

WOJCIECH WIĘCKIEWICZ

**PODSTAWY
PŁYWALNOŚCI I STATECZNOŚCI
STATKÓW HANDLOWYCH**



**AKADEMIA MORSKA
W GDYNI**



BUDOWA I STATECZNOŚĆ STATKU
ZESZYT TEMATYCZNY

WOJCIECH WIĘCKIEWICZ

**PODSTAWY
PŁYWALNOŚCI I STATECZNOŚCI
STATKÓW HANDLOWYCH**

Gdynia 2006

RECENZENT: dr inż. Miłosz Frąckowiak, Politechnika Gdańska

PROJEKT OKŁADKI: Artur Tarasiewicz

REDAKCJA I KOREKTA: Ewa Giedziun

SKŁAD KOMPUTEROWY: Jolanta Białous

ISBN 83-7421-036-2

Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni,
ul. Morska 81-87, 81-225 Gdynia, tel. 69-01-278.
e-mail: dwwsm@am.gdynia.pl
Zlec. 3/2006. Nakład 300 egz. Format B-5.
Wydanie pierwsze. Oddano do druku: czerwiec 2006.

SPIS TREŚCI

	Strona
Wstęp	7
Spis ważniejszych oznaczeń	9
1. Rozwój jednostek pływających	13
2. Podział przestrzenny statków morskich	21
3. Opis kadłuba statku	24
3.1. Zasady opisu	24
3.2. Płaszczyzny odniesienia	25
3.3. Prezentacja kształtu kadłuba	27
4. Wymiary kadłuba i wymiary statku	30
4.1. Zasady wymiarowania	30
4.2. Wymiary główne kadłuba	30
4.3. Całkowite wymiary kadłuba	33
4.4. Wymiary statku	34
4.5. Zanurzenia eksploatacyjne statku	35
4.6. Znaki zanurzeń	36
5. Wyróżniki kształtu kadłuba i eksploatacyjne parametry statku	38
5.1. Stosunki wymiarów głównych	38
5.2. Współczynniki pełnotliwości	40
5.3. Parametry eksploatacyjne statku	42
5.4. Pojemności rejestrowe	43
6. Podstawy obliczeń hydrostatycznych	44
6.1. Obliczanie powierzchni pola pod krzywą	44
6.2. Metoda trapezów	45
6.3. Metoda Simpsona I	46
6.4. Metoda 5/8	48
6.5. Obliczanie powierzchni wodnicy	49
6.6. Obliczanie parametrów geometrycznych wodnicy	51
6.7. Obliczanie parametrów podwodnej części kadłuba	54
7. Dokumentacja hydrostatyczna statku	59
7.1. Dane hydrostatyczne statku nieprzegłębionego	59
7.2. Zasady korzystania z danych hydrostatycznych	62

7.3. Dane hydrostatyczne statku przegłębionego	64
7.4. Skala załadowania	67
8. Obliczanie masy statku i współrzędnych jej środka	70
8.1. Bazy odniesienia współrzędnych środka masy statku	70
8.2. Wyznaczanie masy statku	70
8.3. Równanie momentów statycznych mas na statku	71
8.4. Masa pustego statku i współrzędne jej środka	72
8.5. Wyznaczanie parametrów cieczy w zbiornikach	73
8.6. Wyznaczanie parametrów ładunków	76
8.7. Ładowanie warstwowe przedziałów ładunkowych	81
8.8. Informacje dodatkowe	85
8.9. Zmiany stanu załadowania statku	86
9. Fizyczne podstawy pływalności statku nawodnego	88
9.1. Typy obiektów pływających	88
9.2. Prawa mechaniki w pływaniu statków nawodnych	88
9.3. Wypór ciała pływającego w cieczy.....	89
9.4. Warunki równowagi sił działających na pływające w cieczy ciało	90
9.5. Pływanie statków nawodnych i nadwodnych	94
10. Pływalność statku i wymagany zapas pływalności	96
10.1. Stany równowagi ciał pływających w cieczy	96
10.2. Stany równowagi statku nawodnego	97
10.3. Zapas pływalności i przepisy wolnej burty	101
11. Wyznaczanie wyporności statku i masy ładunku na podstawie zanurzeń	106
12. Podstawy stateczności statku	109
12.1. Warunki pływalności statku bez przechyłu i przegłębienia	109
12.2. Równowaga statku i jego stateczność	110
12.3. Stateczność poprzeczna statku nawodnego	111
12.4. Stateczność poprzeczna statyczna	111
12.5. Geometria przechyłu statku	115
13. Stateczność początkowa poprzeczna	117
13.1. Założenia stateczności początkowej	117
13.2. Korekty wysokości metacentrycznej	122
13.3. Swobodne powierzchnie cieczy w zbiornikach	126
13.4. Obliczanie małych kątów przechyłu	130
13.5. Próba przechyłu i próba kołysania	133

14. Stateczność przy dużych kątach przechyłu	135
14.1. Wykres ramion prostujących	135
14.2. Korekty krzywej stateczności statycznej	139
14.3. Wyznaczanie dużych kątów przechyłu	145
15. Stateczność wzdłużna	146
15.1. Wzdłużna równowaga statku	146
15.2. Warunek pływania statku bez przegłębienia	149
15.3. Obliczanie przegłębienia statku	150
15.4. Obliczanie zanurzeń dziobu i rufy	151
15.5. Korekta zanurzeń dziobu i rufy	154
16. Stateczność dynamiczna	155
16.1. Podstawy stateczności dynamicznej	155
16.2. Wyznaczanie kąta dynamicznego przechyłu statku	158
16.3. Wyznaczanie krytycznego momentu wywracającego statek	159
17. Kryteria stateczności statków morskich	160
17.1. Kryteria stateczności statycznej według zaleceń IMO	160
17.2. Kryterium pogody według zaleceń IMO	162
17.3. Stateczność statków przewożących ładunek ziarna luzem	165
17.4. Kryteria stateczności IMO dla statków z ładunkiem ziarna luzem ..	168
17.5. Dodatkowe zalecenia stateczności według IMO	172
17.6. Kryteria stateczności towarzystw klasyfikacyjnych.....	175
17.7. Wykresy lub tabele dopuszczalnych rzędnych środka masy statku .	175
17.8. Wykres lub tabela dopuszczalnych momentów przechylających od przesypania się ziarna	177

Załączniki

1. Kopia certyfikatu pomiarowego statku „U. B. Gemini”, port macierzysty – Georgetown, Kajmany.....	179
2. Tabela obliczania powierzchni, odciętej środka powierzchni, momentów bezwładności wodnicy	180
3. Tabela obliczania objętości i współrzędnych środka wyporu podwodnej części kadłuba, na podstawie danych odczytanych ze skali Bonjeana.....	181
4. Tabela danych hydrostatycznych masowca do przewozu ziarna luzem o nośności 15 844 t [25].....	182
5. Tabela wolnej burty dla statków typu A i typu B – wyciąg z [14]	183
6. Kopia certyfikatu wolnej burty. Statek typu B: „U. B. Gemini”, port macierzysty – Georgetown, Kajmany	184

7. Kopia wypełnionego formularza obliczania masy ładunku na podstawie odczytu zanurzeń statku. Masowiec uniwersalny „Kleofas”, port macierzysty – La Valetta, Malta	185
8. Tabela momentów poprawek wysokości metacentrycznej od swobodnych powierzchni cieczy w zbiornikach ΔmGM dla uniwersalnego drobnicowca o nośności 13 600 t [24]	186
9. Ramiona kształtu (pantokareny) dla uniwersalnego drobnicowca o nośności 13 600 t [24] – wycinek	187
10. Tabela momentów poprawek ramion prostujących od swobodnych powierzchni cieczy w zbiornikach dla uniwersalnego drobnicowca o nośności 13 600 t [24].....	188
11. Tabela zmian zanurzenia dziobu i rufy od przyjęcia 100 t dla uniwersalnego drobnicowca o nośności 13 600 t [24] – wycinek	189
12. Tabele współczynników stosowanych do obliczania amplitudy kołysania statku pod wpływem falowania, według IMO [12]	190
13. Tabela dopuszczalnych rzędnych środka masy $z_{G(DOP)}$ dla uniwersalnego drobnicowca o nośności 13 600 t, dla kryteriów stateczności PRS [24] – wycinek	191
14. Tabela dopuszczalnych momentów przechylających od przesypania się ziarna, masowiec do przewozu ziarna luzem o nośności 15 844 t [25]	192
Literatura	193

WSTĘP

Pierwsza publikacja z serii wydawniczej „Budowa i stateczność statku” zawiera podstawowe informacje dotyczące pływalności i stateczności morskich statków transportowych. W poszczególnych rozdziałach opisano: wymiary i ogólne parametry statków nawodnych, podział statków transportowych, sposoby liczenia: wyporności, współrzędnych środka masy i zanurzenia oraz podano podstawowe informacje na temat pływalności i stateczności.

Skrypt przeznaczony jest dla studentów studiów dziennych specjalności **eksploatacja portów i floty** na Wydziale Nawigacyjnym Akademii Morskiej w Gdyni.

SPIS WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ

- a_w – pole powierzchni wręgu [m],
 A_w – pole powierzchni wodnicy [m],
 B – szerokość konstrukcyjna kadłuba statku [m],
 c – stała składowa nośności statku, konstanta [t],
 d – odstęp między wręgami teoretycznymi [m],
 D – wyporność statku [t],
 D_{MAX} – maksymalna wyporność statku [t],
 g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2],
 GM – poprzeczna wysokość metacentryczna statku [m],
 GM_L – wzdlużna wysokość metacentryczna statku [m],
 GM_P – poprawiona poprzeczna wysokość metacentryczna statku [m],
 GZ – ramię prostujące [m], oznaczenie wg IMO
 h – poziom zapełnienia zbiornika cieczą lub ładowni ładunkiem [m],
 H – wysokość boczna kadłuba statku [m],
 I_L – wzdlużny moment bezwładności powierzchni wodnicy [m^4],
 I_B – poprzeczny moment bezwładności powierzchni wodnicy [m^4],
 k – współczynnik udziału poszycia kadłuba (i części wystających) w tworzeniu wyporności statku [-],
 K – współczynnik załadowania (sztauerski) ładunku [m^3/t],
 L – długość statku wg Konwencji o liniach ładunkowych [m],
 L_C – długość całkowita kadłuba statku [m],
 L_{PP} – długość statku między pionami [m],
 L_S – długość całkowita statku [m],
 L_W – długość statku na wodnicy pływania [m],
 m – masa: przyjęta, zdjęta lub przemieszczona [t],
 m_B – masa balastu wodnego w [t],
 m_C – masa ładunku [t],
 m_O – masa pustego statku [t],
 m_P – masa pasażerów [t],
 m_S – masa zapasu (paliwa, oleju smarowego, wody) [t],

- m_{ST} – masa statku [t],
- m_U – masa ścieków w zbiorniku [t],
- m_Z – moment statyczny powierzchni wręgu względem płaszczyzny podstawowej [m³],
- M_J – jednostkowy moment przegłębiający [tm/m],
- M_P – poprzeczny moment prostujący statek [kNm],
- M_{PL} – wzdłużny moment prostujący statek [kNm],
- M_Z – zewnętrzny moment przechylający statek [kNm],
- M_{ZL} – zewnętrzny moment przegłębiający statek [kNm],
- M_ψ – moment przegłębiający statek od przemieszczenia mas [kNm],
- N – nośność statku [t],
- N_{MAX} – maksymalna nośność statku [t],
- Q – ciężar statku [kN],
- r_B – poprzeczny promień metacentryczny [m],
- R_L – wzdłużny promień metacentryczny [m],
- t – przegłębienie statku [m],
- t_k – konstrukcyjne (projektowe) przegłębienie statku [m],
- T – zanurzenie wypornościowe statku [m],
- T_A – średnia z zanurzeń dziobu i rufy statku [m],
- T_D – zanurzenie statku na pionie dziobowym, zwane zanurzeniem dziobu statku [m],
- T_{DK} – zanurzenie konstrukcyjne (projektowe) dziobu statku [m],
- T_{DZ} – zanurzenie statku na znakach zanurzenia na dziobie [m],
- T_K – konstrukcyjne (projektowe) zanurzenie statku [m],
- T_O – zanurzenie statku na owrężu (mierzone od płaszczyzny podstawowej) [m],
- T_{OZ} – zanurzenie statku na znakach zanurzenia na śródkręciu [m],
- TPC – przyrost wyporności na jeden centymetr wzrostu zanurzenia statku [t/cm],
- T_R – zanurzenie statku na pionie rufowym, zwane zanurzeniem rufy statku [m],
- T_{RK} – zanurzenie konstrukcyjne (projektowe) rufy statku [m],
- T_{RZ} – zanurzenie statku na znakach zanurzenia na rufie [m],
- T_{SS} – zanurzenie średnie ze średnich [m],
- T_ϕ – okres kołysań własnych statku [s],

- v – objętość: ładowni, ładunku, zbiornika, cieczy w zbiorniku [m^3],
- V – objętość podwodnej części kadłuba statku [m^3],
- x – odcięta środka masy: ładunku, zapasu, balastu lub odcięta wybranego punktu na statku, mierzona od pionu rufowego [m],
- x_F – odcięta środka wyporu statku, mierzona od pionu rufowego [m],
- x_{FO} – odcięta środka wyporu statku, mierzona od owręża [m],
- x_G – odcięta środka masy statku, mierzona od pionu rufowego [m],
- x_{GO} – odcięta środka masy statku, mierzona od owręża [m],
- x_{GP} – odcięta środka masy pustego statku, mierzona od pionu rufowego [m],
- x_{SO} – odcięta środka powierzchni wodnicy, mierzona od owręża [m],
- y – współrzędna poprzeczna środka masy: ładunku, zapasu, balastu lub współrzędna poprzeczna wybranego punktu na statku, mierzona od płaszczyzny symetrii [m],
- y_G – współrzędna poprzeczna środka masy statku, mierzona od płaszczyzny symetrii, [m],
- z – rzędna środka masy: ładunku, zapasu, balastu lub rzędna wybranego punktu na statku, mierzona od płaszczyzny podstawowej [m],
- z_C – rzędna środka masy ładunku ziarna w ładowni, mierzona od płaszczyzny podstawowej [m],
- z_F – rzędna środka wyporu statku, mierzona od płaszczyzny podstawowej [m],
- z_G – rzędna środka masy statku, mierzona od płaszczyzny podstawowej [m],
- z_{GP} – rzędna środka masy pustego statku, mierzona od płaszczyzny podstawowej [m],
- z_M – rzędna metacentrum poprzecznego statku, mierzona od płaszczyzny podstawowej [m],
- α – współczynnik pełnotliwości wodnicy statku [-],
- ΔD_1 – pierwsza poprawka wyporności statku na przegłębienie [t],
- ΔD_2 – druga poprawka wyporności statku na przegłębienie [t],
- Δt – zmiana przegłębienia statku [m],
- ΔT – zmiana zanurzenia statku [m],
- ΔT_D – zmiana zanurzenia dziobu statku [m],
- ΔT_R – zmiana zanurzenia rufy statku [m],
- ε_D – zmiana zanurzenia dziobu statku po przyjęciu na statek stałej masy, np. 100 ton [m],
- ε_R – zmiana zanurzenia rufy statku po przyjęciu na statek stałej masy, np. 100 ton [m],

- ρ – gęstość wody [t/m^3],
- ρ_C – gęstość cieczy w zbiorniku [t/m^3],
- ρ_N – normatywna gęstość wody w dokumentacji statku [t/m^3],
- φ – kąt przechyłu statku [$^\circ$],
- φ_A – amplituda kołysań statku na fali [$^\circ$],
- φ_D – kąt dynamicznego przechyłu statku [$^\circ$],
- φ_{KR} – krytyczny kąt wywracania statku [$^\circ$],
- φ_{ZAL} – kąt zalewania wnętrza statku [$^\circ$],
- Φ – kąt przechyłu statku [$^\circ$], oznaczenie wg IMO,
- Φ_F – kąt zalewania wnętrza statku [$^\circ$], oznaczenie wg IMO,
- Φ_0 – kąt statycznego przechyłu statku pod wpływem wiatru [$^\circ$], oznaczenie wg IMO,
- Φ_1 – amplituda kołysania statku na fali [$^\circ$], oznaczenie wg IMO,
- Φ_C – kąt, przy którym pozioma linia obrazująca ramię momentu wiatru działającego dynamicznie – l_{w2} przecina po raz drugi wykres ramion stateczności statycznej $GZ(\Phi)$ [$^\circ$], oznaczenie wg IMO,
- ψ – kąt przegłębienia statku [$^\circ$],
- $\gamma = \rho \cdot g$ – ciężar właściwy cieczy [kN/m^3].

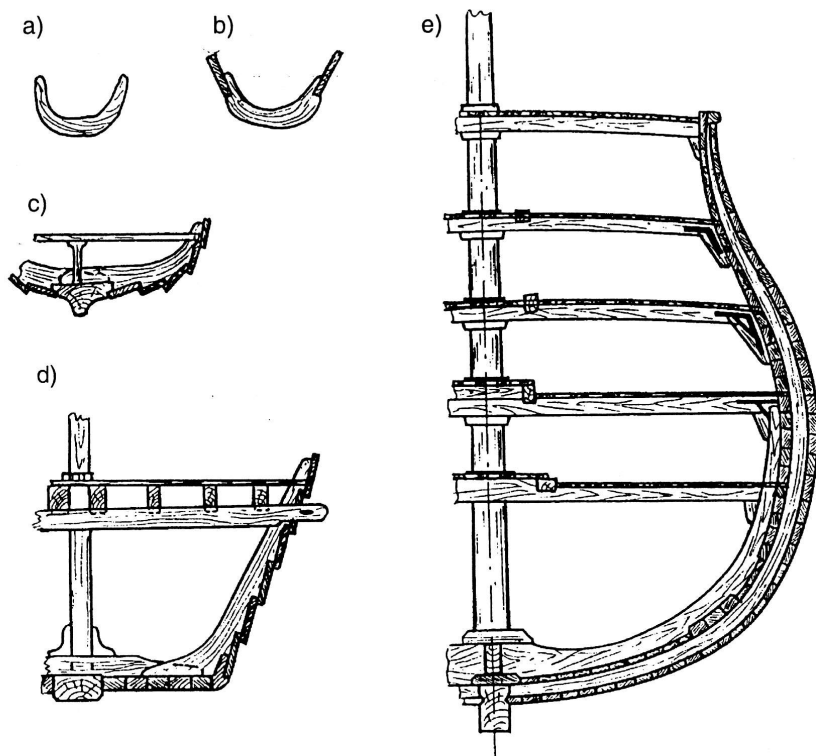
1. ROZWÓJ JEDNOSTEK PŁYWAJĄCYCH

Według Kodeksu morskiego **statkiem morskim jest każde urządzenie pływające przeznaczone lub używane do żeglugi morskiej**. Według tego samego źródła: **morskim statkiem handlowym jest statek przeznaczony lub używany do prowadzenia działalności gospodarczej...**[8]. Zgodnie z wykładnią kodeksu, jednostkami handlowymi są: statki transportowe (przewożące pasażerów lub towary), statki połowowe, statki wydobywcze, holowniki, statki ratownictwa morskiego itp. Nie są statkami handlowymi jednostki: naukowo-badawcze, sportowe, rekreacyjne, statki specjalnej służby państwowej (w tym na przykład hydrograficzne, pilotowe, ratownicze do ratowania ludzi, szkolne, lodołamacze) oraz okręty wojenne [8].

Współczesne statki, zarówno morskie jak i śródlądowe, wywodzą się z czółna – drażonego pnia drzewa [11]. Ten pradawny środek transportu wodnego przeszedł długą ewolucję. Przez tysiąclecia, które minęły od początków żeglugi, zmieniły się: materiały stosowane do budowy, techniki wytwarzania, a przede wszystkim wielkości jednostek pływających. Inne, dawne środki transportu jak: tratwy wykonane z kilku powiązanych ze sobą pni, pływaki z napęcznionych powietrzem skór zwierzęcych czy łodzie plecione z gałęzi i obciążane skórą, nie rozwinęły się na tyle, by stworzyć poważną konkurencję dla konstrukcji powstałych na bazie czółna.

Ewolucja czółna do dużego statku morskiego przebiegała drogą stopniowego podwyższania burt czółna za pomocą desek. Równolegle z tym następował proces rozchylania dołączonych do czółna desek na zewnątrz, dawało to wzrost ładowności i znaczną poprawę stateczności tak przerobionego czółna. Z czasem zaniechano drażenia czółna i zaczęło ono pełnić rolę głównego wiązania kadłuba nazywanego **kilem** lub **stępką**, czyli swoistego „kręgosłupa” pływającej jednostki. W celu poprawienia wytrzymałości i sztywności jej konstrukcji coraz liczniej nadbudowane deski (tworzące **burty** jednostki) zaczęto usztywniać poprzecznymi żebrami, zwanymi **wręgami**. Wręgi te w części dennej opierały się i były powiązane ze stępką (pozostałością pierwotnego czółna). Takie konstrukcje, nazywane **łodziami**, osiągały duże rozmiary (do 30 m długości). Dalsze wzmocnienie konstrukcji dawnych łodzi uzyskiwano poprzez połączenie ze sobą za pomocą poprzecznych łączników górnych końców wręgów. Położenie na tych łącznikach poszycia z desek dawało pokład oddzielający wnętrze jednostki od otoczenia. Tym sposobem otwarta łódź zamieniała się w szczelny, odporny na zalewanie i bezpieczny statek.

Przekroje poprzeczne przez: czółno, czółno z deskami podwyższającymi, łódź, średniowieczny morski statek oraz XVIII-wieczny duży okręt żaglowy, pokazane są na rysunku 1 [11].

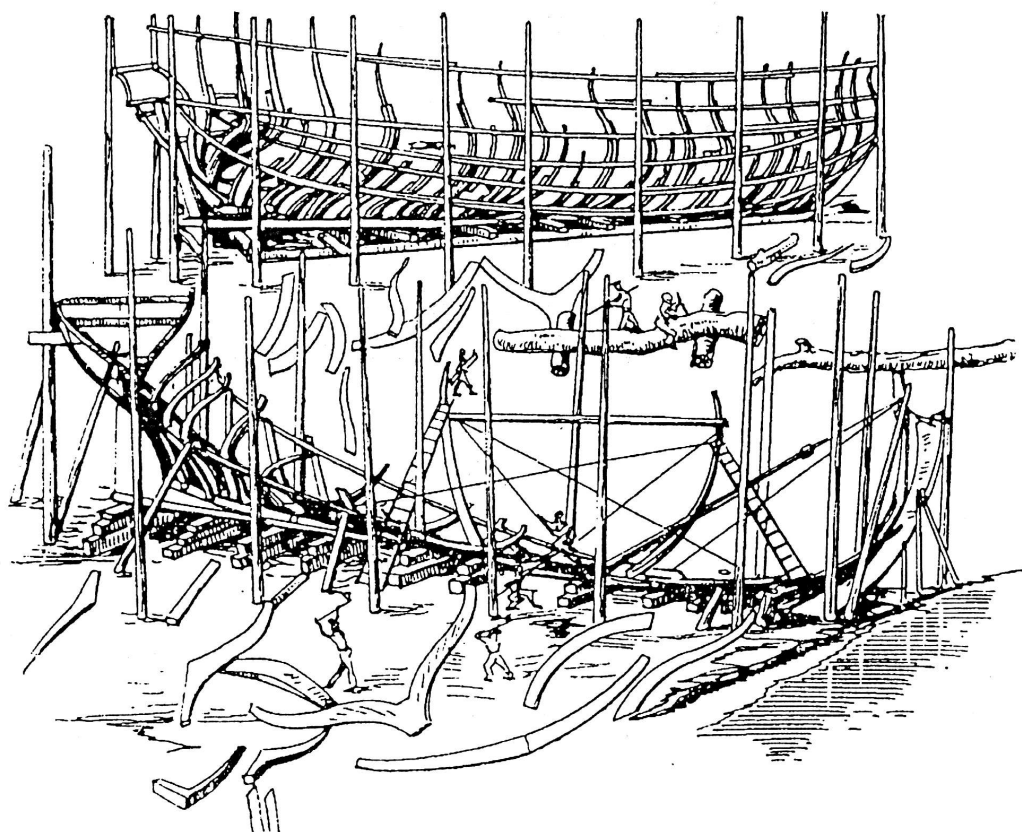


Rys. 1. Ewolucja jednostek pływających od czółna do XVIII-wiecznego okrętu żaglowego [11]. Przekroje poprzeczne: a) czółna, b) czółna z przymocowanymi deskami podwyższającymi burty, c) małej łodzi klepkowej, d) koci – XIII-wiecznego statku handlowego, e) „Victory” – dużego żaglowca wojennego z końca XVIII wieku

Do połowy XIX stulecia głównym materiałem konstrukcyjnym do budowy statków było drewno. Sposób budowy statku z drewna poglądowo prezentuje rysunek 2. Oryginał rysunku umieszczony był w XVIII-wiecznym podręczniku budowy statków wydany w Szwecji [4]. Ze specjalnie formowanych w czasie ich rośnięcia drzew wycinano krzywulce, stosowane jako wręgi i inne zakrzywione elementy konstrukcyjne. Do grubej i biegnącej przez całą długość statku belki (stępki) mocowano wręgi, do których przybijano na kołki deski poszycia dna i burt. Górne końce wręgów obu burt łączone były belkami usztywniającymi górny pokład, zwanymi **pokładnikami**. Do tych pokładników mocowano na kołki klepki poszycia pokładu.

Większość drewnianych statków miała napęd żaglowy (były również jednostki z napędem wiosłowym, z liczną obsadą wioślarską), stąd w ich kadłuby wbudowano maszty dźwigające żagle. Koniec IX i początek XX wieku

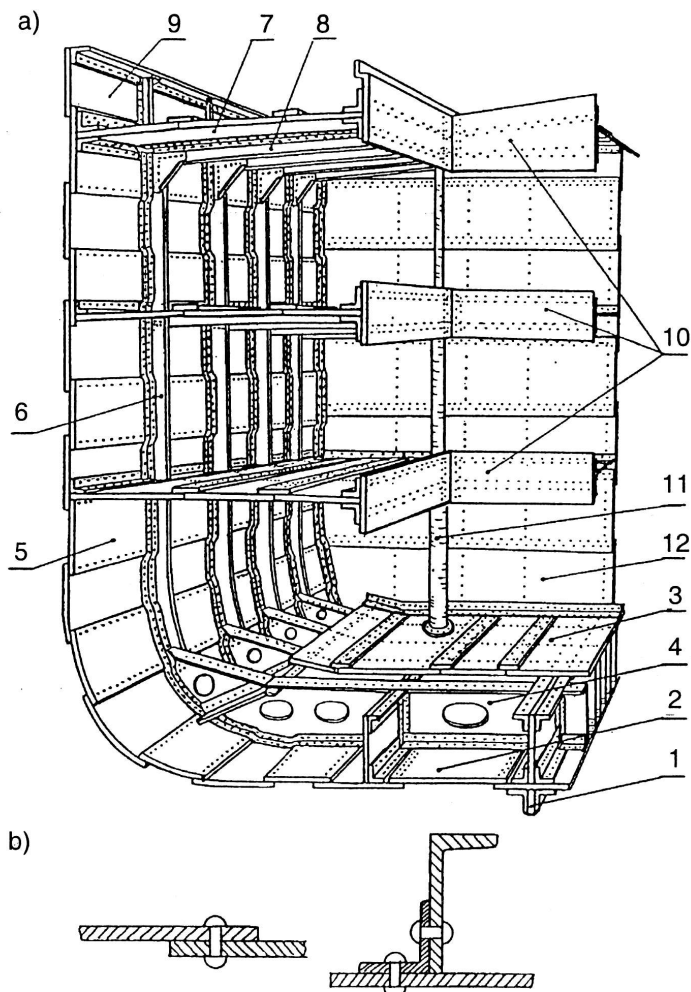
przyniosły dwie rewolucyjne zmiany w budownictwie okrętowym: powszechne wprowadzenie napędu mechanicznego i zastosowanie stali na kadłuby statków. Mechaniczny napęd statków, w pierw maszynami parowymi, potem silnikami spalinowymi i turbinami parowymi, uniezależnił poruszanie się statków od występowania wiatru. Początkowo napęd mechaniczny stosowano na statkach żaglowych jako pomocniczy, na wypadek braku wiatru. Dość szybko poznano się na zaletach takiego sposobu poruszania się jednostek morskich i zaczęto budować statki mające wyłącznie napęd mechaniczny. Postęp w budowie maszyn parowych, a potem silników spalinowych, uwidaczniający się szybkim wzrostem ich mocy, spowodował, że statki z napędem mechanicznym (parowce i statki motorowe) uzyskiwały prędkości nieosiągalne dla jednostek napędzanych żaglami. Natomiast stal jako materiał konstrukcyjny kadłubów wpłynęła na gwałtowny wzrost wielkości statków morskich.



Rys. 2. Budowa statku w stocznii w XVIII stuleciu. Według podręcznika budowy statków wydanego w 1671 roku w Szwecji [4]

Pierwsze statki stalowe wykonywane były za pomocą technologii nitowania, nitami łączono blachy poszycia z usztywnieniami oraz blachy i usztywnienia między sobą. Zmiana technologii łączenia ze sobą elementów kadłuba z nitowania na spawanie nastąpiła po II wojnie światowej. Ujęcia

perspektywiczne wnętr kadłubów statków, wykonanych z zastosowaniem dwóch technologii: nitowania i spawania, przedstawiają rysunki 3 i 4.



Rys. 3. Stalowy kadłub statku o konstrukcji nitowanej [11]: a) perspektywiczny widok wnętr kadłuba, b) połączenia nitowane; po lewej – łączenie blach poszycia, po prawej – łączenie usztywnienia z poszyciem; 1 – stępka belkowa, 2 – poszycie dna zewnętrznego, 3 – poszycie dna wewnętrznego, 4 – usztywnienie poprzeczne dna – dennik, 5 – poszycie burt, 6 – usztywnienie burt – wręg, 7 – poszycie pokładu, 8 – usztywnienie pokładu – pokładnik, 9 – nadburcie, 10 – zrębница łuku, 11 – podpora, 12 – poszycie grodzi poprzecznej

Na statkach stalowych z początku XX wieku rolę kilu z jednostek żaglowych pełni **stępka belkowa**. Połączone są z nią za pomocą nitów: pasy poszycia dna zewnętrznego i poprzeczne usztywnienia dna, zwane **dennikami**. Kolejne płyty poszycia dna, a następnie burt, są nitowane z poprzednimi na zakładkę. W rejonie przejścia dna w burtę, nazywanym **obłem**, denniki przechodzą w usztywnienia burt – **wręgi**. Płyty poszycia w tym rejonie są przed montażem na statku wstępnie wyginane. Poszycie statku w rejonie obła oraz

poszycie burt łączy się nitami z dennikami i wręgami. Płaty poszycia pokładu górnego i dolnych pokładów usztywniają przynitowane **pokładniki**. Zewnętrzne płaty poszycia pokładów połączone z poszyciem burt za pomocą kątowników. Usztywnienia dna, burt i pokładów łączą między sobą przynitowane na zakładkę łączniki, określane jako **węzłówki**. Na dużych statkach morskich występuje **dno wewnętrzne**, nitowane do górnych krawędzi denników. Przyburtowe płaty poszycia tego dna są w rejonie obła łączone z poszyciem zewnętrznym statku, również za pomocą nitów.

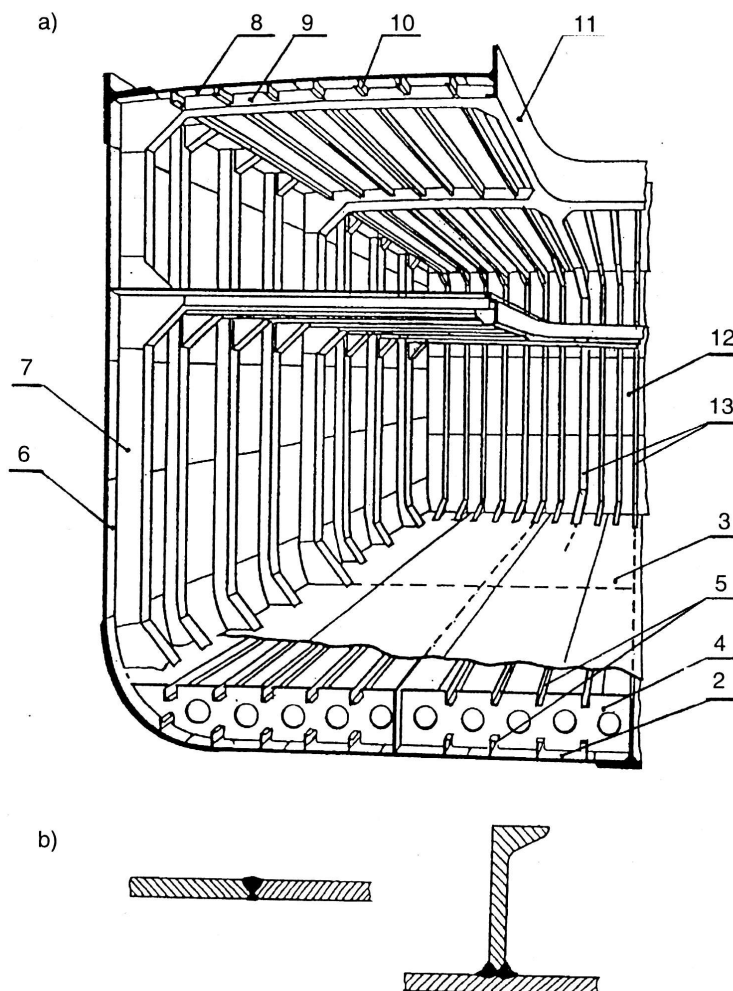
Na statkach wykonanych z wykorzystaniem technologii spawania płaty poszycia dna, burt i pokładów łączone są między sobą oraz z usztywnieniami kadłuba (dennikami, wręgami i pokładnikami) za pomocą spoin – rysunek 4. Zamiast stępki belkowej stosuje się najczęściej **stępkę płaską**, do której przyspawany jest **denny wzdluznik srodkowy**. Te dwa elementy wraz ze srodkowym pasem poszycia dna wewnętrznego tworzą silne dwuteowe usztywnienie, zastępujące stępkę belkową, ale w odróżnieniu od niej całkowicie schowane do wnętrza kadłuba. Płaty poszycia są ze sobą łączone **spoinami czołowymi**, natomiast usztywnienia: denniki, wręgi, pokładniki, wzdluznik srodkowy są spawane z poszyciem **spoinami pachwinowymi**. Takimi samymi spoinami połączone są ze sobą poszycia dna wewnętrznego i zewnętrznego oraz poszycia burt z poszyciem pokładów. Spoiny: czołowa i pachwinowa prezentowane są na rysunku 4 b.

W czasie II wojny światowej budowano statki ze **zbrojonego stalał betonu**. Jednak to tworzywo nie rozpowszechniło się w budownictwie okrętowym pomimo wprowadzenia wielu ulepszeń jak: **siatkobeton** (beton zbrojony gęstymi cienkimi siatkami ze stalowego drutu) czy **beton sprężony**.

Nowoczesne technologie budowy konstrukcji betonowych stosowane są szeroko w budownictwie obiektów oceanotechnicznych, zwłaszcza związanych z wydobywaniem ropy naftowej i gazu ziemnego z dna mórz. Betonowe stacjonarne platformy wiertnicze i wydobywcze, podwodne magazyny ropy naftowej, a także podwodne zbiorniki gazu, boje przeładunkowe ropy i gazu są przykładami takich obiektów.

W latach sześćdziesiątych ubiegłego stulecia zaczęto budować jednostki pływające z żywic syntetycznych zbrojonych włóknem szklanym. Takie tworzywa służą do budowy niewielkich statków o długości do 40 m, głównie wykonuje się z nich małe jednostki rekreacyjne i sportowe. Zarówno beton, jak i zbrojone żywice wymagają, przy wykonywaniu kadłuba, stosowania formy zewnętrznej lub wewnętrznej (kopyta). Konieczność wstępnego wykonania formy przedłuża proces budowy i podraża koszty jednostki, ale umożliwia seryjną budowę wielu jednostek na podstawie jednej formy. W drugiej połowie XX wieku wprowadzono do budownictwa okrętowego **stopy aluminium**. Z tego materiału buduje się szybkie, jednostki pasażerskie do 100 m długości.

Głównym jednak materiałem konstrukcyjnym była i jest nadal stal. Umożliwia ona budowę bardzo dużych statków.



Rys. 4. Stalowy kadłub statku wykonany technologią spawania [11]: a) widok perspektywiczny wnętrza kadłuba, b) połączenia spawane, po lewej – łączenie blach poszycia spoiną czołową, po prawej – łączenie usztywnień z poszyciem spoiną pachwinową; 1 – stępka płaska, 2 – poszycie dna zewnętrznego, 3 – poszycie dna wewnętrznego, 4 – usztywnienie poprzeczne dna – dennik, 5 – usztywnienie wzdłużne dna zewnętrznego i wewnętrznego, 6 – poszycie burty, 7 – usztywnienie burty – wręg, 8 – poszycie pokładu, 9 – poprzeczne usztywnienie pokładu – pokładnik, 10 – wzdłużne usztywnienie pokładu, 11 – zrębica luku, 12 – poszycie grodzi poprzecznej, 13 – usztywnienie grodzi

Cechą charakterystyczną XX-wiecznego budownictwa okrętowego, oprócz wzrostu wielkości jednostek, stało się bardzo duże zróżnicowanie statków. Przykładowo, w dziale żeglugi obejmującym przewozy drogą morską towarów, z typowego na początku XX wieku **frachtowca** wyodrębniły się trzy grupy jednostek: **statki do przewozu ładunków płynnych, statki do ładunków**

suchych i statki kombinowane – przewożące ładunki obu typów. Również w każdej z wymienionych grup występują dalsze różnicowania. Jednostki przewożące ładunki suche można podzielić na: statki do ładunków przewożonych luzem (określane jako **masowce**), statki do ładunków w opakowaniach i statki uniwersalne, wożące wszelkiego rodzaju ładunki suche. Z kolei w grupie statków transportujących ładunki płynne rozróżnia się statki do przewozu cieczy (**zbiornikowce**) i jednostki zwane **gazowcami**, przewożące skroplone lub sprężone gazy.

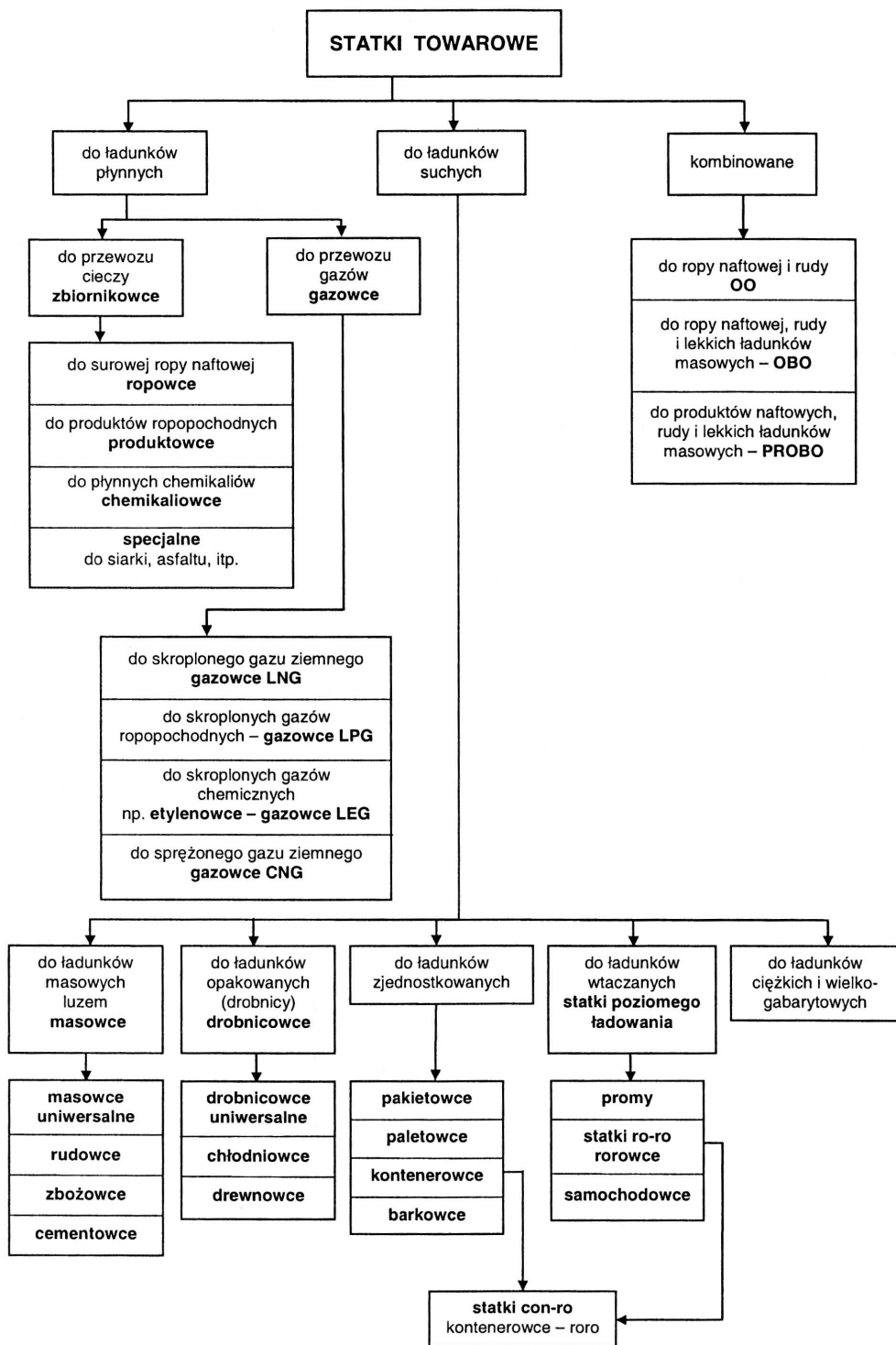
Podstawowy podział statków przeznaczonych do przewozu ładunków w opakowaniach, określanych potocznie jako **drobnica**, wynika z kierunku ich ładowania. Jednostki załadowywane i wyładowywane przy użyciu urządzeń przeładunkowych, statkowych lub portowych, nazywane są **statkami pionowego ładowania** lub statkami typu **lo-lo**, (skrót ang. terminu *lift on – lift off*, podnieść – opuścić). Natomiast statki, na które ładunki są wwożone lub wciągane, określa się jako **statki poziomego ładowania**. Często takie jednostki nazywa się **statkami typu ro-ro** lub **rorowcami** (ang. *roll on – roll off*, wtoczyć – wytoczyć) lub **statkami do ładunków wtaczanych**. Należy jednak zaznaczyć, że termin „statki poziomego ładowania” jest obszerniejszy niż termin „rorowiec” lub „statek do ładunków wtaczanych”. Obejmuje bowiem także jednostki, na które ładunki wciąga się na płozach, lub niektóre typy **barkowców**, do których wnętrza wpływają załadowane barki.

Do przewozu drobnicy używa się statków zwanych **drobnicowcami** lub według autorów niektórych publikacji – **towarowcami** [18]. Oprócz typowych, uniwersalnych drobnicowców, wożących różnego rodzaju ładunki drobnicowe oraz ładunki masowe, są również drobnicowce dostosowane do transportu, na przykład ładunków chłodzonych (**chłodniowce**) czy drewna – **drewnowce**.

Drobnica transportowana w ściśle określonych wymiarowo modułach, na przykład ładowana do kontenerów, przygotowana w postaci pakietów lub układana na palety, określana jest jako ładunek zjednostkowany. Statki wożące wymienione wyżej typy ładunków zjednostkowanych nazywają się odpowiednio: **kontenerowcami**, **pakietowcami** i **paletowcami**.

Ładunek przewożony na barkach w barkowcowych systemach transportowych jest również traktowany jako zjednostkowany. Barki transportowane są drogami morskimi na **barkowcach** z pionowym lub poziomym załadunkiem. Szczególnym typem drobnicy są ciężkie i wielkogabarytowe urządzenia przemysłowe. Przewożone są one na **statkach do ładunków ciężkich**. Również tego rodzaju jednostki mogą być statkami pionowego lub poziomego ładowania.

Szczegółowy podział morskich statków towarowych, w każdej z wyżej wymienionych grup i podgrup, zamieszczono na rysunku 5.



Rys. 5. Podział morskich statków transportujących ładunki. Skróty występujące na rysunku: OO – *oil/ore* – ropa naftowa/ruda, OBO – *oil/bulk/ore* – ropa naftowa/ładunki masowe (lekkie)/ruda, PROBO – *product oil/bulk/ore* – produkty ropopochodne/ładunki masowe (lekkie)/ruda, LNG – *liquified natural gas* – skroplony gaz ziemny, LPG – *liquified petroleum gas* – skroplony gaz ropopochodny, LEC – *liquified ethylen gas* – skroplony etylen, CNG – *compressed natural gas* – sprężony gaz ziemny

2. PODZIAŁ PRZESTRZENNY STATKÓW MORSKICH

Statek nawodny składa się z dwóch głównych części: **kadłuba**, który jest częściowo zanurzony w wodzie, oraz posadowionej na kadłubie **nadbudowy**. Nadbudowa w zależności od jej szerokości względem kadłuba może mieć postać **nadbudówki (nadbudówek)**, gdy ma tę samą szerokość co kadłub, lub jest **pokładówką (pokładówkami)**, w wypadkach gdy jej szerokość jest mniejsza niż kadłuba.

Nadbudówka może być ciągła, sięga wówczas od dziobu jednostki do jej rufy, lub składa się z dwóch albo więcej części. Przedstawia to rysunek 6.

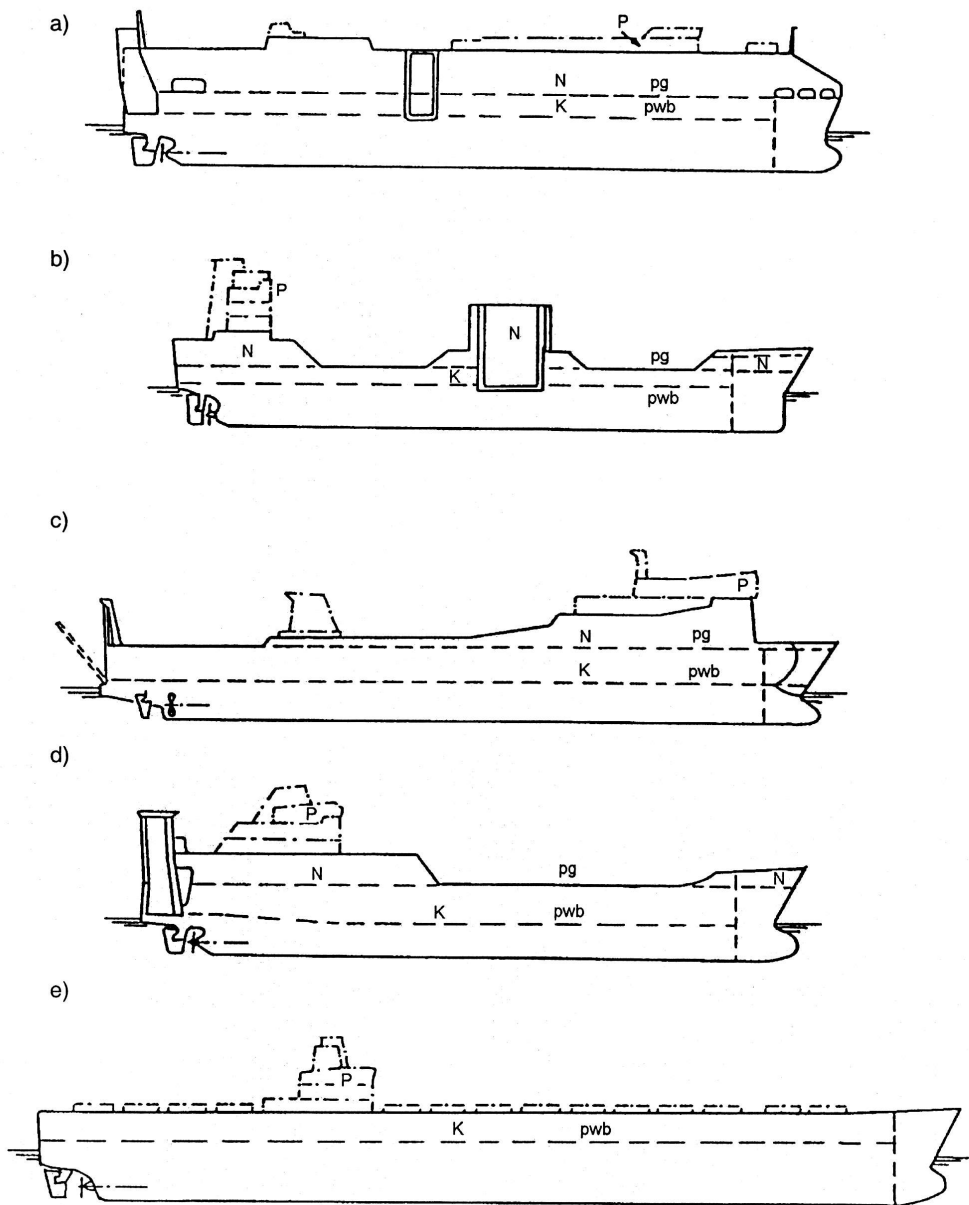
W zależności od położenia po długości statku, rozróżniane są: nadbudówka dziobowa (dziobówka), nadbudówka środkowa (średniówka) i nadbudówka rufowa (rufówka). Pokładówki mogą być posadowione na nadbudówkach lub mogą stać bezpośrednio na kadłubie.

Kadłub statku składa się z następujących części: **dna**, **burt**, **pokładów** (górnego i ewentualnie – dolnych), oraz **dziobu** i **rufy**, w których to częściach dno, burty i pokłady jednostki połączone są ze sobą. Kadłub można podzielić na część dziobową, środkową (zwaną **śródkręciem**) i część rufową. Wnętrze kadłuba podzielone jest przegrodami na przedziały. Wodoszczelne przegrody, dzielące kadłub wzdłuż i w poprzek, nazywane są **grodziami poprzecznymi** i **wzdłużnymi**. W kierunku pionowym kadłub dzielony jest na szczelne przedziały za pomocą dolnych pokładów. Nieszczelne poziome przegrody nazywane są **platformami**. Na współczesnych statkach morskich jest zawsze szczelne **dno wewnętrzne**, jako dodatkowa pozioma przegroda. Grodzie, dno wewnętrzne i dolne pokłady zabezpieczają statek przed zatonięciem na wypadek dostania się wody zaburtowej do wnętrza kadłuba – ograniczają one objętość przestrzeni statku zalanej wodą.

Podział wnętrza kadłuba na wodoszczelne przedziały przedstawia rysunek 7.

Liczba poprzecznych grodzi, jako głównych przeszkód w rozprzestrzenianiu się wody we wnętrzu statku, zależy od długości kadłuba, minimalną liczbę tych grodzi regulują przepisy budowy statków. Pierwsza od dziobu gródź nazywana jest **grodzią zderzeniową**, przedział leżący przed nią określa się jako **skrajnik dziobowy**. Ostatnia gródź na rufie – **gródź rufowa** oddziela **skrajnik rufowy** od reszty statku.

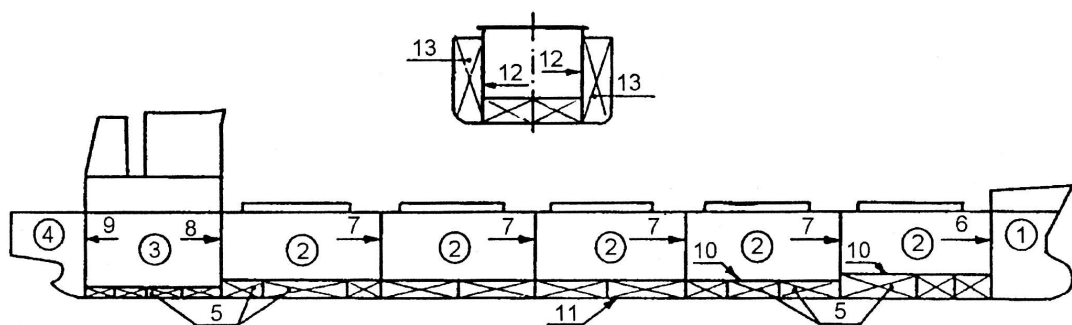
Oddzielone od siebie przedziały mogą pełnić różne funkcje. Na statkach z napędem mechanicznym jeden z przedziałów przeznaczony jest na **maszynownię**. Umieszczone są tam główne silniki napędowe (często jest to pojedynczy silnik), agregaty prądotwórcze (o ile nie znajdują się w oddzielnym przedziale, zwanym **elektrownią**), przekładnie oraz urządzenia pomocnicze obsługujące maszynownię i cały statek.



Rys. 6. Nadbudowy na kadłubach statków: a) statek do transportu samochodów – samochodowiec z ciągłą nadbudówką, b) paletowiec z trzema nadbudówkami, w środkowej nadbudówce – furta burtowa, a za nią dźwig paletowy, c) prom z dziobową nadbudówką, d) statek ro-ro z nadbudówką dziobową i rufową, e) kontenerowiec komorowy – kadłub bez nadbudówek.
Oznaczenia: K – kadłub, N – nadbudówka, P – pokładówka, pwb – pokład wolnej burty, pg – pokład górny

Zapasy paliwa, oleju smarowego, wody słodkiej znajdują się w zbiornikach. Również w zbiornikach przewożony jest balast wodny oraz ścieki gromadzące się na statku w czasie jego eksploatacji. Balast wodny służy do zmiany położenia środka ciężkości jednostki, w ten sposób poprawia się

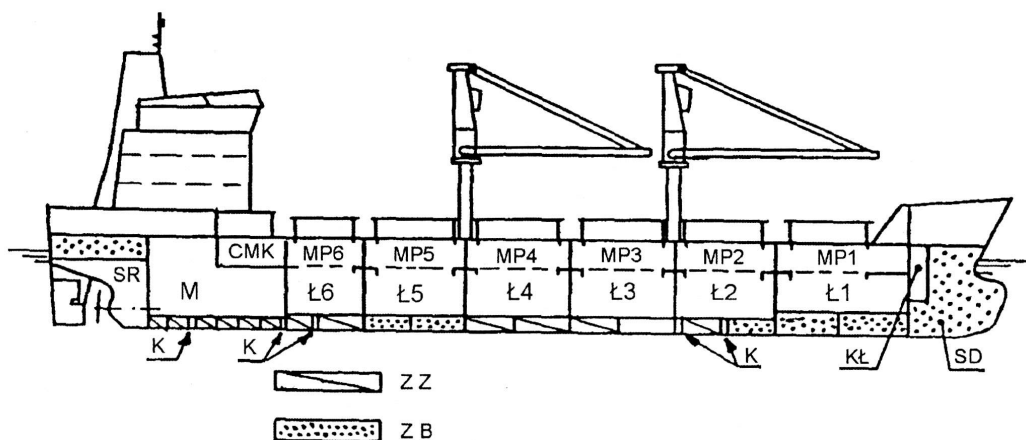
niektóre parametry eksploatacyjne statku, jak na przykład niezwykle ważną dla jego bezpieczeństwa stateczność, czyli odporność na przechyły. Zbiorniki zapasów, balastu i ścieków rozmieszczone są, między innymi, w **dnie podwójnym**, czyli przestrzeni leżącej między dnem zewnętrznym a dnem wewnętrznym statku. Skrajniki są z reguły wykorzystywane jako zbiorniki balastu, ewentualnie mogą służyć do przewozu zapasów słodkiej wody. Przewożenia w skrajnikach cieczy palnych (np. paliwa) zabraniają przepisy budowy statków. Dodatkowo zbiorniki zapasów, balastu lub zbiorniki o specjalnych funkcjach mogą być rozmieszczone na statkach w innych miejscach. Sąsiadujące ze sobą zbiorniki różnych cieczy są od siebie oddzielone wąskimi **przedziałami ochronnymi**, zwanymi także **koferdamami**. Pozostała przestrzeń kadłuba (poza maszynownią, skrajnikami i dnem podwójnym) na statkach transportowych przeznaczona jest na ładunek. Ta przestrzeń jest również podzielona grodziami na wodoszczelne przedziały ładunkowe. Na statkach do transportu płynów (cieczy, gazów skroplonych lub sprężonych) w ich częściach ładunkowych umieszczone są **zbiorniki ładunkowe**. Na statkach do przewozu ładunków suchych, luzem lub w opakowaniach, poprzeczne grodzie dzielą część ładunkową na **ładownie**. W wypadkach, gdy na statkach są dolne pokłady, najniżej leżącą część przestrzeni ładunkowej nazywa się **dolną ładownią**, natomiast przestrzeń wyżej położone określane są jako **międzypokłady**. Z kolei na statkach poziomego ładowania przestrzeń do przewozu pojazdów z ładunkami lub bez, oraz ładunków wwożonych ładowarkami, nazywane są **pokładami wjazdowymi**. Pomieszczenia utrzymania ruchu statku (poza pomieszczeniem sterowania pracą maszynowni) i socjalne są z reguły położone w nadbudówkach lub pokładówkach. Wymienione pomieszczenie sterowania maszynownią, zwane **centralą manewrowo-kontrolną**, znajduje się z reguły wewnątrz kadłuba, w bezpośrednim sąsiedztwie maszynowni.



Rys. 7. Masowiec do przewozu rudy (rudowiec). Podział statku grodziami poprzecznymi na wodoszczelne przedziały: 1 – skrajnik dziobowy, 2 – ładownie, 3 – maszynownia, 4 – skrajnik rufowy, 5 – zbiorniki w dnie wewnętrznym, 6 – gródź zderzeniowa, 7 – gródź poprzeczna między ładowniami, 8 – przednia gródź maszynowni, 9 – tylna gródź maszynowni będąca jednocześnie grodzią rufową, 10 – dno wewnętrzne, 11 – dno zewnętrzne, 12 – gródź wzdłużna, 13 – zbiornik burtowy

Podział wnętrza statku na przedziały o różnym przeznaczeniu nosi nazwę **podziału funkcjonalnego**.

Przykład takiego podziału statku towarowego do przewozu ładunków suchych (drobnicowca uniwersalnego) pokazany jest na rysunku 8.



Rys. 8. Przykład podziału funkcjonalnego drobnicowca uniwersalnego. Oznaczenia: SD – skrajnik dziobowy, SR – skrajnik rufowy, Ł – ładownia, MP – międzypokład, M – maszynownia, CMK – centrala manewrowo-kontrolna, K – koferdam (przedział ochronny), KŁ – komora łańcucha kotwicznego, ZB – zbiornik balastu wodnego, ZZ – zbiornik zapasów

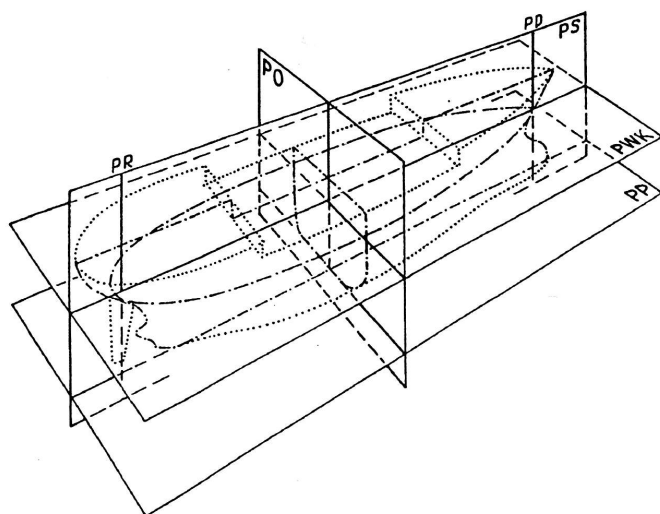
3. OPIS KADŁUBA STATKU

3.1. Zasady opisu

Kadłub statku nawodnego jest bryłą o kształcie spełniającym określone warunki. Jego całkowita objętość jest zawsze większa od objętości jego części zanurzonej w wodzie. Objętość zanurzonej części kadłuba powinna wyprzeć taką objętość wody, by jej ciężar równoważył całkowicie ciężar całego statku. Kształt kadłuba i jego proporcje powinny zapewnić małe opory ruchu statku w wodzie, dobrą stateczność, zadowalające cechy manewrowe i niezbędną dzielność morską. Kadłub statku spełniający powyższe wymagania stanowi, zwłaszcza w części podwodnej, opływową bryłę, trudno poddającą się geometrycznemu czy analitycznemu opisowi. By ułatwić geometryczną lub matematyczną prezentację kadłuba, najczęściej tnie się jego bryłę płaszczyznami i prezentuje się wizualnie lub matematycznie ślady cięcia kadłuba przez te płaszczyzny.

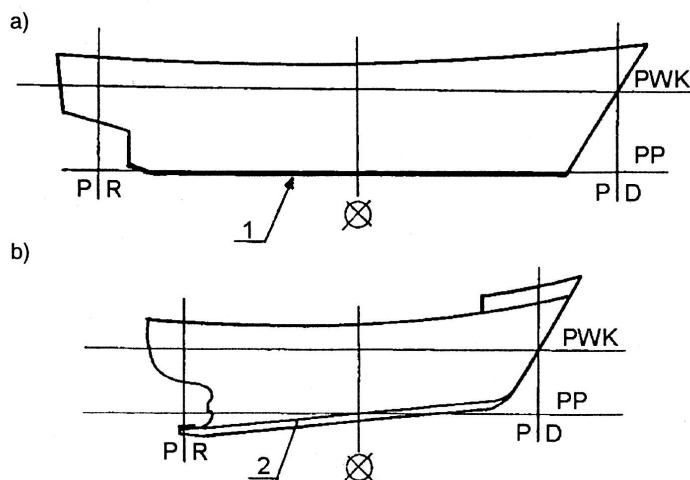
3.2. Płaszczyzny odniesienia

Płaszczyzny cięć są równoległe do głównych płaszczyzn odniesienia kształtu kadłuba, te zaś pokazuje na rysunek 9. Główne płaszczyzny są wzajemnie do siebie prostopadłe i noszą nazwy: **płaszczyzny wodnicy konstrukcyjnej**, **płaszczyzny symetrii** oraz **płaszczyzny owręża**. Pierwsza z wymienionych płaszczyzn – wodnicy konstrukcyjnej, pokrywa się z (przyjętym przez projektanta jednostki) położeniem statku względem powierzchni wody. Druga, pionowa płaszczyzna dzieli kadłub jednostki na symetryczne części: lewą i prawą, stąd jej nazwa – płaszczyzna symetrii. Znajdują się w niej dwie pionowe linie, prostopadłe do płaszczyzny wodnicy konstrukcyjnej, nazywane pionami. **Pion dziobowy** przechodzi przez punkt na płaszczyźnie symetrii, w którym przednia krawędź dziobnicy jednostki jest przecinana przez płaszczyznę wodnicy konstrukcyjnej [1,3]. Na statkach ze sterem na rufie **pion rufowy** przechodzi przez punkt przecięcia płaszczyzny wodnicy konstrukcyjnej przez oś trzonu sterowego [1,3]. Na jednostkach mających na rufie dwa stery pion rufowy wyznacza się drogą rzutowania na płaszczyznę symetrii punktów przebiecia płaszczyzny wodnicy konstrukcyjnej przez osie trzonów sterów. Natomiast na jednostkach bez sterów położenie pionu rufowego należy uzgodnić z towarzystwem klasyfikacyjnym nadzorującym projektowanie jednostki. Trzecia z głównych płaszczyzn – owręża leży w połowie odległości pomiędzy pionem dziobowym i rufowym statku. W celach projektowych wprowadza się dodatkową, pomocniczą **płaszczyznę podstawową**, równoległą do płaszczyzny wodnicy konstrukcyjnej i leżącą



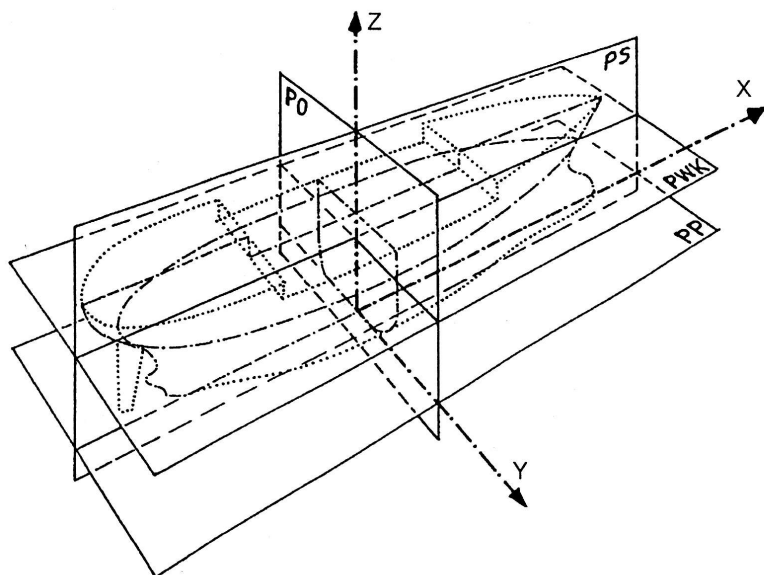
Rys. 9. Główne płaszczyzny odniesienia kształtu kadłuba; PWK – płaszczyzna wodnicy konstrukcyjnej, PS – płaszczyzna symetrii, PO – płaszczyzna owręża, PP – płaszczyzna podstawowa, PD – pion dziobowy, PR – pion rufowy

poniżej niej. Na współczesnych statkach morskich ta płaszczyzna przechodzi przez leżący na płaszczyźnie symetrii punkt przecięcia górnej krawędzi stępki płaskiej lub belkowej przez płaszczyznę owręża – rysunek 10.



Rys. 10. Położenie płaszczyzny podstawowej: a) statek z linią stępki równoległą do PWK, b) statek ze stępką belkową nierównoległą do PWK; 1 – stępka płaska, 2 – stępka belkowa

Linie przecinania się płaszczyzn: podstawowej, symetrii i owręża tworzą układ współrzędnych kartezjańskich. Jest on przedstawiony na rysunku 11.



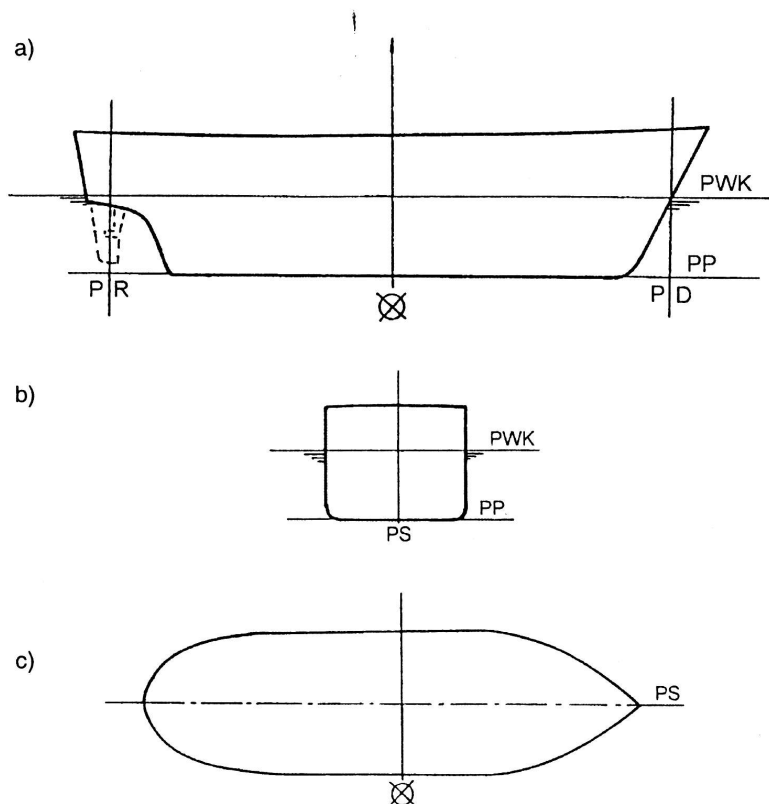
Rys. 11. Układ współrzędnych prostokątnych utworzony przez linie przenikania głównych płaszczyzn odniesienia

Na potrzeby prezentacji kształtu kadłuba przyjęto następujące zasady: ślady cięcia kadłuba przedstawia się po zewnętrznej stronie jego poszycia dla statków drewnianych i wykonanych z kompozytów, metodą formowania w wewnętrznych formach. Dotyczy to jednostek z żywic syntetycznych zbrojonych włóknem szklanym lub ze zbrojonego betonu. Natomiast w wypadku kadłubów wykonanych metodą łączenia poszycia kadłuba z jego usztywnieniami, jak na przykład: nitowane i spawane statki stalowe czy ze stopów innych metali, ślady cięcia kadłuba przez płaszczyzny przedstawia się po wewnętrznej stronie poszycia.

3.3. Prezentacja kształtu kadłuba

Ślady cięcia kadłuba statku przez opisane wyżej główne płaszczyzny odniesienia: wodnicy konstrukcyjnej, symetrii i owręża, dają odpowiednio: wodnicę konstrukcyjną, wzdłużną sylwetkę kadłuba i przekrój kadłuba na śródokręciu (na owrężu).

Ślady cięć na odpowiednich płaszczyznach pokazuje rysunek 12.



Rys. 12. Ślady cięcia kadłuba statku głównymi płaszczyznami odniesienia: a) wzdłużna sylwetka statku, b) przekrój kadłuba w płaszczyźnie owręża, c) wodnica konstrukcyjna

Są one niewystarczające dla dokładnego odzwierciedlenia kształtu kadłuba, toteż dodaje się ponadto ślady cięć płaszczyznami równoległymi do płaszczyzn głównych.

Cięcia kadłuba płaszczyznami równoległymi do płaszczyzny wodnicy konstrukcyjnej, czyli płaszczyznami wodnicowymi, rzutowane na płaszczyznę podstawową, dają **wodnice** kadłuba statku. Ślady cięć płaszczyznami równoległymi do płaszczyzny symetrii, zwanymi płaszczyznami wzdłużnicowymi, rzutowane są na płaszczyznę symetrii, tworząc **wzdłużnice**. Natomiast skutki cięcia kadłuba płaszczyznami równoległymi do płaszczyzny owręża, określanymi jako płaszczyzny wręgowe, uwidocznione są na przekroju kadłuba na owrężu jako **wręgi teoretyczne**. Dodanie terminu „teoretyczne” pozwala odróżnić ślady teoretycznych cięć kadłuba od rzeczywistych usztywnień burt statków, zwanych **wręgami budowlanymi**.

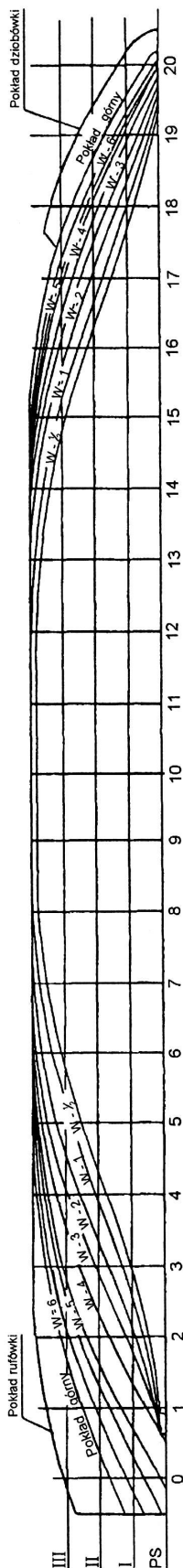
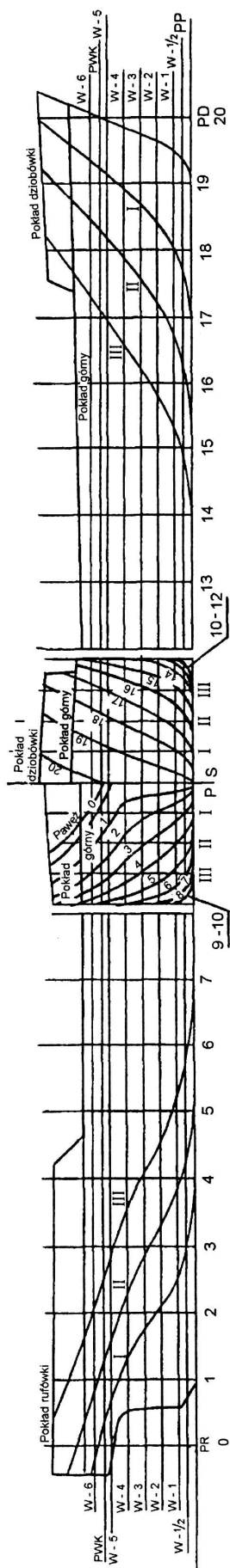
Liczbę oraz rozmieszczenie wodnic i wzdłużnic wybiera projektant statku tak, by dostatecznie dokładnie opisywały one kształt kadłuba. Natomiast liczba płaszczyzn wręgowych tnących kadłub jednostki nie jest dowolna – wynosi 11 lub 21. Te płaszczyzny są od siebie równo oddalone. Jedna z nich pokrywa się z poprzeczną płaszczyzną, na której leży pion rufowy. Na statkach budowanych w stoczniach europejskich oznaczana jest ona numerem 0. Najwyższym numerem, 10 lub 20, w zależności od przyjętej liczby płaszczyzn wręgowych, jest oznaczona płaszczyzna pokrywająca się z poprzeczną płaszczyzną, na której leży pion dziobowy. Odstępy między wręgami teoretycznymi wynoszą więc w zależności od liczby płaszczyzn:

$$d = L_{PP}/10 \text{ lub } d = L_{PP}/20,$$

gdzie L_{PP} – odległość między pionem dziobowym i rufowym, zwana **długością statku między pionami**.

Wodnice, wzdłużnice i wręgi mogą być przedstawione w formie graficznej, tabel współrzędnych lub w postaci analitycznej – równań matematycznych. Graficzna prezentacja śladów cięć nazywana jest **liniami teoretycznymi kadłuba**.

Przykład takich linii teoretycznych pokazany jest na rysunku 13.



Drobnicowiec uniwersalny: nośność 24 500 t, $L_{PP} = 156,00$ m,

$B = 29,20$ m,

$H = 13,20$ m,

$T = 10,80$ m

Rys. 13. Linie teoretyczne kadłuba statku

4. WYMIARY KADŁUBA I WYMIARY STATKU

4.1. Zasady wymiarowania

Na potrzeby opisu statków i obliczania ich parametrów eksploatacyjnych rozróżnia się: wymiary główne kadłuba, wymiary całkowite kadłuba i wymiary całkowite statku. Wymiary główne kadłuba, w zależności od technologii jego wykonywania, podaje się po wewnętrznej lub zewnętrznej stronie poszycia kadłuba.

Dla statków stalowych i z innych stopów metali wymiary główne mierzy się po wewnętrznej stronie poszycia kadłuba (potocznie określa się to terminem „wymiary na wręgach”), podobnie jak prezentuje się kształt kadłuba. Natomiast wymiary główne i kształty kadłubów statków drewnianych oraz jednostek pływających wykonanych z kompozytów (zbrojone żywice syntetyczne, zbrojony beton), budowanych z zastosowaniem technologii monolitycznych w formach, podaje się na zewnątrz poszycia. Poniżej prezentowane są wyłącznie wymiary odnoszące się do statków stalowych.

4.2. Wymiary główne kadłuba

Podstawowym, wzdłużnym wymiarem głównym kadłuba jest jego **długość między pionami** – L_{pp} . Jest to odległość między pionem dziobowym – PD a pionem rufowym – PR kadłuba statku. Położenia obu pionów opisano w poprzednim rozdziale, a pokazano je na rysunku 12.

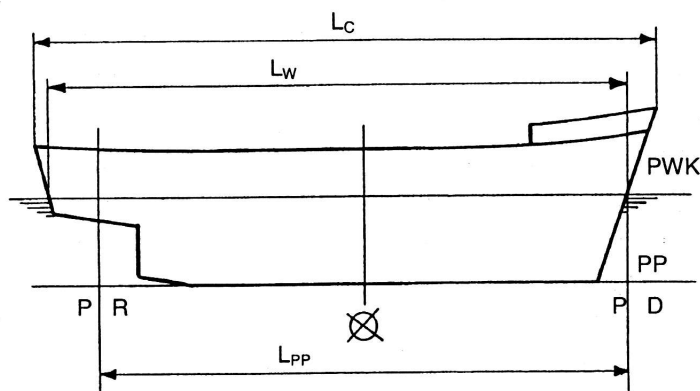
Długość statku na wodnicy konstrukcyjnej – L_w jest odległością między pionem dziobowym a punktem przecięcia rufy statku przez płaszczyznę wodnicy konstrukcyjnej.

Szerokość konstrukcyjna – B jest to maksymalna szerokość kadłuba jednostki, mierzona po wewnętrznej stronie poszycia burt (na wręgach), nie wyżej niż na wodnicy konstrukcyjnej.

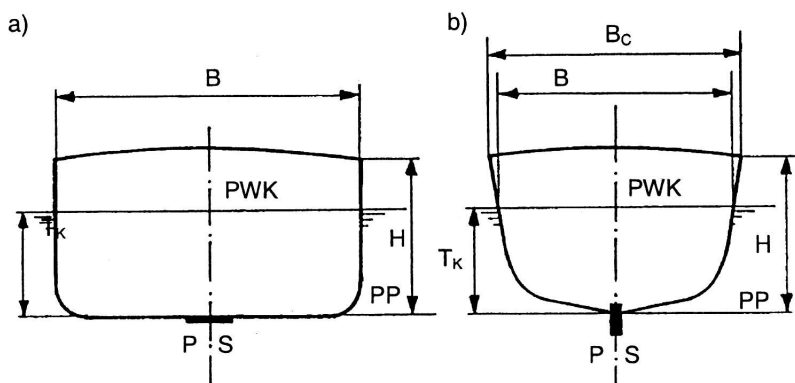
Wymienione wyżej długości kadłuba i jego szerokość konstrukcyjna przedstawione są na rysunkach 14 i 15.

Zanurzenie konstrukcyjne – T_k można określić jako odległość między płaszczyzną podstawową a płaszczyzną wodnicy konstrukcyjnej. Inna definicja tego zanurzenia to: odległość od płaszczyzny wodnicy konstrukcyjnej do punktu przecięcia górnej krawędzi stępki płaskiej przez płaszczyznę owręża. Jeśli zaś statek ma stępkę belkową, to zanurzenie określane jest jako odległość od płaszczyzny wodnicy konstrukcyjnej do punktu leżącego na płaszczyźnie

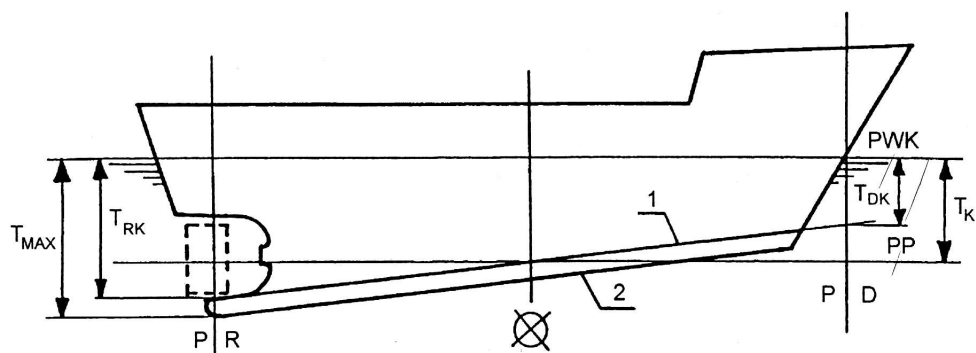
owręza, w którym górna krawędź poszycia dna dochodzi do stępki – rysunek 15.



Rys. 14. Wymiary główne kadłuba statku. Długość między pionami i długość statku na wodnicy



Rys. 15. Wymiary główne kadłuba statku. Szerokość konstrukcyjna, zanurzenie konstrukcyjne i wysokość boczna: a) na statku z prostymi burtami, stępką płaską i z poziomym dnem w poprzecznym przekroju, b) na statku z rozchylnymi burtami, stępką belkową i ze skośnym dnem w poprzecznym przekroju – dno z podobieniem



Rys. 16. Zanurzenia konstrukcyjne dziobu i rufy statku mającego konstrukcyjne przegłębienie

Statek, którego stępka belkowa lub płaska nie jest równoległa do płaszczyzny wodnicy konstrukcyjnej, ma różniące się od siebie zanurzenia dziobu i rufy – jest to jednostka z **konstrukcyjnym przegłębieniem**. Dla takich statków należy dodatkowo podać **konstrukcyjne zanurzenia dziobu T_{DK} i rufy T_{RK}** . Te zanurzenia odmierza się na pionach, od płaszczyzny wodnicy konstrukcyjnej do punktów, w których górna krawędź stępki płaskiej przecina odpowiedni pion. A w wypadku stępki belkowej zanurzenia te odmierzane są na płaszczyznach pionów, od płaszczyzny wodnicy konstrukcyjnej do punktów styku górnej krawędzi poszycia dna z boczną krawędzią stępki – rysunek 16.

Jeżeli jednostka ma konstrukcyjne przegłębienie, to najczęściej zanurzenie rufy jest większe niż dziobu. Przegłębienie konstrukcyjne wyznaczone z zależności:

$$t_K = T_{DK} - T_{RK},$$

ma więc najczęściej wartość ujemną. W dokumentacjach starych jednostek znaleźć można inny sposób definiowania przegłębienia konstrukcyjnego jako różnicy między konstrukcyjnymi zanurzeniami rufy i dziobu. W celu uniknięcia pomyłek należy sprawdzić, jak zostało zdefiniowane przegłębienie statku.

Wysokość boczna kadłuba – H jest to, mierzona na płaszczyźnie owręża, pionowa odległość od płaszczyzny podstawowej do punktu, w którym wewnętrzna powierzchnia poszycia burty przecinana jest przez dolną powierzchnię poszycia najwyższego pokładu kadłuba. Gdy przejście pokładu w burty jest zaokrąglone, wysokość boczną kadłuba wyznacza się tak, jakby nie było tego zaokrąglenia – przedłuża się na płaszczyźnie owręża aż do przecięcia linie będące przedłużeniami wewnętrznych powierzchni poszycia burty i górnego pokładu – rysunek 15.

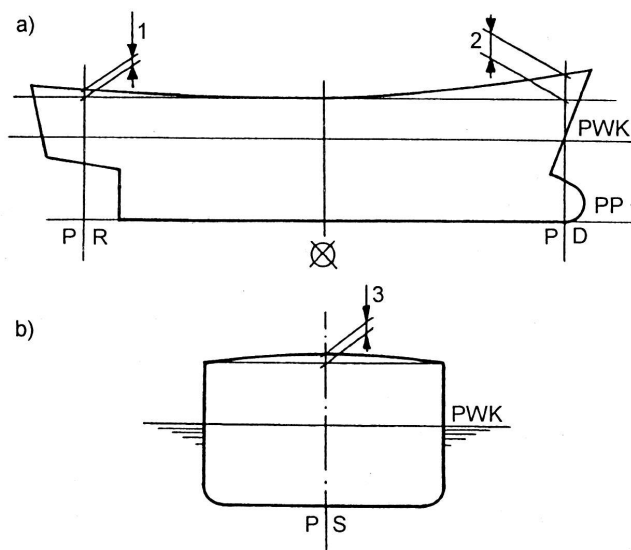
Na większości statków morskich pokład górny, w stronę dziobu i rufy leży wyżej niż na śródokręciu. Różnice pomiędzy wysokościami położenia pokładu na pionach dziobowym i rufowym a wysokością pokładu na śródokręciu, noszą nazwy odpowiednio: **wzniosu dziobowego** i **wzniosu rufowego**. Pokazuje je rysunek 17a.

Wzniosy górnego pokładu chronią statek przed dostawaniem się wody zza burty na pokład w ciężkich warunkach pogodowych. Niektóre statki transportowe nie mają wzniosów pokładu górnego, rolę zabezpieczenia przed wtargnięciem wody na dziób pełni wówczas dziobówka. Inne mają wyłącznie wznios pokładu w części dziobowej.

Pokład górny jest najczęściej wypukły, w przekroju poprzecznym ślad jego cięcia jest linią krzywą z maksymalnym wzniesieniem na płaszczyźnie symetrii – rysunek 17b.

Z reguły wypukłość pokładu górnego jest równa 2% szerokości konstrukcyjnej kadłuba. Statki przewożące ładunki na górnych pokładach mają niekiedy omawiane pokłady wykonane bez wypukłości.

Zanurzenie dopuszczalne – T_{DOP} jest to zanurzenie dla istniejącego statku, wynikające z przepisów Międzynarodowej konwencji o liniach ładunkowych [14]. Zanurzenie dopuszczalne określa się dla warunków pływania statkiem po morzu w porze letniej, więc inną nazwę tego zanurzenia stanowi **zanurzenie do letniej linii ładunkowej**. Wyznaczanie letniej linii ładunkowej poprzedzone jest wyznaczeniem **wolnej burty**, czyli niezanurzonej w wodzie górnej części burty, zależnej od typu i długości statku, kształtu jego kadłuba i wielkości nadbudowy oraz od położenia ciągłego i szczelnego pokładu, zwanego **pokładem wolnej burty**. Zagadnienia związane z wolną burtą są dokładnie opisane w dalszej części skryptu. Zanurzenie dopuszczalne odmierzane jest w połowie **długości statku L** , od górnej powierzchni stępki płaskiej (lub punktu styku wewnętrznej strony poszycia dna z boczną powierzchnią stępki belkowej) do wodnicy odpowiadającej letniej linii ładunkowej. Przepisy Konwencji zawierają dokładną definicję długości statku – L , przytoczoną dalej, w części dotyczącej wymiarów statku.



Rys. 17. Ukształtowanie pokładu górnego: a) wzdłużna sylwetka statku, b) przekrój na owręzu; 1 – wznios dziobowy, 2 – wznios rufowy, 3 – wypukłość pokładu

4.3. Całkowite wymiary kadłuba

Całkowite wymiary kadłuba jednostki uzyskuje się na zewnątrz poszycia, dodatkowo uwzględniając w nich części kadłuba, wystające poza poszycie i elementy konstrukcyjne na stałe związane z kadłubem. Wystającymi poza

poszycie częściami kadłuba są na przykład stępka belkowa, obłowe stępki przechyłowe, wsporniki wałów śrubowych, wsporniki sterów zaśrubowych, dziobowe lub rufowe prowadnice do kabli i rurociągów na jednostkach przystosowanych do ich układania, rufowe wysięgniki suwnic pokładowych podejmujących ładunki z wody.

Długość całkowita kadłuba – L_C jest to odległość między skrajnymi elementami kadłuba na dziobie i rufie jednostki, z uwzględnieniem tych części i elementów kadłuba, które są z nim trwale powiązane – rysunek 14.

Szerokość kadłuba – B_C jest mierzona w najszerszym miejscu kadłuba, po zewnętrznej stronie poszycia burt i z uwzględnieniem elementów trwale związanych z kadłubem, jak na przykład przymocowane do kadłuba odbojnice – rysunek 15.

Maksymalne zanurzenie kadłuba – T_{MAX} mierzone jest od dolnej powierzchni stępki (belkowej lub płaskiej) do wodnicy projektowej (konstrukcyjnej). Dla statków projektowanych na pływanie z przegłębieniem na rufę maksymalne zanurzenie mierzone jest od najniższej położonego elementu kadłuba do wodnicy projektowej. Sposób pomiaru maksymalnego zanurzenia kadłuba pokazuje rysunek 16.

4.4. Wymiary statku

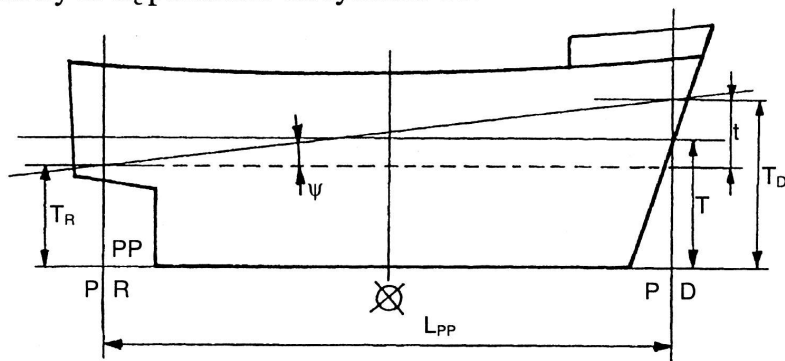
Na ogół całkowite wymiary kadłuba równe są jednocześnie wymiarom statku. Niekiedy jednak nadbudowa jednostki wystaje poza gabaryty kadłuba, wówczas tylko zanurzenie maksymalne kadłuba jest jednocześnie parametrem statku, natomiast inne wymiary mogą się różnić. W takich wypadkach, oprócz wymiarów całkowitych kadłuba, podaje się dodatkowo: długość całkowitą statku i szerokość statku – L_S i B_S . Czyni się tak, gdy: statek ma z przodu bukszpryt lub wysięgnik, poza rufę statku wystają prowadnice do opuszczania lub podnoszenia łodzi ewentualnie innych konstrukcji z wody lub gdy nadbudowa statku jest szersza niż jego kadłub. Natomiast parametrem statku, który nie jest związany z wymiarami kadłuba, jest maksymalna wysokość nadwodna – H_S . Odmierza się ją od wodnicy konstrukcyjnej do najwyższego położonego elementu statku, najczęściej do: wierzchołka najwyższego masztu, wierzchołka komina lub wierzchołka anteny. W wypadku tego wymiaru należy uwzględnić jego powiększenie, gdy statek ma mniejsze zanurzenie niż konstrukcyjne. Różnicę między zanurzeniem konstrukcyjnym i eksploatacyjnym należy wówczas dodać do wysokości nadwodnej statku. Wymiary statku są istotne przy: korzystaniu ze śluz (zanurzenie, szerokość, długość statku), przechodzeniu przez kanały i cieśniny o niewielkich głębokościach (maksymalne zanurzenie), przechodzeniu pod mostami (wysokość nadwodna statku), przybijaniu do nabrzeża i obracaniu się na akwenach o ograniczonej szerokości (długość całkowita statku).

Długość statku – L jest to wymiar określany według przepisów Międzynarodowej konwencji o liniach ładunkowych [14], a w ślad za tym również przyjmowany przez towarzystwa klasyfikacyjne. Jako długość statku przyjmuje się większą z dwóch długości mierzonych na wodnicy znajdującej się w odległości 85% najmniejszej wysokości bocznej kadłuba, mierzonej od górnej krawędzi stępki. Pierwszą długość określa się jako 96% całkowitej długości wodnicy, natomiast druga długość jest równa odległości mierzonej na tej samej wodnicy od przedniej krawędzi dziobnicy do osi trzonu sterowego na rufie statku [14].

4.5. Zanurzenia eksploatacyjne statku

W praktyce eksploatacyjnej statki niezmiennie rzadko pływają z zanurzeniami i z przegłębieniami konstrukcyjnymi (zgodnymi z projektowymi). Dzieje się tak z dwóch zasadniczych powodów. Po pierwsze, **dopuszczalne zanurzenie statku**, wyznaczone po jego zbudowaniu według wymogów konwencji o liniach ładunkowych [14], jest często niższe niż konstrukcyjne. Po drugie, przegłębienie jednostki w czasie eksploatacji jest różne od przyjętego w projekcie. Dla określonego stanu załadowania statku należy więc podać jego aktualne zanurzenia na pionach dziobowym i rufowym, czyli **zanurzenie dziobu** – T_D oraz **zanurzenie rufy** – T_R .

Parametry te są pokazane na rysunku 18.



Rys. 18. Zanurzenia eksploatacyjne i eksploatacyjne przegłębienie statku

Konsekwencją zanurzeń eksploatacyjnych jednostki odmiennych od konstrukcyjnych (projektowych) zanurzeń jest różniące się od konstrukcyjnego **przegłębienie eksploatacyjne**.

Na statku stojącym na spokojnej wodzie jego zanurzenia eksploatacyjne określa się na podstawie zanurzeń znaków. Znaki te omówione są w podrozdziale 4.6.

W celu opisu stanu statku w warunkach eksploatacji określa się zanurzenie, jakie miałby statek pływający bez przegłębienia. Ponieważ do wyznaczenia

takiego zanurzenia konieczna jest znajomość wyporności jednostki, na potrzeby skryptu zanurzenie to zostało nazwane **zanurzeniem wypornościowym** – T . Procedurę jego wyznaczania opisano w dalszej części publikacji. Natomiast przegłębienie eksploatacyjne – t wyznacza się z zależności:

$$t = T_D - T_R.$$

Prawidłowo załadowana i eksploatowana jednostka ma najczęściej ujemne przegłębienie, czyli większe zanurzenie rufy niż dziobu. Niekiedy dopuszcza się stany statków na wyjście w rejs z pełnymi zapasami (cieczkami zużywanyymi w trakcie rejsu – paliwa, olej smarowy, woda słodka), z niewielkim przegłębieniem na dziób, tak, by po kilku dniach rejsu statek po zużyciu części zapasów pływał bez przegłębienia, a pod koniec rejsu miał niezbyt wielkie przegłębienie na rufę.

4.6. Znaki zanurzeń

Na poszyciach obu burt statków, na dziobie i rufie, a na statkach o długościach nie mniejszych niż 100 m również na śródkręciu, naniesione są znaki zanurzeń. Służą one do wizualnej kontroli stanu załadowania jednostki. Na współczesnych statkach handlowych ich zanurzenia określa się w decymetrach, na starszych jednostkach spotyka się jeszcze znaki zanurzeń wyrażone w stopach. Zanurzenia na znakach odmierzone są od dolnej krawędzi stępki. Z reguły znaki zanurzeń nanoszone są w innych położeniach niż leżą pionowo i płaszczyzna owręza.

Szkic położenia znaków zanurzeń na małym statku pokazany jest na rysunku 19.

Odczytane zanurzenia na znakach służą do określania zanurzeń statku na pionach. W tym celu w dokumentacji statkowej zawsze podaje się sposób przejścia z odczytanych zanurzeń na znakach na zanurzenia dziobu, rufy i zanurzenie na owręzu. Może to być wykres, taki jak na rysunku 20, tabela przeliczeniowa lub analityczna metoda, opracowana na podstawie położenia linii znaków zanurzeń względem pionów i płaszczyzny owręza.

Sposób odczytu zanurzeń na pionach, na podstawie zanurzeń statku na znakach, przedstawia rysunek 20.

Zanurzenie jednostki na owręzu, wyznaczone na podstawie odczytu zanurzeń na śródkręciu, służy do wyznaczenia wielkości odkształcenia kadłuba. Odkształcenie statku na owręzu, zwane **strzałką ugięcia kadłuba** – f , wyznacza się następująco:

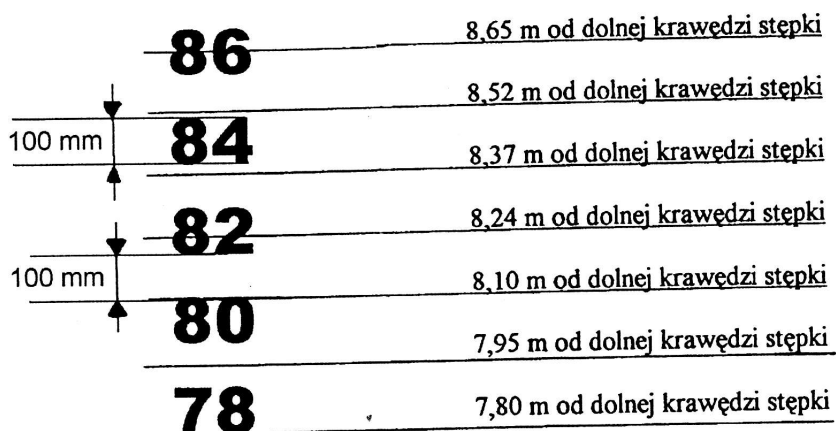
$$f = T_O - T_S,$$

gdzie:

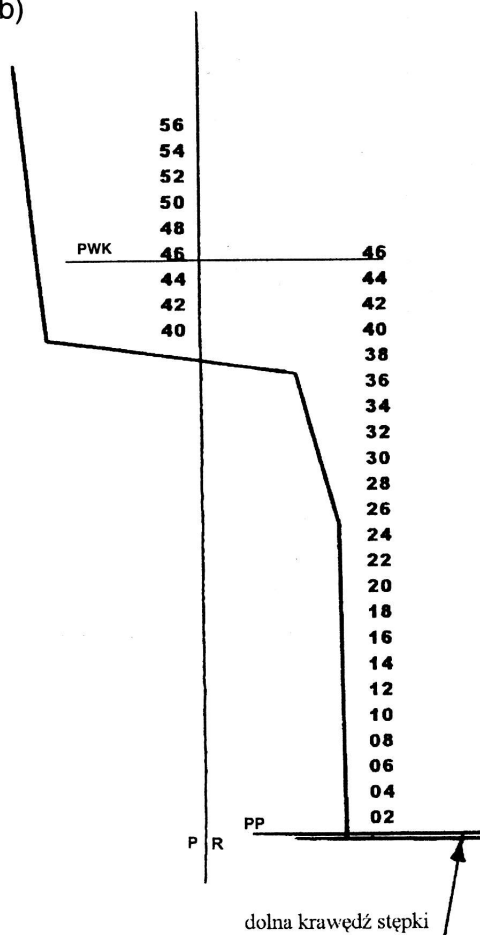
T_O – zanurzenie na owrężu wyznaczone na podstawie zanurzenia odczytanego na znakach zanurzeń na śródkręciu,

$T_S = 0,5 \cdot (T_D + T_R)$ – średnia z zanurzeń statku na dziobie i rufie.

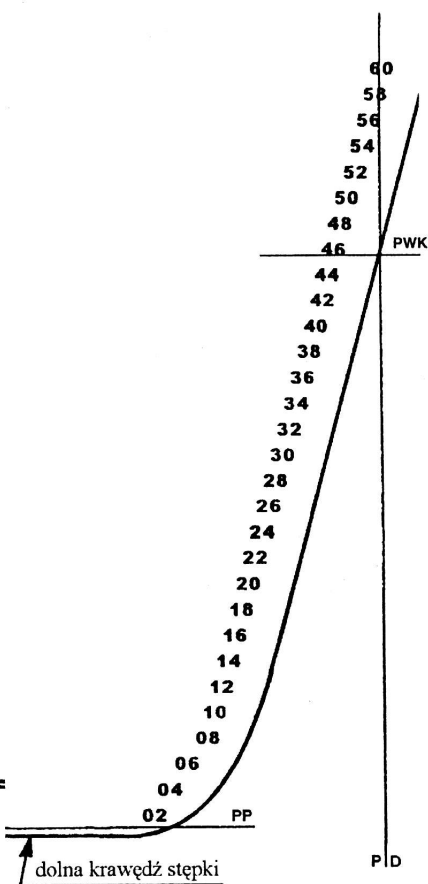
a)



b)



c)



Rys. 19. Znaki zanurzenia na małym statku: a) zasada odczytu zanurzenia, b) przykład umieszczenia znaków zanurzenia na rufie, c) przykład umieszczenia znaków zanurzeń na dziobie

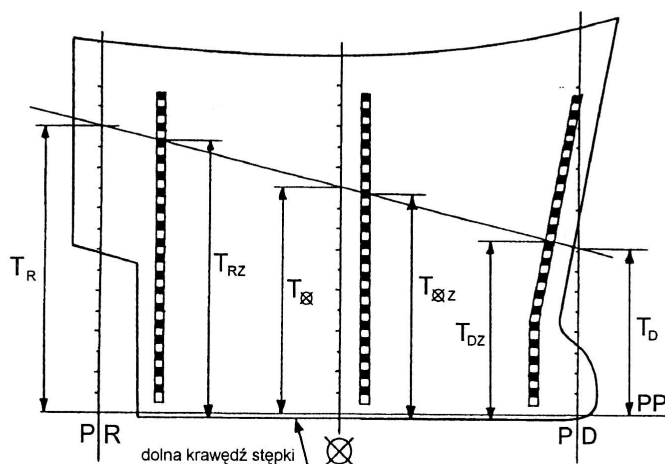
Na podstawie zanurzeń odczytanych na znakach na śródkręciu, na lewej i prawej burcie, można łatwo sprawdzić, czy statek nie ma przechyłu w takim wypadku zanurzenia po obu burtach są jednakowe. Gdy występują różnice w zanurzeniach na lewej i prawej burcie, oznacza to, że jednostka jest przechylona. Kąt przechyłu statku wyznacza się wówczas na podstawie zależności:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{T_{O(PB)} - T_{O(LB)}}{B},$$

gdzie:

$T_{OZ(PB)}$ – zanurzenie odczytane na śródkręciu na prawej burcie,

$T_{OZ(LB)}$ – zanurzenie odczytane na śródkręciu na lewej burcie.



Rys. 20. Graficzny sposób wyznaczania zanurzeń statku na pionach i na owręzu na podstawie zanurzeń odczytanych na znakach

5. WYRÓŻNIKI KSZTAŁTU KADŁUBA I EKSPLOATACYJNE PARAMETRY STATKU

5.1. Stosunki wymiarów głównych

Wiele cech statków zależy nie tylko od wymiarów ich kadłubów, ale również od relacji zachodzących między tymi wymiarami i od parametrów, zwanych współczynnikami pełnotliwości.

Relacje między wymiarami kadłuba, nazywane stosunkami jego głównych wymiarów, wyznacza się w celu konstrukcyjnego zanurzenia jednostki,

przyjętego przez projektanta statku. Stosunek długości statku między pionami do szerokości konstrukcyjnej – L_{pp}/B wpływa w istotny sposób na charakterystyki oporowe i manewrowe jednostki. Duże wartości L_{pp}/B , czyli długie i wąskie kadłuby, mają statki o wymaganych małych oporach i dobrej **stateczności kursowej**. Terminem „stateczność kursowa” określa się zdolność jednostki do utrzymywania zadanego kierunku płynięcia bez potrzeby częstej korekty kursu statku za pomocą wychylania steru. Statki o wymaganej dobrej zwrotności mają z kolei małe L_{pp}/B . Jednocześnie ta relacja wymiarowa ma duże znaczenie dla stateczności poprzecznej statku, czyli jego odporności na przechyły – szerokie i krótkie kadłuby, o małym L_{pp}/B , mają dużą stateczność. Statki długie i wąskie (duże L_{pp}/B) przy wysoko położonym środku masy statku mogą mieć za małą stateczność. Aby ją zwiększyć, należy na takich jednostkach uzyskać niskie położenie ich środków masy.

Również stosunek szerokości konstrukcyjnej do projektowego zanurzenia statku B/T_K ma znaczenie dla stateczności poprzecznej. Szeroki kadłub statku przy jego małym zanurzeniu (duże B/T_K) umożliwia uzyskanie dużej stateczności jednostki.

Stosunek wysokości bocznej kadłuba do jego projektowego zanurzenia – H/T_K decyduje o zapasie pływalności statku i o jego stateczności przy dużych kątach przechyłu. Wymienione parametry statku zwiększają się ze wzrostem tego stosunku.

Na wytrzymałość kadłuba statku, czyli na odporność kadłuba na odkształcenia pod wpływem załadowania jednostki i pod wpływem morskiego falowania, znaczny wpływ ma stosunek długości statku między pionami do wysokości bocznej kadłuba – L_{pp}/T_K . Statki o dużych wartościach tego stosunku są podatne na odkształcenia i ich konstrukcja musi być mocniejsza niż jednostek o niskich wartościach L_{pp}/T_K .

Zakresy stosunków wymiarów głównych kadłubów dla różnych typów statków podane są w tabeli 1.

Tabela 1

Stosunki wymiarów głównych kadłubów statków [9]

Typ statku	L_{pp}/B	B/T_K	H/T_K	L_{pp}/H
Statki pasażerskie	6 – 7	3 – 3,4	1,5 – 1,9	9 – 13
Promy pasażersko-samochodowe	5,5 – 6,5	3,5 – 4	2 – 2,5	9 – 13
Drobnicowce i statki ro-ro	6,3 – 7,5	2 – 2,5	1,3 – 1,6	10,5 – 12,8
Szybkie drobnicowce	6,5 – 8	2,3 – 2,7	1,2 – 1,4	11,2 – 13,5
Kontenerowce komorowe	7,2 – 8,5	1,9 – 3,5	1,3 – 1,5	10,8 – 14,8
Duże masowce	5,5 – 7,6	1,8 – 2,9	1,2 – 1,5	11,5 – 15
Duże zbiornikowce	5 – 6,5	2 – 3	1,1 – 1,4	11,5 – 16,5

5.2. Współczynniki pełnotliwości

Parametrami liczbowymi, opisującymi kształt kadłuba statku dokładniej, niż czynią to stosunki wymiarów głównych, są **współczynniki pełnotliwości**. Te współczynniki zależą od przebiegu linii teoretycznych kadłuba i takich parametrów jak: kąty zaostrenia wodnic w części dziobowej i rufowej statku, zaokrąglenie wodnic na rufie lub ich ścięcie (ruffy pawężowe) w górnej części kadłuba powyżej pędnika (pędników), nachylenie dziobu, obecność lub brak gruszki dziobowej, długość nawisu rufowego, czyli części kadłuba leżącej powyżej pędnika (pędników).

Współczynnik pełnotliwości wodnicy – α , wyznaczony jest stosunkiem powierzchni wodnicy do powierzchni opisanego na niej prostokąta. Przedstawia to rysunek 21a.

$$\alpha = A_w / (L_w \cdot B)$$

Współczynnik pełnotliwości owręża – β jest to stosunek powierzchni przekroju podwodnej części kadłuba w płaszczyźnie owręża do powierzchni opisanego na tej części prostokąta.

Pokazują to rysunki 21b i 21c.

$$\beta = A_o / (B \cdot T)$$

Współczynnik pełnotliwości kadłuba – δ obliczany jest jako stosunek objętości podwodnej części kadłuba do objętości prostopadłościanu opisanego na tej części.

Zaznaczono to na rysunku 21d.

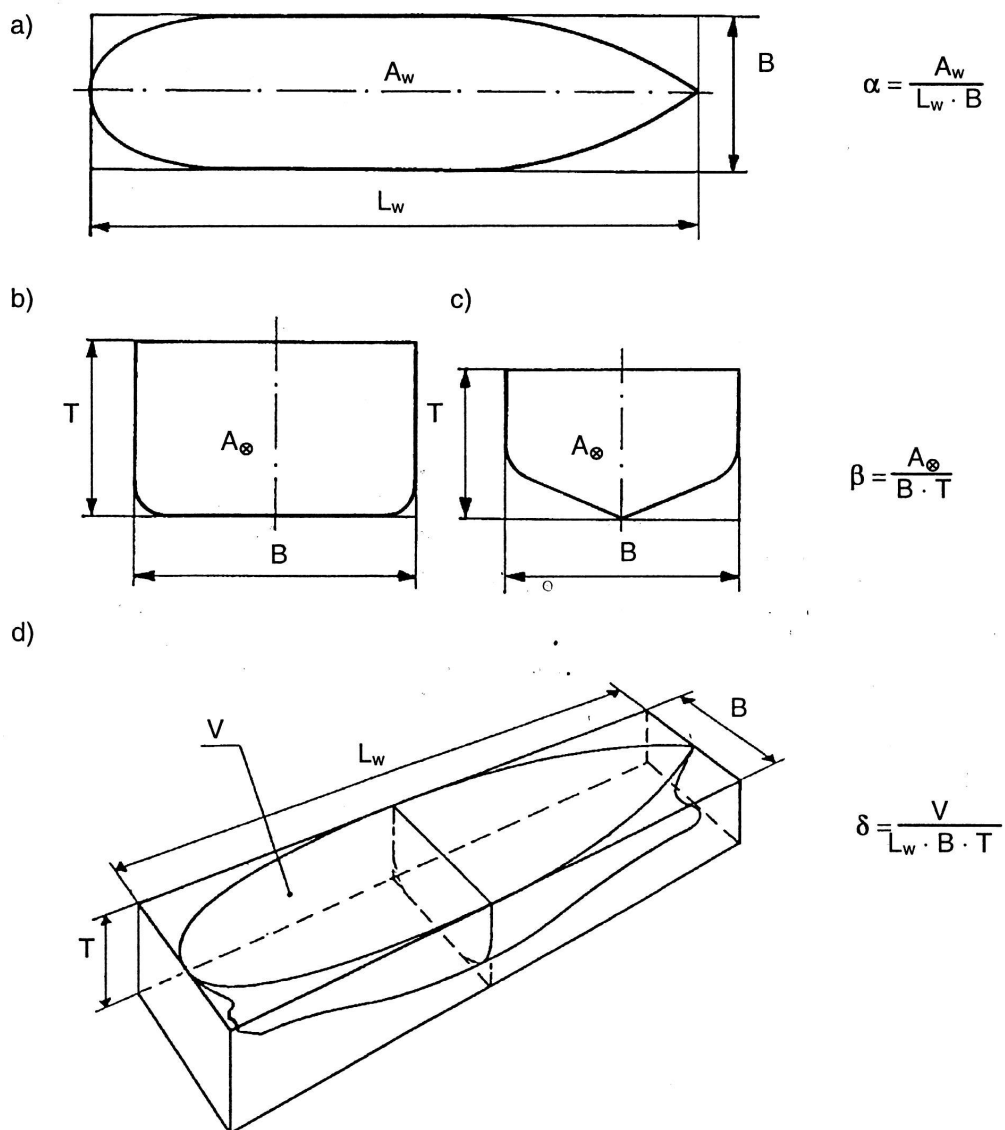
$$\delta = V / (L_w \cdot B \cdot T)$$

Wymienione wyżej współczynniki zależą od zanurzenia statku. Te zależności funkcyjne: $\alpha f(T)$, $\beta f(T)$, $\delta f(T)$ podane są w dokumentacji statku – w jego danych hydrostatycznych, przedstawionych w dalszej części skryptu.

Współczynniki pełnotliwości, wyznaczone dla projektowanego zanurzenia statku T_K , zwane są **konstrukcyjnymi współczynnikami pełnotliwości**: $\alpha_K(T_K)$, $\beta_K(T_K)$, $\delta_K(T_K)$. Stanowią one ważne wyróżniki kształtu kadłuba, świadczące o takich jego cechach eksploatacyjnych jak na przykład nośność, prędkość czy dzielność morską.

Małymi wartościami konstrukcyjnych współczynników α_K i δ_K charakteryzują się jednostki szybkie, natomiast duże wartości tych współczynników mają powolne statki o dużych nośnościach, jak na przykład masowce, zbiornikowce do transportu surowej ropy naftowej (ropowce) i statki kombinowane.

Współczynnik β_K zależy od promienia przejścia dna w burty (czyli od promienia obła) i od poprzecznego skosu dna. Małe wartości β_K mają statki o skośnym dnie i dużym promieniu obła, charakteryzujące się dobrą dzielnością morską i dobrą zwrotnością. Są to na przykład statki ratownicze, statki rybackie, holowniki morskie czy statki obsługi platform wiertniczych (tzw. serwisowce). Konsekwencją małych wartości współczynników pełnotliwości owręża na statkach o skośnym dnie i dużym promieniu obła są małe wartości współczynników pełnotliwości ich kadłubów. Na statkach transportowych (pasażerskich i towarowych) współczynniki β_K mają duże wartości, charakterystyczne dla jednostek o płaskim w kierunku poprzecznym dnie.



Rys. 21. Parametry do wyznaczania współczynników pełnotliwości: a) wodnicy, b) owręża na statku o płaskim dnie w kierunku poprzecznym, c) owręża na statku o skośnym dnie, d) kadłuba

W tabeli 2 przedstawiono zakresy wartości konstrukcyjnych współczynników pełnotliwości dla różnych typów statków.

Tabela 2

Konstrukcyjne współczynniki pełnotliwości: wodnicy – α_k , owręża – β_k i kadłuba – δ_k dla różnych typów statków [9]

Typ statku	α_k	β_k	δ_k
Statki pasażerskie	0,73 – 0,81	0,92 – 0,96	0,50 – 0,60
Promy	0,75 – 0,82	0,94 – 0,97	0,55 – 0,65
Drobnicowce	0,82 – 0,87	0,93 – 0,98	0,70 – 0,78
Kontenerowce	0,78 – 0,85	0,92 – 0,96	0,65 – 0,75
Duże masowce	0,80 – 0,88	0,98 – 0,99	0,75 – 0,85
Duże zbiornikowce	0,82 – 0,88	0,98 – 0,99	0,78 – 0,87
Statki rybackie*	0,75 – 0,84	0,65 – 0,85	0,40 – 0,60

* skośne dno w kierunku poprzecznym

5.3. Parametry eksploatacyjne statku

Opisane wyżej wyróżniki kształtu i wymiarów kadłubów statków – stosunki wymiarów głównych i współczynniki pełnotliwości – służą do wyznaczania niektórych parametrów eksploatacyjnych jednostek. Przykładowo, na podstawie wymiarów głównych kadłuba statku i znanego współczynnika pełnotliwości jego kadłuba można obliczyć objętość jego podwodnej części – V :

$$V = L_w \cdot B \cdot T \cdot \delta,$$

a na jej podstawie można z kolei określić **wyporność jednostki** – D , czyli masę wody wypartej przez podwodną część kadłuba:

$$D = V \cdot \rho \cdot k,$$

gdzie:

- ρ – gęstość wody za burtą statku,
- k – współczynnik udziału poszycia w tworzeniu wyporności, uwzględniający grubość poszycia kadłuba i części wystające z kadłuba, pomijane przy wyznaczaniu wymiarów i linii teoretycznych kadłuba statku.

Wyporność jednostki wyznaczona dla jej dopuszczalnego zanurzenia zwana jest maksymalną wypornością D_{MAX} .

Wyporność D_{MAX} traktowana jest jako parametr eksploatacyjny wyłącznie na statkach innych niż transportowe. Na statkach pasażerskich głównym parametrem eksploatacyjnym jest liczba miejsc pasażerskich. Natomiast na większości statków towarowych jako główny parametr eksploatacyjny przyjęło się traktować **maksymalną nośność** – N_{MAX} , czyli łączną masę ładunku, zapasów i ewentualnie balastu, jaka może być na statek załadowana przy jego dopuszczalnym zanurzeniu. Pomiedzy maksymalną wypornością a maksymalną nośnością zachodzi zależność:

$$D_{MAX} = N_{MAX} + m_0,$$

gdzie m_0 – masa pustego statku.

Nośność maksymalna jest traktowana jako główny parametr eksploatacyjny na następujących typach statków: zbiornikowce, masowce, drobnicowce i statki kombinowane.

Na innych statkach, przeznaczonych do ładunków określonego typu, stosuje się często inne niż nośność maksymalna parametry eksploatacyjne, oznaczające ich zdolności przewozowe. I tak na kontenerowcach komorowych (i innych jednostkach przewożących kontenery regularnie lub okresowo) ich wielkość jest określana maksymalną liczbą jednostek ładunkowych **TEU** (ang. – *twenty-foot equivalent unit*) o wymiarach równoważnych kontenerowi 20-stopowemu według norm ISO lub jednostek **FEU** (ang. – *forty-foot equivalent unit*) wymiarowo równoważnych kontenerowi 40-stopowemu.

Na statkach do ładunków wtaczanych (rorowcach) głównym wyróżnikiem eksploatacyjnym jest łączna długość pasm parkowania pojazdów. Natomiast na statkach do przewozu skroplonych lub sprężonych gazów zdolność przewozową określa się poprzez podanie łącznej objętości zbiorników ładunkowych.

5.4. Pojemności rejestrowe

W celu naliczania wysokości opłat za usługi świadczone statkom (np. opłaty za postój w porcie, za holowanie lub pilotaż) wprowadzone zostały międzynarodowe zasady określania wielkości wszystkich statków morskich. Według przepisów Międzynarodowej Konwencji o Pomierzaniu Statków [15], wydanych w 1968 roku, każdy statek uprawiający żeglugę morską, oprócz okrętów wojennych i jednostek krótszych niż 24 m, musi mieć wyznaczone tzw. **pojemności rejestrowe brutto GT** (ang. – *gross tonnage*) i **netto NT** (ang. – *netto tonnage*). Czynność wyznaczania tych parametrów określa się mianem **pomierzania statku**. Statki podlegające przepisom wymienionej konwencji muszą mieć aktualny certyfikat pomiarowy, zawierający informacje o pojemnościach **GT** i **NT**.

Pojemność rejestrowa brutto jest liczbą niemianowaną (bez jednostki); proporcjonalną do kubatury wszystkich zamkniętych pomieszczeń na statku. Pojemność rejestrowa netto (również liczba niemianowana) na statkach pasażerskich zależy od liczby miejsc pasażerskich, natomiast na statkach towarowych jest ona proporcjonalna do objętości wszystkich przedziałów przeznaczonych do przewozu ładunków. Na jednostkach pasażersko-towarowych pojemność rejestrowa netto stanowi sumę dwóch składników: zależnego od miejsc pasażerskich i zależnego od łącznej kubatury przestrzeni ładunkowych. Kopia certyfikatu pomiarowego statku towarowego jest prezentowana w załączniku 1.

6. PODSTAWY OBLICZEŃ HYDROSTATYCZNYCH

6.1. Obliczanie powierzchni pola pod krzywą

Na podstawie linii teoretycznych można obliczyć wszystkie parametry wynikające z kształtu kadłuba. Najważniejsze z tych parametrów, potrzebne w trakcie eksploatacji statku, są obliczone przez jego projektanta i zawarte w dokumentacji statkowej. Ponieważ w praktyce eksploatacyjnej często dla określonego stanu załadowania statku należy wyznaczyć dodatkowe parametry, których nie ma w dokumentacji, załoga oficerska jednostki, jak również pracownicy służb lądowych armatorów, powinni potrafić obliczyć te brakujące dane o statku. Najczęściej dokonuje się tego poprzez obliczanie powierzchni pola pod jakąś krzywą. Poniżej przedstawiono podstawowe wiadomości o takich obliczeniach na przykładzie obliczania powierzchni pola i innych parametrów geometrycznych wodnicy.

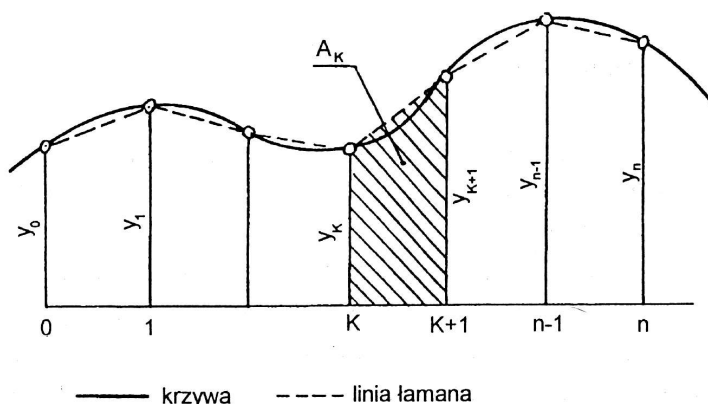
Powierzchnię pod dowolnie długim odcinkiem krzywej oblicza się metodami **przybliżonego całkowania numerycznego**, na podstawie dyskretnych danych o przebiegu krzywej, czyli kilku (kilkunastu lub kilkudziesięciu) par danych: **odcięta** (wzdłuż osi zmiennej niezależnej) – **rzędna** (wartość nieznanej funkcji opisującej krzywą). W wypadku graficznego obrazu krzywej rzędne odczytuje się z rysunku krzywej dla przyjętego rozkładu odciętych.

Do obliczania parametrów geometrycznych kadłubów statków stosuje się najczęściej: **metodę trapezów** i **metodę Simpsona I**. Obydwie metody opracowane są dla jednakowych odstępów między kolejnymi odcięciami. W nielicznych wypadkach stosuje się inne metody całkowania numerycznego, na przykład Gaussa lub Czebyszewa, oparte na zmiennych, ale ściśle określonych, odstępach między kolejnymi odcięciami. Informacje o metodzie całkowania numerycznego Czebyszewa podane są w pozycjach [3, 16, 21].

6.2. Metoda trapezów

Krzywą przedstawioną w postaci wykresu lub dyskretnych danych (odciętych i rzędnych wybranych na niej punktów) zastępuje się linią łamaną, łączącą wybrane punkty odcinkami linii prostej.

Obrazuje to rysunek 22.



Rys. 22. Zastąpienie pola pod dowolną krzywą sumą pól trapezów

Powierzchnia pola pod krzywą zostaje zastąpiona sumą pól trapezów utworzonych przez: graniczne rzędne i odcinki prostej łączącej wierzchołki rzędnych.

Powierzchnia pola elementarnego trapezu z rysunku 22 jest równa:

$$A_k = d \cdot 0,5 \cdot (y_k + y_{k+1}) = d \cdot (0,5 \cdot y_k + 0,5 \cdot y_{k+1}),$$

gdzie:

- d** – odstęp między kolejnymi rzędnymi,
- y_k, y_{k+1}** – wartości kolejnych rzędnych.

Powierzchnia pola pod krzywą opisaną trzema rzędnymi jest równa:

$$\begin{aligned} A_{k-(k+2)} &= d \cdot (0,5 \cdot y_k + 0,5 \cdot y_{k+1} + 0,5 \cdot y_{k+1} + 0,5 \cdot y_{k+2}) = \\ &= d \cdot (0,5 \cdot y_k + y_{k+1} + 0,5 \cdot y_{k+2}). \end{aligned}$$

Natomiast powierzchnia pola pod krzywą od odciętej o numerze **0** do odciętej **n**, jak przedstawiono na rysunku 22, jest równa:

$$A_{0-n} = d \cdot (0,5 \cdot y_0 + y_1 + y_2 + \dots + y_k + y_{k+1} + \dots + y_{n-2} + y_{n-1} + 0,5 \cdot y_n).$$

Powyższy wzór można zapisać w wersji skróconej:

$$A_{0-n} = d \cdot \sum_{i=0}^n C_{Ti} \cdot y_i,$$

gdzie:

y_i – rzędna odciętej o numerze i ,

i – numer odciętej, od 0 do n ,

C_{Ti} – współczynnik metody trapezów,

$C_{Ti} = 0,5$ – dla pierwszej i ostatniej rzędnej krzywej (0 i n dla przykładu z rysunku
 $22 - C_{T,0} = 0,5, C_{T,n} = 0,5$),

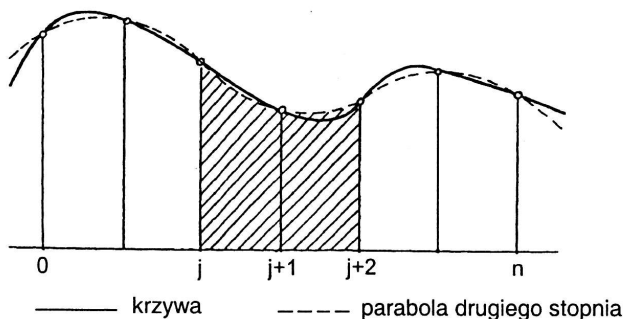
$C_{Ti} = 1,0$ – dla wszystkich rzędnych oprócz pierwszej i ostatniej – dla i od 1 do $n-1$.

6.3. Metoda Simpsona I

W metodach przybliżonego całkowania, opracowanych przez Simpsona, krzywą zastępuje się odcinkami parabol drugiego lub trzeciego stopnia.

Przedstawia to rysunek 23.

Do jednoznacznego określenia parabol drugiego stopnia muszą być znane współrzędne trzech punktów, a czterech punktów – dla parabol trzeciego stopnia. Przy odwzorowaniu krzywej za pomocą parabol drugiego stopnia pole pod krzywą zastępuje się parami pól, ograniczonych zamiast odcinka krzywej odcinkiem parabol.



Rys. 23. Zastąpienie pola pod dowolną krzywą sumą pól pod odcinkami parabol drugiego stopnia

Powierzchnię elementarnej pary pól pod odcinkiem parabol oblicza się według zależności:

$$A_{j-(j+2)} = \frac{1}{3} \cdot d \cdot (y_j + 4 \cdot y_{j+1} + y_{j+2}),$$

gdzie:

$j, j+1, j+2$ – numery odciętych trzech kolejnych punktów krzywej,

y_j, y_{j+1}, y_{j+2} – wartości rzędnych trzech kolejnych punktów krzywej.

Dla dwóch par pól, od odciętej j do $j+4$, wzór na ich powierzchnię ma postać:

$$A_{j-(j+4)} = \frac{1}{3} \cdot d \cdot (y_j + 4 \cdot y_{j+1} + 2 \cdot y_{j+2} + 4 \cdot y_{j+3} + y_{j+4}),$$

Z reguły stosuje się inną postać tego wzoru:

$$A_{j-(j+4)} = \frac{2}{3} \cdot d \cdot (0,5 \cdot y_j + 2 \cdot y_{j+1} + y_{j+2} + 2 \cdot y_{j+3} + 0,5 \cdot y_{j+4}),$$

natomiast dla całej krzywej prezentowanej na rysunku 23, od odciętej **0** do **n**, powierzchnię oblicza się ze wzoru:

$$A_{0-n} = \frac{2}{3} \cdot d \cdot (0,5 \cdot y_0 + 2 \cdot y_1 + y_2 + \dots + y_j + 2 \cdot y_{j+1} + y_{j+2} + 2 \cdot y_{j+3} + y_{j+4} + \dots, \\ + y_{n-2} + 2 \cdot y_{n-1} + 0,5 \cdot y_n).$$

Skrócony zapis tego wzoru ma postać:

$$A_{0-n} = \frac{2}{3} \cdot d \cdot \sum_{i=0}^n C_{Si} \cdot y_i,$$

gdzie:

y_i – rzędna odciętej o numerze i ,

i – numer odciętej, od **0** do **n**,

C_{Si} – współczynnik metody Simpsona,

$C_{Si} = 0,5$ dla pierwszej i ostatniej rzędnej (**0** i **n**) – $C_{S,0} = 0,5$, $C_{S,n} = 0,5$,

$C_{Si} = 2,0$ dla nieparzystych rzędnych, gdy pierwsza rzędna ma numer **0**, – $C_{S,1} = 2$,

$C_{S,3} = 2$, $C_{S,5} = 2$, $C_{S,7} = 2$, $C_{S,9} = 2$, itd.,

$C_{Si} = 1,0$ dla parzystych rzędnych – $C_{S,2} = 1$, $C_{S,4} = 1$, $C_{S,6} = 1$, $C_{S,8} = 1$, $C_{S,10} = 1$, itd.

Metodę Simpsona I można stosować wyłącznie dla parzystej liczby przedziałów, czyli nieparzystej liczby rzędnych. Podział kadłuba statku wręgami teoretycznymi na 10 lub 20 odstępów międzywręgowych spełnia to wymaganie. Powierzchnie wodnicy i inne parametry geometryczne tych wodnic oblicza się za pomocą tej metody. Połowę wodnicy, od płaszczyzny symetrii w kierunku dowolnej z burt, traktuje się jako krzywą, dla której oblicza się pole powierzchni leżącej pod nią. Ponieważ wodnica statku jest symetryczna (z nielicznymi wyjątkami), cała jej powierzchnia jest równa podwojonej powierzchni obliczonej za pomocą opisanej wyżej metody całkowania.

Powierzchnia wodnicy – A_w , przedstawionej na rysunku 24, obliczona metodą trapezów dla rzędnych szerokości wodnicy mierzonych od płaszczyzny symetrii do burty, na wręgach teoretycznych od **0** do **20**, jest równa:

$$A_w = 2 \cdot d \cdot \sum_{i=0}^{20} C_{Ti} \cdot y_i,$$

gdzie:

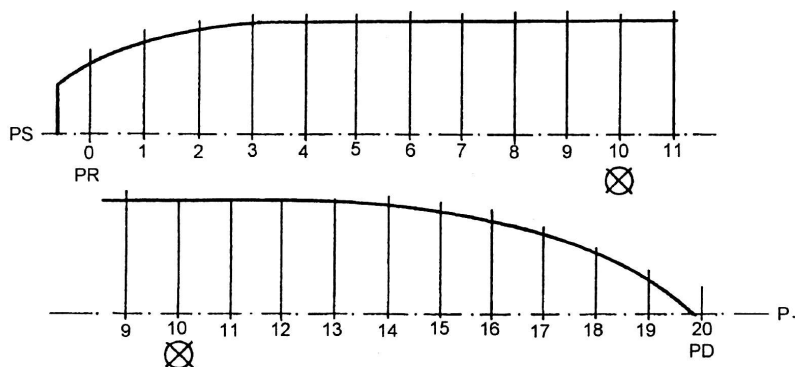
y_i – rzędna wręgu teoretycznego o numerze i , odmierzana od płaszczyzny symetrii,

i – numer wręgu teoretycznego, od **0** do **20**,

C_{Ti} – współczynnik metody trapezów,

$C_{Ti} = 0,5$ – dla pierwszej i ostatniej rzędnej wodnicy (wręgi teoretyczne **0** i **20** dla przykładu z rysunku 24),

$C_{Ti} = 1,0$ – dla pozostałych rzędnych (wszystkie wręgi teoretyczne oprócz **0** i **20**).



Rys. 24. Określenie kształtu wodnicy statku dla podziału na 20 odstępów wręgowych

Powierzchnia wodnicy – A_w , obliczona metodą Simpsona I dla wodnicy z rysunku 24, jest równa:

$$A_w = \frac{4}{3} \cdot d \cdot \sum_{i=0}^{20} C_{Si} \cdot y_i,$$

gdzie:

- y_i – rzędna wręgu teoretycznego o numerze i , odmierzana od płaszczyzny symetrii,
- i – numer wręgu teoretycznego, od 0 do 20,
- C_{Si} – współczynnik metody Simpsona,
- $C_{Si} = 0,5$ dla pierwszej i ostatniej rzędnej (wręgi teoretyczne: 0 i 20),
- $C_{Si} = 2,0$ dla nieparzystych wręgów teoretycznych (wręgi teoretyczne: 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 i 19),
- $C_{Si} = 1,0$ dla parzystych wręgów teoretycznych, prócz 0 i 20, (wręgi teoretyczne: 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 i 18).

6.4. Metoda 5/8

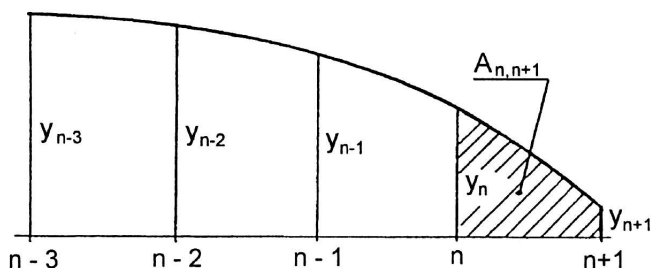
W wypadkach, gdy pole pod krzywą, np. wodnica statku, podzielone jest na nieparzystą liczbę pól, nie można stosować metody całkowania Simpsona I. Można natomiast obliczyć wartość powierzchni dodatkowego, nieparzystego pola **metodą 5/8**. Powierzchnię dodatkowego pola pod krzywą oblicza się na podstawie trzech rzędnych, dwóch okalających to pole i trzeciej należącej do odcinka krzywej, pod którą powierzchnię pola wyznacza się metodą Simpsona I.

Dla przykładu prezentowanego na rysunku 25 dodatkowe pole pod krzywą ma powierzchnię obliczoną ze wzoru:

$$A_{n,n+1} = \frac{d}{12} \cdot (5 \cdot y_{n+1} + 8 \cdot y_n - y_{n-1}),$$

gdzie:

- d – odstęp między rzędnymi (musi być jednakowy),
- y_{n+1} – rzędna kończąca krzywą,
- y_n – rzędna kończąca odcinek krzywej, pod którym powierzchnię oblicza się metodą Simpsona I,
- y_{n-1} – rzędna z odcinka krzywej uwzględnionego w obliczeniach metodą Simpsona I, sąsiadująca z rzędną kończącą ten odcinek.



Rys. 25. Obliczenie powierzchni nieparzystego pola pod krzywą za pomocą metody 5/8

6.5. Obliczanie powierzchni wodnicy

Rzadko która wodnica zaczyna się na wręgu 0 i kończy na wręgu 10 lub 20 (w zależności od przyjętego podziału kadłuba jednostki na wręgi teoretyczne), dlatego też metodę całkowania numerycznego Simpsona I uzupełnia się formułami pozwalającymi to uwzględnić.

Taki wypadek pokazany jest na rysunku 26 – wodnica statku zaczyna się przed wręgiem 0, a kończy przed wręgiem 20.

Do punktu początkowego wodnicy przenosi się wręg o numerze 0, oznaczając go jako 0'. Zmienia się również położenie wręgi 1 – umieszcza się go bowiem w połowie odległości między wręgiem 0' a wręgiem 2 i oznacza jako 1'. Wartości rzędnych oznaczonych numerami 0' i 1', czyli połowy szerokości korygowanych wręgów, odczytuje się bezpośrednio z rysunku wodnicy.

Przykład takiego postępowania pokazuje rysunek 26a. Podobnie postępuje się w części dziobowej wodnicy – wyznacza się skorygowane wręgi 20'' i 19'' i odczytuje z rysunku ich rzędne (rys. 26b). Biorąc pod uwagę to, że odstęp między korygowanymi wręgami nie są równe odstępom między normalnymi wręgami, wprowadza się do wzoru Simpsona współczynniki poprawkowe λ' i λ'' , zależne od odstępów między przemieszczonymi wręgami w rufowej i dziobowej części wodnicy:

$$\lambda' = \frac{d'}{d} \quad \text{ i } \quad \lambda'' = \frac{d''}{d},$$