεως του $DWT_{scantling}$

Πίνακας 85: $GM_{departure}$ συναρτήσεως του $DWT_{scantling}$

Αποτελέσματα προσέγγισης Linear Model	Poly 1: $f(x)=p1 \cdot x^3+p2 \cdot x^2+p3 \cdot x+p4$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$p1=1.71 \cdot (10^{-15})(-4.71 \cdot (10^{-15}), 3.47 \cdot (10^{-15}))/$ $p2=-4.22 \cdot (10^{-10})(-9.48 \cdot (10^{-10}), 9.29 \cdot (10^{-11}))$ $p3=5.29 \cdot (10^{-5})(-2.66 \cdot (10^{-6}), 8.51 \cdot (10^{-5}))/$ $p4=3.764(3.2509, 4.2762)$
Goodness of fit	
SSE	141.6482
R-square	0.7569
Adjusted R-square	0.7369
RMSE	0.7439
$GM_{departure}=1.71 \cdot (10^{-15}) \cdot (DWT_{scantling}^3) - 4.22 \cdot (10^{-10}) \cdot (DWT_{scantling}^2) + \dots$ $\dots + 5.29 \cdot (10^{-5}) \cdot DWT_{scantling} + 3.764$	
<p>Παρατηρήσεις: Στο πιο πάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι και ιδιαίτερα καλή συσχέτιση των δύο μεγεθών, παρουσιάζοντας μάλιστα και κάποιες αποκλίσεις . Επομένως, το διάγραμμα παρουσιάζεται ως αναφορά ώστε ο μελετητής να γνωρίζει το εύρος της διακύμανσης του GM ανάλογα με το μέγεθος του πλοίου και μόνο, αφού το αποτέλεσμα δεν κρίνεται ιδιαίτερα αξιόπιστο.</p>	

4.11.6 Μήκος Πρυμναίου τμήματος (L_{aft})

Διάγραμμα 83: L_{aft} συναρτήσεϊ του LBP

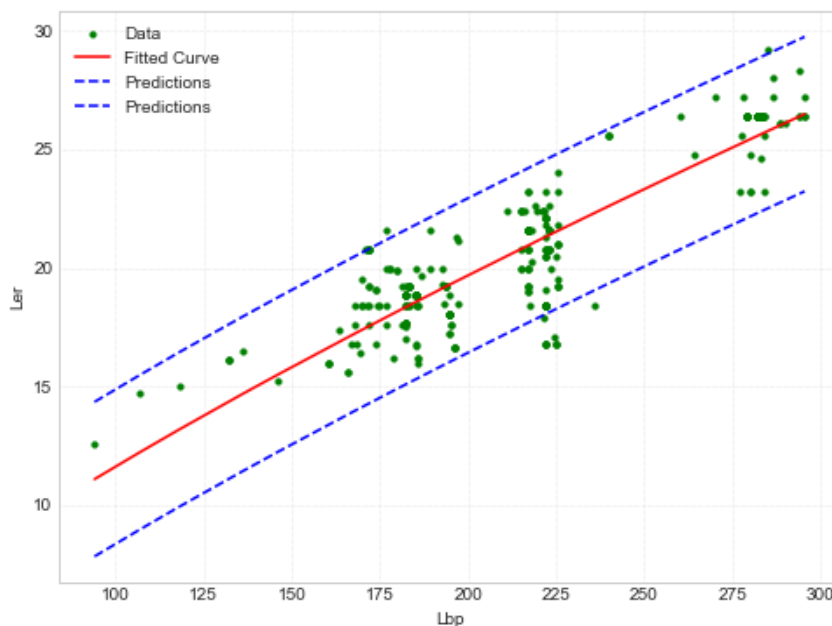
Πίνακας 86: L_{aft} συναρτήσεϊ του LBP

Αποτελέσματα προσέγγισης Linear Model	Poly1: $f(x)=p1*x+p2$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$p1=0.042(0.0400,0.0448)$
	$p2=3281(2.7538,3.8089)$
Goodness of fit	
SSE	215.2383
R-square	0.8064
Adjusted R-square	0.8063
RMSE	0.8615

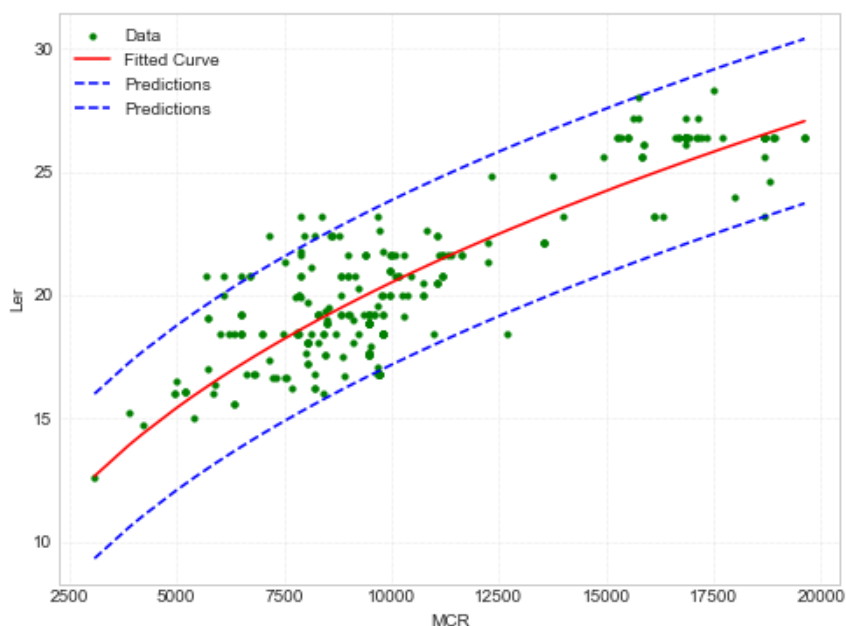
$$L_{aft}=0.042*(LBP)+3.281$$

Παρατηρήσεις: Στο πιο πάνω διάγραμμα παρατηρούνται κάποιες αποκλίσεις που οφείλονται τόσο στο διαφορετικό frame spacing που έχει το κάθε πλοίο, όσο και στο ότι σε κάποια πλοία δεν το δινόταν και μετρήθηκαν μέσω της κλίμακας του σχεδίου, παρόλα αυτά όμως μπορεί να διακριθεί το εύρος που μπορεί να υπάρξει σε L_{aft} .

4.11.7 Μήκος Μηχανοστασίου (LER)

**Διάγραμμα 84:** LER συναρτήσει του LBP**Πίνακας 87:** LER συναρτήσει του LBP

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 2: $f(x)=a*x^b+c$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.349(0-2579,0.4410)$
	$b=0.761(0.7125,0.8093) /$ $c=0.026(0.0134-0.0395)$
Goodness of fit	
SSE	794.5624
R-square	0.7657
Adjusted R-square	0.7489
RMSE	1.6553
$LER=0.349*(LBP^0.761)+0.026$	
Παρατηρήσεις: Όπως και στο προηγούμενο διάγραμμα έτσι και σε αυτό υπάρχουν οι αποκλίσεις για τους ίδιους λόγους που αναφέραμε και πριν.	

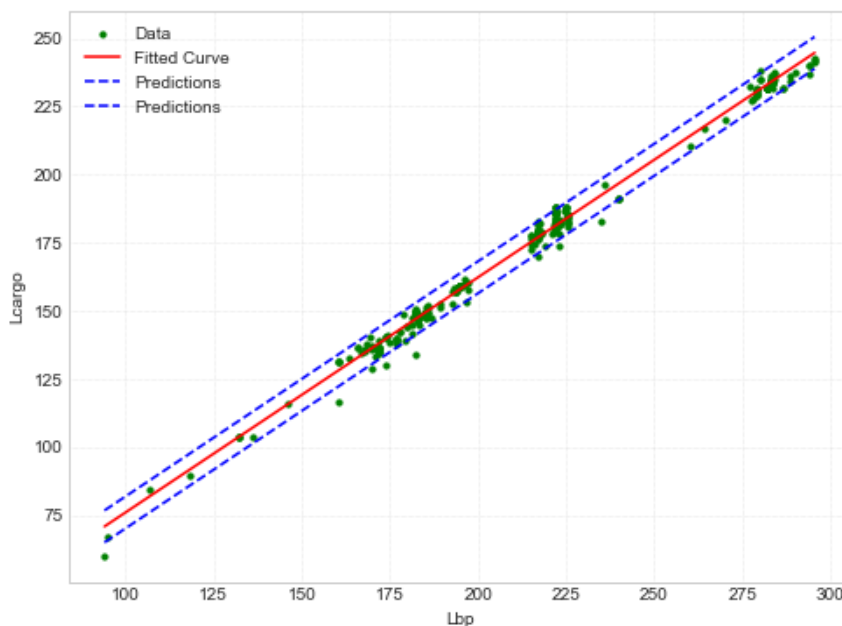


Διάγραμμα 85: LER συναρτήσεϊ του MCR

Πίνακας 88: LER συναρτήσεϊ του MCR

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 1: $f(x)=a*x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.465(0.3482,0.5824)$
	$b=0.411(0.3840,0.4381)$
Goodness of fit	
SSE	829.3788
R-square	0.7502
Adjusted R-square	0.7501
RMSE	1.6941
$LER=0.465*(MCR^{0.411})$	
<p>Παρατηρήσεις: Στο συγκεκριμένο διάγραμμα παρατηρείται η διασπορά των σημείων λόγω των απαιτήσεων της εκάστοτε μηχανολογικής εγκατάστασης σε κάθε πλοίο και για τους λόγους που προαναφέρονται στα άλλα διαγράμματα. Αξιοσημείωτο στο διάγραμμα είναι ότι καθώς αυξάνεται η MCR αυξάνεται το μήκος του μηχανοστασίου.</p>	

4.11.8 Μήκος Χώρου Φορτίου (LCARGO)

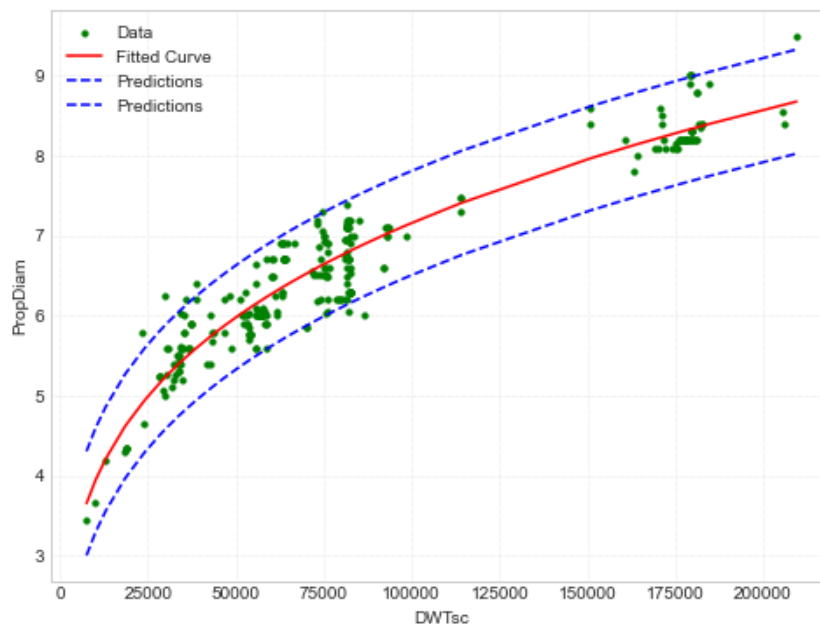


Διάγραμμα 86: LCARGO συναρτήσεσι του LBP

Πίνακας 89: LCARGO συναρτήσεσι του LBP

Αποτελέσματα προσέγγισης Linear Model	Poly 1: $f(x)=a*x+b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.862(0.8542,0.8706)$
	$b=-10.104(-11.8880,-8.3204)$
Goodness of fit	
SSE	2571.7663
R-square	0.9933
Adjusted R-square	0.9923
RMSE	2.9779
$LCARGO=1.8285*(10^{-6})*(LBP^{9.477})+15.95$	
Παρατηρήσεις: Στο συγκεκριμένο διάγραμμα υπάρχει μια καλύτερη προσέγγιση του μήκους φορτίου LCARGO με το LBP, και αυτό οφείλεται στο μήκος του φορτίου που αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό του LBP.	

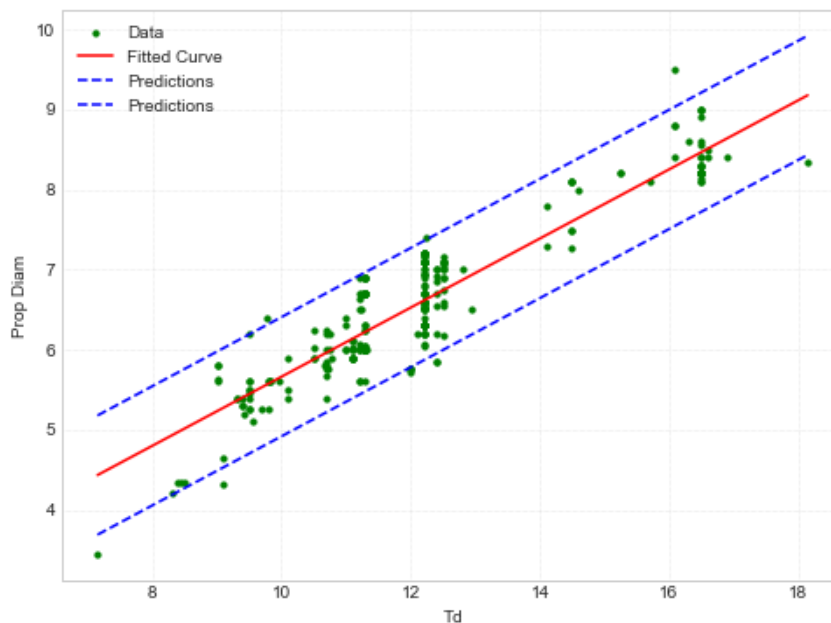
4.11.9 Διάμετρος Έλικας



Διάγραμμα 87: Propeller Diameter συναρτήσευ του $DWT_{scantling}$

Πίνακας 90: Propeller Diameter συναρτήσευ του $DWT_{scantling}$

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 1: $f(x)=a*x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.359(0.3175,0.4001)$
	$b=0.260(0.2499,0.2702)$
Goodness of fit	
SSE	30.5659
R-square	0.9026
Adjusted R-square	0.9025
RMSE	0.3304
$D_{PROP}=0.359*(DWT_{scantling}^{0.260})$	
<p>Παρατηρήσεις: Η διάμετρος της έλικας προσεγγίζεται εξαιρετικά καλά με το $DWT_{scantling}$ και μάλιστα να διακρίνονται κάποιες περιοχές με εύρος των DWT έως 60000t , 70000-90000t και άνω των 160000t, η έλικα να λαμβάνει τιμές από 3-6.5m, 6-7.5m και μεγαλύτερη των 8m, αντίστοιχα.</p>	



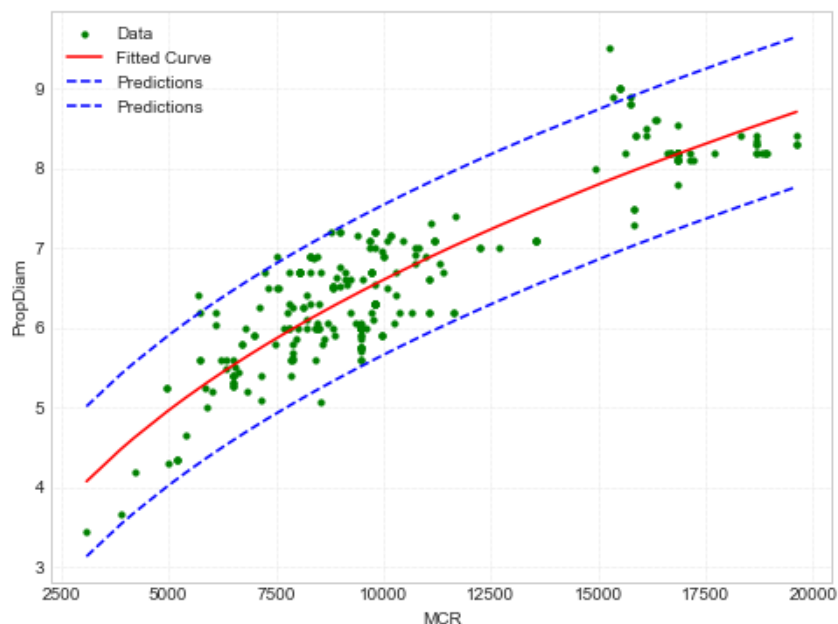
Διάγραμμα 88: Propeller Diameter συναρτήσει του T_{desing}

Πίνακας 91: Propeller Diameter συναρτήσει του T_{desing}

Αποτελέσματα προσέγγισης Linear Model	Poly 1: $f(x)=p1*x+p2$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$p1=0.431(0.4108,0.4519)$
	$p2=1.349(1.0912,1.6059)$
Goodness of fit	
SSE	37.3773
R-square	0.8678
Adjusted R-square	0.8677
RMSE	0.3777

$$D_{PROP}=0.431*T_{desing}+1.348$$

Παρατηρήσεις: Από το πιο πάνω διάγραμμα είναι γνωστό ότι η διάμετρος της έλικας εξαρτάται από το βύθισμα αφού απαιτείται πλήρως βύθισή της. Παρατηρούνται περιοχές με σταθερό βύθισμα η διάμετρος της έλικας μεταβάλλεται και αυτό οφείλεται σε διάφορους περιορισμούς, όπως η περατότητα της διαδρομής, των εγκαταστάσεων των λιμανιών και των διυλιστηρίων.



Διάγραμμα 89: Propeller Diameter συναρτήσεσι του MCR

Πίνακας 92: Propeller Diameter συναρτήσεσι του MCR

Αποτελέσματα προσέγγισης General Model	Power 2: $f(x)=a*x^b$
Coefficients (with 95% confidence bounds)	$a=0.150(0.1155,0.1839)$
	$b=0.411(0.3865,0.4356)$
Goodness of fit	
SSE	60.1147
R-square	0.8042
Adjusted R-square	0.8021
RMSE	0.4772
$D_{PROP}=0.150*(MCR^{0.411})$	
Παρατηρήσεις: Εκφράζεται μια ικανοποιητική συσχέτιση των δύο μεγεθών και καταλήγει στο συμπέρασμα ότι καθώς αυξάνει η MCR αυξάνεται και η διάμετρος της έλικας .	

5. Συμπεράσματα – Προτάσεις

Συμπεράσματα:

Η πτυχιακή εργασία αποτελεί μια συνέχεια άλλων αντίστοιχων διπλωματικών εργασιών, που αφορά τα πλοία μεταφοράς χυδών φορτίου για τη στατιστική ανάλυση των τεχνικών τους στοιχείων. Αρχικά, συλλέχθηκαν τα δεδομένα από αρκετά πλοία που είχε στη διάθεσή του το εργαστήριο μελέτης πλοίου της σχολής μας, και περάστηκαν σε μια βάση δεδομένων στο περιβάλλον MS Access και ακολούθως μεταφέρθηκαν στην MS Excel, όπου ήταν σαν μια βάση δεδομένων αντίστοιχα. Αφού ελέγχθηκαν τα δεδομένα, περάστηκαν στη γλώσσα προγραμματισμού Python για την στατιστική ανάλυση όλων των μεγεθών που περάστηκε στα πιο πάνω αρχεία για όλα μας τα πλοία, που συνολικά έφτασαν περί τα 300 πλοία, αφού εμπλουτίστηκαν με νέα δεδομένα.

Στο πρόγραμμα της Python, ξεκίνησε η στατιστική επεξεργασία μέσω της παλινδρομικής ανάλυσης με σκοπό την εύρεση των συσχετίσεων ανάμεσα στα κύρια χαρακτηριστικά του πλοίου, δίνοντας έτσι και τις εμπειρικές σχέσεις. Αυτή η διπλωματική και συγκεκριμένα οι εμπειρικοί τύποι που προέκυψαν είναι παρά πολύ χρήσιμοι όσο αφορά το προκαταρκτικό στάδιο της μελέτης και της σχεδίασης του πλοίου. Εν κατακλείδι, λόγω των περισσότερων δεδομένων που διατέθηκαν αυτή την φορά μπορεί να αναφερθεί ότι υπάρχει μια καλύτερη ανάλυση τους, όπου δίνουν πιο βελτιωμένα αποτελέσματα, και συγκεκριμένα στα διαγράμματα.

Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι εμπειρικοί τύποι και οι συσχετίσεις ανάμεσα στα κύρια χαρακτηριστικά ποικιλούν.

Αρχικά, για τα διαγράμματα που αφορούν τις κύριες διαστάσεις των πλοίων παρατηρήθηκαν πάρα πολύ καλές συσχετίσεις, με ορισμένα να έχουν μικρές αποκλίσεις λόγω των περιορισμών της περατότητας της διαδρομής, των εγκαταστάσεων των λιμανιών και των διυλιστηρίων. Για τα βάρη του πλοίου και συγκεκριμένα του βάρους κενού σκάφους (L.S.), της μεταφορικής ικανότητας (DWT) και του εκτοπίσματος (Δ), παρατηρήθηκαν σημαντικοί εμπειρικοί τύποι, με τις αποκλίσεις που υπάρχουν να οφείλονται στις διαφορετικές κατασκευαστικές ιδιότητες που μπορεί να έχουν τα πλοία, όπως τις υπερκατασκευές που επηρεάζουν το L.S., αφού σε μεγαλύτερες θα χρησιμοποιηθεί περισσότερος χάλυβας, παρόλο που θα έχουν κάποια ίδια κύρια χαρακτηριστικά. Τέλος, όσο αφορά τους λόγους των κύριων διαστάσεων, είναι πολύ σημαντικό να σημειωθεί και να διακριθεί από την εργασία τα αποτελέσματα, γιατί στην φάση της

προμελέτης ενός πλοίου από αυτούς τους τύπους μπορεί να γίνει η πρώτη εκτίμηση περί των κύριων διαστάσεων του πλοίου που θα κατασκευαστεί.

Στην συνέχεια, μελετήθηκαν οι χωρητικότητες των δεξαμενών, όπου για τις δεξαμενές φορτίου μελετήθηκαν για Grain αλλά και για Bale για τα ίδια διαγράμματα, με την μόνη παρατήρηση να αφορά ότι οι αποκλίσεις στην πρώτη περίπτωση είναι μικρότερες σε σχέση με την δεύτερη, αφού τα δεδομένα που υπήρχαν ήταν περισσότερα για Grain σε σχέση με Bale. Όσο αφορά την χωρητικότητα των δεξαμενών καυσίμου, προκαλεί το ενδιαφέρον η συσχέτιση της με το MCR, αφού είναι γνωστό κιόλας ότι η MCR καθορίζει την κατανάλωση που χρειάζεται το πλοίο και την απαίτηση του σε ποσότητα καυσίμου. Έτσι, γνωρίζοντας την MCR μπορούμε να γίνει η πρώτη εκτίμηση για τον απαιτούμενο όγκο των καυσίμων.

Ακολούθως, μελετήθηκαν τα επιμέρους μήκη και παρατηρήθηκε ότι υπήρχαν κάποιες αποκλίσεις, αναμενόμενες πάντως, και αυτό μπορεί να οφείλεται στο διαφορετικό μήκος του μηχανοστάσιου, δηλαδή για να χωράνε η κύρια μηχανή και τα βοηθητικά μηχανήματα. Όσο αφορά τα κέντρα βαρών σε καταστάσεις L.S. και FLD, τα αποτελέσματα ήταν πολύ καλά αφού εκτιμήθηκαν με μεγάλη ακρίβεια και έτσι υπάρχουν μικρές αποκλίσεις.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε με διαφορετικό τρόπο όσο αφορά την ανάλυση των δεδομένων και την δημιουργία των διαγραμμάτων σε σχέση με τις παλαιότερες εργασίες που έγιναν από συναδέλφους, αφού χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα προγραμματισμού Python σε σχέση με την γλώσσα Mat-Lab που είχαν χρησιμοποιήσει. Τέλος, μπορεί να αναφερθεί ότι τα διαγράμματα και οι εμπειρικοί τύποι είναι αρκετά καλοί και αξιόπιστοι σε μεγάλο βαθμό, και μπορούν να βοηθήσουν στο αρχικό στάδιο της προμελέτης και της σχεδίασης ενός πλοίου ξηρού φορτίου χύδην.

Πίνακας 94: Επισύναψη σημαντικών λόγων για την προμελέτη σχεδίασης πλοίου μεταφοράς ξηρού φορτίου χύδην

<u>Λόγοι</u>	<u>Εύρος Τιμών</u>	
	<u>Από</u>	<u>Έως</u>
C_B	0.82	0.86
C_M	0.993	0.998
C_{WP}	0.86	0.84
C_P	0.82	0.88
L_{BP}/B	4.95	7.53
L_{BP}/D	9.89	13.07
B/D	1.56	2.17
B/T	2.17	3.06
D/T	1.16	1.51
LCG_Δ/L_{BP}	0.50	0.54
L.S./Δ_{design}	0.11	0.24
DWT_{design}/Δ_{design}	0.76	0.88

Προτάσεις:

1. Παρόλο που έχει γίνει μια καλή ανάλυση και μελέτη των δεδομένων, θα μπορούσε να υπάρχουν καλύτερα και πιο αξιόπιστα αποτελέσματα και συμπεράσματα εάν εμπλουτιστούν τα δεδομένα με πλοία μικρότερου DWT των 20000t, αφού δεν υπήρχαν και τόσα πολλά πλοία μέχρι αυτό το DWT.
2. Αντίστοιχη μελέτη θα μπορούσε να γίνει και για διαφορετικών τύπων πλοίων όπως υγρού φορτίου, εμπορευματοκιβωτίων, κρουαζιερόπλοιων και άλλα.
3. Η στατιστική ανάλυση που έγινε με το πρόγραμμα της Python, μπορεί να γίνει και με άλλου είδους αντίστοιχων προγραμμάτων ή και άλλων λογισμικών, χωρίς όμως να αναμένεται διαφορά στα αποτελέσματα.
4. 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.
 - Την υποκατηγορία του πλοίου.
 - Τη χρονολογία ναυπήγησης.
5. Η εργασία αφορά τα γενικότερα χαρακτηριστικά του πλοίου, αλλά θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί και για πιο συγκεκριμένα μέρη του πλοίου, όπως στο μηχανοστάσιο και στο χώρο των δεξαμενών που μεταφέρεται το φορτίο.
6. Με τα νέα δεδομένα που εμπλουτίστηκαν οι βάσεις δεδομένων τα τελευταία χρόνια και τα πιο σύγχρονα πλοία που προστέθηκαν καλό θα ήταν να αποφευχθούν τα πιο παλιά πλοία με βάση τη χρονολογία ναυπήγησης τους.

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. Ευασταθίου Σάββας, «Μεθοδολογία προμελέτης πλοίων μεταφοράς ξηρού φορτίου», Διπλωματική Εργασία – Επιβλέπων Καθηγητής κ. Γ. Ζαραφωνίτης, Τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π., Εργαστήριο Μελέτης Πλοίου, Αθήνα 2021.
8. Article «Significant Ships of 2005».
9. 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.
10. Hans Otto Kristensen, «Cargo Transport by Sea and Road», Marine Technology, October 2002.
11. Article «IMO and safety of bulk carriers», «Focus on IMO», September 1999

Παράρτημα

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

Στον παρακάτω κώδικα παρουσιάζεται μια σειρά από λειτουργίες για την ανάλυση και προβολή των δεδομένων. Αρχικά, εισάγονται οι απαραίτητες βιβλιοθήκες, όπως η pandas για τη διαχείριση των δεδομένων, η numpy για την επεξεργασία αριθμητικών πράξεων, και η matplotlib για την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων. Ορίζεται επίσης μια συνάρτηση cubic_polynomial () που υπολογίζει την τιμή ενός κυβικού πολυώνυμου για δεδομένες παραμέτρους. Στη συνέχεια, ο κώδικας διαβάζει ένα αρχείο Excel που περιέχει τα δεδομένα μας και τα αποθηκεύει σε ξεχωριστούς πίνακες δεδομένων. Ακολούθως, γίνεται η επεξεργασία και η ανάλυση των δεδομένων, με την εφαρμογή ενός κυβικού πολυωνύμου για την προσαρμογή του στα δεδομένα και τον υπολογισμό των παραμέτρων προσαρμογής. Τέλος, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται γραφικά με τη βοήθεια της matplotlib και υπολογίζονται οι τιμές που αναφέραμε στο κεφάλαιο τρία της διπλωματικής εργασίας, όπως το R-τετραγωνικό, η προσαρμοσμένη τιμή του R-τετραγωνικού, και ο μέσος όρος τετραγωνικών σφαλμάτων. Αυτός ο κώδικας παρέχει ένα πλαίσιο για την ανάλυση και οπτικοποίηση δεδομένων, και μπορεί να προσαρμοστεί και να επεκταθεί ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε μελέτης. Επίσης, στον παρακάτω κώδικα αναφέρουμε με σχόλια τις εντολές που του ορίζουμε για να εκτελέσει.

Κώδικας Python:

```
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.optimize import curve_fit
from scipy.stats import t
import matplotlib as mpl
```

```
def cubic_polynomial(x, a, b, c, d):  
    return a*x**3 + b*x**2 + c*x + d  
  
# Specify the path to the Excel file with the corresponding data  
excel_file = r"/path/to/data_excel_file"  
  
# Read all sheets from the Excel file into a dictionary of DataFrames  
dfs = pd.read_excel(excel_file, sheet_name=None)  
i=0  
  
# Loop through each sheet and assign it to separate DataFrames  
for sheet_name, df in dfs.items():  
    i=i+1  
    k=str(i)  
    # Assign the DataFrame to a variable with a dynamic name  
    globals()['df' + k] = df  
  
    # Get the column names for x and y  
    xcolumn = globals()['df' + k].columns[0]  
    ycolumn = globals()['df' + k].columns[1]  
  
    # Extract the x and y data from the DataFrame  
    x=globals()['df' + k][xcolumn]  
    y=globals()['df' + k][ycolumn]
```

```
# Sort the data
sorted_indices = np.argsort(x)
x = x[sorted_indices]
y = y[sorted_indices]

# Perform the curve fitting
popt, pcov = curve_fit(cubic_polynomial, x, y)

# Retrieve the optimized parameters and covariance matrix
a_opt, b_opt, c_opt, d_opt = popt
cov_diag = np.diag(pcov)

# Calculate the standard errors
se_a = np.sqrt(cov_diag[0])
se_b = np.sqrt(cov_diag[1])
se_c = np.sqrt(cov_diag[2])
se_d = np.sqrt(cov_diag[3])

n = len(y) # Number of data points
p = len(popt) # Number of parameters
dof = max(0, n - p) # Degrees of freedom
# Set the desired confidence level (e.g., 95%)
confidence_level = 0.95

# Calculate the t-value for the desired confidence level
t_value = t.ppf((1 + confidence_level) / 2, dof)
```

```

# Calculate the confidence bounds
a_lower, a_upper = a_opt - t_value * se_a, a_opt + t_value * se_a
b_lower, b_upper = b_opt - t_value * se_b, b_opt + t_value * se_b
c_lower, c_upper = c_opt - t_value * se_c, c_opt + t_value * se_c
d_lower, d_upper = d_opt - t_value * se_d, d_opt + t_value * se_d

# Format the results for printing
a_str = f"{a_opt:.3f} ({a_lower:.4f}, {a_upper:.4f})"
b_str = f"{b_opt:.3f} ({b_lower:.4f}, {b_upper:.4f})"
c_str = f"{c_opt:.3f} ({c_lower:.4f}, {c_upper:.4f})"
d_str = f"{d_opt:.3f} ({d_lower:.4f}, {d_upper:.4f})"

# Generate the fitted curve
y_fit = cubic_polynomial(x, a_opt, b_opt, c_opt, d_opt)

# Calculate the predicted values and their confidence bounds
y_pred = cubic_polynomial(x, *popt)

# Calculate the standard deviation of the residuals
residuals = y - y_pred
s_residuals = np.sqrt(np.sum(residuals**2) / dof)

# Calculate the prediction interval
y_pred_upper = y_pred + t_value * s_residuals * np.sqrt(1 + 1/n)
y_pred_lower = y_pred - t_value * s_residuals * np.sqrt(1 + 1/n)

```

```
# Save the figure
fig, ax = plt.subplots(figsize=(8, 6))
plt.style.use('seaborn-whitegrid')

# Customize the grid line appearance
mpl.rcParams['axes.grid'] = True
mpl.rcParams['grid.linestyle'] = ':'
mpl.rcParams['grid.color'] = 'lightgray'
mpl.rcParams['grid.linewidth'] = 0.5

# Scatter plot of the data points
ax.scatter(x, y, label='Data', color='green', s=10)

# Plot the fitted curve
ax.plot(x, y_fit, label='Fitted Curve', color='red')

# Plot the predictions with lower bounds
ax.plot(x, y_pred_lower, label='Predictions (Lower)', color='blue',
linestyle='dashed')

# Plot the predictions with upper bounds
ax.plot(x, y_pred_upper, label='Predictions (Upper)', color='blue',
linestyle='dashed')

# Set x-axis label based on the xcolumn
ax.set_xlabel(xcolumn)

# Set y-axis label based on the ycolumn
ax.set_ylabel(ycolumn)
```

```
# Add legend to the plot
ax.legend()

# Save the figure with a corresponding name
fig.savefig('figure'+ '_' + xcolumn + '-' + ycolumn + '.png')

# Calculate the sum of squared errors (SSE)
sse = np.sum(residuals**2)

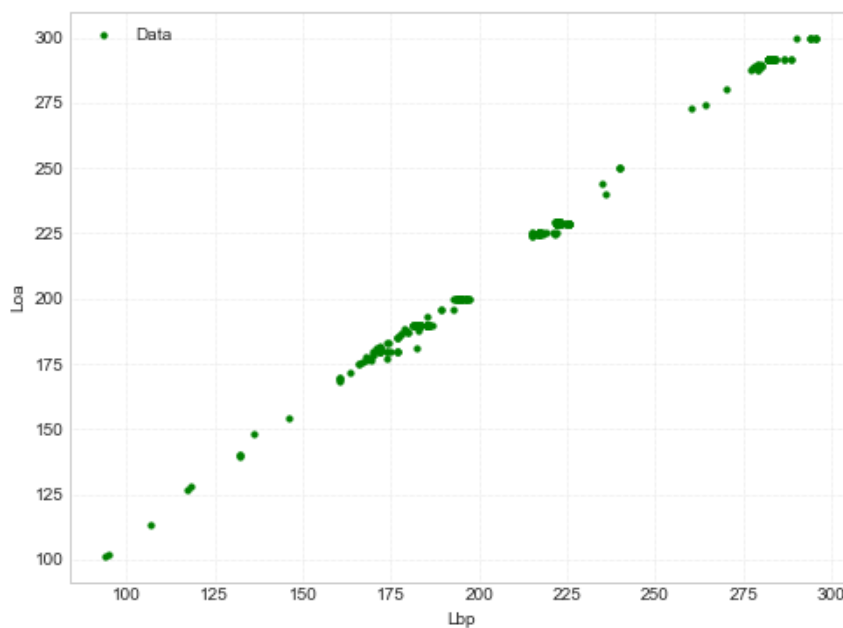
# Calculate the total sum of squares (SST)
sst = np.sum((y - np.mean(y))**2)

# Calculate R-square
r_squared = 1 - (sse / sst)

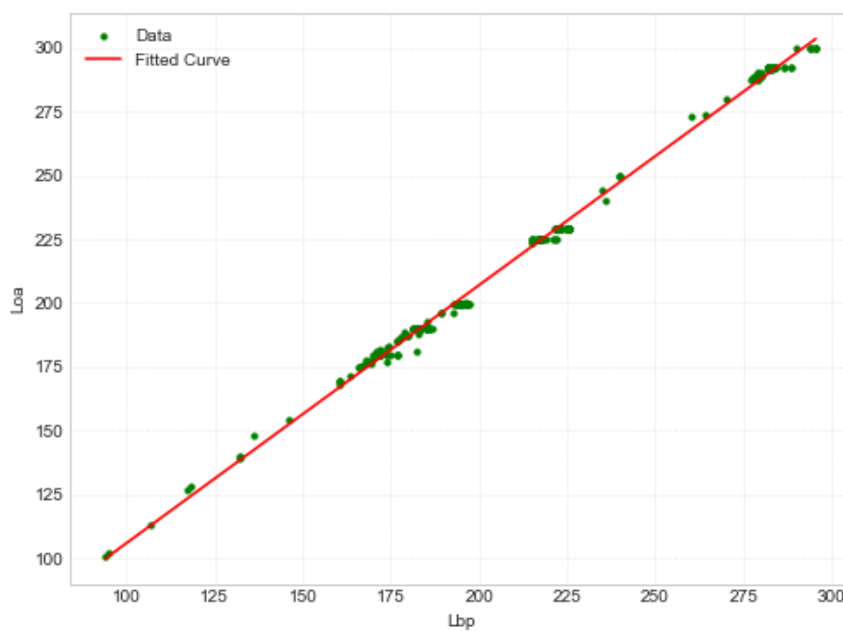
# Calculate adjusted R-square
adj_r_squared = 1 - (sse / (n - p)) * (n - 1) / (sst / (n - 1 - p))

# Calculate root mean square error (RMSE)
rmse = np.sqrt(sse / n)
```

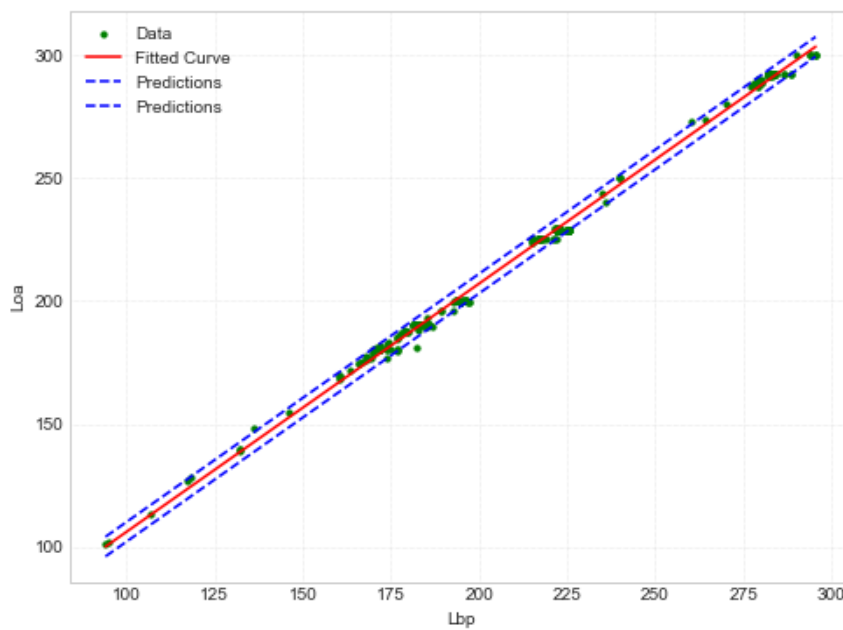
Παρακάτω παρουσιάζονται σε εικόνες η διαδικασία που ακολουθείται για την δημιουργία των διαγραμμάτων, η ανάγνωση και διασπορά των σημείων, η δημιουργία της βέλτιστης προσεγγιστικής καμπύλης και η δημιουργία προσεγγιστικών καμπύλων.



Εικόνα 1: Διασπορά σημείων



Εικόνα 2: Βέλτιστη προσεγγιστική καμπύλη



Εικόνα 3: Εισαγωγή καμπύλων πρόβλεψης