



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΔΙΠΛΩΜΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ:

“Συστήματα διαχείρισης ενέργειας και προστασίας περιβάλλοντος”

Αξιολόγηση Μοντέλων Κατανάλωσης Καυσίμου Πλοίων: Επιρροή Ταχύτητας και Χωρητικότητας

Κόμης Μανώλης

Επιβλέπων καθηγητής:
Ιωάννης Παραβάντης

Ιανουάριος 2005

Πρόλογος-Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους αυτούς που βοήθησαν στην ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Πρώτον από όλους τον Λέκτορα Ι. Παραβάντη για την επίβλεψη της εργασίας μου αλλά και για τις πολύτιμες συμβουλές που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια της εκπόνησής της. Ακόμη, τον Αναπληρωτή Καθηγητή Φ. Μπατζιά και τον Καθηγητή Ε. Σαμπράκο για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή.

Για τη συλλογή των δεδομένων θα ήθελα να ευχαριστήσω τις εταιρίες ΚΡΙΣΤΕΝ NAVIGATION και ANCORA INVESTMENT TRUST NAVIGATION INC. και συγκεκριμένα τους μηχανικούς Σ. Σκλήρη και Κ. Μορφινό όχι μόνο για τα άφθονα στοιχεία αλλά και για τις καθοριστικές επεξηγήσεις που μου έδωσαν. Ακόμη, τους μηχανικούς Κ. Γκέλο, Γ. Μακρή, Κ. Μπάκα και Π. Γιαννούλη για τις ενδιαφέρουσες συζητήσεις που είχαμε και τα συμπληρωματικά στοιχεία που μου πρόσφεραν.

Τέλος, όλους τους γνωστούς και φίλους που συντέλεσαν στην υλικοτεχνική υποστήριξη της εργασίας μου.

Περιεχόμενα

Πρόλογος-Ευχαριστίες	1
Γλωσσάριο.....	2
Κατάλογος Πινάκων.....	3
1. Εισαγωγή.....	7
1.1.Εισαγωγή.....	7
1.2.Κατανάλωση καυσίμου.....	7
1.3.Παράγοντες κατανάλωσης.....	7
2. Βιβλιογραφική επισκόπηση.....	11
2.1.Εισαγωγή.....	11
2.2.Μοντέλα ταχύτητας- κατανάλωσης	11
3. Μεθοδολογία.....	18
3.1.Εισαγωγή.....	18
3.2.Περιγραφή της μεθοδολογίας.....	18
4. Ανάλυση-Αποτελέσματα.....	23
4.1.Εισαγωγή.....	23
4.2.Ανάλυση με ανεξάρτητη μεταβλητή την ταχύτητα.....	23
4.2.1.Γενική ανάλυση.....	23
4.2.2.Ειδική ανάλυση.....	28
4.3.Σχολιασμός αποτελεσμάτων ανάλυσης με ανεξάρτητη μεταβλητή την ταχύτητα.....	107
4.3.1.Κριτήρια αξιολόγησης μοντέλων.....	107
4.3.2.Σύγκριση μοντέλων.....	107
4.4.Ανάλυση με παράμετρο την ταχύτητα και το deadweight.....	118
4.5.Σχολιασμός αποτελεσμάτων ανάλυσης με ανεξάρτητες μεταβλητές την ταχύτητα και το deadweight.....	136
4.5.1.Κριτήρια αξιολόγησης μοντέλων.....	136
4.5.2.Σύγκριση μοντέλων.....	137
5. Συμπεράσματα.....	139
5.1.Εισαγωγή.....	139
5.2.Συμπεράσματα μελέτης εναλλακτικών μοντέλων κατανάλωσης-ταχύτητας.....	139
5.3.Συμπεράσματα εφαρμογής κοινών μοντέλων κατανάλωσης-ταχύτητας.....	140
5.4.Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	140
Βιβλιογραφία.....	143

Γλωσσάριο

Ballast leg:	ταξίδι στο οποίο το πλοίο δεν μεταφέρει φορτίο
Block coefficient:	συντελεστής που δείχνει πόσο πλατύ είναι το σχήμα της γάστρας
Deadweight:	η χωρητικότητα του πλοίου συμπεριλαμβανομένης της ποσότητας καυσίμου και οποιουδήποτε άλλου βοηθητικού για την πρόωση του, μετρημένη σε μετρικούς τόνους
Loaded leg:	ταξίδι στο οποίο το πλοίο είναι γεμάτο φορτίο
MCR:	η μέγιστη ισχύς στην οποία μπορεί να δουλεύει η μηχανή στο μέγιστο αριθμό στροφών μηχανής χωρίς βλάβες
Slow steaming:	η τακτική, κατά την οποία το πλοίο κινείται οικονομικά, δηλαδή με ταχύτητα χαμηλότερη της ονομαστικής
Βήμα προπέλας:	η απόσταση που διανύει το πλοίο σε μια πλήρη στροφή της προπέλας
Γάστρα:	το τμήμα του πλοίου που έρχεται σε επαφή με το νερό
Εκτόπισμα:	το βάρος του νερού που εκτοπίζει ο βυθισμένος όγκος του πλοίου ίσο με το συνολικό βάρος του πλοίου
Έμφορτος ίσαλος:	που βρίσκεται στην ίδια γραμμή με την επιφάνεια της θάλασσας, ή η νοητή γραμμή που ορίζει η επιφάνεια της θάλασσας όταν το πλοίο είναι φορτωμένο
Ισχύς πέδης:	η πραγματική ισχύς ή ισχύς που δίνεται από τη μηχανή για την παραγωγή έργου
Ισχύς πρόωσης:	η απαιτούμενη ισχύς για την πρόωση του πλοίου, δηλαδή για την ανάπτυξη της επιθυμητής ταχύτητας
Ονομαστική ταχύτητα:	η ταχύτητα για την οποία έχει σχεδιαστεί το πλοίο
Πρόωση:	προώθηση

Κατάλογος Πινάκων

3.1 Πίνακας χαρακτηριστικών πλοίων	19
4.1. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του AKTI A-Ballast.....	29
4.2. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του AKTI A-Ballast.....	30
4.3. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του AKTI A-Ballast.....	30
4.4. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το AKTI A-Ballast	31
4.5. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του AKTI A-Loaded.....	33
4.6. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του AKTI A-Loaded.....	34
4.7. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το AKTI A-Loaded.....	34
4.8. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του HORIZON A-Ballast.....	35
4.9. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του HORIZON A-Ballast.....	36
4.10. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το HORIZON A-Ballast....	37
4.11. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του HORIZON A-Loaded.....	39
4.12. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του HORIZON A-Loaded.....	39
4.13. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το HORIZON A- Loaded.40	
4.14. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του ARTINA A- Ballast.....	41
4.15. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του ARTINA A- Ballast.....	42
4.16. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το ARTINA A-Ballast.....	43
4.17. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του ARTINA A- Loaded.....	45
4.18. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του ARTINA A- Loaded.....	46
4.19. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το ARTINA A- Loaded....	47
4.20. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του AFRAMAX 1-Ballast.....	49
4.21. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του AFRAMAX 1-Ballast.....	50
4.22. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του AFRAMAX 1-Ballast.....	50
4.23. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το AFRAMAX 1-Ballast...50	
4.24. Τιμές των παραμέτρων μοντέλου M2 στα δεδομένα του AFRAMAX 1-Loaded.....	51
4.25. Τιμές των παραμέτρων μοντέλου M3 στα δεδομένα του AFRAMAX 1-Loaded.....	53
4.26. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το AFRAMAX 1-Loaded..53	
4.27. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του AFRAMAX 2-Ballast.....	54
4.28. Τιμές των παραμέτρων μοντέλου M2 στα δεδομένα του AFRAMAX 2-Ballast.....	55
4.29. Τιμές των παραμέτρων μοντέλου M3 στα δεδομένα του AFRAMAX 2-Ballast.....	55
4.30. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το AFRAMAX 2-Ballast...56	

4.31.Τιμές των παραμέτρων μοντέλου M1 στα δεδομένα του AFRAMAX 2-Loaded.....	57
4.32.Τιμές των παραμέτρων μοντέλου M2 στα δεδομένα του AFRAMAX 2-Loaded.....	58
4.33.Τιμές των παραμέτρων μοντέλου M3 στα δεδομένα του AFRAMAX 2-Loaded.....	58
4.34.Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το AFRAMAX 2-Loaded..	59
4.35.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του AFRAMAX 4-Ballast.....	60
4.36.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του AFRAMAX 4-Ballast.....	61
4.37.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του AFRAMAX 4-Ballast.....	61
4.38.Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το AFRAMAX 4-Ballast...	62
4.39.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του AFRAMAX 4-Loaded.....	63
4.40.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του AFRAMAX 4-Loaded.....	64
4.41.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του AFRAMAX 4-Loaded.....	65
4.42.Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το AFRAMAX 4-Loaded..	65
4.43.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του AFRAMAX 5-Ballast.....	66
4.44.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του AFRAMAX 5-Ballast.....	67
4.45.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του AFRAMAX 5-Ballast.....	67
4.46.Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το AFRAMAX 5-Ballast..	68
4.47.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του AFRAMAX 5-Loaded.....	69
4.48.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του AFRAMAX 5-Loaded.....	70
4.49.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του AFRAMAX 5-Loaded.....	70
4.50.Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το AFRAMAX 5-Loaded.	71
4.51.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του SWEZMAX 1-Ballast.....	72
4.52.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του SWEZMAX 1-Ballast.....	73
4.53.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του SWEZMAX 1-Ballast.....	73
4.54.Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το SWEZMAX 1-Ballast..	74
4.55.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του SWEZMAX 1-Loaded.....	75
4.56.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του SWEZMAX 1-Loaded.....	75
4.57.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του SWEZMAX 1-Loaded.....	76
4.58.Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το SWEZMAX 1-Loaded..	77
4.59.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του SWEZMAX 2-Ballast.....	78
4.60.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του SWEZMAX 2-Ballast.....	79
4.61.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του SWEZMAX 2-Ballast.....	79
4.62.Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το SWEZMAX 2-Ballast..	80
4.63.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του SWEZMAX 2-Loaded.....	81
4.64.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του SWEZMAX 2-Loaded.....	81
4.65.Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το SWEZMAX 2-Loaded.	82

4.66.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του VLCC 2-Ballast.....	83
4.67.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του VLCC 2-Ballast.....	83
4.68.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του VLCC 2-Ballast.....	84
4.69.Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το VLCC 2-Ballast.....	85
4.70.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του VLCC 2-Loaded.....	86
4.71.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του VLCC 2-Loaded.....	87
4.72.Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το VLCC 2-Loaded.....	88
4.73.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του VLCC 3-Ballast.....	89
4.74.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του VLCC 3-Ballast.....	90
4.75.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του VLCC 3-Ballast.....	90
4.76.Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το VLCC 3-Ballast.....	91
4.77.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του VLCC 3-Loaded.....	92
4.78.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του VLCC 3-Loaded.....	93
4.79.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του VLCC 3-Loaded.....	93
4.80.Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το VLCC 3-Loaded.....	94
4.81.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του VLCC 7-Ballast.....	95
4.82.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του VLCC 7-Ballast.....	95
4.83.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του VLCC 7-Ballast.....	96
4.84.Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το VLCC 7-Ballast.....	97
4.85.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του VLCC 7-Loaded.....	98
4.86.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του VLCC 7-Loaded.....	99
4.87.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του VLCC 7-Loaded.....	99
4.88.Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το VLCC 7- Loaded.....	100
4.89.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του VLCC 10-Ballast.....	101
4.90.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του VLCC 10-Ballast.....	102
4.91.Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το VLCC 10-Ballast.....	103
4.92.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του VLCC 10-Loaded.....	104
4.93.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του VLCC 10-Loaded.....	105
4.94.Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του VLCC 10-Loaded.....	106
4.95.Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το VLCC 10-Loaded.....	106
4.96.Τιμές R^2_{Mean} και S εναλλακτικών μοντέλων M1, M2, M3.....	108
4.97.Τιμές και διαστήματα εμπιστοσύνης της παραμέτρου του μοντέλου M1.....	112
4.98.Τιμές και διαστήματα εμπιστοσύνης των παραμέτρων του μοντέλου M2.....	114
4.99.Τιμές και διαστήματα εμπιστοσύνης των παραμέτρων του μοντέλου M3.....	115
4.100.Τιμές παραμέτρων μοντέλου M2 στα δεδομένα της κατάστασης ballast.....	119
4.101.Τιμές παραμέτρων μοντέλου MD1 στα δεδομένα της κατάστασης ballast.....	120
4.102.Μοντέλα ταχύτητας-κατανάλωσης MD1 πλοίων κατάστασης ballast.....	123

4.103.Τιμές παραμέτρων μοντέλου MD2 στα δεδομένα της κατάστασης ballast.....	124
4.104.Μοντέλα ταχύτητας-κατανάλωσης MD2 πλοίων κατάστασης ballast.....	127
4.105.Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων κατάστασης ballast.....	127
4.106.Τιμές παραμέτρων μοντέλου M2 στα δεδομένα της κατάστασης loaded.....	128
4.107.Τιμές παραμέτρων μοντέλου MD1 στα δεδομένα της κατάστασης loaded.....	129
4.108.Μοντέλα MD1 ταχύτητας-κατανάλωσης πλοίων κατάστασης loaded.....	132
4.109.Τιμές παραμέτρων μοντέλου MD2 στα δεδομένα της κατάστασης loaded.....	133
4.110.Μοντέλα MD2 ταχύτητας-κατανάλωσης πλοίων κατάστασης loaded.....	136
4.111.Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων κατάστασης loaded.....	136

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1. Εισαγωγή

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η έρευνα της σχέσης μεταξύ της κατανάλωσης καυσίμου και της ταχύτητας στα πλοία. Στα πλαίσια αυτής της προσπάθειας συγκεντρώθηκαν στοιχεία από ναυτιλιακές εταιρίες, τα οποία περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά και δοκιμές πλοίων, καθώς και δεδομένα πραγματικών μετρήσεων κατανάλωσης-ταχύτητας. Πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση, κατά την οποία έγινε προσαρμογή διαφόρων μαθηματικών μοντέλων στα δεδομένα αυτά με στόχο να περιγραφεί όσο γίνεται καλύτερα η παραπάνω σχέση.

1.2. Κατανάλωση καυσίμου

Σημαντική πηγή κόστους στον τομέα των θαλάσσιων μεταφορών αποτελεί η κατανάλωση καυσίμου, η οποία κατέχει ποσοστό 20-60% του λειτουργικού κόστους (Ronen, 1993· Παπαδάκης και Περάκης, 1989). Σύμφωνα με τον Hellstrom, είναι το δεύτερο πιο σημαντικό ζήτημα, μετά τους μισθούς, στον προϋπολογισμό των εξόδων ενός πλοίου (2002). Ενδεικτικό του μεγέθους του μεριδίου που καταλαμβάνει είναι το γεγονός ότι ένα μεγάλο πλοίο καταναλώνει σε μια ώρα περισσότερο καύσιμο από ότι μια οικογένεια ένα ολόκληρο χρόνο για θέρμανση στη βόρειο Σουηδία. Σύμφωνα με στοιχεία του 1994 τα ετήσια έξοδα ενός πλοίου είναι 2-3 εκατομμύρια δολάρια. Άρα μια μικρή ποσοστιαία μείωση στην κατανάλωση είναι προφανές ότι οδηγεί σε σημαντικά επίπεδα εξοικονόμησης.

Ωστόσο, σημαντικό ρόλο παίζει η δυνατότητα ελέγχου της κατανάλωσης για να παραμένει πάντα μέσα στα επιθυμητά όρια. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί εάν υπάρχουν οι προϋποθέσεις μέτρησης και πρόβλεψης αυτής μέσω του ελέγχου των τιμών των παραγόντων που την επηρεάζουν. Τέτοιος παράγοντας είναι η ταχύτητα και η εργασία αυτή εστιάζει ακριβώς στη μελέτη της σχέσης ταχύτητας-κατανάλωσης, δοκιμάζοντας και προτείνοντας μαθηματικά μοντέλα που την περιγράφουν.

1.3. Παράγοντες κατανάλωσης

Η κατανάλωση καυσίμου στα πλοία και σε οποιοδήποτε μέσο μεταφοράς είναι κάθε φορά μια συνάρτηση της απαιτούμενης ισχύος. Αυτή η σχέση μπορεί να οριστεί με το γινόμενο της

παραγόμενης ισχύος της μηχανής με την ειδική κατανάλωση, που είναι η κατανάλωση ανά ίππο και ανά ώρα (Βουσούρας, 1985).

$$FOC = b_e \times BHP \quad (1-1),$$

όπου:

b_e : η ειδική κατανάλωση σε tons ανά bhp και ανά ώρα

BHP : η ισχύς πέδης, ή ισχύς που δίνει η μηχανή στον άξονα κίνησης

Η ειδική κατανάλωση εξαρτάται από τον τύπο της μηχανής και η συνάρτηση $b_e=f(bhp)$ είναι παραβολικής μορφής με ελάχιστο κοντά στο 75% της μέγιστης συνεχούς ισχύος, δηλαδή της μέγιστης ισχύος στην μπορεί να δουλεύει η μηχανή συνεχώς με ασφάλεια (MCR: Maximum Continuous Rate) (Βουσούρας, 1985).

Η ανάγκη σε ισχύ προκύπτει από την επιθυμητή ταχύτητα. Ωστόσο, η ισχύς που χρειάζεται κάθε πλοίο για να αναπτύξει μια συγκεκριμένη ταχύτητα διαφέρει ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του, όπως το βάρος του και το σχήμα της γάστρας του. Μια σχέση που περιγράφει όλα αυτά είναι (Βουσούρας, 1985):

$$EHP = \frac{D^{\frac{2}{3}} \times V^3}{K} \quad (1-2),$$

όπου:

EHP : η απαιτούμενη ισχύς πρόωσης σε hp

D : το εκτόπισμα του πλοίου σε τόνους

V : η ταχύτητα πλεύσης σε κόμβους

K : Σταθερά ή συντελεστής Ναυαρχείου που εξαρτάται από το μήκος του πλοίου στην έμφορτο ίσαλο

Ωστόσο, ισχύει για λόγους V/L όχι πολύ μεγαλύτερους του 0,5 όπου L το μήκος του πλοίου. Το εκτόπισμα του πλοίου είναι το άθροισμα του καθαρού βάρους του πλοίου και του deadweight, το οποίο μπορεί να οριστεί ως η χωρητικότητα του πλοίου, συμπεριλαμβανομένης της ποσότητας καυσίμου και οποιουδήποτε άλλου βοηθητικού για την πρόωση του, μετρημένη σε τόνους.

$$DEADWEIGHT = DISPLACEMENT - LIGHTWEIGHT \quad (1-3)$$

Επίσης, οι Schrady και Wadsworth παρουσιάζουν μια παρόμοια σχέση (1991):

$$SHP = \frac{C_T}{2} \times p \times \frac{S}{550} \times V^3 \quad (1-4),$$

όπου

SHP: η ισχύς στον άξονα σε (*hp*)

C_T: συντελεστής συνολικής αντίστασης

p: πυκνότητα υγρού σε *slugs/ft³*

S: βυθισμένη επιφάνεια σε (*ft²*)

V: ταχύτητα σε *ft/sec*

Βέβαια, οι απαιτήσεις σε ισχύ πέδης είναι μεγαλύτερες από αυτές σε ισχύ προώσεως και σε ισχύ στον άξονα λόγω απωλειών στα μηχανικά μέρη του συστήματος κίνησης, τον άξονα και την προπέλα. Ισχύουν οι σχέσεις:

$$SHP = n_1 \times BHP \quad (1-5)$$

και

$$EHP = n_2 \times SHP \quad (1-6),$$

όπου

n₁, *n₂*: συντελεστές μετάδοσης ισχύος

Επίσης, κάποιοι εξωτερικοί παράγοντες παίζουν καθοριστικό ρόλο στο μέγεθος της κατανάλωσης. Ο πρώτος είναι καιρός, δηλαδή ο άνεμος, τα θαλάσσια ρεύματα και τα κύματα, τα οποία εμποδίζουν ή διευκολύνουν την κίνηση του πλοίου, αυξάνουν δηλαδή ή μειώνουν, αντίστοιχα τις απαιτήσεις σε ισχύ. Ο άλλος είναι η μόλυνση της γάστρας, λόγω της αποίκησης στην επιφάνειά της φυκιών και οστράκων με την πάροδο του χρόνου, τα οποία δημιουργούν μια πρόσθετη αντίσταση. Οι υπεύθυνοι μηχανικοί για το σχεδιασμό του συνολικού συστήματος πρόωσης φροντίζουν να επιλέγεται μηχανή που μπορεί να καλύψει αυξημένες ανάγκες σε ισχύ πρόωσης μέχρι 15% συνήθως, λόγω μόλυνσης της γάστρας και κακού καιρού (*fouled hull and heavy weather condition*).

Η κατανάλωση λοιπόν είναι ένα ιδιαίτερο και σύνθετο πρόβλημα, που καθορίζεται από πολλές παραμέτρους, άλλες γνωστές και ορισμένες, όπως τα χαρακτηριστικά του πλοίου και ο τύπος της μηχανής και άλλες μεταβλητές με το χρόνο και μη προβλέψιμες όπως η κατάσταση της γάστρας και ο καιρός. Συνήθως, η επίδραση των μη προβλέψιμων και μεταβλητών παραμέτρων καταγράφεται στο *slip*:

$$Slip = \frac{V_{est} - V_{act}}{V_{est}} \times 100\% \quad (1-7),$$

όπου:

V_{act}: η πραγματική ή μετρήσιμη (*actual*) ταχύτητα του πλοίου

V_{est} : η θεωρητική ταχύτητα του πλοίου ή η ταχύτητα που θα είχε σε συνθήκες καθαρής γάστρας και ήρεμης θάλασσας.

Το slip είναι θετικό όταν έχουμε αντίσταση και αρνητικό όταν έχουμε ολίσθηση. Η θεωρητική ταχύτητα συνήθως υπολογίζεται λαμβάνοντας υπ' όψιν το βήμα της προπέλας, το οποίο δείχνει την απόσταση που διανύει το πλοίο σε μια πλήρη στροφή της. Η V_{est} , λοιπόν δίνεται από τον τύπο:

$$V_{est} = \frac{Rpm \times Pitch \times 60 \text{ min/ h}}{1852 \text{ m / n mile}} \quad (1-8),$$

όπου:

Rpm : οι στροφές της προπέλας

$Pitch$: το βήμα της προπέλας σε m/στροφή προπέλας.

Κεφάλαιο 2

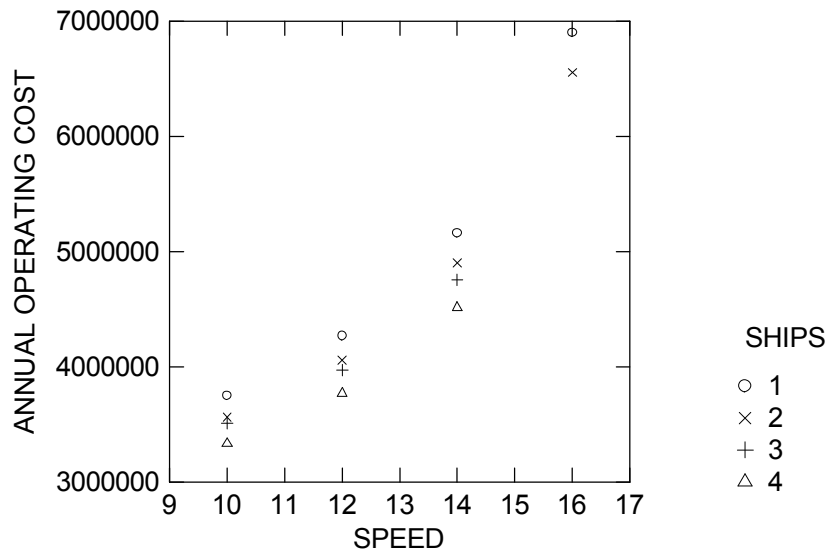
Βιβλιογραφική επισκόπηση

2.1. Εισαγωγή

Ζητούμενο ήταν ο εντοπισμός στη βιβλιογραφία εργασιών που αναφέρονται στη σχέση κατανάλωσης-ταχύτητας. Μετά από αναζήτηση διαπιστώθηκε ότι η ερευνητική βιβλιογραφία στερείται ικανού αριθμού σχετικών δημοσιεύσεων και ειδικότερα όσον αφορά την επεξεργασία πειραματικών μετρήσεων. Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται άρθρα που παρουσιάζουν ή κάνουν λόγο για μαθηματικά μοντέλα κατανάλωσης συναρτήσει της ταχύτητας και άλλων χαρακτηριστικών των πλοίων. Συνήθως αυτά τα μοντέλα χρησιμοποιούνται ως εργαλεία για την επίλυση προβλημάτων διαχείρισης στόλου (fleet management), όπου η ταχύτητα πλεύσης (operation speed) είναι μεταβλητή απόφασης.

2.2. Μοντέλα ταχύτητας- κατανάλωσης

Ο Benford εξέτασε το πρόβλημα βέλτιστης επιλογής στόλου για τη μεταφορά δεδομένης ποσότητας προϊόντος μεταξύ δύο λιμανιών (1981). Θεώρησε ότι η συνολική χωρητικότητα των διαθέσιμων πλοίων, υπερκαλύπτει τη ζήτηση, άρα υπάρχει δυνατότητα επιλογής μικρότερου αριθμού πλοίων και μάλιστα σε ταχύτητες χαμηλότερες της ονομαστικής τους. Για να παρουσιάσει μια εκτίμηση των οικονομικών χαρακτηριστικών αυτών των πλοίων, ο Benford χρησιμοποίησε αποτελέσματα μελέτης, η οποία υπολόγιζε για λίγες τιμές ταχύτητας την ετήσια μεταφορική δυνατότητα (transport capacity) σε τόνους προϊόντος και τα ετήσια λειτουργικά κόστη σε δολάρια για κάθε πλοίο. Ο τρόπος που μεταβαλλόταν το λειτουργικό κόστος σε σχέση με την ταχύτητα φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 2.1 Διάγραμμα μεταβολής λειτουργικού κόστους σε σχέση με την ταχύτητα για πλοία διαφορετικού deadweight

Παρατηρούμε, ότι για κάθε πλοίο η σχέση θα μπορούσε να περιγραφεί με μια καμπύλη. Ωστόσο, δεν παρουσιάζεται ακόμη άμεσα κάποια μαθηματική σχέση, ενώ το κόστος της κατανάλωσης καυσίμου περιλαμβάνεται μέσα στο συνολικό λειτουργικό και δεν εξετάζεται ξεχωριστά.

Ο Ronen ασχολήθηκε με το συνδυασμό δύο προβλημάτων, σχετικών με τις μεταφορές με πλοία: αυτό της εξοικονόμησης καυσίμου μέσω της μείωσης ταχύτητας (slow steaming) και της απώλειας κερδών λόγω καθυστερήσεων που προκαλεί ακριβώς αυτή η μείωση (1982). Εξετάζοντας τρεις διαφορετικές περιπτώσεις, παρουσίασε αντίστοιχα μοντέλα για τον υπολογισμό της βέλτιστης ταχύτητας κάθε φορά.. Στα μοντέλα αυτά θεώρησε την κατανάλωση ως ανάλογη της τρίτης δύναμης της ταχύτητας:

$$F = \left(\frac{V}{V_0}\right)^3 F_0, \quad (2-1),$$

όπου:

F : η πραγματική ημερήσια κατανάλωση καυσίμου σε tons/day

F_0 : η ημερήσια κατανάλωση καυσίμου στην ονομαστική ταχύτητα του πλοίου σε tons/day

V_0 : η ονομαστική μέγιστη ταχύτητα του πλοίου σε knots

V : η πραγματική (actual) ταχύτητα του πλοίου σε knots

Στο ίδιο πνεύμα, το ο Περάκης βελτίωσε τα αποτελέσματα της μεθόδου του Benford (1981) για την επίλυση του ίδιου προβλήματος, χρησιμοποιώντας συνεχείς συναρτήσεις για την

ετήσια χωρητικότητα και το λειτουργικό κόστος ανά τόνο μεταφερόμενου προϊόντος σε σχέση με την ταχύτητα (1985). Όσον αφορά τα ετήσια λειτουργικά κόστη, η αντίστοιχη συνάρτηση είναι:

$$ANOPC = ax^3 + bx^2 + cx + d \quad (2-2),$$

όπου:

ANOPC: τα ετήσια λειτουργικά κόστη

x: η ταχύτητα του πλοίου

a, b, c, d: συντελεστές που εξαρτώνται από τον τύπο του πλοίου

Αν ελέγξουμε προσεκτικά τα αντίστοιχα νούμερα του Benford και προσαρμόσουμε σε αυτά την εξίσωση (2-2), βλέπουμε ότι οι δύο ερευνητές θεώρησαν την ίδια σχέση εξάρτησης του λειτουργικού κόστους από την ταχύτητα. Η μόνη διαφορά είναι ότι ο Περάκης της έδωσε συνεχή μορφή για να μοντελοποιήσει το πρόβλημα κατάλληλα και να το λύσει με πολλαπλασιαστές Lagrange, καταλήγοντας έτσι σε καλύτερη λύση κατά 15%.

Οι Brown, Graves, και Ronen παρουσίασαν και έλυσαν το πρόβλημα σχεδιασμού δρομολογίων πλοίων μεταφοράς αργού πετρελαίου από τη Μέση Ανατολή στην Ευρώπη και Βόρεια Αμερική (1987). Ο διαθέσιμος στόλος, η προσφορά πετρελαίου στους σταθμούς φόρτωσης και η ζήτηση των πελατών και των διυλιστηρίων στα λιμάνια εκφόρτωσης μαζί με τις αντίστοιχες ημερομηνίες συνθέτουν τα δεδομένα του προβλήματος. Το ζητούμενο είναι η μεταφορά του πετρελαίου από τους σταθμούς φόρτωσης στους προορισμούς με το μικρότερο δυνατό κόστος. Λαμβάνονται υπ' όψη συντελεστές κόστους όπως το ημερήσιο κόστος χρήσης (opportunity cost) ενός πλοίου, τα τέλη εισόδου λιμανιών και καναλιών, το κόστος έκτακτης μίσθωσης πλοίου για μεταφορά συγκεκριμένου φορτίου και το κόστος καθυστέρησης ή αναμονής (demurrage cost). Μαζί με αυτά και το κόστος κατανάλωσης καυσίμου ως μη γραμμική συνάρτηση της ταχύτητας. Ωστόσο, η ταχύτητα εισάγεται ως μεταβλητή απόφασης μόνο για τις ballast διαδρομές, αυτές δηλαδή κατά τη διάρκεια των οποίων το πλοίο δε μεταφέρει εμπόρευμα και οι οποίες εξετάζονται διαφορετικά. Τα ταξίδια μεταφοράς εμπορεύματος (loaded legs) θεωρείται ότι έχουν καθορισμένες ταχύτητες λόγω των περιορισμών από τις ημερομηνίες φόρτωσης εκφόρτωσης των συμβολαίων. Όμως, πέραν της μη-γραμμικότητας δεν δίνονται άλλες πληροφορίες για τη θεωρούμενη σχέση μεταξύ κατανάλωσης και ταχύτητας.

Οι Περάκης και Παπαδάκης την ίδια χρονιά εξέτασαν και αυτοί το πρόβλημα του ελαχίστου κόστους μεταφοράς μιας συγκεκριμένης ποσότητας εμπορευμάτων από ένα στόλο πλοίων. Ανέπτυξαν λεπτομερές συναρτήσεις κόστους, όπου ως μεταβλητές απόφασης ορίστηκαν οι ταχύτητες των πλοίων. Όρισαν τις σχέσεις κόστους καυσίμου-ταχύτητας μέσω της σχέσης

ισχύος-ταχύτητας. Συγκεκριμένα, θεώρησαν ότι η ειδική κατανάλωση της μηχανής ενός πλοίου είναι πολυωνυμική συνάρτηση της ισχύος:

$$R_f = g \times p^2 + s \times p + d \quad (2-3),$$

όπου:

R_f : η ειδική κατανάλωση σε lb ανά hp και ανά hr

p : το ποσοστό της ισχύος στο διάστημα $[0,1]$

g,s,d : σταθερές

ενώ η ισχύς ορίζεται ως:

$$P = a * X^b \quad (2-4),$$

όπου:

X : η ταχύτητα του πλοίου σε knots

a,b : σταθερές

Συνδυάζοντας τη (2-3) με την (2-4), έχουμε :

$$C_l(X) = \frac{D_f C_f}{D_i} \left[\frac{g a^3 X^{3b-1}}{P_f^2} + \frac{s a^2 X^{2b-1}}{P_f} + d a X^{b-1} \right] \quad (2-5),$$

όπου

C_l : το κόστος καυσίμου ανά τόνο μεταφερόμενου εμπορεύματος σε \$/ton

X : η ταχύτητα του πλοίου σε knots

D_f : η απόσταση του ταξιδιού σε miles

C_f : η τιμή του καυσίμου σε \$/lb

D : η χωρητικότητα του πλοίου σε tons

P_f : η μέγιστη ισχύς πέδης σε hp

$\left[\frac{g a^3 X^{3b-1}}{P_f^2} + \frac{s a^2 X^{2b-1}}{P_f} + d a X^{b-1} \right]$: η κατανάλωση καυσίμου σε lbs/(knot*hr)

g,s,d : σταθερές

a,b : σταθερές

Οι Παπαδάκης και Περάκης ξαναδιατύπωσαν το προηγούμενο μοντέλο τους (Περάκης και Παπαδάκης 1987) για λύσουν το ίδιο πρόβλημα, θεωρώντας, αυτή τη φορά, πολλαπλούς σταθμούς φόρτωσης (origins) και εκφόρτωσης (destinations) (1989). Χρησιμοποίησαν την ίδια συνάρτηση ταχύτητας-κατανάλωσης (εξίσωση 2-5), ωστόσο έκαναν κάποιες ενδιαφέρουσες επισημάνσεις. Αναφέρουν ότι τα πλοία που έχουν κατασκευαστεί τα τελευταία χρόνια έχουν υψηλότερους συντελεστές c_b (block coefficient), είναι δηλαδή λιγότερο υδροδυναμικά, σχέση με τα παλαιότερα. Έτσι, όταν κινούνται με ταχύτητες μέσα στην κανονική περιοχή, χωρίς δηλαδή να πλέουν αργά (slow steaming), η εξάρτηση του κόστους καυσίμου είναι ακόμη μεγαλύτερη από την ταχύτητα, μια και οι συντελεστές a και b της εξίσωσης (3) είναι μεγαλύτεροι. Μάλιστα, σημειώνουν ότι στην πράξη ο εκθέτης b βρίσκεται μέσα στο διάστημα [2,4].

Οι Schrady και Wadsworth σε αντίθεση με τις μέχρι τότε δημοσιεύσεις, δοκίμασαν και έκριναν μοντέλα σε πραγματικά δεδομένα (1991). Στόχος τους ήταν η παρουσίαση ενός συστήματος υποστήριξης αποφάσεων για τα logistics πυρομαχικών και καυσίμων σε στρατιωτικές επιχειρήσεις. Το σύστημα επιτρέπει στον υπεύθυνο του τμήματος logistics να παρακολουθεί την εξέλιξη των αποθεμάτων σε πυρομαχικά και καύσιμα και ακόμη να προβλέψει μελλοντικές τιμές τους ως συνάρτηση προγραμματισμένων ενεργειών. Ο υπολογισμός της κατανάλωσης καυσίμου γίνεται συναρτήσει της ταχύτητας και για την κατασκευή του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε αρχικά η μέθοδος της προσαρμογής καμπύλης σε δεδομένα που τα αποτελούσαν ζευγάρια τιμών κατανάλωσης και ταχύτητας. Η επικρατέστερη καμπύλη ήταν το πολυώνυμο τρίτου βαθμού:

$$F = c_0 + c_1V + c_2V^2 + c_3V^3 \quad (2-6),$$

όπου:

F : η κατανάλωση

V : η ταχύτητα

c_0, c_1, c_2, c_3 : σταθερές

Ωστόσο το μοντέλο αυτό για χαμηλές ταχύτητες (κάτω από 14 κόμβους) έδινε αρνητικές τιμές κατανάλωσης. Έτσι, ακολουθήθηκε άλλη πορεία ανάλυσης, όπου μελετήθηκαν οι σχέσεις ισχύος άξονα (EHP)–ταχύτητας, ισχύος πέδης (BHP)-κατανάλωσης και ισχύος πέδης-ισχύος άξονα. Παρουσιάζονται οι τύποι:

$$SHP = \frac{C_T}{2} p \frac{S}{550} V^3 \quad (2-7),$$

όπου:

SHP : η ισχύς στον άξονα σε hp

C_T : συντελεστής συνολικής αντίστασης

p : πυκνότητα υγρού σε slugs/ft³

S : βυθισμένη επιφάνεια σε ft²

V : ταχύτητα σε ft/sec

Από δημοσιευμένα δεδομένα σχετικά με αρκετές διαφορετικές μηχανές πρόωσης, η εξίσωση που ταίριαζε καλύτερα για τη σχέση κατανάλωσης-ισχύος ήταν η:

$$F = b_0 + b_1[BHP]^{b_2} \quad (2-8),$$

όπου:

F : η κατανάλωση καυσίμου

BHP : η ισχύς πέδης

b_0, b_1, b_2 : συντελεστές εκτιμώμενοι με παλινδρόμηση πάνω σε πραγματικά δεδομένα

Είναι γνωστό ότι η ισχύς άξονα είναι ποσοστό της ισχύος πέδης, δηλαδή:

$$SHP = nBHP \quad (2-9),$$

όπου:

n : συντελεστής στο διάστημα $[0, 1]$

Από τον συνδυασμό των (2-7),(2-8),(2-9) έχουμε τη ζητούμενη σχέση

$$F = p_0 + p_1 V^{p_2} \quad (2-10),$$

όπου:

F : η κατανάλωση καυσίμου

V : η ταχύτητα του πλοίου

p_0, p_1, p_2 : συντελεστές εκτιμώμενοι με παλινδρόμηση πάνω σε πραγματικά δεδομένα

Μάλιστα, ο p_2 δεν έχει ακέραια τιμή, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης, εν αντιθέσει με τις παραδοσιακές προσεγγίσεις (Ronen, 1982).

Οι Lo και McCord εξέτασαν το πρόβλημα σχεδιασμού βέλτιστων δρομολογίων λαμβάνοντας υπόψη τα θαλάσσια ρεύματα (1995). Χρησιμοποίησαν δυναμικό προγραμματισμό και ως μεταβλητές απόφασης τη θέση του πλοίου και την ισχύ, ενώ εφάρμοσαν δύο αλγορίθμους και έλυσαν το πρόβλημα προσομοιώνοντας ταξίδια στην περιοχή του Gulf Stream, λαμβάνοντας υπ' όψη καθημερινές εκτιμήσεις ρευμάτων. Όσον αφορά την κατανάλωση καυσίμου θεώρησαν ότι εξαρτάται από την τρίτη δύναμη της ταχύτητας, όπως δηλαδή και ο Ronen το 1982. Η σχέση που παρουσίασαν είναι:

$$f_c = [(Y_k, T_k); (Y_{k+1}, T_{k+1})] = C \times \left\{ \left[\frac{d(Y_k, Y_{k+1})}{T_{k+1} - T_k} \right] - w[(Y_k, T_k); (Y_{k+1}, T_{k+1})] \right\}^3 \times (T_{k+1} - T_k) \quad (2-11),$$

όπου:

f_c : η κατανάλωση καυσίμου κατά τη μετάβαση του πλοίου από τη θέση T_k, Y_k στη θέση T_{k+1}, Y_{k+1}

k : το γεωγραφικό μήκος

Y_k : το γεωγραφικό πλάτος

T_k : η χρονική στιγμή κατά την οποία το πλοίο βρίσκεται στο γεωγραφικό μήκος k

$d(Y_k, Y_{k+1})$: η απόσταση μεταξύ των θέσεων Y_{k+1}, Y_k

w : η ταχύτητα του ρεύματος μεταξύ των θέσεων Y_{k+1}, Y_k

C : σταθερά σχετική με τα χαρακτηριστικά του πλοίου

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο λόγος $d(Y_k, Y_{k+1}) / (T_{k+1} - T_k)$ είναι η ταχύτητα του πλοίου σε σχέση με τον πυθμένα, ενώ αυτός ο λόγος μείον την ταχύτητα w του ρεύματος μας δίνει τον όρο που υψώνεται στην τρίτη δύναμη. Οι ίδιοι ερευνητές χρησιμοποίησαν το ίδιο μοντέλο για να επιλύσουν το ίδιο πρόβλημα, με τη διαφορά ότι αυτή τη φορά το αντιμετώπισαν στοχαστικά, σχηματίζοντας κατανομές πιθανότητας της ταχύτητας και θέσης των ρευμάτων από ιστορικά δεδομένα (1998). Έτσι, με τη βοήθεια της προσομοίωσης έλυσαν ξανά το πρόβλημα για την ίδια περιοχή (Gulf Stream) και είχαν καλύτερα αποτελέσματα από την προηγούμενη ντετερμινιστική προσέγγισή τους.

Κεφάλαιο 3

Μεθοδολογία

3.1. Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται αναλυτικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν κατά τη διερεύνηση της σχέσης κατανάλωσης καυσίμου-ταχύτητας στα πλοία. Για κάθε ένα από τα δύο μέρη της εργασίας ορίζονται οι στόχοι, οι τρόποι προσέγγισης τους, τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν και οι μέθοδοι επεξεργασίας τους.

3.2. Περιγραφή της μεθοδολογίας

Α Στην πρώτη φάση της εργασίας ο στόχος ήταν ο προσδιορισμός της κατάλληλης μορφής μαθηματικών μοντέλων μέτρησης της κατανάλωσης καυσίμου στα πλοία:

1. Μετά τη βιβλιογραφική αναζήτηση, τα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 2, επιλέχθηκαν τρία μοντέλα με ανεξάρτητη μεταβλητή την ταχύτητα για να δοκιμαστούν πάνω σε πραγματικά δεδομένα της ελληνικής ναυτιλίας:

$$M1: \quad FOCHMT = b_1 \times ESTSPEED^3 \quad (3-1)$$

Είναι η σχέση που απαντάται περισσότερο στην επιστημονική βιβλιογραφία και που χρησιμοποιείται κυρίως στην πράξη για την αντιμετώπιση επιχειρησιακών προβλημάτων. Προτείνεται, μάλιστα και από τον Ronen σε ειδική μελέτη (1982).

$$M2: \quad FOCHMT = b_0 + b_1 \times ESTSPEED^{b_2} \quad (3-2)$$

Το μοντέλο αυτό παρουσιάστηκε από τους Schradly και Wadsworth και εφαρμόστηκε αντί του πολυωνυμικού τρίτου βαθμού, όπως περιγράφεται στην παράγραφο 2.2, για πρόβλεψη και μέτρηση κατανάλωσης (1991).

$$M3: \quad FOCHMT = \frac{b_1 \times b_2^3 \times ESTSPEED^{3 \times b_2}}{P_{\max}^2} + \frac{b_4 \times b_2^2 \times ESTSPEED^{2 \times b_2}}{P_{\max}} + b_0 \times b_2 \times ESTSPEED^{b_2} \quad (3-3)$$

Η σχέση αυτή αναπτύχθηκε από τους Περάκη και Παπαδάκη σε μελέτη για την επίλυση προβλήματος μεταφοράς εμπορευμάτων (1987). Είναι το πιο πολύπλοκο μοντέλο από τα τρία, αφού περιέχει 5 παραμέτρους και είναι άθροισμα τριών διαφορετικών όρων της ταχύτητας.

2. Στο επόμενο στάδιο αναζητήθηκαν δεδομένα σε ναυτιλιακές εταιρίες και τελικά, συγκεντρώθηκε ένας αρκετά μεγάλος αριθμός πραγματικών μετρήσεων (actual data) από δύο

πηγές: την Kristen Navigation Inc. και την Ancora Investment Trust. Οι μετρήσεις αφορούν τιμές κατανάλωσης καυσίμου και ταχύτητας και καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια ταξιδιών δεκατριών πλοίων, σε κατάσταση ballast και loaded. Τα στοιχεία των πλοίων παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1. Περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά τους, όπως το όνομα, το deadweight, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, τον τύπο της μηχανής πρόωσης και το σημείο μέγιστης λειτουργίας (MCR).

Πίνακας 3. 1 Πίνακας χαρακτηριστικών πλοίων

ΟΝΟΜΑ ΠΛΟΙΟΥ	ΕΤΑΙΡΙΑ	ΜΗΚΟΣ (Μ)	ΠΛΑΤΟΣ (Μ)	ΒΑΘΟΣ (Μ)	DWT (ΜΤ)	MAIN ENGINE TYPE MCR - RPM
AFRAMAX 1	ΚΡΙΣΤΕΝ NAVIGATION	248.0	43.0	19.8	98805.2	MAN B&W 19100 BHP – 91 RPM
AFRAMAX 2	ΚΡΙΣΤΕΝ NAVIGATION	248.0	43.0	19.8	98875	MAN B&W 19100 BHP – 91 RPM
AFRAMAX 4	ΚΡΙΣΤΕΝ NAVIGATION	248.0	43.0	19.8	98805	MAN B&W 19100 BHP – 91 RPM
AFRAMAX 5	ΚΡΙΣΤΕΝ NAVIGATION	248.0	43.0	21.0	105109	MAN B&W 19100 BHP – 91 RPM
SWEZMAX 1	ΚΡΙΣΤΕΝ NAVIGATION	274.0	48.0	23.2	159899	MAN B&W 22920 BHP – 91 RPM
SWEZMAX 2	ΚΡΙΣΤΕΝ NAVIGATION	274.0	48.0	23.2	159899	MAN B&W 22920 BHP – 91 RPM
VLCC 2	ΚΡΙΣΤΕΝ NAVIGATION	327.5	57.2	30.4	285771	MAN B&W 31920 BHP – 77 RPM
VLCC 3	ΚΡΙΣΤΕΝ NAVIGATION	327.5	57.2	30.4	284411	MAN B&W 32800 BHP – 77.7 RPM
VLCC 7	ΚΡΙΣΤΕΝ NAVIGATION	332.0	58.0	31.0	306344.3	MAN B&W 40000 BHP – 76 RPM
VLCC 10	ΚΡΙΣΤΕΝ NAVIGATION	332.0	58.0	31.0	300294	MAN B&W 34650 BHP – 79 RPM

HORIZON A	ANCORA INVESTEMENT TRUST NAVIGATION INC.	170.75	24.83	14.5	27841	MITSUI B&W 7L67GFCA 13500 BHP- 110 RPM
AKTI A	ANCORA INVESTEMENT TRUST NAVIGATION INC.	182.3	31.4	17.2	38625	HITACHI B&W 6L67GFCA 12000 BHP- 119 RPM
ARTINA A	ANCORA INVESTEMENT TRUST NAVIGATION INC.	170.69	26.03	14.75	31302.5	SULZER- HHI 6RND76 12000 BHP- 122 RPM

Όσον αφορά τις μετρήσεις, εκτός από τις τιμές κατανάλωσης και ταχύτητας, δίνεται το είδος της διαδρομής (ballast ή loaded), η διάρκεια του, η μέση ταχύτητα του πλοίου, ο μέσος αριθμός στροφών μηχανής (Rpm), το slip και η συνολική κατανάλωση.

3. Για την ανάλυση, η οποία έγινε στο τελευταίο στάδιο χρησιμοποιήθηκαν φύλλα υπολογισμού (Microsoft Excel 2002) και το στατιστικό πακέτο Systat (έκδοση 10.2). Αρχικά, κατασκευάστηκαν δύο πίνακες για κάθε πλοίο, ένας για τα ταξίδια σε ballast κατάσταση και ένας για τα ταξίδια σε loaded κατάσταση. Σε κάθε πίνακα, κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε ένα ταξίδι, ενώ το όνομα του πλοίου μαζί με το deadweight, η κατάσταση του ταξιδιού (ballast και loaded), η ημερήσια, η ωριαία και η συνολική κατανάλωση, η actual και η θεωρητική ταχύτητα, οι στροφές μηχανής (rpm), το slip και η διάρκεια του ταξιδιού σχηματίζουν τις στήλες. Η actual ταχύτητα είναι η ταχύτητα μέτρησης, ενώ η θεωρητική προκύπτει από το slip. Στην ανάλυση χρησιμοποιήθηκε η θεωρητική ταχύτητα, η οποία αντιστοιχεί στην ταχύτητα που θα είχε το πλοίο σε συνθήκες ήρεμης θάλασσας και καθαρής γάστρας. Με αυτόν τον τρόπο δεν εξετάζεται η παράμετρος του καιρού και της μόλυνσης της γάστρας, η σχέση των οποίων με την κατανάλωση ξεφεύγει από το πεδίο μελέτης αυτής της εργασίας και δεν εκφράζεται στα μοντέλα που εξετάζονται. Στη συνέχεια, για κάθε πλοίο και κατάσταση δημιουργείται το διάγραμμα διασποράς της ωριαίας κατανάλωσης σε σχέση με την θεωρητική ταχύτητα και, αφού γίνεται η προσαρμογή των μοντέλων στα αντίστοιχα σύνολα δεδομένων επιλέγεται το καταλληλότερο. Η σύγκριση γίνεται με εφαρμογή ποσοτικών κριτηρίων, οι τιμές των οποίων δείχνουν το βαθμό προσαρμογής των μοντέλων στα δεδομένα. Ορίζονται τρεις συντελεστές ως εξής:

$$R^2_{Mean} = \frac{\sum (y - f)^2}{\sum (y - \bar{y})^2} \quad (3-4)$$

όπου:

y οι τιμές των μετρήσεων,

f οι εκτιμημένες τιμές,

\bar{y} η μέση τιμή των μετρήσεων.

$$R^2 (Observed vs Predicted) \quad (3-5)$$

όπου $R^2 (Observed vs Predicted)$ το τετράγωνο του βαθμού συσχέτισης μεταξύ των τιμών των μετρήσεων και των εκτιμημένων τιμών και

$$S = \sqrt{\frac{\sum (y - f)^2}{n - p}} \quad (3-6),$$

όπου:

S : το τυπικό σφάλμα της προσαρμογής

p : ο αριθμός των παραμέτρων του μοντέλου

Ο αριθμητής είναι το άθροισμα των τετραγώνων των υπολοίπων, ενώ υπόλοιπο είναι η διαφορά της πραγματικής από την τιμή του μοντέλου για κάθε μέτρηση. Όσο μεγαλύτερα είναι τα δύο R^2 και όσο μικρότερο είναι το S τόσο καλύτερη είναι και η προσαρμογή του μοντέλου. Επίσης, γίνεται έλεγχος του μεγέθους των διαστημάτων εμπιστοσύνης των παραμέτρων καθώς και της τυχαιότητας της κατανομής των υπολοίπων κάθε προσαρμογής. Τέλος, λαμβάνεται υπόψη κατά πόσο η τελική μορφή των προσαρμοσμένων καμπυλών είναι αρκετά ρεαλιστική για να περιγράψει έγκυρα τη σχέση κατανάλωσης-ταχύτητας.

B. Στο δεύτερο μέρος της ανάλυσης εξετάστηκε η δυνατότητα εφαρμογής σε κάθε πλοίο ενός κοινού μοντέλου κατανάλωσης-ταχύτητας με την εισαγωγή του deadweight ως δεύτερη ανεξάρτητη μεταβλητή.

1. Αρχικά, επιλέγεται το καλύτερο μοντέλο της ανάλυσης του μέρους Α και εισάγεται σε αυτό το deadweight με δύο διαφορετικούς τρόπους. Συγκρίνονται μεταξύ τους τα τρία μοντέλα, όπως ορίζονται:

$$M2: \quad FOCHMT = b_0 + b_1 \times ESTSPEED^{b_2} \quad (3-7)$$

Είναι το μοντέλο M2 της προηγούμενης ανάλυσης

$$MD1: \quad FOCMTH = b_0 + b_1 \times ESTSPEED^{b_2} + b_3 \times DEADWEIGHT \quad (3-8)$$

Στο M2 προστίθεται γραμμικά το deadweight και σχηματίζει την εξίσωση (8).

$$MD2: \quad FOCMTH = b_0 + b_1 \times ESTSPEED^{b_2} \times DEADWEIGHT^{b_3} \quad (3-9)$$

Η δομή του MD2 βασίζεται την εξίσωση 1-2 της παραγράφου 1.3, σύμφωνα με την οποία η απαιτούμενη ισχύς είναι συνάρτηση του εκτοπίσματος του πλοίου επί την ταχύτητα υψωμένη

σε δύναμη. Η ισχύς, όμως πολλαπλασιασμένη με την ειδική κατανάλωση μας δίνει τη συνολική (εξίσωση 1-1), ενώ το deadweight είναι συστατικό του εκτοπίσματος (εξίσωση 1-3). Άρα και η κατανάλωση μπορεί να οριστεί ως συνάρτηση του γινομένου του deadweight και της ταχύτητας.

2. Τα τρία μοντέλα προσαρμόζονται στο σύνολο των δεδομένων το οποίο αποτελείται από τις μετρήσεις ταχύτητας-κατανάλωσης όλων των πλοίων μαζί αυτή τη φορά, ενώ εξετάστηκαν ξεχωριστά οι περιπτώσεις άφορτης-έμφορτης κατάστασης (ballast-loaded condition). Τα κριτήρια σύγκρισης των μοντέλων είναι τα ίδια με πριν. Εκτός, όμως από αυτά, εξετάζεται κατά πόσον η λύσεις που προκύπτουν εφαρμοζόμενες σε κάθε πλοίο προσεγγίζουν ικανοποιητικά τα αντίστοιχα σημεία και πιο μοντέλο προσεγγίζει τις περισσότερες κατηγορίες πλοίων.

Κεφάλαιο 4

Ανάλυση-Αποτελέσματα

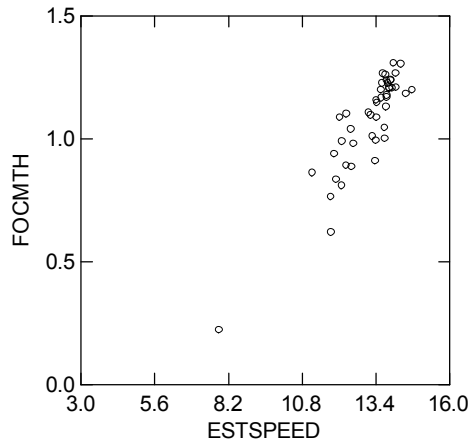
4.1. Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται η επεξεργασία των δεδομένων. Αρχικά, παρατίθενται τα αποτελέσματα της προσαρμογής των τριών μοντέλων με ανεξάρτητη μεταβλητή την ταχύτητα στις μετρήσεις κάθε πλοίου ξεχωριστά. Τα μοντέλα συγκρίνονται με βάση κριτήρια που ορίζονται και επιλέγεται το καλύτερο. Στο δεύτερο μέρος της ανάλυσης συγκρίνονται τα μοντέλα που έχουν ως ανεξάρτητη μεταβλητή το deadweight. Αφού προσαρμοστούν στο σύνολο των μετρήσεων όλων των πλοίων μαζί κρίνεται το αποτέλεσμα της εφαρμογής τους σε κάθε πλοίο ξεχωριστά.

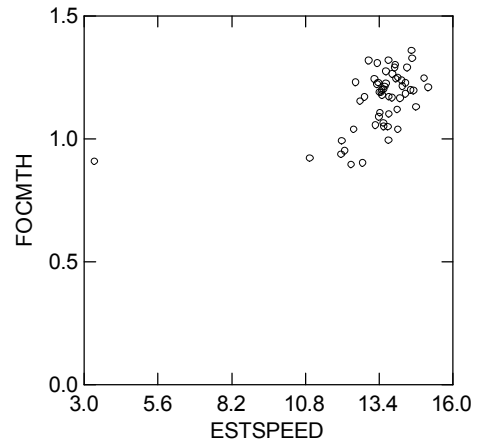
4.2. Ανάλυση με ανεξάρτητη μεταβλητή την ταχύτητα

4.2.1: Γενική ανάλυση

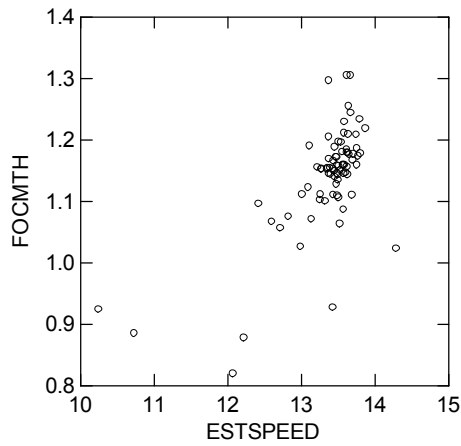
Σε αυτό το μέρος η ανάλυση έγινε σε κάθε πλοίο ξεχωριστά. Αρχικά, στους πίνακες που περιγράφονται στην παράγραφο 3.2, δημιουργήθηκε η στήλη ESTSPEED, που αναφέρεται στη θεωρητική ταχύτητα, αυτήν, δηλαδή που θα είχε το πλοίο σε συνθήκες ήρεμης θάλασσας και καθαρής γάστρας. Η ταχύτητα αυτή προκύπτει, κανονικά, από τη σχέση (1-6) της παραγράφου 1.3, από την οποία υπολογίζεται στη συνέχεια και καταγράφεται το Slip από τη σχέση (1-5) της ίδιας παραγράφου. Ωστόσο, εδώ υπολογίστηκε ανάποδα, κάνοντας χρήση των μετρήσεων της actual ταχύτητας και του Slip, αφού αυτά ήταν τα δεδομένα που συλλέξαμε. Έτσι, για κάθε πλοίο και για κάθε κατάσταση ταξιδιού (ballast-loaded), παρουσιάζονται τα διαγράμματα διασποράς της κατανάλωσης σε σχέση με τη θεωρητική ταχύτητα.



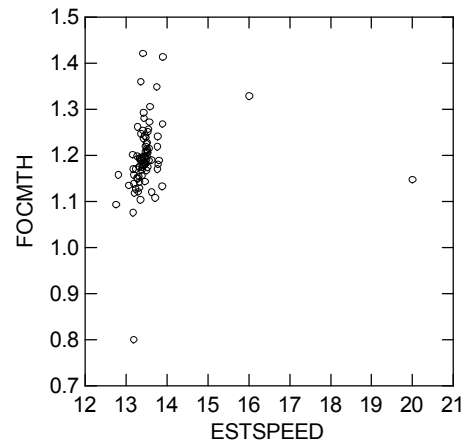
Σχήμα 4.1. Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων του AKTI A-Ballast



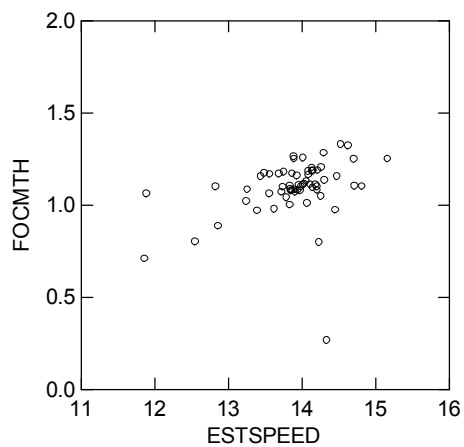
Σχήμα 4.2. Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων του AKTI A-Loaded



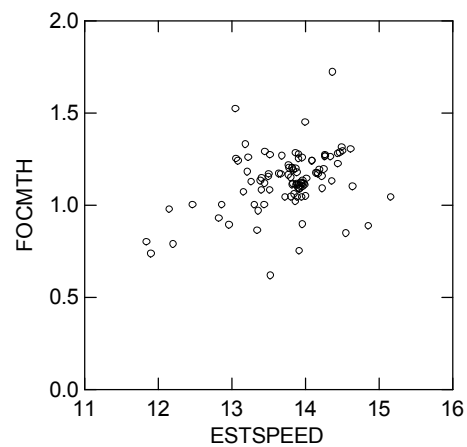
Σχήμα 4.3. Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων του HORIZON A-Ballast



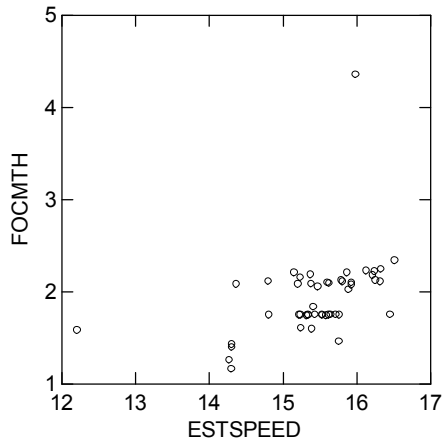
Σχήμα 4.4. Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων του HORIZON A-Loaded



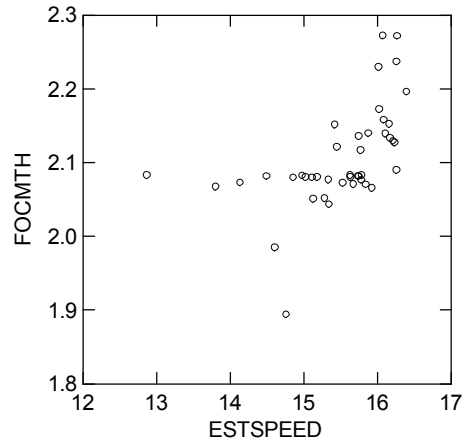
Σχήμα 4.5. Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων του ARTINA A-Ballast



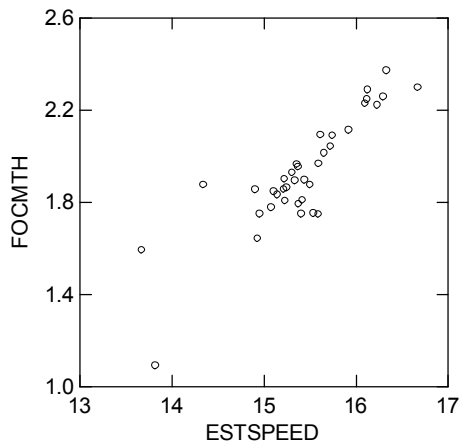
Σχήμα 4.6. Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων του ARTINA A-Loaded



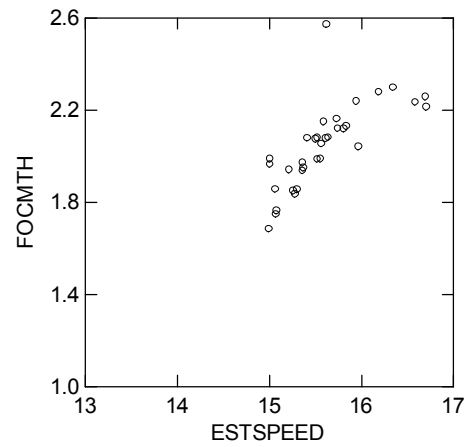
Σχήμα 4.7. Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων του AFRAMAX 1-Ballast



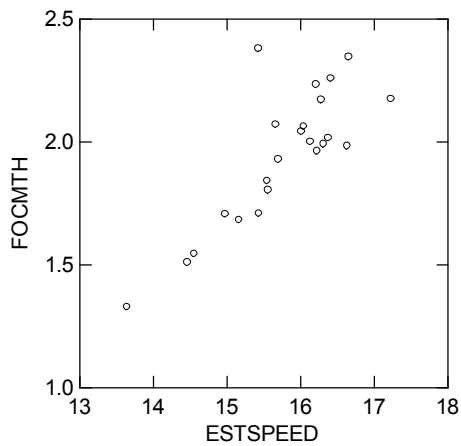
Σχήμα 4.8. Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων του AFRAMAX 1 - Loaded



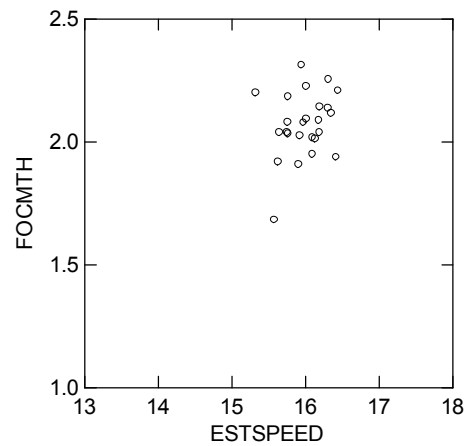
Σχήμα 4.9. Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων του AFRAMAX 2 - Ballast



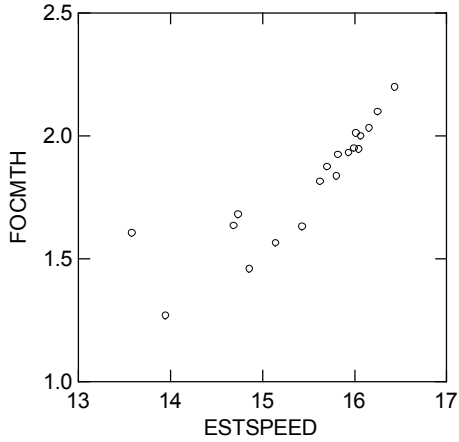
Σχήμα 4.10. Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων του AFRAMAX 2 - Loaded



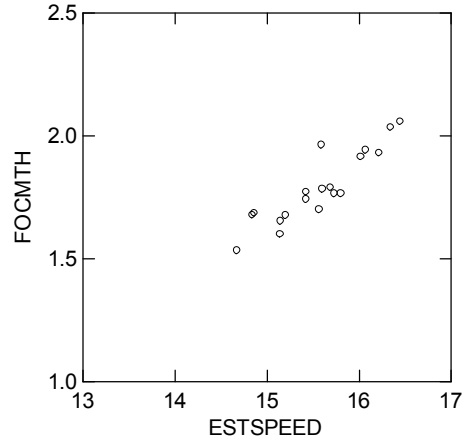
Σχήμα 4.11. Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων του AFRAMAX 4 - Ballast



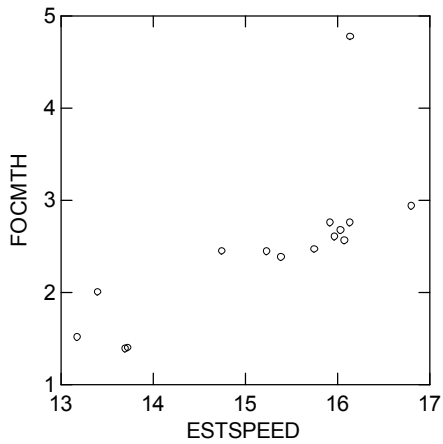
Σχήμα 4.12. Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων του AFRAMAX 4 - Loaded



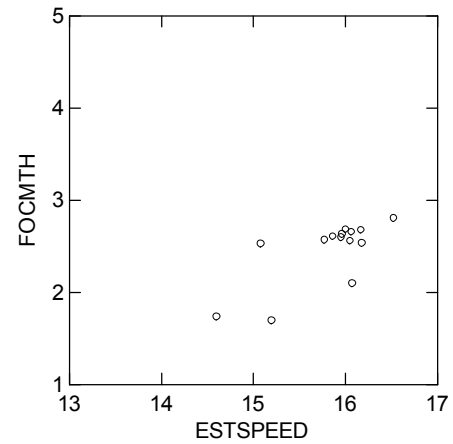
Σχήμα 4.13. Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων του AFRAMAX 5 -Ballast



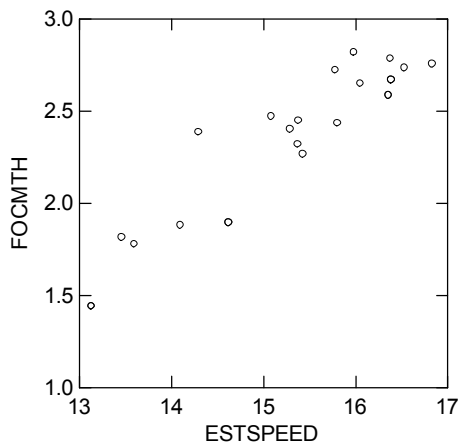
Σχήμα 4.14. Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων του AFRAMAX 5 - Loaded



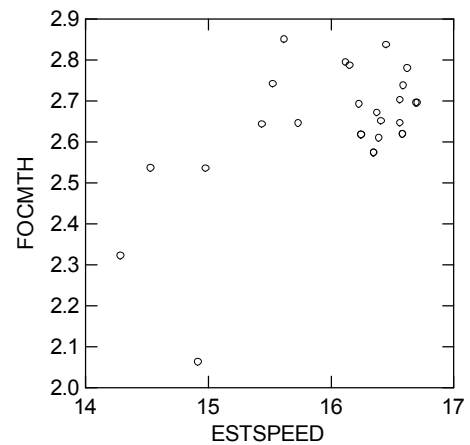
Σχήμα 4.15. Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων του SWEZMAX 1 -Ballast



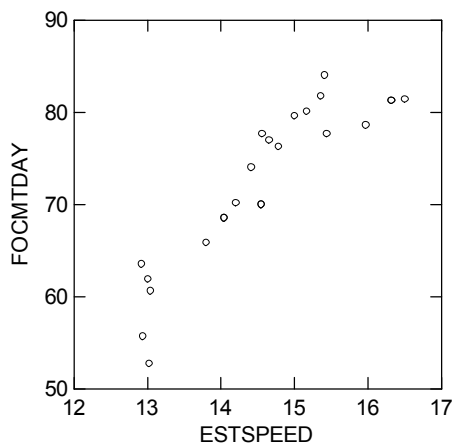
Σχήμα 4.16. Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων του SWEZMAX 1 - Loaded



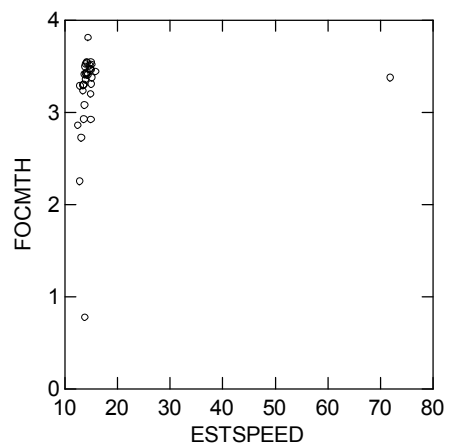
Σχήμα 4.17. Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων του SWEZMAX 2 -Ballast



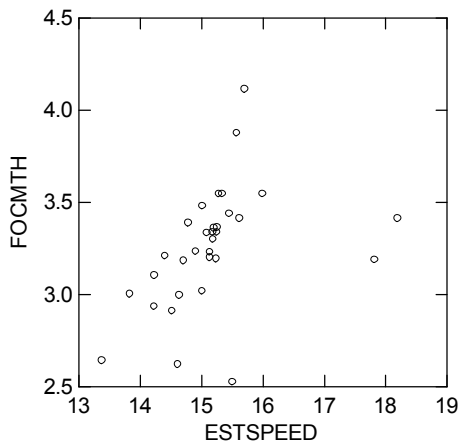
Σχήμα 4.18. Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων του SWEZMAX 2 - Loaded



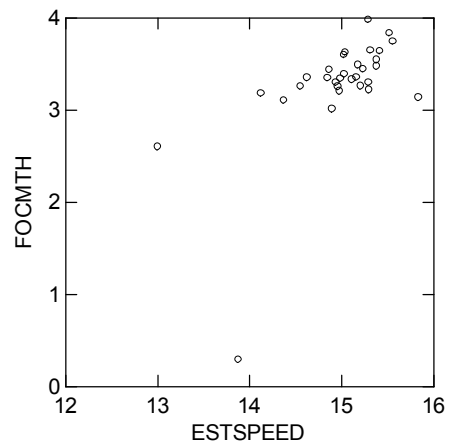
Σχήμα 4.19. Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων του VLCC 2 -Ballast



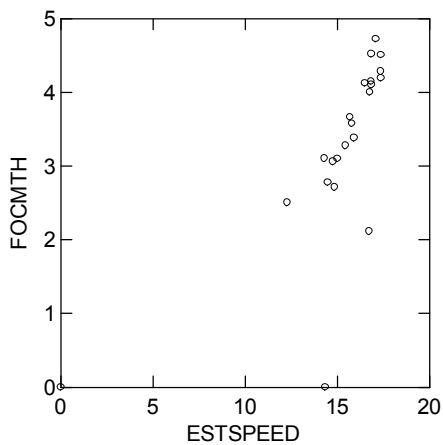
Σχήμα 4.20. Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων του VLCC 2 -Loaded



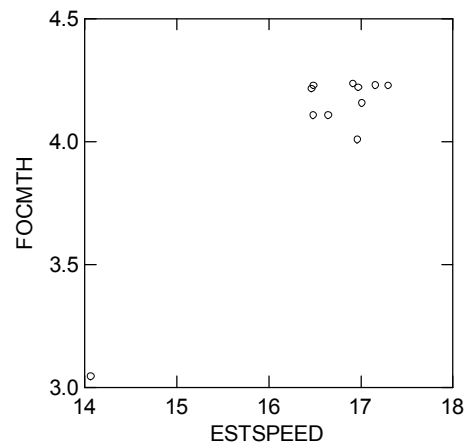
Σχήμα 4.21. Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων του VLCC 3 -Ballast



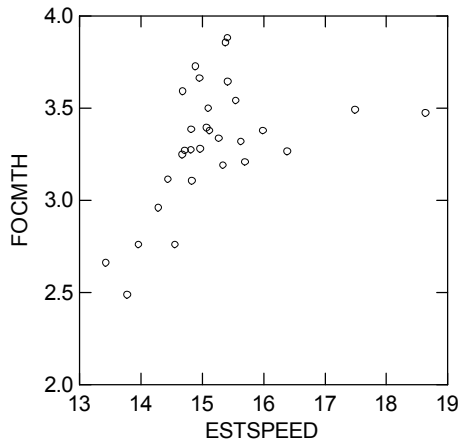
Σχήμα 4.22. Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων του VLCC 3 -Loaded



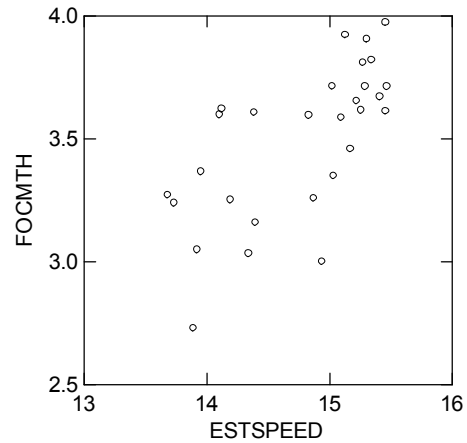
Σχήμα 4.23. Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων του VLCC 7 -Ballast



Σχήμα 4.24. Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων του VLCC 7 -Loaded



Σχήμα 4.25. Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων του VLCC 10 -Ballast



Σχήμα 4.26 Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων του VLCC 10 -Loaded

Κοιτάζοντας προσεκτικά τα προηγούμενα σχήματα και συγκρίνοντας μεταξύ τους τα δεδομένα της ballast και loaded κατάστασης για κάθε πλοίο, παρατηρούμε ότι τις περισσότερες φορές οι μετρήσεις της ballast κατάστασης έχουν αναμενόμενη κατανομή. Συγκεκριμένα, αν και σε αυτές ακόμη τις περιπτώσεις σημειώνονται έντονες διασπορές, η γενική μορφή της κατανομής των σημείων παραπέμπει, τις περισσότερες φορές σε αύξουσα καμπύλη με τα κοίλα προς τα πάνω, όπως είναι δηλαδή η τυπική συνάρτηση κατανάλωσης-ταχύτητας. Οι συνθήκες που επικρατούν στα ταξίδια χωρίς φορτίο φαίνεται να επιτρέπουν περισσότερο την καταγραφή μετρήσεων κατάλληλων για την ανάλυση και την εξαγωγή συμπερασμάτων, όπως θα φανεί και στη συνέχεια.

4.2.2: Ειδική ανάλυση

Ακολουθούν για κάθε πλοίο και κατάσταση τα διαγράμματα προσαρμογής και υπολοίπων, οι τιμές των παραμέτρων και οι συντελεστές αποφασιστικότητας της προσαρμογής κάθε μοντέλου., όπως ορίστηκαν στο τρίτο κεφάλαιο (σχέσεις 3-4, 3-5, 3-6).

AKTIA

- Ballast

Μοντέλο M1:

$$FOCHMT = b_1 \times ESTSPEED^3$$

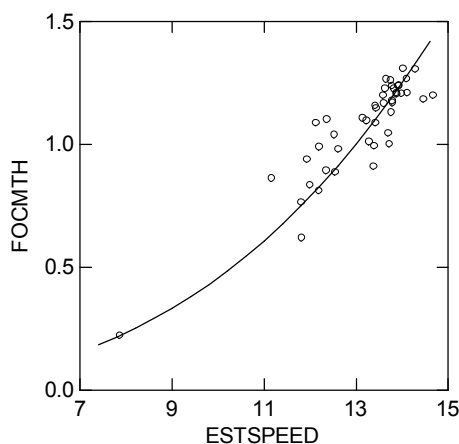
Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζεται η τιμή της παραμέτρου b_1 , με την οποία το μοντέλο M1 προσεγγίζει καλύτερα τα δεδομένα του πλοίου AKTI A για την κατάσταση ballast.

Αντιστοιχεί στη βέλτιστη λύση της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων, η οποία εφαρμόζεται από το στατιστικό πακέτο Systat (έκδοση 10.2) για την επίλυση του προβλήματος της προσαρμογής του μοντέλου M1. Ακόμη, σημειώνεται και το διάστημα εμπιστοσύνης 95% για την παράμετρο αυτή.

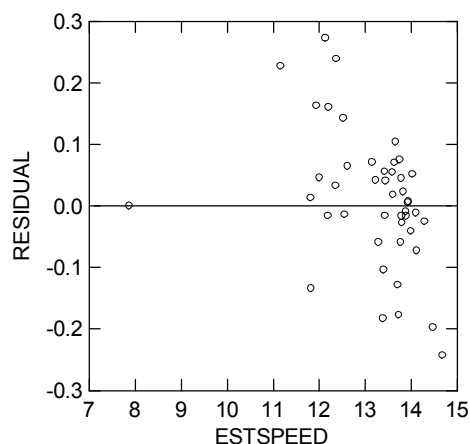
Πίνακας 4.1. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του AKTI A-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b_1	0.00046	0.00044	0.00047

Στα επόμενα σχήματα έχουμε την καμπύλη που προκύπτει από τη λύση του προβλήματος της μη-γραμμικής παλινδρόμησης (Πίνακας 4.1), αλλά και το διάγραμμα των υπολοίπων, των αποστάσεων δηλαδή των δεδομένων από την καμπύλη.



Σχήμα 4.27 Διάγραμμα προσαρμογής του μοντέλου M1 στα δεδομένα AKTI A-Ballast



Σχήμα 4.28 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M1 στα δεδομένα AKTI A-Ballast

Μοντέλο M2:

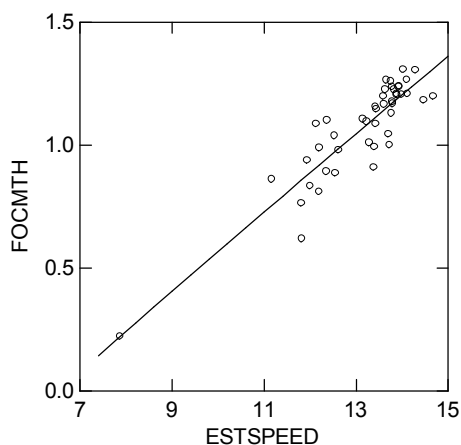
$$FOCHMT = b_0 + b_1 \times ESTSPEED^{b_2}$$

Ομοίως με πριν, στον επόμενο πίνακα παρουσιάζεται η λύση του προβλήματος της μη-γραμμικής παλινδρόμησης για την προσαρμογή του μοντέλου M2 στα δεδομένα του πλοίου AKTI A για την κατάσταση ballast, με τις τιμές των παραμέτρων και τα διαστήματα εμπιστοσύνης.

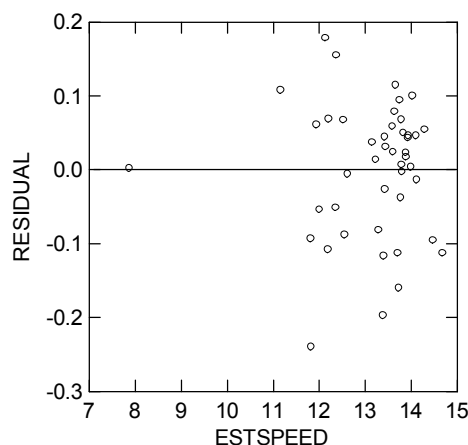
Πίνακας 4.2. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του AKTI A-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	0.20187	-0.80146	1.20519
b ₂	0.93279	-0.47483	2.34041
b ₀	-1.16275	-4.16434	1.83884

Ακολουθούν τα αντίστοιχα διαγράμματα της καμπύλης και των υπολοίπων.



Σχήμα 4.29 Προσαρμογή του μοντέλου M2 στα δεδομένα AKTI A-Ballast



Σχήμα 4.30 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M2 στα δεδομένα AKTI A-Ballast

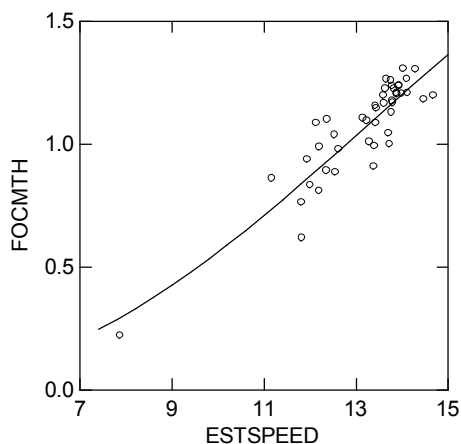
$$\text{Μοντέλο M3: } FOCMTH = \frac{b_1 \times b_2^3 \times ESTSPEED^{3 \times b_3}}{P_{\max}^2} + \frac{b_4 \times b_2^2 \times ESTSPEED^{2 \times b_3}}{P_{\max}} + b_0 \times b_2 \times ESTSPEED^{b_3}$$

Ομοίως, στον επόμενο πίνακα τα αποτελέσματα για το μοντέλο M3

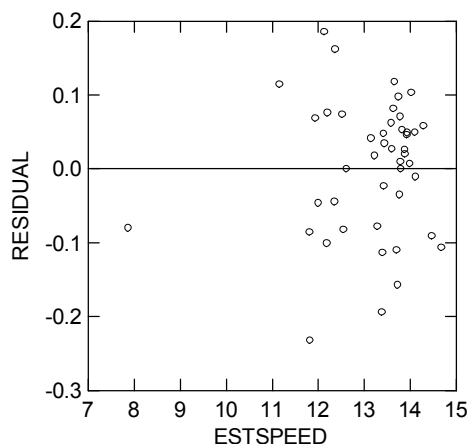
Πίνακας 4.3. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του AKTI A-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	-1.70007E+06	.	.
b ₂	0.11363	.	.
b ₃	1.38056	1.30448	1.45665
b ₄	1533.01470	1329.65134	1736.37805
b ₀	-0.05549		

και τα αντίστοιχα διαγράμματα.



Σχήμα 4.31 Προσαρμογή του μοντέλου M3 στα δεδομένα ΑΚΤΙ Α-Ballast



Σχήμα 4.32 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M3 στα δεδομένα ΑΚΤΙ Α-Ballast

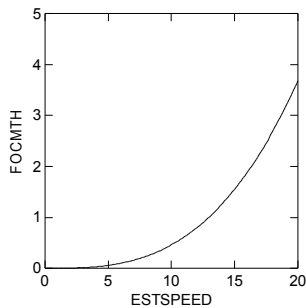
Παρατηρούμε ότι κάθε μοντέλο προσεγγίζει τα σημεία με διαφορετικό τρόπο. Βέβαια, ο αριθμός των δεδομένων είναι αρκετά μεγάλος και τα σημεία κατανομημένα με μικρή διασπορά, έτσι τα αποτελέσματα και των τριών προσεγγίσεων είναι ικανοποιητικά, αφού τα δύο R^2 όπως έχουν οριστεί στην αρχή του κεφαλαίου δεν είναι χαμηλά για κανένα από τα μοντέλα. Όμως, φαίνεται μια μικρή διαφορά στον τρόπο που κατανέμονται τα υπόλοιπα (residuals) του M1 από τον τρόπο που κατανέμονται τα υπόλοιπα των δύο άλλων μοντέλων, αφού στα M2 και M3 σχηματίζουν ένα νέφος σημείων γύρω από τον άξονα των ταχυτήτων (Σχήματα 4.32, 4.30) ενώ στο M1 μπορεί να αναγνωρίσει κάποιος μια ευθεία διάταξη των σημείων από πάνω προς τα κάτω και από αριστερά προς τα δεξιά (Σχήμα 4.28). Αυτό συμβαίνει γιατί το M1 δεν διαιρεί συμμετρικά το επίπεδο των σημείων αλλά περνάει από δεξιά τους στις χαμηλές ταχύτητες και από αριστερά τους στις υψηλές, κάτι που γίνεται αισθητό κυρίως σε επόμενες περιπτώσεις μετρήσεων. Στον επόμενο Πίνακα παρουσιάζονται τα R^2 για κάθε μοντέλο, καθώς και τα S.

Πίνακας 4.4. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το ΑΚΤΙ Α-Ballast

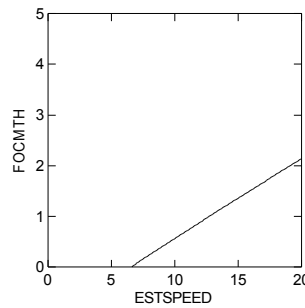
Μοντέλα	R^2_{Mean}	R^2_{OvsP}	S
M1	0.714	0.774	0.109
M2	0.807	0.807	0.092
M3	0.804	0.805	0.091

Το M1 αυξάνεται πιο απότομα μετά τους 6 κόμβους (Σχήματα 4.33), ενώ το M2 ξεκινάει στις χαμηλές ταχύτητες κάτω από τον άξονα του 0, αφού έχει $b_0 = -1.16275$ και στρέφεται τα κοίλα προς τα κάτω σε όλο το διάστημα των ταχυτήτων (Σχήμα 4.34). Το M3 (Σχήμα 4.35) στρέφει τα κοίλα προς τα κάτω στις υψηλές ταχύτητες και δεν αυξάνεται στις

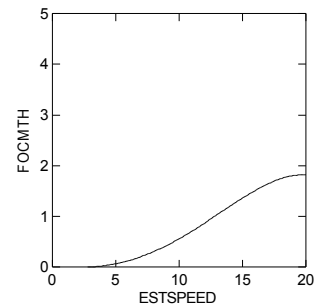
χαμηλές, αλλά έχει περίπου την ίδια προσαρμογή με το M2. Το M1 είναι το χειρότερο, τόσο στα R^2 όσο και στο S.



Σχήμα 4.33 Διάγραμμα του μοντέλου M1 στο AKTI A-Ballast



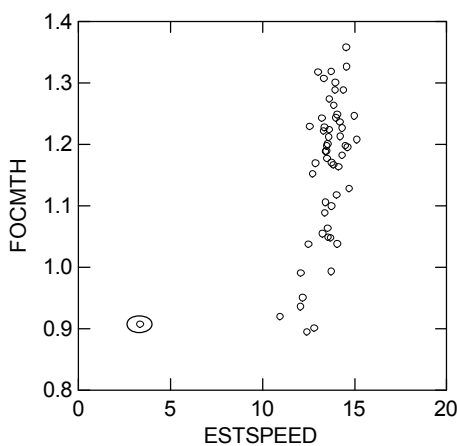
Σχήμα 4.34 Διάγραμμα του μοντέλου M2 στο AKTI A-Ballast



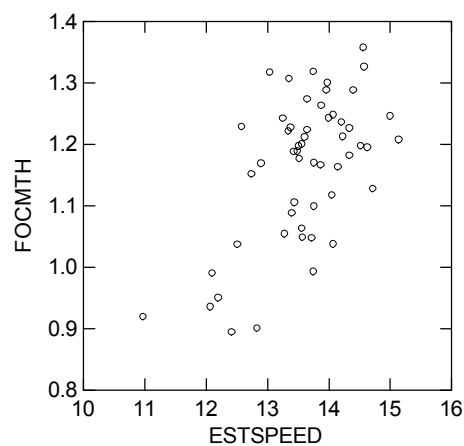
Σχήμα 4.35 Διάγραμμα του μοντέλου M3 στο AKTI A-Ballast

- Loaded

Έγινε επιλογή σημείων και αφαιρείται αυτό που σημειώνεται με έλλειψη στο Σχήμα 4.36, γιατί απέχει πολύ από την ομάδα που αποτελείται από τα περισσότερα και δείχνει να μην ακολουθεί την κατανομή τους. Τα σημεία, γενικότερα που εξαιρούνται από την ανάλυση αντιστοιχούν, κατά πάσα πιθανότητα, σε μετρήσεις κάτω από ιδιαίτερες συνθηκών, είτε λόγω καιρού, είτε σφαλμάτων των οργάνων μέτρησης. Στη συνέχεια, σε παρόμοιες περιπτώσεις ακολουθείται η ίδια διαδικασία. Ωστόσο και τα σημεία που μένουν φαίνεται στο Σχήμα 4.37 να έχουν μεγάλη διασπορά, κάτι που θα επηρεάσει τα αποτελέσματα.



Σχήμα 4.36 Αρχικά σημεία του AKTI A-Loaded



Σχήμα 4.37 Επιλεγμένα σημεία του AKTI A-Loaded

Μοντέλο M1:

$$FOCHMT = b_1 \times ESTSPEED^3$$

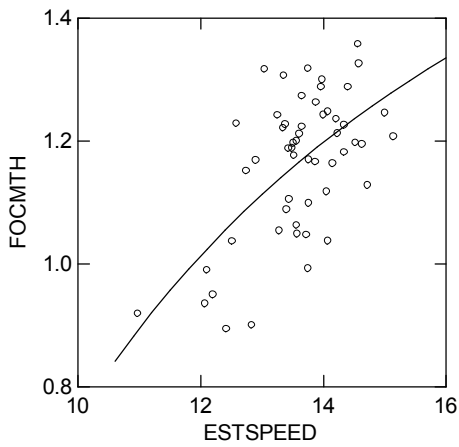
Πράγματι, η μεγάλη διασπορά των δεδομένων δεν έκανε δυνατή την προσαρμογή του μοντέλου M1.

Μοντέλο M2:

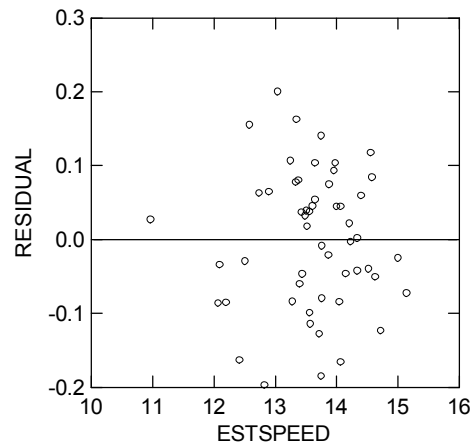
$$FOCHMT = b_0 + b_1 \times ESTSPEED^{b_2}$$

Πίνακας 4.5. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του AKTI A-Loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	-16.81452	-22.99098	-10.63806
b ₂	-1.05126	.	.
b ₀	2.24692	1.85014	2.64370



Σχήμα 4.38 Προσαρμογή του μοντέλου M2 στα δεδομένα AKTI A-Loaded



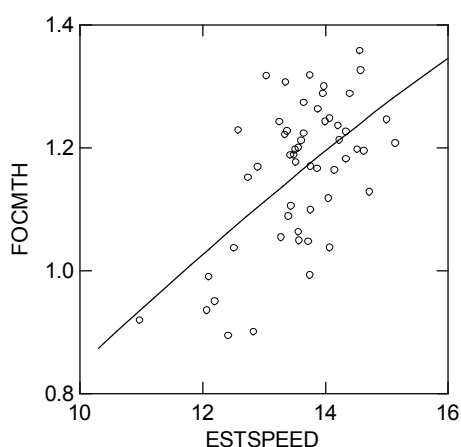
Σχήμα 4.39 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M2 στα δεδομένα AKTI A-Loaded

Ξανά η μη-γραμμική παλινδρόμηση για το μοντέλο M2 οδηγεί σε καμπύλη που στρέφει τα κοίλα προς τα κάτω, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.38.

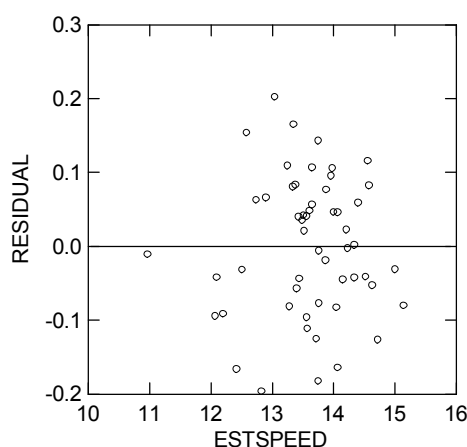
Μοντέλο M3:
$$FOCHMT = \frac{b_1 \times b_2^3 \times ESTSPEED^{3 \times b_3}}{P_{\max}^2} + \frac{b_4 \times b_2^2 \times ESTSPEED^{2 \times b_3}}{P_{\max}} + b_0 \times b_2 \times ESTSPEED^{b_3}$$

Πίνακας 4.6. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του AKTI A-Loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	-1.14575E+07	-2.00938E+07	-2.82112E+06
b ₂	0.09639	.	.
b ₃	1.05123	0.97823	1.12423
b ₄	2324.54766	.	.
b ₀	0.66407	.	.



Σχήμα 4.40 Προσαρμογή του μοντέλου M3 στα δεδομένα του AKTI A-Loaded



Σχήμα 4.41 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του AKTI A-Loaded

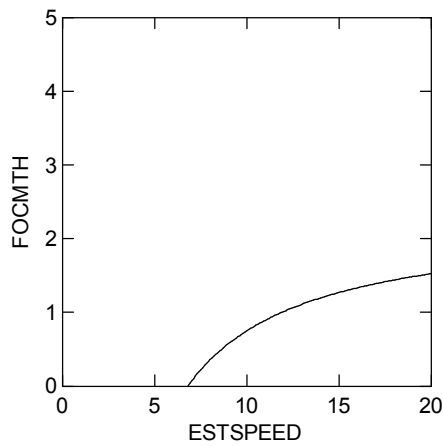
Αρνητική κλίση έχει και η καμπύλη του μοντέλου M3 πάνω στα δεδομένα του AKTI A-Loaded, αλλά φαίνεται να είναι μικρότερη από αυτή του M2.

Πίνακας 4.7. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το AKTI A-Loaded

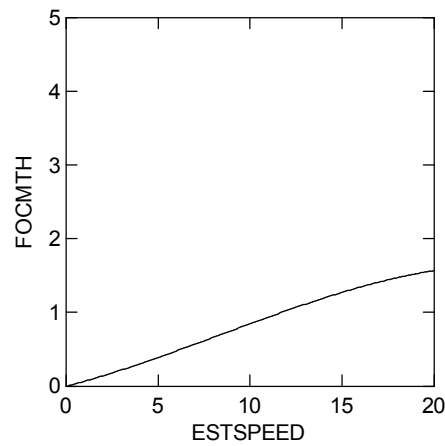
Μοντέλα	R ² _{Mean}	R ² _{OvsP}	S
M1	.	.	.
M2	0.367	0.367	0.094
M3	0.357	0.357	0.095

Μικρή διαφορά έχουν τα M2, M3 σύμφωνα με τον Πίνακα 4.7 και όπως φαίνεται στα Σχήματα 4.42 και 4.43 η μορφή τους δεν είναι ρεαλιστική. Το M2 στρέφει τα κοίλα προς τα κάτω και δίνει αρνητικές τιμές, ενώ το M3 δίνει ευθεία γραμμή μέχρι τους 15 κόμβους. Αξίζει να σημειωθεί ότι, αυξάνοντας την αρχική τιμή της παραμέτρου b₃, κατά τη διαδικασία της μη-γραμμικής παλινδρόμησης για το μοντέλο M3, επιτυγχάνονται λύσεις με ελάχιστα καλύτερα R² (στο δεύτερο δεκαδικό ψηφίο) και S (στο τρίτο

δεκαδικό ψηφίο) αλλά με μορφή καμπύλης ακόμη λιγότερο ρεαλιστική, από ότι αυτή του Σχήματος 4.43.



Σχήμα 4.42 Διάγραμμα του μοντέλου M2 στο AKTI A-Loaded



Σχήμα 4.43 Διάγραμμα του μοντέλου M3 στο AKTI A-Loaded

HORIZON A

- Ballast

Μοντέλο M1:

$$FOCHMT = b_1 \times ESTSPEED^3$$

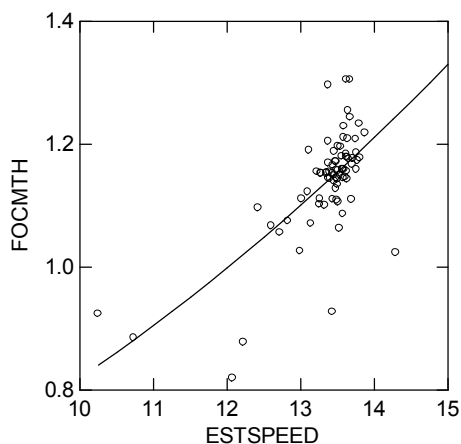
Για άλλη μια φορά δεν έγινε δυνατή η προσαρμογή του μοντέλου M1.

Μοντέλο M2:

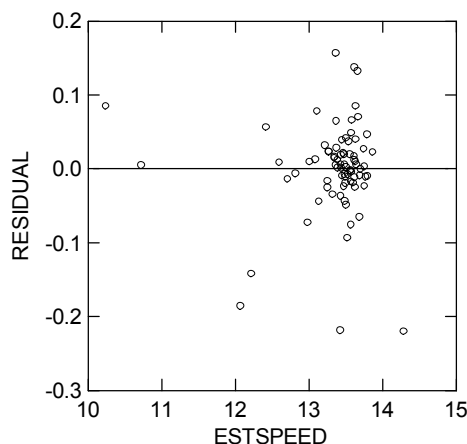
$$FOCHMT = b_0 + b_1 \times ESTSPEED^{b_2}$$

Πίνακας 4.8. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του HORIZON A-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	0.00404	.	.
b ₂	2.00384	1.92381	2.08388
b ₀	0.41199	0.26042	0.56357



Σχήμα 4.44 Προσαρμογή του μοντέλου M2 στα δεδομένα HORIZON A-Ballast



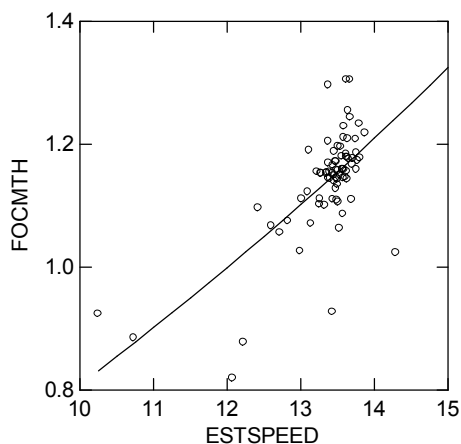
Σχήμα 4.45 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M2 στα δεδομένα HORIZON A-Ballast

Κατά την εκτέλεση της μη-γραμμικής παλινδρόμησης διαπιστώθηκε ότι αυξάνοντας την αρχική τιμή του b_2 , η προσαρμογή βελτιωνόταν ελάχιστα. Συγκεκριμένα, το S για αρχικές τιμές του b_2 μεγαλύτερες ή ίσες του 2 δεν μεταβαλλόταν, ενώ η καμπύλη απομακρυνόταν από την αρχή των αξόνων. Έτσι, το μοντέλο του Πίνακα 4.8, με αρχική τιμή του $b_2=2$ θεωρείται ότι περιγράφει ικανοποιητικά τη σχέση κατανάλωσης ταχύτητας.

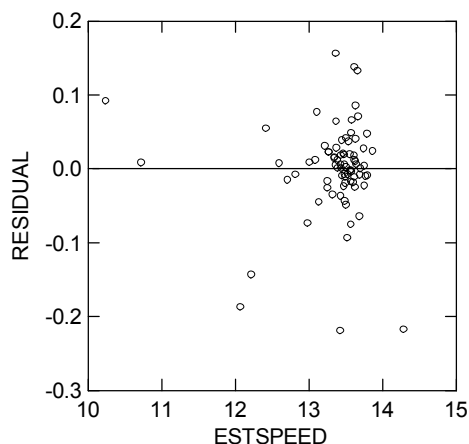
Μοντέλο M3:
$$FOCHMT = \frac{b_1 \times b_2^3 \times ESTSPEED^{3 \times b_3}}{P_{\max}^2} + \frac{b_4 \times b_2^2 \times ESTSPEED^{2 \times b_3}}{P_{\max}} + b_0 \times b_2 \times ESTSPEED^{b_3}$$

Πίνακας 4.9. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του HORIZON A-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval Lower < 95% > Upper
b_1	1.02641E+07	-9.09424E+06 2.96225E+07
b_2	0.10200	. .
b_3	1.03000	. .
b_4	-1118.05978	-3508.39502 1272.27545
b_0	0.75645	. .



Σχήμα 4.46 Προσαρμογή του μοντέλου M3 στα δεδομένα HORIZON A-Ballast



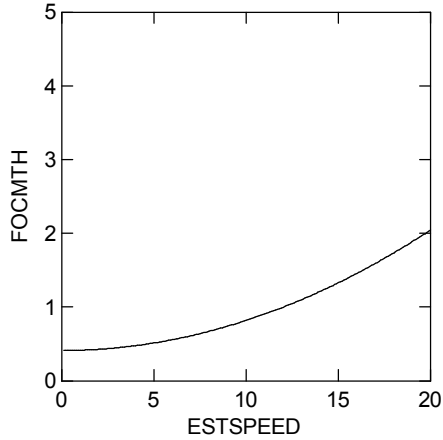
Σχήμα 4.47 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M3 στα δεδομένα HORIZON A-Ballast

Στα διαγράμματα υπολοίπων και των δυο μοντέλων στα Σχήματα 4.45 και 4.47 η κατανομή φαίνεται αρκετά τυχαία. Ωστόσο, τα R^2 δεν είναι ιδιαίτερα υψηλά και αυτό οφείλεται στη μεγάλη διασπορά, η οποία, επίσης δεν επέτρεψε την προσαρμογή του μοντέλου M1.

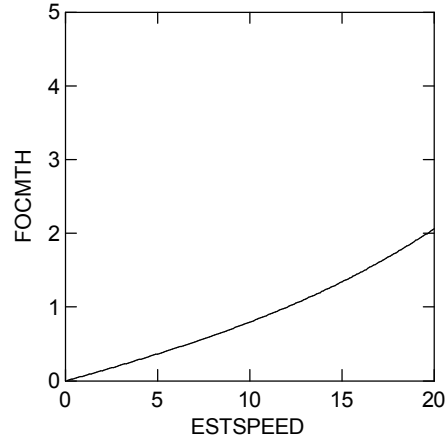
Πίνακας 4.10. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το HORIZON A-Ballast

Μοντέλα	R^2_{Mean}	R^2_{OvsP}	S
M1	.	.	.
M2	0.468	0.468	0.063
M3	0.467	0.467	0.063

Το M2 αυξάνεται πιο ομαλά, αλλά δεν περνάει από την αρχή των αξόνων (Σχήματα 4.48, 4.49).



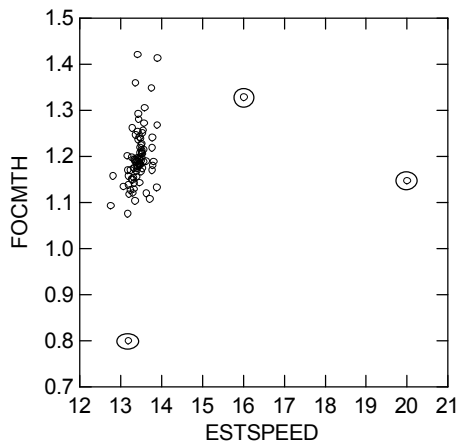
Σχήμα 4.48 Διάγραμμα του μοντέλου M2 στο HORIZON A-Ballast



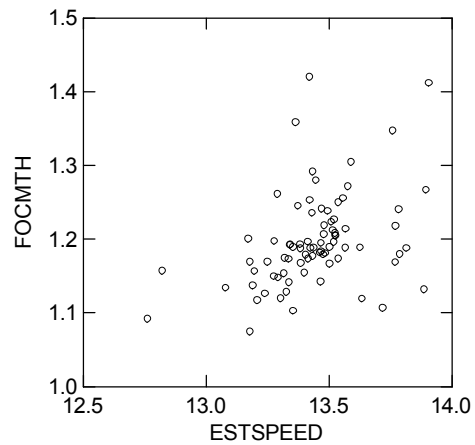
Σχήμα 4.49 Διάγραμμα του μοντέλου M3 στο HORIZON A-Ballast

- Loaded

Έγινε επιλογή σημείων και αφαιρέθηκαν τα σημεία που πιθανότατα προέρχονται από μη έγκυρες μετρήσεις και τα οποία σημειώνονται με ελλείψεις στο Σχήμα 4.50.



Σχήμα 4.50 Αρχικά δεδομένα του HORIZON A-Loaded



Σχήμα 4.51 Επιλεγμένα σημεία HORIZON A-Loaded

Μοντέλο M1:

$$FOCHMT = b_1 \times ESTSPEED^3$$

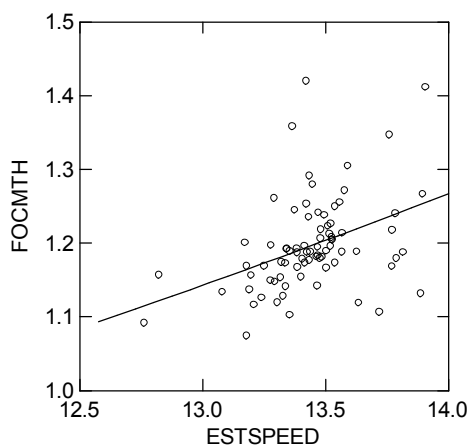
Το μοντέλο M1 δεν ήταν δυνατόν να προσαρμοστεί στα δεδομένα του HORIZON A-Loaded.

Μοντέλο M2:

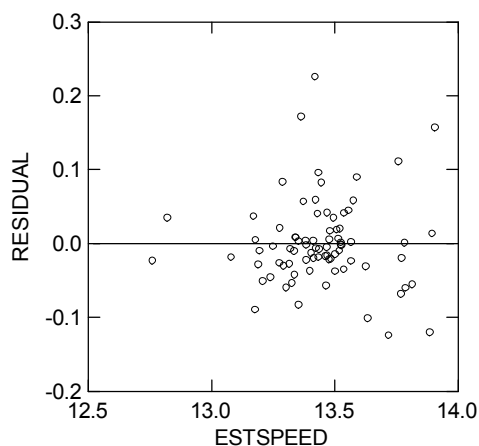
$$FOCHMT = b_0 + b_1 \times ESTSPEED^{b_2}$$

Πίνακας 4.11. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του HORIZON A-Loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	0.00329	0.00158	0.00500
b ₂	2.10782	.	.
b ₀	0.40989	0.00070	0.81908



Σχήμα 4.52 Προσαρμογή του μοντέλου M2 στα δεδομένα HORIZON A- Loaded



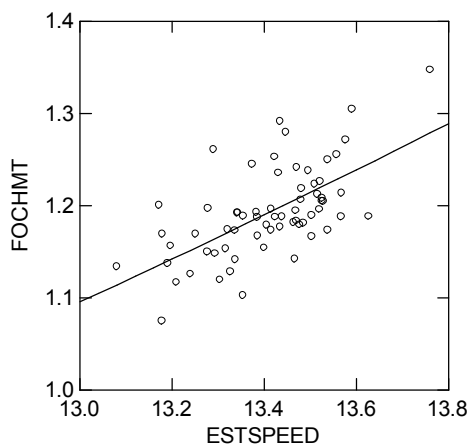
Σχήμα 4.53 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M2 στα δεδομένα HORIZON A- Loaded

Όπως και στην κατάσταση ballast, έτσι και εδώ η κατανομή των υπολοίπων είναι τυχαία, αλλά η διασπορά των μετρήσεων είναι σημαντική και αναμένεται να επηρεάσει τους συντελεστές αποφασιστικότητας.

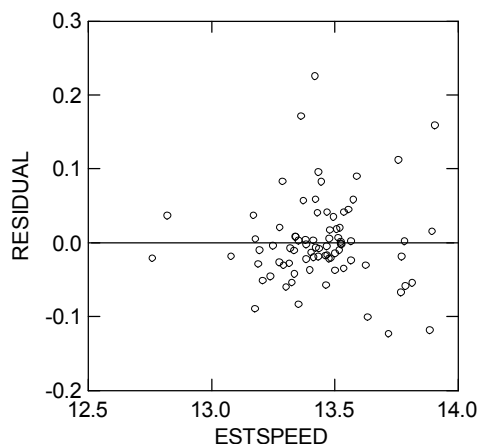
Μοντέλο M3:
$$FOCHMT = \frac{b_1 \times b_2^3 \times ESTSPEED^{3 \times b_3}}{P_{\max}^2} + \frac{b_4 \times b_2^2 \times ESTSPEED^{2 \times b_3}}{P_{\max}} + b_0 \times b_2 \times ESTSPEED^{b_3}$$

Πίνακας 4.12. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του HORIZON A-Loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	1.21621E+06	.	.
b ₂	0.02661	.	.
b ₃	1.50054	.	.
b ₄	-1029.67442	-1131.52631	-927.82254
b ₀	1.00000	.	.



Σχήμα 4.54 Προσαρμογή του μοντέλου M3 στα δεδομένα HORIZON A- Loaded



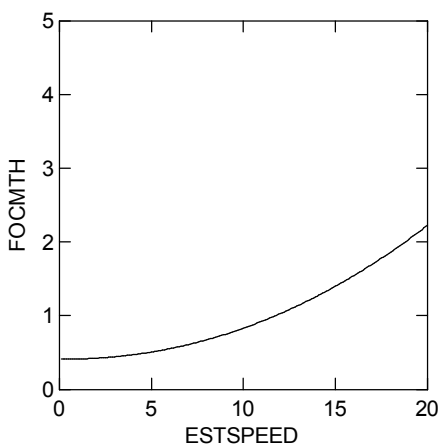
Σχήμα 4.55 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M3 στα δεδομένα HORIZON A- Loaded

Παρατηρήθηκε ότι αυξάνοντας την αρχική τιμή του b_3 κατά την εκτέλεση της μη γραμμικής παλινδρόμησης, η προσαρμογή βελτιωνόταν ελάχιστα ενώ η μορφή της καμπύλης χειρότερη καθώς έστρεφε τα κοίλα προς τα κάτω όλο και περισσότερο. Έτσι, προτιμήθηκε η αρχική τιμή του b_3 ίση με 2.

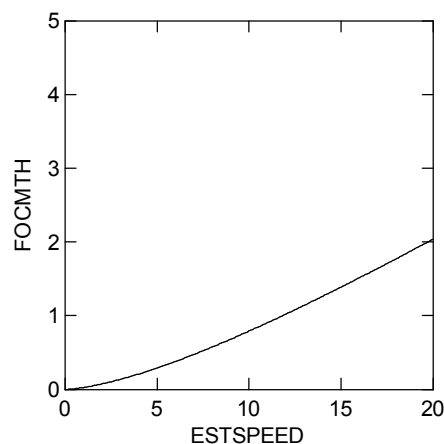
Πίνακας 4.13. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το HORIZON A- Loaded

Μοντέλα	R^2_{Mean}	R^2_{OvsP}	S
M1	.	.	.
M2	0.158	0.158	0.058
M3	0.159	0.159	0.058

Τα μοντέλα έχουν την ίδια προσαρμογή (Πίνακας 4.13) αλλά το M3 έχει καλύτερη μορφή σε όλη την περιοχή των ταχυτήτων που μας ενδιαφέρει (Σχήματα 4.56, 4.57)



Σχήμα 4.56 Διάγραμμα του μοντέλου M2 στο HORIZON A-



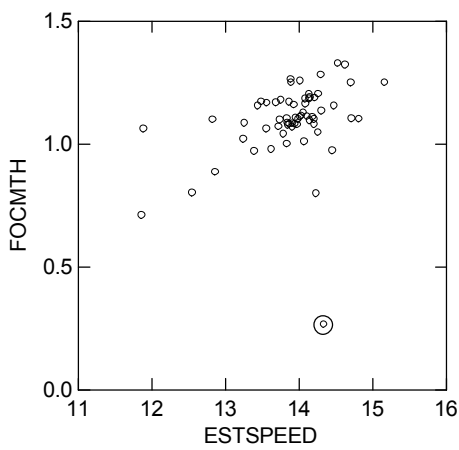
Σχήμα 4.57 Διάγραμμα του μοντέλου M3 στο HORIZON A-Loaded

Loaded

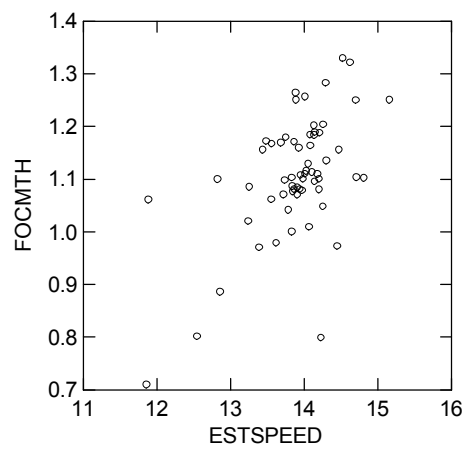
ARTINA A

- Ballast

Έγινε επιλογή σημείων και αφαιρείται μόνο το σημείο με την έλλειψη στο Σχήμα 4.58.



Σχήμα 4.58 Αρχικά σημεία του ARTINA A- Ballast



Σχήμα 4.59 Επιλεγμένα σημεία του ARTINA A- Ballast

Ιδιαίτερα στις χαμηλές καταναλώσεις (<1 mt) παρατηρείται έντονη διασπορά των σημείων, κάτι που πιθανότατα θα επηρεάσει τα αποτελέσματα.

Μοντέλο M1:

$$FOCHMT = b_1 \times ESTSPEED^3$$

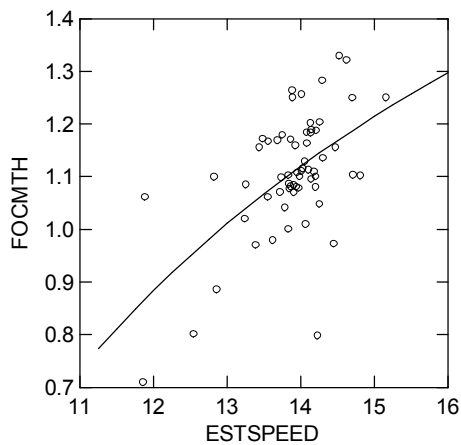
Δεν έγινε δυνατή η προσαρμογή του μοντέλου M1 στις μετρήσεις του ARTINA A-Ballast λόγω μεγάλης διασποράς των δεδομένων.

Μοντέλο M2:

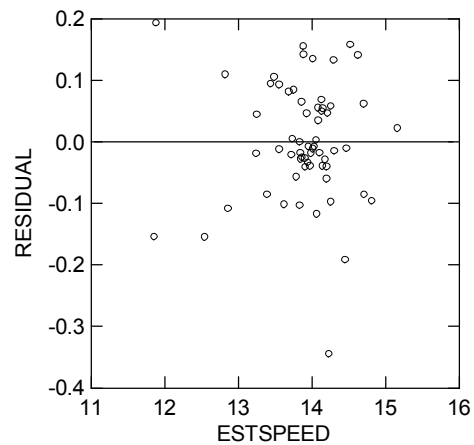
$$FOCHMT = b_0 + b_1 \times ESTSPEED^{b_2}$$

Πίνακας 4.14. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του ARTINA A- Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	-20.48302	-99.85612	58.89008
b ₂	-1.02000	.	.
b ₀	2.50820	-2.92930	7.94569



Σχήμα 4.60 Προσαρμογή του μοντέλου M2 στα δεδομένα ARTINA A- Ballast



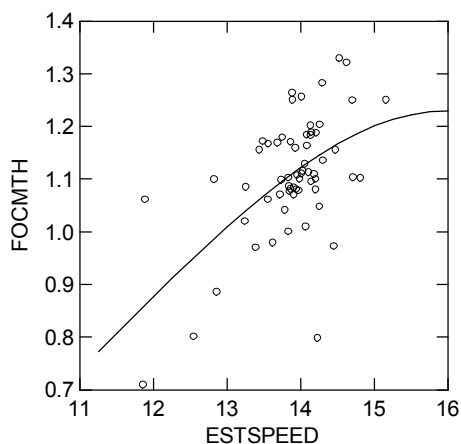
Σχήμα 4.61 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M2 στα δεδομένα ARTINA A- Ballast

Η διαδικασία της μη-γραμμικής παλινδρόμησης οδήγησε σε μορφές καμπύλης που στρέφουν τα κοίλα προς τα κάτω (Σχήμα 4.60), ωστόσο με μικρή βελτίωση του S και των R^2 σε σχέση με αυτές που στρέφουν τα κοίλα προς τα πάνω. Η στροφή των κοίλων προς τα πάνω και η μείωση της προσαρμογής γίνεται καθώς αυξάνεται η τιμή του b_2 . Μάλιστα, δίνοντας αρχική τιμή στο b_2 ίση με -0.1 , η καμπύλη είναι ασυνεχής και τείνει στο $-\infty$ καθώς οι ταχύτητες πλησιάζουν το 0 (Σχήμα 4.64).

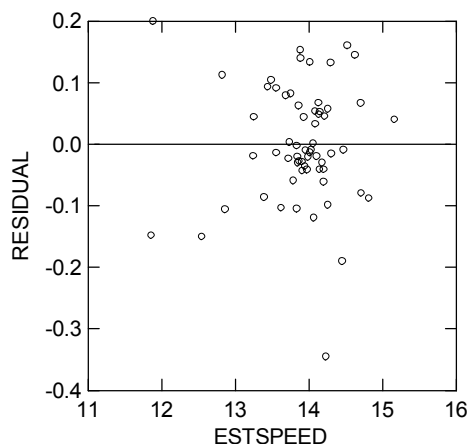
$$\text{Μοντέλο M3: } FOCMTH = \frac{b_1 \times b_2^3 \times ESTSPEED^{3 \times b_3}}{P_{\max}^2} + \frac{b_4 \times b_2^2 \times ESTSPEED^{2 \times b_3}}{P_{\max}} + b_0 \times b_2 \times ESTSPEED^{b_3}$$

Πίνακας 4.15. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του ARTINA A- Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b_1	19.87688	.	.
b_2	0.03525	0.02767	0.04283
b_3	2.72240	.	.
b_4	-3.57817	.	.
b_0	0.03770	0.03532	0.04009



Σχήμα 4.62 Προσαρμογή του μοντέλου M3 στα δεδομένα ARTINA A-Ballast



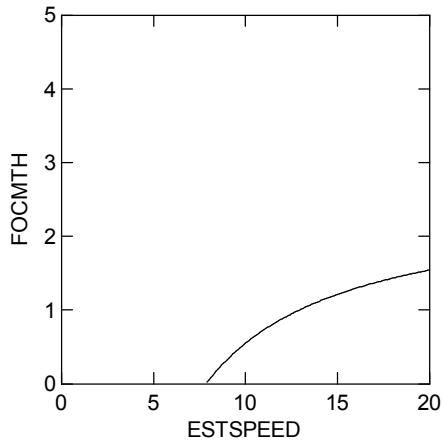
Σχήμα 4.63 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M3 στα δεδομένα ARTINA A-Ballast

Όπως και για το M2, έτσι και για το M3 η μη-γραμμική παλινδρόμηση οδηγεί σε ολικό ελάχιστο που αντιστοιχεί σε καμπύλη φθίνουσα στις υψηλές ταχύτητες και με τα κοίλα προς τα κάτω, αλλά πάλι οι διαφορές στο S και στα R^2 είναι αρκετά μικρές σε σχέση με τις καμπύλες που έχουν καλύτερη μορφή.

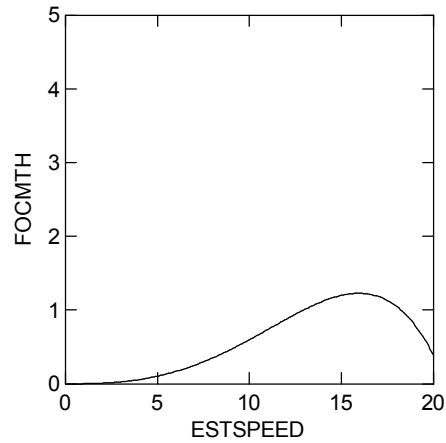
Πίνακας 4.16. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το ARTINA A-Ballast

Μοντέλα	R^2_{Mean}	R^2_{OvsP}	S
M1	.	.	.
M2	0.317	0.317	0.095
M3	0.318	0.318	0.096

Στα Σχήματα 4.64 και 4.65 απεικονίζονται οι καμπύλες που αντιστοιχούν στις βέλτιστες λύσεις της μη-γραμμικής παλινδρόμησης για το M2 και M3 και στον Πίνακα 4.16 οι αντίστοιχοι συντελεστές αποφασιστικότητας. Στις περιπτώσεις αυτές και τα δύο μοντέλα στρέφουν τα κοίλα προς τα κάτω.

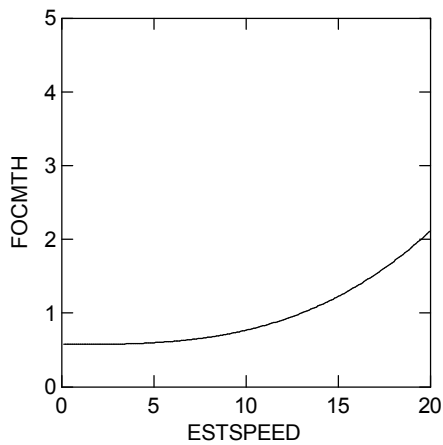


Σχήμα 4.64 Διάγραμμα του μοντέλου M2 στο ARTINA A- Ballast με αρχική τιμή του b_2 ίση με -0.1 .

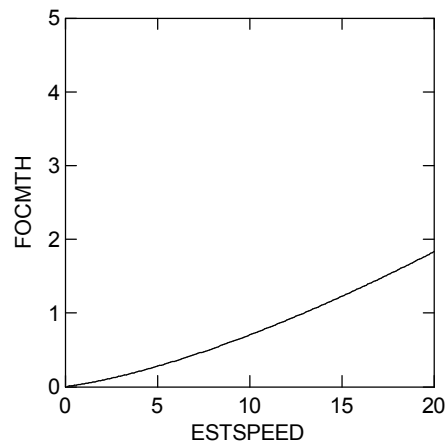


Σχήμα 4.65 Διάγραμμα του μοντέλου M3 στο ARTINA A- Ballast με αρχική τιμή του b_3 ίση με 3 .

Στα Σχήματα 4.66 και 4.67 απεικονίζονται οι καμπύλες που αντιστοιχούν σε τοπικά ελάχιστα της μη-γραμμικής παλινδρόμησης, με καλύτερη μορφή από τις προηγούμενες.

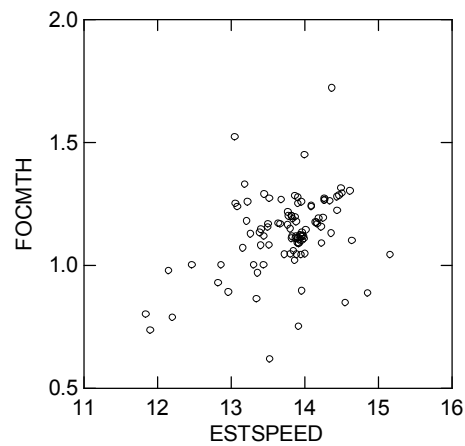


Σχήμα 4.66 Διάγραμμα του μοντέλου M2 στο ARTINA A- Ballast με αρχική τιμή του b_2 ίση με 3 .



Σχήμα 4.67 Διάγραμμα του μοντέλου M3 στο ARTINA A- Ballast με αρχική τιμή του b_3 ίση με 0.5 .

- Loaded



Σχήμα 4.68 Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων του ARTINA A-Loaded

Όπως βλέπουμε στο Σχήμα 4.68 η διασπορά των δεδομένων είναι αρκετά μεγάλη. Παρατηρώντας προσεκτικά αναγνωρίζουμε δύο ομάδες σημείων που περιγράφουν την αυξητική τάση της κατανάλωσης με την ταχύτητα.

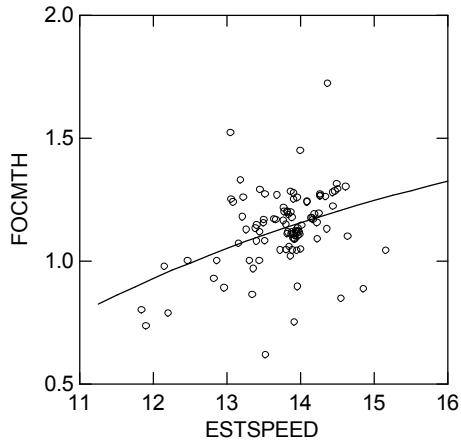
Μοντέλο M1:
$$FOCHMT = b_0 \times ESTSPEED^3$$

Δεν έγινε δυνατή η προσαρμογή του μοντέλου M1 στις μετρήσεις του ARTINA A-Loaded λόγω μεγάλης διασποράς των δεδομένων.

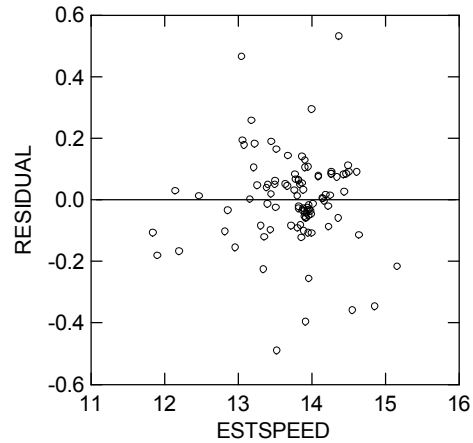
Μοντέλο M2:
$$FOCHMT = b_0 + b_1 \times ESTSPEED^{b_2}$$

Πίνακας 4.17. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του ARTINA A- Loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	-19.60123	-29.08414	-10.11833
b ₂	-1.02001	.	.
b ₀	2.48344	1.82773	3.13916



Σχήμα 4.69 Προσαρμογή του μοντέλου M2 στα δεδομένα ARTINA A-Loaded



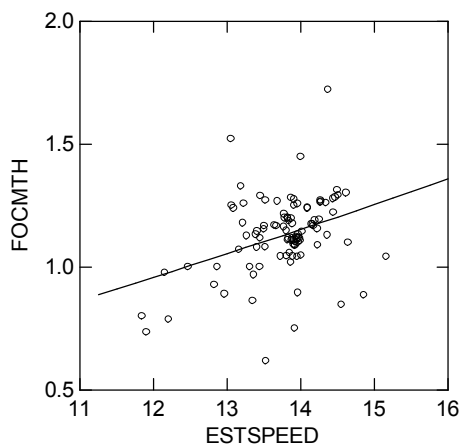
Σχήμα 4.70 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M2 στα δεδομένα ARTINA A-Loaded

Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, η καλύτερη λύση της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων (Πίνακας 4.17, Σχήμα 4.69) αντιστοιχεί σε καμπύλη που στρέφει τα κοίλα προς τα κάτω και τείνει στο $-\infty$ καθώς οι ταχύτητες τείνουν στο 0. Επίσης, αυξάνοντας την τιμή του b_2 η ποιότητα της προσαρμογής πέφτει ελάχιστα, αλλά τα κοίλα στρέφονται προς τα πάνω.

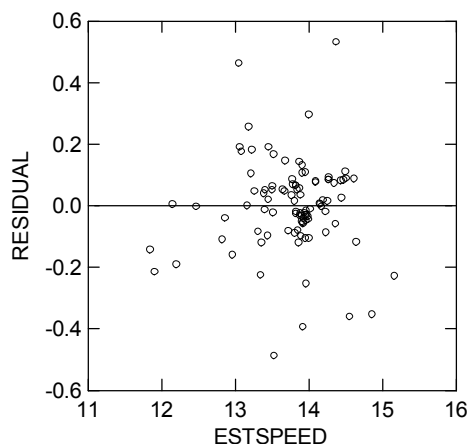
Μοντέλο M3:
$$FOCHMT = \frac{b_1 \times b_2^3 \times ESTSPEED^{3 \times b_3}}{P_{\max}^2} + \frac{b_4 \times b_2^2 \times ESTSPEED^{2 \times b_3}}{P_{\max}} + b_0 \times b_2 \times ESTSPEED^{b_3}$$

Πίνακας 4.18. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του ARTINA A-Loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95% >	Upper
b_1	2.27733E+06	.	.
b_2	1.01616	0.71165	1.32068
b_3	0.49492	.	.
b_4	1.14126	.	.
b_0	0.08431	-0.13840	0.30702



Σχήμα 4.71 Προσαρμογή του μοντέλου M3 στα δεδομένα ARTINA A-Loaded



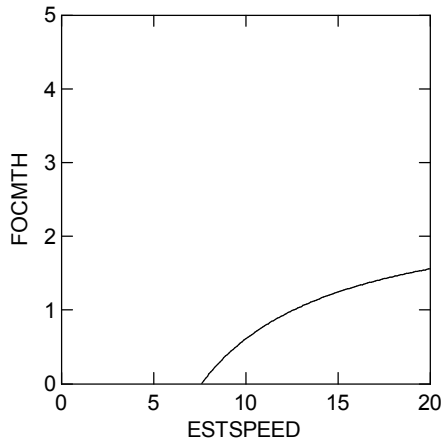
Σχήμα 4.72 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M3 στα δεδομένα ARTINA A-Loaded

Εδώ όπως και στις μετρήσεις του ίδιου πλοίου για την κατάσταση ballast, αυξανόμενου του εκθέτη b_3 η προσαρμογή βελτιώνεται ελάχιστα, συγκεκριμένα στο S παρατηρούνται αλλαγές στο τρίτο δεκαδικό ψηφίο και στα R^2 στο δεύτερο. Ωστόσο, για αρχικές τιμές μεγαλύτερες του 1 για τον b_3 , οι καμπύλες αρχίζουν να στρέφουν τα κοίλα προς τα κάτω μέσα στην περιοχή που μας ενδιαφέρει, δηλαδή πριν τους 20 κόμβους. Έτσι, η λύση του Πίνακα 4.18 και των Σχημάτων 4.71 και 4.72 είναι ένα τοπικό ελάχιστο της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων.

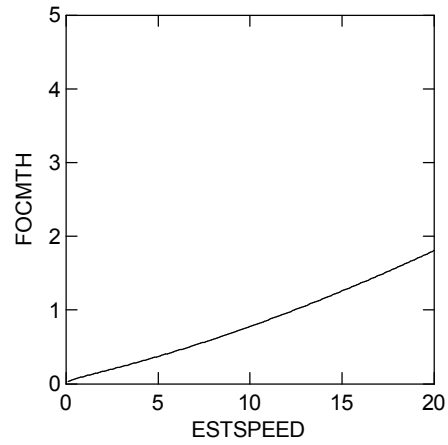
Πίνακας 4.19. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το ARTINA A-Loaded

Μοντέλα	R^2_{Mean}	R^2_{OvsP}	S
M1	.	.	.
M2	0.148	0.148	0.147
M3	0.134	0.134	0.149

Το M3 σε σύγκριση με το M2 (Σχήμα 4.73) φαίνεται να έχει καλύτερη μορφή, χωρίς να διαφέρει ιδιαίτερα στην προσαρμογή (Πίνακας 4.19).



Σχήμα 4.73 Διάγραμμα του μοντέλου M2 στο ARTINA A- Loaded

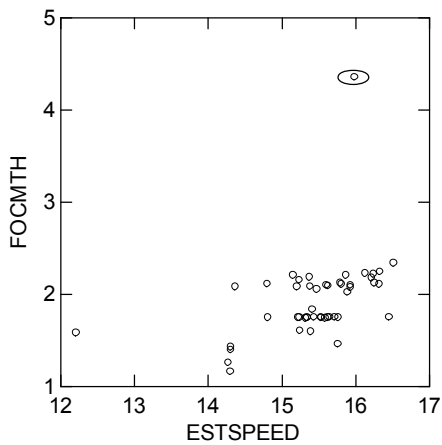


Σχήμα 4.74 Διάγραμμα του μοντέλου M3 στο ARTINA A- Loaded

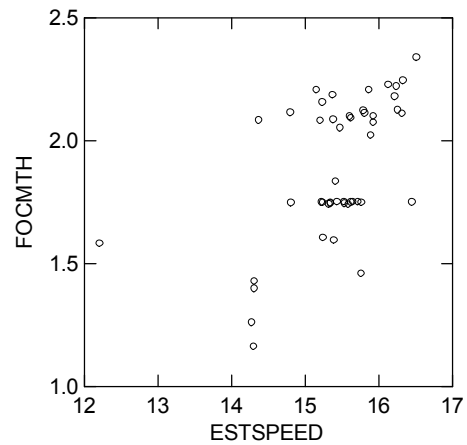
AFRAMAX 1

- Ballast

Έγινε επιλογή σημείων και εξαιρείται από την ανάλυση το σημείο που σημειώνεται με έλλειψη, αφού φαίνεται να διαφέρει από την κατανομή των υπολοίπων.



Σχήμα 4.75 Αρχικά σημεία του AFRAMAX 1-Ballast



Σχήμα 4.76 Επιλεγμένα σημεία του AFRAMAX 1-Ballast

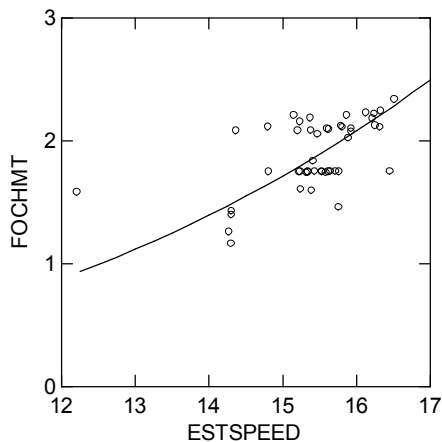
Βέβαια, παρατηρούμε στο Σχήμα 4.76 ότι στο συγκεκριμένο πλοίο ορισμένα σημεία δεν ακολουθούν την αναμενόμενη κατανομή, αφού για διαφορετικές ταχύτητες έχουν σταθερή κατανάλωση ή για την ίδια ταχύτητα παρατηρούνται διαφορετικές καταναλώσεις.

Μοντέλο M1:

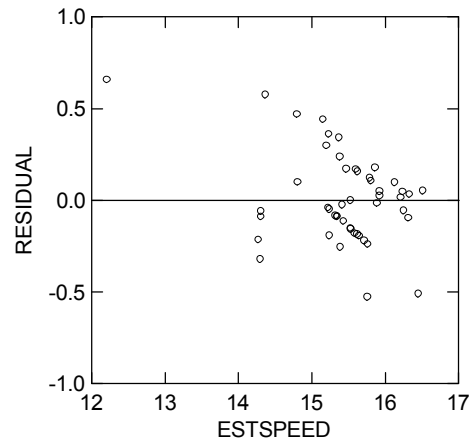
$$FOCHMT = b_1 \times ESTSPEED^3$$

Πίνακας 4.20. . Τιμές των παραμέτρων μοντέλου M1 στα δεδομένα του AFRAMAX 1-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b_1	0.00051	0.00049	0.00053



Σχήμα 4.77 Προσαρμογή του μοντέλου M1 στα δεδομένα του AFRAMAX 1-Ballast



Σχήμα 4.78 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του AFRAMAX 1-Ballast

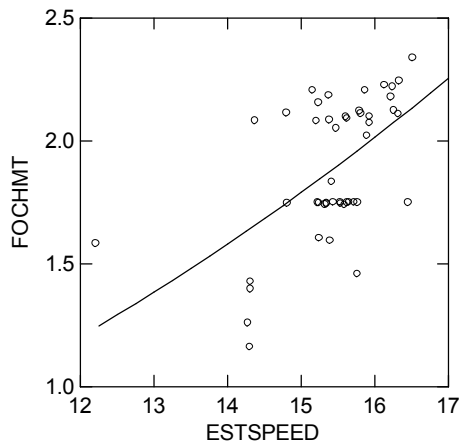
Βλέπουμε στο Σχήμα 4.78 ότι η κατανομή των υπολοίπων δεν είναι τυχαία, καθώς ομάδες σημείων φαίνεται να σχηματίζουν ευθείες γραμμές, κάτι που είναι, βέβαια, αποτέλεσμα της μη φυσιολογικής κατανομής του Σχήματος 4.76. Παρόμοια κατανομή υπολοίπων αναμένεται να έχουν και τα άλλα δύο μοντέλα.

Μοντέλο M2:

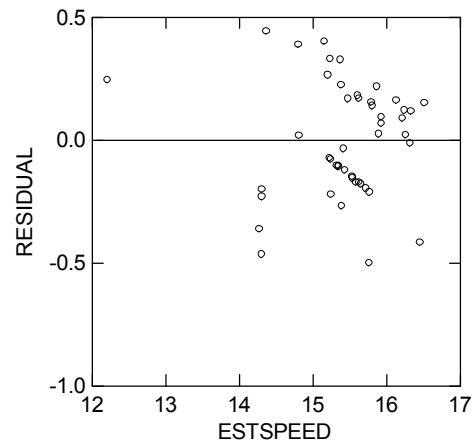
$$FOCHMT = b_0 + b_1 \times ESTSPEED^{b_2}$$

Πίνακας 4.21. Τιμές των παραμέτρων μοντέλου M2 στα δεδομένα του AFRAMAX 1-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	0.00683	0.00384	0.00981
b ₂	2.01879	.	.
b ₀	0.17400	-0.58230	0.93030



Σχήμα 4.79 Προσαρμογή του μοντέλου M2 στα δεδομένα του AFRAMAX 1-Ballast

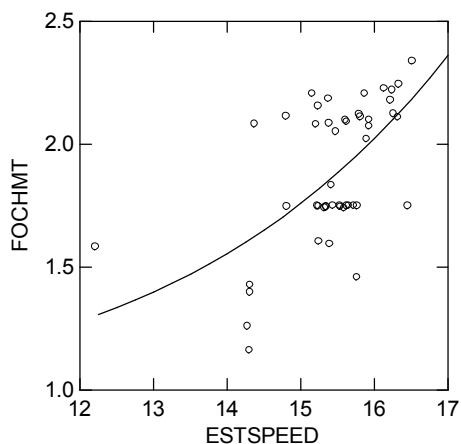


Σχήμα 4.80 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του AFRAMAX 1-Ballast

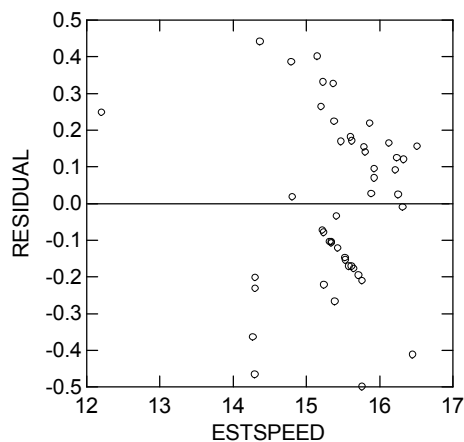
Μοντέλο M3:
$$FOCHMT = \frac{b_1 \times b_2^3 \times ESTSPEED^{3 \times b_3}}{P_{\max}^2} + \frac{b_4 \times b_2^2 \times ESTSPEED^{2 \times b_3}}{P_{\max}} + b_0 \times b_2 \times ESTSPEED^{b_3}$$

Πίνακας 4.22. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του AFRAMAX 1-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	7.58785E+07	5.36469E+07	9.81102E+07
b ₂	0.10200	.	.
b ₃	1.18633	1.06571	1.30694
b ₄	-16622.84231	.	.
b ₀	1.56391	.	.



Σχήμα 4.81 Προσαρμογή του μοντέλου M3 στα δεδομένα του AFRAMAX 1-Ballast

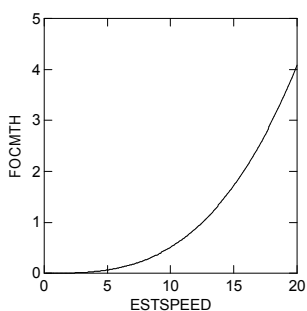


Σχήμα 4.82 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του AFRAMAX 1-Ballast

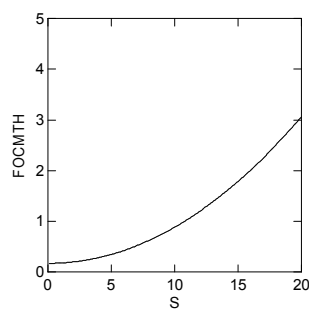
Πίνακας 4.23. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το AFRAMAX 1-Ballast

Μοντέλα	R^2_{Mean}	R^2_{OvsP}	S
M1	0.229	0.327	0.249
M2	0.318	0.318	0.237
M3	0.338	0.338	0.233

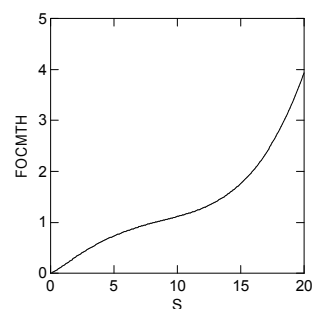
Ο πίνακας 4.23 μας δείχνει ότι τα μοντέλα M2, M3 ξεχωρίζουν. Ωστόσο, στο Σχήμα 4.85 παρατηρούμε ότι το μοντέλο M3 δεν μπορεί να περιγράψει το ίδιο πιστά τη συνάρτηση σε χαμηλές τιμές της ταχύτητας, γιατί στρέφει τα κοίλα προς τα κάτω.



Σχήμα 4.83 Διάγραμμα του M1 στο AFRAMAX 1-Ballast



Σχήμα 4.84 Διάγραμμα του M2 στο AFRAMAX 1-Ballast



Σχήμα 4.85 Διάγραμμα του M3 στο AFRAMAX 1-Ballast

- Loaded

Μοντέλο M1:

$$FOCHMT = b_1 \times ESTSPEED^3$$

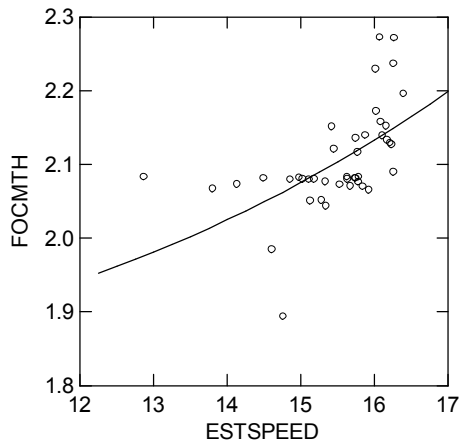
Δεν έγινε δυνατή η προσαρμογή του μοντέλου M1 στα σημεία του AFRAMAX 1-Loaded, λόγω μεγάλης διασποράς.

Μοντέλο M2:

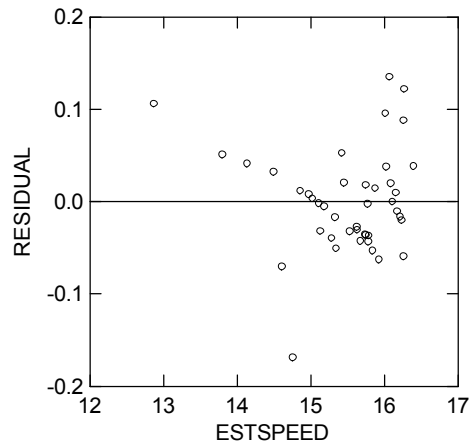
$$FOCHMT = b_0 + b_1 \times ESTSPEED^{b_2}$$

Πίνακας 4.24. Τιμές των παραμέτρων μοντέλου M2 στα δεδομένα του AFRAMAX 1-Loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	0.00007	.	.
b ₂	3.03202	2.88249	3.18154
b ₀	1.80809	1.68566	1.93052



Σχήμα 4.86 Προσαρμογή του μοντέλου M2 στα δεδομένα του AFRAMAX 1-Loaded



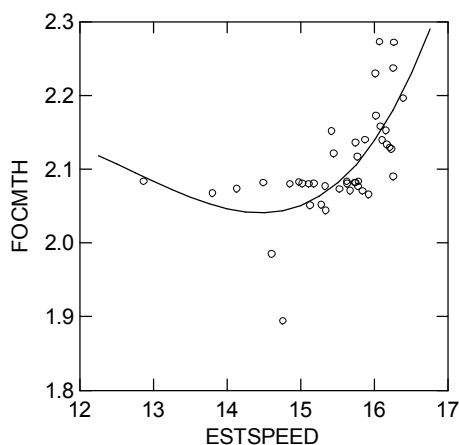
Σχήμα 4.87 Διάγραμμα των υπολοίπων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του AFRAMAX 1-Loaded του

Τόσο στο Σχήμα 4.86 όσο και στο διάγραμμα των υπολοίπων του Σχήματος 4.87 παρατηρούμε πάλι μη φυσιολογικές και όχι τυχαίες, αντίστοιχα, κατανομές σημείων, κάτι που δεν είναι περίεργο αφού προέρχονται από μετρήσεις του ίδιου πλοίου και κατά πάσα πιθανότητα, όπως και στην κατάσταση ballast, κάτω από παρόμοιες συνθήκες.

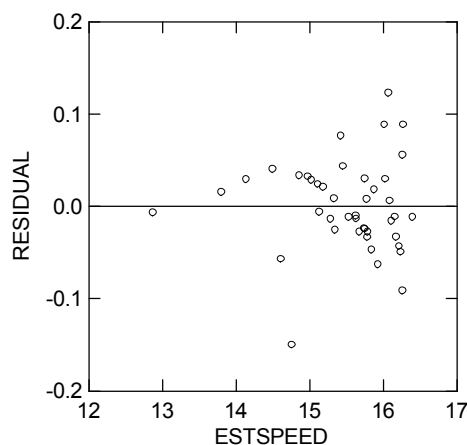
Μοντέλο M3:
$$FOCHMT = \frac{b_1 \times b_2^3 \times ESTSPEED^{3 \times b_2}}{P_{\max}^2} + \frac{b_4 \times b_2^2 \times ESTSPEED^{2 \times b_2}}{P_{\max}} + b_0 \times b_2 \times ESTSPEED^{b_2}$$

Πίνακας 4.25. Τιμές των παραμέτρων μοντέλου M3 στα δεδομένα του AFRAMAX 1-Loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	1.37323E+06	7.50936E+05	1.99552E+06
b ₂	0.16186	-1.01586	1.33958
b ₃	1.56749	-0.83578	3.97076
b ₄	-1875.42604	.	.
b ₀	0.81041	0.61921	1.00161



Σχήμα 4.88 Προσαρμογή του μοντέλου M3 στα δεδομένα του AFRAMAX 1-Loaded



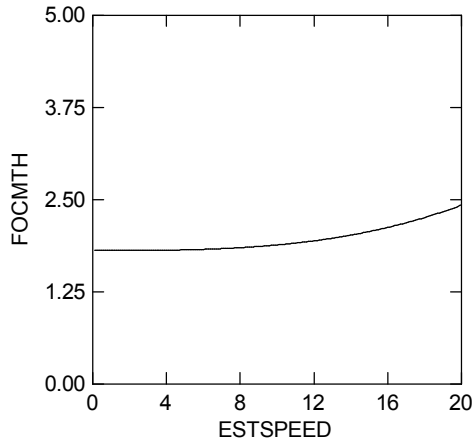
Σχήμα 4.89 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του AFRAMAX 1-Loaded

Εδώ φαίνεται ότι το σημείο [12.86812, 2.08292] στην αριστερή περιοχή του γραφήματος του Σχήματος 4.88 επηρεάζει πολύ την μορφή της καμπύλης, τραβώντας τη προς τη μεριά του, κάτι που δε συνέβη στο μοντέλο M2, το οποίο έχει λιγότερες παραμέτρους, άρα επηρεάζεται λιγότερο από την κατανομή των σημείων.

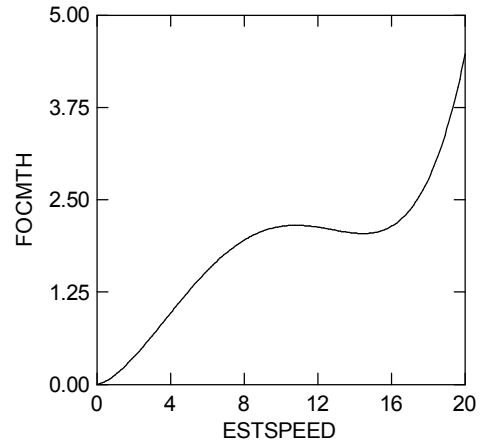
Πίνακας 4.26. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το AFRAMAX 1-Loaded

Μοντέλα	R ² _{Mean}	R ² _{OvsP}	S
M1	.	.	.
M2	0.325	0.325	0.057
M3	0.488	0.488	0.051

Εδώ φαίνεται καλύτερο το M2, γιατί δεν στρέφει τα κοίλα προς τα κάτω όπως κάνει το M3 στην περιοχή των 10 κόμβων (Σχήματα 4.90 και 4.91). Όμως το M3 έχει καλύτερους συντελεστές αποφασιστικότητας.



Σχήμα 4.90 Διάγραμμα του M2 στο AFRAMAX 1-Loaded



Σχήμα 4.91 Διάγραμμα του M3 στο AFRAMAX 1-Loaded

AFRAMAX 2

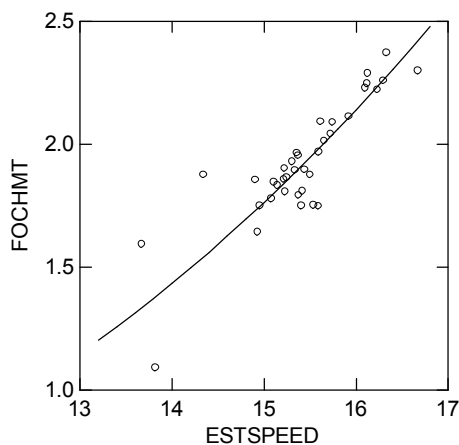
- Ballast

Μοντέλο M1:

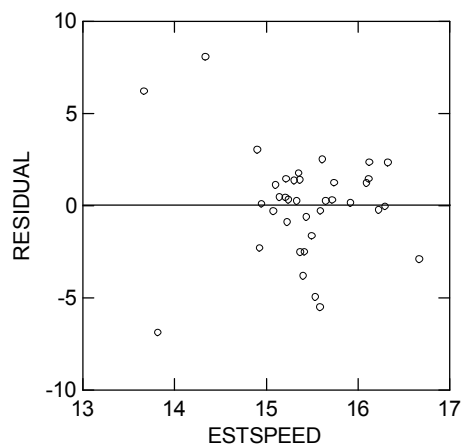
$$FOCHMT = b_1 \times ESTSPEED^3$$

Πίνακας 4.27. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του AFRAMAX 2-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	0.00052	0.00051	0.00053



Σχήμα 4.92 Προσαρμογή του μοντέλου M1 στα δεδομένα του AFRAMAX 2-Ballast



Σχήμα 4.93 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του AFRAMAX 2-Ballast

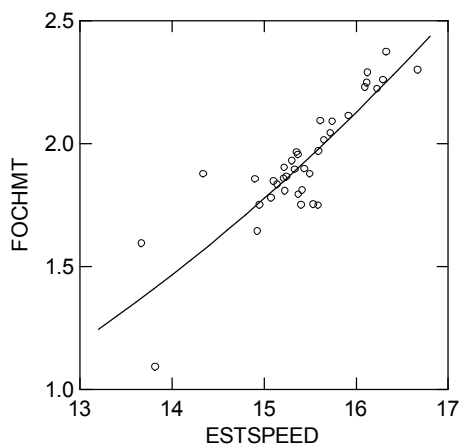
Εδώ τα σημεία του διαγράμματος ταχύτητας-κατανάλωσης δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερη διασπορά, παρά μόνο στις χαμηλές ταχύτητες, κάτι που σίγουρα σημαίνει καλύτερη προσαρμογή και για τα τρία μοντέλα.

Μοντέλο M2:

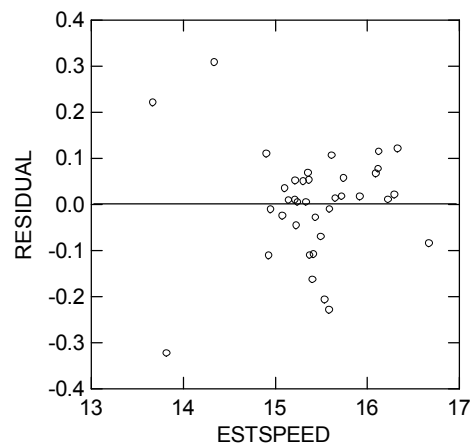
$$FOCHMT = b_0 + b_1 \times ESTSPEED^{b_2}$$

Πίνακας 4.28. Τιμές των παραμέτρων μοντέλου M2 στα δεδομένα του AFRAMAX 2-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	0.00048	.	.
b ₂	3.00254	2.93961	3.06548
b ₀	0.13334	-0.17816	0.44484



Σχήμα 4.94 Προσαρμογή του μοντέλου M2 στα δεδομένα του AFRAMAX 2-Ballast

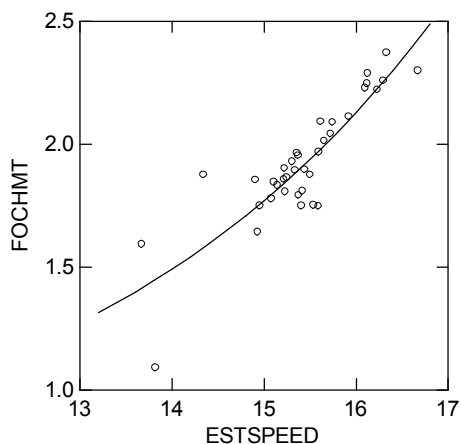


Σχήμα 4.95 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του AFRAMAX 2-Ballast

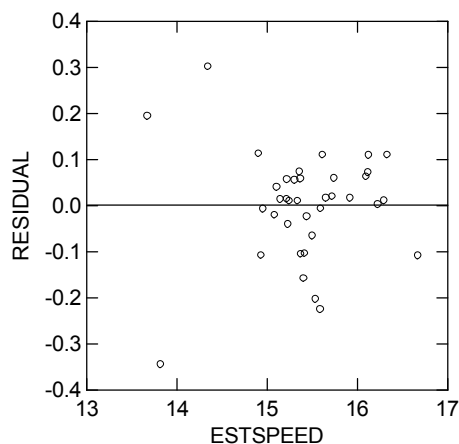
Μοντέλο M3:
$$FOCHMT = \frac{b_1 \times b_2^3 \times ESTSPEED^{3 \times b_3}}{P_{\max}^2} + \frac{b_4 \times b_2^2 \times ESTSPEED^{2 \times b_3}}{P_{\max}} + b_0 \times b_2 \times ESTSPEED^{b_3}$$

Πίνακας 4.29. Τιμές των παραμέτρων μοντέλου M3 στα δεδομένα του AFRAMAX 2-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	3.14232E+05	-1.08987E+07	1.15272E+07
b ₂	0.20056	-25.52154	25.92265
b ₃	1.54423	-35.21073	38.29919
b ₄	-289.15968	.	.
b ₀	0.18500	-2.24326	2.61327



Σχήμα 4.96 Προσαρμογή του μοντέλου M3 στα δεδομένα του AFRAMAX 2-Ballast

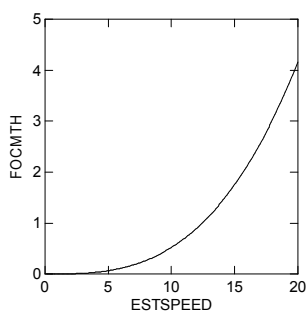


Σχήμα 4.97 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του AFRAMAX 2-Ballast

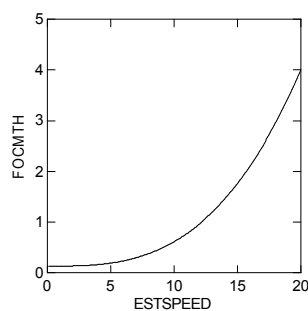
Πίνακας 4.30. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το AFRAMAX 2-Ballast

Μοντέλα	R^2_{Mean}	R^2_{OvsP}	S
M1	0.756	0.760	0.118
M2	0.760	0.760	0.120
M3	0.763	0.763	0.123

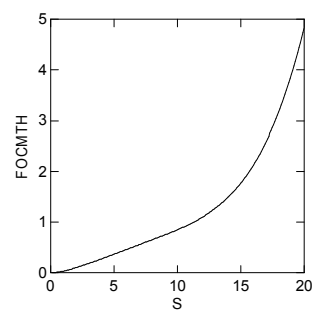
Όπως αναμενόταν, στον Πίνακα 4.30 τα R^2 είναι αρκετά υψηλά. Το μοντέλο M3 έχει την καλύτερη προσαρμογή, όμως το M2 αυξάνει πιο ομαλά (Σήματα 4.98, 4.99, 4.100), αν και υπάρχουν λύσεις για το M3 με ελάχιστα μικρότερα R^2 και καλύτερες μορφές καμπύλης.



Σχήμα 4.98 Διάγραμμα του μοντέλου M1 για το AFRAMAX 2-Ballast



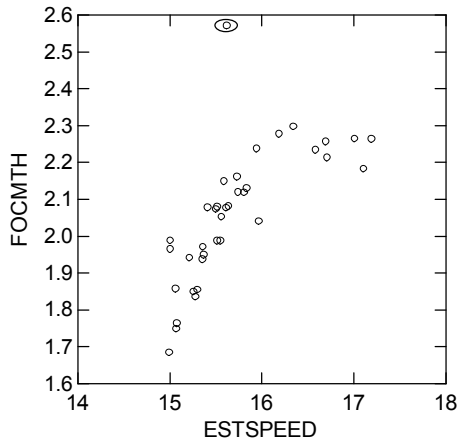
Σχήμα 4.99 Διάγραμμα του μοντέλου M2 για το AFRAMAX 2-Ballast



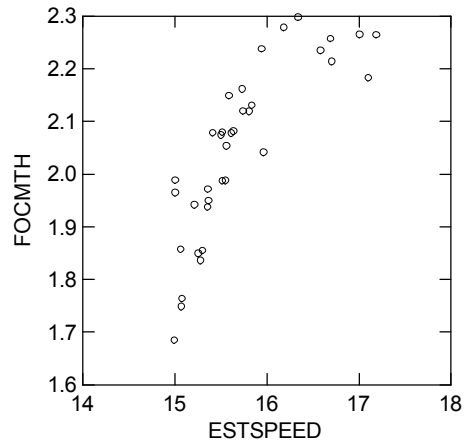
Σχήμα 4.100 Διάγραμμα του μοντέλου M1 για το AFRAMAX 2-Ballast

- Loaded

Έγινε επιλογή σημείων και αφαιρέθηκε το σημείο με την έλλειψη στο Σχήμα 4.101. Πάντως, η κατανομή των εναπομεινάντων σημείων στο Σχήμα 4.102 είναι τέτοια που αναμένεται να επηρεάσει αρνητικά τα αποτελέσματα.



Σχήμα 4.101 Αρχικά σημεία του AFRAMAX 2-Loaded



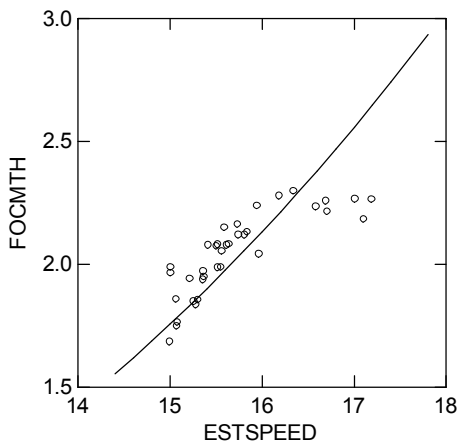
Σχήμα 4.102 Τελικά σημεία του AFRAMAX 2-Loaded

Μοντέλο M1:

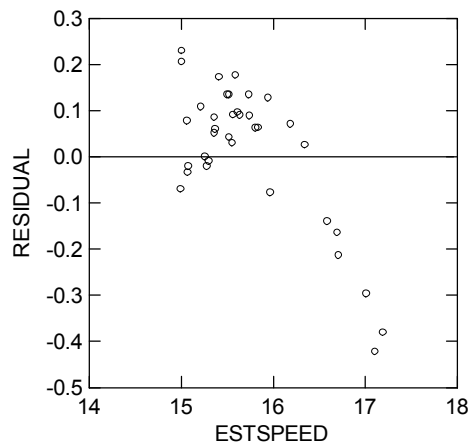
$$FOCHMT = b_1 \times ESTSPEED^3$$

Πίνακας 4.31. Τιμές των παραμέτρων μοντέλου M1 στα δεδομένα του AFRAMAX 2-Loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b_1	0.00052	0.00051	0.00053



Σχήμα 4.103 Προσαρμογή του μοντέλου M1 στα δεδομένα του AFRAMAX 2-Loaded



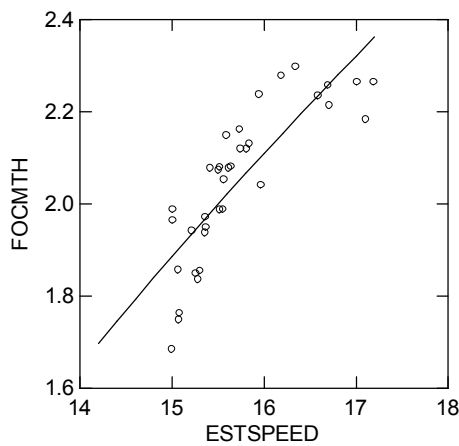
Σχήμα 4.104 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του AFRAMAX 2-Loaded

Μοντέλο M2:

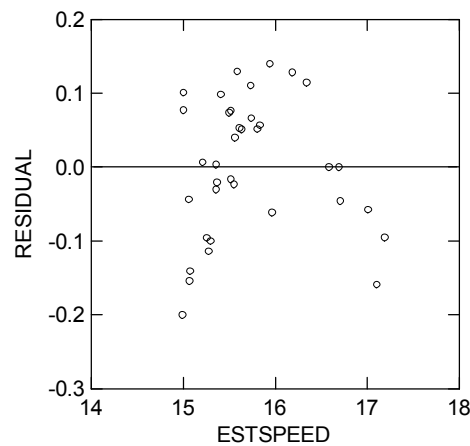
$$FOCHMT = b_0 + b_1 \times ESTSPEED^{b_2}$$

Πίνακας 4.32. Τιμές των παραμέτρων μοντέλου M2 στα δεδομένα του AFRAMAX 2-Loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	26.50674	.	.
b ₂	0.09946	0.08091	0.11801
b ₀	-32.81391	-34.59539	-31.03244



Σχήμα 4.105 Προσαρμογή του μοντέλου M2 στα δεδομένα του AFRAMAX 2-Loaded



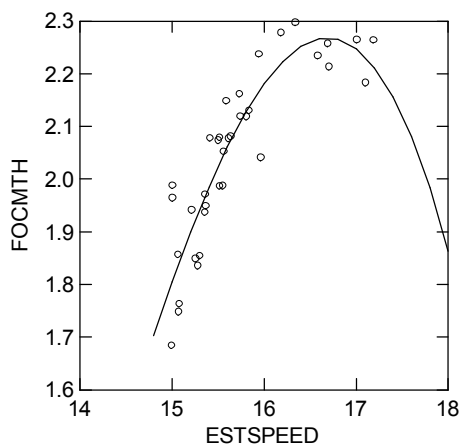
Σχήμα 4.106 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του AFRAMAX 2-Loaded

Βλέπουμε στο Σχήμα 4.105 ότι η καμπύλη στρέφει τα κοίλα προς τα κάτω. Ωστόσο, κατά τη διαδικασία εκτέλεσης της μη-γραμμικής παλινδρόμησης παρατηρήθηκε ότι αυξανόμενης της αρχικής τιμής του b₂ ξεκινώντας από τιμές κοντά στο 0, τα κοίλα ξεκινώντας από κάτω, στις χαμηλές τιμές, στρέφονταν προς τα πάνω με πολύ μικρές αλλαγές στα R² και στο S, δηλαδή η μορφή της καμπύλης βελτιωνόταν.

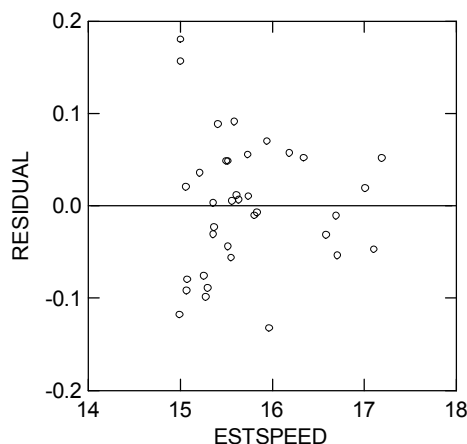
Μοντέλο M3:
$$FOCHMT = \frac{b_1 \times b_2^3 \times ESTSPEED^{3 \times b_3}}{P_{\max}^2} + \frac{b_4 \times b_2^2 \times ESTSPEED^{2 \times b_3}}{P_{\max}} + b_0 \times b_2 \times ESTSPEED^{b_3}$$

Πίνακας 4.33. Τιμές των παραμέτρων μοντέλου M3 στα δεδομένα του AFRAMAX 2-Loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	63361.80899	.	.
b ₂	-0.60256	-11.73715	10.53202
b ₃	1.56358	-4.19081	7.31796
b ₄	307.87331	523.32884	1139.07547
b ₀	0.32654	-1.81159	2.46467



Σχήμα 4.107 Προσαρμογή του μοντέλου M3 στα δεδομένα του AFRAMAX 2-Loaded



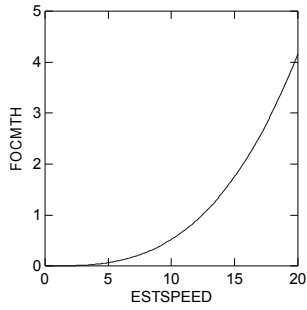
Σχήμα 4.108 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του AFRAMAX 2-Loaded

Η μορφή της καμπύλης του Σχήματος 4.107, η οποία αντιστοιχεί στη βέλτιστη λύση του προβλήματος της μη-γραμμικής παλινδρόμησης, δεν είναι φυσιολογική και αυτό οφείλεται στα σημεία πάνω δεξιά, που επηρεάζουν πολύ αυτή τη μορφή και τραβούν την καμπύλη προς το μέρος τους. Υπάρχουν και άλλα τοπικά ελάχιστα με καλύτερη μορφή, χωρίς να στρέφονται τα κοίλα προς τα κάτω, που διαφέρουν όμως αρκετά στα R^2 και λιγότερο στο S.

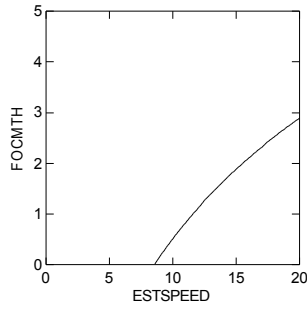
Πίνακας 4.34. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το AFRAMAX 2-Loaded

Μοντέλα	R^2_{Mean}	R^2_{OvsP}	S
M1	0.116	0.648	0.153
M2	0.682	0.682	0.096
M3	0.807	0.807	0.075

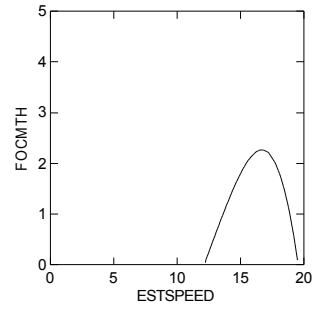
Κοιτώντας τα Σχήματα 4.109, 4.110, 4.111 σε σχέση και με τα νούμερα του Πίνακα 4.34, το συμπέρασμα είναι σαφές: Επειδή η διασπορά των σημείων του διαγράμματος κατανάλωσης-ταχύτητας είναι τέτοια (Σχήμα 4.102), τα μοντέλα με την καλύτερη προσαρμογή, δηλαδή τα M2 και M3, ακολουθούν αυτή τη διασπορά και παρουσιάζουν ανάλογη εικόνα, σύμφωνα με την οποία δεν μπορούν να περιγράψουν τη σχέση κατανάλωσης-ταχύτητας, αφού δίνουν αρνητικές τιμές σε κάποιες περιοχές ταχύτητας ή παρουσιάζουν φθίνουσα συνάρτηση σε άλλες.



Σχήμα 4.109 Μοντέλο M1 για το AFRAMAX 2-Loaded



Σχήμα 4.110 Μοντέλο M2 για το AFRAMAX 2-Loaded



Σχήμα 4.111 Μοντέλο M3 για το AFRAMAX 2-Loaded

AFRAMAX 4

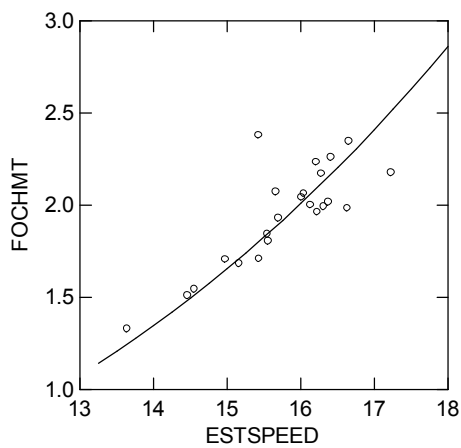
- Ballast

Μοντέλο M1:

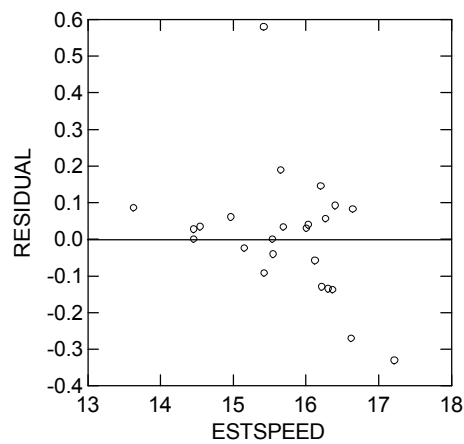
$$FOCHMT = b_1 \times ESTSPEED^3$$

Πίνακας 4.35. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του AFRAMAX 4-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95% >	Upper
b_1	0.00049	0.00047	0.00051



Σχήμα 4.112 Προσαρμογή του μοντέλου M1 στα δεδομένα του AFRAMAX 4-Ballast



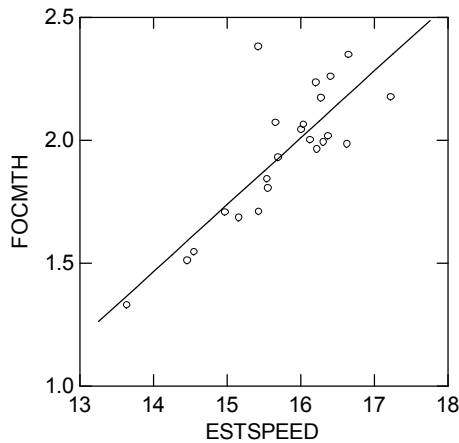
Σχήμα 4.113 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του AFRAMAX 4-Ballast

Μοντέλο M2:

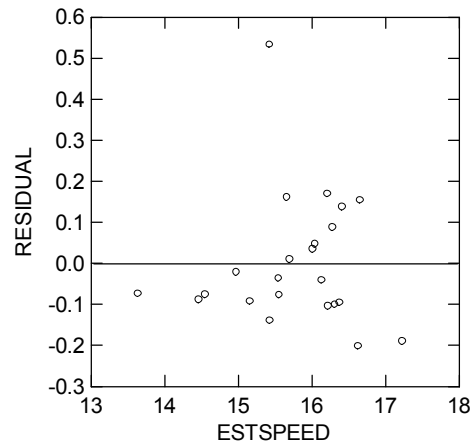
$$FOCHMT = b_0 + b_1 \times ESTSPEED^{b_2}$$

Πίνακας 4.36. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του AFRAMAX 4-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	0.00899	0.00607	0.01192
b ₂	1.99127	.	.
b ₀	-0.24101	-0.95448	0.47247



Σχήμα 4.114 Προσαρμογή του μοντέλου M2 στα δεδομένα του AFRAMAX 4-Ballast

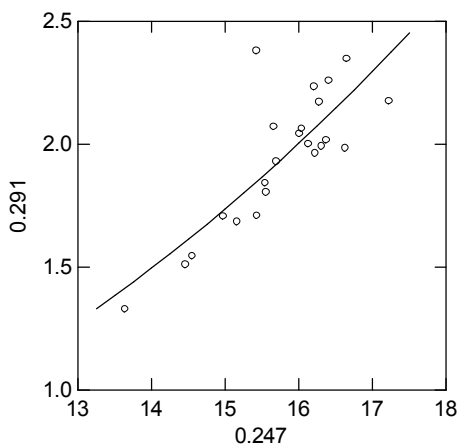


Σχήμα 4.115 Διάγραμμα των υπολοίπων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του AFRAMAX 4-Ballast

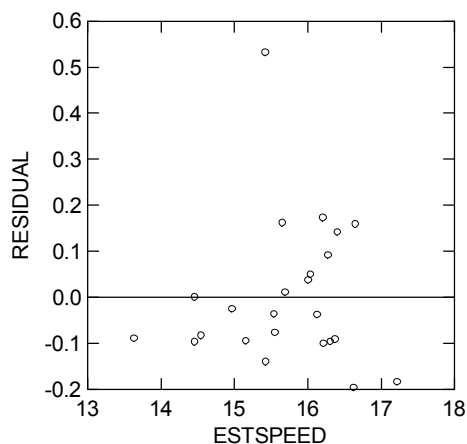
Μοντέλο 3:
$$FOCHMT = \frac{b_1 \times b_2^3 \times ESTSPEED^{3 \times b_3}}{P_{\max}^2} + \frac{b_4 \times b_2^2 \times ESTSPEED^{2 \times b_3}}{P_{\max}} + b_0 \times b_2 \times ESTSPEED^{b_3}$$

Πίνακας 4.37. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του AFRAMAX 4-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	1.01552E+08	1.91444E+07	1.83959E+08
b ₂	0.10200	.	.
b ₃	0.97825	.	.
b ₄	4415.06067	.	.
b ₀	0.29144	-0.22163	0.80450



Σχήμα 4.116 Προσαρμογή του μοντέλου M3 στα δεδομένα του AFRAMAX 4-Ballast



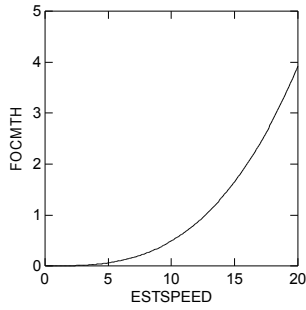
Σχήμα 4.117 Διάγραμμα των υπολοίπων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του AFRAMAX 4-Ballast

Τα δεδομένα του AFRAMAX 4-Ballast παρουσιάζουν μεγαλύτερη διασπορά στις υψηλές ταχύτητες και αυτό αντανακλάται και στα διαγράμματα υπολοίπων και των τριών μοντέλων, όπου βλέπουμε μη τυχαίες κατανομές στις ταχύτητες αυτές. Πάντως, για κάποιες καλύτερες λύσεις από αυτές του Πίνακα 4.38 για τα M2 και M3, με μικρές διαφορές βέβαια στους συντελεστές αποφασιστικότητας, το M3 είναι λίγο περισσότερο κοντά στα δεδομένα από ότι το M2, ενώ οι μορφές και των δύο καμπυλών δεν είναι πλέον ρεαλιστικές.

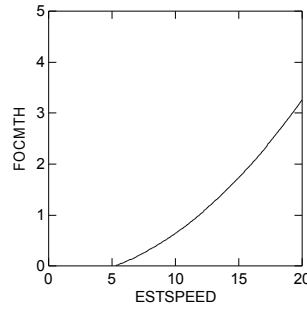
Πίνακας 4.38. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το AFRAMAX 4-Ballast

Μοντέλα	R^2_{Mean}	R^2_{OvsP}	S
M1	0.583	0.650	0.176
M2	0.662	0.662	0.162
M3	0.656	0.657	0.163

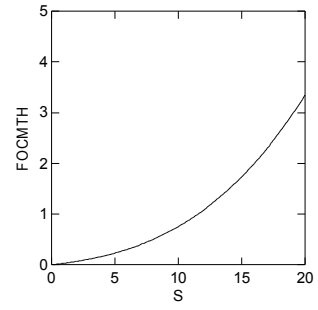
Εδώ τα δεδομένα μας είναι καλύτερα όπως φαίνεται στα Σχήματα 4.118, 4.119 και 4.120. Έτσι, όλα τα μοντέλα έχουν παρόμοια εικόνα. Το M1 χάνει ελαφρά στην προσαρμογή, ενώ το M2 έχει μικρότερη κλίση (Σχήμα 4.119). Το M3 εδώ έχει την καλύτερη εικόνα.



Σχήμα 4.118 Διάγραμμα του μοντέλου M1 για το AFRAMAX 4-Ballast



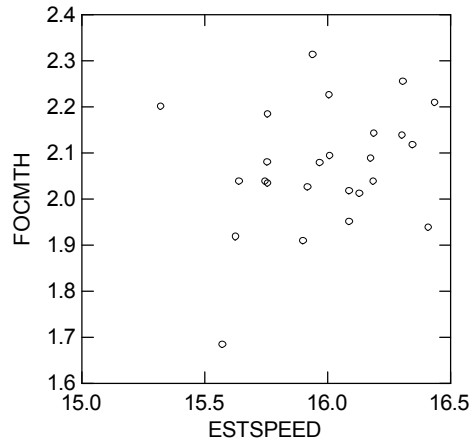
Σχήμα 4.119 Διάγραμμα του μοντέλου M2 για το AFRAMAX 4-Ballast



Σχήμα 4.120 Διάγραμμα του μοντέλου M3 για το AFRAMAX 4-Ballast

- Loaded

Τα δεδομένα φαίνονται πολύ διεσπαρμένα στο Σχήμα 4.121, αλλά αυτό οφείλεται και στο μικρό διάστημα μέσα στο οποίο βρίσκονται οι μετρήσεις.



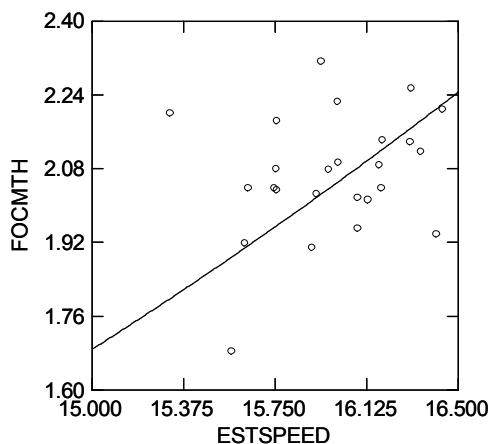
Σχήμα 4.121 Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων του AFRAMAX 4-Ballast

Μοντέλο M1:

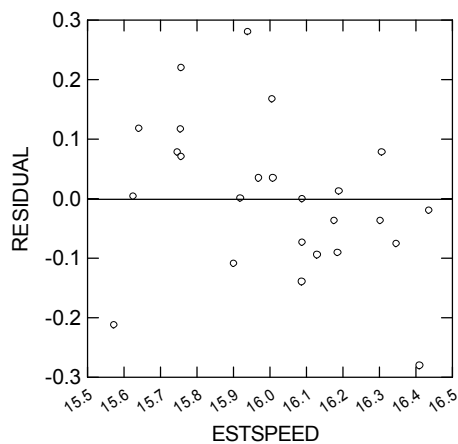
$$FOCHMT = b_1 \times ESTSPEED^3$$

Πίνακας 4.39. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του AFRAMAX 4-Loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95% >	Upper
b_1	0.00050	0.00049	0.00052



Σχήμα 4.122 Προσαρμογή του μοντέλου M1 στα δεδομένα του AFRAMAX 4-Loaded



Σχήμα 4.123 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του AFRAMAX 4-Loaded

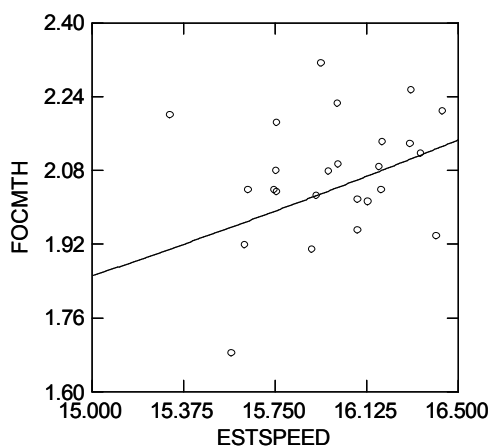
Τα σημεία απέχουν πολύ από την καμπύλη, αλλά στο διάγραμμα υπολοίπων η κατανομή είναι αρκετά τυχαία και το ίδιο αναμένεται και στα άλλα δύο μοντέλα.

Μοντέλο M2:

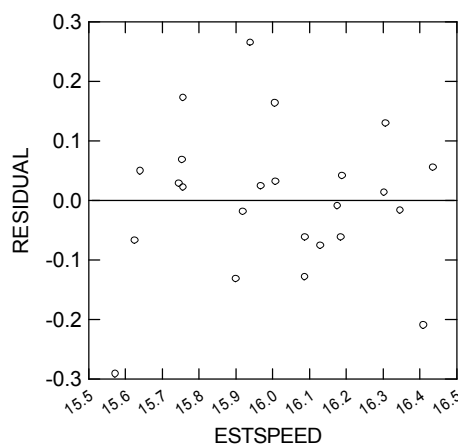
$$FOCHMT = b_0 + b_1 \times ESTSPEED^{b_2}$$

Πίνακας 4.40. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του AFRAMAX 4-Loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	0.00027	-0.00000	0.00055
b ₂	2.99304	.	.
b ₀	0.95668	-0.16605	2.07941



Σχήμα 4.124 Προσαρμογή του μοντέλου M2 στα δεδομένα του AFRAMAX 4-Loaded

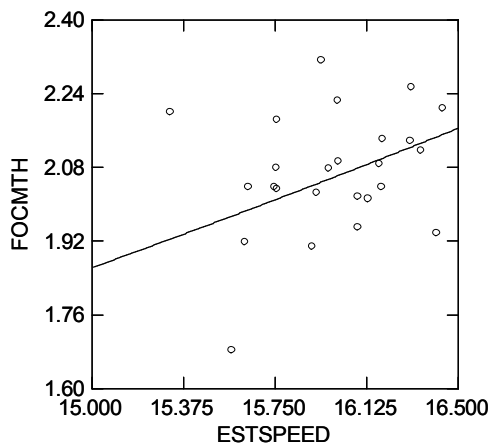


Σχήμα 4.125 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του AFRAMAX 4-Loaded

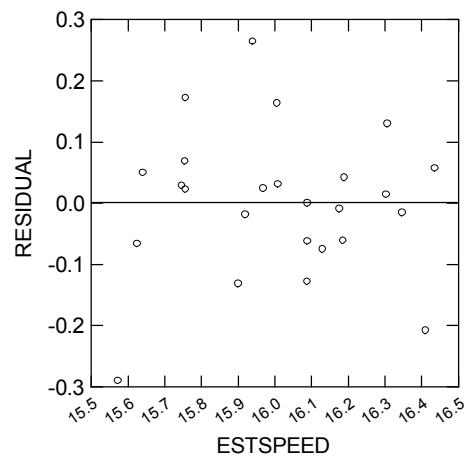
$$\text{Μοντέλο M3: } FOC_{HMT} = \frac{b_1 \times b_2^3 \times ESTSPEED^{3 \times b_3}}{P_{\max}^2} + \frac{b_4 \times b_2^2 \times ESTSPEED^{2 \times b_3}}{P_{\max}} + b_0 \times b_2 \times ESTSPEED^{b_3}$$

Πίνακας 4.41. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του AFRAMAX 4-Loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval Lower < 95% > Upper	
b ₁	3.68634E+07	.	.
b ₂	0.10200	.	.
b ₃	1.03000	.	.
b ₄	0.16198	-310.34042	310.66439
b ₀	0.84389	.	.



Σχήμα 4.126 Προσαρμογή του μοντέλου M3 στα δεδομένα του AFRAMAX 4-Loaded



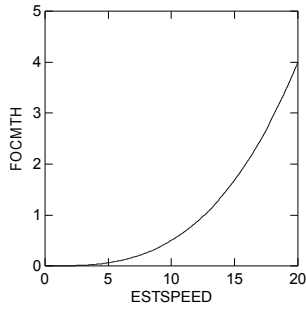
Σχήμα 4.127 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του AFRAMAX 4-Loaded

Τα δύο τελευταία μοντέλα έχουν παρόμοια μορφή και διαφορετική από αυτή του M1 στην περιοχή των δεδομένων μας, κάτι που συμβαίνει σε όλα σχεδόν τα πλοία.

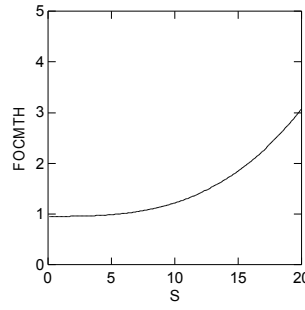
Πίνακας 4.42. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το AFRAMAX 4-Loaded

Μοντέλα	R ² _{Mean}	R ² _{OvsP}	S
M1	0.039	0.160	0.130
M2	0.160	0.160	0.124
M3	0.161	0.161	0.121

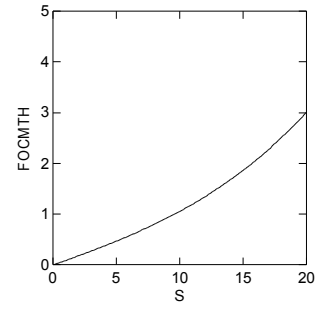
Το M2 στις χαμηλές ταχύτητες δεν είναι φυσιολογικό (Σχήμα 4.129), αφού για ESTSPEED=0 δίνει FOC_{HMT}=0.95668, ενώ το M1 είναι πίσω στην προσαρμογή. Έτσι, το M3 περνάει από την αρχή, αλλά, δεν είναι το ίδιο καμπύλο σε όλο το διάστημα των ταχυτήτων.



Σχήμα 4.128 Διάγραμμα του μοντέλου M1 για το AFRAMAX 4-Loaded



Σχήμα 4.129 Διάγραμμα του μοντέλου M2 για το AFRAMAX 4-Loaded



Σχήμα 4.130 Διάγραμμα του μοντέλου M3 για το AFRAMAX 4-Loaded

AFRAMAX 5

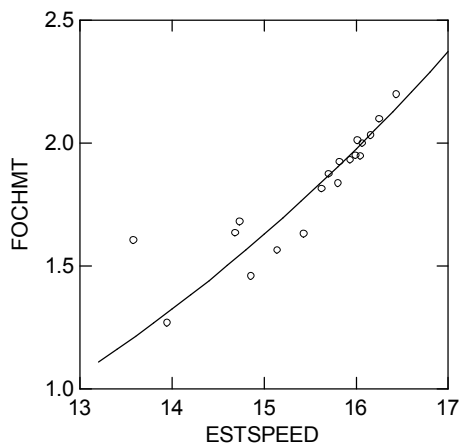
- Ballast

Μοντέλο M1:

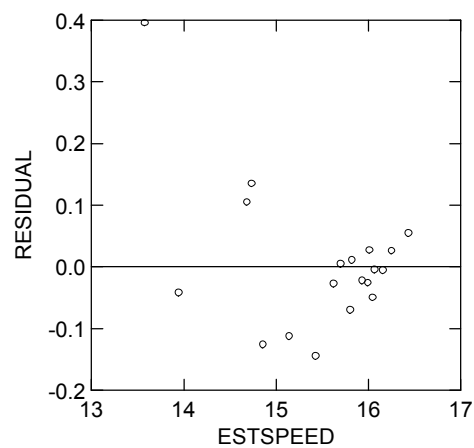
$$FOCHMT = b_1 \times ESTSPEED^3$$

Πίνακας 4.43. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του AFRAMAX 5-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95% >	Upper
b_1	0.00048	0.00047	0.00050



Σχήμα 4.131 Προσαρμογή του μοντέλου M1 στα δεδομένα του AFRAMAX 5-Ballast



Σχήμα 4.132 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του AFRAMAX 5-Ballast

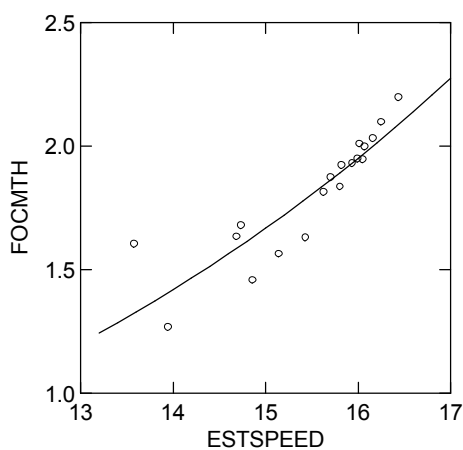
Πάλι η διασπορά των σημείων είναι μεγαλύτερη στις χαμηλές ταχύτητες.

Μοντέλο M2:

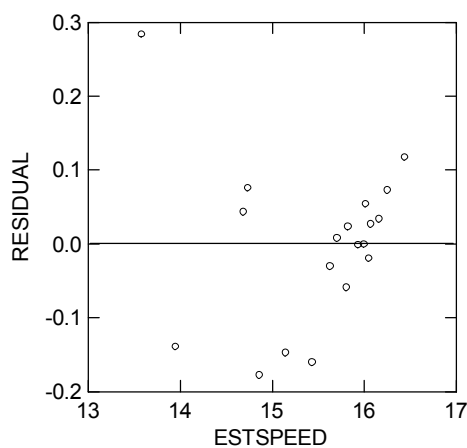
$$FOCHMT = b_0 + b_1 \times ESTSPEED^{b_2}$$

Πίνακας 4.44. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του AFRAMAX 5-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	0.00038	.	.
b ₂	3.01080	2.92648	3.09513
b ₀	0.34029	-0.00376	0.68434



Σχήμα 4.133 Προσαρμογή του μοντέλου M2 στα δεδομένα του AFRAMAX 5-Ballast

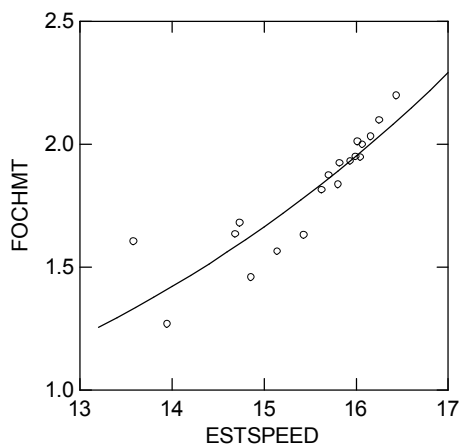


Σχήμα 4.134 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του AFRAMAX 5-Ballast

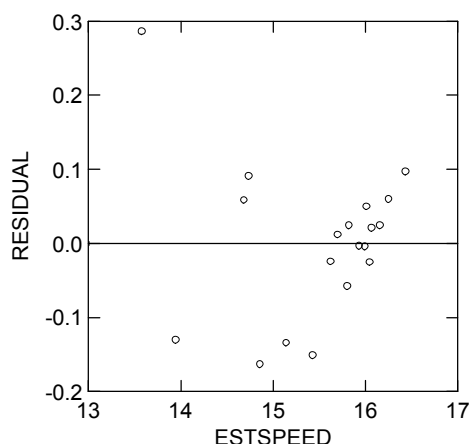
Μοντέλο M3:
$$FOCHMT = \frac{b_1 \times b_2^3 \times ESTSPEED^{3 \times b_3}}{P_{\max}^2} + \frac{b_4 \times b_2^2 \times ESTSPEED^{2 \times b_3}}{P_{\max}} + b_0 \times b_2 \times ESTSPEED^{b_3}$$

Πίνακας 4.45. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του AFRAMAX 5-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	1.26975E+05	.	.
b ₂	1.00000	.	.
b ₃	1.07638	.	.
b ₄	-131.61996	-184.01305	-79.22688
b ₀	0.09886	0.04518	0.15255



Σχήμα 4.135 Προσαρμογή του μοντέλου M3 στα δεδομένα του AFRAMAX 5-Ballast



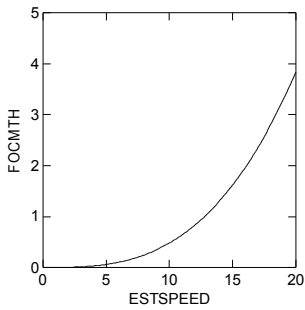
Σχήμα 4.136 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του AFRAMAX 5-Ballast

Παρ' όλο που τα δεδομένα μας είναι συγκεντρωμένα παρατηρούμε στο διάγραμμα υπολοίπων και των τριών μοντέλων, μια μη τυχαία κατανομή των υπολοίπων κοντά τους 16 κόμβους, καθώς και οι τρεις καμπύλες αφήνουν τα τελευταία σημεία από πάνω τους.

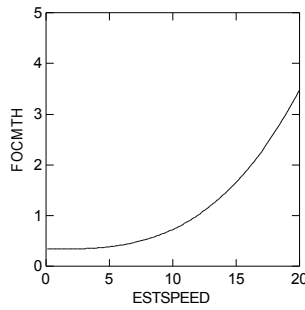
Πίνακας 4.46. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το AFRAMAX 5-Ballast

Μοντέλα	R^2_{Mean}	R^2_{OvsP}	S
M1	0.757	0.798	0.118
M2	0.798	0.798	0.110
M3	0.806	0.806	0.108

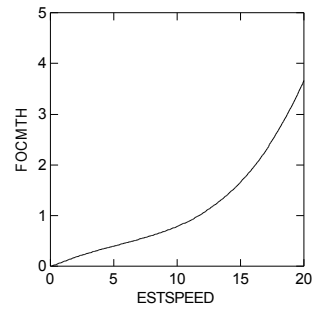
Το M3 υπερέχει ελαφρά όσον αφορά την προσαρμογή, αλλά στις χαμηλές ταχύτητες στρέφει τα κοίλα προς τα κάτω και έτσι, πάλι το M2 είναι πιο έγκυρο.



Σχήμα 4.137 Διάγραμμα του μοντέλου M1 για το AFRAMAX 5-Ballast



Σχήμα 4.138 Διάγραμμα του μοντέλου M2 για το AFRAMAX 5-Ballast



Σχήμα 4.139 Διάγραμμα του μοντέλου M3 για το AFRAMAX 5-Ballast

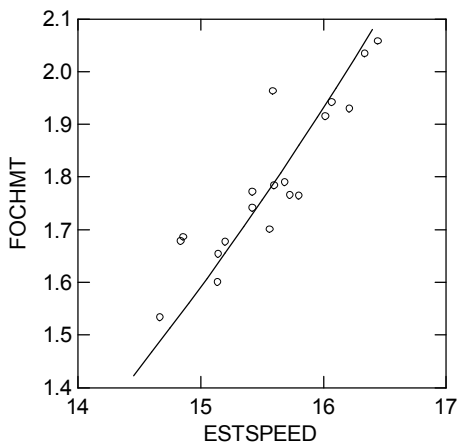
- Loaded

Μοντέλο M1:

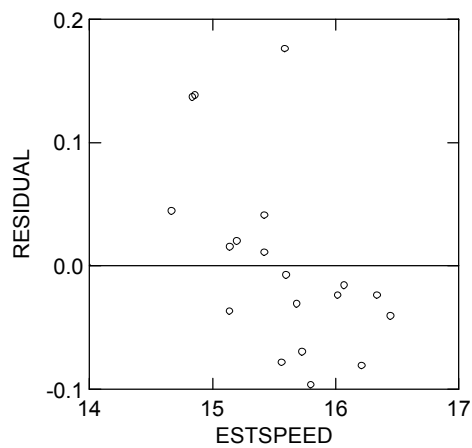
$$FOCHMT = b_1 \times ESTSPEED^3$$

Πίνακας 4.47. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του AFRAMAX 5-Loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b_1	0.00047	0.00046	0.00048



Σχήμα 4.140 Προσαρμογή του μοντέλου M1 στα δεδομένα του AFRAMAX 5-Loaded



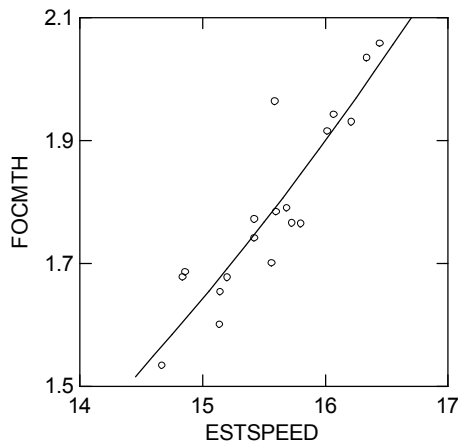
Σχήμα 4.141 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του AFRAMAX 5-Loaded

Μοντέλο M2:

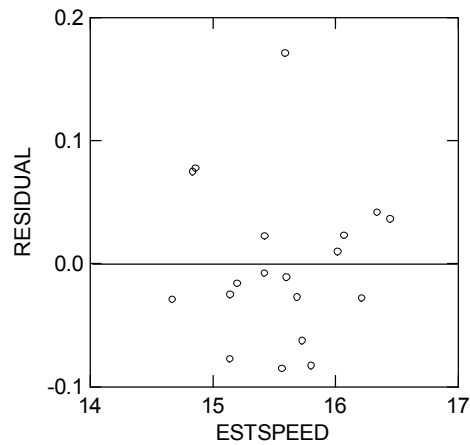
$$FOCHMT = b_1 \times ESTSPEED^{b_2} + b_0$$

Πίνακας 4.48. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του AFRAMAX 5-Loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	0.00035	.	.
b ₂	3.00228	2.92327	3.08130
b ₀	0.44223	0.14844	0.73602



Σχήμα 4.142 Προσαρμογή του μοντέλου M2 στα δεδομένα του AFRAMAX 5-Loaded

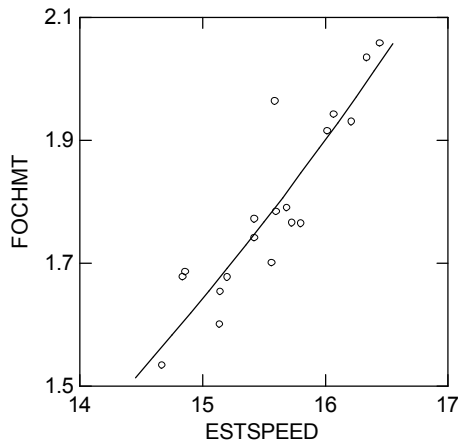


Σχήμα 4.143 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του AFRAMAX 5-Loaded

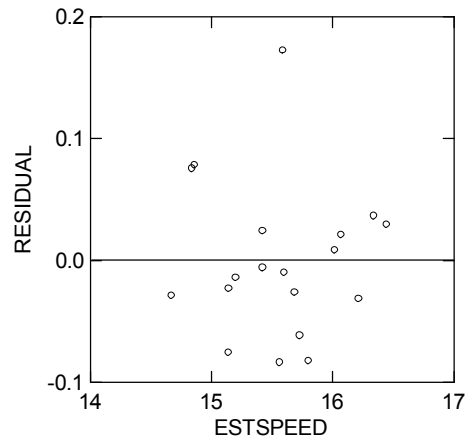
Μοντέλο M3:
$$FOCHMT = \frac{b_1 \times b_2^3 \times ESTSPEED^{3 \times b_3}}{P_{\max}^2} + \frac{b_4 \times b_2^2 \times ESTSPEED^{2 \times b_3}}{P_{\max}} + b_0 \times b_2 \times ESTSPEED^{b_3}$$

Πίνακας 4.49. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του AFRAMAX 5-Loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	5.75930	.	.
b ₂	1.00000	.	.
b ₃	2.00000	.	.
b ₄	-0.06879	-0.22838	0.09079
b ₀	0.00731	0.00526	0.00936



Σχήμα 4.144 Προσαρμογή του μοντέλου M3 στα δεδομένα του AFRAMAX 5-Loaded



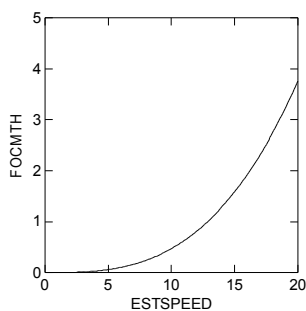
Σχήμα 4.145 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του AFRAMAX 5-Loaded

Στη loaded κατάσταση για το ίδιο πλοίο έχουμε εξίσου συγκεντρωμένα δεδομένα και τυχαία κατανομή υπολοίπων αυτή τη φορά. Αποτέλεσμα αυτών είναι το ίδιο καλά R^2 αλλά και καλύτερα S σε σχέση με την ballast κατάσταση.

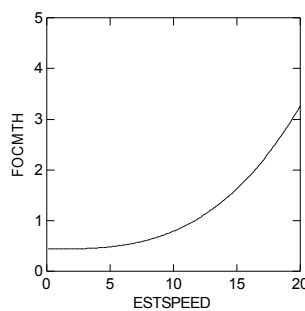
Πίνακας 4.50. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το AFRAMAX 5-Loaded

Μοντέλα	R^2_{Mean}	R^2_{OvsP}	S
M1	0.728	0.816	0.077
M2	0.816	0.816	0.065
M3	0.815	0.815	0.065

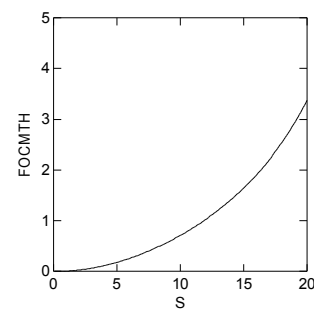
Εδώ πάλι το M3 έχει μια μικρή υπεροχή έναντι του M2, αφού περνάει από την αρχή των αξόνων (Σχήματα 4.147, 4.148), ενώ το M1 έχει χειρότερη προσαρμογή.



Σχήμα 4.146 Διάγραμμα του μοντέλου M1 για το AFRAMAX 5-Loaded



Σχήμα 4.147 Διάγραμμα του μοντέλου M2 για το AFRAMAX 5-Loaded

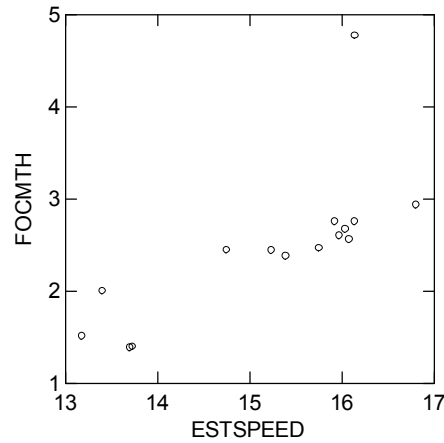


Σχήμα 4.148 Διάγραμμα του μοντέλου M3 για το AFRAMAX 5-Loaded

SWEZMAX 1

- Ballast

Βλέπουμε στο Σχήμα 4.149 ότι υπάρχει ένα απομακρυσμένο σημείο, αλλά η θέση του είναι τέτοια που δεν αναμένεται να επηρεάσει αρνητικά τα αποτελέσματα.



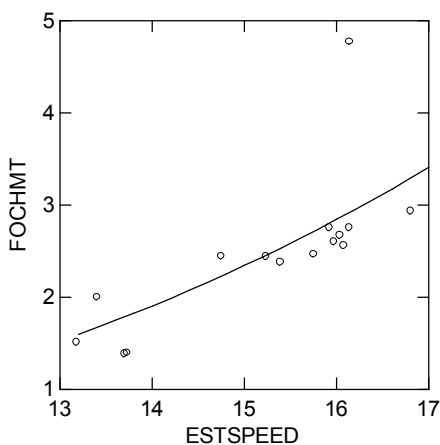
Σχήμα 4.149 Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων του SWEZMAX 1-Ballast

Μοντέλο M1:

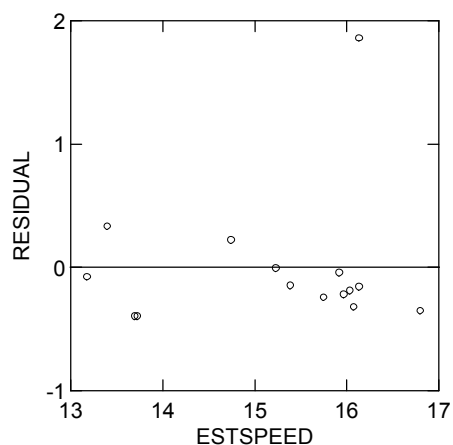
$$FOCHMT = b_1 \times ESTSPEED^3$$

Πίνακας 4.51. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του SWEZMAX 1-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95% >	Upper
b_1	0.00069	0.00061	0.00078



Σχήμα 4.150 Προσαρμογή του μοντέλου M1 στα δεδομένα του SWEZMAX 1-Ballast



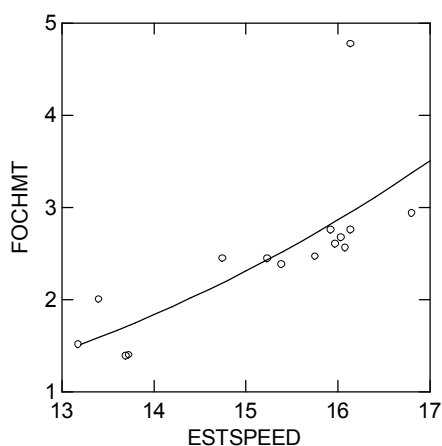
Σχήμα 4.151 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του SWEZMAX 1-Ballast

Μοντέλο M2:

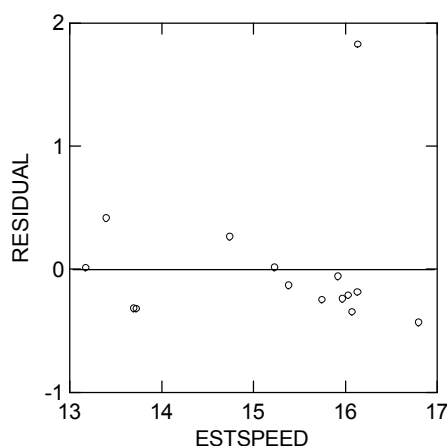
$$FOCHMT = b_0 + b_1 \times ESTSPEED^{b_2}$$

Πίνακας 4.52. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του SWEZMAX 1-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	0.00027	0.00012	0.00042
b ₂	3.34770	.	.
b ₀	0.01058	-1.40930	1.43046



Σχήμα 4.152 Προσαρμογή του μοντέλου M2 στα δεδομένα του SWEZMAX 1-Ballast



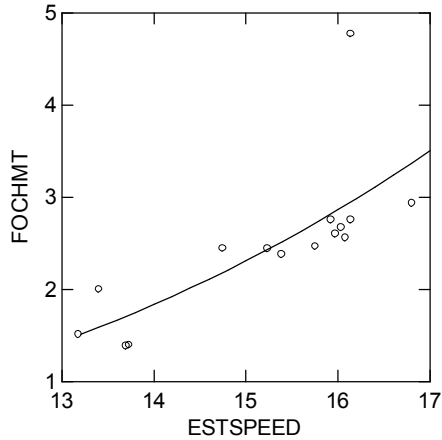
Σχήμα 4.153 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του SWEZMAX 1-Ballast

Παρατηρούμε στο Σχήμα 4.152 ότι το απομακρυσμένο σημείο πάνω δεξιά, όπως αναμενόταν δεν φαίνεται να επηρεάζει ιδιαίτερα τη μορφή της καμπύλης,

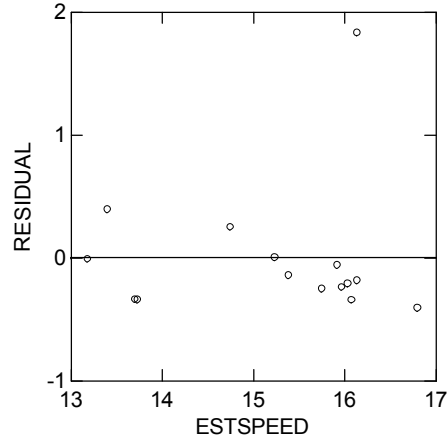
Μοντέλο M3:
$$FOCHMT = \frac{b_1 \times b_2^3 \times ESTSPEED^{3 \times b_3}}{P_{\max}^2} + \frac{b_4 \times b_2^2 \times ESTSPEED^{2 \times b_3}}{P_{\max}} + b_0 \times b_2 \times ESTSPEED^{b_3}$$

Πίνακας 4.53. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του SWEZMAX 1-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	-0.25669	.	.
b ₂	1.15895	-1.20000	3.51791
b ₃	2.40988	.	.
b ₄	0.05020	.	.
b ₀	0.00149	-0.00676	0.00974



Σχήμα 4.154 Προσαρμογή του μοντέλου M3 στα δεδομένα του SWEZMAX 1-Ballast



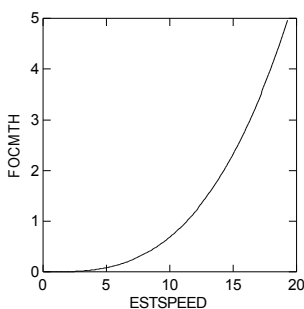
Σχήμα 4.155 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του SWEZMAX 1-Ballast

Ούτε και εδώ φαίνεται να επηρεάζει τη μορφή της καμπύλης το σημείο που ξεχωρίζει, παρ' όλο που το M3 έχει δείξει να είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο κατά την παλινδρόμηση σε μεγάλες διασπορές των σημείων.

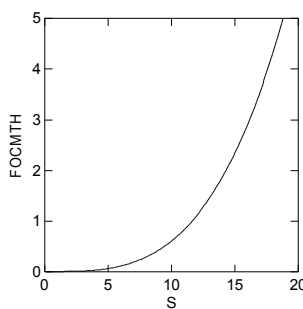
Πίνακας 4.54. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το SWEZMAX 1-Ballast

Μοντέλα	R^2_{Mean}	R^2_{OvsP}	S
M1	0.528	0.533	0.557
M2	0.532	0.533	0.576
M3	0.532	0.533	0.576

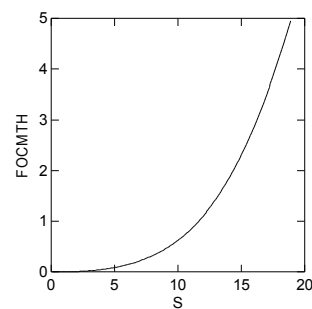
Όλα τα μοντέλα προσαρμόζονται το ίδιο και φαίνονται ισοδύναμα (Σχήματα 4.156, 4.157, 4.158).



Σχήμα 4.156 Διάγραμμα του μοντέλου M1 για το SWEZMAX 1-Ballast



Σχήμα 4.157 Διάγραμμα του μοντέλου M2 για το SWEZMAX 1-Ballast



Σχήμα 4.158 Διάγραμμα του μοντέλου M3 για το SWEZMAX 1-Ballast

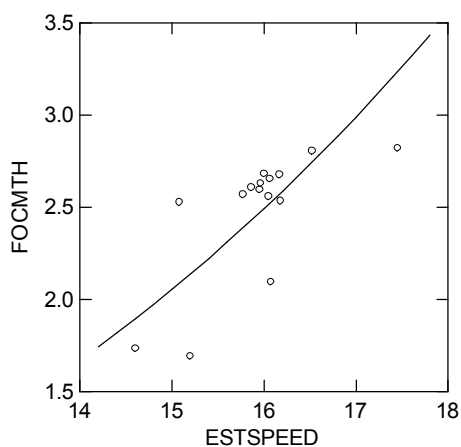
- Loaded

Μοντέλο M1:

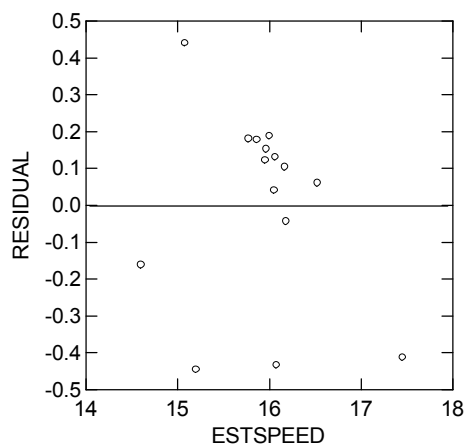
$$FOCHMT = b_1 \times ESTSPEED^3$$

Πίνακας 4.55. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του SWEZMAX 1-Loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b_1	0.00061	0.00057	0.00064



Σχήμα 4.159 Προσαρμογή του μοντέλου M1 στα δεδομένα του SWEZMAX 1-Loaded



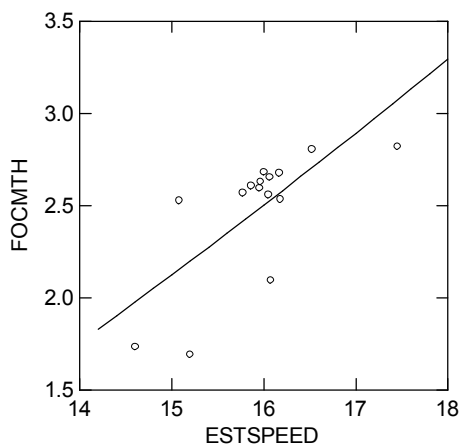
Σχήμα 4.160 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του SWEZMAX 1-Loaded

Μοντέλο M2:

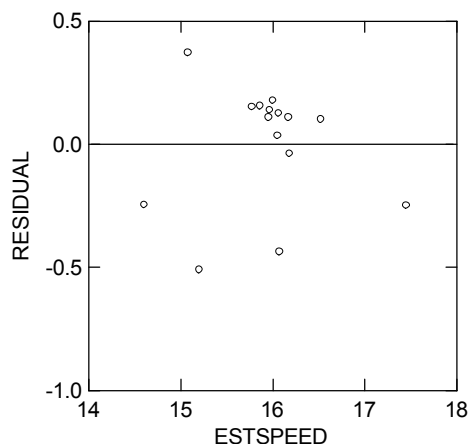
$$FOCHMT = b_0 + b_1 \times ESTSPEED^{b_2}$$

Πίνακας 4.56. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του SWEZMAX 1-Loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b_1	0.06713	0.02686	0.10740
b_2	1.48629	.	.
b_0	-1.63350	-4.09633	0.82933



Σχήμα 4.161 Προσαρμογή του μοντέλου M2 στα δεδομένα του SWEZMAX 1-Loaded

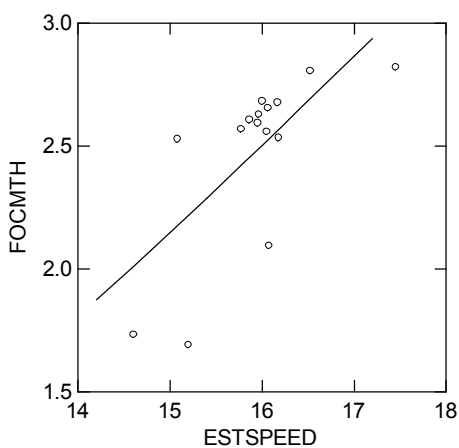


Σχήμα 4.162 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του SWEZMAX 1-Loaded

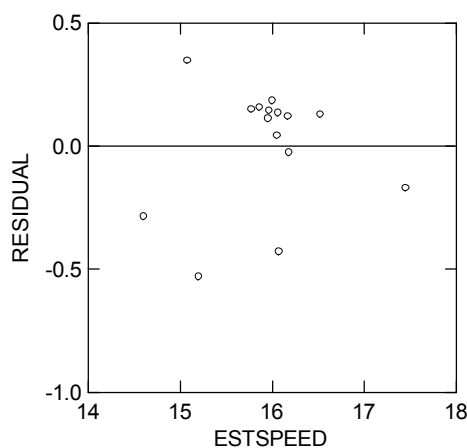
Μοντέλο M3:
$$FOCHMT = \frac{b_1 \times b_2^3 \times ESTSPEED^{3 \times b_3}}{P_{\max}^2} + \frac{b_4 \times b_2^2 \times ESTSPEED^{2 \times b_3}}{P_{\max}} + b_0 \times b_2 \times ESTSPEED^{b_3}$$

Πίνακας 4.57. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του SWEZMAX 1-Loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval Lower < 95% > Upper	
b ₁	-564.98091	-967.56405	-162.39776
b ₂	1.12032	.	.
b ₃	1.64797	.	.
b ₄	7.28707	.	.
b ₀	0.00136	-0.00843	0.01116



Σχήμα 4.163 Προσαρμογή του μοντέλου M3 στα δεδομένα του SWEZMAX 1-Loaded



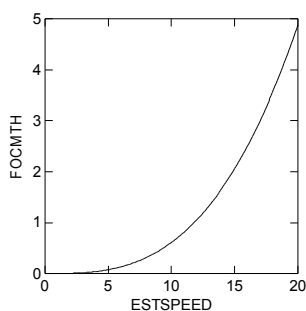
Σχήμα 4.164 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του SWEZMAX 1-Loaded

Στα διαγράμματα υπολοίπων παρατηρείται μια συγκέντρωση σημείων στην περιοχή των 16 κόμβων αλλά αυτό οφείλεται στη διασπορά των δεδομένων του συγκεκριμένου πλοίου και ειδικότερα στα απομακρυσμένα σημεία στις χαμηλές καταναλώσεις, όπως φαίνεται στα Σχήματα 4.165, 4.166, 4.167.

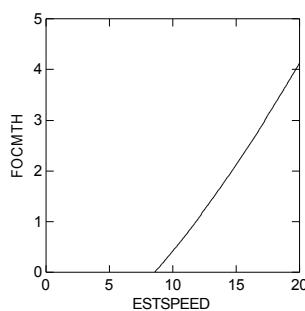
Πίνακας 4.58. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το SWEZMAX 1-Loaded

Μοντέλα	R^2_{Mean}	R^2_{OvsP}	S
M1	0.450	0.480	0.261
M2	0.501	0.501	0.258
M3	0.502	0.509	0.258

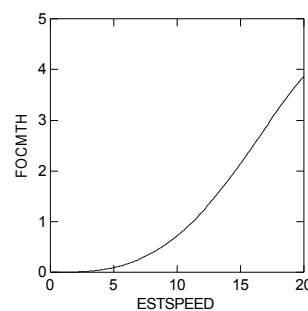
Εδώ τα M1 και M3 φαίνονται πιο φυσιολογικά, αν και το M3 στρέφει πάλι τα κοίλα προς τα κάτω, αλλά μετά τους 20 κόμβους.



Σχήμα 4.165 Διάγραμμα του μοντέλου M1 για το SWEZMAX 1-Loaded



Σχήμα 4.166 Διάγραμμα του μοντέλου M2 για το SWEZMAX 1-Loaded



Σχήμα 4.167 Διάγραμμα του μοντέλου M3 για το SWEZMAX 1-Loaded

SWEZMAX 2

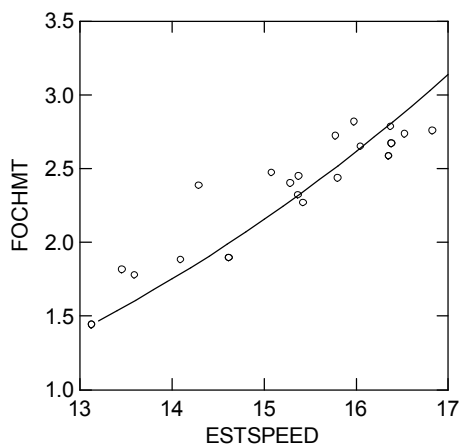
- Ballast

Μοντέλο M1:

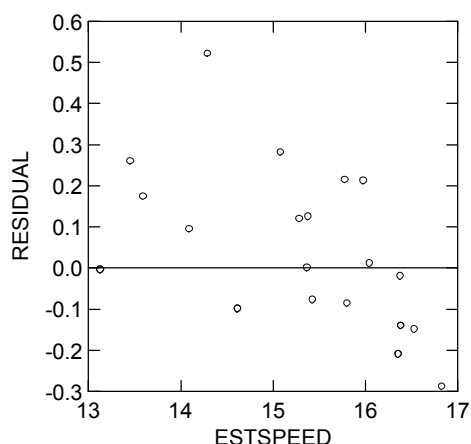
$$FOCHMT = b_1 \times ESTSPEED^3$$

Πίνακας 4.59. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του SWEZMAX 2-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b_1	0.00064	0.00062	0.00066



Σχήμα 4.168 Προσαρμογή του μοντέλου M1 στα δεδομένα του SWEZMAX 2-Ballast



Σχήμα 4.169 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του SWEZMAX 2-Ballast

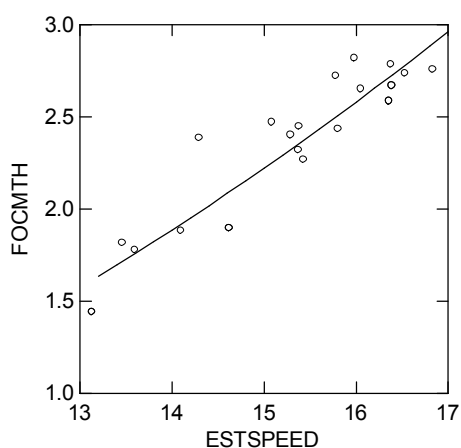
Στο διάγραμμα υπολοίπων βλέπουμε ότι τα πρώτα σημεία, αυτά δηλαδή των χαμηλών ταχυτήτων είναι πάνω από το διάγραμμα και τα επόμενα βρίσκονται περισσότερο από κάτω, κάτι που οφείλεται στην μικρή προσαρμοστικότητα του μοντέλου.

Μοντέλο M2:

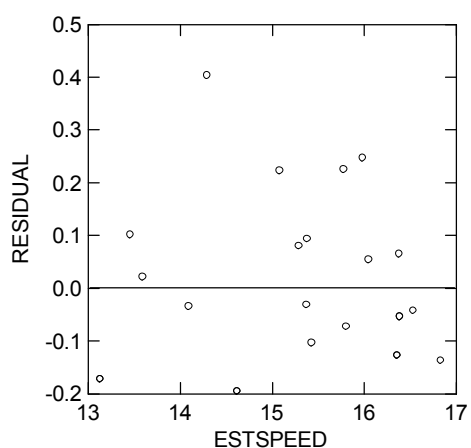
$$FOCHMT = b_0 + b_1 \times ESTSPEED^{b_2}$$

Πίνακας 4.60. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του SWEZMAX 2-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95% >	Upper
b_1	0.01178	0.00971	0.01384
b_2	1.99435	.	.
b_0	-0.38856	-0.86957	0.09245



Σχήμα 4.170 Προσαρμογή του μοντέλου M2 στα δεδομένα του SWEZMAX 2-Ballast

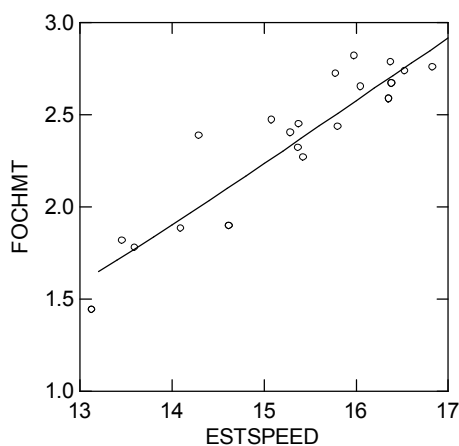


Σχήμα 4.171 Διάγραμμα υπολοίπων του M2 στα δεδομένα του SWEZMAX 2-Ballast

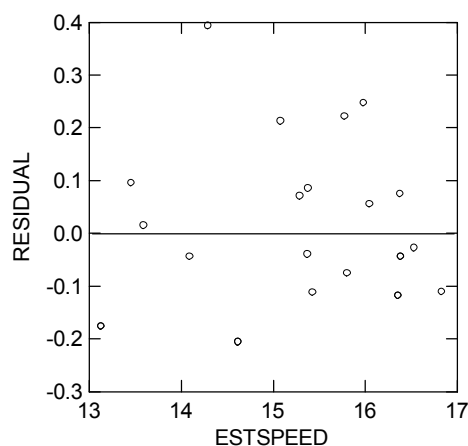
Μοντέλο M3:
$$FOCHMT = \frac{b_1 \times b_2^3 \times ESTSPEED^{3 \times b_3}}{P_{\max}^2} + \frac{b_4 \times b_2^2 \times ESTSPEED^{2 \times b_3}}{P_{\max}} + b_0 \times b_2 \times ESTSPEED^{b_3}$$

Πίνακας 4.61. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του SWEZMAX 2-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval Lower < 95%> Upper
b ₁	-23546.40297	-37060.05107 -10032.75488
b ₂	1.00781	. .
b ₃	1.17945	. .
b ₄	131.55843	. .
b ₀	-0.02354	-0.04097 -0.00612



Σχήμα 4.172 Προσαρμογή του μοντέλου M3 στα δεδομένα του SWEZMAX 2-Ballast



Σχήμα 4.173 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του SWEZMAX 2-Ballast

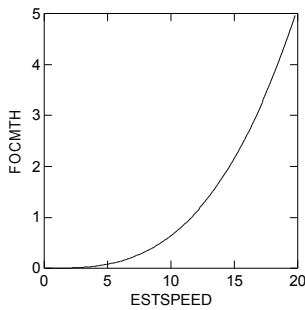
Τα διαγράμματα υπολοίπων των μοντέλων M2 και M3 παρουσιάζουν καλύτερη εικόνα από αυτή των υπολοίπων του M1. Βέβαια, επειδή τα δεδομένα είναι κατανομημένα χωρίς μεγάλη διασπορά και παρουσιάζουν, γενικά αύξουσα μορφή, οι προσαρμογές όλων των μοντέλων είναι υψηλές.

Πίνακας 4.62. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το SWEZMAX 2-Ballast

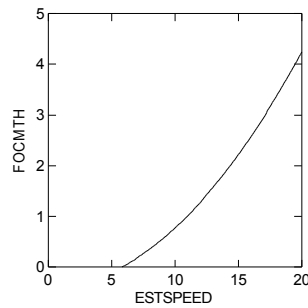
Μοντέλα	R ² _{Mean}	R ² _{OvsP}	S
M1	0.799	0.855	0.192
M2	0.864	0.864	0.161
M3	0.864	0.865	0.161

Το M3 περιγράφει καλά τη συνάρτηση σε ολόκληρο το διάστημα των ταχυτήτων που μας ενδιαφέρουν, αν εξαιρεθούν οι πολύ χαμηλές ταχύτητες, στις οποίες φθίνει και πέφτει κάτω από το μηδέν (Σχήμα 4.159). Το M2 δίνει και αυτό αρνητικές τιμές κατανάλωσης

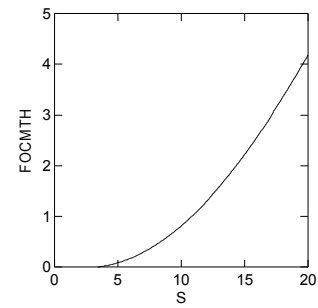
στις χαμηλές ταχύτητες ($b_0 = -0.38856$, Πίνακας 4.60), αλλά εξελίσσεται πιο ομαλά σε σχέση με το M1 (Σχήματα 4.174, 4.175).



Σχήμα 4.174 Διάγραμμα του μοντέλου M1 για το SWEZMAX 2-Ballast



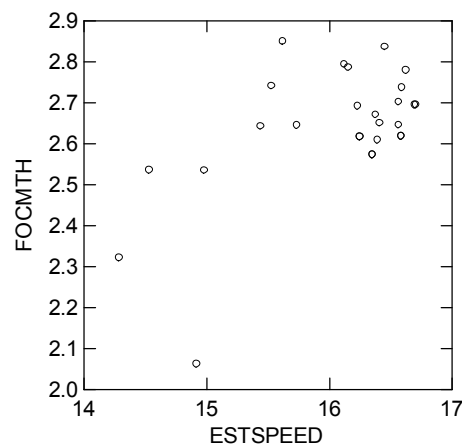
Σχήμα 4.175 Διάγραμμα του μοντέλου M2 για το SWEZMAX 2-Ballast



Σχήμα 4.176 Διάγραμμα του μοντέλου M3 για το SWEZMAX 2-Ballast

- Loaded

Υπάρχουν απομακρυσμένα σημεία στο Σχήμα 4.177 αλλά η κατανομή τους είναι τέτοια που δεν επηρεάζει σημαντικά τη συσχέτιση του συνόλου.



Σχήμα 4.177 Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων του SWEZMAX 2 –Loaded

Μοντέλο M1:

$$FOCHMT = b_1 \times ESTSPEED^3$$

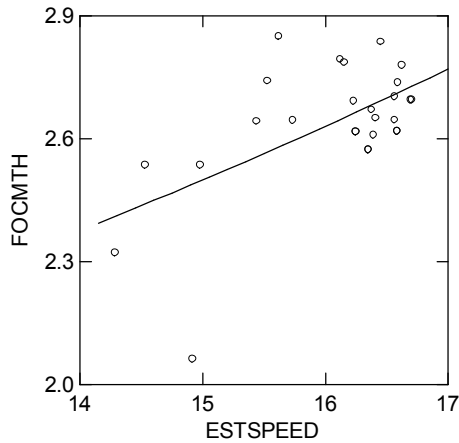
Η διασπορά των σημείων του SWEZMAX 2-Loaded είναι τέτοια που δεν επέτρεψε την προσαρμογή του μοντέλου M1.

Μοντέλο M2:

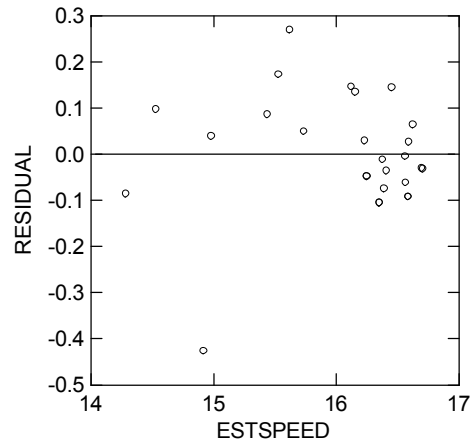
$$FOCHMT = b_0 + b_1 \times ESTSPEED^{b_2}$$

Πίνακας 4.63. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του SWEZMAX 2-Loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	0.02320	0.00957	0.03683
b ₂	1.49022	.	.
b ₀	1.18620	0.33335	2.03905



Σχήμα 4.178 Προσαρμογή του μοντέλου M2 στα δεδομένα του SWEZMAX 2-Loaded

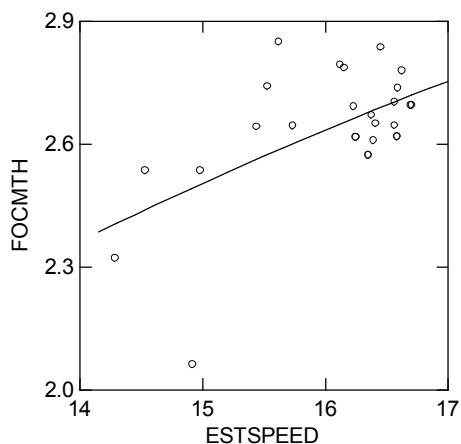


Σχήμα 4.179 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του SWEZMAX 2-Loaded

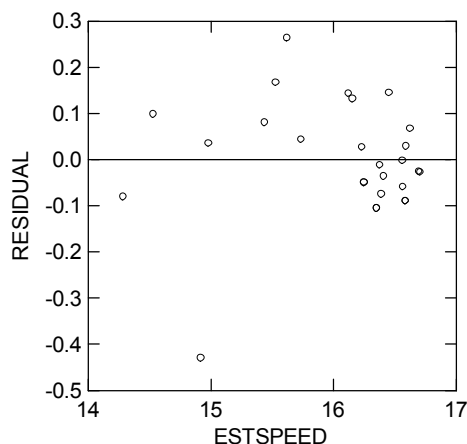
Μοντέλο M3:
$$FOCHMT = \frac{b_1 \times b_2^3 \times ESTSPEED^{3 \times b_3}}{P_{\max}^2} + \frac{b_4 \times b_2^2 \times ESTSPEED^{2 \times b_3}}{P_{\max}} + b_0 \times b_2 \times ESTSPEED^{b_3}$$

Πίνακας 4.64. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του SWEZMAX 2-Loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	-1.74685E+07	.	.
b ₂	0.13319	.	.
b ₃	1.07329	0.84118	1.30540
b ₄	1371.18200	.	.
b ₀	1.07946	0.61763	1.54129



Σχήμα 4.180 Προσαρμογή του μοντέλου M3 στα δεδομένα του SWEZMAX 2-Loaded

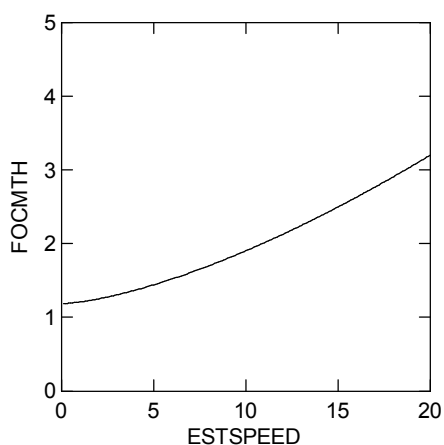


Σχήμα 4.181 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του SWEZMAX 2-Loaded

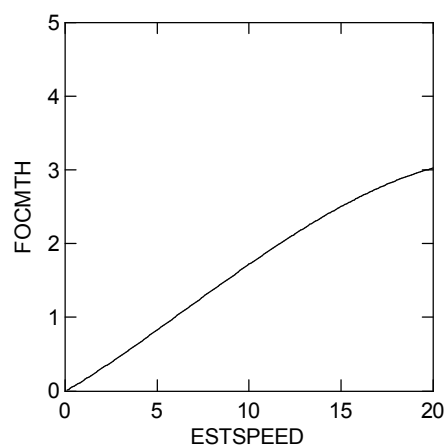
Πίνακας 4.65. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το SWEZMAX 2-Loaded

Μοντέλα	R^2_{Mean}	R^2_{OvsP}	S
M1	.	.	.
M2	0.331	0.331	0.132
M3	0.341	0.342	0.131

Στο σχήμα 4.183 φαίνεται ότι το M3 δεν εξελίσσεται φυσιολογικά, αφού στρέφει τα κοίλα προς τα κάτω κοντά στους 20 κόμβους, ενώ μέχρι τους 15 κόμβους προσεγγίζει την ευθεία. Αντίθετα, το M2 δεν ξεκινάει από το 0, αλλά παρουσιάζει πιο φυσιολογική μορφή.



Σχήμα 4.182 Διάγραμμα του μοντέλου M2 για το SWEZMAX 2-Loaded



Σχήμα 4.183 Διάγραμμα του μοντέλου M3 για το SWEZMAX 2-Loaded

VLCC 2

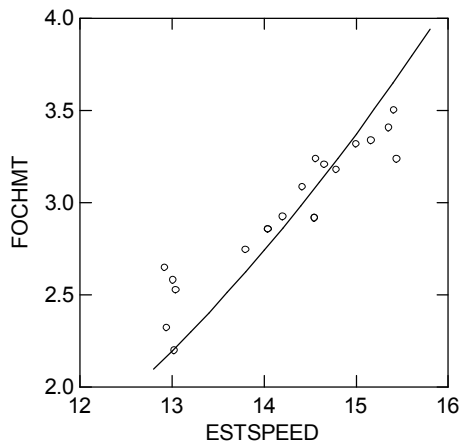
- Ballast

Μοντέλο M1:

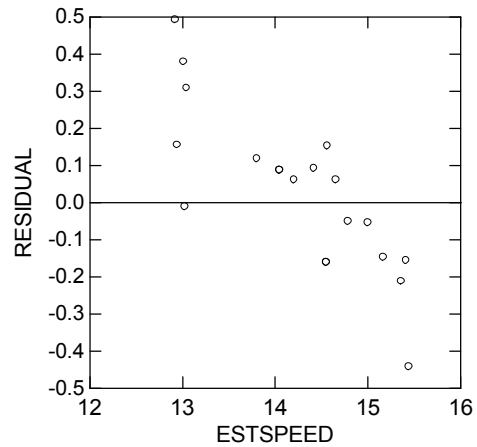
$$FOCHMT = b_1 \times ESTSPEED^3$$

Πίνακας 4.66. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του VLCC 2-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	0.00100	0.00096	0.00103



Σχήμα 4.184 Προσαρμογή του μοντέλου M1 στα δεδομένα του VLCC 2-Ballast



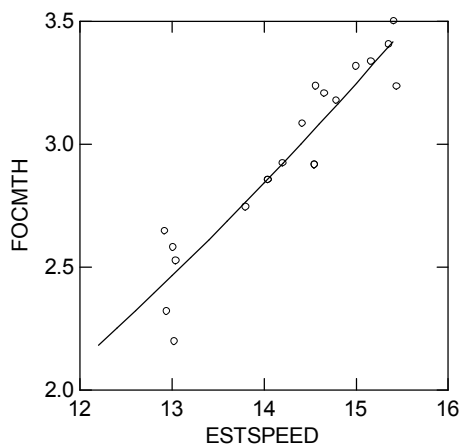
Σχήμα 4.185 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του VLCC 2-Ballast

Μοντέλο M2:

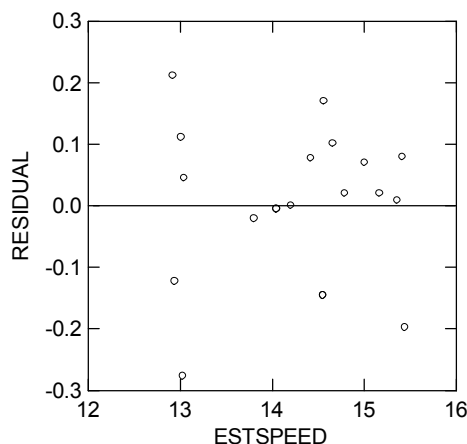
$$FOCHMT = b_0 + b_1 \times ESTSPEED^{b_2}$$

Πίνακας 4.67. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του VLCC 2-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	0.01401	0.01151	0.01651
b ₂	1.99911	.	.
b ₀	0.10212	-0.40881	0.61305



Σχήμα 4.186 Προσαρμογή του μοντέλου M2 στα δεδομένα του VLCC 2-Ballast

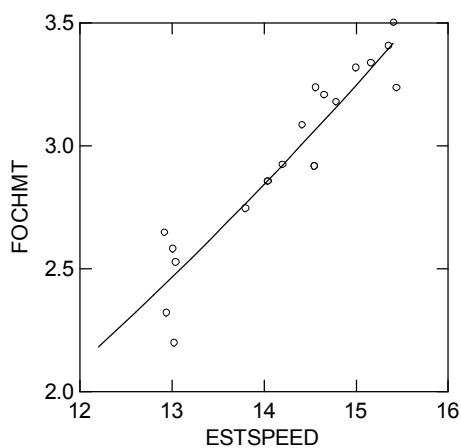


Σχήμα 4.187 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του VLCC 2-Ballast

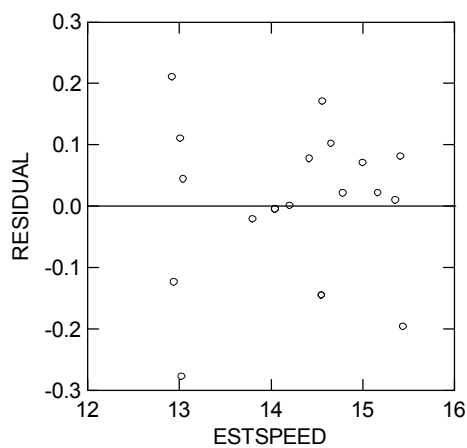
Μοντέλο M3:
$$FOCHMT = \frac{b_1 \times b_2^3 \times ESTSPEED^{3 \times b_3}}{P_{\max}^2} + \frac{b_4 \times b_2^2 \times ESTSPEED^{2 \times b_3}}{P_{\max}} + b_0 \times b_2 \times ESTSPEED^{b_3}$$

Πίνακας 4.68. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του VLCC 2-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95% >	Upper
b ₁	-29080.20873	-1.96682E+05	1.38521E+05
b ₂	1.00000	.	.
b ₃	1.00838	.	.
b ₄	428.67181	.	.
b ₀	0.01221	-0.02367	0.04810



Σχήμα 4.188 Προσαρμογή του μοντέλου M3 στα δεδομένα του VLCC 2-Ballast



Σχήμα 4.189 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του VLCC 2-Ballast

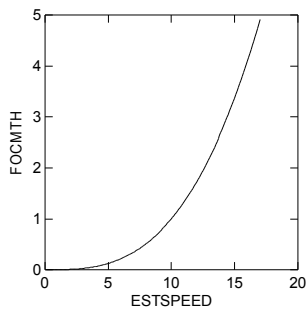
Παρατηρούμε ξανά ότι η κατανομή των υπολοίπων των μοντέλων M2 και M3 είναι περισσότερο τυχαία από ότι αυτή του μοντέλου M1. Επίσης, στα Σχήματα 4.188 και

4.186 βλέπουμε τις καμπύλες να διαπερνούν περισσότερα σημεία από ότι η καμπύλη στο Σχήμα 4.184, η οποία αφήνει σημεία αριστερά και δεξιά της και αυτό αντανακλάται στα νούμερα του Πίνακα 4.69 αλλά και στο διάγραμμα 4.185.

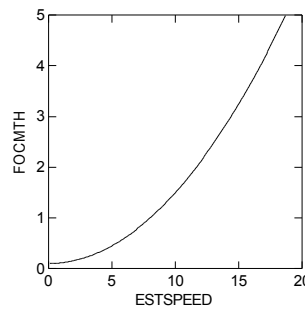
Πίνακας 4.69. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το VLCC 2-Ballast

Μοντέλα	R^2_{Mean}	R^2_{OvsP}	S
M1	0.638	0.883	0.219
M2	0.885	0.885	0.127
M3	0.885	0.885	0.127

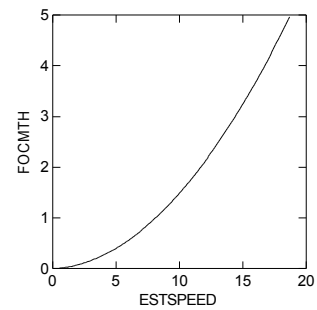
Φαίνεται στα σχήματα 4.191 και 4.192 ότι τα μοντέλα M2 και M3 παρουσιάζουν σχεδόν την ίδια εικόνα, ενώ το M1 έχει σαφώς χειρότερη προσαρμογή.



Σχήμα 4.190 Διάγραμμα του μοντέλου M1 για το VLCC 2-Ballast



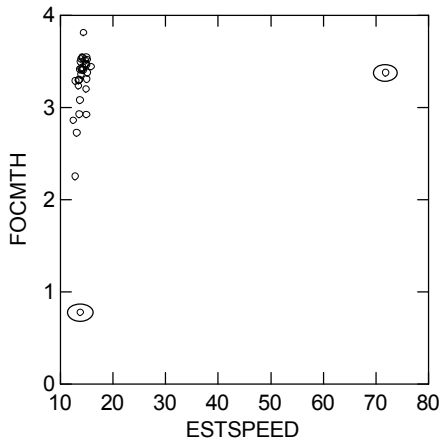
Σχήμα 4.191 Διάγραμμα του μοντέλου M2 για το VLCC 2-Ballast



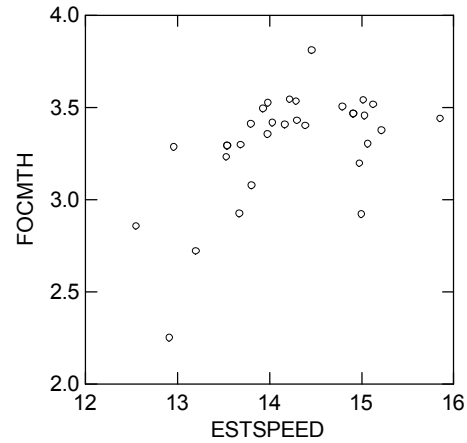
Σχήμα 4.192 Διάγραμμα του μοντέλου M3 για το VLCC 2-Ballast

- Loaded

Έγινε επιλογή σημείων και αφαιρούνται τα σημεία με την έλλειψη στο Σχήμα 4.193.



Σχήμα 4.193 Αρχικά σημεία του VLCC 2-Loaded



Σχήμα 4.194 Επιλεγμένα σημεία του VLCC 2-Loaded

Τα σημεία που απομένουν έχουν περιοχές με μη φυσιολογική κατανομή και θα επηρεάσουν αρνητικά τα αποτελέσματα.

Μοντέλο M1:

$$FOCHMT = b_1 \times ESTSPEED^3$$

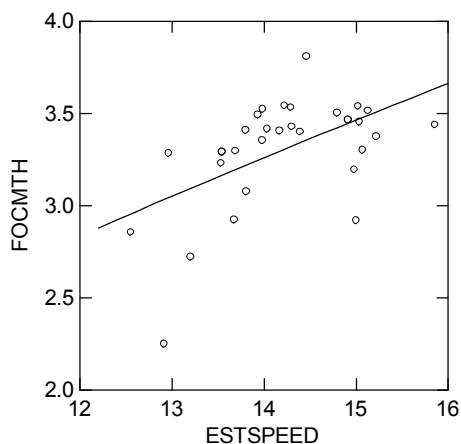
Δεν έγινε δυνατή η προσαρμογή του M1 στα δεδομένα του VLCC 2-Loaded.

Μοντέλο M2:

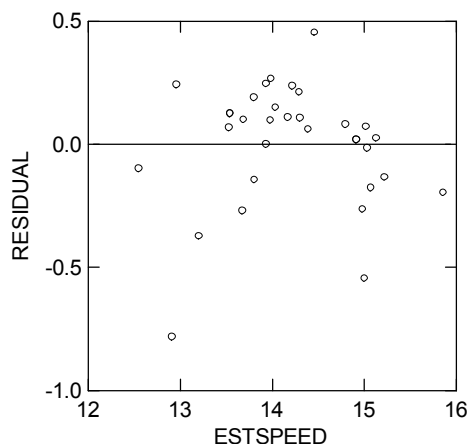
$$FOCHMT = b_0 + b_1 \times ESTSPEED^{b_2}$$

Πίνακας 4.70. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του VLCC 2-Loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	1.05558	1.03606	1.07509
b ₂	0.58512	.	.
b ₀	-1.68452	.	.



Σχήμα 4.195 Προσαρμογή του μοντέλου M2 στα δεδομένα του VLCC 2-Loaded

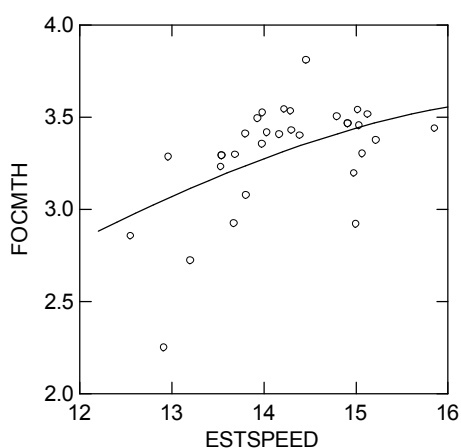


Σχήμα 4.196 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του VLCC 2-Loaded

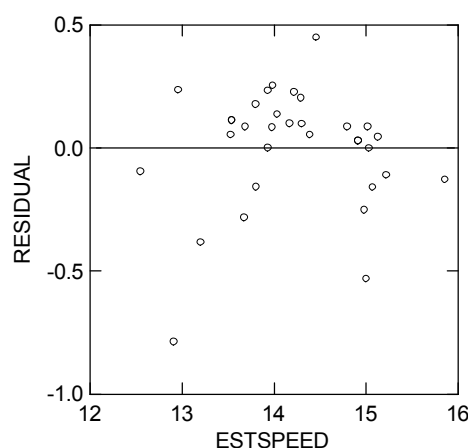
Μοντέλο M3:
$$FOCHMT = \frac{b_1 \times b_2^3 \times ESTSPEED^{3 \times b_3}}{P_{\max}^2} + \frac{b_4 \times b_2^2 \times ESTSPEED^{2 \times b_3}}{P_{\max}} + b_0 \times b_2 \times ESTSPEED^{b_3}$$

Πίνακας 4.71. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του VLCC 2-Loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95% >	Upper
b ₁	-6.44231E+07	.	.
b ₂	0.16338	.	.
b ₃	1.13553	1.03705	1.23402
b ₄	10284.22756	.	.
b ₀	0.62347	0.44123	0.80571



Σχήμα 4.197 Προσαρμογή του μοντέλου M3 στα δεδομένα του VLCC 2-Loaded



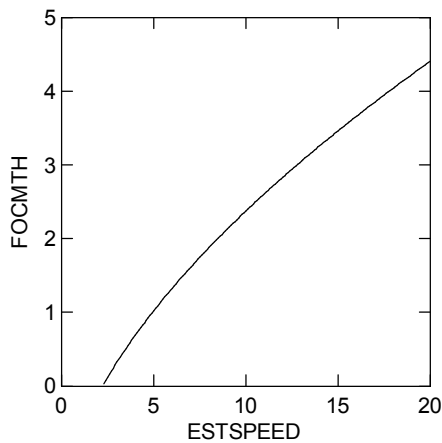
Σχήμα 4.198 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του VLCC 2-Loaded

Η διασπορά των σημείων είναι μεγαλύτερη ξανά στις χαμηλές ταχύτητες, ενώ τα διαγράμματα υπολοίπων των μοντέλων M2 και M3 είναι καλύτερα.

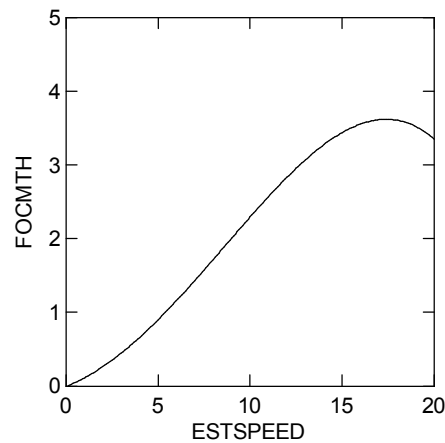
Πίνακας 4.72. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το VLCC 2-Loaded

Μοντέλα	R^2_{Mean}	R^2_{OvsP}	S
M1	.	.	.
M2	0.291	0.291	0.255
M3	0.318	0.324	0.251

Στην περίπτωση που εξετάζουμε (μετρήσεις του VLCC 2-Loaded) το M2 στρέφει τα κοίλα προς τα κάτω για ακόμη μια φορά. Το M3 στρέφει τα κοίλα προς τα κάτω μόνο στις μεγάλες ταχύτητες, όμως πριν τους 20 κόμβους αρχίζει να φθίνει. Όσον αφορά τα S δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά, ενώ το M3 έχει ελαφρά καλύτερη προσαρμογή.



Σχήμα 4.199 Διάγραμμα του μοντέλου M2 στο VLCC 2-Loaded

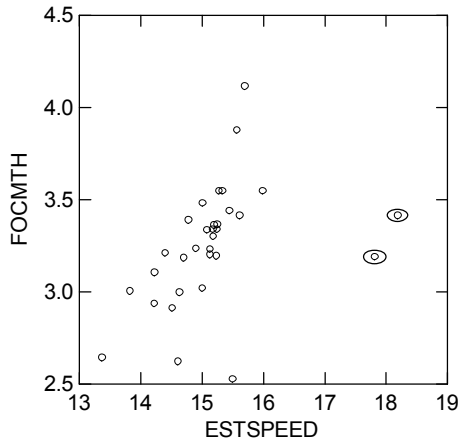


Σχήμα 4.200 Διάγραμμα του μοντέλου M3 στο VLCC 2-Loaded

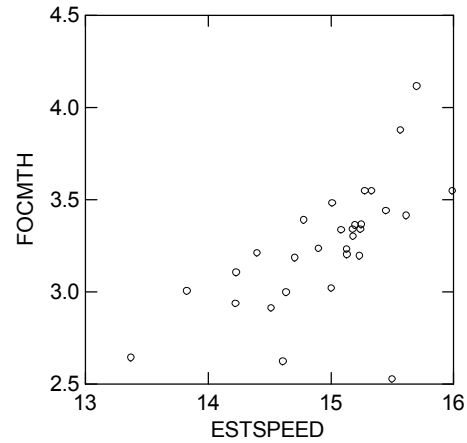
VLCC 3

- Ballast

Έγινε επιλογή σημείων όπως φαίνεται στα Σχήματα 4.201 και 4.202, καθώς τα σημεία που σημειώνονται με έλλειψη απέχουν αρκετά από όλα τα άλλα.



Σχήμα 4.201 Αρχικά σημεία του VLCC 3-Ballast



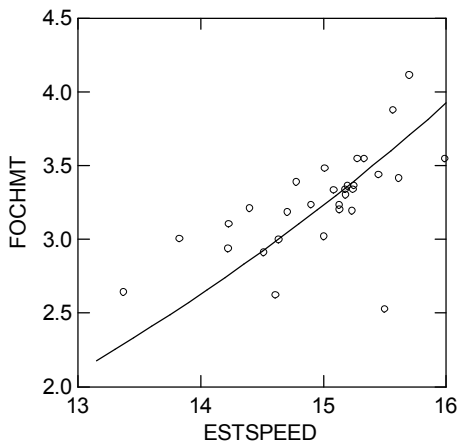
Σχήμα 4.202 Επιλεγμένα σημεία του VLCC 3-Ballast

Μοντέλο M1:

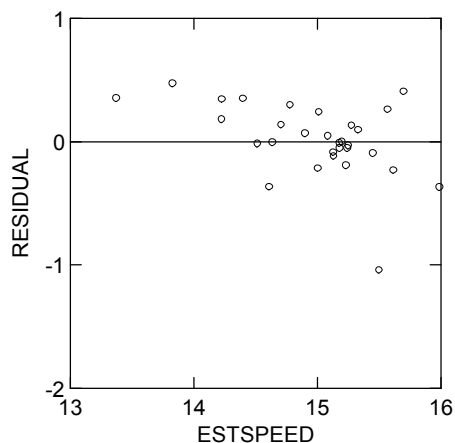
$$FOCHMT = b_1 \times ESTSPEED^3$$

Πίνακας 4.73. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του VLCC 3-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b_1	0.00096	0.00093	0.00099



Σχήμα 4.203 Προσαρμογή του μοντέλου M1 στα δεδομένα του VLCC 3-Ballast



Σχήμα 4.204 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του VLCC 3-Ballast

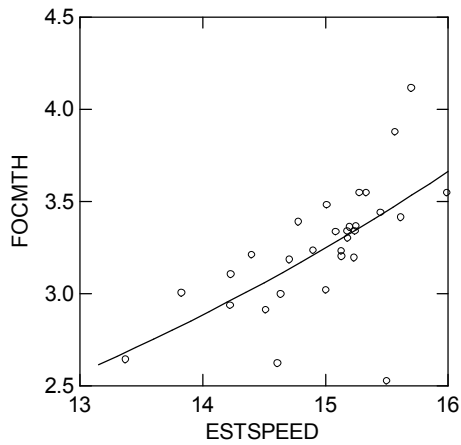
Βλέπουμε στο Σχήμα 4.204 ότι η καμπύλη του M1 αφήνει τα περισσότερα σημεία από πάνω της.

Μοντέλο M2:

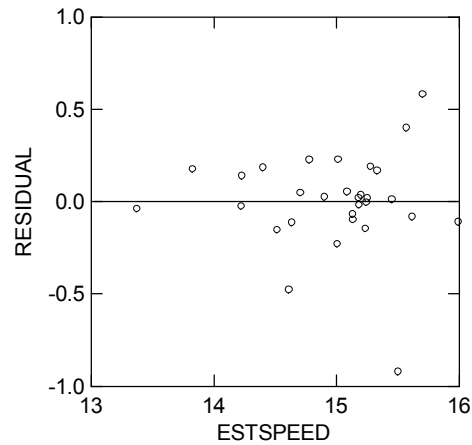
$$FOCHMT = b_0 + b_1 \times ESTSPEED^{b_2}$$

Πίνακας 4.74. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του VLCC 3-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	0.00057	.	.
b ₂	3.00285	2.84588	3.15982
b ₀	1.30874	0.47937	2.13810



Σχήμα 4.205 Προσαρμογή του μοντέλου M2 στα δεδομένα του VLCC 3-Ballast

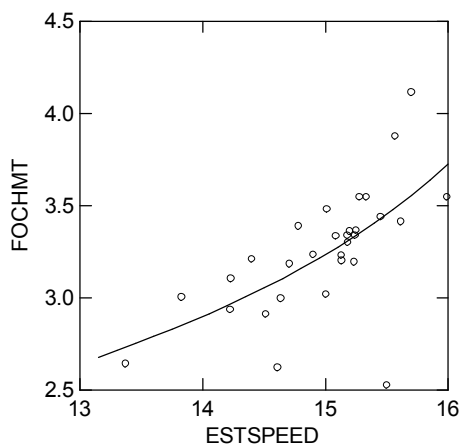


Σχήμα 4.206 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του VLCC 3-Ballast

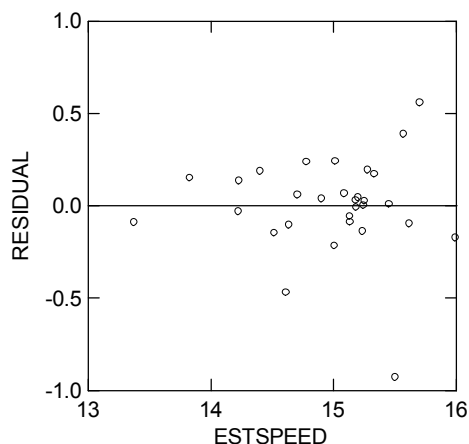
Μοντέλο M3:
$$FOCHMT = \frac{b_1 \times b_2^3 \times ESTSPEED^{3 \times b_3}}{P_{\max}^2} + \frac{b_4 \times b_2^2 \times ESTSPEED^{2 \times b_3}}{P_{\max}} + b_0 \times b_2 \times ESTSPEED^{b_3}$$

Πίνακας 4.75. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του VLCC 3-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	37249.05458	.	.
b ₂	0.09724	-7.17896	7.37344
b ₃	2.26886	-23.94736	28.48508
b ₄	-112.74013	-332.34078	106.86051
b ₀	0.15602	-0.33928	0.65132



Σχήμα 4.207 Προσαρμογή του μοντέλου M3 στα δεδομένα του VLCC 3-Ballast



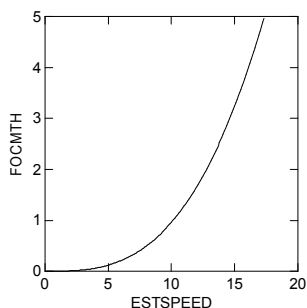
Σχήμα 4.208 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του VLCC 3-Ballast

Σε σχέση με το M1, οι καμπύλες των M2 και M3 βρίσκονται περισσότερο στο κέντρο της διασποράς των σημείων, κάτι που δείχνουν και τα αντίστοιχα διαγράμματα υπολοίπων.

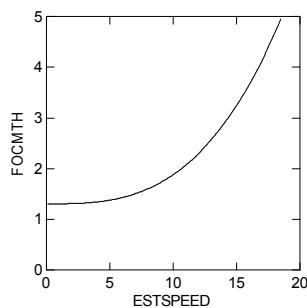
Πίνακας 4.76. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το VLCC 3-Ballast

Μοντέλα	R^2_{Mean}	R^2_{OvsP}	S
M1	0.219	0.399	0.298
M2	0.399	0.399	0.266
M3	0.402	0.402	0.265

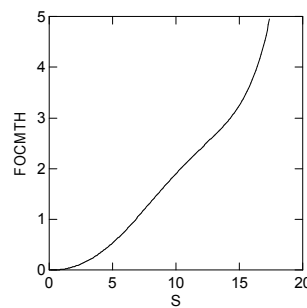
Το M3 παρουσιάζει περιέργη συμπεριφορά (Σχήμα 4.211), καθώς στρέφει τα κοίλα προς τα κάτω στην περιοχή ESTSPEED=[7 knots,12 knots]. Το M2 είναι σαφώς πιο σωστό, ενώ το M1 βρίσκεται πάλι πίσω στην προσαρμογή (Πίνακας 4.76). Βέβαια, όπως σχεδόν σε κάθε περίπτωση υπάρχουν και για τα δύο μοντέλα λύσεις με καλύτερες μορφές και ελάχιστα χειρότερη προσαρμογή.



Σχήμα 4.209 Διάγραμμα του μοντέλου M1 στο VLCC 3-Ballast



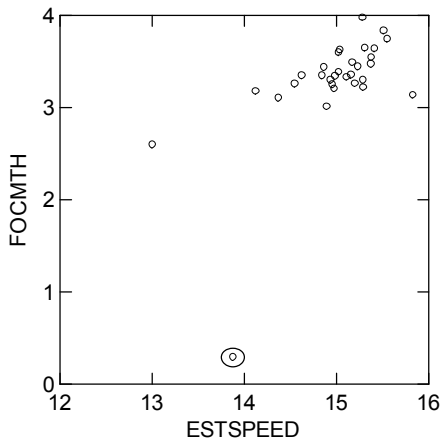
Σχήμα 4.210 Διάγραμμα του μοντέλου M2 στο VLCC 3-Ballast



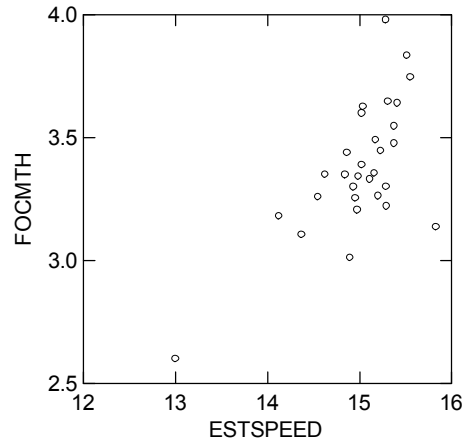
Σχήμα 4.211 Διάγραμμα του μοντέλου M3 στο VLCC 3-Ballast

- Loaded

Έγινε επιλογή σημείων και αφαιρείται το απομακρυσμένο σημείο στο κάτω μέρος του διαγράμματος διασποράς που σημειώνεται με έλλειψη στο Σχήμα 4.212.



Σχήμα 4.212 Αρχικά σημεία του VLCC 3-Loaded



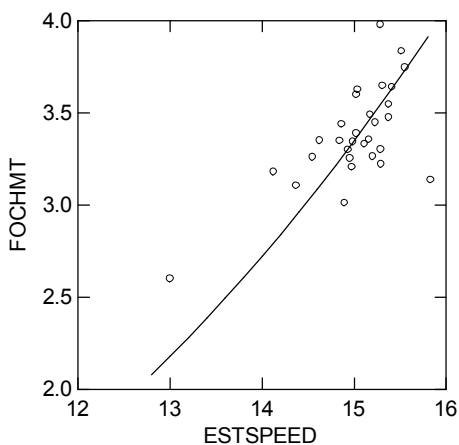
Σχήμα 4.213 Επιλεγμένα σημεία του VLCC 3-Loaded

Μοντέλο M1:

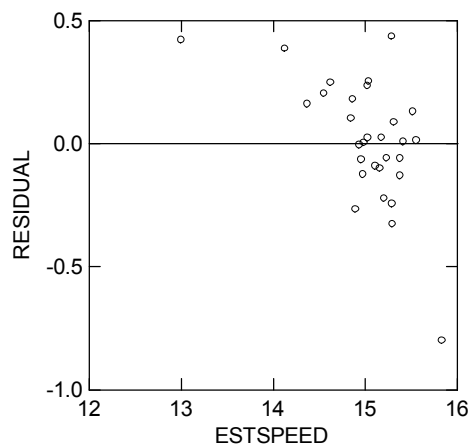
$$FOCHMT = b_1 \times ESTSPEED^3$$

Πίνακας 4.77. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του VLCC 3-Loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b_1	0.00099	0.00096	0.00102



Σχήμα 4.214 Προσαρμογή του μοντέλου M1 στα δεδομένα του VLCC 3-Loaded



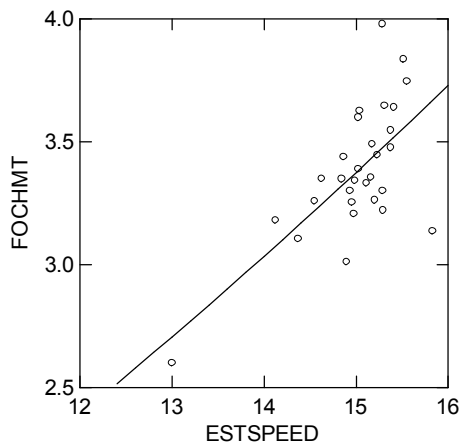
Σχήμα 4.215 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του VLCC 3-Loaded

Μοντέλο M2:

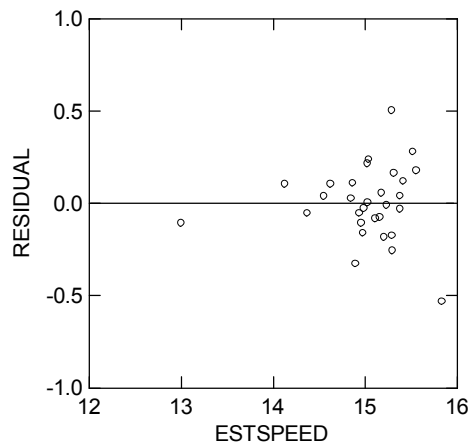
$$FOCHMT = b_1 \times ESTSPEED^{b_2} + b_0$$

Πίνακας 4.78. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του VLCC 3-Loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	0.06121	0.03462	0.08781
b ₂	1.49254	.	.
b ₀	-0.11015	-1.62565	1.40534



Σχήμα 4.216 Προσαρμογή του μοντέλου M2 στα δεδομένα του VLCC 3-Loaded



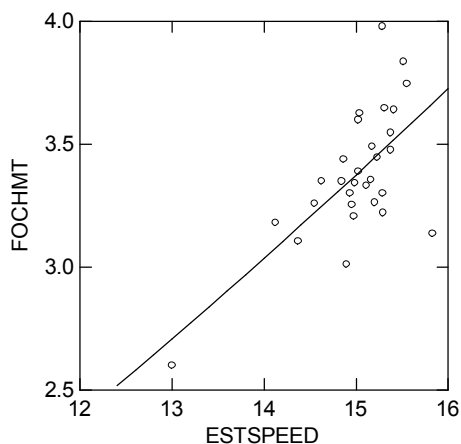
Σχήμα 4.217 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του VLCC 3-Loaded

Μοντέλο M3:

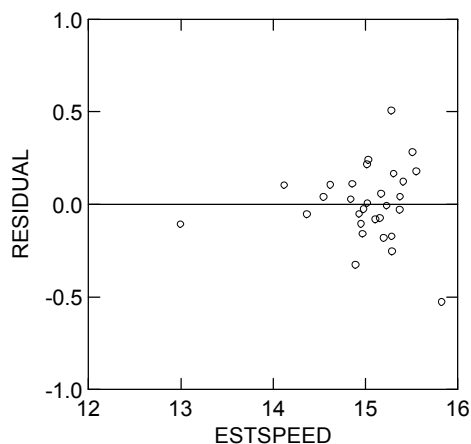
$$FOCHMT = \frac{b_1 \times b_2^3 \times ESTSPEED^{3 \times b_3}}{P_{\max}^2} + \frac{b_4 \times b_2^2 \times ESTSPEED^{2 \times b_3}}{P_{\max}} + b_0 \times b_2 \times ESTSPEED^{b_3}$$

Πίνακας 4.79. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του VLCC 3-Loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	6.47841E+07	.	.
b ₂	1.00701	.	.
b ₃	0.49810	.	.
b ₄	1.19872	-162.91484	165.31227
b ₀	-0.03692	.	.



Σχήμα 4.218 Προσαρμογή του μοντέλου M3 στα δεδομένα του VLCC 3-Loaded



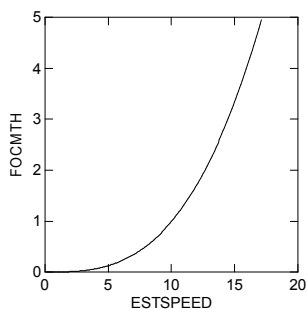
Σχήμα 4.219 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του VLCC 3-Loaded

Τα υπόλοιπα είναι πιο συγκεντρωμένα και πιο τυχαία κατανομημένα στα μοντέλα M2 και M3 (Σχήματα 4.219, 4.217, 4.215).

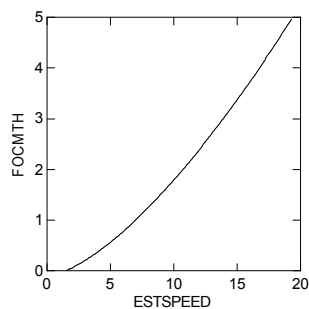
Πίνακας 4.80. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το VLCC 3-Loaded

Μοντέλα	R^2_{Mean}	R^2_{OvsP}	S
M1	0.108	0.433	0.251
M2	0.444	0.444	0.201
M3	0.444	0.444	0.201

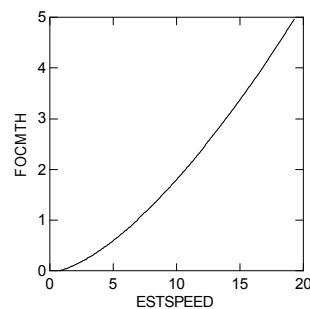
Το M3 δίνει αρνητικές τιμές για $ESTSPEED = [0 \text{ knots}, 0.6 \text{ knots}]$ (Σχήμα 4.222), όπως και το M2 ($b_0 = -0.11015$) και σε γενικές γραμμές έχουν την ίδια μορφή. Το M1 απέχει αρκετά από τα άλλα δύο στον Πίνακα 4.80.



Σχήμα 4.220 Διάγραμμα του μοντέλου M1 στο VLCC 3-Loaded



Σχήμα 4.221 Διάγραμμα του μοντέλου M2 στο VLCC 3-Loaded



Σχήμα 4.222 Διάγραμμα του μοντέλου M3 στο VLCC 3-Loaded

VLCC 7

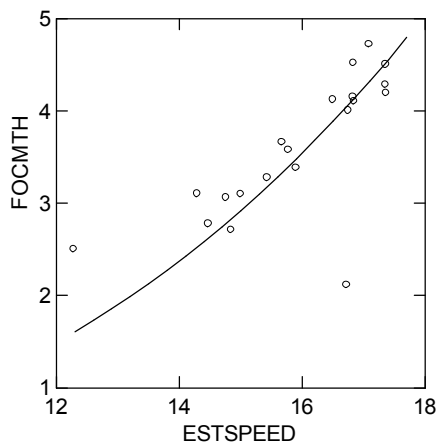
- Ballast

Μοντέλο M1:

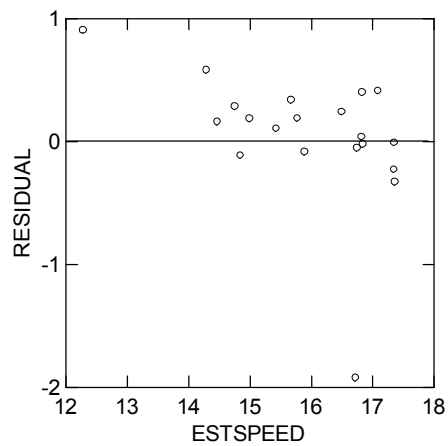
$$FOCHMT = b_1 \times ESTSPEED^3$$

Πίνακας 4.81. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του VLCC 7-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b_1	0.00086	0.00080	0.00093



Σχήμα 4.223 Προσαρμογή του μοντέλου M1 στα δεδομένα του VLCC 7-Ballast



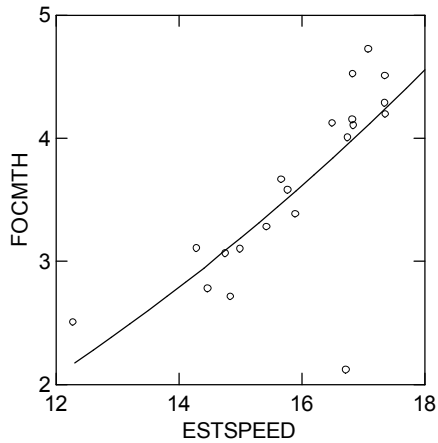
Σχήμα 4.224 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του VLCC 7-Ballast

Μοντέλο M2:

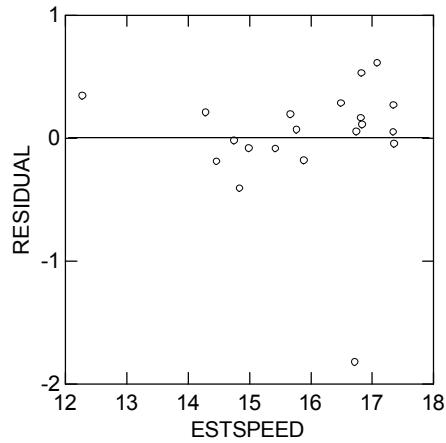
$$FOCHMT = b_0 + b_1 \times ESTSPEED^{b_2}$$

Πίνακας 4.82. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του VLCC 7-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b_1	0.01324	0.00747	0.01902
b_2	2.01259	-1.43894	1.65063
b_0	0.10585	-1.43894	1.65063



Σχήμα 4.225 Προσαρμογή του μοντέλου M2 στα δεδομένα του VLCC 7-Ballast

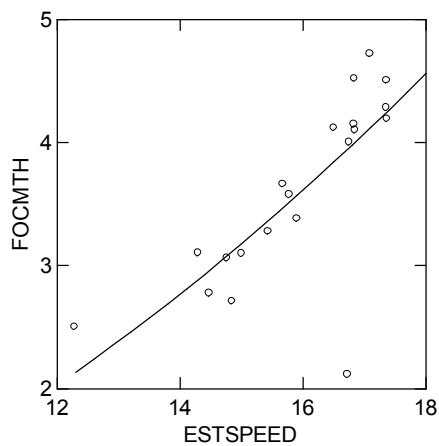


Σχήμα 4.226 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του VLCC 7-Ballast

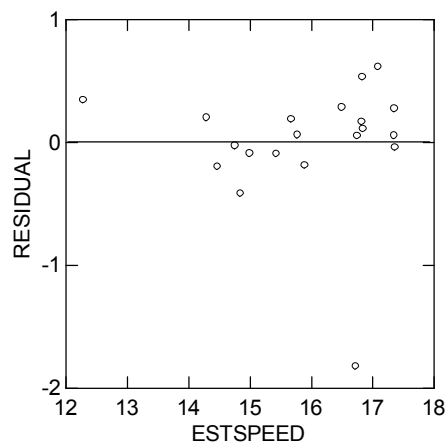
Μοντέλο M3:
$$FOCHMT = \frac{b_1 \times b_2^3 \times ESTSPEED^{3 \times b_3}}{P_{\max}^2} + \frac{b_4 \times b_2^2 \times ESTSPEED^{2 \times b_3}}{P_{\max}} + b_0 \times b_2 \times ESTSPEED^{b_3}$$

Πίνακας 4.83. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του VLCC 7-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95% >	Upper
b ₁	5.38062E+08	-2.55328E+08	1.33145E+09
b ₂	0.10200	.	.
b ₃	1.13198	0.78878	1.47518
b ₄	-39836.90931	.	.
b ₀	2.00154	.	.



Σχήμα 4.227 Προσαρμογή του μοντέλου M3 στα δεδομένα του VLCC 7-Ballast



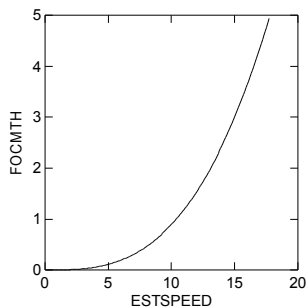
Σχήμα 4.228 Διάγραμμα του μοντέλου M3 στα δεδομένα του VLCC 7-Ballast

Στο Σχήμα 4.224 φαίνεται ότι η καμπύλη του M1 αφήνει τα περισσότερα σημεία από πάνω της. Από την άλλη ούτε τα υπόλοιπα των M2 και M3 είναι ιδιαίτερα τυχαία κατανομημένα, αφού παρουσιάζουν μια αυξητική τάση στα σχήματα 4.228 και 4.226.

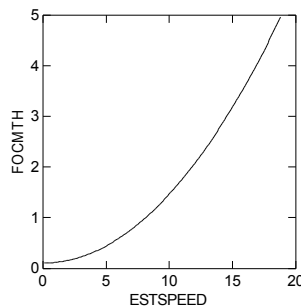
Πίνακας 4.84. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το VLCC 7-Ballast

Μοντέλα	R^2_{Mean}	R^2_{OvsP}	S
M1	0.457	0.572	0.564
M2	0.561	0.561	0.507
M3	0.560	0.560	0.508

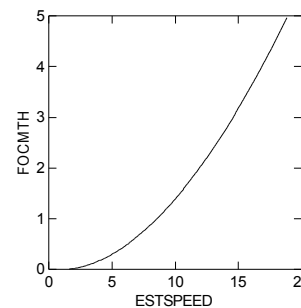
Αν και τα τρία μοντέλα προσαρμόζονται ικανοποιητικά, το M1 είναι λίγο χειρότερο (Πίνακας 4.84). Το M2 δεν ξεκινάει μακριά από το μηδέν ($b_0=0.01085$) και το M3 πέφτει λίγο κάτω από τον άξονα των x στις χαμηλές ταχύτητες.



Σχήμα 4.229 Διάγραμμα του μοντέλου M1 στο VLCC 7-Ballast



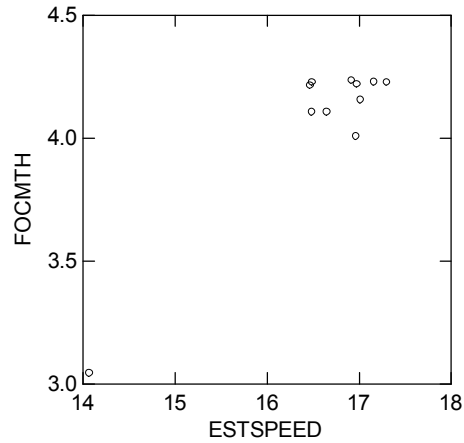
Σχήμα 4.230 Διάγραμμα του μοντέλου M2 στο VLCC 7-Ballast



Σχήμα 4.231 Διάγραμμα του μοντέλου M3 στο VLCC 7-Ballast

- Loaded

Το εύρος του διαστήματος των συγκεντρωμένων σημείων είναι αρκετά μικρό και η κατανομή τους τυχαία (σχήμα 4.232), οπότε η προσαρμογή των μοντέλων δεν αναμένεται να είναι καλή.



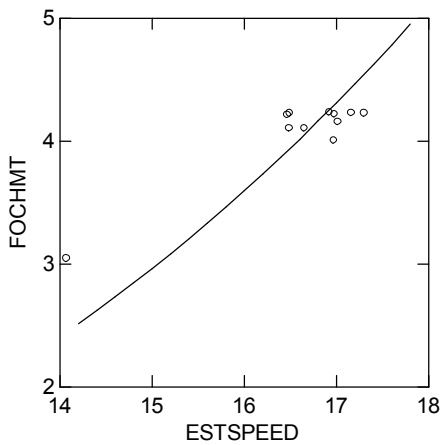
Σχήμα 4.232 Διάγραμμα διασποράς των δεδομένων του VLCC 7-Loaded

Μοντέλο M1:

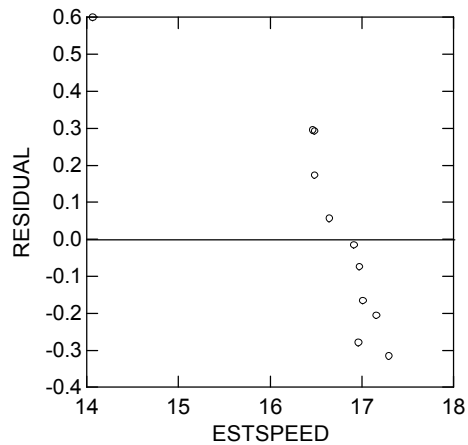
$$FOCHMT = b_1 \times ESTSPEED^3$$

Πίνακας 4.85. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του VLCC 7-Loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b_1	0.00088	0.00084	0.00092



Σχήμα 4.233 Διάγραμμα του μοντέλου M1 στα δεδομένα του VLCC 7-Loaded



Σχήμα 4.234 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του VLCC 7-Loaded

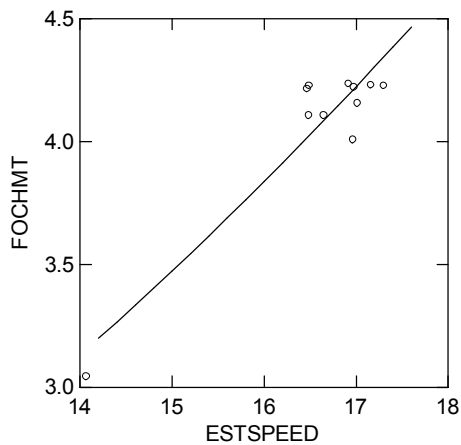
Η κατανομή που περιγράψαμε επηρεάζει τα αποτελέσματα.

Μοντέλο M2:

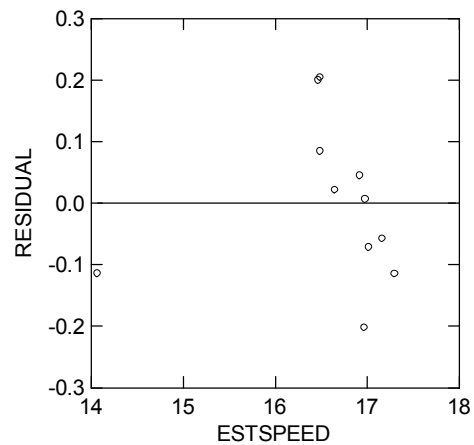
$$FOCHMT = b_0 + b_1 \times ESTSPEED^{b_2}$$

Πίνακας 4.86. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του VLCC 7-Loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	0.01211	0.00845	0.01577
b ₂	1.99003	.	.
b ₀	0.82144	-0.16233	1.80520



Σχήμα 4.235 Προσαρμογή του μοντέλου M2 στα δεδομένα του VLCC 7-Loaded

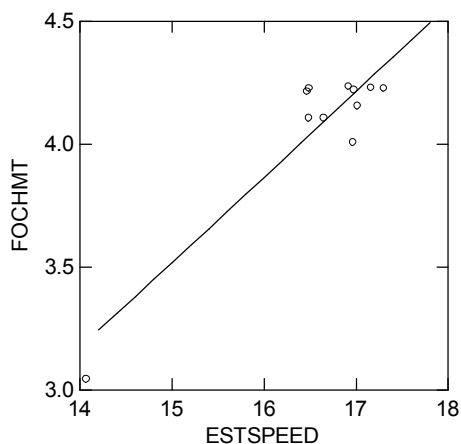


Σχήμα 4.236 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του VLCC 7-Loaded

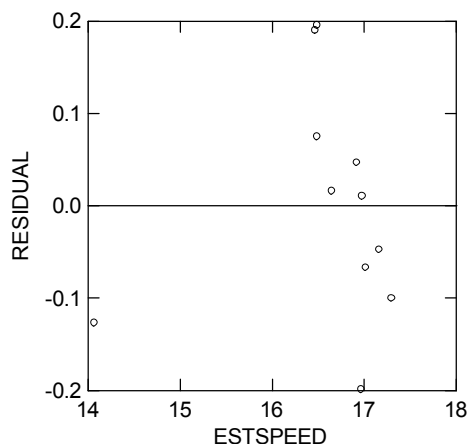
Μοντέλο M3:
$$FOCHMT = \frac{b_1 \times b_2^3 \times ESTSPEED^{3 \times b_3}}{P_{\max}^2} + \frac{b_4 \times b_2^2 \times ESTSPEED^{2 \times b_3}}{P_{\max}} + b_0 \times b_2 \times ESTSPEED^{b_3}$$

Πίνακας 4.87. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του VLCC 7-Loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	-1.09843E+06	-5.65272E+06	3.45585E+06
b ₂	0.13607	.	.
b ₃	1.47336	.	.
b ₄	396.29900	-592.81825	1385.41626
b ₀	0.44257	.	.



Σχήμα 4.237 Προσαρμογή του μοντέλου M3 στα δεδομένα VLCC 7-Loaded



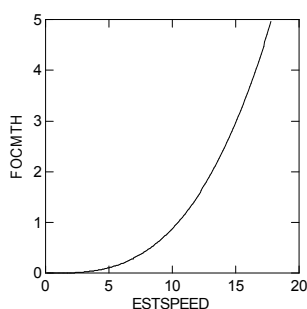
Σχήμα 4.238 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M3 στα δεδομένα VLCC 7-Loaded

Πράγματι, σε όλα τα διαγράμματα υπολοίπων φαίνεται μια μη τυχαία κατανομή, η οποία οφείλεται, όπως αναφέρθηκε κυρίως στον μικρό αριθμό και την κατανομή των σημείων.

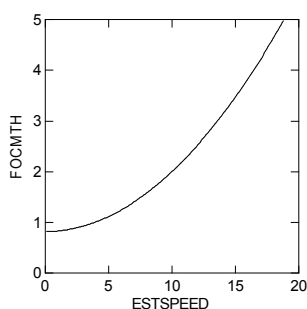
Πίνακας 4.88. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το VLCC 7-Loaded

Μοντέλα	R^2_{Mean}	R^2_{OvsP}	S
M1	0.325	0.846	0.286
M2	0.862	0.862	0.136
M3	0.872	0.873	0.131

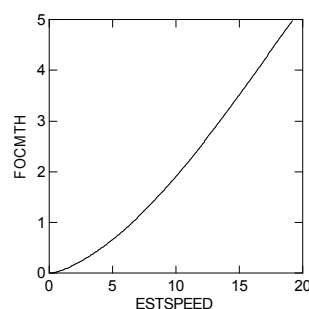
Το M3 έχει λίγο καλύτερη προσαρμογή, αλλά μετά την ταχύτητα των 20 κόμβων φαίνεται να στρέφει τα κοίλα προς τα κάτω (Σχήμα 4.241). Το M1 δεν προσαρμόζεται καλά (Πίνακας 4.88), ενώ το M2 παρουσιάζει μόνο πρόβλημα στις χαμηλές ταχύτητες ($b_0 = 0.82144$).



Σχήμα 4.239 Διάγραμμα του μοντέλου M1 στο VLCC 7-Loaded



Σχήμα 4.240 Διάγραμμα του μοντέλου M2 στο VLCC 7-Loaded

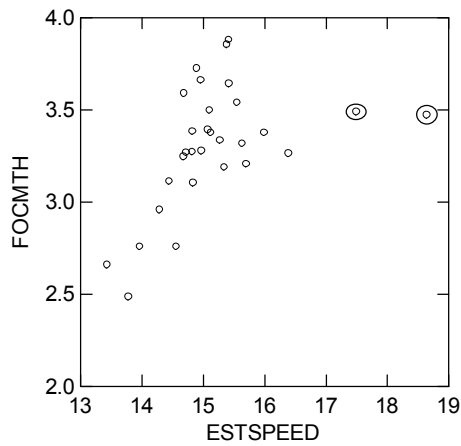


Σχήμα 4.241 Διάγραμμα του μοντέλου M3 στο VLCC 7-Loaded

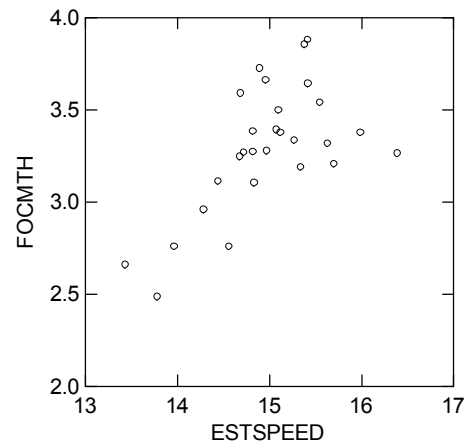
VLCC 10

- Ballast

Έγινε επιλογή σημείων και αφαιρούνται τα δύο σημεία που σημειώνονται με ελλείψεις στο Σχήμα 4.242 και ξεχωρίζουν από την κατανομή όλων των άλλων.



Σχήμα 4.242 Αρχικά σημεία του VLCC 10-Ballast



Σχήμα 4.243 Επιλεγμένα σημεία του VLCC 10-Ballast

Μοντέλο M1:

$$FOCHMT = b_1 \times ESTSPEED^3$$

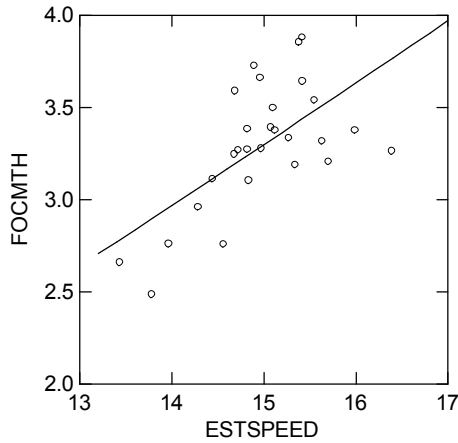
Δεν έγινε δυνατή η προσαρμογή του μοντέλου M1 στα σημεία του VLCC 10-Ballast.

Μοντέλο M2:

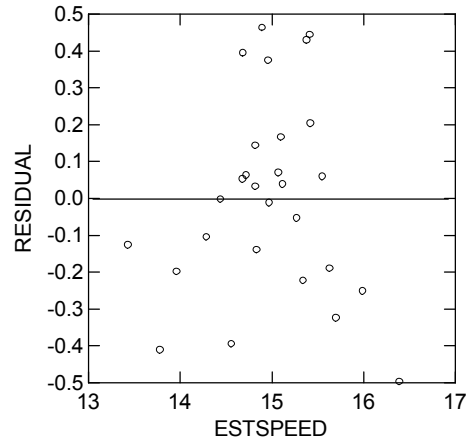
$$FOCHMT = b_0 + b_1 \times ESTSPEED^{b_2}$$

Πίνακας 4.89. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του VLCC 10-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b_1	0.17386	0.08604	0.26168
b_2	1.17866	.	.
b_0	-0.93297	-3.05813	1.19219



Σχήμα 4.244 Προσαρμογή του μοντέλου M2 στα δεδομένα VLCC 10-Ballast

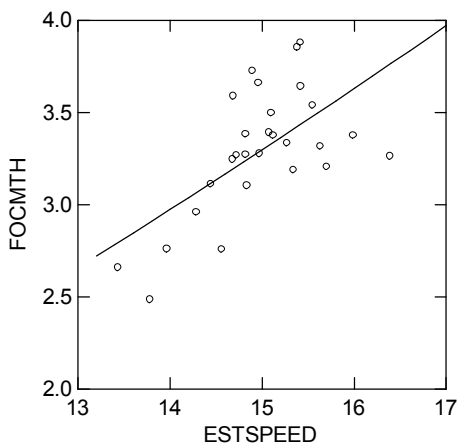


Σχήμα 4.245 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M2 στα δεδομένα VLCC 10-Ballast

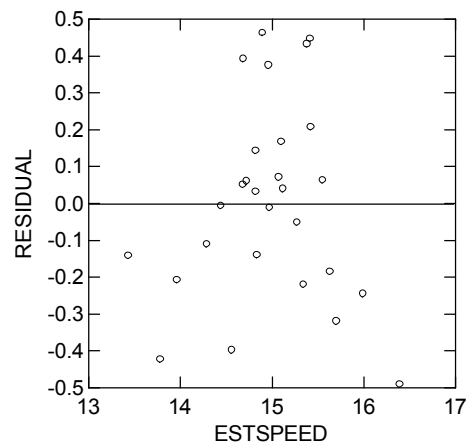
Μοντέλο M3:
$$FOCHMT = \frac{b_1 \times b_2^3 \times ESTSPEED^{3 \times b_3}}{P_{\max}^2} + \frac{b_4 \times b_2^2 \times ESTSPEED^{2 \times b_3}}{P_{\max}} + b_0 \times b_2 \times ESTSPEED^{b_3}$$

Πίνακας 4.90. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του VLCC 10-Ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95% >	Upper
b ₁	7.08893E+07	.	.
b ₂	1.06939	0.78548	1.35330
b ₃	0.46557	.	.
b ₄	2274.60143	.	.
b ₀	-0.21443	-0.95897	0.53011



Σχήμα 4.246 Προσαρμογή του μοντέλου M3 στα δεδομένα VLCC 10-Ballast



Σχήμα 4.247 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M3 στα δεδομένα VLCC 10-Ballast

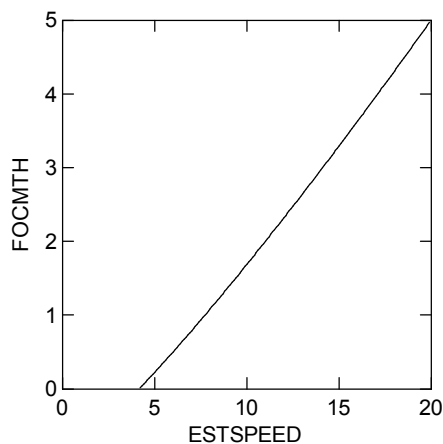
Εδώ αξίζει να αναφερθεί ότι κατά την εκτέλεση της μη-γραμμικής παλινδρόμησης και αναζητώντας διαφορετικά τοπικά ελάχιστα, παρατηρήσαμε ξανά ότι αυξάνοντας τον

εκθέτη b_3 , η μορφή της καμπύλης απομακρύνεται από τα θεωρητικά πρότυπα αφού στρέφει τα κοίλα προς τα κάτω, ενώ η προσαρμογή βελτιώνεται ελάχιστα με μια μικρή αύξηση των R^2 και ακόμη μικρότερη μείωση του S.

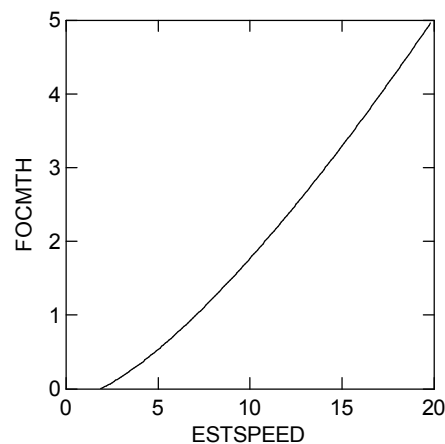
Πίνακας 4.91. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το VLCC 10-Ballast

Μοντέλα	R^2_{Mean}	R^2_{OvsP}	S
M1	.	.	.
M2	0.392	0.392	0.271
M3	0.389	0.389	0.272

Το M3 φαίνεται καλύτερο από το M2 στα Σχήματα 4.248 και 4.249, αφού είναι πιο καμπύλο και πέφτει λιγότερο κάτω από τον άξονα του 0, αν και έχει ελαφρώς χειρότερους συντελεστές αποφασιστικότητας (Πίνακας 4.91).

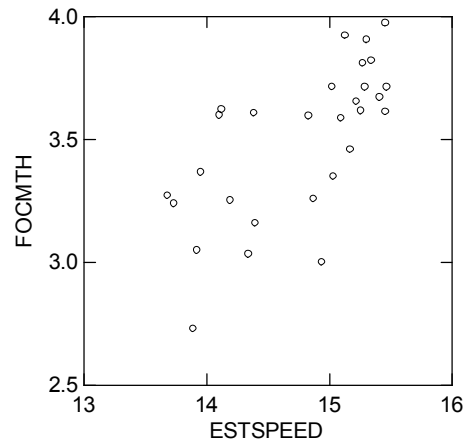


Σχήμα 4.248 Διάγραμμα του μοντέλου M2 στο VLCC 10-Ballast



Σχήμα 4.249 Διάγραμμα του μοντέλου M3 στο VLCC 10-Ballast

- Loaded



Σχήμα 4.250 Διάγραμμα διασποράς κατανάλωσης-ταχύτητας του πλοίου VLCC-10 Loaded

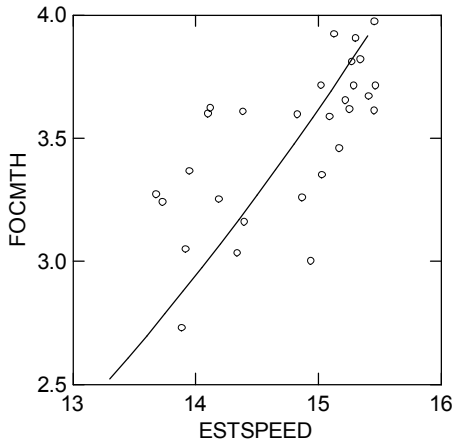
Η κατανομή των σημείων είναι γενικά η αναμενόμενη, αν και η ομάδα σημείων αριστερά στο διάγραμμα αντιστοιχεί σε μετρήσεις των οποίων η πληροφορία δεν έχει φυσικό νόημα, όπως έχει παρατηρηθεί και σε άλλα πλοία. Το αποτέλεσμα της καταγραφής αυτών των μετρήσεων είναι η αύξηση της διασποράς των δεδομένων, άρα η χειρότερη προσαρμογή των μοντέλων.

Μοντέλο M1:

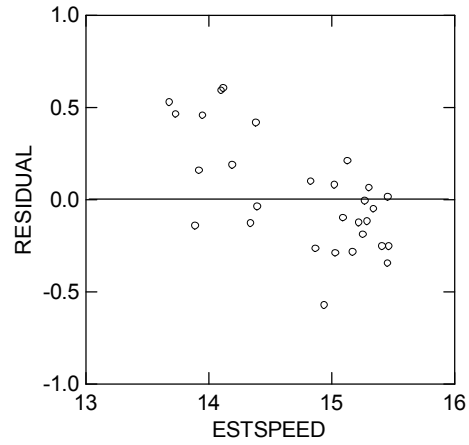
$$FOCHMT = b_1 \times ESTSPEED^3$$

Πίνακας 4.92. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M1 στα δεδομένα του VLCC 10-Loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b_1	0.00107	0.00104	0.00111



Σχήμα 4.251 Προσαρμογή του μοντέλου M1 στα δεδομένα VLCC 10-Loaded



Σχήμα 4.252 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M1 στα δεδομένα VLCC 10-Loaded

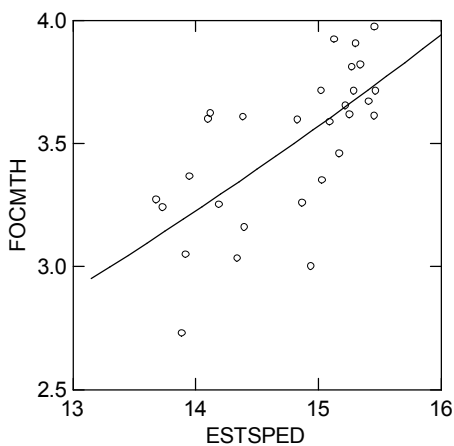
Παρ' όλο που η διασπορά είναι μεγάλη το μοντέλο προσαρμόζεται, αν και το R^2_{mean} είναι ιδιαίτερα χαμηλό όπως θα δούμε στη συνέχεια.

Μοντέλο M2:

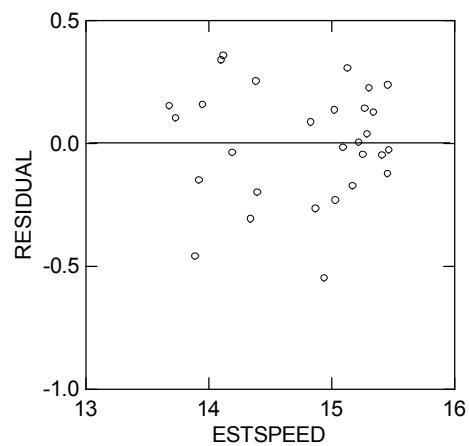
$$FOCHMT = b_0 + b_1 \times ESTSPEED^{b_2}$$

Πίνακας 4.93. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M2 στα δεδομένα του VLCC 10-Loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval Lower < 95%> Upper	
b_1	0.01179	.	.
b_2	2.00358	1.86749	2.13967
b_0	0.89385	-0.06255	1.85025



Σχήμα 4.253 Προσαρμογή του μοντέλου M2 στα δεδομένα VLCC 10-Loaded

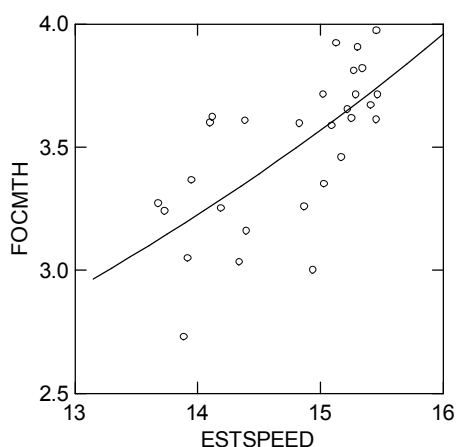


Σχήμα 4.254 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M2 στα δεδομένα VLCC 10-Loaded

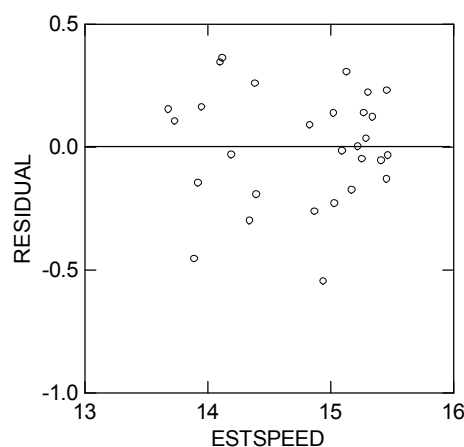
Μοντέλο M3:
$$FOCHMT = \frac{b_1 \times b_2^3 \times ESTSPEED^{3 \times b_3}}{P_{\max}^2} + \frac{b_4 \times b_2^2 \times ESTSPEED^{2 \times b_3}}{P_{\max}} + b_0 \times b_2 \times ESTSPEED^{b_3}$$

Πίνακας 4.94. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου M3 στα δεδομένα του VLCC 10-Loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval Lower < 95%> Upper	
b ₁	4.91283E+05	.	.
b ₂	1.00000	.	.
b ₃	1.08758	.	.
b ₄	-397.20173	-598.15933	-196.24413
b ₀	0.25772	0.14724	0.36820



Σχήμα 4.255 Προσαρμογή του μοντέλου M3 στα δεδομένα VLCC 10-Loaded



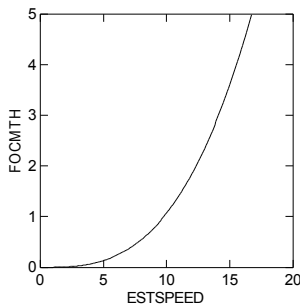
Σχήμα 4.256 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M3 στα δεδομένα VLCC 10-Loaded

Η διαφορά των μοντέλων M2 και M3 από το M1, όπως έχει περιγραφεί σε πολλές προηγούμενες περιπτώσεις φαίνεται ξανά στα τρία διαγράμματα υπολοίπων

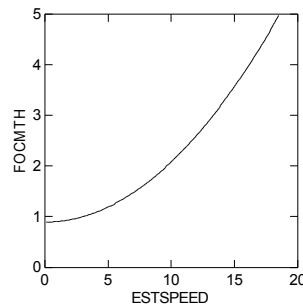
Πίνακας 4.95. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων για το VLCC 10-Loaded

Μοντέλα	R ² _{Mean}	R ² _{OvsP}	S
M1	0.020	0.457	0.307
M2	0.454	0.454	0.233
M3	0.456	0.457	0.233

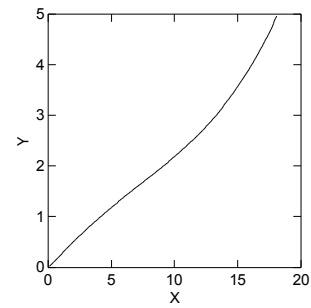
Η μορφή των M2 και M3 έχει πρόβλημα σε κάποιες περιοχές (Σχήματα 4.257, 4.258, 4.259), ενώ το M1 έχει ιδιαίτερα χαμηλή προσαρμογή (Πίνακας 4.95). Η αδυναμία του να προσεγγίσει τα σημεία των δεδομένων μας (Σχήμα 4.251) οφείλεται στην απότομη αύξηση της καμπύλης $y=ax^3$, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.257.



Σχήμα 4.257 Διάγραμμα του μοντέλου M1 στο VLCC 10-Loaded



Σχήμα 4.258 Διάγραμμα του μοντέλου M2 στο VLCC 10-Loaded



Σχήμα 4.259 Διάγραμμα του μοντέλου M3 στο VLCC 10-Loaded

4.3. Σχολιασμός αποτελεσμάτων ανάλυσης με ανεξάρτητη μεταβλητή την ταχύτητα

4.3.1. Κριτήρια αξιολόγησης μοντέλων

Στόχος είναι, αρχικά, αφού εξετάσουμε τα αποτελέσματα της δοκιμής των μοντέλων M1, M2, M3 στα δεδομένα του κάθε πλοίου ξεχωριστά, να επιλέξουμε κάποιο από τα τρία που να περιγράφει τη συνάρτηση Κατανάλωση= f (Ταχύτητα) καλύτερα. Μας ενδιαφέρει να κρίνουμε κατά πόσο το κάθε μοντέλο:

- Προσαρμόζεται στα δεδομένα των μετρήσεων.
- Έχει μικρό τυπικό σφάλμα S (standard error).
- Οι παράμετροι έχουν μικρό διάστημα εμπιστοσύνης.
- Έχει τυχαία κατανομή των υπολοίπων.

Εκτός από τα παραπάνω ποσοτικά κριτήρια, μας ενδιαφέρει επίσης να παρατηρήσουμε κατά πόσον το κάθε μοντέλο προσεγγίζει ικανοποιητικά τη θεωρητική μορφή της συνάρτησης. Η μορφή αυτή είναι μία καμπύλη που περνάει από την αρχή των αξόνων, είναι αύξουσα σε όλο το πεδίο τιμών και στρέφει τα κοίλα προς τα πάνω.

4.3.2. Σύγκριση μοντέλων

Για κάθε σύνολο μετρήσεων, δηλαδή για κάθε πλοίο στην έμφορτη-άφορτη (B-L) κατάσταση, συγκεντρώθηκαν για όλα τα μοντέλα οι τιμές του R^2_{Mean} στην πρώτη γραμμή του πίνακα 4.96, για κάθε πλοίο και κατάσταση.

Πίνακας 4.96. Τιμές R^2_{Mean} και S εναλλακτικών μοντέλων M1, M2, M3

Πλοίο	Κατάσταση		M1	M2	M3
AKTI A	B	R^2_{Mean}	0.714	0.797	0.804
		S	0.109	0.093	0.091
	L	R^2_{Mean}	.	0.367	0.357
		S	.	0.094	0.095
HORIZON A	B	R^2_{Mean}	.	0.468	0.467
		S	.	0.044	0.044
	L	R^2_{Mean}	.	0.158	0.159
		S	.	0.058	0.058
ARTINA A	B	R^2_{Mean}	.	0.317	0.318
		S	.	0.095	0.096
	L	R^2_{Mean}	.	0.148	0.134
		S	.	0.147	0.149
AFRAMAX 1	B	R^2_{Mean}	0.229	0.318	0.338
		S	0.249	0.237	0.233
	L	R^2_{Mean}	.	0.325	0.488
		S	.	0.057	0.051
AFRAMAX 2	B	R^2_{Mean}	0.756	0.760	0.763
		S	0.118	0.120	0.123
	L	R^2_{Mean}	0.116	0.666	0.807
		S	0.153	0.096	0.075
AFRAMAX 4	B	R^2_{Mean}	0.583	0.662	0.656
		S	0.176	0.162	0.163
	L	R^2_{Mean}	0.039	0.160	0.161
		S	0.130	0.124	0.121
AFRAMAX 5	B	R^2_{Mean}	0.757	0.798	0.806
		S	0.118	0.110	0.108
	L	R^2_{Mean}	0.728	0.816	0.815
		S	0.077	0.065	0.065
SWEZMAX 1	B	R^2_{Mean}	0.528	0.532	0.532
		S	0.557	0.576	0.576
	L	R^2_{Mean}	0.450	0.501	0.502
		S	0.261	0.258	0.258

SWEZMAX 2	B	R ² _{Mean}	0.799	0.864	0.864
		S	0.192	0.161	0.161
	L	R ² _{Mean}	.	0.331	0.341
		S	.	0.132	0.131
VLCC 2	B	R ² _{Mean}	0.638	0.885	0.885
		S	0.219	0.127	0.127
	L	R ² _{Mean}	.	0.291	0.318
		S	.	0.255	0.251
VLCC 3	B	R ² _{Mean}	0.219	0.399	0.402
		S	0.298	0.266	0.276
	L	R ² _{Mean}	0.108	0.444	0.444
		S	0.251	0.201	0.201
VLCC 7	B	R ² _{Mean}	0.457	0.560	0.561
		S	0.315	0.222	0.232
	L	R ² _{Mean}	0.325	0.862	0.872
		S	0.286	0.136	0.131
VLCC 10	B	R ² _{Mean}	.	0.392	0.389
		S	.	0.271	0.272
	L	R ² _{Mean}	0.020	0.454	0.456
		S	0.307	0.233	0.233

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα, φαίνεται η πολύ καλύτερη προσαρμογή των M2, M3 έναντι του M1 στις περισσότερες περιπτώσεις, κάτι που έχει σημειωθεί ήδη πολλές φορές στην ανάλυση της προηγούμενης παραγράφου. Συγκεκριμένα το R²_{Mean} του μοντέλου M1 είναι μικρότερο κατά 0.1, περίπου, από το R²_{Mean} των άλλων δύο μοντέλων στις παρακάτω περιπτώσεις:

- AFRAMAX 1-Ballast
- AFRAMAX 4-Ballast
- AFRAMAX 4-Loaded
- AFRAMAX 5-Loaded
- SWEZMAX 2-Ballast
- VLCC 3-Ballast
- VLCC 7-Ballast

Ακόμη, στις περιπτώσεις

- VLCC 3-Loaded
- VLCC 2-Ballast

η διαφορά είναι κατά μέσο όρο 0.3, ενώ στις περιπτώσεις

- AFRAMAX 2-Loaded
- VLCC 7-Loaded
- VLCC 10-Loaded

είναι πάνω από 0.4. Τέλος, το M1 δεν προσαρμόστηκε, δηλαδή δεν δόθηκε λύση από το στατιστικό πρόγραμμα λόγω μεγάλης διασποράς των δεδομένων στις περιπτώσεις

- AKTI A-Loaded
- HORIZON A-Ballast
- HORIZON A-Loaded
- ARTINA A-Ballast
- ARTINA A-Loaded
- AFRAMAX 1-Loaded
- SWEZMAX 2-Loaded
- VLCC 2-Loaded
- VLCC 10-Loaded

Την καλύτερη προσαρμογή των M2 και M3 σε σχέση με το M1 δείχνουν και τα διαγράμματα υπολοίπων των τριών μοντέλων για κάθε περίπτωση. Όπως έχει ήδη σχολιασθεί στην ανάλυση, η κατανομή των υπολοίπων των μοντέλων M2 και M3 είναι πιο τυχαία από αυτή του M1, που σημαίνει ότι η καμπύλες των M2 και M3 μοιράζουν καλύτερα τις αποστάσεις τους από τις μετρήσεις από ότι η καμπύλη του M1, άρα τις προσεγγίζουν καλύτερα. Αν εξετάσουμε τον Πίνακα 4.96 που παρουσιάζει τις τιμές του S της προσαρμογής των τριών μοντέλων σε όλες τις περιπτώσεις, παρατηρούμε μικρότερες διαφορές μεταξύ των μοντέλων από ότι στο R^2_{Mean} , ακόμη και για το M1 σε σχέση με τα άλλα δύο.

Συγκρίνοντας, τώρα τα M2 και M3 μεταξύ τους, φαίνεται ότι δε διαφέρουν ιδιαίτερα στην τιμή του R^2_{Mean} . Μια προσεκτική ματιά στον πίνακα 4.96 δείχνει ότι σε 4 περιπτώσεις έχουν ακριβώς την ίδια τιμή, ενώ εκτός από τρεις περιπτώσεις οι διαφορές τους είναι στο δεύτερο ή στο τρίτο δεκαδικό ψηφίο, υπέρ του M3. Ωστόσο, στις τρεις περιπτώσεις αυτές (AFRAMAX 1-Loaded, AFRAMAX 2-Loaded και VLCC 2-Loaded) οι λύσεις του προβλήματος της προσαρμογής του M3, που αντιστοιχούν σε καλύτερα R^2 από αυτές του M2, δίνουν καμπύλες που δεν περιγράφουν φυσιολογικά τη σχέση κατανάλωσης-ταχύτητας (Σχήματα 4.91, 4.111 και 4.200). Αυτό συμβαίνει γιατί οι μετρήσεις των συγκεκριμένων περιπτώσεων παρουσιάζουν κατανομές της κατανάλωσης

στις διάφορες ταχύτητες που, σε πολλές περιοχές ταχυτήτων δεν έχουν φυσικό νόημα. Όμως η μορφή του M3 έχει εντονότερες διαταραχές από αυτή του M2 γιατί ως μαθηματική σχέση το M3 έχει περισσότερες παραμέτρους και έτσι επηρεάζεται περισσότερο από τη μη ρεαλιστική κατανομή των σημείων. Κάτι τέτοιο βέβαια αφορά και τα δύο μοντέλα, αφού σε γενικές γραμμές, εξετάζοντας ξεχωριστά τις μετρήσεις κάθε πλοίου έγινε η εξής παρατήρηση: Σε κάθε σύνολο δεδομένων το πρόβλημα της προσαρμογής των μοντέλων M2 και M3 έχει πολλές λύσεις για κάθε ένα από αυτά που αντιστοιχούν στα τοπικά ελάχιστα της συνάρτησης των ελαχίστων τετραγώνων, οι οποίες διαφέρουν πολύ λίγο μεταξύ τους όσον αφορά την προσαρμογή. Όσο πιο κοντά είναι η κάθε λύση στα δεδομένα, δηλαδή όσο πιο μεγάλα είναι τα R^2 και το S, τόσο χειρότερη μορφή έχει η καμπύλη, κυρίως έξω από την περιοχή των δεδομένων, αλλά πολλές φορές και μέσα σε αυτήν. Για το M2, η δυσμορφία της καμπύλης δημιουργείται από το πολύ μεγάλο ή πολύ μικρό b_0 και από τη στροφή των κοίλων προς τα κάτω σε όλο το διάστημα [0,20 κόμβοι] των ταχυτήτων που μας ενδιαφέρει. Για το M3, παρατηρείται αρκετά συχνότερη στροφή των κοίλων προς τα κάτω κυρίως στις πολύ υψηλές ταχύτητες και πολύ χαμηλές ταχύτητες και λιγότερο στις μέσες, ενώ σε ακραίες περιπτώσεις εμφανίζει φθίνουσα συμπεριφορά στις υψηλές. Βλέπουμε, δηλαδή ότι τα κριτήρια της προσαρμογής και της καλής συμπεριφοράς έρχονται σε σύγκρουση. Προσπαθώντας να εξετάσουμε το συνδυασμό τους, αν σε κάθε σύνολο δεδομένων συγκρίνουμε μεταξύ τους τις λύσεις από κάθε μοντέλο, που έχουν την καλύτερη συμπεριφορά, δεν έχουμε να παρατηρήσουμε ουσιαστικές διαφορές στην προσαρμογή.

Εξετάζοντας, από την άλλη τα διαστήματα εμπιστοσύνης των συντελεστών των τριών μοντέλων, συμπεραίνουμε ότι το πιο σταθερό στατιστικά είναι το M1. Το M2 έχει πρόβλημα με το σταθερό όρο b_0 , του οποίου το διάστημα εμπιστοσύνης περικλείει σχεδόν πάντα το 0. Αυτό σημαίνει ότι δεν έχουμε σαφείς πληροφορίες για την τιμή του, ακόμη και σε περιπτώσεις όπου οι μετρήσεις σχηματίζουν αναμενόμενη κατανομή, ενώ το ίδιο ισχύει και στις περισσότερες περιπτώσεις για τους συντελεστές b_0, b_1, b_2, b_4 του μοντέλου M3 (Πίνακες 4.97, 4.98, 4.99).

Πίνακας 4.97. Τιμές και διαστήματα εμπιστοσύνης της παραμέτρου του μοντέλου M1

Πλοίο		b_1
AKTI A	B	0.00046
		(0.00044, 0.00047)
	L	.
		.
HORIZON A	B	.
		.
	L	.
		.
ARTINA A	B	.
		.
	L	.
		.
AFRAMAX 1	B	0.00051
		(0.00049, 0.00053)
	L	.
AFRAMAX 2	B	0.00052
		(0.00051, 0.00053)
	L	0.00052
		(0.00051, 0.00053)
AFRAMAX 4	B	0.00049
		(0.00047, 0.00051)
	L	0.00050
		(0.00049, 0.00052)
AFRAMAX 5	B	0.00048
		(0.00047, 0.00050)
	L	0.00047
		(0.00046, 0.00048)
SWEZMAX 1	B	0.00069
		(0.00061, 0.00078)
	L	0.00061
		(0.00057, 0.00064)

SWEZMAX 2	B	0.00064
		(0.00062, 0.00066)
	L	.
		.
VLCC 2	B	0.00100
		(0.00096, 0.00103)
	L	0.00124
		(0.00120, 0.00128)
VLCC 3	B	0.00096
		(0.00093, 0.00099)
	L	0.00099
		(0.00096, 0.00102)
VLCC 7	B	0.00089
		(0.00086, 0.00093)
	L	0.00088
		(0.00084, 0.00092)
VLCC 10	B	.
		.
	L	0.00104
		(0.00102, 0.00106)

Πίνακας 4.98. Τιμές και διαστήματα εμπιστοσύνης των παραμέτρων του μοντέλου M2

Πλοίο		b_1	b_2	b_0
AKTI A	B	0.00696	1.98565	-0.09929
		(0.00588, 0.00804)	.	(-0.28304, 0.08446)
	L	-16.81452	-1.05126	2.24692
		(-22.99098, -10.63806)	.	(1.85014, 2.64370)
HORIZON A	B	0.00422	2.00263	0.38910
		.	(1.89165, 2.11361)	(0.16707, 0.61114)
	L	0.00329	2.10782	0.40989
		(0.00158, 0.00500)	.	(0.00070, 0.81908)
ARTINA A	B	-20.48302	-1.02000	2.50820
		(-99.85612, 58.89008)	.	(-2.92930, 7.94569)
	L	-19.60123	-1.02001	2.48344
		(-29.08414, -10.11833)	.	(1.82773, 3.13916)
AFRAMAX 1	B	0.00683	2.01879	0.17400
		(0.00384, 0.00981)	.	(-0.58230, 0.93030)
	L	0.00007	3.03202	1.80809
		.	(2.88249, 3.18154)	(1.68566, 1.93052)
AFRAMAX 2	B	0.00048	3.00254	0.13334
		(0.00832, 0.01927)	(2.93961, 3.06548)	(-0.17816, 0.44484)
	L	26.50674	0.09946	-32.81391
		.	(0.08091, 0.11801)	(-34.59539, -31.03244)
AFRAMAX 4	B	0.00899	1.99127	-0.24101
		(0.00607, 0.01192)	.	(-0.95448, 0.47247)
	L	0.00027	2.99304	0.95668
		(-0.00000, 0.00055)	.	(-0.16605, 2.07941)
AFRAMAX 5	B	0.00038	3.01080	0.34029
		.	(2.92648, 3.09513)	(-0.00376, 0.68434)
	L	0.00035	3.00228	0.44223
		.	(2.92327, 3.08130)	(0.14844, 0.73602)
SWEZMAX 1	B	0.00027	3.34770	0.01058
		(0.00012, 0.00042)	.	(-1.40930, 1.43046)
	L	0.06713	1.48629	-1.63350
		(0.02686, 0.10740)	.	(-4.09633, 0.82933)

SWEZMAX 2	B	0.01178	1.99435	-0.38856
		(0.00971, 0.01384)	.	(-0.86957, 0.09245)
	L	0.02320	1.49022	1.18620
		(0.00957, 0.03683)	.	(0.33335, 2.03905)
VLCC 2	B	0.01401	1.99911	0.10212
		(0.01151, 0.01651)	.	(-0.40881, 0.61305)
	L	1.05558	0.58512	-1.68452
		(1.03606, 1.07509)	.	.
VLCC 3	B	0.00057	3.00285	1.30874
		.	(2.84588, 3.15982)	(0.47937, 2.13810)
	L	0.06121	1.49254	-0.11015
		(0.03462, 0.08781)	.	(-1.62565, 1.40534)
VLCC 7	B	1.7+06	5.00097	1.90398
		.	(4.94260, 5.05934)	(1.59656, 2.21140)
	L	0.01211	1.99003	0.82144
		(0.00845, 0.01577)	.	(-0.16233, 1.80520)
VLCC 10	B	0.17386	1.17866	-0.93297
		(0.08604, 0.26168)	.	(-3.05813, 1.19219)
	L	0.01179	2.00358	0.89385
		.	(1.86749, 2.13967)	(-0.06255, 1.85025)

Πίνακας 4.99. Τιμές και διαστήματα εμπιστοσύνης των παραμέτρων του μοντέλου M3

Πλοίο		b_1	b_2	b_3	b_4	b_0
AKTI A	B	-1.70007E+06	0.11363	1.38056	1533.01470	-0.05549
		.	.	.	(1.30448, 1.45665)	(1329.65134, 1736.37805)
	L	-1.14575E+07	0.09639	1.05123	2324.54766	0.66407
		(-2.00938E+07, -2.82112E+06)	.	(0.97823, 1.12423)	.	.
HORIZON A	B	9.38705E+06	0.10200	1.03000	0.08754	0.66792
		.	.	(1.96778, 2.04994)	.	.
	L	1.21621E+06	0.02661	1.50054	-1029.67442	1.00000
		.	.	(2.65800, 2.78589)	(-1131.52631, -927.82254)	.

ARTINA A	B	19.87688	0.03525	2.72240	-3.57817	0.03770
		(-1.76383E+07, 1.78999E+06)	(0.02767, 0.04283)	.	.	(0.03532, 0.04009)
	L	2.27733E+06	1.01616	0.49492	1.14126	0.08431
		.	(0.71165, 1.32068)	(0.94844, 1.14918)	.	(-0.13840, 0.30702)
AFRAMAX 1	B	7.58785E+07	0.10200	1.18633	-16622.84231	1.56391
		(5.36469E+07, 9.81102E+07)	.	(1.06571, 1.30694)	.	.
	L	1.37323E+06	0.16186	1.56749	-1875.42604	0.81041
		(7.50936E+05, 1.99552E+06)	-1.01586 1.33958	(-0.83578, 3.97076)	.	(0.61921, 1.00161)
AFRAMAX 2	B	3.14232E+05	0.20056	1.54423	-289.15968	0.18500
		(-1.08987E+07 1.15272E+07)	(-25.52154, 25.92265)	(-35.21073, 38.29919)	.	(-2.24326, 2.61327)
	L	63361.80899	-0.60256	1.56358	307.87331	0.32654
		.	(-11.73715, 10.53202)	(-4.19081, 7.31796)	(523.32884, 1139.07547)	(-1.81159, 2.46467)
AFRAMAX 4	B	1.01552E+08	0.10200	0.97825	4415.06067	0.29144
		(1.91444E+07, 1.83959E+08)	.	.	.	(-0.22163, 0.80450)
	L	3.68634E+07	0.10200	1.03000	0.16198	0.84389
		.	.	.	(-310.34042, 310.66439)	.
AFRAMAX 5	B	1.26975E+05	1.00000	1.07638	-131.61996	0.09886
		.	.	.	(-184.01305, -79.22688)	(0.04518, 0.15255)
	L	5.75930	1.00000	2.00000	-0.06879	0.00731
		.	.	.	(-0.22838, 0.09079)	(0.00526, 0.00936)

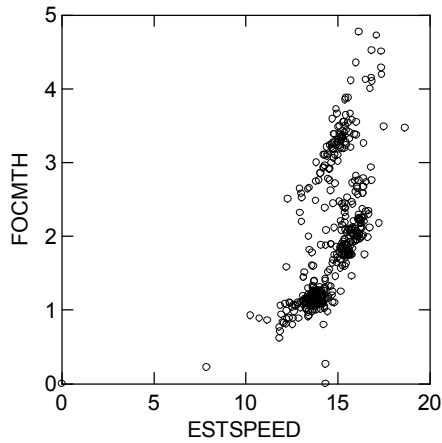
SWEZMAX 2	B	-23546.40297	1.00781	1.17945	131.55843	-0.02354
		(37060.05107, -10032.75488)	.	.	.	(-0.04097, -0.00612)
	L	-1.74685E+07	0.13319	1.07329	1371.18200	1.07946
		.	.	(0.84118, 1.30540)	.	(0.61763, 1.54129)
VLCC 2	B	-29080.20873	1.00000	1.00838	428.67181	0.01221
		(-1.96682E+05, 1.38521E+05)	.	.	.	(-0.02367, 0.04810)
	L	-6.44231E+07	0.16338	1.13553	10284.22756	0.62347
		.	.	(1.03705, 1.23402)	.	(0.44123, 0.80571)
VLCC 3	B	37249.05458	0.09724	2.26886	-112.74013	0.15602
		.	(-7.17896, 7.37344)	-23.94736 28.48508	(-332.34078, 106.86051)	(-0.33928, 0.65132)
	L	6.47841E+07	1.00701	0.49810	1.19872	-0.03692
		.	.	.	(-162.91484, 165.31227)	.
VLCC 7	B	5.38062E+08	0.10200	1.13198	-39836.90931	2.00154
		(-2.55328E+08, 1.33145E+09)	.	(0.78878, 1.47518)	.	.
	L	-1.098E+06	0.13607	1.47336	396.299	0.44257
		(-5.65272E+06, 3.45585E+06)	.	.	(-592.818, 1385.416)	.
VLCC 10	B	7.08893E+07	1.06939	0.46557	2274.60143	-0.21443
		.	0.78548 1.35330	.	.	(-0.95897, 0.53011)
	L	4.91283E+05	1.00000	1.08758	-397.20173	0.25772
		.	.	.	(-598.15933, -196.24413)	(0.14724, 0.36820)

Είδαμε, λοιπόν ότι, σύμφωνα με τον Πίνακα 4.97 τα μοντέλα M2 και M3 πλησιάζουν περισσότερο τα δεδομένα από ότι το M1. Όμως, δεν παρουσιάζουν την ίδια ποιότητα όλες οι μετρήσεις που είχαμε στη διάθεση μας. Όπως έχει δειχθεί κατά την παρουσίαση

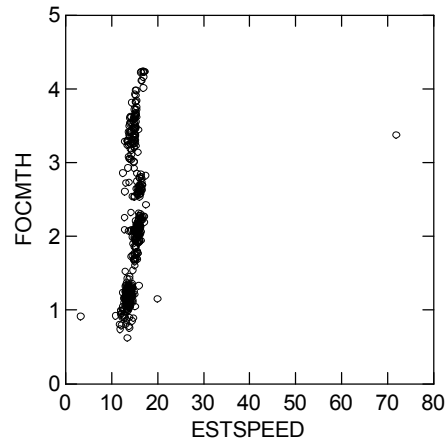
των αποτελεσμάτων της ανάλυσης, στις περισσότερες περιπτώσεις παρατηρείται έντονη διασπορά των σημείων ή παράλογη σχέση μεταξύ ταχύτητας και κατανάλωσης, όπως για παράδειγμα μικρότερες καταναλώσεις για μεγαλύτερες ταχύτητες ή σταθερή κατανάλωση για αυξανόμενη ταχύτητα. Αιτίες είναι διάφοροι παράγοντες, για τους οποίους έχει γίνει λόγος, αλλά η επίδραση τους δεν μετρείται με κάποια παράμετρο στα μοντέλα που συγκρίνονται, άρα δεν εξετάζεται η σχέση τους με την κατανάλωση στα πλαίσια αυτής της εργασίας. Εάν, όμως απομονώσουμε τις περιπτώσεις (AKTI A-Ballast, AFRAMAX 2-Ballast, AFRAMAX 4-Ballast, AFRAMAX 5-Ballast, AFRAMAX 5-Loaded, SWEZMAX 1-Ballast, SWEZMAX 2-Ballast, VLCC 3-Ballast και VLCC 7-Ballast) στις οποίες η κατανομή της κατανάλωσης στις μετρούμενες ταχύτητες έχει την αναμενόμενη μορφή, είναι δηλαδή αύξουσα με μικρή διασπορά και φαίνεται να στρέφει τα κοίλα προς τα πάνω μπορούμε να κάνουμε δύο παρατηρήσεις. Πρώτον, το M1 είναι αρκετά κοντά στα άλλα δύο όσον αφορά την προσαρμογή τόσο ως προς το S όσο και ως προς το R^2_{mean} . Δεύτερον, εάν προσαρμόσουμε εκ νέου το M2, αφαιρώντας τον σταθερό του όρο, παίρνουμε λίγο καλύτερα αποτελέσματα από αυτά του M1, με τις τιμές του εκθέτη να πλησιάζουν το 2. Έτσι, γίνεται δυνατή μια πιο δίκαιη σύγκριση με το M1, αφού ο σταθερός όρος βελτιώνει την προσαρμογή.

4.4. Ανάλυση με παράμετρο την ταχύτητα και το deadweight.

Στο δεύτερο μέρος της ανάλυσης δοκιμάστηκαν τα τρία μοντέλα που ορίστηκαν στην πρώτη ενότητα του δευτέρου μέρους της παραγράφου 3.2. Έγινε μη γραμμική παλινδρόμηση και για τα τρία μοντέλα στο σύνολο δεδομένων, το οποίο αποτελείται από τις μετρήσεις ταχύτητας-κατανάλωσης όλων των πλοίων μαζί, ενώ εξετάστηκαν ξεχωριστά οι περιπτώσεις άφορτης-έμφορτης κατάστασης (ballast-loaded condition). Παρουσιάζονται όπως και πριν τα διαγράμματα διασποράς της κατανάλωσης σε σχέση με τη θεωρητική ταχύτητα, τα διαγράμματα προσαρμογής και υπολοίπων, οι τιμές των παραμέτρων και οι συντελεστές αποφασιστικότητας της προσαρμογής κάθε μοντέλου



Σχήμα 4.260 Συνολικό διάγραμμα διασποράς των μετρήσεων κατάστασης-ballast



Σχήμα 4.261 Συνολικό διάγραμμα διασποράς των μετρήσεων κατάστασης-loaded

Ballast

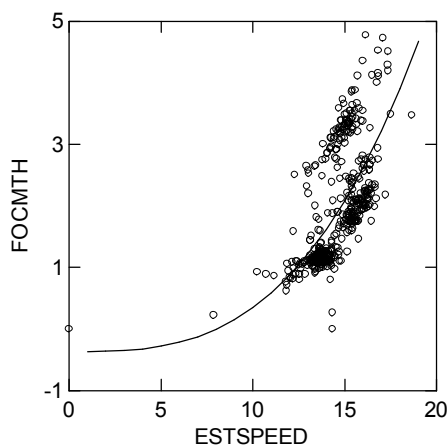
Πρώτα, δοκιμάζονται τα τρία μοντέλα στις μετρήσεις της κατάστασης ballast.

Μοντέλο M2:

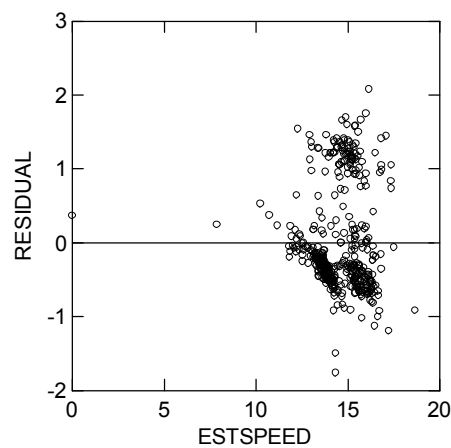
$$FOCHMT = b_1 \times ESTSPEED^{b_2} + b_0$$

Πίνακας 4.100. Τιμές παραμέτρων μοντέλου M2 στα δεδομένα της κατάστασης ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95% >	Upper
b ₁	0.00063	-0.00179	0.00306
b ₂	3.04993	1.78023	4.31963
b ₀	-0.36804	-1.29931	0.56324



Σχήμα 4.262 Προσαρμογή του μοντέλου M2 στις μετρήσεις ballast



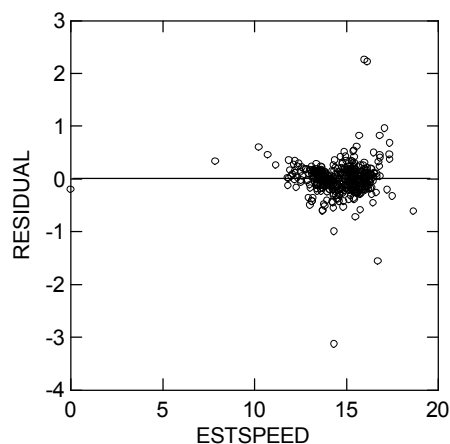
Σχήμα 4.263 Διάγραμμα υπολοίπων του M2

Τα αποτελέσματα του Πίνακα 100 αντιπροσωπεύουν τη βέλτιστη λύση του προβλήματος της μη-γραμμικής παλινδρόμησης για το μοντέλο M2.

Μοντέλο MD1: $FOCMTH = b_1 \times ESTSPEED^{b_2} + b_3 \times DEADWEIGHT + b_0$

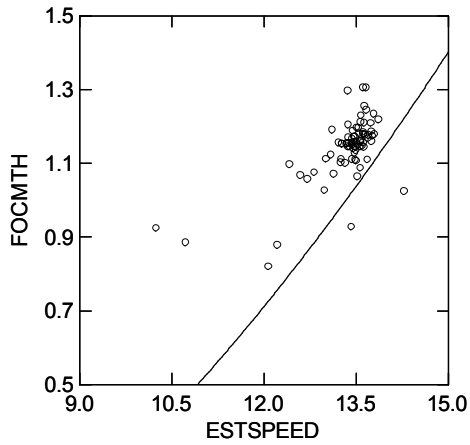
Πίνακας 4.101. Τιμές παραμέτρων μοντέλου MD1 στα δεδομένα της κατάστασης ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	0.00926	0.00834	0.01019
b ₂	1.97291	.	.
b ₃	0.00001	0.00001	0.00001
b ₀	-0.72108	-0.89433	-0.54783

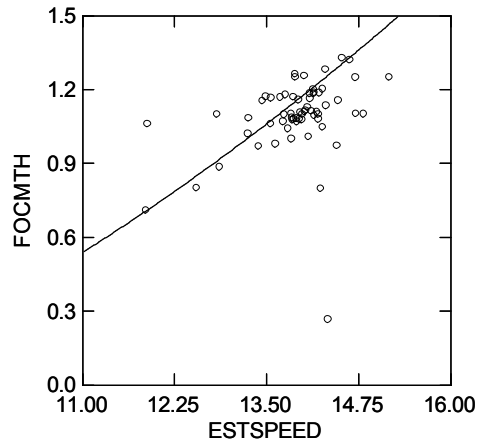


Σχήμα 4.264 Διάγραμμα υπολοίπων του MD1

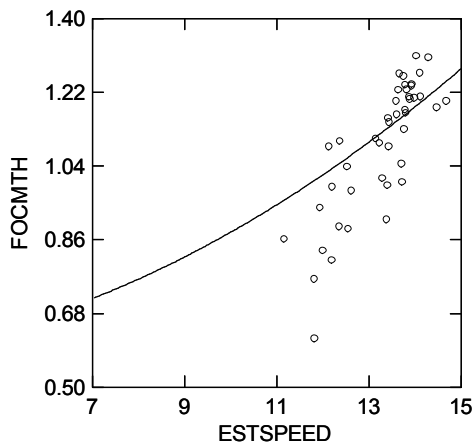
Οι καλύτερες λύσεις του προβλήματος της παλινδρόμησης τείνουν σε ευθείες με χαμηλό b_0 . Το διάγραμμα υπολοίπων είναι σαφώς βελτιωμένο, σε σχέση με το αντίστοιχο του M2, αφού τα υπόλοιπα στο Σχήμα 4.264 είναι πιο συγκεντρωμένα γύρω από τον άξονα του 0, με μερικά απομακρυσμένα σημεία που δεν εξαιρέθηκαν από την ανάλυση και πιο τυχαία κατανομημένα.. Αντικαθιστώντας στην εξίσωση του μοντέλου MD1 την τιμή του deadweight για κάθε πλοίο, έχουμε την εφαρμογή του μοντέλου MD1 σε κάθε πλοίο, όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα:



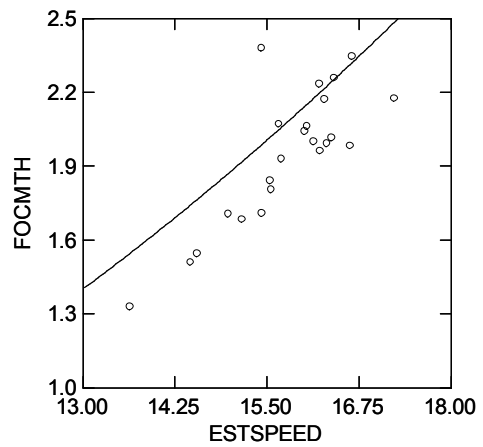
Σχήμα 4.265 Μοντέλο MD1 στο πλοίο HORIZON A-Ballast



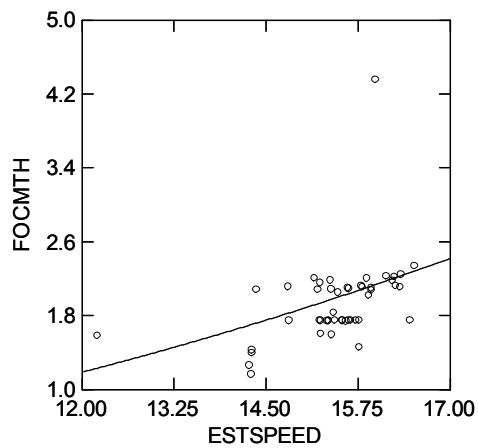
Σχήμα 4.266 Μοντέλο MD1 στο πλοίο ARTINA A-Ballast



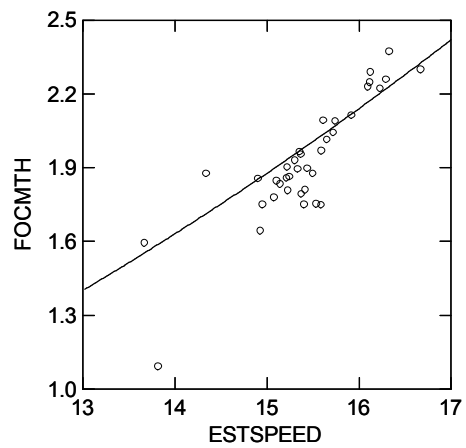
Σχήμα 4.267 Μοντέλο MD1 στο πλοίο AKTI A-Ballast



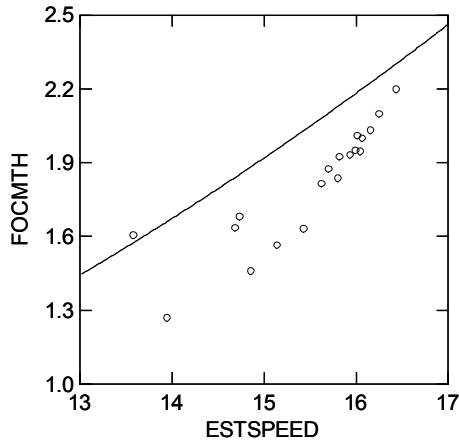
Σχήμα 4.268 Μοντέλο MD1 στο πλοίο AFRAMAX 4-Ballast



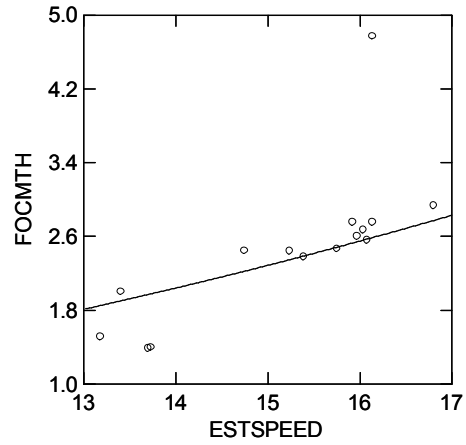
Σχήμα 4.269 Μοντέλο MD1 στο πλοίο AFRAMAX 1-Ballast



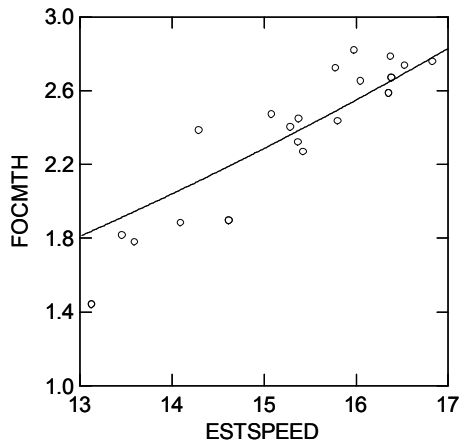
Σχήμα 4.270 Μοντέλο MD1 στο πλοίο AFRAMAX 2-Ballast



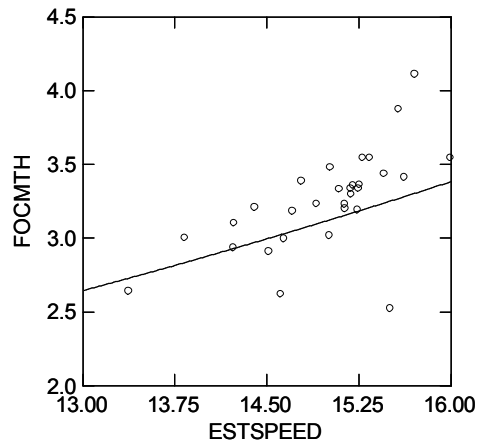
Σχήμα 4.271 Μοντέλο MD1 στο πλοίο AFRAMAX 5-Ballast



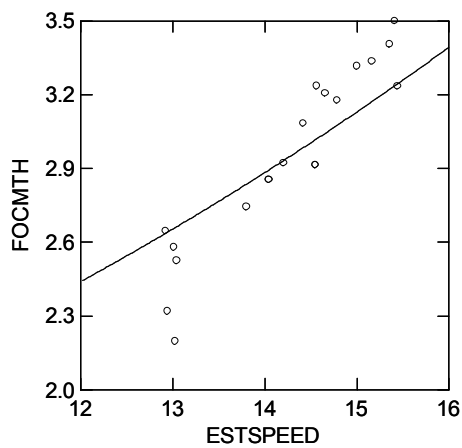
Σχήμα 4.272 Μοντέλο MD1 στο πλοίο SWEZMAX 1-Ballast



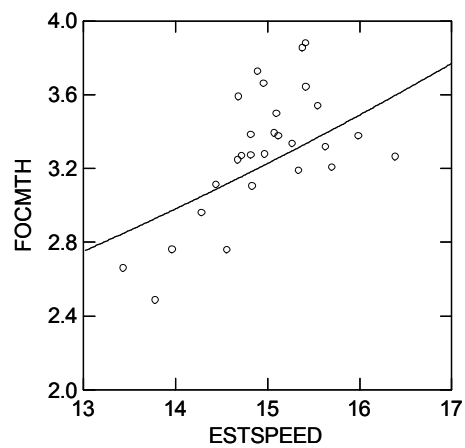
Σχήμα 4.273 Μοντέλο MD1 στο πλοίο SWEZMAX 2-Ballast



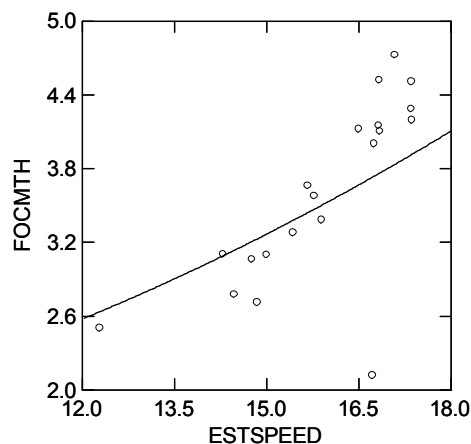
Σχήμα 4.274 Μοντέλο MD1 στο πλοίο VLCC 3-Ballast



Σχήμα 4.275 Μοντέλο MD1 στο πλοίο VLCC 2-Ballast



Σχήμα 4.276 Μοντέλο MD1 στο πλοίο VLCC 10-Ballast



Σχήμα 4.277 Μοντέλο MD1 στο πλοίο VLCC 7-Ballast

και στον Πίνακα 102, όπου παρουσιάζονται αναλυτικά οι αντίστοιχες εξισώσεις. Βλέπουμε στα προηγούμενα σχήματα ότι το MD1 προσεγγίζει ικανοποιητικά τα πλοία ARTINA A, AFRAMAX 1, SWEZMAX 1 και SWEZMAX 2. Στα υπόλοιπα είτε είναι απομακρυσμένο από το κέντρο της κατανομής των σημείων, είτε η κλίση που έχει διαφέρει αρκετά από αυτή των σημείων (AKTI A, AFRAMAX 2, VLCC 3 και VLCC 7).

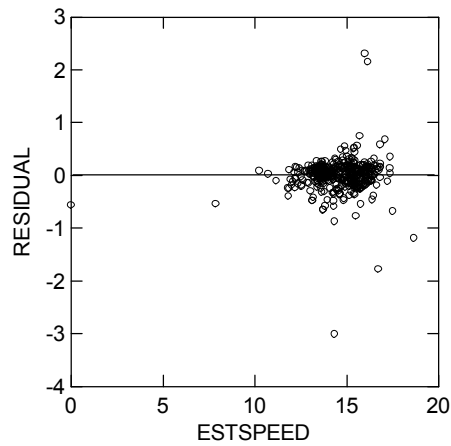
Πίνακας 4.102. Μοντέλα ταχύτητας-κατανάλωσης MD1 πλοίων κατάστασης ballast.

Πλοίο	DEADWEIGHT(MT)	Μοντέλο
HORIZON A	27841	$FOCMTH = 0.00926 \times ESTSPEED^{1.97291} - 0.53454$
ARTINA A	31302.5	$FOCMTH = 0.00926 \times ESTSPEED^{1.97291} - 0.51135$
AKTI A	38625	$FOCMTH = 0.00926 \times ESTSPEED^{1.97291} - 0.46229$
AFRAMAX 4	98805	$FOCMTH = 0.00926 \times ESTSPEED^{1.97291} - 0.05908$
AFRAMAX 1	98805.2	$FOCMTH = 0.00926 \times ESTSPEED^{1.97291} - 0.05908$
AFRAMAX 2	98875	$FOCMTH = 0.00926 \times ESTSPEED^{1.97291} - 0.05861$
AFRAMAX 5	105109	$FOCMTH = 0.00926 \times ESTSPEED^{1.97291} - 0.01685$
SWEZMAX 1	159899	$FOCMTH = 0.00926 \times ESTSPEED^{1.97291} + 0.35025$
SWEZMAX 2	159899	$FOCMTH = 0.00926 \times ESTSPEED^{1.97291} + 0.35025$
VLCC 3	284411	$FOCMTH = 0.00926 \times ESTSPEED^{1.97291} + 1.18448$
VLCC 2	285771	$FOCMTH = 0.00926 \times ESTSPEED^{1.97291} + 1.19359$
VLCC 10	300294	$FOCMTH = 0.00926 \times ESTSPEED^{1.97291} + 1.29089$
VLCC 7	306344.3	$FOCMTH = 0.00926 \times ESTSPEED^{1.97291} + 1.33143$

Μοντέλο MD2: $FOCMTH = b_0 + b_1 \times ESTSPEED^{b_2} \times DEADWEIGHT^{b_3}$

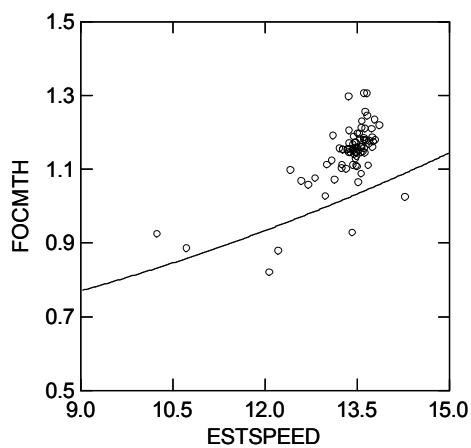
Πίνακας 4.103. Τιμές παραμέτρων μοντέλου MD2 στα δεδομένα της κατάστασης ballast

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95% >	Upper
b_1	0.00000	.	.
b_2	2.01411	1.84943	2.17880
b_3	0.63623	0.60104	0.67143
b_0	0.56229	0.49862	0.62595

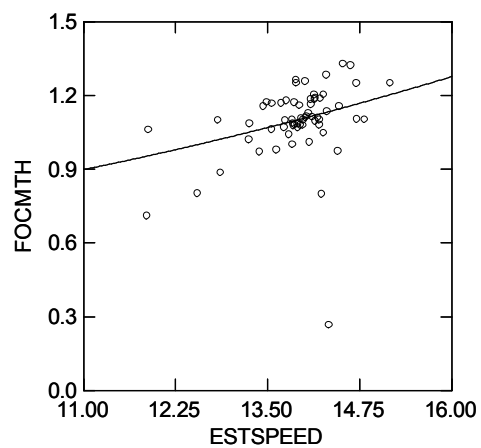


Σχήμα 4.278 Διάγραμμα υπολοίπων του MD2

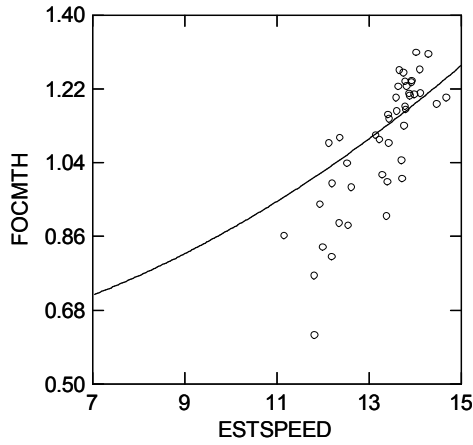
Τα υπόλοιπα είναι και εδώ συγκεντρωμένα στον άξονα του 0 και κατανομημένα τυχαία. Αντικαθιστώντας την τιμή του deadweight για κάθε πλοίο και επιλέγοντας τα αντίστοιχα σημεία, έχουμε την εφαρμογή του μοντέλου MD2 σε κάθε πλοίο, όπως φαίνεται στα επόμενα σχήματα:



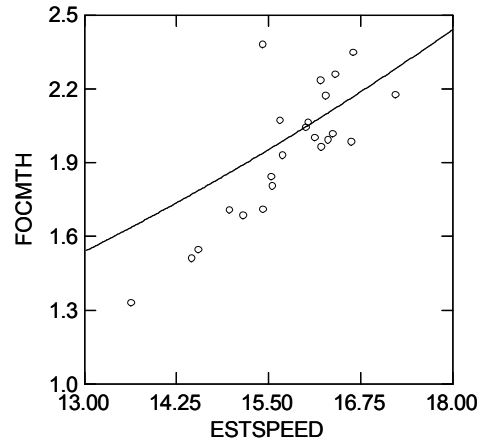
Σχήμα 4.279 Μοντέλο MD2 στο πλοίο HORIZON A-Ballast



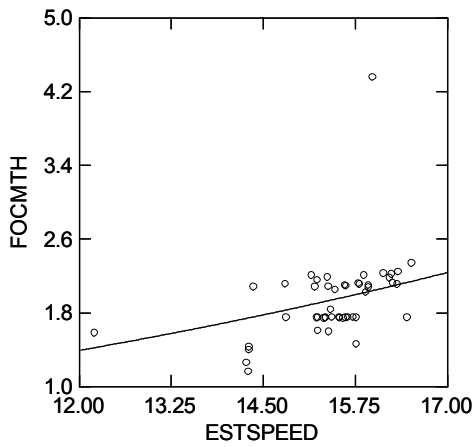
Σχήμα 4.280 Μοντέλο MD2 στο πλοίο ARTINA A-Ballast



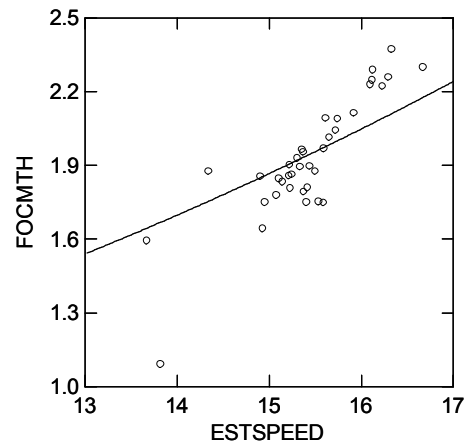
Σχήμα 4.281 Μοντέλο MD2 στο πλοίο AKTI A-Ballast



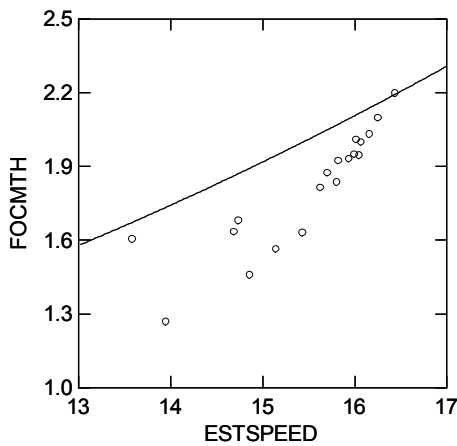
Σχήμα 4.282 Μοντέλο MD2 στο πλοίο AFRAMAX 4-Ballast



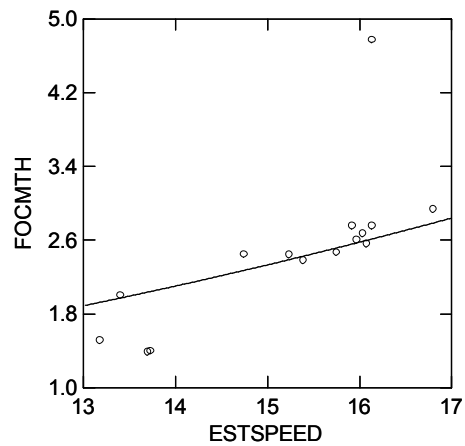
Σχήμα 4.283 Μοντέλο MD2 στο πλοίο AFRAMAX 1-Ballast



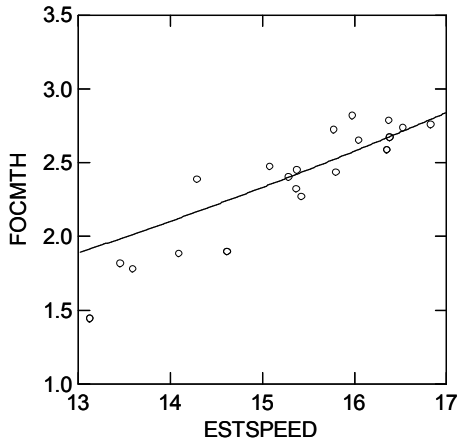
Σχήμα 4.284 Μοντέλο MD2 στο πλοίο AFRAMAX 2-Ballast



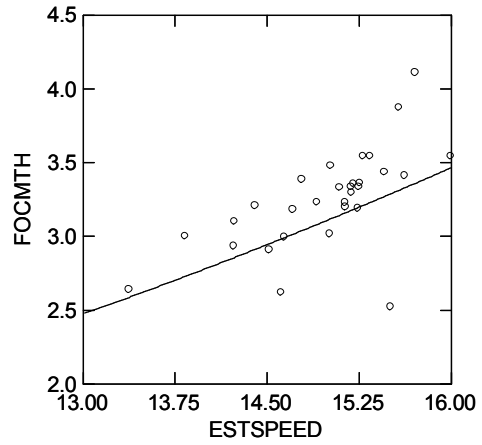
Σχήμα 4.285 Μοντέλο MD2 στο πλοίο AFRAMAX 5-Ballast



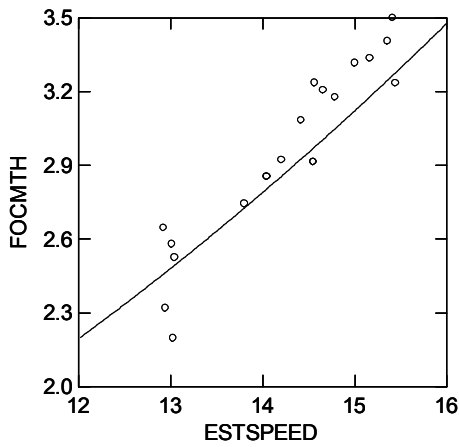
Σχήμα 4.286 Μοντέλο MD2 στο πλοίο SWEZMAX 1-Ballast



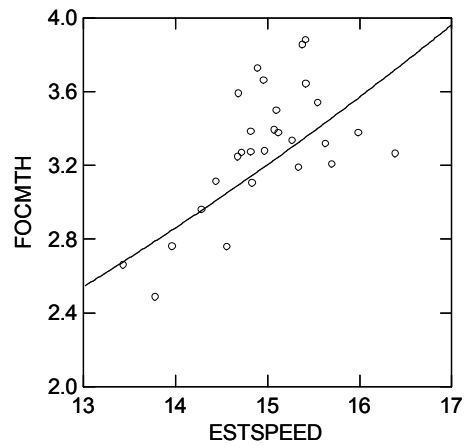
Σχήμα 4.287 Μοντέλο MD2 στο πλοίο SWEZMAX 2-Ballast



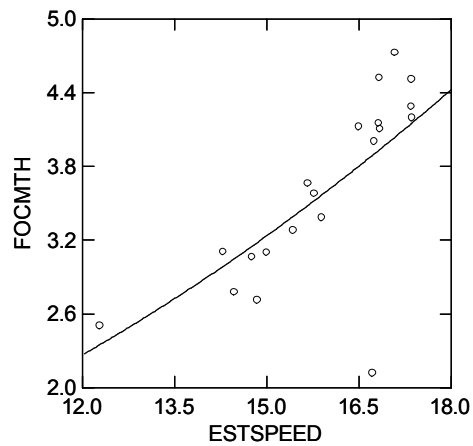
Σχήμα 4.288 Μοντέλο MD2 στο πλοίο VLCC 3-Ballast



Σχήμα 4.289 Μοντέλο MD2 στο πλοίο VLCC 2-Ballast



Σχήμα 4.290 Μοντέλο MD2 στο πλοίο VLCC 10-Ballast



Σχήμα 4.291 Μοντέλο MD2 στο πλοίο VLCC 7-Ballast

και στον πίνακα 4.104, ομοίως με πριν οι εξισώσεις αναλυτικά για κάθε πλοίο. Το MD2 παρατηρούμε ότι προσεγγίζει ικανοποιητικά τα πλοία AFRAMAX 1, SWEZMAX 1, SWEZMAX 2, VLCC 10 και VLCC 7. Στα υπόλοιπα, παρουσιάζει τα ίδια προβλήματα που σημειώθηκαν για το MD1.

Πίνακας 4.104. Μοντέλα ταχύτητας-κατανάλωσης MD2 πλοίων κατάστασης ballast.

Πλοίο	DEADWEIGHT(MT)	Μοντέλο
HORIZON A	27841	$FOCMTH = 0.00249 \times ESTSPEED^{2.01411} + 0.56229$
ARTINA A	31302.5	$FOCMTH = 0.00268 \times ESTSPEED^{2.01411} + 0.56229$
AKTI A	38625	$FOCMTH = 0.00307 \times ESTSPEED^{2.01411} + 0.56229$
AFRAMAX 4	98805	$FOCMTH = 0.00557 \times ESTSPEED^{2.01411} + 0.56229$
AFRAMAX 1	98805.2	$FOCMTH = 0.00557 \times ESTSPEED^{2.01411} + 0.56229$
AFRAMAX 2	98875	$FOCMTH = 0.00558 \times ESTSPEED^{2.01411} + 0.56229$
AFRAMAX 5	105109	$FOCMTH = 0.00580 \times ESTSPEED^{2.01411} + 0.56229$
SWEZMAX 1	159899	$FOCMTH = 0.00757 \times ESTSPEED^{2.01411} + 0.56229$
SWEZMAX 2	159899	$FOCMTH = 0.00757 \times ESTSPEED^{2.01411} + 0.56229$
VLCC 3	284411	$FOCMTH = 0.01092 \times ESTSPEED^{2.01411} + 0.56229$
VLCC 2	285771	$FOCMTH = 0.01095 \times ESTSPEED^{2.01411} + 0.56229$
VLCC 10	300294	$FOCMTH = 0.01130 \times ESTSPEED^{2.01411} + 0.56229$
VLCC 7	306344.3	$FOCMTH = 0.01145 \times ESTSPEED^{2.01411} + 0.56229$

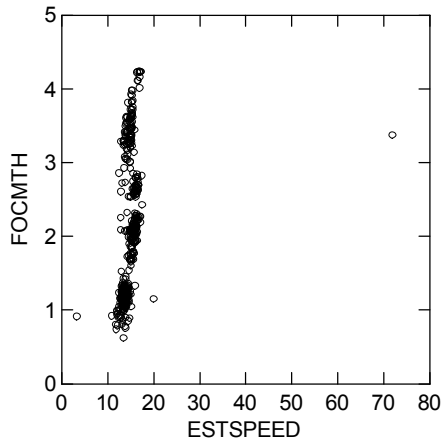
Πίνακας 4.105. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων κατάστασης ballast

Μοντέλα	R^2_{Mean}	R^2_{OvsP}	S
M2	0.428	0.428	0.692
MD1	0.880	0.880	0.316
MD2	0.888	0.888	0.305

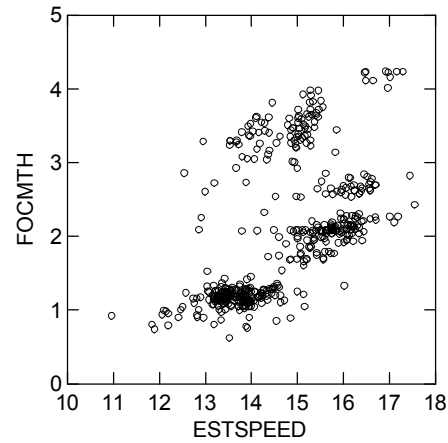
Σύμφωνα με τα νούμερα στον Πίνακα 4.107 τα MD1 και MD2, προσεγγίζουν ικανοποιητικά το σύνολο των ballast μετρήσεων σε σχέση με το M2, χωρίς να ξεχωρίζει κάποιο από τα δύο. Οι διαφορές τους φαίνονται μόνο στην εφαρμογή τους σε κάθε πλοίο στα σχήματα 4.265-277 και 4.279-291.

Loaded

Γίνεται επιλογή σημείων και απαλείφεται το σημείο με την έλλειψη στο σχήμα 4.292



Σχήμα 4.292 Αρχικά σημεία των loaded μετρήσεων



Σχήμα 4.293 Επιλεγμένα σημεία των loaded μετρήσεων

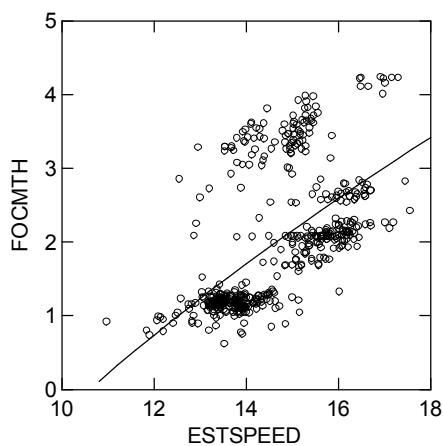
Τώρα τα τρία μοντέλα προσαρμόζονται στις μετρήσεις του συνόλου των πλοίων, όπως φαίνονται στο σχήμα 4.293.

Μοντέλο M2:

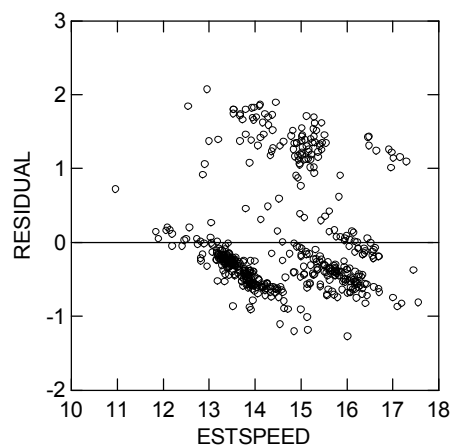
$$FOCHMT = b_1 \times ESTSPEED^{b_2} + b_0$$

Πίνακας 4.106. Τιμές παραμέτρων μοντέλου M2 στα δεδομένα της κατάστασης loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95% >	Upper
b ₁	129.0574581	108.0737237	150.0411926
b ₂	0.0412453	.	.
b ₀	-142.1012849	-165.5488354	-118.6537343



Σχήμα 4.294 Προσαρμογή του μοντέλου M2



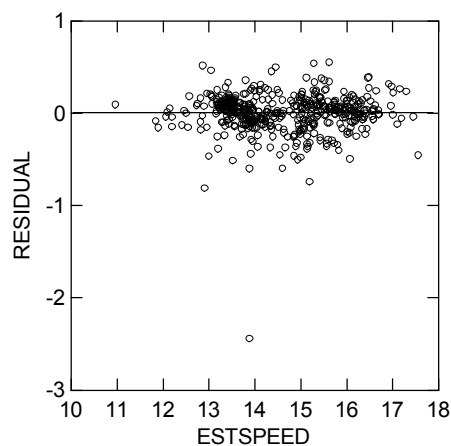
Σχήμα 4.295 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου M2

Η λύση του Σχήματος 4.294 είναι η βέλτιστη και όπως βλέπουμε στρέφει τα κοίλα προς τα κάτω και έχει πολύ χαμηλό b_0 (Πίνακας 4.106). Βέβαια, υπάρχουν και άλλες λύσεις με καλύτερη μορφή και με μικρότερο R^2 κατά 0.01 και ασήμαντα μεγαλύτερα S . Ούτε η εικόνα των υπολοίπων είναι καλή, αφού παρατηρούνται πολλές διαφορετικές περιοχές συγκέντρωσης με μη τυχαίες κατανομές.

Μοντέλο MD1: $FOCMTH = b_1 \times ESTSPEED^{b_2} + b_3 \times DEADWEIGHT + b_0$

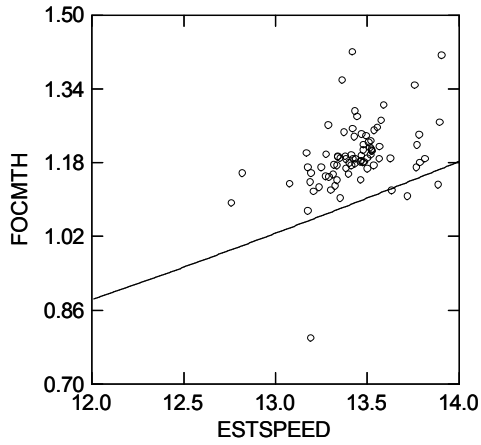
Πίνακας 4.107. Τιμές παραμέτρων μοντέλου MD1 στα δεδομένα της κατάστασης loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b_1	0.00568	0.00511	0.00625
b_2	2.00506	.	.
b_3	0.00001	0.00001	0.00001
b_0	-0.16850	-0.28640	-0.05060

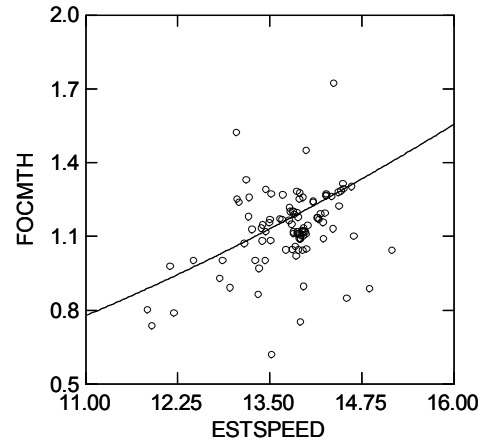


Σχήμα 4.296 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου MD1

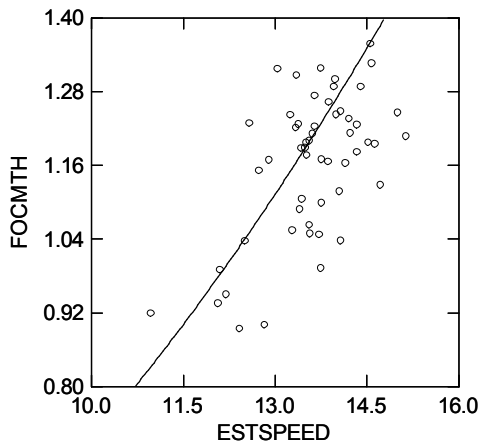
Το μοντέλο MD1 δίνει λύσεις, οι οποίες αυξανόμενου του b_2 έχουν λίγο καλύτερες προσεγγίσεις, αλλά από ένα σημείο και μετά αυξάνει πολύ το b_0 . Μια λύση με καλή προσέγγιση είναι και αυτή που παρουσιάζεται. Αντικαθιστώντας την τιμή του deadweight για κάθε πλοίο, έχουμε την εφαρμογή του μοντέλου MD1 σε κάθε πλοίο, όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα:



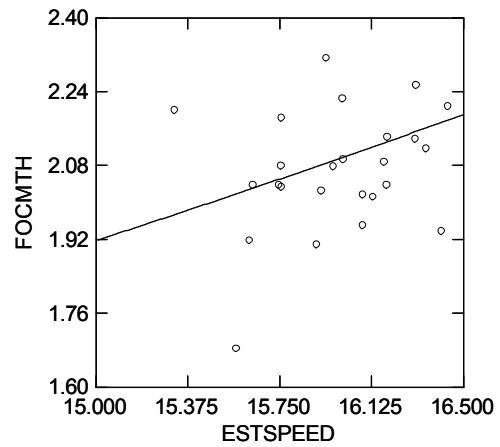
Σχήμα 4.297 Μοντέλο MD1 στο πλοίο HORIZON A-Loaded



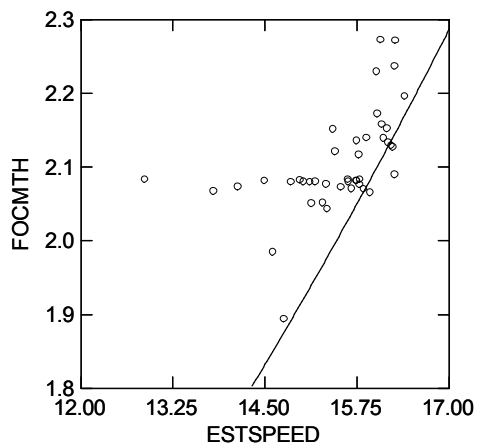
Σχήμα 4.298 Μοντέλο MD1 στο πλοίο ARTINA A-Loaded



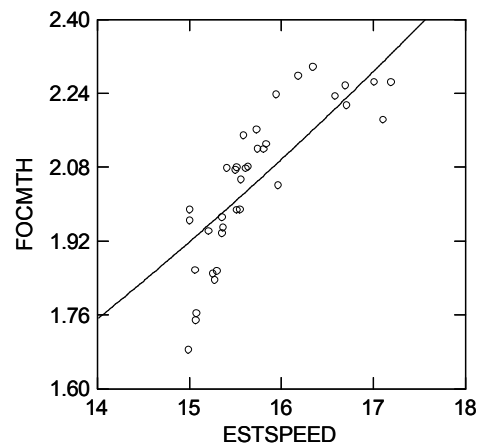
Σχήμα 4.299 Μοντέλο MD1 στο πλοίο AKTI A-Loaded



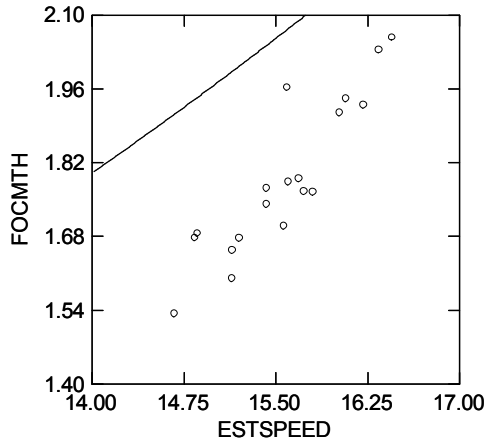
Σχήμα 4.300 Μοντέλο MD1 στο πλοίο AFRAMAX 4-Loaded



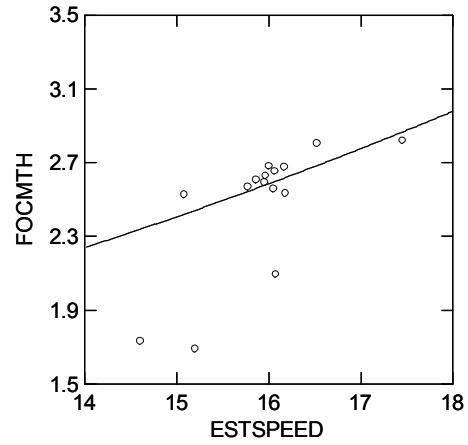
Σχήμα 4.301 Μοντέλο MD1 στο πλοίο AFRAMAX 1-Loaded



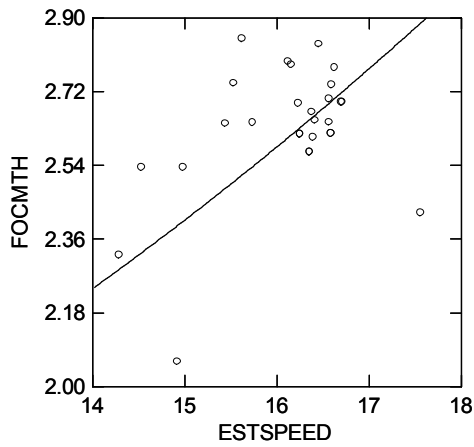
Σχήμα 4.302 Μοντέλο MD1 στο πλοίο AFRAMAX 2-Loaded



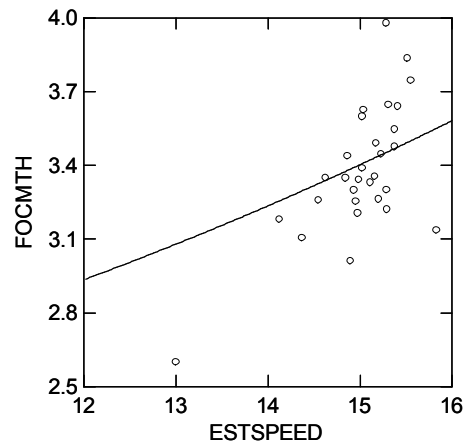
Σχήμα 4.303 Μοντέλο MD1 στο πλοίο AFRAMAX 5-Loaded



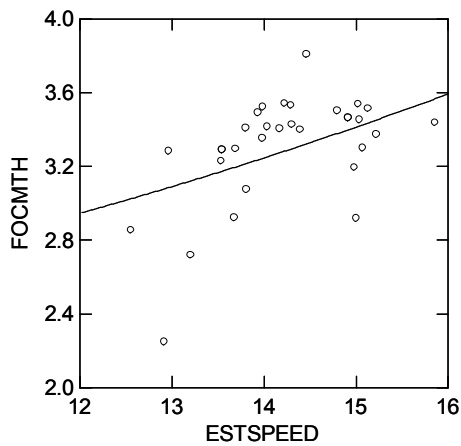
Σχήμα 4.304 Μοντέλο MD1 στο πλοίο SWEZMAX 1-Loaded



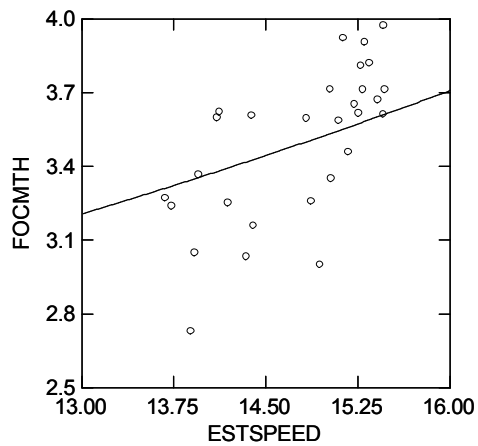
Σχήμα 4.305 Μοντέλο MD1 στο πλοίο SWEZMAX 2-Loaded



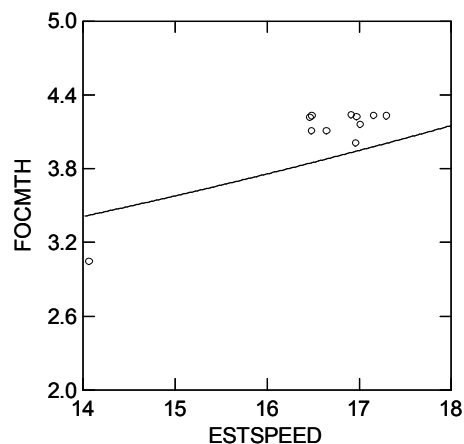
Σχήμα 4.306 Μοντέλο MD1 στο πλοίο VLCC 3-Loaded



Σχήμα 4.307 Μοντέλο MD1 στο πλοίο VLCC 2-Loaded



Σχήμα 4.308 Μοντέλο MD1 στο πλοίο VLCC 10-Loaded



Σχήμα 4.309 Μοντέλο MD1 στο πλοίο VLCC 7-Loaded

Μόνο στα πλοία με τα μικρότερα deadweight είναι καλή η προσέγγιση του MD1, δηλαδή στο ARTINA A, AKTI A και AFRAMAX 4 καθώς φαίνεται στα προηγούμενα σχήματα όπως και στα στις ballast μετρήσεις.

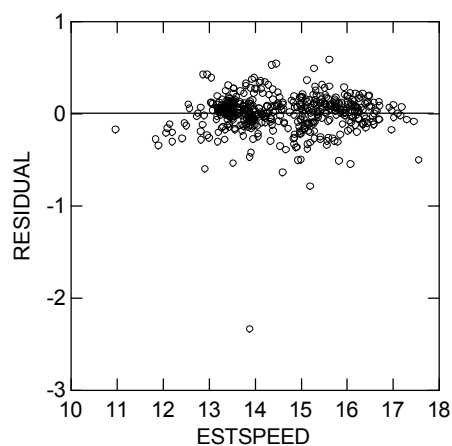
Πίνακας 4.108. Μοντέλα MD1 ταχύτητας-κατανάλωσης πλοίων κατάστασης loaded.

Πλοίο	DEADWEIGHT(MT)	Μοντέλο
HORIZON A	27841	$FOCMTH = 0.00568 \times ESTSPEED^{2.00506} + 0.05423$
ARTINA A	31302.5	$FOCMTH = 0.00568 \times ESTSPEED^{2.00506} + 0.08191$
AKTI A	38625	$FOCMTH = 0.00568 \times ESTSPEED^{2.00506} + 0.14050$
AFRAMAX 4	98805	$FOCMTH = 0.00568 \times ESTSPEED^{2.00506} + 0.62194$
AFRAMAX 1	98805.2	$FOCMTH = 0.00568 \times ESTSPEED^{2.00506} + 0.62194$
AFRAMAX 2	98875	$FOCMTH = 0.00568 \times ESTSPEED^{2.00506} + 0.62250$
AFRAMAX 5	105109	$FOCMTH = 0.00568 \times ESTSPEED^{2.00506} + 0.67237$
SWEZMAX 1	159899	$FOCMTH = 0.00568 \times ESTSPEED^{2.00506} + 1.11069$
SWEZMAX 2	159899	$FOCMTH = 0.00568 \times ESTSPEED^{2.00506} + 1.11069$
VLCC 3	284411	$FOCMTH = 0.00568 \times ESTSPEED^{2.00506} + 2.10679$
VLCC 2	285771	$FOCMTH = 0.00568 \times ESTSPEED^{2.00506} + 2.11767$
VLCC 10	300294	$FOCMTH = 0.00568 \times ESTSPEED^{2.00506} + 2.23385$
VLCC 7	306344.3	$FOCMTH = 0.00568 \times ESTSPEED^{2.00506} + 2.28225$

Μοντέλο MD2: $FOCMTH = b_1 \times ESTSPEED^{b_2} \times DEADWEIGHT^{b_3} + b_0$

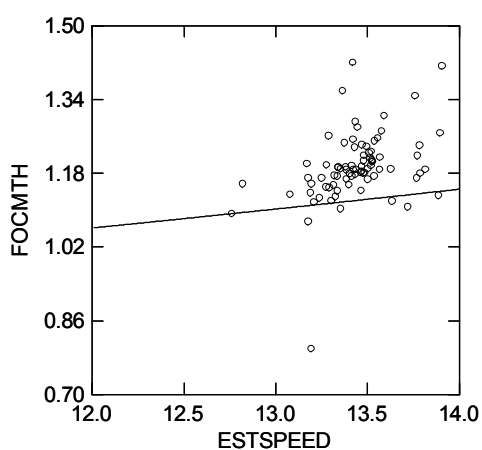
Πίνακας 4.109. Τιμές παραμέτρων μοντέλου MD2 στα δεδομένα της κατάστασης loaded

Parameter	Estimate	Wald Confidence Interval	
		Lower < 95%>	Upper
b ₁	0.00000	-0.00000	0.00000
b ₂	1.61202	1.38251	1.84154
b ₃	0.78852	0.73006	0.84697
b ₀	0.76294	0.68044	0.84544

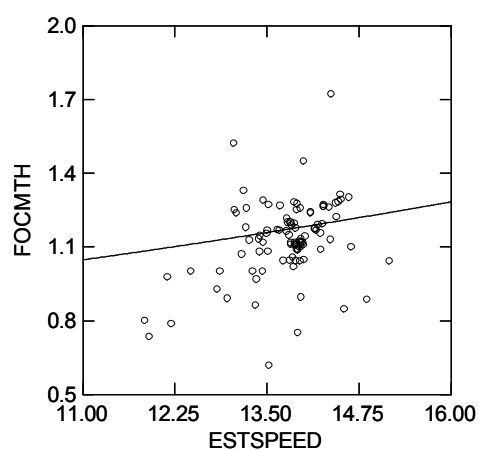


Σχήμα 4.310 Διάγραμμα υπολοίπων του μοντέλου MD2

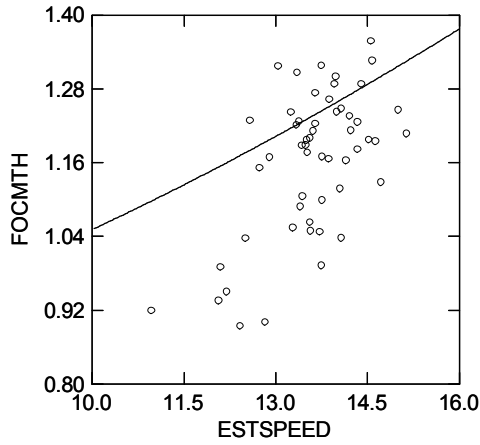
Η εφαρμογή του μοντέλου MD2 σε κάθε πλοίο απεικονίζεται στα επόμενα σχήματα:



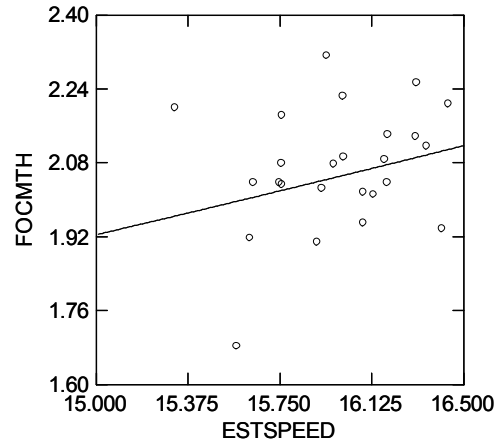
Σχήμα 4.311 Μοντέλο MD2 στο πλοίο HORIZON A-Loaded



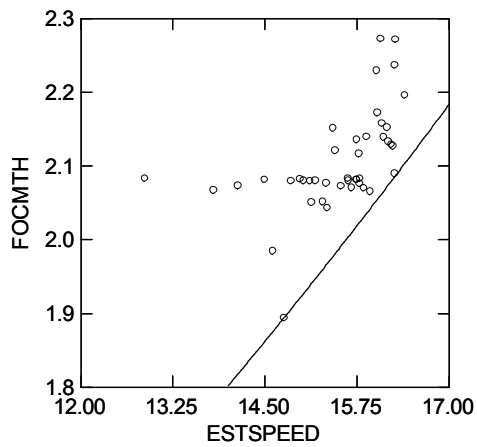
Σχήμα 4.312 Μοντέλο MD2 στο πλοίο ARTINA A-Loaded



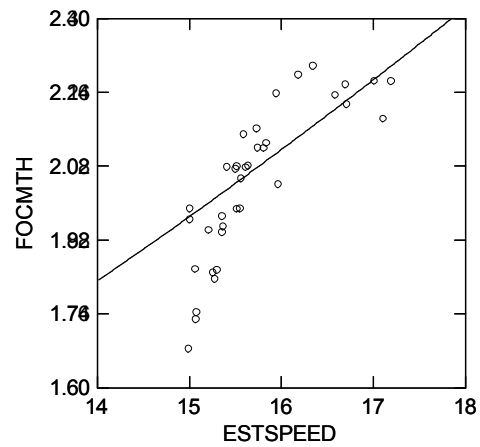
Σχήμα 4.313 Μοντέλο MD2 στο πλοίο AKTI A-Loaded



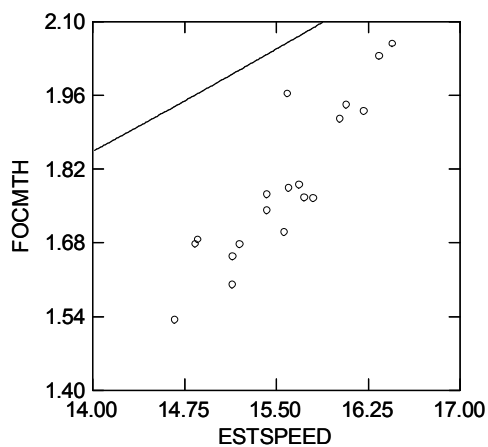
Σχήμα 4.314 Μοντέλο MD2 στο πλοίο AFRAMAX 4-Loaded



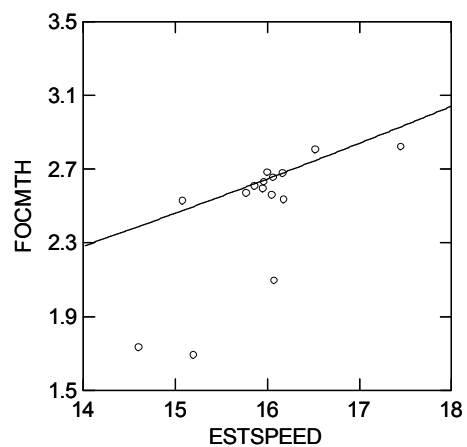
Σχήμα 4.315 Μοντέλο MD2 στο πλοίο AFRAMAX 1-Loaded



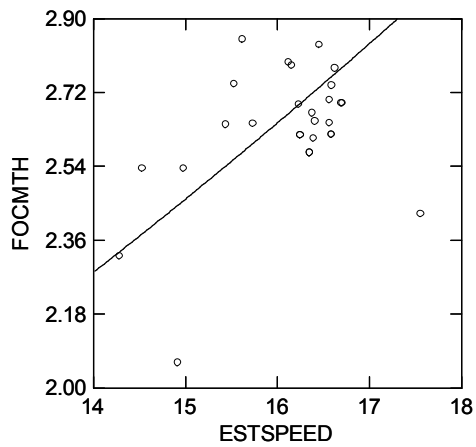
Σχήμα 4.316 Μοντέλο MD2 στο πλοίο AFRAMAX 2-Loaded



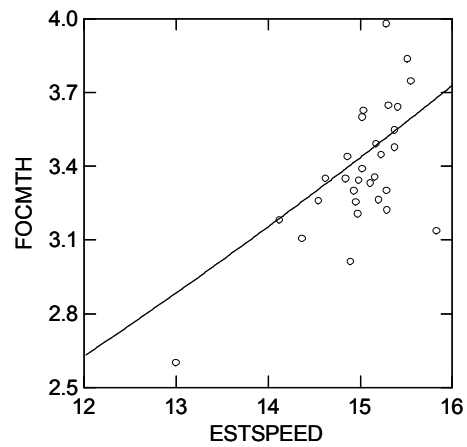
Σχήμα 4.317 Μοντέλο MD2 στο πλοίο AFRAMAX 5-Loaded



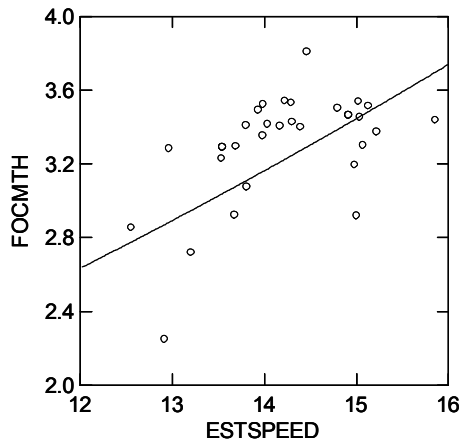
Σχήμα 4.318 Μοντέλο MD2 στο πλοίο SWEZMAX 1-Loaded



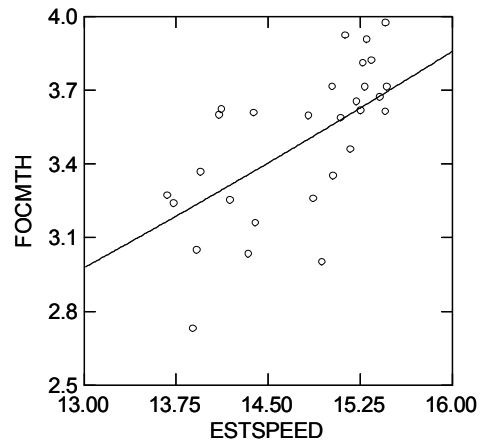
Σχήμα 4.319 Μοντέλο MD2 στο πλοίο SWEZMAX 2-Loaded



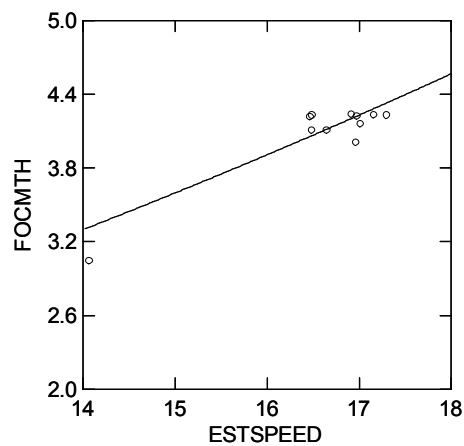
Σχήμα 4.320 Μοντέλο MD2 στο πλοίο VLCC 3-Loaded



Σχήμα 4.321 Μοντέλο MD2 στο πλοίο VLCC 2-Loaded



Σχήμα 4.322 Μοντέλο MD2 στο πλοίο VLCC 10-Loaded



Σχήμα 4.323 Μοντέλο MD2 στο πλοίο VLCC 7-Loaded

Όπως και στα δεδομένα των ballast μετρήσεων το MD2 είναι καλύτερο στα μεγαλύτερα πλοία και φαίνεται να προσεγγίζει ικανοποιητικά τα AFRAMAX 4, SWEZMAX 1, VLCC 10 και VLCC 7.

Πίνακας 4.110. Μοντέλα MD2 ταχύτητας-κατανάλωσης πλοίων κατάστασης loaded.

Πλοίο	DEADWEIGHT(MT)	Μοντέλο
HORIZON A	27841	$FOCMTH = 0.00543 \times ESTSPEED^{1.61202} + 0.76294$
ARTINA A	31302.5	$FOCMTH = 0.00596 \times ESTSPEED^{1.61202} + 0.76294$
AKTI A	38625	$FOCMTH = 0.00703 \times ESTSPEED^{1.61202} + 0.76294$
AFRAMAX 4	98805	$FOCMTH = 0.01475 \times ESTSPEED^{1.61202} + 0.76294$
AFRAMAX 1	98805.2	$FOCMTH = 0.01475 \times ESTSPEED^{1.61202} + 0.76294$
AFRAMAX 2	98875	$FOCMTH = 0.01476 \times ESTSPEED^{1.61202} + 0.76294$
AFRAMAX 5	105109	$FOCMTH = 0.01459 \times ESTSPEED^{1.61202} + 0.76294$
SWEZMAX 1	159899	$FOCMTH = 0.02156 \times ESTSPEED^{1.61202} + 0.76294$
SWEZMAX 2	159899	$FOCMTH = 0.02156 \times ESTSPEED^{1.61202} + 0.76294$
VLCC 3	284411	$FOCMTH = 0.03396 \times ESTSPEED^{1.61202} + 0.76294$
VLCC 2	285771	$FOCMTH = 0.03409 \times ESTSPEED^{1.61202} + 0.76294$
VLCC 10	300294	$FOCMTH = 0.03544 \times ESTSPEED^{1.61202} + 0.76294$
VLCC 7	306344.3	$FOCMTH = 0.03601 \times ESTSPEED^{1.61202} + 0.76294$

Πίνακας 4.111. Συντελεστές αποφασιστικότητας εναλλακτικών μοντέλων κατάστασης loaded

Μοντέλα	R^2_{Mean}	R^2_{OvsP}	S
M2	0.333	0.333	0.802
MD1	0.948	0.948	0.210
MD2	0.951	0.951	0.203

Δεν έχουν σημαντικές διαφορές στον Πίνακα 111 τα MD1 και MD2 μεταξύ τους, ενώ το M2 είναι πάλι μακριά από τα σημεία.

4.5. Σχολιασμός αποτελεσμάτων ανάλυσης με ανεξάρτητες μεταβλητές την ταχύτητα και το deadweight

4.5.1: Κριτήρια αξιολόγησης μοντέλων

Μας ενδιαφέρει να εξετάσουμε το αποτέλεσμα της εισαγωγής του deadweight ως ανεξάρτητη μεταβλητή στο μοντέλο κατανάλωσης. Αφού επιλέξαμε το μοντέλο M2 της προηγούμενης ανάλυσης ως καταλληλότερο να περιγράψει τη συνάρτηση ταχύτητας-κατανάλωσης, εισάγουμε σε αυτό το deadweight με δύο τρόπους:

I. γραμμικά σχηματίζοντας το MD1

II. ως συντελεστή του όρου της ταχύτητας σχηματίζοντας το MD2

Ως κριτήρια, θα χρησιμοποιήσουμε ότι και στην προηγούμενη ανάλυση. Εκτός όμως από τους συντελεστές αποφασιστικότητας και τη μορφή των καμπυλών, θα λάβουμε υπ' όψη μας το ουσιαστικό αποτέλεσμα του τρόπου εισαγωγής του deadweight: Αν, δηλαδή χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο για όλα τα πλοία μπορούμε να περιγράψουμε ικανοποιητικά την κατανάλωση σε σχέση με την ταχύτητα για κάθε πλοίο ξεχωριστά, ή, στη συγκεκριμένη διαδικασία ανάλυσης που εφαρμόζουμε, αν εφαρμόζοντας τη λύση της πολλαπλής παλινδρόμησης του μοντέλου σε κάθε πλοίο ξεχωριστά μπορούμε να προσεγγίσουμε τα σημεία του.

4.5.2: Σύγκριση μοντέλων

Αν συγκρίνουμε την προσαρμογή των μοντέλων M2, MD1, MD2 στο σύνολο που αποτελείται από τις μετρήσεις όλων των πλοίων μαζί, δηλαδή τα αποτελέσματα της ανάλυσης της παραγράφου 4.4, έχουμε να κάνουμε τις εξής παρατηρήσεις και για τις δύο καταστάσεις (ballast-loaded): Όσον αφορά τα ποσοτικά κριτήρια που έχουν οριστεί στην παράγραφο 3.2 και ελέγχοντας τους πίνακες 4.105 και 4.111, βλέπουμε ότι τα R^2 και S βελτιώνονται σημαντικά με την προσθήκη της δεύτερης μεταβλητής. Το ίδιο παρατηρούμε και στα διαγράμματα των υπολοίπων (residuals) των τριών μοντέλων (σχήματα 4.263, 4.264, 4.278, 4.295, 4.296, 4.310), όπου για τα μοντέλα MD1 και MD2 η κατανομή τους είναι περισσότερο τυχαία και συγκεντρωμένη στον άξονα του 0. Αυτά είναι αναμενόμενα, αφού είναι ευκολότερη η προσέγγιση σημείων στο χώρο με ένα δισδιάστατο μοντέλο, αντί της προσέγγισης της προβολής τους σε ένα επίπεδο με μια ευθεία. Ο χώρος στον οποίο βρίσκονται τα σημεία και στον οποίο αναπτύσσονται τα δύο δισδιάστατα μοντέλα ορίζεται από τους άξονες της ταχύτητας και του deadweight.

Επιπλέον, εάν θέλουμε να συγκρίνουμε τα MD1, MD2 μεταξύ τους, σημειώνουμε ότι:

- Το MD1 έχει την ίδια κλίση για όλα τα πλοία, δηλαδή η αύξηση της κατανάλωσης ως προς την ταχύτητα γίνεται με τον ίδιο ρυθμό.
- Το MD2 ξεκινάει από την ίδια τιμή κατανάλωσης στις χαμηλές ταχύτητες για όλα τα πλοία, ενώ στη συνέχεια ο ρυθμός αύξησης της κατανάλωσης μεγαλώνει μαζί με το deadweight.

Φαίνεται όμως από τα αποτελέσματα της προηγούμενης παραγράφου ότι τα διαφορετικά αυτά χαρακτηριστικά των δύο μοντέλων δεν αρκούν για ξεχωρίσουν κάποιο ως καταλληλότερο. Κανένα από τα δύο δεν μπόρεσε να βρεθεί κοντά στα σημεία όλων των

πλοίων. Όσον αφορά το MD1, η σταθερή του κλίση φαίνεται να ταιριάζει καλύτερα στα μικρά πλοία, ενώ το MD2 μεταβάλλοντας τη δική του ήταν καλύτερο σε εκείνα με μεγάλο deadweight, δηλαδή στα SWEZMAX και VLCC.

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα

5.1. Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο προβάλλονται τα σημαντικότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα αποτελέσματα της μελέτης μας. Μας ενδιαφέρει να δούμε που οδήγησε η δοκιμή σε πραγματικά δεδομένα διαφορετικών μαθηματικών μοντέλων κατανάλωσης-ταχύτητας, τα οποία προέρχονται από τη θεωρητική γνώση της λειτουργίας των μηχανών των πλοίων και της υδροδυναμικής τους συμπεριφοράς ή από εμπειρικές προσεγγίσεις. Ακόμη, να διαπιστώσουμε κατά πόσον είναι δυνατή η χρήση ενός κοινού μοντέλου κατανάλωσης για όλα τα πλοία.

5.2. Συμπεράσματα μελέτης εναλλακτικών μοντέλων κατανάλωσης-ταχύτητας

Ανατρέχοντας στα αποτελέσματα του σχολιασμού της παραγράφου 4.3, γίνεται προφανής η χρησιμότητα του μοντέλου M2:

$$FOCHMT = b_1 \times ESTSPEED^{b_2} + b_0.$$

για την μέτρηση της κατανάλωσης καυσίμου συναρτήσει της ταχύτητας σε κάθε πλοίο ξεχωριστά. Αν και δεν εξάγεται από αυστηρές μαθηματικές σχέσεις της θεωρίας όπως το M3, εντούτοις προσεγγίζει το ίδιο καλά τα πραγματικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν. Ακόμη, η απλότητα του είχε ως αποτέλεσμα την ομαλή προσαρμογή του, σε σχέση με το πιο πολύπλοκο M3, το οποίο παρουσίασε συχνότερα δυσμορφία, ακόμη και σε μετρήσεις με αναμενόμενη κατανομή. Άρα, η ανάλυση της ενότητας αυτής οδήγησε στην ανάδειξη της αξίας απλούστερων μοντέλων, που προέρχονται από τη μελέτη πραγματικών περιπτώσεων, όπως περιγράφεται στην παράγραφο 2.2 και στις σχέσεις (2-7), (2-8), (2-9).

Η σύγκριση των μοντέλων, όμως έδειξε και κάτι άλλο. Το γεγονός ότι το μοντέλο M1 προσαρμόστηκε καλά σε μετρήσεις με φυσιολογική κατανομή, όπως αυτή ορίστηκε στις παραγράφους 3.2 και 4.2.1 δείχνει ότι η συνάρτηση της κατανάλωσης από την τρίτη δύναμη της ταχύτητας δεν απέχει πολύ από την πραγματικότητα. Ωστόσο, η καλύτερη προσαρμογή του M2 ακόμη και σε αυτές τις μετρήσεις, επιβεβαιώνει ότι η ελεύθερη επιλογή του εκθέτη οδηγεί σε αποτελέσματα που αποκλίνουν, άλλοτε λίγο και άλλοτε περισσότερο από το 3. και τα οποία δεν μπορούν παρά να ληφθούν σοβαρά υπ' όψη.

5.3. Συμπεράσματα εφαρμογής κοινών μοντέλων κατανάλωσης-ταχύτητας.

Εφόσον η κατανομή των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση εξαρτάται από επιπλέον μεταβλητές, εκτός της ταχύτητας, είναι λογικό η εισαγωγή κάποιας από τις μεταβλητές αυτές, όπως το deadweight σε μοντέλα να έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη προσέγγιση των δεδομένων. Έτσι, τα μοντέλα MD1 και MD2 της ανάλυσης της παραγράφου 4.4 είναι καταλληλότερα να μετρήσουν την κατανάλωση καυσίμου σε πλοία διαφορετικού deadweight από κάποιο μοντέλο που περιέχει μόνο την ταχύτητα, όπως μαρτυρούν τα αποτελέσματα των πινάκων 4.111 και 4.105. Άρα, βλέπουμε ότι με την προσθήκη της μεταβλητής του deadweight έχουμε την επιλογή να χρησιμοποιήσουμε ένα κοινό μοντέλο για περισσότερα από ένα πλοία, αντί να προχωρήσουμε σε ξεχωριστή ανάλυση για κάθε ένα από αυτά και να σχηματίσουμε επιμέρους μοντέλα. Τα μοντέλα, βέβαια, που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση της παρούσας εργασίας κάλυψαν το καθένα μερικές μόνο από τις κατηγορίες μεγέθους και μάλιστα διαφορετικές από αυτές που καλύπτει το άλλο. Όμως, υπάρχουν πολλοί τρόποι εισαγωγής του deadweight και σχηματισμού εξισώσεων σε ένα μοντέλο κατανάλωσης, κάποιοι από τους οποίους μπορεί να έχουν καλύτερα αποτελέσματα.

5.4. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Η εργασία ετούτη αποτελεί μια προσέγγιση στο ζήτημα της σχέσης της κατανάλωσης καυσίμου στα πλοία με την ταχύτητα από πολύ συγκεκριμένη πλευρά. Για να γίνει δυνατή η συγκέντρωση μεγάλου όγκου δεδομένων, ώστε να είναι έγκυρα τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης, επικεντρώθηκε η αναζήτηση σε ένα μόνο τύπο πλοίων, αυτόν των δεξαμενόπλοιων (tankers). Στο βαθμό που ενδιαφέρει η ολοκληρωμένη γνώση της σχέσης κατανάλωσης-ταχύτητας, είναι ανάγκη να επεξεργαστούν μετρήσεις και χαρακτηριστικά από όλους τους τύπους πλοίων που χρησιμοποιούνται στις θαλάσσιες μεταφορές, συμπεριλαμβανομένων και των επιβατικών, τα οποία κατέχουν ένα πολύ μεγάλο μερίδιο της αγοράς και διαφέρουν σημαντικά από τα δεξαμενόπλοια.

Η συλλογή, όμως ενός μεγάλου όγκου δεδομένων ανέδειξε το πρόβλημα του χειρισμού μη αναμενόμενων μετρήσεων, η ανάλυση των οποίων δεν οδηγεί σε αξιοποιήσιμα αποτελέσματα. Είναι αναγκαία, λοιπόν η ακριβείς προ-επεξεργασία τους με την εφαρμογή στατιστικών προσδιορισμών και απαλοιφής των outliers, των σημείων δηλαδή που δεν προέρχονται από αντιπροσωπευτικές μετρήσεις και ειδικά αυτών που επηρεάζουν αρνητικά τα αποτελέσματα (Hair et al, 1998). Τέτοιες διαδικασίες κάνουν χρήση κριτηρίων που εφαρμόστηκαν και στην παρούσα εργασία, όπως η απόσταση του σημείου από το

γεωμετρικό κέντρο του συνόλου ή το βάρος συμμετοχής του σημείου στο συντελεστή συσχέτισης του συνόλου και μπορούν να πραγματοποιηθούν με τη χρήση στατιστικών πακέτων όπως το Systat 10.2.

Όσον αφορά το ζήτημα της ανάλυσης, χρειάζεται μια περαιτέρω ανάπτυξη των αποτελεσμάτων του δευτέρου μέρους. Ειδικότερα, εκτός από τα διαγράμματα των υπολοίπων των σχημάτων 4.264, 4.278, 4.296 και 4.310 προτείνεται να παρουσιαστεί και η δευτερογενής κατανομή των αποκλίσεων μοντέλων MD1 και MD2 από τις μετρήσεις, τόσο ως προς την ταχύτητα όσο και ως προς το deadweight. Ακόμη, να ολοκληρωθεί η προσπάθεια σχηματισμού κάποιου μοντέλου, ικανού να μετρήσει την κατανάλωση σε σχέση με την ταχύτητα και να εφαρμοστεί σε όσο γίνεται περισσότερες κατηγορίες πλοίων. Μετασχηματίζοντας τις εξισώσεις MD1 και MD2 είναι δυνατόν να επεκταθεί η ισχύς τους για να καλύψει τις επιπλέον κατηγορίες, ακόμη και αυτές που δεν περιλαμβάνονται στην εργασία αυτή. Μάλιστα, η σχέση 1-2 της παραγράφου 1.3, δείχνει ότι το συνολικό βάρος του πλοίου (displacement), ως άθροισμα της χωρητικότητας και του καθαρού βάρους είναι αυτό που συνδέει την ισχύ, άρα και την κατανάλωση με την ταχύτητα. Προτείνεται, λοιπόν εισαγωγή αυτής της μεταβλητής αντί της χωρητικότητας (deadweight) στο μοντέλο μέτρησης της κατανάλωσης και η σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα προηγούμενα.

Εάν, όμως η μελέτη της κατανάλωσης καυσίμου θεωρηθεί ως εργαλείο για την αποτελεσματική διαχείριση του διαθέσιμου στόλου και την οργάνωση των θαλάσσιων μεταφορών με τρόπο οικονομικό και ανταγωνιστικό, τότε είναι απαραίτητο να συμπεριληφθούν στην ανάλυση όλες οι παράμετροι που επηρεάζουν την κατανάλωση, πέρα από την ταχύτητα. Έτσι, όπως έχει περιγραφεί αναλυτικά και στην εισαγωγή της εργασίας, δύο είναι οι παράγοντες, που πρέπει οπωσδήποτε να ελέγχονται επιπλέον: η κατάσταση της γάστρας και τα θαλάσσια ρεύματα. Όσον αφορά τον πρώτο, είναι ενδιαφέρον να ερευνηθεί η ταχύτητα ανάπτυξης της μόλυνσης σε σχέση με το χρόνο, και κατά πόσον επηρεάζει την κατανάλωση αυτή η μόλυνση, δηλαδή πόσο είναι δυνατόν να αυξάνεται η κατανάλωση με την πάροδο του χρόνου. Όσον αφορά το δεύτερο, τα ρεύματα βοηθούν ή εμποδίζουν την κίνηση του πλοίου. Άρα, μια τρίτη σχέση εμφανίζεται που αξίζει να μελετηθεί, αυτή της κατανάλωσης και της ταχύτητας των ρευμάτων. Τα αποτελέσματα μιας τέτοιας έρευνας, αναμένεται να αναδείξουν τα πλεονεκτήματα της δυνατότητας προσδιορισμού της κατεύθυνσης και ταχύτητας ρευμάτων (Lo H. και McCord M., 1998), με τη μέτρηση και την καταγραφή τους κατά τη διάρκεια ταξιδιών, σε πρώτο επίπεδο και τη γεωγραφική απεικόνιση τους σε συστήματα GIS. Προκύπτει, λοιπόν, άμεσα από τα προηγούμενα ότι ο σχεδιασμός μοντέλων που θα περιγράφουν την κατανάλωση, μετρώντας, εκτός από την ταχύτητα, τα ρεύματα αλλά και το μέγεθος της μόλυνσης της γάστρας, δίνει τη δυνατότητα μέτρησης της κατανάλωσης με σημαντική ακρίβεια και κατ'

επέκταση του αποτελεσματικού προγραμματισμού εξοικονόμησης καυσίμου, με τον έλεγχο και των τριών παραγόντων.

Βιβλιογραφία

1. Basic Principles of Ship Propulsion, B&W Papers
2. Benford H., “A simple approach to fleet deployment.” *Maritime Policy and management*, Vol 8 No 4, p. 223-228, 1981
3. Hair, J. F., R. E. Anderson, R. L. Tatham and W. S. Black, “MULTIVARIATE DATA ANALYSIS”, 5th Edition, Prentice Hall, 1998
4. Hellstrom Th., “Optimizing Control at Sea: The experience of the Seapacer Project”, UMINF 02.08 ISSN-0348-0542, Department of Computing Science, Umeå University, 20 September 2002
5. Lo H., M. McCord, “Adaptive ship routing through stochastic ocean currents: General formulations and empirical results”, *Transportation Research*, Vol 32 No 7, p. 547-561, 1998
6. Lo H., M. McCord, “Routing through dynamic ocean currents: General heuristics and empirical results in the gulf stream region”, *Transportation Research*, Vol 29B No 2, p. 109-124, 1995
7. Papadakis N., A. Perakis, “A nonlinear Approach to the Multiorigin, Multidimension Fleet Deployment Problem”, *Naval Research Logistics*, Vol 36, p. 515-528 1989
8. Perakis A., “A second look at fleet deployment”, *Maritime Policy and management*, Vol 12 No 3, p. 209-214, 1985
9. Perakis A., N. Papadakis, “Fleet deployment optimization models. Part 1”, *Maritime Policy and Management*, Vol 14 No 2, p. 127-144, 1987
10. Ronen D., “Ship scheduling: The last decade,” *European Journal of Operational Research*, Vol 71, p. 325-333, 1993
11. Ronen D., “The Effect of Oil Price on the Optimal Speed of Ships”, *Journal of the Operational Research Society*, Vol 33 No 11, p. 1035-1040 1982
12. Schrady D., D. Wadsworth, “Naval Combat Logistics Support System”, *Journal of the Operational Research Society*, Vol 42 No 11, 1991
13. Systat 10.2, Manual edition
14. Βουσούρας Ευ., “Ναυτικά Μηχανά Diesel. Τόμος 1”, 1985