

**Jan P. Michalski**

**Podstawy  
teorii  
projektowania  
okrętów**



**Gdańsk 2013**

PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO  
WYDAWNICTWA POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ  
*Janusz T. Cieśliński*

RECENZENT  
*Maciej Pawłowski*

PROJEKT OKŁADKI  
*Katarzyna Olszonowicz*

Wydano za zgodą  
Rektora Politechniki Gdańskiej

Oferta wydawnicza Politechniki Gdańskiej jest dostępna pod adresem  
<http://www.pg.gda.pl/wydawnictwo/oferta>

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej  
Gdańsk 2013

Utwór nie może być powielany i rozpowszechniany, w jakiegokolwiek formie  
i w jakiegokolwiek sposób, bez pisemnej zgody wydawcy

ISBN 978-83-7348-493-1

---

# SPIS TREŚCI

WYKAZ PRZYJĘTYCH OZNACZEŃ .....	9
PRZEDMOWA .....	13
WSTĘP .....	17
<b>1. TECHNICZNO-PRAWNE BEZPIECZEŃSTWO STATKU .....</b>	<b>19</b>
1.1. Geneza normowania bezpieczeństwa .....	19
1.2. Kryteria bezpieczeństwa technicznego .....	21
1.3. Kontrola bezpieczeństwa technicznego .....	22
1.4. Rejestr okrętowy i jurysdykcja państwa bandery .....	25
1.5. Międzynarodowa Organizacja Morska .....	26
1.6. Towarzystwa i instytucje klasyfikacyjne .....	26
1.7. Międzynarodowe Zrzeszenie Towarzystw Klasyfikacyjnych .....	28
1.8. Międzynarodowe prawo i konwencje morskie .....	29
1.8.1. Konwencja o bezpieczeństwie życia na morzu .....	29
1.8.2. Konwencja o liniach ładunkowych .....	30
1.8.3. Konwencja o zapobieganiu zanieczyszczeniu morza .....	31
1.8.4. Konwencja o jednolitym systemie pomierzenia statków .....	32
1.8.5. Konwencje Międzynarodowej Organizacji Pracy .....	34
1.8.6. Rezolucje Międzynarodowej Organizacji Morskiej .....	35
1.8.7. Dyrektywy Unii Europejskiej .....	36
1.8.8. Jurysdykcja prawa lokalnego .....	38
1.9. Środki bezpieczeństwa technicznego .....	39
1.10. Nadzór nad bezpieczeństwem technicznym .....	41
1.11. Formy organizacji żeglugi .....	42
<b>2. TYPY FUNKCJONALNE STATKÓW .....</b>	<b>44</b>
2.1. Rozwój typów funkcjonalnych .....	44
2.2. Typy funkcjonalne statków transportowych .....	45
2.2.1. Statki do przewozu ładunków drobnicowych .....	47
2.2.2. Statki do przewozu kontenerów – kontenerowce .....	50
2.2.3. Statki poziomego ładowania – statki <i>ro-ro</i> .....	52
2.2.4. Statki do przewozu ładunków masowych – masowce .....	56
2.2.5. Statki do przewozu ładunków ciekłych – zbiornikowce .....	58
2.2.6. Statki do przewozu skroplonych gazów – gazowce .....	64
2.2.7. Statki do przewozu pasażerów – statki pasażerskie .....	70
<b>3. METODY TEORII PROJEKTOWANIA OKRĘTÓW .....</b>	<b>74</b>
3.1. Geneza metod projektowania .....	74
3.2. Ewolucja metod projektowania .....	76
3.3. Fazy projektowania wstępnego .....	78
3.4. Modelowanie matematyczne .....	82
3.5. Metody parametryczne projektowania wstępnego .....	83
<b>4. TECHNICZNO-EKSPLOATACYJNE WŁASNOŚCI OKRĘTU .....</b>	<b>86</b>
4.1. Funkcjonalizm okrętu .....	86
4.2. Opis kształtu kadłuba .....	87

4.3. Parametry geometryczne kadłuba .....	92
4.4. Parametry ruchu okrętu .....	95
4.5. Parametry funkcjonalne okrętu .....	96
4.5.1. Siła wyporu, wypór i wyporność .....	97
4.5.2. Siła ciężkości, ciężar i masa .....	99
4.5.3. Nośność, ładowność i zapasy .....	99
4.5.4. Pojemność ładowni i zbiorników ładunkowych .....	101
4.5.5. Tonaż rejestrowy .....	103
<b>5. REALIZACJA OBLICZEŃ PROJEKTOWYCH .....</b>	<b>105</b>
5.1. Wprowadzenie .....	105
5.2. Jednostki miar wielkości fizycznych .....	105
5.3. Strukturalność wzorów .....	107
5.4. Błędy obliczeń numerycznych .....	113
5.5. Błędy zaokrąglania liczb .....	115
5.6. Linearyzacja zależności nieliniowych .....	116
5.6.1. Przykład linearyzacji funkcji potęgowej .....	117
<b>6. PARAMETRYCZNE PROJEKTOWANIE OKRĘTÓW .....</b>	<b>119</b>
6.1. Identyfikacja parametrów istotnych .....	120
6.2. Struktura modelu parametrycznego .....	122
6.3. Główne założenia projektowe .....	124
6.4. Dobór statku wzorcowego .....	126
6.5. Lista statków podobnych .....	128
<b>7. KRYTERIUM PŁYWALNOŚCI OKRĘTU .....</b>	<b>132</b>
7.1. Konwencja oznaczeń .....	133
7.2. Wyznaczanie masy statku .....	133
7.3. Równanie pływalności .....	135
7.3.1. Współczynnik wykorzystania wyporności .....	135
7.3.2. Nieliniowe równanie pływalności .....	136
7.4. Metody wyznaczania wyporności .....	139
7.4.1. Metoda Bubnowa .....	139
7.4.2. Metoda Normanda .....	145
7.5. Wyznaczanie głównych parametrów podwodzia kadłuba .....	149
7.5.1. Długość i szerokość okrętu .....	150
7.5.2. Współczynniki pełnotliwości podwodzia kadłuba .....	151
7.5.3. Zanurzenie konstrukcyjne okrętu .....	153
7.6. Kryterium wolnej burty konwencyjnej .....	153
7.6.1. Wprowadzenie .....	153
7.6.2. Tabelaiczna wolna burta .....	156
7.6.3. Minimalna wolna burta .....	157
<b>8. KRYTERIUM POJEMNOŚCI OKRĘTU .....</b>	<b>162</b>
8.1. Równanie bilansu pojemności ładowni .....	162
8.2. Równanie bilansu pojemności podpokładowej .....	163
8.3. Wyznaczanie wysokości bocznej .....	164
8.3.1. Metoda uproszczona .....	166
8.4. Przestrzenny podział kadłuba .....	168
8.4.1. Szacowanie masy zapasów i objętości zbiorników .....	169
8.4.2. Zestawienie mas i objętości zapasów w zbiornikach .....	170
8.4.3. Położenie głównych zładów konstrukcji kadłuba .....	171
8.4.4. Dobór odstępu wręgowego .....	172
8.4.5. Wysokość dna podwójnego .....	172

8.4.6. Lokalizacja i długość siłowni .....	172
8.4.7. Liczba i położenie grodzi wodoszczelnych .....	173
8.4.8. Pokłady, luki ładowni, urządzenia ładunkowe .....	174
<b>9. KRYTERIA STATECZNOŚCI OKREŃTU .....</b>	<b>175</b>
9.1. Wprowadzenie .....	175
9.2. Ustalony stan pływania okrętu .....	176
9.3. Równanie kołysań poprzecznych .....	177
9.4. Równanie stateczności statycznej .....	178
9.5. Równanie stateczności dynamicznej .....	179
9.6. Moment sił prostujących okrętu .....	179
9.7. Ramiona prostujące .....	181
9.8. Stateczność początkowa okrętu .....	182
9.8.1. Miara wysokości metacentrycznej .....	183
9.8.2. Skorygowana krzywa ramion prostujących .....	185
9.8.3. Wzdłużna wysokość metacentryczna .....	186
9.8.4. Ramię prostujące stateczności dynamicznej .....	187
9.8.5. Kąt przechyłu dynamicznego .....	188
9.9. Kryteria stateczności .....	189
9.10. Normowanie stateczności dynamicznej .....	190
9.11. Momenty przechylające okrętu .....	192
9.11.1. Moment wywołany przemieszczeniem ładunku .....	193
9.11.2. Moment wywołany ładunkiem .....	194
9.11.3. Moment przechylający wywołany ładunkiem ciekłym .....	195
9.11.4. Moment przechylający wywołany ładunkiem podwieszonym .....	197
9.11.5. Moment przechylający wywołany naporem wiatru .....	197
9.11.6. Moment przechylający wywołany cyrkulacją okrętu .....	198
9.12. Przykłady wyznaczania stateczności początkowej .....	199
9.13. Wstępna ocena stateczności okrętu .....	209
9.13.1. Krytyczne wysokości środka ciężkości okrętu .....	209
9.13.2. Kryterium minimalnej wysokości metacentrycznej .....	210
9.13.3. Kryterium minimalnego okresu kołysań własnych .....	211
9.13.4. Kryterium przechyłu podczas cyrkulacji .....	212
9.13.5. Kryterium ramienia prostującego stateczności statycznej .....	213
9.13.6. Kryterium ramienia prostującego stateczności dynamicznej .....	214
9.13.7. Wyznaczanie krytycznych wysokości środków masy okrętu .....	215
9.13.8. Wpływ kształtu kadłuba na krzywą ramion prostujących .....	222
9.13.9. Pantokareny .....	223
9.13.10. Parametryczna metoda wyznaczania pantokaren .....	225
9.13.11. Założenia upraszczające prognozowanie stateczności .....	226
9.13.12. Całkowanie numeryczne ramion stateczności statycznej .....	227
9.13.13. Przechył wywołany dynamicznym naporem wiatru .....	228
<b>10. KRYTERIUM PRĘDKOŚCI OKREŃTU .....</b>	<b>233</b>
10.1. Wprowadzenie do metodyki projektowania układu napędowego .....	233
10.2. Sformułowanie problemu wstępnego projektowania napędu .....	237
10.3. Równanie ruchu postępowego okrętu .....	239
10.4. Opór kadłuba .....	240
10.5. Napór śruby okrętowej .....	241
10.6. Równania bilansowe napędu .....	244
10.7. Matematyczny model projektowania napędu .....	245
10.8. Etapy wstępnego projektowania napędu .....	246
10.9. Podobieństwo hydrodynamiczne śrub okrętowych .....	247

10.10.	Podobieństwo hydrodynamiczne oporu kadłuba .....	250
10.10.1.	Metoda Froude'a wyznaczania oporu kadłuba .....	251
10.10.2.	Hipoteza Froude'a .....	252
10.10.3.	Metoda ITTC-78 wyznaczania oporu kadłuba .....	253
10.11.	Opór kadłuba w warunkach kontraktowych .....	254
10.12.	Parametryczne metody prognozowania oporu kadłuba .....	254
10.12.1.	Metoda Schneeklutha .....	255
10.12.2.	Metoda Silverleafa-Dawsona .....	255
10.12.3.	Metoda Watsona .....	256
10.12.4.	Wyznaczanie oporu kadłuba okrętu w warunkach eksploatacji .....	256
10.12.5.	Parametry okrętu zależne od stanu załadowania .....	257
10.13.	Wstępne wyznaczanie parametrów silnika napędowego .....	261
10.13.1.	Parametry tłokowego silnika spalinowego .....	261
10.13.2.	Założenia metodyki wyznaczania parametrów silnika .....	262
10.13.3.	Przykład metodyki wyznaczania parametrów silnika napędowego .....	263
10.13.4.	Ocena wystąpienia kawitacji .....	268
10.13.5.	Kryterium Burrilla .....	268
10.13.6.	Kryterium Kellera .....	270
10.13.7.	Kryterium Instytutu w Wageningen .....	270
10.14.	Wyznaczanie parametrów pędnika i prognoza prędkości okrętu .....	271
10.14.1.	Metodyka wyznaczania parametrów śruby i prognozowanie prędkości okrętu .....	272
10.14.2.	Przykład algorytmu wyznaczania parametrów śruby i prędkości okrętu .....	273
10.15.	Charakterystyki napędowe okrętu .....	275
10.15.1.	Współpraca śruby z silnikiem napędowym .....	275
10.15.2.	Założenia upraszczające .....	277
10.15.3.	Charakterystyki napędowe mocy i siły napędzającej .....	278
11.	KRYTERIUM RENTOWNOŚCI OKRĘTU .....	281
11.1.	Inwestycje w okrętownictwie i żegludze .....	281
11.2.	Czasowa wartość kapitału .....	282
11.3.	Miary ekonomiczne efektywności inwestycji .....	284
11.3.1.	Przepływy finansowe <i>Cash Flow</i> – <i>CF</i> .....	284
11.3.2.	Miara efektywności <i>Net Present Value</i> – <i>NPV</i> .....	285
11.3.3.	Miara efektywności <i>Internal Rate of Return</i> – <i>IRR</i> .....	286
11.3.4.	Miara efektywności <i>Capital Recovery Factor</i> – <i>CRF</i> .....	288
11.3.5.	Miara efektywności <i>Required Freight Rate</i> – <i>RFR</i> .....	290
11.3.6.	Miary rentowności z amortyzacją, podatkiem i inflacją .....	292
12.	KRYTERIA OPTIMALIZACJI PARAMETRÓW OKRĘTU .....	294
12.1.	Wprowadzenie .....	294
12.2.	Struktura kosztów eksploatacyjnych .....	295
12.3.	Przykład metody optymalizacji prędkości statku .....	296
12.3.1.	Sformułowanie problemu i założenia .....	297
12.3.2.	Koszty inwestycyjne .....	298
12.3.3.	Roczna zdolność przewozowa statku – <i>ACC</i> .....	299
12.3.4.	Roczne koszty eksploatacji statku – <i>AOC</i> .....	300
12.3.5.	Zdyskontowane średnie koszty roczne – <i>AAC</i> .....	300
12.3.6.	Prędkość minimalizująca wymaganą stawkę frachtową – <i>RFR</i> .....	301
12.3.7.	Przykład zastosowania metody .....	303
12.4.	Przykład metody optymalizacji nośności statku .....	305
12.4.1.	Koszty inwestycyjne i operacyjne .....	305
12.4.2.	Nośność minimalizująca wymaganą stawkę frachtową – <i>RFR</i> .....	307
12.4.3.	Przykład zastosowania metody .....	309

---

13. ZAKOŃCZENIE .....	312
14. SPIS PRZYDATNEJ LITERATURY PRZEDMIOTU .....	313
ZAŁĄCZNIKI .....	315
Załącznik 1. Długość tras morskich z portów Gdyni i Gdańska .....	315
Załącznik 2. Lista wzorcowych statków drobnicowych, przydatna do ćwiczeń projektowych .....	316
Załącznik 3. Wykres charakterystyk hydrodynamicznych $K_T$ , $K_Q$ śrub serii B-Wageningen B4; $S_o/S = 0,4$ .....	317
Wykres charakterystyk hydrodynamicznych $K_T$ , $K_Q$ śrub serii B-Wageningen B4; $S_o/S = 0,6$ .....	318
Wykres charakterystyk hydrodynamicznych $K_T$ , $K_Q$ śrub serii B-Wageningen B4; $S_o/S = 0,8$ .....	319
Wykres $B_T$ śrub serii B-Wageningen B4; $S_o/S = 0,4$ (opracował Lesław Buczkowski) ..	320
Wykres $B_T$ śrub serii B-Wageningen B4; $S_o/S = 0,6$ (opracował Lesław Buczkowski) ..	321
Wykres $B_T$ śrub serii B-Wageningen B4; $S_o/S = 0,8$ (opracował Lesław Buczkowski) ..	322
Wykres $B_Q$ śrub serii B-Wageningen B4; $S_o/S = 0,4$ (opracował Lesław Buczkowski) ..	323
Wykres $B_Q$ śrub serii B-Wageningen B4; $S_o/S = 0,6$ (opracował Lesław Buczkowski) ..	324
Wykres $B_Q$ śrub serii B-Wageningen B4; $S_o/S = 0,8$ (opracował Lesław Buczkowski) ..	325