

Polski Rejestr Statków

PRZEPISY KLASYFIKACJI I BUDOWY OKRĘTÓW WOJENNYCH

**CZEŚĆ II
KADŁUB**

2008



GDAŃSK

Polski Rejestr Statków

PRZEPISY KLASYFIKACJI I BUDOWY OKRĘTÓW WOJENNYCH

**CZĘŚĆ II
KADŁUB**

2008

GDAŃSK

PRZEPISY KLASYFIKACJI I BUDOWY OKRĘTÓW WOJENNYCH

opracowane i wydane przez Polski Rejestr Statków S.A., zwany dalej PRS, składają się z następujących części:

- Część I – Zasady klasyfikacji
- Część II – Kadłub
- Część III – Wyposażenie kadłubowe
- Część IV – Stateczność i niezatapialność
- Część V – Ochrona przeciwpożarowa
- Część VI – Urządzenia maszynowe i urządzenia chłodnicze
- Część VII – Silniki, mechanizmy, kotły i zbiorniki ciśnieniowe
- Część VIII – Instalacje elektryczne i systemy sterowania
- Część X – Wyposażenie konwencyjne

natomiast w odniesieniu do materiałów i spawania obowiązują wymagania *Części IX – Materiały i spawanie, Przepisów klasyfikacji i budowy statków morskich*.

Część II – Kadłuba – 2008 została zatwierdzona przez Zarząd PRS w dniu 24 czerwca 2008 r. i wchodzi w życie z dniem 1 sierpnia 2008 r.

Z dniem wejścia w życie niniejszej *Części II*, jej wymagania mają zastosowanie:

- do okrętów wojennych nowych, dla których podpisanie kontraktu nastąpi 1 sierpnia 2008 r. lub po tej dacie – w pełnym zakresie,
- dla okrętów wojennych istniejących – na zasadach określonych w *Części I – Zasady klasyfikacji*.

Rozszerzeniem i uzupełnieniem *Części II – Kadłub* są następujące publikacje PRS:

- Publikacja Nr 9/P – Wymagania dla systemów komputerowych,*
- Publikacja Nr 11/P – Próby środowiskowe wyposażenia statków,*
- Publikacja Nr 14/P – Zasady uznawania programów komputerowych,*
- Publikacja Nr 16/P – Środki kontroli obciążenia statku,*
- Publikacja Nr 21/P – Próby konstrukcji kadłubów okrętowych,*
- Publikacja Nr 24/P – Analiza wytrzymałości kadłuba kontenerowca,*
- Publikacja Nr 32/P – Wymagania dotyczące rozmieszczenia i mocowania ładunków na statkach morskich,*
- Publikacja Nr 40/P – Materiały i wyroby niemetalowe,*
- Publikacja Nr 45/P – Analiza wytrzymałości zmęczeniowej stalowego kadłuba statku.*

Rozszerzeniem i uzupełnieniem wymagań niniejszych *Przepisów* są dokumenty przywołane w poszczególnych ich *Częściach*, a w szczególności porozumienia normalizacyjne NATO i normy państwowe.

© Copyright by Polski Rejestr Statków S.A., 2008

PRS/HW, 06/2008

ISBN 978-83-60629-80-2

SPIS TREŚCI

	str.
A POSTANOWIENIA OGÓLNE	17
1 Zakres zastosowania	17
2 Definicje i określenia	17
2.1 Zasady ogólne	17
2.2 Oznaczenia ogólne	17
2.3 Układ współrzędnych.....	19
2.4 Określenia ogólne	20
2.5 Określenia elementów konstrukcji.....	22
2.6 Inne oznaczenia i określenia	23
3 Dokumentacja techniczna kadłuba okrętu	23
3.1 Dokumentacja kadłuba okrętu w budowie.....	23
3.2 Dokumentacja kadłubowa.....	23
3.3 Dokumentacja kadłuba okrętu w przebudowie (modernizacji).....	25
3.4 Dokumentacja wykonawcza okrętu	25
4 Zakres obliczeń bezpośrednich	25
4.1 Obliczenia	25
4.2 Przedłożenie wyników obliczeń.....	25
4.3 Badania modelowe.....	26
5 Zakres nadzoru	26
6 Próby konstrukcji kadłuba	27
6.1 Zasady ogólne	27
6.1.1 Definicje	27
6.1.2 Zakres zastosowania	27
6.2 Metody prób.....	28
6.2.1 Próba konstrukcyjna	28
6.2.2 Próba szczelności.....	28
6.2.3 Próba strumieniem wody	29
6.2.4 Próba hydropneumatyczna.....	29
6.2.5 Próba gazoszczelności	29
6.2.6 Inne metody przeprowadzania prób.....	29
6.3 Ogólne wymagania dotyczące prób	29

B	WYMAGANIA PODSTAWOWE	32
1	Postanowienia ogólne	32
1.1	Struktura wymagań	32
2	Materiały i ochrona przed korozją	33
2.1	Zasady ogólne	33
2.2	Stal kadłubowa	33
2.2.1	Stal o zwykłej i podwyższonej wytrzymałości	33
2.2.2	Stal o określonych właściwościach w kierunku grubości materiału	37
2.2.3	Stal platerowana	37
2.2.4	Projektowa temperatura konstrukcji	37
2.3	Inne materiały konstrukcyjne	39
2.3.1	Stopy aluminium	39
2.3.2	Inne materiały	39
2.4	Ochrona przed korozją	39
2.5	Naddatki korozyjne	40
3	Szczegóły konstrukcyjne	42
3.1	Zasady ogólne	42
3.1.1	Zaokrąglanie wymiarów wiązań	42
3.2	Idealizacja wiązań	42
3.2.1	Rozpiętość wiązarów i usztywnień	42
3.2.2	Pas współpracujący	42
3.2.3	Efektywne pole poprzecznego przekroju środka	46
3.2.4	Wskaźniki przekroju i momenty bezwładności poprzecznego przekroju usztywnień i wiązarów	46
3.3	Szczegóły konstrukcji spawanych	47
3.3.1	Rozmieszczenie szwów spawanych	47
3.3.2	Połączenia mocników	48
3.4	Ciągłość konstrukcji	49
3.4.1	Wymagania ogólne	49
3.4.2	Ciągłość wiązań wzdłużnych	49
3.4.3	Połączenia	49
3.5	Otwory w elementach konstrukcyjnych	49
3.5.1	Wymagania ogólne	49
3.5.2	Wzmocnienia krawędzi otworów dna i pokładu	50
3.6	Konstrukcja wiązarów teowych	51
3.6.1	Wymagania ogólne	51
3.6.2	Mocniki wiązarów	51
3.6.3	Usztywnienia wiązarów	51
3.6.4	Węzłówki przeciwskrętne	52

4	Połączenia elementów konstrukcyjnych	53
4.1	Zasady ogólne	53
4.2	Typy i wymiary spoin	53
4.2.1	Złącza doczołowe	53
4.2.2	Złącza zakładkowe i otworowe	54
4.2.3	Spoiny pachwinowe	55
4.3	Połączenia elementów zładu	60
5	Zasady wymiarowania wiązań	63
5.1	Zasady ogólne	63
5.1.1	Stopniowanie wymagań	63
5.1.2	Wytrzymałość miejscowa	63
5.1.3	Wytrzymałość strefowa	63
5.1.4	Wytrzymałość ogólna	64
5.2	Podstawy wymagań	64
5.2.1	Podstawowe zagadnienia	64
5.2.2	Obciążenia konstrukcji	64
5.2.3	Odzew konstrukcji	65
6	Dno	68
6.1	Zasady ogólne	68
6.1.1	Zastosowanie	68
6.1.2	Zakres stosowania dna podwójnego	68
6.2	Konstrukcja dna podwójnego	68
6.2.1	Wymagania ogólne	68
6.2.2	Układ wiązań	69
6.2.3	Rozmieszczenie wiązarów dna podwójnego	69
6.2.4	Denny wzdłużnik środkowy i tunelowy	69
6.2.5	Rozmieszczenie wzdłużników bocznych	70
6.2.6	Rozmieszczenie denników w dnie podwójnym	70
6.2.7	Rozmieszczenie płyt wspornikowych w dnie podwójnym	71
6.2.8	Włazy, przełazy, otwory i wycięcia	71
6.2.9	Dno podwójne przerywane	72
6.2.10	Zmiana wysokości dna podwójnego	73
6.2.11	Studzienki ściekowe w dnie podwójnym	73
6.3	Wymiarowanie wiązań dna podwójnego	73
6.3.1	Wysokość dna podwójnego	73
6.3.2	Poszycie dna zewnętrznego i wewnętrznego	74
6.3.3	Usztywnienia dna podwójnego	75
6.3.4	Wiązary dna podwójnego	76
6.3.5	Usztywnienia wiązarów dna podwójnego	76
6.3.6	Płyty wspornikowe w dnie podwójnym	76

6.4	Konstrukcja dna pojedynczego	77
6.4.1	Wymagania ogólne	77
6.4.2	Układ wiązań	77
6.4.3	Rozmieszczenie wzdłużników dna	77
6.4.4	Rozmieszczenie denników	78
6.5	Wymiarowanie wiązań dna pojedynczego	78
6.5.1	Wysokość dna pojedynczego	78
6.5.2	Poszycie dna	78
6.5.3	Wiązary i wręgi dna	78
6.5.4	Usztywnienia denników i wzdłużników dna pojedynczego	79
6.5.5	Stępka belkowa	80
6.6	Wymagania wspólne dla okrętów z dnem pojedynczym i z dnem podwójnym	80
6.6.1	Rozmieszczenie wiązarów w skrajnikach	80
6.6.2	Złożone układy wiązarów dna	80
6.6.3	Stępki przechyłowe	80
6.7	Wzmocnienia w części dziobowej	81
6.7.1	Wymagania ogólne	81
6.7.2	Grubość poszycia dna	81
6.7.3	Wymiarowanie usztywnień	81
6.7.4	Środniki wiązarów	82
6.7.5	Ciśnienie udarowe	83
7	Burty	85
7.1	Zasady ogólne	85
7.1.1	Zastosowanie	85
7.1.2	Rozpiętość wręgów głównych	85
7.2	Konstrukcja	85
7.2.1	Układ wiązań	85
7.2.2	Wiązary burt	86
7.2.3	Otwory w burtach	86
7.3	Wymiarowanie wiązań	86
7.3.1	Poszycie	86
7.3.2	Mocnica burtowa przy pokładzie wytrzymałościowym	87
7.3.3	Usztywnienia	87
7.3.4	Węzłówki przeciwskrętne	89
7.3.5	Wiązary zwykłe	89
7.3.6	Złożone układy wiązarów	90
7.4	Wzmocnienia części dziobowej	90
7.4.1	Zastosowanie	90
7.4.2	Poszycie burt	91
7.4.3	Wymiarowanie usztywnień	91
7.4.4	Inne wymagania	91
7.4.5	Ciśnienie udarowe	92

8 Pokłady	94
8.1 Zasady ogólne.....	94
8.1.1 Zastosowanie.....	94
8.2 Konstrukcja.....	94
8.2.1 Układ wiązań.....	94
8.2.2 Pokładniki wzdłużne.....	94
8.2.3 Pokład pomiędzy lukami.....	94
8.3 Wymiarowanie wiązań.....	95
8.3.1 Poszycie.....	95
8.3.2 Usztywnienia.....	95
8.3.3 Wymiarowanie i rozmieszczenie wiązarów pokładowych.....	95
8.3.4 Złożone układy wiązarów.....	96
8.3.5 Wymiarowanie pokładników wspornikowych luku.....	96
8.4 Wymagania dodatkowe.....	98
8.4.1 Wytrzymałość poprzeczna pokładu między lukami.....	98
8.4.2 Wzmocnienia w obrębie uskoju pokładu.....	98
8.4.3 Podparcie żurawi pokładowych.....	99
8.5 Otwory w pokładach.....	99
8.5.1 Wymagania ogólne.....	99
8.5.2 Kształt naroży otworów luków.....	99
8.5.3 Wzmocnienia pokładu w rejonie naroży luków.....	100
8.6 Zrębnice.....	100
8.6.1 Wymagania ogólne.....	100
8.6.2 Konstrukcja zrębnic luków pomieszczeń do przewozu zapasów.....	101
8.6.3 Wymiarowanie zrębnic luków.....	101
8.6.4 Zrębnice przewodów wentylacyjnych.....	102
8.6.5 Zrębnice zejściówek i świetlików.....	102
8.7 Podpory.....	102
8.7.1 Rozmieszczenie i ustawienie podpór.....	102
8.7.2 Wymiarowanie podpór.....	103
8.7.3 Podpory w zbiornikach.....	103
8.8 Wzmocnienia pod kontenerami.....	104
8.8.1 Konstrukcja pokładów w rejonie kontenerów.....	104
8.8.2 Obciążenia obliczeniowe.....	104
8.8.3 Wytrzymałość pokładów obciążonych kontenerami.....	104
9 Grodzie	105
9.1 Zasady ogólne.....	105
9.1.1 Zastosowanie.....	105
9.1.2 Oznaczenia.....	105
9.2 Podział grodziowy.....	105
9.2.1 Wymagania ogólne.....	105
9.2.2 Położenie grodzi kolizyjnej.....	106
9.2.3 Pionowy zasięg grodzi wodoszczelnych.....	107
9.2.4 Przedziały ochronne.....	108
9.2.5 Minimalna wysokość dziobu.....	108
9.2.6 Grodzie gazoszczelne.....	109

9.3	Konstrukcja.....	109
9.3.1	Wymagania ogólne	109
9.3.2	Konstrukcja grodzi wzdłużnych	109
9.3.3	Grodzie profilowane	109
9.4	Wymiarowanie wiązań.....	110
9.4.1	Poszycie	110
9.4.2	Usztywnienia	111
9.4.3	Złożone układy wiązarów.....	111
9.5	Wymagania dodatkowe.....	111
9.5.1	Tunel wału śrubowego.....	111
9.5.2	Grodzie podporowe	111
10	Nadbudówki, pokładówki, sponsony i nadburcia	112
10.1	Zasady ogólne	112
10.1.1	Zastosowanie.....	112
10.1.2	Określenia	112
10.1.3	Oznaczenia.....	112
10.2	Konstrukcja	112
10.2.1	Ciągłość konstrukcji.....	112
10.2.2	Wymagania dodatkowe.....	113
10.2.3	Sponsony.....	114
10.3	Wymiarowanie wiązań.....	114
10.3.1	Poszycie ścian	114
10.3.2	Usztywnienia ścian	115
10.3.3	Szyby	116
10.3.4	Nadbudowy ze stopów aluminium.....	116
10.4	Obliczeniowe obciążenia ścian	116
10.5	Nadburcia.....	117
10.5.1	Wymagania ogólne	117
10.5.2	Grubość płyt.....	117
10.5.3	Usztywnienia i poręcze	118
10.5.4	Rozmieszczenie wsporników	118
10.5.5	Wymiarowanie i konstrukcja wsporników.....	118
11	Dziobnica, wsporniki sterów, dysze nieobrotowe, wsporniki wałów i tylnice....	119
11.1	Zasady ogólne	119
11.1.1	Zastosowanie.....	119
11.1.2	Wymagania ogólne	119
11.2	Dziobnica	119
11.2.1	Konstrukcja.....	119
11.2.2	Wymiarowanie	120
11.2.3	Gruszka dziobowa.....	120
11.3	Wspornik steru półpodwieszonoego	121
11.4	Odległości śruby od kadłuba.....	125

11.5	Dysze nieobrotowe.....	126
11.5.1	Zastosowanie.....	126
11.5.2	Poszycie	126
11.5.3	Wskaźnik wytrzymałości przekroju wzdłużnego dyszy	128
11.5.4	Spawanie	128
11.5.5	Podparcie	128
11.6	Wsporniki wałów	129
11.6.1	Wymagania ogólne	129
11.6.2	Pochwa wału śrubowego.....	129
11.6.3	Konstrukcja i wytrzymałość wsporników wałów	129
11.6.4	Pośrednie wsporniki wałów	131
11.6.5	Połączenia śrubowe wsporników wałów z kadłubem	131
11.7	Tylnice	132
11.7.1	Konstrukcja	132
11.7.2	Wymiarowanie	133
12	Fundamenty	135
12.1	Zasady ogólne	135
12.1.1	Zastosowanie.....	135
12.1.2	Wymagania ogólne i oznaczenia.....	135
12.2	Konstrukcja i wymiarowanie wiązań	135
13	Miejscowa wytrzymałość i stateczność konstrukcji.....	138
13.1	Zasady ogólne	138
13.1.1	Zastosowanie.....	138
13.1.2	Oznaczenia	138
13.1.3	Określenia	139
13.2	Konstrukcyjne grubości minimalne	139
13.2.1	Wymagania ogólne	139
13.2.2	Konstrukcja dna	140
13.2.3	Konstrukcja burt.....	140
13.2.4	Konstrukcja pokładów	141
13.2.5	Konstrukcja grodzi.....	141
13.3	Wymagania dotyczące stateczności elementów konstrukcyjnych	142
13.3.1	Wymagania ogólne	142
13.3.2	Kryteria stateczności i obliczeniowe wartości naprężeń.....	142
13.4	Poszycie kadłuba.....	146
13.4.1	Wymagania ogólne	146
13.4.2	Grubość poszycia	146
13.4.3	Stateczność poszycia i średników wiązarów	147
13.5	Usztywnienia	153
13.5.1	Wymagania ogólne	153
13.5.2	Wskaźnik przekroju	154
13.5.3	Stateczność usztywnień.....	156

13.6	Wiązary zwykłe	160
13.6.1	Wymagania ogólne	160
13.6.2	Wskaźnik przekroju	160
13.6.3	Pole przekroju środника	160
13.6.4	Stateczność wiązarów	161
13.7	Podpory i wiązania ściskane	162
13.7.1	Zastosowanie.....	162
13.7.2	Wymagania ogólne	162
13.7.3	Podpory i usztywnienia podporowe	162
13.7.4	Łączniki i usztywnienia rozporowe	163
13.8	Węzłówki	163
13.8.1	Zastosowanie.....	163
13.8.2	Węzłówki usztywnień.....	163
13.8.3	Połączenia wiązarów.....	165
14	Zasady obliczeń metodą elementów skończonych – wytrzymałość strefowa, ogólna i miejscowa	168
14.1	Zasady ogólne	168
14.1.1	Zastosowanie.....	168
14.2	Obciążenia obliczeniowe	168
14.3	Ocena wytrzymałości strefowej na podstawie belkowych modeli MES.....	168
14.3.1	Zastosowanie.....	168
14.3.2	Zasady modelowania konstrukcji.....	169
14.3.3	Obciążenia modelu MES	171
14.3.4	Warunki brzegowe	171
14.3.5	Naprężenia dopuszczalne	171
14.3.6	Raport z obliczeń MES	172
14.4	Ocena wytrzymałości strefowej na podstawie modeli MES z zastosowaniem elementów skończonych tarczowych, powłokowych i belkowych.....	172
14.4.1	Zastosowanie.....	172
14.4.2	Zasady modelowania geometrii konstrukcji	173
14.4.3	Obciążenie	174
14.4.4	Warunki brzegowe	175
14.4.5	Raport z obliczeń MES	175
14.5	Naprężenia dopuszczalne dla wiązarów.....	176
14.5.1	Zastosowanie.....	176
14.5.2	Interpretacja naprężeń obliczanych z zastosowaniem tarczowych lub powłokowych modeli MES.....	176
14.5.3	Wartości naprężeń dopuszczalnych	177
14.6	Ocena wytrzymałości ogólnej z zastosowaniem MES.....	177
14.6.1	Zastosowanie.....	177
14.6.2	Wymagania dla modeli MES	178
14.6.3	Obciążenia i warunki brzegowe	178
14.6.4	Naprężenia dopuszczalne	179
14.6.5	Raport z obliczeń MES	179

14.7	Ocena wytrzymałości lokalnej na podstawie modeli MES z zastosowaniem elementów skończonych tarczowych, powłokowych i prętowych.....	180
14.7.1	Zastosowanie.....	180
14.7.2	Wymagania dla modeli MES	180
14.7.3	Ocena wytrzymałości usztywnień z zastosowaniem modelu MES do obliczeń wytrzymałości strefowej.....	180
14.7.4	Obciążenie i warunki brzegowe	181
14.7.5	Naprężenia dopuszczalne	181
14.7.6	Raport z obliczeń MES	182
15	Wytrzymałość wzdłużna kadłuba.....	183
15.1	Zasady ogólne	183
15.1.1	Zastosowanie.....	183
15.1.2	Oznaczenia.....	184
15.2	Wskaźnik poprzecznego przekroju kadłuba.....	184
15.3	Moment bezwładności poprzecznego przekroju kadłuba	186
15.4	Moment zginający na wodzie spokojnej	186
15.5	Falowy moment zginający	187
15.5.1	Pionowy falowy moment zginający	187
15.5.2	Rozkład wartości M_w po długości okrętu	187
15.6	Zakres stosowania stali o podwyższonej wytrzymałości	189
15.7	Rzeczywiste geometryczne charakterystyki przekroju kadłuba.....	190
15.7.1	Wskaźnik przekroju i moment bezwładności przekroju kadłuba.....	190
15.7.2	Określenie wpływu otworów na efektywną powierzchnię przekroju kadłuba.....	191
15.8	Wytrzymałość kadłuba na działanie sił poprzecznych.....	192
15.8.1	Zastosowanie.....	192
15.9	Poprzeczne obciążenia kadłuba na wodzie spokojnej.....	193
15.9.1	Stany załadowania	193
15.9.2	Rozkład sił poprzecznych po długości okrętu.....	193
15.10	Falowe obciążenia poprzeczne.....	193
15.11	Wymagania dla konstrukcji przenoszących siły poprzeczne	195
15.12	Zginanie kadłuba w płaszczyźnie poziomej.....	195
15.13	Skręcanie kadłuba	196
15.13.1	Zakres zastosowania	196
15.13.2	Metoda analizy i obciążenia obliczeniowe.....	196
15.13.3	Moment skręcający kadłub	197
15.13.4	Kryteria wytrzymałości i sztywności	199
15.14	Kontrola obciążenia kadłuba.....	201
15.14.1	Instrukcja kontroli obciążenia okrętu.....	201
15.14.2	Przyrząd kontroli obciążenia okrętu.....	201
16	Wytrzymałość zmęczeniowa kadłuba	202
16.1	Postanowienia ogólne	202
16.2	Metoda analizy trwałości zmęczeniowej i kryteria	202

17	Obciążenia kadłuba	206
17.1	Zasady ogólne	206
17.2	Falowanie morza	206
17.2.1	Zasady ogólne	206
17.2.2	Bezpośrednie obliczanie obciążeń	206
17.2.3	Badania modelowe	210
17.3	Wiatr	211
17.4	Lód	212
17.4.1	Wzmocnienia lodowe	212
17.4.2	Oblodzenie okrętu	212
17.5	Ruchy i przemieszczenia kadłuba	213
17.5.1	Zasady ogólne	213
17.5.2	Definicje	213
17.5.3	Amplitudy przemieszczeń składowych	214
17.5.4	Wypadkowe amplitudy przyspieszeń	215
17.6	Miejscowe obciążenia konstrukcji	216
17.6.1	Wymagania ogólne	216
17.6.2	Oznaczenia	217
17.6.3	Ciśnienia zewnętrzne na kadłubie okrętu	217
17.6.4	Ciśnienia zewnętrzne działające na nadbudowy	219
17.6.5	Ciśnienia w przypadkach awaryjnych	219
17.6.6	Ciśnienie cieczy w zbiornikach	219
17.6.7	Obciążenie od ładunku, zapasów i wyposażenia	221
17.6.8	Obciążenie od ciężkich sztuk ładunku, wyposażenia lub uzbrojenia	222
C	WYMAGANIA DODATKOWE ZWIĄZANE Z ZADANIAMI OKRĘTU I WYMAGANIA SPECJALNE	223
1	Zasady ogólne	223
1.1	Wymagania ogólne	223
1.2	Wymagana dokumentacja	223
1.3	Materiały i spawanie	224
2	Odporność KADŁUBA na uszkodzenia	226
2.1	Wymagania ogólne	226
2.2	Optymalizacja podziału grodziowego kadłuba	226
3	Wymagania związane z obroną przed bronią masowego rażenia	227
3.1	Wymagania ogólne	227
3.2	Określenia	227
3.3	Ogólne wymagania projektowe obrony przed bronią masowego rażenia	227
3.4	Wymagania odnoszące się do wytrzymałości konstrukcji gazoszczelnych	228

4	Obciążenia od wybuchów i odzew konstrukcji	229
4.1	Zasady ogólne	229
4.2	Wybuch powietrzny	229
4.2.1	Postanowienia ogólne	229
4.2.2	Parametry powietrznej fali uderzeniowej	229
4.2.3	Obciążenie udarowe poszycia kadłuba	231
4.2.4	Zastępcze obciążenie statyczne konstrukcji od wybuchu powietrznego	231
4.2.5	Wymiarowanie konstrukcji na podstawie zastępczych obciążeń statycznych	232
4.2.6	Obliczenia MES	233
4.3	Wybuch podwodny	235
4.3.1	Uwagi ogólne	235
4.3.2	Liczba udarowa	236
4.3.3	Przybliżone określanie parametrów podwodnej fali uderzeniowej	238
4.3.4	Parametry podwodnej fali uderzeniowej na granicy ośrodków	239
4.3.5	Obciążenie udarowe poszycia kadłuba	241
4.3.6	Obliczenia MES	242
4.3.7	Wytrzymałość ogólna i drgania kadłuba	244
4.3.8	Drgania ogólne powstające w wyniku pulsacji pęcherza gazowego („whipping”)	245
4.4	Wybuch wewnątrz okrętu	246
4.5	Ochrona przeciwołamkowa i przed pociskami małego kalibru	247
5	Obciążenia od uzbrojenia i odzew konstrukcji	248
5.1	Wymagania ogólne	248
5.2	Obciążenia od odrzutu armat	248
5.3	Obciążenia od fali uderzeniowej od wystrzału	248
5.4	Obciążenia od silników raketowych	249
5.5	Obliczenia MES, zastępcze obciążenia statyczne i naprężenia dopuszczalne	250
5.5.1	Zasady ogólne	250
5.5.2	Obliczenia MES	250
5.5.3	Zastępcze ciśnienia statyczne	251
5.5.4	Okresy podstawowych drgań własnych	252
5.5.5	Naprężenia dopuszczalne	253
6	Wytrzymałość kadłuba uszkodzonego	254
6.1	Zasady ogólne	254
6.2	Rozmiary uszkodzeń konstrukcji	254
6.2.1	Uszkodzenia kadłuba od wybuchu pocisku wewnątrz okrętu	254
6.2.2	Uszkodzenia kadłuba od wybuchu podwodnego	255
6.2.3	Uszkodzenia kadłuba wskutek kolizji z obiektem pływającym	255
6.2.4	Uszkodzenia dna okrętu wskutek kontaktu z dnem akwenu	255

6.3	Metody analizy i kryteria	255
6.3.1	Zasady ogólne	255
6.3.2	Obliczeniowe wartości momentów zginających i sił poprzecznych.....	256
6.3.3	Wytrzymałość związana z momentami zginającymi – obliczenia w zakresie liniowo – sprężystym	256
6.3.4	Wytrzymałość związana z momentami zginającymi – obliczanie momentów granicznych	257
6.3.5	Wytrzymałość na ścinanie	258
7	Wzmocnienia kadłubów okrętów desantowych	259
7.1	Zasady ogólne	259
7.2	Poszycie dna	259
7.3	Usztywnienia i wiązary dna	259
7.4	Wytrzymałość ogólna	260
7.5	Wzdłużniki ochronne lub amortyzujące.....	260
8	Łądowiska śmigłowców i płaszczyzny VERTREP	262
8.1	Zasady ogólne	262
8.2	Określenia i objaśnienia	262
8.3	Wymagana dokumentacja.....	262
8.3.1	Dokumentacja ładowiska dla śmigłowców.....	262
8.3.2	Dokumentacja płaszczyzny VERTREP	263
8.4	Poszycie, usztywnienia, wiązary i podpory ładowisk śmigłowców.....	263
8.4.1	Poszycie	263
8.4.2	Usztywnienia	264
8.4.3	Wiązary i podpory	265
8.5	Poszycie, usztywnienia, wiązary i podpory płaszczyzn VERTREP	266
8.5.1	Poszycie	266
8.5.2	Usztywnienia	266
8.5.3	Wiązary i podpory	266
9	Pokłady do transportu pojazdów	267
9.1	Zasady ogólne	267
9.1.1	Zastosowanie	267
9.1.2	Dokumentacja techniczna	267
9.2	Materiały i spawanie	267
9.3	Poszycie	268
9.3.1	Założenia ogólne.....	268
9.3.2	Ciśnienie obliczeniowe i wymiary odcisku koła	268
9.3.3	Wymagana grubość poszycia	270
9.3.4	Obciążenie obliczeniowe dla poszycia	272

9.4	Pokładniki	273
9.4.1	Zasady ogólne	273
9.4.2	Wskaźnik przekroju pokładników	273
9.4.3	Obciążenia obliczeniowe	274
9.4.4	Wymagania dodatkowe dotyczące wskaźnika przekroju pokładników ..	274
9.5	Wiązary	275
9.5.1	Metoda obliczeń wytrzymałości wiązarów	275
9.5.2	Obciążenie	275
10	Wzmocnienia lodowe	276
10.1	Zasady ogólne	276
10.1.1	Zastosowanie	276
10.1.2	Klasyfikacja	276
10.1.3	Oznaczenia	276
10.1.4	Określenia	277
10.2	Podstawowe wzmocnienia lodowe L4	278
10.2.1	Pas lodowy	278
10.2.2	Wřęgi	278
10.2.3	Międzywřęgi	279
10.2.4	Wzdłużnik lodowy	279
10.2.5	Spawanie	280
10.2.6	Wskaźniki przekroju tylnicy	280
10.3	Wzmocnienia lodowe L1A, L1, L2 i L3	280
10.3.1	Wymagania ogólne	280
10.3.2	Dokumentacja	281
10.3.3	Obciążenie od lodu	281
10.3.4	Poszycie kadłuba	283
10.3.5	Wřęgi	284
10.3.6	Wzdłużniki lodowe	288
10.3.7	Wřęgi ramowe	289
10.3.8	Dziób	292
10.3.9	Rufa	293
10.3.10	Konstrukcja stępek przechyłowych	294
Załącznik Z1	Obliczanie granicznej wartości momentu zginającego	295

A POSTANOWIENIA OGÓLNE

1 ZAKRES ZASTOSOWANIA

1.1 Niniejsza *Część II* Przepisów ma zastosowanie do spawanych kadłubów okrętów wypornościowych, jednokadłubowych, o prędkości maksymalnej spełniającej warunek:

$$v_{\max} < 7,20 \cdot V^{0,1667}, \text{ [węzły]} \quad (1.1)$$

1.2 Dopuszczalne zakresy wymiarów głównych i stosunków wymiarowych kadłuba, tam gdzie ma to istotne znaczenie, podano w odpowiednich rozdziałach niniejszej części *Przepisów klasyfikacji i budowy okrętów wojennych* (dalej zwanych Przepisami). Okręty i konstrukcje nietypowe lub wykraczające poza zakres parametrów, podanych w niniejszej części Przepisów, podlegają odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

1.3 Niniejsza *Część II* Przepisów może być również stosowana do konstrukcji kadłubowych, wykonanych ze stopów aluminium. Zastosowanie innych materiałów niż stal lub stopy aluminium będzie rozpatrywane przez PRS odrębnie.

1.4 Niniejsza *Część II* Przepisów zawiera wymagania podstawowe oraz wymagania dodatkowe i specjalne. Spełnienie wymagań podstawowych (dział B) w zakresie, w jakim mają one zastosowanie, jest obowiązkowe dla każdego okrętu.

Dla uzyskania symboli klasy okrętu, związanych z jego przeznaczeniem, zastosowaniem wzmocnień lodowych i dostosowaniem konstrukcji kadłuba do szczególnych warunków eksploatacji, konieczne jest spełnienie wymagań dodatkowych (dział C) w zakresie, w jakim mają one zastosowanie.

Uwaga:

Podane w niniejszej *Części II* odwołania do innych miejsc *Części II* uzupełnione są odpowiednią literą (A, B lub C), określającą dział, którego dotyczy odwołanie. Litera nie jest podawana, gdy odwołanie dotyczy punktu znajdującego się w tym samym dziale.

2 DEFINICJE I OKREŚLENIA

2.1 Zasady ogólne

Określenia dotyczące ogólnej terminologii stosowanej w Przepisach zawarte są w *Części I – Zasady klasyfikacji*. W niniejszej części Przepisów wprowadza się dodatkowe określenia i oznaczenia związane z kadłubem okrętu.

2.2 Oznaczenia ogólne

PD – pion dziobowy – linia pionowa w płaszczyźnie symetrii okrętu, przechodząca przez punkt przecięcia wodnicy konstrukcyjnej z przednią krawędzią dziobnicy. Dla okrętów o nietypowym kształcie dziobu położenie pionu dziobowego podlega odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

- PR* – pion rufowy – linia pionowa w płaszczyźnie symetrii okrętu, przechodząca przez punkt przecięcia wodnicy konstrukcyjnej z osią trzonu sterowego albo z linią pawęży (w przypadku okrętów bez klasycznych sterów).
- PP* – płaszczyzna podstawowa – płaszczyzna pozioma przechodząca na owrężu przez górną krawędź stępki płaskiej lub przez punkt styku wewnętrznej powierzchni poszycia ze stępką belkową.
- L₀* – długość obliczeniowa okrętu, [m] – odległość mierzona w płaszczyźnie wodnicy konstrukcyjnej od przedniej krawędzi dziobnicy do osi trzonu sterowego (lub do pawęży – dla okrętów bez klasycznego steru). Przyjęta wartość *L₀* powinna być jednak nie mniejsza niż 96% długości całkowitej kadłuba, mierzonej w płaszczyźnie wodnicy konstrukcyjnej, lecz może nie przekraczać 97% tej długości. Jeżeli dziób lub rufa okrętu mają kształty różniące się od zwykle stosowanych, długość *L₀* podlega odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.
- L_w* – długość okrętu mierzona w płaszczyźnie wodnicy konstrukcyjnej, [m] – odległość mierzona w płaszczyźnie tej wodnicy, od przedniej krawędzi dziobnicy do punktu przecięcia się wodnicy z tylną krawędzią kosza rufowego (pawężą).
- L_{PP}* – długość między pionami, [m] – odległość między pionem dziobowym a pionem rufowym.
- B* – szerokość okrętu, [m] – największa szerokość okrętu, mierzona pomiędzy zewnętrznymi krawędziami wręgów.
- T* – zanurzenie konstrukcyjne, [m] – pionowa odległość od płaszczyzny podstawowej do wodnicy odpowiadającej wyporności pełnej okrętu (ta wodnica jest zwana wodnicą konstrukcyjną).
- H* – wysokość boczna, [m] – pionowa odległość od płaszczyzny podstawowej do górnej krawędzi pokładnika najwyższego ciągłego pokładu, mierzona w płaszczyźnie owręża, przy burcie. Na okrętach z zaoblonym połączeniem mocnicy pokładowej z mocnicą burtową wysokość boczną należy mierzyć do punktu przecięcia się przedłużenia linii pokładu z przedłużeniem linii burty.
- Jeżeli pokład górny ma uskok, a przez punkt, w którym ustala się wysokość boczną przebiega wyższa część pokładu, to wysokość boczną należy mierzyć od linii odniesienia stanowiącej przedłużenie niższej części pokładu równoległe do części wyższej.
- D* – wyporność okrętu, [t] – wyrażona w tonach masa okrętu odpowiadająca masie wody o objętości równej objętości zanurzonej części kadłuba okrętu. Jeżeli nie określono inaczej, gęstość wody morskiej należy przyjmując jako równą 1,025 t/m³.

D_p – wyporność pełna okrętu, [t] – wyporność okrętu całkowicie wyposażonego, z załogą, ładunkiem, pełnym stanem amunicji i zapasów, z pełnym zapasem paliwa, oleju smarnego i wody kotłowej.

V – objętość konstrukcyjna, [m³] – objętość bryły kadłuba okrętu wyznaczonej przez zewnętrzne krawędzie wręgów przy zanurzeniu T .

δ – współczynnik pełnotliwości kadłuba – współczynnik określany wg wzoru:

$$\delta = \frac{V}{L_0 BT}$$

v_{max} – maksymalna prędkość okrętu, [węzły] – prędkość osiągana przy maksymalnej mocy ciągłej napędu, przy zanurzeniu o wartości T , na wodzie spokojnej.

v – prędkość okrętu, [węzły] – prędkość eksploatacyjna o wartości $0,9v_{max}$.

g – standardowe przyspieszenie ziemskie, [m/s²] – można przyjmować jako równe 9,81 m/s².

R_e – granica plastyczności materiału, [MPa] – patrz *Część IX – Materiały i spawanie* (dla statków morskich).

k – współczynnik materiałowy – współczynnik zależny od granicy plastyczności materiału – patrz B/2.2.1

E – moduł sprężystości podłużnej (Younga), [MPa] – dla stali należy przyjmować $E = 2,06 \cdot 10^5$ MPa.

G – moduł sprężystości postaciowej (Kirchhoffa), [MPa] – dla stali należy przyjmować $G = 7,9 \cdot 10^4$ MPa.

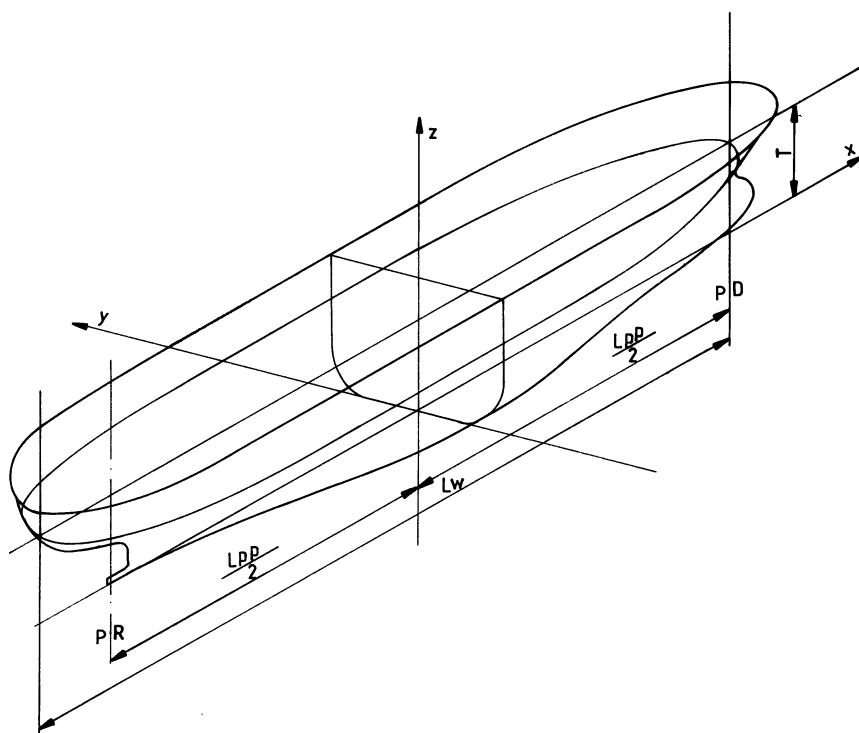
x, y, z – współrzędne punktu na okręcie, [m] – patrz rys. 2.3.1.

2.3 Układ współrzędnych

2.3.1 W niniejszej części Przepisów przyjęto dla okrętu układ współrzędnych ukazany na rysunku 2.3.1, w którym płaszczyznami odniesienia są: płaszczyzna podstawowa, płaszczyzna symetrii oraz płaszczyzna owręża. Oś x , o zwrocie dodatnim ku dziobowi, wyznaczona jest przez linię przecięcia płaszczyzny symetrii z płaszczyzną podstawową.

Oś y , o zwrocie dodatnim ku lewej burcie, wyznaczona jest przez linię przecięcia płaszczyzny podstawowej z płaszczyzną owręża.

Oś z , o zwrocie dodatnim ku górze, wyznaczona jest przez linię przecięcia płaszczyzny symetrii z płaszczyzną owręża.



Rys. 2.3.1 Układ współrzędnych

2.3.2 W niniejszej części Przepisów stosowane są również inne układy współrzędnych okrętu, opisane oddzielnie.

2.4 Określenia ogólne

Konstrukcyjna linia pokładu – linia przenikania powierzchni wyznaczonych przez zewnętrzne krawędzie pokładników i wręgów burtowych. W przypadku zastosowania zaokrąglonego przejścia mocnicy burtowej w mocnicę pokładową jest to linia przenikania przedłużeń tych powierzchni, bez uwzględniania zaokrąglenia.

Nadbudowa – część okrętu usytuowana powyżej pokładu górnego, składająca się ze ścian i przykrywającego je pokładu. Nadbudowy dzielą się na nadbudówki, pokładówki i skrzynie.

Nadbudówka – nadbudowa na pokładzie górnym, która rozciąga się od burty do burty lub której ściany boczne oddalone są od burt okrętu o nie więcej niż $0,04B$.

W zależności od położenia na długości okrętu stosowane są niżej wymienione określenia:

Dziobówka – nadbudówka rozciągająca się od dziobu w kierunku owręza.

Rufówka – nadbudówka rozciągająca się od rufy w kierunku owręza.

Średniówka – nadbudówka leżąca częściowo lub w całości w środkowej części okrętu; może się ona łączyć z dziobówką lub rufówką.

Płaszczyzna owręza – płaszczyna poprzeczna, znajdująca się w połowie odległości między pionem dziobowym a pionem rufowym.

Platforma – konstrukcja rozciągająca się na części długości lub szerokości okrętu, podobna do pokładu dolnego ale nie musi być szczelna..

Pokład dolny, międzypokład – pokład położony poniżej pokładu górnego. Przy istnieniu kilku pokładów dolnych określa się je kolejno, licząc od pokładu górnego do dna: drugi pokład, trzeci pokład itd.

Pokład górny – najwyżej położony pokład, rozciągający się na całej długości okrętu.

Pokład grodziowy – najwyżej położony pokład, do którego doprowadzone są główne, poprzeczne grodzie wodoszczelne.

Pokład nadbudowy – pokład ograniczający nadbudowę od góry. Jeżeli nadbudowa ma kilka kondygnacji, określa się je, licząc od pokładu górnego, jako: pokład I kondygnacji, pokład II kondygnacji itd.

Pokład pogodowy (otwarty) – każdy pokład oraz każda część pokładu, która może podlegać oddziaływaniu morza i wpływom atmosferycznym.

Pokład wytrzymałościowy – pokład górny. W części, gdzie jest on przykryty średniówką o długości nie mniejszej niż $3(0,5B + h)$, za pokład wytrzymałościowy na tej długości należy uważać pokład średniówki (h – odległość pomiędzy pokładem górnym a rozważanym pokładem średniówki, [m]). Za pokład wytrzymałościowy może być uznany także inny pokład w określonym rejonie długości okrętu, po odrębnym rozpatrzeniu wytrzymałości burt na ścinanie.

Pokładówka – nadbudowa na pokładzie górnym (lub nadbudówki), której ściany boczne (jedna lub obydwie) oddalone są od burt okrętu o więcej niż $0,04B$.

Skrzynia – nadbudowa usytuowana podobnie jak pokładówka, ale nie mająca drzwi, okien ani innych podobnych otworów w ścianach zewnętrznych.

Skrajna część okrętu – część okrętu o współrzędnych $x < -0,4 L_0$ lub $x > 0,4 L_0$. Jeżeli gdziekolwiek w Części II zachodzi potrzeba innego określenia długości skrajnej części kadłuba, każdorazowo podane są odpowiednie wartości współrzędnych.

Środkowa część okrętu – symetryczna względem owręza część okrętu o długości $0,4 L_0$ (przedział o współrzędnych: $-0,2 L_0 < x < 0,2 L_0$). Jeżeli gdziekolwiek w Części II zachodzi potrzeba innego określenia długości części środkowej, każdorazowo podane są odpowiednie wartości współrzędnych.

Wodnica konstrukcyjna – wodnica odpowiadająca zanurzeniu konstrukcyjnemu.

2.5 Określenia elementów konstrukcji

Gródź przelewow a – gródź w zbiorniku, częściowa lub z otworami.

Gródź wodoszczelna – gródź poprzeczna lub wzdłużna, dzieląca kadłub na przedziały wodoszczelne.

Konstrukcja burty – poszycie zewnętrzne wraz z usztywnieniami i wiązarami pomiędzy najwyższym pokładem sięgającym do burty a górną krawędzią obła w przypadku dna pojedynczego lub poszyciem dna wewnętrznego w przypadku dna podwójnego.

Konstrukcja grodzi – poszycie grodzi wzdłużnej lub poprzecznej wraz z usztywnieniami i wiązarami.

Konstrukcja dna pojedynczego – poszycie zewnętrzne wraz z usztywnieniami i wiązarami poniżej górnej krawędzi obła.

Konstrukcja dna podwójnego – poszycie dna zewnętrznego i wewnętrznego wraz z usztywnieniami i wiązarami pomiędzy tymi poszyciami.

Konstrukcja ścian nadbudówki (pokładówki) – poszycie ścian wraz z usztywnieniami i wiązarami.

Konstrukcja pokładu – poszycie pokładu wraz z usztywnieniami i wiązarami.

Usztywnienia – ogólna nazwa wiązań podpierających bezpośrednio płyty poszyć.

Wiązania – ogólna nazwa takich elementów konstrukcji kadłuba jak poszycia, usztywnienia poszyć i wiązary.

Wiązar zwykły – wiązar, dla którego znane są z wystarczającą dokładnością warunki zamocowania końców i który dlatego może być rozpatrywany jako izolowany z układu związanych z nim wiązarów.

Wiązary – ogólna nazwa wiązań podpierających usztywnienia lub układy usztywnień.

Wręgi główne – wręgi burtowe umiejscowione poza rejonem skrajników, połączone z dennikami lub dnem podwójnym i doprowadzone do najniższej położonego pokładu lub wzdłużnika na burcie, jeżeli jest on liczony jako podparcie wręgów.

Wręgi międzypokładzia – wręgi znajdujące się między podpierającymi je wzdłużnikami burtowymi, wzdłużnikiem i najbliższym pokładem lub między pokładami, łącznie z pokładami nadbudówek.

W dalszym tekście niniejszej części *Przepisów* zamiennie z ogólnymi nazwami wiązań zdefiniowanymi powyżej (wiązar, usztywnienie) stosuje się nazwy tradycyjne, wynikające z usytuowania i funkcji wiązania (np. wręg, wręg wzdłużny, pokładnik, wzdłużnik, dennik).

2.6 Inne oznaczenia i określenia

Oznaczenia i określenia nie mające charakteru ogólnego, występujące w poszczególnych rozdziałach lub podrozdziałach, są wymienione i objaśnione w tych rozdziałach i podrozdziałach.

3 DOKUMENTACJA TECHNICZNA KADŁUBA OKRĘTU

3.1 Dokumentacja kadłuba okrętu w budowie

Przed rozpoczęciem budowy kadłuba należy przedstawić PRS do rozpatrzenia i zatwierdzenia dokumentację projektu, wymienioną w 3.2, w zakresie zależnym od rodzaju okrętu, jego urządzeń i wyposażenia. PRS może rozszerzyć zakres tej dokumentacji po zapoznaniu się z opisem technicznym i planem ogólnym okrętu.

3.2 Dokumentacja kadłubowa

- .1 Dane dotyczące wytrzymałości wzdłużnej, strefowej i miejscowej:
 - podstawowe dane teoretyczne: linie teoretyczne, krzywe hydrostatyczne,
 - przewidywane stany załadowania oraz rozkłady mas ładunku i zapasów na okręcie¹,
 - obliczenia największych momentów zginających i sił poprzecznych działających w przekrojach kadłuba na wodzie spokojnej*,
 - masa okrętu pustego wraz z jej rozkładem po długości okrętu,
 - najmniejsze i największe zanurzenie okrętu w eksploatacji oraz odpowiednie przegłębienia,
 - obciążenie pokładów, pokryw lukowych i dna wewnętrznego, jeśli jest różne od podanego w *Przepisach*,
 - maksymalna gęstość ładunków lub zapasów przewidzianych do przewozu w zbiornikach,
 - wysokości rur odpowietrzających, mierzone od szczytów zbiorników lub od pokładów, ponad które rury te zostały wyprowadzone,
 - masy ciężkich składników wyposażenia maszynowego i uzbrojenia,
 - inne miejscowe obciążenia lub siły działające na konstrukcję kadłuba.
- .2 Zład poprzeczny z charakterystycznymi przekrojami, z podanymi głównymi wymiarami okrętu, pełnym wnioskowanym symbolem klasy okrętu i innymi danymi, jak prędkość, liczba członków załogi, itp.
- .3 Zład wzdłużny z podanymi odstępami wręgowymi, położeniem grodzi wodoszczelnych, podpór, nadbudówek i pokładówek.
- .4 Rozwinięcie poszycia uwzględniające rozmieszczenie wiązarów, usztywnień, grodzi, pokładów i platform, a także rozmieszczenie i wymiary otworów w poszyciu; na rysunku powinien być zaznaczony zasięg płaskiej części dna w części dziobowej (jeśli występuje).

¹ obowiązuje dla okrętów o długości $L > 65$ m.

- .5 Rysunki konstrukcyjne pokładów i platform uwzględniające rozmieszczenie i wymiary otworów oraz fundamenty uzbrojenia i ciężkich elementów wyposażenia.
- .6 Rysunek konstrukcyjny dna podwójnego.
- .7 Rysunki konstrukcyjne grodzi wzdłużnych i poprzecznych oraz grodzi zbiorników.
- .8 Rysunki konstrukcyjne rejonu siłowni z uwzględnieniem fundamentów silników głównych i kotłów oraz konstrukcji dna pod nimi, zbiorników, podpór, wzmocnień, np. górnego mocowania silnika; należy podać typ i moc silnika oraz uwzględnić wytyczne producenta dotyczące fundamentowania.
- .9 Zład części rufowej i tylnica z podaniem odległości śruby od tylnicy i steru.
- .10 Zład części dziobowej i dziobnica.
- .11 Rysunki konstrukcyjne wsporników i wyjść wałów śrubowych, zawieszania steru oraz nieobrotowych dysz śrub napędowych.
- .12 Rysunki konstrukcyjne nadbudówek i pokładówek.
- .13 Rysunki konstrukcyjne elementów systemu uzbrojenia, stabilizatorów kołysań i fundamentów urządzeń napędowo-sterowych.
- .14 Tablice spawania kadłuba, o ile na rysunkach konstrukcyjnych nie podano wszystkich wymiarów spoin i danych dotyczących spawania.
- .15 Opis, rysunki i programy prób nowatorskich procesów technologicznych, rozwiązań węzłów konstrukcyjnych i zastosowanych materiałów.

Ponadto należy przedstawić:

- .16 Dla okrętów przeznaczonych do transportu pojazdów:
 - plan rozmieszczenia i mocowania przewożonych pojazdów z podaniem maksymalnego obciążenia osi oraz sił występujących w gniazdach i zaczepach przewidzianych dla osprzętu do mocowania pojazdów.
- .17 Dla okrętów przewożących kontenery:
 - plan rozmieszczenia kontenerów wraz z danymi o ich maksymalnej masie i standardzie wytrzymałościowym,
 - plan mocowania kontenerów, określający gniazda, odciągi i podparcia,
 - rysunki konstrukcji podpierających, np. prowadnic kontenerów, określające również przyległą konstrukcję kadłuba oraz gniazda kontenerowe i inne podparcia z niezbędnymi wzmocnieniami konstrukcji kadłuba,
 - obliczenia maksymalnych sił i naprężeń w podparciach kontenerów, w przyległej konstrukcji kadłuba, odciągach itp.
- .18 Dla okrętów cumujących w morzu do innych okrętów:
 - dane o środkach amortyzujących uderzenia kadłubów.

- .19 Dla okrętów dokonujących przeładunku na morzu (także zaopatrywanie RAS, VERTREP):
 - dane stosowanych w tym celu urządzeń;
 - dane o obciążeniach występujących w tych urządzeniach i związanych z nimi instalacjach.
- .20 Inne nie wymienione części wyposażenia mogące mieć wpływ na konstrukcję kadłuba.

3.3 Dokumentacja kadłuba okrętu w przebudowie (modernizacji)

Przed przystąpieniem do przebudowy okrętu należy przedstawić PRS do rozpatrzenia i zatwierdzenia dokumentację tych części kadłuba okrętu, które ulegają przebudowie.

3.4 Dokumentacja wykonawcza okrętu

Po zatwierdzeniu dokumentacji wymienionej w 3.2 należy przedłożyć PRS do rozpatrzenia i uzgodnienia dokumentację wykonawczą w zakresie:

- schemat podziału kadłuba na sekcje i bloki oraz plan kolejności montażu,
- plan badań nieniszczących złączy spawanych,
- plan prób szczelności kadłuba,
- rysunki przejść rurociągów, kanałów wentylacyjnych i kabli przez poszycie kadłuba, dno, pokłady, grodzie, wiązania ramowe itp.,
- rysunki wzmocnień lokalnych pod urządzeniami i mechanizmami nie pokazane w dokumentacji klasyfikacyjnej,
- program prób na uwięzi i w morzu.

4 ZAKRES OBLICZEŃ BEZPOŚREDNICH

4.1 Obliczenia

Bezpośrednie obliczenia obciążeń kadłuba (metodami hydromechaniki okrętowej) oraz odzewu kadłuba na obciążenie (zazwyczaj metodą elementów skończonych) mogą być wymagane w sytuacjach określonych w rozdziałach B/14 do B/17 oraz w dziale C.

Obliczenia bezpośrednie mogą także być wymagane przez PRS przy zatwierdzaniu dokumentacji technicznej kadłubów okrętów i innych obiektów pływających o cechach lub proporcjach wymiarowych uznanych za nietypowe.

4.2 Przedłożenie wyników obliczeń

4.2.1 W przypadku zastosowania metody bezpośredniego obliczania obciążeń lub odzewu konstrukcji na obciążenia należy przedłożyć PRS do rozpatrzenia następujące informacje:

- opis zastosowanej metody obliczeń i programu komputerowego (szczególnie istotne w przypadku bezpośrednich obliczeń obciążeń);
- opis modelu konstrukcji do obliczeń MES (parametry elementów konstrukcji, warunki brzegowe, obciążenia);
- zwięzły raport z uzyskanych wyników obliczeń.

4.3 Badania modelowe

W przypadku określania obciążeń lub odzewu konstrukcji na obciążenie w oparciu o badania modelowe należy przedłożyć PRS następujące informacje:

- opis zastosowanej metody pomiarowej;
- opis badanego modelu;
- opis zastosowanej aparatury;
- opis procedury kalibrowania aparatury pomiarowej;
- dane wejściowe do badań (np. obciążenie w przypadku pomiarów odzewu konstrukcji);
- raport z wynikami pomiarów (w formie tabel, wykresów, itp.);
- przeskalowanie wyników na obiekt rzeczywisty.

5 ZAKRES NADZORU

5.1 Ogólne zasady dotyczące nadzoru nad budową i przeprowadzania przeglądów podane są w *Części I – Zasady klasyfikacji*.

5.2 Nadzorowi w czasie budowy podlega cała konstrukcja kadłuba wraz z:

- nadbudówkami i pokładówkami,
- szybami maszynowymi
- tunelami wałów śrubowych,
- fundamentami silników głównych i kotłów,
- fundamentami silników i mechanizmów pomocniczych oraz urządzeń podlegających nadzorowi,
- fundamentami uzbrojenia,
- wspornikami wałów, dyszami nieobrotowymi,
- zrębnicami, zejściówkami i innymi konstrukcjami ograniczającymi otwory w kadłubie,
- ruchomymi rampami i platformami,
- szybami stacji hydrolokacyjnych, elementami konstrukcji związanymi z napędami specjalnymi, urządzeniami napędowo-sterowymi,
- urządzeniami podnośnymi.

5.3 Konstrukcje wymienione w 5.2, w czasie budowy podlegają kontroli pod względem:

- zgodności z zatwierdzoną dokumentacją techniczną,
- spełnienia wymagań niniejszej części *Przepisów* w zakresie nie uwidocznionym w dokumentacji technicznej,
- spełnienia mających zastosowanie wymagań *Części IX – Materiały i spawanie*.

5.4 Kadłuby wszystkich okrętów w czasie budowy należy poddać próbom szczelności i wytrzymałości, w zakresie i metodami określonymi w rozdziale 6.

6 PRÓBY KONSTRUKCJI KADŁUBA

6.1 Zasady ogólne

6.1.1 Definicje

Powłoka gruntowa – cienka powłoka nakładana po przygotowaniu powierzchni przed fabrykacją jako zabezpieczenie przed korozją podczas fabrykacji.

Powłoka ochronna – ostateczna powłoka chroniąca konstrukcję przed korozją.

Próba konstrukcyjna – próba hydrostatyczna przeprowadzona w celu sprawdzenia szczelności zbiorników oraz sprawdzenie poprawności proponowanych w dokumentacji projektowej rozwiązań konstrukcyjnych. Jeśli względy praktyczne uniemożliwiają jej przeprowadzenie (np. gdy w praktyce trudno osiągnąć wymaganą wysokość obciążenia u szczytu zbiornika), to w zamian można przeprowadzić próbę hydropneumatyczną. Podczas przeprowadzania próby hydropneumatycznej warunki powinny, na tyle na ile to możliwe, symulować faktyczne obciążenie zbiornika.

Próba hydropneumatyczna – próba stanowiąca połączenie próby hydrostatycznej i pneumatycznej, polegająca na napełnieniu zbiornika wodą do samego szczytu i zastosowaniu dodatkowego ciśnienia powietrza. Wartość dodatkowego ciśnienia podlega uzgodnieniu z inspektorem PRS, ale nie może być ona mniejsza od określonej w 6.2.2.

Próba szczelności (także próba gazoszczelności) – próba przeprowadzana przy użyciu sprężonego powietrza lub innego środka, w celu sprawdzenia szczelności konstrukcji.

Próba strumieniem wody – próba przeprowadzana przy użyciu strumienia wody pod odpowiednim ciśnieniem, w celu sprawdzenia szczelności elementów konstrukcyjnych nie podlegających próbie hydrostatycznej, ani próbie szczelności, lub sprawdzenia szczelności innych elementów, mających wpływ na wodoszczelność kadłuba i jego odporność na wpływy atmosferyczne.

6.1.2 Zakres zastosowania

Wymagania rozdziału 6 określają warunki prób:

- zbiorników,
- konstrukcji wodoszczelnych, gazoszczelnych lub odpornych na wpływy atmosferyczne.

Celem tych prób jest sprawdzenie szczelności i/lub wytrzymałości elementów konstrukcyjnych podczas budowy okrętu lub jego większych napraw.

Próby powinny być przeprowadzane w obecności inspektora PRS na etapie tak bliskim ukończenia prac, aby żadne dodatkowe prace wykończeniowe nie mogły mieć wpływu na wytrzymałość i szczelność konstrukcji.

Ogólne wymagania dotyczące prób podane są w 6.3.

6.2 Metody prób

6.2.1 Próba konstrukcyjna

Próbe konstrukcyjną należy przeprowadzać przed nałożeniem powłoki ochronnej.

Dopuszcza się możliwość przeprowadzania jej po nałożeniu powłoki ochronnej, pod warunkiem spełnienia jednego z poniższych warunków:

- .1 proces spawania zostanie zakończony, a przed nałożeniem powłoki ochronnej spoiny będą poddane dokładnym oględzinom przez inspektora PRS,
- .2 próba szczelności zostanie przeprowadzona przed nałożeniem powłoki ochronnej.

Jeśli nie jest wymagane przeprowadzenie próby szczelności, to powłokę ochronną należy nałożyć po przeprowadzeniu próby konstrukcyjnej dotyczącej:

- wszystkich spoin montażowych, wykonanych ręcznie i automatycznie,
- wszystkich ręcznie wykonanych pachwinowych połączeń spawanych elementów poszycia zbiorników oraz wszystkich ręcznie wykonanych spoin z przetopem.

6.2.2 Próba szczelności

Próbe szczelności należy przeprowadzać zgodnie z wymaganiami podanymi w tabeli 6.3. W czasie próby należy zastosować ciśnienie 15 kPa.

Zaleca się, aby przed inspekcją ciśnienie powietrza w zbiorniku podnieść do 20 kPa i utrzymywać na tym poziomie przez 1 godzinę, aby osiągnąć ustabilizowany stan, a następnie obniżyć do ciśnienia testowego. W tym czasie należy ograniczyć do minimum liczbę ludzi przebywających w sąsiedztwie zbiornika.

PRS może zaakceptować przeprowadzenie próby, gdy ciśnienie osiągnęło ustabilizowaną wartość 20 kPa, bez jej obniżania, pod warunkiem zapewnienia bezpieczeństwa osobom uczestniczącym w próbie.

Przed próbą spoiny powinny zostać pokryte odpowiednim płynem wskazującym, np. wodą z mydłem. Należy zamontować rurę w kształcie litery U, wypełnioną wodą do wysokości odpowiadającej ciśnieniu testowemu, w celu uniknięcia nadciśnienia w testowanym przedziale oraz zweryfikowania ciśnienia testowego. Rura w kształcie litery U powinna mieć przekrój większy od przekroju rury dostarczającej powietrze.

Ciśnienie testowe należy także zweryfikować za pomocą miernika wzorcowego. PRS może dopuścić zastosowanie alternatywnych metod pomiaru ciśnienia, jeśli uzna je za równorzędne.

Próby szczelności należy przeprowadzać przed nałożeniem powłoki ochronnej na jakichkolwiek spoinach pachwinowych usytuowanych na zewnętrznych ścianach zbiorników, z wyjątkiem spoin wykonanych automatycznie.

W przypadku innych spoin próbe szczelności można przeprowadzić po nałożeniu powłoki ochronnej, jeśli zostały one poddane dokładnym oględzinom przez inspektora PRS.

Dopuszcza się możliwość wykonania próby szczelności inną metodą, jeżeli inspektor PRS uzna ją za równorzędną.

6.2.3 Próba strumieniem wody

Jeśli w celu sprawdzenia szczelności konstrukcji wymagane jest wykonanie próby strumieniem wody, zgodnie z warunkami podanymi w tabeli 6.3, to strumień o ciśnieniu wynoszącym co najmniej 0,2 MPa, powinien być podawany z odległości nie większej niż 1,5 m. Średnica dyszy powinna wynosić co najmniej 12 mm.

6.2.4 Próba hydropneumatyczna

Podczas przeprowadzania próby hydropneumatycznej należy przedsięwziąć takie same środki bezpieczeństwa, jak podczas próby szczelności (patrz 6.2.2).

6.2.5 Próba gazoszczelności

Dotyczy zamknięć otworów. Zamknięcia powinny spełniać następujące kryterium: spadek ciśnienia w pomieszczeniach, w których podniesiono ciśnienie do 1,5 kPa nie może po 10 min. przekroczyć 0,13 kPa.

6.2.6 Inne metody przeprowadzania prób

PRS może zaakceptować inne metody przeprowadzania prób, jeśli uzna je za równorzędne.

6.3 Ogólne wymagania dotyczące prób

Ogólne wymagania dotyczące prób są podane w tabeli 6.3.

Tabela 6.3

Lp.	Konstrukcja poddana próbie	Rodzaj próby	Ciśnienie zastosowane podczas próby konstrukcyjnej	Uwagi:
1	2	3	4	5
1	Zbiorniki w dnie podwójnym	Próba konstrukcyjna ¹⁾	Większe z następujących: <ul style="list-style-type: none"> wysokość wody do poziomu wierzchołka rury odpowietrzającej wysokość wody do poziomu linii granicznej 	Ściany zbiornika poddać próbie przynajmniej z jednej strony
2	Zbiorniki w burtach podwójnych	Próba konstrukcyjna ¹⁾	Większe z następujących: <ul style="list-style-type: none"> wysokość wody do poziomu wierzchołka rury odpowietrzającej wysokość wody do poziomu 2,4 m powyżej najwyższego punktu w zbiorniku 	Ściany zbiornika poddać próbie przynajmniej z jednej strony
3	Grodzie zbiorników, zbiorniki głębokie	Próba konstrukcyjna ¹⁾	Większe z następujących ²⁾ : <ul style="list-style-type: none"> wysokość wody do poziomu wierzchołka rury odpowietrzającej wysokość wody do poziomu 2,4 m powyżej najwyższego punktu w zbiorniku 	Ściany zbiornika poddać próbie przynajmniej z jednej strony
	Zbiorniki paliwowe	Próba konstrukcyjna	<ul style="list-style-type: none"> tam gdzie ma to zastosowanie – ciśnienie otwierające zawory bezpieczeństwa 	

1	2	3	4	5
4	Skrajniki dziobowy i rufowy używane jako zbiorniki	Próba konstrukcyjna	Większe z następujących: <ul style="list-style-type: none"> wysokość wody do poziomu wierzchołka rury odpowietrzającej wysokość wody do poziomu 2,4 m powyżej najwyższego punktu w zbiorniku 	Próbę konstrukcyjną skrajnika rufowego należy przeprowadzić po zamontowaniu pochwy wału śrubowego
	Skrajnik dziobowy nie używany jako zbiornik	Próba konstrukcyjna	Wysokość wody do poziomu 0,3 m powyżej pokładu grodziowego – powyżej tego poziomu przeprowadzić próbę strumieniem wody	Wysokość wody powinna osiągnąć poziom górnej krawędzi zrębnicy łuku skrajnika dziobowego, jeśli górna krawędź zrębnicy znajduje się na poziomie niższym niż 0,3 m powyżej pokładu grodziowego
	Skrajnik rufowy nie używany jako zbiornik	Próba szczelności		
5	Przedziały ochronne	Próba konstrukcyjna ³⁾	Większe z następujących: <ul style="list-style-type: none"> wysokość wody do poziomu wierzchołka rury odpowietrzającej wysokość wody do poziomu 2,4 m powyżej najwyższego punktu w zbiorniku 	
6	Grodzie wodoszczelne	Próba strumieniem wody ⁴⁾		Próbę należy przeprowadzić w najbardziej zaawansowanym stanie montażu przed zamontowaniem na statku
7	Komora łańcuchowa (jeżeli jest umieszczona za grodzią zderzeniową – w kierunku rufy)	Próba konstrukcyjna	Wysokość wody do szczytu komory łańcuchowej	

Uwagi:

- ¹⁾ PRS może zaakceptować ograniczenie próby do próby szczelności lub próby hydropneumatycznej (przeprowadzonej w warunkach opisanych w 6.2.2), pod warunkiem że przynajmniej jeden wybrany zbiornik każdego typu zostanie poddany próbie konstrukcyjnej, w związku z zatwierdzeniem projektu. Na ogół, w przypadku kolejnych identycznych nowo budowanych jednostek w danej serii, przeprowadzanie próby konstrukcyjnej nie musi być powtarzane. Jeśli podczas próby konstrukcyjnej zostanie stwierdzona zbyt mała wytrzymałość lub poważne wady nie wykryte podczas próby szczelności, to wszystkie zbiorniki należy poddać próbie konstrukcyjnej.

-
- 2) Tam, gdzie ma to zastosowanie, najwyższy punkt zbiornika należy odnosić do poziomu pokładu, bez uwzględnienia zrębnic luków.
 - 3) PRS może zaakceptować ograniczenie próby do próby szczelności lub próby hydropneumatycznej (przeprowadzonej w warunkach opisanych w 6.2.2), uwzględniając stosowane technologie budowy i spawania.
 - 4) Jeśli przeprowadzenie próby strumieniem wody bez uszkodzenia już zainstalowanego osprzętu (maszynowego, przewodów, tablic rozdzielczych, izolacji itp.) jest niemożliwe, to – za zgodą PRS – można ją zastąpić dokładnymi oględzinami wszystkich uszczelnień ścian zbiornika oraz połączeń spawanych. W niektórych sytuacjach może być wymagane przeprowadzenie ultradźwiękowej próby szczelności lub próby penetrantem.
-

B WYMAGANIA PODSTAWOWE

1 POSTANOWIENIA OGÓLNE

1.1 Struktura wymagań

1.1.1 W niniejszym Dziale B podano wymagania, których spełnienie jest konieczne dla uzyskania podstawowej klasy okrętu; wymagania te zapewniają określony przez PRS minimalny poziom bezpieczeństwa wytrzymałościowego konstrukcji kadłuba okrętu, w przewidzianym zakresie obciążeń eksploatacyjnych – stałych i zmiennych, obejmujących obciążenia morskie na wodzie spokojnej i na fali, obciążenia od zapasów i ładunków stałych i płynnych, obciążenia od wyposażenia ogólnego i uzbrojenia oraz inne standardowe obciążenia w pomieszczeniach okrętu – załogowych, służbowych, itp.

1.1.2 W szczególności w dziale B podano wymagania dotyczące materiałów stosowanych na kadłub i ochrony przed korozją, wymagania dotyczące szczegółowych rozwiązań konstrukcyjnych poszczególnych elementów kadłuba okrętu (w tym wymagania dotyczące połączeń spawanych), wymagania dotyczące konstrukcji poszczególnych rejonów kadłuba (dno, burty, pokłady, itp.), zasady wymiarowania konstrukcji, obciążenia obliczeniowe oraz kryteria wytrzymałościowe.

1.1.3 Wymagania związane z dostosowaniem konstrukcji kadłubów okrętów do specyficznych obciążeń związanych z ich funkcją podano w dziale C niniejszej *Części II*.

2 MATERIAŁY I OCHRONA PRZED KOROZJĄ

2.1 Zasady ogólne

Materiały przeznaczone na konstrukcje objęte wymaganiami niniejszej części *Przepisów* powinny spełniać wymagania *Części IX – Materiały i spawanie Przepisów klasyfikacji i budowy statków morskich*.

2.2 Stal kadłubowa

2.2.1 Stal o zwykłej i podwyższonej wytrzymałości

2.2.1.1 Na elementy konstrukcji kadłuba okrętu przewiduje się zastosowanie stali kadłubowej o zwykłej wytrzymałości NW oraz o podwyższonej wytrzymałości PW 32, PW 36 i PW 40.

2.2.1.2 W tabeli 2.2.1.2 podano przyjęte oznaczenia stali kadłubowych, podział na kategorie i odpowiadające im wartości granicy plastyczności R_e (spójne z podanymi w *Części IX – Materiały i spawanie*) oraz wartości współczynników materiałowych k .

Tabela 2.2.1.2

Oznaczenie	Kategoria stali					R_e [MPa]	k
	A	B	D	E	F		
NW	A	B	D	E	F	235	1,00
PW32	AH32	–	DH32	EH32	FH32	315	1,28
PW36	AH36	–	DH36	EH36	FH36	355	1,39
PW40	AH40	–	DH40	EH40	FH40	390	1,43

2.2.1.3 Materiały stosowane w elementach wytrzymałościowych konstrukcji kadłubów okrętów o długości $L_0 > 65$ m nie podlegających oddziaływaniu niskich temperatur (patrz p. 2.2.1.4) powinny być kategorii nie niższej niż podana w tabelach 2.2.1.3-1 i 2.2.1.3-2.

Tabela 2.2.1.3-1
Grupy wiązań i kategorie materiałów

Elementy konstrukcyjne	Grupa wiązań / kategoria materiału	
	W rejonie $0,4 L_0$ w środkowej części okrętu	W pozostałych rejonach okrętu
1	2	3
Drugorzędne Poszycie pokładu otwartego – ogólnie Poszycie burt	I	A/AH

1	2	3
Główne Poszycie dna łącznie ze stępką płaską Poszycie pokładu wytrzymałościowego ¹⁾ Ciągłe elementy wzdłużne powyżej pokładu wytrzymałościowego Górny pas poszycia grodzi wzdłużnej	II	A/AH
Specjalne Mocnica burtowa przy pokładzie wytrzymałościowym Mocnica pokładowa pokładu wytrzymałościowego Pas pokładu przy grodzi wzdłużnej Pas obłowy poszycia ²⁾	III	II (I poza 0,6 L_0)

Uwagi:

- 1) Poszycie w narożach dużych otworów lukowych podlega odrębnemu rozpatrzeniu. W miejscach występowania dużych naprężeń miejscowych należy zastosować materiał odpowiadający grupie III wiązań lub materiał kategorii E/EH.
- 2) Może być grupy II na okrętach o długości mniejszej niż 150 m, z podwójnym dnem na całej szerokości.

Wymagania dotyczące kategorii materiału na elementy konstrukcji kadłuba w zależności od grupy wiązań i grubości elementu zostały określone w tabeli 2.2.1.3-2.

W przypadku elementów wytrzymałościowych nie wymienionych w tabeli 2.2.1.3-1 oraz elementów konstrukcji kadłubów okrętów o długości $L_0 < 40$ m można generalnie stosować materiał kategorii A/AH. Pojedyncze pasy poszycia, które – zgodnie z wymaganiami – powinny być grupy III lub kategorii E/EH, w rejonie $0,4 L_0$ śródokręcia powinny mieć szerokość co najmniej $(800 + 5 L_0)$ mm; szerokość ta nie musi być większa niż 1800 mm. Kategoria stali powinna odpowiadać faktycznej grubości płyty, jeśli jest ona większa od wymaganej w niniejszej części *Przepisów*.

Grupy wiązań i kategorie materiałów stosowanych na kadłuby okrętów o długościach $40 \text{ m} \leq L_0 \leq 65$ oraz silnie obciążone rejonu konstrukcji kadłubów okrętów o długości $L_0 < 40$ m (np. w rejonie fundamentów żurawi, uzbrojenia, itp.) podlegają odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

Materiał poszycia tylnic, sterów, wsporników steru i wsporników wału powinien generalnie posiadać kategorię odpowiadającą co najmniej grupie II wiązań niezależnie od długości okrętu. W przypadku steru i płyt pletwy sterowej narażonych na koncentrację naprężeń (np. w rejonie dolnego podparcia sterów półpodwieszonych lub w górnej części sterów podwieszonych) należy zastosować materiał odpowiadający III grupie wiązań.

Tabela 2.2.1.3-2
Wymagania dotyczące kategorii materiałów dla grup wiązań I, II i III

Grupa wiązań	I		II		III	
	NW	PW	NW	PW	NW	PW
$t \leq 15$	A	AH	A	AH	A	AH
$15 < t \leq 20$	A	AH	A	AH	B	AH
$20 < t \leq 25$	A	AH	B	AH	D	AH
$25 < t \leq 30$	A	AH	D	AH	D	AH
$30 < t \leq 35$	B	AH	D	DH	E	EH
$35 < t \leq 40$	B	AH	D	DH	E	EH
$40 < t \leq 50$	D	DH	E	EH	E	EH

2.2.1.4 Materiały na konstrukcje, podlegające oddziaływaniu niskich temperatur, okrętów pływających w rejonach o temperaturze powietrza $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ i poniżej powinny być dobierane w zależności od projektowej temperatury konstrukcji, t_p , określonej w 2.2.4.

Materiały na elementy wytrzymałościowe położone powyżej najniższej balastowej linii wodnej (BWL) i wystawione na oddziaływanie powietrza, powinny być kategorii nie niższej niż podana w tabeli 2.2.1.4-1 w zależności od długości L_0 jak podano w 2.2.1.3.

Tabela 2.2.1.4-1
Grupy wiązań i kategorie materiałów
– dla konstrukcji narażonych na niskie temperatury

Elementy konstrukcyjne	Grupa wiązań	
	W rejonie $0,4 L_0$ w środkowej części okrętu	W pozostałych rejonach okrętu
Drugorzędne Poszycie pokładu otwartego – ogólnie Poszycie burtowe powyżej BWL Poprzeczne grodzie powyżej BWL	I	I
Główne Poszycie pokładu wytrzymałościowego ¹⁾ Ciągłe elementy wzdłużne powyżej pokładu wytrzymałościowego – wyłączając zrębnice luków Wzdłużne grodzie powyżej BWL	II	I
Specjalne Mocnica burtowa przy pokładzie wytrzymałościowym Mocnica pokładowa pokładu wytrzymałościowego Pas pokładu przy grodzie wzdłużnej Ciągłe wzdłużne zrębnice luków ²⁾	III	II

Uwagi:

- 1) Poszycie w narożach dużych otworów lukowych podlega odrębnemu rozpatrzeniu. W miejscach występowania dużych naprężeń miejscowych należy zastosować materiał odpowiadający grupie III wiązań lub materiał kategorii E/EH.
- 2) Nie mogą być kategorii niższej niż D/DH.

Tabela 2.2.1.4-2
Wymagania dotyczące kategorii materiału dla grup I, II i III
– dla konstrukcji narażonych na niskie temperatury

Grupa I

Grubość płyty, w mm	-20/-25 °C		-26/-35 °C		-36/-45 °C		-46/-55 °C	
	NW	PW	NW	PW	NW	PW	NW	PW
$t \leq 10$	A	AH	B	AH	D	DH	D	DH
$10 < t \leq 15$	B	AH	D	DH	D	DH	D	DH
$15 < t \leq 20$	B	AH	D	DH	D	DH	E	EH
$20 < t \leq 25$	D	DH	D	DH	D	DH	E	EH
$25 < t \leq 30$	D	DH	D	DH	E	EH	E	EH
$30 < t \leq 35$	D	DH	D	DH	E	EH	E	EH

∅ = nie ma zastosowania

Grupa II

Grubość płyty, w mm	-20/-25 °C		-26/-35 °C		-36/-45 °C		-46/-55 °C	
	NW	PW	NW	PW	NW	PW	NW	PW
$t \leq 10$	B	AH	D	DH	D	DH	D	DH
$10 < t \leq 20$	D	DH	D	DH	E	EH	E	EH
$20 < t \leq 30$	D	DH	E	EH	E	EH	∅	FH
$30 < t \leq 40$	E	EH	E	EH	∅	FH	∅	FH

∅ = nie ma zastosowania

Grupa III

Grubość płyty, w mm	-20/-25 °C		-26/-35 °C		-36/-45 °C		-46/-55 °C	
	NW	PW	NW	PW	NW	PW	NW	PW
$t \leq 10$	D	DH	D	DH	E	EH	E	EH
$10 < t \leq 20$	D	DH	E	EH	E	EH	∅	FH
$20 < t \leq 25$	E	EH	E	EH	∅	FH	∅	FH
$25 < t \leq 30$	E	EH	E	EH	∅	FH	∅	FH
$30 < t \leq 35$	E	EH	E	EH	∅	FH	∅	FH

∅ = nie ma zastosowania

Wymaganą kategorię materiału elementów nie wystawionych na oddziaływanie powietrza i elementów położonych poniżej najniższej balastowej linii wodnej należy określać wg tabel 2.2.1.3-1 i 2.2.1.3-2.

Wymagania dotyczące kategorii materiału na elementy kadłuba każdej klasy – w zależności od grubości, temperatury projektowej i grupy wiązań zostały określone w tabeli 2.2.1.4-2. Wymagania te nie zależą od długości L_0 okrętu. W przypadku temperatury projektowej $t_p < -55$ °C materiały podlegają odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

Pojedyncze pasy poszycia, które – zgodnie z wymaganiami – powinny być grupy III lub kategorii E/EH bądź FH, powinny mieć szerokość co najmniej $(800 + 5 L_0)$ mm. Szerokość ta nie musi być większa niż 1800 mm.

Materiały poszycia na tylnice, stery, wsporniki steru i wsporniki wału powinny posiadać kategorię nie niższą niż określona wg 2.2.1.3.

2.2.2 Stal o określonych właściwościach w kierunku grubości materiału

2.2.2.1 Jeżeli płytowy element konstrukcji o grubości przekraczającej 15 mm przenosi znaczne naprężenia w kierunku prostopadłym do swojej powierzchni, a przy tym nie zostały przewidziane rozwiązania konstrukcyjne zapobiegające rozwarstwieniu materiału, to element ten należy wykonać ze stali typu Z.

2.2.2.2 Stal na płyty o grubości co najmniej 15 mm, podlegające obciążeniu rozciągającemu w kierunku prostopadłym do ich powierzchni, powinna odpowiadać wymaganiom dla stali typu Z podanym w rozdziale 5 z *Części IX – Materiały i spawanie*.

Jeżeli nie uzgodniono inaczej z PRS, płyty należy wykonywać ze stali kadłubowych kategorii E, EH lub FH.

2.2.3 Stal platerowana

W przypadku stosowania stali platerowanej, jej warstwa podstawowa powinna być wykonana ze stali kadłubowej, o własnościach mechanicznych nie niższych niż wymagane dla kategorii stali wymienionych w tabelach 2.2.1.3-1 i 2.2.1.3-2.

2.2.4 Projektowa temperatura konstrukcji

2.2.4.1 Za temperaturę projektową, t_p , należy przyjąć najniższą przeciętną średniodobową temperaturę powietrza w rejonie żeglugi, przy czym użyte tu określenia oznaczają:

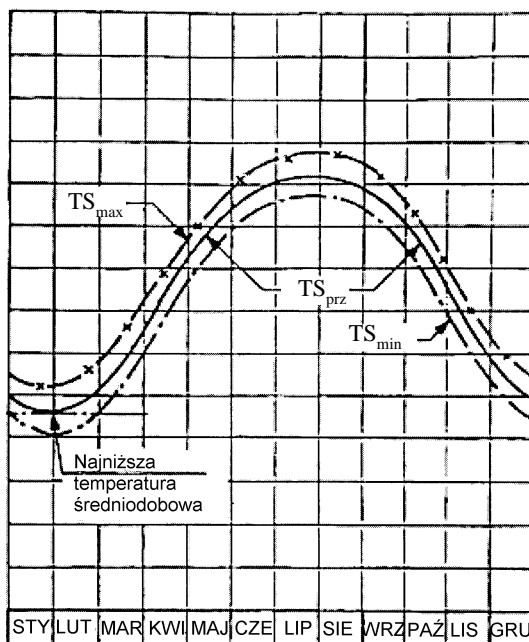
najniższa – najniższa w ciągu roku;

przeciętna – statystyczna średnia z okresu obserwacji (co najmniej 20 lat);

średniodobowa – przeciętna z jednej doby.

W przypadku żeglugi ograniczonej sezonowo należy stosować najniższą wartość występującą w okresie żeglugowym.

Na rys. 2.2.4.1 pokazano przykładowe rozkłady temperatur średniodobowych w funkcji pory roku.



Rys. 2.2.4.1

TS_{max} – najwyższa (maksymalna) temperatura średniodobowa

TS_{prz} – przeciętna temperatura średniodobowa

TS_{min} – najniższa (minimalna) temperatura średniodobowa

2.2.4.2 W przypadku okrętów posiadających w symbolu klasy okrętu znak wzmocnień lodowych L1A lub L1 przyjęta wartość temperatury t_p nie może być wyższa niż $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Za temperaturę projektową konstrukcji znajdujących się wewnątrz pomieszczeń chłodzonych należy przyjąć najniższą temperaturę powietrza, t_a , występującą w tych pomieszczeniach. Projektową temperaturę konstrukcji ograniczających pomieszczenia chłodzone należy przyjmować jako równą:

- najniższej temperaturze występującej w pomieszczeniu chłodzonym, jeżeli od strony tego pomieszczenia nie zastosowano izolacji,
- najniższej temperaturze występującej w przyległym pomieszczeniu, jeżeli od strony pomieszczenia chłodzonego zastosowano izolację, a od strony pomieszczenia przyległego nie zastosowano jej,
- średniej najniższej temperaturze w sąsiadujących pomieszczeniach, jeżeli z obu stron konstrukcji zastosowano izolację.

W uzasadnionych przypadkach wartości projektowych temperatur konstrukcji mogą być podwyższone.

2.3 Inne materiały konstrukcyjne

2.3.1 Stopy aluminium

2.3.1.1 Stopy aluminium kategorii określonych w Części IX – Materiały i spawanie mogą być stosowane do konstrukcji:

- kadłuba okrętów o długości $L_0 < 40$ m,
- nadbudówek i pokładówek.

2.3.1.2 Wytrzymałość konstrukcji ze stopów aluminium powinna być nie mniejsza niż wytrzymałość wymagana dla konstrukcji stalowych.

2.3.1.3 Współczynnik materiałowy k dla stopów aluminium należy określać według wzoru:

$$k = \frac{R_e}{235} \quad (2.3.1.3)$$

przy czym przyjęta do obliczeń współczynnika k wartość R_e charakteryzująca stop aluminium w stanie miękkim (rekrystalizowanym lub walcowanym na gorąco) nie powinna być większa niż $0,7 R_m$ (R_m – wytrzymałość na rozciąganie). W przypadku zastosowania do konstrukcji spawanej stopów dostarczanych w stanie ćwierćtwardym lub półtwardym przyjmowaną granicę plastyczności należy każdorazowo uzgodnić z PRS.

2.3.2 Inne materiały

Zastosowanie innych materiałów w konstrukcji okrętu podlega odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

2.4 Ochrona przed korozją

2.4.1 Wszystkie zbiorniki balastowe posiadające ściany będące częścią zewnętrznej poszycia kadłuba, powinny mieć odpowiednią powłokę ochronną – epoksydową lub równoważną – wykonaną zgodnie z zaleceniami producenta. Zaleca się, aby powłoka była jasnego koloru.

W uzasadnionych przypadkach powinny być również zastosowane anody protektorowe.

Zalecane jest pokrycie powłokami przeciwkorozyjnymi wszystkich elementów konstrukcji stalowego kadłuba okrętu.

Na wniosek armatora, po odrębnym rozpatrzeniu przez PRS, wymagane w 2.5 naddatki korozyjne mogą być zmniejszone lub całkowicie pominięte, jeżeli zostanie zastosowana skuteczna ochrona konstrukcji przed korozją. W takim przypadku okręt może otrzymać w symbolu klasy znak **PAC**.

2.4.2 W zbiornikach przeznaczonych do przewozu balastu wodnego grubości elementów konstrukcyjnych powinny być zwiększone o naddatki korozyjne określone w 2.5.

2.4.3 Ochrona przed korozją konstrukcji zbiorników na paliwa lotnicze i specjalne oraz inne cieczki o agresywnych – ze względu na korozję – cechach, podlega odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

2.4.4 Wymagania dotyczące przeciwkorozyjnych powłok ochronnych oraz ochrony katodowej podane są w *Publikacji Nr 40/P – Materiały i wyroby niemetalowe*.

2.5 Naddatki korozyjne

2.5.1 Punkty 2.5.2 do 2.5.6 dotyczą elementów konstrukcji kadłubów okrętów ze stali.

2.5.2 W przypadku konstrukcji ze stopów aluminium naddatki korozyjne nie są wymagane.

2.5.3 Grubość płyt poszycia pionowych i poziomych grodzi ograniczających zbiorniki balastowe powinna być powiększona o naddatek korozyjny t_k , określany według wzoru:

$$t_k = t_w + t_z, \quad [\text{mm}] \quad (2.5.2)$$

t_w – naddatek korozyjny, określony według 2.5.6, dla wewnętrznej strony płyty poszycia, [mm];

t_z – naddatek korozyjny, określony według 2.5.6, dla zewnętrznej strony rozpatrywanej płyty poszycia, odpowiednio do przeznaczenia sąsiedniego pomieszczenia, [mm].

2.5.4 Grubości mocników, środników i węzłówek usztywnień i wiązarów znajdujących się wewnątrz zbiorników balastowych powinny być powiększone o naddatek korozyjny t_k , określany według wzoru:

$$t_k = 2t_w, \quad [\text{mm}] \quad (2.5.3-1)$$

Jeżeli usztywnienia lub wiązary grodzi zbiornika znajdują się po jego zewnętrznej stronie, to naddatek korozyjny dla nich należy określać według wzoru:

$$t_k = 2t_z, \quad [\text{mm}] \quad (2.5.3-2)$$

t_w i t_z – jak w 2.5.1.

2.5.5 Jeżeli środnik lub mocnik usztywnienia lub wiązara jest poziomy, to jego naddatek korozyjny należy dodatkowo zwiększyć o 0,5 mm.

2.5.6 Wartości naddatków korozyjnych t_w i t_z zależą od rejonu (A, B) zbiornika, w której znajduje się rozpatrywany element konstrukcyjny.

Jeżeli zbiornik jest ograniczony od góry pokładem pogodowym, to rejonem A tego zbiornika jest rejon rozciągający się pionowo od pokładu pogodowego do poziomu znajdującego się 1,5 m poniżej tego pokładu. Wszystkie inne rejony zbiorników są rejonami B.

2.5.7 W zależności od rodzaju czynnika oddziałującego na rozpatrywaną stronę elementu dla rejonu A naddatki korozyjne t_w lub t_z wynoszą:

1,5 mm – jeżeli czynnikiem jest balast wodny,

0,0 mm – jeżeli czynnikiem jest woda zaburtowa (zewnątrzna) lub powietrze.

Dla rejonu B naddatki korozyjne t_w i t_z stanowią połowę wartości analogicznych naddatków korozyjnych przewidzianych dla rejonu A.

3 SZCZEGÓŁY KONSTRUKCYJNE

3.1 Zasady ogólne

Przyjęte w niniejszym rozdziale sposoby określenia geometrycznych i wytrzymałościowych parametrów wiązań konstrukcji kadłuba mogą mieć zastosowanie w analizie wytrzymałości wiązań, jeżeli w innych rozdziałach niniejszej części *Przepisów* nie podano inaczej.

3.1.1 Zaokrąglanie wymiarów wiązań

3.1.1.1 Wymiary elementów zaokrągla się do najbliższej większej znormalizowanej wielkości. Dopuszcza się zaokrąglenie grubości płyt wymaganej na elementy konstrukcyjne do najbliższej mniejszej znormalizowanej wielkości, ale zaokrąglenie to nie może przekraczać 0,25 mm.

3.1.1.2 W przypadku stosowania znormalizowanych kształtowników walcowanych dopuszczalne jest zaokrąglenie wymaganych wartości wskaźników, momentów bezwładności i pól poprzecznego przekroju kształtowników do najbliższej niższej wielkości znormalizowanej, jednakże nie więcej niż o 3% wartości wymaganej.

3.2 Idealizacja wiązań

3.2.1 Rozpiętość wiązarów i usztywnień

3.2.1.1 Obliczeniową rozpiętość l wiązarów i usztywnień należy mierzyć w sposób podany na rys. 3.2.1.1. Założono przy tym, że węzłówki są odpowiednio podparte przez konstrukcję, do której są przyłączone. W szczególnych przypadkach określenie rozpiętości l może być odmienne. Rozpiętość l wiązarów i usztywnień krzywoliniowych należy mierzyć jako długość cięciwy łączącej punkty podparcia ich końców.

3.2.2 Pas współpracujący

3.2.2.1 Pole poprzecznego przekroju współpracującego pasa poszycia usztywnienia lub wiązara zwykłego należy określać wg wzoru:

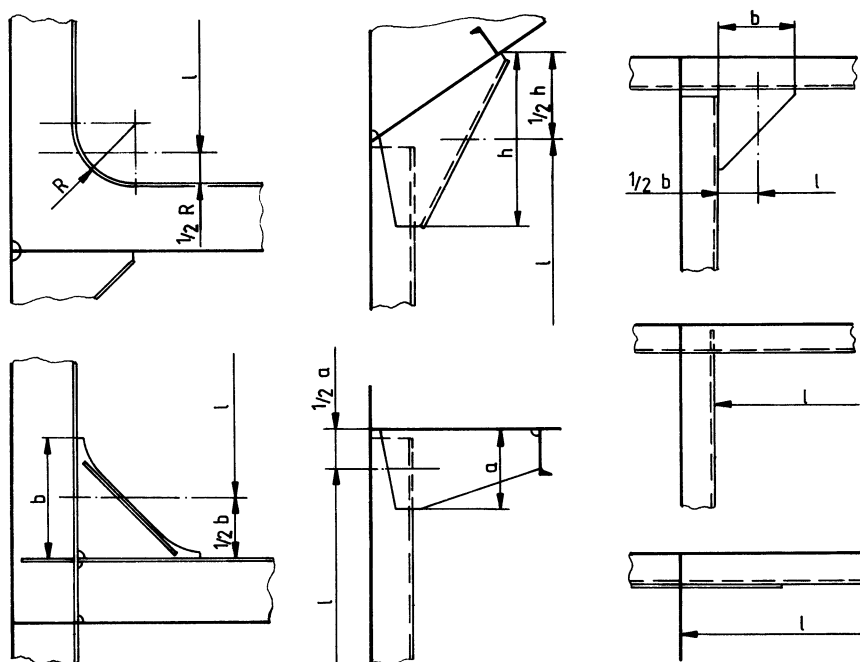
$$A_p = 10b_e t, \quad [\text{cm}^2] \quad (3.2.2.1)$$

t – średnia grubość poszycia pasa współpracującego, [mm];

b_e – szerokość pasa współpracującego, określona według wskazań podanych w 3.2.2.2, [m].

Do pola przekroju pasa współpracującego wiązara można doliczyć 50% pola poprzecznego przekroju ciągłych usztywnień równoległych do środka rozpatrywanego wiązara i leżących w obrębie szerokości b_e .

Pole przekroju pasa współpracującego poszycia dla wiązara powinno być nie mniejsze niż pole przekroju mocnika wiązara.



Rys. 3.2.1.1 Określanie rozpiętości wiązań

3.2.2.2 Jako efektywną szerokość współpracującego pasa usztywnienia należy przyjąć mniejszą z dwu wartości, określonych według wzorów:

$$b_e = \frac{1}{6} l, \quad [\text{m}] \quad (3.2.2.2-1)$$

$$b_e = 0,5 (s_1 + s_2), \quad [\text{m}] \quad (3.2.2.2-2)$$

l – rozpiętość usztywnienia, [m];

s_1, s_2 – odległości od rozpatrywanego usztywnienia do sąsiednich usztywnień znajdujących się po obu jego stronach, [m].

3.2.2.3 Efektywną szerokość pasa współpracującego wiązara zwykłego należy określać według wzoru:

$$b_e = K b, \quad [\text{m}] \quad (3.2.2.3)$$

$b = 0,5 (b_1 + b_2), [\text{m}];$

b_1, b_2 – odległość od rozpatrywanego wiązara do najbliższych wiązarów tego samego rodzaju, rozmieszczonych po obu jego stronach, [m];

K – współczynnik określony według tabeli 3.2.2.3 w zależności od zredukowanej rozpiętości l_z wiązara oraz od liczby n równomiernie i prostopadle rozmieszczonych usztywnień podpieranych przez rozpatrywany wiązara;

$l_z = l$ – w przypadku wiązara swobodnie podpartego na obu jego końcach, [m],

$l_z = 0,6l$ – w przypadku wiązara utwierdzonego na obu końcach, [m].

Tabela 3.2.2.3
Wartości współczynnika K

Liczba usztywnień n	Stosunek l_z/b						
	1	2	3	4	5	6	7 i więcej
≥ 6	0,38	0,62	0,79	0,88	0,94	0,98	1
≤ 3	0,21	0,40	0,53	0,64	0,72	0,78	0,80

Dla pośrednich wartości stosunku l_z/b oraz liczby n współczynnik K może być określony przez interpolację liniową.

3.2.2.4 W przypadku zakrzywionych mocników usztywnień lub wiązarów efektywne pole przekroju A_e mocnika należy wyznaczać ze wzoru:

$$A_e = c \cdot b_m \cdot t_m, \quad [\text{mm}^2] \quad (3.2.2.4-1)$$

gdzie:

b_m – szerokość mocnika, [mm],

t_m – grubość mocnika, [mm],

c – współczynnik liczbowy obliczony ze wzoru (we wzorze 3.2.2.4-1 należy przyjmować $c \leq 1$):

$$c = c_1 \frac{\sqrt{r \cdot t_m}}{b} \quad (3.2.2.4-2)$$

r – promień krzywizny mocnika, [mm];

$b = b_m$, [mm] – dla mocników asymetrycznych;

$b = 0,5(b_m - t_s)$, [mm] – dla mocników symetrycznych;

t_c – grubość środnika, [mm],

c_1 – współczynnik o wartościach podanych w tabeli 3.2.2.4, w zależności od argumentu:

$$\beta = \frac{1,29 \cdot b}{\sqrt{r \cdot t_m}} \quad (3.2.2.4-3)$$

Uwaga: wzór 3.2.2.4-1 należy także stosować przy określaniu efektywnego pola przekroju zakrzywionego poszycia podpieranego przez usztywnienie, przyjmując $b_m = s = b$ (s – odstęp usztywnień) oraz $t_m = t$ (t – grubość poszycia).

Tabela 3.2.2.4
Wartości współczynnika c_1

β	0,2	0,25	0,3	0,4	0,45	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	$\geq 1,6$
c_1	3,21	2,57	2,14	1,84	1,61	1,43	1,29	1,08	0,94	0,83	0,76	0,70	0,60	0,59

Uwaga: dla pośrednich wartości β współczynnik c_1 należy wyznaczać stosując interpolację liniową.

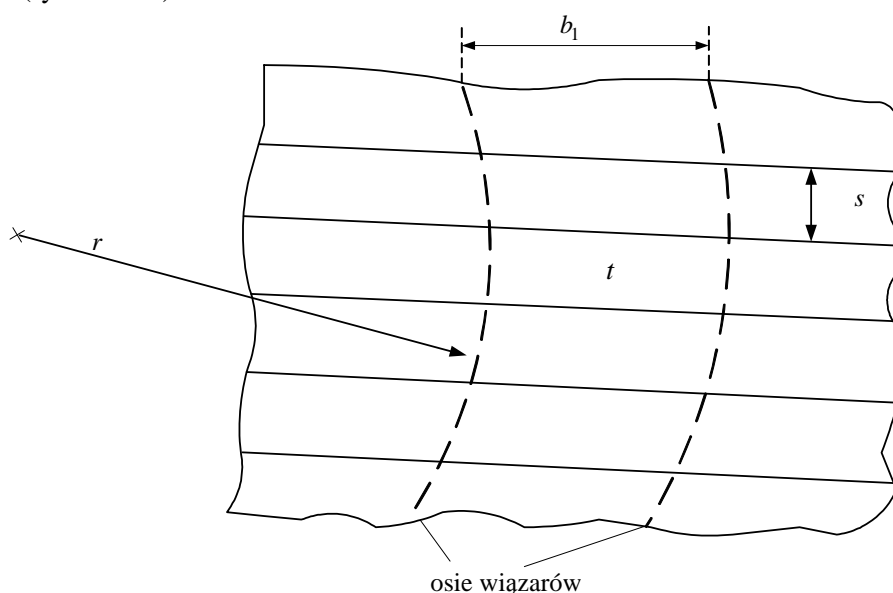
3.2.2.5 Efektywne pole przekroju A_e mocników zakrzywionych wiązarów podpartych przez węzłówki spawane do środników lub efektywne pole przekroju A_e zakrzywionego poszycia podpieranego przez wiązary i usztywnienia w kierunku poprzecznym do wiązarów (rys. 3.2.2.5) należy obliczać ze wzoru:

$$A_e = \frac{3r t_m + c \cdot s^2}{3r t_m + s^2} \cdot t_m \cdot b_m, \quad [\text{mm}^2] \quad (3.2.2.5)$$

gdzie:

r , t_m , c – jak w 3.2.2.4; obliczając efektywne pole A_e pasa zakrzywionego poszycia stanowiącego mocnik wiązara należy we wzorze 3.2.2.5 przyjmować $b_m = b_1$, $t_m = t$ (b_1 , t – patrz rys. 3.2.2.5);

s – odstęp usztywnień poszycia lub węzłówek podpierających mocnik, [mm] (rys. 3.2.2.5)



Rys. 3.2.2.5

3.2.2.6 Szerokość b_e pasa współpracującego wiązarów grodzi profilowanej prostopadłych do jej elementów należy przyjmować jako równą, odpowiednio: $15t$ – w przypadku profili trapezowych i $20t$ – w przypadku profili falistych lub jako równą $0,1b$ (w obu przypadkach), w zależności od tego, która wartość jest mniejsza.

„ b ” oznacza szerokość pasa współpracującego obliczoną według 3.2.2.3, a t – grubość poszycia grodzi profilowanej.

3.2.2.7 Szerokość pasa współpracującego b_e zrębnicy łuku ładowni należy przyjmować jako równą $1/12$ jej rozpiętości. Przyjęta wartość b_e powinna być nie większa od połowy odległości zrębnicy łuku od burty w przypadku zrębnic wzdłużnych lub połowy odległości między zrębnicą a najbliższą grodzią poprzeczną w przypadku zrębnic poprzecznych.

3.2.3 Efektywne pole poprzecznego przekroju łożadka

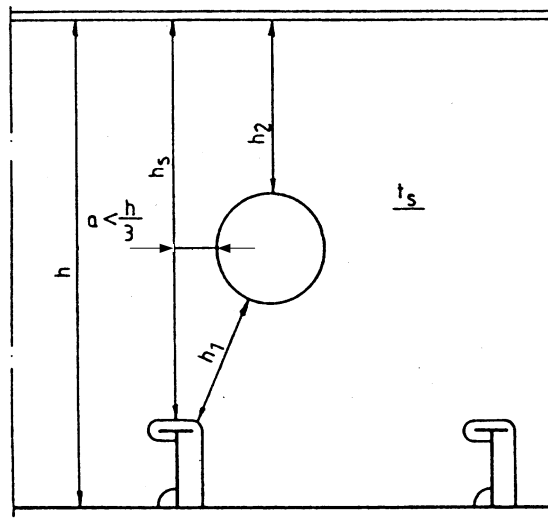
Efektywne pole poprzecznego przekroju łożadka należy określać wg wzoru:

$$A_s = 0,01h_s t_s \quad , \text{ [cm}^2\text{]} \quad (3.2.3)$$

t_s – grubość łożadka, [mm];

h_s – wysokość łożadka netto, [mm].

Wysokość łożadka netto, h_s , należy określać odejmując wycięcia i otwory w rozpatrywanym przekroju. Jeżeli krawędź otworu w łożadku znajduje się bliżej niż $h/3$ od rozpatrywanego przekroju, to należy jako h_s przyjąć mniejszą z dwóch wielkości: h_s i $(h_1 + h_2)$, pokazanych na rysunku 3.2.3.



Rys. 3.2.3 Określanie wysokości netto łożadka

3.2.4 Wskaźniki przekroju i momenty bezwładności poprzecznego przekroju usztywnień i łożadków

Wymagane w niniejszej części *Przepisów* wskaźniki i momenty bezwładności poprzecznego przekroju usztywnień i łożadków odnoszą się do osi obojętnej równoległej do poszycia.

Jeżeli łożadko wiązania nie jest prostopadłe do poszycia, to przy $\alpha < 15^\circ$ (α – kąt pomiędzy płaszczyzną prostopadłą do poszycia a płaszczyzną łożadka) wartość wskaźnika względem osi równoległej do poszycia można w przybliżeniu określić mnożąc wskaźnik przekroju usztywnienia prostopadłego do poszycia przez $\cos \alpha$.

Jeżeli nie podano inaczej, pas współpracujący uwzględniany w obliczeniach należy określać zgodnie z 3.2.2.

Uwaga: Wskaźnik przekroju elementów grodzi profilowanej można obliczyć z następujących przybliżonych zależności:

- dla elementu o szerokości s_1 grodzi profilowanej o przekroju trapezowym:

$$W = \frac{ht}{2} \left(s_2 + \frac{s_3}{3} \right), \quad [\text{cm}^3] \quad (3.2.4-1)$$

h, t – patrz rys. 3.2.4 a, [mm];

s_2, s_3 – patrz rys. 3.2.4 a, [m];

- dla elementu o szerokości s grodzi profilowanej falistej:

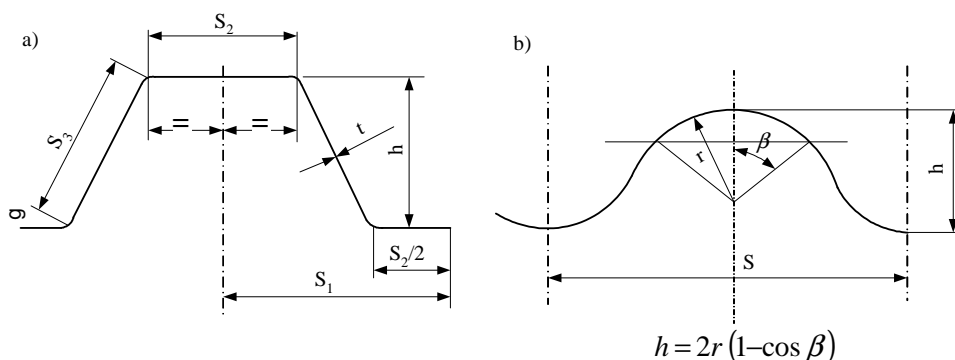
$$W = ctr^2, \quad [\text{cm}^3]$$

$$s = 4r \sin \beta \quad (3.2.4-2)$$

$$c = 2 \frac{\beta + 2\beta \cos^2 \beta - 1,5 \sin 2\beta}{1 - \cos \beta}$$

t, r, s – patrz rys. 3.2.4 b, [cm];

β – patrz rys. 3.2.4 b, [radiany].



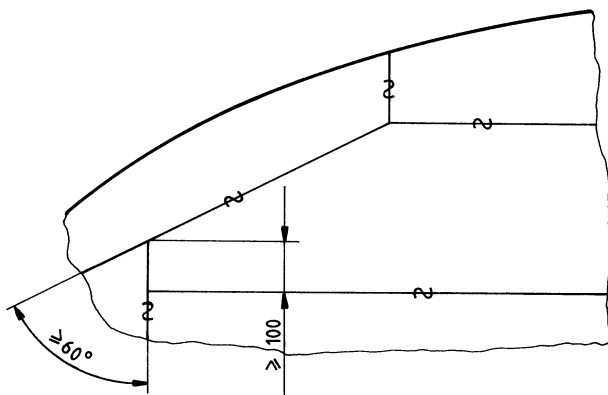
Rys. 3.2.4

3.3 Szczegóły konstrukcji spawanych

3.3.1 Rozmieszczenie szwów spawanych

Należy unikać skupienia szwów i ich krzyżowania się pod ostrym kątem oraz małych odstępów między równoległymi spoinami czołowymi lub między spoiną pachwinową i równoległą do niej spoiną czołową. Odstępy między równoległymi spoinami, niezależnie od ich kierunków, powinny wynosić co najmniej:

- 200 mm między spoinami czołowymi,
 - 75 mm między spoiną pachwinową i czołową,
 - 50 mm między spoiną pachwinową i czołową na długości nie większej niż 2 m.
- Kąt między spoinami czołowymi powinien być nie mniejszy niż 60° (rys. 3.3.1).

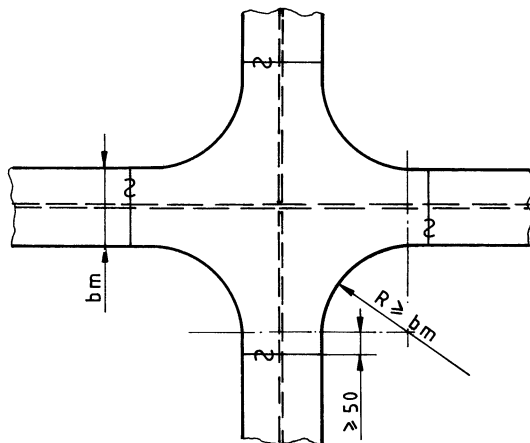


Rys. 3.3.1 Rozmieszczenie szwów spawanych

Odległość szwów (styków) płyt poszycia burt i pokładów od równoległych do nich grodzi, pokładów, poszycia dna wewnętrznego, wiązań ramowych itp. powinna być nie mniejsza od większej z dwóch następujących wartości: $5t$ (t – grubość płyty) lub 100 mm. Dla szwów (styków) montażowych odległość ta powinna być nie mniejsza niż 200 mm.

3.3.2 Połączenia mocników

Połączenia mocników krzyżujących się wiązarów, które przenoszą obciążenia dynamiczne oraz wiązarów pokładów wytrzymałościowych i dna pojedynczego w środkowej części okrętu, a także innych wysoko obciążonych wiązarów należy wykonać płynnymi przejściami za pomocą płyt diamentowych o grubościach nie mniejszych od grubości łączonych mocników wiązarów (patrz rys. 3.3.2).



Rys. 3.3.2 Połączenie mocników wiązarów

3.4 Ciągłość konstrukcji

3.4.1 Wymagania ogólne

Należy zachować ciągłość konstrukcji wiązań kadłuba. Zmiany kształtu lub przekroju oraz grubości wiązań powinny być łagodne.

3.4.2 Ciągłość wiązań wzdłużnych

3.4.2.1 W kierunku wzdłużnym kadłuba należy stosować łagodne zmiany wymiarów kształtowników i grubości płyt wiązań wzdłużnych. Nie należy stosować zmiany układu i wymiarów wiązań pokładu wytrzymałościowego, dna, burt i grodzi wzdłużnych w rejonach, w których zmieniają się własności wytrzymałościowe stali.

3.4.2.2 Długość swobodnego odcinka poszycia między zakończeniem usztywnienia a biegnącym prostopadle do niego środkiem wiązara lub innego usztywnienia powinna być możliwie mała; nie powinna ona przekraczać wartości $4t$ lub 60 mm, zależnie od tego, która wartość jest mniejsza (t – grubość poszycia, [mm]).

3.4.3 Połączenia

Przy połączeniach wiązań ramowych ze sobą zaleca się stosować węzłówki (przejścia) zaokrąglone. W miejscach zakończeń węzłówek średnik wiązania ramowego należy usztywnić.

3.5 Otwory w elementach konstrukcyjnych

3.5.1 Wymagania ogólne

3.5.1.1 Sumaryczna wysokość wycięć (otwory ulżeniowe, wycięcia do przejścia wiązań itp.) w jednym przekroju wiązania powinna być nie większa niż 0,4 jego wysokości. W uzasadnionych przypadkach wartość tę można zwiększyć w środkowej części rozpiętości, nie więcej jednak niż do 0,6 wysokości wiązania.

3.5.1.2 Odległość krawędzi wszystkich otworów w wiązarach od krawędzi wycięć na przejście usztywnień powinna być nie mniejsza od wysokości tych usztywnień.

3.5.1.3 Otwory w średnikach usztywnień i wiązarów powinny znajdować się w odległości nie mniejszej niż wysokość średnika od końca węzłówki mocującej usztywnienie lub wiązar.

3.5.1.4 W średnikach wiązań znajdujących się wewnątrz zbiorników powinny być przewidziane otwory zapewniające swobodny przepływ cieczy do końcówek ssących i powietrza do rur odpowietrzających. Otwory te powinny znajdować się możliwie blisko dna i pokładu. Otwory w wiązaniach wzdłużnych dna i pokładu zaleca się wykonywać o kształcie eliptycznym, przy odstępnie od poszycia dna i pokładu nie mniejszym niż 20 mm. Wysokość otworów, zarówno dochodzących,

jak też nie dochodzących do poszycia, powinna być nie większa niż 0,25 wysokości średnika wiązania i nie powinna przekraczać 75 mm. Długość otworów powinna być nie większa niż 150 mm.

3.5.1.5 Naroża wszelkich otworów w wiązaniach należy zaokrąglić, przy czym promień zaokrąglenia powinien być nie mniejszy od dwóch grubości płyty.

3.5.1.6 Każdy otwór w burcie, grodzi wzdłużnej lub wiązarze wzdłużnym, znajdujący się poniżej pokładu wytrzymałościowego, powinien być oddalony od tego pokładu i/lub zakończenia zaokrąglenia mocnicy burtowej o odległość nie mniejszą niż podwójna wysokość/szerokość tego otworu.

3.5.1.7 Małe otwory nie powinny znajdować się w pobliżu innych otworów we wzdłużnych wiązaniach wytrzymałościowych. Nie wzmocnione krawędzie małych otworów powinny być oddalone od siebie w kierunku poprzecznym na odległość nie mniejszą od czterokrotnej ich szerokości.

3.5.1.8 Otwory w usztywnieniach wzdłużnych powinny mieć kształt eliptyczny i nie powinny przylegać do spawanych styków usytuowanych na tych usztywnieniach.

3.5.2 Wzmocnienia krawędzi otworów dna i pokładu

3.5.2.1 Podane niżej wymagania odnoszą się do otworów w pokładzie wytrzymałościowym i w dnie zewnętrznym w środkowej części okrętu, o współrzędnych $-0,3 L_0 < x < 0,3 L_0$. Wymagania odnoszące się do kształtu i wzmocnień naroży luków podane są w 8.5.

3.5.2.2 Otwory okrągłe o średnicy większej niż 0,325 m powinny mieć wzmocnione krawędzie. Pole przekroju elementów wzmocniających krawędzie otworów powinno być nie mniejsze od obliczonego wg wzoru:

$$A_0 = 2,5dt, \quad [\text{cm}^2] \quad (3.5.2.2)$$

d – średnica otworu, [m];

t – grubość płyty, [mm].

3.5.2.3 Otwory eliptyczne o szerokości większej niż 0,5 m powinny mieć wzmocnione krawędzie, jeżeli stosunek długości do szerokości jest mniejszy niż 2. Wzmocnienia powinny odpowiadać określonym wyżej wymaganiom dla otworów okrągłych, gdzie jako d należy przyjąć szerokość otworu.

3.5.2.4 Otwory prostokątne lub zbliżone do prostokątnych powinny mieć krawędzie wzmocnione według wymagań 3.5.2.2, gdzie jako d należy przyjąć szerokość otworu. Naroża tych otworów powinny spełniać następujące wymagania:

– dla naroży zaokrąglonych promień zaokrąglenia powinien być nie mniejszy od obliczonego wg wzoru:

$$R = 0,2b, \quad [\text{m}] \quad (3.5.2.4)$$

b – szerokość otworu, przy czym powinno być $b \geq 0,4$, [m];

– dla naroży o linii opływowej poprzeczny zakres zaokrąglenia (mierzony prostopadle do płaszczyzny symetrii okrętu) powinien być nie mniejszy od $0,15b$.

3.6 Konstrukcja wiązarów teowych

3.6.1 Wymagania ogólne

3.6.1.1 Wymagania podrozdziału 3.6 dotyczą wiązarów wykonanych w formie teowników lub dwuteowników.

3.6.1.2 Wysokość h i grubość t_s środnika wiązarów (jak również wręgów poprzecznych i usztywnień wzdłużnych spawanych z oddzielnych środników i mocników) oraz ich pole przekroju poprzecznego są objęte wymaganiami zawartymi w poszczególnych rozdziałach niniejszej części *Przepisów*.

3.6.1.3 Środnik i mocnik wiązara należy usztywnić za pomocą węzłówek przeciwskrętnych, wg wymagań podrozdziału 3.6.4. Może być również wymagane usztywnianie środnika za pomocą usztywnień równoległych lub prostopadłych do mocnika, wg 3.6.3, o ile w innych miejscach niniejszej części *Przepisów* nie postanowiono inaczej.

3.6.2 Mocniki wiązarów

3.6.2.1 Nie podparta szerokość mocnika wiązara, b , mierzona od środnika, nie powinna być większa niż szerokość obliczona wg wzoru:

$$b = \frac{200t_m}{\sqrt{R_e}} c, \quad [\text{mm}] \quad (3.6.2.1)$$

t_m – grubość mocnika, [mm];

c = 1,0 dla stali;

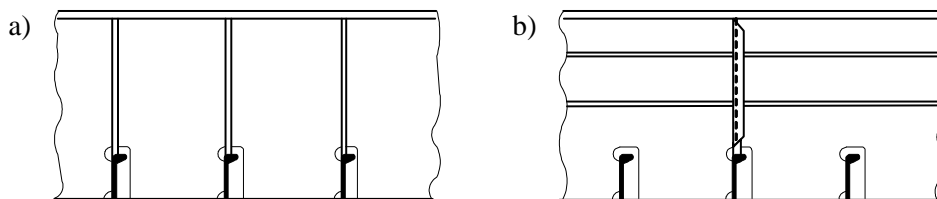
c = 0,58 dla stopów aluminium.

3.6.2.2 Grubość mocnika nie powinna przekraczać potrójnej grubości środnika.

3.6.3 Usztywnienia wiązarów

3.6.3.1 Środniki wiązarów powinny spełniać kryteria stateczności wg wymagań 13.6.4.2. Jeżeli stosunek wysokości środnika wiązara, h , do jego grubości, t_s , jest większy od $890/\sqrt{R_e} c$ ($c = 1,0$ dla stali; $c = 0,58$ dla stopów aluminium), to środnik wiązara powinien być usztywniony, niezależnie od podparcia węzłówkami przeciwskrętnymi rozmieszczonymi wg 3.6.4.

Środnik wiązara można usztywnić za pomocą usztywnień prostopadłych do mocnika i węzłówek przeciwskrętnych (rys. 3.6.3.1 a) albo usztywnień równoległych do mocnika (rys. 3.6.3.1 b).



Rys. 3.6.3.1 Sposoby usztywnienia środnika wiązara

3.6.3.2 Usztywnienia środników wiązarów pokazane na rys. 3.6.3.1 powinny spełniać wymagania podrozdziału 13.5.3 dotyczące stateczności, dla obliczeniowych wartości naprężeń wyznaczonych wg 13.3.2.7 i 13.3.2.10.

3.6.3.3 W celu spełnienia kryteriów stateczności środników wiązarów może być wymagane obramowanie lub wzmocnienie otworów w środnikach w sposób podany w 13.4.3.10 lub 13.4.3.11.

3.6.4 Węzłówki przeciwskrętne

3.6.4.1 Węzłówki przeciwskrętne wiązarów powinny być zamontowane – niezależnie od usztywnień, o których mowa w 3.6.3 – w końcowych częściach wiązara (w rejonie występowania zaokrąglonych lub trapezowych kształtów środnika), w linii rozpór wiązara oraz w pozostałej części rozpiętości wiązara.

3.6.4.2 W każdym przypadku odstęp węzłówek przeciwskrętnych nie powinien przekraczać 3 m lub $15 b_m$ (b_m – pełna szerokość mocnika wiązara), w zależności od tego, która wartość jest mniejsza.

3.6.4.3 Grubość węzłówek przeciwskrętnych powinna być nie mniejsza niż grubość środnika wiązara spełniająca kryteria obowiązujące w niniejszych *Przepisach*.

3.6.4.4 Węzłówki przeciwskrętne powinny być doprowadzone do mocnika wiązara i spawane do niego, jeżeli szerokość mocnika po jednej stronie środnika wiązara przekracza 150 mm. Jeżeli szerokość mocnika po przeciwnej stronie środnika także przekracza 150 mm, to w płaszczyźnie węzłówki przeciwskrętnej należy przy mocniku zamontować małą węzłóvkę.

3.6.4.5 Szerokość węzłówki przeciwskrętnej mierzona przy podstawie powinna być nie mniejsza niż połowa jej wysokości.

3.6.4.6 Jeżeli długość swobodnej krawędzi węzłówki przeciwskrętnej l_k przekracza $60 t_{wp}c$ (t_{wp} – grubość węzłówki przeciwskrętnej, [mm]; $c = 1,0$ dla stali; $c = 0,58$ dla stopów aluminium), to wzdłuż tej krawędzi należy zastosować mocnik lub zagięcie. Pole poprzecznego przekroju mocnika lub zagięcia powinno być nie mniejsze od pola obliczonego wg wzoru:

$$f_k = 0,01l_k, \quad [\text{cm}^2] \quad (3.6.4.6)$$

l_k – długość swobodnej krawędzi, [mm].

4 POŁĄCZENIA ELEMENTÓW KONSTRUKCYJNYCH

4.1 Zasady ogólne

4.1.1 W niniejszym rozdziale podano wymagania dotyczące typów i wymiarów spoin, połączeń spawanych i połączeń stal/stopy aluminium.

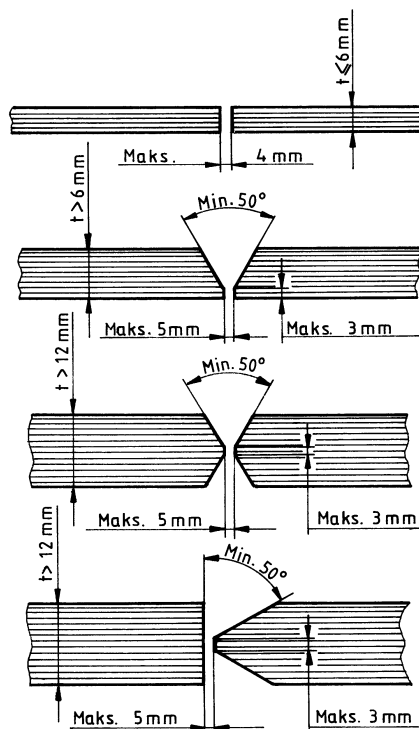
4.1.2 Niezależnie od wymagań określonych w niniejszym rozdziale należy spełnić wymagania podane w *Części IX – Materiały i spawanie* dotyczące materiałów spawalniczych, metod spawania, kwalifikacji spawaczy, kontroli jakości spoin oraz zabezpieczenia przed wpływami atmosferycznymi w czasie wykonywania spawania.

4.1.3 Kolejność spawania należy zaprojektować tak, aby zapewnić możliwie dużą swobodę kurczenia się materiału.

4.2 Typy i wymiary spoin

4.2.1 Złącza doczołowe

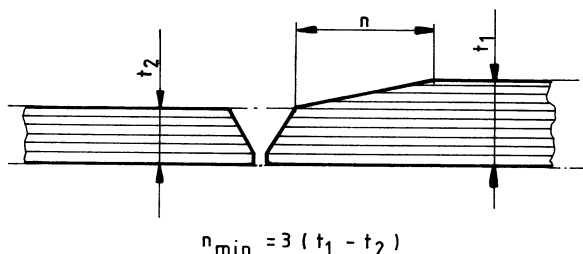
4.2.1.1 Złącza doczołowe łączonych płyt poszycia o równej grubości powinny mieć krawędzie przygotowane jak podano na rys. 4.2.1.1.



Rys. 4.2.1.1 Przygotowanie krawędzi do spawania ręcznego złączy doczołowych

4.2.1.2 Przy łączeniu doczołowym płyt, których różnica grubości jest większa niż 3 mm, należy wykonać redukcję grubości płyty grubszej przez ukosowanie z nachyleniem nie większym niż 1 : 3. Po przeprowadzonej redukcji należy przygotować krawędzie jak dla płyt równej grubości (patrz rys. 4.2.1.2).

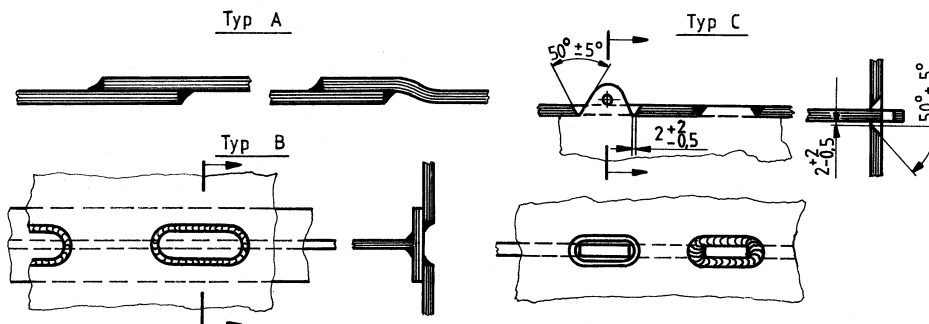
4.2.1.3 W zasadzie wszystkie rodzaje złączy doczołowych powinny być spawane dwustronnie. Przed spawaniem z drugiej strony grań spoiny należy wyciąć do czystego metalu. Po odrębnym rozpatrzeniu przez PRS można zastosować jednostronne spawanie złączy doczołowych w konstrukcjach nisko obciążonych oraz jeżeli podpawanie jest niemożliwe.



Rys. 4.2.1.2 Przygotowanie krawędzi do spawania blach o różnych grubościach

4.2.2 Złącza zakładkowe i otworowe

4.2.2.1 Przykłady typowych złączy zakładkowych i otworowych podano na rys. 4.2.2.1.



Rys. 4.2.2.1 Złącza zakładkowe i otworowe

4.2.2.2 Typ A (złącze zakładkowe) może być stosowany przy spawaniu węzłówek do końców usztywnień w przypadkach połączeń normalnie obciążonych, poza rejonem zwiększonych drgań.

4.2.2.3 Typ B (złącze otworowe) i typ C (złącze otworowe na czop) można stosować dla połączeń poszycia z usztywnieniami wewnętrznymi – w miejscach, w których spawanie pachwinowe złącza teowego jest niemożliwe. Wymiary otworów oraz odstęp między nimi podlegają odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

4.2.2.4 Połączenia zakładkowe należy wykonywać spoiną ciągłą na obwodzie, przyjmując $\alpha = 0,4$ – patrz 4.2.3.1. Szerokość zakładki w połączeniu powinna być nie mniejsza od obliczonej wg wzoru:

$$b = 2s + 25, \quad [\text{mm}]$$

i w każdym przypadku nie mniejsza niż 50 mm (s – grubość cieńszego elementu, [mm]).

4.2.3 Spoiny pachwinowe

4.2.3.1 Grubość obliczeniowa a spoin pachwinowych (patrz rys. 4.2.3.1) powinna być nie mniejsza od określonej wg wzoru:

$$a = \alpha\beta s, \quad [\text{mm}] \quad (4.2.3.1)$$

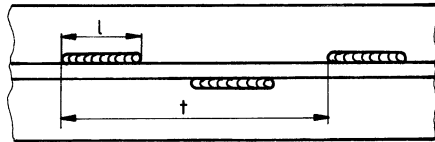
α – współczynnik wytrzymałości spoiny według tabeli 4.2.3.1-1;

β – współczynnik dobierany według tabeli 4.2.3.1-2;

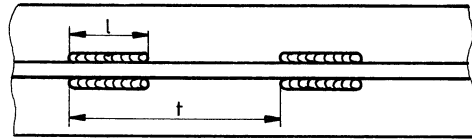
s – grubość cieńszego elementu dostawianego, [mm].

Grubość spoiny pachwinowej, a , powinna być także nie mniejsza niż:

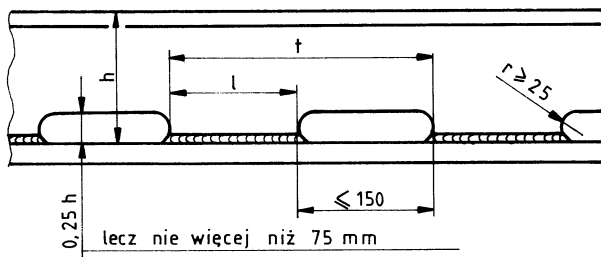
2,5 mm	dla	$s = 4$ mm,
3,0 mm	dla	$4 < s \leq 10$ mm,
3,5 mm	dla	$10 < s \leq 15$ mm,
0,25s	dla	$s > 15$ mm.



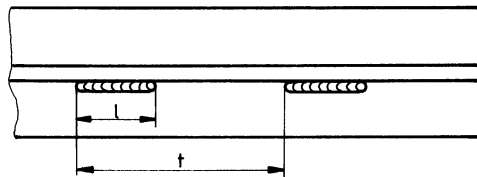
a) spoina przestawna



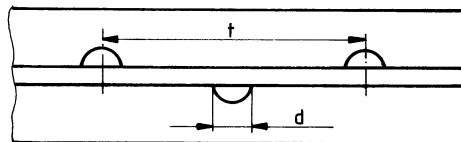
b) spoina symetryczna przerywana



c) spoina z podkrojami



d) spoina jednostronna przerywana



e) spoina przestawna kropłowa

f) Określenie grubości a spoiny pachwinowej

Rys. 4.2.3.1 Typy spoin pachwinowych

Tabela 4.2.3.1-1

Lp.	Określenie połączenia	α^1
1	2	3
1.	Konstrukcja dna	
1.1	Wzdłużnik środkowy z poszyciem dna zewnętrznego i wewnętrznego, dno wewnętrzne z poszyciem zewnętrznym	0,40
1.2	Denniki szczelne i części wzdłużników dennych ograniczających zbiorniki	0,35
1.3	Denniki i denne wzdłużniki boczne między sobą oraz z poszyciem dna zewnętrznego i wewnętrznego – w rejonie $0,25 L_0$ od pionu dziobowego oraz w obrębie maszynowni	0,25
1.4	Denniki i denne wzdłużniki boczne między sobą oraz z poszyciem dna zewnętrznego i wewnętrznego – w pozostałych rejonach	0,20
2	Zład burtowy	
2.1	Wręgi (w tym ramowe) i wzdłużniki burtowe z poszyciem zewnętrznym w rejonie $0,25 L_0$ od pionu dziobowego, w zbiornikach, w maszynowni, w obrębie wzmocnień lodowych oraz w rejonie wzmocnień burtowych okrętów cumujących w morzu	0,17
2.2	Jak wyżej – w pozostałych rejonach, poza skrajnikiem rufowym	0,13
2.3	Jak wyżej – w skrajniku rufowym	0,25
2.4	Wzdłużniki burtowe z wręgami ramowymi	0,25
3	Zład pokładu i pokład	
3.1	Pokładniki ramowe i wzdłużniki pokładowe z poszyciem	0,17
3.2	Środniki pokładników ramowych ze wzdłużnikami pokładowymi i z grodziami	0,25
3.3	Pokładniki i usztywnienia	0,15
3.4	Pokładniki wspornikowe z poszyciem	0,35
3.5	Mocnica pokładu wytrzymałościowego z mocnicą burtową	$0,45^{(2)}$
3.6	Mocnice innych pokładów i platform z poszyciem zewnętrznym	$0,35^{(3)}$
3.7	Zrębnice luków z pokładem w narożach luków	$0,45^{(2)}$
3.8	Mocniki zrębnic luków ze środknikami zrębnic	0,25
3.9	Ściany zewnętrzne i grodzie zewnętrzne nadbudówek i pokładówek z pokładem górnym	$0,35^{(3)}$
3.10	Podpory z pokładami i dnem wewnętrznym, węzłówki podpór z podporami, pokładami, dnem wewnętrznym i innymi wiązaniami	0,35
4.	Grodzie, przegrody	
4.1	Grodzie ograniczające zbiorniki do przewozu zapasów ciekłych lub balastu – wzdłuż obwodu	$0,35^{(3)}$
4.2	Usztywnienia grodzi z poszyciem – poza skrajnikami	0,15
4.3	Jak wyżej – w skrajnikach	0,25
4.4	Ramy pionowe i poziome z poszyciem – poza skrajnikami	0,17
4.5	Jak wyżej – w skrajnikach	$0,30^{(3)}$
4.6	Grodzie poprzeczne z grodziami wzdłużnymi	$0,35^{(3)}$
5	Fundamenty głównych mechanizmów i kotłów oraz uzbrojenia	
5.1	Środniki usztywnień fundamentów z poszyciem zewnętrznym, dnem podwójnym i pokładem	$0,35^{(2)}$
5.2	Główne płyty nośne (mocniki) ze środknikiem	$0,45^{(2)}$
5.3	Węzłówki fundamentów ze środknikami usztywnień, z poszyciem zewnętrznym, z dnem wewnętrznym i z pokładem	$0,35^{(2)}$
5.4	Węzłówki z ich mocnikami	0,25

1	2	3
6	Inne połączenia	
6.2	Węzłówki łączące ze sobą elementy zładu	0,35
6.1	Końce dźwigarów w obrębie 0,15 ich rozpiętości od podparcia	0,25

- 1) Wszystkie połączenia spawane konstrukcji wodoszczelnych należy wykonywać dwustronną spoiną ciągłą.
- 2) Należy zastosować spoiny z pełnym przetopem.
- 3) Wymagana jest dwustronna spoina ciągła.

Tabela 4.2.3.1-2

Lp.	Typ spoiny pachwinowej	β
1	Dwustronna ciągła	1.0
2	Przestawna przerywana, symetryczna przerywana, z podkrojami	t/l
3	Jednostronna ciągła	2.0
4	Jednostronna przerywana	$2 t/l$

t – podziałka spoiny,

l – długość spoiny (patrz rys. 4.2.3.1).

4.2.3.2 W połączeniach silnie obciążonych krawędzie płyt powinny być ukosowane dla zapewnienia spawania z pełnym przetopem lub głębokim wtopem. Pełny przetop należy zastosować na przykład w następujących połączeniach:

- mocnicy pokładu wytrzymałościowego z mocnicą burtową,
- w rejonie fundamentów mechanizmów i uzbrojenia (patrz tabela 4.2.3.1-1),
- zębnic luków z pokładem w narożach luków,
- wsporników steru i wsporników wału śrubowego z poszyciem kadłuba,
- poszycia płetwy steru z kołnierzem łączącym płetwę steru z trzonem sterowym.

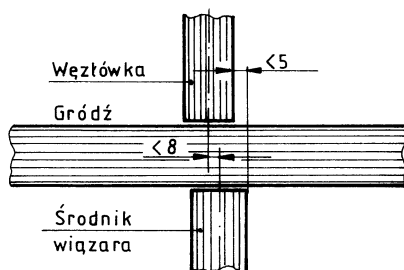
4.2.3.3 W takich połączeniach, jak:

- połączenie grodzi poprzecznej z dnem podwójnym,
- wiązania dna podwójnego pod grodzią,
- połączenie wiązań (w celu uzyskania ich ciągłości) ze środnikami konstrukcji, na której są przerwane,

należy zwiększyć grubość spoiny pachwinowej lub zastosować spoinę z pełnym przetopem.

4.2.3.4 Grubość spoiny i przekrój połączeń spawanych silnie obciążonych podlega odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

4.2.3.5 Elementy konstrukcyjne i części wiązań przerwane na poszyciu lub na krzyżujących się z nimi konstrukcjach powinny znajdować się w jednej płaszczyźnie. Maksymalne przesunięcie płaszczyzn przerwanych elementów konstrukcyjnych i wiązań nie powinno być większe od połowy ich grubości i nie powinno wynosić więcej niż jest to określone na rys. 4.2.3.5.



Rys. 4.2.3.5 Przesunięcie płaszczyzn

4.2.3.6 Spoiny obustronnie ciągłe wymagane są:

- dla połączeń wodoszczelnych, olejuszczelnych, struguszczelnych;
- w rejonie $0,25 L_0$ od pionu dziobowego – do spawania elementów zładu z poszyciem dna;
- w obrębie pasa lodowego okrętów ze wzmocnieniami lodowymi **L1A**, **L1** i **L2** (patrz część C, p. 11.1.2.2);
- do spawania zładu burtowego z poszyciem zewnętrznym;
- w rejonie podpór i na końcach elementów;
- w konstrukcjach fundamentowych i podporowych dla urządzeń maszynowych i uzbrojenia;
- dla wszystkich połączeń w skrajniku rufowym;
- dla połączeń w płetwie sterowej, z wyjątkiem przypadków, gdzie konieczne jest zastosowanie spawania otworowego;
- dla połączenia dennego wzdłużnika środkowego z płytą stępki.

4.2.3.7 Spoiny przerywane mogą być stosowane w połączeniach mniej obciążonych – w przestrzeniach suchych i zbiornikach paliwowych.

4.2.3.8 W zbiornikach balastowych lub wody słodkiej, w przestrzeniach, gdzie woda może się gromadzić lub skraplać, a także w przestrzeniach pustych, zamkniętych, zagrożonych korozją (np. stery) należy stosować spoiny ciągłe – dla połączeń mocno lub dynamicznie obciążonych, albo spoiny podkrojowe – dla połączeń mniej obciążonych.

4.2.3.9 Długość l spoiny przerywanej (patrz rys. 4.2.3.1) powinna być nie mniejsza niż $15a$ i powinna wynosić co najmniej 50 mm. Odstęp między odcinkami spoin (wynoszący $t - l$ dla spoin symetrycznych i podkrojowych, a $\frac{t - 2l}{2}$ dla

spoin przestawnych) powinien być nie większy niż $25s$ lub 150 mm – w zależności od tego, która z tych wielkości jest mniejsza (s – grubość cieńszego z łączonych elementów, [mm]). Wysokość podkroju w spoinach podkrojowych powinna być nie większa niż 0,25 wysokości kształtownika i nie większa niż 75 mm. Promień zaokrąglenia naroża podkroju powinien być nie mniejszy niż 25 mm.

4.2.3.10 W rejonie podpór, na końcach elementów zładu, przy przejściach elementów zładu przez wiązania podpierające je (pokładniki ramowe, wzdłużniki pokładowe, denniki itp.) należy stosować dwustronne spoiny ciągłe. Długość odcinków dwustronnych spoin ciągłych powinna być nie mniejsza od:

- długości węzłówki – w przypadku gdy takową zastosowano;
- podwójnej wysokości elementu – w przypadku braku węzłówek.

4.2.3.11 Podkroje we wręgach, pokładnikach, usztywnieniach itp. powinny być oddalone od końców tych elementów i podpór (dźwigarów je podpierających) co najmniej na odległość równą podwójnej wysokości kształtownika, a od końców węzłówek – co najmniej na odległość równą połowie wysokości kształtownika.

4.2.3.12 Przystawne spoiny kropłowe oraz jednostronne spoiny przerywane można stosować w połączeniach drugiej i wyższych kondygnacji nadbudówek oraz pokładowek, a także w połączeniach elementów w zamkniętych rejonach pokładów pierwszej kondygnacji nadbudówek. Jeżeli grubość elementu profilowanego lub płyty jest mniejsza niż 7 mm, to można stosować spoiny kropłowe w połączeniach konstrukcji szybów i ścian w tych rejonach kadłuba, gdzie nie występują obciążenia zmienne lub uderowe albo czynniki wywołujące wzmożoną korozję.

4.3 Połączenia elementów zładu

4.3.1 Połączenia elementów zładu kadłuba powinny być w zasadzie doczołowe.

Po uzgodnieniu z PRS można stosować połączenia na zakładkę, z wyjątkiem:

- rejonów zwiększonych drgań,
- połączeń wiązań ramowych,
- rejonów podlegających dużym obciążeniom skupionym.

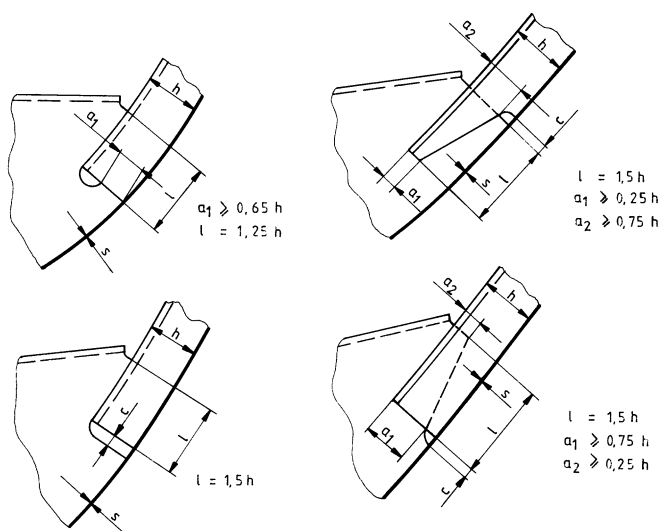
Węzłówki powinny być w zasadzie wykonane z materiału o takiej samej granicy plastyczności jak łączone z nimi elementy zładu.

4.3.2 Wymiary węzłówek – patrz 13.8.

4.3.3 Swobodne końce mocników lub zagięć węzłówek należy wytracać na długości równej szerokości mocnika lub zagięcia elementu zładu, a wielkość progu powinna być nie większa niż 3 grubości średnicy węzłówki lub 40 mm (w zależności od tego, która z tych wartości jest mniejsza).

4.3.4 W tych przypadkach gdy mocniki węzłówek przechodzą w mocniki elementów zładu, styki mocników powinny być odsunięte od końców węzłówek na odległość wynoszącą co najmniej 150 mm, a kąt między mocnikiem węzłówki i kierunkiem mocnika elementu zładu powinien być nie większy niż 45° .

4.3.5 Połączenia dolnych końców wręgów z węzłówkami obłowymi lub dennikami powinny być wykonane zgodnie ze szkicami przedstawionymi na rys. 4.3.5.



$c \leq 50 \text{ mm}$ lub $c \leq 5 s$ w zależności od tego, która wartość jest mniejsza.

Rys. 4.3.5 Połączenia dolnych końców wręgów

4.3.6 W miejscach zakończeń elementów zładu szerokość mocników i (lub) wysokość środników tych elementów, w zależności od konstrukcji węzła, należy zmniejszyć na długości równej odpowiednio 1,5 szerokości mocnika lub 1,5 wysokości środnika i pozostawić na swobodnym końcu progi:

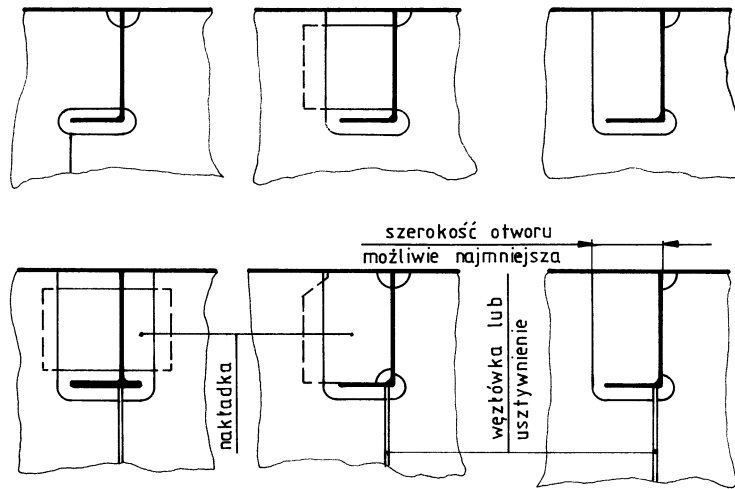
- dla mocnika – o szerokości równej jego trzem grubościom,
- dla środnika – $10 \div 15 \text{ mm}$.

Odległość między ściętym końcem elementu wiązania i najbliższym wiązaniem prostopadłym do tego elementu w zasadzie nie powinna być większa niż 25 mm.

4.3.7 Połączenie usztywnień ze środnikami wiązarów można wykonać jednym ze sposobów pokazanych na rys. 4.3.7.

Jeżeli w środniku wiązara występują duże naprężenia styczne, należy stosować połączenia z obu stron środnika usztywnienia lub usztywnić swobodną krawędź wycięcia w środniku wiązara dla przejścia usztywnienia. Jeżeli zastosowano połączenia dwustronne, to można je uwzględnić w obliczeniach czynnego przekroju poprzecznego środnika.

Grubość nakładki powinna być nie mniejsza niż 75% grubości środnika wiązara.



Rys. 4.3.7 Połączenia usztywnienia ze środkami wiązara

4.3.8 Połączenia konstrukcji z różnych materiałów

Do łączenia konstrukcji z różnych materiałów (np. stal/stopu aluminium) można stosować połączenia śrubowe lub połączenia poprzez specjalne łączniki (np. wykonane metodą wybuchową).

Połączenia takie podlegają odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS. Należy zapewnić wytrzymałość połączenia nie mniejszą od wytrzymałości połączenia śrubowego oraz skuteczną ochronę przed korozją.

5 ZASADY WYMIAROWANIA WIĄZAŃ

5.1 Zasady ogólne

5.1.1 Stopniowanie wymagań

Wymagania rozdziału 5 dotyczą analizy wytrzymałości konstrukcji kadłuba, dokonywanej w trzech zakresach szczegółowości:

- wytrzymałości miejscowej w skali pojedynczego wiązania (np. część traktowana jako płyta podparta na konturze podporowym, usztywnienie, wiązar zwykły), dla której wymagania zawarte są w rozdziale 13;
- wytrzymałości strefowej (dotyczące systemu wiązarów fragmentów dna, burty, pokładów, grodzi, itp. lub modułu kadłuba zawierającego fragmenty kilku wymienionych wyżej konstrukcji), dla której wymagania zawarte są w rozdziale 14;
- wytrzymałości ogólnej w skali całego kadłuba okrętu, dla której wymagania zawarte są w rozdziale 15.

Wymagania dotyczące analizy wytrzymałości zmęczeniowej konstrukcji kadłuba okrętu zawarte są w rozdziale 16.

5.1.2 Wytrzymałość miejscowa

Wymagania w zakresie wytrzymałości miejscowej odnoszą się do wymiarowania płyt poszycia, usztywnień, podpór, łączników, węzłówek oraz wiązarów zwykłych. Są to wiązania, dla których znane są z wystarczającą dokładnością warunki brzegowe. W związku z tym oddziaływanie reszty konstrukcji na rozpatrywane wiązanie może być uwzględnione bezpośrednio we wzorach z zakresu wymiarowania wiązań rozpatrywanej grupy.

5.1.3 Wytrzymałość strefowa

5.1.3.1 Jeżeli warunki zamocowania końców wiązarów, podpór lub łączników nie mogą być określone z wystarczającą dokładnością i tym samym wymiary wiązarów nie mogą być ustalone w oparciu o wymagania z zakresu wytrzymałości miejscowej, to ich wymiarowanie należy oprzeć na analizie strefowej wytrzymałości kadłuba.

5.1.3.2 Strefa może obejmować zarówno część pojedynczej konstrukcji (np. dna, burty), jak też kilku konstrukcji w rejonie ograniczonych grodziami jednego lub kilku przedziałów kadłuba, zbiorników lub innych pomieszczeń. Granice strefy wyznacza się tam, gdzie znane są warunki brzegowe.

5.1.3.3 Idealizacja wybranej strefy konstrukcji kadłuba polega na sprowadzeniu jej do układu podstawowych wiązarów zapewniających podparcie dla grup wiązań miejscowych.

5.1.3.4 Sprawdzenie strefowej wytrzymałości konstrukcji wymagane jest w określonych przypadkach, wyszczególnionych w niniejszej części *Przepisów*.

5.1.4 Wytrzymałość ogólna

Wymagania w zakresie wytrzymałości ogólnej okrętu dotyczące poziomu naprężeń normalnych i statycznych przy zginaniu kadłuba w płaszczyźnie pionowej. Dla okrętów o łącznej szerokości luków w przekroju poprzecznym (w środku długości luku) większej niż 0,6 szerokości pokładu wytrzymałościowego w tym przekroju, wymagane jest uwzględnienie dodatkowych naprężeń pochodzących od skręcania kadłuba i od zginania w płaszczyźnie poziomej.

5.2 Podstawy wymagań

5.2.1 Podstawowe zagadnienia

Podstawowe zagadnienia projektowania konstrukcji polegające na określeniu:

- obciążeń obliczeniowych,
 - odzewu konstrukcji na obciążenia,
 - dopuszczalnych wartości parametrów odzewu konstrukcji w odniesieniu do przyjętych kryteriów wymiarowania,
- zostały rozwiązane dla poszczególnych poziomów szczegółowości rozpatrywania konstrukcji kadłuba. Rozwiązania te tworzą podstawy, na których oparte są szczegółowe wymagania niniejszej części *Przepisów*.

5.2.2 Obciążenia konstrukcji

5.2.2.1 Przy określaniu wymagań dotyczących obliczeniowych obciążeń konstrukcji kadłuba, zawartych w niniejszej części *Przepisów*, zostało uwzględnione statyczne i dynamiczne oddziaływanie środowiska morskiego oraz zapasów i znacznych mas skupionego ładunku (np. przewożonych pojazdów) i wyposażenia okrętu. W określonych przypadkach zostały również uwzględnione obciążenia udarowe pochodzące od oddziaływania fal na kadłub.

5.2.2.2 Statyczne obciążenia obliczeniowe określone są dla zadanego położenia elementów wyposażenia okrętu oraz typowych stanów załadowania zapasami i ładunkiem (np. transportowanymi pojazdami), przedstawionych przez projektanta.

5.2.2.3 Wymagania dotyczące dynamicznych obciążeń obliczeniowych zostały określone w oparciu o długoterminową prognozę ruchów okrętu w czasie jego eksploatacji. Przyjęto, że okres eksploatacji okrętu odpowiada 10^8 spotkań okrętu z falą (cykli obciążenia) na Północnym Atlantyku. Dla okrętów z ograniczonym rejonem żeglugi przewidziano mniejsze wartości obciążeń dynamicznych, niż określone wyżej. Sposób określania tych obciążeń podano w rozdziałach 15 i 17. Jako równoważne mogą być uznane obciążenia obliczeniowe określone według uznanych teorii, badań modelowych lub pomiarów na okrętach rzeczywistych.

5.2.3 Odzew konstrukcji

5.2.3.1 Wymagania dotyczące odzewu konstrukcji w postaci naprężeń lub odkształceń w poszczególnych punktach i przekrojach wiązań miejscowych (płyt poszycia, usztywnień lub wiązarów zwykłych) zostały sformułowane w oparciu o teorię sprężystości i plastyczności, z uwzględnieniem założonych warunków brzegowych.

5.2.3.2 Grubość płyt poszycia podlegających działaniu ciśnienia powierzchniowego należy obliczać wg wzoru:

$$t = 18k_a s \sqrt{\frac{p}{\sigma}} + t_k, \quad [\text{mm}] \quad (5.2.3.2-1)$$

k_a – współczynnik poprawkowy zależny od stosunku długości boków konturu podporowego pola płytowego, obliczany według wzoru:

$$k_a = \left(1 - 0,27 \frac{s}{l}\right)^2 \quad (5.2.3.2-2)$$

zastosowana wartość k_a nie musi być większa niż 0,88,

s – długość krótszego boku pola płytowego, [m];

l – długość dłuższego boku pola płytowego, [m];

p – powierzchniowe ciśnienie obliczeniowe działające na pole płytowe, [kPa];

t_k – naddatek korozyjny (patrz 2.5), [mm];

σ – naprężenia dopuszczalne, [MPa].

5.2.3.3 Dla usztywnień podlegających działaniu ciśnienia na podpierane przez nie poszycie wymagany wskaźnik przekroju, W , ma postać funkcji warunków zamocowania ich końców oraz dopuszczalnego naprężenia przy zginaniu:

$$W = \frac{1000ql^2}{m\sigma}, \quad [\text{cm}^3] \quad (5.2.3.3)$$

$q = pb$;

p – patrz 5.2.3.2;

b – szerokość pasa poszycia podpieranego przez rozpatrywane usztywnienie, [m];

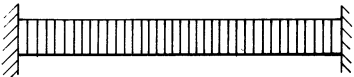
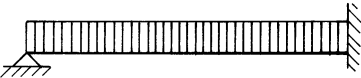

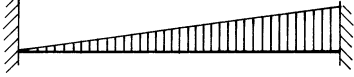
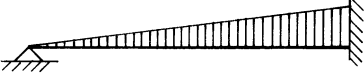
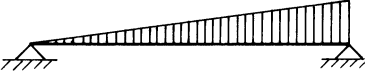
l – rozpiętość usztywnienia, [m];

σ – naprężenia dopuszczalne przy zginaniu, [MPa];

m – współczynnik momentu gnącego uwzględniający sposób zamocowania końców usztywnienia i warunki obciążenia. Wartości współczynnika m podano oddzielnie dla poszczególnych grup wiązań w rozdziale 13. Przy wymiarowaniu wiązań w zakresie odkształceń sprężystych, wartości współczynnika m określono bezpośrednio z ogólnej teorii zginania sprężystego.

W tabeli 5.2.3.3 zostały podane wartości współczynnika m dla niektórych warunków obciążenia i zamocowania końców usztywnień.

Tabela 5.2.3.3
Wartości współczynników m i k_t

Obciążenie i warunki brzegowe			Współczynniki momentów gnących i sił poprzecznych		
Położenie			1	2	3
1	2	3	m_1	m_2	m_3
podpora	ekstremum między podporami	podpora	k_{t1}	–	k_{t2}
			12,0	24,0	12,0
			0,50	–	0,50
			–	14,2	8,0
			0,38	–	0,63
			–	8,0	–
			0,50	–	0,50
			15	23,3	10
			0,30	–	0,70
			–	16,8	7,5
			0,20	–	0,80
			–	7,8	–
			0,33	–	0,67

5.2.3.4 Wymagania w zakresie pola poprzecznego przekroju usztywnienia przenoszącego obciążenia poprzeczne są podane jako funkcje warunków zamocowania końców tego usztywnienia oraz dopuszczalnego naprężenia przy ścinaniu.

Wartość pola poprzecznego przekroju usztywnienia określa się wg wzoru:

$$A = 10 \frac{k_t P}{\tau}, \quad [\text{cm}^2] \quad (5.2.3.4)$$

τ – naprężenia dopuszczalne przy ścinaniu, [MPa];

P – całkowite obciążenie poprzeczne usztywnienia, [kN];

k_t – współczynnik siły poprzecznej uwzględniający sposób zamocowania końców usztywnienia i warunki obciążenia.

W tabeli 5.2.3.3 zostały podane wartości współczynnika k_t dla niektórych warunków obciążenia i zamocowania końców usztywnień.

5.2.3.5 Wymiarowanie elementów wiązarów zginanych odbywa się według zasad podanych w 5.2.3.3 dla usztywnień. Podane wzory mają zastosowanie do wiązarów zwykłych, tzn. takich, które można modelować jako belkę jednoprzęsłową o znanych warunkach zamocowania końców.

5.2.3.6 Jeśli wiązary nie spełniają warunków podanych w 5.2.3.5, odzew konstrukcji należy określać na podstawie odpowiednich metod analizy strefowej wytrzymałości konstrukcji.

Zaleca się stosowanie skomputeryzowanych macierzowych metod analizy w oparciu o belkową idealizację konstrukcji lub w oparciu o idealizację konstrukcji za pomocą innych rodzajów elementów skończonych.

5.2.3.7 Wymagania dotyczące odzewu konstrukcji na obciążenia wywołane zginaniem ogólnym kadłuba zostały określone w oparciu o liniową teorię zginania belki prostej.

5.2.3.8 W rejonie rufy i siłowni należy przedsięwziąć odpowiednie środki dla uniknięcia nadmiernych drgań konstrukcji. Wskazówki dotyczące tego zagadnienia zawiera *Publikacja Nr 2/I – Zapobieganie drganiom na statkach*.

6 DNO

6.1 Zasady ogólne

6.1.1 Zastosowanie

Wymagania niniejszego rozdziału dotyczą konstrukcji dna podwójnego i pojedynczego.

Podrozdziały 6.2 i 6.3 dotyczą dna podwójnego a podrozdziały 6.6 i 6.7 dotyczą obu typów dna.

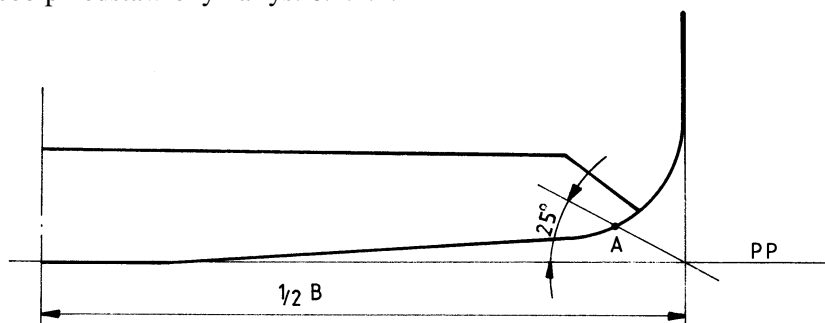
6.1.2 Zakres stosowania dna podwójnego

6.1.2.1 Zalecane jest zastosowanie dna podwójnego na okrętach, gdzie możliwa do uzyskania jest wysokość dna podwójnego nie mniejsza niż 600 mm.

6.1.2.2 Jeżeli to możliwe, to dno podwójne powinno być stosowane w przedziale od grodzi zderzeniowej do grodzi skrajnika rufowego.

6.1.2.3 Należy zapewnić w możliwie jak największym zakresie przykrycie obła dnem wewnętrznym, zwłaszcza w dziobowej części okrętu.

6.1.2.4 Na okrętach, które otrzymują znak techniczny niezatapialności, przykrycie uważa się za dostateczne, jeżeli linia przecięcia się krawężnicy z poszyciem kadłuba w żadnym punkcie nie schodzi poniżej płaszczyzny prostopadłej do PS, równoległej do linii stępki, przechodzącej na owrężu przez punkt A, wyznaczony w sposób przedstawiony na rys. 6.1.2.4.



Rys. 6.1.2.4 Przykrycie obła krawężnicą

6.2 Konstrukcja dna podwójnego

6.2.1 Wymagania ogólne

Jeżeli ramy fundamentowe silników głównych, łożysk oporowych i kotłów są przymocowane bezpośrednio do dna wewnętrznego, to denniki, wzdłużniki i poszycie dna wewnętrznego powinny spełniać odpowiednie wymagania rozdziału 12.

W obrębie silnika głównego, łożyska oporowego i kotłów konstrukcja dna powinna być odpowiednio wzmocniona.

Wzmocnienia należy stosować także pod podporami i grodziami lub ścianami podpierającymi położone powyżej konstrukcje kadłuba.

W miarę możliwości nie należy stosować pilersów ustawionych na dnie wewnętrznym a właściwe podparcie konstrukcji położonych wyżej zapewniać, jeżeli jest ono konieczne, poprzez zastosowanie grodzi podporowych i przegród.

6.2.2 Układ wiązań

6.2.2.1 Na okrętach o długości $L_0 > 100$ m dno w zasadzie powinno być usztywnione wzdłużnie. Na mniejszych okrętach dopuszczalne jest zastosowanie poprzecznego systemu wiązań.

6.2.2.2 Przy wzdłużnym układzie wiązań dna zalecane jest, aby w rejonie $-0,25 L_0 \leq x \leq 0,25 L_0$ wręgi wzdłużne przechodziły przez denniki w sposób ciągły.

Na okrętach o długości $40 \text{ m} \leq L_0 \leq 100 \text{ m}$, gdzie zastosowano wzdłużny układ dna, denne wręgi wzdłużne w rejonie $-0,25 L_0 \leq x \leq 0,25 L_0$ mogą być przerywane na dennikach, ale należy zamontować węzłówki przechodzące przez szczelinowe wycięcia w dennikach lub grodziach i łączące poszczególne odcinki wręgów wzdłużnych, lub w inny sposób zapewnić ciągłość konstrukcji.

Poza rejonem $-0,25 L_0 \leq x \leq 0,25 L_0$ na okrętach o długości $L_0 \geq 40$ m i na całej długości okrętów o długości $L_0 < 40$ m denne wręgi wzdłużne mogą być przerywane i spawane do denników.

6.2.3 Rozmieszczenie wiązarów dna podwójnego

Rozmieszczenie wzdłużników oraz denników powinno być zgodne z wymaganiami podanymi w 6.2.4 do 6.2.6.

Rozmieszczenie wiązarów w dnie podwójnym może być inne, jeżeli zostaną spełnione wymagania w zakresie wytrzymałości miejscowej (patrz rozdział 13) oraz ewentualnie strefowej (patrz rozdział 14).

6.2.4 Denny wzdłużnik środkowy i tunelowy

6.2.4.1 W płaszczyźnie symetrii okrętu należy zastosować denny wzdłużnik środkowy. Powinien on być doprowadzony możliwie daleko w kierunku dziobu i rufy. W rejonie o współrzędnych $-0,3 L_0 \leq x \leq 0,3 L_0$ wzdłużnik środkowy powinien być ciągły.

6.2.4.2 Zamiast dennego wzdłużnika środkowego można zastosować środkowy wzdłużnik tunelowy, złożony z dwóch wzdłużników umieszczonych po obu stronach płaszczyzny symetrii okrętu. Odległość między wzdłużnikami nie powinna przekraczać wartości obliczonej wg wzoru:

$$b = 0,004 L_0 + 1,0, \quad [\text{m}]. \quad (6.2.4.2)$$

PRS może wyrazić zgodę na zwiększenie tej odległości. Na poszyciu dna zewnętrznego i wewnętrznego, pomiędzy tymi wzdłużnikami, w płaszczyźnie każdego wręgu (i w odstępnie nie większym niż 0,8 m) należy stosować płyty wspornikowe lub poprzeczne usztywnienia z węzłówkami.

6.2.4.3 Jeżeli wzdłużnik tunelowy wykonany jest tylko w części długości okrętu, a w pozostałej części przechodzi w pojedynczy wzdłużnik środkowy, to oba te wzdłużniki powinny nakładać się, na długości równej co najmniej połowie wysokości dna podwójnego i być zakończone węzłówkami z mocnikami. Jeżeli przejście to znajduje się w rejonie o współrzędnych $-0,3L_0 \leq x \leq 0,3L_0$, to długość węzłówek powinna być równa co najmniej wysokości dna podwójnego, w innym przypadku – co najmniej $2/3$ wysokości dna podwójnego.

6.2.5 Rozmieszczenie wzdłużników bocznych

6.2.5.1 Odległość między wzdłużnikiem bocznym a krawężnicą lub wzdłużnikiem środkowym albo tunelowym oraz odległość między poszczególnymi wzdłużnikami bocznymi w dnie podwójnym powinna być nie większa niż:

- 5 m – przy wzdłużnym układzie wiązań,
- 4 m – przy poprzecznym układzie wiązań.

6.2.5.2 Wzdłużniki boczne powinny sięgać tak daleko w kierunku dziobu i rufy jak tylko jest to możliwe. Powinny one kończyć się na dennikach lub grodziach. Po przeciwnej stronie tych denników lub grodzi należy zastosować węzłówki będące przedłużeniem wzdłużników na długości nie mniejszej niż odstęp wręgowy.

6.2.5.3 Wzdłużniki w siłowni powinny być rozmieszczone zgodnie z usytuowaniem fundamentów silników i innych urządzeń o znaczącym ciężarze.

6.2.6 Rozmieszczenie denników w dnie podwójnym

6.2.6.1 W dnie podwójnym o poprzecznym układzie wiązań denniki pełne poza rejonami zbiorników głębokich i maszynowni powinny być rozmieszczone w odstępach nie większych niż:

- sześć odstępów wręgowych dla $T \leq 2$ m;
- pięć odstępów wręgowych dla $2 \leq T \leq 5$ m;
- cztery odstępy wręgowe dla $T > 5$ m.

6.2.6.2 W dnie podwójnym o wzdłużnym układzie wiązań odstęp denników pełnych powinien być nie większy niż 3,0 m, a w rejonie zbiorników głębokich nie większy niż 2,5 m.

6.2.6.3 W rejonie maszynowni, w dnie podwójnym o poprzecznym układzie wiązań, denniki pełne powinny być zastosowane na każdym wręgu.

6.2.6.4 W rejonie maszynowni, w dnie podwójnym o wzdłużnym układzie wiązań, denniki pełne powinny być zastosowane w odstępach nie większych niż wysokość dna podwójnego. W rejonie fundamentu silnika głównego, pomiędzy wzdłużnikami sąsiadującymi od strony burty ze wzdłużnikami fundamentowymi, denniki pełne powinny być zastosowane w odstępach dwa razy mniejszych niż określono wyżej.

6.2.7 Rozmieszczenie płyt wspornikowych w dnie podwójnym

6.2.7.1 Płyty wspornikowe należy zastosować po obu stronach dennego wzdłużnika środkowego oraz co najmniej po jednej stronie każdego wzdłużnika bocznego, tunelowego i płyty krawędziowej (krawężnicy), doprowadzając je w przypadku wzdłużnego układu wiązań do najbliższego wręgu wzdłużnego. Patrz także 6.3.3.4.

6.2.7.2 Na swobodnej krawędzi płyty wspornikowej należy zastosować mocnik lub zagięcie.

6.2.7.3 W dnie podwójnym o wzdłużnym układzie wiązań odstęp płyt wspornikowych nie powinien być większy niż wysokość dna podwójnego, a przy wzdłużniku tunelowym – nie większy niż połowa wysokości dna podwójnego.

Jeżeli burta przy dnie podwójnym ma poprzeczny układ usztywnień, to płyty wspornikowe przy płycie krawędziowej powinny być zastosowane na każdym wręgu.

Przy dennym wzdłużniku środkowym, pomiędzy płytami wspornikowymi należy usytuować węzłówki dokowe, sięgające do najbliższego wręgu wzdłużnego.

6.2.7.4 W dnie podwójnym o poprzecznym układzie wiązań, na wręgach, na których nie zastosowano denników pełnych, należy zastosować płyty wspornikowe przy dennym wzdłużniku środkowym i przy płycie krawędziowej, będące częścią denników otwartych.

6.2.8 Włazy, przełazy, otwory i wycięcia

6.2.8.1 Dla zapewnienia dostępu do wszystkich części dna podwójnego należy przewidzieć niezbędną liczbę włazów w poszyciu dna wewnętrznego oraz przełazów w dennikach pełnych i wzdłużnikach. Zastosowane otwory, ich rozmieszczenie i wielkość powinny spełnić wymagania podrozdziału 3.5 oraz podane poniżej.

6.2.8.2 Włazy w poszyciu dna wewnętrznego powinny odpowiadać wymaganiom *Części III – Wyposażenie kadłubowe*.

6.2.8.3 Włazy w poszyciu dna wewnętrznego dla dostępu do zbiorników paliwa w obrębie maszynowni powinny mieć zrębnice o wysokości co najmniej 100 mm.

6.2.8.4 Średnica otworów ulżeniowych w płytach wspornikowych denników otwartych nie powinna przekraczać 1/3 szerokości płyt wspornikowych.

6.2.8.5 Odległość między krawędziami dwu sąsiednich otworów powinna być nie mniejsza od połowy szerokości większego z tych otworów.

6.2.8.6 W rejonie o współrzędnych $x > 0,25 L_0$ liczbę przełazów i otworów komunikacyjnych we wzdłużnikach bocznych i dennikach pełnych należy ograniczyć do niezbędnego minimum.

6.2.8.7 Otwory ściekowe i odpowietrzające należy wycinać zgodnie z 3.5.1.1 oraz 3.5.1.5.

6.2.8.7.1 Nie należy wykonywać otworów:

- w stępcie płaskiej,
- w pasie obłowym poszycia w rejonie o współrzędnych $-0,3L_0 \leq x \leq 0,3L_0$, a konieczne otwory należy usytuować możliwie jak najdalej od stępki przechyłowej.

6.2.8.7.2 W zasadzie nie należy wykonywać otworów:

- w dennym wzdłużniku środkowym – w rejonie o współrzędnych $x > 0,25L_0$,
- we wzdłużnikach i dennikach – pod podporami oraz przy zakończeniu przegród wzdłużnych,
- w dennym wzdłużniku środkowym i wzdłużnikach bocznych – między grodzią poprzeczną a najbliższymi dennikami pełnymi,
- w dennikach – w częściach bezpośrednio połączonych z krawężnicą i wzdłużnikiem środkowym oraz w obrębie zakończeń węzłówek wzmacniających w kierunku poprzecznym fundamenty głównych mechanizmów.

W szczególnych przypadkach mogą być w wymienionych wiązaniach wykonane otwory, pod warunkiem że zostaną one wzmocnione za pomocą usztywnień lub krawędzie otworów zostaną obramowane.

Usytuowanie i wielkość otworów mogą zostać ustalone także na podstawie analizy naprężeń, przeprowadzonej zgodnie z wymaganiami podanymi w rozdziałach 13 i 14.

6.2.9 Dno podwójne przerywane

W miejscach, w których dno podwójne kończy się, należy przewidzieć łagodne przejście od wiązań wzdłużnych dna podwójnego do wiązań wzdłużnych dna pojedynczego.

Poszycie dna wewnętrznego powinno przechodzić stopniowo, na długości równej co najmniej trzem odstępom wręgowym, w mocniki dennego wzdłużnika środkowego i dennych wzdłużników bocznych dna pojedynczego. Szerokość tych mocników przy zakończeniu dna podwójnego powinna być nie mniejsza od połowy odległości pomiędzy sąsiadującymi wzdłużnikami.

Krawężnice należy przedłużyć poza dno podwójne, w formie węzłówki o długości nie mniejszej od trzech odstępów wręgowych, z płaskownikiem lub zagięciem na swobodnej krawędzi.

6.2.10 Zmiana wysokości dna podwójnego

6.2.10.1 Zmiana wysokości dna podwójnego może odbywać się w formie dwóch załamania lub w formie uskoku. Załamania dna wewnętrznego powinny znajdować się na grodzi poprzecznej i denniku pełnym.

W przypadkach uzgodnionych z PRS, obydwie załamania mogą być umiejscowione na dennikach pełnych.

6.2.10.2 Jeżeli zmiana wysokości dna następuje poprzez uskok, powinien on w zasadzie znajdować się na grodzi poprzecznej.

6.2.10.3 W miejscach uskoku powinno być przewidziane przedłużenie poszycia dna wewnętrznego usytuowanego niżej na odległość co najmniej trzech odstępów wręgowych na okrętach o $L_0 \geq 90$ m i dwóch odstępów wręgowych gdy $L_0 < 90$ m.

Jeżeli uskok znajduje się poza rejonem o współrzędnych $-0,25 L_0 \leq x \leq 0,25 L_0$ lub jeżeli wysokość uskoku jest mniejsza niż 660 mm, to konstrukcja dna podwójnego w obrębie przedłużenia podlega odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

6.2.10.4 Należy zapewnić ciągłość konstrukcyjną i zmniejszenie koncentracji naprężeń w miejscu zmiany wysokości dennego wzdłużnika środkowego, wzdłużników bocznych, krawężnic i wzdłużnych wręgów dna wewnętrznego, jeżeli je zastosowano.

6.2.11 Studzienki ściekowe w dnie podwójnym

Studzienki ściekowe powinny mieć w zasadzie głębokość nie większą niż wysokość dna podwójnego w tym miejscu, pomniejszoną o 460 mm. Studzienki na okrętach, które otrzymują znak techniczny niezatapialności, nie powinny sięgać poniżej poziomej płaszczyzny określonej w 6.1.2.4. Studzienka dochodząca do poszycia dna zewnętrznego może być wykonana tylko w rufowej części tunelu wału śrubowego.

6.3 Wymiarowanie wiązań dna podwójnego

6.3.1 Wysokość dna podwójnego

6.3.1.1 Wysokość dna powinna być wystarczająca, aby zapewnić swobodny dostęp do wszystkich części dna.

Zalecane jest aby była ona nie mniejsza niż 650 mm.

6.3.1.2 Wysokość dennego wzdłużnika środkowego i przyłączonych do niego denników pełnych nie powinna być mniejsza od obliczonej wg wzoru:

$$h_d = 250 + 20B + 50T, \text{ [mm]} \quad (6.3.1.2)$$

Dla okrętów o dużym podobieniu może być wymagane zwiększenie wartości h_d .

6.3.1.3 W sytuacjach, gdy nie są spełnione wymagania 6.3.1.1 i 6.3.1.2 dotyczące wysokości dna, jego wytrzymałość powinna być zweryfikowana wg wymagań rozdziału 14.

6.3.1.4 Zalecane jest aby w maszynowni, w rejonie ustawienia spalinowego tłokowego silnika głównego i przekładni wysokość dna była zwiększona o 45%, jeżeli zbiornik ściekowy oleju smarnego znajduje się pod silnikiem lub o 30% – w innych przypadkach.

6.3.2 Poszycie dna zewnętrznego i wewnętrznego

6.3.2.1 Grubość płyt poszycia dna zewnętrznego i dna wewnętrznego należy określać zgodnie z 13.2.2 i 13.4.2.

6.3.2.2 Grubość poszycia dna w części dziobowej należy dodatkowo sprawdzić według 6.7.2, uwzględniając obciążenia udarowe.

6.3.2.3 Grubość stępki płaskiej powinna być nie mniejsza niż grubość przyległego poszycia dna.

6.3.2.4 Szerokość stępki płaskiej powinna być nie mniejsza niż szerokość obliczona według wzoru:

$$b = 800 + 5L_0, \text{ [mm]}. \quad (6.3.2.4)$$

6.3.2.5 Grubość obłowego pasa poszycia powinna być nie mniejsza niż grubość sąsiadujących płyt poszycia dna i burty okrętu.

6.3.2.6 Jeżeli zgodnie z wymaganiami 2.2 dla obłowego pasa poszycia lub pasa dna zewnętrznego, do którego przyłączona jest efektywna gródź wzdłużna, wymagana jest stal kategorii wyższej od kategorii A, to szerokość pasa powinna być nie mniejsza niż szerokość wymagana według 6.3.2.4.

6.3.2.7 Krawężnica nachylona powinna mieć na całej długości okrętu szerokość nie mniejszą niż szerokość obliczona wg wzoru:

$$b = 0,0035L_0 + 0,40, \text{ [m]} \quad (6.3.2.7)$$

6.3.2.8 Krawężnica pozioma powinna mieć szerokość nie mniejszą niż szerokość węzłówki obłowej, zwiększona o wysokość kształtownika wręgu oraz dodatkowo o 50 mm.

Przy połączeniach wiązań dennych z burtowymi bez węzłówek obłowych szerokość krawężnicy poziomej powinna być nie mniejsza niż szerokość określona według wzoru 6.3.2.7.

6.3.2.9 Grubość krawężnicy powinna być zwiększona w stosunku do wymaganej w 6.3.2.1 grubości dna wewnętrznego w tym samym rejonie ładowni okrętu, przy czym:

- grubość krawężnicy poziomej należy zwiększyć o 1 mm,
- grubość krawężnicy nachylonej należy zwiększyć o 2 mm.

Grubość krawężnicy w maszynowni powinna być nie mniejsza niż grubość innych pasów poszycia dna wewnętrznego w tym obrębie.

6.3.2.10 Grubość ścian i dna studzienki ściekowej powinna być większa od grubości denników wodoszczelnych w tym obrębie o co najmniej 2 mm.

6.3.2.11 Grubość denników, wzdłużników i poszycia dna wewnętrznego stanowiących ściany skrzyni zaworów dennych należy zwiększyć o co najmniej 2 mm w stosunku do grubości minimalnych wymaganych dla konstrukcji dna podwójnego (w tym poszycia dna zewnętrznego) lub grubości wymaganych zgodnie z 13.4.2, zależnie od tego, która z nich jest większa. Wytrzymałość ścian skrzyni zaworów dennych powinna być nie mniejsza niż wytrzymałość miejscowa wymagana dla poszycia zewnętrznego w danej części okrętu.

6.3.3 Usztywnienia dna podwójnego

6.3.3.1 Wymiary wzdłużnych i poprzecznych wręgów dna zewnętrznego i wewnętrznego należy określać zgodnie z 13.5.

6.3.3.2 Wymiary wręgów dna zewnętrznego w części dziobowej należy dodatkowo sprawdzić według 6.7, uwzględniając obciążenia udarowe (sleming).

6.3.3.3 Przy określaniu wymiarów wręgów dna podwójnego należy uwzględnić to, że pionowe łączniki zamontowane pomiędzy wzdłużnymi lub poprzecznymi wręgami dna zewnętrznego i wewnętrznego nie są w zasadzie uważane za efektywne podparcie tych wręgów. W przypadku stosowania łączników pionowych wskaźnik przekroju wręgów dna może być zmniejszony po odrębnym rozpatrzeniu przez PRS rodzaju i wymiarów łączników. Jeżeli usztywnienia dna zewnętrznego i wewnętrznego mają ten sam wskaźnik przekroju, dopuszcza się zastosowanie łącznika w połowie ich rozpiętości i zmniejszenie wskaźników przekroju usztywnień, ale o nie więcej niż 35%. Patrz również 13.7.4.

6.3.3.4 Pomiedzy ściankami wzdłużnika tunelowego, na poszyciu dna zewnętrznego i wewnętrznego należy zastosować w płaszczyźnie każdego wręgu płyty wspornikowe lub poprzeczne usztywnienia z węzłówkami końcowymi. Wysokość węzłówki powinna być nie mniejsza niż wysokość usztywnienia. Wymiary płyt wspornikowych lub usztywnień należy określać w oparciu o analizę wytrzymałości strefowej dna podwójnego (patrz rozdz.14).

6.3.4 Wiązary dna podwójnego

6.3.4.1 Wymiary elementów wzdłużników dennych oraz denników pełnych dna podwójnego należy określać zgodnie z 13.6. Ich grubość w skrajniku dziobowym powinna przy tym być nie mniejsza niż:

$$t = 12s + t_k, \quad [\text{mm}] \quad (6.3.4.1)$$

s – odstęp usztywnień płyty dennika lub wzdłużnika, [m].

t_k – naddatek korozyjny – patrz 2.5.

Wymiary środników wiązarów dna podwójnego w części dziobowej powinny dodatkowo spełniać wymagania podrozdziału 6.7.4.

6.3.4.2 Płyty i usztywnienia wiązarów dna podwójnego stanowiących ograniczenia zbiorników dennych powinny również spełniać wymagania w zakresie wymiarowania płyt poszycia i usztywnień grodzi zbiorników.

6.3.5 Usztywnienia wiązarów dna podwójnego

6.3.5.1 W rejonie o współrzędnych $x > 0,25L_0$ powinny być zastosowane usztywnienia na każdym denniku, a poza tym rejonem – na każdym denniku o wysokości większej niż 900 mm.

Przy wzdłużnym układzie wiązań usztywnienia powinny być zastosowane w płaszczyźnie każdego wręgu wzdłużnego, a przy poprzecznym układzie wiązań odstęp usztywnień powinien być nie większy niż 1,5 m (patrz także 13.5.3.6).

6.3.5.2 Przy poprzecznym układzie wiązań, wzdłużniki powinny być usztywnione na każdym wręgu (patrz także 6.2.7).

Wzdłużniki powinny odpowiadać wymaganiom stateczności zawartym w rozdziale 13.

6.3.6 Płyty wspornikowe w dnie podwójnym

6.3.6.1 Płyty wspornikowe zastosowane przy dennym wzdłużniku środkowym, dennym wzdłużniku tunelowym i wzdłużnikach bocznych oraz przy płycie krawędziowej, wchodzące w skład denników otwartych, powinny mieć grubość nie mniejszą niż grubość określona według 13.2.2.

6.3.6.2 Płyty wspornikowe nie wchodzące w skład denników otwartych, a przewidziane zgodnie z wymaganiami 6.2.7, powinny mieć grubość nie mniejszą niż grubość denników pełnych w danym obrębie.

6.3.6.3 Mierzona na poziomie dna wewnętrznej szerokość płyt wspornikowych denników otwartych powinna być nie mniejsza niż 0,75 wysokości dna podwójnego przy wzdłużniku środkowym tunelowym i płycie krawędziowej oraz 0,35 wysokości dna przy wzdłużnikach bocznych. Jeżeli wręgi dennika otwartego nie są ciągle przy przejściu przez wzdłużnik boczny, to płyty wspornikowe należy zastosować po obu stronach wzdłużnika.

6.3.6.4 Swobodną krawędź płyty wspornikowej należy usztywnić mocnikiem lub zastosować zagięcie o szerokości równej 10-krotnej grubości płyty, ale szerokość ta nie musi przekraczać 90 mm.

6.4 Konstrukcja dna pojedynczego

6.4.1 Wymagania ogólne

6.4.1.1 W miarę możliwości należy unikać stosowania pilersów ustawionych na dnie, a właściwe podparcie konstrukcji położonych wyżej zapewniać, o ile jest ono konieczne, poprzez zastosowanie grodzi podporowych i przegród.

6.4.2 Układ wiązań

6.4.2.1 Zaleca się aby dno pojedyncze kadłubów okrętów o długości $L_0 > 65$ m było usztywnione wzdłużnie.

6.4.2.2 Przy wzdłużnym układzie wiązań dna pojedynczego denne wręgi wzdłużne powinny spełniać następujące wymagania dotyczące ciągłości:

- na okrętach o długości $L_0 \geq 40$ m wręgi wzdłużne w rejonie $-0,25L_0 \leq x \leq 0,25L_0$ powinny w sposób ciągły przechodzić przez denniki, grodzie poprzeczne lub przegrody;
- na całej długości dna w przypadku okrętów o długości $L_0 < 40$ m i poza rejonem $-0,25L_0 \leq x \leq 0,25L_0$ w przypadku okrętów o długości $L_0 \geq 40$ m denne wręgi wzdłużne mogą być przerywane w płaszczyznach denników i spawane do nich.

6.4.3 Rozmieszczenie wzdłużników dna

6.4.3.1 W płaszczyźnie symetrii okrętu należy zastosować denny wzdłużnik środkowy. Powinien on być doprowadzony możliwie daleko w kierunku dziobu i rufy. W rejonie o współrzędnych $-0,3L_0 \leq x \leq 0,3L_0$ wzdłużnik środkowy powinien być ciągły.

6.4.3.2 Należy zastosować wzdłużniki boczne w odstępach nie większych niż 2,5 m. Zaleca się aby w rejonie $-0,3L_0 \leq x \leq 0,3L_0$ były one ciągłe przy przejściu przez grodzie poprzeczne.

6.4.3.3 Wzdłużniki w siłowni powinny być rozmieszczone zgodnie z usytuowaniem fundamentów silników i głównych urządzeń.

6.4.4 Rozmieszczenie denników

6.4.4.1 W rejonie maszynowni denniki powinny być zastosowane na każdym wręgu.

6.4.4.2 W dnie o poprzecznym układzie wiązań denniki pełne powinny być zastosowane na każdym wręgu, na całej długości statku.

6.4.4.3 W dnie o wzdłużnym układzie wiązań rozmieszczenie denników pełnych w rejonach poza maszynownią i częściami skrajnymi powinno być ustalone w oparciu o wymagania wytrzymałości miejscowej oraz wytrzymałości strefowej.

6.5 Wymiarowanie wiązań dna pojedynczego

6.5.1 Wysokość dna pojedynczego

6.5.1.1 Wysokość dennego wzdłużnika środkowego i przyłączonych do niego denników pełnych powinna być nie mniejsza niż wysokość obliczona wg wzoru:

$$h = 0,055B_1, \text{ [m]} \quad (6.5.1.1)$$

B_1 – szerokość rozpatrywanego przedziału, mierzona w środku jego długości, w sposób następujący:

- a) w przypadku burt pojedynczych – jako odległość między burtami lub jako odległość między burtą a grodzią wzdłużną, na poziomie górnej krawędzi dennika,
- b) w przypadku burt podwójnych – jako odległość między wewnętrznymi burtami lub jako odległość między burtą wewnętrzną a grodzią wzdłużną.

6.5.1.2 Wysokość denników w płaszczyźnie symetrii można zmniejszyć o 10%, pod warunkiem że wskaźnik przekroju dennika nie będzie mniejszy od wymaganego w 6.5.3.4. W odległości 3/8 szerokości okrętu od płaszczyzny symetrii wysokość denników powinna wynosić co najmniej 50% wysokości wymaganej w płaszczyźnie symetrii. W szczególnych przypadkach PRS może wyrazić zgodę na odstępstwo od tego wymagania.

6.5.1.3 Na okrętach z jedną śrubą napędową górne krawędzie denników w skrajniku rufowym powinny znajdować się ponad pochwą wału śrubowego.

6.5.2 Poszycie dna

6.5.2.1 Należy spełnić wymagania punktów 6.3.2.1 do 6.3.2.6, podane dla dna podwójnego.

6.5.3 Wiązary i wręgi dna

6.5.3.1 Wymiary wzdłużnych wręgów dna należy określać zgodnie z 13.5.

6.5.3.2 Wymiary wręgów dna w części dziobowej należy dodatkowo sprawdzić wg 6.7, uwzględniając obciążenia w warunkach slemingu.

6.5.3.3 Wymiary denników i wzdłużników przy wzdłużnym układzie dna należy ustalić w oparciu o analizę naprężeń, zgodnie z wymaganiami rozdziału 14. Należy przy tym spełnić wymagania punktów 6.5.3.4 do 6.5.3.6.

6.5.3.4 Wskaźnik przekroju denników powinien być nie mniejszy niż wskaźnik określony wg wzoru:

$$W = KaT_1B_1^2, \quad [\text{cm}^3] \quad (6.5.3.4)$$

$K = 7,8 - 0,2 B_1$;

a – odstęp denników, [m];

T_1 – zanurzenie konstrukcyjne okrętu lub $0,65H$ – należy przyjmować większą z tych wartości, [m];

B_1 – patrz 6.5.1.1.

Grubość denników powinna być równa co najmniej 0,01 ich wysokości w płaszczyźnie symetrii plus 3,5 mm, ale nie musi być większa od grubości poszycia dna.

6.5.3.5 Grubość płyt dennego wzdłużnika środkowego w środkowej części okrętu powinna być nie mniejsza niż grubość określona wg wzoru:

$$t = 0,06 L_0 + 6, \quad [\text{mm}] \quad (6.5.3.5)$$

Grubość płyt dennego wzdłużnika środkowego na długości $0,1 L_0$ od pionów może być o 1 mm mniejsza od grubości wymaganej dla środkowej części okrętu.

6.5.3.6 Grubość płyt dennych wzdłużników bocznych w środkowej części okrętu powinna być nie mniejsza niż grubość określona wg wzoru:

$$t = 0,06 L_0 + 5, \quad [\text{mm}] \quad (6.5.3.6)$$

Grubość płyt dennych wzdłużników bocznych na długości $0,1 L_0$ od pionów może być o 1 mm mniejsza od grubości wymaganej dla środkowej części okrętu, lecz nie powinna być mniejsza niż 5 mm.

6.5.4 Usztywnienia denników i wzdłużników dna pojedynczego

6.5.4.1 Mocniki wiązarów powinny mieć następujące wymiary:

- szerokość nie mniejszą niż $1/20$ odległości pomiędzy węzłówkami przeciwskrętnymi lub 75 mm, w zależności od tego, która z tych wielkości jest większa,
- grubość nie mniejszą niż $1/30$ szerokości mocnika – w przypadku, gdy mocnik jest symetryczny oraz nie mniejszą niż $1/15$ szerokości mocnika – w przypadku, gdy mocnik jest niesymetryczny; w każdym przypadku grubość ta powinna być nie mniejsza niż grubość płyty wiązara.

6.5.4.2 Pole powierzchni przekroju mocników denników, o wysokości minimalnej obliczonej wg wzoru 6.5.1.1, powinno być nie mniejsze niż pole wynikające ze wzorów:

$$- \text{ w rejonie maszynowni} \quad A = 5,0T, \quad [\text{cm}^2] \quad (6.5.4.2-1)$$

$$- \text{ poza maszynownią} \quad A = 3,5T, \quad [\text{cm}^2] \quad (6.5.4.2-2)$$

6.5.4.3 Mocniki denników mogą być zastąpione zagięciem, pod warunkiem zwiększenia wskaźnika przekroju dennika o 5%. Szerokość zagięcia powinna odpowiadać wymaganiom podanym w 6.5.4.1. Denników z zagięciem nie należy stosować w rejonie maszynowni, w skrajniku rufowym, a na okrętach o długości $L_0 > 30$ m również w rejonie $0,25 L_0$ od pionu dziobowego.

6.5.4.4 Wymiary usztywnień środników denników i wzdłużników oraz ich rozmieszczenie powinny spełniać wymagania podrozdziału 3.6.

6.5.5 Stępka belkowa

Wymiary stępki belkowej powinny być nie mniejsze niż wymiary wynikające ze wzorów:

$$\text{wysokość: } h = 100 + 5 L_0, \quad [\text{mm}] \quad (6.5.5-1)$$

$$\text{grubość: } t = 10 + 0,6 L_0, \quad [\text{mm}] \quad (6.5.5-2)$$

6.6 Wymagania wspólne dla okrętów z dnem pojedynczym i z dnem podwójnym

6.6.1 Rozmieszczenie wiązarów w skrajnikach

Wzdłużne lub poprzeczne wręgi denne w skrajnikach powinny być podparte odpowiednio przez denniki pełne lub wzdłużniki denne, w odstępach nie przekraczających 1,8 m. Wiązary te z kolei należy podeprzeć za pomocą krzyżujących się z nimi ciężkich wiązarów, przegród lub grodzi – rozmieszczonych w odstępach nie większych niż $0,125B$ lub 5 m, zależnie od tego, która z tych wartości jest mniejsza.

6.6.2 Złożone układy wiązarów dna

Jeżeli wiązary dna są połączone z wiązarami innych konstrukcji (np. wiązarami burt, grodzi) i w ten sposób tworzą złożone układy wiązarów, to może być wymagane sprawdzenie przyjętych wymiarów wiązarów w oparciu o analizę naprężeń, zgodnie z wymaganiami rozdziału 14.

6.6.3 Stępki przechyłowe

Stępkę przechyłową należy łączyć z poszyciem, stosując element pośredni (płaskownik) na całej jej długości.

Połączenie stępki przechyłowej z elementem pośrednim powinno być słabsze od połączenia tego elementu z poszyciem.

Stępka przechyłowa powinna być łagodnie ścięta lub zaokrąglona na końcach i powinna kończyć się na wewnętrznych usztywnieniach kadłuba.

6.7 Wzmocnienia w części dziobowej

6.7.1 Wymagania ogólne

Dziobową część dna należy wzmocnić ze względu na działanie obciążeń udarowych, zgodnie z wymaganiami podanymi poniżej.

6.7.2 Grubość poszycia dna

6.7.2.1 Na okrętach o długości $L_0 \geq 100$ m grubość poszycia dna poniżej wodnicy przechodzącej w odległości $d = 0,05 T_{bd}$ nad stępką powinna być nie mniejsza niż grubość obliczona wg wzoru:

$$t = 0,9k_u k_r s \sqrt{\frac{p_u}{k}} + t_k, \quad [\text{mm}] \quad (6.7.2.1-1)$$

$$k_u = \left(1,1 - 0,25 \frac{s}{l}\right)^2; \text{ należy przyjmować } 1,0 \geq k_u \geq 0,72;$$

$$k_r = \left(1 - 0,5 \frac{s}{r}\right) \text{ poprawka uwzględniająca krzywiznę płyt poszycia};$$

r – promień krzywizny płyty poszycia, [m];

p_u – ciśnienie udarowe, określane według 6.7.5, [kPa];

T_{bd} – jak w 6.7.5, [m];

s – odstęp usztywnień mierzony wzdłuż poszycia, [m];

l – rozpiętość usztywnienia lub wiązara, [m];

t_k – naddatek korozyjny – patrz 2.5, [mm].

Na okrętach o długości $L_0 < 100$ m grubość poszycia dna powinna być nie mniejsza niż:

$$t = 0,9s \sqrt{p_u} + t_k, \quad [\text{mm}] \quad (6.7.2.1-2)$$

6.7.2.2 Powyżej wodnicy określonej w 6.7.2.1 grubość poszycia powinna zmieniać się stopniowo od grubości określonej w 6.7.2.1 do grubości poszycia burtowego w rozpatrywanym poprzecznym przekroju kadłuba.

6.7.3 Wymiarowanie usztywnień

6.7.3.1 Wskaźnik przekroju dennych wręgów wzdłużnych lub poprzecznych podpierających poszycie w rejonie omówionym w 6.7.2.1 i 6.7.2.2, po odliczeniu naddatków korozyjnych, powinien być nie mniejszy niż wskaźnik określony wg wzoru:

$$W = \frac{0,2l^2 s p_u}{k}, \quad [\text{cm}^3] \quad (6.7.3.1)$$

p_u – ciśnienie udarowe, określone według 6.7.5, [kPa].

Pozostałe oznaczenia według 6.7.2.1.

6.7.3.2 Pole powierzchni poprzecznego przekroju środka wręgu powinno być nie mniejsze niż pole obliczone wg wzoru:

$$A_s = \frac{0,03}{k} (l-s) s p_u + 10 h t_k, \quad [\text{cm}^2] \quad (6.7.3.2)$$

p_u – ciśnienie udarowe, określone według 6.7.5, [kPa];

h – wysokość poprzecznego przekroju usztywnienia, [m].

Pozostałe oznaczenia według 6.7.2.1.

6.7.4 Środniki wiązarów

6.7.4.1 Pole powierzchni przekroju połączenia ciągłych usztywnień z wiązarami powinno spełniać zależność:

$$2A_s \leq 1,7A_{pm} + A_{ps} \quad (6.7.4.1)$$

A_{pm} – pole powierzchni połączenia mocnika, [cm²];

A_{ps} – pole powierzchni połączenia środka, [cm²];

A_s – patrz 6.7.3.2.

6.7.4.2 W dnie podwójnym, poniżej wodnicy przechodzącej w odległości $0,05 T_{bd}$ od stępki, odstęp usztywnień na środnikach wiązarów lub grodziach w rejonie przy poszyciu dna zewnętrznego powinien być nie większy niż odstęp obliczony wg wzoru:

$$s_u = 0,09t, \quad [\text{m}] \quad (6.7.4.2)$$

t – grubość płyty środka lub poszycia grodzi, [mm].

6.7.4.3 Suma pól powierzchni przekrojów ścinanych na końcach wiązara lub układu wiązarów podpierających określoną powierzchnię dna powinna być nie mniejsza niż suma pól obliczona wg wzoru:

$$\sum A_i = \frac{c_3}{k} l_w b_w p_u, \quad [\text{cm}^2] \quad (6.7.4.3-1)$$

p_u – ciśnienie udarowe, obliczone według 6.7.5, w środku rozważanego układu wiązarów, [kPa];

l_w, b_w – długość i szerokość obciążonej powierzchni podpartej przez wiązar lub układ wiązarów, [m];

$$c_3 = 0,05 \left(1 - \frac{10 l_w b_w}{L_0 B} \right), \text{ lecz nie mniej niż } 0,025. \quad (6.7.4.3-2)$$

6.7.5 Ciśnienie udarowe

Obliczeniowe ciśnienie udarowe działające na poszycie dna w dziobowej części okrętu należy obliczać według wzorów:

- dla okrętów o długości $L_0 < 100$ m:

$$p_u = 300\sqrt{L_0} \left(1 - 20\frac{T_{bd}}{L_0} \right), \quad [\text{kPa}] \quad (6.7.5-1)$$

- dla okrętów o długości $L_0 \geq 100$ m:

$$p_u = \frac{C_1 C_2}{T_{bd}} B_{bd} \left(0,56 - \frac{L_0}{1250} - \frac{u}{L_0} \right), \quad [\text{kPa}] \quad (6.7.5-2)$$

$$C_1 = \sqrt[3]{L_0} \quad \text{dla } L_0 < 150 \text{ m}, \quad (6.7.5-3)$$

$$C_1 = \sqrt[3]{225 - 0,5L_0} \quad \text{dla } L_0 \geq 150 \text{ m}, \quad (6.7.5-4)$$

$$C_2 = 1675 \left(1 - \frac{20T_{bd}}{L_0} \right) \quad (6.7.5-5)$$

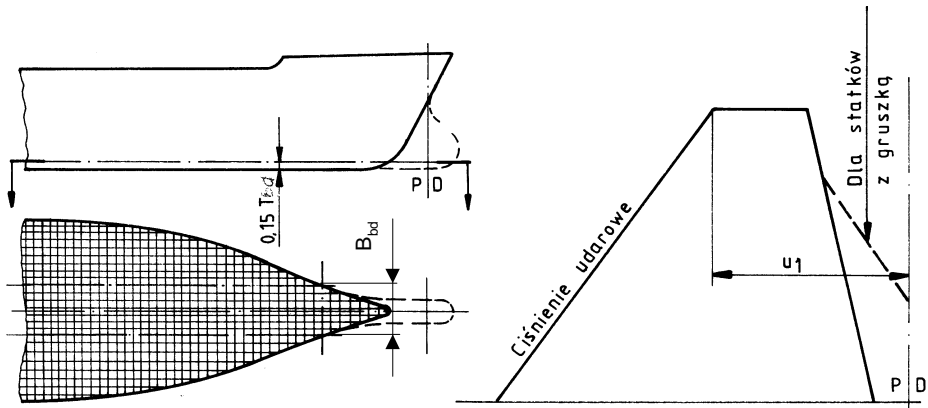
T_{bd} – mierzone na *PD* zanurzenie okrętu stosowane w ciężkich warunkach pogodowych, [m];

B_{bd} – szerokość dna na wodnicy $z = 0,15 T_{bd}$ w rozpatrywanym przekroju, [m]; przyjęta do obliczeń wartość B_{bd} nie powinna przekraczać mniejszej z dwu wartości: $1,35 T_{bd}$ i $0,55\sqrt{L_0}$;

u – odległość od *PD* do rozważanego poprzecznego przekroju kadłuba, [m]; przyjęta wartość u nie musi być mniejsza niż wartość u_1 , obliczona według wzoru:

$$u_1 = \left(1,2 - \sqrt[3]{\delta} - \frac{L_0}{2500} \right) L_0, \quad [\text{m}] \quad (6.7.5-6)$$

Na okrętach o długości $L_0 < 100$ m ciśnienie p_u , obliczone według wzoru 6.7.5-1, odnosi się do dna w rejonie $x > 0,3 L_0$. Ku rufie, od przekroju $x = 0,3 L_0$, ciśnienie to może być zmniejszane liniowo do zera, w przekroju $x = 0,1 L_0$. Dla okrętów o długości $L_0 \geq 100$ m rozkład ciśnień udarowych p_u działających na dno podano na rysunku 6.7.5.



Rys. 6.7.5 Rozkład ciśnień uderowych działających na dno

Jeżeli dla osiągnięcia zanurzenia T_{bd} przewidziane jest całkowite wypełnienie dziobowych zbiorników balastowych a obciążenie od balastu działa na poszycie zewnętrzne, to obciążenie uderowe można zmniejszyć o wartość $14h$, [kPa] (h – wysokość zbiornika balastowego, [m]).

7 BURTY

7.1 Zasady ogólne

7.1.1 Zastosowanie

Wymagania niniejszego rozdziału dotyczą konstrukcji burt zgodnie z definicją podaną w A/2.5.

7.1.2 Rozpiętość wręgów głównych

Rozpiętość dolnej części wręgu w rejonie wzdłużnie usztywnionego dna pojedynczego (patrz rys. 7.1.2) należy określać wg wzoru:

$$l = l_1 - 0,3r - 1,5(w - h), \quad [\text{m}] \quad (7.1.2)$$

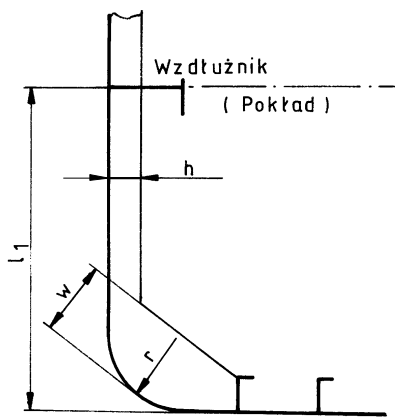
l_1 – pionowa odległość pomiędzy dnem a najniższym pokładem lub wzdłużnikiem burtowym stanowiącym podparcie wręgów, [m];

r – promień obła, [m];

w – największa wysokość węzłówki obłowej mierzona prostopadłe do mocnika, [m];

h – wysokość wręgu, [m].

We wszystkich innych przypadkach rozpiętość wręgów należy określać według 3.2.1.



Rys. 7.1.2 Rozpiętość wręgu w rejonie dna pojedynczego

7.2 Konstrukcja

7.2.1 Układ wiązań

W przypadku okrętów, gdzie maksymalne ciśnienie udarowe na dno wg 6.7.5 lub ciśnienie udarowe na burty wg 7.4.5 przewyższa wartość $10 T$ lub wymagane jest zwiększenie współczynnika k_{wm} (patrz 15.5.2.1) wg 15.2.2.2 zaleca się stosowanie wzdłużnych usztywnień poszycia burt przy dnie i pokładzie wytrzymałościowym.

Należy zachować ciągłość wzdłużnych wręgów burtowych w taki sam sposób i w tych samych rejonach po długości okrętu jak dla usztywnień wzdłużnych dna (patrz 6.2.2.2).

7.2.2 Wiązary burt

7.2.2.1 W obrębie skrajnika rufowego, maszynowni i kotłowni wiązania burt należy wzmocnić wręgami ramowymi, rozmieszczonymi nie rzadziej niż co 5 odstępów wręgowych.

7.2.2.2 Dla zapewnienia odpowiedniej sztywności poprzecznej kadłuba należy stosować między pokładami grodzie poprzeczne lub wręgi ramowe burtowe połączone z pokładnikami ramowymi i dennikami pełnymi znajdującymi się w tej samej płaszczyźnie.

7.2.2.3 W obrębie skrajnika dziobowego, poniżej pokładu znajdującego się nad wodnicą konstrukcyjną, należy zastosować platformy lub wzdłużniki burtowe wraz z rzędami usztywnień (pokładników) rozpierających konstrukcję burt. Odstęp pomiędzy wzdłużnikami lub platformami (mierzony pionowo) powinien być nie większy niż 2 m.

7.2.3 Otwory w burtach

7.2.3.1 Należy unikać stosowania jakichkolwiek otworów w mocnicy burtowej i w obrębie poszycia poddanego dużym naprężeniom stycznym. Jeżeli jest to konieczne, w wymienionych rejonach można wykonywać okrągłe otwory na iluminatory lub do innych celów. Krawędzie tych otworów należy wzmocnić zgodnie z 3.5.2. Każdy otwór w burcie, znajdujący się poniżej pokładu wytrzymałościowego, powinien być oddalony od tego pokładu i/lub zakończenia zaokrąglenia mocnicy burtowej o odległość nie mniejszą niż podwójna wysokość tego otworu. Należy ponadto spełnić wymagania określone w podrozdziale 3.5

7.3 Wymiarowanie wiązań

7.3.1 Poszycie

7.3.1.1 Grubość płyt poszycia burt należy określać zgodnie z 13.2 i 13.4.

7.3.1.2 Na okrętach o długości $L_0 \geq 100$ m, w rejonie określonym niżej, grubość poszycia burt powinna być również nie mniejsza niż grubość obliczona wg wzoru:

$$t = 4s \sqrt[4]{\frac{D}{k^2 L_0}} + t_k, \quad [\text{mm}] \quad (7.3.1.2)$$

s – odstęp wręgów podpierających poszycie, [m];

D – wyporność okrętu przy zanurzeniu równym T , [t].

Powyższe wymaganie dotyczy rejonu, który po długości okrętu rozciąga się między przekrojami poprzecznymi przeprowadzonymi w miejscach, w których wodnica konstrukcyjna osiąga szerokość równą: na rufie $0,9B$, a na dziobie $0,6B$.

Po wysokości rejon rozciąga się od najniższej wodnicy balastowej do poziomu $z = T + z_0$, [m] ($z_0 = 0,25T$, lecz nie mniej niż 2,3 m).

7.3.1.3 Grubość poszycia burt w części dziobowej okrętu należy dodatkowo sprawdzić na działanie obciążeń udarowych według 7.4.2, jeżeli wymagania te mają zastosowanie.

7.3.2 Mocnica burtowa przy pokładzie wytrzymałościowym

7.3.2.1 Szerokość mocnicy burtowej powinna być nie mniejsza niż szerokość określona wg wzoru:

$$b = 800 + 5L_0, \quad [\text{mm}] \quad (7.3.2.1)$$

lecz nie musi przekraczać 1800 mm.

7.3.2.2 Grubość mocnicy burtowej w rejonie o współrzędnych $-0,25 L_0 \leq x \leq 0,25 L_0$ powinna być nie mniejsza niż grubość obliczona wg wzoru:

$$t = \frac{t_1 + t_2}{2}, \quad [\text{mm}] \quad (7.3.2.2)$$

t_1 – wymagana grubość poszycia burty, [mm];

t_2 – wymagana grubość poszycia pokładu wytrzymałościowego, przy czym we wzorze należy przyjmować $t_2 \geq t_1$, [mm].

7.3.2.3 W obrębie $x \leq -0,4 L_0$ i $x \geq 0,4 L_0$ mocnica burtowa może mieć grubość równą grubości poszycia burt w tym rejonie. Między częścią środkową okrętu ($-0,25 L_0 \leq x \leq 0,25 L_0$) a częściami skrajnymi ($x \leq -0,4 L_0$ i $x \geq 0,4 L_0$) grubość mocnicy burtowej powinna zmieniać się w sposób płynny (bez uskoków).

7.3.2.4 Jeżeli zastosowano zaokrąglone przejście burty w pokład wytrzymałościowy, to promień zaokrąglenia płyt giętych na zimno powinien być nie mniejszy niż $15t$ (t – grubość płyty, [mm]).

7.3.2.5 Jeżeli końcowa ściana nadbudówki znajduje się w rejonie o współrzędnych $-0,25 L_0 \leq x \leq 0,25 L_0$ i pokład nadbudówki stanowi część pokładu wytrzymałościowego, to po obu stronach tej ściany, na odcinkach o długości przynajmniej 3m, należy zwiększyć grubość mocnicy burtowej o 30%.

7.3.3 Usztywnienia

7.3.3.1 Wymiary poprzecznych wręgów burtowych w zbiornikach głębokich, międzypokładziach, maszynowni i skrajnikach należy określać zgodnie z 13.5.

Do wręgów w międzypokładziach należy zaliczać wszystkie wręgi znajdujące się w rejonie ograniczonym po długości okrętu grodzią skrajnika rufowego i grodzią kolizyjną, a po wysokości – najniższym pokładem lub wzdłużnikiem burtowym stanowiącym podparcie dla wręgów i najwyższym pokładem nadbudówki.

7.3.3.2 Przy określaniu według 13.5 wskaźnika przekroju wręgów głównych mających węzłówki na obu końcach można przyjąć następujące wartości naprężeń dopuszczalnych:

$\sigma = 185k$ w przypadku stosowania ciśnień p wywołanych oddziaływaniem morza,
 $\sigma = 165k$ w przypadku stosowania ciśnień p pochodzących od oddziaływania zapasów i balastu.

Naprężenia te mają zastosowanie, jeżeli węzłówki końcowe mają pionowe ramiona o długości co najmniej:

0,12 l – w przypadku węzłówki dolnej,

0,07 l – w przypadku węzłówki górnej (l – rozpiętość wręgu głównego, [m]).

Długość pionowego ramienia węzłówki dolnej należy odmierzać od linii górnej krawędzi dennika.

Jeżeli długość l_w swobodnej krawędzi węzłówki przekracza $40t$ (t – grubość węzłówki), to wzdłuż tej krawędzi należy zastosować zagięcie lub mocnik o szerokości nie mniejszej niż $0,067 l_w$.

7.3.3.3 Wskaźnik przekroju wręgu głównego obliczony dla przekrojów końcowych wręgu, z uwzględnieniem przekroju odpowiednich węzłówek końcowych, powinien być nie mniejszy od wymaganego według 13.5, przy czym należy przyjmując pełną rozpiętość wręgu (bez uwzględnienia końcowych węzłówek), a wartości współczynnika momentu gnącego, m , jako równe:

8 – dla dolnego przekroju wręgu,

10 – dla górnego przekroju wręgu.

7.3.3.4 Można nie stosować końcowych węzłówek wręgu głównego, jeżeli wręg przechodzi przez konstrukcje podpierające go, a wskaźnik przekroju tego wręgu obliczony według 13.5 przy zastosowaniu pełnej rozpiętości wręgu, l , zostanie zwiększony o 50%.

7.3.3.5 Przyjęty wskaźnik przekroju wręgu głównego powinien być nie mniejszy niż wskaźnik przekroju znajdującego się nad nim wręg w międzypokładziu.

7.3.3.6 Wręgi burtowe podpierające końcowe pokładniki luku powinny być wzmocnione ze względu na dodatkowe zginanie momentem podporowym pokładnika wspornikowego.

7.3.3.7 Wskaźnik przekroju zastosowanych poprzecznych wręgów burtowych w międzypokładziach i skrajnikach powinien być nie mniejszy niż wskaźnik obliczony wg wzoru:

$$W = k_1 \sqrt{\frac{L_0}{k}}, \quad [\text{cm}^3] \quad (7.3.3.7)$$

$k_1 = 4,0$ dla wręgów w międzypokładziach,

$k_1 = 6,5$ dla wręgów w skrajnikach.

7.3.3.8 Owężenie burt w dziobowym rejonie okrętu należy dodatkowo sprawdzić według 7.4.3, ze względu na działanie obciążeń udarowych, jeżeli te wymagania mają zastosowanie.

7.3.3.9 Wymiary usztywnień rozpięających wręgi w skrajniku dziobowym powinny odpowiadać wymaganiam 13.7.4.

7.3.4 Węzłówki przeciwskrętne

Jeżeli rozpiętość wręgu jest większa niż 5 m lub szerokość mocnika jest mniejsza niż $1/20$ rozpiętości wręgu, należy zastosować węzłówkę przeciwskrętną w środku rozpiętości wręgu, przy czym w rejonie o współrzędnych $x > 0,35 L_0$, z wyłączeniem skrajnika dziobowego, należy zastosować węzłówki przeciwskrętne dochodzące do sąsiedniego wręgu. Pionowy odstęp między węzłówkami przeciwskrętnymi powinien być nie większy niż 2,5 m. Grubość węzłówki powinna być równa mniejszej z dwóch wartości: grubość środnika wręgu i 10 mm.

7.3.5 Wiązary zwykle

7.3.5.1 Wymiary elementów wręgów ramowych i wzdłużników burtowych stanowiących podparcie wręgów należy określać zgodnie z 13.5.

7.3.5.2 Łączniki poziome można uznać jako skuteczne podparcie wręgów ramowych, jeżeli:

- łącznik sięga od burty do burty, lub
- łącznik jest podparty przez konstrukcje, które można uznać za dostatecznie sztywne, lub
- warunki obciążenia można uznać za symetryczne względem łącznika.

7.3.5.3 Przy określaniu obliczeniowej rozpiętości burtowego wręgu ramowego można uwzględnić łączniki, uznane jako skuteczne podparcia wręgu, jeżeli ich rozmieszczenie spełnia następujące warunki:

- wręgi ramowe z jednym łącznikiem:
łącznik znajduje się w odległości $(0,36 \div 0,5) l_w$ od dolnego końca wręgu ramowego,
- wręgi ramowe z dwoma łącznikami:
dolny łącznik znajduje się w odległości $(0,21 \div 0,3) l_w$, a górny w odległości $(0,53 \div 0,58) l_w$ od dolnego końca wręgu ramowego (l_w – rozpiętość wręgu ramowego mierzona od dennika do pokładnika, [m]).

Wręgi ramowe mające więcej niż dwa łączniki lub łączniki nie rozmieszczone w podanych powyżej odstępach podlegają odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS. Zaleca się, aby łączniki na wzdłużnikach burtowych były rozmieszczone w równych odstępach.

7.3.5.4 Wręgi ramowe w maszynie i w skrajnikach powinny mieć środnik o wysokości nie mniejszej niż wysokość obliczona wg wzoru:

$$h = 2L_0l, \quad [\text{mm}] \quad (7.3.5.4)$$

Wysokość h nie musi być większa niż:

$$h = 200l, \quad [\text{mm}]$$

l – rozpiętość wiaźara, [m].

Szerokość mocników wiaźarów w maszynowni powinna być nie mniejsza niż $35l$, [mm].

Grubość mocników wiaźarów powinna być nie mniejsza niż $1/30$ szerokości mocnika dla mocników symetrycznych i nie mniejsza niż $1/15$ szerokości mocnika dla mocników niesymetrycznych.

7.3.5.5 Przy zastosowaniu poprzecznego układu wiązań burt w rejonie od grodzi kolizyjnej ku dziobowi – po długości okrętu – i od dna do pokładu znajdującego się nad wodnicą konstrukcyjną – po wysokości okrętu – należy zastosować wzdłużniki burtowe w odstępach nie przekraczających 2 m.

Wzdłużniki powinny być podparte przez rzędy pokładników rozporowych, które mogą być rozmieszczone na co drugim wręgu. Pośrednie wręgi należy łączyć ze wzdłużnikami za pomocą węzłówek mających poziome ramiona o długości równej co najmniej połowie szerokości wzdłużnika.

Zamiast rzędów pokładników można zastosować wręgi ramowe w odstępach nie przekraczających 3 m. Jeśli zastosowano wzdłużny układ wręgów burtowych, to odstęp wręgów ramowych powinien być nie większy niż 2,4 m. Moment bezwładności przekroju pokładników rozporowych, I_{α} , należy określać według 13.7.3. W sposób przybliżony wymaganą wartość momentu bezwładności przekroju pokładników (z uwzględnieniem pasa współpracującego, jeśli on istnieje) można określić stosując wzór:

$$I_{\alpha} = 6k_1 T l^2, \quad [\text{cm}^4] \quad (7.3.5.5)$$

$$k_1 = \frac{A}{2,4}, \text{ lecz nie mniej niż } 1,0;$$

A – powierzchnia burty podparta przez pokładnik rozporowy, [m²];

l – rozpiętość pokładnika rozporowego, [m].

7.3.6 Złożone układy wiaźarów

Jeżeli wiaźary wchodzą w skład złożonego układu wiaźarów, może być wymagane wyznaczenie ich wymiarów w oparciu o analizę naprężeń, zgodnie z wymaganiami rozdziału 14.

7.4 Wzmocnienia części dziobowej

7.4.1 Zastosowanie

Wymagania niniejszego podrozdziału mają zastosowanie do wszystkich okrętów i obejmują wzmocnienia kadłuba ze względu na działanie falowych obciążeń uderowych w rejonie: $z \geq T$, a po długości okrętu – do przekroju znajdującego się $0,1 L_0$ od PD w kierunku rufy.

Zwykle tylko okręty o długości $L_0 \geq 100$ m oraz o znacznej prędkości i rozchyleniu burt na dziobie wymagają zastosowania wzmocnień.

7.4.2 Poszycie burt

7.4.2.1 Grubość poszycia burt w rozpatrywanym rejonie powinna być nie mniejsza od określonej według wzoru 6.7.2.1-1, przyjmując wartość ciśnienia udarowego p_u określoną według 7.4.5.

7.4.2.2 Poza rejonem dziobowym grubość poszycia burt powinna zmniejszać się stopniowo do wartości wymaganej poza tym rejonem.

7.4.3 Wymiarowanie usztywnień

7.4.3.1 Wskaźnik przekroju i pole poprzecznego przekroju środnika wzdłużnych i poprzecznych wręgów burtowych należy określać w oparciu o wymagania podane w 6.7.3, przyjmując wartość ciśnienia p_u obliczoną według 7.4.5.

7.4.3.2 Poza rejonem dziobowym wymiary wręgów mogą być stopniowo zmniejszane do wartości wymaganej poza tym rejonem.

7.4.3.3 Jeżeli środniki wręgów nie są prostopadłe do poszycia burt, to należy zastosować węzłówki przeciwskrętne (patrz 7.3.4).

7.4.4 Inne wymagania

7.4.4.1 Grubość środników wręgów ramowych, poziomych węzłówek przydziobnicowych, wzdłużników burtowych, pokładów i grodzi w rejonie dziobowym okrętu powinna być nie mniejsza niż grubość obliczona wg wzoru:

$$t = \frac{6,5 + 0,15\sqrt{p_u}}{\sqrt{k}} + t_k, \quad [\text{mm}] \quad (7.4.4.1)$$

p_u – ciśnienie określone według 7.4.5.

Pozostałe oznaczenia – patrz 7.4.4.4.

7.4.4.2 Odstęp usztywnień środników wiązarów lub pokładów w pobliżu poszycia burtowego powinien być nie większy niż odstęp obliczony wg wzoru:

$$s_n = 0,09t, \quad [\text{m}] \quad (7.4.4.2)$$

t – grubość poszycia pokładu lub środnika rozpatrywanego wiązara, [mm].

7.4.4.3 Wskaźnik przekroju netto wiązarów (tzn. po odjęciu naddatków korozyjnych) w rejonie dziobowym powinien być nie mniejszy niż wskaźnik obliczony wg wzoru:

$$W = \frac{0,15l^2bp_u}{k}, \quad [\text{cm}^3] \quad (7.4.4.3)$$

Oznaczenia – patrz 7.4.4.4.

7.4.4.4 Pole poprzecznego przekroju środka na końcach wężara powinno być nie mniejsze niż pole obliczone wg wzoru:

$$A_s = \frac{0,02lb p_u}{k} + 10h_w t_k, \quad [\text{cm}^2] \quad (7.4.4.4)$$

p_u – ciśnienie, [kPa], określane według 7.4.5;

h_w – wysokość środka wężara, [m];

l – rozpiętość wężara, [m];

b – szerokość pasa poszycia podpartego przez wężar, [m];

t_k – naddatek korozyjny, (patrz 2.5), [mm];

k – współczynnik materiałowy.

7.4.5 Ciśnienie udarowe

Obliczeniowe ciśnienie udarowe działające na poszycie burt w dziobowym rejonie należy określać wg wzoru:

$$p_u = c(2,2 + 1,5 \text{tg } \alpha) \left(0,4v \sin \beta + 0,6\sqrt{L_0} \right)^2, \quad [\text{kPa}] \quad (7.4.5-1)$$

$$c = 0,18(C_w - 0,5h_0), \text{ lecz nie więcej niż } 1,0; \quad (7.4.5-2)$$

C_w – współczynnik falowy – patrz rozdział 17;

h_0 – pionowa odległość rozpatrywanego punktu od wodnicy konstrukcyjnej, [m];

L_0 – długość obliczeniowa okrętu;

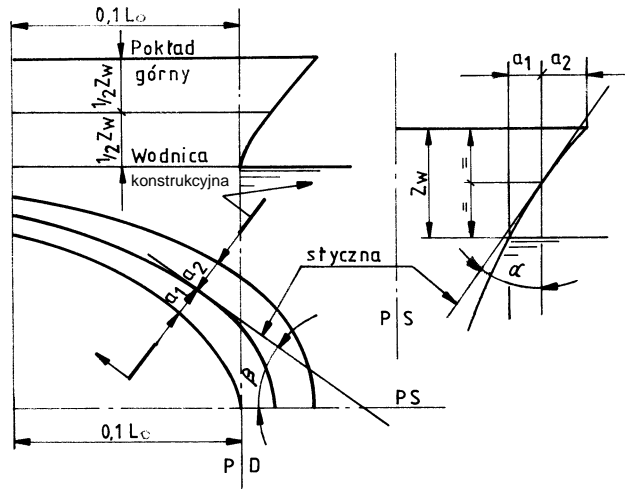
α – kąt rozchylenia burt mierzony w płaszczyźnie prostopadłej do linii wodnicy w rozpatrywanym punkcie – patrz rys. 7.4.5;

β – kąt mierzony w płaszczyźnie wodnicy, na której znajduje się rozpatrywany punkt, pomiędzy płaszczyzną symetrii a styczną do poszycia w tym punkcie – patrz rys. 7.4.5.

Kąt α można obliczyć wg wzoru:

$$\text{tg } \alpha = \frac{a_1 + a_2}{z_w} \quad (7.4.5-3)$$

a_1, a_2, z_w – patrz rys. 7.4.5.



Rys. 7.4.5 Kąt rozchylenia poszycia burt

Uwaga: Jeżeli wartości a_1 i a_2 różnią się znacznie między sobą, to ciśnienie p_u należy określać na kilku wodnicach.

8 POKŁADY

8.1 Zasady ogólne

8.1.1 Zastosowanie

8.1.1.1 Wymagania niniejszego rozdziału dotyczą konstrukcji pokładów i platform zgodnie z definicją podaną w A/2.4.

8.1.1.2 Dodatkowe wymagania, odnoszące się do pokładów przeznaczonych do transportu pojazdów podane są w rozdziale C/10 a dla lądowisk śmigłowców – w rozdziale C/9.

8.2 Konstrukcja

8.2.1 Układ wiązań

Na okrętach o długości $L_0 > 100$ m pokład wytrzymałościowy poza linią otworów lukowych powinien mieć wzdłużny układ wiązań. Pomiędzy lukami zaleca się zastosowanie poprzecznego układu wiązań.

8.2.2 Pokładniki wzdłużne

Przy wzdłużnym układzie wiązań pokładu wytrzymałościowego zalecane jest aby pokładniki wzdłużne przechodziły w sposób ciągły przez wiązania poprzeczne w rejonie $-0,25 L_0 \leq x \leq 0,25 L_0$.

Na okrętach o długości $40 \text{ m} \leq L_0 \leq 100$ m pokładniki wzdłużne pokładu wytrzymałościowego w rejonie $-0,25 L_0 \leq x \leq 0,25 L_0$ mogą być przerywane na wiązarach poprzecznych; należy wówczas zastosować ciągłe węzłówki przechodzące przez wiązania poprzeczne i łączące pokładniki wzdłużne, lub w inny sposób zapewnić ciągłość konstrukcyjną.

Poza rejonem $-0,25 L_0 \leq x \leq 0,25 L_0$ na okrętach o długości $L_0 \geq 40$ m i na całej długości okrętów o długości $L_0 < 40$ m pokładniki wzdłużne pokładu wytrzymałościowego mogą być przerywane na wiązarach poprzecznych i spawane do nich lub połączone z nimi za pomocą węzłówek.

8.2.3 Pokład pomiędzy lukami

8.2.3.1 Przy zastosowaniu pokładników wzdłużnych pomiędzy lukami należy w tym rejonie zwiększyć grubość płyt poszycia, tak aby zapewnić stateczność przy obciążeniach poprzecznych, lub zastosować wstawkowe usztywnienia poprzeczne.

8.2.3.2 Pokładniki poprzeczne powinny być doprowadzone do drugiego pokładnika wzdłużnego, licząc na zewnątrz od wzdłużnej zębownicy luku. Jeśli jest to niemożliwe, to pokładniki poprzeczne powinny być przedłużone do drugiego pokładnika wzdłużnego za pomocą wstawkowych usztywnień lub węzłówek.

8.2.3.3 Usztywnienia płaskiej górnej części grodzi poprzecznej powinny zapewnić dostateczną stateczność całej konstrukcji przy działaniu obciążeń poprzecznych ściskających pokład, a pochodzących od poprzecznego obciążenia burt (patrz również 8.4.1).

8.3 Wymiarowanie wiązań

8.3.1 Poszycie

8.3.1.1 Grubości płyt poszycia pokładów i platform należy określać zgodnie z 13.2 i 13.4. Ponadto poszycie pokładów stanowiących ograniczenie zbiorników powinno spełniać wymagania dla grodzi wodoszczelnych na odpowiadających tym pokładom wysokościach.

8.3.1.2 Grubość mocnicy pokładowej pokładu wytrzymałościowego powinna być nie mniejsza niż grubość przyległych płyt poszycia pokładu. Jeżeli końcowa ściana nadbudówki okrętu o długości $L_0 > 65$ m, której pokład jest pokładem wytrzymałościowym, jest położona w rejonie o współrzędnych $-0,25 L_0 \leq x \leq 0,25 L_0$, to mocnica pokładowa powinna mieć grubość zwiększoną o 20% na długości 3 m po obu stronach końcowej ściany nadbudówki.

8.3.1.3 Jeżeli na mocnicę lub pas poszycia pokładu wytrzymałościowego, do którego przyłączona jest gródź wzdłużna przenosząca obciążenia od wzdłużnego zginania kadłuba, wymagana jest stal kategorii B, D lub E, to szerokość takiej mocnicy/pasa poszycia powinna być nie mniejsza niż szerokość obliczona wg wzoru:

$$b = 800 + 5L_0, \quad [\text{mm}] \quad (8.3.1.3)$$

lecz nie musi przekraczać 1800 mm.

8.3.2 Usztywnienia

Wymiary poprzecznych i wzdłużnych pokładników pokładów i platform należy określać zgodnie z 13.5. Ponadto wymiary te powinny spełniać odpowiednie wymagania dla usztywnień grodzi wodoszczelnych w przypadku pokładów i platform stanowiących ograniczenia zbiorników.

8.3.3 Wymiarowanie i rozmieszczenie wiązarów pokładowych

8.3.3.1 Wymiary elementów wiązarów zwykłych: wzdłużników pokładowych, pokładników ramowych i końcowych pokładników luków oraz zrębnic lukowych spełniających rolę wzdłużników pokładowych powinny spełniać wymagania podrozdziału 13.6.

8.3.3.2 Wymagania w zakresie wymiarowania elementów pokładników wspornikowych podane są w 8.3.5.

8.3.3.3 Wzdłużniki pokładki lub platformy stanowiącej szczyt zbiornika powinny być usytuowane w płaszczyźnie pionowych wiązarów grodzi poprzecznej.

Pole przekroju mocnika powinno być co najmniej równe 1/7 pola przekroju środnika, a grubość mocnika powinna być co najmniej równa 1/30 szerokości mocnika.

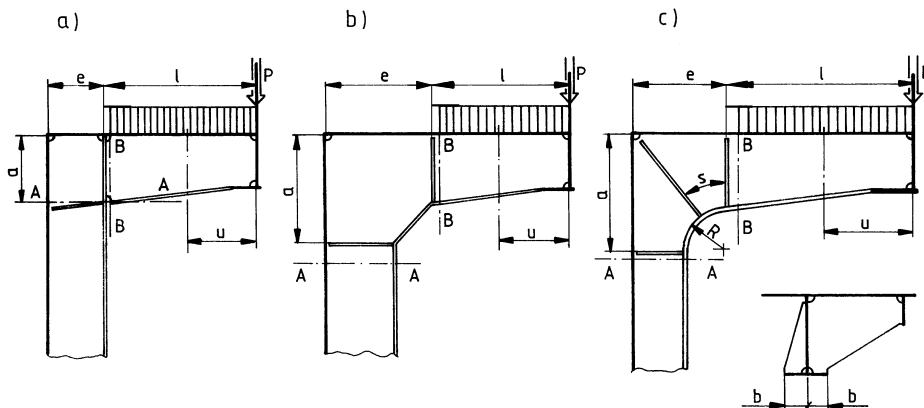
8.3.3.4 Pokładniki ramowe należy zastosować na najniższym pokładzie w maszynie, w płaszczyźnie wręgów ramowych. Wysokość pokładników ramowych powinna być co najmniej równa 50% wysokości wręgów ramowych, a grubość środnika oraz wymiary mocnika powinny być równe odpowiednim wymiarom wręgów ramowych.

8.3.4 Złożone układy wiązarów

Jeżeli wiązary wchodzi w skład złożonego układu wiązarów, może być wymagane wyznaczenie ich wymiarów w oparciu o analizę naprężeń, zgodnie z wymaganiami rozdziału 14.

8.3.5 Wymiarowanie pokładników wspornikowych łuku

8.3.5.1 Wymagania niniejszego podrozdziału dotyczą wymiarowania pokładników wspornikowych wraz z wręgami ramowymi, które można traktować jako wiązary zwykłe (rys. 8.3.5.1).



Rys. 8.3.5.1 Pokładniki wspornikowe w obrębie łuku

Przy zastosowaniu innych rozwiązań konstrukcyjnych wymagane jest przeprowadzenie analizy naprężeń, zgodnie z wymaganiami rozdziału 14.

8.3.5.2 Dla potrzeb niniejszego podrozdziału zastosowano następujące oznaczenia:
 a, e – wymiary naroża (patrz rys. 8.3.5.1), [m];
 b_e – efektywna szerokość mocnika, [cm];
 b – połowa rzeczywistej szerokości mocnika, [cm];
 l – rozpiętość pokładnika wspornikowego, [m];

- P – siła skupiona przyłożona w miejscu przecięcia się pokładnika wspornikowego ze zębnicą łuku, wywołana działaniem obciążenia pionowego pokrywy łuku oraz pokładu usztywnionego poprzecznie, [kN];
- Q – obciążenie rozłożone wywołane działaniem ładunku na pokład usztywniony wzdłużnie:
 $Q = plb_0$, [kN];
 b_0 – szerokość obciążonej powierzchni, równa odstępowi między pokładnikami wspornikowymi, [m];
 p – ciśnienie obliczeniowe według rozdziału 16, [kPa];
 $Q = 0$ dla pokładu usztywnionego poprzecznie;
- u – odległość rozpatrywanego przekroju pokładnika wspornikowego od jego końca (patrz rys. 8.3.5.1), [m].

8.3.5.3 Wskaźnik przekroju pokładnika i wręgu ramowego (w przekrojach A–A i B–B na rys. 8.3.5.1) powinien być nie mniejszy niż wskaźnik obliczony wg wzoru:

$$W = \frac{6}{k} l (P + 0,5Q), \quad [\text{cm}^3] \quad (8.3.5.3)$$

8.3.5.4 Efektywną szerokość mocnika b_e należy określać następująco:

- dla nie zaokrąglonego połączenia pokładnika wspornikowego z wręgiem ramowym (rys. 8.3.5.1 a, b):

$$b_e = 2b, \quad [\text{cm}] \quad (8.3.5.4-1)$$

- dla zaokrąglonego połączenia pokładnika wspornikowego z wręgiem ramowym (rys. 8.3.5.1 c):

$$b_e = 2Kb, \quad [\text{cm}] \quad (8.3.5.4-2)$$

$$K = 1 - k_1 \left(1 - \frac{2}{c + 2} \right) \quad (8.3.5.4-3)$$

k_1 – współczynnik określany wg tabeli 8.3.5.4;

c – współczynnik określany wg wzoru:

$$c = \frac{b^2}{Rt_m} \quad (8.3.5.4-4)$$

R – promień zaokrąglenia, [cm];

t_m – grubość mocnika; należy przyjmować $t_m \geq \frac{b}{10}$, [cm].

Tabela 8.3.5.4
Wartości współczynnika k_1

s/b	k_1
$0 < s/b \leq 2$	$0,1 s/b$
$2 < s/b \leq 4$	$0,1 (3 s/b - 4)$
$4 < s/b \leq 8$	$0,05 (s/b + 12)$

s – odstęp usztywnień według rys. 8.3.5.1, mierzony wzdłuż krawędzi mocnika, [cm].

8.3.5.5 Efektywną szerokość pasa współpracującego poszycia pokładu i burt można przyjmować jako równą $0,4 l$. Przyjęta szerokość powinna być nie większa od odstepu między pokładnikami wspornikowymi i od odległości e (patrz rys. 8.3.5.1).

8.3.5.6 Pole przekroju netto środника pokładnika wspornikowego powinno być nie mniejsze niż pole obliczone wg wzoru:

$$A_s = \frac{0,12}{k} \left(P + Q \frac{u}{l} \right), \quad [\text{cm}^2]. \quad (8.3.5.6)$$

8.3.5.7 Grubość narożnej płyty środnika połączenia wręgu ramowego z pokładnikiem wspornikowym w obrębie między przekrojami A–A i B–B, na rys. 8.3.5.1, powinna być nie mniejsza niż grubość obliczona wg wzoru:

$$t = \frac{0,012}{k} (P + 0,5Q) \frac{l}{ae}, \quad [\text{mm}] \quad (8.3.5.7)$$

Płyta środnika w narożu wykonanym według rozwiązań a i b (rys. 8.3.5.1) powinna być dodatkowo wzmocniona, jeżeli wymiary naroża a i e są większe niż $70t$.

8.4 Wymagania dodatkowe

8.4.1 Wytrzymałość poprzeczna pokładu między lukami

Na okrętach mających duże otwory lukowe należy sprawdzić, czy efektywne pole poprzecznego przekroju pokładu między lukami jest wystarczające do przeniesienia obciążeń poprzecznych działających na burty okrętu. Naprężenia zginające i styczne mogą powstać w wyniku obciążenia grodzi poprzecznej przylegającej do pokładu, a także w wyniku odkształceń kadłuba powodowanych jego skręcaniem.

Wzmocnienia mające na celu zmniejszenie naprężeń w pokładzie między lukami podlegają odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS. Do efektywnego pola przekroju poprzecznej przewiązki międzylukowej pokładu zalicza się pole przekroju:

- poszycia pokładu,
- pokładników poprzecznych,
- pokładników ramowych,
- końcowych pokładników luków (po odrębnym rozpatrzeniu),
- grodzi poprzecznej (płaskiej lub profilowanej poziomo) od pokładu do poziomu $0,15H$ poniżej pokładu. Przy obliczaniu efektywnego pola przekroju przewiązki należy odjąć naddatki na korozję.

Naprężenia ściskające powinny być nie większe niż $120k$, [MPa] oraz nie większe niż 80% naprężenia krytycznego dla poszycia pokładu i grodzi. Należy również sprawdzić stateczność usztywnień i wiązarów.

8.4.2 Wzmocnienia w obrębie uskoku pokładu

Wzmocnienia w obrębie uskoku pokładu podlegają odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

8.4.3 Podparcie żurawi pokładowych

8.4.3.1 Maszty i kolumny powinny być skutecznie podparte i powiązane konstrukcyjnie co najmniej z dwoma pokładami lub z jednym pokładem i masztówką o wystarczająco silnej konstrukcji.

8.4.3.2 W miejscach zamocowania takielunku stałego, gai i topenant, pokład powinien być odpowiednio usztywniony i wzmocniony.

8.4.3.3 Pod wzdłużnymi wiązarami fundamentów urządzeń umieszczonych na pokładzie należy stosować wzmocnienia konstrukcji pokładu w postaci wiązarów, w razie potrzeby dodatkowo podpartych podporami. Wzmocnienia te podlegają odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

8.5 Otwory w pokładach

8.5.1 Wymagania ogólne

8.5.1.1 Szerokość otworów pojedynczych luków powinna być nie większa niż 0,6 szerokości okrętu w rejonie otworu. Przy większej szerokości otworu oraz przy podwójnych i potrójnych lukach, konstrukcja pokładu, a szczególnie naroża luku i jego wzmocnienia podlegają odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

8.5.1.2 Otwory w pokładach nie będące otworami luków powinny odpowiadać następującym wymaganiom:

- w miarę możliwości otwory w pokładzie wytrzymałościowym w rejonie o współrzędnych $-0,3 L_0 \leq x \leq 0,3 L_0$, powinny być umieszczone w obszarze między lukami;
- otwory w pokładzie wytrzymałościowym, pomiędzy burtą a linią otworów luków, powinny być możliwie daleko odsunięte od naroży luków i burty;
- otwory w pozostałych rejonach i pokładach powinny być dostatecznie odsunięte od naroży otworów luków i rejonów zwiększonych naprężeń;
- należy spełnić wymagania podrozdziału 3.5 dotyczące wykonania, rozmieszczenia i wzmocnienia otworów.

8.5.2 Kształt naroży otworów luków

8.5.2.1 W rejonie o współrzędnych $-0,3 L_0 \leq x \leq 0,3 L_0$ kształt naroża otworu luku powinien odpowiadać następującym wymaganiom:

- jeżeli zastosowano zaokrąglenie będące częścią okręgu, to jego promień powinien być nie mniejszy od obliczonego wg wzoru:

$$R = 0,03 \left(1,5 + \frac{a}{b} \right) (B_1 - b), \quad [\text{m}] \quad (8.5.2.1-1)$$

b – szerokość otworu luku, [m];

B_1 – szerokość okrętu w obrębie rozpatrywanego otworu, [m];

a – odległość między poprzecznymi krawędziami sąsiednich otworów lukowych (szerokość „przewiązki” między lukami), [m];
można przyjmować:

$$\frac{a}{b} \leq 1 \text{ oraz } 7,5 \leq (B_1 - b) \leq 15$$

- jeżeli zastosowano zaokrąglenie o podwójnym promieniu krzywizny, to promień może być zmniejszony, przy czym wielkość tego zmniejszenia podlega odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS;
- jeżeli zastosowano zaokrąglenie eliptyczne, to poprzeczny zakres krzywej powinien być nie mniejszy od obliczonego wg wzoru:

$$d_y = 0,025 \left(1,5 + \frac{a}{B_1} \right) (B_1 - b), \quad [\text{m}] \quad (8.5.2.1-2)$$

8.5.2.2 Otwory luków w pozostałych rejonach pokładu wytrzymałościowego oraz pokładu drugiego leżącego powyżej $0,7H$ mogą mieć promień zaokrąglenia mniejszy o 50% od obliczonego wg wzoru 8.5.2.1-1, jednak nie mniejszy niż 0,2 m.

8.5.2.3 Otwory luków w pokładach i platformach innych aniżeli powyżej określone oraz w przypadku pokładu górnego okrętów o długości $L_0 \leq 40$ m, mogą mieć promień zaokrąglenia równy 0,15 m.

8.5.3 Wzmocnienia pokładu w rejonie naroży luków

8.5.3.1 Jeżeli zastosowano naroża będące częścią łuku okręgu, to należy wykonać wzmocnienia pokładu wytrzymałościowego w obrębie naroży otworów luków poprzez zwiększenie grubości płyt poszycia o 25% w stosunku do grubości wymaganej w tym rejonie.

8.5.3.2 Wzdłużny zakres wzmocnienia naroża poza krawędź łuku powinien być nie mniejszy niż $1,5R$ w kierunku rufy i dziobu, a poprzeczny – nie mniejszy niż $2R$ w kierunku burty (R – patrz wzór 8.5.2.1-1).

8.5.3.3 Styk pomiędzy zgrubioną płytą naroża a poszyciem o grubości normalnej, powinien znajdować się w odległości co najmniej 100 mm od punktu zakończenia krzywizny naroża.

8.6 Zrębnice

8.6.1 Wymagania ogólne

8.6.1.1 Wymagane wysokości zrębnic określone są w *Części III – Wyposażenie kadłubowe*.

8.6.1.2 Ciągłe zrębnice wzdłużne oraz nieciągłe zrębnice wzdłużne, jeżeli mają one przedłużenia w postaci ciągłych wiązarów podpokładowych, należy wykonać z takiej stali, z jakiej wykonano pokład.

8.6.1.3 Górne krawędzie zrębnic luków ładunkowych powinny być gładkie.

8.6.2 Konstrukcja zrębnic luków pomieszczeń do przewozu zapasów

8.6.2.1 Pionowe płyty zrębnic wzdłużnych powinny rozciągać się poniżej pokładu na wysokość równą co najmniej wysokości kształtowników pokładników.

Jeżeli zrębница wzdłużna nie wchodzi w skład układu wiązarów, to jej część znajdująca się poniżej pokładu powinna być przedłużona co najmniej o dwa odstępy wręgowe poza końce luków.

8.6.2.2 Jeżeli pionowe płyty zrębnicy poprzecznej luku nie znajdują się w płaszczyźnie końcowego pokładnika luku, to powinny one być przedłużone pod pokładem co najmniej o trzy odstępy pokładników wzdłużnych poza zrębnicę wzdłużną.

8.6.2.3 Jeżeli zrębnice wzdłużne pełnią rolę wzdłużników, to powinny być przedłużone pod pokładem i należy je połączyć z pokładnikiem końcowym luku, a w miejscach połączeń należy zastosować płyty diamentowe.

8.6.2.4 W narożach luków położonych na pokładzie wytrzymałościowym końce zrębnic wzdłużnych należy zagiąć po linii zaokrąglenia naroża luku i spawać spoiną czołową ze zrębnicami poprzecznymi lub przedłużyć zrębnice wzdłużne i poprzeczne poza naroża za pomocą węzłówek.

Węzłówki powinny zapewniać płynne połączenie zrębnic z wiązarami pod pokładem.

8.6.2.5 Zrębnice wzdłużne o wysokości mniejszej niż 0,6 m powinny być usztywnione pionowo na całej wysokości i na każdym wręgu lub w odstępach równych około 60 grubościom zrębnicy. Węzłówki przeciwskretne powinny być zamontowane na co drugim wręgu, a górna krawędź zrębnicy powinna być wzmocniona za pomocą usztywnienia.

8.6.2.6 Zrębnice, których wysokość nad pokładem wynosi więcej niż 0,6 m, powinny mieć poziome usztywnienie, zamontowane w odległości nie większej niż 0,25 m od górnej krawędzi zrębnicy. Jeżeli długość zrębnicy jest większa niż 3 m, to pomiędzy usztywnieniem poziomym a pokładem należy zastosować pionowe węzłówki wspornikowe, w odstępach nie większych od dwu odstępów wręgowych.

Wzmocnienia zrębnic o wysokości większej niż 0,9 m oraz zrębnic luków zaopatrzonych w zamknięcia mechaniczne podlegają odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

8.6.3 Wymiarowanie zrębnic luków

8.6.3.1 Wymiary zrębnic stanowiących wzdłużniki pokładowe lub końcowe pokładniki luków powinny odpowiadać wymaganiom podanym w 8.3.3.

8.6.3.2 Zrębnice luków pomieszczeń przeznaczonych do przewozu balastu lub zapasów płynnych, powinny odpowiadać wymaganiom dla grodzi zbiorników, podanym w 9.3.

8.6.3.3 Grubość pionowych płyt zrębnic luków na okrętach o długości $L_0 > 60$ m powinna być nie mniejsza niż 11 mm.

8.6.3.4 Płyty zrębnic oraz ich usztywnienia i węzłówki, powinny mieć wystarczającą wytrzymałość dla przeniesienia miejscowych sił wywołanych urządzeniami zabezpieczającymi i otwierającymi pokrywę luku oraz sił bezwładności elementów przewożonych na pokrywie luku (patrz również *Część III – Wyposażenie kadłubowe*).

8.6.4 Zrębnice przewodów wentylacyjnych

8.6.4.1 Grubość zrębnic przewodów wentylacyjnych na pokładzie wolnej burty oraz na otwartych pokładach nadbudówek położonych w rejonie o współrzędnych $x \geq 0,25 L_0$ powinna być nie mniejsza niż grubość obliczona wg wzoru:

$$t = 0,01d + 5, \quad [\text{mm}] \quad (8.6.4.1)$$

d – średnica wewnętrzna, a dla zrębnicy prostokątnej długość większego boku, [mm].

Grubość t powinna być nie mniejsza niż 7 mm i nie musi być większa niż 10 mm.

Grubość zrębnic na pokładach nadbudówek pierwszej kondygnacji rozmieszczonych w rejonie o współrzędnej $x < 0,25 L_0$ może być o 10% mniejsza od grubości wymaganej dla zrębnic na pokładzie wolnej burty.

8.6.4.2 Jeżeli grubość stalowego poszycia pokładu jest mniejsza niż 10 mm, to w obrębie zrębnicy należy spawać płytę o grubości nie mniejszej niż 10 mm, o długości i szerokości nie mniejszej od podwójnej średnicy (lub podwójnej długości większego boku) zrębnicy.

W przypadku odpowiedniego powiązania zrębnicy z konstrukcją pokładu nie wymaga się stosowania spawanej płyty.

8.6.4.3 Jeżeli zrębница przewodu wentylacyjnego ma wysokość większą niż 900 mm, to należy zastosować węzłówki mocujące zrębnicę do pokładu.

8.6.5 Zrębnice zejściówek i świetlików

Konstrukcja zrębnic zejściówek i świetlików powinna być pod względem wytrzymałościowym taka sama jak konstrukcja zrębnic luków pomieszczeń do przewozu zapasów; grubość zrębnic powinna być nie mniejsza niż 7 mm, lecz nie musi być większa od grubości pokładu przy zrębnicy.

8.7 Podpory

8.7.1 Rozmieszczenie i ustawienie podpór

8.7.1.1 Osie podpór w międzypokładziach i pomieszczeniach do przewozu zapasów powinny w zasadzie znajdować się w jednej linii pionowej. Wzdłużniki pokładowe i pokładniki ramowe w miejscach ustawienia podpór powinny być wzmocnione.

8.7.1.2 Pod dolnym końcem podpory o średnicy większej niż 125 mm, na poszyciu dna wewnętrznego i pokładów (jeżeli nie zastosowano węzłówek przenoszących obciążenie) należy zastosować płytkę nakładkową, spawaną na obwodzie spoiną ciągłą. Grubość płyty nakładkowej powinna być nie mniejsza niż grubość obliczona wg wzoru:

$$t = \frac{P}{245} + 10, \quad [\text{mm}] \quad (8.7.1.2)$$

P – nominalna siła osiowa w podporze, określana zgodnie z 13.7, [kN].

Średnica płyty nakładkowej powinna być większa od średnicy podpory o 6 t.

8.7.1.3 Końce podpór silnie obciążonych oraz narażonych na znaczne obciążenia dynamiczne, podpór o średnicy większej niż 350 mm, a także wszystkich podpór o przekroju niekołowym należy mocować za pomocą węzłówek na lub pod pokładem lub w inny równorzędny sposób (np. stosując wstawki stożkowe), niezależnie od zastosowania płyt nakładkowych, tak aby zapewnić przenoszenie obciążeń między podporami i na konstrukcje pokładów czy dna wewnętrznego.

8.7.2 Wymiarowanie podpór

8.7.2.1 Pole przekroju poprzecznego podpór należy obliczać według 13.7.

8.7.2.2 Grubość ścianek podpór rurowych powinna być nie mniejsza niż grubość obliczona wg wzoru:

$$t = \frac{d_z}{50} + 3,5, \quad [\text{mm}] \quad (8.7.2.2)$$

i powinna wynosić nie mniej niż 6 mm.

d_z – średnica zewnętrzna podpory, [mm].

8.7.2.3 Grubość śródników podpór wykonanych z kształtowników powinna być nie mniejsza niż grubość obliczona wg wzoru:

$$t = \frac{h_s}{50}, \quad [\text{mm}] \quad (8.7.2.3)$$

i powinna wynosić nie mniej niż 6 mm.

h_s – wysokość poprzecznego przekroju środnika podpory, [mm].

8.7.3 Podpory w zbiornikach

8.7.3.1 Jeżeli obciążenie hydrostatyczne może powodować w podporach naprężenia rozciągające, to pole ich przekroju poprzecznego powinno być nie mniejsze niż pole obliczone wg wzoru:

$$A_p = 0,07 F_p p_p, \quad [\text{cm}^2] \quad (8.7.3.1)$$

F_p – pole powierzchni pokładu podpartej przez podpory, [m²];

p_p – ciśnienie obliczeniowe powodujące naprężenie rozciągające w podporze, [kPa].

8.7.3.2 Podpory w zbiornikach powinny być wykonane z płyt lub kształtowników otwartych.

8.7.3.3 Zamiast końcowych płytek nakładkowych, omówionych w 8.7.1.2, należy stosować węzłówki końcowe.

8.8 Wzmocnienia pod kontenerami

8.8.1 Konstrukcja pokładów w rejonie kontenerów

W konstrukcji pokładu, na którym mają być ustawione kontenery, należy przewidzieć odpowiednio wytrzymały system usztywnień lub wiązarów w rejonach gniazd i pod zaczepami dla odciągów stosowanych do mocowania kontenerów.

8.8.2 Obciążenia obliczeniowe

8.8.2.1 Dopuszczalne wartości mas kontenerów powinny być wyszczególnione w *Instrukcji kontroli obciążenia okrętu* (patrz 15.14).

Jeżeli w *Instrukcji kontroli obciążenia* nie przyjęto inaczej, to największą masę kontenerów należy przyjmować jako równą:

- 24 t – dla kontenerów 20-stopowych;
- 30,5 t – dla kontenerów 40-stopowych.

8.8.2.2 Określając obciążenia dynamiczne (siły bezwładności) od kontenerów, należy rozpatrzyć możliwe kombinacje obciążeń pionowych, poprzecznych i wzdłużnych, według zasad podanych w 17.6.8.

Można przyjąć, że obciążenia poprzeczne i wzdłużne nie działają jednocześnie.

Przyjmuje się, że na ścianę boczną każdego kontenera, która może być poddana naporowi wiatru, działa siła o wartości:

$P_w = 17,5$ kN dla kontenerów 20-stopowych,

$P_w = 35,0$ kN dla kontenerów 40-stopowych.

Obciążenia dynamiczne w płaszczyźnie poziomej oraz siłę oddziaływania wiatru P_w należy rozpatrywać łącznie.

8.8.3 Wytrzymałość pokładów obciążonych kontenerami

Wytrzymałość systemu wiązań pokładów w rejonie kontenerów należy sprawdzić dla obciążeń podanych w 8.8.2.2, wg metod wymaganych w rozdziale 14, stosując podane tam wartości naprężeń dopuszczalnych.

9 GRODZIE

9.1 Zasady ogólne

9.1.1 Zastosowanie

Wymagania niniejszego rozdziału dotyczą rozmieszczenia i konstrukcji grodzi zgodnie z definicją podaną w A/2.5.

9.1.2 Oznaczenia

L_F – długość okrętu – 96% całkowitej długości kadłuba mierzonej w płaszczyźnie wodnicy znajdującej się nad płaszczyzną podstawową na wysokości równej 85% wysokości bocznej lub długość mierzona w płaszczyźnie tej wodnicy od przedniej krawędzi dziobnicy do osi trzonu sterowego (lub do pawęży – dla okrętów bez klasycznego steru), jeżeli długość ta jest większa.

Jeżeli dziób lub rufa okrętu mają kształty różniące się od zwykle stosowanych, długość L_F należy określić w uzgodnieniu z PRS.

T_F – zanurzenie okrętu, równe $0,85 H_F$, [m].

H_F – najmniejsza wysokość boczna mierzona do pokładu górnego, [m].

δ_F – współczynnik pełnotliwości kadłuba odpowiadający zanurzeniu T_F , obliczany wg wzoru:

$$\delta_F = \frac{V_F}{L_F B T_F} \quad (9.1.2)$$

PD_F – pion dziobowy określony dla wodnicy, na której mierzona jest długość L_F .

h_N – wysokość nadbudówki, [m].

V_F – objętość zanurzonej części okrętu, mierzona do zewnętrznych krawędzi wręgów, przy zanurzeniu T_F , [m].

9.2 Podział grodziowy

9.2.1 Wymagania ogólne

9.2.1.1 Należy spełnić wymagania *Części IV – Stateczność i niezatapialność* odnoszące się do podziału kadłuba okrętu na przedziały wodoszczelne.

9.2.1.2 Każdy okręt powinien posiadać następujące grodzie wodoszczelne:

- gródź kolizyjną,
- gródź skrajnika rufowego,
- grodzie ograniczające przedziały maszynowni głównej i maszynowni pomocniczych (przy czym gródź przedziału maszynowni może być jednocześnie grodzią skrajnika rufowego lub grodzią kolizyjną).

Ogólna liczba poprzecznych grodzi wodoszczelnych na okrętach nie mających grodzi wzdłużnych nie powinna być mniejsza od podanej w tabeli 9.2.1.2.

Odległość między sąsiednimi grodziami nie powinna przekraczać 30 m; możliwość jej zwiększenia podlega odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

Liczba grodzi wodoszczelnych może zostać zmniejszona po odrębnym rozpatrzeniu przez PRS podziału przestrzennego i wytrzymałości kadłuba.

Tabela 9.2.1.2
Liczba poprzecznych grodzi wodoszczelnych

Długość okrętu L_F [m]	Położenie maszynowni	
	na rufie ¹⁾	w innym rejonie
$L_F \leq 65$	3	4
$65 < L_F \leq 85$	4	4
$85 < L_F \leq 105$	4	5
$105 < L_F \leq 125$	5	6
$125 < L_F \leq 145$	6	7
$145 < L_F \leq 165$	7	8
$165 < L_F \leq 190$	8	9
$L_F > 190$	według uzgodnienia z PRS	

¹⁾ Gródź skrajnika rufowego stanowi ograniczenie maszynowni od strony rufy.

9.2.1.3 Zalecane jest usytuowanie grodzi poprzecznych lub grodzi częściowych pod końcowymi ścianami nadbudówek lub pokładówek, pod masztami żurawi oraz pod ciężkimi elementami wyposażenia i uzbrojenia okrętu.

Grodzie takie powinny mieć wytrzymałość i sztywność odpowiednie do przejścia statycznych i dynamicznych obciążeń od podpieranych przez nie elementów.

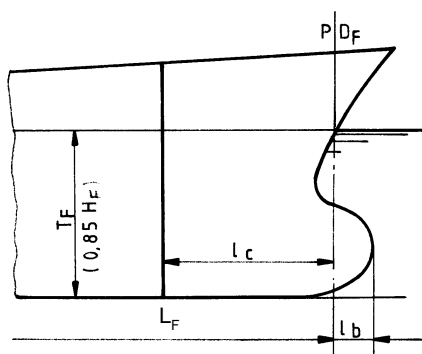
9.2.2 Położenie grodzi kolizyjnej

9.2.2.1 Odległość l_c grodzi kolizyjnej od pionu dziobowego PD_F powinna być zawarta w przedziale:

$$\left. \begin{array}{l} \text{dla } L_F < 200 \text{ m: } 0,05L_F - l_r \\ \text{dla } L_F \geq 200 \text{ m: } 10 - l_r \end{array} \right\} \leq l_c \leq 0,08L_F - l_r, \quad [\text{m}] \quad (9.2.2.1)$$

przy czym należy przyjmować:

- dla okrętów ze zwykłym kształtem dziobu:
 $l_r = 0$
 - dla okrętów, których jakkolwiek podwodna część kadłuba sięga przed płaszczyznę pionu dziobowego PD_F , najmniejszą z wartości:
 $l_r = 0,5 l_b, [\text{m}]$,
 $l_r = 0,015 L_F, [\text{m}]$,
 $l_r = 3,0, [\text{m}]$.
- Sposób określenia l_b pokazano na rysunku 9.2.2.1.

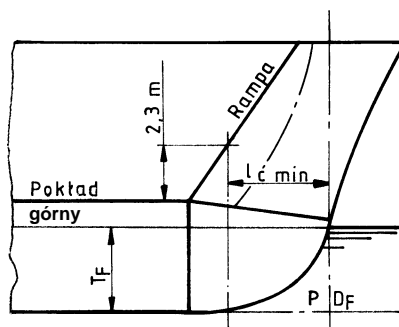


Rys. 9.2.2.1 Określenie położenia grodzi kolizyjnej

9.2.2.2 Powyższe wymagania odnoszą się również do uskoków i wnęk w grodzi kolizyjnej.

9.2.2.3 Na okrętach z furtami dziobowymi, na których pochyła rampa ładunkowa stanowi część grodzi kolizyjnej powyżej pokładu górnego, część zamkniętej rampy leżąca powyżej poziomu 2,3 m nad pokładem wolnej burty może sięgać w kierunku dziobu poza granicę określoną w 9.2.2.1 (patrz rys. 9.2.2.3). Powinien być przy tym zachowany warunek wyrażony wzorem 9.2.2.1.

Rampa w stanie zamkniętym powinna być strugoszczelna na całym obwodzie.



Rys. 9.2.2.3 Gródź kolizyjna z rampą

9.2.2.4 Po uzgodnieniu z PRS odległość grodzi kolizyjnej od PD_F może być zwiększona ponad określoną w 9.2.2.1, jeżeli po zatopieniu skrajnika dziobowego wodnica awaryjna okrętu będzie się znajdowała poniżej pokładu górnego.

9.2.3 Pionowy zasięg grodzi wodoszczelnych

9.2.3.1 Wszystkie poprzeczne grodzie wodoszczelne powinny sięgać do pokładu górnego. Gródź skrajnika rufowego może sięgać do pierwszego wodoszczelnego pokładu położonego powyżej wodnicy konstrukcyjnej – pod warunkiem, że pokład ten jest wodoszczelny w obszarze od grodzi skrajnika rufowego do rufy.

9.2.3.2 Dla okrętów mających pokład ciągły poniżej pokładu górnego oraz zanurzenie mniejsze od wysokości bocznej mierzonej do niższego pokładu – wszystkie grodzie wodoszczelne, z wyjątkiem grodzi kolizyjnej, mogą kończyć się na niższym pokładzie – pod warunkiem, że spełnione będą kryteria stateczności i niezatapialności podane w Części IV – *Stateczność i niezatapialność*. W tych przypadkach wymaga się jednak, aby szyb maszynowy między pokładem górnym a pokładem niższym oraz pokład niższy w obrębie maszynowni poza szybem, miały konstrukcję wodoszczelną.

9.2.3.3 Gródź kolizyjna na okrętach z dziobówką lub pokładem ciągłym ponad pokładem górnym, powinna dochodzić do pokładu dziobówki lub pokładu ciągłego. Część grodzi znajdująca się powyżej pokładu górnego może nie być wykonana w przedłużeniu części usytuowanej poniżej, lecz powinna spełniać wymagania podrozdziału 9.2.1, a fragment pokładu górnego stanowiący uskok grodzi powinien być wodoszczelny.

9.2.4 Przedziały ochronne

9.2.4.1 Przedziały ochronne należy stosować w przypadkach sąsiedztwa :

- zbiorników paliwa z pomieszczeniami mieszkalnymi, służbowymi lub chłodzonymi oraz zbiornikami wody słodkiej lub oleju smarowego;
- zbiorników oleju smarowego z pomieszczeniami mieszkalnymi, służbowymi lub chłodzonymi oraz zbiornikami paliwa lub wody słodkiej;
- zbiorników wody słodkiej ze zbiornikami paliwa, oleju smarowego lub fekalii.

Szerokość pionowych przedziałów ochronnych powinna być nie mniejsza niż 0,6 m, a wysokość poziomych przedziałów ochronnych nie mniejsza niż 0,7 m, jeżeli nie ma innych wymagań. Należy zapewnić odpowiedni dostęp do przedziałów ochronnych, dla przeglądów i remontów. Przedział przed grodzią kolizyjną (skrajnik dziobowy) nie jest uznawany za przedział ochronny.

9.2.4.2 Jeżeli zbiorniki paliwa muszą być umieszczone w maszynowni lub w jej bezpośrednim sąsiedztwie, to należy je konstruować tak, aby ich ściany nie podlegały bezpośredniemu oddziaływaniu wysokich temperatur przy ewentualnym pożarze w maszynowni.

9.2.5 Minimalna wysokość dziobu

9.2.5.1 Wymaganą wysokość dziobu, H_b , rozumianą jako pionowa odległość mierzona na pionie dziobowym PD_F , przy burcie, od wodnicy konstrukcyjnej do górnej krawędzi nie osłoniętego pokładu, należy obliczać wg wzoru:

$$H_b = 56L_F \left(1 - \frac{L_F}{500} \right) \frac{1,36}{\delta_F + 0,68}, \quad [\text{mm}] \quad (9.2.5.1)$$

δ_F – współczynnik pełnotliwości kadłuba; wartość przyjęta do obliczeń powinna być nie mniejsza niż 0,68.

9.2.5.2 Jeżeli wymagana wysokość dziobu została osiągnięta przez zastosowanie dziobówki, to taka dziobówka powinna rozciągać się od dziobnicy do poprzecznego przekroju kadłuba odległego co najmniej $0,07 L_F$ od pionu dziobowego PD_F ku rufie.

9.2.5.3 Jeżeli wymagana wysokość dziobu została osiągnięta dzięki wzniosowi górnego pokładu ciągłego, to wznios ten powinien się rozciągać do poprzecznego przekroju kadłuba odległego co najmniej $0,15 L_F$ od pionu dziobowego PD_F ku rufie.

9.2.6 Grodzie gazoszczelne

Grodzie gazoszczelne powinny być rozmieszczone i konstruowane zgodnie z wymaganiami rozdziałów C/2 i C/4.

9.3 Konstrukcja

9.3.1 Wymagania ogólne

9.3.1.1 Zbiorniki skrajników, jeżeli ich szerokość jest większa niż $2/3B$, powinny mieć gródź przelewową w płaszczyźnie symetrii okrętu.

9.3.1.2 Na okrętach z maszynownią na śródkręciu powinien być zastosowany wodoszczelny tunel wału śrubowego. PRS może zgodzić się na to, aby nie stosować tunelu wału śrubowego, pod warunkiem innego skutecznego zabezpieczenia linii wału. Należy zapewnić swobodny dostęp do łożysk i dławnic wału śrubowego.

9.3.1.3 Pochwa wału śrubowego powinna być umieszczona w wodoszczelnym przedziale. Dławnica pochwy wału śrubowego powinna znajdować się w wodoszczelnym tunelu wału śrubowego lub w innym wodoszczelnym pomieszczeniu, oddzielnym od przedziału pochwy wału śrubowego.

9.3.1.4 Jeżeli w grodziach wodoszczelnych przewidziano otwory, powinny one być wyposażone w odpowiednie zamknięcia, spełniające wymagania określone w *Części III – Wyposażenie kadłubowe*.

9.3.2 Konstrukcja grodzi wzdłużnych

W rejonie o współrzędnych $-0,25 L_0 \leq x \leq 0,25 L_0$, w pasie o szerokości $0,15H$ powyżej dna i poniżej pokładu wytrzymałościowego ciągłość usztywnień wzdłużnych grodzi powinna być taka, jaka jest wymagana odpowiednio dla usztywnień wzdłużnych dna i pokładu.

9.3.3 Grodzie profilowane

9.3.3.1 Grodzie poprzeczne i wzdłużne oddzielające przedziały wodoszczelne oraz grodzie zbiorników mogą być profilowane.

Wzdłużne grodzie profilowane o poziomym układzie profilowania powinny mieć przy dnie i pokładzie płaskie odcinki o szerokości nie mniejszej niż $0,13H$.

Poprzeczne grodzie profilowane o pionowym układzie profilowania zasadniczo powinny mieć przy burcie płaskie odcinki o szerokości nie mniejszej niż $0,08B$.

9.3.3.2 Obliczeniowe odstępys usztywnień dla grodzi profilowanych przyjmuje się następująco (patrz rys. 9.3.3.2):

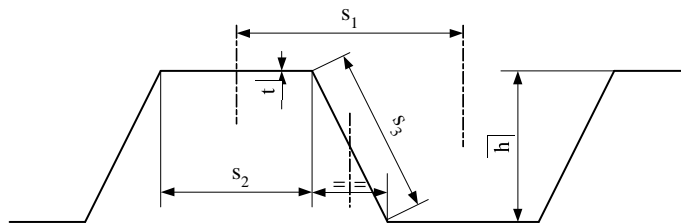
- do obliczeń wymaganej grubości poszycia – większą z wartości:

$$s = 1,05 s_2 \text{ lub } s = 1,05 s_3, \text{ [m]} - \text{w ogólnym przypadku,}$$

$$s = s_2 \text{ lub } s = s_3, \text{ [m]} - \text{jeżeli pasy środkowe tworzą z płaszczyzną grodzi kąt } 90^\circ,$$

- do obliczeń wymaganego wskaźnika przekroju elementu grodzi profilowanej:

$$s = s_1$$



Rys. 9.3.3.2 Gródź profilowana

9.4 Wymiarowanie wiązań

9.4.1 Poszycie

9.4.1.1 Grubość płyt poszycia grodzi wodoszczelnych, gazoszczelnych, przelewowych oraz grodzi zbiorników należy określać zgodnie z 13.2 i 13.4.

9.4.1.2 Może być wymagane zwiększenie grubości poszycia grodzi skrajnika rufowego lub zastosowanie płyty nakładkowej w rejonie dławnicy wału śrubowego.

9.4.1.3 Jeżeli nie została sprawdzona stateczność konstrukcji grodzi profilowanej za pomocą analizy naprężeń, to grubość poszycia tej grodzi powinna być nie mniejsza niż grubość obliczona wg wzorów:

$$t = \frac{s_2}{0,05}, \text{ [mm]}, \text{ gdy } \frac{s_2}{s_3} = 0,5 \quad (9.4.1.3-1)$$

$$t = \frac{s_2}{0,07}, \text{ [mm]}, \text{ gdy } \frac{s_2}{s_3} \geq 1,0 \quad (9.4.1.3-2)$$

(s_1, s_2 – patrz rys. 9.3.3.2).

Dla pośrednich wartości s_2/s_3 minimalną wymaganą grubość t należy określać przez interpolację liniową.

Jeżeli wskaźnik przekroju elementu grodzi profilowanej jest większy od wymaganego, to grubość poszycia grodzi można zmniejszyć, mnożąc wymaganą grubość przez następujący współczynnik:

$$\sqrt{\frac{W_{wymagany}}{W_{rzeczywisty}}}. \quad (9.4.1.3-3)$$

9.4.2 Usztywnienia

9.4.2.1 Wymiary pionowych i poziomych usztywnień oraz elementów profilowanych grodzi należy określać zgodnie z 13.5.

9.4.2.2 Usztywnienia przenoszące ściskające obciążenia osiowe powinny spełniać również wymagania podane w 13.7.3.

9.4.2.3 Wiązary zwykłe

Wymiary elementów wiązarów poziomych i pionowych grodzi wzdłużnych i poprzecznych należy określać zgodnie z 13.6.

Jeżeli wiązary grodzi przenoszą ściskające obciążenia osiowe, to wymiary elementów tych wiązarów powinny spełniać również wymagania podane w 13.7.3.

9.4.3 Złożone układy wiązarów

Jeżeli wiązary grodzi wchodzą w skład złożonego układu wiązarów kadłuba, może być wymagane wyznaczenie ich wymiarów w oparciu o analizę naprężeń, zgodnie z wymaganiami rozdziału 14.

9.5 Wymagania dodatkowe

9.5.1 Tunel wału śrubowego

9.5.1.1 Wymiary wiązań tunelu wału śrubowego powinny odpowiadać odpowiednim wymaganiom podanym dla grodzi, jednakże grubość płyt poszycia górnej części tunelu o kształcie zaokrąglonym może wynosić 90% grubości wymaganej dla płaskiego poszycia, przy zachowaniu tego samego odstępów usztywnień.

9.5.2 Grodzie podporowe

9.5.2.1 Usztywnienia grodzi podpierających pokłady należy traktować jako podpory, które powinny spełniać wymagania 13.7.3, przy czym promień bezwładności przekroju usztywnienia należy obliczać wraz z pasem współpracującym o szerokości $40t$ (t – grubość poszycia grodzi).

9.5.2.2 Grubość poszycia powinna być nie mniejsza niż 6,5 mm.

9.5.2.3 Wysokość profilu na grodziach profilowanych powinna być nie mniejsza niż 100 mm w międzypokładziu.

10 NADBUDÓWKI, POKŁADÓWKI, SPONSONY I NADBURCIA

10.1 Zasady ogólne

10.1.1 Zastosowanie

Wymagania niniejszego rozdziału dotyczą konstrukcji końcowych ścian nadbudówek, ścian pokładówek, szybów i nadburcia oraz konstrukcji sponsonów.

Dla bocznych ścian nadbudówek mają zastosowanie wymagania rozdziału 7, dotyczące burt, zaś dla pokładów pokładówek i nadbudówek mają zastosowanie wymagania rozdziału 8, dotyczące pokładów.

10.1.2 Określenia

Pokładówka długa – pokładówka, której długość lub część długości znajdująca się w obrębie $0,4 L_0$ w środkowej części okrętu wynosi nie mniej niż $0,2 L_0$.

Pokładówka krótka – pokładówka, która nie może być określona jako długa.

Kondygnacja – przestrzeń między kolejnymi pokładami nadbudówki lub pokładówki; kondygnacje liczone są od pokładu górnego.

10.1.3 Oznaczenia

l – rozpiętość usztywnienia, [m], określana według 3.2.1;

s – odstęp usztywnień, [m];

p – ciśnienie obliczeniowe, [kPa].

10.2 Konstrukcja

10.2.1 Ciągłość konstrukcji

10.2.1.1 W nadbudówkach i pokładówkach, szczególnie usytuowanych na rufie, ściana dziobowa powinna znajdować się w płaszczyźnie grodzi poprzecznej znajdującej się poniżej lub powinna być podparta przez układ poprzecznych grodzi częściowych, wiązań ramowych i podpór. Także rufowa ściana końcowa powinna być efektywnie podparta. Jeżeli jest to możliwe, ściany boczne nie osłonięte oraz wewnętrzne ściany wzdłużne i poprzeczne powinny znajdować się w płaszczyźnie grodzi zbiorników lub w płaszczyźnie wiązarów i powinny leżeć w jednej płaszczyźnie na kolejnych kondygnacjach.

Na okrętach, gdzie taki układ konstrukcji jest niemożliwy, należy stosować inny skuteczny sposób podparcia.

10.2.1.2 Należy zapewnić odpowiednią wytrzymałość poprzeczną i sztywność nadbudówek i pokładówek, poprzez zastosowanie grodzi poprzecznych lub systemu wiązarów.

10.2.1.3 Jeżeli ściany boczne nadbudówki pokrywają się z burtami okrętu, poszycie ścian bocznych powinno być poprowadzone poza ścianę końcową nadbudówki i przechodzić łagodnie w mocnicę burtową. Przejście to nie powinno mieć lokalnych nieciągłości. Na swobodnej krawędzi lub poniżej niej, w odległości nie większej niż 50 mm od krawędzi przedłużonego poszycia ścian bocznych nadbudówki należy zastosować mocne usztywnienie. Przedłużone poszycie nadbudówki powinno być odpowiednio usztywnione i nie powinno być połączone z nadburciem.

W zasadzie nie należy wykonywać otworów w przedłużonym poszyciu nadbudówki.

10.2.1.4 Otwory w bocznych ścianach długich pokładówek powinny mieć odpowiednio zaokrąglone naroża.

Wzdłuż górnej i dolnej krawędzi otworów na okna należy zastosować poziome usztywnienia.

Otwory na drzwi w ścianach bocznych powinny być usztywnione wzdłuż krawędzi. Płyty poszycia poniżej i powyżej drzwi powinny być ciągłe i mieć zwiększoną grubość.

10.2.1.5 Pole przekroju spoin, łączących naroża pokładówki z poszyciem pokładu, powinno być zwiększone w stosunku do normalnie wymaganego.

Zakończenia bocznych ścian zewnętrznych długich pokładówek położonych na pokładzie wytrzymałościowym należy łączyć ze ścianami końcowymi (dziobową lub rufową) stosując zaokrąglenie o promieniu obliczonym wg wzoru:

$$R = 0,02l_p, \quad [\text{m}] \quad (10.2.1.5)$$

l_p – długość pokładówki, [m].

Przyjęta wartość promienia R nie musi być większa niż 1,4 m.

10.2.1.6 Jeżeli boczne ściany długich pokładówek nie leżą w płaszczyźnie wzdłużnych grodzi lub wiązarów, lecz są podparte przez pokładniki, to w płaszczyźnie ścian bocznych należy zastosować wzdłużniki pokładowe. Wzdłużniki powinny być przedłużone na długości trzech odstępów wręgowych w kierunku dziobu i rufy poza ściany końcowe pokładówki. Wysokość wzdłużników powinna być nie mniejsza niż wysokość pokładników zwiększona o 100 mm, a na końcach może być równa wysokości pokładników.

10.2.1.7 Pokładniki pod dziobowymi i rufowymi ścianami końcowymi pokładówek nie powinny mieć podkrojów w rejonie naroża pokładówki.

10.2.2 Wymagania dodatkowe

10.2.2.1 Zejściówki usytuowane na nieosłoniętych pokładach powinny być dostatecznie usztywnione, zgodnie z wymaganiami dla pokładówek.

10.2.2.2 Należy przewidzieć niezbędne wzmocnienia ścian i pokładu pokładówek w miejscu ustawienia łodzi ratunkowych, żurawików łodziowych, masztów, wciągarek oraz w innych miejscach, gdzie występują znaczne obciążenia miejscowe.

10.2.2.3 Elastyczne posadowienie nadbudówek i pokładówek podlega odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

10.2.2.4 W przypadku kadłuba okrętu, gdzie pokładem wytrzymałościowym jest pokład nadbudówki o długości mniejszej od długości okrętu lub w ścianach nadbudówki zastosowano otwory o znaczących rozmiarach lub dużą liczbę mniejszych otworów, w ocenie wytrzymałości ogólnej należy uwzględnić niepełną efektywność nadbudówki w przenoszeniu momentu zginającego i siły ścinającej.

10.2.2.5 W takiej sytuacji wymagane jest wykonanie obliczeń z zastosowaniem modelu MES całego kadłuba okrętu – wg wymagań podrozdziału 14.6.

10.2.3 Sponsony

System wiązarów sponsonów powinien być dopasowany do konfiguracji wiązarów kadłuba.

Końcowe części sponsonów powinny w sposób płynny być ukosowane – na długości nie mniejszej niż 5 odstępów wręgowych.

10.3 Wymiarowanie wiązań

10.3.1 Poszycie ścian

10.3.1.1 Grubość poszycia nie osłoniętych końcowych ścian nadbudówek i pokładówek oraz bocznych ścian pokładówek wynikająca z działania obciążeń poprzecznych, powinna być nie mniejsza niż grubość obliczona wg wzoru:

$$t = 18k_a s \sqrt{\frac{p}{\sigma}}, \quad [\text{mm}] \quad (10.3.1.1)$$

k_a – określić jak w 13.4.2.1;

p – patrz 10.4;

$\sigma = 160k$, [MPa].

10.3.1.2 Ostatecznie przyjęta grubość poszycia ścian nadbudówek i pokładówek powinna być nie mniejsza niż:

– dla dolnej kondygnacji:

$$t = 5 + 0,01L_0, \quad [\text{mm}] \quad (10.3.1.2-1)$$

lecz nie musi być większa niż 8 mm;

– dla pozostałych kondygnacji:

$$t = 4 + 0,01L_0, \quad [\text{mm}] \quad (10.3.1.2-2)$$

lecz nie mniejsza niż 5 mm; t może nie przekraczać 7 mm.

10.3.1.3 Grubość poszycia bocznych ścian pokładówek nie musi być większa od grubości wymaganej dla nadbudówek w tym samym rejonie.

10.3.1.4 Grubość poszycia sponsonów należy ustalać wg kryteriów dla pokładów i burt.

W przypadku sponsonów usytuowanych poza środkową częścią okrętu należy uwzględnić ciśnienia od slemingu, wyznaczone wg 7.4.5, a grubość poszycia obliczać wg wymagań 7.4.2.

10.3.2 Usztywnienia ścian

10.3.2.1 Wskaźnik przekroju usztywnień końcowych ścian nadbudówek i pokładówek oraz bocznych ścian pokładówek powinien być nie mniejszy niż wskaźnik obliczony wg wzoru:

$$W = \frac{100l^2 sp}{\sigma}, \quad [\text{cm}^3] \quad (10.3.2.1)$$

p – patrz 10.4;

$\sigma = 160k$, [MPa] – ogólnie dla usztywnień wzdłużnych i pionowych,

$\sigma = 90k$, [MPa] – dla wzdłużnych usztywnień bocznych ścian długich pokładówek przy pokładzie wytrzymałościowym w środkowej części okrętu; naprężenia te można liniowo zwiększać do wartości 160k przy pokładzie pierwszej kondygnacji oraz po długości – w skrajnych częściach okrętu,

l, s – patrz 10.1.3.

10.3.2.2 Wymiary usztywnień bocznych ścian nadbudówek nie muszą być większe niż wymiary wymagane dla wręgów między pokładami z równoważnym połączeniem końców usztywnień.

10.3.2.3 Usztywnienia końcowych ścian dziobowych powinny być doprowadzone do pokładu na obu końcach, przy czym pole przekroju połączenia powinno być nie mniejsze niż pole obliczone wg wzoru:

$$A_p = \frac{0,07 lsp}{k}, \quad [\text{cm}^2] \quad (10.3.2.3)$$

p – patrz 10.4.

l, s – patrz 10.1.3.

Końce usztywnień ścian bocznych i rufowych najniższej kondygnacji powinny być zakończone węzłówkami lub przyspawane do pokładów.

10.3.2.4 Wskaźnik przekroju usztywnień sponsonów należy dodatkowo sprawdzić wg wymagań podanych w 7.4.3, z uwzględnieniem ciśnień od slemingu określonych wg 7.4.5.

10.3.3 Szyby

10.3.3.1 Grubość poszycia szybów osłoniętych powinna być nie mniejsza niż grubość obliczona wg wzorów:

- w rejonie pomieszczeń innych niż mieszkalne:

$$t = 8,5s, \quad [\text{mm}] \quad (10.3.3.1-1)$$

lecz nie mniej niż 6 mm;

- w rejonie pomieszczeń mieszkalnych:

$$t = 6,5s, \quad [\text{mm}] \quad (10.3.3.1-2)$$

lecz nie mniej niż 5 mm.

10.3.3.1.1 Wskaźnik przekroju usztywnień powinien być nie mniejszy niż wskaźnik obliczony wg wzoru:

$$W = 3l^2s, \quad [\text{cm}^3] \quad (10.3.3.2)$$

l – długość usztywnień; należy przyjmować $l \geq 2,5$, [m],

s – odstęp usztywnień, [m].

10.3.3.2 Szyby podpierające jeden lub więcej pokładów powinny być odpowiednio wzmocnione, a wymiary usztywnień powinny odpowiadać wymaganiom podrozdziału 13.7.3.

10.3.4 Nadbudowy ze stopów aluminium

10.3.4.1 Konstrukcje nadbudówek i pokładówek ze stopów aluminium powinny mieć wytrzymałość równą wytrzymałości konstrukcji stalowych. Połączenia konstrukcji stalowych ze stopem aluminium należy wykonać zgodnie z wymaganiami podrozdziału 4.4.

10.3.4.2 Szyby maszynowo-kotłowe oraz pokłady pomieszczeń mieszkalnych i służbowych położonych nad maszynownią i pomieszczeniami funkcjonalnymi okrętu (np. magazynów) powinny być stalowe.

10.4 Obliczeniowe obciążenia ścian

10.4.1 Wywołane przez środowisko morskie ciśnienie zewnętrzne p działające na nie osłonięte końcowe ściany nadbudówek i pokładówek oraz boczne ściany pokładówek należy określać według wymagań rozdziału 17.

10.4.2 Ciśnienie p przyjmowane do obliczeń konstrukcji dziobowych ścian dolnej kondygnacji nadbudówek i pokładówek, powinno być nie mniejsze niż ciśnienie obliczone wg wzoru:

$$p = 12,5 + 0,05L_0, \quad [\text{kPa}] \quad (10.4.2-1)$$

Ciśnienie p przyjmowane dla pozostałych kondygnacji powinno być nie mniejsze niż ciśnienie obliczone wg wzoru:

$$p = 6,25 + 0,025L_0, \quad [\text{kPa}]. \quad (10.4.2-2)$$

10.4.3 Przyjęte do obliczeń ciśnienie działające na nieosłonięte ściany boczne pokładówek powinno być nie mniejsze niż ciśnienie obliczone wg wzoru 10.4.2-2.

10.4.4 Przyjęte do obliczeń ciśnienie działające na nieosłonięte ściany rufowe nadbudówek i pokładówek powinno być nie mniejsze niż ciśnienie obliczone wg wzoru 10.4.2-2.

10.5 Nadburcia

10.5.1 Wymagania ogólne

10.5.1.1 Wymagania dotyczące usytuowania i wysokości nadburć zawarte są w *Części III – Wyposażenie kadłubowe*.

10.5.1.2 Konstrukcja nadburcia w zasadzie powinna być taka, aby nie brało ono udziału w ogólnym zginaniu kadłuba. Nadburcia będące przedłużeniem burty podlegają odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

10.5.1.3 Jeżeli nadburcie jest na pewnym odcinku przyspawane do mocnicy burtowej, to należy zachować płynne przejście, o promieniu co najmniej 100 mm, pomiędzy mocnicą a płytą nadburcia.

10.5.1.4 Należy zapewnić dostateczne środki odprowadzenia wody z pokładów, szczególnie w rejonach, gdzie nadburcia lub nadbudowy tworzą studnie.

10.5.2 Grubość płyt

10.5.2.1 Grubość płyt nadburcia o przepisowej wysokości zasadniczo powinna być nie mniejsza niż grubość obliczona wg wzorów:

$$t = 0,065L_0 + 1,75, \quad [\text{mm}] \quad \text{dla } L_0 \leq 60 \quad [\text{m}] \quad (10.5.2.1-1)$$

$$t = 0,025L_0 + 4,00, \quad [\text{mm}] \quad \text{dla } L_0 > 60 \quad [\text{m}] \quad (10.5.2.1-2)$$

Zastosowana grubość nadburcia powinna być nie mniejsza niż 3 mm, ale nie musi być większa niż 8 mm i większa niż wymagana grubość bocznych ścian nadbudówki.

10.5.2.2 W razie zastosowania nadburcia o wysokości 1,8 m i większej grubość płyt powinna odpowiadać wymaganiom podanym w 10.3, dotyczącym bocznych ścian nadbudówki. Dla wysokości nadburcia większej niż przepisowa, lecz nie przekraczającej 1,8 m, grubości płyt można określać przez interpolację liniową.

10.5.2.3 Grubość nadburcia nadbudów pierwszej kondygnacji położonych w rejonie o współrzędnej $x \leq 0,25L_0$ oraz nadbudów drugiej i wyższych kondygnacji, bez względu na rejon, można zmniejszyć o 1 mm.

10.5.3 Usztywnienia i poręcze

10.5.3.1 Górna krawędź nadburcia powinna być zakończona poręczą z odpowiednio mocnego kształtownika, o grubości co najmniej o 1 mm większej niż grubość poszycia nadburcia.

10.5.3.2 Dolna krawędź nadburcia w rejonie szczeliny między nim a mocnicą burtową powinna być wzmocniona poziomym usztywnieniem lub zagięciem.

10.5.4 Rozmieszczenie wsporników

10.5.4.1 Nadburcie należy wzmocnić wspornikami, w odstępach nie większych niż 1,8 m. W dziobowej części okrętu, w rejonie o współrzędnych $x > 0,43L_0$, odstęp między wspornikami należy zmniejszyć do 1,2 m. W rejonach o znacznym rozchyleniu burt odstępów wsporników podlegają odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

10.5.4.2 Wsporniki należy umieszczać w płaszczyźnie pokładników, węzłówek lub dodatkowych wzmocnień pokładu.

10.5.5 Wymiarowanie i konstrukcja wsporników

10.5.5.1 Szerokość dolnego końca wspornika nadburcia o wysokości 1 m mierzona wzdłuż połączenia z pokładem powinna być nie mniejsza niż szerokość obliczona według wzoru:

$$b = (0,65L_0 + 190)\sqrt{s}, \quad [\text{mm}] \quad (10.5.5.1)$$

lecz nie musi przekraczać 360 mm.

s – odstęp wsporników, [m]; w części dziobowej do obliczeń należy przyjmować $s = 1,8$ m, niezależnie od rzeczywistego odstępu.

Poza rejonem dziobu wartość b można zmniejszyć o 20%, jeżeli nadburcie przyspawano do mocnicy burtowej. Dla nadburcia o wysokości większej niż 1 m szerokość b należy zwiększyć proporcjonalnie do wysokości nadburcia.

10.5.5.2 Grubość wsporników powinna być o 1 mm większa od grubości poszycia nadburcia.

10.5.5.3 Wsporniki powinny mieć zagięcie lub przyspawany na swobodnej krawędzi płaskownik o szerokości nie mniejszej niż 60 mm, lecz nie większej niż 90 mm. Zagięcia (płaskownika) oraz usztywnień wzmacniających dolną krawędź płyty nadburcia nie należy spawać do pokładu.

10.5.5.4 Otwory ulżeniowe we wspornikach powinny być nie większe niż połowa szerokości wspornika w danym przekroju.

10.5.5.5 Wsporniki w rejonie otworów na przejścia w nadburciu powinny mieć grubość o 25% większą od grubości nadburcia. W obrębie kluz, przewłok i miejsc mocowania zaczepów olinowania mogą być wymagane dodatkowe wzmocnienia nadburcia.

10.5.5.6 Wsporniki należy spawać z poręczą, nadburciem i pokładem. Spawanie do pokładu należy wykonać obustronną spoiną ciągłą. Należy przewidzieć odpowiednie otwory dla spływu wody wzdłuż pokładu.

11 DZIOBNICA, WSPORNIKI STERÓW, DYSZE NIEOBROTOWE, WSPORNIKI WAŁÓW I TYLNICE

11.1 Zasady ogólne

11.1.1 Zastosowanie

Wymagania niniejszego rozdziału dotyczą konstrukcji, kształtu i wymiarów dziobnicy, dysz nieobrotowych, wsporników sterów półpodwieszonych i wsporników wałów.

11.1.2 Wymagania ogólne

11.1.2.1 Staliwne odlewy dziobnicy powinny mieć proste kształty i odpowiednio duże promienie odlewnicze.

11.1.2.2 Konstrukcja spawana (odlew staliwny) dziobnicy powinna być wzmocniona poprzecznymi węzłówkami (zebrami w odlewach).

11.1.2.3 Grubość płyt (grubość krawędzi odlewu) w rejonie połączeń z konstrukcją kadłuba należy zmniejszyć do grubości elementów, do których dziobnica będzie spawana.

11.2 Dziobnica

11.2.1 Konstrukcja

11.2.1.1 Płyty dziobnicy należy wzmocnić poprzecznymi węzłówkami, umieszczonymi w odstępach nie większych niż 1 m w rejonie poniżej wodnicy konstrukcyjnej i nie większych niż 1,5 m w rejonie powyżej tej wodnicy. W konstrukcji dziobnicy należy przewidzieć wzmocnienie wzdłużne w płaszczyźnie symetrii dla połączenia z dennym wzdłużnikiem środkowym.

11.2.1.2 Przy zmniejszeniu wymaganego w 11.2.1.1 odstępów węzłówek o 0,5 m można zmniejszyć grubość płyt dziobnicy o 20% w stosunku do grubości podanych poniżej, z tym jednak, że grubość ta powinna być nie mniejsza od grubości płyt poszycia kadłuba, przylegających do dziobnicy. Węzłówki powinny przechodzić poza połączenia dziobnicy z poszyciem kadłuba i powinny być spawane do najbliższych wręgów, a ich grubość powinna być równa grubości poszycia kadłuba.

11.2.1.3 Jeżeli promień gięcia płyt dziobnicy na poziomie wodnicy konstrukcyjnej jest większy niż 200 mm, to w płaszczyźnie symetrii okrętu od stępki do poziomu 0,15T ponad wodnicę konstrukcyjną należy zastosować usztywnienia z mocnikiem wzdłuż swobodnej krawędzi. Grubość usztywnienia i mocnika powinna być nie mniejsza niż grubość węzłówek poprzecznych.

11.2.1.4 Jeżeli promień zaokrąglenia dziobu jest duży, konstrukcja dziobnicy podlega odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

11.2.2 Wymiarowanie

11.2.2.1 Wymiary poprzecznego przekroju dziobnicy belkowej na odcinku między stępką a wodnicą konstrukcyjną, powinny być nie mniejsze niż wymiary obliczone wg wzorów:

$$- \text{długość: } l = 1,2L_0 + 95, \quad [\text{mm}] \quad \text{dla } L_0 < 120 \text{ m} \quad (11.2.2.1-1)$$

$$l = 0,75L_0 + 150, \quad [\text{mm}] \quad \text{dla } L_0 \geq 120 \text{ m} \quad (11.2.2.1-2)$$

$$- \text{szerokość: } b = 0,4L_0 + 15, \quad [\text{mm}] \quad (11.2.2.1-3)$$

lecz nie więcej niż 100 mm.

Od poziomu wodnicy konstrukcyjnej w górę powierzchnia przekroju dziobnicy może zmniejszać się stopniowo do 70% wartości odpowiadającej wymiarom określonym wyżej.

11.2.2.2 Dziobnica konstrukcji spawanej powinna składać się z płyt o grubości nie mniejszej niż grubość obliczona wg wzoru:

$$t = 0,105L_0 + 4, \quad [\text{mm}] \quad (11.2.2.2)$$

lecz nie mniejszej niż 7 mm.

Przy $\frac{T}{L_0} \geq 0,065$ wymaganą grubość płyty dziobnicy spawanej należy ustalić mnożąc otrzymaną z powyższego wzoru wartość przez współczynnik $\left(0,35 + 10\frac{T}{L_0}\right)$.

Ponadto przyjęta grubość płyt w każdym przypadku powinna być nie mniejsza niż grubość stępki płaskiej w miejscu jej zetknięcia się z dziobnicą. Powyżej wodnicy konstrukcyjnej grubość tych płyt może się stopniowo zmniejszać, dochodząc do grubości poszycia burt w końcowych częściach okrętu.

11.2.2.3 Zaleca się, aby długość przekroju poprzecznego dziobnicy spawanej była nie mniejsza niż podwójna długość przekroju poprzecznego dziobnicy belkowej, obliczona wg 11.2.2.1.

11.2.3 Gruszka dziobowa

11.2.3.1 Konstrukcję gruszki należy wzmocnić należyście usztywnionymi, poziomymi platformami, w odstępach nie większych niż 2 m.

11.2.3.2 Jeżeli długość gruszki, mierzona od pionu dziobowego w kierunku dziobu, jest większa niż $0,03L_0$, to w płaszczyźnie symetrii należy zastosować niewodoszczelną przegrodę. Jeżeli długość gruszki jest mniejsza od wyżej określonej, to przegrodę można zastąpić wiązaniem ramowym.

11.2.3.3 Niezależnie od spełnienia wymagań rozdziałów 6 i 7 w zakresie grubości poszycia dna i burt, grubość poszycia gruszki powinna być nie mniejsza niż grubość obliczona wg wzoru:

$$t = 0,08L_0 + 6, \quad [\text{mm}]. \quad (11.2.3.3)$$

11.2.3.4 Kształt dziobowej części kadłuba powinien zapewniać możliwość swobodnego rzucenia kotwicy obok gruszki przy przechylenie okrętu o 5° na przeciwną burtę. W rejonie, gdzie możliwe jest uderzenie kotwicą należy zastosować dodatkowe wzmocnienia.

11.3 Wspornik steru półpodwieszony

11.3.1 Wspornik steru powinien być efektywnie związany z przyległą konstrukcją kadłuba.

11.3.2 Wskaźnik wytrzymałości na zginanie poziomego przekroju wspornika steru obliczony względem wzdłużnej osi obojętnej powinien być nie mniejszy niż wskaźnik obliczony wg wzoru:

$$W = \frac{M}{67k}, \quad [\text{cm}^3] \quad (11.3.2-1)$$

$$M = Rz, \quad [\text{Nm}] \quad (11.3.2-2)$$

$$M_{\max} = Rd, \quad [\text{Nm}] \quad (11.3.2-3)$$

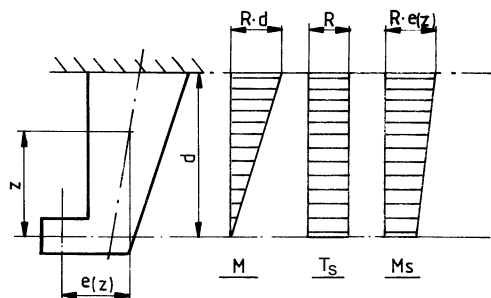
$$R = \frac{Fb}{l_2}, \quad [\text{N}] \quad (11.3.2-4)$$

R – umowna wartość siły reakcji działającej w łożysku umiejscowionym w poziomym ramieniu wspornika steru, [N];

F – umowna wartość siły działającej na płetwę steru, [N], określona w Części III – Wyposażenie kadłubowe;

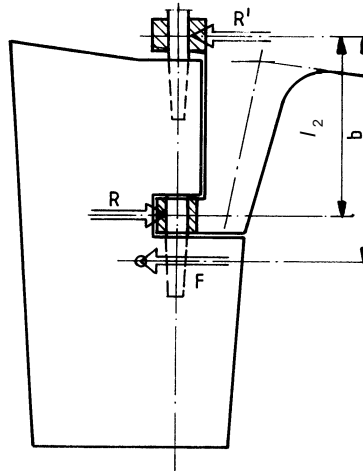
z, d – patrz rys. 11.3.2-1;

b, l_2 – patrz rys. 11.3.2-2.



M – moment zginający, T_s – siła ścinająca, M_s – moment skręcający

Rys. 11.3.2-1 Wspornik steru półpodwieszony



Rys. 11.3.2-2 Siły w sterze półpodwieszonym

11.3.3 W żadnym miejscu wspornika steru naprężenia styczne nie mogą być większe niż:

$$\tau = 48k, \quad [\text{MPa}].$$

11.3.4 W żadnym miejscu wspornika steru naprężenie zredukowane nie może przekroczyć wartości $120k$, [MPa].

11.3.5 Naprężenia należy obliczać wg wzorów:

$$\sigma_z = \sqrt{\sigma_n^2 + 3(\tau_n^2 + \tau_s^2)}, \quad [\text{MPa}] \quad (11.3.5-1)$$

$$\sigma_n = \frac{M}{W}, \quad [\text{MPa}] \quad (11.3.5-2)$$

$$\tau_n = \frac{R}{100A_h}, \quad [\text{MPa}] \quad (11.3.5-3)$$

$$\tau_s = \frac{10M_s}{2A_s t_h}, \quad [\text{MPa}] \quad (11.3.5-4)$$

$$M_s = R \cdot e(z), \quad [\text{Nm}] \quad (11.3.5-5)$$

- A_h – efektywny przekrój wspornika steru na ścinanie w kierunku osi y , [cm^2];
 A_s – pole powierzchni poziomego przekroju wspornika steru, zawartego w obrysie wspornika, [cm^2];
 t_h – grubość poszycia wspornika steru, [mm];
 σ_n – naprężenia normalne, [MPa];
 σ_z – naprężenia zredukowane, [MPa];
 τ_s – naprężenia od skręcania, [MPa];

τ_n – naprężenia od ścinania, [MPa];

M_s – moment skręcający, [Nm];

$e(z)$ – patrz rys. 11.3.2-1.

Przy obliczaniu rzeczywistego wskaźnika przekroju wspornika steru można uwzględnić całkowite pole poziomego przekroju elementów wspornika.

11.3.6 Jeżeli połączenie wspornika steru z konstrukcją kadłuba jest zaprojektowane jako płynne przejście poszycia wspornika w poszycie kadłuba (strefa przejściowa), to dla przekroju znajdującego się w odległości $0,7r$ nad dolną granicą strefy przejściowej (patrz rys. 11.3.6) udział pionowych poprzecznych przegród konstrukcji wspornika we wskaźniku przekroju określonym według 11.3.2 powinien spełniać warunek:

$$W_p = \frac{\sum_{i=1}^n b_i^3 t_i}{6000 b_m} \geq 0,45W \quad (11.3.6)$$

n – liczba przegród we wsporniku;

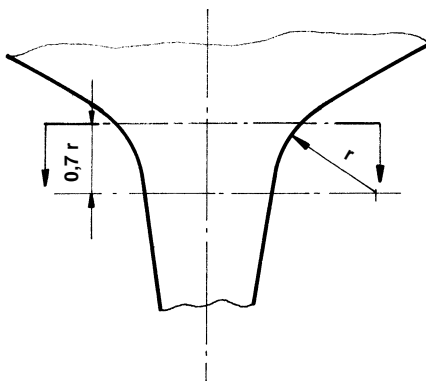
b_i – efektywna szerokość i -tej przegrrody, łącznie z obu grubościami poszycia w strefie przejściowej, stanowiącego pasy współpracujące przegrrody, [mm];

b_m – największa spośród szerokości przegród b_i , [mm];

t_i – grubość i -tej przegrrody, [mm];

r – promień krzywizny strefy przejściowej;

W – patrz 11.3.2.



Rys. 11.3.6 Strefa przejściowa wspornika steru i kadłuba

11.3.7 Grubość poszycia wspornika steru powinna być nie mniejsza niż grubość obliczona wg wzoru:

$$t = \frac{11Fe}{nkA_s 100}, \quad [\text{mm}] \quad (11.3.7-1)$$

$$n = 0,02 \sqrt{4000 - 1500 \left(\frac{W}{W_o} \right)^2} \quad (11.3.7-2)$$

F – patrz p.11.3.2.;

- e – pozioma odległość mierzona od osi czopu do geometrycznego środka powierzchni A_s , [m];
 A_s – patrz p. 11.3.5;
 W_0 – wskaźnik wspornika steru w przekroju, w którym rozpoczyna się strefa przejściowa od poszycia wspornika do poszycia kadłuba (patrz rys. 11.3.6), [cm³];
 W – wskaźnik wspornika steru w tym samym przekroju, określony wg 11.3.2.

11.3.8 Dolny koniec wspornika steru powinien być zamknięty przez poziomą płytę o grubości nie mniejszej niż grubość bocznego poszycia wspornika.

11.3.9 Jeżeli stosuje się strefę przejściową od poszycia wspornika do poszycia kadłuba, to grubość poszycia w tej strefie powinna być nie mniejsza niż grubość obliczona wg wzoru:

$$t_c = \frac{0,15(s - 40)}{r} \frac{W}{W_0}, \quad [\text{mm}] \quad (11.3.9)$$

- s – odstęp pionowych poprzecznych przegród wspornika, [mm];
 r – promień krzywizny strefy przejściowej, [mm];
 W_0, W – jak w 11.3.7.

11.3.10 Całkowite pole powierzchni przekroju poziomego pionowych elementów wspornika steru przenoszących siły poprzeczne powinno być nie mniejsze niż pole obliczone wg wzoru:

$$A_w = c \frac{0,3F}{k} 10^{-3}, \quad [\text{cm}^2] \quad (11.3.10)$$

- $c = 1 + \frac{(A + A_0)A_0}{A^2}$ – przy górnym końcu wspornika,
 $c = 1$ – przy dolnym końcu wspornika;
 A – powierzchnia (rzut boczny) płetwy steru, [m²];
 A_0 – powierzchnia (rzut boczny) wspornika, [m²];
 F – jak w 11.3.2.

11.3.11 Grubość pionowych poprzecznych przegród we wsporniku znajdujących się w strefie przejściowej powinna być nie mniejsza niż:

$$t_r = \frac{bt_c}{r}, \quad [\text{mm}] \quad (11.3.11)$$

- b – szerokość zakrzywionej płyty poszycia kadłuba w strefie przejściowej, podpartej przez rozpatrywaną przegrodę, [mm];
 t_c – grubość zakrzywionej płyty poszycia kadłuba w strefie przejściowej, podpartej przez rozpatrywaną przegrodę, [mm];
 r – jak w 11.3.9.

11.3.12 Jeżeli stosuje się bezpośrednią analizę naprężeń wspornika steru, to obliczenia należy wykonać metodą elementów skończonych.

Dopuszczalne wartości naprężeń wynoszą:

- naprężenia normalne: $\sigma = 80k$, [MPa];
- naprężenia styczne: $\tau = 50k$, [MPa];
- naprężenia zredukowane: $\sigma_{zr} = 180k$, [MPa];

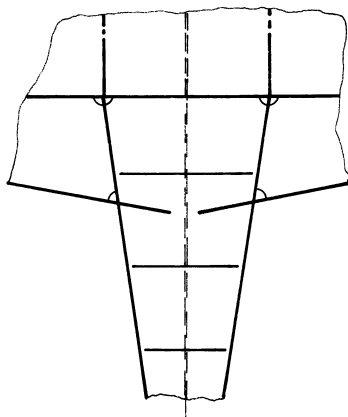
Dla rejonu zakrzywionego przejścia w konstrukcję kadłuba dopuszczalne naprężenia normalne i zredukowane mogą być zwiększone do:

$$\sigma_n = 120k, \text{ [MPa];}$$

$$\sigma_z = 180k, \text{ [MPa];}$$

W przegrodach naprężenia normalne nie powinny przekraczać wartości $\sigma_n = 130k$, [MPa].

11.3.13 Alternatywną konstrukcją wspornika steru złączonego z kadłubem bez stosowania strefy przejściowej podano na rys. 11.3.13.



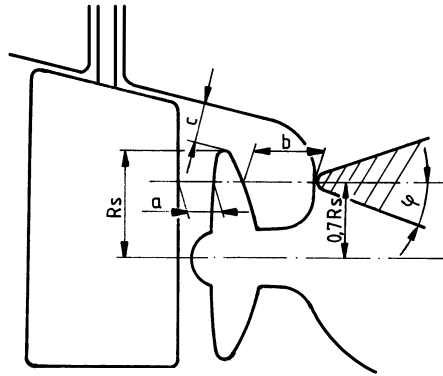
Rys. 11.3.13 Alternatywne rozwiązanie bez strefy przejściowej

11.4 Odległości śruby od kadłuba

11.4.1 Rufowa część kadłuba powinna być ukształtowana w taki sposób, aby zapewnić właściwy dopływ wody do śruby oraz zapewnić jak największą jednorodność pola prędkości strumienia nadążającego.

11.4.2 Dla śrub o przeciętnym stopniu kawitacji zalecane jest aby przyjmować podane niżej minimalne odległości (patrz rys. 11.4.2):

- okręty jednośrubowe:
 - $a \geq 0,2R_s$, [m],
 - $b \geq (0,7 - 0,04Z_s)$, [m],
 - $c \geq (0,48 - 0,02Z_s)R_s$, [m],
 - okręty dwuśrubowe:
 - $c \geq (0,6 - 0,02Z_s)R_s$, [m],
- R_s – promień śruby, [m],
 Z_s – liczba skrzydeł śruby.



Rys. 11.4.2 Prześwit śruby

11.4.3 Promień zakończenia r i kąt φ zejścia wodnicy przed śrubą powinny być jak najmniejsze. Należy unikać płaskich lub prawie płaskich powierzchni kadłuba nad wierzchołkami śruby.

11.5 Dysze nieobrotowe

11.5.1 Zastosowanie

Niniejsze wymagania dotyczą nieobrotowej dyszy śruby napędowej o średnicy wewnętrznej nie przekraczającej 4 m, wykonanej ze zwykłej stali kadłubowej. Zastosowanie innych materiałów podlega odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS. Zastosowanie dysz o średnicy wewnętrznej większej niż 4 m podlega odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS, w oparciu o analizę drgań własnych.

11.5.2 Poszycie

11.5.2.1 Grubość poszycia dyszy w strefie śruby napędowej (patrz rys. 11.5.2.1) należy określać wg poniższych wzorów, przy czym:

- jeżeli zastosowano stal charakteryzującą się podwyższoną odpornością na korozję:

$$t = 3,5 + 2,5ns\sqrt{p}, \quad [\text{mm}] \quad (11.5.2.1-1)$$

jednak nie mniej niż 10 mm,

- w pozostałych przypadkach:

$$t = 7 + 2,5ns\sqrt{p}, \quad [\text{mm}] \quad (11.5.2.1-2)$$

jednak nie mniej niż 10 mm;

s – odstęp pierścieniowych wzmocnień dyszy, [m]; do obliczeń należy przyjmować $s \geq 0,35$ m;

n – współczynnik krzywizny dyszy,

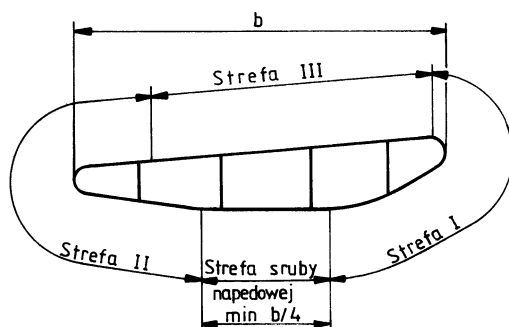
$$n = 1 - 0,14 \frac{s}{l} \sqrt{d} \quad (11.5.2.1-3)$$

- l – odstęp pomiędzy wzmocnieniami podłużnymi dyszy mierzony na zewnętrznej powłoce dyszy, [m];
 d – średnica śruby, [m];
 p – ciśnienie na powierzchni poszycia dyszy,

$$p = 0,25 \frac{N}{A} \left(1 - 0,001 \frac{N}{A} \right), \quad [\text{kPa}] \quad (11.5.2.1-4)$$

N – moc na stożku wału śrubowego, [kW];

$$A = \frac{\pi d^2}{4}, \quad [\text{m}^2] \quad (11.5.2.1-5)$$



Rys. 11.5.2.1 Przekrój wzdłużny pierścienia dyszy

11.5.2.2 Długość strefy śruby napędowej powinna być nie mniejsza niż $0,25b$ (b – długość dyszy, patrz rys. 11.5.2.1).

11.5.2.3 Grubość poszycia dyszy w strefie I i II (patrz rys. 11.5.2.1) należy określać wg wzoru 11.5.2.1-2, przyjmując $0,5p$ ustalonego wg wzoru 11.5.2.1-4. Grubość poszycia dyszy w tych rejonach nie powinna być mniejsza niż 8 mm.

11.5.2.4 Grubość poszycia dyszy w strefie III (patrz rys. 11.5.2.1) należy określać wg wzoru 11.5.2.1-2, przyjmując $0,35p$ ustalonego wg wzoru 11.5.2.1-4.

11.5.2.5 Strefa II dyszy powinna obejmować na zewnętrznym poszyciu co najmniej jedno wzmocnienie pierścieniowe (patrz rys. 11.5.2.1).

11.5.2.6 Grubość pierścieniowych oraz wzdłużnych wzmocnień dyszy powinna być nie mniejsza niż $0,6t$ (t – obliczone wg 11.5.2.1), jednak nie mniejsza niż 8 mm.

11.5.2.7 Na okrętach ze wzmocnieniami lodowymi poszycie dyszy powinno ponadto mieć grubość nie mniejszą niż wymagana grubość poszycia kadłuba w tej części okrętu.

11.5.3 Wskaźnik wytrzymałości przekroju wzdłużnego dyszy

Wskaźnik wytrzymałości przekroju wzdłużnego dyszy obliczony dla osi obojętnej równoległej do płaszczyzny symetrii okrętu powinien być nie mniejszy od wskaźników obliczonych wg wzorów:

$$W = 0,7bD^2v^2, \quad [\text{cm}^3] \quad (11.5.3-1)$$

$$W = 6DP, \quad [\text{cm}^3] \quad (11.5.3-2)$$

b – długość dyszy (patrz rys. 11.5.2.1), [m];

D – średnica pierścienia mierzona do środka jego grubości, [m];

v – prędkość okrętu w węzłach; jeżeli okręt ma wzmocnienia lodowe, to przyjęta do obliczeń prędkość v powinna być nie mniejsza niż 14, 15, 16 lub 17 węzłów, odpowiednio dla wzmocnień **L3**, **L2**, **L1** lub **L1A**;

P – napór wody na powierzchnię dyszy,

$$P = 20 \frac{D^2}{T^2} bL_0 \Theta_A, \quad [\text{kN}] \quad (11.5.3-3)$$

Θ_A – amplituda kiwania, wyrażona w radianach, wg 17.5.3.2;

T – okres kołysań wzdłużnych okrętu, [s], obliczany wg wzoru:

$$T = 1,8 \sqrt{\frac{L_0}{g}}, \quad [\text{s}]$$

11.5.4 Spawanie

11.5.4.1 Pierścieniowe usztywnienia powinny być łączone z wewnętrznym poszyciem dyszy za pomocą dwustronnej ciągłej spoiny pachwinowej.

11.5.4.2 Pierścieniowe usztywnienia powinny być łączone z zewnętrznym poszyciem dyszy, jeżeli jest to możliwe, za pomocą spoiny ciągłej. Spawanie otworowe może być dopuszczone do łączenia wszystkich usztywnień pierścieniowych z poszyciem zewnętrznym dyszy, jeżeli odstęp tych usztywnień nie przekracza 350 mm. W przeciwnym przypadku co najmniej dwa usztywnienia pierścieniowe powinny być łączone z zewnętrznym poszyciem dyszy spoiną ciągłą.

11.5.5 Podparcie

11.5.5.1 Dysza powinna być podparta co najmniej w dwóch miejscach. Usztywnienia i poszycie konstrukcji podpierających powinny łączyć się z dyszą w miejscach rozmieszczenia usztywnień dyszy.

11.5.5.2 Wielkość wypadkowej siły poziomej działającej na powierzchnię boczną dyszy można obliczać wg wzoru:

$$P = 0,2bDv, \quad [\text{kN}] \quad (11.5.5.2)$$

b, D, v – patrz 11.5.3.

Wielkość pionowego naporu wody na powierzchnię zewnętrzną dyszy, pochodzącego od kołysań wzdłużnych okrętu, można określać na podstawie wzoru 11.5.3-3.

11.5.5.3 W żadnym miejscu konstrukcji podpierającej dyszę nie powinny wystąpić naprężenia zredukowane większe niż 100 MPa.

11.6 Wsporniki wałów

11.6.1 Wymagania ogólne

11.6.1.1 Wymagania podrozdziału 11.6 mają zastosowanie do konstrukcji podpierających wały poza obszarem kadłuba statku. Konstrukcje te mogą mieć formę pochwy wału (patrz 11.6.2) lub wsporników wałów (patrz 11.6.3 i 11.6.4). Powyższe rozwiązania konstrukcyjne są typowe dla okrętów dwusrubowych.

11.6.2 Pochwa wału śrubowego

11.6.2.1 Poszycie pochwy wału śrubowego powinno płynnie przechodzić w poszycie kadłuba.

Pochwa wału w części rufowej powinna być usztywniona za pomocą przegród poprzecznych usytuowanych w płaszczyznach wręgów – na każdym wręgu.

Przegrody powinny być usztywnione i połączone z dennikami kadłuba lub z odpowiednim systemem wiązarów kadłuba.

W dziobowej części pochwy przegrody powinny być zastosowane w odstępach nie większych niż dwa odstępy wręgowe.

11.6.2.2 Pochwa wału śrubowego powinna być zakończona piastą w formie odlewu lub o konstrukcji prefabrykowanej, podpierającą łożysko wału. Konstrukcja piasty powinna być wystarczająco wytrzymała aby przenieść reakcję wału na konstrukcję kadłuba statku.

W przypadku okrętów z napędem o dużej mocy mogą być wymagane bezpośrednie obliczenia MES wytrzymałości pochwy wału i analiza drgań.

11.6.3 Konstrukcja i wytrzymałość wsporników wałów

11.6.3.1 Stopy wsporników wykonywanych w formie odlewów powinny mieć kształt, który zapewnia płynne przejście w kształt kadłuba. Ramiona wsporników powinny być wzmocnione żebrami.

11.6.3.2 Wsporniki prefabrykowane powinny być konstruowane w taki sposób aby zminimalizować spiętrzenie naprężeń w rejonach karbów. Powinny one być połączone z dennikami kadłuba lub ze specjalnym systemem wiązarów kadłuba.

Ramiona powinny być spawane z pełnym przetopem do piast podpierających łożyska wału.

11.6.3.3 Wymiary wsporników powinny zapewniać spełnienie wymagań podanych w 11.6.3.7 (wsporniki jednoramienne) lub w 11.6.3.8 i 11.6.3.9 (wsporniki dwuramienne).

W przypadku okrętów z napędem o dużej mocy mogą być wymagane bezpośrednio obliczenia wytrzymałościowe MES i analiza drgań.

11.6.3.4 Wał napędowy nieosłonięty pochwą wału powinien być podparty w bezpośrednim sąsiedztwie śruby (pędnika) przez wspornik dwuramienny. W przypadku małych okrętów może być zaakceptowane zastosowanie wspornika jednoramiennego.

11.6.3.5 Ramiona wsporników powinny w sposób ciągły przechodzić przez poszycie kadłuba i łączyć się ze zgrubionymi dennikami lub specjalnymi wiązarami. Poszycie kadłuba w rejonie ramion powinno być zgrubione i spawane z pełnym przetopem do ramion.

11.6.3.6 Piasty wałów podpierane przez wsporniki, wykonane z materiału o tej samej wartości granicy wytrzymałości R_m jak wał napędowy, powinny mieć długość l_p i grubość t_p spełniające warunki:

$$l_p \geq 4d_w \quad (11.6.3.6-1)$$

$$t_p \geq 0,25d_w \quad (11.6.3.6-2)$$

gdzie: d_w – średnica wału śrubowego wymagana przez *Część VII – Silniki, mechanizmy, kotły i zbiorniki ciśnieniowe*, [mm].

Wymagane wartości l_p i t_p w przypadku piasty z materiałów o innych wartościach R_m należy każdorazowo uzgodnić z PRS.

11.6.3.7 Wskaźnik wytrzymałości przekroju ramienia wspornika jednoramiennego usytuowanego w bezpośrednim sąsiedztwie śruby napędowej powinien mieć u nasady (przy poszyciu kadłuba) wartość nie mniejszą niż:

$$W_r = \frac{l_r \cdot d_w^2}{115R_m}, \text{ [cm}^3\text{]} \quad (11.6.3.7)$$

gdzie :

l_r – długość ramienia mierzona od osi wału śrubowego do powierzchni poszycia kadłuba, [mm];

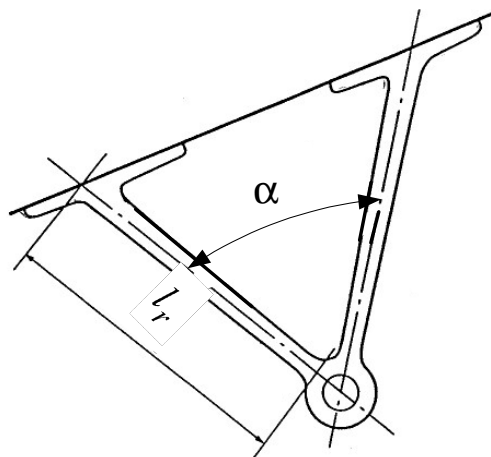
d_w – jak w p. 11.6.3.6;

R_m – granica wytrzymałości materiału, z którego wykonano ramię, [MPa].

Wymiary przekroju poprzecznego wspornika w miejscu połączenia z piastą powinny być nie mniejsze niż 60% wartości wymiarów wynikających ze wzoru 11.6.3.7.

11.6.3.8 Kąt α pomiędzy ramionami wsporników dwuramiennych (rys.11.6.3.8) powinien być nie mniejszy niż 50° .

W przypadku zastosowania $\alpha < 50^\circ$ wymagane jest przedstawienie PRS obliczeń wytrzymałościowych wspornika, uzasadniających takie rozwiązanie konstrukcyjne.



Rys. 11.6.3.8 Wspornik dwuramienny

11.6.3.9 Wskaźniki wytrzymałości przekrojów ramion wsporników dwuramiennych usytuowanych w bezpośrednim sąsiedztwie śruby powinny mieć wartości nie mniejsze niż:

$$W_r = 0,45c^3, [\text{cm}^3] \quad (11.6.3.9-1)$$

gdzie:

$$c = d_w \sqrt{\frac{1}{5 \cdot R_m} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{R_m}{35000} \left(\frac{l_r}{d_w} \right)^2} \right)}$$

d_w – jak w p. 11.6.3.6;

R_m – granica wytrzymałości materiału wspornika, [MPa].

l_r – długość krótszego ramienia, [mm] (patrz rys. 11.6.3.8).

11.6.4 Pośrednie wsporniki wałów

Piasty wsporników wałów innych niż usytuowane w bezpośrednim sąsiedztwie śruby powinny mieć wymiary nie mniejsze niż wymagane w 11.6.3.6.

Wymiary ramion wsporników mniejsze od wymaganych w 11.6.3.7 i 11.6.3.9 podlegają każdorazowo odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

11.6.5 Połączenia śrubowe wsporników wałów z kadłubem

11.6.5.1 Poszycie kadłuba w rejonie mocowania stóp wsporników powinno być zgrubione następująco:

- nie mniej niż o 50% w przypadku zastosowania wsporników dwuramiennych;
- nie mniej niż o 100% w przypadku zastosowania wsporników pojedynczych.

11.6.5.2 Stopy wsporników powinny mieć zaokrąglone naroża. Powierzchnie przylgowe do kadłuba powinny być odpowiednio gładkie. Grubość stopy w miejscu usytuowania śrub mocujących powinna być nie mniejsza niż grubość piasty wymagana w 11.6.3.6.

11.6.5.3 Stopy pośrednich wsporników wałów mogą być mocowane bezpośrednio do poszycia kadłuba, z zastosowaniem podkładek regulacyjnych uznanych wytwórców – w celu zapewnienia osiowości wału.

Zastosowanie podkładek z tworzyw sztucznych podlega odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

11.6.5.4 Stopy wsporników usytuowanych w bezpośrednim sąsiedztwie śrub napędowych powinny być mocowane za pośrednictwem podkładki stalowej o grubości nie mniejszej niż 15% grubości stopy i nie mniejszej niż 3 mm. Śruby mocujące w takim przypadku powinny być trwale zamocowane do stóp.

11.6.5.5 Nakrętki śrub mocujących stopy wsporników do kadłuba powinny być zabezpieczone przed poluzowaniem.

11.6.5.6 Średnica śrub mocujących stopy wsporników do kadłuba nie powinna być mniejsza niż:

$$d = 60 \sqrt{\frac{W_r}{n \cdot u}} \cdot \sqrt{\frac{R_{ew}}{R_{es}}}, \text{ [mm]} \quad (11.6.4.6)$$

gdzie:

W_r – wymagany wskaźnik przekroju ramienia wspornika, obliczany wg 11.6.3.7 lub 11.6.3.9;

n – liczba śrub w rzędzie;

u – odległość między rzędami śrub, [mm];

R_{ew} – granica plastyczności materiału wspornika, [MPa];

R_{es} – granica plastyczności materiału śrub, [MPa].

Rzeczywista średnica śrub powinna być nie mniejsza niż grubość stopy wspornika wymagana w 11.6.4.2.

11.7 Tylnice

11.7.1 Konstrukcja

11.7.1.1 Tylnica powinna być efektywnie związana z przyległą konstrukcją kadłuba. W tym celu powinna być wzmocniona poprzecznymi węzłówkami (żebami).

11.7.1.2 Większe ramiona śrubowe odlewanych tylnic można wykonywać z części, należy przy tym zachować odpowiednią wytrzymałość połączeń poszczególnych części tylnicy. Można stosować spawaną konstrukcję ramion śrubowych złożoną z odpowiednich kształtowników stalowych i przyspawanych do nich płyt.

11.7.2 Wymiarowanie

11.7.2.1 Jeżeli wymiarowanie tylownicy oparte jest na analizie naprężeń, to ich wartości powinny być nie większe niż:

- naprężenia normalne: $\sigma = 80k$, [MPa],
- naprężenia styczne: $\tau = 50k$, [MPa],
- naprężenia zredukowane: $\sigma_{\sigma r} = 125k$, [MPa].

11.7.2.2 Grubość piasty tylownicy powinna być nie mniejsza niż grubość obliczona wg wzoru:

$$t = 5\sqrt{d_p - 60}, \quad [\text{mm}] \quad (11.7.2.2)$$

d_p, d_{srp} – przepisowa średnica wału śrubowego, [mm], obliczana według wymagań Części VI – *Urządzenia maszynowe i urządzenia chłodnicze*.

11.7.2.3 Wymiary spawanego ramienia śrubowego powinny być nie mniejsze niż wymiary obliczone wg wzorów (patrz rys. 11.7.2.3):

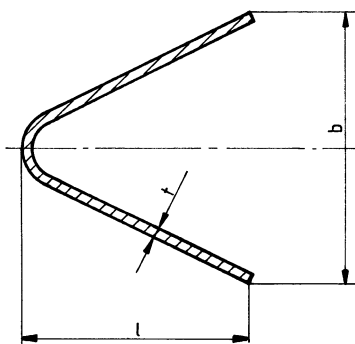
$$l = 53\sqrt{L_0}, \quad [\text{mm}] \quad (11.7.2.3-1)$$

$$b = 37\sqrt{L_0}, \quad [\text{mm}] \quad (11.7.2.3-2)$$

$$t = 2,4\sqrt{\frac{L_0}{k}}, \quad [\text{mm}] \quad (11.7.2.3-3)$$

Jeżeli przyjęty przekrój różni się od przekroju pokazanego na rys. 11.7.2.3, to wskaźnik przekroju względem osi wzdłużnej powinien być nie mniejszy niż wskaźnik obliczeniowy wg wzoru:

$$W_s = \frac{1,35L_0\sqrt{L_0}}{k}, \quad [\text{cm}^3] \quad (11.7.2.3-4)$$



Rys. 11.7.2.3 Ramię śrubowe tylownicy spawanej

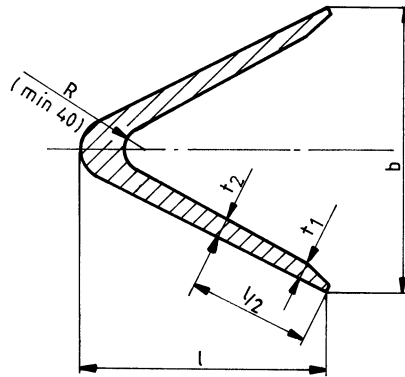
11.7.2.4 Wymiary stalowego ramienia śrubowego powinny być nie mniejsze niż wymiary obliczone wg wzorów (patrz rys. 11.7.2.4):

$$l = 40\sqrt{L_0}, \quad [\text{mm}] \quad (11.7.2.4-1)$$

$$b = 30\sqrt{L_0}, \quad [\text{mm}] \quad (11.7.2.4-2)$$

$$t_1 = 3\sqrt{\frac{L_0}{k}}, \quad [\text{mm}] \quad (11.7.2.4-3)$$

$$t_2 = 3,7\sqrt{\frac{L_0}{k}}, \quad [\text{mm}] \quad (11.7.2.4-4)$$



Rys. 11.7.2.4 Ramię śrubowe tylnicy stalowej

Jeżeli przyjęty przekrój różni się od przekroju pokazanego na rys. 11.7.2.4, to wskaźnik przekroju względem osi wzdłużnej powinien być nie mniejszy niż wskaźnik obliczony wg wzoru:

$$W_s = \frac{1,3L_0\sqrt{L_0}}{k}, \quad [\text{cm}^3] \quad (11.7.2.4-5)$$

Przy wyznaczaniu wskaźnika przekroju ramienia śrubowego można uwzględnić przyległe poszycie o szerokości do $53\sqrt{L_0}$, [mm], mierząc od rufowej krawędzi ramienia śrubowego. Dotyczy to również spawanego ramienia śrubowego.

12 FUNDAMENTY

12.1 Zasady ogólne

12.1.1 Zastosowanie

Wymagania niniejszego rozdziału dotyczą konstrukcji fundamentów silników głównych i kotłów oraz mechanizmów pokładowych, ładunkowych, pomocniczych i innych.

12.1.2 Wymagania ogólne i oznaczenia

12.1.2.1 Fundamenty silników i innych urządzeń powinny mieć mocną i sztywną konstrukcję, połączoną z wiązaniami dna, burt i pokładów – tak aby zapewnić przenoszenie pionowych wzdłużnych i poprzecznych obciążeń statycznych i dynamicznych od tych urządzeń.

12.1.2.2 Należy zapewnić dostęp do wiązań znajdujących się pod fundamentem dla dokonania oględzin oraz uniemożliwić zbieranie się wody pod nim. Za zgodą PRS może być zastosowana szczelna konstrukcja fundamentu, z wypełnieniem zamkniętej przestrzeni materiałem chemicznie obojętnym o dobrych właściwościach adhezyjnych.

12.2 Konstrukcja i wymiarowanie wiązań

12.2.1 Fundament powinien w zasadzie składać się z wzdłużnych, pionowych środników oraz poziomych płyt fundamentowych, przeznaczonych do mocowania do nich mechanizmów lub kotłów – bezpośrednio lub za pośrednictwem ram fundamentowych. Środniki i poziome płyty fundamentowe powinny być, w miarę potrzeby, usztywnione za pomocą węzłówek lub wsporników.

12.2.2 Przy konstruowaniu fundamentów należy unikać skokowej zmiany ich wymiarów, a gdy jest to niemożliwe do spełnienia, należy zapewnić łagodne przejście pomiędzy wiązaniami fundamentu o różnych wymiarach oraz między wiązaniami fundamentu, a wiązaniami dna, burt i pokładów.

12.2.3 Jeżeli wzdłużnik boczny dna pojedynczego stanowi zarazem środnik fundamentu, to jego grubość powinna być nie mniejsza niż wymagana grubość fundamentu i wzdłużnika środkowego. Wysokość denników powinna być zwiększona odpowiednio do konstrukcji fundamentów mechanizmów. Wysokość dennika pomiędzy wzdłużnymi wiązaniami fundamentu powinna być nie mniejsza niż 0,65 wysokości wymaganej w płaszczyźnie symetrii.

12.2.4 Jeżeli płyty fundamentowe silnika głównego i łożyska oporowego stanowią część poszycia dna wewnętrznego, to w ich obrębie należy przewidzieć na szerokości każdej wspawanej płyty dwa wzdłużniki lub wzdłużnik i półwzdłużnik, które w swej górnej części, co najmniej na 0,2 swej wysokości, powinny mieć taką samą grubość jak płyta fundamentowa albo powinny mieć na całej swej wysokości grubość wymaganą dla środnika fundamentu.

Pomiędzy wzdłużnikami należy zastosować wzdłużne usztywnienia o wymiarach określonych powyżej dla górnych części wzdłużników.

Zastosowanie tylko jednego wzdłużnika na szerokości płyty fundamentowej jest możliwe tylko dla silników o małej mocy i wymaga uzgodnienia z PRS.

Płyta fundamentowa powinna być w każdym przypadku wzmocniona na całej swej długości poprzecznymi węzłówkami, umieszczonymi między sąsiednimi śrubami, w równych odległościach od ich osi.

12.2.5 Jeżeli wzdłużne środniki fundamentów są mocowane do pokładu wytrzymałościowego, to powinny one znajdować się w płaszczyźnie usztywnień podpokładowych.

12.2.6 Wymiary elementów fundamentu są funkcją masy mechanizmu lub kotła albo funkcją nominalnej mocy silnika mechanizmu. Grubość t elementów konstrukcji fundamentu powinna być nie mniejsza niż grubość obliczona wg wzorów:

– dla silnika wolnoobrotowego, kotła lub turbiny napędowej (wyszczególnionych w tabeli 12.2.6):

$$t = c_1 \sqrt[3]{M} + t_m, \quad [\text{mm}] \quad (12.2.6-1)$$

M – masa silnika, kotła lub mechanizmu w stanie gotowym do pracy, [t];

c_1 – współczynnik, określany z tabeli 12.2.6;

t_m – naddatek grubości, [mm], zależny od masy M , o następujących wartościach:

$t_m = 0$	dla	$M > 200$,
$t_m = 1$	dla	$100 < M \leq 200$,
$t_m = 2$	dla	$50 < M \leq 100$,
$t_m = 3$	dla	$20 < M \leq 50$,
$t_m = 4$	dla	$M \leq 20$.

Tabela 12.2.6
Wartości współczynnika c_1

Urządzenie	Elementy konstrukcji fundamentu		
	płyty (ławy) poziome	środniki ¹⁾	węzłówki, w tym wspornikowe ²⁾
Główny silnik napędowy (spalinowy)	4,65	3,00	2,50
Turbiny napędowe, silniki elektryczne oraz zespoły prądotwórcze	4,15	2,70	2,70
Kocioł	3,65	2,40	2,40

¹⁾ W konstrukcji fundamentu mającego dwa środniki z każdej strony silnika, grubość zewnętrznych środników można przyjmować jako równą grubości węzłówek.

²⁾ Węzłówki wspornikowe – węzłówki trapezowe, których trzy krawędzie są przyłączone do elementów konstrukcji fundamentu.

– dla silnika średnioobrotowego:

$$t = c_2 \sqrt[3]{N}, \quad [\text{mm}] \quad (12.2.6-2)$$

$c_2 = 2,3$ dla poziomej płyty fundamentowej,

$c_2 = 1,6$ dla wewnętrznego średnika fundamentu,

$c_2 = 1,3$ dla zewnętrznego średnika, wsporników i węzłówek;

N – nominalna moc silnika, [kW].

Wymiary elementów konstrukcyjnych fundamentów silników wysokoobrotowych podlegają każdorazowo odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

13 MIEJSCOWA WYTRZYMAŁOŚĆ I STATECZNOŚĆ KONSTRUKCJI

13.1 Zasady ogólne

13.1.1 Zastosowanie

13.1.1.1 Wymagania niniejszego rozdziału odnoszą się do wymiarowania płyt, usztywnień, wiązarów zwykłych, podpór i elementów podporowych oraz końcowych węzłówek usztywnień i wiązarów. Wymagania te, poza wymaganiami dotyczącymi wymiarów minimalnych, wynikają z wielkości miejscowych obciążeń obliczeniowych przenoszonych przez te wiązania, bez uwzględniania obciążeń rozważanych w części C.

13.1.1.2 Dla płyt, usztywnień i wiązarów zwykłych, przenoszących oprócz obciążeń miejscowych również obciążenia pochodzące od wzdłużnego zginania kadłuba podano wymagania odnoszące się do sprawdzania stateczności tych wiązań.

13.1.2 Oznaczenia

- A – wymagane pole powierzchni przekroju poprzecznego, [cm²];
 A_s – wymagane pole powierzchni poprzecznego przekroju środka, [cm²];
 b – szerokość pasa poszycia podpartego przez rozpatrywany wiązar lub usztywnienie, [m];
 b_m – szerokość mocnika, [mm];
 $f = \frac{5,7(M_s + M_w)}{W_1}$ (13.1.2)
 h_s – wysokość środka, [mm];
 l – rozpiętość usztywnienia lub wiązara zwykłego, określona zgodnie z 3.2.1, [m];
 $L_1 = L_0$, lecz nie więcej niż 120 m;
 M_s – największy moment zginający kadłub na wodzie spokojnej, otrzymany w wyniku analizy poszczególnych eksploatacyjnych stanów załadowania, [kNm]; przyjęta wartość M_s powinna być nie mniejsza niż $0,5M_{s0}$ (M_{s0} – projektowy minimalny moment zginający kadłub na wodzie spokojnej, [kNm], obliczony według 15.4);
 M_w – przepisowy falowy moment zginający kadłub, [kNm], określany według 15.5 jako moment uginający lub wyginający – zależnie od rodzaju momentu M_s ;
 p – ciśnienie obliczeniowe (patrz rozdział 17), [kPa];
 s – odstęp usztywnień mierzony wzdłuż poszycia, [m];
 t – wymagana grubość poszycia, [mm];
 t_k – naddatek korozyjny (patrz 2.5), [mm];
 t_m – grubość mocnika usztywnienia lub wiązara, [mm]; w przypadku płaskownika łebkowego należy przyjmować średnią grubość łba;
 t_s – grubość środka, [mm];
 W – wymagany wskaźnik przekroju usztywnienia lub wiązara, [cm³];

- W_1 – najmniejszy rzeczywisty wskaźnik przekroju kadłuba w środkowej części okrętu, określany według 15.7, [cm³]. Należy go określić dla pokładu wytrzymałościowego lub dna zewnętrznego, zależnie od tego, czy rozpatrywane wiązanie znajduje się powyżej czy poniżej poziomej osi obojętnej poprzecznego przekroju kadłuba;
- w_k – współczynnik naddatku korozyjnego dla wskaźnika przekroju (patrz 13.5.2.5);
- z_α – pionowa odległość od rozpatrywanego punktu do płaszczyzny podstawowej, jeżeli punkt znajduje się poniżej osi obojętnej przekroju kadłuba, lub do linii pokładu, jeżeli punkt znajduje się powyżej osi obojętnej, [m];
- z_n – pionowa odległość od osi obojętnej poprzecznego przekroju kadłuba do płaszczyzny podstawowej lub do linii pokładu, w zależności od tego, która z nich ma zastosowanie, [m];
- σ – dopuszczalne naprężenie normalne, [MPa];
- σ_c – normalne naprężenie krytyczne, [MPa];
- σ_E – teoretyczne normalne naprężenie krytyczne (eulerowskie), [MPa];
- τ – dopuszczalne naprężenie styczne, [MPa];
- τ_c – styczne naprężenie krytyczne, [MPa];
- τ_E – teoretyczne styczne naprężenie krytyczne, [MPa].

13.1.3 Określenia

Punkt przyłożenia obciążenia obliczeniowego – punkt, w którym należy określić ciśnienie obliczeniowe według wymagań rozdziału 17.

Położenie punktu przyłożenia obciążenia należy określić następująco:

- dla płyt usztywnionych poziomo: w środku geometrycznym nie usztywnionego pola;
- dla płyt usztywnionych pionowo: na dolnej krawędzi płyty, jeżeli krawędź ta jest nie podparta (np. przy zmianie grubości poszycia) oraz powyżej dolnej krawędzi płyty, w odległości równej połowie odstepu usztywnień, jeżeli krawędź ta jest podparta;
- dla usztywnień: w środku rozpiętości; jeżeli rozkład ciśnienia wzdłuż rozpiętości usztywnienia nie jest liniowy, to ciśnienie obliczeniowe należy określić w środku rozpiętości usztywnienia oraz jako średnią arytmetyczną ciśnień w punktach końcowych usztywnienia i przyjąć wartość większą;
- dla wiązarów: w geometrycznym środku powierzchni podpartej przez wiązar.

13.2 Konstrukcyjne grubości minimalne

13.2.1 Wymagania ogólne

Grubości elementów konstrukcyjnych kadłuba powinny być nie mniejsze niż grubości obliczone wg wzoru:

$$t = t_0 + \frac{k_1 L_0}{\sqrt{k}} + t_k, \quad [\text{mm}] \quad (13.2.1)$$

- t_0, k_1 – parametry, których wartości dla poszczególnych konstrukcji i wiązań kadłuba podano w punktach 13.2.2 do 13.2.5;
- k – współczynnik materiałowy zależny od granicy plastyczności materiału (patrz 2.2.1).

13.2.2 Konstrukcja dna

13.2.2.1 Stepka płaska: $t_0 = 7,0$; $k_1 = 0,05$.

13.2.2.2 Poszycie dna zewnętrznego i obła: $t_0 = 5,0$; $k_1 = 0,04$.

13.2.2.3 Poszycie dna wewnętrznego:

$t_0 = 7,0$ – pod lukami w przestrzeniach magazynowych, jeżeli w tym rejonie nie zastosowano pokrycia dna drewnem lub innymi uznanymi materiałami,

$t_0 = 6,0$ – w pozostałych rejonach dna wewnętrznego nie mającego pokrycia,

$t_0 = 5,0$ – w rejonach, w których zastosowano pokrycie dna wewnętrznego;

$k_1 = 0,03$.

13.2.2.4 Denniki i wzdłużniki denne, płyty wspornikowe, węzłówki:

$t_0 = 6,0$;

$k_1 = 0,04$ – dla dennego wzdłużnika środkowego w rejonie $z \leq 2,0$ m,

$k_1 = 0,02$ – dla dennego wzdłużnika środkowego w rejonie $z > 2,0$ m oraz dla pozostałych wiązarów.

13.2.2.5 Środniki i mocniki wzdłużnych i poprzecznych wręgów dna wewnętrznego i zewnętrznego, usztywnienia denników, wzdłużników i płyt wspornikowych:

$t_0 = 5,0$;

$k_1 = 0,03$ – w zbiorniku skrajnikowym,

$k_1 = 0,02$ – w pozostałych przypadkach.

13.2.3 Konstrukcja burt

13.2.3.1 Poszycie burt:

$t_0 = 5,0$;

$k_1 = 0,04$ – w rejonie $z \leq z_0$, gdzie $z_0 = T + 4,6$ m; w rejonie $z > z_0$ wartość k_1 może być obniżona o 0,01 na każde 2,3 m przyrostu współrzędnej z , przy czym $k_1 \geq 0,01$,

$k_1 = 0,06$ – dla poszycia łączonego z tylnicą.

13.2.3.2 Środniki i mocniki burtowych wręgów wzdłużnych i poprzecznych:

$t_0 = 5,0$;

$k_1 = 0,02$ – dla wręgów w zbiornikach skrajnikowych,

$k_1 = 0,01$ – w pozostałych rejonach.

13.2.3.3 Wiązary: mocniki, środniki i ich usztywnienia oraz węzłówki:

$$t_0 = 5,0;$$

$$k_1 = 0,03 \quad \text{– w zbiornikach skrajnikowych,}$$

$$k_1 = 0,02 \quad \text{– w zbiornikach balastowych i ładunkowych,}$$

$$k_1 = 0,01 \quad \text{– w pozostałych rejonach.}$$

13.2.4 Konstrukcja pokładów**13.2.4.1** Poszycie pokładu wytrzymałościowego:

$$t_0 = 5,5 \quad \text{– dla pokładu otwartego lub w przestrzeniach magazynowych, nie pokrytych drewnem lub innymi uznanymi materiałami,}$$

$$t_0 = 5,0 \quad \text{– dla pokładu otwartego lub w przestrzeniach magazynowych, w rejonach, gdzie zastosowano pokrycie oraz w rejonie pomieszczeń służbowych i załogowych;}$$

$$k_1 = 0,02 \quad \text{– dla okrętów jednopokładowych,}$$

$$k_1 = 0,01 \quad \text{– dla okrętów mających w rejonie } z > 0,7H \text{ dwa pokłady ciągłe,}$$

$$k_1 = 0,01 \quad \text{– dla pokładu otwartego w rejonie } x \geq 0,3 L_0 \text{ (wartość min.),}$$

$$k_1 = 0,00 \quad \text{– dla okrętów mających w rejonie } z > 0,7H \text{ więcej niż dwa pokłady ciągłe.}$$

13.2.4.2 Poszycie pokładów znajdujących się ponad lub poniżej pokładu wytrzymałościowego:

$$t_0 \quad \text{– jak podano wyżej dla pokładu wytrzymałościowego;}$$

$$k_1 = 0,01 \quad \text{– dla pokładu znajdującego się w rejonie } z > 0,7H \text{ na okręcie o dwu pokładach ciągłych, spełniających warunek } z > 0,7H,$$

$$k_1 = 0,01 \quad \text{– dla pokładu pierwszej kondygnacji nadbudówki lub pokładówki na okręcie jednopokładowym, jeżeli jej część znajdująca się w środkowej części okrętu } (-0,2 L_0 \leq x \leq 0,2 L_0) \text{ ma długość większą niż } 0,2 L_0,$$

$$k_1 = 0,00 \quad \text{– dla innych pokładów.}$$

13.2.4.3 Środniki i mocniki pokładników wzdłużnych i poprzecznych:

$$t_0, k_1 \quad \text{– jak podano wyżej dla wręgów burtowych.}$$

13.2.4.4 Mocniki, środniki, usztywnienia i węzłówki wiązarów pokładowych:

$$t_0, k_1 \quad \text{– jak podano wyżej dla wiązarów burtowych.}$$

13.2.5 Konstrukcja grodzi**13.2.5.1** Poszycie grodzi:

$$t_0 = 7,0 \quad \text{– w rejonie zbiornika skrajnikowego,}$$

$$t_0 = 5,0 \quad \text{– w innych rejonach;}$$

$$k_1 = 0,02 \quad \text{– w zbiornikach skrajnikowych,}$$

$$k_1 = 0,01 \quad \text{– w pozostałych rejonach.}$$

13.2.5.2 Środniki i mocniki wzdłużnych, pionowych i poprzecznych usztywnień grodzi zbiorników balastu wodnego i zapasów, grodzi przelewowych: $t_0 = 5,0$; k_1 – jak dla poszycia grodzi.

13.2.5.3 Środniki, mocniki, usztywnienia i węzłówki wiązarów grodzi: t_0 , k_1 – jak dla wiązarów konstrukcji burty.

13.3 Wymagania dotyczące stateczności elementów konstrukcyjnych

13.3.1 Wymagania ogólne

13.3.1.1 Sprawdzeniu w zakresie zachowania stateczności w warunkach jednokierunkowego ściskania podlegają płyty poszycia oraz usztywnienia wzdłużne dna zewnętrznego, dna wewnętrznego, burt, pokładu wytrzymałościowego i grodzi wzdłużnych, biorące udział w wytrzymałości wzdłużnej okrętu i znajdujące się w środkowej części okrętu.

13.3.1.2 W rejonach przejściowych pomiędzy środkową częścią okrętu a częściami skrajnymi stateczność wiązań wymienionych w 13.3.1.1 na ogół nie podlega sprawdzeniu. Takie sprawdzenie może być jednak wymagane w przypadku występowania nieciągłości konstrukcji w tych rejonach, nierównomiernego po długości rozłożenia ciężaru zapasów, balastu lub wyposażenia, a także występowania dużego rozchylenia burt w dziobowej części okrętu.

13.3.1.3 Na okrętach, których kadłuby przenoszą znaczne siły tnące, płyty poszycia burt i grodzi wzdłużnych biorących udział w wytrzymałości wzdłużnej podlegają sprawdzeniu w zakresie stateczności w warunkach czystego ścinania.

13.3.1.4 Spełnienie odrębnych warunków zachowania stateczności przy ściskaniu i ścinaniu nie wyklucza konieczności odrębnego sprawdzenia stateczności płyt i wiązań poddanych jednoczesnemu oddziaływaniu ściskania i ścinania. Dotyczy to również przypadków dwukierunkowego ściskania oraz dwukierunkowego ściskania i ścinania.

13.3.1.5 Wymagany zakres sprawdzenia stateczności elementów konstrukcyjnych nie wymienionych w 13.3.1.1 do 13.3.1.4 podano w wymaganiach szczegółowych dotyczących tych elementów.

13.3.2 Kryteria stateczności i obliczeniowe wartości naprężeń

13.3.2.1 Dla wiązań lub ich elementów podlegających sprawdzeniu w zakresie zachowania stateczności w warunkach jednokierunkowego ściskania wymagane jest spełnienie warunku:

$$\sigma_c \geq c\sigma \quad (13.3.2.1)$$

σ_c – naprężenie krytyczne określone według 13.3.2.2, z uwzględnieniem ostatecznie przyjętych wymiarów rozpatrywanego wiązania, [MPa];

- σ – obliczeniowe naprężenie ściskające określane według 13.3.2.7, [MPa];
 c – współczynnik wyrażający zapas naprężenia krytycznego w stosunku do spodziewanego naprężenia ściskającego:
 $c = 1$ – dla płyt poszycia oraz środków wiązania;
 $c = 1,1$ – dla usztywnień.

13.3.2.2 Naprężenie krytyczne w warunkach jednokierunkowego ściskania w odniesieniu do zastosowanego wiązania lub elementu należy określić wg wzoru:

$$\sigma_c = \sigma_E, \quad [\text{MPa}], \quad \text{jeżeli} \quad \sigma_E \leq \frac{R_e}{2}, \quad (13.3.2.2-1)$$

$$\sigma_c = R_e \left(1 - \frac{R_e}{4\sigma_E} \right), \quad [\text{MPa}], \quad \text{jeżeli} \quad \sigma_E > \frac{R_e}{2} \quad (13.3.2.2-2)$$

σ_E – teoretyczne naprężenie krytyczne w warunkach ściskania, [MPa], określone według 13.4.3 i 13.5.3.

13.3.2.3 Dla elementów płytowych podlegających sprawdzeniu stateczności w warunkach czystego ścinania wymagane jest spełnienie warunku:

$$\tau_c \geq \tau_r \quad (13.3.2.3)$$

- τ_c – krytyczne naprężenie styczne pola płytowego, określone według 13.3.2.4, [MPa];
 τ_r – obliczeniowe naprężenie styczne działające w płycie, określone według 13.3.2.8, [MPa].

13.3.2.4 Naprężenie krytyczne τ_c w warunkach czystego ścinania w odniesieniu do rozpatrywanego pola płytowego należy określić wg wzoru:

$$\tau_c = \tau_E, \quad [\text{MPa}] \quad \text{jeżeli} \quad \tau_E \leq 0,5 \tau_{pl} \quad (13.3.2.4-1)$$

$$\tau_c = \tau_{pl} \left(1 - \frac{\tau_{pl}}{4\tau_E} \right), \quad [\text{MPa}] \quad \text{jeżeli} \quad \tau_E > 0,5 \tau_r \quad (13.3.2.4-2)$$

$$\tau_{pl} = \frac{R_e}{\sqrt{3}}, \quad [\text{MPa}] \quad (13.3.2.4-3)$$

τ_E – teoretyczne naprężenie krytyczne w warunkach ścinania, [MPa], określone według 13.4.3.

13.3.2.5 W złożonych stanach obciążeń w elementach płytowych (ściskanie jedno lub dwukierunkowe ze ścinaniem) wymagane jest spełnienie warunku:

$$\sigma_{zc} \geq \sigma_{zr}$$

- σ_{zc} – krytyczna wartość naprężeń zastępczych obliczana wg 13.3.2.6, [MPa],
 σ_{zr} – obliczeniowa wartość naprężeń zastępczych, obliczona wg 13.3.2.9, [MPa].

13.3.2.6 Krytyczną wartość naprężeń zastępczych w złożonych stanach obciążeń należy określić wg wzoru:

$$\sigma_{zc} = \sigma_{zE}, \quad \text{jeżeli} \quad \sigma_{zE} \leq \frac{R_e}{2} \quad (13.3.2.6-1)$$

$$\sigma_{zc} = R_e \left(1 - \frac{R_e}{4\sigma_{zE}} \right), \quad \text{jeżeli} \quad \sigma_{zE} > \frac{R_e}{2} \quad (13.3.2.6-2)$$

σ_{zE} – teoretyczne zastępcze naprężenie krytyczne w złożonym stanie obciążenia, [MPa], określone według 13.4.3.7.

13.3.2.7 Naprężenia ściskające σ_r w środkowej części okrętu, pochodzące od ogólnego zginania kadłuba, które stanowią podstawę wymagań w zakresie stateczności płyt poszycia, ścianek wiązarów wzdłużnych i stateczności usztywnień wzdłużnych w warunkach jednokierunkowego ściskania, należy określić wg wzoru:

$$\sigma_r = \frac{M_s + M_w}{I_n} z 10^5, \quad [\text{MPa}] \quad (13.3.2.7-1)$$

Wartość σ_r przyjęta do analizy stateczności wiązań powinna ponadto spełniać warunek:

$$\sigma_r \geq 30k, \quad [\text{MPa}] \quad (13.3.2.7-2)$$

M_s – obliczeniowy moment zginający, działający na okręt na wodzie spokojnej w rozpatrywanym przekroju poprzecznym, określony według 15.4, [kNm];

M_w – falowa składowa obliczeniowego momentu zginającego okręt w rozpatrywanym przekroju poprzecznym, określona według 15.5, [kNm];

I_n – moment bezwładności rozpatrywanego poprzecznego przekroju kadłuba, określony według zasad podanych w 15.3 i 15.7, [cm⁴];

z – pionowa odległość od osi obojętnej przekroju do rozpatrywanego punktu, [m];

k – współczynnik materiałowy, określany według 2.2.1.

Jako M_s i M_w należy przyjąć obliczeniowe wartości momentu ugięcia lub wygięcia zależnie od tego, czy rozpatrywane wiązanie znajduje się powyżej, czy poniżej osi obojętnej poprzecznego przekroju kadłuba.

Jeżeli na wodzie spokojnej okręt zawsze znajduje się w warunkach wygięcia, to wartość obliczeniowego momentu w warunkach ugięcia ($M_s + M_w$) podlega odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

W przypadku okrętów z szerokimi otworami (lukami) w pokładzie wytrzymałościowym, naprężenia ściskające σ_r będące wynikiem jednoczesnego zginania kadłuba w płaszczyznach pionowej i poziomej oraz skręcania podlegają odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

Sprawdzenie stateczności płyt poszycia i środników wiązarów w warunkach jednokierunkowego ściskania nie wyklucza konieczności sprawdzenia stateczności w złożonych stanach naprężeń, według zasad podanych w 13.3.2.9 i 13.3.2.10.

13.3.2.8 Naprężenia styczne τ_r w poszyciu burt pochodzące od ogólnego ścinania kadłuba, które stanowią podstawę wymagań w zakresie stateczności płyt poszycia burt w warunkach czystego ścinania, należy dla okrętów bez grodzi wzdłużnych określić wg wzoru:

$$\tau_r = \frac{0,5|Q_s + Q_w| S_n}{t I_n} 10^2, \quad [\text{MPa}] \quad (13.3.2.8)$$

gdzie:

Q_s, Q_w, S_n, t, I_n – patrz 15.1.2,

t – grubość poszycia burty, [mm].

Naprężenia τ_r dla okrętów z grodziami wzdłużnymi lub z podwójnymi burtami podlegają odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

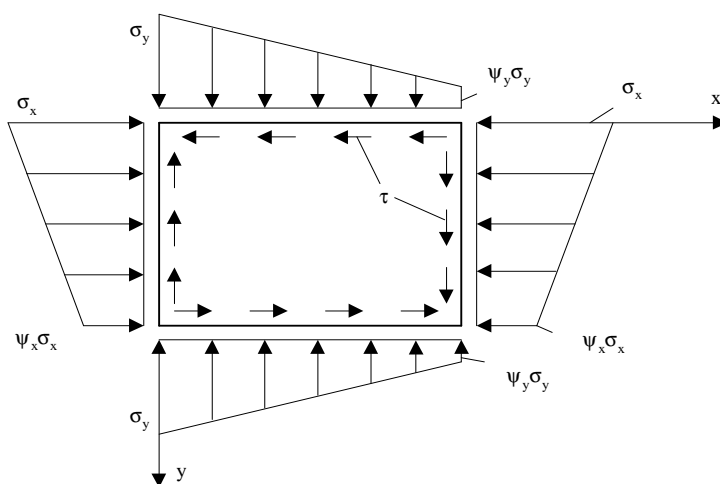
13.3.2.9 Obliczeniową wartość naprężeń zredukowanych w płytach poszycia lub środnikach wiązarów należy obliczyć wg wzoru:

$$\sigma_{zr} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau^2}, \quad [\text{MPa}] \quad (13.3.2.9)$$

σ_x, σ_y, τ – naprężenia w płycie, [MPa], jak na rys. 13.3.2.9.

Naprężenia ściskające σ_x lub σ_y należy przyjmować jako dodatnie.

Jeżeli σ_x lub σ_y jest rozciągające to do wzoru 13.3.2.9 należy podstawić ich wartości zerowe. Naprężenia σ_x, σ_y, τ należy obliczać z pominięciem otworów w polu płytowym.



Rys. 13.3.2.9

13.3.2.10 Wartości naprężeń stosowanych w ocenie stateczności konstrukcji, w sytuacjach innych niż wymienione w p. 13.3.2.7 i 13.3.2.8, należy obliczać w ramach analizy strefowej wytrzymałości konstrukcji, zgodnie z postanowieniami rozdziału 14.

W przypadku wiązarów kadłuba oraz płyt poszycia, w których występują znaczące wartości naprężeń ściskających σ w kierunkach obu krawędzi płyty lub naprężeń stycznych τ towarzyszących naprężeniom normalnym, należy sprawdzić stateczność w założonych stanach naprężeń dla obliczeniowej wartości naprężeń wyznaczonej wg 13.3.2.9.

W przypadku wiązań wzdłużnych należy uwzględnić naprężenia od ogólnego zginania kadłuba lub skręcania, wyznaczone wg identycznych zasad jak podano w 13.3.2.7.

13.4 Poszycie kadłuba

13.4.1 Wymagania ogólne

Ostatecznie przyjęte grubości płyt poszycia powinny spełniać następujące wymagania:

- warunek minimalnej grubości wiązań podany w 13.2,
- warunek wytrzymałości płyt na zginanie podany w 13.4.2,
- warunek stateczności płyt podany w 13.3, zgodnie ze wskazaniami podanymi w 13.4.3.

13.4.2 Grubość poszycia

13.4.2.1 Grubość płyt poszycia, wynikająca z warunku ich wytrzymałości przy działaniu zewnętrznego obciążenia poprzecznego, należy obliczać wg wzoru:

$$t = 18k_a s \sqrt{\frac{p}{\sigma}} + t_k, \quad [\text{mm}] \quad (13.4.2.1-1)$$

$$k_a = \left(1 - 0,27 \frac{s}{l}\right)^2; \quad (13.4.2.1-2)$$

zastosowana wartość k_a nie musi być większa niż 0,88,

p – obliczeniowe ciśnienie działające na rozpatrywaną płytę, [kPa]; należy je określać zgodnie ze wskazaniami podanymi w 17.6;

σ – dopuszczalne naprężenie normalne przy zginaniu płyt, określane według 13.4.2.2 lub 13.4.2.3, [MPa].

13.4.2.2 Naprężenia dopuszczalne dla płyt biorących udział w wytrzymałości wzdłużnej kadłuba i położonych w środkowej części okrętu należy określać według tabeli 13.4.2.2. Przyjęta wartość nie powinna przekraczać $\sigma_{max} = 160k$, [MPa].

Dla płyt poszycia położonych w skrajnych częściach okrętu należy przyjmować $\sigma = 160k$, [MPa].

Uwaga: Pomiędzy środkową częścią okrętu a częściami skrajnymi wartość σ zmienia się liniowo.

Tabela 13.4.2.2
Dopuszczalne naprężenia dla płyt w środkowej części okrętu

Lp.	Poszycie w rejonie:	σ , [MPa]
1.	dna zewnętrznego	
1.1	usztynionego wzdłużnie	120 <i>k</i>
1.2	usztynionego poprzecznie	175 <i>k</i> – 120 <i>f</i>
2.	dna wewnętrznego	
2.1	usztynionego wzdłużnie	140 <i>k</i>
2.2	usztynionego poprzecznie	200 <i>k</i> – 110 <i>f</i> , lecz nie więcej niż 140 <i>k</i>
3.	burt ¹⁾	
3.1	usztynionych wzdłużnie	140 <i>k</i>
3.2	usztynionych poprzecznie	120 <i>k</i>
4.	grodzi wzdłużnych ¹⁾	
4.1	usztynionych wzdłużnie	160 <i>k</i>
4.2	usztynionych poprzecznie ²⁾	140 <i>k</i>
5.	pokładu wytrzymałościowego	
5.1	usztynionego wzdłużnie	120 <i>k</i>
5.2	usztynionego poprzecznie	175 <i>k</i> – 120 <i>f</i> , lecz nie więcej niż 120 <i>k</i>

¹⁾ Podano wartość σ w rejonie osi obojętnej poprzecznego przekroju kadłuba. Powyżej i poniżej osi obojętnej wartości σ zmniejszają się liniowo, aż do wartości wymaganych odpowiednio dla pokładu i dla dna, o ile kierunek usztynień i współczynnik materiałowy nie zmienia się.

²⁾ Jeżeli gródź wzdłużna jest ścianą zbiornika, dla której ciśnienie obliczeniowe p zostało określone jako $p = p_{10}$ lub $p = p_{12}$, to naprężenia dopuszczalne można podwyższyć do wartości $\sigma = 160k$ [MPa].

13.4.2.3 Naprężenia dopuszczalne σ dla poszyc grodzi poprzecznych, pokładów poniżej pokładu wytrzymałościowego oraz dla poszyc ścian i pokładów krótkich nadbudówek i pokładówek można przyjmować jako równe 160*k*, [MPa].

Naprężenia dopuszczalne dla poszycia grodzi poprzecznych w warunkach awaryjnego zalania przedziału można przyjąć jako równe 220*k*, [MPa].

13.4.2.4 Grubość poszycia burt i grodzi wzdłużnych w rejonie podparcia poziomych wiązarów grodzi poprzecznych powinna być odpowiednio zwiększona.

13.4.3 Stateczność poszycia i środków wiązarów

13.4.3.1 Postanowienia niniejszego podrozdziału dotyczą określenia teoretycznych naprężeń krytycznych dla rzeczywistych wymiarów płyt poszycia i środków wiązarów poddanych ścisłaniu jednokierunkowemu, czystemu ścinaniu lub złożonym stanom obciążeń.

13.4.3.2 Płyty poszycia oraz środki wiązarów: dna zewnętrznego, dna wewnętrznego, burt, pokładu wytrzymałościowego i grodzi wzdłużnych biorące udział we wzdłużnej wytrzymałości okrętu powinny spełniać wymagania w zakresie stateczności płyt ściskanych jednokierunkowo podane w 13.3, przy zastosowaniu teoretycznego naprężenia krytycznego σ_E obliczonego według 13.4.3.4 i τ_E w warunkach czystego ścinania obliczonego według 13.4.3.5, jeżeli ma zastosowanie.

Wszystkie płyty poszycia kadłuba, grodzi i przegród oraz środniki wiązarów, w sytuacjach określonych w 13.3.2.10, powinny spełniać kryterium stateczności w złożonych stanach obciążeń, sformułowane w 13.3.2.5, chyba że PRS wyrazi zgodę na zastosowanie do pewnych pól płytowych wymagań punktu 13.4.3.3.

13.4.3.3 Po odrębnym rozpatrzeniu przez PRS może być dopuszczone sprężyste wyboczenie płyt, jeżeli w ocenie wzdlużnej wytrzymałości okrętu zostanie uwzględniona odpowiednia redukcja efektywnego przekroju poprzecznego tych płyt poszycia.

13.4.3.4 Wartość teoretycznego naprężenia krytycznego σ_E przy ściskaniu pola poszycia ograniczonego konturem podporowym należy obliczać wg wzoru:

$$\sigma_E = 0,9mE \left[\frac{t_n}{1000s} \right]^2, \quad [\text{MPa}] \quad (13.4.3.4-1)$$

Dla pól płytowych usztywnionych wzdlużnie (równoległe do kierunku działania naprężeń ściskających):

$$m = \frac{8,4}{k_2 + 1,1} \quad (13.4.3.4-2)$$

Dla pól płytowych usztywnionych poprzecznie (prostopadle do kierunku działania naprężeń ściskających):

$$m = c \left[1 + \left(\frac{s}{l} \right)^2 \right]^2 \frac{2,1}{k_2 + 1,1} \quad (13.4.3.4-3)$$

E – patrz A/2.2;

t_n – grubość płyty poszycia netto, [mm], po uwzględnieniu standardowego potrącenia, określonego według tabeli 13.4.3.4;

s – długość krótszego boku pola płytowego, [m];

l – długość dłuższego boku pola płytowego, [m];

$c = 1,30$ – jeżeli poszycie jest usztywnione przez denniki lub wysokie wiązary,

$c = 1,21$ – jeżeli usztywnieniami są kątowniki lub teowniki,

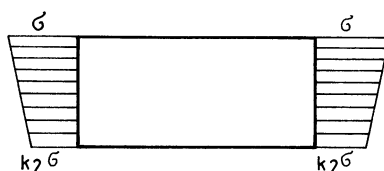
$c = 1,10$ – jeżeli usztywnieniami są płaskowniki łebkowe,

$c = 1,05$ – jeżeli usztywnieniami są płaskowniki;

k_2 – stosunek najmniejszej do największej wartości naprężenia ściskającego σ (patrz rys. 13.4.3.4).

Zastosowana wartość k_2 powinna spełniać warunek $0 \leq k_2 \leq 1$.

Dla płyt z otworami należy dokonać korekty σ_E wg 13.4.3.8, 13.4.3.10 i 13.4.3.11.



Rys. 13.4.3.4 Określanie współczynnika k_2

Tabela 13.4.3.4

Lp.	Konstrukcja	Standardowe potrącenie, [mm]	Wartości graniczne min – max, [mm]
1	Pionowe ściany pomieszczenia podlegające jednostronnemu oddziaływaniu balastu lub zapasów płynnych	0,05t	0,5 – 1
2	Poziome ograniczenia pomieszczenia podlegające jednostronnemu oddziaływaniu balastu lub zapasów płynnych, pionowe ściany pomieszczenia podlegające obustronnemu oddziaływaniu balastu lub zapasów płynnych	0,10t	2 – 3
3	Poziome ograniczenia pomieszczenia podlegające obustronnemu oddziaływaniu balastu lub zapasów płynnych	0,15t	2 – 4

13.4.3.5 Wartość teoretycznego naprężenia krytycznego τ_E przy ścinaniu pola płytowego ograniczonego konturem usztywnionym należy określać wg wzoru:

$$\tau_E = 0,9k_t E \left[\frac{t_n}{1000s} \right]^2, \quad [\text{MPa}] \quad (13.4.3.5-1)$$

$$k_t = 5,34 + 4 \left[\frac{s}{l} \right]^2 \quad (13.4.3.5-2)$$

E, t_n, s, l – patrz 13.4.3.4.

Dla płyt z otworami należy dokonać korekty τ_E wg 13.4.3.9, 13.4.3.10 i 13.4.3.11.

13.4.3.6 Dla pola płytowego w złożonym stanie obciążenia (rys. 13.3.2.9) wartości teoretycznych naprężeń krytycznych $\sigma'_{xE}, \sigma'_{yE}, \tau'_E$ należy określić z równania:

$$\frac{\sigma'_{xE}}{\sigma_{xE}} + \frac{\sigma'_{yE}}{\sigma_{yE}} + \left(\frac{\tau'_E}{\tau_E} \right)^2 = 1 \quad (13.4.3.6)$$

gdzie:

σ'_{xE} – wartość teoretycznego naprężenia krytycznego przy ściskaniu w kierunku osi x , w złożonym stanie obciążenia, jak na rys. 13.3.2.9;

σ'_{xE} – wartość teoretycznego naprężenia krytycznego przy ściskaniu jednokierunkowym w kierunku osi x (rys. 13.4.3.4), obliczona jako σ_E wg 13.4.3.4;

$\sigma'_{yE}, \sigma_{yE}$ – tak jak σ'_{xE} i σ_{xE} , ale przy ściskaniu w kierunku osi y ;

τ'_E – wartość teoretycznego naprężenia krytycznego przy ścinaniu, w złożonym stanie obciążenia, jak na rys. 13.3.2.9;

τ_E – wartość teoretycznego naprężenia krytycznego w warunkach czystego ścinania, obliczona wg 13.4.3.5.

Obliczając wartości σ'_{xE} , σ'_{yE} , i τ'_E wg równania 13.4.3.6 należy założyć, że są one wprost proporcjonalne do wartości naprężeń σ_x , σ_y , τ ustalanych wg 13.3.2.9 i 13.3.2.10. Naprężenia ściskające należy przyjąć jako dodatnie. Jeżeli σ_x lub σ_y są rozciągające, to w równaniu 13.4.3.6 należy przyjąć σ'_{xE}/σ_{xE} lub σ'_{yE}/σ_{yE} jako równe zero.

13.4.3.7 Wartość teoretycznego zastępczego naprężenia krytycznego w złożonym stanie naprężenia należy obliczyć wg wzoru:

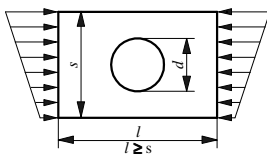
$$\sigma_{zE} = \sqrt{(\sigma'_{xE})^2 + (\sigma'_{yE})^2 - \sigma'_{xE}\sigma'_{yE} + 3(\tau'_E)^2} \quad (13.4.3.7)$$

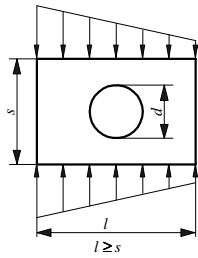
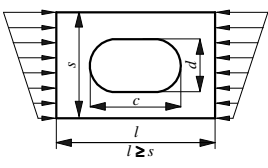
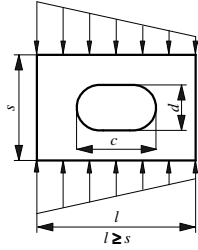
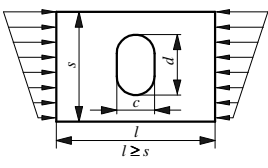
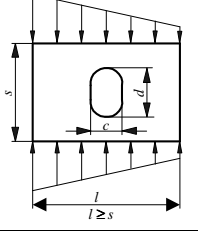
$\sigma'_{xE}, \sigma'_{yE}, \tau'_E$ – teoretyczne naprężenia krytyczne, obliczane wg 13.4.3.6; należy przyjmować je jako liczby nieujemne.

13.4.3.8 Jeżeli w centralnej części pola płytowego zastosowano wycięcie (otwór) okrągłe lub owalne, to wartości σ_E obliczane wg 13.4.3.4 należy skorygować poprzez pomnożenie przez bezwymiarowy współczynnik r_k o wartościach określonych wg tabeli 13.4.3.8.

Tabela 13.4.3.8

Współczynniki korekcyjne dla ściskanych jednokierunkowo płyt z otworami

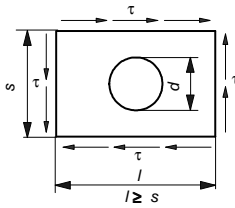
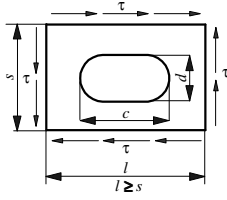
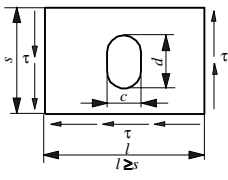
Lp.	Rodzaj otworu i kierunek ściskania	Wartość r_k i zakres zastosowania
1	2	3
1		$r_k = 1,17 - 1,41 \frac{d}{s} + 1,17 \left(\frac{d}{s} \right)^2,$ <p>dla: $0,3 \leq \frac{d}{s} \leq 0,7$</p>

1	2	3
2		$r_k = 0,85$ dla: $0,3 \leq \frac{d}{s} \leq 0,7$
3		$r_k = 0,66$ dla $1 \leq \frac{l}{s} \leq 2$, $r_k = 0,76$ dla $\frac{l}{s} > 2$ Wartości r_k obowiązują dla: $0,3 \leq \frac{d}{s} \leq 0,7$ oraz $1,25 \leq \frac{c}{d} \leq 2$
4		$r_k = 0,82$ dla $1 < \frac{l}{s} \leq 2$, $r_k = 0,66$ dla $\frac{l}{s} > 2$ Wartości r_k obowiązują dla: $0,3 \leq \frac{d}{s} \leq 0,75$ oraz $1,25 \leq \frac{c}{d} \leq 2$
5		$r_k = 0,78$ dla $1 \leq \frac{l}{s} \leq 2$, $r_k = 0,85$ dla $\frac{l}{s} > 2$ Wartości r_k obowiązują dla: $0,3 \leq \frac{d}{s} \leq 0,75$ oraz $1,25 \leq \frac{d}{c} \leq 2$
6		$r_k = 0,74 + 0,03 \frac{l}{s}$, dla: $0,3 \leq \frac{d}{s} \leq 0,75$ oraz $1,25 \leq \frac{d}{c} \leq 2$

13.4.3.9 Jeżeli w centralnej części pola płytowego zastosowano wycięcie (otwór) okrągłe lub owalne, to wartości τ_E obliczone wg 13.4.3.5 należy skorygować poprzez pomnożenie przez bezwymiarowy współczynnik r_k o wartościach określanych wg tabeli 13.4.3.9.

Tabela 13.4.3.9

Współczynniki korekcyjne dla płyt z otworami w warunkach czystego ścinania

Lp.	Rodzaj otworu	Wartość r_k i zakres zastosowania
1		$r_k = 1,17 - 2,32 \frac{d}{s} + 1,31 \left(\frac{d}{s} \right)^2,$ dla: $0,3 \leq \frac{d}{s} \leq 0,7$
2		$r_k = 1,17 - 2,32 \frac{d}{s} + 1,31 \left(\frac{d}{s} \right)^2 + 0,16 \left(1,75 - \frac{c}{d} \right) + \Delta r$ dla: $1,25 \leq \frac{c}{d} \leq 2, \quad 0,3 \leq \frac{d}{s} \leq 0,7$ gdzie: $\Delta r = 0,08 \frac{l}{s} \leq 2,5;$ dla $1,5 < \frac{l}{s} < 2,5;$ $\Delta r = 0$ - dla pozostałych wartości $\frac{l}{s}$.
3		$r_k = 1,17 - 2,32 \frac{d}{s} + 1,31 \left(\frac{d}{s} \right)^2 + 0,22 \left(1 - \frac{c}{d} \right) + \Delta r$ dla $0,5 \leq \frac{c}{d} \leq 0,75, \quad 0,3 \leq \frac{d}{s} \leq 0,7$ gdzie: $\Delta r = 0,3 \frac{l}{s} - 0,06 \left(\frac{l}{s} \right)^2 - 0,25$ dla $\frac{l}{s} \leq 2,5;$ $\Delta r = 0,125$ dla $\frac{l}{s} > 2,5.$

13.4.3.10 Jeżeli w centralnej części pola płytowego zastosowano wycięcie okrągłe lub owalne, które obramowano płaskownikiem przyspawanym wokół otworu symetrycznie względem płaszczyzny płyty, to teoretyczne naprężenia krytyczne obliczane wg 13.4.3.8 lub 13.4.3.9 można skorygować w następujący sposób:

- a) jeżeli grubość płaskownika jest nie mniejsza niż grubość płyty, a wysokość nie mniejsza niż czterokrotna grubość, to dla płyty ściskanej jednokierunkowo należy przyjąć:

$$r_k = 1 \quad (13.4.3.10-1)$$

- b) dla płyty w warunkach czystego ścinania, gdy obramowanie spełnia ograniczenia jak w punkcie a) wartość r_k wg tabeli 13.4.3.9 należy dodatkowo przemnożyć przez współczynnik:

$$r_u = 0,3 + 2,0 \frac{d}{s} + 0,2 \frac{c}{d} + 0,6 \frac{s}{l} \quad (13.4.3.10-2)$$

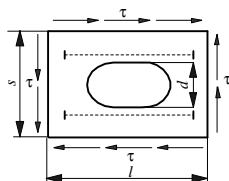
l, s, c, d – wymiary pokazane na rysunkach w tabeli 13.4.3.9,

– dla wycięcia okrągłego przyjąć $c = d$;

- c) jeżeli krawędź otworu płyty w warunkach czystego ścinania jest obramowana płaskownikami o grubości nie mniejszej niż dwukrotna grubość płyty i wysokości nie mniejszej niż czterokrotna grubość płyty, to należy przyjąć:

$$r_k = 1 \quad (13.4.3.10-3)$$

13.4.3.11 Jeżeli płytę z centralnie położonym wycięciem okrągłym lub owalnym wzmocniono, w sposób pokazany na rys. 13.4.3.11, płaskownikami o grubości nie mniejszej niż grubość płyty i wysokości nie mniejszej niż czterokrotna grubość płyty, to dla płyt w warunkach czystego ścinania wartości τ_E obliczane wg 13.4.3.5 można w stosunku do wymagań określonych w 13.4.3.9 skorygować poprzez przemnożenie wartości r_k (obliczone wg tabeli 13.4.3.9) przez współczynnik r_u określony w następujący sposób:



Rys. 13.4.3.11

$$r_u = \left(2 - \frac{d}{b}\right) \left(0,6 + 0,1 \frac{h}{t}\right) \quad (13.4.3.11)$$

gdzie:

d, s – wymiary pokazane na rys. 13.4.3.11;

h, t – wysokość i grubość płaskowników, [mm];

Dla płyt w warunkach ściskania jednokierunkowego, wzmocnionych jak wyżej, naprężenia σ_E dla każdej z trzech części płyty powstałych w wyniku zastosowania płaskowników (rys. 13.4.3.11) można obliczać wg 13.4.3.4, tzn. zakładając, że płaskowniki stanowią sztywne podparcie płyty i pomijając przy tym obecność otworu. Płaskowniki tworzące obramowanie powinny wówczas spełniać wymagania 13.5.3.1 w powiązaniu z 13.5.3.2 i 13.5.3.3.

13.5 Usztywnienia

13.5.1 Wymagania ogólne

13.5.1.1 Wymiary poprzecznego przekroju poszczególnych usztywnień powinny być tak dobrane, aby były spełnione następujące wymagania:

- warunek minimalnej grubości wiązań podany w 13.2,
- warunek wytrzymałości usztywnienia na zginanie wywołane obciążeniem poprzecznym podany w 13.5.2,
- warunki stateczności usztywnienia podane w 13.3 z uwzględnieniem 13.5.3, w zakresie, w jakim mają zastosowanie.

13.5.1.2 Wymiary usztywnień przenoszących ściskające obciążenia osiowe należy określać według 13.7.3.

13.5.2 Wskaźnik przekroju

13.5.2.1 Wskaźnik przekroju netto, tzn. po odjęciu naddatków korozyjnych według 2.5 (patrz również 13.5.2.5):

- wzdłużnych i poprzecznych usztywnień dna zewnętrznego, wewnętrznego, burt oraz usztywnień szczelnych denników i wzdłużników dennych,
 - wzdłużnych i poprzecznych usztywnień pokładów i platform,
 - wzdłużnych i poprzecznych oraz poziomych i pionowych usztywnień grodzi i przegród podlegających poprzecznemu obciążeniu ciąglemu,
- powinien być nie mniejszy niż wskaźnik obliczony wg wzoru:

$$W = \frac{1000l^2 sp}{m\sigma}, \quad [\text{cm}^3] \quad (13.5.2.1)$$

i nie powinien być mniejszy niż 15 cm^3 .

m – współczynnik momentu gnącego, według 13.5.2.2 (patrz również 13.5.2.4) oraz tabeli 5.2.3.3.

Naprężenia dopuszczalne σ należy określać następująco (patrz również 13.5.2.3):

- dla usztywnień wzdłużnych w środkowej części okrętu: z tabeli 13.5.2.1, przy czym przyjęte wartości nie powinny przekraczać $\sigma_{\max} = 160k$, [MPa];
 - dla usztywnień wzdłużnych w skrajnych częściach okrętu: $\sigma = 160k$, [MPa]; pomiędzy środkową częścią okrętu a częściami skrajnymi wartość σ zmienia się liniowo;
 - dla usztywnień poprzecznych (pionowych i poziomych), w tym usztywnień grodzi kolizyjnej: $\sigma = 160k$, [MPa];
 - dla usztywnień pozostałych grodzi wodoszczelnych: $\sigma = 220k$, [MPa];
- σ_{dp} – naprężenia od zginania dna podwójnego w rozpatrywanym rejonie, w mocniku usztywnienia, [MPa], obliczane według wymagań rozdziału 14.
- zastosowane wartości σ_{dp} nie powinny być mniejsze niż $\sigma_{dp} = 15 \text{ k}$, [MPa].

Tabela 13.5.2.1

Naprężenia dopuszczalne dla usztywnień wzdłużnych w środkowej części okrętu

Lp.	Usztywnienia wzdłużne w rejonie	σ , [MPa]
1	2	3
1	dna zewnętrznego:	
1.1	– w dnie podwójnym	$225k - 130f - \sigma_{dp}$
1.2	– w dnie pojedynczym	$225k - 130f$
2	dna wewnętrznego	$225k - 100f - \sigma_{dp}$
3	wzdłużników szczelnych	$225k - 110f$
4	burty	$225k - 130f \frac{z_n - z_{\alpha}}{z_n}$, max 130 k na okrętach jednopokładowych

1	2	3
5	grodzi wzdłużnych	$225k - 130f \frac{z_n - z_\alpha}{z_n}$
6	pokładu:	
6.1	– wytrzymałościowego, długiej nadbudówki i efektywnej pokładówki nad pokładem wytrzymałościowym	$225k - 130f$
6.2	– pokładów ciągłych poniżej pokładu wytrzymałościowego	$225k - 130f \frac{z_n - z_\alpha}{z_n}$

13.5.2.2 Do wzoru 13.5.2.1 należy przyjmować następujące wartości współczynnika momentu gnącego, m :

$m = 12$ – dla ciągłych usztywnień wzdłużnych,

$m = 10$ – dla nieciągłych usztywnień wzdłużnych i usztywnień poprzecznych,

$m = 7,5$ – dla usztywnień pionowych podpartych swobodnie,

$m = 10$ – dla usztywnień pionowych, jeżeli można uznać, że są one utwierdzone na obu końcach.

W przypadku usztywnień grodzi wodoszczelnych przewidzianych do przeniesienia ciśnienia wody morskiej po zalaniu przedziału:

$m = 16$ – dla usztywnienia utwierdzonego na obu końcach,

$m = 12$ – dla usztywnienia utwierdzonego na jednym (niższym) końcu i swobodnie podpartego na drugim,

$m = 8$ – dla usztywnienia swobodnie podpartego na obu końcach.

Uwaga: Podane wyżej wartości współczynnika m dla grodzi wodoszczelnych zostały ustalone przy założeniu występowania przegubów plastycznych na utwierdzonych końcach i nie należy ich porównywać z wartościami współczynnika m dla zakresu ugięć sprężystych.

13.5.2.3 Usztywnienia i poszycie powinny w zasadzie być wykonane ze stali o tej samej granicy plastyczności. Jeśli zastosowano usztywnienie ze stali o wyższej granicy plastyczności niż poszycie, to do obliczeń należy przyjąć wartość σ taką jak dla materiału płyty. Jeżeli jednak obliczone naprężenie w poszyciu jest niższe od dopuszczalnego, to wartość σ dla usztywnienia można zwiększyć, mnożąc ją przez współczynnik o wartości nie przekraczającej k_u/k_p (k_u – współczynnik materiałowy dla usztywnienia; k_p – współczynnik materiałowy dla poszycia).

13.5.2.4 W wyjątkowych przypadkach usztywnienia mogą być ścięte na końcach, jeżeli poszycie podparte przez usztywnienie ma grubość nie mniejszą niż grubość obliczona wg wzoru:

$$t = 1,25 \sqrt{\frac{(l - 0,5s)sp}{k}} + t_k, \quad [\text{mm}] \quad (13.5.2.4)$$

W takim przypadku wskaźnik przekroju usztywnienia należy obliczać wg wzoru 13.5.2.1, przyjmując:

$$m = 8; \quad \sigma = 145 k, \quad [\text{MPa}].$$

13.5.2.5 Projektowe wartości wskaźników przekroju usztywnień (znajdujących się w rejonie A lub B w rozumieniu podrozdziału 2.5) powinny być odpowiednio zwiększone w stosunku do wartości wskaźnika W obliczonych według wzoru 13.5.2.1 w związku z koniecznością zastosowania naddatków korozyjnych.

Dla usztywnień spawanych ze środnika i mocnika lub wykonanych z płaskowników odpowiednia wartość t_k (patrz 2.5) powinna być dodana do grubości środnika i mocnika zapewniających wymagany wskaźnik przekroju netto.

Dla usztywnień wykonanych z kształtowników walcowanych projektowa wartość wskaźnika przekroju może być obliczona jako iloczyn wskaźnika W , obliczonego według wzoru 13.5.2.1, i współczynnika w_k o wartości:

- w przypadku kątowników:

$$w_k = 1 + 0,1t_k \quad (13.5.2.5-1)$$

- w pozostałych przypadkach:

$$w_k = 1 + 0,06t_k \quad (13.5.2.5-2)$$

t_k – naddatek korozyjny, patrz 2.5.

13.5.3 Stateczność usztywnień

13.5.3.1 Wymiary przekroju poprzecznego

- wzdłużnych usztywnień dna, burt, pokładu wytrzymałościowego i grodzi wzdłużnych biorących udział w wytrzymałości wzdłużnej okrętu,
- usztywnień i wiązarów podporowych grodzi i burt,
- podpór,
- łączników,
- rzędów pokładników stosowanych na poziomie wzdłużników burtowych w skrajnikach,
- usztywnień środników wiązarów,

powinny odpowiadać wymaganiom w zakresie stateczności podanym w 13.3, przy zastosowaniu teoretycznych naprężeń krytycznych σ_E podanych niżej.

Należy przy tym uwzględnić następujące postacie możliwej utraty stateczności usztywnienia:

- wyboczenie giętne całego usztywnienia,
- wyboczenie skrętne całego usztywnienia,
- miejscowe wyboczenie środnika usztywnienia,
- zwichrzenie mocnika usztywnienia.

13.5.3.2 Przy sprawdzaniu stateczności usztywnień wzdłużnych poddanych działaniu obciążeń ściskających, wywołanych ogólnym zginaniem kadłuba, podporowych usztywnień grodzi, podpór, łączników i rzędów pokładników w skrajniku dziobowym oraz wzdłużnych usztywnień środników wiązarów w zakresie wyboczenia giętnego – teoretyczne naprężenia krytyczne σ_E można określić wg wzoru:

$$\sigma_E = 0,001E \frac{I_\alpha}{Al^2}, \quad [\text{MPa}] \quad (13.5.3.2)$$

I_α – moment bezwładności poprzecznego przekroju usztywnienia bez nadkładu korozyjnego względem osi prostopadłej do spodziewanego kierunku wybożenia, czyli prostopadle do poszycia, $[\text{cm}^4]$;

A – pole poprzecznego przekroju usztywnienia, $[\text{cm}^2]$;

W obliczeniach wartości I_α oraz A można uwzględnić pas współpracujący o szerokości równej odstępowi usztywnień i grubości równej t_n – patrz 13.4.3.4.

Wartość σ_E obliczona według wzoru 13.5.3.2 odnosi się do przypadku osiowego ściskania i swobodnego podparcia obu końców usztywnienia.

Jeżeli w szczególnym przypadku zostanie stwierdzone, że jeden koniec usztywnienia można uznać za utwierdzony, to obliczoną wartość σ_E można zwiększyć dwukrotnie, a jeżeli oba końce usztywnienia są utwierdzone, to wartość σ_E można zwiększyć czterokrotnie.

Można uznać, że warunki utwierdzenia końców elementu podporowego występują, jeżeli:

- są one przyłączone do wiązarów mających w stosunku do elementu podporowego znaczną sztywność giętną w dwóch prostopadłych kierunkach,
- ich końce są związane z wiązarami za pomocą węzłów.

13.5.3.3 Przy sprawdzaniu stateczności usztywnienia w zakresie wybożenia skrętnego wartość σ_E można obliczać wg wzoru:

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 EI_w}{10^4 I_0 l^2} \left(m^2 + \frac{K}{m^2} \right) + 0,385E \frac{I_t}{I_0}, \quad [\text{MPa}] \quad (13.5.3.3-1)$$

$$K = \frac{cl^4}{\pi^4 EI_w} 10^6 \quad (13.5.3.3-2)$$

m – liczba półfal formy utraty stateczności; można ją określić według zależności:

$(m-1)^2 m^2 < K \leq m^2 (m+1)^2$, według której:

$m = 1$ przy $0 < K \leq 4$,

$m = 2$ przy $4 < K \leq 36$,

$m = 3$ przy $36 < K \leq 144$,

$m = 4$ przy $144 < K \leq 400$;

I_w – wycinkowy moment bezwładności poprzecznego przekroju usztywnienia względem punktu styku usztywnienia z poszyciem, $[\text{cm}^6]$:

– dla płaskowników

$$I_w = \frac{h_s^3 t_s^3}{36} 10^{-6} \quad (13.5.3.3-3)$$

– dla teowników

$$I_w = \frac{t_m b_m^3 h_s^2}{12} 10^{-6} \quad (13.5.3.3-4)$$

- dla kątowników i płaskowników łebkowych

$$I_w = \frac{b_m^3 \cdot h_s^2}{12(b_m + h_s)^2} [t_m(b_m^2 + 2b_m h_s + 4h_s^2) + 3t_s b_m h_s] 10^{-6} \quad (13.5.3.3-5)$$

h_s – wysokość środka, [mm];

t_s – grubość środka, [mm], z uwzględnieniem standardowego potrącenia grubości według 13.4.3.4, czyli przyjmując $t_s = t_n$;

b_m – szerokość mocnika, [mm];

t_m – grubość mocnika, [mm], z uwzględnieniem standardowego potrącenia grubości według 13.4.3.4. W przypadku płaskowników łebkowych należy przyjąć średnią grubość łba;

l – rozpiętość usztywnienia, [m];

I_0 – biegunowy moment bezwładności poprzecznego przekroju usztywnienia względem punktu styku usztywnienia z poszyciem, [cm⁴]:

- dla płaskowników

$$I_0 = \frac{h_s^3 t_s}{3} 10^{-4} \quad (13.5.3.3-6)$$

- dla usztywnień z mocnikiem

$$I_0 = \left[\frac{h_s^3 t_s}{3} + h_s^2 b_m t_m \right] 10^{-4} \quad (13.5.3.3-7)$$

I_t – moment bezwładności Saint Venanta poprzecznego przekroju usztywnienia (bez pasa współpracującego), [cm⁴]:

- dla płaskowników

$$I_t = \frac{h_s t_s^3}{3} 10^{-4} \quad (13.5.3.3-8)$$

- dla usztywnień z mocnikiem

$$I_t = \frac{1}{3} \left[h_s t_s^3 + b_m t_m^3 \left(1 - 0,63 \frac{t_m}{b_m} \right) \right] 10^{-4} \quad (13.5.3.3-9)$$

c – stała sprężystości usztywnienia i dołączonego pasa poszycia:

$$c = \frac{k_p E t_p^3}{3s \left(1 + \frac{1,33 k_p h_s t_p^3}{1000 s t_s^3} \right)} 10^{-3} \quad (13.5.3.3-10)$$

$$k_p = 1 - r, \text{ lecz nie mniej niż } k_p = 0, \quad (13.5.3.3-11)$$

$$r = \frac{\sigma_r}{\sigma_{Ep}} \quad (13.5.3.3-12)$$

σ_r – obliczeniowe naprężenie ściskające, [MPa]; dla wzdłużnych pokładników, wręgów dna i burt oraz usztywnień grodzi wzdłużnych – patrz 13.3.2.7;

σ_{Ep} – teoretyczne naprężenie krytyczne dołączonego pasa poszycia, określone według 13.4.3.4;

t_p – grubość poszycia, [mm], przy uwzględnieniu standardowego potrącenia według 13.4.3.4.

Dla usztywnień mających mocniki przyjęta wartość współczynnika k_p nie musi być mniejsza niż 0,1.

13.5.3.4 Przy sprawdzaniu stateczności usztywnienia w zakresie miejscowego wybożenia środnika wartość σ_E można obliczać wg wzoru:

$$\sigma_E = 3,8E \left(\frac{t_s}{h_s} \right)^2, \quad [\text{MPa}] \quad (13.5.3.4)$$

h_s – patrz 13.1.2;

t_s – grubość środnika, [mm], przy uwzględnieniu standardowego potrącenia wg 13.4.3.4.

13.5.3.5 Stateczność mocnika wzdłużnego usztywnienia wykonanego z kątownika lub teownika można uznać za wystarczającą, gdy spełniony jest warunek:

$$t_m \geq \frac{1}{15} b_n \quad (13.5.3.5)$$

b_n – szerokość mocnika dla kątownika lub połowa szerokości mocnika dla teownika;

t_m – patrz 13.5.3.3.

13.5.3.6 Usztywnienia podpierające płyty poszycia poddane w ich płaszczyznach ściskaniu w kierunku prostopadłym do usztywnień (na przykład poprzeczne pokładniki pokładu wytrzymałościowego, pionowe wręgi burtowe i usztywnienia grodzi wzdłużnych) powinny mieć moment bezwładności poprzecznego przekroju wraz z pasem współpracującym poszycia nie mniejszy niż moment obliczony według wzoru:

$$I = \frac{0,09 \sigma_r \sigma_E l^4 s}{t}, \quad [\text{cm}^4] \quad (13.5.3.6-1)$$

t – grubość poszycia, [mm];

σ_r – naprężenie ściskające, [MPa], działające w płytach poszycia prostopadle do usztywnienia;

$\sigma_E = 1,18 \sigma_r$, [MPa] – w przypadku gdy $\sigma_E \leq 0,5 R_e$, (13.5.3.6-2)

$\sigma_E = \frac{R_e^2}{4(R_e - 1,18 \sigma_r)}$, [MPa] – w pozostałych przypadkach; (13.5.3.6-3)

l, s – patrz 13.1.2.

13.6 Wiązary zwykłe

13.6.1 Wymagania ogólne

Wiązary zwykłe powinny mieć taką konstrukcję oraz wymiary elementów, aby były spełnione wymagania w zakresie:

- minimalnej grubości, podane w 13.2,
- wskaźnika przekroju, podane w 13.6.2,
- pola poprzecznego przekroju środka, podane w 13.6.3,
- stateczności, podane w 13.6.4.

13.6.2 Wskaźnik przekroju

13.6.2.1 Wskaźnik przekroju wiązara przenoszącego ciągłe obciążenia poprzeczne należy obliczać wraz z pasem współpracującym, określonym według wskazań podanych w 3.2.2, względem osi obojętnej równoległej do poszycia. Wskaźnik dla przekroju netto (tzn. po odjęciu naddatków korozyjnych według 2.5, jeżeli są wymagane) powinien spełniać warunek:

$$W \geq \frac{1000 l^2 b p}{m \sigma}, \quad [\text{cm}^3] \quad (13.6.2.1-1)$$

l, b, p – patrz 13.1.2;

- σ – naprężenia dopuszczalne, określane następująco:
- dla ciągłych wzdłużnych wiązarów w środkowej części okrętu

$$\sigma = 190k - 130f \frac{z_n - z_\alpha}{z_n}, \quad [\text{MPa}] \quad (13.6.2.1-2)$$

lecz nie więcej niż 160 k, [MPa];

- dla wiązarów wzdłużnych w skrajnych częściach okrętu

$$\sigma = 160k, \quad [\text{MPa}]$$

Pomiędzy środkową częścią okrętu i częściami skrajnymi wartość σ zmienia się liniowo;

- dla wiązarów poprzecznych i pionowych

$$\sigma = 160k, \quad [\text{MPa}]$$

m – współczynnik momentu gnącego (patrz 5.2.3.3); w większości przypadków można przyjąć $m = 10$.

13.6.2.2 Projektowe wartości W można wyznaczyć stosując zasady identyczne do podanych w punkcie 13.5.2.5.

13.6.3 Pole przekroju środka

13.6.3.1 Efektywne pole poprzecznego przekroju środka wiązara obciążonego ciągłym obciążeniem poprzecznym, określone według zasad podanych w 3.2.3, powinno spełniać warunek:

$$A \geq \frac{ck_1 l b p}{k} + 0,01 h_s t_k, \quad [\text{cm}^2] \quad (13.6.3.1)$$

- $c = 0,75$ – dla średnika wiązarów grodzi wodoszczelnych (nie dotyczy to grodzi kolizyjnej),
 $c = 1,0$ – we wszystkich innych przypadkach;
 $k_1 = 0,06$ – dla ciągłych poziomych wiązarów oraz górnych końców pionowych wiązarów burt i grodzi,
 $k_1 = 0,08$ – dla dolnych końców pionowych wiązarów burt i grodzi,
 $k_1 = 0,07$ – dla wiązarów pokładowych;
 l, b, p, h_s, t_k – patrz 13.1.2.

13.6.3.2 W środku rozpiętości wiazara pole przekroju jego średnika powinno być nie mniejsze niż połowa pola przekroju obliczonego wg wzoru 13.6.3.1.

13.6.4 Stateczność wiązarów

13.6.4.1 Stateczność wiązarów obciążonych osiowo (spełniających rolę podpór oraz łączników) należy sprawdzać według wskazań podanych w 13.7.3 i 13.7.4.

13.6.4.2 Przy sprawdzaniu stateczności wiązarów przenoszących obciążenia poprzeczne oraz ewentualnie dodatkowo obciążenia osiowe od ogólnego zginania kadłuba obowiązują następujące zasady:

- stateczność w sensie wybożenia giętnego całego wiazara w zasadzie może nie być sprawdzana;
- uznaje się, że wymagania w zakresie stateczności wiazara w sensie wybożenia skrętnego i zwiczerzenia mocnika są spełnione, jeżeli spełnione są wymagania podrozdziałów 3.6.2 i 3.6.4;
- średniki wiązarów powinny spełniać kryteria stateczności w sensie lokalnego wybożenia podane w 13.3.2.2, 13.3.2.3 lub 13.3.2.5 dla obliczeniowych wartości naprężeń określonych wg 13.3.2.7 lub 13.3.2.10. W tym celu może być wymagane ich usztywnienie lub wzmocnienie wg wymagań podrozdziału 3.6.3.

13.6.4.3 Wiazary stanowiące podparcie dla usztywnień wzdłużnych (pokładników, wręgów, usztywnień grodzi wzdłużnych) lub podpierające inne usztywnienia poddane osiowemu ścisłaniu powinny mieć moment bezwładności poprzecznego przekroju (wraz z pasem współpracującym) nie mniejszy, niż moment obliczony wg wzoru:

$$I = 0,3 \frac{l_w^4 I_u}{b^3 s}, \quad [\text{cm}^4] \quad (13.6.4.3-1)$$

- l_w – rozpiętość wiazara, [m];
 b – odstęp wiązarów, [m];
 s – odstęp usztywnień, [m];

$I_u = \frac{\sigma_E A l^2}{0,001E}$, [cm⁴] – moment bezwładności przekroju ściskanego usztywnienia, konieczny do spełnienia wymagań 13.5.3.2;

$$\sigma_E = 1,18\sigma_r, \quad [\text{MPa}] \text{ – jeżeli } \sigma_E \leq 0,5R_e \quad (13.6.4.3-2)$$

$$\sigma_E = \frac{R_e^2}{4(R_e - 1,18\sigma_r)}, \quad [\text{MPa}] \text{ – w pozostałych przypadkach;} \quad (13.6.4.3-3)$$

σ_r – naprężenie ściskające w usztywnieniu, [MPa];

A – pole poprzecznego przekroju usztywnienia, określone jak w 13.5.3.2, [cm²];

l – rozpiętość usztywnienia, [m].

13.7 Podpory i wiązania ściskane

13.7.1 Zastosowanie

Wymagania niniejszego podrozdziału odnoszą się do wiązań przenoszących osiowe obciążenia ściskające: podpór pokładowych, pionowych usztywnień i wiązarów grodzi podpierających pokłady, usztywnień rozpierających burty w skrajnikach oraz łączników w zbiornikach.

13.7.2 Wymagania ogólne

13.7.2.1 Jeżeli jest to możliwe, podpory pokładowe należy umieszczać w jednej linii z podporami wyższymi i niższymi.

13.7.2.2 Pod pokładami i platformami w maszynowni, pomiędzy burtowymi wręgami ramowymi i podporami pokładowymi należy zastosować pokładniki ramowe, tak aby powstała ciągła konstrukcja ramowa.

13.7.3 Podpory i usztywnienia podporowe

13.7.3.1 Naprężenie krytyczne σ_c podpór, łączników i usztywnień podporowych, obliczone według 13.5.3 oraz 13.3.2.2, powinno być nie mniejsze niż naprężenia obliczone wg wzoru:

$$\sigma = \frac{10P}{Ak_1}, \quad [\text{MPa}] \quad (13.7.3.1-1)$$

P – obciążenie osiowe, określone według 13.7.3.2, 13.7.4 lub w oparciu o analizę strefowej wytrzymałości konstrukcji zgodnie z wymaganiami rozdziału 14, [kN];

$$k_1 = \frac{k_2}{1 + \frac{l}{i}}, \quad \text{lecz nie mniej niż } 0,3; \quad (13.7.3.1-2)$$

$k_2 = 0,5$ – dla wiązań podporowych pokładu otwartego w rejonie $x \geq 0,4 L_0$ oraz łączników i usztywnień rozporowych w zbiornikach burtowych i skrajnikach,

$k_2 = 0,6$ – dla wiązań podporowych pokładu otwartego, jeżeli w obliczeniach zastosowano wartości obciążeń morskich,

$k_2 = 0,7$ – w pozostałych przypadkach;

$i = \sqrt{\frac{I_\alpha}{A}}$ – promień bezwładności poprzecznego przekroju wiązania podporowego, [cm];

$I_\alpha A$ – patrz 13.5.3.2.

l – długość podpory, łącznika lub usztywnienia podpartego, [m].

13.7.3.2 Nominalną siłę osiową w podporach pokładowych należy obliczać wg wzoru:

$$P = \sum P_i, \quad [\text{kN}] \quad (13.7.3.2)$$

P_i – siła składowa przenoszona na rozpatrywaną podporę z i -tego pokładu, [kN].

Siłę składową pochodzącą od wiązarów pokładowych należy przyjąć jako równą połowie sumy obciążeń poprzecznych działających na wiązary podparte przez rozpatrywaną podporę.

13.7.4 Łączniki i usztywnienia rozporowe

Wymagane pole przekroju poprzecznego łączników ścian zbiorników oraz usztywnień rozporowych w skrajnikach należy określać według 13.7.3.1, przyjmując $k_2 = 0,5$ oraz siłę osiową o wartości obliczonej wg wzoru:

$$P = lbp, \quad [\text{kN}] \quad (13.7.4)$$

l – średnia długość wiązara lub wręgu podpartego przez łącznik lub usztywnienie rozporowe, [m];

b – szerokość pasa poszycia podpartego przez wiązara lub wręg, określona tak jak w punkcie 3.2.2.3, [m].

13.8 Węzłówki

13.8.1 Zastosowanie

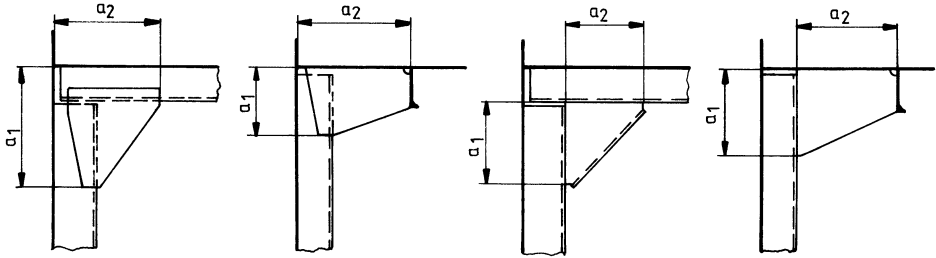
Wymagania niniejszego podrozdziału mają zastosowanie do węzłówek mocujących końce usztywnień i wiązarów do innych konstrukcji.

13.8.2 Węzłówki usztywnień

13.8.2.1 Usztywnienia wszystkich rodzajów powinny być zakończone węzłówkami. W szczególnych przypadkach może być dopuszczone zamocowanie bezwęzłówekowe lub ukosowanie końców usztywnienia.

13.8.2.2 Wymiary końcowych węzłówek usztywnień wpływających na wytrzymałość wzdłużną okrętu powinny być określone w zależności od sił obliczeniowych przenoszonych przez łączone usztywnienia oraz od naprężeń dopuszczalnych, przyjmowanych jak dla usztywnień.

13.8.2.3 Wymiary węzłówek usztywnień nie wpływających na wytrzymałość wzdłużną powinny odpowiadać wymaganiom punktów 13.8.2.4 do 13.8.2.8 (patrz również rys. 13.8.2.3 oraz rys. 3.2.1.1).



Rys. 13.8.2.3 Końcowe węzłówki usztywnień

13.8.2.4 Grubość węzłówki, t_w , należy określać wg wzoru:

$$t_w = \frac{3 + k_1 \sqrt{W}}{\sqrt{\frac{k_w}{k_u}}} + t_k, \quad [\text{mm}] \quad (13.8.2.4)$$

W – przepisowy wskaźnik przekroju usztywnienia (najmniejszy, jeżeli do węzłówki przyłączono więcej niż jedno usztywnienie), $[\text{cm}^3]$;

$k_1 = 0,2$ dla węzłówek z zagięciem lub mocnikiem wzdłuż swobodnej krawędzi,

$k_1 = 0,3$ dla węzłówek bez zagięć lub mocników;

k_w – współczynnik materiałowy węzłówki (patrz k w 2.2.1.2);

k_u – współczynnik materiałowy usztywnienia.

Grubość węzłówki, t_w , powinna być nie mniejsza niż 6 mm i nie musi być większa niż 13,5 mm, przy czym naddatek korozyjny t_k może nie przekraczać 1,5 mm.

13.8.2.5 Długość ramienia węzłówki a należy obliczać wg wzoru:

$$a = c \sqrt{\frac{W}{t_w}}, \quad [\text{mm}] \quad (13.8.2.5-1)$$

W, t_w – wg 13.8.2.4;

a – patrz rys. 13.8.2.3;

$c = 70$ dla węzłówek z zagięciem lub mocnikiem wzdłuż swobodnej krawędzi,

$c = 75$ dla węzłówek bez zagięć lub mocników.

Przyjęta wartość a powinna być nie mniejsza niż dwukrotna wysokość usztywnienia. Jeżeli ramiona węzłówki mają różne długości a_1 i a_2 , to ich suma powinna być nie mniejsza niż $2a$, przy czym długość krótszego ramienia powinna być nie mniejsza niż $0,75a$ (patrz rys. 13.8.2.3). Jeżeli długość swobodnej krawędzi węzłówki przekracza $50 t_w$, to krawędź ta powinna mieć zagięcie lub mocnik o szerokości nie mniejszej niż szerokość obliczona wg wzoru:

$$b = 40 \left(1 + \frac{W}{1000} \right), \quad [\text{mm}] \quad (13.8.2.5-2)$$

i nie mniejszej niż 50 mm.

13.8.2.6 Wymiary węzłówki powinny być takie, aby wskaźnik przekroju w obrębie węzłówki był nie mniejszy, niż wymagany wskaźnik przekroju dla usztywnienia.

13.8.2.7 Połączenia bezwęzłówkowe mogą być stosowane dla usztywnień wzdłużnych i innych usztywnień przechodzących w sposób ciągły przez wiązary (wreگی ramowe, pokładniki ramowe, grodzie), jeżeli będą przewidziane wystarczające połączenia spawane (w odniesieniu do usztywnień wzdłużnych patrz również 6.2.2.2 i 8.2.2).

13.8.2.8 Usztywnienia z ukosowaniem końców mogą być stosowane w rejonach małych obciążeniach dynamicznych oraz tam, gdzie drgania nie mają istotnego znaczenia, jeżeli grubość poszycia podpartego przez te usztywnienia jest nie mniejsza, niż grubość określona wg wzoru:

$$t = 1,25 \sqrt{\frac{(l - 0,5s) sp}{k}} + t_k, \quad [\text{mm}] \quad (13.8.2.8)$$

l – rozpiętość usztywnienia, [m];

s – odstęp usztywnień, [m];

p – ciśnienie działające na poszycie podparte przez rozpatrywane usztywnienie, [kPa].

13.8.3 Połączenia wiązarów

13.8.3.1 Końce wiązarów powinny być połączone z końcami przyległych wiązarów tworzących ramy lub z przyległą konstrukcją, za pomocą węzłówek.

Swobodna krawędź węzłówki powinna być ukształtowana według łuku okręgu lub z zaokrągleniami końców oraz usztywniona.

Połączenia wiązarów mogą być bezwęzłówkowe, jeżeli konstrukcja węzła zapewnia odpowiednie podparcie przyległym mocnikom.

13.8.3.2 Grubość węzłówek wiazara powinna być nie mniejsza, niż grubość jego środka.

Węzłówki wiązarów powinny mieć wzdłuż swobodnych krawędzi mocniki o polu przekroju poprzecznego nie mniejszym, niż pole obliczone wg wzoru:

$$A_{mw} = 10 l_w t_w, \quad [\text{cm}^2] \quad (13.8.3.2)$$

l_w – długość swobodnej krawędzi węzłówki, [m];

jeżeli długość ta przekracza 1,5 m, to węzłówka powinna mieć dodatkowe usztywnienie równoległe do mocnika i oddalone od niego o nie więcej niż 0,15 m, przy czym pole poprzecznego przekroju mocnika powinno wynosić 60% pola obliczonego wg wzoru, a pole poprzecznego przekroju usztywnienia – 40%;

t_w – grubość węzłówki, [mm].

Jeżeli mocnik wiązara przechodzi bezpośrednio w mocnik węzłówki, to w miarę możliwości zmiana wymiarów mocnika powinna być płynna. Jeżeli mocnik wiązara nie przechodzi w mocnik węzłówki, to powinien być poprowadzony wystarczająco daleko poza zakończenie węzłówki.

13.8.3.3 Długość ramienia węzłówki wraz z wysokością wiązara należy obliczać wg wzoru:

$$a_w = c \sqrt{\frac{W}{t_w}}, \quad [\text{mm}] \quad (13.8.3.3.)$$

W – wymagany wskaźnik przekroju wiązara łączonego węzłówką, [cm^3];

t_w – grubość węzłówki, [mm];

$c = 63$ w przypadku łączenia wiązarów dna i pokładu,

$c = 88$ w innych przypadkach;

inne wartości c mogą być przyjęte po odrębnym rozpatrzeniu przez PRS.

13.8.3.4 Naprężenia normalne w środku długości swobodnej krawędzi węzłówki nie powinny przekraczać naprężeń dopuszczalnych podanych w 14.4, zwiększonych o:

- 25% dla konstrukcji połączenia wiązarów, gdy węzłówka z usztywnioną krawędzią jest spawana do mocników łączonych wiązarów,
- 45% dla konstrukcji, gdy węzłówka jest integralną częścią obu wiązarów, a jej mocnik jest przedłużeniem mocników wiązarów.

13.8.3.5 W bezwęzłówkowych połączeniach wiązarów wymagane pole poprzecznego przekroju mocnika może być stopniowo zmniejszane poza krzyżującym się mocnikiem. W przypadku mocnika rozciąganego – dopuszczalne naprężenia rozciągające należy zmniejszyć, jeżeli może powstać rozwarstwienie mocnika ciągłego.

Grubość środka wiązara w obrębie połączenia bezwęzłówkowego (patrz rys. 13.8.3.5) powinna być nie mniejsza, niż większa z wartości obliczonych wg wzorów:

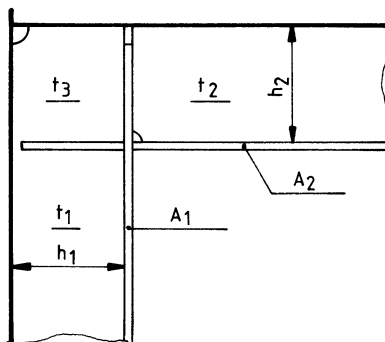
$$t_3 = \frac{\sigma_1}{k_t} \frac{A_1}{h_2} - \frac{\tau_2}{k_t} \frac{t_2}{100}, \quad [\text{mm}] \quad (13.8.3.5-1)$$

$$t_3 = \frac{\sigma_2}{k_t} \frac{A_2}{h_1} - \frac{\tau_1}{k_t} \frac{t_1}{100}, \quad [\text{mm}] \quad (13.8.3.5-2)$$

A_1, A_2 – wymagane minimalne wartości pola poprzecznego przekroju mocnika wiązarów 1 i 2, [cm^2];

h_1, h_2 – wysokość środków wiązarów 1 i 2, [mm];

- t_1, t_2 – minimalne wymagane grubości (poza rejonem 3) środników wiązarów 1 i 2, [mm];
- σ_1, σ_2 – naprężenia normalne od zginania wiązarów 1 i 2, [MPa];
- τ_1, τ_2 – naprężenia styczne w środnikach wiązarów 1 i 2, [MPa];
- k_t – współczynnik materiałowy płyty narożnej (rejon 3) środnika.



Rys. 13.8.3.5 Bezwęzłówkowe połączenie wiązarów

14 ZASADY OBLICZEŃ METODĄ ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH – WYTRZYMAŁOŚĆ STREFOWA, OGÓLNA I MIEJSCOWA

14.1 Zasady ogólne

14.1.1 Zastosowanie

14.1.1.1 Wymagania niniejszego rozdziału mają zastosowanie do:

- analizy wytrzymałości systemu wiązarów kadłuba okrętu;
- analizy wytrzymałości ogólnej kadłubów w sytuacjach, gdy nie może być wykonana ocena wytrzymałości wg wymagań rozdziału 15 (np. okręty z nadbudówkami w części środkowej, okręty z szerokimi lukami w pokładach, itp.);
- oceny wytrzymałości usztywnień kadłuba w sytuacjach, gdy nie mogą być zastosowane metody i kryteria podane w 13.5.

Obliczone wartości naprężeń mogą być stosowane w analizie stateczności poszycia, środników wiązarów i usztywnień – wg kryteriów podanych w 13.3.2 i 13.4.3.

14.2 Obciążenia obliczeniowe

14.2.1 Analiza naprężeń w konstrukcji powinna być przeprowadzona dla najbardziej niekorzystnych, realnych stanów obciążenia okrętu.

Należy uwzględnić następujące sytuacje:

- okręt w warunkach wyporności pełnej;
- okręt w warunkach wyporności maksymalnej (jeżeli w projekcie okrętu założono sytuacje, gdzie zanurzenie jest większe niż T) i przy wypornościach od niej mniejszych, stosowanych w eksploatacji (np. z niepełną masą zapasów lub balastu wodnego);
- przeładunek okrętu na postoju lub w ruchu oraz zaopatrywanie w ruchu.

Dla okrętów w warunkach morskich należy uwzględnić realne kombinacje zewnętrznych i wewnętrznych obciążeń dynamicznych, określonych w 17.5. W warunkach portowych (przeładunek) obciążenia dynamiczne można pominąć. Obciążenia od sił ciężkości i bezwładności elementów konstrukcji pokładów można pominąć, jeżeli są one mniejsze niż 5% wartości obciążeń obliczeniowych.

Sposób przyłożenia obciążeń do modeli wytrzymałościowych konstrukcji określono w 14.3.3, 14.4.3 i 14.6.

14.3 Ocena wytrzymałości strefowej na podstawie belkowych modeli MES

14.3.1 Zastosowanie

14.3.1.1 Termin „belkowe modele MES” oznacza modele w formie belek ciągłych, rusztów, ram płaskich i ram przestrzennych.

Modele takie mogą być zaakceptowane w przypadku analizy wytrzymałości strefowej modułów konstrukcji kadłuba złożonych z płaskich lub prawie płaskich usztywnionych fragmentów poszycia, wzmocnionych wiązarami (takich jak burty, dno, pokłady, grodzie), które można uznać za smukłe.

14.3.1.2 Analizę wytrzymałości strefowej konstrukcji o silnie zmiennych kształtach (takich jak kadłuby bez wstawki cylindrycznej lub części skrajne kadłubów) należy wykonywać wg wymagań podrozdziału 14.4.

14.3.2 Zasady modelowania konstrukcji

14.3.2.1 Elementy belkowe modelu MES w zasadzie powinny znajdować się w osi obojętnej rozpatrywanego przekroju.

W przypadku wiązarów teowych spawanych do poszycia dopuszczalne jest umieszczenie elementów w linii styku środka wiązara z poszyciem.

14.3.2.2 Obliczenia MES z zastosowaniem elementów belkowych należy wykonywać w zakresie liniowo-sprężystym, z uwzględnieniem odkształceń od zginania, ścinania, skręcania, rozciągania i ściskania.

14.3.2.3 Charakterystyki wytrzymałościowe poprzecznych przekrojów elementów modelu (pole przekroju, moment bezwładności i wskaźniki wytrzymałości przekroju, sztywność na skręcanie) należy wyznaczać dla grubości netto elementów konstrukcyjnych, tzn. po potrąceniu naddatków korozyjnych wg 2.5.

14.3.2.4 Moment bezwładności i wskaźniki wytrzymałości przekrojów wiązarów należy obliczać dla środka z pasem lub pasami współpracującymi poszyc (w przypadku konstrukcji dwupozyciowych).

Szerokość pasa współpracującego poszycia należy ustalić wg 3.2.2.1. Usztywnienia poszycia leżące w obrębie pasa współpracującego można uwzględnić zgodnie z wymaganiami podanymi w 3.2.2.1.

Mocniki wiązarów teowych należy uwzględnić w całości.

14.3.2.5 W obrębie otworów w środkach pole na ścinanie należy przyjmować jako efektywne pole przekroju środka ustalone wg 3.2.3.

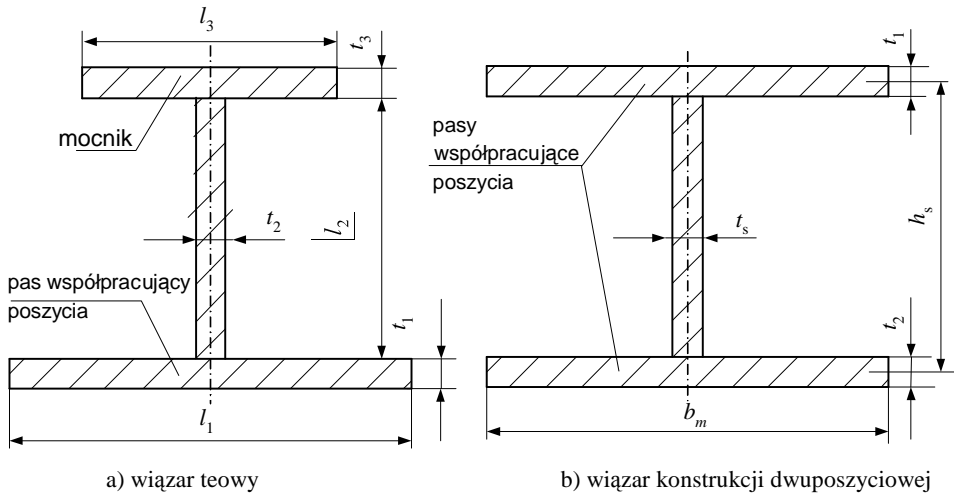
14.3.2.6 Stałą skręcania dla wiązarów teowych (rys. 14.3.2.6a) należy obliczać według wzoru:

$$I_0 = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 l_i t_i^3 . \quad (14.3.2.6-1)$$

Stałą skręcania dla wiązarów w konstrukcjach dwupozyciowych należy obliczać według wzoru:

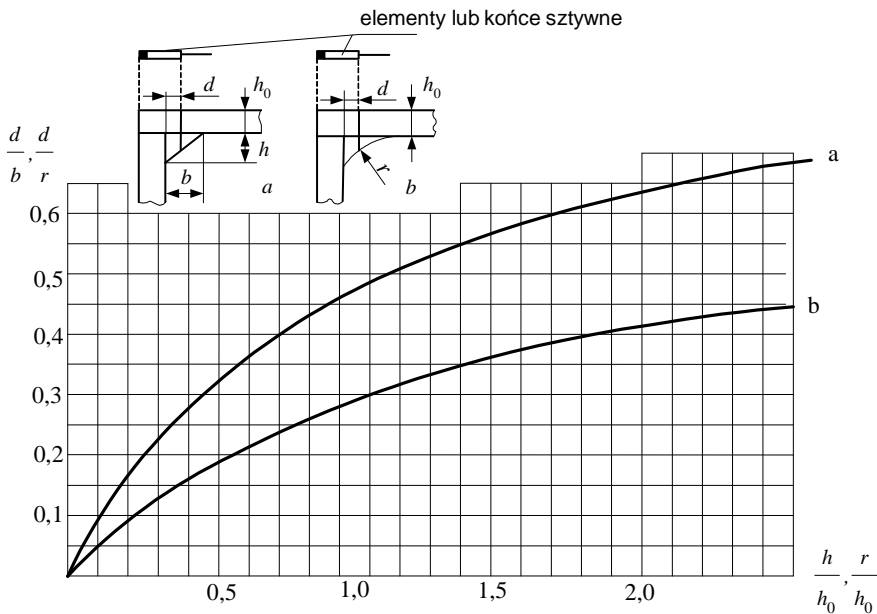
$$I_0 = \frac{b_m \cdot h_s^2}{\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2}} . \quad (14.3.2.6-2)$$

Grubości t_1 i t_2 w powyższych wzorach są to grubości netto poszycia.



Rys. 14.3.2.6

14.3.2.7 W rejonach węzłówek i skrzyżowań wiązarów należy stosować sztywne elementy belkowe (lub sztywne końce elementów – jeżeli zastosowany program komputerowy ma takie możliwości) o długościach ustalonych wg rys. 14.3.2.7.



Rys. 14.3.2.7 Ustalanie długości elementów sztywnych lub sztywnych końców

Charakterystyki wytrzymałościowe elementów sztywnych należy ustalić następująco:

- moment bezwładności przyjmując jako około 100 razy większy od momentu bezwładności przeciętnych elementów o skończonej sztywności, stosowanych w danym modelu,
- pole powierzchni przekroju i pole powierzchni przekroju na ścianie przyjmując jako około 10 razy większe niż odpowiednie pole przeciętnych elementów o skończonej sztywności, stosowanych w danym modelu.

14.3.3 Obciążenia modelu MES

14.3.3.1 Obciążenia modelu MES od ciśnień wody, zapasów płynnych lub ciężaru zapasów na pokładach należy przykładać do elementów belkowych w formie obciążenia ciągłego o wartości:

$$q = p \cdot b \quad (14.3.3.1)$$

gdzie:

p – ciśnienie obliczeniowe

b – szerokość podpieranego pasa poszycia (równa połowie sumy odległości od sąsiednich wiązarów, grodzi itp.).

14.3.3.2 Obciążenie od wyposażenia, kontenerów, itp. można na ogół przykładać w formie sił skupionych do węzłów modelu MES.

14.3.3.3 Na brzegu modelu MES należy zastosować obciążenia w formie sił skupionych i momentów wynikające z obciążeń działających na konstrukcję kadłuba poza rejonem, który obejmuje model MES.

14.3.4 Warunki brzegowe

14.3.4.1 Węzły modelu MES mogą na ogół być podparte nieprzesuwnie w kierunku pionowym, w płaszczyznach burt, grodzi poprzecznych i wzdłużnych, przegród pionowych.

14.3.4.2 Na brzegu modelu MES należy uwzględnić współdziałanie analizowanego fragmentu konstrukcji z pozostałą częścią kadłuba – w formie odpowiednich sprężyn połączonych z węzłami modelu.

14.3.4.3 Model MES może obejmować fragment konstrukcji kadłuba z jednej strony płaszczyzny symetrii. Wówczas przy symetrycznym obciążeniu należy w płaszczyźnie symetrii zastosować odpowiednie warunki brzegowe (zerowe kąty obrotu węzłów wokół osi wzdłużnej i pionowej).

14.3.5 Naprężenia dopuszczalne

Dopuszczalne wartości naprężeń w wiązarach, odpowiadające obciążeniom obliczeniowym wg rozdziału 17, podano w 14.5.

14.3.6 Raport z obliczeń MES

14.3.6.1 Dane do obliczeń

Raport z obliczeń powinien zawierać następujące informacje dotyczące zastosowanych danych wejściowych:

- usytuowanie elementów belkowych (rysunek modelu – generowany np. przez program komputerowy – oraz współrzędne węzłów);
- przyjęte do obliczeń przekroje elementów belkowych i wartości ich charakterystyk wytrzymałościowych (wskaźniki wytrzymałości przekroju, itp.);
- zastosowane obciążenia;
- zastosowane warunki brzegowe;
- własności materiału (moduł Younga, współczynnik Poissona, granica plastyczności).

14.3.6.2 Wyniki obliczeń

Prezentowane wyniki obliczeń powinny zawierać:

- rysunek odkształconej konstrukcji (wydruk z komputera) i maksymalne wartości przemieszczeń węzłów;
- wartości naprężeń w poszczególnych elementach modelu MES.

14.4 Ocena wytrzymałości strefowej na podstawie modeli MES z zastosowaniem elementów skończonych tarczowych, powłokowych i belkowych

14.4.1 Zastosowanie

14.4.1.1 Wymagania podrozdziału 14.4 mają zastosowanie do obliczeń wytrzymałości strefowej z zastosowaniem przestrzennych modeli MES (stosowanie tarczowych, powłokowych i belkowych elementów skończonych).

14.4.1.2 Model MES powinien obejmować odpowiednio duży moduł konstrukcji kadłuba, tak aby w rejonie, gdzie oceniana jest wytrzymałość wiązarów, zminimalizować wpływ (na wyniki obliczeń) niedokładnego odwzorowania współdziałania wiązarów zawartych w modelu MES z pozostałymi wiązarami – w formie warunków brzegowych zadanych na brzegu modelu.

Minimalny wymagany zasięg modelu MES obejmuje moduł kadłuba od środka przedziału między grodziami wodoszczelnymi do środka sąsiedniego takiego przedziału.

Zalecane jest jednak opracowanie modelu MES obejmującego trzy kolejne przedziały pomiędzy grodziami wodoszczelnymi.

14.4.1.3 Model MES może mieć mniejszy zasięg od wymaganego w 14.4.1.2, gdy warunki brzegowe w formie zadanych wartości przemieszczeń przyjmowane są na podstawie wyników analizy MES wytrzymałości ogólnej kadłuba, wg 14.6.

14.4.1.4 Wyniki rozwiązania modelu MES wymaganego w 14.4.1.2 mogą posłużyć jako warunki brzegowe do analizy MES wytrzymałości lokalnej, wg wymagań 14.7.

14.4.2 Zasady modelowania geometrii konstrukcji

14.4.2.1 Poniższe zasady modelowania dotyczą obliczeń MES w zakresie linowo – sprężystym, z zastosowaniem modeli, gdzie wykorzystane są 4-węzłowe tarczowe lub powłokowe elementy skończone i 2-węzłowe elementy prętowe lub belkowe.

Zastosowanie elementów wyższego rzędu (8-węzłowych lub 6-węzłowych) umożliwia na ogół stosowanie bardziej zgrubnego podziału na elementy skończone niż jest to wymagane niżej. Modele takie podlegają odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

Należy unikać stosowania elementów trójkątnych 3-węzłowych. Elementy takie można stosować tylko w sytuacjach wyjątkowych – aby uniknąć niedopuszczalnych kształtów elementów czworokątnych.

14.4.2.2 Model MES powinien uwzględniać wszystkie wiazary w analizowanym module kadłuba (wraz z węzłówkami), poszycie oraz usztywnienia poszycia.

Należy zastosować grubości netto elementów konstrukcji, tzn. potrącić nadatki korozyjne wymagane w 2.5.

W przypadku zakrzywionych mocników wiazarów lub zakrzywionego poszycia (np. na oble) należy uwzględnić zredukowaną ich efektywność w warunkach zginania, stosując zmniejszone grubości blach, aby uzyskać wartość efektywnego pola A_e wg 3.2.2.4 i 3.2.2.5.

14.4.2.3 Usztywnienia poszycia powinny być uwzględnione w modelu MES w formie elementów belkowych 2-węzłowych nieosiowych, tzn. uwzględniających przesunięcie osi obojętnej usztywnienia w stosunku do poszycia.

W przypadku, gdy w stosowanym programie komputerowym nie ma możliwości stosowania takich elementów, dopuszczalne jest modelowanie usztywnień w formie 2-węzłowych elementów prętowych, w płaszczyźnie poszycia. Należy jednak zmniejszyć odpowiednio pole przekroju tych elementów w stosunku do pola przekroju usztywnień – aby odwzorować poprawnie sztywność na zginanie wiazara z pasami usztywnionych poszyc.

14.4.2.4 Mocniki wiazarów i usztywnienia stosowane w celu zapewnienia stateczności środników wiazarów można uwzględniać w formie elementów prętowych 2-węzłowych. W przypadku mocników zakrzywionych obowiązują wymagania punktu 14.4.2.2.

14.4.2.5 Przy tworzeniu modeli MES poszyc, środników wiazarów oraz węzłówek z użyciem elementów membranowych lub powłokowych należy przestrzegać następujących zasad:

- iloraz długości dłuższego boku elementu czworokątnego i boku krótszego nie powinien na ogół być większy niż 2, a w żadnym wypadku większy niż 4;
- kąty pomiędzy bokami elementów powinny zawierać się w przedziale od 60° do 120°;
- kąty elementów trójkątnych (jeżeli nie można uniknąć stosowania elementów tego typu) powinny zawierać się w przedziale od 30° do 120°.

14.4.2.6 Przy tworzeniu modelu MES poszyć należy stosować taki podział na elementy skończone, aby wielkość elementów nie była większa niż wynika to z poniższych minimalnych wymagań:

- na wysokości środników wiązarów należy zastosować przynajmniej 3 elementy skończone, a podział środnika na elementy powinien być dostosowany do rozmieszczenia usztywnień środnika;
- przy podziale na elementy skończone płyt poszycia kadłuba, poszyć pokładów i grodzi należy stosować przynajmniej jeden element skończony pomiędzy sąsiadującymi usztywnieniami; w kierunku wzdłuż statku długość boków elementów skończonych powinna być nie większa niż odstęp wręgowy.

14.4.2.7 Małe otwory i wycięcia w środnikach wiązarów (otwory przelewowe i odpowietrzające, wycięcia dla przejść usztywnień poszycia) mogą być pominięte w modelu MES.

Otwory komunikacyjne i ulżeniowe w środnikach wiązarów można na ogół uwzględnić poprzez zastosowanie w rejonie tych otworów, na całej wysokości środnika, elementów o zmniejszonej grubości (proporcjonalnie do wysokości otworu) w ten sposób, aby zachować rzeczywistą wartość przekroju poprzecznego na ścinanie środnika.

W przypadku zastosowania otworów o nietypowych proporcjach wymiarowych lub względnie dużych wymiarach może być wymagane uwzględnienie wprost takich otworów w modelu MES.

14.4.2.8 Węzłówki wiązarów powinny być uwzględnione wprost w modelu MES. Długość boków elementów skończonych w rejonie takich węzłówek nie powinna być większa niż 250 mm, przy czym w każdym przypadku wzdłuż krawędzi swobodnej węzłówki należy umieścić boki przynajmniej 3 elementów skończonych.

14.4.3 Obciążenie

14.4.3.1 Jeżeli blachy poszyć są modelowane elementami powłokowymi, a usztywnienia poszycia elementami belkowymi to obciążenie od wody z zewnątrz kadłuba i obciążenia od balastu wodnego lub zapasów płynnych od wewnątrz kadłuba można przykładać do modelu MES w formie ciśnień.

14.4.3.2 Jeżeli blachy poszyć są modelowane elementami tarczowymi, to obciążenia wymienione w 14.4.3.1 należy przykładać w formie obciążeń ciągłych w płaszczyznach środników usztywnień (w sytuacjach, gdy środniki wiązarów są modelowane elementami tarczowymi) lub w płaszczyznach środników wiązarów. Wartość obciążenia ciągłego jest równa wartości ciśnienia pomnożonej przez szerokość podpieranego pasa poszycia.

14.4.3.3 Obciążenie od elementów wyposażenia i uzbrojenia okrętu oraz od zapasów innych niż ciecze w integralnych zbiornikach kadłuba należy przykładać w formie obciążeń ciągłych, wg zasad podanych w 14.4.3.2.

Obciążenie zbliżone do sił skupionych także zaleca się przykładać w formie obciążenia ciągłego – na odpowiednio małej długości.

14.4.4 Warunki brzegowe

14.4.4.1 Przy ciążeniach symetrycznych względem płaszczyzny symetrii kadłuba (PS) można zastosować model MES obejmujący moduł konstrukcji pomiędzy PS a burtą.

Wówczas w PS należy zastosować warunki brzegowe odpowiadające symetrii, tzn.:

- zerowe wartości przesunięć węzłów w kierunku prostopadłym do PS;
- zerowe wartości kątów obrotu węzłów wokół osi wzdłużnej i pionowej.

14.4.4.2 W przypadku modeli MES modułów konstrukcji kadłuba o zasięgu wymaganym w 14.4.1.2, w węzłach leżących w końcowych przekrojach wręgowych można na ogół zastosować warunki symetrii w formie zerowych wartości kątów obrotu wokół osi poprzecznej i pionowej oraz zerowych wartości przesunięć wzdłużnych.

Jeżeli model MES służy jednocześnie do oceny wytrzymałości ogólnej kadłuba, to w powyższych płaszczyznach należy zastosować warunki brzegowe podane w 14.6.3.4.

14.4.4.3 Węzły modelu MES w płaszczyznach burt i grodzi można na ogół podeprzeć w kierunku pionowym, na poziomie najwyższego pokładu.

14.4.5 Raport z obliczeń MES

14.4.5.1 Dane do obliczeń

Raport z obliczeń MES powinien zawierać kompletne informacje dotyczące przyjętych do obliczeń danych wejściowych.

W każdej sytuacji konieczne jest podanie następujących informacji:

- przyjęte grubości blach (w formie barwnej mapy modelu MES lub wartości liczbowych na tle modelu MES);
- przekroje poprzeczne mocników modelowanych elementami prętowymi;
- efektywne pola przekroju poprzecznego mocników zakrzywionych lub zastępcza grubość zakrzywionych poszyc;
- parametry poprzecznych przekrojów elementów belkowych;
- zastosowane warunki brzegowe (opis lub w formie graficznej – na rysunkach modelu MES);
- zastosowane obciążenia (forma jak wyżej);
- własności materiału (moduł Younga, współczynnik Poissona, granica plastyczności).

14.4.5.2 Wyniki obliczeń

Raport z uzyskanych wyników obliczeń powinien zawierać:

- rysunek modelu odkształconego, z informacją o maksymalnych wartościach przemieszczeń węzłów;
- wartości naprężeń normalnych, stycznych i zredukowanych w poszczególnych elementach tarczowych lub powłokowych – w formie mapy barwnej lub wartości liczbowych na tle modelu MES.

14.5 Naprężenia dopuszczalne dla wiązarów

14.5.1 Zastosowanie

Wartości naprężeń dopuszczalnych podane w niniejszym podrozdziale mają zastosowanie do obliczeń wg wymagań podanych w 14.3 i 14.4.

W przypadku obliczeń wg 14.4 należy uwzględnić wymagania podrozdziału 14.5.2 dotyczące interpretacji obliczanych naprężeń.

14.5.2 Interpretacja naprężeń obliczanych z zastosowaniem tarczowych lub powłokowych modeli MES

14.5.2.1 Naprężenia normalne σ podlegające ocenie to naprężenia membranowe. W przypadku elementów powłokowych są to naprężenia w płaszczyźnie środkowej (w środku grubości blach).

14.5.2.2 Naprężenia styczne τ w środnikach wiązarów podlegające ocenie to naprężenia średnie, obliczane dla efektywnego pola przekroju środnika z otworami wg 3.2.3.

14.5.2.3 Naprężenia zredukowane należy obliczać wg wzoru:

$$\sigma_{zr} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau^2}, \quad [\text{MPa}] \quad (14.5.2.3)$$

gdzie:

- x, y – osie lokalnego układu współrzędnych;
- σ_x – naprężenie normalne w kierunku osi x ;
- σ_y – naprężenie normalne w kierunku osi y ;
- τ – naprężenie styczne w płaszczyźnie xy .

14.5.2.4 W przypadku stosowania elementów skończonych o stałych wartościach naprężeń w obszarze elementu, może być wymagane uwzględnienie zmienności naprężeń rzeczywistych w obszarze elementu.

W takich sytuacjach można stosować interpolację liniową, zakładając że program komputerowy oblicza wartości naprężeń w środkach elementów skończonych.

14.5.2.5 Wartości naprężeń w rejonach karbów mogą na ogół być większe od naprężeń dopuszczalnych podanych w 14.5.3.

Wartości tych naprężeń podlegają odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

W takich sytuacjach może być wymagana analiza trwałości zmęczeniowej konstrukcji w rejonach karbów – wg rozdziału 16.

14.5.3 Wartości naprężeń dopuszczalnych

14.5.3.1 Dla wiązarów, które nie przenoszą naprężeń od zginania ogólnego lub skręcania kadłuba (takich jak wiązary poprzeczne, pionowe, itp.) wartości naprężeń dopuszczalnych są następujące:

$\sigma = 160k$, [MPa] (w kierunku osi wiązara);

$\tau = 90k$, [MPa], dla wiązarów z jednym pasem współpracującym;

$\tau = 100k$, [MPa], dla wiązarów z dwoma pasami współpracującymi;

$\sigma_r = 180k$, [MPa].

14.5.3.2 Dla wiązarów przenoszących naprężenia normalne od zginania ogólnego lub skręcania (wiązary wzdłużne) dopuszczalne wartości naprężeń są następujące:

– wg 14.5.3.1, gdy nie są uwzględniane naprężenia od zginania ogólnego lub skręcania kadłuba;

– $\sigma = 190k$, [MPa] – wartość dopuszczalna sumarycznych naprężeń normalnych w mocnikach, od zginania strefowego i od zginania ogólnego lub skręcania; do obliczeń należy przyjąć 0,59 wartości M_w obliczonej wg 15.5 (patrz 15.1.1.2) lub 0,59 wartości momentów zginających i skręcających wg 15.12.3 i 15.13.3 oraz 0,35 wartości M_w , jak wyżej (podobnie jak we wzorze 15.3.4.1-1).

14.5.3.3 Dopuszczalna wartość naprężeń normalnych w środku swobodnej krawędzi węzłówki wiązara, wzdłuż krawędzi węzłówki, wynosi $200k$, [MPa].

Powyższe wymaganie dotyczy wszelkich wiązarów. W przypadku wiązarów wzdłużnych należy rozpatrzyć oba warianty obciążeń, wymagane w 14.5.3.2.

14.5.3.4 Wartości naprężeń dopuszczalnych podane w 14.5.3.1÷14.5.3.3 dotyczą obciążeń w warunkach morskich, określonych wg rozdziału 17.

Dla warunków portowych (operacje ładunkowe) i dla warunków remontu okrętu można zastosować wartości naprężeń dopuszczalnych większe o 10% od podanych wyżej.

14.6 Ocena wytrzymałości ogólnej z zastosowaniem MES

14.6.1 Zastosowanie

14.6.1.1 W sytuacjach, gdy do oceny wytrzymałości ogólnej kadłuba nie mogą być zastosowane obliczenia wg rozdziału 15, bazujące na belkowym lub prętowym modelu kadłuba, należy wykonać obliczenia MES z zastosowaniem modelu tarczowo – prętowego lub powłokowo – prętowego, wg wymagań podrozdziału 14.6.

Obliczenia takie są wymagane np. w przypadku kadłubów bez wstawki cylindrycznej, okrętów z długimi nadbudówkami w części środkowej, kadłubów z szerokimi otworami lukowymi.

Obliczenia wg takiego modelu mogą także być wykorzystane do określenia warunków brzegowych dla analizy wytrzymałości strefowej.

14.6.1.2 Ocena wytrzymałości ogólnej kadłuba można wykonać z zastosowaniem modelu MES wg wymagań podanych w 14.4.1.2, stosowanego do analizy wytrzymałości strefowej.

14.6.2 Wymagania dla modeli MES

14.6.2.1 Ocena wytrzymałości ogólnej kadłuba okrętu należy wykonać dla wymiarów brutto elementów konstrukcyjnych, tzn. bez potrącania zastosowanych nadadtków korozyjnych.

14.6.2.2 Model MES powinien obejmować moduł kadłuba w części środkowej okrętu, o zasięgu wymaganym w 14.4.1.2 lub cały kadłub okrętu.

14.6.2.3 Model MES powinien wystarczająco dokładnie odwzorowywać sztywność konstrukcji.

Minimalne wymagania dotyczące podziału konstrukcji na elementy skończone są następujące:

- wzdłużne usztywnienia poszycia, pokładów, grodzi wzdłużnych, itd., mogą być modelowane w formie prętów usytuowanych w płaszczyznach usztywnionych przez nie blach i grupowane po kilka sztuk;
- środniki wiązarów można dzielić na elementy skończone w ten sposób, aby na wysokości środnika był tylko jeden element skończony;
- mocniki wiązarów można modelować elementami prętowymi;
- płyty poszycia można na ogół dzielić na elementy skończone w ten sposób, aby pomiędzy sąsiednimi wiązarami był tylko jeden rząd elementów skończonych;
- wycięcia w wiązarach, przez które przechodzą usztywnienia poszycia oraz inne małe wycięcia i otwory mogą być pominięte przy podziale konstrukcji na elementy skończone;
- należy uwzględnić otwory komunikacyjne w wiązarach – w rejonach usytuowania takich otworów dopuszczalne jest w modelu MES zastosowanie zastępczej grubości blachy w ten sposób, aby zachować wartość pola przekroju środnika w przekroju z otworem.

Uwaga: w przypadku konstrukcji uznanych przez PRS za nietypowe może być wymagane zastosowanie bardziej precyzyjnego modelu MES.

14.6.2.4 Elementy skończone tarczowe lub powłokowe powinny spełniać wymagania podane w 14.4.2.5.

14.6.3 Obciążenia i warunki brzegowe

14.6.3.1 Do modelu MES należy przykładać obciążenia w sposób jak najbardziej zbliżony do rzeczywistości, tzn. w formie ciśnień wody od zewnątrz, ciśnień zapasów płynnych i nacisków na fundamenty od elementów wyposażenia.

14.6.3.2 Po uzgodnieniu z PRS, w przypadku analizy zginania ogólnego lub skręcania kadłuba, można wypadkowe obciążenie w poszczególnych przekrojach węgowych przyłożyć do burt i grodzi wzdłużnych w formie obciążenia ciągłego (wzdłuż statku).

14.6.3.3 W miarę możliwości należy unikać stosowania podpór w końcowych przekrojach poprzecznych modelu MES (na końcach modułu kadłuba) – w celu zrównoważenia sił wewnętrznych w tych przekrojach kadłuba.

Do modelu MES należy przykładać obciążenie samorzównoważone. Model obciążony w ten sposób należy podeprzeć sprężynami w kierunku pionowym, poprzecznym i wzdłużnym (stosując minimalną możliwą liczbę sprężyn) w celu wyeliminowania nieuchronnie występującego braku równoważenia (błędy zaokrągleń w obliczeniach).

Sprężyny zaleca się umieszczać w węzłach leżących na skrzyżowaniu burt lub grodzi wzdłużnych z grodziami poprzecznymi.

14.6.3.4 W przypadku stosowania modelu MES modułu kadłuba, w końcowych przekrojach poprzecznych należy przyłożyć naprężenia normalne i styczne odpowiadające momentom zginającym i siłom ścinającym kadłub, w sposób wynikający z teorii zginania belek cienkościennych.

Dopuszczalne jest zastosowanie więzów wymuszających płaskość końcowych przekrojów modułu (modelu MES) i przyłożenie tam momentów zginających w formie par sił (siły skupione przyłożone do węzłów modelu w PS).

14.6.3.5 W przypadku kadłubów symetrycznych można stosować model MES obejmujący konstrukcję kadłuba po jednej stronie płaszczyzny symetrii.

W przypadku analizy zginania ogólnego w płaszczyźnie pionowej należy zastosować warunki brzegowe podane w 14.4.4.1.

14.6.4 Naprężenia dopuszczalne

14.6.4.1 Wartości naprężeń dopuszczalnych podano w 15.2.1 i 15.12.2 (σ dla zginania ogólnego w płaszczyźnie pionowej i jednoczesnego zginania w płaszczyznach pionowej i poziomej) oraz w 15.11 (τ dla zginania w płaszczyźnie pionowej).

14.6.4.2 W miejscach koncentracji naprężeń wartości naprężeń obliczane przez program komputerowy mogą na ogół przekroczyć wartości określone w 14.6.4.1.

Sytuacje takie podlegają każdorazowo odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

14.6.5 Raport z obliczeń MES

14.6.5.1 Wymagany jest raport z obliczeń MES w zakresie identycznym, jak określony w 14.4.5.

14.7 Ocena wytrzymałości lokalnej na podstawie modeli MES z zastosowaniem elementów skończonych tarczowych, powłokowych i prętowych

14.7.1 Zastosowanie

Obliczenia wytrzymałości lokalnej z zastosowaniem specjalnie opracowanych modeli MES mogą być wymagane do oceny wytrzymałości zginanych usztywnień poszycia i ich węzłówek – zwłaszcza w sytuacjach, gdy na wartości naprężeń w usztywnieniach istotny wpływ mają ugięcia wiązarów podpierających usztywnienia.

Obliczenia tego typu mogą być także wymagane do sprawdzenia wytrzymałości fundamentów maszyn, wyposażenia i uzbrojenia okrętu, konstrukcji kadłuba w rejonie różnych wycięć, otworów komunikacyjnych w poszyciu, itp.

14.7.2 Wymagania dla modeli MES

14.7.2.1 Podział na elementy skończone powinien spełniać następujące wymagania:

- na wysokości środka usztywnienia należy stosować nie mniej niż 3 elementy tarczowe lub powłokowe;
- mocniki usztywnień symetrycznych można modelować z zastosowaniem elementów prętowych 2-węzłowych;
- mocniki usztywnień asymetrycznych oraz węzłówki usztywnień należy modelować z zastosowaniem elementów tarczowych lub powłokowych o wielkościach zbliżonych do elementów stosowanych w rejonie środków;
- przy modelowaniu poszycia z otworami (np. komunikacyjnymi) długości boków elementów skończonych w bezpośrednim sąsiedztwie otworu powinny być nie większe niż 200 mm;
- kształt i proporcje wymiarowe boków elementów skończonych powinny spełniać wymagania podane w 14.4.2.5;
- należy unikać gwałtownych zmian wymiarów boków elementów skończonych w tzw. strefach przejścia – od elementów o stosunkowo małych wymiarach do elementów znacznie większych.

14.7.3 Ocena wytrzymałości usztywnień z zastosowaniem modelu MES do obliczeń wytrzymałości strefowej

14.7.3.1 Aby ocenić poziom sumarycznych naprężeń normalnych w usztywnieniach poszycia od zginania wiązarów i lokalnego zginania usztywnień, model MES w rejonie usztywnienia powinien spełniać wymagania podrozdziału 14.7.2.

W przeciwnym wypadku należy przeprowadzić osobne obliczenia naprężeń od zginania lokalnego, które należy dodać do naprężeń od zginania wiązarów. Można przy tym na ogół zastosować model belki zginanej dla usztywnień zginanych lokalnie.

14.7.4 Obciążenie i warunki brzegowe

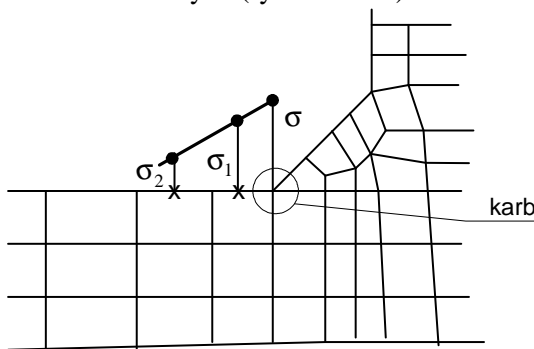
14.7.4.1 Należy stosować się do zasad modelowania obciążeń podanych w 14.4.3.

14.7.4.2 Warunki brzegowe należy określać w formie zadanych wartości przemieszczeń na brzegu modelu, które wynikają z analizy MES wytrzymałości strefowej – wg 14.4.

14.7.5 Naprężenia dopuszczalne

14.7.5.1 Ocenie podlega poziom naprężeń obliczonych w wyniku rozwiązania modelu MES spełniającego wymagania podrozdziału 14.7.2.

W rejonie karbów naprężenia podlegające ocenie należy określić metodą ekstrapolacji liniowej – na podstawie wartości naprężeń w środkach dwóch, najbliższych karbu, elementów skończonych (rys. 14.7.5.1).



Rys. 14.7.5.1 Zasada ekstrapolacji wartości naprężeń

14.7.5.2 W przypadku wzdłużnych usztywnień poszycia, przenoszących naprężenia normalne od zginania ogólnego lub skręcania kadłuba oraz naprężenia od zginania strefowego i od zginania lokalnego, ocenie podlega poziom naprężeń sumarycznych.

Sumowane są wprost (z uwzględnieniem znaków) naprężenia od obciążeń statycznych i naprężenia od obciążeń falowych przekraczanych z prawdopodobieństwem 10^{-4} . Oznacza to, że w przypadku zginania ogólnego do obliczeń przyjmuje się 0,59 wartości momentu zginającego M_w określonego w 15.5, a obciążenie falowe do analizy zginania strefowego i lokalnego należy przyjąć wg 17.6.

14.7.5.3 Wartości naprężeń dopuszczalnych w mocnikach usztywnień poszycia są następujące:

- naprężenia normalne od zginania lokalnego: $\sigma = 160k$, [MPa];
- sumaryczne naprężenia normalne od zginania lokalnego i strefowego: $\sigma = 180k$, [MPa];
- sumaryczne naprężenia normalne od zginania ogólnego, strefowego i lokalnego: $\sigma = 225k$, [MPa].

Średnie wartości naprężeń stycznych w środnikach usztywnień nie powinny być większe niż $90k$, [MPa].

Uwaga: powyższe wartości naprężeń dopuszczalnych mają także zastosowanie do stanów portowych (operacje przeładunkowe), gdzie można przyjąć zerowe wartości obciążeń falowych.

14.7.5.4 Sprawdzenie wytrzymałości węzłówek usztywnień poszycia polega na ocenie poziomu naprężeń normalnych wzdłuż swobodnej krawędzi węzłówki, w środku długości.

Dopuszczalna wartość tych naprężeń z uwzględnieniem zginania lokalnego i strefowego usztywnień wynosi $180k$, [MPa]. Węzłówki spełniające powyższe kryterium nie muszą być sprawdzane dla obciążeń uwzględniających zginanie ogólne lub skręcanie kadłuba.

Uwaga: może być wymagane sprawdzenie poziomu naprężeń w rejonach końców węzłówek – ze względu na kryterium trwałości zmęczeniowej (patrz rozdział 16).

14.7.5.5 Wartości naprężeń wyznaczone MES w obszarze innych korbów niż węzłówki usztywnień podlegają każdorazowo odrębnej ocenie PRS.

14.7.6 Raport z obliczeń MES

14.7.6.1 Wymagany jest raport z obliczeń MES w zakresie identycznym, jak określony w 14.4.5.

15 WYTRZYMAŁOŚĆ WZDŁUŻNA KADŁUBA

15.1 Zasady ogólne

15.1.1 Zastosowanie

15.1.1.1 Niezależnie od spełnienia wymagań w zakresie wytrzymałości miejscowej (rozdział 13) oraz wytrzymałości strefowej (rozdział 14) ostateczne wymiary wiązań wzdłużnych powinny być takie, aby zostały spełnione wymagania niniejszego rozdziału w zakresie wytrzymałości wzdłużnej okrętu na zginanie i działanie sił poprzecznych. Niniejsze wymagania mają zastosowanie do stalowych kadłubów okrętów o nieograniczonym rejonie żeglugi. Okręty mające jedną lub więcej cech podanych niżej podlegają specjalnemu rozpatrzeniu:

- stosunki wymiarowe: $L_0/B < 5$; $B/H > 2,5$,
- współczynnik pełnotliwości $\delta < 0,6$,
- nietypowa konstrukcja okrętu.

15.1.1.2 Wartości falowych momentów zginających i sił poprzecznych, stosowane w niniejszej części *Przepisów*, odpowiadają prawdopodobieństwu ich przewyższenia równemu 10^{-8} . W tej postaci mają zastosowanie przy określaniu wymaganego wskaźnika przekroju kadłuba i pola przekroju kadłuba przenoszącego siły poprzeczne, jak również przy sprawdzaniu stateczności wiązań i granicznej wytrzymałości kadłuba. W innych zastosowaniach, gdy naprężenia od zginania kadłuba wywołane obciążeniami falowymi są sumowane z naprężeniami określonymi w ramach strefowej lub miejscowej wytrzymałości konstrukcji, przepisowe wartości falowych momentów zginających i sił poprzecznych mogą być zredukowane do wartości:

$$M_{wr} = 0,59M_w, \quad [\text{kNm}] \quad (15.1.1.2-1)$$

$$Q_{wr} = 0,59Q_w, \quad [\text{kN}] \quad (15.1.1.2-2)$$

M_w – pionowy falowy moment zginający kadłub, [kNm], określony według 15.5;
 Q_w – falowy składnik sił poprzecznych w kadłubie, [kN], określony według 15.10.

15.1.1.3 Wymiary wiązań wzdłużnych kadłuba uwzględnianych w wytrzymałości wzdłużnej okrętu powinny odpowiadać wymaganiom odnoszącym się do stateczności wiązań, podanym w 13.3.

15.1.1.4 Przy odpowiednio dużej prędkości okrętu lub znacznym rozchyleniu burt w części dziobowej może być wymagane zwiększenie obliczeniowych wartości falowego momentu zginającego i siły poprzecznej, stosując wymagania 15.5.5.2 i 15.10.2.

Powyższa korekta oznacza zwiększenie wytrzymałości wzdłużnej w dziobowej części kadłuba.

15.1.1.5 Wytrzymałość wzdłużna okrętów o względnie małej szerokości powinna odpowiadać wymaganiom podrozdziału 15.12.

15.1.1.6 Dla okrętów z dużymi otworami w pokładzie może być wymagane uwzględnienie naprężeń normalnych i stycznych wywołanych łącznym oddziaływaniem zginania, skręcania i ścinania kadłuba oraz pochodzących od obciążeń miejscowych.

15.1.1.7 Dla poszczególnych typów okrętów mogą być podane dodatkowe wymagania dotyczące wymiarów konstrukcji, uwzględniające specyfikę stanów załadunku i konstrukcji.

15.1.2 Oznaczenia

C_w – współczynnik falowy, określony zgodnie z 17.5.2.2

I_n – moment bezwładności poprzecznego przekroju kadłuba dla poziomej osi obojętnej, [cm⁴]

M_s – obliczeniowy moment zginający kadłub na wodzie spokojnej, [kNm]

M_w – pionowy falowy moment zginający kadłub, [kNm]

Q_s – obliczeniowa wartość siły poprzecznej na wodzie spokojnej, [kN]

Q_w – obliczeniowa wartość falowej składowej siły poprzecznej, [kN]

S_n – moment statyczny poprzecznego przekroju wzdłużnych elementów konstrukcyjnych położonych powyżej lub poniżej poziomej osi obojętnej, obliczony względem tej osi, [cm³]

z_n – pionowa odległość od płaszczyzny podstawowej lub linii pokładu wytrzymałościowego do osi obojętnej przekroju kadłuba, w zależności od tego, która z tych odległości ma zastosowanie do rozpatrywanego przypadku, [m]

τ – dopuszczalne naprężenia styczne, [MPa]

σ – dopuszczalne naprężenia normalne, [MPa]

15.2 Wskaźnik poprzecznego przekroju kadłuba

15.2.1 Wskaźnik poprzecznego przekroju kadłuba określony dla poziomej osi obojętnej według zasad podanych w 15.7 powinien być nie mniejszy, niż wskaźnik obliczony wg wzoru:

$$W = \frac{M_s + M_w}{\sigma} 10^3, \quad [\text{cm}^3] \quad (15.2.1)$$

M_s – moment zginający kadłub na wodzie spokojnej, określony według 15.4, [kNm];

M_w – falowy moment zginający kadłub, określony według 15.5, [kNm];

$\sigma = 175k$, [MPa], w rejonie $-0,2 L_0 \leq x \leq +0,2 L_0$,

$\sigma = 105k$, [MPa], w rejonach: $x \leq -0,4 L_0$ oraz $x \geq +0,4 L_0$.

Wartość σ zmienia się liniowo pomiędzy tymi rejonami. W każdym przypadku wskaźnik przekroju kadłuba, W , powinien odpowiadać wymaganiom podanym w 15.2.2.

15.2.2 Wskaźnik przekroju kadłuba w środkowej części okrętu odniesiony do pokładu i stępki powinien być nie mniejszy, niż wskaźnik obliczony wg wzoru:

$$W_o = \frac{C_{wo}}{k} L_0^2 B(\delta + 0,7), \quad [\text{cm}^3] \quad (15.2.2.)$$

Należy przy tym przyjmować wartość δ jako nie mniejszą niż 0,6.

Wartości C_{wo} są następujące:

- dla okrętów o długości $L_0 \geq 100$ m: $C_{wo} = C_w$, C_w – wg 17.5.2.2,
- dla okrętów o długości $L_0 < 100$ m,

$$C_w = 5,7 + 0,022 L_0, \quad \text{min. } 7,0;$$

- dla okrętów o ograniczonym rejonie żeglugi (patrz *Część I – Zasady klasyfikacji*) współczynnik C_{wo} może być zmniejszony:
 - dla rejonu **II** o 5% ,
 - dla rejonu **III** o 15% .

Minimalna wartość wskaźnika przekroju powinna być w zasadzie zachowana w rejonie $-0,2 L_0 \leq x \leq 0,2 L_0$. Może ona jednak być zmniejszana od owręża w kierunku rufy i dziobu, pod warunkiem że naprężenia powstałe od zginania kadłuba momentem na wodzie spokojnej i momentem falowym nie przekroczą naprężeń dopuszczalnych dla środkowej części okrętu.

15.2.3 W przypadku okrętów smukłych zachowanie wymaganego wskaźnika przekroju kadłuba w środkowej części okrętu może spowodować konieczność zwiększenia wymiarów wiązań wzdłużnych w końcowych rejonach części środkowej. W takich przypadkach PRS może odstąpić od wymagania zachowania przepisowego wskaźnika przekroju w tych rejonach, jeżeli materiał i wymiary wiązań wzdłużnych uwzględnianych przy określaniu wskaźnika przekroju kadłuba pozostaną bez zmian w całej środkowej części okrętu i przejście do kategorii stali oraz wymiarów wiązań w końcowych częściach okrętu będzie odpowiednie.

15.2.4 Wymiary wiązań wzdłużnych poza środkową częścią okrętu mogą być stopniowo zmniejszane do wymiarów określonych z warunków wytrzymałości miejscowej dla skrajnych części okrętu. W przypadkach określonych w 15.1.1 lub gdy uzasadnia to charakter konstrukcji, może być wymagane odrębne rozpatrzenie wskaźnika przekroju w innych miejscach po długości okrętu.

15.2.5 W przypadku okrętów bez wstawki cylindrycznej lub z długimi nadbudówkami w części środkowej mogą być dodatkowo wymagane bezpośrednie obliczenia MES naprężeń od zginania ogólnego wg zasad podanych w 14.6, przyjmując wartości M_s i M_w wg 15.4 i 15.5. Wartości σ podane w 15.2.1 należy przy tym traktować jako wartości dopuszczalne dla naprężeń normalnych w kierunku osi kadłuba.

15.3 Moment bezwładności poprzecznego przekroju kadłuba

Moment bezwładności poprzecznego przekroju kadłuba powinien nie być mniejszy, niż moment obliczony wg wzoru:

$$I_n = 3 C_w L_0^3 B (\delta + 0,7), \quad [\text{cm}^4] \quad (15.3)$$

15.4 Moment zginający na wodzie spokojnej

15.4.1 Jako projektowe wartości momentów zginających kadłub okrętu na wodzie spokojnej należy przyjąć największe wartości w każdym poprzecznym przekroju kadłuba po długości okrętu otrzymane z obliczeń dla projektowych stanów załadowania. Należy przy tym uwzględnić realne stany pełnego i częściowego załadowania, realne ilości paliwa i zapasów przy wyjściu i wejściu do portu, jak również stany balastowe oraz stany dokowania.

15.4.2 Dodatnie zwroty momentów zginających i sił poprzecznych stosowane w niniejszej części *Przepisów* pokazano na rys. 15.4.2.



Rys. 15.4.2 Dodatnie zwroty momentu zginającego i siły poprzecznej

15.4.3 Dla okrętów o długości $L_0 \geq 100$ m jako obliczeniowy moment zginający na wodzie spokojnej, M_s , należy przyjąć największą bezwzględną wartość momentu zginającego, określoną według 15.4.1, lecz w środkowej części okrętu nie mniejszą niż wartość obliczona wg wzoru:

$$M_{so} = M_{sou} = 0,065 C_w L_0^2 B (\delta + 0,7), \quad [\text{kNm}] \quad (15.4.3-1)$$

w warunkach ugięcia, oraz wg wzoru:

$$M_{so} = M_{sow} = C_w L_0^2 B (0,1225 - 0,015\delta), \quad [\text{kNm}] \quad (15.4.3-2)$$

w warunkach wygięcia.

Jeżeli współczynnik pełnotliwości kadłuba jest mniejszy niż 0,6, w obliczeniach należy przyjąć $\delta \geq 0,6$.

Jeżeli podział przestrzenny okrętu daje małe możliwości różnicowania rozkładu ładunku i balastu, wartości M_{so} można nie uwzględniać przy określeniu podstawy wyznaczania wymiarów wiązań kadłuba.

15.4.4 Jeżeli do przeprowadzenia analizy naprężeń lub kontroli stateczności wiązań wymagane jest określenie wartości momentów zginających, M_s , poza środkową częścią okrętu, to wartości te, w każdym rozpatrywanym poprzecznym przekroju kadłuba, o długości $L_0 \geq 100$ m należy wyznaczać według 15.4.1, przy czym nie mogą one być mniejsze niż wartości obliczone według wzoru:

$$M_{sx} = k_{sm} M_{so}, \quad [\text{kNm}] \quad (15.4.4)$$

M_{so} – wg 15.4.3,

$k_{sm} = 1,0$ w środkowej części okrętu o współrzędnych: $-0,2L_0 \leq x \leq 0,2L_0$,

$k_{sm} = 0,15$ w przekrojach o współrzędnych $x = -0,4L_0$ oraz $x = +0,4L_0$,

$k_{sm} = 0,0$ w przekrojach o współrzędnych: $x = -0,5L_0$ oraz $x = +0,5L_0$.

W pośrednich rejonach wartość k_{sm} należy określić stosując interpolację liniową.

15.4.5 Minimalną wartość momentu zginającego kadłub o długości $L_0 < 100$ m na wodzie spokojnej należy obliczać wg wzoru:

$$M_s = M_{so} = 0,006 L_0^3 B (\delta + 0,7), \quad [\text{kNm}] \quad (15.4.5)$$

Jeżeli wartość bezwzględna momentu zginającego kadłub na wodzie spokojnej, M_{sl} , obliczona wg wymagań 15.4.1 jest większa od wartości M_{so} , to należy przyjąć $M_s = M_{sl}$.

Obliczona wartość momentu M_s ma zastosowanie w rejonie $-0,2L_0 \leq x \leq +0,2L_0$.

Poza tym rejonem wartość M_s można zmniejszać liniowo do zera dla $x = -0,5L_0$ oraz $x = +0,5L_0$.

15.5 Falowy moment zginający

15.5.1 Pionowy falowy moment zginający

Obliczeniową wartość pionowego falowego momentu zginającego, M_w , w rejonie $-0,1 L_0 < x < +0,15 L_0$ dla ujemnego momentu (w ugięciu) należy określać wg wzoru:

$$M_w = M_{wu} = -0,11 C_w L_0^2 B (\delta + 0,7), \quad [\text{kNm}] \quad (15.5.1-1)$$

a dla momentu dodatniego (w wygięciu) – wg wzoru:

$$M_w = M_{ww} = 0,19 C_w L_0^2 B \delta, \quad [\text{kNm}] \quad (15.5.1-2)$$

Należy przyjmować wartości:

$\delta \geq 0,6$;

C_w – patrz 17.5.2.2.

15.5.2 Rozkład wartości M_w po długości okrętu

15.5.2.1 Jeżeli do przeprowadzenia analizy naprężeń lub kontroli stateczności wiązań wymagane jest określenie przebiegu wartości falowego momentu zginającego, M_w , po długości okrętu, to przyjęte wartości M_{wx} powinny być nie mniejsze, niż wartości obliczone wg wzoru:

$$M_{wx} = k_{wm} M_w, \quad [\text{kNm}] \quad (15.5.2.1)$$

$k_{wm} = 1,0$ w rejonie $-0,1L_0 \leq x \leq 0,15L_0$ – dla okrętów o długości $L_0 \geq 100$ m,

$k_{wm} = 1,0$ w rejonie $-0,1L_0 \leq x \leq 0,1L_0$ – dla okrętów o długości $L_0 < 100$ m,

$k_{wm} = 0,0$ w przekrojach $x = -0,5L_0$ i $x = +0,5L_0$.

Pomiędzy rejonem środkowym oraz przekrojami końcowymi wartość k_{wm} należy określać przez interpolację liniową (patrz rys. 15.5.2.2).

15.5.2.2 Jeżeli okręt rozwija względnie dużą prędkość lub ma znaczne rozchylenie burt w części dziobowej, to we wzorze 15.5.2.1 dla rejonu $x \geq 0,1 L_0$ należy przyjmować wartości współczynników k_{wm} poprawione w zależności od wartości współczynników $C_a = C_{av}$ oraz $C_a = C_{af}$, zależnie od tego, która poprawiona wartość k_{wm} jest większa.

$$C_{av} = \frac{C_v v}{\sqrt{L_0}} \quad (15.5.2.2.-1)$$

$$C_{af} = \frac{C_v v}{\sqrt{L_0}} + \frac{F_{pd} - F_{wd}}{L_0 z_{pd}} \quad (15.5.2.2-2)$$

$C_v = \frac{\sqrt{L_0}}{50}$, przy czym należy przyjmować $C_v \leq 0,2$;

L_0 i v – patrz A/2.2;

F_{pd} – pole powierzchni rzutu części pokładu górnego na płaszczyznę poziomą z uwzględnieniem pokładu dziobówki, znajdującej się w rejonie o współrzędnych $x \geq 0,3 L_0$, [m²];

F_{wd} – pole powierzchni części wodnicy przy zanurzeniu T , w rejonie o współrzędnych $x \geq 0,3 L_0$, [m²];

z_{pd} – odległość pionowa od wodnicy konstrukcyjnej do linii rzutowanego pokładu, mierzona na PD , [m].

Wartości współczynników k_{wm} poprawione ze względu na $C_a = C_{av}$ mają zastosowanie przy określaniu momentów zginających w stanach załadowania okrętu wywołujących ugięcie lub wygięcie kadłuba na wodzie spokojnej.

Wartości k_{wm} poprawione ze względu na $C_a = C_{af}$ odnoszą się tylko do stanów załadowania wywołujących ugięcie kadłuba.

Jeżeli $C_{af} \geq 0,50$, to nie należy stosować poprawiania współczynników k_{wm} ze względu na C_{av} .

Poprawione wartości k_{wm} wynoszą:

– dla $C_a \leq c_1$

k_{wm} należy określać według 15.5.2.1 (bez poprawek),

– dla $C_a \geq c_2$

$k_{wm} = 1,2$ dla $-0,02 L_0 \leq x \leq 0,15 L_0$,

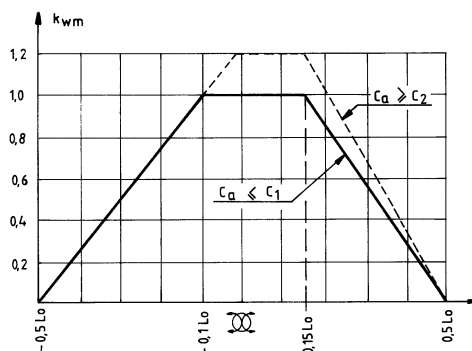
$k_{wm} = 0,0$ dla $x = -0,5 L_0$ i $x = 0,5 L_0$,

– dla pośrednich wartości $c_1 < C_a < c_2$ oraz współrzędnej x , wartości k_{wm} należy określać przez interpolację liniową.

c_1 i c_2 – wartości graniczne wielkości C_a , które wynoszą:

$c_1 = 0,28$; $c_2 = 0,32$ w przypadku gdy $C_a = C_{av}$ oraz

$c_1 = 0,40$; $c_2 = 0,50$ w przypadku gdy $C_a = C_{af}$

Rys. 15.5.2.2 Rozkład wartości współczynnika k_{wm} po długości okrętu

15.6 Zakres stosowania stali o podwyższonej wytrzymałości

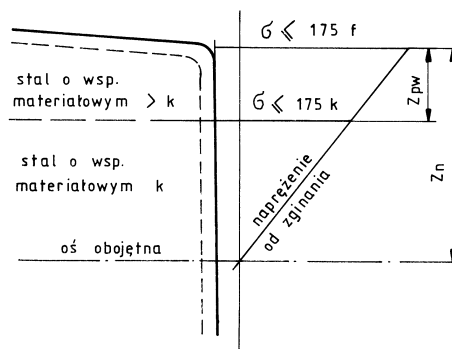
15.6.1 Jeżeli zastosowano stal o podwyższonej wytrzymałości (określaną w dalszej części jako stal PW), to pionowy zakres jej stosowania, mierzony od dna lub pokładu ku osi obojętnej poprzecznego przekroju kadłuba, powinien być nie mniejszy od określonego według wzoru:

$$z_{pw} = z_n \frac{f - k}{f}, \quad [m] \quad (15.6.1)$$

k – współczynnik materiałowy (według 2.2.1) dla elementów położonych w odległości od pokładu lub dna większej niż z_{pw} (rys. 15.6.1);

f – patrz 13.1.2;

z_n – patrz 15.1.2.

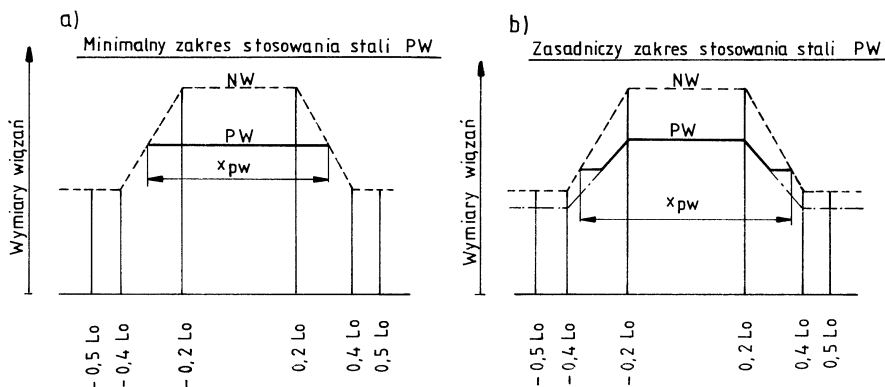


Rys. 15.6.1 Pionowy zakres stosowania stali o podwyższonej wytrzymałości

15.6.2 Jeżeli zastosowano stal PW, to wzdłużny zakres (x_{pw}) jej stosowania w dnie lub pokładzie powinien być nie mniejszy od podanego na rys. 15.6.2.

Rys. 15.6.2a przedstawia przypadek stosowania wiązań ze stali PW w części środkowej okrętu ($-0,2 L_0 \leq x \leq 0,2 L_0$) i przedłużenia ich bez zmian wymiarowych i materiałowych do miejsca zrównania się ich wymiarów z wymiarami wymaganymi w tym miejscu dla wiązań wykonanych ze stali o normalnej wytrzymałości (określanej dalej jako stal NW).

Rys. 15.6.2b przedstawia przypadek stosowania wiązań ze stali PW również poza częścią środkową okrętu, redukując w tym rejonie wymiary wiązań wzdłużnych zgodnie z wymaganiami niniejszej części *Przepisów*. Poza rejonem stosowania stali PW przedłuża się te wiązania bez zmian do miejsca zrównania się ich wymiarów z wymiarami wymaganymi w tym miejscu dla wiązań wykonanych ze stali NW.



Rys. 15.6.2 Wzdłużny zakres stosowania stali o podwyższonej wytrzymałości

15.7 Rzeczywiste geometryczne charakterystyki przekroju kadłuba

15.7.1 Wskaźnik przekroju i moment bezwładności przekroju kadłuba

15.7.1.1 W obliczeniach wskaźnika przekroju i momentu bezwładności poprzecznego przekroju kadłuba należy:

- uwzględnić powierzchnię przekroju ciągłych wiązań wzdłużnych (uwzględniając wpływ otworów zgodnie z 15.7.2),
- uwzględnić wiązania wzdłużne pomiędzy rzędami luków ze współczynnikiem redukcyjnym 0,6 lub w oparciu o analizę naprężeń, przeprowadzoną w sposób uzgodniony z PRS,
- nie uwzględniać nadbudówek, których pokłady nie są częścią pokładu wytrzymałościowego,
- nie uwzględniać pokładówek, nadburcia i nieciągłych wzdłużnych zębnic luków. Ciągłe wiązania wzdłużne mogą być uwzględnione przy obliczaniu wskaźnika przekroju kadłuba, jeżeli:
 - wymiary przekroju poprzecznego tych wiązań są zachowane w obrębie $-0,2 L_0 \leq x \leq +0,2 L_0$,
 - redukcja wymiarów wiązań poza tym rejonem jest stopniowa,
 - zmiana charakterystyk wytrzymałościowych zastosowanych stali spełnia wymagania podane w 15.6.

W przypadkach szczególnych, uwzględniając typ okrętu, kształt kadłuba oraz stany załadowania, wymiary wiązań można stopniowo zmniejszać ku końcom środkowej części okrętu ($-0,2 L_0 \leq x \leq 0,2 L_0$), mając na uwadze dążenie do nie obniżania ładunkowej elastyczności okrętu.

15.7.1.2 Rzeczywisty wskaźnik przekroju kadłuba należy zasadniczo obliczać w odniesieniu do płaszczyzny podstawowej i do linii konstrukcyjnej pokładu wytrzymałościowego przy burcie.

Dla okrętów z ciągłymi wzdłużnymi zębnicami luków lub innymi ciągłymi wiązaniami powyżej pokładu wytrzymałościowego, efektywnie podpartego przez grodzie wzdłużne lub podpory, przepisowy wskaźnik przekroju należy odnieść do linii położonej powyżej osi obojętnej, w odległości określonej wg wzoru:

$$z_t = (z_n + z_a) \left(0,9 + 0,2 \frac{y_a}{B} \right), \quad [\text{m}] \quad (15.7.1.2)$$

lecz nie mniejszej niż z_n ;

z_n – patrz 15.1.2;

z_a – odległość rozpatrywanego elementu od pokładu wytrzymałościowego, [m];

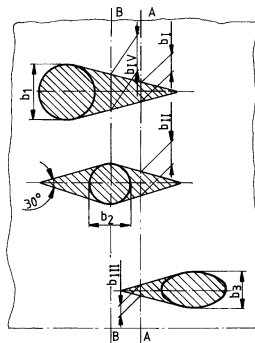
y_a – pozioma odległość rozpatrywanego elementu od płaszczyzny symetrii okrętu, [m].

Współrzędne y_a i z_a punktu powinny być tak dobrane, aby otrzymana wartość z_t była największa.

15.7.2 Określenie wpływu otworów na efektywną powierzchnię przekroju kadłuba

15.7.2.1 Pole poprzecznego przekroju otworów o długości większej niż 2,5 m lub szerokości większej niż 1,2 m oraz pole podkrojów, jeżeli zastosowano spawanie podkrojowe, powinno być odjęte od pola powierzchni przekroju poprzecznego ciągłych wiązań wzdłużnych.

15.7.2.2 Wpływ małych otworów (włazów, otworów ulżeniowych) oraz nieefektywnych odcinków poprzecznego przekroju wiązań wzdłużnych może być pominięty przy obliczaniu poprzecznego przekroju tych wiązań, jeżeli nie spowoduje to zmniejszenia wskaźnika przekroju odniesionego do dna lub pokładu o więcej niż 3 %. Wysokość tych otworów w usztywnieniach i wiązarach wzdłużnych nie powinna przekraczać 25% wysokości środnika (dla podkrojów nie powinna ponadto przekraczać 75 mm), zaś odległość między pojedynczymi otworami lub grupami otworów mierzona wzdłuż usztywnienia (wiązara) powinna być nie mniejsza od dziesięciokrotnej wysokości otworu. Sumaryczna szerokość małych otworów w jednym przekroju poprzecznym dna lub pokładu, równa wartości $0,06(B - \Sigma b_i)$ (Σb_i – suma szerokości otworów), może być uważana jako równoważna określonemu powyżej zmniejszeniu wskaźnika przekroju.



Rys. 15.7.2.2 Przykłady określania wpływu otworów na efektywną powierzchnię przekroju

15.7.2.3 Przyjmuje się, że pominięte mogą być otwory, które rozmieszczone są w przybliżeniu symetrycznie względem płaszczyzny symetrii okrętu i nie przecinają żadnego ciągłego usztywnienia lub wiaźzara wzdłużnego uwzględnionego w obliczeniach pola przekroju kadłuba w środkowej części okrętu.

15.7.2.4 Pole powierzchni poprzecznego przekroju otworów podlegające odjęciu od pola powierzchni poprzecznego przekroju kadłuba może być całkowicie lub częściowo skompensowane przez zwiększenie grubości płyt, zastosowanie dodatkowych usztywnień wzdłużnych lub zwiększenie pola przekroju istniejących usztywnień i wiaźzarów w rejonie otworu. Zakres kompensacji powinien być przedłużony na odpowiednią odległość poza krawędź otworu. Możliwe jest zastosowanie innych metod kompensacji, uzgodnionych z PRS.

15.7.2.5 Przy obliczaniu łącznej szerokości otworów w jednym przekroju poprzecznym należy uwzględnić wpływ poszczególnych otworów na sąsiednie przekroje, jak pokazano na rys. 15.7.2.2 zakreskowanymi polami, zawartymi pomiędzy dwiema stycznymi tworzącymi ze sobą kąt 30° i symetrycznymi względem osi wzdłużnej otworu. Np. łączna szerokość obliczeniowa otworów w przekroju A–A wynosi: $b_{A-A} = b_I + b_{II} + b_{III}$, a w przekroju B–B: $b_{B-B} = b_2 + b_{IV}$.

15.8 Wytrzymałość kadłuba na działanie sił poprzecznych

15.8.1 Zastosowanie

15.8.1.1 Wytrzymałość na ścinanie kadłubów o burtach pojedynczych w warunkach zginania ogólnego jest wystarczająca, gdy grubość poszycia jest nie mniejsza od obliczonej ze wzoru 15.11.1.

15.8.1.2 Wytrzymałość na ścinanie w warunkach zginania ogólnego kadłubów z grodziami wzdłużnymi należy sprawdzać poprzez wyznaczenie wartości naprężeń stycznych w poszczególnych punktach przekroju poprzecznego kadłuba wywołanych siłą $Q_s + Q_w$ (Q_s – wg 15.9.1; Q_w – wg 15.10).

W obliczeniach można zastosować teorię zginania belek cienkościennych.

Obliczona maksymalna wartość naprężeń stycznych nie powinna być większa niż $\tau = 110k$, MPa.

15.8.1.3 Sprawdzenie wytrzymałości na ścinanie w zakresie wymaganym w 15.8.1.2 może być wykonane w ramach analizy MES wg wymagań podanych w 14.4, dla wartości Q_s , Q_w i τ jak w 15.8.1.2.

15.9 Poprzeczne obciążenia kadłuba na wodzie spokojnej

15.9.1 Stany załadowania

Siły poprzeczne na wodzie spokojnej, Q_s , należy określić w każdym przekroju poprzecznym kadłuba po długości okrętu, z uwzględnieniem stanów załadowania i stanów balastowych omówionych w 15.4.1. Określenie znaków – patrz rys. 15.4.2.

15.9.2 Rozkład sił poprzecznych po długości okrętu

Obliczeniowe wartości sił poprzecznych na wodzie spokojnej, obliczone według 15.9.1, powinny spełniać następujący warunek:

$$Q_s \geq k_s Q_{so}, \quad [\text{kN}] \quad (15.9.2-1)$$

$$Q_{so} = \frac{5M_{so}}{L_0}, \quad [\text{kN}] \quad (15.9.2-2)$$

M_{so} – moment zginający na wodzie spokojnej – patrz 15.4.3 lub 15.4.5, [kNm];

$k_s = 0$ dla $x = -0,5L_0$ i $x = +0,5L_0$,

$k_s = 1$ dla $-0,35L_0 \leq x \leq -0,2L_0$,

$k_s = 0,8$ dla $-0,1L_0 \leq x \leq +0,1L_0$,

$k_s = 1$ dla $+0,2L_0 \leq x \leq +0,35L_0$.

W rejonach pośrednich wartości k_s zmieniają się liniowo.

Jeżeli podział przestrzenny i przeznaczenie okrętu daje małe możliwości różnicowania rozkładu zapasów, ładunku i balastu, to wartości Q_{so} można nie uwzględniać przy określaniu podstawy wyznaczania wymiarów wiązań kadłuba.

15.10 Falowe obciążenia poprzeczne

15.10.1 Wartości obliczeniowe falowych sił poprzecznych działających w poszczególnych poprzecznych przekrojach kadłuba po długości okrętu należy obliczać wg wzorów:

$$Q_{wp} = 0,3k_p C_w L_0 B (\delta + 0,7), \quad [\text{kN}] \quad (15.10.1-1)$$

$$Q_{wn} = -0,3k_n C_w L_0 B (\delta + 0,7), \quad [\text{kN}] \quad (15.10.1-2)$$

Q_{wp} – dodatnia falowa siła poprzeczna, stosowana dla poprzecznych przekrojów kadłuba, w których siła poprzeczna na wodzie spokojnej jest dodatnia;

Q_{wn} – ujemna falowa siła poprzeczna, stosowana dla poprzecznych przekrojów kadłuba, w których siła poprzeczna na wodzie spokojnej jest ujemna.

Umowa w zakresie znaków – patrz rys. 15.4.2.

$$k_p = 0 \quad \text{dla} \quad x = -0,5 L_0 \text{ i } x = +0,5 L_0,$$

$$k_p = \frac{1,59\delta}{\delta + 0,7} \quad \text{dla} \quad -0,3 L_0 \leq x \leq -0,2 L_0,$$

$$k_p = 0,7 \quad \text{dla} \quad -0,1 L_0 \leq x \leq +0,1 L_0,$$

$$k_p = 1,0 \quad \text{dla} \quad 0,2 L_0 \leq x \leq +0,35 L_0.$$

W rejonach pośrednich wartości k_p zmieniają się liniowo (patrz rys.15.10.1).

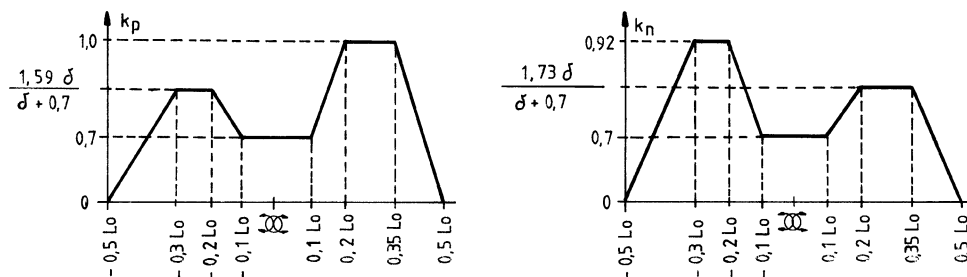
$$k_n = 0 \quad \text{dla} \quad x = -0,5 L_0 \text{ i } x = +0,5 L_0,$$

$$k_n = 0,92 \quad \text{dla} \quad -0,3 L_0 \leq x \leq -0,2 L_0,$$

$$k_n = 0,70 \quad \text{dla} \quad -0,1 L_0 \leq x \leq +0,1 L_0,$$

$$k_n = \frac{1,73\delta}{\delta + 0,7} \quad \text{dla} \quad 0,2 L_0 \leq x \leq 0,35 L_0.$$

W rejonach pośrednich wartości k_n zmieniają się liniowo (patrz rys.15.10.1).



Rys. 15.10.1 Współczynniki k_p i k_n

15.10.2 Dla okrętów rozwijających odpowiednio duże prędkości lub mających znaczne rozchylenie burt w części dziobowej, we wzorach 15.10.1–1 i 15.10.1–2 należy stosować skorygowane wartości k_p i k_n . Poprawki zależą od wartości charakterystyk $C_a = C_{av}$ oraz $C_a = C_{af}$. Poprawione wartości k_p i k_n można określić przez pomnożenie ich wartości otrzymanych według 15.10.1 przez współczynnik r podany niżej:

$$\text{dla } C_a < c_1 \text{ i } C_a > c_2 \quad r = 1,0 \quad \text{w rejonie } -0,5 L_0 \leq x \leq +0,5 L_0;$$

$$\text{dla } c_1 \leq C_a \leq c_2 \quad r = 1,0 \quad \text{w rejonie } x \leq +0,1 L_0,$$

$$r = 1,2 \quad \text{w rejonie } 0,2 L_0 \leq x \leq +0,35 L_0,$$

$$r = 1,0 \quad \text{w przekroju } x = 0,5 L_0.$$

Dla pośrednich wartości C_a oraz x , wartość r należy określać przez interpolację liniową.

C_a , C_{av} , C_{af} , c_1 , c_2 – patrz 15.5.2.2.

15.11 Wymagania dla konstrukcji przenoszących siły poprzeczne

15.11.1 Na okrętach bez efektywnych grodzi wzdłużnych grubość poszycia burty (w przypadku burt podwójnych – sumaryczna grubość poszycia burty zewnętrznej i wewnętrznej) powinna być nie mniejsza, niż grubość obliczona wg wzoru:

$$t = \frac{0,5(Q_s + Q_w)}{\tau} \frac{S_n}{I_n} 10^2, \quad [\text{mm}] \quad (15.11.1)$$

gdzie:

- τ = 110k, [MPa], jeżeli z wymagań w zakresie stateczności konstrukcji nie wynika mniejsza wartość,
- S_n – moment statyczny względem osi obojętnej tej części powierzchni przekroju wzdłużnych wiązań kadłuba, która znajduje się między poziomem gdzie obliczamy naprężenia styczne, a skrajnym punktem efektywnego przekroju wiązań po stronie rozpatrywanego przekroju, [cm³],
- I_n – moment bezwładności względem osi obojętnej powierzchni przekroju wzdłużnych wiązań kadłuba, [cm⁴].

Przy obliczaniu t na poziomie osi obojętnej można przyjmować $\frac{S_n}{I_n} = \frac{1}{90H}$.

15.11.2 W przypadku kadłubów z grodziami wzdłużnymi obowiązuje sprawdzenie wytrzymałości na działanie sił poprzecznych wg wymagań 15.8.1.2 lub 15.8.1.3.

15.12 Zginanie kadłuba w płaszczyźnie poziomej

15.12.1 W przypadku okrętów o długości $L_0 \geq 100$ m wskaźnik przekroju kadłuba w części środkowej okrętu określony względem pionowej osi obojętnej powinien być nie mniejszy niż wskaźnik obliczony wg wzoru:

$$W_{0h} = \frac{5}{k} L_0^{9/4} (T + 0,3B) \delta, \quad [\text{cm}^3] \quad (15.12.1)$$

15.12.2 Wymagania 15.2.1 nie muszą być spełnione, jeżeli spełniony będzie warunek:

$$\sigma_s + \sqrt{\sigma_w^2 + \sigma_{wh}^2} \leq 195k, \quad [\text{MPa}] \quad (15.12.2)$$

gdzie:

- σ_s – naprężenia od zginania ogólnego momentem M_s wyznaczonym wg 15.4, [MPa];
- σ_w – naprężenia od zginania ogólnego momentem M_w wyznaczonym wg 15.5, [MPa];
- σ_{wh} – naprężenia od zginania ogólnego w płaszczyźnie poziomej momentem M_{wh} wyznaczonym wg 15.12.3, [MPa].

Warunek 15.12.2 należy sprawdzić dla poszycia na oble kadłuba i dla połączenia burty z pokładem wytrzymałościowym.

15.12.3 Poziomy falowy moment zginający M_{wh} należy wyznaczać według wzoru:

$$M_{wh} = 0,22L_0^{9/4}(T + 0,3B\delta)\left(1 + \cos\frac{2\pi x}{L_0}\right), \quad [\text{kNm}] \quad (15.12.3)$$

x – współrzędna wg rys. A/2.3.1.

15.13 Skręcanie kadłuba

15.13.1 Zakres zastosowania

15.13.1.1 W przypadku kadłubów okrętów z względnie szerokimi otworami w pokładzie wytrzymałościowym PRS może wymagać sprawdzenia wytrzymałości i sztywności kadłuba z uwzględnieniem skręcania.

15.13.1.2 Analiza wytrzymałości w zakresie jak w 15.13.1.1 jest zawsze wymagana w sytuacji, gdy wymiary otworów lukowych w pokładzie wytrzymałościowym spełniają warunki:

$$\begin{aligned} \frac{b}{B_1} &> 0,6 \\ \frac{l}{l_m} &> 0,7 \end{aligned} \quad (15.13.1.2)$$

gdzie:

- b – szerokość luków, mierzona między skrajnymi po obu burtach wzdłużnymi zrębnicami otworów lukowych, [m];
- B_1 – szerokość pokładu wytrzymałościowego mierzona w środku długości luku, [m];
- l – długość otworu lukowego, [m];
- l_m – wzdłużna odległość pomiędzy środkami poprzecznych międzylukowych pasów pokładu (przewiązek) przylegających do rozpatrywanego luku, [m].

15.13.2 Metoda analizy i obciążenia obliczeniowe

15.13.2.1 Należy wyznaczyć odkształcenia i naprężenia normalne w rejonie pokładu wytrzymałościowego, dla okrętu ustawionego ukośnie w stosunku do fali, gdzie występują wymienione niżej obciążenia i odkształcenia kadłuba.

Ocenie wg kryteriów podanych w 15.13.4 podlegają wartości naprężeń normalnych σ i deformacji kadłuba pod łącznym działaniem następujących obciążeń:

- zginanie ogólne kadłuba w płaszczyźnie pionowej, na wodzie spokojnej i na fali,
- zginanie ogólne kadłuba w płaszczyźnie poziomej (na fali),
- skręcanie kadłuba na wodzie spokojnej i na fali,
- zginanie strefowe pasów pokładów przy burtach wskutek oddziaływania wody zaburtowej.

15.13.2.2 Obliczenia można na ogół wykonać stosując model belki zginanej – do analizy zginania ogólnego kadłuba i model skręcania skrępowanego pręta cienkościennego – do analizy skręcania kadłuba.

Należy przy tym uwzględnić skrępowanie otwartej części kadłuba (z szerokimi otworami w pokładzie) przez części kadłuba położone poza częścią otwartą.

W obliczeniach można stosować się do wymagań podanych w *Publikacji Nr 24/P – Analiza wytrzymałości kadłuba kontenerowca*.

15.13.2.3 W przypadku kadłubów o małej wartości współczynnika pełnotliwości zalecane jest wykonanie obliczeń MES stosując zalecenia dotyczące modelu obliczeniowego podane w 14.4. Model obliczeniowy powinien obejmować konstrukcję całego kadłuba okrętu.

15.13.3 Moment skręcający kadłub

15.13.3.1 Całkowity moment skręcający kadłub, M_b , jest sumą momentu skręcającego na wodzie spokojnej, M_{tc} , i falowego momentu skręcającego, M_{tw} , o wartości odpowiadającej prawdopodobieństwu jego przewyższenia równemu 10^{-8} .

15.13.3.2 Wartości $M_{tc} \neq 0$ należy stosować tylko w sytuacjach, gdy położenie zbiorników balastowych i zapasów oraz przestrzeni ładunkowych i magazynowych umożliwia asymetryczny rozkład całkowitego ciężaru okrętu o istotnych wartościach. Wartości $M_{tc}(x)$ należy wyznaczać dla najbardziej niekorzystnych realnych rozkładów ciężaru.

W przypadku okrętów, gdzie podział przestrzenny i złożony sposób eksploatacji uniemożliwia wygenerowanie istotnych wartości M_{tc} , można przyjmować $M_{tc}(x) = 0$.

15.13.3.3 Falowy moment skręcający, M_{tw} , składa się z dwóch składników: M_{tw1} i M_{tw2} , obliczanych wg wzorów:

$$M_{tw1} = 126K_2 C_w B L_0^2 (\delta\alpha_1(x) - 0,5\alpha_3(x)) \cdot 10^{-3}, \text{ [kNm]} \quad (15.3.3.3-1)$$

$$M_{tw2} = 63C_w B L_0^2 K_1 \alpha_2(x) \cdot 10^{-3}, \text{ [kNm]} \quad (15.3.3.3-2)$$

gdzie:

$$K_1 = 2x_1 x_0 (1 + 3,6(C_{wL} - 0,7)) \frac{B}{L_0};$$

$$K_2 = 10x_2 \frac{T}{L_0} \frac{e}{B};$$

$$x_1 = 1 - 8 \frac{T}{L_0};$$

$$x_2 = 1 - 4 \frac{T}{L_0};$$

$$x_0 = 1 - 4C_{wL} \frac{B}{L_0};$$

C_{wL} – współczynnik pełnotliwości wodnicy konstrukcyjnej,
 e – pionowa odległość od środka skręcania przekroju kadłuba na owręzu do punktu na wysokości $0,6T$ powyżej płaszczyzny podstawowej, [m],

C_w – współczynnik falowy, określony według 17.5.2.2,

$$\alpha_1(x) = \sin \frac{2\pi x}{L_0};$$

$$\alpha_2(x) = \frac{1}{2} \left(1 - \cos \frac{2\pi x}{L_0} \right);$$

$$\alpha_3(x) = \sin \frac{3\pi x}{L_0};$$

x – odległość od pionu rufowego (patrz oś x na rys. 15.13.3.5, [m].

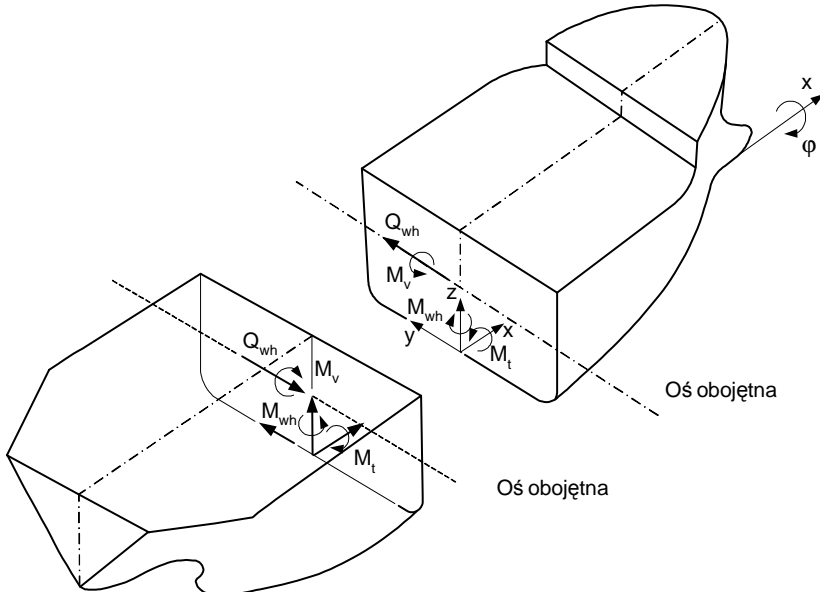
15.13.3.4 W obliczeniach naprężeń i odkształceń w kadłubie z uwzględnieniem skręcania należy rozpatrzyć następujące dwa rozkłady, wzdłuż osi okrętu, całkowitego momentu skręcającego okręt:

$$M_t = M_{tw1} + M_{tw2} + M_{tc} \quad (15.13.3.4)$$

$$M_t = M_{tw1} - M_{tw2} - M_{tc}$$

Zwrot M_t należy przyjmować zgodnie z rys. 15.13.3.5.

15.13.3.5 Dodatkowo zwroty momentu skręcającego i pozostałych sił wewnętrznych pokazano na rys. 15.13.3.5.



Rys. 15.13.3.5 Dodatkowo zwroty sił wewnętrznych w kadłubie

15.13.4 Kryteria wytrzymałości i sztywności

15.13.4.1 Naprężenia sumaryczne σ_{tot} w pokładzie wytrzymałościowym i w ciągłej wzdłużnej zębownicy łuku, obliczane metodą określoną w 15.13.2.2 powinny spełniać warunki:

$$\sigma_{tot} = \sigma_s + \sigma_{tc} + \sigma_{bc} + 0,35\sigma_w + 0,59(\sigma_{wh} + \sigma_{wt} + \sigma_{bw}) + \sigma_{bp} \leq 195k, \text{ [MPa]} \quad (15.3.4.1-1)$$

$$\sigma_{tot} = \sigma_s + \sigma_{tc} + \sigma_{bc} + 0,6\sigma_w + \sigma_{wt} + \sigma_{bw} \leq 175k, \text{ [MPa]} \quad (15.3.4.1-2)$$

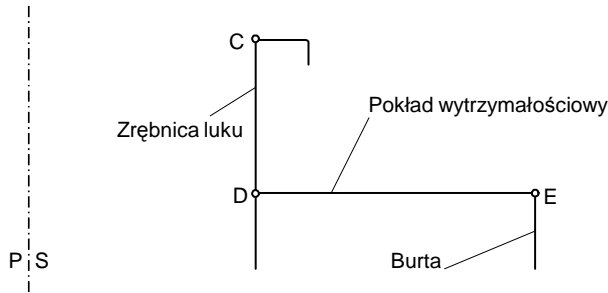
gdzie:

- σ_s – naprężenia od ogólnego zginania kadłuba na wodzie spokojnej, obliczone dla wartości momentu zginającego określonego wg 15.4;
- σ_{tc} – naprężenia wywołane skręcaniem skrępowanym kadłuba momentem M_{tc} (patrz 15.13.3);
- σ_{bc} – naprężenia wywołane zginaniem pokładu w płaszczyźnie poziomej wskutek oddziaływania przewiązek międzylukowych odkształcanych w związku z deplanacją przekrojów poprzecznych kadłuba, wywoływana przez M_{tc} ;
- σ_w – naprężenia od ogólnego zginania kadłuba momentem falowym M_w wyznaczanym wg 15.5;
- σ_{wh} – naprężenia od ogólnego zginania kadłuba w płaszczyźnie poziomej momentem M_{wh} wyznaczanym wg 15.12.3;
- σ_{wt} – naprężenia wywołane skręcaniem skrępowanym kadłuba momentem M_{tw} (patrz 15.13.3.3);
- σ_{bw} – jak σ_{bc} ale od momentu M_{tw} ;
- σ_{bp} – naprężenia wywołane zginaniem pokładu w płaszczyźnie poziomej, wskutek ciśnień działających na burty kadłuba.

Uwaga: naprężenia σ_{tc} i σ_{wt} uwzględniają wpływ poprzecznych przewiązek międzylukowych na wartości bimomentów w przekrojach poprzecznych kadłuba.

Naprężenia σ_{tot} powinny być wyznaczone w punktach C, D, E pokazanych na rys. 15.13.4.1, na obu burtach okrętu, w następujących przekrojach poprzecznych kadłuba:

- w końcowych przekrojach części kadłuba z szerokimi otworami lukowymi;
- w przekrojach wręgowych w środkach dużych otworów w pokładzie;
- w przekrojach wręgowych, w których leżą skrajne krawędzie poprzecznych przewiązek międzylukowych.



Rys. 15.13.4.1

Wyznaczając σ_{tot} , składowe naprężenia σ należy przyjmować z następującymi znakami:

- znak σ_s jest adekwatny do znaku momentu M_s . Jeśli w rozpatrywanym stanie okręt pływa w ugięciu, to $\sigma_s < 0$. W przypadku wygięcia okrętu, $\sigma_s > 0$;
- znak σ_w należy przyjąć taki sam jak znak σ_s ;
- składowa M_{tw1} momentu skręcającego, z założenia dodatnia, ma zwrot zgodny z rys. 15.13.3.5. Naprężenia σ_{wh} , których znak wynika z wzajemnej relacji pomiędzy znakami M_{wh} a M_{tw1} , należy przyjąć jako naprężenia rozciągające po stronie prawej burty i ściskające po stronie lewej burty;
- wyznaczając σ_{tc} i σ_{wt} należy stosować zwrot M_t zgodnie z rys. 15.13.3.5. Należy pamiętać o tym, aby uwzględnić dwa rozkłady M_b , zgodnie z 15.13.3.4;
- znaki σ_{bc} i σ_{bw} odpowiadają wprost zwrotom sił poprzecznych w przewiązkach poprzecznych, które z kolei wynikają z przyjętego zwrotu momentu skręcającego M_t ;
- znak σ_{bp} wynika z analizy zginania burt ciśnieniem działającym z zewnątrz.

15.13.4.2 W przypadku obliczeń MES wg 15.13.2.3, należy zastosować odpowiednie obciążenia modelu, aby wprost wyznaczyć σ_{tot} odpowiadające składowym naprężeniom występującym we wzorach 15.13.4.1-1 i -2.

Dopuszczalne, na ogół, jest modelowanie wartości M_s , M_w , M_{tc} , M_{tw} i M_{wh} w formie odpowiednio dobranych wartości obciążeń ciągłych, działających w płaszczyznach burt i w płaszczyźnie poziomej.

15.13.4.3 Różnica długości przekątnych otworów lukowych o wymiarach spełniających warunki podane w 15.13.1.2, spowodowana deformacją kadłuba pod wpływem momentu skręcającego określonego w 15.13.3, nie może przekroczyć 25 mm.

W przypadku otworów mniejszych, dopuszczalne ich deformacje w warunkach skręcania podlegają specjalnemu rozpatrzeniu przez PRS – z uwzględnieniem ograniczeń wynikających z konstrukcji pokryw lukowych i z systemu ich uszczelnienia.

15.14 Kontrola obciążenia kadłuba

15.14.1 Instrukcja kontroli obciążenia okrętu

15.14.1.1 Wszystkie okręty o długości większej niż 65 m powinny być wyposażone w dokument zwany *Instrukcją kontroli obciążenia okrętu*.

W uzasadnionych przypadkach PRS może wymagać opracowania takiego dokumentu dla okrętów krótszych niż 65 m.

15.14.1.2 Instrukcja kontroli obciążenia powinna zawierać następujące informacje:

- dopuszczalne wartości obciążeń lokalnych konstrukcji ciężarem zapasów lub ładunku (obciążenie dna wewnętrznego, pokładów i platform, pokryw lukowych, itp.);
- dopuszczalne parametry transportowanych pojazdów (dopuszczalne naciski na oś i minimalne wymiary odcisku pojedynczego koła, minimalna szerokość gąsienic pojazdu i obciążenie gąsienicy w kN/m) i śmigłowców (maksymalna masa startowa).

15.14.1.3 W przypadku okrętów, na których istnieje możliwość różnorodnego rozmieszczania, w kierunku wzdłużnym i poprzecznym, znacznych mas zapasów lub ładunku może być także wymagane podanie w *Instrukcji kontroli obciążenia okrętu* następujących informacji:

- zalecane typowe stany załadunku oraz dopuszczalne wartości momentów gnących, sił poprzecznych i momentów skręcających (jeżeli skręcanie jest istotne) na wodzie spokojnej;
- wyniki obliczeń momentów zginających, sił poprzecznych i momentów skręcających, w formie tabel i wykresów;
- plan ładunku okrętu (sekwencje załadunku/wyładunku od momentu jego rozpoczęcia do osiągnięcia dopuszczalnej ładowności) – dla typowych zalecanych stanów załadunku.

15.14.2 Przyrząd kontroli obciążenia okrętu

15.14.2.1 W przypadku okrętów o cechach wymienionych w 15.14.1.3 może być wymagane wyposażenie okrętu w przyrząd kontroli obciążenia (kalkulator ładunkowy). Jest to komputer z oprogramowaniem pozwalającym obliczyć wartości sił wewnętrznych w kadłubie, dla zadanego rozkładu mas zapasów i ładunku, oraz porównać wartości tych sił z ich wartościami dopuszczalnymi.

Do kalkulatora ładunkowego powinna być dołączona instrukcja obsługi.

Kalkulator ładunkowy wraz z instrukcją obsługi podlega zatwierdzeniu przez PRS.

16 WYTRZYMAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA KADŁUBA

16.1 Postanowienia ogólne

16.1.1 W przypadku konstrukcji kadłuba wykonanych ze stali o podwyższonej wytrzymałości lub konstrukcji uznanych za nietypowe PRS może wymagać wykonania i przedłożenia do wglądu analizy trwałości zmęczeniowej wskazanych (wybranych) węzłów konstrukcyjnych kadłuba.

16.1.2 Analiza trwałości zmęczeniowej powinna przede wszystkim być wykonywana dla elementów konstrukcji kadłuba takich jak:

- połączenia wzdłużnych usztywnień poszycia burt, dna i pokładów z wiązarami lub grodziami poprzecznymi;
- węzłówki wiązarów wzdłużnych i poprzecznych;
- krawędzie otworów i wycięć w wiązarach;
- naroża luków pokładu wytrzymałościowego,
- zakończenia wzdłużnych zrębnic luków pokładu wytrzymałościowego.

16.2 Metoda analizy trwałości zmęczeniowej i kryteria

16.2.1 Analizę trwałości zmęczeniowej należy wykonywać zgodnie z wymaganiami *Publikacji Nr 45/P – Analiza wytrzymałości zmęczeniowej stalowego kadłuba statku*.

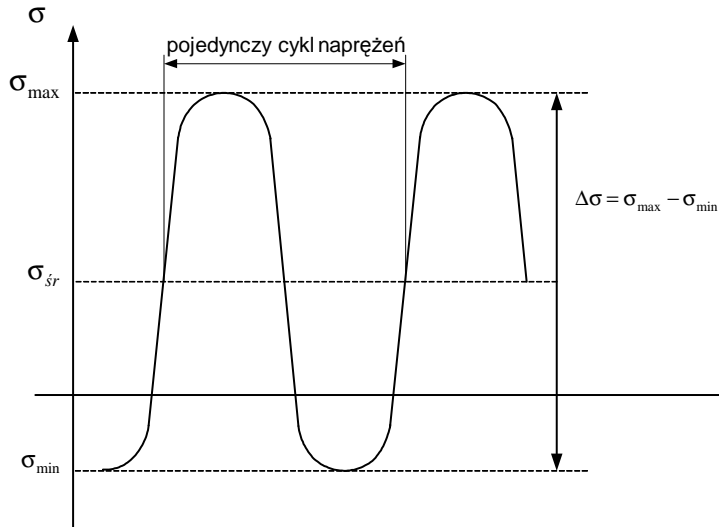
Poniżej, w p. 16.2.2. do 16.2.10, podano ogólne zasady analizy, zgodne ze stosowanymi w wymienionej wyżej *Publikacji PRS*.

16.2.2 W analizie trwałości zmęczeniowej należy uwzględnić zmienne w czasie (pulsujące) naprężenia w konstrukcji kadłuba okrętu wywołane przez siły bezwładności ładunku, zapasów, wyposażenia i konstrukcji okrętu, generowane w warunkach ruchu okrętu na fali przez ciśnienie dynamiczne wody.

16.2.3 Wpływ, na trwałość zmęczeniową, zmiennych naprężeń powstających podczas drgań konstrukcji wymuszanych przez układ napędowy okrętu, silniki pomocnicze, maszyny i urządzenia zainstalowane na okręcie, a także naprężeń spowodowanych obciążeniami udarowymi w formie slemingu i sloshingu, podlega odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

W analizie trwałości zmęczeniowej uwzględniane są cykle naprężeń w miejscach zagrożonych pękaniem zmęczeniowym. Podstawowe znaczenie ma wartość zakresu naprężeń, $\Delta\sigma$, (rys. 16.2.3). skorygowana ze względu na wartość grubości blach rozpatrywanego elementu konstrukcyjnego i wartości średnich naprężeń σ_{sr} w cyklu.

Korektę $\Delta\sigma$ należy wykonać wg wymagań ww. *Publikacji Nr 45/P*.



Rys. 16.2.3 Definicja cyklu naprężeń i zakresu naprężeń

16.2.4 Analiza trwałości zmęczeniowej może być wykonywana na podstawie wartości zakresów naprężeń nominalnych lub geometrycznych.

Naprężenia nominalne są obliczane metodami wytrzymałości materiałów, z zastosowaniem modeli prętowych lub belkowych.

Naprężenia geometryczne są obliczane z użyciem modeli MES z zastosowaniem specjalnej procedury ekstrapolacji wartości naprężeń.

Wymagania dotyczące modeli MES i ekstrapolacji naprężeń podano w ww. *Publikacji Nr 45/P*.

16.2.5 Obciążenia dynamiczne (falowe), stosowane do obliczania naprężeń wymienionych w 16.2.4, należy wyznaczyć wg formuł podanych w rozdziałach 15 i 17.

Obciążenia te mają zastosowanie do okrętów nieograniczonego rejonu żeglugi.

Zakres naprężeń, $\Delta\sigma$, można na ogół obliczać jako podwojoną wartość naprężeń odpowiadających obciążeniom falowym.

Zakłada się, że rozkład prawdopodobieństwa zakresów naprężeń określony jest rozkładem Weibulla:

$$\Pr(\Delta\sigma \geq \Delta\sigma_0) = e^{-\left(\frac{\Delta\sigma_0}{a}\right)^\xi} \quad (16.2.5)$$

gdzie:

$\Pr(\Delta\sigma \geq \Delta\sigma_0)$ – prawdopodobieństwo zdarzenia, że $\Delta\sigma \geq \Delta\sigma_0$.

ξ – parametr bezwymiarowy; w obliczeniach można przyjmować $\xi = 1,0$;

$$a = \frac{\Delta\sigma_R}{(\ln N_R)^{1/\xi}}$$

$\Delta\sigma_R$ – wartość $\Delta\sigma$ przekraczana z prawdopodobieństwem $\frac{1}{N_R}$; zalecane jest przyjmować $N_R = 10^4$ – tak, jak w ww. *Publikacji Nr 45/P*.

Sposób obliczania $\Delta\sigma_R$ w przypadkach, gdy w elemencie konstrukcji występuje superpozycja naprężeń od zginania ogólnego i lokalnego, określono w ww. *Publikacji Nr 45/P*.

16.2.6 W analizie trwałości zmęczeniowej zalecane jest zastosowanie długoterminowego rozkładu $\Delta\sigma$ wyznaczonego bezpośrednio, z zastosowaniem analizy widmowej obciążeń kadłuba okrętu na fali i danych statystycznych dotyczących falowania w akwenach przewidywanej eksploatacji okrętu.

Szczegółowe wymagania dla takich obliczeń podano w ww. *Publikacji Nr 45/P*.

16.2.7 Obliczenia trwałości zmęczeniowej należy wykonać stosując wykresy Wöhlera podające liczbę cykli naprężeń powodujących pęknięcie zmęczeniowe, w funkcji $\Delta\sigma = \text{const}$.

Sposób doboru wykresów Wöhlera dla elementów konstrukcji spawanych kadłubów okrętów oraz sposób korygowania tych wykresów w celu uwzględnienia korozyjnego oddziaływania wody morskiej podano w ww. *Publikacji Nr 45/P*.

16.2.8 Elementy konstrukcji kadłuba okrętu powinny spełnić następujące kryterium:

$$D \leq 1,0 \quad (16.2.8)$$

gdzie:

D – stopień zużycia zmęczeniowego.

D należy obliczać wg 16.2.9.

16.2.9 W obliczeniach D rzeczywiste cykle naprężeń (losowe) można przybliżyć skończoną liczbą I_p bloków naprężeń $\Delta\sigma = \text{const}$:

$$D = \sum_{i=1}^{I_p} \frac{n_i}{N_i} \quad (16.2.9-1)$$

gdzie:

N_i – liczba cykli naprężeń określona z wykresu Wöhlera dla $\Delta\sigma_i = \text{const}$ ($\Delta\sigma_i$ – wartość $\Delta\sigma = \text{const}$ w i -tym bloku),

n_i – liczba cykli naprężeń w i -tym bloku, obliczona wg wzoru:

$$n_i = p(\Delta\sigma_i) \delta\sigma_i N_L \quad (16.2.9-2)$$

$p(\Delta\sigma_i)$ – wartość funkcji gęstości prawdopodobieństwa długoterminowego rozkładu $\Delta\sigma$, dla $\Delta\sigma = \Delta\sigma_i$;

$\delta\sigma_i$ – szerokość i -tego bloku $\Delta\sigma$ (różnica pomiędzy skrajnymi wartościami $\Delta\sigma$ w i -tym bloku);

N_L – liczba cykli naprężeń w ciągu planowanego okresu eksploatacji okrętu, ustalona wg 16.2.10.

16.2.10 Liczbę cykli naprężeń w ciągu całego okresu eksploatacji okrętu należy obliczać wg wzoru:

$$N_L = 3 \cdot 10^6 L_l c \quad (16.2.10)$$

gdzie:

- L_l – planowany okres eksploatacji okrętu, w latach;
 - c – stosunek czasu spędzonego przez okręt na morzu do zakładanego czasu eksploatacji; do obliczeń należy przyjmować $c \geq 0,5$.
-

17 OBCIĄŻENIA KADŁUBA

17.1 Zasady ogólne

17.1.1 W niniejszym rozdziale podano zasady określania obliczeniowych wartości obciążeń lokalnych i globalnych, działających na kadłub okrętu w warunkach pływania na fali oraz obciążeń od wiatru i lodu.

Podano także sposób określania obliczeniowych obciążeń pokładów i grodzi.

17.1.2 Obliczeniowe obciążenia dynamiczne kadłuba, wynikające z falowania morza mogą być wyznaczone z zastosowaniem formuł parametrycznych podanych w 17.5 i 17.6 lub obliczone bezpośrednio, wg zasad podanych w 17.2.

17.2 Falowanie morza

17.2.1 Zasady ogólne

17.2.1.1 W przypadku okrętów o typowych proporcjach wymiarowych i kształcie kadłuba ($L_0/B \geq 5$, $B/H \leq 2,5$, $\delta \geq 0,6$) obciążenia obliczeniowe dla okrętów o nieograniczonym rejonie żeglugi, wynikające z falowania morza, należy określić stosując wzory podane w 17.5 i 17.6.

17.2.1.2 W przypadku okrętów o ograniczonych rejonach żeglugi obciążenia wyznaczone wg wymagań 17.2.1.1 można zmniejszyć w następujący sposób:

- dla rejonu II o 10%,
- dla rejonu III o 30%.

17.2.1.3 W przypadku okrętów o proporcjach wymiarowych i innych cechach uznanych przez PRS za nietypowe, wymagane są bezpośrednie obliczenia obciążeń dynamicznych – wg zasad podanych w 17.2.2 lub badania modelowe – wg zasad podanych w 17.2.3.

W przypadku okrętów o ograniczonych rejonach żeglugi obliczone obciążenia podlegają redukcji – wg wymagań podanych w 17.2.1.2 lub bezpośrednie obliczenia są wykonywane wprost dla falowania w ograniczonym rejonie żeglugi.

17.2.2 Bezpośrednie obliczanie obciążeń

17.2.2.1 Bezpośrednie obliczanie obciążeń jest wymagane w sytuacjach zdefiniowanych w 17.2.1.3, ale może być stosowane również w celu wyznaczenia dynamicznych obciążeń obliczeniowych kadłuba związanych z pływaniem okrętu na fali – w miejsce obciążeń wyznaczonych wg formuł podanych w 17.5.2 i 17.5.3.

17.2.2.2 Zalecane jest wykonanie obliczeń wg algorytmu przedstawionego w 17.2.2.4 do 17.2.2.10.

Alternatywne metody obliczeń będą rozpatrywane przez PRS odrębnie.

17.2.2.3 PRS należy przedstawić raport z obliczeń zawierający następujące informacje:

- wyczerpujący opis zastosowanej metody obliczeń i zastosowanych programów komputerowych;
- dane wejściowe do obliczeń, z uwzględnieniem opisu warunków falowania, stosowanych kątów kursowych i prędkości okrętu, rozkładu masy okrętu, itp.;
- wyczerpujący wyciąg wyników obliczeń.

17.2.2.4 Bezpośrednie obliczenia odzewu kadłuba okrętu na falowanie morza mogą być wykonane z zastosowaniem modelu liniowego i analizy widmowej.

Obliczenia takie składają się z następujących etapów:

- a) wyznaczenie funkcji przenoszenia amplitud odzewu okrętu na falę regularną – np. momentu zginającego kadłub w płaszczyźnie pionowej, ciśnienia wody w dowolnym punkcie poszycia, itp. (17.2.2.5);
- b) wykonanie prognozy krótkoterminowej dla chwilowych wartości ekstremalnych odzewu na fali nieregularnej (17.2.2.6 do 17.2.2.8);
- c) wykonanie prognozy długoterminowej (17.2.2.9 i 17.2.2.10).

17.2.2.5 Obliczenia funkcji przenoszenia amplitud (patrz 17.2.2.4) polegają na rozwiązaniu liniowych równań różniczkowych ruchu okrętu o nieodkształcalnym kadłubie na fali regularnej o jednostkowej wysokości, przy wykorzystaniu teorii przepływu potencjalnego cieczy idealnej i programów komputerowych uznanych przez PRS.

Obliczane są amplitudy przyspieszeń kadłuba, ciśnienia dynamiczne oddziaływania wody (z zewnątrz), siły wewnętrzne w kadłubie, itp.

Obliczenia należy wykonać dla wielu wartości częstości kołowej fali, ω , z przedziału od $0,5 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$ do $3,0 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$, dla kątów kursowych μ okrętu względem kierunku propagacji fal zmienianych z krokiem nie większym niż 30° ($\mu = 0^\circ, 30^\circ, \dots, 330^\circ$).

Uwaga: $\mu = 180^\circ$, gdy okręt przemieszcza się w kierunku przeciwnym do kierunku ruchu fali, prostopadle do linii grzbietów fal.

W obliczeniach należy założyć prędkość okrętu równą prędkości marszowej.

17.2.2.6 Prognoza krótkoterminowa polega na analizie odzewu kadłuba na ustalone falowanie nieregularne (rzeczywiste), opisywane poprzez funkcję gęstości widmowej.

Wyznaczana jest funkcja gęstości widmowej odzewu okrętu na falowanie (17.2.2.7) a następnie rozkład prawdopodobieństwa chwilowych wartości ekstremalnych odzewu (17.2.2.8), służący do wykonania prognozy długoterminowej (17.2.2.9 i 17.2.2.10).

Dla okrętów o nieograniczonym rejonie żeglugi funkcję gęstości widmowej falowania należy przyjmować w formie wzoru (dla rejonu Północnego Atlantyku):

$$S(\omega, \mu, H_s, T_1) = \frac{2}{\pi} \frac{172 H_s^2}{T_1^4 \omega^5} \exp\left(-\frac{691}{T_1^4 \omega^4}\right) \cos^2 \mu \quad (17.2.2.6)$$

gdzie:

S – funkcja gęstości widmowej falowania,

ω – częstość kołowa fali, [rad/s],

μ – kąt kursowy (patrz p. 17.2.2.5), [stopnie],

H_s – znacząca wysokość fali, [m], (wartość oczekiwana wysokości tych fal udostępnionego falowania nieregularnego, których wartości są nie mniejsze niż wysokość fal przekraczana z prawdopodobieństwem 1/3),

T_1 – charakterystyczny okres fali, [s].

Dla okrętów przeznaczonych do żeglugi w ściśle określonych akwenach wartość S należy przyjmować na podstawie dostępnych danych literaturowych.

17.2.2.7 Funkcję gęstości widmowej S_0 odzewu kadłuba okrętu na falowanie należy wyznaczać wg wzoru:

$$S_0(\omega_E, \mu, H_s, T) = |Y(\omega_E, \mu)|^2 S(\omega, \mu, H_s, T_1) \quad (17.2.2.7-1)$$

gdzie: ω_E – częstość spotkaniowa obliczana wg wzoru:

$$\omega_E = \omega \left| 1 - \frac{\omega v}{g} \cos \mu \right|, \quad [\text{rad/s}] \quad (17.2.2.7-2)$$

v – prędkość okrętu, [m/s],

$g = 9,81$ – przyspieszenie ziemskie, [m/s²],

μ – kąt kursowy okrętu (patrz 17.2.2.5),

S, ω, H_s, T_1 – patrz 17.2.2.6.

17.2.2.8 Prawdopodobieństwo zdarzenia, że w warunkach falowania określonych parametrami H_s i T_1 (patrz 17.2.2.6) i przy kącie kursowym μ okrętu względem kierunku falowania parametr odzewu α (przyspieszenie, ciśnienie dynamiczne, itp.) przekroczy poziom α_0 określone jest rozkładem Rayleigh'a:

$$\Pr(\alpha \geq \alpha_0) = \exp\left(-\frac{\alpha_0^2}{2m_0}\right) \quad (17.2.2.8-1)$$

gdzie:

$$m_0 = \int_0^{\infty} S_0(\omega_E, \mu, H_s, T_1) d\omega_E \quad (17.2.2.8-2)$$

S_0, ω_E, H_s, T_1 – patrz 17.2.2.7.

17.2.2.9 Prognozę długoterminową należy wykonywać w celu wyznaczenia prawdopodobieństwa zdarzenia $\Pr(\alpha \geq \alpha_0)$, że w ciągu całego okresu eksploatacji okrętu (30 lat ciągłego przebywania na morzu) parametr odzewu α przekroczy poziom α_0 .

$\Pr(\alpha \geq \alpha_0)$ można wyznaczać z następującego wzoru przybliżonego:

$$\Pr(\alpha \geq \alpha_0) = \sum_{i=1}^{N_H} \sum_{j=1}^{N_T} \sum_{k=1}^{N_k} \exp\left(-\frac{\alpha_0^2}{2m_0}\right) P_{ij} P_k \quad (17.2.2.9)$$

gdzie:

N_H – liczba uwzględnianych wartości znaczącej wysokości fali, H_s ,

N_T – liczba uwzględnianych wartości charakterystycznego okresu fali, T_1 ,

N_k – liczba uwzględnianych wartości kątów kursowych okrętu względem kierunku fal,

P_{ij} – prawdopodobieństwo wystąpienia warunków falowania określonych wartością H_{si} znaczącej wysokości fali i wartością T_{1j} charakterystycznego okresu,

P_k – prawdopodobieństwo wystąpienia kąta kursowego μ_k .

Uwagi:

- 1) Należy założyć, że okręt jest zanurzony do poziomu zanurzenia konstrukcyjnego, a wszelkie kąty kursowe względem kierunku fal są jednakowo prawdopodobne, tzn. $P_k = 1/N_k$.
- 2) Wartości P_{ij} należy wyznaczać wg 17.2.2.10.
- 3) Wzór 17.2.2.9 może być modyfikowany w sposób uzgodniony z PRS, w celu uwzględnienia reakcji kapitana okrętu w formie zmiany kąta kursowego lub redukcji prędkości okrętu, gdy występują takie zjawiska jak sleming, nadmierne przechyły boczne lub wynurzanie pędników.

17.2.2.10 Dla okrętów o nieograniczonym rejonie żeglugi, w obliczeniach wg wzoru 17.2.2.9 wystarczy zastosować H_{si} i T_{1j} oraz P_{ij} podane w tabeli 17.2.2.10.

Tabela 17.2.2.10 Prawdopodobieństwo wystąpienia różnych stanów morza

T_2 [s]	1,75	2,85	3,95	4,91	5,72	6,50	7,31	8,27	9,30	10,22	11,15	12,21	13,49	15,09	17,11	19,38
26																
22															1,54E-5	1,52E-5
20														8,41E-6	1,54E-5	4,90E-5
18														5,05E-5	1,01E-4	9,31E-5
16													1,05E-4	2,20E-4	3,49E-4	9,91E-5
14												1,79E-4	4,17E-4	9,95E-4	4,21E-4	1,23E-4
12											4,29E-4	8,71E-4	2,12E-3	1,38E-3	3,10E-3	1,17E-4
10											4,36E-4	6,20E-4	3,61E-4	1,68E-4	4,97E-4	1,05E-4
9									7,09E-4	5,52E-4	3,73E-4	2,18E-4	8,15E-5	2,19E-5	4,98E-5	4,98E-5
8								3,04E-4	3,34E-4	7,14E-4	4,61E-4	2,07E-4	7,57E-5	2,13E-4	5,11E-5	5,11E-5
7								2,73E-4	9,11E-4	8,55E-4	4,43E-4	1,95E-4	7,00E-5	2,19E-4	5,11E-5	5,11E-5
6								7,09E-4	1,69E-3	1,35E-3	8,40E-4	4,14E-4	1,76E-4	7,18E-4	2,20E-4	4,98E-5
5							3,04E-4	7,39E-4	3,57E-4	1,52E-4	7,53E-4	3,75E-4	1,80E-4	7,21E-4	2,13E-4	4,95E-5
4					3,04E-4	6,07E-4	3,64E-4	3,92E-4	1,55E-4	7,25E-4	3,84E-4	1,80E-4	7,00E-4	2,13E-4	4,72E-4	4,72E-4
3				3,04E-4	8,81E-4	4,89E-4	4,32E-4	3,67E-4	1,44E-4	7,28E-4	3,75E-4	1,76E-4	6,83E-4	1,98E-4	4,60E-4	4,60E-4
2			3,04E-4	2,02E-4	5,71E-4	5,19E-4	3,34E-4	2,53E-4	1,18E-4	6,96E-4	3,59E-4	1,63E-4	6,49E-4	1,98E-4	3,53E-4	3,53E-4
1		1,32E-3	2,53E-3	5,09E-3	3,85E-3	2,94E-3	2,13E-3	2,10E-3	8,10E-4	5,92E-4	2,73E-4	1,112E-3	3,75E-4	7,25E-5	1,59E-5	1,59E-5
0	2,02E-3	2,33E-3	2,10E-3	1,75E-3	1,45E-3	1,52E-3	9,52E-4	7,79E-4	3,04E-4	2,43E-4	1,27E-4	5,98E-5	2,38E-5	7,25E-5	1,69E-5	1,69E-5
T_2 [s]	1,75	2,85	3,95	4,91	5,72	6,50	7,31	8,27	9,30	10,22	11,15	12,21	13,49	15,09	17,11	19,38

Obowiązuje następująca zależność pomiędzy wartościami T_2 stosowanymi w tej tabeli, a wartościami T_1 :

$$T_1 = 1,086T_2 \quad (17.2.2.10)$$

Wartości P_{ij} w tabeli 17.2.2.10 określają prawdopodobieństwo wystąpienia różnych warunków falowania w rejonie północnego Atlantyku.

W przypadku okrętów przeznaczonych do żeglugi w ściśle określonych akwenach wartości P_{ij} należy przyjmować na podstawie dostępnych danych statystycznych.

17.2.3 Badania modelowe

17.2.3.1 Badania modelowe mogą być wymagane w sytuacjach określonych w 17.2.1.3.

Zalecane jest uzgodnienie z PRS, przed rozpoczęciem badań modelowych, ich zakresu i sposobu przeprowadzenia.

17.2.3.2 Należy przedstawić PRS dokumentację dotyczącą badań modelowych, nie później niż w chwili dostarczenia do zatwierdzenia rysunków konstrukcyjnych kadłuba okrętu.

Wymagany jest następujący zakres dokumentacji:

- dane dotyczące konstrukcji modelu i oprzyrządowania pomiarowego;
- opis parametrów basenu modelowego i jego wyposażenia pomiarowego;
- opis sposobu generowania fal w basenie i pomiaru parametrów falowania;
- wyniki pomiarów w formie tabelarycznej lub wykresnej i przeliczenie tych wyników na wartości odpowiadające okrętowi.

17.2.3.3 Wymagane jest wykonanie pomiarów odzewu modelu na falowanie w następującym minimalnym zakresie:

rodzaje falowania – falowanie regularne i nieregularne;

kąty kursowe – 180° (model porusza się w kierunku przeciwnym do fal, prostopadle do grzbietów fal), 0°, 45° lub 315°, 90°, 135° lub 225°;

prędkość modelu – prędkości odpowiadające prędkości zerowej, prędkości marszowej i połowie prędkości marszowej okrętu;

częstości kątowe falowania regularnego – przynajmniej sześć częstości odpowiadających długościom fal z przedziału od zera do 1,5 L_0 .

17.2.3.4 Należy wykonać pomiary następujących, istotnych ze względu na wytrzymałość kadłuba okrętu, parametrów odzewu modelu okrętu na falowanie:

- falowych momentów zginających w płaszczyznach pionowej i poziomej oraz falowego momentu skręcającego (dla okrętów z szerokimi otworami w pokładzie górnym), dla $\frac{x}{L_0} = 0$ i $\frac{x}{L_0} = \pm 0,25$;
- przyspieszeń pionowych w rejonie owręza, dziobu i rufy;
- ciśnień dynamicznych wody na dno i burty w rejonach jak wyżej;
- ciśnień od slemingu dennego i burtowego przy typowych spodziewanych zanurzeniach i prędkościach okrętu.

17.3 Wiatr

17.3.1 Uwzględnienie obciążeń od wiatru może być konieczne przy wyznaczeniu sił oddziaływania na kadłub okrętu umocowanych do niego elementów wyposażenia kadłuba, uzbrojenia, itp.

Obliczeniowe wartości tych obciążeń należy wyznaczać dla prędkości wiatru $V = 40$ m/s.

17.3.2 Siły obciążające poszczególne elementy mocowane do kadłuba okrętu, spowodowane działaniem wiatru, należy obliczać wg wzoru:

$$F = 0,5\rho_p C_s C_H AV^2, \text{ [N]} \quad (17.3.2)$$

gdzie:

F – siła działająca na element, [N];

ρ_p – gęstość powietrza, równa 1,222 kg/m³;

- C_s – bezwymiarowy współczynnik zależny od kształtu elementu; wartości C_s dla najczęściej występujących kształtów podano w tabeli 17.3.2-1;
- C_H – bezwymiarowy współczynnik zależny od wysokości nad poziomem wody; wartości C_H podano w tabeli 17.3.2-2;
- A – powierzchnia rzutu elementu na płaszczyznę prostopadłą do kierunku wiatru, [m²];
- V – prędkość wiatru, [m/s].

Tabela 17.3.2-1
Wartości współczynnika C_s

Kształt/rodzaj elementu	C_s
kulisty	0,4
cyldryczny	0,5
liny	1,2
wyizolowane wiązary	1,3
drobne elementy wyposażenia	1,4
dźwigi, żurawie	1,5
pokładówki	1,1

Tabela 17.3.2-2
Wartości współczynnika C_H

Wysokość nad poziomem wody, [m]	C_H
0 – 15,3	1,00
15,3 – 30,5	1,10
30,5 – 46,0	1,20
46,0 – 61,0	1,30

17.4 Lód

17.4.1 Wzmocnienia lodowe

Okręty przewidziane do eksploatacji w akwenach, w których może wystąpić pokrywa lodowa lub kra powinny mieć odpowiednio wzmocniony kadłub – zgodnie z wymaganiami rozdziału C/11.

17.4.2 Oblodzenie okrętu

17.4.2.1 W stosunku do okrętów przewidzianych do okresowej eksploatacji w rejonach arktycznych lub antarktycznych PRS może wymagać spełnienia kryteriów wytrzymałości podanych w niniejszej części *Przepisów*, dla obciążeń powiększonych o obciążenia od przewidywanego oblodzenia części nadwodnej, o wartościach podanych w 17.4.2.2.

17.4.2.2 W analizie wytrzymałości wzdłużnej kadłuba wg wymagań rozdziału 15 oraz w analizie wytrzymałości lokalnej wg rozdziału 13 i wytrzymałości strefowej wg rozdziału 14, dla okrętów zagrożonych oblodzeniem należy uwzględnić obciążenie zewnętrznych powierzchni kadłuba w części nadwodnej warstwą lodu, dodatkowe w stosunku do standardowo wymaganych obciążeń, o następujących wartościach:

- ciśnienie 1 kPa (warstwa lodu o grubości 100 mm) działające na powierzchni poziome lub zbliżone do poziomych,
- obciążenie pionowe $0,25 \text{ kN/m}^2$ (warstwa lodu o grubości 25 mm) działające na powierzchni pionowe lub zbliżone do pionowych.

17.5 Ruchy i przemieszczenia kadłuba

17.5.1 Zasady ogólne

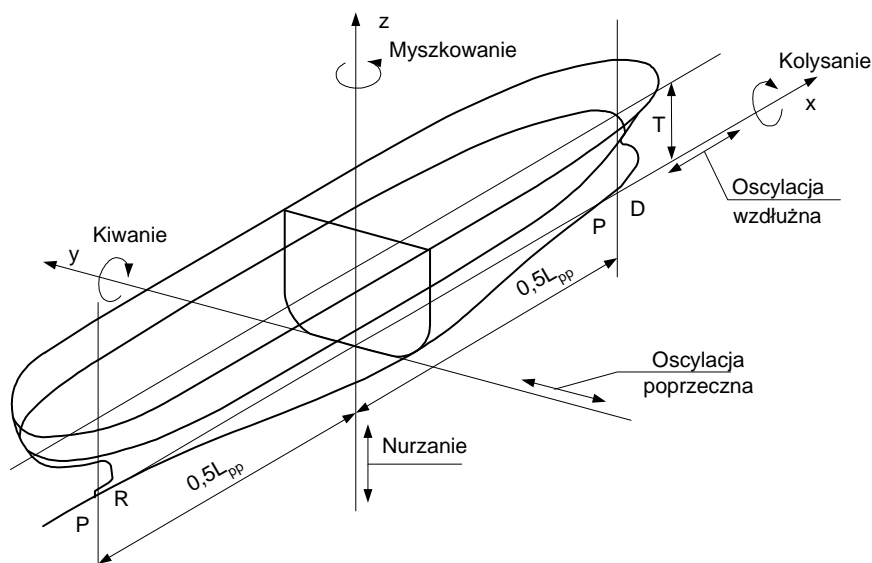
17.5.1.1 W niniejszym rozdziale podano wzory służące do określania ruchów (przemieszczeń, prędkości i przyspieszeń) okrętów w warunkach morskich wskutek falowania wody.

17.5.1.2 Określane ruchy są wielkościami, których prawdopodobieństwo przekroczenia wynosi 10^{-8} .

17.5.2 Definicje

17.5.2.1 Układ współrzędnych

Układ współrzędnych oraz nazwy poszczególnych rodzajów oscylacji okrętu na fali zdefiniowano na rys. 17.5.2.1.



Rys. 17.5.2.1 Definicja układu współrzędnych oraz nazwy oscylacji okrętu na fali

17.5.2.2 Współczynnik falowy

Współczynnik falowy C_w , będący podstawowym parametrem przy określaniu falowych obciążeń kadłuba oraz ruchów okrętu, należy obliczać wg wzoru:

$$C_w = \begin{cases} 0,0792L_0 & \text{dla } L_0 \leq 100 \text{ m,} \\ 10,75 - \left(\frac{300-L_0}{100}\right)^{3/2} & \text{dla } 100 \text{ m} < L_0 < 300 \text{ m,} \end{cases} \quad (17.5.2.2)$$

17.5.3 Amplitudy przemieszczeń składowych

17.5.3.1 Amplituda nurzania

Amplitudę nurzania można obliczać wg wzoru:

$$Z_A = 12 - 0,1T, \quad [\text{m}] \quad (17.5.3.1)$$

T – patrz 1.2.2.

17.5.3.2 Amplituda kiwania

Amplitudę kiwania można obliczać wg wzoru:

$$\Theta_A = 4 \left(1 - 4,5 \frac{T}{L_0} \right) \frac{C_w}{L_0}, \quad [\text{rad}] \quad (17.5.3.2)$$

17.5.3.3 Amplituda kołysania

Amplitudę kołysania (kął przechyłu) można obliczać wg wzoru:

$$\Phi_A = 35 \frac{T}{B^2 + 50}, \quad [\text{rad}] \quad (17.5.3.3)$$

17.5.3.4 Amplituda oscylacji wzdłużnej

Amplitudę oscylacji wzdłużnej można obliczać wg wzoru:

$$X_A = 8 \frac{1 - 0,03T}{1 - 0,036v}, \quad [\text{m}] \quad (17.5.3.4)$$

v – prędkość marszowa okrętu, [węzły].

17.5.3.5 Amplituda oscylacji poprzecznej

Amplitudę oscylacji poprzecznej można obliczać wg wzoru:

$$Y_A = 12 - 0,25T, \quad [\text{m}] \quad (17.5.3.5)$$

17.5.3.6 Amplituda myszkowania

Amplitudę myszkowania można obliczać wg wzoru:

$$\Psi_A = 0,25 \left(1 - 0,008 \frac{L_0}{B} \right), \quad [\text{rad}] \quad (17.5.3.6)$$

17.5.3.7 Amplituda ruchu względnego

Amplitudę przemieszczenia punktu $P(x, y, z)$ okrętu względem powierzchni fali można obliczać wg wzoru:

$$S_A = \sqrt{(0,3Z_A)^2 + [(x+0,05L_0)\Theta_A]^2 + [0,8y\Phi_A]^2}, \quad [\text{m}] \quad (17.5.3.7)$$

Z_A, Θ_A, Φ_A – patrz 17.5.3.1, 17.5.3.2 i 17.5.3.3;

x, y – współrzędne punktu P – patrz rys. 17.5.2.1.

17.5.4 Wypadkowe amplitudy przyspieszeń

17.5.4.1 Wypadkowe przyspieszenie pionowe

Wypadkowe przyspieszenie liniowe punktu P na okręcie, w kierunku osi pionowej (bez uwzględniania przyspieszenia ziemskiego) należy obliczać wg wzoru:

$$a_v = (1+0,036v)^2 \frac{25}{L_0} \sqrt{Z_A^2 + [1,6(x+0,05L_0)\Theta_A]^2 + [0,5y\Phi_A]^2}, \quad [\text{m/s}^2] \quad (17.5.4.1)$$

v – prędkość marszowa okrętu, [węzły];

Z_A, Θ_A, Φ_A – patrz 17.5.3.1, 17.5.3.2 i 17.5.3.3;

x, y – współrzędne punktu P – patrz rys. 17.2.1.

17.5.4.2 Wypadkowe przyspieszenie poprzeczne

Wypadkowe przyspieszenie liniowe punktu P na okręcie, w kierunku osi poprzecznej (z uwzględnieniem składowej przyspieszenia ziemskiego) należy obliczać wg wzoru:

$$a_T = (1+0,036v)^2 \frac{25}{L_0} \sqrt{(0,8Y_A)^2 + [(x+0,05L_0)\Psi_A]^2 + [(z-T)\Phi_A]^2}, \quad [\text{m/s}^2] \quad (17.5.4.2)$$

v – prędkość marszowa okrętu, [węzły];

Θ_A, Y_A, Ψ_A – patrz 17.5.3.2, 17.5.3.5 i 17.5.3.6;

x, z – współrzędne punktu P – patrz rys. 17.5.2.1.

17.5.4.3 Wypadkowe przyspieszenie wzdłużne

Wypadkowe przyspieszenie liniowe punktu P na okręcie, w kierunku osi wzdłużnej (z uwzględnieniem składowej przyspieszenia ziemskiego) należy obliczać wg wzoru:

$$a_L = (1+0,036v)^2 \frac{25}{L_0} \sqrt{(0,2X_A)^2 + [0,5y\Psi_A]^2 + [2(z-T)\Theta_A]^2}, \quad [\text{m/s}^2] \quad (17.5.4.3)$$

v – prędkość marszowa okrętu, [węzły];

Θ_A, X_A, Ψ_A – patrz 17.5.3.2, 17.5.3.4 i 17.5.3.6;

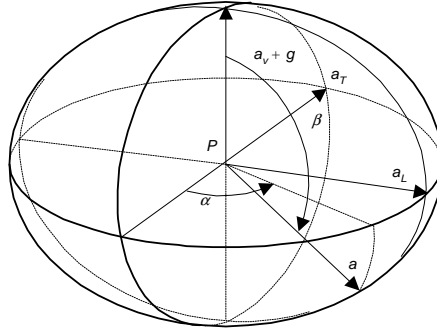
y, z – współrzędne punktu P – patrz rys. 17.5.2.1.

17.5.4.4 Wypadkowe przyspieszenie w dowolnym kierunku

Wypadkowe przyspieszenie liniowe a punktu P na okręcie w dowolnym kierunku może być określone z elipsoidy (rys. 17.5.4.4), której osiami głównymi są $(a_v + g)$, a_T i a_L ;

a_v , a_T i a_L – patrz 17.5.4.1, 17.5.4.2 i 17.5.4.3,

$P(x, y, z)$ – punkt, w którym obliczane są przyspieszenia.



Rys. 17.5.4.4 Sposób określania przyspieszenia a punktu P okrętu w dowolnym kierunku

17.6 Miejscowe obciążenia konstrukcji

17.6.1 Wymagania ogólne

17.6.1.1 Wartości obciążeń obliczeniowych określone według wskazań podanych niżej mają zastosowanie przy wymiarowaniu płyt poszycia, usztywnień, wiązarów zwykłych, złożonych układów wiązarów i wiązań typu podporowego wchodzących w skład poszczególnych konstrukcji kadłuba. Są to wartości obliczeniowe, które mogą być zastosowane wyłącznie w ramach przyjętej koncepcji wymagań.

17.6.1.2 Przy ustalaniu obliczeniowych obciążeń konstrukcji zostały uwzględnione statyczne i dynamiczne składowe obciążenia wywołane przez:

- oddziaływanie morza (patrz 17.6.3, 17.6.4),
- oddziaływanie płynów w zbiornikach (patrz 17.6.5),
- oddziaływanie ładunków suchych, zapasów, wyposażenia i uzbrojenia (patrz 17.6.7).

17.6.1.3 W ogólnym przypadku na rozpatrywane poszycie i podpierające je wiązania mogą działać obciążenia z obu stron. Należy je określać niezależnie i jako obciążenia obliczeniowe przyjąć wartości wyższe. W szczególnych przypadkach jako obciążenie obliczeniowe można przyjąć różnicę obciążeń działających po obu stronach poszycia, jeżeli oba obciążenia zawsze działają równocześnie.

17.6.1.4 Zbiorniki służące do przewozu paliwa lub olejów powinny być obliczone dla cieczy o gęstości równej gęstości wody morskiej:

$$\rho = 1,025 \text{ t/m}^3.$$

17.6.1.5 Konstrukcja zbiorników do przewozu cieczy o większej gęstości podlega odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

17.6.2 Oznaczenia

- b_a – największa poprzeczna odległość, mierzona równoległe do osi y , od punktu przyłożenia wypadkowej obciążenia do górnego naroża zbiornika najbardziej odległego od tego punktu, [m];
- b_s – szerokość szczytu zbiornika, [m];
- b_z – odległość, mierzona równoległe do osi y , pomiędzy bocznymi ścianami zbiornika lub wzdłużnymi grodziami przelewowymi na wysokości rozpatrywanego punktu przyłożenia wypadkowej obciążenia, [m];
- g – przyspieszenie ziemskie, [m/s²]; należy przyjmować $g = 9,81$ m/s²;
- h_a – pionowa odległość mierzona od punktu przyłożenia wypadkowej obciążenia do szczytu zbiornika lub zrębnicy luku, [m]; dla wysokich, wąskich zbiorników wartość h_a można przyjmować jako nie większą niż 15-krotna najmniejsza szerokość (lub długość) zbiornika mierzona nad punktem przyłożenia wypadkowej obciążenia;
- h_g – pionowa odległość mierzona od punktu przyłożenia obciążenia do szczytu grodzi, [m].
Dopuszczalne jest zastosowanie mniejszej wartości h_g potwierdzonej analizą niezatapialności okrętu;
- h_p – pionowa odległość mierzona od punktu przyłożenia wypadkowej obciążenia do górnego zakończenia rury odpowietrzającej, [m];
- h_0 – pionowa odległość mierzona od wodnicy odpowiadającej wyporności pełnej okrętu do punktu przyłożenia wypadkowej obciążenia, [m];
- h_z – wysokość zbiornika, [m];
- l_a – największa wzdłużna odległość, mierzona równoległe do osi x , od punktu przyłożenia wypadkowej obciążenia do najbardziej oddalonego górnego naroża zbiornika, [m];
- l_s – długość szczytu zbiornika, [m];
- l_z – odległość, mierzona równoległe do osi x , pomiędzy poprzecznymi grodziami szczelnymi lub przelewowymi zbiornika na wysokości rozpatrywanego elementu konstrukcyjnego, [m];
- $p_0 = 15$ kPa, ale przyjęta wartość p_0 powinna być nie mniejsza od ciśnienia p_v ;
- p_v – ciśnienie, przy którym otwiera się zawór bezpieczeństwa, [kPa];
- T_m – minimalne zanurzenie eksploatacyjne okrętu, [m]; wartość T_m należy w zasadzie przyjmować jako równą $0,35T$;
- ρ – gęstość ładunku, balastu lub zapasów, [t/m³];
- $P(x, y, z)$ – punkt okrętu, w którym obliczane jest ciśnienie od działania morza;
- p_i – ciśnienie od działania morza w punkcie P , $i = 1, \dots, 5$, [kPa].

17.6.3 Ciśnienia zewnętrzne na kadłubie okrętu

17.6.3.1 W punkcie $P(x, y, z)$, należącym do burty okrętu poniżej wodnicy konstrukcyjnej lub należącym do dna, ciśnienie zewnętrzne od działania morza należy określać wg wzoru:

$$p_1 = 0,5 p_{ab} + 10(T - z), \quad [\text{kPa}] \quad (17.6.3.1-1)$$

$$p_{db} = (1+0,036v) [0,7Z_A + k_x \theta_A + 3|y|\Phi_A] + 0,02L_0 \times [10-0,25(T-z)], \text{ [kPa]} \quad (17.6.3.1-2)$$

$$k_x = \begin{cases} -4(x+0,05L_0) & \text{dla } x < -0,05L_0 \\ 5,4(x+0,05L_0) & \text{dla } x \geq -0,05L_0 \end{cases} \quad (17.6.3.1-3)$$

- v – prędkość marszowa okrętu, [węzły];
 Z_A, θ_A, Φ_A – patrz 17.5.3.1 do 17.5.3.3;
 x, y, z – współrzędne punktu $P(x, y, z)$ – patrz rys. 17.5.2.1.

17.6.3.2 W punkcie $P(x, y, z)$, należącym do burty na poziomie nie osłoniętego pokładu, ciśnienie od działania morza należy określać wg wzoru:

$$p_2 = 0,5 p_{ds}, \text{ [kPa]} \quad (17.6.3.2-1)$$

$$p_{ds} = \rho g [S_A - (z - T)], \text{ [kPa]} \quad (17.6.3.2-2)$$

$$\rho = 1,025 \text{ t/m}^3;$$

przy czym należy przyjąć, że: $[S_A - (z - T)] \geq 2$;

S_A – patrz 17.5.3.7;

$z - T$ – odległość między wodnicą konstrukcyjną a punktem P .

17.6.3.3 Pomiędzy poziomem pokładu a wodnicą konstrukcyjną ciśnienie należy określać za pomocą interpolacji liniowej. W krańcowych punktach ciśnienie określone jest wzorami 17.6.3.1-1 i 17.6.3.1-2.

17.6.3.4 W punkcie $P(x, y, z)$, należącym do nie osłoniętego pokładu, ciśnienie zewnętrzne od działania morza należy określać wg wzoru:

$$p_3 = 0,5 p_{dd}, \text{ [kPa]} \quad (17.6.3.4-1)$$

$$p_{dd} = 0,5 \rho (g + 0,5a_v) [S_A - (z - T)], \text{ [kPa]} \quad (17.6.3.4-2)$$

przy czym należy przyjąć, że: $[S_A - (z - T)] \geq 2$;

S_A i a_v – patrz 17.5.3.7 i 17.5.4.1;

$$\rho = 1,025 \text{ t/m}^3.$$

17.6.3.5 Ciśnienie zewnętrzne działające na dno i burty okrętu, które może być odjęte od ciśnień wewnętrznych w zbiornikach przyległych do tych konstrukcji, odpowiada minimalnemu zanurzeniu eksploatacyjnemu okrętu na wodzie spokojnej. Jego wartość należy określać wg wzoru:

$$p = \rho g (T_m - z), \text{ [kPa]} \quad (17.6.3.5)$$

przy czym powinno być $p \geq 0$;

$$\rho = 1,025 \text{ t/m}^3;$$

z – współrzędna rozpatrywanego punktu.

17.6.4 Ciśnienia zewnętrzne działające na nadbudowy

17.6.4.1 Wywołane przez środowisko morskie ciśnienia zewnętrzne działające na nie osłonięte ściany nadbudówek i pokładówek (szybu maszynowego) można określać wg wzorów podanych w 17.6.4.2 i 17.6.4.3.

17.6.4.2 W punkcie $P(x, y, z)$ należącym do nie osłoniętej dziobowej ściany nadbudówki lub pokładówki

$$p_4 = 3p_{dd}, \quad [\text{kPa}] \quad (17.6.4.2)$$

przy czym należy przyjąć, że: $[S_A - (z - T)] \geq 1$;
 p_{dd} – patrz 17.6.3.4.

17.6.4.3 W punkcie $P(x, y, z)$ należącym do nie osłoniętych ścian bocznych oraz tylnych nadbudówek i pokładówek

$$p_5 = 0,5p_{ds}, \quad [\text{kPa}] \quad (17.6.4.3)$$

przy czym należy przyjąć, że: $[S_A - (z - T)] \geq 1$;
 S_A – patrz 17.5.3.7;
 z – współrzędna rozpatrywanego punktu;
 p_{ds} – patrz 17.6.3.2.

17.6.5 Ciśnienia w przypadkach awaryjnych

17.6.5.1 Ciśnienie obliczeniowe dla grodzi wodoszczelnej (po zalaniu przedziału) należy określać wg wzoru:

$$p_{d1} = \rho g h_g, \quad [\text{kPa}] \quad (17.6.5.1)$$

$\rho = 1,025 \text{ t/m}^3$;

17.6.5.2 Ciśnienie obliczeniowe dla dna wewnętrznego po zalaniu dna podwójnego należy przyjąć nie mniejsze niż ciśnienie obliczone wg wzoru:

$$p_{d2} = \rho g T, \quad [\text{kPa}] \quad (17.6.5.2)$$

$\rho = 1,025 \text{ t/m}^3$;

Ciśnienie to jest również ciśnieniem minimalnym przy wymiarowaniu denników i wzdłużników szczelnych stanowiących ograniczenia zbiorników dna podwójnego.

17.6.6 Ciśnienie cieczy w zbiornikach

17.6.6.1 Wymagania ogólne

Jeżeli zbiorniki przeznaczone do przewozu cieczy mogą być albo wypełnione, albo puste, to ciśnienia obliczeniowe działające na poszczególne konstrukcje ograniczające te zbiorniki należy określać według 17.6.6.2. Konstrukcjami ograniczającymi zbiorniki są: konstrukcje dna zewnętrznego i wewnętrznego, burt, obła, pokładów platform, szczelnych ścian (grodzi) zbiorników o dowolnym usytuowaniu przestrzennym. Konstrukcje te mogą być wspólnymi ograniczeniami sąsiadujących zbiorników i w tym przypadku należy rozpatrzyć je jako ograniczenie każdego zbiornika oddzielnie.

17.6.6.2 Ciśnienie cieczy w zbiornikach całkowicie zapelnionych

Jako ciśnienia obliczeniowe dla konstrukcji ograniczających zbiorniki całkowicie zapelnione należy przyjąć największe z ciśnień p_6 ÷ p_{10} , obliczonych według następujących wzorów:

$$p_6 = (g + 0,5a_v) \rho h_a, \quad [\text{kPa}] \quad (17.6.6.2-1)$$

$$p_7 = 0,67 \rho g h_p, \quad [\text{kPa}] \quad (17.6.6.2-2)$$

$$p_8 = g \rho h_a + p_0, \quad [\text{kPa}] \quad (17.6.6.2-3)$$

$$p_9 = g \rho \left[0,67 (h_a + \Theta_A l_a) - 0,12 \sqrt{h_z l_s \Theta_A} \right], \quad [\text{kPa}] \quad (17.6.6.2-4)$$

$$p_{10} = g \rho \left[0,67 (h_a + \Phi_A b_a) - 0,12 \sqrt{h_z b_s \Phi_A} \right], \quad [\text{kPa}] \quad (17.6.6.2-5)$$

a_v – według 17.5.4.1;

Φ_A – według 17.5.3.3;

Θ_A – według 17.5.3.2.

Wzory 17.6.6.2-4 i 17.6.6.2-5 należy uwzględnić przy wymiarowaniu konstrukcji ograniczających zbiorniki ładunkowe, zbiorniki na zapasy lub zbiorniki balastowe, jeżeli długość zbiornika przekracza $0,15L_0$ lub największa szerokość zbiornika przekracza $0,4B$.

17.6.6.3 Ciśnienie cieczy w zbiornikach częściowo zapelnionych

Jeżeli zbiorniki mogą być podczas rejsu zapelnione częściowo, w zakresie od 20 do 90% swej wysokości, to ciśnienie obliczeniowe (dla zbiorników o parametrach $l_z \leq 0,13 L_0$ i $b_z \leq 0,56B$) należy określać jako większą z wartości ciśnienia obliczeniowego dla zbiorników zapelnionych całkowicie, według 17.6.6.2, oraz odpowiednio jako wartość nie mniejszą od obliczonej wg wzorów:

– dla elementów konstrukcyjnych umieszczonych w odległości mniejszej niż $0,25l_z$ od poprzecznych grodzi końcowych zbiornika:

$$p_{11} = \rho (4 - 0,005L_0) l_z, \quad [\text{kPa}] \quad (17.6.6.3-1)$$

– dla elementów konstrukcyjnych umieszczonych w odległości mniejszej niż $0,25b_z$ od ścian wzdłużnych zbiornika:

$$p_{12} = \rho (3 - 0,01B) b_z, \quad [\text{kPa}] \quad (17.6.6.3-2)$$

Dla zbiorników o parametrach $l_z > 0,13 L_0$ lub $b_z > 0,56 B$ wartości ciśnień p_{11} lub p_{12} podlegają odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS. W odniesieniu do okrętów o długości $50 \text{ m} \leq L_0 < 100 \text{ m}$ odrębne rozpatrzenie przez PRS przewidziane jest w przypadku ciśnienia p_{11} , gdy $l_z > 0,2 L_0$.

17.6.6.4 Wartość ciśnienia obliczeniowego przyjęta dla średników wiązarów w zbiornikach ładunkowych, zbiornikach na zapasy i zbiornikach balastowych powinna być nie mniejsza niż 20 kPa.

17.6.6.5 Ciśnienie obliczeniowe poprzecznych i wzdłużnych grodzi przelewowych nie może być mniejsze niż ciśnienie obliczone wg wzorów 17.6.6.3-1 i 17.6.6.3-2.

17.6.6.6 Na okrętach o długości $L_0 \geq 50$ m sprawdzeniu na działanie ciśnienia p_{11} , a na okrętach o długości $L_0 \geq 100$ m również na działanie ciśnienia p_{12} podlegają w podanym rejonie konstrukcje burt, pokładów, grodzi wzdłużnych i poprzecznych stanowiących ograniczenia zbiorników, jeżeli wymaganie takiego sprawdzenia w rozpatrywanym przypadku ma zastosowanie.

17.6.7 Obciążenie od ładunku, zapasów i wyposażenia

17.6.7.1 Ciśnienie działające na pokłady i dno okrętu w przedziałach ładunkowych lub magazynowych, pochodzące od ładunku drobnicowego, zapasów lub wyposażenia należy obliczać wg wzoru:

$$p_{13} = (g + 0,5a_v)q, \text{ [kPa]} \quad (17.6.7.1)$$

gdzie :

a_v – według 17.5.4.1,

$q = \rho h$ – masa ładunku lub wyposażenia, [t], przypadająca na 1 m² powierzchni obciążonej,

ρ – gęstość ładunku obciążającego powierzchnię pokładu lub dna okrętu, [t/m³],

h – wysokość warstwy ładunku lub zapasów obciążających powierzchnię pokładu lub dna okrętu, [m]. Wysokość h należy mierzyć pionowo od powierzchni obciążonej do pokładu powyżej, a w obrębie luku ładunkowego – do górnej krawędzi zębownicy luku.

Zalecane jest aby przyjęta wartość ρ była nie mniejsza niż 0,7 t/m³.

Dopuszczalna wartość q może być także założona wprost przez projektanta okrętu i podana w instrukcji kontroli obciążenia okrętu.

17.6.7.2 Dla pokładów osłoniętych nieładunkowych minimalne wartości q są następujące:

$q = 1,6 \text{ t/m}^2$ – dla platform w maszynowni, (mniejsze wartości mogą być zastosowane, jeżeli wynikają one z ciężaru elementów wyposażenia okrętu przewidzianych do ustawienia na platformie),

$q = 0,35 \text{ t/m}^2$ – dla pokładów w pomieszczeniach załogowych.

17.6.7.3 Jeżeli masa własna konstrukcji pokładu lub platformy przekracza 10% wartości q od masy ładunku, zapasów lub wyposażenia, to należy ją uwzględnić jako składnik obciążenia powiększając odpowiednio wartość q przyjętą do obliczeń wytrzymałościowych.

17.6.7.4 Jeżeli pokład otwarty przeznaczony jest do transportu ładunku pokładowego, to jako wartość ciśnienia obliczeniowego dla tego pokładu należy przyjąć $p = p_2$ (patrz 17.6.3.2) lub $p = p_{13}$ (patrz 17.6.7.1), zależnie od tego, która z nich jest większa.

Jeżeli wysokość ładowania na pokładzie otwartym jest mniejsza niż 2,3 m, to może być wymagane sumowanie obciążeń wywołanych ładunkiem i częściowym oddziaływaniem morza.

17.6.7.5 Minimalna wartość q dla otwartych pokładów ładunkowych wynosi $1,0 \text{ t/m}^2$.

17.6.7.6 Na okrętach ograniczonego rejonu żeglugi ciśnienia $p = p_{13}$, określone wg wzoru 17.6.7.1 dla ładunkowych pokładów osłoniętych, platform w siłowni, pokładów w pomieszczeniach oraz pokładu otwartego przeznaczonego do przewożenia ładunku pokładowego, mogą być obniżone zgodnie ze wskazaniami podanymi w 17.2.1.2.

17.6.7.7 Jeżeli potrzebna jest znajomość poprzecznych sił działających na pokład a pochodzących od ładunku pokładowego (na przykład w celu zwymiarowania poprzecznych podparć pokryw lukowych), to można je określać w identyczny sposób jak dla oddziaływania ciężkich sztuk ładunku lub wyposażenia, tzn. według 17.6.8.

17.6.8 Obciążenie od ciężkich sztuk ładunku, wyposażenia lub uzbrojenia

Składowe siły oddziałujących na konstrukcje podpierające i system mocowania ciężkich elementów ładunku, wyposażenia, uzbrojenia lub zapasów należy określać wg wzorów:

- siła pionowa działająca samodzielnie lub jednocześnie z siłą wzdłużną, określoną według wzoru 17.6.8-4:

$$P_v = (g + 0,5a_v)M, \quad [\text{kN}] \quad (17.6.8-1)$$

- siła pionowa rozpatrywana wraz z jednocześnie działającą siłą poprzeczną, określoną według wzoru 17.6.8-3:

$$P_{vt} = gM, \quad [\text{kN}] \quad (17.6.8-2)$$

- siła poprzeczna rozpatrywana wraz z jednocześnie działającą siłą pionową, określoną według wzoru 17.6.8-2:

$$P_t = 0,67a_T M, \quad [\text{kN}] \quad (17.6.8-3)$$

- siła wzdłużna rozpatrywana wraz z jednocześnie działającą siłą pionową, określoną według wzoru 17.6.8-1:

$$P_l = 0,67a_L M, \quad [\text{kN}] \quad (17.6.8-4)$$

M – masa rozpatrywanego elementu, [t];

a_v – przyspieszenie pionowe, $[\text{m/s}^2]$, określone według 17.5.4.1;

a_T – przyspieszenie poprzeczne, $[\text{m/s}^2]$, określone według 17.5.4.2;

a_L – przyspieszenie wzdłużne, $[\text{m/s}^2]$, określone według 17.5.4.3.

C WYMAGANIA DODATKOWE ZWIĄZANE Z ZADANIAMI OKRĘTU I WYMAGANIA SPECJALNE

1 ZASADY OGÓLNE

1.1 Wymagania ogólne

1.1.1 Część C zawiera wymagania dodatkowe związane z bojowymi funkcjami okrętu oraz wymagania specjalne odnoszące się do wzmocnień lodowych kadłuba.

1.1.2 Wymagania dotyczące odporności okrętu na działanie potencjalnych zagrożeń występujących w warunkach bojowych są określane przez Zamawiającego, w wymaganiach taktyczno-technicznych.

Wymagania określonej odporności okrętu mogą dotyczyć następujących zagadnień:

- wybuchu nadwodnego,
- wybuchu nawodnego,
- udaru od wybuchu podwodnego,
- wybuchu wewnętrznego,
- drgań ogólnych kadłuba/whipping,
- uderzenia odłamkami i pociskami broni małokalibrowej,
- przetrwania okrętu w warunkach znacznego uszkodzenia kadłuba,
- użycia broni masowego rażenia (NBC).

1.1.3 W dziale C określono sposób wyznaczenia obciążeń związanych z działaniami bojowymi. Parametry ładunku wybuchowego oraz siły wynikające z działania własnego uzbrojenia (np. armaty, wyrzutnie) są każdorazowo specyfikowane przez Zamawiającego.

Wielkość i rozłożenie przewożonego ładunku lub zapasów oraz obciążenia dla urządzeń przeładunkowych są każdorazowo określane przez Zamawiającego.

1.2 Wymagana dokumentacja

1.2.1 Do rozpatrzenia przez PRS należy przedstawić dokumentację pokazującą w jaki sposób zostały spełnione założone wymagania odporności okrętu na działania określonych zagrożeń oraz wymagania PRS odnoszące się do zadań okrętu.

Tam, gdzie PRS wymaga przeprowadzenia obliczeń metodami bezpośrednimi należy przedstawić informacje o programie obliczeniowym, założenia i dane do obliczeń (w tym obciążenia), model obliczeniowy oraz wyniki obliczeń.

W przypadku prób modelowych, przeprowadzonych dla weryfikacji obliczeń, należy przedstawić PRS opis modelu i zastosowanej aparatury badawczej, informację o obciążeniach i sposobie ich zadawania oraz wyniki prób.

1.2.2 Należy przedstawić obliczenia i rysunki konstrukcyjne, potwierdzające spełnienie wymagań odporności w odniesieniu do zagadnień wymienionych w p. 1.1.2.

1.2.3 Należy przedstawić rysunki pokazujące układ i szczegóły konstrukcyjne, oraz założone obciążenia, dla:

- wzmocnienia konstrukcji dna okrętów desantowych,
- lądowisk śmigłowców,
- pokładów do transportu pojazdów,
- wzmocnień w rejonach posadowienia armat i wyrzutni,
- wzmocnień w rejonie szybu stacji hydrolokacyjnej,
- wzmocnień w rejonie urządzeń przeładunkowych,
- masztów,
- innych specyficznych konstrukcji w zależności od typu okrętu.

1.2.4 Wzmocnienia lodowe należy przedstawić na rysunkach rejonów konstrukcji kadłuba, w których je zastosowano.

1.3 Materiały i spawanie

1.3.1 Okręty, które mają spełniać wymagania odporności na działanie określonych zagrożeń, powinny odpowiadać poniższym wymaganiom odnoszącym się do stosowania materiałów dodatkowych do spawania w wyznaczonych rejonach.

Wymagania mają zastosowanie do płyt, usztywnień, fundamentów, złączy spawanych, znajdujących się w rejonach wymienionych poniżej, o ile nie określono inaczej.

W przypadku wymagania odporności na:

Tabela

Rodzaj zakładanej odporności okrętu	Rejon kadłuba, do którego mają zastosowanie ww. wymagania
wybuch nadwodny i nawodny	nadwodna część kadłuba i nadbudówek oraz pokłady górne
udar od wybuchu podwodnego	poszycie kadłuba
wybuch wewnętrzny	grodzie poprzeczne i wzdłużne wliczone jako konstrukcje ochronne
drgania ogólne kadłuba/whipping	mocnica pokładowa, mocnica burtowa, pas obłowy, pas przystępkowy, stępka

1.3.2 W rejonie $-0,3L < x < 0,3L$ należy zastosować pasy zatrzymujące pęknięcia, wykonane ze stali kategorii E.

W przypadku wymagania odporności na udar od wybuchu podwodnego powyższe pasy obejmują mocnicę pokładową, mocnicę burtową, pas obłowy, pas przystępkowy oraz pas stępkowy.

W przypadku wymagania odporności na drgania ogólne kadłuba/whipping pasy te obejmują mocnicę pokładową, mocnicę burtową, pas obłowy, pas przystępkowy oraz stępkę.

Jeżeli poszycie kadłuba jest wykonane całkowicie ze stali kategorii D, to zakres zastosowania stali kategorii E będzie rozpatrywany przez PRS odrębnie.

1.3.3 Do wykonania połączeń spawanych elementów konstrukcji ze stali o różnych kategoriach (A, B, D, E) należy zastosować materiały dodatkowe do spawania właściwe dla stali o wyższej kategorii.

1.3.4 Do wykonania połączeń spawanych elementów konstrukcji ze stali o różnej wytrzymałości można zastosować dodatki właściwe dla stali o niższej wytrzymałości.

1.3.5 Należy stosować materiały dodatkowe do spawania zgodnie z wymaganiami określonymi w tabeli 1.3.5, w zależności od wytrzymałości i kategorii stali.

Tabela 1.3.5
Materiały dodatkowe do spawania

Kategoria stali	Normalnie stosowane materiały dodatkowe do spawania	Materiały dodatkowe do spawania konstrukcji wymienionych w p. 1.3.1, 1.3.2
A	1	1
AH32	1Y	2Y
AH36	1Y	2Y
AH40	2Y40	2Y40
B	2	2
D	2	3
DH32	2Y	3Y
DH36	2Y	3Y
DH40	3Y40	3Y40
E	3	4
EH32	3Y	4Y
EH36	3Y	4Y
EH40	4Y40	4Y40

2 ODPORNOŚĆ KADŁUBA NA USZKODZENIA

2.1 Wymagania ogólne

Ograniczenie strefy zniszczeń, spowodowanych działaniem środków bojowych o założonych parametrach, należy zapewnić przez właściwy podział kadłuba grodziami poprzecznymi, wzdłużnymi i pokładami posiadającymi odpowiednią wytrzymałość.

Dla zapewnienia wytrzymałości ogólnej w stanie awaryjnym zaleca się stosować w konstrukcji kadłuba wzdłużne wiązary skrzynkowe, umieszczone w rejonie pokładu po lewej i prawej burcie oraz odpowiednią konstrukcję wzdłużną rusztu dennego (stępka skrzynkowa itp).

2.2 Optymalizacja podziału grodziowego kadłuba

W celu optymalizacji podziału grodziowego kadłuba zaleca się wykonać analizę sposobów poprawienia odporności okrętu na uszkodzenia zgodnie z wytycznymi zawartymi w dokumentach NATO np. ANEP 43 „Ship Combat Survivability”. Sposoby poprawienia odporności okrętu na uszkodzenia należy analizować dla stanów awaryjnych na następujących poziomach:

- zapewnienia pływerności,
 - zapewnienia możliwości poruszania się,
 - zapewnienia zdolności bojowych.
-

3 WYMAGANIA ZWIĄZANE Z OBRONĄ PRZED BRONIĄ MASOWEGO RAŻENIA

3.1 Wymagania ogólne

Skutkom użycia broni masowego rażenia (NBC) należy przeciwdziałać, tworząc na okręcie zamknięte i autonomiczne strefy lub schrony chroniące ludzi przed konsekwencjami jej oddziaływania.

Odpowiednie wymagania są zawarte w podrozdziale 3.3. Zamawiający może zmienić zakres ich stosowania w zależności od typu i wielkości okrętu.

Zaleca się, aby przy podejmowaniu decyzji o położeniu stref i konstrukcji kadłuba ograniczających te strefy, brać pod uwagę wyniki analizy sposobów poprawienia odporności kadłuba na uszkodzenia (patrz podrozdział 2.2).

3.2 Określenia

Dla potrzeb rozdziału 3 wprowadza się następujące dodatkowe określenia:

Cytadela – gazoszczelny rejon okrętu ograniczony poszyciem kadłuba oraz ścianami i pokładami nadbudówek zawierający wewnątrz grupę gazoszczelnych stref.

Cytadela wyposażona jest w niezależne systemy niezbędne do stworzenia obszaru wolnego od zagrożeń powodowanych przez broń NBC.

Strefa – gazoszczelna grupa pomieszczeń wewnątrz cytadeli wyposażona w część lub wszystkie niezależne systemy konieczne do stworzenia obszaru wolnego od zagrożeń powodowanych przez broń NBC. Wymaga się, by w każdej strefie znajdował się niezależny system wentylacji/ klimatyzacji wyposażony w filtry NBC.

Granice stref powinny pokrywać się z poprzecznymi grodziami wodoszczelnymi i rozciągać się od stępki do najwyższego pokładu pokładówki lub nadbudówki.

Schron – wydzielone gazoszczelne pomieszczenie(a) na okręcie wyposażone w służę, węzeł zabiegów specjalnych i system filtrowentylacyjny.

Śluz – przedsionek do wchodzenia/wychodzenia z pomieszczeń gazoszczelnych, w tym także z węzłów zabiegów specjalnych.

3.3 Ogólne wymagania projektowe obrony przed bronią masowego rażenia

3.3.1 Wydzielenie cytadeli i jej podziału na strefy jest zalecane w przypadku okrętów względnie dużych. Konieczność spełnienia tego wymagania dla konkretnego okrętu określa Zamawiający.

3.3.2 Cytadelę należy podzielić na co najmniej cztery strefy, każda o długości nie większej niż 30 m. Łączna długość dwóch przyległych stref powinna być nie mniejsza niż $0,3L_w$ i nie większa niż $0,5L_w$. Zamawiający może jednak określić inny podział na strefy.

3.3.3 Każda strefa powinna być wyposażona w co najmniej dwie śluzy posiadające dostęp z pokładu otwartego. Przejścia pomiędzy strefami również należy wyposażyć w śluzę.

3.3.4 Kanały wentylacyjne i szyby nie mogą przechodzić przez grodzie stanowiące granice stref.

3.3.5 Na okrętach, na których nie zastosowano stref należy przewidzieć schrony.

3.3.6 Należy przewidzieć pomieszczenia, posiadające odpowiednią izolację, umiejscowione w głębi kadłuba, dające załodze osłonę przed promieniowaniem w czasie ataku nuklearnego. Całe wyposażenie zasadnicze takich pomieszczeń powinno być odporne na promieniowanie i impuls elektromagnetyczny.

3.3.7 Materiały zastosowane na konstrukcję okrętu i jego wyposażenie nie powinny emitować toksycznych gazów i wtórnego promieniowania.

3.3.8 Wszystkie pomieszczenia oraz wyposażenie znajdujące się zewnątrz cytadeli powinny być tak zaprojektowane i uszczelnione, aby po zabiegu dezaktywacji nie występowało gromadzenie się zanieczyszczeń reszkowych w otworach, wnękach itp.

3.3.9 Obsługa i konserwacja wyposażenia pokładowego powinna być możliwa przez personel noszący środki indywidualnej ochrony.

3.4 Wymagania odnoszące się do wytrzymałości konstrukcji gazoszczelnych

3.4.1 Konstrukcje gazoszczelne, niezależnie od spełnienia wymagań zawartych w dziale B i rozdziale, gdy mają one zastosowanie, powinny wytrzymać oddziaływanie ciśnienia równego podwojonej wartości maksymalnej różnicy ciśnień powietrza po obu stronach poszycia, jaka może powstać w czasie eksploatacji.

3.4.2 Wszystkie otwory w konstrukcjach gazoszczelnych powinny być zaopatrzone w gazoszczelne zamknięcia o wytrzymałości odpowiadającej konstrukcji, w której są umieszczone. Zamknięcia powinny spełniać odpowiednie wymagania zawarte w *Części III – Wyposażenie kadłubowe*.

4 OBCIĄŻENIA OD WYBUCHÓW I ODZEW KONSTRUKCJI

4.1 Zasady ogólne

Niniejszy rozdział 4 ma zastosowanie do okrętów, którym Zamawiający postawił wymogi odporności na oddziaływanie wybuchu powietrznego, podwodnego lub wewnątrz okrętu o określonych parametrach ładunku wybuchowego (podrozdział 4.2, 4.3, 4.4) albo odporności na oddziaływanie odłamków i pocisków małego kalibru (podrozdział 4.5).

4.2 Wybuch powietrzny

4.2.1 Postanowienia ogólne

4.2.1.1 Postanowienia niniejszego podrozdziału 4.2 mają zastosowanie dla przybliżonego określenia parametrów fali uderzeniowej spowodowanej wybuchem powietrznym oraz jej oddziaływania na okręt.

4.2.1.2 Parametry fali uderzeniowej oblicza się dla ładunków kulistych, których moc wybuchu określona jest równoważnikiem trotylowym. Promień ładunku wybuchowego należy obliczać wg wzoru:

$$r_0 = 0,052\sqrt[3]{G}, \text{ [m]} \quad (4.2.1.2)$$

G – masa ładunku trotylu (równoważnik trotylowy), [kg].

4.2.1.3 Ze względu na wysokość wybuchu rozróżnia się:

.1 wybuch nadwodny (powietrzny) – gdy:

$$H \geq 0,35\sqrt[3]{G}, \text{ [m]} \quad (4.2.1.3-1)$$

.2 wybuch nawodny – gdy:

$$H < 0,35\sqrt[3]{G}, \text{ [m]} \quad (4.2.1.3-2)$$

H – wysokość wybuchu nad powierzchnią morza (terenu), [m];

G – masa ładunku trotylu (równoważnik trotylowy), [kg].

4.2.2 Parametry powietrznej fali uderzeniowej

4.2.2.1 Maksymalne nadciśnienie fali uderzeniowej należy obliczać wg poniższych wzorów:

– dla wybuchu nadwodnego (powietrznego):

$$\Delta p_m = 98 \left[0,84 \frac{\sqrt[3]{G}}{R} + 2,7 \left(\frac{\sqrt[3]{G}}{R} \right)^2 + 7 \left(\frac{\sqrt[3]{G}}{R} \right)^3 \right], \text{ [kPa]} \quad (4.2.2.1-1)$$

– dla wybuchu nawodnego:

$$\Delta p_m = 98 \left[1,06 \frac{\sqrt[3]{G}}{R} + 4,3 \left(\frac{\sqrt[3]{G}}{R} \right)^2 + 14 \left(\frac{\sqrt[3]{G}}{R} \right)^3 \right], \text{ [kPa]} \quad (4.2.2.1-2)$$

G – masa ładunku trotylu (równoważnik trotylowy), [kg];

R – odległość od środka ładunku, [m].

4.2.2.2 Długość fazy nadciśnienia fali uderzeniowej należy obliczać wg wzoru:

$$\tau_+ = 0,0015 \sqrt[6]{G} \sqrt{R}, \text{ [s]} \quad (4.2.2.2)$$

G – masa skupionego ładunku trotylu (równoważnik trotylowy), [kg];

R – odległość od środka ładunku, [m].

4.2.2.3 Przebieg nadciśnienia w powietrznej fali uderzeniowej, w przedziale czasu $\langle 0; \tau_+ \rangle$, należy określić wg wzoru:

$$\Delta p(t) = \Delta p_m \left(1 - \frac{t}{\tau_+} \right)^n, \text{ [kPa]} \quad (4.2.2.3)$$

Δp_m – maksymalne nadciśnienie fali uderzeniowej wg 4.2.2.1, [kPa];

t – czas, [s];

τ_+ – długość fazy nadciśnienia fali uderzeniowej wg wzoru 4.2.2.2, [s];

$n = 1$ dla $\Delta p_m < 100$ kPa,

$= 2$ dla $\Delta p_m > 100$ kPa.

4.2.2.4 Impuls nadciśnienia fali uderzeniowej należy obliczać wg wzorów:

– dla wybuchu powietrznego:

$$i = 0,343 \frac{G^{2/3}}{R}, \text{ [kPa s]}, \text{ dla } 1 \leq \frac{R}{\sqrt[3]{G}} \leq 16 \quad (4.2.2.4-1)$$

– dla wybuchu nawodnego:

$$i = 0,529 \frac{G^{2/3}}{R}, \text{ [kPa s]}, \text{ dla } 1 \leq \frac{R}{\sqrt[3]{G}} \leq 16 \quad (4.2.2.4-2)$$

G – masa skupionego ładunku trotylu (równoważnik trotylowy), [kg];

R – odległość od środka ładunku, [m].

4.2.3 Obciążenie udarowe poszycia kadłuba

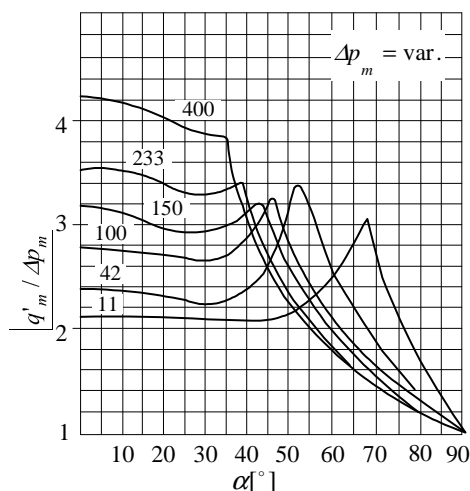
4.2.3.1 Maksymalne ciśnienie udarowe działające na przegrodę (burta okrętu, pokład, itp.), pochodzące od prostopadle padającej fali uderzeniowej, należy obliczyć wg wzoru:

$$q_m = 2\Delta p_m + \frac{6\Delta p_m^2}{\Delta p_m^2 + 7p_0}, \text{ [kPa]} \quad (4.2.3.1)$$

Δp_m – maksymalne nadciśnienie fali uderzeniowej wg 4.2.2.1, [kPa];

p_0 – ciśnienie statyczne powietrza przy przegrodzie, [kPa].

Maksymalne ciśnienie udarowe działające na przegrodę, pochodzące od fali uderzeniowej o kącie padania na przegrodę wynoszącym $0 < \alpha < 90^\circ$, można oszacować na podstawie wykresu na rys. 4.2.3.1.



Rys. 4.2.3.1 Zależność $q'_m / \Delta p = f(\alpha)$ dla różnych wartości Δp_m .

q'_m – maksymalne ciśnienie udarowe na przegrodzie, pochodzące od fali uderzeniowej o kącie padania α , [kPa];

Kąt α padania fali uderzeniowej, tj. kąt ostry pomiędzy kierunkiem przemieszczania się czoła fali uderzeniowej a prostopadłą do powierzchni przegrody w rozpatrywanym punkcie.

4.2.4 Zastępcze obciążenie statyczne konstrukcji od wybuchu powietrznego

4.2.4.1 Wytrzymałość wiązań można sprawdzać dla obciążeń obliczeniowych (ciśnień) działających statycznie, odpowiadających obciążeniom udarowym.

4.2.4.2 Obliczeniowe obciążenie dla pionowych i przyległych do nich poziomych odkrytych fragmentów (elementów) konstrukcji okrętu, należy obliczać wg wzoru:

$$p_{obl} = k_d \cdot q'_m, \text{ [kPa]} \quad (4.2.4.2)$$

- $k_d = 1,5$ – burty w rejonie nadbudówki;
- $k_d = 1,3$ – burty w rejonie poza nadbudówkami, pokład zewnętrzny (główny) przylegający do nadbudówki na długości równej wysokości lub szerokości nadbudówki (należy przyjąć wartość większą), inne odpowiedzialne pionowe fragmenty konstrukcji;
- $k_d = 1,2$ – pionowe konstrukcje osłaniające stanowiska dowodzenia i ważne stanowiska bojowe;
- $k_d = 1,0$ – ściany nadbudówek i inne pionowe fragmenty konstrukcji;
- q'_m – maksymalne ciśnienie uderowe na przegrodzie, pochodzące od fali uderzeniowej o kącie padania α , określone według wykresu na rys. 4.2.3.1.

4.2.4.3 Obliczeniowe obciążenie dla poziomych odkrytych fragmentów (elementów) konstrukcji okrętu nie wymienionych w p. 4.2.4.2, należy obliczać wg wzoru:

$$p_{obl} = k_d \cdot \Delta p_m, \text{ [kPa]} \quad (4.2.4.3)$$

- $k_d = 1,3$ – nieosłonięte i nie przylegające do nadbudówek fragmenty pokładu zewnętrznego (głównego) i inne odpowiedzialne poziome fragmenty konstrukcji;
- $k_d = 1,2$ – poziome konstrukcje osłaniające stanowiska dowodzenia i stanowiska bojowe;
- $k_d = 1,0$ – pokłady nadbudówek i inne poziome fragmenty konstrukcji;
- Δp_m – maksymalne nadciśnienie bezpośredniej fali uderzeniowej określone wg 4.2.2.1, [kPa].

4.2.5 Wymiarowanie konstrukcji na podstawie zastępczych obciążeń statycznych

4.2.5.1 Grubość płyt poszycia poddanych obciążeniu od wybuchu powietrznego powinna być nie mniejsza niż grubość obliczona wg wzoru:

$$t = 12,9s \sqrt{\frac{p_{obl}}{afR_e}}, \text{ [mm]} \quad (4.2.5.1)$$

- l – długość dłuższego boku pola płytowego, [m];
- s – długość krótszego boku pola płytowego, [m];
- p_{obl} – ciśnienie obliczeniowe, [kPa], wg p. 4.2.4;

$$a = 1 + \left(\frac{s}{l}\right)^2;$$

- f – współczynnik umocnienia materiału przy obciążeniach krótkotrwałych;
 $f = 1,2$ – dla stali; $f = 1,09$ – dla stopów aluminium.

4.2.5.2 Wskaźnik plastyczny wytrzymałości na zginanie usztywnienia z pasem współpracującym poszycia powinien być nie mniejszy niż wskaźnik obliczony wg wzoru:

$$W_{pl} = \frac{1000 p_{obl} l^2 b}{m f R_e}, \text{ [cm}^3\text{]} \quad (4.2.5.2)$$

W_{pl} – wskaźnik plastyczny wytrzymałości na zginanie usztywnienia z pasem współpracującym poszycia. Pas współpracujący poszycia należy określić zgodnie z zasadami teorii nośności granicznej płyt ściskanych.

l – rozpiętość usztywnienia, [m], wg A/3.2.1;

b – szerokość pasa poszycia podpieranego przez rozpatrywane usztywnienie, [m];

p_{obl} – ciśnienie obliczeniowe wg p. 4.2.4, [kPa];

$m = 12$ – dla belki utwierdzonej na końcach;

$m = 8$ – dla belki swobodnej podpartej;

f – współczynnik umocnienia materiału przy obciążeniach krótkotrwałych;
 $f = 1,2$ – dla stali; $f = 1,09$ – dla stopów aluminium.

4.2.5.3 Należy oszacować wytrzymałość wiązarów nadbudówek i kadłuba ponad linią zanurzenia wg wymagań rozdziału B/14. Należy przyjmować naprężenia dopuszczalne o 30% wyższe od wartości określonych wg B/14.5.3. Sumując naprężenia strefowe i od zginania ogólnego na wodzie spokojnej i fali wg zasad podanych w B/14.5.3.2 należy dodatkowo uwzględnić naprężenia od zginania ogólnego, w płaszczyźnie poziomej i pionowej, pochodzące od zadziałania fali uderzeniowej od wybuchu powietrznego (p. 4.2.5.4).

Wartość momentu zginającego na wodzie spokojnej należy określić wg B/15.4, a jako wartość momentu zginającego falowego należy przyjmować 59% wartości określonej wg B/15.5.

4.2.5.4 Należy określić naprężenia od zginania ogólnego w płaszczyźnie poziomej i pionowej pochodzące od zadziałania fali uderzeniowej od wybuchu powietrznego. Dopuszczalne jest zastosowanie do obliczeń modelu konstrukcji okrętu w postaci belki.

4.2.5.5 W celu optymalizacji ciężaru konstrukcji okrętu zaleca się wykonać obliczenia MES wg zasad podanych w p. 4.2.6.

4.2.6 Obliczenia MES

4.2.6.1 Wykonując obliczenia MES wg 4.2.6.2 i 4.2.6.3 należy przyjmować sprężysto-plastyczny model materiału konstrukcji.

Należy stosować analizę dynamiczną, przyjmując obciążenia w formie krótkotrwale działającego ciśnienia udarowego. Dla frontowych ścian pionowych odkrytych fragmentów (elementów) konstrukcji okrętowych zaleca się przyjmować zanikający kształt przebiegu ciśnienia udarowego w funkcji czasu (patrz rys. 5.5.3.2a). Metodę wyznaczania wielkości t_1 należy uzgodnić z PRS. Wielkość p_m należy przyjmować jako równą wartości q'_m (p. 4.2.3.1). Inny niż zanikający kształt przebiegu ciśnienia udarowego może być zaakceptowany przez PRS, po przedstawieniu wyników badań eksperymentalnych lub literatury specjalistycznej. Dla ścian innych niż pionowe ściany frontowe metodykę wyznaczania kształtu przebiegu ciśnienia udarowego w funkcji czasu należy uzgodnić z PRS.

W sprężysto-plastycznym modelu pracy materiału konstrukcji zaleca się uwzględnić zjawisko umocnienia się materiału w wyniku krótkotrwale działającego ciśnienia. Przejawia się ono w podwyższeniu granicy plastyczności i obniżeniu wielkości wydłużenia, przy której następuje pęknięcie próbki materiału podczas próby rozciągania.

Powyższą zależność należy określić na podstawie badań eksperymentalnych lub literatury specjalistycznej i przedstawić do zaakceptowania przez PRS.

Powstające w wyniku działania fali uderzeniowej odkształcenia nie powinny naruszać integralności i gazoszczelności konstrukcji nadbudówki i kadłuba. Przy spełnieniu powyższego warunku dopuszczalne są odkształcenia plastyczne poszycia pomiędzy usztywnieniami, o ile wykonane obliczenia wykażą odporność usztywnienia na wyboczenie pod wpływem naprężeń ściskających od ogólnego zginania kadłuba.

4.2.6.2 Zakładając krótkotrwale działanie ciśnienia udarowego należy dokonać analizy:

- .1** przemieszczeń i naprężeń w pojedynczej płycie poszycia z uwzględnieniem oddziaływania sił tarczowych. Zaleca się przyjąć model w postaci pasma poszycia o jednostkowej szerokości, uwzględniający siły osiowe oraz utwierdzenie końców pasma. Obliczenia należy prowadzić w zakresie dużych przemieszczeń z uwzględnieniem odkształceń plastycznych. Dopuszczalne jest średnie wydłużenie powierzchni środkowej płyty pomiędzy usztywnieniami wynoszące nie więcej niż 10 % wielkości wydłużenia względnego A_5 zastosowanego materiału.
- .2** przemieszczeń i naprężeń dla pojedynczego usztywnienia ze współpracującym paskiem poszycia. Należy założyć utwierdzenie końców usztywnienia i pominąć ugięcie poszycia pomiędzy usztywnieniami. Naprężenia nie powinny przekraczać granicy plastyczności R_{edyn} , gdzie R_{edyn} – granica plastyczności materiału w warunkach obciążenia udarowego.

4.2.6.3 Zakładając krótkotrwale działanie ciśnienia udarowego należy dokonać analizy przemieszczeń i naprężeń w przestrzennym segmencie obejmującym ściany i najwyższy ciągły pokład nadbudówki w obrębie jednego przedziału grodziowego. Metodykę obliczeń i wartości naprężeń dopuszczalnych należy przyjmować zgodnie z wymaganiami 4.2.5.3.

4.2.6.4 Należy określić naprężenia od zginania ogólnego w płaszczyźnie pionowej i poziomej, zakładając krótkotrwałe działanie ciśnienia udarowego. Dopuszczalne jest zastosowanie do obliczeń modelu konstrukcji okrętu w postaci belki. Dla okrętów o długości $L_0 \geq 70$ m zaleca się wykonać analizę ugięć i naprężeń w ich konstrukcji, zakładając krótkotrwałe działanie ciśnienia udarowego na nadwodną część okrętu, przy zastosowaniu modelu konstrukcji okrętu jako trójwymiarowego modelu MES.

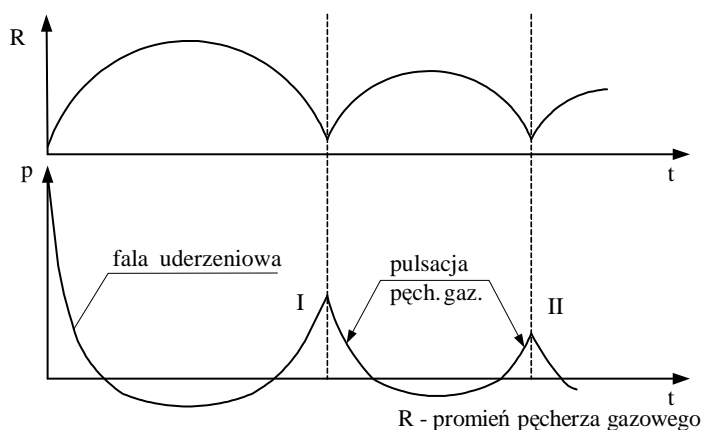
4.2.6.5 Metodykę obliczeń MES należy uzgodnić z PRS.

4.2.6.6 Wykonane obliczenia i ich wyniki należy przedstawić do rozpatrzenia przez PRS.

4.3 Wybuch podwodny

4.3.1 Uwagi ogólne

4.3.1.1 Schemat przebiegu wybuchu podwodnego



Rys. 4.3.1.1

Analizując oddziaływanie wybuchu podwodnego na kadłub okrętu zaleca się uwzględnić następujące zjawiska:

- 1) pulsację pęcherza gazowego. Formujący się pęcherz gazowy rozszerza się aż do osiągnięcia maksymalnego promienia, przy którym ciśnienie gazu osiąga wartość minimalną znacznie poniżej ciśnienia hydrostatycznego. Pęcherz gazowy zaczyna wtedy gwałtownie zmniejszać swoją objętość. W następstwie tego ciśnienie p wewnątrz pęcherza wzrasta, co powoduje, że po krótkim czasie pęcherz gazowy zaczyna się znów rozszerzać. Zjawisko to powtarza się kilkakrotnie, zanim pęcherz gazowy nie wypłynie na powierzchnię wody (rys. 4.3.1.1).

Efektom pulsacji pęcherza gazowego są drgania ogólne kadłuba ("whipping") – patrz p. 4.3.8. Zjawisko to potęguje się gdy częstość drgań własnych kadłuba okrętu jest bliska częstości pulsacji pęcherza gazowego.

- 2) oddziaływanie lokalne wodnej fali uderzeniowej w wyniku rozszerzania się pęcherza gazowego powstałego z detonacji materiału wybuchowego. Oddziaływanie lokalne wodnej fali uderzeniowej przy pominięciu wpływu pęcherza gazowego, przejawia się propagacją impulsu ciśnienia i powstaniem drgań giętych belki kadłuba.

Fala uderzeniowa padając na przegrodę ulega odbiciu i załamaniu (rys. 4.3.4.1). Zjawisko komplikuje dodatkowo fakt, że ruch poszycia względem usztywnień pod wpływem fali uderzeniowej powoduje gwałtowne zmniejszenie ciśnienia fali, co prowadzi do zjawiska kawitacji.

Znaczna prędkość uginania się płyty poszycia wymaga uwzględnienia tego zjawiska w określaniu ciśnienia oddziałującego na płytę.

Złożony charakter procesu wybuchu podwodnego powoduje, że analityczne lub numeryczne metody oceny wytrzymałości konstrukcji nie są wystarczająco pewne. Duże znaczenie w podniesieniu odporności udarowej konstrukcji ma odpowiednie kształtowanie węzłów konstrukcji, minimalizujące koncentrację naprężeń.

Pewność wyników, co do zachowania konstrukcji pod działaniem podwodnej fali uderzeniowej, mogą dać tylko badania modelowe fragmentów konstrukcji kadłuba w skali 1:1. Dlatego też w przypadku okrętów przeciwminowych lub okrętów bojowych, którym postawiono wymóg określonej odporności na wybuch podwodny, zaleca się wykonać badania modelowe dla weryfikacji obliczeń.

W podrozdziale 4.3.3 podano formuły do przybliżonego określania parametrów obciążeń w obliczeniach odzewu konstrukcji okrętu na obciążenia udarowe od wybuchów podwodnych.

W przypadku okrętów minowych i okrętów bojowych, którym Zamawiający postawił wymóg określonej odporności na wybuch podwodny, należy wykonać obliczenia MES odzewu kadłuba okrętu wg zasad podanych w podrozdziale 4.3.4 – jeżeli nie przeprowadzono określonych wyżej badań modelowych.

4.3.1.2 Jeżeli pęcherz gazowy po wybuchu podwodnym jest tej wielkości, że odległość jego środka od kadłuba okrętu jest mniejsza niż dwa maksymalne promienie pęcherza, to należy oczekiwać, że wybuch spowoduje znaczne lokalne uszkodzenia kadłuba.

Prowadzenie analizy wytrzymałości lokalnej jest w tym przypadku niecelowe.

4.3.2 Liczba udarowa

4.3.2.1 Konstrukcja okrętu powinna posiadać odpowiednią wytrzymałość na wybuchy podwodne. Umowną miarą odporności udarowej okrętu jest liczba udarowa obliczona ze wzoru:

$$u = \frac{\sqrt{G}}{R} \quad (4.3.2.1)$$

G – masa równoważnika trotylowego skupionego ładunku wybuchowego, [kg];

R – odległość od poszycia burty okrętu do środka ładunku (patrz rys. 4.3.2.1):

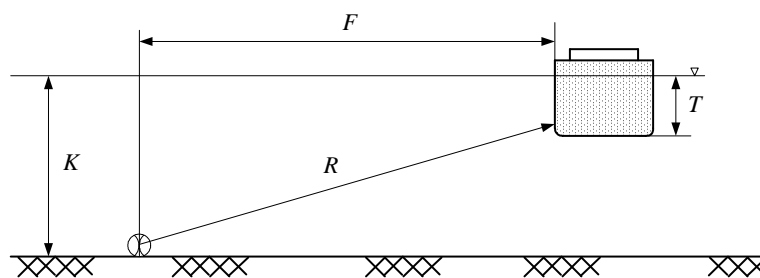
$$R = \sqrt{F^2 + (K - T)^2}, \text{ [m];}$$

F – odległość od burty okrętu do epicentrum wybuchu, [m];

K – głębokość zanurzenia ładunku, [m];

T – zanurzenie kadłuba okrętu, [m].

Wielkości G i R określa Zamawiający w wymaganiach taktyczno–technicznych.



Rys. 4.3.2.1 Odległość do określenia liczby uderowej

4.3.2.2 Zalecane wartości minimalnej liczby uderowej dla wybranych klas i podklas okrętów, przy założeniu, że wybuch ładunku ma miejsce na dnie morza o głębokości 30 m w płaszczyźnie owręza pod kadłubem okrętu w płaszczyźnie symetrii podano w tabeli 4.3.2.2.

Tabela 4.3.2.2
Zalecane wartości minimalnej liczby uderowej

Typ okrętu	Wyporność pełna D [t]	Minimalna liczba uderowa u
Korweta	1000	0,32
Fregata	2500	0,34
Trałowiec redowy	200	0,35
Trałowiec bazowy	500	0,35
Trałowiec morski	1000	0,40
Niszczyciel min	600	0,36
Mały okręt desantowy	500	0,20
Średni okręt desantowy	1500	0,25
Duży okręt desantowy	2500	0,30
Szybki okręt bojowy	250	0,25
	500	0,30
Szybki kuter	100	0,20
Transportowiec	-	0,20
Zbiornikowiec	-	0,20
Okręt ratowniczy	-	0,20

4.3.2.3 Dla podwodnych pojazdów przeciwminowych oraz dla pływających trałow wymaga się, by liczba udarowa była zawarta w przedziale od 0,35 do 0,40.

4.3.2.4 Jeżeli liczba udarowa jest większa niż 0,34 lub gdy długość okrętu $L_0 \geq 50$ m, a liczba udarowa jest większa niż 0,31, należy przeprowadzić obliczenia wytrzymałości ogólnej kadłuba, według wymagań podrozdziału 4.3.7.

4.3.3 Przybliżone określanie parametrów podwodnej fali uderzeniowej

4.3.3.1 Parametry podwodnej fali uderzeniowej oblicza się dla kulistych ładunków trotylu. Ładunki skupione w postaci min, bomb głębinowych lub torped przyjmuje się jako kuliste, a ich promień należy obliczać wg wzoru:

$$r_o = 0,052\sqrt[3]{G}, \text{ m} \quad (4.3.3.1)$$

G – masa skupionego ładunku trotylu (równoważnik trotylowy), [kg].

4.3.3.2 Równoważnik trotylowy ładunku wybuchowego należy obliczać wg wzoru:

$$G = G_1 \frac{Q_1}{Q}, \text{ [kg]} \quad (4.3.3.2)$$

G_1 – masa ładunku wybuchowego, [kg];

Q_1 – energia właściwa wybuchu materiału wybuchowego, [kJ/kg];

Q – energia właściwa wybuchu trotylu, o wartości 4187 kJ/kg;

4.3.3.3 Parametry podwodnej fali uderzeniowej

Ciśnienie maksymalne podwodnej fali uderzeniowej dla ładunków z trotylu prasowanego należy obliczać wg wzoru:

$$p_m = A \left(\frac{r_o}{R} \right)^n, \text{ [MPa]} \quad (4.3.3.3)$$

A, n – współczynniki o wartościach:

$$A = 13,97; \quad n = 1,95 \quad \text{dla} \quad r_o < R \leq 5r_o$$

$$A = 52,3; \quad n = 1,13 \quad \text{dla} \quad 5r_o < R \leq 1000r_o$$

$$A = 128; \quad n = 1 \quad \text{dla} \quad 1000r_o < R;$$

r_o – promień kulistego ładunku wybuchowego wg 4.3.3.1, [m];

R – odległość od środka ładunku, [m].

4.3.3.4 Przebieg ciśnienia fali uderzeniowej w funkcji czasu przedstawia zależność:

$$p(t) = p_m e^{-\frac{t}{\Theta}}, [\text{MPa}] \quad (4.3.3.4-1)$$

p_m – ciśnienie maksymalne (wg 4.3.3.3), [MPa];

t – czas, [s];

Θ – stała czasowa fali uderzeniowej

– przybliżoną wartość stałej czasowej zaleca się obliczać wg wzoru:

$$\Theta = 0,1\sqrt[4]{GR} \cdot 10^{-3}, [\text{s}] \quad (4.3.3.4-2)$$

G – masa skupionego ładunku trotylu (równoważnik trotylowy), [kg];

R – odległość od środka ładunku, [m].

4.3.3.5 Impuls ciśnienia fali uderzeniowej należy obliczać wg wzoru:

$$i = 5,768 \frac{G^{0,63}}{R^{0,89}} 10^{-3}, [\text{MPas}] \quad (4.3.3.5-1)$$

G – masa skupionego ładunku trotylu (równoważnik trotylowy), [kg];

R – odległość od środka ładunku, [m].

W obliczeniach szacunkowych dopuszcza się zastosowanie wzoru:

$$i = p_m \Theta, [\text{MPas}] \quad (4.3.3.5-2)$$

p_m – ciśnienie maksymalne (wg 4.3.3.3), [MPa];

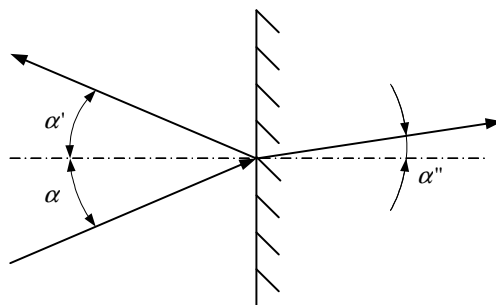
Θ – stała czasowa fali uderzeniowej (wg wzoru 4.3.3.4-2), [s].

4.3.4 Parametry podwodnej fali uderzeniowej na granicy ośrodków

4.3.4.1 W uproszczonych wytrzymałościowych obliczeniach inżynierskich przyjmuje się, że podwodna fala uderzeniowa pada prostopadle na nieruchomą przegrodę (poszycie kadłuba).

Na granicy dwóch ośrodków podwodna fala uderzeniowa, padająca pod kątem α , ulega odbiciu pod kątem α' i załamaniu pod kątem α'' (rys. 4.3.4.1). Stąd wyróżnia się:

- falę padającą,
- falę odbitą,
- falę załamaną (przenikającą).



Rys. 4.3.4.1 Odbicie i załamanie podwodnej fali uderzeniowej na granicy ośrodków

4.3.4.2 Przebieg ciśnienia w fali uderzeniowej odbitej od nieruchomej przegrody określa równanie:

$$p_{11}(t) = k_{11}(\alpha) \cdot p(t), \text{ [MPa]} \quad (4.3.4.2)$$

$k_{11}(\alpha)$ – współczynnik odbicia fali uderzeniowej od przegrody zależny od kąta padania, określony wg 4.3.4.3;

$p(t)$ – przebieg ciśnienia w padającej fali uderzeniowej, określony wg 4.3.3.4, [MPa].

4.3.4.3 Współczynnik odbicia podwodnej fali uderzeniowej od nieruchomej przegrody, przy kącie padania $\alpha = 0$, należy obliczać wg wzoru:

$$k_{11} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (4.3.4.3)$$

Z_1 – oporność akustyczna ośrodka 1 (woda), [kg/m²s] (patrz 4.3.4.4);

Z_2 – oporność akustyczna ośrodka 2 (przegroda), [kg/m²s].

Dla $\alpha \neq 0$ sposób wyznaczenia wielkości k_{11} należy uzgodnić z PRS.

4.3.4.4 Oporność akustyczną ośrodka należy obliczać wg wzoru:

$$Z = \rho \cdot C, \text{ [kg/m}^2\text{s]} \quad (4.3.4.4)$$

ρ – gęstość ośrodka, [kg/m³];

C – prędkość dźwięku w ośrodku, [m/s].

Współczynniki odbicia podwodnej fali uderzeniowej (przy kącie padania $\alpha = 0$) oraz wartości gęstości wybranych materiałów podano w tabeli 4.3.4.4.

Tabela 4.3.4.4
Współczynnik odbicia k_{11}

Materiał ośrodka	Gęstość [kg/m ³]	Współczynnik odbicia k_{11}
Stal	7800	0,93
Sropy aluminium	2800	0,81

4.3.4.5 Wpływ dna akwenu na parametry fali uderzeniowej, oddziaływującej na poszycie kadłuba, należy uwzględnić, gdy ładunek skupiony wybucha nad dnem w odległości H_d spełniającej warunek:

$$0 \leq H_d \leq 9\sqrt[3]{G}, \text{ [m]} \quad (4.3.4.5-1)$$

G – masa skupionego ładunku trotylu (równoważnik trotylowy), [kg].

Wpływ dna uwzględnia się przez pomnożenie przez współczynnik k_1 (obliczany wg wzoru 4.3.4.5-2) wartości liczbowych poniższych wielkości:

- .1 ciśnienie maksymalne podwodnej fali uderzeniowej p_m , obliczone wg wzoru (4.3.3.3);
- .2 impuls ciśnienia podwodnej fali uderzeniowej i , obliczony wg 4.3.3.5.

Wartość liczbową współczynnika k_1 należy obliczać wg wzoru:

$$k_1 = 1,4 - \frac{0,4}{9\sqrt[3]{G}} H_d \quad (4.3.4.5-2)$$

H_d – odległość środka ładunku od dna morza, [m];

G – masa skupionego ładunku trotylu (równoważnik trotylowy), [kg].

4.3.5 Obciążenie udarowe poszycia kadłuba

4.3.5.1 Zjawiska obciążenia udarowego poszycia kadłuba zachodzą na granicy trzech ośrodków:

- ośrodek 1 – woda;
- ośrodek 2 – materiał przegrody/poszycia;
- ośrodek 3 – wnętrze kadłuba (powietrze).

Wyznaczone ze wzorów (4.3.5.2) i (4.3.5.3) prędkości służą do szacowania ekstremalnych ugięć i naprężeń w poszyciu. Sposób obliczenia parametrów ruchu nie uwzględnia zjawiska kawitacji zachodzącego w warstwie granicznej woda-poszycie.

4.3.5.2 Prędkość poszycia wskutek obciążenia udarowego opisuje zależność:

$$v(t) = \frac{(1 + k_{11})i}{\rho_s(\beta - 1)} 10^6 \left(e^{-\frac{t}{\Theta}} - e^{-\frac{\beta t}{\Theta}} \right), \text{ [m/s]} \quad (4.3.5.2)$$

t – czas, [s];

k_{11} – współczynnik odbicia fali na granicy woda – poszycie, wg 4.3.4.3;

i – impuls ciśnienia fali uderzeniowej, wg 4.3.3.5, [MPa s];

Θ – stała czasowa fali uderzeniowej, wg wzoru (4.3.3.4-2), [s];

ρ_s – gęstość powierzchniowa masy przegrody:

$$\rho_s = \rho d, \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

ρ – gęstość materiału przegrody, [kg/m³];

d – grubość przegrody, [m];

$$\beta = \beta_1 + \beta_3,$$

$$\beta_1 = Z_1 \frac{\Theta}{\rho_s};$$

Z_1 – oporność akustyczna ośrodka 1 (woda), wg wzoru (4.3.4.4), [kg/m²s];

$$\beta_3 = Z_3 \frac{\Theta}{\rho_s};$$

Z_3 – oporność akustyczna ośrodka 3 (powietrze), wg wzoru (4.3.4.4),
[kg/m²s];

4.3.5.3 Maksymalną prędkość przegrody należy obliczać wg wzoru:

$$v_m = \frac{(1 + k_{11})i 10^6}{\rho_s(\beta - 1)} \left(e^{\frac{1}{1-\beta}} - e^{\frac{\beta}{1-\beta}} \right) \leq \frac{i 10^6}{\rho_s}, \text{ [m/s]} \quad (4.3.5.3)$$

$k_{11}, i, \beta, \rho_s, e$ – jak we wzorze (4.3.5.2).

4.3.5.4 Czas wystąpienia maksymalnej prędkości przegrody należy obliczać wg wzoru:

$$t_m = \frac{\Theta \cdot \ln \beta}{\beta - 1}, \text{ [s]} \quad (4.3.5.4)$$

Θ, β – jak we wzorze (4.3.5.2).

4.3.5.5 Maksymalne przyspieszenie poszycia obciążonego udarowo należy obliczyć wg wzoru:

$$a_m = \frac{1 + k_{11}}{\rho_s} p_m 10^6, \text{ [m/s}^2\text{]} \quad (4.3.5.5)$$

k_{11}, ρ_s – jak we wzorze (4.3.5.2);

p_m – ciśnienie maksymalne (wg 4.3.3.3), [MPa].

4.3.5.6 Średnie przyspieszenie poszycia obciążonego udarowo należy obliczać wg wzoru:

$$a_{sr} = \frac{v_m}{t_m}, \text{ [m/s}^2\text{]} \quad (4.3.5.6)$$

v_m – maksymalna prędkość przegrody, wg wzoru (4.3.5.3), [m/s²];

t_m – czas wystąpienia maksymalnej prędkości przegrody, wg wzoru (4.3.5.4), [s].

4.3.6 Obliczenia MES

4.3.6.1 W obliczeniach wymienionych w p. 4.3.6.3 i 4.3.6.4 należy zastosować sprężysto-plastyczny model materiału konstrukcji. Należy stosować analizę dynamiczną, przyjmując obciążenie w formie krótkotrwałe działającego ciśnienia. Metodyka obliczeń określona w p. 4.3.6.3 uwzględnia zjawisko kawitacji towarzyszące szybkiemu ruchowi poszycia.

4.3.6.2 Dokonując oceny odzewu konstrukcji, za dopuszczalne można uznać średnie wydłużenie powierzchni środkowej płyty pomiędzy usztywnieniami wynoszące nie więcej niż 10% wielkości wydłużenia względnego A_5 zastosowanego materiału, mierzonego w próbie zrywania.

Naprężenia w usztywnieniach powinny spełniać warunek:

$$\sigma \leq R_{e\,dyn} \quad (4.3.6.2)$$

$R_{e\,dyn}$ – granica plastyczności materiału pod działaniem udaru, [MPa];

Granice plastyczności materiału pod działaniem udaru zaleca się określić eksperymentalnie lub na podstawie literatury specjalistycznej i przedstawić do akceptacji przez PRS.

Naprężenia dopuszczalne normalne w wiązarach z uwzględnieniem naprężeń od zginania strefowego i zginania ogólnego kadłuba na wodzie spokojnej i fali są równe granicy plastyczności materiału R_e .

Wartość momentu zginającego na wodzie spokojnej należy określić wg B/15.4. Jako wartość momentu zginającego falowego należy przyjmować 59 % wartości określonej wg B/15.5.

Dopuszczalna wartość naprężeń zredukowanych obliczonych z pominięciem naprężeń normalnych od zginania ogólnego kadłuba jest równa granicy plastyczności R_e materiału.

4.3.6.3 Należy wykonać analizę odzewu konstrukcji na obciążenie udarowe w zakresie:

- .1 Określenie przemieszczeń i naprężeń dla konstrukcji kadłuba w obszarze jednego odstępu grodziowego pod obciążeniem ciśnieniem określonym wzorem (4.3.6.3-1).

$$p(x, y, z) = (1 + k_{11}) p_m e^{\frac{-t}{\Theta}} - \rho C_0 \frac{\partial w(x, y, t)}{\partial t} \cdot 10^{-6}, \text{ [MPa]} \quad (4.3.6.3-1)$$

k_{11} – wg 4.3.4.3;

p_m – wg 4.3.3.3;

Θ – wg 4.3.3.4;

t – czas, [s];

$\rho = 1000$, [kg/m³], gęstość wody;

$C_0 = 1450$ [m/s], prędkość dźwięku w wodzie;

w – ugięcie poszycia mierzona w kierunku przemieszczania się fali ciśnienia od wybuchu podwodnego, [m];

(x, y) – płaszczyzna poszycia.

W trakcie obliczeń należy przyjmować $p(x, y, z) = 0$ w tych punktach, gdzie ciśnienia obliczone wg wzoru (4.3.6.3.2-1) przybierają ujemne wartości.

Należy założyć nieprzesuwne podparcie poszycia, usztywnień i wiązarów na grodziach poprzecznych, burtach i pokładach.

Do wyznaczenia odkształceń konstrukcji zaleca się stosowanie równań ruchu w postaci :

$$M \ddot{X} + D \dot{X} + KX = Q \quad (4.3.6.3-2)$$

M – macierz bezwładności;

D – macierz tłumienia, powstająca wskutek istnienia członu zawierającego $\frac{\partial w(x, y, t)}{\partial t}$ w równaniu (4.3.6.3-1);

K – macierz sztywności;

Q – macierz jednokolumnowa składników sił uogólnionych od członu

$$(1+k_{11})p_m e^{\frac{-t}{\theta}} \text{ równania (4.3.6.3-1);}$$

\ddot{X} – macierz jednokolumnowa przyspieszeń uogólnionych;

\dot{X} – macierz jednokolumnowa prędkości uogólnionych;

X – macierz jednokolumnowa współrzędnych uogólnionych.

- .2 Określenie przemieszczeń i naprężeń grodzi ze wstępną krzywizną warstwy obojętnej zginania.

Obliczenia i ich wyniki należy przedstawić do rozpatrzenia przez PRS.

4.3.7 Wytrzymałość ogólna i drgania kadłuba

4.3.7.1 Obliczenia wytrzymałości ogólnej kadłuba oraz analizę drgań giętych z uwzględnieniem obciążenia udarowego należy przeprowadzić dla okrętów wymienionych w p. 4.3.2.4. Udarowy moment gnący należy określić metodą elementów skończonych, stosując model kadłuba w postaci belki lub model trójwymiarowy MES i ciśnienie określone wzorem (4.3.3.4-1). W przypadku modelu trójwymiarowego zaleca się uwzględnić wpływ ugięcia poszycia i usztywnień na wielkość ciśnienia obciążającego kadłub – patrz wzór (4.3.6.3-1).

Obliczenia i ich wyniki należy przedstawić do rozpatrzenia przez PRS.

4.3.7.2 Do oceny zdolności kadłuba do przeniesienia obciążeń udarowych, wywołanych niekontaktowym udarem podwodnym, zaleca się przyjmować kryterium wytrzymałości granicznej określone w p. 4.3.7.3.

4.3.7.3 Wytrzymałość ogólna kadłuba powinna spełniać kryteria:

- .1 Dla kadłuba z nadbudówkami ze stopów aluminium, wliczanymi do wytrzymałości ogólnej kadłuba:

$$\frac{M_{gr}}{M_{obl}} \geq 1,35 \quad (4.3.7.3-1)$$

- .2 Dla kadłuba stalowego, którego nadbudówki nie są wliczane do wytrzymałości ogólnej kadłuba:

$$\frac{M_{gr}}{M_{obl}} \geq 1,15 \quad (4.3.7.3-2)$$

M_{gr} – graniczny moment zginający dla kadłuba, obliczany wg Załącznika Z1 ;

M_{obl} – obliczeniowy moment gnący:

$$M_{obl} = M_s + 0,8M_w + M_{ud} \quad (4.3.7.3-3)$$

M_s – moment zginający na wodzie spokojnej, wg B/15.4, [kNm];

M_w – moment zginający falowy, wg B/15.5, [kNm];

M_{ud} – udarowy moment gnący wywołany niekontaktowym wybuchem podwodnym, obliczony wg 4.3.7.1, [kNm].

4.3.7.4 Obliczenie granicznego momentu zginającego należy wykonać:

- co najmniej dla jednego przekroju kadłuba w rejonie owręza, jeżeli obliczeniowy moment zginający osiąga maksymalną wartość na owrężu;
- co najmniej dla dwóch przekrojów, jeżeli obliczeniowy moment zginający osiąga maksymalną wartość poza rejonem owręza – w tym przypadku, oprócz obliczenia momentu zginającego dla rejonu owręza, należy przeprowadzić jego obliczanie w rejonie występowania maksymalnej wartości momentu obliczeniowego.

4.3.7.5 Obliczenia i ich wyniki należy przedstawić do rozpatrzenia przez PRS.**4.3.8 Drgania ogólne powstające w wyniku pulsacji pęcherza gazowego („whipping”)**

4.3.8.1 Drgania pojawiające się w kadłubie okrętu wskutek oddziaływania na poszycie ciśnienia spowodowanego przez pulsujący pęcherz gazowy powstały podczas wybuchu podwodnego mogą powodować poważne uszkodzenia konstrukcji okrętu. Zaleca się wykonanie analizy wytrzymałości kadłuba w warunkach whippingu w przypadku okrętów dla których przyjęto liczbę udarową $> 0,34$ (p. 4.3.2.1).

4.3.8.2 Uproszczoną analizę drgań można wykonać porównując okres drgań własnych belki kadłuba z czasem trwania pierwszego impulsu pęcherza gazowego T (patrz rys. 4.3.1.1):

$$T = 2,108 \frac{G^{1/3}}{(K + 10)^{5/6}}, [\text{s}] \quad (4.3.8.2)$$

G – masa równoważnikowa trotylowego skupionego ładunku wybuchowego, [kg],
 K – głębokość zanurzenia ładunku w czasie detonacji, [m].

4.3.8.3 Do zaawansowanej analizy zjawiska drgań ogólnych kadłuba spowodowanych wybuchem podwodnym należy wykorzystać specjalistyczne programy komputerowe uznane przez PRS.

4.3.8.4 W analizie drgań kadłuba okrętu należy uwzględniać wpływ ścinania na odkształcenia kadłuba. Przepływ wody może być modelowany za pomocą metody paskowej (strip theory). Można stosować model cieczy idealnej, tzn. nielepkiej i nieściśliwej.

Zachowanie się pęcherza gazowego może być analizowane z zastosowaniem modelu gazu doskonałego.

W zaawansowanej wersji obliczeń przepływ cieczy można analizować, wykorzystując metodę elementów brzegowych (BEM).

4.3.8.5 Obliczenia i ich wyniki należy przedstawić do rozpatrzenia przez PRS.

4.4 Wybuch wewnątrz okrętu

4.4.1 Podstawowe znaczenie dla ograniczenia strefy zniszczeń w wyniku wybuchu wewnątrz okrętu ma wytrzymałość grodzi dzielących okręt na przedziały. Długość przedziałów należy określić, biorąc pod uwagę wielkość ładunku wybuchowego, eksplodującego wewnątrz kadłuba, podaną w założeniach techniczno-taktycznych.

4.4.2 Grubość poszyc grodzi powinna być nie mniejsza niż 4 mm.

W przypadku grodzi wykonanych ze stali o podwyższonej wytrzymałości zaleca się zastosować stal kategorii D lub E.

Tam, gdzie jest to możliwe i praktycznie uzasadnione, zaleca się stosować grodzie podwójne w połączeniu z podwójnymi burtami, wytrzymałymi na ciśnienie statyczne 600 kPa.

4.4.3 Ze względu na to, że w czasie wybuchu w pierwszej kolejności pękają połączenia spawane grodzi z sąsiadującą konstrukcją, należy dążyć do zwiększenia odporności udarowej spoin przez zastosowanie połączenia spawanego o pełnym przetopie i/lub stosowanie elektrod austenitycznych do wykonania spoin pachwinowych.

4.4.4 Przejścia rurociągów przez grodzie powinny być wyposażone w elementy kompensacyjne umieszczone po obu stronach grodzi.

Przejścia rurociągów powinny znajdować się blisko krawędzi grodzi, w miejscu, gdzie względne ruchy poszycia grodzi są najmniejsze.

4.4.5 Należy ograniczyć do minimum liczbę elementów wyposażenia montowanych na grodzi.

4.4.6 Rurociągi oraz dopuszczone przez PRS kanały, szyby i inne przejścia przez grodzie powinny być wyposażone w klapy, zawory itp. urządzenia zapobiegające przenikaniu fali uderzeniowej od wybuchu do sąsiednich i dalszych przedziałów.

4.5 Ochrona przeciwdławkowa i przed pociskami małego kalibru

4.5.1 Zamawiający każdorazowo określa pomieszczenia oraz lokalizację i rodzaj rurociągów i kabli okrętowych wymagających ochrony przeciwdławkowej i przed pociskami małego kalibru.

Zaleca się, aby lista chronionych pomieszczeń obejmowała szczególnie ważne dla życia okrętu pomieszczenia, wyposażenie i rejony, w tym co najmniej: GSD, BCI, centra łączności, dowodzenia i kierowania okrętem, a także komory, magazyny i parki amunicyjne.

4.5.2 Wyżej wymienione pomieszczenia należy umieszczać wewnątrz okrętu, tak by były chronione przez poszycie zewnętrzne kadłuba i gródź wzdłużną lub stosowne osłony balistyczne wewnątrz okrętu. Zaleca się usytuowanie grodzi wzdłużnej/osłony o ile jest to możliwe co najmniej 1 m od poszycia zewnętrznego.

Grubość poszycia grodzi wzdłużnej i/lub zastosowanie pancerza albo specjalnych materiałów osłonowych/balistycznych (np. kevlaru) należy ustalić zgodnie z wymaganiami taktyczno-technicznymi oraz zasadami doboru osłon balistycznych.

5 OBCIĄŻENIA OD UZBROJENIA I ODZEW KONSTRUKCJI

5.1 Wymagania ogólne

W niniejszym rozdziale podano wymagania dotyczące obciążenia konstrukcji kadłuba od uzbrojenia podczas strzelania z armat lub startujących pocisków rakiety.

5.2 Obciążenia od odrzutu armat

5.2.1 Siła odrzutu w funkcji czasu powinna być określona na podstawie dokumentacji technicznej dostarczonej przez producenta.

5.2.2 Odzew konstrukcji na obciążenia wg 5.2.1 (ugięcia i naprężenia) należy określać wg 5.5, w zależności od relacji pomiędzy czasem działania siły odrzutu a podstawowym okresem drgań własnych konstrukcji podpierającej.

We wstępnych obliczeniach maksymalne odkształcenia i naprężenia w konstrukcji kadłuba można wyznaczać jako odzew na obciążenie statyczne stanowiące 160% maksymalnej wartości siły odrzutu.

Jeżeli armaty są ustawione bezpośrednio nad grodziami lub przegrodami kadłuba okrętu, to współczynnik zwiększenia obciążenia można zmniejszyć ze 160% do 120%.

5.2.3 Analizę odzewu konstrukcji na obciążenie od odrzutu należy wykonać dla wielu realnych kątów ustawienia lufy w chwili strzału, względem płaszczyzny symetrii (PS) i płaszczyzny podstawowej okrętu (PP).

Zawsze należy uwzględnić kąty o wartościach 0° , $\pm 45^\circ$, $\pm 90^\circ$, $\pm 135^\circ$ i 180° względem PS, minimalny i maksymalny kąt osi lufy względem płaszczyzny podstawowej oraz kąt równy średniej arytmetycznej powyższych dwóch wartości.

5.3 Obciążenia od fali uderzeniowej od wystrzału

5.3.1 Przy strzelaniu generowany jest krótkotrwały podmuch w formie ciśnienia obciążającego konstrukcję kadłuba (pokład) w pobliżu wylotu lufy. Wartości tego ciśnienia w funkcji odległości od wylotu lufy i kąta pomiędzy linią osi lufy i promieniem łączącym koniec lufy z punktem, gdzie określamy ciśnienie (patrz rys. 5.3.3) oraz wartości ciśnienia w funkcji czasu są zazwyczaj podane w dokumentacji technicznej uzbrojenia, dostarczanej przez wytwórcę.

Obliczenia wytrzymałościowe konstrukcji poddanej działaniu powyższego ciśnienia polegają na zastosowaniu statycznie działającego ciśnienia zastępczego, o wartościach obliczanych wg 5.5.

5.3.2 W przypadku armat szybkostrzelnych (30 pocisków na minutę i więcej) istnieje niebezpieczeństwo wygenerowania nadmiernych drgań konstrukcji kadłuba.

Sytuacje takie podlegają każdorazowo odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

5.3.3 W przypadku gdy parametry ciśnienia określone w 5.3.1 nie są znane, statycznie działające ciśnienie zastępcze p_z można obliczyć wg wzoru:

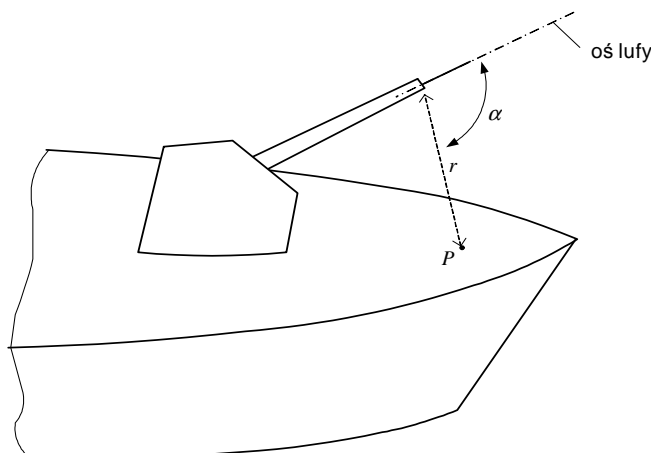
$$p_z = 2(1 + \cos \alpha) \left(\frac{K_d}{r} \right)^{3/2} \cdot 10^3, \text{ [kPa]} \quad (5.3.3)$$

gdzie:

α – kąt między linią osi lufy armaty a punktem P , dla którego obliczane jest ciśnienie (rys. 5.3.3);

K_d – kaliber działa, [mm]; powyższy wzór jest ważny dla $80 \text{ mm} \leq K_d \leq 120 \text{ mm}$;

r – odległość punktu P od końca lufy, [mm] (rys. 5.3.3).



Rys. 5.3.3 Parametry do obliczania ciśnienia p_z

5.4 Obciążenia od silników raketowych

5.4.1 Statycznie działające ciśnienie obciążające konstrukcję kadłuba (np. pokład) od strumienia spalin silnika raketowego pocisku można obliczać wg wzoru:

$$p_z = f_d \frac{F}{A} \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha + \tan \beta \cdot \cos \alpha}, \text{ [kPa]} \quad (5.4.1)$$

gdzie

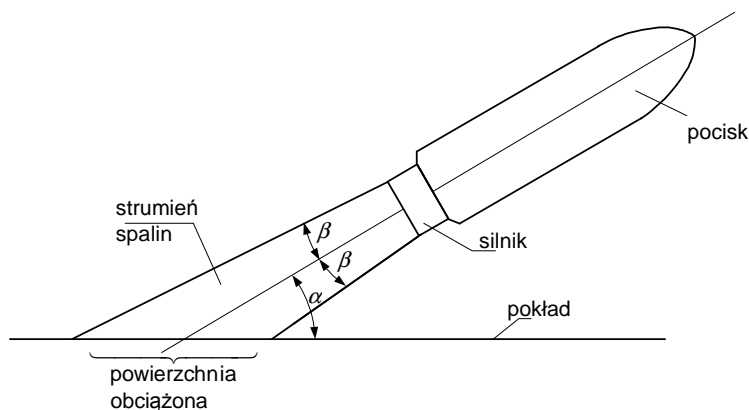
f_d – współczynnik przeciążenia uwzględniający zmienność ciśnienia w funkcji czasu; można przyjmować $f_d = 1,5$;

F – siła ciągu silnika, [kN];

α – kąt pomiędzy osią silnika a powierzchnią konstrukcji (rys. 5.4.1); wzór jest ważny dla $25^\circ < \alpha < 90^\circ$;

β – kąt odchylenia strumienia spalin (rys. 5.4.1); można przyjmować $\beta = 3^\circ$;

A – pole powierzchni obciążonej strumieniem gazów, [m²] (rys. 5.4.1).



Rys. 5.4.1 Obciążenie od silnika rakietowego

5.4.2 Pokład w rejonie oddziaływania strumienia gazów należy zabezpieczyć przed wysoką temperaturą spalin i uderzeniem zawartych w nich stałych cząstek – np. poprzez pokrycie odpowiednią powłoką lub wykładziną oraz zastosowanie kierownic strumienia gazów i krat (siatek) zabezpieczających.

5.5 Obliczenia MES, zastępcze obciążenia statyczne i naprężenia dopuszczalne

5.5.1 Zasady ogólne

5.5.1.1 W podrozdziale 5.5 podano zasady obliczania maksymalnych odkształceń i naprężeń w elementach konstrukcji kadłuba okrętu poddanych krótkotrwałym, zmiennym w czasie obciążeniom zdefiniowanym w 5.2, 5.3 i 5.4.

5.5.1.2 Zalecane jest wykonanie obliczeń MES odzewu konstrukcji na obciążenia wymienione w 5.5.1.1, wg zasad określanych w 5.5.2.

Oszacowania odzewu konstrukcji na powyższe obciążenia mogą być wykonywane wg 5.5.3.

5.5.2 Obliczenia MES

5.5.2.1 Obliczenia MES są zalecane w sytuacjach, gdy elementy konstrukcji kadłuba poddane obciążeniom wg 5.5.1.1 nie mogą być wystarczająco dokładnie zamodelowane w formie prostych modeli płyt lub usztywnień, dla których częstości drgań własnych mogą być obliczone wg wzorów podanych w 5.5.4.

5.5.2.2 Stosując model MES fragmentu konstrukcji kadłuba okrętu formułowane są równania ruchu układu o skończonej liczbie swobody. Układ równań różniczkowych zwyczajnych zawierający współczynniki o wartościach zależnych od czasu (siły uogólnione zależne od obciążeń konstrukcji) jest całkowany numerycznie w dziedzinie czasu.

W wyniku takich obliczeń wyznaczane są przybliżone wartości odkształceń i naprężeń w konstrukcji, w funkcji czasu. Maksymalne wartości naprężeń nie powinny przekroczyć wartości dopuszczalnych podanych w 5.5.5.

5.5.3 Zastępcze ciśnienia statyczne

5.5.3.1 W przypadku gdy model obliczeniowy może być sprowadzony do prostej płyty (fragment poszycia) lub belki (usztywnienie poszycia wraz z pasem współpracującym poszycia), celowe jest zastosowanie koncepcji zastępczego obciążenia statycznego, które wywołuje wartości odkształceń i naprężeń w konstrukcji w przybliżeniu równe maksymalnym wartościom tych parametrów, zmieniających się w funkcji czasu wskutek działających nań zmiennych obciążeń.

Zastępcze ciśnienie statyczne P_{st} obliczone jest ze wzoru:

$$P_{st} = f_d \cdot P_m \quad (5.5.3.1)$$

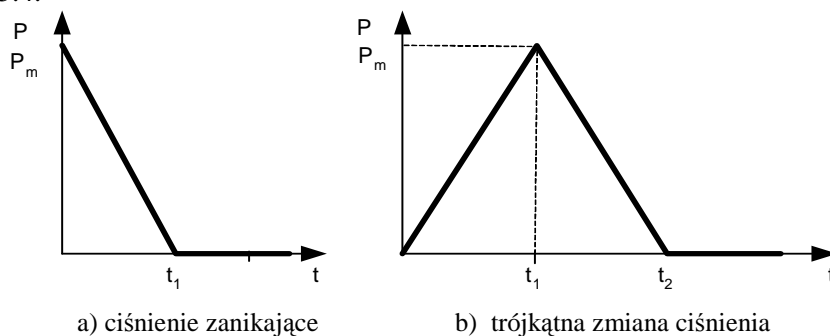
gdzie:

f_d – współczynnik liczbowy,

P_m – maksymalna wartość ciśnienia zmieniającego się w funkcji czasu.

5.5.3.2 Wartości f_d dla przebiegów ciśnień w funkcji czasu pokazanych na rys. 5.5.3.2, które mogą stanowić przybliżenie obciążeń rzeczywistych, podano w tabeli 5.5.3.2.

T oznacza okres podstawowych drgań własnych płyty lub belki, obliczany wg 5.5.4.



Rys. 5.5.3.2 Uprozczone przebiegi ciśnienia w funkcji czasu

Tabela 5.5.3.2 Wartości f_d

$\frac{t_1}{T}$	Trójkątna zmienność ciśnienia	Ciśnienie zanikające
1	2	3
0,1	0,31	0,30
0,2	0,61	0,60
0,3	0,88	0,85
0,4	1,10	1,05

1	2	3
0,5	1,27	1,20
0,6	1,39	1,30
0,7	1,47	1,40
0,8	1,50	1,48
0,9	1,51	1,53
1,0	1,51	1,60
1,2	1,44	1,66
1,4	1,34	1,72
1,6	1,23	1,73
1,8	1,10	1,75
2,0	1,00	1,75
2,2	0,95	1,76
2,4	1,02	1,78
2,6	1,09	1,79
2,8	1,13	1,80
3,0	1,16	1,80
3,2	1,17	1,81
3,4	1,13	1,82
3,6	1,08	1,83
3,8	1,06	1,83
4,0	1,00	1,83
4,2	0,98	1,83
4,4	1,01	1,84
4,6	1,05	1,85
4,8	1,08	1,85
5,0	1,09	1,85
5,5	1,06	1,87
6,0	1,00	1,87

Uwaga: Wartości f_d dla innych wartości t_1/T należy wyznaczać metodą interpolacji liniowej.

5.5.4 Okresy podstawowych drgań własnych

5.5.4.1 Okres podstawowych drgań własnych stalowej płyty prostokątnej utwierdzonej na całym obwodzie, stykającej się z powietrzem, można obliczać wg wzoru:

$$T = 0,18 \frac{sl}{t_p} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{l}{s}\right)^2 + \left(\frac{s}{l}\right)^2 + 0,605}}, \text{ [s]} \quad (5.5.4.1)$$

gdzie:

s – długość krótszego boku płyty, [m];

l – długość dłuższego boku płyty, [m];

t_p – grubość płyty, [mm].

5.5.4.2 Okres podstawowych drgań własnych usztywnienia wraz z pasem współpracującym poszycia belki należy obliczać wg wzoru:

$$T = C \cdot l^2 \sqrt{\frac{m}{EI} \left(1 + \frac{EI}{1014 \cdot l^2 G A} \right)}, \text{ [s]} \quad (5.5.4.2)$$

gdzie:

s – długość belki, [m];

m – masa belki na jednostkę długości, [kg/m];

I – moment bezwładności przekroju poprzecznego, [cm⁴];

A – pole przekroju na ścinanie (pole środka), [cm²];

G – moduł postaciowy (dla stali $G = E/2,6$);

E – moduł Younga, [MPa];

C – współczynnik o wartościach zależnych od sposobu zamocowania końców belki:

$C = 6,33$ – gdy końce belki są podparte przegubowo,

$C = 2,81$ – gdy końce belki są utwierdzone,

$C = 4,08$ – gdy jeden koniec jest utwierdzony, a drugi podparty przegubowo.

5.5.5 Naprężenia dopuszczalne

5.5.5.1 Przy obliczeniach wymaganej grubości płyt poszycia obciążonych ciśnieniem wg 5.5.3.1, wykonywanych wg wzoru B/13.4.2.1-1, należy przyjmować $\sigma = 160k$, MPa.

Obliczenia płyt MES wg 5.5.2 można wykonywać w zakresie liniowo-sprężystym, przyjmując dopuszczalną wartość naprężeń normalnych $\sigma = 300k$, MPa.

5.5.5.2 W obliczeniach usztywnień i wiązarów należy stosować następujące wartości naprężeń dopuszczalnych:

– naprężenia normalne: $\sigma = 180k$, [MPa];

– średnie naprężenia styczne w środku: $\tau = 110k$, [MPa];

– naprężenia zredukowane: $\sigma_{zr} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = 200k$, [MPa].

6 WYTRZYMAŁOŚĆ KADŁUBA USZKODZONEGO

6.1 Zasady ogólne

6.1.1 Wymagania niniejszego rozdziału dotyczą wytrzymałości ogólnej uszkodzonego kadłuba okrętu, w warunkach zginania ogólnego.

Uzupełniają one wymagania rozdziału B/15 dotyczące wytrzymałości ogólnej kadłuba nieuszkodzonego.

6.1.2 Umowne uszkodzenie kadłuba okrętu przyjmowane wg 6.2 do obliczeń wg 6.3 może być skutkiem:

- wybuchu pocisku wewnątrz okrętu;
- wybuchu podwodnego;
- kontaktu dna okrętu z dnem akwenu;
- kolizji z obiektem pływającym.

6.1.3 Zastosowanie w analizie wytrzymałości kadłuba uszkodzonego wielkości uszkodzeń, obciążeń i kryteria powinny być zapisane w *Informacji o kontroli obciążenia okrętu*.

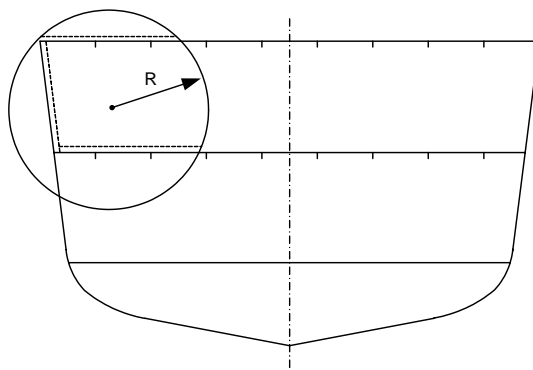
6.1.4 Armator okrętu może zdecydować, że kadłub nie musi spełniać kryteriów wytrzymałości w stanach uszkodzonych, określonych w podrozdziale 6.4.

6.2 Rozmiary uszkodzeń konstrukcji

6.2.1 Uszkodzenia kadłuba od wybuchu pocisku wewnątrz okrętu

W obliczeniach należy przyjąć założenie, że wskutek wybuchu pocisku następuje kompletne zniszczenie elementów konstrukcji kadłuba w wybranym przekroju poprzecznym (poszycie, usztywnienie, wiązary) znajdującym się wewnątrz koła o promieniu R (rys. 6.2.1).

Wartość promienia R , który należy przyjąć do obliczeń określa Zamawiający – na podstawie zakładanych parametrów pocisku. Położenie koła należy przyjmować wg wymagań punktu 6.3.3.2.



Rys. 6.2.1 Rejon uszkodzonej konstrukcji kadłuba wskutek wybuchu pocisku wewnątrz okrętu

6.2.2 Uszkodzenia kadłuba od wybuchu podwodnego

W obliczeniach należy założyć, że wskutek wybuchu podwodnego następuje całkowite zniszczenie elementów konstrukcji dna lub burty kadłuba okrętu poniżej wodnicy (poszycie, usztywnienia i wiązary w wybranym przekroju poprzecznym), na długości l .

Wartość l określa Zamawiający na podstawie zakładanej masy ładunku wybuchowego i współrzędnych miejsca wybuchu, w układzie współrzędnych związanym z okrętem.

6.2.3 Uszkodzenia kadłuba wskutek kolizji z obiektem pływającym

W obliczeniach należy założyć, że wskutek kolizji następuje całkowite zniszczenie elementów konstrukcji burty okrętu w następującym obszarze:

- na długości 5 m pomiędzy sąsiednimi grodziami poprzecznymi;
- na głębokości $1/5B$ (od położenia burty przed uszkodzeniem, do wnętrza kadłuba);
- od wodnicy do poziomu pokładu głównego (pokład pozostaje nieuszkodzony).

6.2.4 Uszkodzenia dna okrętu wskutek kontaktu z dnem akwenu

W obliczeniach należy założyć, że wskutek kontaktu dna okrętu z dnem akwenu następuje całkowite zniszczenie elementów konstrukcji dna w następującym obszarze:

- na długości 5 m w dowolnym miejscu od owręza w stronę dziobu;
- na szerokości 2,5 m;
- na głębokości 1 m od linii dna przed uszkodzeniem, do wewnątrz okrętu, ale dla okrętów z dnem podwójnym nie głębiej niż do dna wewnętrznego (dno wewnętrzne pozostaje nieuszkodzone).

6.3 Metody analizy i kryteria

6.3.1 Zasady ogólne

6.3.1.1 Wytrzymałość ogólną kadłuba uszkodzonego należy sprawdzić dla obliczeniowych wartości momentu zginającego i obliczeniowych wartości siły poprzecznej wyznaczanych wg 6.3.2.

6.3.1.2 Wytrzymałość związaną z momentami zginającymi od zginania ogólnego można oceniać metodą uproszczoną, zakładając liniowo-sprężysty model kadłuba – wg 6.3.3. Wyniki obliczeń wg 6.3.3 mają jednak charakter konserwatywny. W związku z powyższym zalecane jest sprawdzenie wytrzymałości granicznej uszkodzonego kadłuba w warunkach zginania ogólnego wg 6.3.4 (zamiast obliczeń wg 6.3.3).

6.3.1.3 Wytrzymałość kadłuba w warunkach ścinania podlega ocenie z zastosowaniem liniowo – sprężystego modelu kadłuba, wg 6.3.6.

6.3.2 Obliczeniowe wartości momentów zginających i sił poprzecznych

6.3.2.1 Obliczeniowe wartości momentu zginającego M_{ob} należy wyznaczać wg wzoru:

$$M_{ob} = M_{sf} + 0,8M_w, [kNm] \quad (6.3.2.1)$$

gdzie:

M_{sf} – wartość momentu zginającego na wodzie spokojnej w rozpatrywanym przekroju, [kNm], wyznaczona z uwzględnieniem zatopienia przedziału wodoszczelnego, stosownie do usytuowania uszkodzenia podwodnej części kadłuba – wg 6.2. Poziom wody w zatopionym przedziale sięga do poziomu wodnicy uszkodzonego kadłuba okrętu. Obliczając M_{sf} należy stosować zasady obliczania M_s podane w B/15.4;

M_w – falowy moment zginający, [kNm], określony wg B/15.15.1 dla rozpatrywanego przekroju.

6.3.2.2 Obliczeniowe wartości siły poprzecznej, Q_{ob} , należy wyznaczać wg wzoru:

$$Q_{ob} = Q_{sf} + 0,8Q_w, [kN] \quad (6.3.2.2)$$

gdzie:

Q_{sf} – siła ścinająca na wodzie spokojnej, [kN], dla rozpatrywanego przekroju, wyznaczona z uwzględnieniem zatopienia przedziału wodoszczelnego, stosownie do usytuowania uszkodzenia podwodnej części kadłuba – wg 6.2. Poziom wody w zatopionym przedziale sięga do poziomu wodnicy uszkodzonego kadłuba. Obliczając Q_{sf} należy stosować zasady obliczenia Q_s wg B/15.9.

Q_w – falowa siła poprzeczna, [kN], działająca w rozpatrywanym przekroju, określona jako Q_{wp} lub Q_{wn} wg B/15.10.

6.3.3 Wytrzymałość związana z momentami zginającymi – obliczenia w zakresie liniowo – sprężystym

6.3.3.1 Należy rozpatrzyć wytrzymałość konstrukcji w rejonach założonych uszkodzeń usytuowanych w rejonach o współrzędnych $x = -0,25L_0$, $x = 0$, $x = 0,25L_0$ (w przybliżeniu). Może być wymagane sprawdzenie wytrzymałości w większej liczbie przekrojów poprzecznych – w zależności od podziału przestrzennego i konstrukcji kadłuba.

6.3.3.2 Należy obliczyć wskaźniki poprzecznego przekroju kadłuba względem poziomej osi obojętnej, w założonych miejscach uszkodzeń. Wartość wskaźników przekroju należy obliczać wg wymagań B/15.7.

Nie należy uwzględniać wzdłużnych wiązań kadłuba (poszycie, usztywnienia i wiązary wzdłużne) w obszarach uszkodzonych, zdefiniowanych w 6.2.

Należy rozpatrzyć usytuowanie rejonów uszkodzeń wymienionych w 6.2.1 i 6.2.2, we wszelkich realnych położeniach wzdłuż obwodu poprzecznego przekroju kadłuba (poszycie dna, burt, pokład górny, ściany boczne nadbudówek i pokładówek) tak, aby przy danej wartości R lub l objęły one jak największy obszar konstrukcji.

6.3.3.3 Należy spełnić następujące kryterium:

$$\frac{10^3 M_{ob}}{W} \leq 0,95 R_e \quad (6.3.3.3)$$

gdzie:

M_{ob} – moment obliczeniowy – wg 6.3.2.1, [kNm];

W – wskaźnik poprzecznego przekroju kadłuba uszkodzonego względem dna lub pokładu wytrzymałościowego, [m³], obliczony dla wymiarów netto elementów konstrukcji;

R_e – granica plastyczności materiału, [MPa].

Uwagi:

- A. Nie muszą być spełnione kryteria stateczności płyt ściskanych w warunkach zginania ogólnego momentem M_{ob} .
- B. Usztywnienia wzdłużne i wiązary powinny spełniać kryteria stateczności podane w B/13.5.3 i B/13.5.4.

6.3.4 Wytrzymałość związana z momentami zginającymi – obliczanie momentów granicznych

6.3.4.1 Wytrzymałość konstrukcji należy rozpatrzyć w przekrojach określonych w 6.3.3.1.

6.3.4.2 Należy obliczyć momenty graniczne kadłuba, M_{gr} , [kNm], w przekrojach określonych w 6.3.4.1.

Wartości M_{gr} należy obliczyć metodą podaną w Załączniku Z1 – dla wymiarów netto elementów konstrukcyjnych.

Sposób uwzględnienia elementów konstrukcji uszkodzonej i usytuowanie miejsc uszkodzeń należy przyjąć wg 6.3.3.2.

Alternatywnie obliczenia mogą być wykonane wg 6.3.4.4.

6.3.4.3 Należy spełnić następujące kryterium:

$$M_{ob} \leq 0,9 M_{gr} \quad (6.3.4.3)$$

gdzie:

M_{ob} – obliczeniowe wartości momentów zginających wyznaczone wg 6.3.2.1;

M_{gr} – momenty graniczne wyznaczone wg 6.3.4.2 lub 6.3.4.4.

6.3.4.4 Obliczenia wartości M_{gr} mogą być wykonane z zastosowaniem nieliniowego modelu MES fragmentu konstrukcji kadłuba zawierającego rejon uszkodzony. Należy uwzględnić sprężysto-plastyczne odkształcenia materiału i nieliniowości geometryczne. Obliczenia takie podlegają odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

6.3.5 Wytrzymałość na ścinanie

6.3.5.1 Wytrzymałość uszkodzonego kadłuba w warunkach ścinania należy sprawdzić w tych przekrojach poprzecznych określonych w 6.3.3.1, w których uszkodzone jest poszycie burty.

6.3.5.2 Należy spełnić kryterium:

$$\tau_{max} \leq 0,5R_e \quad (6.3.5.2-1)$$

gdzie:

τ_{max} – maksymalne wartości naprężeń stycznych w poszyciu burt, burt wewnętrznych lub grodzi wzdłużnych, odpowiadające sile ścinającej o wartości Q_{ob} (patrz 6.3.2.2);

τ_{max} należy obliczyć wg teorii prętów cienkościennych, uwzględniając uszkodzenie poszycia w rozpatrywanym przekroju. W obliczeniach należy przyjąć, że oś obojętna poprzecznego przekroju kadłuba w miejscu uszkodzenia pozostaje pozioma.

W przypadku kadłubów z burtą pojedynczą i bez grodzi wzdłużnych warunków określony wzorem (6.3.5.2-1) można zapisać w następującej formie równoważnej:

$$10^2 \frac{Q_{ob} / S_n}{I_n t} \leq 0,5R_e \quad (6.3.5.2-2)$$

gdzie:

Q_{ob} – obliczeniowa siła poprzeczna określona wg 6.3.2.2, [kN];

S_n, I_n – parametry określone wg B/15.11.1 i B/15.7, ale dla poprzecznego przekroju kadłuba z uszkodzonym poszyciem burty;

t – grubość poszycia burty nieuszkodzonej [mm], na poziomie, gdzie druga burta jest uszkodzona.

6.3.5.3 Poszycie burt, burt wewnętrznych i grodzi wzdłużnych okrętu w przekroju kadłuba w miejscu uszkodzenia powinno spełniać kryteria stateczności w warunkach ścinania dla wartości naprężeń stycznych wyznaczonych wg 6.3.5.2, określone w B/13.4.3.

7 WZMOCNIENIA KADŁUBÓW OKRĘTÓW DESANTOWYCH

7.1 Zasady ogólne

7.1.1 Wymagania niniejszego rozdziału stanowią uzupełnienie wymagań rozdziału B/6, dotyczących konstrukcji dna okrętu. Mają one zastosowanie tylko do tych fragmentów dna okrętu, które mogą opierać się o grunt (dno akwenu) w rejonie brzegu akwenu w trakcie przemieszczenia się okrętu w kierunku brzegu i po jego unieruchomieniu.

7.1.2 Wymagania niniejszego rozdziału opierają się na założeniu, że operacja posadowienia okrętu na brzegu (plaży) jest zawsze przeprowadzana wg ustalonych procedur, zapewniających zminimalizowanie obciążeń udarowych w warunkach kontaktu dna okrętu z gruntem. Założono także, że na brzegu akwenu nie ma kawałków skał lub kamieni tworzących nierówności powierzchni o wysokościach większych niż wysokość pasów wzmacniających lub amortyzujących, znajdujących się na dnie okrętu.

7.1.3 Przy wymiarowaniu wiązań kadłuba okrętu desantowego należy rozważyć obciążenia udarowe od fali przybojowej w rejonie brzegu akwenu, uderzenia o grunt na brzegu oraz siły reakcji ramp dla pojazdów, wywołane ciężarem pojazdów. Należy zakładać kąt pochylenia piaszczystego dna morskiego do 2° , pochylenie dna wzdłuż okrętu w części dziobowej od 0° do 2° oraz prędkość lądowania na brzegu do 3 węzłów.

W przypadku wykorzystywania ramp dziobowych i rufowych do przeładunku na głębokiej wodzie pojazdów wojskowej techniki pływającej, należy uwzględnić obciążenia powstające w całej fazie przemieszczania tych pojazdów do wody lub ich przemieszczania z wody na okręt.

7.2 Poszycie dna

7.2.1 Grubość poszycia dna w rejonach narażonych na oddziaływanie gruntu w trakcie i po posadowieniu okrętu na plaży należy określić wg wymagań rozdziału B/6, a następnie powiększyć o 20%. Zastosowana grubość powinna być nie mniejsza niż 7,0 mm.

7.3 Usztywnienia i wiązary dna

7.3.1 Odstęp usztywnień dna w rejonach narażonych na oddziaływanie gruntu w trakcie i po posadowieniu okrętu na plaży nie powinien być większy niż 500 mm. Wartość wskaźnika przekroju tych usztywnień powinna być przynajmniej o 20% większa od wartości wyznaczonej wg wymagań rozdziału B/6.

7.3.2 W obszarze dna wymienionym w 7.3.1 odstęp denników pełnych przy poprzecznym układzie wiązań dna powinien być nie większy niż 1,5 m, a przy układzie wzdłużnym – nie większy niż 2,0 m. Z każdej strony płaszczyzny symetrii okrętu należy zastosować przynajmniej o jeden wzdłużnik boczny dna więcej niż wynika to z wymagań rozdziału B/6, dotyczących rozmieszczenia elementów konstrukcji.

7.3.3 Wymiary wiązarów dna okrętu należy ustalić wg wymagań rozdziałów B/6 i B/14. Należy uwzględnić także stan obciążenia charakterystyczny dla okrętów desantowych, gdzie dno okrętu w obszarze jak w 7.3.1 jest obciążone równomiernym ciśnieniem będącym wynikiem oddziaływania gruntu. Przyjęta do obliczeń powierzchnia tego obszaru nie powinna być większa niż 50% całkowitego obszaru dna okrętu. W obliczeniach należy uwzględnić naprężenia we wzdlużnikach od ogólnego zginania kadłuba opierającego się o grunt. Należy także uwzględnić obciążenia od ciężaru pojazdów przy ich realnej liczbie i rozmieszczeniu na okręcie i na rampach ładunkowych.

7.3.4 Wiązary i usztywnienia dna w obszarze wymienionym w 7.3.1 powinny być spawane spoinami ciągłymi. Otwory w środnikach wiązarów, w miejscach połączeń z usztywnieniami poszycia, powinny być zaślepione lub należy tam stosować nakładki.

7.4 Wytrzymałość ogólna

7.4.1 W przypadku okrętów o długości $L_o > 50$ m obliczenia wytrzymałości ogólnej wymagane w rozdziale B/15 należy uzupełnić, uwzględniając stany obciążeń dla okrętu opierającego się dnem o brzeg, przy różnych realnych konfiguracjach podparcia i obciążenia okrętu od wewnątrz i od reakcji ramp ładunkowych. W obliczeniach można nie uwzględniać momentów zginających i sił poprzecznych falowych (porównaj rozdział B/15), tzn. we wzorach B/15.2.1 i B/15.11.1 można przyjmować $M_w = 0$ i $Q_w = 0$. Należy stosować te same wartości naprężeń dopuszczalnych σ i τ jak w rozdziale B/15.

7.4.2 Jeżeli w przypadku okrętu o długości $L_o > 50$ m przewidziano możliwość opierania się dnem o plażę w rejonie $-0,2L_o < x < 0,2L_o$, to wymagana grubość poszycia oraz wymiany wzdlużnych usztywnień i wiązarów dna w tym rejonie podlegają odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

7.5 Wzdlużniki ochronne lub amortyzujące

7.5.1 Dla jednostek małych lub będących na wyposażeniu okrętów desantowych zalecane jest zastosowanie na dnie wzdlużników ochronnych lub amortyzujących o konstrukcji podobnej do odbojnic burtowych. Wzdlużniki te powinny być zainstalowane w części dna przewidzianej do opierania się o grunt, po zewnętrznej stronie dna, w odstępach około 1,5 m, w osi wzdlużników dennych, a ich wysokość powinna być nie mniejsza niż 100 mm.

7.5.2 Dopuszczalne jest zastosowanie mocnych wzdlużników ochronnych stalowych, z kształtowników walcowanych lub o konstrukcji spawanej, skrzynkowej.

7.5.3 Wzdłużniki ochronne lub obramowania wzdłużników amortyzujących powinny być wykonane z takiego samego materiału jak poszycie dna, do którego są mocowane i powinny być zabezpieczone powłokami ochronnymi przed korozją.

7.5.4 Wzdłużniki ochronne lub obramowania wzdłużników amortyzujących powinny być spawane do poszycia dna kadłuba spoinami ciągłymi. Ich odcinki powinny być spawane między sobą doczołowo przed zamontowaniem do kadłuba. Jeżeli takie spawanie odcinków jest niemożliwe, to PRS może dopuścić spawanie na podkładach ceramicznych.

7.5.5 Końce wzdłużników ochronnych lub obramowań wzdłużników amortyzujących powinny być ukosowane, z pochyleniem nie mniejszym niż 1:3 i powinny sięgać za denniki lub poprzeczne usztywnienia poszycia dna na odległość 30 do 50 mm. Spoiny w rejonie końców w/w elementów powinny być wzmocnione.

8 ŁADOWISKA ŚMIGŁOWCÓW I PŁASZCZYZNY VERTREP

8.1 Zasady ogólne

8.1.1 Wymagania niniejszego rozdziału mają zastosowanie do okrętów z lądowiskami dla śmigłowców i/lub z płaszczyznami VERTREP (powierzchniami pokładu, z których ładunki mogą być odbierane przez śmigłowiec będący w zawisie lub przyjmowane z takiego śmigłowca).

Konstrukcje lądowisk dla śmigłowców i płaszczyzn VERTREP powinny także spełniać wymagania normy Obronnej prNO-19A-206.

8.1.2 W niniejszym rozdziale podane są ogólne wymagania konstrukcyjne dotyczące lądowisk śmigłowców i płaszczyzn VERTREP, obciążenia obliczeniowe oraz zasady obliczania wymaganej grubości poszycia, wskaźnika przekroju usztywnień poszycia oraz sprawdzania wytrzymałości systemu wiązarów.

8.2 Określenia i objaśnienia

W niniejszym rozdziale stosowane są następujące określenia dotyczące obciążeń:
 obciążenie statyczne – sumaryczny nacisk Q_s kół śmigłowca na pokład lądowiska lub nacisk elementu ładunku na płaszczyznę VERTREP, o wartości odpowiadającej maksymalnej masie startowej m śmigłowca lub maksymalnej masie elementu ładunku ($Q_s = mg$; $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ – przyspieszenie ziemskie);

obciążenie obliczeniowe dla rejonu przyziemia – (określonego wg Normy Obronnej prNO-19-A-206) – obciążenie o wartości $3Q_s$;

obciążenie obliczeniowe dla rejonu krytycznego – (określonego wg Normy Obronnej prNO-19-A-206) – obciążenie o wartości $5Q_s$;

obciążenie w warunkach manewrowania lub parkowania – obciążenie odpowiadające ciśnieniu p na powierzchni odcisku koła lub powierzchni styku elementu ładunku z płaszczyzną VERTREP, określonego wg wzoru (9.3.2.3-2) dla $K_d = 1 + (0,5a_v/g)$, przy czym przyjęta do obliczeń wartość K_d nie może być mniejsza niż 1,5.

8.3 Wymagana dokumentacja

8.3.1 Dokumentacja lądowiska dla śmigłowców

Dokumentacja przedstawiana do zatwierdzenia powinna zawierać następujące informacje:

1. usytuowanie i wymiary lądowiska;
2. zwymiarowane oznakowanie powierzchni lądowiska, wyznaczające rejon przyziemia, manewrowania i parkowania (należy uwzględnić wymagania Normy obronnej prNO-19-A206);
3. rozmieszczenie urządzeń do mocowania śmigłowców do pokładu;

- .4 dane techniczne śmigłowców przyjęte do zaprojektowania konstrukcji lądowiska (maksymalna masa, rozstaw kół lub płóz, wymiary odcisków kół lub płóz);
- .5 rysunki konstrukcyjne lądowiska;
- .6 rysunki określające przeznaczenie i wyposażenie pomieszczeń pod pokładem lądowiska;
- .7 określenie rejonu przyziemia awaryjnego (rejonu krytycznego);
- .8 dla lądowisk, na których umieszczono płaszczyznę VERTREP – informacje wymienione w 8.3.2, w podpunktach .1, .2, .3 i .4.

8.3.2 Dokumentacja płaszczyzny VERTREP

Dokumentacja przedstawiana do zatwierdzenia powinna zawierać następujące informacje:

- .1 usytuowanie płaszczyzny VERTREP;
- .2 wymiary całkowite i wymiary powierzchni przeznaczonej do opuszczania ładunku ze śmigłowca;
- .3 powierzchnia przewidziana do składania ładunku i rozmieszczenie urządzeń do mocowania ładunku;
- .4 dane techniczne opuszczanego ze śmigłowca ładunku przyjęte do zaprojektowania konstrukcji płaszczyzny VERTREP (maksymalna masa i wymiary);
- .5 rysunki konstrukcyjne płaszczyzny VERTREP;
- .6 rysunki określające przeznaczenie i wyposażenie pomieszczeń pod płaszczyzną VERTREP.

8.4 Poszycie, usztywnienia, wiązary i podpory lądowisk śmigłowców

8.4.1 Poszycie

8.4.1.1 Wyznaczając wymaganą grubość poszycia lądowiska w obszarze przewidzianym do lądowania należy założyć, że obciążenie od kół śmigłowca może wystąpić w dowolnym miejscu obszaru.

8.4.1.2 Należy założyć, że obciążenie w warunkach lądowania (patrz 8.2) rozkłada się równomiernie na dwie powierzchnie śladów kół (lub obwiedni śladów kół) o wymiarach wg dokumentacji technicznej śmigłowca.

Jeżeli wymiary te nie są znane, to należy przyjąć wymiary odcisku koła $0,2\text{ m} \times 0,3\text{ m}$ ($0,2\text{ m}$ – wymiar w kierunku poprzecznym do osi koła).

Identyczne wymiary powierzchni nacisku na pokład jak wyżej (tzn. $0,2\text{ m} \times 0,3\text{ m}$) należy przyjmować w przypadku śmigłowców na płozach.

8.4.1.3 Wymaganą grubość poszycia należy obliczyć wg wzoru (9.3.3.1), wyznaczając Q wg 9.3.4, gdzie należy przyjąć ciśnienie p jako wartość obliczeniowego obciążenia w warunkach lądowania wyznaczoną wg 8.2, rozdzieloną na koła wg 8.4.1.2, podzieloną przez powierzchnię śladu koła (lub obwiedni kół).

8.4.1.4 Jeżeli poniżej lądowiska przewidziano pomieszczenia przeznaczone do stałego przebywania osób (pomieszczenia załogi, stanowiska sterowania, itp.) albo do składowania paliwa płynnego, to grubość poszycia należy obliczać wg 8.4.1.3 stosując obciążenie obliczeniowe dla rejonu krytycznego (patrz 8.2).

8.4.1.5 Grubość poszycia rejonu przyziemia lądowiska usytuowanego na pokładzie wytrzymałościowym w środkowej części kadłuba okrętu należy zwiększyć o 10% w stosunku do wyznaczonej wg 8.4.1.3 lub 8.4.1.4.

W rejonach pokładu wytrzymałościowego pomiędzy częścią środkową a częściami skrajnymi wymaganą grubość t należy ustalić metodą interpolacji liniowej dla wartości t wyznaczonej jak wyżej i wg 8.4.1.3, obowiązującej w częściach skrajnych.

8.4.1.6 W rejonach lądowiska przeznaczonych do manewrowania lub parkowania śmigłowców wymaganą grubość poszycia należy obliczyć wg wzoru (9.3.3.1) dla obciążeń w warunkach manewrowania i obciążeń w warunkach postoju (patrz 8.2).

Obowiązuje przy tym zgrubienie poszycia wg 8.4.1.5.

8.4.1.7 Poszycie w obszarach innych niż przeznaczone do lądowania, manewrowania i parkowania należy wymiarować jak w przypadku pokładów, tzn. wg rozdziału B/8.

8.4.2 Usztywnienia

8.4.2.1 Wyznaczając wymagany wskaźnik przekroju usztywnień poszycia pokładu lądowiska w obszarze przewidywanym do lądowania należy stosować wymagania podane w 8.4.1.1 i 8.4.1.2, dotyczące obciążeń od kół śmigłowca.

8.4.2.2 Wymagany wskaźnik przekroju usztywnień należy obliczać wg punktu 9.4.2.

Wyznaczając Q wg wzoru (9.4.3) należy przyjąć ciśnienie p jako wartość obciążenia wyznaczoną wg 8.2, rozdzieloną na koła wg 8.4.1.2, podzieloną przez powierzchnię śladu koła (lub obwiedni kół).

We wzorze (9.4.9) należy stosować następujące wartości K :

- $K = 1,0$ – dla usztywnień lądowisk na specjalnych platformach, lądowisk na usztywnionych wzdłużnie pokładach w skrajnych częściach okrętu i na pokładach usztywnionych poprzecznie;
- $K = 1 - \frac{\sigma_o}{Re}$ – dla wzdłużnych usztywnień pokładu (lądowiska) w środkowej części okrętu, gdzie σ_o jest naprężeniem od ogólnego zginania kadłuba, obliczanym dla momentu zginającego $M = M_s + 0,59M_w$; M_s i M_w – patrz rozdział B/15.
- K obliczane metodą interpolacji liniowej – dla wzdłużnych usztywnień lądowisk na pokładzie, usytuowanych pomiędzy środkową częścią kadłuba a częściami skrajnymi.

8.4.2.3 W rejonach lądowiska przeznaczonych do manewrowania lub parkowania śmigłowców wymagany wskaźnik przekroju usztywnień należy obliczać wg wzoru (9.4.2) dla obciążeń w warunkach manewrowania i obciążeń w warunkach parkowania (patrz 8.2).

8.4.2.4 Pole przekroju poprzecznego środka usztywnienia w obszarze przewidzianym do lądowania powinno być nie mniejsze niż pole obliczone wg wzoru:

$$A_s = \frac{12,5Q_s}{\tau_{dop}}, [\text{cm}^2] \quad (8.4.2.4)$$

gdzie:

Q_s – patrz 8.2, [kN]

$\tau_{dop} = 0,5Re$, [MPa].

8.4.2.5 Usztywnienia w obszarach innych niż przewidziane do lądowania, manewrowania i parkowania należy wymiarować jak dla pokładów, tzn. wg wymagań rozdziału B/8.

8.4.3 Wiązary i podpory

8.4.3.1 Wymiary wiązarów i elementów konstrukcji podpierającej lądowisko należy wyznaczyć na podstawie obliczeń bezpośrednich, z uwzględnieniem wymagań rozdziału B/14.

8.4.3.2 Należy sprawdzić wytrzymałość wiązarów i elementów konstrukcji podpierającej lądowisko dla obciążenia określonego wg 8.2 stosując założenia dotyczące obciążenia od kół, podane w 8.4.1.1 i 8.4.1.2.

Należy przy tym spełnić kryterium:

$$\sigma_{zr} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq Re \quad (8.4.3.2)$$

gdzie:

σ – naprężenia normalne; dla wzdłużnych wiązarów lądowisk na pokładach σ jest sumą naprężeń od zginania wiązarów i naprężeń od ogólnego zginania kadłuba momentem $M_s + 0,59M_w$ (M_s , M_w – patrz B/15);

τ – średnie naprężenia styczne w środnikach wiązarów.

8.4.3.3 W warunkach obciążenia jak w 8.4.3.2 naprężenia krytyczne w ściskanych elementach podpartych lądowiska powinny być nie mniejsze niż naprężenia ściskające.

8.4.3.4 Należy także sprawdzić wytrzymałość wiązarów i elementów konstrukcji podpierającej lądowisko w warunkach manewrowania i parkowania śmigłowców dla obciążeń wymaganych w 8.4.1.6.

Należy przy tym uwzględnić oblodzenie wg B/17.4, jeżeli ma to zastosowanie.

Należy stosować wartości naprężeń dopuszczalnych podane w B/14.4.

8.5 Poszycie, usztywnienia, wiązary i podpory płaszczyzn VERTREP

8.5.1 Poszycie

8.5.1.1 Jeżeli sztuki ładunku lub wyposażenia przewidziane do opuszczania na płaszczyznę VERTREP mają formę sztywnych elementów, to należy przyjąć, że obciążenie w warunkach opuszczania rozkłada się równomiernie na dwie powierzchnie w wymiarach $0,1\text{ m} \times 0,1\text{ m}$, pod dwoma dowolnymi narożami elementu.

W przypadku innych typów ładunku obciążenia w warunkach opuszczania podlegają odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

8.5.1.2 Poszycie płaszczyzny VERTREP należy wymiarować wg wymagań podrozdziału 8.4.1, jak dla poszycia pokładów ładowisk, ale dla zastępczej powierzchni odcisków kół wg 8.5.1.1.

8.5.1.3 Poszycie powinno spełniać także wymagania rozdziału B/8, dotyczące pokładów.

8.5.2 Usztywnienia

8.5.2.1 Usztywnienia należy wymiarować wg wymagań podanych w 8.4.2 dla usztywnień ładowisk śmigłowców (w zakresie, jaki ma zastosowanie) przyjmując wg 8.5.1.1 założenia dotyczące obciążenia.

8.5.3 Wiązary i podpory

8.5.3.1 Wiązary i podpory należy wymiarować wg wymagań podanych w 8.4.3 dla ładowisk śmigłowców (w zakresie, jaki ma zastosowanie) przyjmując wg 8.5.1.1 założenia dotyczące obciążenia.

9 POKŁADY DO TRANSPORTU POJAZDÓW

9.1 Zasady ogólne

9.1.1 Zastosowanie

Wymagania niniejszego rozdziału mają zastosowanie do pokładów okrętów usztywnionych wzdłużnie lub poprzecznie, przeznaczonych do transportu pojazdów kołowych lub gąsienicowych oraz do pokładów przestrzeni magazynowych, gdzie pojazdy są stosowane do przemieszczania zapasów lub ładunku.

9.1.2 Dokumentacja techniczna

9.1.2.1 Należy przedłożyć do rozpatrzenia i zatwierdzenia przez PRS następujące dane:

- plan ustawienia pojazdów na pokładach;
- zakładane parametry pojazdów takie jak:
 - maksymalna masa,
 - rozstaw osi i kół lub wymiary odcisków i rozstaw gąsienic,
 - typ opon oraz wymiary odcisków opon,
 - obciążenia statyczne przypadające na poszczególne koła lub poszczególne ogniwa gąsienic.

9.1.2.2 Parametry pojazdów wymagane w 9.1.2.1 należy podać w *Instrukcji kontroli obciążenia okrętu*.

9.2 Materiały i spawanie

9.2.1 Osprzęt stały (trwale połączony z konstrukcją kadłuba) do mocowania pojazdów i ładunku powinien być wykonany ze stali o kategorii spełniającej wymagania rozdziału B/2. Zastosowanie innych kategorii stali lub materiałów podlega odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

9.2.2 Odlewy stanowiące osprzęt stały do mocowania pojazdów i ładunku zamocowane do kadłuba powinny odpowiadać wymaganiom *Części IX – Materiały i spawanie*.

9.2.3 Spawanie elementów osprzętu stałego do mocowania pojazdów i ładunku do konstrukcji kadłuba powinno spełniać wymagania rozdziału B/4.

9.2.4 Na połączeniach wiązarów i usztywnień do poszycia pokładów przeznaczonych do transportu pojazdów nie należy stosować wycięć. Zasadniczo należy stosować ciągłą spoinę dwustronną. Spoina przerywana obustronna może być zastosowana po odrębnym rozpatrzeniu przez Organ PRS.

9.3 Poszycie

9.3.1 Założenia ogólne

Wymagania wytrzymałościowe dla poszycia pokładów, które mogą podlegać obciążeniom od kół pojazdów oparte są na założeniu, że płyty poszycia poddane są równomiernemu obciążeniu powierzchniowemu (ciśnieniu) od pojedynczego koła.

W przypadku grupy kół, której odciski leżą w odległościach mniejszych od mniejszego z wymiarów odcisku pojedynczego koła, jej oddziaływanie na poszycie można zastąpić zastępczym odciskiem o wymiarach obwiedni tej grupy kół.

Wymiarowanie poszycia w przypadku innej konfiguracji odcisku grupy kół podlega odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

9.3.2 Ciśnienie obliczeniowe i wymiary odcisku koła

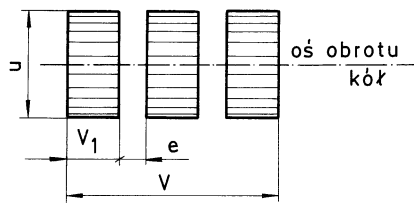
9.3.2.1 Ciśnienie obliczeniowe i wymiary odcisków kół (lub obwiedni grupy kół) należy ustalić na podstawie danych technicznych pojazdów (patrz 9.3.2.2).

Jeżeli rozmieszczenie i rozmiary odcisków kół nie są znane, to na potrzeby obliczeń wytrzymałościowych należy je ustalić wg 9.3.2.4.

9.3.2.2 Powierzchnię obliczeniową F odcisku pojedynczego koła lub grupy kół należy określać wg wzoru:

$$F = u \cdot v, \text{ [m}^2\text{]} \quad (9.3.2.2)$$

gdzie: $v = v_1$ – dla pojedynczego koła albo gdy $e > v_1$ (rys. 9.3.2.2); dla grupy kół v wg rys. 9.3.2.2.



Rys. 9.3.2.2

9.3.2.3 Jeżeli wymiary u i v odcisków kół są znane (patrz 9.3.2.2), to ciśnienie statyczne p_k działające na powierzchni odcisku koła należy wyznaczać wg wzoru:

$$p_k = \frac{n}{n_0} \frac{Q_0}{F}, \text{ [kPa]} \quad (9.3.2.3-1)$$

gdzie:

n – liczba kół tworzących grupę kół (dla kół pojedynczych $n = 1$);

n_0 – liczba kół na osi pojazdu;

F – powierzchnia odcisku koła lub grupy kół, [m²];

Q_0 – obciążenie statyczne przypadające na oś pojazdu, [kN];

W przypadku nierównych obciążeń poszczególnych osi pojazdu należy przyjmować takie Q_0 aby obliczone p_k było największe.

Przyjęta do obliczeń minimalna wartość Q_0 powinna odpowiadać obciążeniu pojedynczego koła i wynosić 3,0 kN.

W przypadku podnośników widłowych stosowanych do operacji ładunkowych należy założyć, że całkowity ciężar pojazdu z ładunkiem obciąża przednią oś.

W przypadku pojazdów gąsienicowych F jest powierzchnią odcisku gąsienicy a Q_0 jest połową ciężaru pojazdu.

Ciśnienie obliczeniowe p działające na powierzchni odcisku koła, niezbędne do określenia obciążenia obliczeniowego Q stosowanego do obliczania wymaganej grubości poszycia (patrz 9.3.3.1 i 9.3.3.2) oraz wskaźnika przekroju usztywnień poszycia (patrz 9.4.2 i 9.4.3) należy obliczać wg wzoru:

$$p = K_d p_k, \text{ [kPa]} \quad (9.3.2.3-2)$$

$K_d = \alpha_1 \cdot \alpha_2$ – współczynnik uwzględniający obciążenia dynamiczne od przemieszczających się pojazdów;

α_1 – współczynnik równy:

$\alpha_1 = 1,1$ – w przypadku pojazdów (oprócz podnośników widłowych i pojazdów gąsienicowych) o obciążeniu na oś mniejszym niż 50 kN,

$\alpha_1 = 1,05$ – w przypadku pojazdów (oprócz podnośników widłowych i pojazdów gąsienicowych) o obciążeniu na oś wynoszącym 50 kN lub więcej,

$\alpha_1 = 1$ – w przypadku podnośników widłowych i pojazdów gąsienicowych,

α_2 – współczynnik równy 1,15 – w przypadku pojazdów z oponami pneumatycznymi i litymi albo 1,25 - w przypadku kół z obręczami stalowymi i pojazdów gąsienicowych;

$K_d = 1 + \frac{0,5a_v}{g}$ – w warunkach morskich;

a_v – przyspieszenie pionowe, [m/s²], określane według B/17.5.4.1;

9.3.2.4 Jeżeli wymiary odcisków kół pojazdów nie są znane, to ciśnienie p_k , [kPa], można przyjąć według tabeli 9.3.2.4

Tabela 9.3.2.4

Typ pojazdu	Typ opon	
	pneumatyczne	lite
samochody osobowe lub terenowe	200	–
samochody ciężarowe	800	–
przyczepy i naczepy	800	1500
podnośniki widłowe	800(dla $n = 1$)	1500
	600(dla $n \geq 2$)	1500

Powierzchnię odcisku koła lub grupy kół należy obliczać wg wzoru:

$$F = \frac{n}{n_0} \frac{Q_0}{p_K}, \quad [\text{m}^2] \quad (9.3.2.4-1)$$

n , n_0 , Q_0 – jak w 9.3.2.3.

Wymiar u odcisku, prostopadły do osi obrotu kół, należy obliczać wg wzorów (patrz rys. 9.3.2.2):

– dla kół z oponami litymi:

$$u = 0,1 \frac{Q_0}{n_0}, \quad [\text{m}], \quad \text{gd}y \quad \frac{Q_0}{n_0} \leq 15 \text{ kN}, \quad (9.3.2.4-2)$$

$$u = 0,15 + 0,001 \left(\frac{Q_0}{n_0} - 100 \right), \quad [\text{m}], \quad \text{gd}y \quad \frac{Q_0}{n_0} > 15 \text{ kN},$$

– dla kół z oponami pneumatycznymi:

$$u = 0,15 + 0,0025 \frac{Q_0}{n_0}, \quad [\text{m}], \quad \text{gd}y \quad \frac{Q_0}{n_0} \leq 100 \text{ kN}, \quad (9.3.2.4-3)$$

$$u = 0,4 + 0,002 \left(\frac{Q_0}{n_0} - 100 \right), \quad [\text{m}], \quad \text{gd}y \quad \frac{Q_0}{n_0} > 100 \text{ kN}.$$

Wymiar v odcisku koła lub grupy kół, równoległy do osi obrotu należy obliczać wg wzoru:

$$v = \frac{F}{u}, \quad [\text{m}] \quad (9.3.2.4-4)$$

9.3.2.5 Ustalając obciążenia obliczeniowe należy rozpatrzyć obciążenia portowe (załadunek lub wyładunek) i obciążenia morskie od ciężaru przewożonych pojazdów.

Obciążenia obliczeniowe należy określić dla dwóch wzajemnie prostopadłych położen osi obrotu kół względem boków płyty poszycia lub usztywnień:

- oś obrotu kół równoległa do krótszego boku płyty (prostopadła do kierunku usztywnień),
- oś obrotu kół równoległa do dłuższego boku płyty (równoległa do kierunku usztywnień).

We wszystkich przypadkach odciski kół powinny być usytuowane w ten sposób, aby dłuższy bok płyty albo odcinek poszycia podpierany przez usztywnienie były obciążone na jak największej długości.

9.3.3 Wymagana grubość poszycia

9.3.3.1 Grubość poszycia pokładu poddanego obciążeniu od kół powinna być nie mniejsza, niż grubość obliczona wg wzoru:

$$t = 58K_1 \sqrt{\frac{K_2 Q_s}{mR_e}} + t_k, \quad [\text{mm}] \quad (9.3.3.1)$$

- K_1 – współczynnik liczbowy, którego wartości należy określać następująco:
- minimalne wartości K_1 , które można stosować dla poszycia wszystkich pokładów oprócz pokładu górnego, wynoszą:
 - $K_1 = K_{1min} = 1,0$ – w warunkach portowych, dla obciążeń przy załadunku lub wyładunku,
 - $K_1 = K_{1min} = 1,075$ – w warunkach morskich, dla obciążeń od przewożonych pojazdów;
 - dla poszycia pokładu górnego w środkowej części okrętu

$$K_1 = \frac{1}{\sqrt{K_0}}$$

lecz nie mniej niż wartości K_{1min} podane wyżej.

Wartości współczynnika K_0 należy przyjąć według tabeli 9.3.3.1.

Tabela 9.3.3.1
Wartości K_0

Układ wiązań pokładu	Warunki eksploatacji	
	portowe	morskie
wzdłużny	$K_0=1-0,05 \frac{W}{W_r}$	$K_0=0,92-0,16 \frac{W}{W_r}$
poprzeczny	$K_0=1-0,23 \frac{W}{W_r}$	$K_0=0,86-0,36 \frac{W}{W_r}$

W – wymagana wartość wskaźnika przekroju kadłuba w środkowej części okrętu, [cm³], obliczona według B/15.2.1;

W_r – rzeczywista wartość wskaźnika przekroju kadłuba w środkowej części okrętu, [cm³], obliczona według zasad podanych w B/15.7.1;

- dla poszycia pokładu górnego w skrajnych częściach okrętu obowiązują minimalne wartości K_1 podane wyżej;
- pomiędzy częścią środkową okrętu a częściami skrajnymi, wartości K_0 zmieniają się liniowo;

$$K_2 = 1,25 - 0,5 \frac{s}{l} \quad \text{dla } \frac{s}{l} > 0,5,$$

$$K_2 = 1 \quad \text{dla } \frac{s}{l} \leq 0,5;$$

l – rozpiętość pokładników, [m];

s – odstęp pokładników, [m];

Q – obciążenie obliczeniowe, ustalone według punktu 9.3.4;

R_e – granica plastyczności materiału poszycia, [MPa] (patrz B/2.2);

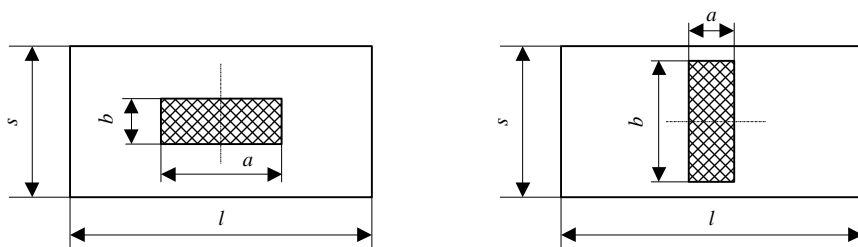
m – współczynnik, obliczany w następujący sposób (dla odcisku pojedynczego koła lub obwiedni grupy kół – patrz rys. 9.3.3.1):

$$m = \frac{5,85}{1 - 0,57 \frac{b}{s}} \quad \text{dla} \quad \frac{b}{s} < 1,$$

$$m = 29,47 - \frac{b}{s} \left[23,65 - 8,75 \frac{b}{s} + 0,97 \left(\frac{b}{s} \right)^2 \right] \quad \text{dla} \quad 1 \leq \left(\frac{b}{s} \right) \leq 3,35,$$

$$m = 12 \quad \text{dla} \quad \frac{b}{s} > 3,35,$$

b – długość krawędzi odcisku koła prostopadłej do usztywnień (rys. 9.3.3.1), [m];



a) Oś obrotu kół prostopadła do usztywnień

b) Oś obrotu kół równoległa do usztywnień

Rys. 9.3.3.1

9.3.3.2 Jeżeli wymiary odcisków kół ustalono według 9.3.2.4, to grubość poszycia obliczoną wg 9.3.3.1 należy powiększyć o 15%.

9.3.3.3 Grubość poszycia obliczoną wg 9.3.2.4 dla obciążeń od pojazdów gąsienicowych należy dodatkowo powiększyć o 1,5 mm.

9.3.3.4 Grubość poszycia pokładu nie może być mniejsza od obliczonej wg B/8.3 dla pokładów pomieszczeń magazynowych.

9.3.4 Obciążenie obliczeniowe dla poszycia

Obciążenie obliczeniowe dla poszycia, Q , [kN], należy obliczać wg wzoru:

$$Q = p C s_1, \quad [\text{kN}] \quad (9.3.4)$$

gdzie:

p – według wzoru 9.3.2.3-2;

$C = 1,35C_1 - 0,6C_1^2 + 0,09C_1^3$, ale nie więcej niż 1;

$$C_1 = \frac{a}{s};$$

a, s – według rys. 9.3.3.1;

$s_1 = b$, gdy $b < s$;

$s_1 = s$, gdy $b \geq s$;

b – według rys. 9.3.3.1.

9.4 Pokładniki

9.4.1 Zasady ogólne

Ustalając obciążenia obliczeniowe pokładników należy stosować zasady podane w punkcie 9.3.2.5 dla poszycia.

9.4.2 Wskaźnik przekroju pokładników

Wskaźnik przekroju netto (tzn. po odjęciu naddatków korozyjnych według B/ 2.5) poprzecznych i wzdłużnych pokładników pokładów podlegających obciążeniom od kół powinien być nie mniejszy, niż wskaźnik obliczony wg wzoru:

$$W = \frac{1000 Ql}{mKR_e} \quad [\text{cm}^3] \quad (9.4.2)$$

Q – obciążenie obliczeniowe, [kN], ustalone wg punktu 9.4.3;

l – rozpiętość pokładnika, [m];

R_e – granica plastyczności materiału pokładnika, [MPa];

m – współczynnik, obliczany w następujący sposób:

$$m = \frac{5,85}{1 - 0,57 \frac{a}{l}} \quad \text{dla} \quad \frac{a}{l} < 1,$$

$$m = 29,47 - \frac{a}{l} \left[23,65 - 8,75 \frac{a}{l} + 0,97 \left(\frac{a}{l} \right)^2 \right] \quad \text{dla} \quad 1 \leq \left(\frac{a}{l} \right) \leq 3,35,$$

$$m = 12 \quad \text{dla} \quad \frac{a}{l} > 3,35;$$

a – wymiar odcisku wzdłuż usztywnień – patrz rys. 9.3.3.1;

K – współczynnik naprężeń dopuszczalnych, o wartościach ustalanych w następujący sposób:

– dla pokładników wzdłużnych w środkowej części okrętu – wg tabeli 9.4.2, przy czym przyjęte wartości nie powinny przekraczać K_{max} ;

– dla pokładników wzdłużnych w skrajnych częściach okrętu: $K = K_{max}$; pomiędzy środkową częścią okrętu, a częściami skrajnymi wartość K zmienia się liniowo;

– dla pokładników poprzecznych: $K = K_{max}$.

W – wymagana wartość wskaźnika przekroju kadłuba w środkowej części okrętu, [cm^3], obliczana według B/15.2.1;

W_r – rzeczywista wartość wskaźnika przekroju kadłuba dla rozpatrywanego pokładu w środkowej części okrętu, [cm^3], obliczana według zasad podanych w B/15.7.1.

Tabela 9.4.2**Wartości K dla pokładników wzdłużnych w środkowej części okrętu**

Pokładniki wzdłużne	Warunki eksploatacji	
	morskie	portowe
dowolny pokład	$0,96-0,56 \frac{W}{W_r}$	$0,96-0,36 \frac{W}{W_r}$
K_{max}	0,7	0,8

9.4.3 Obciążenia obliczeniowe

Obciążenia obliczeniowe Q dla usztywnień należy obliczać wg wzoru:

$$Q = K \cdot p \cdot s_1 \cdot l_1, \text{ [kN]}$$

gdzie:

$$K = 1, \text{ gdy } \frac{b}{s} < 1 \text{ albo } \frac{b}{s} \geq 3$$

$$K = 1,3 - 0,3 \left(\frac{b}{s} - 2 \right), \text{ gdy } 1 \leq \frac{b}{s} < 3$$

s – szerokość pasa poszycia podpieranego przez usztywnienie (odstęp usztywnień), [m];

p – ciśnienie obliczeniowe określane wg wzoru (9.3.2.3-2);

$$s_1 = b, \text{ gdy } b < s,$$

$$s_1 = s, \text{ gdy } b \geq s,$$

$$l_1 = a, \text{ gdy } a < l,$$

$$l_1 = l, \text{ gdy } a \geq l,$$

a, b, s, l – patrz rys. 9.3.3.1.

9.4.4 Wymagania dodatkowe dotyczące wskaźnika przekroju pokładników

9.4.4.1 Jeżeli wymiary odcisków kół ustalono według 9.3.2.4, to wskaźnik przekroju obliczony według wzoru (9.4.2), należy powiększyć o 15%.

9.4.4.2 W sytuacjach, gdy nie można uznać, że pokładniki są sztywno podparte na każdym z wiązarów, wartości współczynnika m należy uzgodnić z PRS.

9.4.4.3 Wskaźniki przekroju pokładników nie mogą być mniejsze od wymaganych dla pomieszczeń magazynowych, dla obciążeń wg B/17.6.7.

9.5 Wiązary

9.5.1 Metoda obliczeń wytrzymałości wiązarów

Wymiary wiązarów podlegają sprawdzeniu metodami analizy wytrzymałości strefowej określonymi w B/14.

Wartości naprężeń dopuszczalnych podano w B/14.5.

9.5.2 Obciążenie

W obliczeniach należy uwzględnić najbardziej niekorzystne warianty obciążenia pojazdami w warunkach portowych i w warunkach morskich, uwzględniając obciążenia dynamiczne w identyczny sposób jak podano w punkcie 9.3.2.3 dotyczącym obciążeń poszycia.

Wytrzymałość wiązarów powinna być odpowiednia także dla minimalnych ciśnień, o wartościach podanych w B/17.6.7, działających na całej powierzchni pokładu.

10 WZMOCNIENIA LODOWE

10.1 Zasady ogólne

10.1.1 Zastosowanie

10.1.1.1 Wymagania niniejszego rozdziału mają zastosowanie do okrętów uprawiających żeglugę w akwenach, w których może wystąpić pokrywa lodowa lub kra.

10.1.1.2 Wymagania niniejszego rozdziału należy traktować jako uzupełnienie wymagań podstawowych, podanych w części B.

10.1.2 Klasyfikacja

10.1.2.1 Okręty zbudowane zgodnie z wymaganiami określonymi w podrozdziale 10.2, mającymi zastosowanie do okrętów przewidzianych do samodzielnej dorywczej żeglugi w lekkich warunkach lodowych (w drobno pokruszonych lodach) w przybrzeżnych rejonach zachodniej części Morza Bałtyckiego lub innych akwenach o podobnych warunkach, mogą otrzymać w symbolu okrętu znak wzmocnień lodowych **L4**.

10.1.2.2 Okręty zbudowane zgodnie z wymaganiami określonymi w podrozdziale 10.3, mającymi zastosowanie do okrętów przewidzianych do żeglugi w okresie zimowym na Morzu Bałtyckim lub na morzach niearktycznych o podobnych warunkach lodowych, mogą otrzymać w symbolu klasy następujące znaki wzmocnień lodowych, odpowiednio do zakresu zastosowanych wzmocnień:

- **L3**, który oznacza możliwość żeglugi w lekkich warunkach lodowych,
- **L2**, który oznacza możliwość żeglugi w średnich warunkach lodowych,
- **L1, L1A**, które oznaczają możliwość żeglugi w ciężkich warunkach lodowych.

O konieczności posiadania przez okręt wzmocnień lodowych decyduje Zamawiający.

10.1.2.3 Wzmocnienia lodowe okrętów przewidzianych do żeglugi po morzach arktycznych podlegają odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

10.1.3 Oznaczenia

L_0 – długość obliczeniowa okrętu, określona w A/2.2, [m];

s_s – standardowy odstęp wręgów, [m],

$s_s = 0,48 + 0,002 L_0$; w rejonie od grodzi skrajnika do dziobu należy przyjmować $s_s \leq 0,61$, [m];

s_o – rzeczywisty odstęp wręgów (bez uwzględnienia międzywręgów), [m];

s – odstęp wręgów z uwzględnieniem międzywręgów, jeżeli je zastosowano, mierzony wzdłuż poszycia, [m];

l – rozpiętość usztywnienia lub wiazara mierzona wzdłuż mocnika, [m];

- D_s – wyporność okrętu w wodzie słodkiej ($\rho = 1,0 \text{ t/m}^3$) przy zanurzeniu równym maksymalnemu zanurzeniu na owrężu ze względu na wzmocnienia lodowe, określonym w 10.1.4, [t];
- N_s – maksymalna ciągła moc napędu głównego, [kW];
- LWL – linia maksymalnego zanurzenia – linia określona na poszyciu burt przez maksymalne zanurzenie okrętu na rufie, na owrężu i na dziobie (może to być linia łamana);
- BWL – linia balastowa – linia określona na poszyciu burt przez minimalne zanurzenie okrętu na dziobie oraz na rufie,
- R_e – granica plastyczności materiału – patrz B/2.2, [MPa].

10.1.4 Określenia

Maksymalne zanurzenie na owrężu ze względu na wzmocnienia lodowe – zanurzenie odpowiadające maksymalnemu dopuszczalnemu zanurzeniu okrętu.

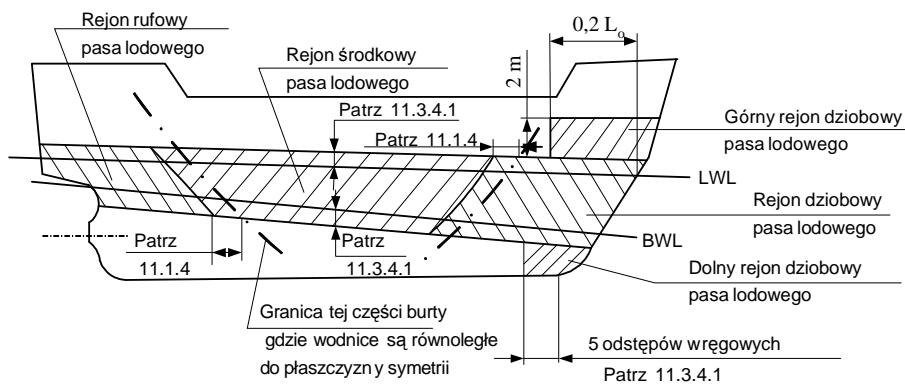
Pas lodowy – pas poszycia kadłuba podlegający wzmocnieniu.

Rejony wzmocnień lodowych – dla wzmocnień lodowych **L1A**, **L1**, **L2** i **L3** pas lodowy dzieli się na następujące rejony (patrz rys. 10.1.4):

Rejon dziobowy – od dziobnicy do linii równoległej i przesuniętej o $0,04 L_0$ w stronę rufy w stosunku do linii wyznaczającej granicę tej części kadłuba, gdzie wodnice są równoległe do płaszczyzny symetrii. Wyżej wymienione przesunięcie w stosunku do powyższej linii granicznej może nie przekraczać 6 m w przypadku wzmocnień lodowych **L1A** i **L1** oraz 5 m w przypadku wzmocnień lodowych **L2** i **L3**.

Rejon środkowy – od tylnej granicy rejonu dziobowego do linii równoległej i przesuniętej o $0,04 L_0$ w stronę rufy w stosunku do linii wyznaczającej granicę tej części kadłuba, gdzie wodnice są równoległe do płaszczyzny symetrii. Wyżej wymienione przesunięcie w stosunku do powyższej linii granicznej może nie przekraczać 6 m w przypadku wzmocnień lodowych **L1A** i **L1** oraz 5 m w przypadku wzmocnień lodowych **L2** i **L3**.

Rejon rufowy – część pasa lodowego od rufowej granicy rejonu środkowego ku rufie.



Rys. 10.1.4 Rejony pasa lodowego

10.2 Podstawowe wzmocnienia lodowe L4

10.2.1 Pas lodowy

10.2.1.1 Pionowy zasięg pasa lodowego poszycia obejmuje rejon od linii położonej 0,5 m powyżej *LWL* do linii położonej 0,5 m poniżej *BWL*.

10.2.1.2 W dziobowej części okrętu, od dziobnicy do przekroju o współrzędnej $x = (0,5 L_0 - B)$ grubość poszycia powinna być nie mniejsza, niż grubość obliczona według wzoru:

$$t = 6 + 0,11 L_0 + \Delta t, \quad [\text{mm}] \quad (10.2.1.2)$$

$$\Delta t = 20 (s_o - s_s), \quad [\text{mm}]; \text{ należy przyjmować } \Delta t \geq 0.$$

W rejonie od przekroju o współrzędnej $x = 0,5 L_0 - B$ do miejsca, gdzie wodnice osiągają pełną swoją szerokość, grubość pasa lodowego poszycia należy stopniowo zmniejszać aż do grubości odpowiadającej wymaganiom podstawowym. Grubość poszycia nie musi przekraczać 25 mm.

10.2.2 Wręgi

10.2.2.1 Wręgi w skrajniku dziobowym powinny mieć wskaźnik przekroju nie mniejszy, niż wskaźnik obliczony według wzoru:

$$W = 0,25 L_0 T, \quad [\text{cm}^3] \quad (10.2.2.1)$$

Odstęp wręgów w skrajniku dziobowym powinien być nie większy niż 0,61 m.

10.2.2.2 Wręgi w rejonie od grodzi skrajnika dziobowego do przekroju o współrzędnej $x = 0,5 L_0 - 1,5 B$ powinny mieć wskaźnik przekroju nie mniejszy, niż wskaźnik obliczony według wzoru:

$$W = 0,4 s_o L_0 T, \quad [\text{cm}^3] \quad (10.2.2.2)$$

10.2.3 Międzywřęgi

10.2.3.1 Międzywřęgi należy zastosować w rejonie od dziobnicy do linii położonej w odległości $1,5 B$ od PD ku rufie.

Górne końce międzywřęgów powinny sięgać co najmniej do wysokości $0,62$ m powyżej LWL , a dolne końce – nie mniej niż $1,0$ m poniżej BWL .

Jeżeli jakakolwiek część dna znajduje się w odległości mniejszej niż $0,5$ m poniżej BWL , należy zastosować dodatkowe usztywnienia pomiędzy dennikami.

10.2.3.2 Międzywřęgów można nie stosować, jeżeli odstęp wřęgów nie przekracza:
 $0,37$ m – przed grodzią skrajnika dziobowego,
 $0,288 + 0,0012 L_0$, [m], nie więcej jednak niż $0,42$ m – za grodzią skrajnika dziobowego.

10.2.3.3 Wskaźnik przekroju międzywřęgów za grodzią skrajnika dziobowego powinien być nie mniejszy, niż wskaźnik obliczony według wzoru:

$$W = \left(\frac{L_0^2}{100} + 20 \right) \frac{s_0}{s_s}, \quad [\text{cm}^3] \quad (10.2.3.3-1)$$

Wskaźnik przekroju międzywřęgów przed grodzią skrajnika dziobowego powinien być nie mniejszy, niż wskaźnik obliczony według wzoru:

$$W = \left(\frac{L_0^2}{160} + 10 \right) \frac{s_0}{s_s}, \quad [\text{cm}^3] \quad (10.2.3.3-2)$$

Jeżeli rozpiętość międzywřęgów przed grodzią skrajnika dziobowego jest różna od 2 m, to wartość wymaganego wskaźnika przekroju należy zmienić proporcjonalnie do zmiany rozpiętości. W każdym przypadku wskaźnik przekroju międzywřęgów może być nie większy niż 75% przepisowego wskaźnika wřęgów w tym rejonie.

10.2.3.4 Końce międzywřęgów powinny być połączone z wřęgami za pomocą wiązań wstawkowych. Wstawki nie powinny tworzyć ciągłego wzdłużnika. Wiazań wstawkowych na górnych końcach międzywřęgów można nie stosować, jeżeli międzywřęgi są doprowadzone do pokładu.

10.2.4 Wzdłużnik lodowy

Na okrętach jednopokładowych należy zastosować wzdłużnik lodowy w rejonie od dziobnicy do przekroju o współrzędnej $x = (0,5 L_0 - 2 B)$, położony na wysokości od $0,2$ do $0,3$ m poniżej LWL .

W skrajniku dziobowym wzdłużnik lodowy powinien mieć kształt i wymiary zwykłego wzdłużnika burtowego. Poza skrajnikiem może on składać się z szeregu węzłówek przeciwskrętnych połączonych z wřęgami.

10.2.5 Spawanie

W rejonie skrajnika dziobowego teowe połączenia spawane elementów konstrukcyjnych z poszyciem kadłuba powinny być dwustronne i ciągłe.

10.2.6 Wskaźniki przekroju tylnicy

Wskaźniki przekroju tylnicy, wspornika steru powinny być zwiększone o 7,5% w stosunku do wymaganych w rozdziale B/11.

10.3 Wzmocnienia lodowe L1A, L1, L2 i L3

10.3.1 Wymagania ogólne

10.3.1.1 Wymagania w zakresie wzmocnień lodowych konstrukcji kadłuba odnoszą się do:

- grubości poszycia burt w poszczególnych rejonach pasa lodowego (patrz 10.3.4.2), przy czym pionowy zasięg pasa lodowego powinien odpowiadać wymaganiom 10.3.4.1,
- wymiarów wręgów i międzywręgów podpierających poszycie pasa lodowego (patrz 10.3.5.2 – dla wręgów poprzecznych oraz 10.3.5.3 – dla wręgów wzdłużnych, przy czym pionowy zasięg wzmocnień lodowych dla wiązań powinien odpowiadać wymaganiom 10.3.5.1),
- wymiarów elementów wzdłużników burtowych (patrz 10.3.6.1 i 10.3.6.2),
- wymiarów elementów wręgów ramowych (patrz 10.3.7),
- materiału i konstrukcji dziobnicy (patrz 10.3.8),
- wzmocnień konstrukcji kadłuba w części rufowej (patrz 10.3.9).

10.3.1.2 W celu określenia wymiarów wiązań, w miejsce wzorów i wartości podanych w 10.3, można zastosować inne dokładniejsze metody obliczeniowe. Wyniki tych obliczeń oraz założenia teoretyczne, na podstawie których te obliczenia zostały wykonane należy przedstawić PRS.

Jeżeli wymiary wiązań określone według wymagań podanych w niniejszym rozdziale są mniejsze od wymaganych dla okrętu bez wzmocnień lodowych, to obowiązują te ostatnie.

10.3.1.3 Należy określić maksymalne i minimalne zanurzenie okrętu na dziobie i rufie ze względu na wzmocnienia lodowe; zanurzenia te są zamieszczane przez PRS w *Świadectwie klasy okrętu*. Zanurzenie okrętu, wyznaczone linią *LWL* (patrz 10.1.3), nie może zostać przekroczone podczas żeglugi w lodzie. Podczas żeglugi w lodzie okręt zawsze powinien być zanurzony co najmniej do linii *BWL*.

Zbiorniki balastowe usytuowane powyżej linii *BWL* (patrz 10.1.3) potrzebne do dociążenia okrętu celem osiągnięcia zanurzenia do tej linii powinny mieć urządzenia zapobiegające zamarzaniu wody balastowej. Przy określaniu linii *BWL* należy zwrócić uwagę na konieczność zapewnienia zdolności okrętu do poruszania się w lodach w stanie balastowym. Zanurzenie rufy powinno być takie, aby śruba okrętu była całkowicie zanurzona i – jeżeli jest to możliwe – znajdowała się w całości poniżej lodu.

Minimalne zanurzenie dziobu powinno być nie mniejsze niż zanurzenie obliczone według wzoru:

$$T_1 = (2 + 0,00025D_s)h_0, \text{ [m]}, \text{ lecz nie musi przekraczać } 4h_0 \text{ (10.3.1.3)}$$

D_s – patrz 10.1.3;

h_0 – grubość warstwy lodu, określana według 10.3.3.

10.3.2 Dokumentacja

10.3.2.1 W przedłożonej do zatwierdzenia dokumentacji okrętu powinny być zawarte szczegóły związane z wymaganiami dla klas lodowych dotyczące konstrukcji, rozplanowania i wytrzymałości kadłuba.

10.3.2.2 Na rysunku rozwinięcia poszycia należy zaznaczyć granice rejonów pasa lodowego: dziobowego, środkowego i rufowego oraz linie *LWL* i *BWL*, a także górną i dolną granicę minimalnego zasięgu wręgów wzmocnionych do pływania w lodach.

Na rysunkach zładu poprzecznego i rozwinięcia poszycia należy podać wyporność D_s i maksymalną moc ciąglą N_s .

10.3.3 Obciążenie od lodu

10.3.3.1 Wysokość obciążonej strefy

Należy przyjąć, że okręt ze wzmocnieniami lodowymi będzie pływał w warunkach odpowiadających warstwie lodu o grubości nie przekraczającej wartości h_o . Należy również przyjąć, że obliczeniowa wysokość h strefy kadłuba obciążonej w dowolnej chwili ciśnieniem lodu stanowi jedynie część grubości warstwy lodu h_o .

Wartości h_o i h podane są w tabeli 10.3.3.1.

Tabela 10.3.3.1

Typ wzmocnienia lodowego	h_o [m]	h [m]
L1A	1,0	0,35
L1	0,8	0,30
L2	0,6	0,25
L3	0,4	0,22

10.3.3.2 Ciśnienie obliczeniowe lodu

Ciśnienie obliczeniowe lodu należy określać według wzoru:

$$p = c_a c_b c_c p_o, \text{ [MPa]} \quad (10.3.3.2-1)$$

p_o – podstawowa wartość ciśnienia lodu [MPa]; należy przyjmować $p_o = 5,6$ MPa;
 c_a – współczynnik uwzględniający wpływ wielkości okrętu i mocy napędu, obliczany według wzoru:

$$c_a = \frac{a k_1 + b}{1000};$$

$$k_1 = \frac{\sqrt{D_s N_s}}{1000};$$

a, b – parametry określone według tabeli 10.3.3.2-1;

Tabela 10.3.3.2-1

Parametry	Rejon pasa lodowego			
	dziobowy		środkowy i rufowy	
	$k_1 \leq 12$	$k_1 > 12$	$k_1 \leq 12$	$k_1 > 12$
a	30	6	8	2
b	230	518	214	286

D_s, N_s – patrz 10.1.3;

c_b – współczynnik uwzględniający prawdopodobieństwo wystąpienia obliczeniowego ciśnienia lodu w określonym rejonie pasa lodowego dla określonego typu wzmocnienia lodowego; wartości c_b należy przyjąć według tabeli 10.3.3.2-2;

Tabela 10.3.3.2-2

Typ wzmocnienia Lodowego	Rejon pasa lodowego		
	dziobowy	środkowy	rufowy
L1A	1,0	1,0	0,75
L1	1,0	0,85	0,65
L2	1,0	0,70	0,45
L3	1,0	0,50	0,25

c_c – współczynnik uwzględniający prawdopodobieństwo wystąpienia ciśnienia lodu na całej długości rozpatrywanego rejonu jednocześnie; wartości tego współczynnika należy obliczać według wzoru:

$$c_c = \frac{47 - 5l_a}{44} \quad (10.3.3.2-2)$$

przy czym należy przyjmować $0,6 \leq c_c \leq 1,0$;

l_a – parametr określany według tabeli 10.3.3.2-3.

Tabela 10.3.3.2-3

Wiązania	Układ wiązań	l_a [m]
Poszycie	Poprzeczny	odstęp wręgów
	Wzdłużny	2 odstępy wręgów
Wręgi	Poprzeczny	odstęp wręgów
	Wzdłużny	rozpiętość wręgu
Wzdłużnik lodowy	–	rozpiętość wzdłużnika lodowego
Wręg ramowy	–	2 odstępy wręgów ramowych

10.3.4 Poszycie kadłuba

10.3.4.1 Pionowy zasięg wzmocnień lodowych (pasa lodowego)

Wymagany pionowy zasięg wzmocnień lodowych pokazany jest na rys. 10.1.4.

Pionowy zasięg pasa lodowego powinien być nie mniejszy od podanego w tabeli 10.3.4.1.

Tabela 10.3.4.1

Typ wzmocnienia lodowego	Powyżej <i>LWL</i> , [m]	Poniżej <i>BWL</i> , [m]
L1A	0,6	0,75
L1	0,5	0,6
L2	0,4	0,5
L3	0,4	0,5

Ponadto należy wzmocnić następujące obszary:

Dolny rejon dziobowy pasa lodowego (patrz rys. 10.1.4): dla okrętów ze wzmocnieniami lodowymi **L1A**, poszycie burty poniżej pasa lodowego od dziobnicy do przekroju odległego o 5 odstępy wręgów głównych ku rufie, licząc od punktu w którym obrys dziobnicy przechodzi w linię stępki, powinno mieć grubość nie mniejszą niż grubość wymagana dla pasa lodowego w rejonie środkowym.

Górny rejon dziobowy pasa lodowego (patrz rys. 10.1.4): dla okrętów ze wzmocnieniami **L1A** oraz **L1**, których maksymalna prędkość marszowa na pełnym morzu wynosi 18 węzłów i więcej, poszycie rozciągające się od górnej granicy pasa lodowego do linii znajdującej się 2 m powyżej tej granicy oraz od dziobnicy do poprzecznego przekroju kadłuba odległego co najmniej o $0,2 L_0$ od *PD* ku rufie, powinno mieć grubość nie mniejszą niż grubość wymagana dla pasa lodowego w rejonie środkowym. Podobne wzmocnienie rejonu dziobowego jest wskazane dla okrętów o mniejszej prędkości marszowej jeśli np. z badań modelowych wynika, że okręt wytwarza wysoką falę dziobową.

Iluminatory burtowe nie powinny być usytuowane w pasie lodowym. Jeżeli pokład otwarty w dowolnej części okrętu znajduje się poniżej górnej krawędzi pasa lodowego (np. w rejonie studni na okrętach z pokładem szańcowym), nadburcie powinno mieć taką samą wytrzymałość jaka jest wymagana dla poszycia pasa lodowego. Wytrzymałość konstrukcji furt odwadniających powinna spełniać te same wymagania.

10.3.4.2 Grubość poszycia pasa lodowego

Jeżeli zastosowano poprzeczny układ wręgów burtowych, grubość poszycia pasa lodowego należy obliczać wg wzoru:

$$t = 667 s \sqrt{\frac{c_1 p_1}{R_e}} + t_c, \quad [\text{mm}] \quad (10.3.4.2-1)$$

Przy wzdłużnym układzie wręgów burtowych grubość poszycia pasa lodowego należy obliczać wg wzoru:

$$t = 667 s \sqrt{\frac{p_1}{c_2 R_e}} + t_c, \quad [\text{mm}] \quad (10.3.4.2-2)$$

$p_1 = 0,75 p$ (p – patrz wzór 10.3.3.2-1), [MPa];

$c_1 = 1,3 - \frac{4,2}{\left(\frac{h}{s} + 1,8\right)^2}$, ale nie więcej niż 1,0;

$c_2 = 0,6 + \frac{0,4}{\frac{h}{s}}$, jeżeli $\frac{h}{s} \leq 1$,

$c_2 = 1,4 - 0,4 \frac{h}{s}$, jeżeli $1 < \frac{h}{s} < 1,8$,

h – patrz 10.3.3.1;

t_c – naddatek grubości na ścieranie i korozję [mm]; zazwyczaj należy przyjmować $t_c = 2$ mm; jeżeli zostanie zastosowane pokrycie ochronne poszycia, którego odporność na ścieranie pod wpływem działania lodu została zweryfikowana w praktyce, oraz jeżeli będzie ono poddawane konserwacji, PRS może zgodzić się na przyjęcie mniejszych wartości.

10.3.5 Wręgi

10.3.5.1 Pionowy zasięg lodowych wzmocnień wręgów

Pionowy zasięg lodowych wzmocnień wręgów powinien być nie mniejszy od określonego w tabeli 10.3.5.1.

Tabela 10.3.5.1

Typ wzmocnienia lodowego	Rejon	Ponad <i>LWL</i> , [m]	Poniżej <i>BWL</i> , [m]
L1A	od dziobnicy do 0,3 L_0 ku rufie	1,2	do dna wewnętrznego lub poniżej górnej krawędzi denników
	od 0,3 L_0 od dziobnicy ku rufie	1,2	1,6
	środkowy	1,2	1,6
	rufowy	1,2	1,2
L1, L2, L3	od dziobnicy do 0,3 L_0 ku rufie	1,0	1,6
	od 0,3 L_0 od dziobnicy ku rufie	1,0	1,3
	środkowy	1,0	1,3
	rufowy	1,0	1,0

Jeżeli wymagane jest wzmocnienie poszycia w górnym rejonie dziobowym pasa lodowego (patrz 10.3.4.1), to pionowy zasięg wzmocnień lodowych wręgów powinien rozciągać się co najmniej do górnej krawędzi tego pasa.

Jeżeli zakres wzmocnień wręgów wykracza poza pokład lub dno wewnętrzne o mniej niż 250 mm, to wzmocnienia mogą sięgać tylko do tych konstrukcji.

10.3.5.2 Poprzeczne wręgi burtowe

10.3.5.2.1 Wskaźnik przekroju poprzecznego

Wskaźniki przekroju poprzecznych wręgów głównych i międzywręgów należy obliczać wg wzoru:

$$W = \frac{pshl}{m_t R_e} 10^6, \quad [\text{cm}^3] \quad (10.3.5.2.1-1)$$

p – ciśnienie lodu, [MPa], określane według 10.3.3.2;

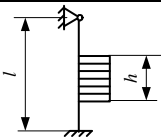
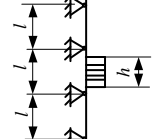
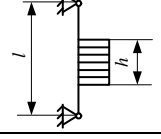
h – wysokość obciążonej strefy, [m], określana według 10.3.3.1;

l – rozpiętość wręgu, [m];

$$m_t = \frac{7m_0}{7 - 5\frac{h}{l}};$$

m_0 – współczynnik określany według tabeli 10.3.5.2.1.

Tabela 10.3.5.2.1

Warunki zamocowania końców wręgów	Wartość m_o	Przykładowe zastosowanie
	6	Wręgi między dnem wewnętrznym i pokładem na okręcie jednopokładowym
	5,7	Wręgi ciągłe przechodzące przez kilka pokładów lub wzdłużników burtowych
	5	Wręgi między dwoma pokładami

Warunki zamocowania końców wręgów dotyczą wręgów głównych i międzywręgów. Obciążenie jest przyłożone w połowie rozpiętości wręgów. Jeżeli mniej niż 15% rozpiętości wręgu znajduje się w strefie wzmocnień lodowych dotyczących wręgów (patrz 10.3.5.1), wówczas można stosować zwykłe wymiary wręgów (bez wzmocnień lodowych).

10.3.5.2.2 Górny koniec wręgu poprzecznego

Górny koniec wzmocnionej części wręgu głównego oraz międzywręgu lodowego powinien być zamocowany do pokładu lub wzdłużnika lodowego (patrz 10.3.6).

Jeżeli wręg kończy się powyżej pokładu lub wzdłużnika, który znajduje się na górnej granicy lodowego pasa poszycia lub powyżej niego (patrz 10.3.4.1), to część wręgu znajdująca się powyżej pokładu lub wzdłużnika może mieć wymiary wręgu nie wzmocnionego, a górny koniec międzywręgu może być połączony z sąsiednimi wręgami za pomocą poziomego elementu o takich samych wymiarach, jakie mają wręgi główne. Międzywręg może być również przedłużony do najbliższego pokładu. Jeżeli przy tym pokład znajduje się w odległości większej niż 1,8 m ponad pasem lodowym, to międzywręg w środkowym i rufowym rejonie pasa lodowego nie musi być przyłączony do tego pokładu.

10.3.5.2.3 Dolny koniec wręgu poprzecznego

Dolny koniec wzmocnionej części wręgu głównego oraz międzywręgu lodowego powinien być zamocowany do pokładu, dna wewnętrznego lub do wzdłużnika lodowego (patrz 10.3.6).

Jeżeli międzywręg kończy się poniżej pokładu dna wewnętrznego lub wzdłużnika lodowego znajdującego się na lub poniżej dolnej granicy pasa lodowego (patrz 10.3.4.1), to dolny jego koniec międzywręgu może być połączony z sąsiednimi wręgami głównymi za pomocą poziomego elementu o takich samych wymiarach, jakie mają wręgi główne.

10.3.5.3 Wręgi wzdłużne

Wskaźnik przekroju burtowego wręgu wzdłużnego powinien być nie mniejszy, niż wskaźnik obliczony według wzoru:

$$W = \frac{c_3 c_4 p h l^2}{m_1 R_e} 10^6, \quad [\text{cm}^3] \quad (10.3.5.3-1)$$

Pole przekroju wręgu przenoszące ścinanie powinno być nie mniejsze, niż pole obliczone według wzoru:

$$A = \frac{\sqrt{3} c_3 p h l}{2 R_e} \cdot 10^4, \quad [\text{cm}^2] \quad (10.3.5.3-2)$$

Powyższe wzory obowiązują tylko wtedy, gdy w punktach podparcia wręg wzdłużny jest połączony z konstrukcją podpierającą za pomocą węzłówek zgodnie z wymaganiami punktu 10.3.5.4.1.

c_3 – współczynnik uwzględniający przekazywanie obciążenia na sąsiednie wręgi;

$$c_3 = 1 - 0,2 \frac{h}{s};$$

s – odstęp wręgów, [m]; odstęp wręgów nie powinien przekraczać 0,35 m dla okrętów ze wzmocnieniami lodowymi **L1A** lub **L1**; w żadnym przypadku nie powinien przekraczać 0,45 m;

l – rozpiętość wręgu, [m];

c_4 – współczynnik uwzględniający koncentrację obciążeń w punktach podparcia wręgu; należy przyjmować $c_4 = 0,6$;

p – ciśnienie lodu, [MPa], określane według 10.3.3.2;

h – wysokość obciążonej strefy, określana według 10.3.3.1;

m_1 – współczynnik zamocowania końców; w przypadku belki ciągłej $m_1 = 13,3$; jeżeli warunki zamocowania końców belki znacznie odbiegają od warunków występujących przy belce ciągłej, może być wymagane zmniejszenie wartości m_1 , np. dla końcowego przęsła belki.

10.3.5.4 Wymagania ogólne dotyczące wręgów

10.3.5.4.1 We wszystkich rejonach wzmocnień lodowych wszystkie wręgi powinny być efektywnie przymocowane do konstrukcji podpierających. Wręg wzdłużny powinien być przymocowany do wręgów ramowych i grodzi za pomocą węzłówek. Jeżeli poprzeczny wręg burtowy dochodzi do wzdłużnika lub pokładu, należy zastosować węzłówkę lub podobną konstrukcję. W przypadku, gdy wręg przechodzi przez konstrukcję podpierającą, jego środek powinien być z obu stron przymocowany do tej konstrukcji (przy pomocy spawania lub nakładek w obrębie otworów). Jeżeli zastosowano węzłówkę, to powinna ona mieć co najmniej taką samą grubość jak środek wręgu, a jej krawędź powinna być odpowiednio usztywniona przeciwko wyboczeniu.

10.3.5.4.2 Na okrętach ze wzmocnieniami lodowymi:

L1A – we wszystkich rejonach wzmocnień lodowych,

L1 – w środkowym i dziobowym rejonie wzmocnień,

L2 i L3 – w rejonie dziobowym wzmocnień,

powinny być spełnione poniższe wymagania:

- wręgi, które nie tworzą z poszyciem kątów prostych, powinny być podparte węzłówkami przeciwskrętnymi, wstawkami międzywręgowymi, wzdłużnikami lub podobnymi elementami, w odstępach nie przekraczających 1,3 m;
- wręgi powinny być połączone z poszyciem obustronną spoiną ciągłą. Stosowanie podkrojów we wręgach (z wyjątkiem miejsc skrzyżowania wręgu ze szwem poszycia) jest niedopuszczalne;
- grubość środnika wręgu powinna być równa co najmniej połowie grubości poszycia burt, lecz nie mniejsza niż 9 mm. Jeżeli w miejscu wręgu znajduje się pokład, dno wewnętrzne lub gródź, to grubość poszycia tych elementów – o szerokości równej wysokości sąsiednich wręgów – powinna być taka, jak określona powyżej.

10.3.6 Wzdłużniki lodowe

10.3.6.1 Wzdłużniki w rejonie pasa lodowego

Wskaźnik przekroju wzdłużnika burtowego w rejonie pasa lodowego (patrz 10.3.4.1) należy obliczać według wzoru:

$$W = \frac{c_5 p h l^2}{m_1 R_e} 10^6, \quad [\text{cm}^3] \quad (10.3.6.1-1)$$

Pole przekroju poprzecznego wzdłużnika przenoszące ścinanie powinno być nie mniejsze niż pole obliczone według wzoru:

$$A = \frac{\sqrt{3} c_5 p h l}{2 R_e} \cdot 10^4, \quad [\text{cm}^2] \quad (10.3.6.1-2)$$

p – ciśnienie lodu, [MPa], określane według 10.3.3.2;

h – wysokość obciążonej strefy, [m], określana według 10.3.3.1; należy przyjmować $ph \geq 0,3$;

l – rozpiętość wzdłużnika, [m];

m_1 – współczynnik uwzględniający warunki zamocowania końców wzdłużnika (patrz 10.3.5.3);

c_5 – współczynnik uwzględniający przenoszenie obciążenia na wręgi poprzeczne; należy przyjmować $c_5 = 0,9$.

10.3.6.2 Wzdłużniki poza rejonem pasa lodowego

Wskaźnik przekroju wzdłużnika burtowego znajdującego się poza pasem lodowym, lecz podpierającego wręgi wzmocnione do pływania w lodach powinien być nie mniejszy niż wskaźnik obliczony według wzoru:

$$W = \frac{c_6 p h l^2}{m_1 R_e} \left(1 - \frac{h_s}{l_s} \right) 10^6, \quad [\text{cm}^3] \quad (10.3.6.2-1)$$

Pole przekroju poprzecznego wzdłużnika przenoszące ścinanie powinno być nie mniejsze niż pole obliczone według wzoru:

$$A = \frac{\sqrt{3} c_6 p h l}{2 R_e} \cdot \left(1 - \frac{h_s}{l_s} \right) \cdot 10^4, \quad [\text{cm}^2] \quad (10.3.6.2-2)$$

h_s – odległość wzdłużnika od pasa lodowego, [m];

l_s – odległość wzdłużnika od sąsiedniego wzdłużnika lodowego, [m];

p, h, l, m_1 – jak podano w 10.3.6.1;

c_6 – współczynnik uwzględniający oddziaływanie obciążenia na wręgi poprzeczne; należy przyjmować $c_6 = 0,95$.

Iloczyn ph należy przyjmować jako nie mniejszy niż 0,3.

10.3.6.3 Pasy pokładów obok luków

10.3.6.3.1 Wąskie pasy pokładów w obrębie luków spełniające rolę wzdłużników lodowych powinny spełniać wymagania dotyczące wskaźnika przekroju oraz pola przekroju przenoszącego ścinanie, podane w 10.3.6.1 lub 10.3.6.2. W przypadku bardzo długich luków, PRS może zgodzić się na przyjęcie wartości iloczynu ph mniejszej niż 0,30; jednak w żadnym przypadku wartość ta nie może być mniejsza niż 0,20.

10.3.6.3.2 Przy projektowaniu pokryw lukowych pokładu pogodowego i ich osprzętu należy uwzględnić ugięcie burt w obrębie długich otworów lukowych – wskutek naporu lodu.

10.3.7 Wręgi ramowe

10.3.7.1 Obciążenie

Obciążenie przenoszone przez wzdłużnik lodowy lub wręgi wzdłużne na wręg ramowy należy obliczać wg wzoru:

$$F = p h S, \quad [\text{MN}] \quad (10.3.7.1)$$

p – ciśnienie obliczeniowe lodu według 10.3.3.2, [MPa]; jednakże przy obliczaniu współczynnika c_c należy przyjmować $l_a = 2S$;

h – wysokość obciążonej strefy zgodnie z punktem 10.3.3.1; należy przyjmować $ph \geq 0,3$;

S – odstęp wręgów ramowych, [m].

Jeżeli wzdłużnik burtowy podpierany przez rozpatrywany wręg ramowy znajduje się poza pasem lodowym, to wartość obciążenia F należy pomnożyć przez:

$$\left(1 - \frac{h_s}{l_s}\right),$$

gdzie:

h_s, l_s – zgodnie z punktem 10.3.6.2.

10.3.7.2 Wskaźnik przekroju i pole przekroju poprzecznego przenoszącego ścinanie

10.3.7.2.1 Wskaźnik przekroju wręgu ramowego podpartego swobodnie na górnym końcu i utwierdzonego na dolnym końcu (patrz rys. 10.3.7.2.1) należy obliczać według wzoru:

$$W = \frac{M}{R_e} \sqrt{\frac{1}{1 - \left(c \frac{A}{A_a}\right)^2}} \cdot 10^6, \quad [\text{cm}^3] \quad (10.3.7.2.1-1)$$

M – maksymalna wartość momentu zginającego od obciążenia F , zgodnie z punktem 10.3.7.1 lub $M = k_1 F l$;

$$k_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{l_f}{l}\right)^3 - \frac{3}{2} \left(\frac{l_f}{l}\right)^2 + \frac{l_f}{l} \quad (10.3.7.2.1-2)$$

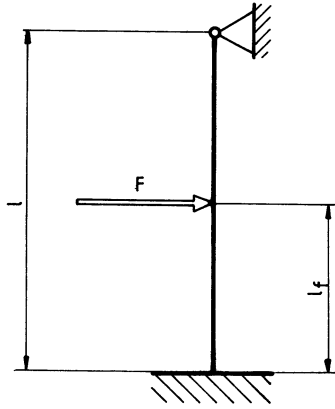
c – współczynnik określany według tabeli 10.3.7.2.2;

A – wymagane pole przekroju poprzecznego wręgu ramowego przenoszące ścinanie, określane według wzoru (10.3.7.2.2-1) przy zastosowaniu k_2 obliczonego wg wzoru (10.3.7.2.2-2), $[\text{cm}^2]$;

A_a – rzeczywiste pole poprzecznego przekroju wręgu ramowego przenoszące ścinanie, $[\text{cm}^2]$;

l_f – odległość od dolnego podparcia wręgu ramowego do rozpatrywanego wzdłużnika burtowego lub wzdłużnego wręgu burtowego, [m]; dla dolnej części wręgu ramowego należy przyjmować najmniejszą możliwą wartość l_f w rejonie pasa lodowego, a dla górnej części wręgu – największą wartość l_f ;

l – rozpiętość wręgu ramowego, [m].



Rys. 10.3.7.2.1 Wręg ramowy

10.3.7.2.2 Dla warunków zamocowania końców wręgu ramowego zgodnych z przyjętymi w 10.3.7.2.1, wymagane pole poprzecznego przekroju wręgu ramowego przenoszące ścinanie należy obliczać według wzoru:

$$A = \frac{\sqrt{3}eQ}{R_e} \cdot 10^4, \quad [\text{cm}^2] \quad (10.3.7.2.2-1)$$

gdzie:

Q – maksymalna wartość siły ścinającej od obciążenia F (patrz 10.3.7.1) lub $Q = k_2 F$;

$$k_2 = 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{l_f}{l} \right)^3 - \frac{3}{2} \left(\frac{l_f}{l} \right)^2 \quad (10.3.7.2.2-2)$$

lub

$$k_2 = \frac{3}{2} \left(\frac{l_f}{l} \right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{l_f}{l} \right)^3 \quad (10.3.7.2.2-3)$$

w zależności od tego, która z wartości jest większa;

l_f, F, l – jak podano w 10.3.7.2.1;

e – współczynnik określany według tabeli 10.3.7.2.2.

Tabela 10.3.7.2.2

A_m / A_s	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
e	1,50	1,23	1,16	1,11	1,09	1,07	1,06	1,05	1,05	1,04	1,04
c	0,0	0,44	0,62	0,71	0,76	0,80	0,83	0,85	0,87	0,88	0,89

A_m, A_s – pole przekroju poprzecznego odpowiednio mocnika i środniczka wręgu ramowego, $[\text{cm}^2]$.

10.3.7.3 Obliczenia bezpośrednie

10.3.7.3.1 Jeżeli układ i warunki zamocowania końców wręgów ramowych różnią się od podanych w 10.3.7.2, należy przeprowadzić bezpośrednią analizę naprężeń.

Obciążenia skupione działające na wręg ramowy należy określić według 10.3.7.1, wybierając ich punkt przyłożenia – w zależności od rozmieszczenia wzdłużników i wręgów wzdłużnych – w taki sposób, aby otrzymać największe wartości sił tnących i momentów zginających.

Naprężenia dopuszczalne określają poniższe wzory:

– naprężenia od ścinania:

$$\tau = \frac{R_e}{\sqrt{3}}, [\text{MPa}] \quad (10.3.7.3-1)$$

– naprężenia od zginania:

$$\sigma = R_e, [\text{MPa}] \quad (10.3.7.3-2)$$

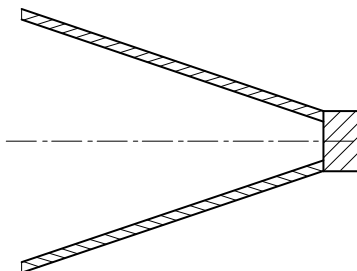
– naprężenia zredukowane:

$$\sigma_{xr} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = R_e, [\text{MPa}] \quad (10.3.7.3-3).$$

10.3.8 Dziób

10.3.8.1 Dziobnica

10.3.8.1.1 Dziobnice powinny być wykonywane ze stali walcowanej, stali kutej, staliwa lub profilowych płyt stalowych. Dziobnice o ostrych krawędziach (patrz rys. 10.3.8.1.1) polepszają własności manewrowe okrętu w lodach i są zalecane szczególnie dla okrętów o długości poniżej 150 m.



Rys. 10.3.8.1.1 Przykład właściwej dziobnicy

10.3.8.1.2 W przypadku dziobnicy wykonanej z płyt profilowych oraz w przypadku dziobu nieostrego, grubość płyt, które w płaszczyźnie poziomej tworzą z płaszczyzną symetrii kąt 30° i większy, należy określać zgodnie z 10.3.4.2, przyjmując:

s – odstęp elementów podpierających płytę dziobnicy, [m];

$p_1 = p$, [MPa] (patrz 10.3.4.2);

l_a – odstęp pionowych elementów usztywniających, [m].

10.3.8.1.3 Dziobnica oraz część dziobu nieostrego, określonego w 10.3.8.1.2, powinny być podparte przez denniki lub węzłówki rozmieszczone w odstępach nie przekraczających 0,6 m, o grubości równej co najmniej połowie grubości płyty.

Wzmocnienie dziobnicy węzłówkami lub dennikami należy zastosować od stępki do poziomu 0,75 m nad linią *LWL*, a w przypadku gdy wymagane jest zastosowanie dodatkowo górnego dziobowego rejonu pasa lodowego (patrz 10.3.4.1) – do górnej krawędzi tego rejonu.

10.3.8.2 Urządzenia holownicze

10.3.8.2.1 Na dziobie powinna być zainstalowana w nadburciu, w płaszczyźnie symetrii, przewłoka cumownicza o otworze nie mniejszym niż 250 mm × 300 mm, o długości co najmniej 150 mm i promieniu wewnętrznym co najmniej 100 mm.

10.3.8.2.2 Do mocowania liny holowniczej należy zainstalować pachoł lub inne urządzenie o wymiarach zapewniających przeniesienie siły zrywającej linę.

10.3.9 Rufa

Zastosowanie nowych układów napędowych z wykorzystaniem urządzeń napędowo-sterowych poprawiających zdolności manewrowe okrętu powoduje zwiększenie naporu lodu w rejonie rufowym. Zjawisko to należy uwzględnić przy projektowaniu konstrukcji części rufowej.

10.3.9.1 Dla zapobieżenia nadmiernym obciążeniom wierzchołków skrzydeł śruby należy unikać stosowania bardzo małych prześwitów między wierzchołkiem skrzydła śruby a tylnicą.

10.3.9.2 Na okrętach z dwiema i trzema śrubami napędowymi rejon wzmocnień lodowych poszycia i usztywnień należy przedłużyć do dna podwójnego, na długości 1,5 m ku rufie i ku dziobowi, licząc od śrub bocznych.

10.3.9.3 Wały i pochwy wałów śrubowych bocznych śrub napędowych powinny znajdować się w opływkach. Jeżeli stosuje się oddzielne wsporniki wałów, to ich konstrukcja i połączenie z kadłubem podlegają odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

10.3.9.4 Szeroka pawęż sięgająca poniżej linii *LWL* znacznie obniża zdolność okrętu do ruchu wstecz, bardzo ważną w warunkach lodowych. Z tego powodu, tam gdzie jest to możliwe, nie należy stosować pawęży poniżej linii *LWL*. W razie konieczności zastosowania takiego rozwiązania – część pawęży położona poniżej linii *LWL* powinna być jak najwęższa. Część pawęży znajdująca się w obrębie pasa lodowego powinna być wzmocniona zgodnie z wymaganiami dla środkowego rejonu pasa lodowego.

10.3.10 Konstrukcja stępek przechyłowych

10.3.10.1 Połączenia stępek przechyłowych z kadłubem powinny być tak zaprojektowane, aby zminimalizować możliwość uszkodzenia kadłuba w przypadku oderwania stępki przechyłowej.

10.3.10.2 Dla zapobieżenia uszkodzenia kadłuba w przypadku częściowego oderwania stępki zaleca się wykonywać ją z oddzielnych, niezależnych odcinków.

ZAŁĄCZNIK Z1**OBLICZANIE GRANICZNEJ WARTOŚCI MOMENTU ZGINAJĄCEGO****1 Sprawdzenie granicznej wytrzymałości kadłuba****1.1 Uwagi wstępne**

1.1.1 Niniejszy Załącznik zawiera opis przybliżonej metody do wyznaczania zależności pomiędzy wartością M momentu zginającego w przekroju poprzecznym kadłuba a krzywizną χ linii ugięcia oraz do obliczenia granicznej wartości M_{gr} momentu M .

Jest to metoda przyrostowa, a obliczenia mają charakter iteracyjny.

Metoda jest opisana w p. 2.1.

1.1.2 Metoda obliczeń ma zastosowanie do kadłuba stalowego

Wyznaczenie M_{gr} dla konstrukcji z innych materiałów będzie rozpatrywane oddzielnie.

2 Określanie zależności $M - \chi$ **2.1 Przybliżona przyrostowo-iteracyjna metoda obliczania zależności $M - \chi$** **2.1.1 Opis metody**

Zależność $M - \chi$ jest wyznaczana metodą przyrostowo-iteracyjną przedstawioną schematycznie na rys. 2.1.1.

W metodzie tej graniczna wartość momentu M_{gr} w przekroju poprzecznym kadłuba jest utożsamiana z ekstremalną wartością momentu zginającego M na wykresie zależności $M(\chi)$. Wykres ten jest wyznaczany metodą przyrostowo – iteracyjną.

W każdym kroku iteracyjnym obliczana jest wartość momentu zginającego M_i w przekroju poprzecznym, która odpowiada zadanej wartości χ_i krzywizny linii ugięcia kadłuba.

Wartość χ_i jest przyjmowana w formie:

$$\chi_i = \chi_{i+1} + \Delta\chi, [1/m] \quad (2.1.1-1)$$

gdzie:

χ_{i-1} – wartość krzywizny w poprzednim kroku obliczeń;

$\Delta\chi$ – założony przyrost krzywizny.

Przyrost krzywizny określa zmianę wartości kąta obrotu przekroju poprzecznego kadłuba wokół jego poziomej osi obojętnej.

Zmiana kąta obrotu przekroju wywołuje odkształcenie ε w elementach kadłuba w kierunku wzdłuż osi kadłuba, o wartościach zależnych od usytuowania elementów.

Wartości naprężeń normalnych σ w poszczególnych elementach, odpowiadające odkształceniom ε , są wyznaczone na podstawie zależności $\sigma - \varepsilon$ z uwzględnieniem nieliniowości, tzn. w zakresie sprężysto – plastycznym odkształceń materiału.

Zależność $\sigma - \varepsilon$ jest nieliniowa i w związku z tym rozkład naprężeń σ w poszczególnych elementach przekroju poprzecznego kadłuba wymusza zmianę położenia osi obojętnej w każdym kroku obliczeń. Nowe położenie osi obojętnej w danym kroku obliczeń jest wyznaczone iteracyjnie, wykorzystując warunek równowagi naprężeń w przekroju poprzecznym kadłuba.

Po wyznaczeniu położenia osi obojętnej i rozkładu naprężeń σ w przekroju poprzecznym kadłuba obliczany jest moment zginający M_i względem osi obojętnej, odpowiadający zadanej wartości krzywizny χ_i , poprzez sumowanie składowych M_i od poszczególnych elementów tworzących przekrój poprzeczny.

Przyrostowo–iteracyjna procedura obliczeń składa się z następujących etapów obliczeń (patrz także rys. 2.1.1):

- Etap 1 – podział przekroju poprzecznego kadłuba na panele usztywnione;
- Etap 2 – wyznaczenie zależności pomiędzy naprężeniami i odkształceniami ($\sigma - \varepsilon$) dla poszczególnych paneli (patrz Tabela 2.2.1);
- Etap 3 – założenie początkowej wartości krzywizny $\chi = \chi_0 = 0,01\varepsilon_\gamma$ (ε_γ – odkształcenie odpowiadające naprężeniom $\sigma = R_e$) i wyznaczenie położenia osi obojętnej w pierwszym kroku obliczeń;
- Etap 4 – obliczenie odkształceń $\varepsilon_i = \chi(z_i - z_0)$ (z_i – współrzędna pionowa elementu, z_0 – współrzędna osi obojętnej) i naprężeń σ_i w poszczególnych elementach przekroju poprzecznego kadłuba;
- Etap 5 – obliczenie współrzędnej z_0^* osi obojętnej odpowiadającej żądanej krzywiznie χ , która zapewnia spełnienie warunku:

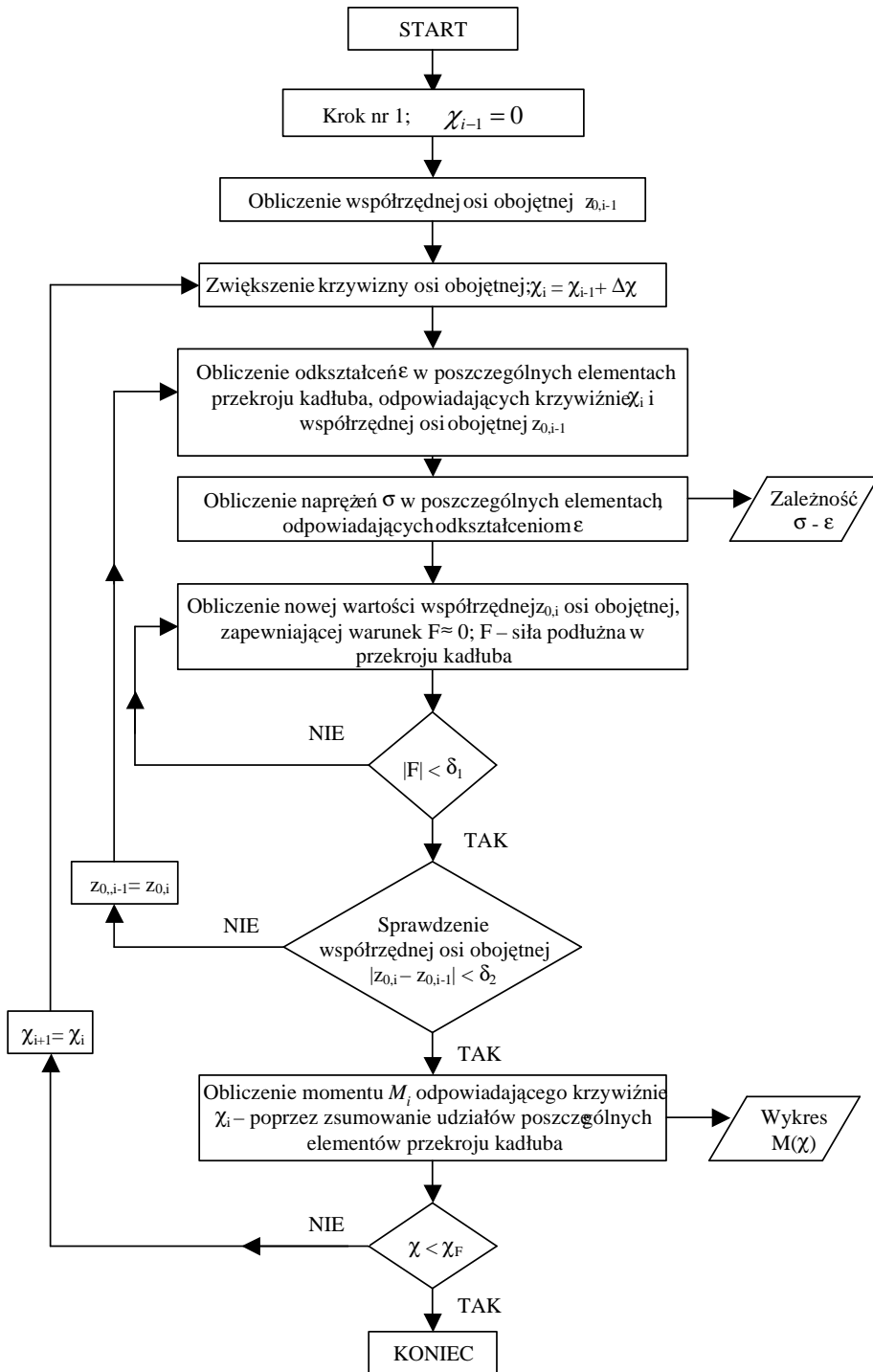
$$\sum A_i \sigma_i = \sum A_j \sigma_j$$
 (elementy i -te – ściskane, elementy j -te rozciągane, A – pole przekroju elementu);
- Etap 6 – obliczenie wartości momentu zginającego M odpowiadającej zadanej krzywiznie, poprzez zsumowanie udziałów poszczególnych elementów przekroju poprzecznego:

$$M = \sum |\sigma_i| A_i |z_i - z_0^*|$$

- Etap 7 – porównanie momentu M z odpowiednią wartością odpowiadającą poprzedniej wartości krzywizny.

Jeżeli przyrost M jest ujemny, a jego wartość bezwzględna jest mniejsza od zadanej miary dokładności obliczeń, to proces obliczeń jest zakończony; przyjmuje się: $M_{gr} = M$.

W przeciwnym wypadku zwiększa się χ o $\Delta\chi$ i należy przejść ponownie do etapu 4 obliczeń.

Rys. 2.1.1 Procedura wyznaczania zależności $M(\chi)$

2.1.2 Założenia do przyrostowo – iteracyjnej metody obliczeń

Stosując procedurę obliczeń wg 2.1.1 należy stosować następujące założenia:

- Moment graniczny jest określony w przekrojach poprzecznych kadłuba pomiędzy sąsiednimi wiązarami poprzecznymi (dna, burty, pokładników).
- Przekroje poprzeczne kadłuba pozostają płaskie przy dowolnej wartości krzywizny χ .
- Materiał (stal) odkształca się w zakresie sprężysto–plastycznym.
- Przekrój poprzeczny kadłuba jest podzielony na skończoną liczbę elementów pomiędzy którymi nie ma sprzężeń.

Powyższe elementy to:

- panele usztywnione poprzecznie lub usztywnienia wzdłużne, z pasem poszycia, których charakterystyki wytrzymałościowe sformułowano w 2.2.1;
- elementy sztywne (w rejonach połączeń blach nie leżących w tej samej płaszczyźnie), których charakterystyki wytrzymałościowe sformułowano w 2.2.2.
- Moment zginający M_i w przekroju poprzecznym kadłuba odpowiadający krzywiznie χ_i linii ugięcia jest obliczany jako skutek działania naprężeń σ w poszczególnych elementach. Naprężenia σ odpowiadające odkształceniom ε zależnym wprost od krzywizny (powiększanej w kolejnych krokach) są wyznaczone na podstawie nieliniowych zależności $\sigma - \varepsilon$ określonych dla poszczególnych elementów. Zależności te, określone dla różnych form zniszczenia elementu, są podane w 2.2. Wybierana jest najmniejsza wartość σ wynikająca z rozpatrywanych zależności $\sigma - \varepsilon$.
- Obliczenia są prowadzone aż do osiągnięcia wartości χ_F krzywizny, [1/m], wyznaczonej ze wzoru (dla wygięcia i ugięcia kadłuba);

$$\chi_F = \pm 0,003 \frac{M_y}{EI} \quad (2.1.2-1)$$

gdzie:

E – moduł Younga, [MPa], (dla stali $E = 206\,000$ MPa);

I – moment bezwładności przekroju poprzecznego kadłuba, [m⁴], wyznaczany wg wymagań B/15.7;

M_y – mniejsza wartość spośród poniższych dwóch:

$$M_{y1} = R_e \cdot W_d \quad (2.1.2-2)$$

$$M_{y2} = R_e \cdot W_p \quad (2.1.2-3)$$

R_e – granica plastyczności, [MPa]

W_d, W_p – wskaźniki wytrzymałości przekroju kadłuba względem dna i pokładu wytrzymałościowego, [m³], obliczane wg zasady podanych w B/15.7.

Jeżeli w przedziale $0 < \chi \leq \chi_F$ nie wystąpi maksimum funkcji $M(\chi)$, to obliczenia należy wykonywać dla $\chi > \chi_F$ – aż do znalezienia maksymalnej wartości M .

2.2 Zależności σ – ε

2.2.1 Panele poszycia i usztywnienia

Należy uwzględnić formy wyczerpania nośności paneli usztywnionych i usztywnień podane w Tabeli 2.2.1.

Tabela 2.2.1

Element konstrukcji	Forma wyczerpania nośności granicznej	Zależności σ – ε
Elementy rozciągane: – panele usztywnione poprzecznie; – usztywnienia lub wiązary wzdłużne	Odształcenia sprężysto – plastyczne	Wg 2.2.3
Ściskane usztywnienia lub wiązary wzdłużne	Wyboczenie gięte Wyboczenie skrętne Lokalne wyboczenie środka usztywnień/wiazarów z mocnikami Wyboczenie płaskowników	Wg 2.2.4 Wg 2.2.5 Wg 2.2.6 Wg 2.2.7
Ściskane panele usztywnione poprzecznie	Wyboczenie płyt	Wg 2.2.8

2.2.2 Nośność elementów sztywnych

Sztywne elementy kadłuba (np. rejonny połączeń blach nie leżących w tej samej płaszczyźnie) wyczerpują nośność głównie w formie płynięcia plastycznego.

Odpowiednie zależności σ – ε dla elementów rozciąganych lub ściskanych należy określać wg 2.2.3.

2.2.3 Odształcenia sprężysto–plastyczne elementów konstrukcji kadłuba

Odształcenia sprężysto–plastyczne w przekrojach poprzecznych kadłuba elementów rozciąganych opisane są następującymi równaniami (patrz także rys. 2.2.3)

$$\sigma = \phi \cdot R_e, \text{ [MPa]} \quad (2.2.3-1)$$

gdzie:

$$\phi = -1 \text{ dla } \varepsilon < -1 \quad (2.2.3-2)$$

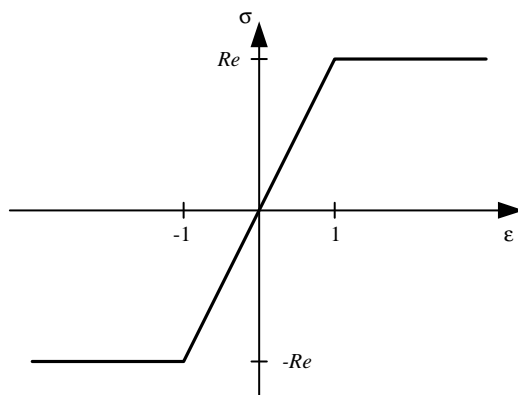
$$\phi = \varepsilon \text{ dla } -1 \leq \varepsilon \leq 1 \quad (2.2.3-3)$$

$$\phi = 1 \text{ dla } \varepsilon \geq 1 \quad (2.2.3-4)$$

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_E}{\varepsilon_y} \quad (2.2.3-5)$$

ε_E – odkształcenie normalne elementu (wzdłuż osi kadłuba)

$$\varepsilon_y = \frac{R_e}{E} \quad (2.2.3-6)$$

Rys. 2.2.3 Zależność σ – ε dla odkształceń sprężysto–plastycznych

2.2.4 Wyboczenie giętne

Odształcenia sprężysto–plastyczne σ_{cr1} – ε usztywnień ściskanych, odpowiadające wyboczeniu w formie giętnej, należy wyznaczać wg równania (patrz także rys. 2.2.4):

$$\sigma_{cr1} = \phi \sigma_{c1} \frac{A_s + 10 b_E t_p}{A_s + 10 s t_p} \quad (2.2.4-1)$$

gdzie:

ϕ – funkcja zdefiniowana w 2.2.3;

σ_{c1} – naprężenia krytyczne, [MPa]:

$$\sigma_{c1} = \frac{\sigma_{E1}}{\varepsilon} \text{ dla } \sigma_{E1} \leq \frac{1}{2} R_e \varepsilon \quad (2.2.4-2)$$

$$\sigma_{c1} = R_e \left(1 - \frac{\phi R_e \varepsilon}{4 \sigma_{E1}} \right) \text{ dla } \sigma_{E1} > \frac{1}{2} R_e \varepsilon \quad (2.2.4-3)$$

ε – zdefiniowano w 2.2.3;

σ_{E1} – teoretyczne naprężenia krytyczne, [MPa]:

$$\sigma_{E1} = \pi^2 E \frac{I_E}{A_E l^2} 10^4 \quad (2.2.4-4)$$

I_E – moment bezwładności przekroju poprzecznego usztywnienia, [cm⁴], wraz z pasem współpracującym poszycia o szerokości b_{E1} (dla grubości netto);

b_{E1} – szerokość pasa współpracującego poszycia, [m]:

$$b_{E1} = \frac{s}{\beta_E} - \text{dla } \beta_E > 1,0 \quad (2.2.4-5)$$

$$b_{E1} = s - \text{dla } \beta_E \leq 1,0 \quad (2.2.4-6)$$

$$\beta_E = 10^3 \frac{s}{t_p} \sqrt{\frac{\varepsilon \cdot R_e}{E}} \quad (2.2.4-7)$$

s – odstęp usztywnień, [m];

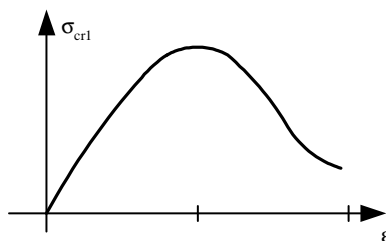
t_p – grubość poszycia (netto), [mm];

A_E – pole przekroju poprzecznego usztywnienia wraz z pasem poszycia o szerokości b_E , [cm²] (dla grubości netto);

b_E – efektywna szerokość pasa poszycia o wartości:

$$b_E = \left(\frac{2,25}{\beta_E} - \frac{1,25}{\beta_E^2} \right) s - \text{dla } \beta_E > 1,25 \quad (2.2.4-8)$$

$$b_E = s - \text{dla } \beta_E \leq 1,25 \quad (2.2.4-9)$$



Rys. 2.2.4 Zależność $\sigma_{cr1} - \varepsilon$ (poglądowa)

2.2.5 Wyboczenie skrętne

Odształcenia sprężysto–plastyczne $\sigma_{cr2} - \varepsilon$ usztywnień ściskanych, odpowiadające wyboczeniu usztywnień w formie skrętnej, należy wyznaczać wg równania (patrz także rys. 2.2.5):

$$\sigma_{cr2} = \phi \frac{A_s \sigma_{c2} + 10st_p \sigma_{cp}}{A_s + 10st_p}, \text{ [Mpa]} \quad (2.2.5-1)$$

gdzie:

ϕ – funkcja zdefiniowana w 2.2.3

σ_{c2} – naprężenia krytyczne:

$$\sigma_{c2} = \frac{\sigma_{E2}}{\varepsilon} - \text{dla } \sigma_{E2} \leq \frac{1}{2} R_e \varepsilon \quad (2.2.5-2)$$

$$\sigma_{c2} = R_e \left(1 + \frac{\phi R_e \varepsilon}{4 \sigma_{E2}} \right) - \text{dla } \sigma_{E2} > \frac{1}{2} R_e \varepsilon \quad (2.2.5-3)$$

σ_{E2} – teoretyczne naprężenia krytyczne, [MPa], obliczane wg B/13.5.3.3;

ε – zdefiniowano w 2.2.3;

A_s – pole przekroju poprzecznego usztywnienia (netto), [cm²];

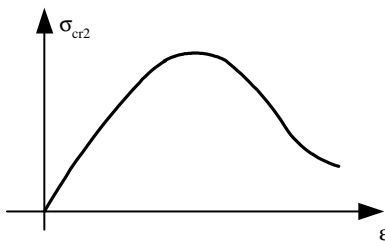
s, t_p – zdefiniowano w 2.2.4;

σ_{cp} – naprężenia krytyczne ściskanego poszycia, [MPa]:

$$\sigma_{cp} = \left(\frac{2,25}{\beta_E} - \frac{1,25}{\beta_E^2} \right) - \text{dla } \beta_E > 1,25 \quad (2.2.5-4)$$

$$\sigma_{cp} = R_e - \text{dla } \beta_E \leq 1,25$$

β_E – współczynnik zdefiniowany w 2.2.4.



Rys. 2.2.5 Zależność $\sigma_{cr2} - \varepsilon$ (poglądowa)

2.2.6 Wyboczenie środników usztywnień lub wiązarów posiadających mocniki

Odształcenia sprężysto-plastyczne $\sigma_{cr3} - \varepsilon$ środników ściskanych usztywnień lub wiązarów posiadających mocniki, związane z lokalnym wyboczeniem środnika, należy wyznaczać wg równania:

$$\sigma_{cr3} = \phi R_e \frac{10^3 b_E t_p + h_{WE} t_w + b_m t_m}{10^3 s t_p + h_w \cdot t_w + b_m \cdot t_m}, \text{ [MPa]} \quad (2.2.6-1)$$

gdzie:

ϕ – zdefiniowano w 2.2.3;

b_E, s, t_p – zdefiniowano w 2.2.4;

h_w – wysokość środnika, [mm];

- t_w – grubość netto średnicy, [mm];
 b_m – szerokość mocnika, [mm];
 t_m – grubość netto mocnika, [mm];
 h_{WE} – efektywna wysokość średnicy, [mm]:

$$h_{WE} = \left(\frac{2,25}{\beta_w} - \frac{1,25}{\beta_w^2} \right) h_w \quad \text{dla } \beta_w > 1,25 \quad (2.2.6-2)$$

$$h_{WE} = h_w \quad \text{dla } \beta_w \leq 1,25 \quad (2.2.6-3)$$

$$\beta_w = \frac{h_w}{t_w} \sqrt{\frac{\varepsilon R_e}{E}}$$

ε – zdefiniowano w 2.2.3.

2.2.7 Lokalne wyboczenie usztywnień w formie płaskowników

Odształcenia sprężysto-plastyczne $\sigma_{cr4} - \varepsilon$ odpowiadające lokalnemu wyboczeniu usztywnień w formie płaskowników, należy wyznaczać wg równania (patrz także rys. 2.2.7):

$$\sigma_{cr4} = \phi \frac{10st_p \cdot \sigma_{cp} + A_s \cdot \sigma_{c4}}{A_s + 10st_p}, [MPa] \quad (2.2.7-1)$$

gdzie:

- ϕ – zdefiniowano w 2.2.3;
 s, t_p – zdefiniowano w 2.2.4;
 A_s – pole przekroju poprzecznego usztywnienia (netto), [cm²];
 σ_{cp} – według 2.2.5;
 σ_{c4} – naprężenia krytyczne:

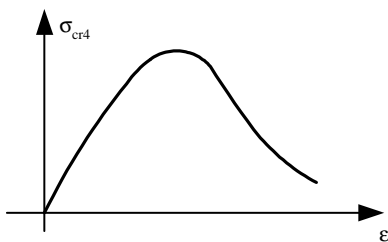
$$\sigma_{c4} = \frac{\sigma_{E4}}{\varepsilon} \quad \text{dla } \sigma_{E4} \leq \frac{1}{2} R_e \varepsilon \quad (2.2.7-2)$$

$$\sigma_{c4} = R_e \left(1 - \frac{\phi R_e \varepsilon}{4\sigma_{E4}} \right) \quad \text{dla } \sigma_{E4} > \frac{1}{2} R_e \varepsilon \quad (2.2.7-3)$$

σ_{E4} – teoretyczne naprężenia krytyczne, [MPa]:

$$\sigma_{E4} = 160000 \left(\frac{t_w}{h_w} \right)^2 \quad (2.2.7-3)$$

ε – zdefiniowano w 2.2.3.

Rys. 2.2.7 Zależność $\sigma_{cr4} - \varepsilon$ (poglądowa)

2.2.8 Wyboczenie poszycia usztywnionego poprzecznie

Odształcenia sprężysto-plastyczne $\sigma_{cr5} - \varepsilon$ odpowiadające wyboczeniu płyt poszycia usztywnionych poprzecznie należy wyznaczać ze wzoru:

$$\sigma_{cr5} = R_e \left[\frac{s}{l} \left(\frac{2,25}{\beta_E} - \frac{1,25}{\beta_E^2} \right) + 0,1 \left(1 - \frac{s}{l} \right) \left(1 + \frac{1}{\beta_E^2} \right) \right], \text{ [MPa]} \quad (2.2.8)$$

gdzie:

s – odstęp usztywnień, [m];

l – długość boku płyty w kierunku poprzecznym (np. równa odstępowi wiązań wzdłużnych), [m];

β_E – zdefiniowano w 2.2.4.