

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

11. ΚΕΝΤΡΟ ΒΑΡΟΥΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κάθε στερεό σώμα, μικρό ή μεγάλο, αποτελείται από μεγάλο αριθμό τμημάτων ύλης.

Το κάθε ένα από αυτά έλκεται από την γη με δύναμη ίση με το βάρος του,

η συνισταμένη δε όλων αυτών των δυνάμεων είναι το βάρος του σώματος.

ΚΕΝΤΡΟ ΒΑΡΟΥΣ

Όπως είναι γνωστό, κέντρο βάρους ενός σώματος θεωρείται το σημείο, στο οποίο η δύναμη του βάρους του σώματος ενεργεί κάθετα προς τα κάτω.

Έτσι, λοιπόν, για το πλοίο, ως κέντρο βάρους G (center of gravity) θεωρείται το σημείο, στο οποίο ενεργεί κάθετα προς τα κάτω η συνισταμένη όλων των επιμέρους βαρών του πλοίου.

Η θέση του G , ενδιαφέρει άμεσα την ασφάλεια του πλοίου, γιατί συνδέεται απευθείας με την ευστάθειά του.

Ο προσδιορισμός της θέσης του κέντρου βάρους G
αποτελεί βασικό στοιχείο για την ασφάλεια του πλοίου.
Παίρνοντας, λοιπόν, ως δεδομένο
ότι το πλοίο δεν παρουσιάζει εγκάρσια κλίση,
τότε το G βρίσκεται πάνω στο διαμήκη άξονα.

Αυτό, που απομένει είναι
να προσδιοριστεί η κάθετη απόσταση του G
από την τρόπιδα (keel), δηλαδή το KG
ή το VCG (vertical center of gravity)
στις διάφορες καταστάσεις φόρτου του πλοίου
καθώς και η οριζόντια, διαμήκης απόσταση του G
από την πρυμναία κάθετο,
δηλαδή το διάμηκες κέντρο βάρους LCG (longitudinal center of gravity).

Αν πάρουμε τη ροπή όλων των βαρών πάνω στο πλοίο
ως προς οποιονδήποτε άξονα,
αυτή θα είναι ίση με το συνολικό βάρος του πλοίου (εκτόπισμα)
επί την απόσταση του κ.β. από τον άξονα.

Επομένως, για να υπολογιστούν, το KG και το LCG ενός πλοίου ως προς
κάποιον άξονα,
πρέπει να υπολογιστεί η συνολική ροπή
όλων των βαρών ως προς τον άξονα αυτόν.

Στην περίπτωση δηλ. του KG,

πρέπει να υπολογιστεί η ροπή που έχει το συνολικό βάρος του πλοίου (W, έμφορτο εκτόπισμα) ως προς την τρόπιδα (K), που λαμβάνεται ως άξονας αναφοράς (KG).

Στην περίπτωση του LCG,

η ροπή που δημιουργείται από τα συνολικά βάρη (W) ως προς την πρυμναία κάθετο, που λαμβάνεται ως άξονας αναφοράς (LCG).

Το συνολικό βάρος του πλοίου όπως και το KG και LCG, τα γνωρίζουμε από τα υδροστατικά διαγράμματα του πλοίου.

Το σημείο της θέσης G για το άφορτο πλοίο (light ship) μας δίνεται και αυτό από τις υδροστατικές καμπύλες του πλοίου.

Το σημείο εφαρμογής του G για κάθε αποθηκευτικό χώρο του πλοίου το γνωρίζουμε από τους πίνακες χωρητικότητας (capacity tables) των κυτών του πλοίου.

Τα βάρη που τοποθετούνται στο πλοίο

μπορούμε να τα υπολογίσουμε βρίσκοντας το cargo (ωφέλιμο φορτίο)
και κάνοντας κατανομή στα αμπάρια

Το ίδιο και τις ποσότητες καυσίμων και νερού,
που θα τοποθετήσουμε στις δεξαμενές καυσίμων και νερού,
αντίστοιχα.

Η συνολική ροπή (total moment)
του βάρους ενός πλοίου ως προς την τρόπιδα,
αποτελεί το άθροισμα των ροπών των επιμέρους βαρών.

Εφ' όσον, είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε τα βάρη
που τοποθετούνται στο πλοίο και την απόσταση του G
του κάθε χώρου χωριστά από την τρόπιδα K
μπορούμε να υπολογίσουμε όλες τις ροπές των επιμέρους βαρών,
και προσθέτοντας να υπολογίσουμε τη συνολική ροπή (total moment)

Παράδειγμα 1

Ένα πλοίο έχει $\text{light ship} = 5.000\text{t}$ με $\text{KG} = 6\text{m}$.

Φορτώνονται στα υποφράγματα (twin decks) των κυτών φορτία 500t των οποίων το κέντρο βάρους G απέχει από την τρόπιδα 5m , στο κατάστρωμα (deck cargo) 300t με το G να απέχει από την τρόπιδα 8m και καύσιμα 400t στα διπύθμενα (double bottoms) με το G να απέχει από την τρόπιδα 1m .

Να βρεθεί η τελική απόσταση του G από την τρόπιδα (KG) (Πίνακας 1).

Λύση:

ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ ΠΙΝΑΚΑ 1

ΧΩΡΟΣ	ΒΑΡΟΣ	ΡΟΠΗ	
ITEMS	WEIGHT	KG	MOMENT (WxKG)
Light ship	5000t	6m	30.000 tonmeters
Twin decks	500t	5m	2.500 tonmeters
Deck cargo	300t	8m	2.400 tonmeters
Double bottom	400t	1m	400 tonmeters
TOTAL	6.200 t	-	35.300 tonmeters

ΤΥΠΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

$$KG(\tau \epsilon \lambda) = \frac{\text{ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΡΟΠΩΝ (TOTAL MOMENT)}}{\text{ΕΚΤΟΠΙΣΜΑ (DISPLACEMENT)}}$$

$$KG = \frac{35.300}{6.200} = 5,69 \text{ m.}$$

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1:

Αν οι διαστάσεις του πλοίου δίνονται σε μέτρα,
τότε η μονάδα της ροπής είναι σε τινόμετρα (tonmetres).
Αν δίνονται σε πόδια, τότε η μονάδα είναι οι τινόποδες (tonesfeet).

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 2:

Το άφορτο πλοίο (light ship)

και βάρη που φορτώνονται στο πλοίο είναι θετικές ποσότητες.

Βάρη που εκφορτώνονται

καθώς και καύσιμα που καταναλώνονται είναι αρνητικές ποσότητες.

Στην περίπτωση αυτή, θα πρέπει στον πίνακα να γίνουν,

στη θέση βαρών και ροπών, δύο στήλες,

για τα θετικά και αρνητικά βάρη και ροπές, αντίστοιχα.

Παράδειγμα 2

Ένα πλοίο αποπλέει από τον Πειραιά με εκτόπισμα (displacement) 15.000t και $KG=19\text{ft}$. Το πλοίο καταπλέει στη Ν. Ορλεάνη μετά από 17 ημέρες και καταναλώνει καύσιμα 60t ημερησίως από $KG=4\text{ft}$. Στην Ν. Ορλεάνη ξεφορτώνει 500t από το κατάστρωμα (deck cargo) και $KG=30\text{ft}$. Επίσης, φορτώνει στο κατάστρωμα (deck cargo) 300t και $KG=32\text{ft}$, στο υπόφραγμα (twin deck) φορτώνει 1.000t και $KG=20\text{ft}$ και στα αμπάρια 2.000t και $KG=10\text{ft}$. Να βρεθεί το τελικό KG (απόπλου) από την Ν. Ορλεάνη (Πίνακας 2).

Λύση:

ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ ΠΙΝΑΚΑ 2

ITEMS	WEIGHTS		KG	MOMENTS	
	+	-		+	-
DISPLACEMENT	15.000t	----	19ft	285.000tft	----
BUNKERS (17X60)	----	1.020t	4ft	----	4.080tft
DECK CARGO (1)	----	500t	30ft	----	15.000tft
DECK CARGO (2)	300t	----	32ft	9.600tft	----
TWIN DECKS	1.000t	----	20ft	20.000tft	----
HOLDS	2.000t	----	10ft	20.000tft	----
	18.300t	1.520t		334.600tft	19.080tft
TOTALS	16.780t			315.520tft	
			18,80		

$$KG(\tau\epsilon\lambda) = \frac{315.520}{16.780} = 18,80\text{ft (feet, πόδια)}$$

Παράδειγμα 3ο:

Ένα πλοίο φόρτωσε από τη Rouen (Γαλλία) καλαμπόκι για το Abitzan (Ivory Coast) σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

Να βρεθεί το KG απόπλου (Πίνακας 3)

ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ ΠΙΝΑΚΑ 3

ITEMS	WEIGHTS	KG	MOMENTS
Light ship	9.000t	9,75m	87.750tft
Constants	100t	12,20m	1.220tft
Double bottom	200t	3,00m	600tft
F.O. Tank	450t	4,60m	2.070tft
D.O. Tank	300t	4,60m	1.380tft
F.W. Tank P	100t	10,66m	1.066 tft
F.W. Tank S	50t	6,00m	300 tft
No1 hold	8.000t	6,10m	48.800 tft
No2 hold	10.000t	4,60m	46.000 tft
No3 hold	3.000t	4,90m	14.700 tft
No4 hold	9.000t	4,26m	38.340 tft
No5 hold	10.500t	4,60m	48.300 tft
No6 hold	4.000t	4,90m	19.600 tft
TOTAL	54.700t		310.126 tft
		5,67	

$$KG = \frac{\text{TOTAL MOMENTS}}{\text{TOTAL WEIGHT}} = \frac{310.126}{54.700} = 5,67m \mid$$

Παράδειγμα 4ο:

Ένα πλοίο έχει light ship=5000t, με $LCG=85m$ από την πρυμναία κάθετο. Φορτώνονται:

α) 200t νερό στην προραία δεξαμενή έρματος (fore peak tk) με $LCG=180m$

β) 1500t φορτίου στο κύτος (hold) No2 με $LCG=150m$

γ) 2500t φορτίου στο κύτος (hold) No4 με $LCG=70m$

δ) 300t φορτίου στο κύτος (hold) No5 με $LCG=30m$

Να προσδιορισθεί το τελικό LCG από την πρυμναία κάθετο. (Πίνακας 4)

Λύση:

ΚΑΤΑΣΤΡΩΣΗ ΠΙΝΑΚΑ 4

ITEMS	WEIGHT	LCG	MOMENT
Light ship	5.000t	85m	425.000 tft
Fore peak	200t	180m	36.000 tft
Hold No2	1.500t	150m	225.000 tft
Hold No4	2.500t	70m	175.000 tft
Hold No5	300t	30m	9.000 tft
TOTAL	9.500t	91,57m	870.000 tft

ΤΥΠΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ:

$$LCG(\tau\epsilon\lambda) = \frac{\text{TOTAL MOMENTS}}{\text{DISPLACEMENT}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow LCG(\tau\epsilon\lambda) = \frac{870.000}{9.500} = 91,57\text{m}$$

Άρα, το κέντρο βάρους κατά το διάμηκες απέχει από την κάθετο 91,57m.

Γενικές παρατηρήσεις σχετικά με τη θέση του KG.

α) Αν τα κέντρα βάρους των διαφόρων φορτίων που παραλαμβάνει το πλοίο

έχουν μικρότερο KG από το KG του άφορτου πλοίου ,

τότε το τελικό KG του έμφορτου πλοίου θα είναι μικρότερο,

δηλαδή το κέντρο βάρους θα κατέρχεται χαμηλότερα προς την τρόπιδα.

Αντίθετα, όταν το KG των φορτίων είναι μεγαλύτερο από το KG του άφορτου πλοίου,

τότε το τελικό KG θα είναι μεγαλύτερο,

δηλαδή το τελικό κέντρο βάρους

θα ανέλθει ψηλότερα από την τρόπιδα.

β) Το KG του άφορτου πλοίου δίνεται από τα στοιχεία του πλοίου.
Εμπειρικά, όμως, μπορούμε να το υπολογίσουμε,
ως περίπου τα 70% του πλευρικού ύψους του πλοίου.

γ) Τα κέντρα βάρους των κυτών και των άλλων δεξαμενών του σκάφους δίνονται από τους πίνακες χωρητικότητας των κυτών και δεξαμενών του πλοίου (capacity plan), για κάθε χώρο ξεχωριστά. Από τους πίνακες αυτούς, ανάλογα με το ύψος είτε του φορτίου στο κύτος είτε του υγρού στη δεξαμενή, βρίσκουμε τα στοιχεία KG, LCG για το κέντρο βάρους του κάθε χώρου.

Σημείωση 1:

Και σε αυτή την περίπτωση,
βάρη που φορτώνονται προκαλούν θετικές ροπές (+),
ενώ βάρη που εκφορτώνονται προκαλούν αρνητικές (-).

Σημείωση 2:

Αν άξονας αναφοράς είναι η μέση του πλοίου[®] και όχι η ΠΜ κάθετος, τότε τα βάρη των οποίων το LCG βρίσκεται πρύμα από τη[®] θα δημιουργούν πρυμναίες ροπές, ενώ βάρη των οποίων το LCG βρίσκεται προς πώρα της[®], θα δημιουργούν πρωραίες ροπές. Η τελική ροπή θα είναι η διαφορά ΠΡ και ΠΜ.

ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΚΑΙ ΦΟΡΤΩΣΗ Η' ΕΚΦΟΡΤΩΣΗ ΒΑΡΩΝ.

Στο πλοίο προκύπτει πάρα πολύ συχνά
η ανάγκη να μετακινηθούν βάρη,
είτε για λόγους καθαρά ευκολίας στην φόρτωση - εκφόρτωση,
είτε για να επιτύχουμε μια νέα κατάσταση του πλοίου
σε σχέση με την αρχική.

Όταν, λοιπόν, γίνεται αυτή η μετακίνηση, είναι βέβαιο ότι θα αλλάξει και η θέση εφαρμογής του κέντρου βάρους G.

Για την εύρεση της νέας θέσης του G, χρησιμοποιούμε τον τύπο:

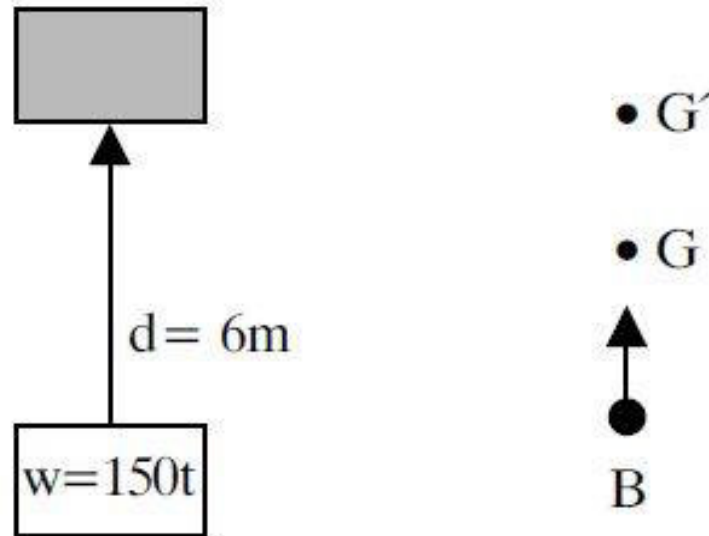
$$GG' = \frac{w \times d}{W}$$

όπου G η αρχική θέση, G' η νέα θέση μετά την μετακίνηση,
w το βάρος που μετακινείται,
d η απόσταση στην οποία μετακινείται το βάρος
και W το εκτόπισμα του πλοίου.

Οποιαδήποτε μετακίνηση βάρους στο πλοίο μπορεί να γίνει πάνω στον εγκάρσιο, το διαμήκη η και τον κατακόρυφο άξονα.

α) Μετακίνηση κατά τον κατακόρυφο άξονα (σχ. 11α)

Ένα πλοίο έχει εκτόπισμα $W=5.000t$. Βάρος $w=150t$ μεταφέρεται από το αμπάρι στο κατάστρωμα, κατά $6m$ ψηλότερα. Να βρεθεί η μετακίνηση του G .



Σχήμα 11α

Λύση:

ΤΥΠΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ:

$$GG' = \frac{w \times d}{W} = \frac{150 \times 6}{5.000} = \frac{900}{5.000} = 0,18m$$

Άρα, το G μετακινήθηκε ψηλότερα, στη θέση G' , κατά $0,18m$.

β) Μετακίνηση κατά τον εγκάρσιο άξονα (σχ. 11β)

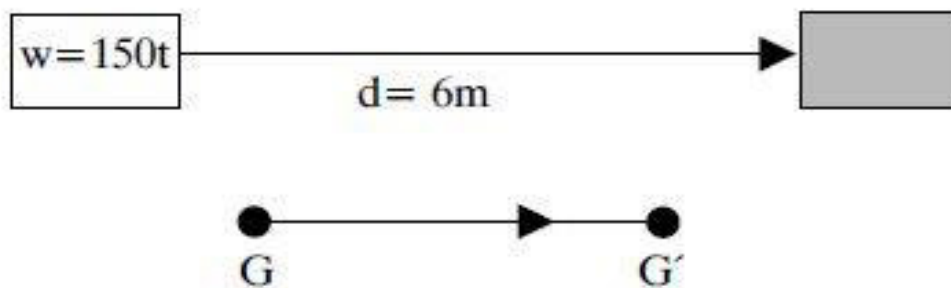
Σε πλοίο με εκτόπισμα $W=3.000t$ ένα βάρος $w=150t$ μετακινείται από την αριστερή πλευρά προς την δεξιά κατά $6m$. Να βρεθεί η μετακίνηση GG' του κέντρου βάρους.

Λύση:

ΤΥΠΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ:

$$GG' = \frac{w \times d}{W} = \frac{150 \times 6}{3.000} = \frac{900}{3.000} = 0,3m$$

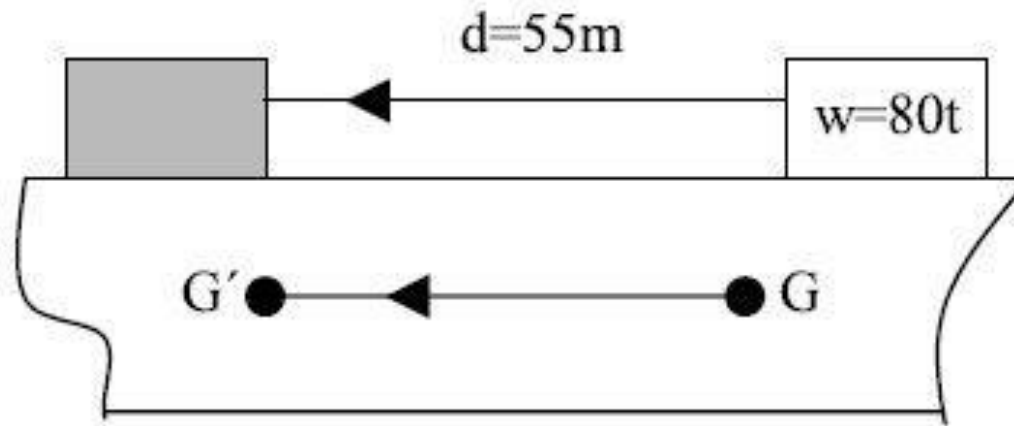
Άρα, το G μετακινήθηκε προς τα δεξιά, στη θέση G' κατά $0,3m$.



Σχήμα 11β

γ) Μετακίνηση κατά το διαμήκη άξονα (σχ. 11γ)

Σε πλοίο με εκτόπισμα $W=6.000t$ ένα βάρος $w=80t$ μετακινείται προς πρύμνη κατά $d=55m$. Να βρεθεί η μετακίνηση GG' του κέντρου βάρους.



Σχήμα 11γ

Λύση:

ΤΥΠΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ:

$$GG' = \frac{w \times d}{W} = \frac{80 \times 55}{6.000} = \frac{4.400}{6.000} = 0,73m$$

δ) Φορτοεκφόρτωση βαρών

Για την εύρεση της νέας θέσης του G στην περίπτωση φορτοεκφόρτωσης βαρών, χρησιμοποιούμε τον ίδιο τύπο:

$$GG' = \frac{w \times d}{W}$$

μόνο που τώρα, όταν φορτώνουμε βάρη, μεγαλώνει το εκτόπισμα, δηλαδή γίνεται $W+w$, ενώ όταν αφαιρούμε γίνεται $W-w$. Η φορτοεκφόρτωση μπορεί να γίνει και κατά τους τρεις άξονες: κατακόρυφο, διαμήκη και εγκάρσιο.

δ.1) Φόρτωση κατά τον κατακόρυφο άξονα

Σε πλοίο με $W=5.000t$ ένα βάρος $w=200t$ φορτώνεται στο κατάστρωμα σε ύψος $4,5m$ πάνω από το κέντρο βάρους. Να υπολογιστεί η μετακίνηση GG' .

Λύση:

ΤΥΠΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ:

$$GG' = \frac{w \times d}{W + w} = \frac{200 \times 4,5}{5.000 + 200} = \frac{900}{5.200} = 0,17m$$

Άρα, το G ανήλθε κατά $0,17m$.

δ.2) Εκφόρτωση κατά τον εγκάρσιο άξονα

Σε πλοίο με $W=4.000t$ ένα βάρος $w=150t$ εκφορτώνεται από την αριστερή πλευρά και από $d=4,5m$. Να υπολογιστεί η μετακίνηση GG' .

Λύση:

ΤΥΠΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ:

$$GG' = \frac{w \times d}{W - w} = \frac{150 \times 4,5}{4.000 - 150} = \frac{675}{3.850} = 0,17m$$

Άρα, το G μετακινήθηκε προς τα δεξιά σε G' , κατά $0,17m$.

δ.3) Εκφόρτωση κατά το διαμήκη άξονα

Σε πλοίο με $W=5.000t$ ένα βάρος $w=300t$ φορτώνεται στο No1 Hold κατά απόσταση $46m$ από το κέντρο βάρους. Να βρεθεί το GG' .

Λύση:

ΤΥΠΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ:

$$GG' = \frac{w \times d}{W + w} = \frac{300 \times 46}{5.000 + 300} = \frac{13.800}{5.300} = 2,60m$$

Άρα, το G μετακινήθηκε προς πλώρα στο G' κατά $2,60m$.

DIESEL OIL SERVICE TANK

ULLAGE (m)	DEPTH (m)	VOLUME (m4)	LCG (m)	TCG (m)	VCG (m)	FREE SURFACE MOMENT (m4)
2.050	1.600	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.000	1.650	0.054	0.707	3.065	1.625	0.053
1.950	1.700	0.110	0.708	3.071	1.651	0.058
1.900	1.750	0.168	0.710	3.078	1.676	0.064
1.850	1.800	0.229	0.711	3.085	1.702	0.071
1.800	1.850	0.291	0.712	3.092	1.729	0.077
1.750	1.900	0.355	0.713	3.099	1.755	0.085
1.700	1.950	0.421	0.714	3.106	1.782	0.093
1.650	2.000	0.489	0.715	3.113	1.809	0.101
1.600	2.050	0.560	0.716	3.120	1.836	0.110
1.550	2.100	0.632	0.717	3.127	1.863	0.119
1.500	2.150	0.706	0.718	3.135	1.891	0.129
1.450	2.200	0.782	0.719	3.142	1.919	0.139
1.400	2.250	0.861	0.720	3.149	1.946	0.150
1.350	2.300	0.941	0.721	3.157	1.974	0.161
1.300	2.350	1.023	0.721	3.164	2.003	0.173
1.250	2.400	1.108	0.722	3.172	2.031	0.186
1.200	2.450	1.194	0.723	3.179	2.060	0.199
1.150	2.500	1.282	0.724	3.187	2.088	0.213
1.100	2.550	1.372	0.724	3.194	2.117	0.220
1.050	2.600	1.463	0.725	3.201	2.145	0.228
1.000	2.650	1.555	0.726	3.208	2.174	0.235

0.950	2.700	1.648	0.726	3.214	2.202	0.243
0.900	2.750	1.742	0.727	3.220	2.230	0.250
0.850	2.800	1.837	0.728	3.226	2.258	0.258
0.800	2.850	1.933	0.728	3.232	2.286	0.266
0.750	2.900	2.030	0.729	3.237	2.314	0.275
0.700	2.950	2.128	0.729	3.243	2.343	0.283
0.650	3.000	2.227	0.730	3.248	2.371	0.292
0.600	3.050	2.326	0.730	3.253	2.399	0.301
0.550	3.100	2.427	0.731	3.258	2.427	0.310
0.500	3.150	2.529	0.731	3.263	2.455	0.319
0.450	3.200	2.632	0.732	3.268	2.483	0.328
0.400	3.250	2.736	0.732	3.272	2.511	0.338
0.350	3.300	2.841	0.733	3.277	2.540	0.348
0.300	3.350	2.947	0.733	3.282	2.568	0.358
0.250	3.400	3.054	0.734	3.286	2.596	0.368
0.200	3.450	3.162	0.734	3.291	2.624	0.378
0.150	3.500	3.271	0.735	3.295	2.653	0.389
0.100	3.550	3.381	0.735	3.300	2.681	0.400
0.050	3.600	3.492	0.736	3.304	2.710	0.411
0.000	3.650	3.604	0.736	3.309	2.738	0.000

Πίνακας 11.1 Χωρητικότητα δεξαμενής πετρελαίου