

# *Polski Rejestr Statków*

## **PRZEPISY**

PUBLIKACJA NR 118/P

**WYMAGANIA DOTYCZĄCE STATKÓW PASAŻERSKICH ZBUDOWANYCH  
Z KOMPOZYTÓW POLIMEROWYCH, EKSPLOATOWANYCH W ŻEGLUDZE KRAJOWEJ**

**2018**

Publikacje P (Przepisowe) wydawane przez Polski Rejestr Statków są uzupełnieniem lub rozszerzeniem Przepisów i stanowią wymagania obowiązujące tam, gdzie mają zastosowanie.



GDAŃSK

*Publikacja Nr 118/P* – Wymagania dotyczące statków pasażerskich zbudowanych z kompozytów polimerowych, eksploatowanych w żegludze krajowej – 2018, została zatwierdzona przez Zarząd PRS S.A. w dniu 11 grudnia 2017 r. i wchodzi w życie z dniem 1 stycznia 2018 r.

© Copyright by Polski Rejestr Statków S.A., 2017

PRS/OP, 12/2017

## SPIS TREŚCI

str.

<b>1 Zakres zastosowania</b> .....	5
<b>2 Definicje i określenia ogólne</b> .....	5
<b>3 Wymagania ogólne</b> .....	6
<b>4 Dokumentacja techniczna</b> .....	6
<b>5 Zasady uznawania materiałów, wytwórni, uzgodnienia technologii</b> .....	7
5.1 Zakres nadzoru .....	7
5.2 Uznawanie wytwórni materiałów i wyrobów .....	7
5.3 Uznawanie materiałów i wyrobów (nadzór pośredni) .....	7
5.4 Cechowanie .....	8
<b>6 Materiały używane do wytwarzania laminatów; własności laminatów i konstrukcji przekładkowych</b> .....	8
6.1 Definicje .....	8
6.2 Badania własności laminatów .....	9
6.3 Kompozyty polimerowe .....	13
6.4 Wzmocnienia .....	15
6.5 Żywice .....	18
6.6 Własności wytrzymałościowe laminatów .....	21
6.7 Konstrukcje przekładkowe .....	23
<b>7 Prowadzenie nadzoru technicznego</b> .....	25
<b>8 Technologia budowy z laminatu</b> .....	26
8.1 Wymagania ogólne .....	26
8.2 Przechowywanie surowców .....	26
8.3 Pomieszczenie produkcyjne .....	27
8.4 Formy .....	27
8.5 Laminowanie .....	28
8.6 Wymagania wykonawcze dotyczące konstrukcji przekładkowych .....	30
8.7 Utwardzanie .....	30
8.8 Kontrola jakości .....	31
<b>9 Kadłub</b> .....	31
9.1 Wymagania ogólne .....	31
9.2 Układ konstrukcyjny .....	35
9.3 Obciążenia konstrukcji .....	52
9.4 Wymiarowanie wiązań .....	63
9.5 Ruchy statku .....	89
<b>10 Ochrona przeciwpożarowa</b> .....	92
<b>11 Wentylacja</b> .....	103
<b>12 Drogi ewakuacyjne, miejsca zbiórki i ewakuacji, środki ewakuacji i środki ratunkowe</b> .....	103
12.1 Cele ogólne .....	103
12.2 Wymagania funkcjonalne .....	103
12.3 Rozwiązania projektowe .....	103
<b>13 przeglądy</b> .....	105
13.1 Przeglądy elementów strukturalnej ochrony pożarowej .....	105



## 1 ZAKRES ZASTOSOWANIA

**1.1** Przepisy niniejszej Publikacji *Wymagania dla statków pasażerskich zbudowanych z kompozytów polimerowych, eksploatowanych w żegludze krajowej* mają zastosowanie w odniesieniu do statków pasażerskich o kadłubach i/lub nadbudowach wykonanych z kompozytów polimerowych i długości  $L$  do 50 m, eksploatowanych w polskiej żegludze krajowej. W przypadku przewozu 100 pasażerów lub więcej rozwiązania z zakresu konstrukcji i bezpieczeństwa pożarowego podlegają dodatkowej ocenie w ramach analizy inżynierskiej (patrz p. 3.3).

W odniesieniu do statków o długości  $L < 24$  m wykonanych z laminatów poliestrowo-szklanych można zastosować wymagania *Przepisów klasyfikacji i budowy małych statków morskich – Cz. II – Kadłub*.

**1.2** Wymagania zawarte w niniejszych *Przepisach* dotyczą: wymiarowania konstrukcji – zarówno monolitycznych jak i przekładkowych, materiałów polimerowych, technologii budowy, ochrony przeciwpożarowej i dróg ewakuacji.

**1.3** Dodatkowe warunki w zakresie bezpiecznego uprawiania żeglugi, w tym wymagania dotyczące liczby, rodzaju i rozmieszczenia środków i urządzeń ratunkowych określone są w odrębnych przepisach Administracji.

## 2 DEFINICJE I OKREŚLENIA OGÓLNE

**2.1** Definicje i określenia szczegółowe znajdują się w rozdziałach, do których te definicje i określenia mają zastosowanie.

### 2.2 Definicje i określenia ogólne

$B$  – szerokość statku, [m] – największa szerokość statku, mierzona pomiędzy zewnętrznymi krawędziami wręgów.

$D$  – wyporność statku, [t] – wyrażona w tonach masa statku odpowiadająca masie wody o objętości równej objętości zanurzonej części kadłuba statku. Jeżeli nie określono inaczej, gęstość wody morskiej należy przyjąć równą  $1,025 \text{ t/m}^3$ .

$H$  – wysokość boczna, [m] – pionowa odległość od płaszczyzny podstawowej do górnej krawędzi pokładnika najwyższego ciągłego pokładu, mierzona w płaszczyźnie owręża, przy burcie. Na statkach 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.

$L$  – długość statku – 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, jeżeli długość ta jest większa.

Na statkach z przegłębieniem konstrukcyjnym długość tę należy mierzyć w płaszczyźnie równoległej do płaszczyzny wodnicy konstrukcyjnej.

W przypadku statku o nietypowym kształcie dziobu lub rufy długość,  $L$ , należy określić w uzgodnieniu z PRS.

$L_0$  – długość obliczeniowa statku, [m] – odległość mierzona w płaszczyźnie letniej wodnicy ładunkowej od przedniej krawędzi dziobnicy do osi trzonu sterowego. Przyjęta wartość  $L_0$  powinna być jednak nie mniejsza niż 96% długości całkowitej kadłuba mierzonej w płaszczyźnie letniej wodnicy ładunkowej, lecz może nie przekraczać 97% tej długości. W przypadku statku o nietypowym kształcie dziobu lub rufy długość,  $L_0$ , należy określić w uzgodnieniu z PRS.

$T$  – zanurzenie, [m] – pionowa odległość od płaszczyzny podstawowej do letniej wodnicy ładunkowej mierzona w płaszczyźnie owręża.

Nadbudowa – nadbudówka lub pokładówka.

Nadbudówka – przykryta pokładem nadbudowa na pokładzie wolnej burty, która rozciąga się od burty do burty lub której ściany boczne oddalone są od burt statku o nie więcej niż 0,04B.

Pokładówka – przykryta pokładem nadbudowa na pokładzie wolnej burty (lub nadbudówki), której ściany boczne (jedna lub obydwie) oddalone są od burt statku o więcej niż 0,04B.

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

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 kolejno, licząc od pokładu górnego, np. pokład I kondygnacji, pokład II kondygnacji, itd.

Pokład wolnej burty – pokład, od którego mierzona jest wolna burta, obliczana zgodnie z *Międzynarodową konwencją o liniach ładunkowych, 1966*.

### 3 WYMAGANIA OGÓLNE

**3.1** Statek należy tak zaprojektować i środki ewakuacji tak rozmieścić, aby pasażerowie mogli być ewakuowani w warunkach kontrolowanych, w czasie nie dłuższym niż jedna trzecia czasu konstrukcyjnej ochrony przeciwpożarowej, określonego w p. 10.1.6.3.7 dla rejonów o dużym zagrożeniu pożarowym, pomniejszonego o 7 minut na początkową akcję wykrycia i gaszenia.

$$\text{Czas ewakuacji} = \frac{(SFP - 7)}{3} \quad [\text{min}] \quad (3.1)$$

gdzie:

SFP – czas konstrukcyjnej ochrony przeciwpożarowej, [min].

Dokument *Analiza czasu ewakuacji pasażerów w sytuacji awaryjnej* podlega ocenie przez PRS.

Dodatkowo, czas ewakuacji pasażerów podlega praktycznej weryfikacji podczas prób portowych zgodnie z *Międzynarodowym Kodeksem Bezpieczeństwa Jednostek Szybkich* p. 4.8.3 do 4.8.11.

**3.2** Statki spełniające wymagania niniejszych *Przepisów* w ich zakresie oraz *Przepisów klasyfikacji i budowy statków morskich PRS* lub *Przepisów klasyfikacji i budowy małych statków morskich PRS* w zakresie wyposażenia kadłubowego, stateczności i niezatapialności, urządzeń maszynowych, silników, mechanizmów, instalacji elektrycznych, systemów sterowania oraz materiałów i spawania otrzymują w symbolu klasy znak FRP PASSENGER SHIP lub FRPpas, odpowiednio.

### 3.3 Analiza inżynierska

**3.3.1** Analiza inżynierska jest wykonywana w celu wykazania, że przyjęte dla statku z kompozytów polimerowych konstrukcje i rozwiązania w zakresie bezpieczeństwa pożarowego spełniają wymagane kryteria bezpieczeństwa pożarowego zawarte w *Dyrektywie 2009/45/EC*.

Wyżej wymieniona *Analiza inżynierska* powinna być wykonana dla statków pasażerskich przewożących 100 lub więcej pasażerów w zakresie podanym w *SOLAS, II-2, Prawidło 17*. Analiza podlega ocenie przez PRS a następnie zatwierdzeniu przez Administrację.

## 4 DOKUMENTACJA TECHNICZNA

**4.1** Zakres wymaganej dokumentacji podany jest w poszczególnych rozdziałach tematycznych niniejszych *Przepisów* oraz poniżej w p. 4.2

**4.2** Należy przedstawić Centrali PRS do oceny:

1. Analizę czasu ewakuacji pasażerów w sytuacji awaryjnej;

2. Analizę inżynierską konstrukcji i rozwiązań w zakresie spełnienia kryteriów bezpieczeństwa pożarowego zawartych w *Dyrektywie 2009/45/EC* wg wymagań *SOLAS II-2, Prawidło 17* – dla statków przewożących 100 lub więcej pasażerów.

## **5 ZASADY UZNAWANIA MATERIAŁÓW, WYTWÓRNI, UZGODNIENIA TECHNOLOGII**

### **5.1 Zakres nadzoru**

**5.1.1** Postanowienia określające zakres i tryb wykonywania nadzoru podane są w wydanych przez PRS *Zasadach działalności nadzorczej*.

**5.1.1.1** Nadzór PRS nad produkcją materiałów i wyrobów obejmuje:

- .1 rozpatrywanie dokumentacji technicznej,
- .2 uznawanie wytwórni produkujących materiały i wyroby,
- .3 uznawanie typu wyrobu,
- .4 badanie materiałów i wyrobów,
- .5 wydawanie odpowiednich dokumentów PRS po przeprowadzonym nadzorze.

### **5.2 Uznawanie wytwórni materiałów i wyrobów**

**5.2.1** Wytwórnia starająca się o uznanie powinna zwrócić się do PRS z pisemnym wnioskiem/zleceniem, w którym powinna podać następujące dane:

- charakterystykę materiału,
- przeznaczenie materiału,
- opis procesu technologicznego i informacje o systemie zarządzania jakością,
- proponowany zakres uznania,
- propozycję programu prób uznaniowych.

We wniosku/zleceniu należy również podać informacje na temat dotychczasowego doświadczenia wytwórni w produkcji materiałów będących przedmiotem uznania.

**5.2.2** Po rozpatrzeniu informacji we wniosku/zleceniu informacji PRS uzgadnia program prób uznaniowych materiału i przeprowadza inspekcję wytwórni.

Badania uznaniowe powinny być przeprowadzone pod nadzorem PRS.

Udzielone uznanie nie może być przekazywane innym wytwórniom, a wszelkie zmiany technologii wytwarzania materiałów powinny być zgłoszone do PRS.

**5.2.3** Wymagana procedura uznaniowa obowiązuje również wytwórnie uznane, pragnące rozszerzyć dotychczasowy zakres uznania lub wprowadzające nowe technologie wytwarzania materiałów.

### **5.3 Uznawanie materiałów i wyrobów (nadzór pośredni)**

**5.3.1** PRS może uznać seryjną produkcję określonych rodzajów materiałów i wyrobów, których wykonawstwo spełnia wymagania jakościowe przewidziane dla wyrobów stosowanych w budownictwie okrętowym i wydać odpowiednie *Świadectwo uznania typu wyrobu*.

**5.3.2** Wytwórnia starająca się o uznanie swoich wyrobów powinna zwrócić się do PRS z pisemnym wnioskiem/zleceniem, w którym powinna podać następujące dane:

- charakterystykę wyrobu,
- przeznaczenie wyrobu,
- opis procesu technologicznego i informacje o systemie zarządzania jakością,
- proponowany zakres uznania,
- propozycję programu prób uznaniowych.

**5.3.3** Po rozpatrzeniu informacji we wniosku/zleceniu informacji PRS uzgadnia program prób uznaniowych wyrobu i przeprowadza inspekcję wytwórni.

Badania uznaniowe powinny być przeprowadzone pod nadzorem PRS.

Udzielone uznanie nie może być przekazywane innym wytwórniom, a wszelkie zmiany technologii wytwarzania powinny być zgłoszone do PRS.

**5.3.4** Wymagana procedura uznaniowa obowiązuje również wytwórnie starające się o rozszerzenie dotychczasowego zakresu uznania o inne wyroby.

### **5.3.5 Wykonanie badań uznaniowych**

**5.3.5.1** Badania uznaniowe należy wykonywać w laboratoriach uznanych przez PRS lub pod nadzorem inspektora PRS.

**5.3.5.2** W przypadku uzyskania niezadowolających wyników badań mogą być przeprowadzone badania powtórne, przy spełnieniu następujących warunków:

- .1 jeżeli niezadowolające wyniki badań zostały spowodowane miejscowymi wadami w materiale próbki – badania należy powtórzyć na takiej samej liczbie próbek;
- .2 jeżeli niezadowolające wyniki uzyskano z powodu niskiej jakości materiału – badania należy powtórzyć na podwójnej liczbie próbek pobranych z tego samego wyrobu. W przypadku pozytywnych wyników powtórnego badania może zostać zaakceptowany zarówno wyrób, z którego pobrano dodatkowe próbki, jak i pozostałe wyroby wchodzące w skład partii. Jeżeli podczas powtórnego badania uzyskano, chociaż z jednej próbki, wynik negatywny, wyrób należy odrzucić.

**5.3.5.3** PRS zastrzega sobie prawo do powtórzenia badań, jeżeli miało miejsce pomylenie próbek lub wyników badań albo jeżeli wyniki badań nie pozwalają na ocenę jakości materiału z wymaganą dokładnością.

**5.3.5.4** Jeżeli własności materiału różnią się nieznacznie od wymaganych w niniejszej *Publikacji* to, na wniosek wytwórni, Centrala PRS może po odrębnym rozpatrzeniu wyrazić zgodę na jego zastosowanie.

## **5.4 Cechowanie**

**5.4.1** Cechowanie materiałów należy wykonywać zgodnie z postanowieniami odpowiednich norm.

**5.4.2** Jeżeli wyroby dostarczane są pojedynczo, to cechy należy umieszczać na każdym wyrobie.

**5.4.3** Sposób cechowania wyrobów o małych rozmiarach podlega uzgodnieniu z PRS.

**5.4.4** Cechy umieszczone na wyrobach powinny w każdym przypadku zawierać co najmniej następujące dane:

- .1 oznaczenie kategorii lub gatunku materiału,
- .2 numer partii lub inne oznaczenie pozwalające na stwierdzenie przynależności wyrobu do partii, na którą wystawiono atest,
- .3 nazwę lub znak wytwórcy,
- .4 stempel kontroli wytwórcy,
- .5 znak odbiorczy PRS lub pieczęć owalną PRS.

## **6 MATERIAŁY UŻYWANE DO WYTWARZANIA LAMINATÓW; WŁASNOŚCI LAMINATÓW I KONSTRUKCJI PRZEKŁADKOWYCH**

### **6.1 Definicje**

**K o m p o z y t y p o l i m e r o w e** – materiały utworzone z co najmniej dwóch składników (z makroskopowo widocznymi granicami między nimi) mające wiele właściwości lepszych od każdego ze składników, np. polimery wzmocnione włóknem szklanym.

**L a m i n a t** – kompozyt o wzmocnieniu warstwowym, w którym jedynym elementem wiążącym poszczególne warstwy jest żywica (spoiwo).

**W z m o c n i e n i e** – składnik kompozytu będący zasadniczym elementem przenoszącym obciążenia.



**S p o i w o** – żywica sklejająca ze sobą włókna wzmocnienia, przenosząca obciążenia pomiędzy włóknami i warstwami laminatu.

**Włókna szklane** – włókna otrzymywane z różnych gatunków stopionego niskoalkalicznego szkła (średnica 6 – 15  $\mu\text{m}$ ).

**Włókna węglowe** – włókna zawierające nie mniej niż 80 – 90% grafitu w swej strukturze. Są otrzymywane poprzez zwęglenie innych włókien (np. z poliakrylonitrylu) lub w inny sposób.

**Włókna węglowe standardowe HT/HS** (HT – high tenacity/HS – high strength) – charakteryzują się  $R_m \sim 3500 - 5000 \text{ MPa}$ ,  $E \sim 235 \text{ GPa}$ .

**Włókna węglowe o pośrednim module IM** (Intermediate Modulus) – włókna węglowe o pośrednim module między standardowymi a wysokomodulowymi włóknami, mają najwyższą wytrzymałość z włókien węglowych (moduł  $E \sim 295 \text{ GPa}$ ).

**Włókna węglowe wysokomodulowe HM** (high modulus) – włókna wysokomodulowe ( $E > 370 \text{ GPa}$ ), mają wyższy moduł  $E$  oraz niższą wytrzymałość i niższe wydłużenie niszczące od standardowych.

**Włókna aramidowe** – włókna produkowane z liotropowych polimerów ciekłokrystalicznych z grupy aromatycznych poliamidów.

**Żywice poliestrowe (nienasycone żywice poliestrowe)** – to łańcuchowe polimery kondensacyjne otrzymywane przez estryfikację kwasów dwukarboksylowych lub ich bezwodników i alkoholi dwuwodorotlenowych.

**Żywice winyloestrowe** – powstają w wyniku reakcji żywic epoksydowych z jednonakarboksylowymi kwasami nienasyconymi. Są lepszej jakości od poliestrowych a technologicznie są prawie identyczne.

**Żywice epoksydowe** – są wytworzone w wyniku kondensacji np. epichlorohydryny lub dianu i epichlorohydryny. Żywice epoksydowe są ogólnie jakościowo lepsze od poliestrowych i winyloestrowych. Właściwości fizyczne, w tym wytrzymałościowe w znacznym stopniu zależą od zastosowanych utwardzaczy.

**Gramatura wzmocnienia** – masa powierzchniowa ( $\text{g/m}^2$ ) wzmocnienia w postaci mat, tkanin.

**Mata szklana** – włókna zlepione z pasm rowingu szklanego (produkowane tylko ze szkła E) pociętego na krótkie odcinki (30 – 50 mm) charakteryzujące się przypadkowym kierunkiem ułożenia pasm, tak, że tworzy materiał w swej płaszczyźnie izotropowy.

**Tkanina** – wzmocnienie tkane na krosnach, o splotach zwykle płóciennym, rządkowym, satynowym.

**Biaxial** – wzmocnienie dwukierunkowe ( $0/90^\circ$  lub  $\pm 45^\circ$ ) wykonane poprzez zszycie dwóch warstw jednokierunkowych, gdzie włókna ułożone są pod kątem  $90^\circ$  względem siebie.

**Multiaxial** – wzmocnienia szyte składające się z wielu warstw wzmocnień jednokierunkowych gdzie włókna ułożone są pod różnymi kątami względem siebie.

**Tkanina jednokierunkowa** – tkanina tkana z pasm wzmocnienia o dużym i małym polu przekroju włókien tak, że przekrój włókien na jednostkę szerokości wzdłuż wątku i osnowy różni się zwykle kilkunastokrotnie.

**Rowing** – wiązka składająca się zwykle z 6 do 60 pasm włókien szklanych, gdzie pasmo to 50 – 400 jednocześnie uzyskanych z jednego urządzenia włókien szklanych.

## 6.2 Badania własności laminatów

### 6.2.1 Wymagania ogólne

Wszystkie tworzywa sztuczne i materiały pochodzenia organicznego, jeżeli w innych rozdziałach niniejszej *Publikacji* nie ustalono inaczej, powinny spełniać następujące warunki:

- .1 nie powinny łatwo zapalać się, ani wytwarzać nadmiernych ilości dymu lub stwarzać groźby zatrucia, albo wybuchu w podwyższonych temperaturach;
- .2 jeżeli z warunków eksploatacji nie wynika potrzeba ustalenia innych granic, to materiały powinny zapewniać niezawodną pracę konstrukcji i wyrobów w temperaturach:
  - na pokładzie otwartym: od  $-40^{\circ}\text{C}$  do  $+70^{\circ}\text{C}$ ,
  - w pomieszczeniach wewnętrznych statku: od  $-10^{\circ}\text{C}$  do  $+70^{\circ}\text{C}$ ;
- .3 w czasie eksploatacji nie powinny emitować substancji szkodliwych dla zdrowia, stawać się kruche, a ich własności mechaniczne nie powinny obniżyć się o więcej niż 30% w stosunku do stanu początkowego;
- .4 powinny być odporne na gnicie i działanie pleśni oraz nie powinny wywierać ujemnego wpływu na materiały stykające się z nimi.

## 6.2.2 Warunki przeprowadzenia badań

**6.2.2.1** Klimatyzowanie próbek przed badaniem należy prowadzić w temperaturze  $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$  i wilgotności względnej  $50 \pm 5\%$  przez co najmniej 16 h.

Badania należy przeprowadzić bezpośrednio po zakończeniu klimatyzacji.

**6.2.2.2** Do badań tworzyw wzmocnionych tkaninami, próbki należy wycinać tak, żeby ich osie były równoległe do kierunku wątku lub osnowy wzmocnienia.

Do badań tworzyw anizotropowych należy przygotować próbki mające główne osie równoległe i prostopadłe do przewidywanych kierunków anizotropii.

**6.2.2.3** W uzasadnionych przypadkach, po uzgodnieniu z PRS, badania można przeprowadzić na próbkach odbiegających kształtem lub wymiarami od wymaganych w niniejszym rozdziale.

**6.2.2.4** Badania należy przeprowadzać, po uzgodnieniu z PRS, zgodnie z normami przedmiotowymi. Nie ujęte w niniejszym rozdziale warunki przeprowadzania badań i zastosowana metodyka powinny być uzgodnione z PRS.

### 6.2.2.5 Badanie wytrzymałości na rozciąganie

**6.2.2.5.1** Wytrzymałość na rozciąganie nie wzmocnionych tworzyw należy badać wykorzystując maszynę wytrzymałościową, zapewniającą utrzymanie wymaganej prędkości posuwu uchwytu i umożliwiającą pomiar obciążenia rozciągającego działającego na próbkę. Ekstensometr powinien umożliwiać pomiar wydłużenia odcinka pomiarowego próbki z dokładnością co najmniej 1% wartości końcowej. W czasie oznaczania konieczne jest rejestrowanie przyrostu wydłużenia w funkcji obciążenia próbki. Należy również wyznaczyć moduł sprężystości przy rozciąganiu.

Badanie należy przeprowadzić w temperaturze  $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$  i wilgotności względnej  $50 \pm 5\%$ , na 5 klimatyzowanych próbkach, według normy ISO 527-1<sup>1)</sup> i ISO 527-2<sup>2)</sup>.

Pomiar należy prowadzić z prędkością przewidzianą w normach przedmiotowych dotyczących badanego tworzywa i odpowiadającą jednej z prędkości podanych w tabeli 6.2.2.5.1.

**Tabela 6.2.2.5.1**

Prędkość [mm/min]
$1 \pm 0,5$
$5 \pm 1,0$
$50 \pm 5,0$
$100 \pm 10,0$
$500 \pm 50,0$

<sup>1)</sup> Norma ISO 527-1:2012 Plastics – Determination of tensile properties – Part 1: General principles.

<sup>2)</sup> Norma ISO 527-2:2012 Plastics – Determination of tensile properties – Part 2: Test conditions for moulding and extrusion plastics.

Wytrzymałość na rozciąganie tworzyw wzmocnionych należy badać wyznaczając naprężenie zrywające i moduł sprężystości przy rozciąganiu. Badanie należy przeprowadzić w temperaturze  $23 \pm 2$  °C i wilgotności względnej  $50 \pm 5\%$ , na 5 klimatyzowanych próbkach, według normy ISO 527-4<sup>3)</sup> i ISO 527-5<sup>4)</sup>.

#### **6.2.2.6 Badanie wytrzymałości na ściskanie**

**6.2.2.6.1** Badanie wytrzymałości na ściskanie tworzyw sztucznych polega na obciążeniu badanej próbki wzrastającą siłą ściskającą przy założonej prędkości odkształcenia i pomiarze powstającego skrócenia próbki.

Próbę należy wykonać na 5 klimatyzowanych prostopadłościennych próbkach o wymiarach określonych w normach przedmiotowych. W przypadku materiałów anizotropowych, do badania należy przygotować co najmniej po 5 próbek dla każdego kierunku anizotropii.

Badanie należy wykonać w temperaturze  $23 \pm 2$  °C i wilgotności względnej powietrza  $50 \pm 5\%$ , według normy ISO 604<sup>5)</sup>.

Prędkość oznaczania nie powinna być większa niż 1,5 mm/min.

**6.2.2.6.2** Wytrzymałość na ściskanie sztywnych tworzyw porowatych należy określać za pomocą obciążenia prostopadłościennej próbki.

Badanie należy wykonać na 5 klimatyzowanych próbkach według normy ISO 844<sup>6)</sup>.

Próbę ściskania należy prowadzić, jeżeli to możliwe, do chwili osiągnięcia skrócenia względnego co najmniej 10%. Jeżeli końcowa wartość skrócenia względnego nie przekracza 10%, to odpowiadające jej naprężenie należy przyjąć jako „wytrzymałość na ściskanie”. Natomiast, gdy końcowa wartość skrócenia względnego jest większa niż 10%, to odpowiadające jej naprężenie należy przyjąć jako „naprężenie ściskające przy 10% skróceniu względnym”.

#### **6.2.2.7 Badanie wytrzymałości na zginanie**

**6.2.2.7.1** Badanie wytrzymałości na zginanie wzmocnionych tworzyw sztucznych polega na krótkotrwałym statycznym obciążeniu próbki, wykonanej jako beleczka prostopadłościenna, swobodnie wspartej na dwóch podporach maszyny wytrzymałościowej, do osiągnięcia umownej wielkości strzałki ugięcia lub do złamania próbki.

Próbę należy przeprowadzić w temperaturze  $23 \pm 2$ °C i wilgotności względnej  $50 \pm 5\%$ , na 5 klimatyzowanych próbkach, według normy ISO 14125<sup>7)</sup>. Promień zaokrąglenia podpór powinien być równy  $2 \pm 0,2$  mm dla próbek o grubości nie większej od 3 mm lub równy  $5 \pm 0,2$  mm dla próbek o grubości większej od 3 mm. W przypadku zastosowania jednego trzpienia zginającego o promieniu zaokrąglenia równym  $5 \pm 0,2$  mm, obciążenie powinno być przyłożone w połowie długości próbki. Natomiast, jeżeli stosuje się dwa trzpienie zginające, o promieniu zaokrąglenia równym  $2 \pm 0,2$  mm (dla próbek o grubości nie większej od 3 mm) lub  $5 \pm 0,2$  mm (dla próbek o grubości większej od 3 mm), obciążenie powinno być przyłożone w dwóch miejscach odległych od siebie o 1/3 odstepu między podporami maszyny wytrzymałościowej.

**6.2.2.7.2** W celu określenia wytrzymałości na zginanie sztywnych tworzyw porowatych, próbkę, wspartą na dwóch podporach odległych o 300 mm, należy jednostajnie obciążać siłą działającą w połowie odległości między podporami.

W czasie badania konieczne jest rejestrowanie obciążenia i ugięcia.

Próbę zginania należy wykonać na 5 klimatyzowanych próbkach według normy ISO 1209-2<sup>8)</sup>. W przypadku próbek łamiących się przed osiągnięciem strzałki ugięcia równej 5% rozpiętości próbki należy odczytać wartość obciążenia i ugięcia, przy którym nastąpiło zniszczenie i zakończyć próbę.

<sup>3)</sup> Norma ISO 527-4:1997 Plastics – Determination of tensile properties – Part 4: Test conditions for isotropic and orthotropic fibre-reinforced plastic composites.

<sup>4)</sup> Norma ISO 527-5:2009 Plastics – Determination of tensile properties – Part 5: Test conditions for unidirectional fibre-reinforced plastic composites.

<sup>5)</sup> Norma ISO 604:2002 Plastics – Determination of compressive properties.

<sup>6)</sup> Norma ISO 844:2014 Rigid cellular plastics – Determination of compression properties.

<sup>7)</sup> Norma ISO 14125:1998 Fibre-reinforced plastic composites – Determination of flexural properties.

<sup>8)</sup> Norma ISO 1209-2:2007 Rigid cellular plastics – Determination of flexural properties – Part 2: Determination of flexural strength and apparent flexural modulus of elasticity.

### 6.2.2.8 Badanie wytrzymałości na ścinanie

Wytrzymałość na ścinanie tworzyw porowatych należy określać, poddając prostopadłościenną próbkę naprężeniu ścinającemu za pomocą płytek metalowych przyklejonych do próbki.

Próbkę ścinania należy przeprowadzić w temperaturze  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ , na 5 klimatyzowanych próbkach, według normy ISO 1922<sup>9)</sup>, odsuwając ruchomy uchwyt od uchwyty stałego z prędkością  $1 \pm 0,5$  mm na minutę i z odchyleniem nie większym niż 10%. W czasie oznaczania konieczne jest rejestrowanie zależności „siła – przesunięcie”.

Klej stosowany do przyklejania badanej próbki do płytek metalowych powinien być takiego rodzaju, żeby wytrzymałość na ścinanie i moduł sprężystości spoiny klejowej były znacznie większe niż badanego tworzywa porowatego. W czasie oznaczania powinno nastąpić uszkodzenie tworzywa porowatego, a nie spoiny klejowej. Klej nie powinien zmieniać struktury badanego materiału porowatego.

### 6.2.2.9 Badanie udarności

Badanie udarności polega na złamaniu próbki, obustronnie podpartej umieszczonej poziomo beleczki, jednym uderzeniem wahadłowego młota w środek belki między podporami, a w przypadku próbek z karbem – naprzeciw karbu. Linia zetknięcia młota z próbką powinna być prostopadła do osi wzdłużnej próbki, z tolerancją  $\pm 2^\circ$ . Energia uderzenia młota wahadłowego powinna być wybrana z zakresu 0,5–50 J.

Próbkę udarności przeprowadza się według normy ISO 179-1<sup>10)</sup> na 10 klimatyzowanych próbkach. W przypadku próbek z karbem kształt i wymiary karbu określa się według norm przedmiotowych. W przypadku materiałów w arkuszach lub płytach, które mają różną udarność zależną od kierunku w płaszczyźnie arkusza, badanie należy przeprowadzić na dwóch grupach próbek wyciętych w kierunku prostopadłym i równoległym do kierunku określonej cechy arkusza.

### 6.2.2.10 Badanie chłonności wody

**6.2.2.10.1** Określenie chłonności wody przez tworzywa sztuczne polega na oznaczaniu zmiany masy próbki po zanurzeniu w wodzie zimnej lub wrzącej, w ściśle ustalonym czasie i stałej temperaturze. Badanie należy przeprowadzić na 3 próbkach wysuszonych w suszarce próżniowej w temperaturze  $50 \pm 2^\circ\text{C}$  w ciągu  $24 \pm 1$  h i schłodzonych w ekscyatorze w temperaturze  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ . Próbkę należy przeprowadzić według normy ISO 62<sup>11)</sup>.

Próbki do badań wykonane z tworzyw termoplastycznych, termoutwardzalnych i innych powinny mieć kształt krążka o średnicy  $50 \pm 1$  mm i grubości  $3 \pm 0,2$  mm. Próbki z arkuszy i płyt powinny mieć kształt kwadratu o boku  $50 \pm 1$  mm i grubości równej grubości arkusza, lecz nie większej niż 25 mm. Próbki wyrobów profilowanych oraz z prętów i rur powinny mieć kształt odcinka o długości  $50 \pm 1$  mm. Wyroby profilowane powinny mieć grubość mniejszą niż  $3 \pm 0,2$  mm, a pręty i rury – średnicę i grubość ścianki mniejszą niż 50 mm.

Chłonność wody można wyrazić jako masę wody pochłoniętej przez próbkę, jako masę wody pochłoniętej przez jednostkę powierzchni próbki lub jako stosunek masy pochłoniętej wody do początkowej masy próbki, wyrażony w procentach.

**6.2.2.10.2** Oznaczanie chłonności wody przez sztywne tworzywa porowate polega na pomiarze zmiany siły wyporu hydrostatycznego próbki zanurzonej w cieczy immersyjnej (woda destylowana, pozbawiona powietrza, stosowana po co najmniej 48 h od destylacji) na głębokości 50 mm w ciągu  $96 \pm 1$  h.

Próbkę należy przeprowadzić w temperaturze  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  i wilgotności względnej  $50 \pm 5\%$  na 3 klimatyzowanych próbkach o długości  $150 \pm 1$  mm, szerokości  $150 \pm 1$  mm i grubości nie większej niż 75 mm oraz objętości co najmniej  $500\text{ cm}^3$ , według normy ISO 2896<sup>12)</sup>. Dla materiałów produkowanych i sprzedawanych z naturalnym lub laminowanym naskórkami grubość próbki powinna odpowiadać grubości wyrobu.

Chłonność wody wyraża stosunek objętości pochłoniętej wody do początkowej objętości próbki, wyrażony w procentach. Należy uwzględnić spęcznienie i obecność przeciętych porów na powierzchni próbki.

<sup>9)</sup> Norma ISO 1922:2012 Rigid cellular plastics – Determination of shear strength.

<sup>10)</sup> Norma ISO 179-1:2010 Plastics – Determination of Charpy impact properties – Part 1: Non-instrumented impact test.

<sup>11)</sup> Norma ISO 62:2008 Plastics – Determination of water absorption.

<sup>12)</sup> Norma ISO 2896:2001 Rigid cellular plastics – Determination of water absorption.

### 6.2.2.11 Badanie starzeniowe

**6.2.2.11.1** Badanie odporności na działanie wody morskiej należy przeprowadzić na próbkach, których liczbę i wymiary ustala się w zależności od zakresu wykonywanych badań. Próbki należy umieścić w wodzie morskiej o temperaturze  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  na okres 28 dni. Po zakończeniu ekspozycji należy przeprowadzić uzgodnione badania.

**6.2.2.11.2** Badanie odporności na działanie produktów naftowych należy przeprowadzić na próbkach, których liczbę i wymiary ustala się w zależności od zakresu wykonywanych badań. Próbki należy zanurzyć w oleju napędowym o temperaturze  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  na okres 28 dni. Po zakończeniu ekspozycji należy przeprowadzić uzgodnione badania.

### 6.2.2.12 Badanie stabilności wymiarów

Badanie stabilności wymiarów sztywnych tworzyw porowatych polega na oznaczaniu zmian wymiarów liniowych klimatyzowanych próbek poddanych działaniu określonych warunków w ustalonym czasie i ponownie klimatyzowanych po ustaniu działania warunków badania.

Badanie należy przeprowadzić na 3 próbkach o wymiarach:

długość  $100 \pm 1$  mm,

szerokość  $100 \pm 1$  mm,

grubość  $25 \pm 0,5$  mm

według normy ISO 2796<sup>13)</sup>.

Próbę należy zakończyć po upływie  $48 \pm 2$  h i obliczyć procentową zmianę długości, szerokości i grubości.

### 6.2.2.13 Oznaczanie gęstości

Oznaczanie gęstości pozornej tworzyw porowatych polega na zważeniu próbki, określeniu jej objętości na podstawie pomiaru liniowych wymiarów próbki tworzywa porowatego w temperaturze  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  i wilgotności względnej powietrza  $50 \pm 5\%$  oraz obliczeniu gęstości jako ilorazu masy i objętości.

Oznaczanie należy wykonać na 5 klimatyzowanych próbkach w kształcie foremnej bryły o powierzchni całkowitej co najmniej  $100\text{ cm}^2$  według normy ISO 845<sup>14)</sup>.

### 6.2.2.14 Badanie zawartości szkła

Badanie należy wykonać na 4 próbkach laminatu o masie przynajmniej 2 g i grubości nie większej niż 5 mm. Wyprażony tygiel z umieszczoną w nim próbką należy poddać prażeniu w piecu muflowym w temperaturze  $625 \pm 20^\circ\text{C}$ , do stałej masy, zgodnie z wymaganiami normy ISO 1172<sup>15)</sup>.

## 6.3 Kompozyty polimerowe

### 6.3.1 Laminaty wzmocnione

Wymagania mają zastosowanie do laminatów wzmocnionych stosowanych jako konstrukcje okrętowe oraz wyroby podlegające nadzorowi PRS.

Laminaty powinny być wykonywane metodą uznaną, w ramach uznawania wytwórni przez PRS i warunki ich wykonywania i utwardzania (temperatura, wilgotność, czas) powinny odpowiadać warunkom ustalonym w *Świadectwie uznania*.

**6.3.1.1** Jako czynnika wiążącego przy wykonywaniu laminatów wzmocnionych należy używać nienasyconych żywic poliestrowych, winylowych i epoksydowych, które powinny spełniać wymagania rozdziału 6.5.

---

<sup>13)</sup> Norma ISO 2796:1986 Cellular plastics, rigid – Test for dimensional stability.

<sup>14)</sup> Norma ISO 845:2006 Cellular plastics and rubbers – Determination of apparent (bulk) density.

<sup>15)</sup> Norma ISO 1172:1996 Textile glass reinforced plastics – Prepregs, moulding compounds and laminates – Determination of the textile-glass and mineral-filler content – Calcination methods.

Wytwórca żywicy powinien dostarczać żywicę razem z informacją o jej własnościach fizyko-chemicznych dla stanu ciekłego i stanu po utwardzeniu oraz instrukcją stosowania.

Nie należy dodawać pigmentów i innych środków barwiących, mogących wpływać ujemnie na własności żywicy lub laminatu; dodatek pigmentów jest dozwolony tylko do żywic stosowanych jako warstwy ochronne i dekoracyjne (żywice żelkotowe).

**6.3.1.2** Jako wzmocnienie należy stosować włókna szklane bezalkaliczne, włókna węglowe i aramidowe w postaci mat, tkanin oraz rowingu ciągłego lub ciętego, które powinny spełniać wymagania rozdziału 6.4.

W przypadku każdego materiału wzmacniającego wymagane jest zaświadczenie wystawione przez jego producenta na każdą partię wyrobu, zawierające następujące dane:

- .1 nazwa wytwórni,
- .2 nazwa i oznaczenie wyrobu,
- .3 zawartość tlenków metali alkalicznych (w przeliczeniu na  $\text{Na}_2\text{O}$ ) – dla włókien szklanych,
- .4 średnica włókna szklanego,
- .5 typ (rodzaj) tkaniny oraz informacje o zastosowanym rowingu w wątku i osnowie,
- .6 wytrzymałość na rozciąganie (w przypadku tkanin – w kierunku osnowy i wątku),
- .7 rodzaj preparacji aktywnej,
- .8 rodzaj substancji wiążącej (w przypadku mat klejonych).

**6.3.1.3** Własności mechaniczne laminatu, takie jak wytrzymałość na rozciąganie, ściskanie, itp., należy przyjmować w zależności od ilości i położenia wzmocnienia oraz od warunków prób opisanych w p. 6.3.3 i danych z rozdziału 9.4.2.10; własności te należy uzgodnić z PRS.

Działanie oleju, wody morskiej i innych czynników starzeniowych nie powinno obniżać własności mechanicznych laminatu wzmocnionego włóknem szklanym o więcej niż 30% w odniesieniu do wartości początkowych.

**6.3.1.4** W przypadku konstrukcji lub wyrobów podlegających obciążeniom minimalna zawartość włókna szklanego w laminacie powinna wynosić 25%, a w laminatach wzmocnionych matami z włókna szklanego jego zawartość nie powinna być większa niż 35%.

## **6.3.2 Weryfikacja projektowych parametrów wzmocnień użytych w konstrukcji kadłuba**

**6.3.2.1** W celu weryfikacji parametrów wytrzymałościowych poszczególnych warstw laminatów ujętych w tabeli 9.4.2.10 należy przeprowadzić cykl badań próbek reprezentujących użyte w konstrukcji kadłuba rodzaje wzmocnień (maty, tkaniny, wzmocnienia jednokierunkowe). W badaniach należy zweryfikować parametry  $\epsilon_{n1}$ ,  $\epsilon_{n2}$ ,  $\gamma_{n12}$ ,  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $G_{12}$  dla rozciągania, ściskania i ścinania.

W tym celu należy przygotować wielowarstwowe próbki, w których każda warstwa jest jednakowa i odpowiada weryfikowanej warstwie. Badanie powinno określić odpowiednie moduły  $E$  i  $G$  próbek. Moduły należy określać przy małym zakresie odkształceń względnych do 0,003. Badania powinny być przeprowadzone zgodnie z wymaganiami ujętymi w rozdziale 6.2.

**6.3.2.2** Do obliczeń wytrzymałościowych konstrukcji kadłuba wg rozdziału 9.4 należy przyjmować parametry nie wyższe niż określone w ww. badaniach. Odstępstwa od tego warunku wymagają odrębnego rozpatrzenia przez PRS.

**6.3.2.3** Zakres badań określa PRS na bazie dokumentacji konstrukcyjnej kadłuba lub ustalonego przez projektanta zakresu stosowanych wzmocnień. W uzasadnionych przypadkach PRS po odrębnym rozpatrzeniu może odstąpić od wymogu badania niektórych rodzajów wzmocnień lub ograniczyć liczbę weryfikowanych parametrów wzmocnień.

## **6.3.3 Badania kontrole laminatu, z którego zbudowano kadłub**

**6.3.3.1** Do określenia fizycznych i mechanicznych własności laminatów wzmocnionych, z których zbudowano kadłub, należy bezpośrednio przy laminowanym wyrobie, w tym samym czasie, przy użyciu tych samych materiałów i z dodatkiem takiej samej ilości materiału wzmacniającego wykonać płyty kontrolne, z których zostaną następnie przygotowane próbki do badań.

### 6.3.3.2 Przygotowanie próbek do badań

Płyty kontrolne powinny mieć wymiary około 400×500×grubość laminatu [mm].

Próbki paskowe powinny mieć kształt i wymiary zgodne z wymaganiami rozdziału 6.3. Sposób wycinania próbek z płyty kontrolnej należy uzgodnić z PRS.

Próbki do badań mogą również być pobrane z nadatków laminowanego wyrobu lub miejsc przewidzianych do wycięcia. W przypadkach uzasadnionych względami technicznymi, PRS może zażądać pobrania próbek bezpośrednio z samego wyrobu.

Próbki należy wycinać i poddawać badaniom po upływie czasu niezbędnego do osiągnięcia pełnych własności fizycznych i mechanicznych laminatu. Czas niezbędny do uzyskania takich własności powinien być podany przez wytwórcę żywicy i uzgodniony z PRS.

Określanie własności laminatu metodami innymi niż wymienione w rozdziale 6.3 powinno być uzgodnione z PRS.

**6.3.3.3** Podczas badań próbek wyciętych z płyt próbnych należy określić:

- wytrzymałość na rozciąganie, ściskanie i ścinanie,
- moduły Younga  $E$  i sprężystości postaciowej  $G$ .

Wybór płyt kontrolnych i szczegółowy zakres prób należy uzgodnić z PRS.

**6.3.3.4** W badaniach laminatu wzmocnionego należy również określić powyższe cechy wytrzymałościowe po starzeniu. Badania starzeniowe należy wykonać:

- według 6.2.2.11.1 – odporność na działanie wody morskiej, oraz
- według 6.2.2.11.2 – odporność na działanie produktów naftowych.

### 6.3.3.5 Oględziny

Wyroby z laminatu wzmocnionego nie powinny mieć rozwarstwień, pęcherzy, obcych wtrąceń i innych wad mających negatywny wpływ na własności wyrobu. Jeśli istnieje podejrzenie występowania wad wewnętrznych, PRS może zalecić poddanie wyrobu odpowiednim próbom, których zakres podlega odrębnemu uzgodnieniu z PRS.

## 6.4 Wzmocnienia

### 6.4.1 Włókna używane do produkcji wzmocnień

.1 Do produkcji kadłubów i nadbudów jednostek pływających dopuszczone są wzmocnienia (tkaniny, maty) wykonane z następujących włókien:

- a) szklanych:
  - ze szkła E,
  - ze szkła S/R,
- b) węglowych:
  - z wysokowytrzymałych HT/HS,
  - z włókien o pośrednim module IM,
  - z wysokomodułowych HM,
- c) aramidowych o wysokim module Younga.

.2 Stosowanie innych rodzajów włókien podlega odrębnemu uzgodnieniu z PRS.

### 6.4.2 Włókna szklane

Podstawowym włóknem powszechnie stosowanym w produkcji jednostek pływających jest włókno ze szkła E. Włóknem o wyższych parametrach wytrzymałościowych, znacznie rzadziej stosowanym, są włókna typu S(R).

**Tabela 6.4.2**  
**Skład chemiczny i własności włókien szklanych stosowanych do produkcji wzmocnień**  
**używanych w kompozytach [1]**

Składniki %	Typ szkła			
	E	S	R	S2
SiO <sub>2</sub>	63 – 72	65	54	64 – 66
TiO <sub>2</sub>	–	–	0,2	–
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8	–	–	–
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15	25	23 – 28	24 – 25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–	–	0 – 0,5	0,1
BeO	–	–	0 – 0,5	–
MgO	4	10	3 – 8	9,5 – 10
CaO	18,5	0 – 0,3	8 – 15	0,02
Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	< 1	0 – 0,2	0 – 1	0 – 0,2
Własności wytrzymałościowe				
Gęstość [g/cm <sup>3</sup> ]	2,52	2,49	2,5	2,46
Wytrzymałość na rozciąganie $R_m$ [MPa] <sup>1)</sup>	3500	4585	4750	4890
Moduł $E$ [GPa]	77	85,5	86	86,9
Wydłużenie przy zerwaniu $\varepsilon_1$ [%] <sup>1)</sup>	4,8	5,7	4,8	5,2

<sup>1)</sup> Wytrzymałość na rozciąganie,  $R_m$ , oraz wydłużenie niszczące  $\varepsilon_1$  podane w tej tabeli odnoszą się do badań laboratoryjnych pojedynczych krótkich włókien.

W rzeczywistości przy badaniu długich odcinków włókien i wiązek włókien średnia wytrzymałość  $R_m$  i wydłużenia  $\varepsilon_1$  są wyraźnie niższe. W toku produkcji wzmocnień (tkanin, mat) włókna ulegają uszkodzeniom co jeszcze bardziej obniża wytrzymałość  $R_m$  i wydłużenie włókien.

Włókna szklane w wyrobie końcowym (tkaniny, maty) muszą posiadać naniesione na swojej powierzchni preparacją odpowiednią dla typu żywicy, jakie będą używane w produkcji kompozytu.

Niedopuszczalne jest stosowanie wzmocnień z preparacjami niedostosowanymi do użytych żywic.

### 6.4.3 Włókna węglowe

Włókna węglowe dzieli się na 3 rodzaje:

- .1 włókna wysokowytrzymałościowe (HT/HS) – podstawowe, najczęściej stosowane w produkcji kadłubów;
- .2 włókna IM o średnim module i najwyższej wytrzymałości;
- .3 włókna wysokomodułowe HM – o najwyższym module Younga i wysokiej wytrzymałości.

**Tabela 6.4.3**  
**Własności wytrzymałościowe włókien węglowych (Torayca)**

Typ włókna		Ciężar właściwy [g/cm <sup>3</sup> ]	Wytrzymałość na rozciąganie $R_m$ [MPa]	Moduł Younga [GPa]	Wydłużenie niszczące [%]
HT/HS	T 300	1,76	3530	230	1,5
	T 700 S	1,80	4900	230	1,8
IM	T 800 H	1,81	5490	294	1,81
	T 1000 G	1,80	6370	294	1,80
HM	M 40	1,81	2740	392	0,7
	M 60J	1,93	3920	588	0,7
	M 40J	1,77	4410	377	1,2

Włókna mają różne średnice, produkowane są w formie rowingu/przędzy o różnej liczbie włókien w wiązce (3000, 6000, 12000, 24000).



#### 6.4.4 Włókna aramidowe

Włókna aramidowe znane pod nazwami handlowymi KEVLAR (USA) i TWARON (Holandia) produkowane są w wielu gatunkach. Do produkcji kompozytu dopuszczalne są tylko wysokomodułowe włókna (np. Kevlar 49, 149).

**Tabela 6.4.4**  
**Własności wytrzymałościowe włókien aramidowych**

	Kevlar 49	Kevlar 149	Tawron HM
Gęstość [g/cm <sup>3</sup> ]	1,44	1,47	1,45
Wytrzymałość na rozciąganie R <sub>m</sub> [MPa]	2800	2800	2800
Moduł Younga [GPa]	124	186	125
Wydłużenie do zerwania $\varepsilon$ [%]	2,5	1,9	2,0

#### 6.4.5 Wzmocnienia powierzchniowe

Na bazie włókien tworzone są wzmocnienia powierzchniowe w formie tkanin, mat itp.

##### 6.4.5.1 Maty

Maty tworzone są poprzez zlepianie – przypadkowo ułożonych co do kierunku włókien – krótkich (30 – 50 mm) odcinków przędzy szklanej (tylko ze szkła E).

Z mat tworzy się izotropowe w swej płaszczyźnie laminaty.

Zaleca się stosowanie mat klejonych lepiszczem proszkowym rozpuszczalnym w styrenie, dlatego do przesycania mat można stosować tylko żywice poliestrowe i winylestrowe o zawartości styrenu około 40%. Niedopuszczalne jest przesycanie mat żywicą epoksydową.

##### 6.4.5.2 Tkaniny

- 1 Dopuszczalne jest stosowanie tkanin zbudowanych z jednego rodzaju włókien jak też tkanin tworzonych z różnych rodzajów włókien.

Ze względu na rodzaj splotu rozróżnia się tkaniny o splotie płóciennym, rządkowym i satynowym. Splot tkaniny i gramatura powinny być dobrane do krzywizn występujących w kształcie kadłuba i technologii laminowania.

Przy dużych krzywiznach na załamaniach zalecane jest stosowanie tkanin o niższej gramaturze i o splotie satynowym lub rządkowym.

Ze względu na wytrzymałość tkaniny można podzielić na zrównoważone, tzn. takie dla których wzdłuż wątku i osnowy pole przekroju włókien jest jednakowe i takie gdzie pole przekroju jest różne, w proporcji np.: 1,5:1 aż do tkanin jednokierunkowych o proporcjach typu 20:1. Pole przekroju włókien wzdłuż wątku lub osnowy zależy od ilości rowingów przypadających na jednostkę szerokości (np. 100 mm) i od masy liniowej rowingu (w wątku i osnowie mogą być rowingi o różnej masie liniowej). Wytrzymałość kompozytu na bazie tkanin jest proporcjonalna do pola przekroju włókien na kierunku działania sił. Informacje o konstrukcji tkanin powinny być dostarczone do PRS. Tkaniny występują też w formie wąskich taśm.

- 2 Tkaniny hybrydowe zbudowane są zwykle z dwóch rodzajów włókien w ten sposób, że wątek i osnowa zawierają rowing z dwóch rodzajów włókien, jak też tkane tak, że gatunek włókna w wątku jest inny niż w osnowie. Stosowanie takich tkanin wymaga informacji od producenta na temat ich budowy, tj. rodzaju i typu włókien dla wątku i osnowy, gęstości włókien, liczby rowingów przypadających na 100 mm długości i szerokości tkanin i masy liniowej (tex) rowingów w wątku i osnowie.
- 3 Rysunki konstrukcji kadłuba powinny zawierać informacje o kierunku ułożenia osnowy tkanin. To samo dotyczy tkanin niezrównoważonych i jednokierunkowych.

##### 6.4.5.3 Wzmocnienia wielokierunkowe

Do budowy kadłubów i nadbudówek dopuszczalne jest stosowanie wielowarstwowych wzmocnień zszywanych z jednokierunkowych warstw ułożonych pod różnymi kątami względem siebie.

Wzmocnienia dwuwarstwowe (biaxial) to dwie warstwy jednokierunkowe ułożone prostopadle względem siebie i pod kątem  $0^\circ/90^\circ$  lub  $-45^\circ/45^\circ$  względem osi osnowy.

Wzmocnienia wielowarstwowe (multiaxial) to zszyte kilka jednokierunkowych warstw ułożonych pod różnymi kątami względem siebie.

Wzmocnienia te są sztywne, szczególnie gdy mają wysoką gramaturę. Stosowanie ich wymaga uwzględnienia krzywizn kadłuba i technologii użytej do laminowania.

#### 6.4.5.4 Wzmocnienia jednokierunkowe

Oprócz tkanin jednokierunkowych (patrz. 6.4.5.2) dopuszczalne jest stosowanie wąskich (np. 300 mm) wzmocnień złożonych z naklejonych na folię rowingów zabezpieczonych siateczką. Stosowanie ich musi być skorelowane z technologią wykonywania kadłuba. Wzmocnienia te dają zwykle wyższą wytrzymałość laminatu poprzez mniejsze uszkodzenia włókien (brak tkania) i wyższą zawartość wzmocnienia w laminacie.

#### 6.4.5.5 Inne rodzaje wzmocnień

Inne rodzaje wzmocnień, np. wzmocnienia przestrzenne, będą odrębnie rozpatrywane przez PRS.

#### 6.4.5.6 Badanie materiałów wzmacniających

**6.4.5.6.1** Materiały wzmacniające powinny być poddane badaniu sprawdzającemu:

- zawartość wilgoci według normy ISO 3344<sup>16)</sup> – nie większa niż 0,2% przy dostawie,
- straty prażenia według normy ISO 1887<sup>17)</sup> – tolerancja  $\pm 10\%$ ,
- masę powierzchniową:
  - dla rowingu według normy ISO 1889<sup>18)</sup> – tolerancja  $\pm 10\%$ ,
  - dla mat według normy ISO 3374<sup>19)</sup> – tolerancja  $\pm 10\%$ ,
  - dla tkaniny rowingowej według normy ISO 3374 – tolerancja  $\pm 10\%$ .

**6.4.5.6.2** Przy uznawaniu wzmocnień szklanych należy wykonać badania własności laminatu (według 6.3) wykonanego z użyciem uznawanego materiału.

Typ żywicy zastosowanej do przygotowania próbek laminatów powinien być uzgodniony z PRS.

### 6.5 Żywice

#### 6.5.1 Właściwości żywic będących spoiwem laminatów wzmacnianych włóknami

Ze względów na uzyskanie przez laminat wytrzymałości, jaką może osiągnąć z powodu wytrzymałości włókien wzmacniających, żywica powinna mieć następujące cechy:

1. Względne wydłużenie niszczące przy rozciąganiu większe niż wydłużenie niszczące włókna. Żywica która ma niższe wydłużenie względne niż włókno powoduje, że laminat rozciągany ulega zniszczeniu wtedy gdy pęka żywica i nie są całkowicie wykorzystywane możliwości włókien, co obniża wytrzymałość laminatu ( $R_m$ ).
2. Wysoki moduł Younga  $E$  żywicy w dużym zakresie odkształceń względnych. Przy obciążeniu ściskającym laminatu wzdłuż włókien włókna ulegają wyboczeniom zwykle przy sprężystej żywicy, a niski moduł  $E$  obniża wytrzymałość na ściskanie.
3. Duże wydłużenie niszczące przy rozciąganiu żywicy. Jest to istotne także przy rozciąganiu laminatu w kierunku prostopadłym do kierunku włókien. Ze względu na dużo niższą sztywność żywicy (moduł  $E$ ) lokalnie pomiędzy włóknami wydłużenie względne żywicy jest wielokrotnie większe niż wydłużenie laminatu i tam następuje pękanie żywicy lub odspojenia żywicy od włókna.
4. Dobrą adhezję pomiędzy włóknem a żywicą, decydującą o przenoszeniu sił pomiędzy włóknami.

<sup>16)</sup> Norma ISO 3344:1997 Reinforcement products – Determination of moisture content.

<sup>17)</sup> Norma ISO 1887:2014 Textile glass – Determination of combustible-matter content.

<sup>18)</sup> Norma ISO 1889:2009 Reinforcement yarns – Determination of linear density.

<sup>19)</sup> Norma ISO 3374:2000 Reinforcement products – Mats and fabrics – Determination of mass per unit area.

5. Wysoką temperaturę utraty sztywności i wytrzymałości (szczególnie przy zginaniu i ściskaniu). Pozwala to lepiej chronić konstrukcję przed wpływem ciepła zarówno wynikającego z normalnej eksploatacji, jak też w przypadku pożarów.

Względy technologiczne wymagają od żywicy następujących cech:

1. Niska szkodliwość dla zdrowia i środowiska szczególnie na etapie laminowania.
2. Odpowiednia lepkość i tiksotropowość dostosowana do użytego wzmocnienia i stosowanej technologii laminowania.
3. Długi czas w stanie płynnym (pot life) dostosowany do grubości laminatu i technologii laminowania.
4. Możliwie niska temperatura szczytu egzotermicznego podczas żelowania, umożliwiająca jednorazowe laminowanie dużych grubości.
5. Możliwie duża szybkość dotwardzenia się laminatu, umożliwiająca krótszy pobyt laminatu w formie.

### 6.5.2 Nienasycone żywice poliestrowe

Żywice poliestrowe to łańcuchowe polimery kondensacyjne. W postaci użytkowej to mieszaniny właściwych żywic z monomerami.

Na właściwości żywic poliestrowych decydujący wpływ ma skład chemiczny (część kwasowa i część glikolowa). Ze względu na część kwasową poliestru produkowane są żywice:

- ortoftalowe – podstawowe, dają średnie jakościowo laminaty, wydzielają duże ilości dymu podczas palenia;
- izoftalowe – lepsze jakościowo od ortoftalowych, wykazują lepszą odporność na działanie wody, chemikaliów i temperatury;
- tereftalowe – zapewniają laminatom wyższą odporność na wodę, temperaturę, wyższą wytrzymałość;
- hetowe – nadają laminatom własności samogasnące, w trakcie palenia wydziela się toksyczny związek (HCL);
- inne.

Część glikolowa żywic poliestrowych to między innymi:

- glikol propylenowy (wydziela duże ilości dymów podczas spalania laminatów);
- glikol neoprenowy (pozwala uzyskać żywicę hydrofobową o zwiększonej wodo- i chemoodporności i odporności na podwyższoną temperaturę);
- uwodniony dian – daje dobrą odporność chemiczną i termiczną;
- inne.

Jako monomer powszechnie stosowany jest styren. Jest tani, ale jego wadą jest palność i toksyczność.

Również jako monomery mogą być stosowane inne związki chemiczne nadające żywicom lepsze własności niż styren.

Utwardzenie żywic poliestrowych polega na reakcji kopolimeryzacji oligoestru z monomerem w wyniku czego cząsteczki monomeru wbudowują się między łańcuchy oligoestru, powodując powstanie sieci przestrzennej. Reakcja ta zachodzi pod wpływem inicjatorów wolnorodnikowych (zwanymi utwardzaczami) takich jak nadtlenek benzoilu (NB), wodorotlenek metyloetyloketonu i innych, z dodatkiem przyspieszaczy takich jak sole kobaltu czy odpowiednie aminy. Sieciowanie poliestru jest reakcją egzotermiczną, a wydzielające się ciepło zmusza do ograniczenia grubości laminatu wytwarzanego w jednym cyklu. Ilość inicjatora i przyspieszacza oraz temperatura laminowania silnie wpływają na czas, w którym żywica jest płynna i nadaje się do laminowania.

### 6.5.3 Żywice winyloestrowe

Żywice winyloestrowe powstają w wyniku reakcji żywicy epoksydowej oraz nienasyconych kwasów np. dianowej żywicy epoksydowej i kwasu akrylowego. Po dodaniu monomeru (do 50%) powstaje spoiwo utwardzone analogicznie jak żywice poliestrowe. Jednak dzięki innej budowie ma lepsze własności mechaniczne, wyższą odporność termiczną, chemiczną i adhezyjność.

Żywice winyloestrowe mają dobre własności technologiczne, możliwość regulacji lepkości (za pomocą temperatury), możliwość uzyskania tiksotropowości, wydłużenia czasu do żelowania (pot life), istnieje też możliwość obniżenia reaktywności.

Dobra adhezja tych żywic skutkuje dobrą przesykalnością włókien szklanych, węglowych i aramidowych.

#### 6.5.4 Żywice epoksydowe

Żywice epoksydowe mają różną budowę chemiczną. Najczęściej do wytwarzania kompozytów stosuje się żywice otrzymywane z bisfenolu i epichlorohydryny gliceryny. W celu obniżenia lepkości często dodawane są rozcieńczalniki aktywne, które wbudowują się w strukturę utwardzonej żywicy, lub nieaktywne, obniżające własności żywic (np. styren). Utwardzanie żywic epoksydowych wymaga dodania utwardzacza.

Jest cały szereg utwardzaczy. Niektóre należy dodawać w ściśle określonych ilościach w zależności od rodzaju żywicy, inne można dodawać w różnych proporcjach modyfikując w ten sposób własności utwardzanego spoiwa.

Doborem utwardzacza można znacznie modyfikować czas, w którym żywica zmieszana z utwardzaczem nadaje się do przerobu (np. od kilkunastu minut do kilkunastu godzin). Na ten czas wpływa również temperatura laminowania – niższa wydłuża czas, ale podnosi lepkość żywic. Na właściwości żywic, szczególnie na wzrost odporności cieplnej, wpływ ma wygrzewanie laminatu tuż po jego utwardzeniu. Dotyczy to w różnym stopniu różnych zestawów żywicy i utwardzacza. Ogólnie, im wyższa temperatura wygrzewania, tym wyższa temperatura laminatu, w której traci wytrzymałość. W przypadku laminowania kadłubów, ze względu na ich duże wymiary, wygrzewanie wraz z formą jest mocno utrudnione.

#### 6.5.5 Badania żywic poliestrowych

**6.5.5.1** Wymagania mają zastosowanie do żywic poliestrowych nienasyconych, winylowych i epoksydowych, używanych do produkcji wyrobów podlegających nadzorowi PRS.

Jako żywice konstrukcyjne przy produkcji laminatów wzmocnionych należy stosować gatunki uznane przez PRS.

##### 6.5.5.2 Zakres prób

**6.5.5.2.1** Żywice poliestrowe w postaci ciekłej powinny być poddane badaniu sprawdzającemu:

- gęstość według normy ISO 1675<sup>20)</sup> – zgodna z danymi producenta,
- lepkość według normy ISO 2555<sup>21)</sup> – tolerancja  $\pm 20\%$  w stosunku do danych producenta,
- liczbę kwasową według normy ISO 2114<sup>22)</sup> – tolerancja  $\pm 10\%$  w stosunku do danych producenta,
- zawartość części lotnych według metody uzgodnionej z PRS – tolerancja  $\pm 10\%$  w stosunku do danych producenta,
- czas żelowania według normy ISO 2535<sup>23)</sup> – tolerancja  $\pm 20\%$  w stosunku do danych producenta,
- skurcz objętościowy podczas utwardzania według normy ISO 3521<sup>24)</sup> – zgodny z danymi producenta.

**6.5.5.2.2** Żywice konstrukcyjne w postaci utwardzonej powinny zostać poddane badaniom określającym:

- gęstość,
- twardość według normy EN 59<sup>25)</sup> – nie mniejsza niż 35 w skali Barcola,
- temperaturę ugięcia przy naprężeniu zginającym 1,8 MPa według normy ISO 75-2<sup>26)</sup> – nie niższą od 60°C, ale także nie niższą niż określona w p. 10.2.6.5 dla konstrukcji będących przegrodami przeciwpożarowymi,
- chłonność wody (według 6.2.2.10.1 na próbkach o wymiarach  $50 \pm 1 \times 50 \pm 1 \times 4 \pm 0,2$  mm w czasie 28 dni) – nie więcej niż 80 mg,
- wytrzymałość na rozciąganie (według 6.2.2.5.1) – nie mniejszą niż 50 N/mm<sup>2</sup>,
- moduł elastyczności (według 6.2.2.5.1) – nie mniejszy niż 3000 N/mm<sup>2</sup>,
- wydłużenie przy rozrywaniu (według 6.2.2.5.1) – nie mniejsze niż 2%.

<sup>20)</sup> Norma ISO 1675:1985 Plastics – Liquid resins – Determination of density by the pycnometer method.

<sup>21)</sup> Norma ISO 2555:1989 Plastics – Resins in the liquid state or as emulsions or dispersions – Determination of apparent viscosity by the Brookfield Test method.

<sup>22)</sup> Norma ISO 2114:2000 Plastics (polyester resins) and paints and varnishes (binders) – Determination of partial acid value and total acid value.

<sup>23)</sup> Norma ISO 2535:2001 Plastics – Unsaturated-polyester resins – Measurement of gel time at ambient temperature.

<sup>24)</sup> Norma ISO 3521:1997 Plastics – Unsaturated polyester and epoxy resins – Determination of overall volume shrinkage.

<sup>25)</sup> Norma EN 59:2016 Glass reinforced plastics – Determination of indentation hardness by means of a Barcol impressor.

<sup>26)</sup> Norma ISO 75-2:2013 Plastics – Determination of temperature of deflection under load– Part 2: Plastics and ebonite.

Dopuszcza się dotwardzanie żywicy w temperaturze 40°C w czasie 16 godzin, a następnie sezonowanie w temperaturze pokojowej w ciągu 24 godzin. Inne warunki dotwardzania podlegają odrębnemu uzgodnieniu z PRS.

**6.5.5.2.3** Żywice żelkotowe nie powinny zawierać więcej niż 15% pigmentów i wypełniaczy i powinny tworzyć pokrycie o maksymalnej grubości 500 µm.

## 6.6 Własności wytrzymałościowe laminatów

**6.6.1** Własności wytrzymałościowe laminatów zależą od wielu czynników materiałowych, konstrukcyjnych i technologicznych.

Główne czynniki to:

- rodzaj włókien (pod kątem materiału) i ich wytrzymałość,
- zawartość objętościowa włókien w kompozycie, która w dużym stopniu zależy od stosowanej technologii wykonania,
- kierunek ułożenia włókien względem sił obciążających kompozyt,
- układ warstw w laminacie zarówno gdy używane są różne rodzaje włókien, jak też różne postaci wzmocnień stworzonych na bazie tego samego włókna (np. mata, tkanina, wzmocnienie jednokierunkowe).

### 6.6.2 Minimalne własności

Minimalne własności wytrzymałościowe laminatów na bazie włókien szklanych (szkło E) wynoszą:

- wytrzymałość na rozciąganie – 80 MPa,
- moduł sprężystości przy rozciąganiu – 7 GPa,
- wytrzymałość na zginanie – 135 MPa,
- moduł sprężystości przy zginaniu – 6 GPa,
- zawartość włókien szklanych – 25%.

### 6.6.3 Własności laminatów

Standardowe, łatwo technicznie osiągalne własności wytrzymałościowe laminatów wzmocnionych matami, tkaninami dwukierunkowymi, matami naprzemiennie w warstwach z tkaninami, tkaninami jednokierunkowymi na bazie włókien ze szkła E, węgla HT/HS i tkaninami aramidowymi podane są w załączniku C normy PN-EN ISO 12215-5.

#### 6.6.3.1 Własności laminatów na bazie włókien szklanych

**Tabela 6.6.3.1-1**

**Własności wytrzymałościowe laminatów wzmocnionych matami i tkaninami zrównoważonymi na bazie szkła E (włókna ułożone w kierunkach 0° – 90° w stosunku do boków próbek)**

Zawartość		$R_m$	$R_c$	$R_g$	$R_t$	$E$	$G$
masowa	objętościowa	[MPa]				[GPa]	
0,250	0,135	67	110	138	58	4,50	2,665
0,275	0,151	76	113	145	60	5,45	2,708
0,300	0,167	85	117	152	62	6,40	2,750
0,325	0,184	96	121	160	64	7,35	2,793
0,350	0,202	107	125	168	66	8,30	2,835
0,375	0,220	120	128	178	68	9,25	2,878
0,400	0,238	133	132	187	70	10,20	2,920
0,425	0,257	148	136	198	72	11,15	2,963
0,450	0,277	163	140	209	74	12,10	3,005
0,480	0,302	183	144	223	76	13,24	3,090
0,500	0,319	197	147	233	78	14,00	3,090
0,525	0,341	216	151	245	80	14,95	3,133
0,550	0,364	235	155	259	82	15,90	3,175
0,575	0,388	256	158	273	84	16,85	3,218
0,600	0,413	277	162	288	86	17,80	3,260

gdzie:

- $R_m$  – wytrzymałość na rozciąganie;
- $R_c$  – wytrzymałość na ściskanie;
- $R_g$  – wytrzymałość na zginanie;
- $R_t$  – wytrzymałość na ścinanie;
- $E$  – moduł sprężystości Younga;
- $G$  – moduł sprężystości postaciowej.

Wyższe zawartości włókien szklanych dotyczą wzmocnienia samymi tkaninami.

Dla małych zawartości włókien szklanych w laminacie większe znaczenie mają własności stosowanych żywic, co widać po proporcjach  $R_m$  i  $R_c$  dla małych (wzmocnienie matami) i dużych (wzmocnienie tkaninami) zawartości szkła w laminacie.

Własności laminatu na bazie tkanin za szkła S/R są generalnie wyższe. Ze względu na niezbyt częste stosowanie tych włókien brak jest dokładnych danych. Szacunkowo można przyjąć, że moduły dla tych samych zawartości są wyższe o 15 – 20%, wytrzymałości o 30 – 60%, w stosunku do laminatów na bazie włókien ze szkła E.

**Tabela 6.6.3.1-2**  
**Własności wytrzymałościowe laminatów wzmocnionych jednokierunkowo (obciążenia wzdłuż włókien) na bazie szkła E**

Zawartość		$R_m$	$R_c$	$R_t$	$E$
masowa	objętościowa	[MPa]			[GPa]
0,400	0,238	337	290	50	17,586
0,425	0,257	358	296	50	18,727
0,450	0,277	381	303	50	19,927
0,480	0,302	405	309	50	21,184
0,500	0,319	430	315	50	22,500
0,525	0,341	456	321	50	23,874
0,550	0,364	483	328	50	25,307
0,575	0,388	511	334	50	26,797
0,600	0,413	541	340	50	28,346

### 6.6.3.2 Własności laminatów na bazie włókien węglowych

Własności wytrzymałościowe laminatów węglowych przedstawiają poniższe tabele.

**Tabela 6.6.3.2-1**  
**Własności wytrzymałościowe laminatów węglowych (włókna HT/HS) wzmocnionych tkaninami ułożonymi pod kątem 0° – 90° do boków próbki**

Zawartość		$R_m$	$R_c$	$R_t$ <sup>1)</sup> diagonalna	$R_t$	$E$	$G$
masowa	objętościowa	[MPa]				[GPa]	
0,400	0,308	306	189	188	47	31,0	5,1
0,425	0,330	331	204	192	48	33,0	5,1
0,450	0,353	356	220	196	49	36,0	5,1
0,475	0,376	380	235	200	50	38,5	5,1
0,500	0,400	405	250	204	51	41,0	5,1

<sup>1)</sup> Wytrzymałość na ścinanie dla diagonalnego ułożenia włókien ( $\pm 45^\circ$ )

**Tabela 6.6.3.2-2**  
**Własności wytrzymałościowe laminatów węglowych**  
**dla wzmocnienia jednokierunkowego (włókno HT/HS)**

Zawartość		$R_m$	$R_c$	$E$	$R_m$	$R_c$	$E$
masowa	objętościowa	[MPa]		[GPa]	[MPa]		[GPa]
		siła wzdłuż włókna			siła poprzeczna do włókna		
0,400	0,308	600	330	59,80	20	60	4,43
0,425	0,330	650	358	64,85	21	62	4,55
0,450	0,353	700	385	69,90	21	63	4,68
0,475	0,376	750	413	74,95	22	65	4,85
0,500	0,400	800	440	80,00	23	68	4,98

Własności laminatów wzmocnionych włóknami typu IM i HM są w przybliżeniu proporcjonalne do modułu  $E$  i  $R_m$  włókna. Moduł  $E$  laminatu jest proporcjonalny do modułu  $E$  włókna,  $R_m$  są proporcjonalne do  $R_m$  włókna, wytrzymałość na ściskanie nie zależy od wytrzymałości na rozciąganie – podczas ściskania włókna ulegają wyoboczeniu, stąd wzrost wytrzymałości  $R_m$  włókna nie wpływa na  $R_c$  laminatu.

### 6.6.3.3 Własności laminatów aramidowych

Własności laminatów aramidowych dla zawartości masowej 0,3 i 0,4 dla laminowania ręcznego tkaniny zrównoważonej o ułożeniu  $0^\circ - 90^\circ$  podano w poniższej tabeli.

**Tabela 6.6.3.3**  
**Własności laminatów aramidowych zbrojonych tkaninami**

	Jednostka	Zawartość włókna masowa	
		0,3	0,4
Wytrzymałość na rozciąganie ( $R_m$ )	MPa	196	268
Wytrzymałość na ściskanie ( $R_c$ )	MPa	75	100
Wytrzymałość na ścinanie międzywarstwowe	MPa	45	45
Moduł sprężystości ( $E$ ) wzdłuż włókien	GPa	15,75	20,75
Moduł $G$	GPa	3,4	3,4

Powyższa tabela przedstawia parametry uzyskiwalne przy przeciętnym wykonawstwie i technologii.

### 6.6.3.4 Laminaty hybrydowe

Laminaty szklano-węglowe posiadają własności wytrzymałościowe pośrednie w stosunku do jednorodnych, zależnie od udziału poszczególnych włókien w całości, od ułożenia włókien względem sił, rodzaju wzmocnień (dwukierunkowe – jednokierunkowe).

Laminaty aramidowo-węglowe/szklane posiadają wyraźnie lepszą niż czysto aramidowe wytrzymałość na zginanie i ściskanie. Nie zaleca się stosowania wyłącznie włókien aramidowych na elementy ściskane i zginane. Laminaty z włókien aramidowych generalnie cechuje wyższa udarność w stosunku do szklanych (szkło E) a zwłaszcza do węglowych.

## 6.7 Konstrukcje przekładkowe

### 6.7.1 Definicje

**Konstrukcja przekładkowa** – to zwykle trójwarstwowa płyta, gdzie zewnętrzne warstwy tworzą cienkie monolityczne laminatowe okładziny, a środkowa łącząca te okładziny zbudowana jest z wielokrotnie grubszego i lżejszego materiału.

**R d z e ń** – środkowa część płyty przekładkowej, wykonany zwykle jest z lekkiego materiału.

### 6.7.2 Przenoszenie obciążeń w płycie przekładkowej

Dla obciążeń ciśnieniem prostopadłym do powierzchni płyty momenty gnące przenoszone są przez naprężenia normalne w laminatowych okładzinach.

Udział rdzenia w przenoszeniu momentu gnącego jest minimalny, natomiast siła tnąca przenoszona jest przez rdzeń prawie w całości.

Siły leżące w płaszczyźnie płyty przekładkowej przenoszone są głównie przez laminatowe okładziny.

### 6.7.3 Rodzaje materiałów stosowane na rdzenie

Na rdzenie stosowane są następujące materiały:

1. Drewno balsa – zwykle są to łączone ze sobą kostki o określonej grubości impregnowanego drewna ciętego w ten sposób, że oś pnia jest prostopadła do płaszczyzny rdzenia.
2. Sztywne pianki – zwykle PCV w formie płyt.
3. Wypełniacze komórkowe (honeycomb) z Nomeksu lub stopów aluminium o komórkach 6-kątnych lub prostokątnych.
4. Inne, np. Coremat itp.

### 6.7.4 Własności wytrzymałościowe materiałów stosowanych na rdzenie

Typowe własności wytrzymałościowe rdzeni w zależności od gęstości podano w normie *EN ISO 12215-5:2008 (Załącznik D)* przytoczono w poniższej tabeli.

Masa właściwa	$R_t$	$G$	$R_c$	$E_c$
g/cm <sup>3</sup>	MPa	MPa	MPa	MPa
Balsa				
90	1,26	77	4,2	1413
100	1,44	85	5,2	1720
120	1,80	103	7,2	2334
150	2,33	129	10,3	3255
180	2,86	155	13,4	4176
200	3,22	172	15,4	4790
220	3,58	190	17,4	5404
Sztywna pianka PCV				
54	0,63	17,1	0,66	47
72	0,93	23,1	1,11	68
90	1,24	29,0	1,56	90
120	1,75	38,9	2,31	126
145	2,18	47,2	2,94	156
180	2,77	58,7	3,81	198
Pianka PCV liniowy				
60	0,51	12	0,48	31
70	0,65	15	0,60	40
80	0,79	18	0,72	48
100	1,07	24	0,96	65
140	1,63	35	1,44	99
Pianka SAN				
60	0,34	8	0,45	31
70	0,48	12	0,58	41
80	0,62	17	0,71	51
100	0,89	26	1,01	76
130	1,26	40	1,54	120
150	1,49	49	1,93	154
200	1,99	72	3,05	255



gdzie:

- Balsa – patrz p. 6.7.3;
- sztywne pianki PCV – dosięciowane izocyjanianami pianki PCV (crosslinked PCV) takie jak HerexC, Divinycell H i HT, Klegocell;
- pianka PCV liniowy – reprezentują takie pianki jak Airex R 63.80 czy Divinycell;
- pianka SAN – PMI pianka wykonana z kopolimeru styrenu – akrolonitrylu, np. ATC Core-Cell A.

## **7 PROWADZENIE NADZORU TECHNICZNEGO**

### **7.1** Podstawą nadzoru nad budową są:

- dokumentacja nadzorcza zatwierdzona przez Centralę PRS,
- dokumentacja wykonawcza uzgodniona przez inspektora PRS nadzorującego budowę,
- metryki/zaświadczenia prób/świadectwa uznania materiałów/wyrobów wystawione przez PRS,
- przepisy PRS (*Przepisy*) i publikacje PRS (*Publikacje*),
- zarządzenia PRS,
- międzynarodowe konwencje,
- umowa o nadzór nad budową.

### **7.2** Nadzorowi w czasie budowy podlega cała konstrukcja kadłuba wraz z:

- nadbudówkami i pokładówkami,
- tunelami wałów śrubowych,
- fundamentami silników głównych,
- fundamentami silników i mechanizmów pomocniczych oraz urządzeń podlegających nadzorowi,
- wspornikami wałów, dyszami nieobrotowymi,
- zrębnicami, zejściówkami i innymi konstrukcjami ograniczającymi otwory w kadłubie,
- ruchomymi rampami i platformami.

### **7.3** Konstrukcje wymienione w 7.2 podlegają w czasie budowy kontroli pod względem:

- zgodności z zatwierdzoną dokumentacją techniczną,
- spełnienia wymagań niniejszej części Publikacji w zakresie niewidocznym w dokumentacji technicznej,
- spełnienia mających zastosowanie wymagań rozdziału 6 – materiały używane do wytwarzania laminatu.

**7.3.1** Zaleca się założenie i systematyczne prowadzenie *Książki budowy*, w której dokonuje się wpisów związanych z etapami budowy potwierdzanych przez inspektora PRS.

**7.3.2** Po zakończeniu budowy inspektor dokonuje w *Książce budowy* wpis określający zakres i wynik całego wykonanego nadzoru. Wpis taki, z adnotacjami dokonywanymi w czasie budowy, stanowi dokument końcowy z przeprowadzonego przez tego inspektora nadzoru nad budową jednostki.

**7.4** Podane poniżej etapy budowy należy traktować ramowo, co oznacza, że wymienione w .1 – .8 czynności można kojarzyć w różny sposób, uwzględniając wymogi zastosowanej dla danej budowy organizacji i technologii.

- .1** przegląd i akceptacja miejsca budowy, przegląd materiałów i akceptacja sposobu ich przechowywania, przegląd formy do laminowania kadłuba,
- .2** kontrola wykonania laminatu w trakcie laminowania kadłuba,
- .3** odbiór poszycia po laminowaniu wraz z odbiorem wykonania usztywnień skorupy poszycia i laminowania skorupy pokładu oraz kontrola wyników próbek z płyty kontrolnej lub pobranych z poszycia kadłuba i pokładu,
- .4** odbiór kadłuba i pokładu po zmontowaniu ich ze sobą oraz odbiór wykonania i montażu elementów wyposażenia jednostki tj. np. płetwy steru.

- .5 sprawdzenie poprawności montażu urządzeń maszynowych, urządzeń elektrycznych oraz rurociągów,
- .6 odbiór jednostki z pełnym wyposażeniem,
- .7 udział w próbie stateczności,
- .8 udział w próbach w ruchu.

## **8 TECHNOLOGIA BUDOWY Z LAMINATU**

### **8.1 Wymagania ogólne**

**8.1.1** Przedmiotem rozdziału jest określenie warunków i sposobu kształtowania wyrobów z kompozytów polimerowych.

**8.1.2** Wszystkie elementy laminatowe powinny być wykonane zgodnie ze wszystkimi szczegółami określonymi w dokumentacji konstrukcyjnej.

**8.1.3** Warstwa powierzchniowa – żelkot, spełniająca funkcje dekoracyjno-użytkowe, powinna być ciągła, gładka, błyszcząca, jednolitej grubości (0,6÷0,8 mm) i koloru, pozbawiona zarysowań, odprysków, pęcherzy powietrznych i wtrąceń.

**8.1.4** Warstwy konstrukcyjne laminatu powinny ściśle i trwale przylegać do żelkotu, być pozbawione pęcherzy, rozwarstwień i strzępiących się włókien, dlatego konieczne jest zachowanie wszystkich rygorów procesu przy nakładaniu każdej jego warstwy.

**8.1.5** Wewnętrzne strony laminatu powinny być zabezpieczone warstwą topkotu.

**8.1.6** Laminat powinien się składać z ilości warstw, rodzaju, typu i gramatury wzmocnienia nakładanego wg ustalonej kolejności, określonych w zatwierdzonej dokumentacji konstrukcyjnej. Wszystkie elementy wzmacniające powinny być przylaminowane do warstwy konstrukcyjnej zgodnie z zatwierdzoną dokumentacją.

**8.1.7** Należy przyjąć, że warunki warsztatowe mają znaczący wpływ na krótkoterminowe i długoterminowe właściwości jednostki pływającej wraz z założeniem, że produkcja odbywa się w warunkach odpowiednich dla stosowanego materiału i z zastosowaniem odpowiedniego procesu produkcyjnego.

### **8.2 Przechowywanie surowców**

**8.2.1** Wszystkie przychodzące do zakładu produkcyjnego materiały konstrukcyjne powinny być sprawdzane pod względem przydatności do użycia (typ, data ważności, producent, itp.). Materiały przeterminowane nie powinny być wprowadzane do produkcji.

**8.2.2** Każdy materiał/surowiec przechowywany w magazynie musi być trwale oznaczony, tak aby była zapewniona jego pełna identyfikowalność.

**8.2.3** Zakład powinien mieć opracowane i wdrożone procedury dotyczące przyjęcia materiałów, sprawdzenia certyfikatów zgodności, magazynowania materiałów i postępowania z materiałami; procedury te powinny być wyszczególnione w procedurach zapewnienia zgodności opracowanych przez producenta jednostki i powinny zagwarantować, że materiały nie ulegną zanieczyszczeniu oraz, że nie nastąpi pogorszenie ich jakości a także, że przez cały czas materiały będą oznakowane w sposób umożliwiający ich identyfikację. Przy przechowywaniu materiałów produkcyjnych należy przestrzegać zaleceń ich producentów określonych bezpośrednio na opakowaniu lub w karcie materiałowej.

**8.2.4** Magazynowanie materiałów należy tak zorganizować, aby były one przechowywane w oryginalnych opakowaniach w pomieszczeniach suchych i pozbawionych kurzu oraz – o ile to będzie możliwe – były pobierane w kolejności ich dostarczenia do magazynu.

**8.2.5** Żywice oraz inne dodatki do żywic powinny być składowane w szczelnych pojemnikach, w pomieszczeniu o temperaturze zalecanej przez producenta, najlepiej przylegającym do hali produkcyjnej, bez dostępu światła. Okres magazynowania żywicy nie powinien przekraczać okresu gwarancyjnego.

**8.2.6** Materiały używane jako wzmocnienia należy przechowywać w oryginalnych opakowaniach, w pomieszczeniach suchych i pozbawionych kurzu.

**8.2.7** W przypadku stwierdzenia wadliwości materiału lub niezgodności ze specyfikacją dostawcy, materiał taki należy odrzucić, o ile nie zostanie poddany odpowiednim działaniom zgodnie z procedurą zapewnienia zgodności opracowaną przez producenta.

**8.2.8** Temperatura materiałów przygotowanych do przerobu powinna odpowiadać temperaturze pomieszczenia produkcyjnego. Niewykorzystana żywica i materiały pomocnicze, wystawione na działanie atmosfery panującej w warsztacie, nie powinny być zwracane do macierzystego magazynu lub miejsca przechowywania.

### **8.3 Pomieszczenie produkcyjne**

**8.3.1** Stosownie do wielkości i charakteru produkcji, pomieszczenia produkcyjne powinny być oddzielone od pomieszczeń magazynowych, a różne cykle procesu technologicznego (przygotowanie żywic, cięcie wzmocnienia i laminowanie, obróbka laminatu) powinny przebiegać w oddzielnych, ale przyległych do siebie pomieszczeniach.

**8.3.2** Pomieszczenie produkcyjne powinno zapewniać możliwość utrzymywania stałej temperatury w granicach  $16 \pm 24^{\circ}\text{C}$ . Wyjątkowo dopuszcza się do obniżenia temperatury do  $12^{\circ}\text{C}$  po zakończeniu laminowania i żelowania elementów konstrukcyjnych kadłuba co najmniej 12 godzin po zżelowaniu żywicy. Czas trwania obniżonej temperatury powinien być minimalizowany w zależności od masy konstrukcji i czasu jaki upłynął od ostatniego laminowania.

**8.3.3** Podłoga w pomieszczeniu produkcyjnym powinna być czysta i nie pyłąca. Czystość powinna być utrzymywana w takim stopniu, jak to jest praktycznie możliwe. Powietrze w tym pomieszczeniu powinno być wolne od zapyleń, szczególnie takimi substancjami, które mogą wpływać ujemnie na proces polimeryzacji lub tworzyć warstwy rozdzielające pomiędzy poszczególnymi elementami laminowanymi. Praca maszyn wytwarzających pył jest w tym pomieszczeniu niedopuszczalna.

**8.3.4** Wilgotność względna pomieszczeń nie powinna przekraczać  $70\% \pm 75\%$ . Na krótkie okresy dopuszcza się wilgotność względną do 85%.

**8.3.5** W pomieszczeniach, w których wykonywane jest laminowanie, należy zapewnić ciągłą kontrolę temperatury i wilgotności.

**8.3.6** Należy zapewnić odpowiednią wentylację w rejonie laminowania, aby ograniczyć do minimum gromadzenie się oparów monomeru w formie. Wentylacja nie powinna znacząco obniżać temperatury formy ani laminatu. Jednocześnie stosowana wentylacja nie powinna powodować nadmiernego odparowania styrenu.

Przy projektowaniu systemu wentylacji należy uwzględnić wielkość pomieszczenia, jego podział oraz ilość żywicy podlegającej utwardzaniu.

**8.3.7** Laminowane elementy należy zabezpieczyć przed działaniem promieni słonecznych.

**8.3.8** O warsztat i jego wyposażenie należy dbać i utrzymywać go w stanie czystości, wolny od śmieci i odpadków, niepotrzebnych materiałów oraz wyposażenia niebiorącego udziału w procesie produkcyjnym.

### **8.4 Formy**

**8.4.1** Materiały użyte do form nie mogą wpływać na proces polimeryzacji żywic.

**8.4.2** Formy powinny być wystarczająco sztywne, a ich kształt tak dobrany, aby pozwalał na łatwe odformowanie. Powinny być oczyszczone, osuszone i powinny znajdować się na miejscu laminowania, tak aby ustabilizowały się w temperaturze warsztatu zanim zostanie nałożona warstwa rozdzielająca.

**8.4.3** Przy dużych formach laminowanie należy wykonywać z pomostów umożliwiających dostęp do całej powierzchni laminowanej.

**8.4.4** Zaleca się, szczególnie przy większych kadłubach, stosowanie form obrotowych (lub przechyłanych), aby umożliwić laminowanie podolne.

**8.4.5** Stosowane środki rozdzielające powinny być kompatybilne z powierzchnią formy oraz żywicami używanymi w procesie laminowania. Nie należy używać środków rozdzielających zawierających krzem.

**8.4.6** Budowa łodzi bez zastosowania form (w technologii „one off”) będzie odrębnie rozpatrywana przez PRS.

## **8.5 Laminowanie**

### **8.5.1 Założenia ogólne**

**8.5.1.1** Żywica przeznaczona na żelkot i warstwy konstrukcyjne laminatu powinna być przygotowana zgodnie z zaleceniami producenta żywicy.

**8.5.1.2** Czas żelowania przygotowanej żywicy nie powinien przekraczać 1 godziny. Zmianę czasu żelowania żywicy należy regulować ilościową zmianą przyspieszacza bez zmian zalecanej ilości inicjatora.

**8.5.1.3** Wzmocnienie szklane należy stosować w tak dużych odcinkach, jak jest to możliwe. Zaleca się stosowanie mat z krawędziami rwanymi a nie ciętymi.

**8.5.1.4** W czasie całego procesu laminowania należy zapewnić stałą kontrolę proporcji żywicy do wzmocnienia. Przy przygotowywaniu mat szklanych do laminowania należy uwzględnić masę lepiscza (odjąć masę lepiscza od masy całkowitej wzmocnienia).

**8.5.1.5** Przed rozpoczęciem laminowania poszycia formy powinny być dokładnie oczyszczone, wysuszone i doprowadzone do temperatury pomieszczenia. Szpachlówki stosowane do konserwacji form i środki rozdzielające nie mogą reagować z żywicami.

**8.5.1.6** Warstwa żelkotu może być nakładana za pomocą pędzla, wałka lub urządzenia natryskowego. Jej grubość powinna mieścić się w przedziale  $0,4 \div 0,6$  mm.

**8.5.1.7** Warstwa żelkotu po upływie czasu nie dłuższego niż 6 godzin (po zżelowaniu) powinna być pokryta pierwszą warstwą laminatu wzmocnionego lekką tkaniną lub matą o masie powierzchniowej nie większej niż  $300\text{g/m}^2$ . Warstwa ta powinna być szczególnie dobrze odpowietrzona, a zawartość wzmocnienia powinna wynosić 20 – 30 %.

### **8.5.2 Technologia laminowania metodą ręczną**

**8.5.2.1** Laminowanie ręczne właściwych warstw konstrukcyjnych powinno odbywać się za pomocą wałków miękkich i twardych oraz pędzli.

**8.5.2.2** Laminowanie powinno odbywać się bez przerw („mokre na mokre”). W razie przerw trwających ponad dobę powierzchnię połączenia należy odpowiednio przygotować przez szlifowanie, chyba że powierzchnia laminatu została zabezpieczona przez położenie tkaniny poliamidowej przeznaczonej do odzierania.

**8.5.2.3** Nakładanie kolejnych warstw wzmocnienia powinno być przeprowadzone bez wyczekiwania na utwardzenie żywicy warstw poprzednich. Nie należy kłaść zbyt dużej liczby warstw laminatu jednocześnie, co może doprowadzić do jego przegrzania.

**8.5.2.4** Gdy laminowanie zostanie przerwane w takim momencie, że ostatnia warstwa żywicy zdążyła już się utwardzić, pierwsza z następujących warstw powinna być rozpoczęta od maty szklanej. Zaleca się także stosowanie maty na ostatnią warstwę laminatu poszycia w części dennej.

**8.5.2.5** Szerokość zakładki wzmocnienia tej samej warstwy nie powinna być mniejsza niż 50 mm. Zakładki różnych warstw powinny być przesunięte względem siebie o co najmniej 100 mm.

**8.5.2.6** Zmiany ilości wzmocnienia w laminacie powinny być stopniowane tak, aby nie przekraczały 600 g/m<sup>2</sup> na każde 25 mm szerokości pasa przejściowego.

**8.5.2.7** Krawędzie materiałów takich, jak: drewno, sklejka, metale i pianki rdzeniowe, które mają być laminowane we wnętrzu poszyc, powinny być ukosowane.

### **8.5.3 Technologia laminowania metodą natryskową**

**8.5.3.1** Natryskowe nakładanie żywicy i/lub wzmocnienia powinno być w zasadzie ograniczone do takich zastosowań, gdzie możliwe jest uzyskanie jednakowej grubości laminatu. Należy uwzględnić następujące czynniki:

- egzotermiczne wydzielanie się ciepła spowodowane nadmierną grubością mokrego laminatu,
- osiadanie lub ściekanie laminatu, oraz
- odpowietrzanie.

**8.5.3.2** Zaleca się stosowanie metody natryskowej przy nakładaniu pierwszej warstwy laminatu bezpośrednio na żelkot. Należy przy tym pamiętać, żeby tak dobrać typ i długość wzmocnienia, aby nie wystąpił efekt knota.

**8.5.3.3** Masa wzmocnienia szklanego, które należy położyć w jednej warstwie, zależy od złożoności formy. Zasadniczo nie powinno to być więcej niż 1150 g/m<sup>2</sup> wzmocnienia, chyba że zostanie wykazane, że możliwe jest uzyskanie zadowalającego laminatu przy użyciu większej masy wzmocnienia.

**8.5.3.4** Należy regularnie sprawdzać jednorodność laminatu i zawartość szkła.

**8.5.3.5** Sprzęt natryskowy powinien być kalibrowany i na początku każdego dnia roboczego powinien być sprawdzany w zakresie osiągnięcia nastawy zapewniającej właściwy stosunek żywica/inicjator i żywica/wzmocnienie. Dla zapewnienia utrzymania natrysku w granicach tolerancji należy kontrolować nastawy.

### **8.5.4 Technologia laminowania metodą próżniową**

**8.5.4.1** Infuzja w technologii wytwarzania materiałów kompozytowych jest procesem wykorzystywanym głównie do produkcji dużych obiektów, takich jak: kadłuby statków i jachtów.

**8.5.4.2** Infuzja próżniowa polega na przesyleniu ciekłą żywicą suchego wzmocnienia umieszczonego w zamkniętej formie, gdzie górną sztywną część formy zastąpiono elastyczną folią, a żywica nie jest włączana, lecz zasysana poprzez wytworzone wewnątrz formy podciśnienie.

**8.5.4.3** Ze względu na to, że proces infuzji posiada duże możliwości modyfikacji i sposobu jego realizacji, podlega on każdorazowo rozpatrzeniu.

**8.5.4.4** Każdy wyrób musi być traktowany indywidualnie, system doprowadzenia żywicy i odprowadzenia powietrza za każdym razem musi być projektowany od nowa dla danego wyrobu, by zapewnić całkowite wypełnienie formy.

**8.5.4.5** Podczas nakładania preform należy starannie je dopasować do formy, na powierzchni której został naniesiony środek rozdzielczy. Podczas tej operacji struktura wzmocnienia może nieznacznie ulec zniekształceniu o pewien niewielki kąt, dzięki czemu warstwy materiału wzmocniającego dopasowują się do krzywizny powierzchni formy.

**8.5.4.6** Przyklejenie taśm uszczelniających, nałożenie folii, wklejenie otworów doprowadzających żywicę i odprowadzających powietrze z wnętrza formy oraz podłączenie do układu próżniowego i zasilającego żywicę należy wykonać z dużą dokładnością ze względu na zapewnienie szczelności formy, co warunkuje uzyskanie wyrobu o wysokich właściwościach użytkowych.

**8.5.4.7** Podczas procesu infuzji należy kontrolować przepływ żywicy, m.in. poprzez zapewnienie możliwości otwarcia lub zamknięcia zaworów, gdy jest to uzasadnione. Ciśnienie na pompach próżniowych powinno być właściwie dobrane w zależności od wielkości i skomplikowania wyrobu.

**8.5.4.8** Należy sprawdzać szczelności formy za pomocą detektorów akustycznych, a w przypadku wykrycia nieszczelności skutecznie ją usunąć.

## **8.6 Wymagania wykonawcze dotyczące konstrukcji przekładkowych**

### **8.6.1 Konstrukcje przekładkowe z zastosowaniem form wklęsłych**

**8.6.1.1** Wgłębienia na powierzchni rdzenia i inne wady należy usunąć lub uzupełnić wypełniaczem, żywicą lub lepiszczem, zgodnie ze specyfikacją producenta materiału i zależnie od rodzaju nakładanej powłoki. Jeżeli materiał rdzeniowy ma wżery, należy dla wypełnienia szczelin zastosować odpowiednią ilość żywicy lub lepiszcza.

**8.6.1.2** Jeżeli łączy się materiał rdzeniowy z mokrym laminatem, należy zapewnić wystarczającą ilość żywicy w laminacie lub na jego powierzchni w celu właściwego związania laminatu z materiałem rdzeniowym i uniknięcia niedoboru żywicy w laminacie.

### **8.6.2 Konstrukcje przekładkowe z zastosowaniem form wypukłych**

**8.6.2.1** Przed położeniem laminatu należy wypełnić połączenia, wżery i puste miejsca w materiale rdzeniowym lub dopasować je do siebie.

**8.6.2.2** W trakcie pokrywania materiału rdzeniowego materiał ten nie powinien być zgięty lub zdeformowany w stopniu mogącym zaszkodzić właściwościom rdzenia. Nieregularności powierzchni rdzenia i połączeń należy usunąć.

**8.6.2.3** Tam gdzie to jest wymagane, powierzchnię rdzenia należy zagruntować przed położeniem laminatu.

**8.6.3** Dopuszcza się odstępstwa od podanych procedur, pod warunkiem że spełnione są wymagania konstrukcyjne podane w zatwierdzonej technologii laminowania.

## **8.7 Utwardzanie**

**8.7.1** Po zakończeniu laminowania elementy kadłuba powinny być pozostawione w formach na czas potrzebny do wstępnego utwardzenia laminatu. Okres ten powinien trwać co najmniej 24 godziny.

**8.7.2** Elementy bezpośrednio wyjęte z form powinny być do czasu uzyskania właściwej sztywności odpowiednio podparte lub tak połączone z innymi elementami, aby nie powstawały odkształcenia trwałe.

**8.7.3** Po zakończeniu laminowania elementy kadłuba powinny być pozostawione w pomieszczeniu produkcyjnym lub innym, o temperaturze nie niższej niż 16°C, do czasu uzyskania odpowiedniej twardości (około 35-40 wg Barcola). Jeżeli nie można dokonać pomiaru twardości, okres utwardzania można uznać za wystarczający po czasie:

- 30 dni w temperaturze 16°C
- 15 dni w temperaturze 25°C
- 15 godzin w temperaturze 40°C
- 9 godzin w temperaturze 50°C
- 5 godzin w temperaturze 60°C.

Zaleca się wygrzewanie elementów konstrukcji laminatowej. Należy przy tym unikać gwałtownych zmian temperatury. Stopniowe podnoszenie temperatury należy przeprowadzać według zaleceń producenta żywicy. Powietrze w wygrzewalni powinno być suche (4.2.4), a kadłub w czasie wygrzewania powinien być właściwie podparty. Nie wolno przekraczać temperatury odporności cieplnej laminatu lub pianek rdzeniowych użytych do budowy kadłuba.

## 8.8 Kontrola jakości

**8.8.1** W trakcie całego procesu laminowania powinien być stosowany zakładowy system kontroli jakości w szczególności co do:

- składowania materiałów – z wymaganiami 8.1,
- miejsca produkcji – zgodnie z wymaganiami 8.2,
- procesu formowania i utwardzania laminatu – zgodnie z wymaganiami 8.3 i 8.4,
- kolejności, rodzaju i liczby nakładanych warstw wzmocnienia z zatwierdzoną dokumentacją techniczną,

i w razie stwierdzenia nieprawidłowości powinny być podjęte działania zaradcze określone w procedurach zakładu.

**8.8.2** Wszystkie ważniejsze etapy budowy powinny być zakończone odbiorem i wpisem przez wyznaczonego pracownika do karty budowy wyrobu i potwierdzone przez inspektora PRS.

**8.8.3** Na wybranych etapach równocześnie z laminowaniem kadłuba powinna być wykonana płyta kontrolna, która powinna być poddana badaniom materiałowym w laboratorium zewnętrznym uznanym przez PRS w celu określenia jakości laminatów wykonywanych w zakładzie. Sprawozdanie z badań powinno zawierać następujące informacje:

Własności utwardzonego laminatu	Badanie według normy
– zawartość wzmocnienia w laminacie	PN-EN ISO 1172
– wytrzymałość na rozciąganie, [MPa]	PN-EN ISO 527-1, -5
– moduł sprężystości przy rozciąganiu, [MPa]	PN-EN ISO 527-1, -5
– wytrzymałość na zginanie, [MPa]	PN-EN ISO 178
– moduł sprężystości przy zginaniu, [MPa]	PN-EN ISO 178
– twardość wg Barcola	ASTM D 2583-87

**8.8.4** Płyta kontrolna powinna mieć wymiary 400×500 mm. Grubość i struktura tej płyty powinna odpowiadać laminatowi poszycia burty na śródkręciu. Sposób wykonania powinien być identyczny ze sposobem utwardzania poszycia jednostki, z użyciem tych samych materiałów co kadłub. Jako próbki można, po uprzednim uzgodnieniu z inspektorem PRS, uznać fragmenty poszycia pochodzące z wycięcia większych otworów.

**8.8.5** W razie potrzeby zakres badań próbek może być rozszerzony o badania chłonności wody, palności, odporności na działanie oleju napędowego, wody morskiej i promieniowania UV.

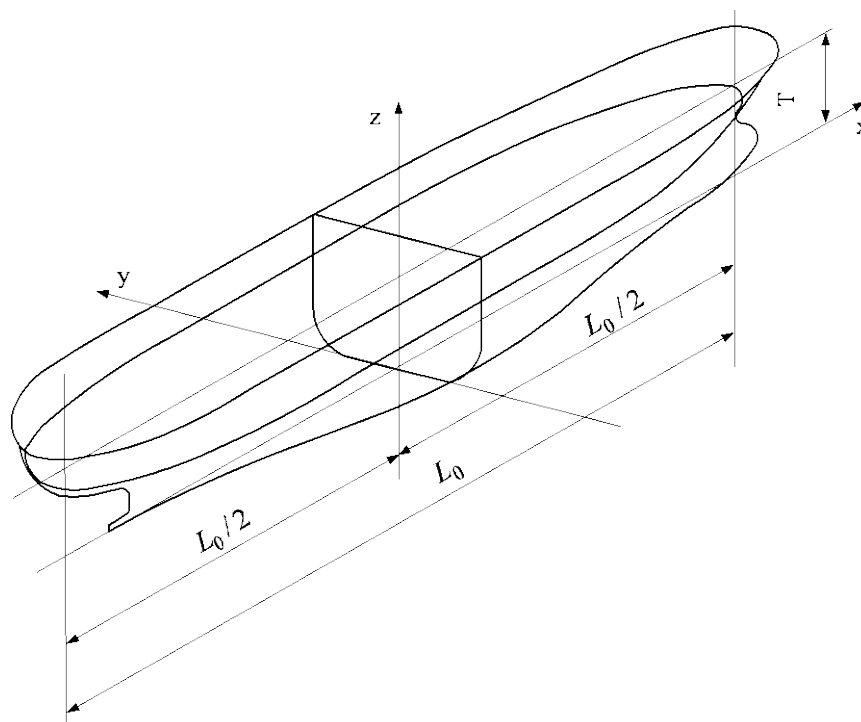
## 9 KADŁUB

### 9.1 Wymagania ogólne

#### 9.1.1 Definicje i oznaczenia

##### 9.1.1.1 Układ współrzędnych

W niniejszej części *Przepisów* przyjęto dla statku układ współrzędnych pokazany na rysunku 9.1.1.1, w którym płaszczyznami odniesienia są: płaszczyzna podstawowa, płaszczyzna symetrii oraz owręże.



Rys. 9.1.1.1. Układ współrzędnych

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 owrężem.

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

W niniejszej części *Przepisów* stosowane są również inne, opisane oddzielnie układy współrzędnych statku.

### 9.1.1.2 Określenia ogólne

W rozdziale 9 mają zastosowanie definicje i określenia ogólne zawarte w rozdziale 2, poniższe określenia oraz oznaczenia zawarte w poszczególnych podrozdziałach rozdziału 9.

$L_{PP}$  – długość między pionami, [m] – odległość między pionem dziobowym a pionem rufowym.

$L_W$  – długość statku mierzona na letniej wodnicy ładunkowej, [m] – odległość mierzona w płaszczyźnie letniej wodnicy ładunkowej od przedniej krawędzi dziobnicy do punktu przecięcia się wodnicy z tylną krawędzią kosza rufowego (pawężą).

$PD$  – pion dziobowy – linia pionowa w płaszczyźnie symetrii statku przechodząca przez punkt przecięcia letniej wodnicy ładunkowej z przednią krawędzią dziobnicy. Dla statków o nietypowym kształcie dziobu położenie pionu dziobowego należy określić w uzgodnieniu z PRS.

$PP$  – płaszczyzna podstawowa – płaszczyzna pozioma przechodząca na owrężu przez górną krawędź stępki płaskiej lub przez punkt styku wewnętrznej powierzchni poszycia ze stępką belkową.

$PR$  – pion rufowy – linia pionowa w płaszczyźnie symetrii statku, leżąca w odległości  $L_0$  od pionu dziobowego, w kierunku rufy.

$PS$  – płaszczyzna symetrii statku.

$V$  – objętość konstrukcyjna, [m<sup>3</sup>] – objętość bryły kadłuba statku wyznaczonej przez zewnętrzne krawędzie wręgów przy zanurzeniu,  $T$ .

$x, y, z$  – współrzędne punktu na statku, [m] – patrz 1.2.3.

$\delta$  – współczynnik pełnotliwości kadłuba – współczynnik określany wg wzoru:



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

$v$  – prędkość statku [węzły] – maksymalna prędkość eksploatacyjna statku przy zanurzeniu,  $T$ .

Letnia wodnica ładunkowa – wodnica odpowiadająca letniej linii ładunkowej, wyznaczonej zgodnie z przepisami *Międzynarodowej konwencji o liniach ładunkowych, 1966*.

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.

Owręża – krzywa powstała przez przecięcie powierzchni kadłuba statku w środku jego długości obliczeniowej,  $L_0$ , z płaszczyzną poprzeczną, prostopadłą do płaszczyzny symetrii statku.

Dziobówka – nadbudówka rozciągająca się od dziobu w kierunku owręża.

Rufówka – nadbudówka rozciągająca się od rufy w kierunku owręża.

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

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 statku, po odrębnym rozpatrzeniu przez PRS wytrzymałości burt na ścinanie.

### 9.1.1.3 Określenia elementów konstrukcji

Gródź przelewowa – gródź w zbiorniku częściowa lub z otworami.

Gródź wodoszczelna – gródź poprzeczna, 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 nadbudówki (pokładówki) – poszycie pokładu i ścian nadbudówki (pokładówki) wraz z usztywnieniami i wiązarami.

Konstrukcja pokładu – poszycie pokładu wraz z usztywnieniami i wiązarami.

Usztywnienia – ogólna nazwa wiązań podpierających bezpośrednio płyty poszycia.

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

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.

### 9.1.2 Dokumentacja klasyfikacyjna kadłuba w budowie

Przed rozpoczęciem budowy kadłuba należy przedstawić Centrali PRS do rozpatrzenia i zatwierdzenia dokumentację poniżej wymienioną, w zakresie zależnym od rodzaju statku, jego urządzeń i wyposażenia.

PRS może rozszerzyć zakres tej dokumentacji po zapoznaniu się z opisem technicznym i planem ogólnym statku.

- .1 Dane dotyczące wytrzymałości wzdłużnej, strefowej i miejscowej:
  - podstawowe dane teoretyczne: linie teoretyczne, krzywe hydrostatyczne,
  - masa statku pustego wraz z jej rozkładem na długości statku,
  - przewidywane stany załadowania oraz rozkłady mas ładunku i zapasów na statku,
  - plan rozmieszczenia pojazdów na pokładzie oraz maksymalne obciążenia na oś,
  - obliczenia największych momentów zginających i sił poprzecznych działających w przekrojach kadłuba na wodzie spokojnej,
  - najmniejsze i największe zanurzenie statku w eksploatacji oraz odpowiednie przegłębienia,
  - obciążenie pokładów, pokryw lukowych i dna wewnętrznego, jeśli jest różne od podanego w *Przepisach*,
  - maksymalna gęstość ładunków 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,
  - inne miejscowe obciążenia lub siły działające na konstrukcje kadłuba;
  - opis zakładanych zmian sposobu zabalastowania statku podczas rejsu i opis związanych z tym ograniczeń pogodowych.
- .2 Zład poprzeczny z charakterystycznymi przekrojami, z podanymi głównymi wymiarami statku, pełnym wnioskowanym symbolem klasy, wskaźnikiem wyposażenia i innymi danymi, jak prędkość, liczba członków załogi i pasażerów.
- .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.
- .5 Plan laminowania kadłuba, pokładów, grodzi.
- .6 Plan laminowania pozostałych kompozytowych elementów kadłuba, jeżeli nie uwzględniono tego na rysunkach konstrukcyjnych tych elementów.
- .7 Rysunki konstrukcyjne pokładów i platform uwzględniające rozmieszczenie i wymiary otworów.
- .8 Rysunek konstrukcyjny dna podwójnego.
- .9 Rysunki konstrukcyjne grodzi wzdłużnych i poprzecznych oraz grodzi zbiorników z uwzględnieniem wysokości rur przelewowych i odpowietrzających dla zbiorników.
- .10 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; należy podać wysokość rur przelewowych i odpowietrzających zbiorników.
- .11 Zład części rufowej i tylnica z podaniem odległości śruby od tylnicy i steru.
- .12 Zład części dziobowej i dziobnica.
- .13 Rysunki konstrukcyjne wsporników i wyjść wałów śrubowych, zawieszenia steru oraz nieobrotowych dysz śrub napędowych.
- .14 Rysunki konstrukcyjne nadbudówek i pokładówek.
- .15 Podpory masztów.
- .16 Dokumentacja technologiczna – opis technologii budowy.
- .17 Plan malowania zbiorników zawierających płyny.
- .18 Obliczenia konstrukcji kadłuba, pokładów, grodzi wg *Przepisów PRS*.
- .19 Obliczenia wzmocnień kadłuba i pokładów w rejonie występowania maszyn i wyposażenia obciążających konstrukcje dużymi siłami lub masami.
- .20 Rysunki fundamentów urządzeń obciążających konstrukcje dużymi siłami i ich mocowanie (laminowanie) do kadłuba.
- .21 Specyfikacja stosowanych spoiw, wzmocnień i rdzeni.

### 9.1.3 Dokumentacja wykonawcza statku

Po zatwierdzeniu dokumentacji klasyfikacyjnej przez Centralę PRS należy przedłożyć do rozpatrzenia i uzgodnienia dokumentację wykonawczą:

- plan prób szczelności kadłuba i zbiorników;
- rysunki przejść rurociągów, kanałów wentylacyjnych i kabli przez poszycie kadłuba, dno, pokłady, grodzie, wiązania ramowe itp.;
- rysunki wzmocnień lokalnych pod urządzeniem i mechanizmami niepokazane w dokumentacji klasyfikacyjnej;
- program prób na uwięzi i w morzu.

### 9.1.4 Próby kadłuba statku z kompozytów polimerowych

- 1** Gródz skrajnika dziobowego należy poddać próbie szczelności ciśnieniem słupa wody o wysokości równej wysokości zbiornika skrajnika dziobowego. Próbę wodną można zastąpić próbą powietrzną, stosując ciśnienie o wartości nie mniejszej niż 15 kPa, o ile ściany skrajnika (w tym ściana górna) były weryfikowane obliczeniowo na obciążenie ciśnieniem 15 kPa.
- 2** Grodzie przedziału maszynowego należy poddać próbie szczelności przez polewanie strumieniem wody pod ciśnieniem 200 kPa lub poddać próbie powietrznej ciśnieniem nie niższym niż 15 kPa, o ile ściany, w tym ściana górna, były weryfikowane obliczeniowo na obciążenie ciśnieniem 15 kPa.
- 3** Zbiorniki należy poddać próbie hydrostatycznej przez zalanie wodą do górnej krawędzi rury odpowietrzającej lub do wysokości równej 2/3 odległości między poszyciem ograniczającym zbiornik od góry a pokładem głównym lub zastosować próbę powietrzną, stosując ciśnienie nie niższe niż 15 kPa.
- 4** Wyposażenie kadłubowe, jak drzwi, okna, iluminatory itp. oraz urządzenia do zamykania otworów należy sprawdzać jak dla kadłubów metalowych (patrz *Publikacja Nr 21/P – Próby konstrukcji kadłubów okrętowych*).

Metodyka wykonywania prób podana jest w *Publikacji Nr 21/P – Próby konstrukcji kadłubów okrętowych*.

## 9.2 Układ konstrukcyjny

### 9.2.1 Wymagania ogólne

**9.2.1.1** Przyjęte wymiary konstrukcyjne elementów kadłuba należy zweryfikować na zgodność z kryteriami wytrzymałości, sztywności i stateczności podanymi w podrozdziale 9.4.

Szczegółowe odniesienia do wymagań w zakresie weryfikacji są przywołane w podrozdziale 9.2 w wymaganiach dotyczących poszczególnych elementów konstrukcyjnych.

**9.2.1.2** Konstrukcje z laminatu monolitycznego, oprócz wymagań dotyczących wytrzymałości, sztywności i stateczności zawartych w podrozdziale 9.4, powinny spełniać również wymagania dotyczące minimalnej grubości i rozwiązań konstrukcyjnych podane w podrozdziale 9.2 dla poszczególnych elementów konstrukcyjnych.

**9.2.1.3** Konstrukcje przekładkowe, oprócz wymagań zawartych w podrozdziale 9.4, powinny spełniać również wymagania dotyczące rozwiązań konstrukcyjnych podane w podrozdziale 9.2 dla poszczególnych elementów konstrukcyjnych, a także poniższe wymagania dotyczące minimalnej zawartości wzmocnienia w okładzinach przekładek:

- poszycie dna i burt oraz dna wewnętrznego, okładziny zewnętrzne, powierzchnie płynoszczelne zbiorników: wzmocnienie szklane – 3600 g/m<sup>2</sup>, wzmocnienie aramidowe i węglowe – 2700 g/m<sup>2</sup>;
- poszycie dna i burt, dna wewnętrznego, okładziny wewnętrzne: wzmocnienie szklane – 2800 g/m<sup>2</sup>, wzmocnienie aramidowe i węglowe – 2000 g/m<sup>2</sup>;
- poszycie pokładów wytrzymałościowych ochronnych oraz pokładów ładunkowych, okładziny zewnętrzne: wzmocnienie szklane – 2400 g/m<sup>2</sup>, wzmocnienie aramidowe i węglowe – 1900 g/m<sup>2</sup>;

- poszycie pokładów wytrzymałościowych ochronnych oraz pokładów ładunkowych, okładziny wewnętrzne: wzmocnienie szklane – 1600 g/m<sup>2</sup>, wzmocnienie aramidowe i węglowe – 1300 g/m<sup>2</sup>;
- grodzie wodoszczelne (nie będące ścianami zbiorników): wzmocnienie szklane – 1600 g/m<sup>2</sup>, wzmocnienie aramidowe i węglowe – 1300 g/m<sup>2</sup>;
- inne pokłady (wewnątrz kadłuba i nadbudówek): wzmocnienie szklane – 1600 g/m<sup>2</sup>, wzmocnienie aramidowe i węglowe – 1300 g/m<sup>2</sup>;
- ściany zewnętrzne pokładówek: wzmocnienie szklane – 1600 g/m<sup>2</sup>, wzmocnienie aramidowe i węglowe – 1300 g/m<sup>2</sup>;
- inne elementy konstrukcyjne: wzmocnienie szklane – 1600 g/m<sup>2</sup>, wzmocnienie aramidowe i węglowe – 1300 g/m<sup>2</sup>.

**9.2.1.4** W uzgodnieniu z PRS w konstrukcji jednostek o długości,  $L$ , nie większej niż 24 m można zastosować integralny układ usztywnień uzyskany przez oblaminowanie rusztu wykonanego z pianki strukturalnej lub wylaminowanego w formie.

Zastosowana konstrukcja powinna spełniać następujące wymagania:

- wymagania podane w p. 9.4;
- wymagania podane w p. 9.2 z uwzględnieniem specyfikacji zastosowanego układu;
- usztywnienia wzdłużne obciążone zginaniem ogólnym kadłuba muszą być ciągłe;
- przylaminowania lub kołnierze usztywnień klejonych do poszycia muszą przenieść występujące siły tnące z maksymalnym poziomem naprężeń tnących równych 33% wytrzymałości na ścinanie połączenia;
- w rejonie krzyżowania się usztywnień o jednakowej wysokości co najmniej jedno z usztywnień powinno mieć zapewnioną ciągłość środka (środków dla usztywnień trapezowych) i mocnika;
- do PRS zostaną dostarczone obliczenia wytrzymałości zastosowanego rusztu.

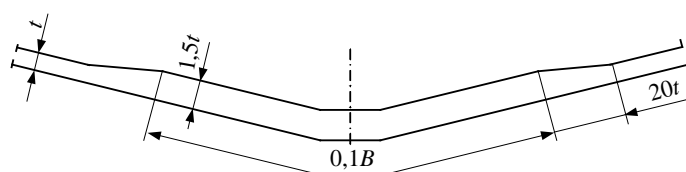
## 9.2.2 Poszycie dna i burt

### 9.2.2.1 Stępka

**9.2.2.1.1** Szerokość stępki płaskiej nie powinna być mniejsza niż  $0,1B$ . Grubość stępki płaskiej nie powinna być mniejsza od wartości:

$$t_1 = 1,5t \quad [\text{mm}] \quad (9.2.2.1.1)$$

$t$  – grubość poszycia dna spełniająca wymagania wytrzymałościowe p. 9.4 i kryterium grubości minimalnej p. 9.2.2.5.

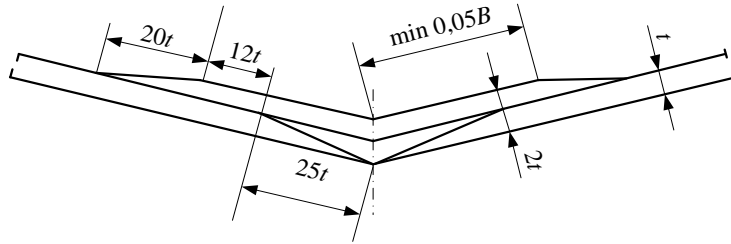


Rys. 9.2.2.1.1. Wymiary stępki

**9.2.2.1.2** Grubość stępki płaskiej w kadłubach z podziałem technologicznym wzdłuż PS nie może być mniejsza od wartości:

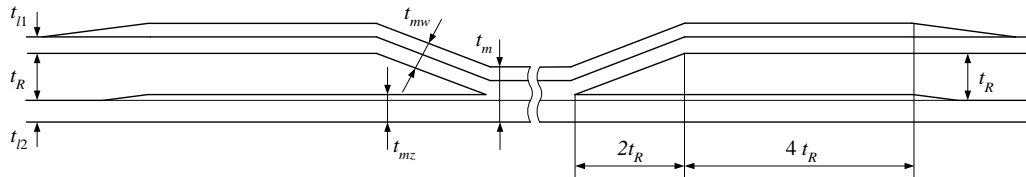
$$t_1 = 2t \quad [\text{mm}] \quad (9.2.2.1.2)$$

$t$  – grubość poszycia dna spełniająca wymagania wytrzymałościowe p. 9.4 i kryterium grubości minimalnej p. 9.2.2.5



Rys. 9.2.2.1.2. Wymiary i konstrukcja stępki z podziałem technologicznym wzdłuż PS

**9.2.2.1.3** Jeżeli poszycie dna ma konstrukcję przekładkową, to stępka powinna mieć konstrukcję monolityczną na szerokości dna określonej w 9.2.2.1.1, zgodnie z rys. 9.2.2.1.3.



Rys. 9.2.2.1.3

$t_{11}, t_{12}$  – grubość okładzin konstrukcji przekładkowej dna, [mm];

$t_R$  – grubość rdzenia, [mm];

$t_m$  – grubość laminatu monolitycznego stępki, [mm];

$t_{mz}$  – grubość okładziny zewnętrznej w rejonie przyległym do stępki, [mm];

$t_{mw}$  – grubość okładziny wewnętrznej w rejonie przyległym do stępki, [mm].

Wielkość  $t_{mz}$  i  $t_{mw}$  zaleca się obliczać ze wzoru:

$$t_{mz} = 0,4t_m \quad [\text{mm}] \quad (9.2.2.1.3-1)$$

$$t_{mw} = 0,6t_m \quad [\text{mm}] \quad (9.2.2.1.3-2)$$

Grubość laminatu monolitycznego stępki  $t_m$  można obliczać wg poniższego wzoru, o ile stępka nie przenosi dodatkowych obciążeń miejscowych:

$$t_m = k \cdot 2,4 \sqrt{t_R \cdot t_l} \quad [\text{mm}] \quad (9.2.2.1.3-3)$$

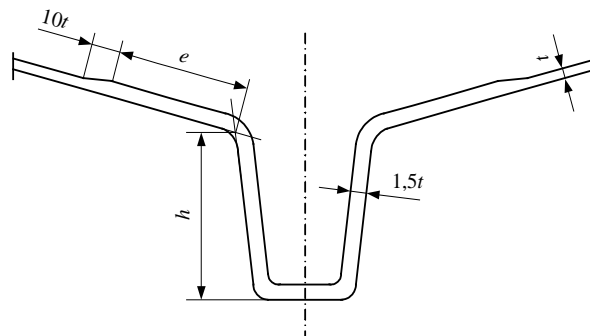
gdzie:

$t_l = \min(t_{11}, t_{12})$ , [mm];

$k = 1,5$  – współczynnik zwiększenia grubości stępki w stosunku do grubości dna.

**9.2.2.1.4** Zwiększenie grubości stępki skrzynkowej pionowej płetwy rufowej lub tylnicy oraz szerokość pogrubienia nie powinny być mniejsze niż wartości określone poniżej (patrz rys. 9.2.2.1.4).

Wymiar  $e$  powinien być nie mniejszy niż  $0,25h$  i nie mniejszy niż 50 mm.

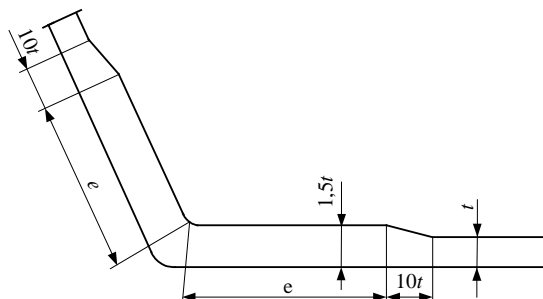


Rys. 9.2.2.1.4. Stępka skrzynkowa

### 9.2.2.2 Obło, pawęż, stępka przechyłowa, lokalne wzmocnienia poszycia

9.2.2.2.1 Obło z załamaniem i pawęż powinny mieć grubość zwiększoną o 50% na szerokości określonej na rys. 9.2.2.1.1.

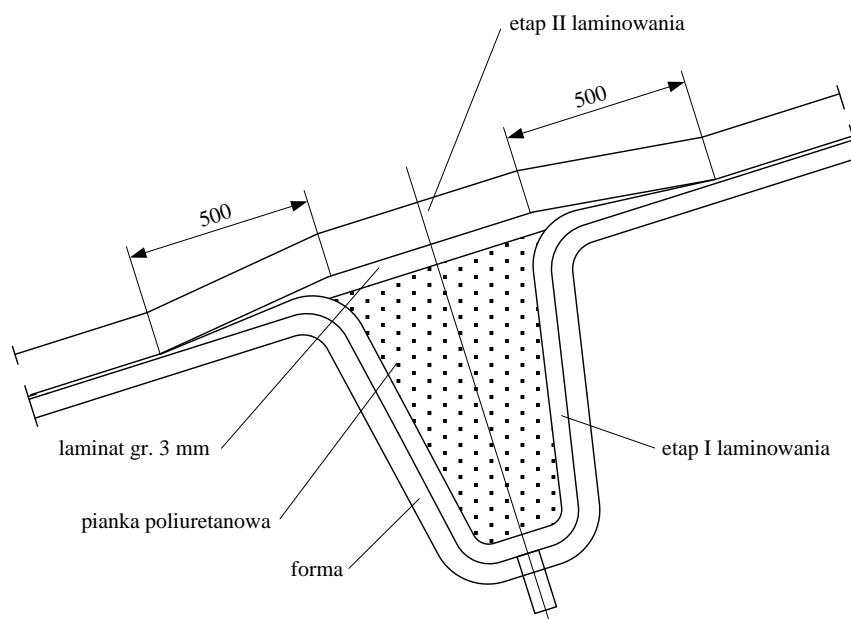
Wymiar  $e$  powinien być nie mniejszy niż  $0,025B$  i nie mniejszy niż 50 mm,  $t$  – grubość poszycia dna [mm].



Rys. 9.2.2.2.1. Grubość obła lub pawęzy

9.2.2.2.2 W przypadku konstrukcji przekładkowej dna i burt obło z załamaniem zaleca się wykonywać jako konstrukcję monolityczną. Grubość takiego obła powinna być nie mniejsza niż  $1,5t$ , gdzie  $t$  – grubość poszycia wymagana dla dna monolitycznego.

9.2.2.2.3 Nie dopuszcza się rozwiązań konstrukcyjnych stępki przechyłowej, które wymagają wiercenia poszycia. Dopuszcza się dolaminowanie wtórne stępki (na kształtkach z laminatu lub tworzywa piankowego) lub laminowaniu stępki bezpośrednio w formie kadłuba. Przykładowe rozwiązanie pokazuje rys. 9.2.2.2.3.



Rys. 9.2.2.2.3. Przykładowa prawidłowa konstrukcja stępki przechyłowej

9.2.2.2.4 W rejonie przejścia pochwy wału śrubowego, kokeru steru i w rejonie mocowania wsporników wału śrubowego monolityczne poszycie kadłuba i pokładu należy pogrubić co najmniej o 50% w stosunku do przyległego obszaru poszycia.

### 9.2.2.3 Dziobnica, tylnica, ramię steru

Szerokość dziobnicy nie powinna być mniejsza niż szerokość stępki, a przy pokładzie nie mniejsza niż 60% szerokości stępki.

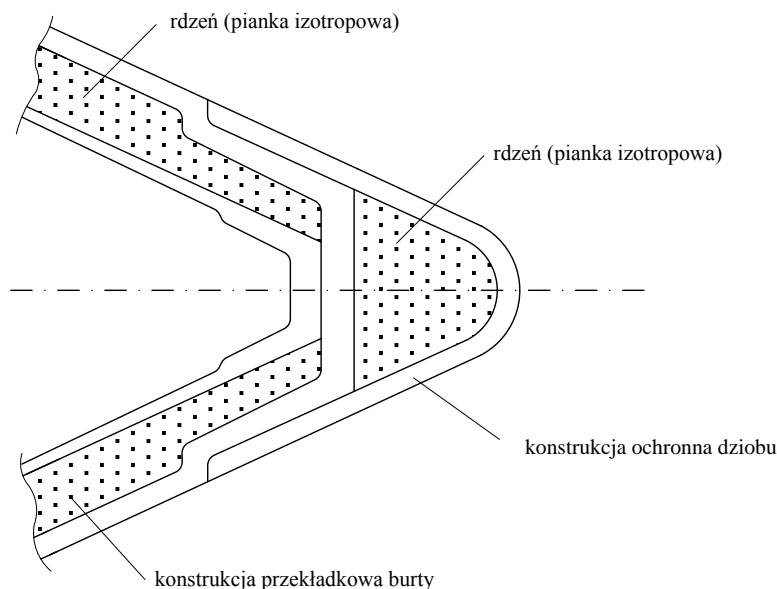
Grubość dziobnicy może być redukowana od grubości stępki do wielkości  $t_{dz}$  przy pokładzie:

$$t_{dz} = \frac{t_s + t_b}{2} \quad (9.2.2.3)$$

$t_s$  – grubość stępki, [mm];

$t_b$  – grubość burty, [mm].

Jeżeli burta ma konstrukcję przekładkową, to dziobnica na wymienionej szerokości powinna przejść w konstrukcję monolityczną lub należy zastosować ochronną konstrukcję dziobu (patrz rysunek 9.2.2.3).



Rys. 9.2.2.3. Konstrukcja dziobnicy statku z burtami o konstrukcji przekładkowej

Konstrukcja, wymiary i zamocowanie tylnicy/ramienia steru wykonanych z kompozytów polimerowych będą odrębnie rozpatrzone przez PRS.

#### 9.2.2.4 Mocnica burtowa

**9.2.2.4.1** Mocnicę burtową należy traktować jak poszycie burty lokalnie wzmocnione w rejonie połączenia burty – pokład i w rejonie lokalizacji odbojnicy. Grubość poszycia monolitycznego w rejonie wzmocnienia nie powinna być mniejsza niż  $1,5t$ ,  $t$  – grubość poszycia burty z laminatu monolitycznego. W przypadku poszycia burty o konstrukcji przekładkowej w rejonie połączenia z pokładem mocnicę burtową należy wykonać jako konstrukcję monolityczną i uwzględnić konieczność zwiększenia grubości mocnicy. Przykład połączenia burty o konstrukcji przekładkowej z pokładem pokazuje rys. 9.2.10.3c.

#### 9.2.2.5 Dno i burty

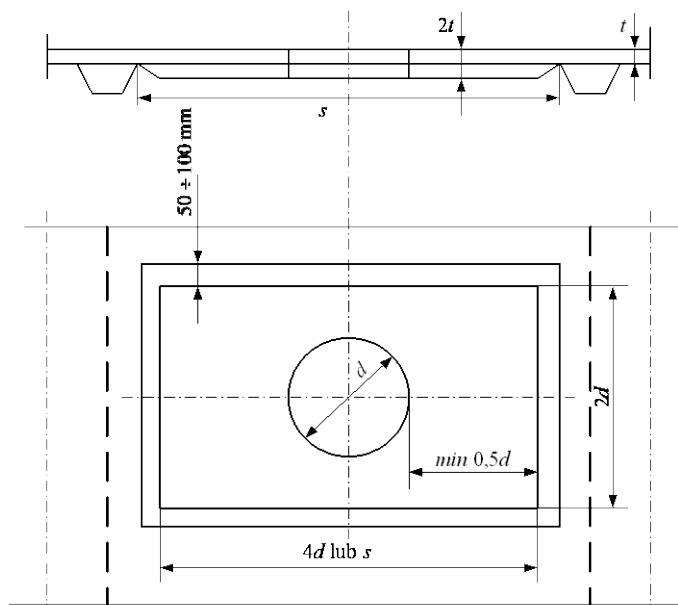
**9.2.2.5.1** Siły wewnętrzne i naprężenia w płytach zginanych należy określać wg wymagań podanych w p. 9.4.3.10. Obciążenia należy przyjmować zgodnie z p. 9.3. Płyty poszycia (zarówno monolityczne jak i przekładkowe) powinny spełniać kryterium sztywności podane w p. 9.4.3.12.2, kryterium wytrzymałości określone w p. 9.4.3.12.3 i 9.4.3.12.4 oraz kryterium stateczności podane w p. 9.4.4.3.4 i 9.4.4.3.5.

**9.2.2.5.2** Minimalna grubość laminatu monolitycznego nie powinna być mniejsza niż 5 mm.

**9.2.2.5.3** Jeżeli konstrukcja przekładkowa burty jest narażona na uderzenia lub szybsze zużycie, to grubość zewnętrznej okładziny powinno się powiększyć przynajmniej o 50%.

**9.2.2.5.4** Skrzynia kingstonowa zainstalowana w dnie powinna mieć masę wzmocnienia nie mniejszą niż poszycie dna.

**9.2.2.5.5** Wszystkie otwory w poszyciu powinny mieć zaokrąglone naroża, a otwory o średnicy  $d \geq 150$  mm muszą być kompensowane przez zdwojenie grubości poszycia laminatu w obszarze określonym wg rys. 9.2.2.5.5.



Rys. 9.2.2.5.5. Kompensacja otworów w poszyciu

Górna krawędź otworu burtowego powinna być oddalona co najmniej o 2 średnice tego otworu od położonego nad nim najbliższego pokładu.

Duże otwory w burtach lub nadburciu powinny znajdować się jak najdalej od uskoków pokładu.

#### 9.2.2.5.6 Otwory przepływowe w wiązarach i usztywnieniach

Otwory przepływowe należy zaprojektować tak, by zapewnić odpowiednią powierzchnię przepływu i jednocześnie uniknąć koncentracji naprężeń przy otworze.

Otwory w profilach trapezowych powinny się formować z użyciem kształtek. Krawędzie otworów należy odpowiednio doszczelnić. Wysokość otworu nie powinna przekraczać 1/3 wysokości usztywnienia.

### 9.2.3 Dno pojedyncze

**9.2.3.1** Każdy statek powinien mieć denny wzdłużnik środkowy. Należy zastosować również wzdłużniki boczne, jeżeli odległość pomiędzy wzdłużnikiem a burtą przekroczy 2,5 m.

Odległość pomiędzy wzdłużnikami nie powinna przekraczać 2,5 m. Wzdłużniki powinny być doprowadzone jak najdalej w kierunku rufy i dziobu.

Siły wewnętrzne, naprężenia i odkształcenia należy określić wg wymagań podanych w p. 9.4.7.

Obciążenia należy określać zgodnie z p. 9.3.

Wzdłużniki denne powinny spełniać kryteria sztywności i wytrzymałości wg wymagań p. 9.4.7.5 oraz kryteria stateczności określone w p. 9.4.8.

**9.2.3.2** Usztywnienia wzdłużne dna powinny być podparte przez denniki, grodzie lub inne wiązary rozstawione w odległościach nie większych niż 2,0 m.

Usztywnienia wzdłużne dna powinny zachować ciągłość przy przejściu przez podpierające konstrukcje.

W rejonie grodzi wodoszczelnych lub ścian zbiorników ciągłość konstrukcyjna może być zapewniona przez połączenia węzłkowe, o ile zapewniona jest odpowiednia wytrzymałość połączenia.

Siły wewnętrzne, naprężenia i odkształcenia w usztywnieniach dna należy określać uwzględniając wymagania podane w p. 9.4.5. Obciążenia należy przyjmować wg wymagań podanych w p. 9.3.

Usztywnienia wzdłużne dna powinny spełniać kryteria stateczności, wytrzymałości i stateczności określone w p. 9.4.5.9 i 9.4.6.

**9.2.3.3** Denniki, w układzie poprzecznym konstrukcji dna, należy stosować na każdym wręgu.

W układzie wzdłużnym konstrukcji dna, odległość pomiędzy dennikami lub pomiędzy grodziami poprzecznymi a sąsiednimi dennikami nie powinna być większa niż 2 m.

Wysokość denników, w płaszczyźnie symetrii kadłuba, nie powinna być mniejsza niż:



$$h = 0,0052B \text{ [m]} \quad (9.2.3.3)$$

Denniki pełne powinny być w zasadzie ciągle od dennego wzdłużnika środkowego do płyty krawędziowej.

Jeżeli przy wymiarowaniu wzdłużników dna przyjęto ich rozpiętość jako równą odległości pomiędzy grodziami/przegrodami poprzecznymi, to jako rozpiętość dennika można przyjąć odległość sąsiednich wzdłużników lub grodzi wzdłużnych. W przeciwnym razie, jako rozpiętość dennika, należy przyjąć odległość pomiędzy mocnikami wręgów obu burt (lub odległość grodzi wzdłużnych) albo wykonać obliczenia MES, patrz punkt 9.4.7.3.

Stosując założone wstępnie wymiary konstrukcyjne denników, należy określić siły wewnętrzne, naprężenia i odkształcenia wg wymagań podanych w p. 9.4.5 (dennik w formie belki o określonych warunkach podparcia) lub w p. 9.4.7 (pozostałe przypadki).

Obciążenia należy przyjmować wg p. 9.3.

Denniki powinny spełniać kryteria sztywności, wytrzymałości i stateczności wg wymagań p. 9.4.7 i p. 9.4.8 (pozostałe przypadki).

## 9.2.4 Dno podwójne

**9.2.4.1** W płaszczyźnie symetrii statku należy zastosować denny wzdłużnik środkowy.

Wysokość dennego wzdłużnika środkowego nie powinna być mniejsza od 650 mm i powinna być wystarczająca aby zapewnić dostęp do wszystkich części dna.

Jeżeli odległość od dennego wzdłużnika środkowego do burty jest większa niż 3 m, to należy zastosować denne wzdłużniki boczne. Odległość pomiędzy wzdłużnikami bocznymi nie powinna przekraczać 3 m. Wzdłużniki powinny rozciągać się w stronę dziobu i rufy najdalej jak to jest możliwe.

**9.2.4.2** Usztywnienia wzdłużne dna i dna wewnętrznego należy podeprzeć dennikami pełnymi i płytami wspornikowymi. Usztywnienia wzdłużne powinny zachować ciągłość przy przejściu przez konstrukcję podpierającą. Denniki pełne mogą mieć konstrukcję monolityczną lub przekładkową. Można stosować jako denniki usztywnienia z rdzeniami pustymi lub niekonstrukcyjnymi.

Odległość pomiędzy dennikami pełnymi nie powinna przekraczać 2,0 m.

**9.2.4.3** W przypadku układu poprzecznego wiązań pomiędzy dennikami pełnymi należy zastosować denniki otwarte.

Płyty wspornikowe w dennikach otwartych powinny mieć tą samą grubość co denniki pełne (gdy są monolityczne), a niepodparta krawędź powinna być usztywniona.

Szerokość płyt wspornikowych łączących wręgi dna i wręgi dna wewnętrznego z dennym wzdłużnikiem środkowym i z płytą krawędziową nie powinna być mniejsza niż 0,75 wysokości dennego wzdłużnika środkowego. W przypadku stosowania łączników pionowych nie należy ich uważać za efektywne podparcie wręgów dna zewnętrznego i wewnętrznego.

**9.2.4.4** W przypadku układu wzdłużnego wiązań, płyty wspornikowe powinny rozciągać się od wzdłużnika środkowego i płyty krawędziowej do najbliższego usztywnienia wzdłużnego. Jednak szerokość takiej płyty nie może być mniejsza niż 0,75 wysokości dennego wzdłużnika środkowego. Płyty wspornikowe należy zastosować na każdym wręgu ramowym przy płycie krawędziowej oraz przy wzdłużniku dennym środkowym, wzdłużnikach bocznych w odstępach nie większych niż 1,0 m. Płyty wspornikowe przy wzdłużniku bocznym powinno się stosować, jeżeli jest to konieczne by spełnić kryteria wytrzymałości i sztywności.

**9.2.4.5** Grubość dennika pełnego (monolitycznego) nie powinna być mniejsza niż 5 mm.

**9.2.4.6** Denniki pełne powinny być w zasadzie ciągle od dennego wzdłużnika środkowego do płyty krawędziowej.

**9.2.4.7** Siły wewnętrzne, naprężenia i odkształcenia w układzie wzdłużników dennych i denników należy określać dla założonych wymiarów konstrukcyjnych wg wymagań podanych w p. 9.4.7.

Obciążenia należy przyjmować wg p. 9.3.

Wzdłużniki i denniki powinny spełniać kryteria sztywności i wytrzymałości wg. p. 9.4.7.5 oraz stateczności wg p. 9.4.8.

**9.2.4.8** Siły wewnętrzne, naprężenia i odkształcenia w wręgach poprzecznych, wręgach dna wewnętrznego i usztywnieniach wzdłużnych dna i dna wewnętrznego należy określać z uwzględnieniem wymagań rozdziału 9.4.5.

Obciążenia należy przyjmować zgodnie z p. 9.3.

Usztywnienia powinny spełniać kryteria wytrzymałości, sztywności i stateczności podane w p. 9.4.5.9 i 9.4.6.

## **9.2.5 Wiązania burt**

**9.2.5.1** Wręgi burtowe powinny być ciągle pomiędzy dennikami a pokładami. Na końcach należy zapewnić odpowiednią sztywność na obrót.

**9.2.5.2** Wzdłużne usztywnienia burty powinny być podparte na grodziach poprzecznych, wręgach ramowych lub innych elementach konstrukcji znajdujących się w odległości nie większej niż 2,0 m.

Wzdłużne usztywnienia burty powinny zachować ciągłość przy przejściu przez podpierające konstrukcje. W rejonie grodzi lub ścian zbiorników ciągłość konstrukcyjna może być zapewniona przez połączenia węzłowe.

**9.2.5.3** Siły wewnętrzne, naprężenia i odkształcenia w poprzecznych wręgach burtowych i usztywnieniach wzdłużnych burty należy określać wg wymagań rozdziału 9.4.5.

Obciążenia należy przyjmować zgodnie z p. 9.3.

Poprzeczne wręgi burtowe i usztywnienia wzdłużne burty powinny spełniać kryteria wytrzymałości, sztywności podane w p. 9.4.5.9 oraz kryteria stateczności określone w p. 9.4.6.

**9.2.5.4** Wręgi ramowe, podpierające wzdłużne usztywnienia burty, powinny być efektywnie połączone z dennikiem pełnym i z pokładnikiem ramowym. Naprężenia i odkształcenia można obliczać stosując model ramy płaskiej, obejmujący oprócz wręgu ramowego dennik pełny i pokładnik ramowy wg wymagań p. 9.4.7.

Powinny być spełnione kryteria sztywności i wytrzymałości określone w p. 9.4.7.5 i stateczności zgodnie z p. 9.4.8.

**9.2.5.5** Wzdłużnik burty powinien być podparty przez wręgi ramowe, grodzie lub inne wiązary, umieszczone w odległości nie większej niż 6,0 m. Wzdłużnik burty powinien zachować ciągłość przy przejściu przez grodzie poprzeczne. W rejonie przejścia przez ściany zbiorników ciągłość wiązania może być zapewniona przez połączenia węzłowe, o ile jest to uzasadnione odpowiednią wytrzymałością połączenia.

**9.2.5.6** Siły wewnętrzne, naprężenia i odkształcenia w układzie wiązarów burt, należy określać dla założonych wymiarów konstrukcyjnych wg wymagań podanych w p. 9.4.7, stosując metody mechaniki technicznej lub MES.

Obciążenia należy przyjmować wg p. 9.3.

Wiązary powinny spełniać kryteria sztywności i wytrzymałości wg p. 9.4.7.5 oraz stateczności wg p. 9.4.8.

## **9.2.6 Grodzie i zbiorniki głębokie**

**9.2.6.1** Grodzie wodoszczelne i zderzeniowe należy rozmieszczać zgodnie z wymaganiami, odpowiednio, *SOLAS II-1*, cz. B-2 lub *Dyrektywy Komisji Europejskiej 2009/45/EC*.

Gródź skrajnika dziobowego lub gródź kolizyjna powinny być wodoszczelne aż do pokładu grodziowego.

Należy zastosować gródź skrajnika rufowego wodoszczelną do pokładu grodziowego.

**9.2.6.2** Minimalna grubość grodzi wodoszczelnej z laminatu monolitycznego nie może być mniejsza niż 3,5 mm, w przypadku grodzi zbiornika głębokiego grubość ta nie może być mniejsza niż 4,5 mm.

**9.2.6.3** Jeżeli grodzie są wykonane ze stali lub stopów aluminium, ich wymiary i konstrukcja powinny spełniać wymagania *Przepisów klasyfikacji i budowy statków morskich, Część II – Kadłub*. Sposób połączenia z konstrukcją kadłuba podlega odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

**9.2.6.4** Zbiorniki w kadłubie nie powinny mieć konstrukcji przekładkowej.

Zbiorniki paliwowe zaleca się wykonywać jako zbiorniki wstawiane.

Nie należy stosować zbiorników z laminatu na ciecz o temperaturze zapłonu równej 55°C lub niższej.

**9.2.6.5** Jeżeli zbiornik głęboki rozciąga się od burty do burty, to w płaszczyźnie symetrii powinno zastosować się gródź pełną lub przelewową.

**9.2.6.6** Jeżeli elementy konstrukcyjne (np. usztywnienia wzdłużne dna) przechodzą przez poszycie grodzi wodoszczelnej lub zbiornika i ewentualny przeciek do sąsiedniego pomieszczenia mógłby być niebezpieczny albo niepożądany, należy w rdzeniu profilu trapezowego utworzyć niewielki koferdam o długości min. 10 mm (z każdej strony ściany 5 mm), np. przez wypełnienie pustki w piance żywicą epoksydową.

**9.2.6.7** Należy unikać konstrukcji zbiornika, w której usztywnienia znajdują się wewnątrz zbiornika.

**9.2.6.8** Konstrukcja ścian zbiorników nie powinna być projektowana na ciśnienie niższe niż 15 kPa.

**9.2.6.9** Siły wewnętrzne, naprężenia i ugięcia płyt zginanych należy określać wg wymagań podanych w p. 9.4.3.10, 9.4.3.11 stosując założone wymiary poszycia grodzi/zbiorników. Obciążenia należy przyjmować zgodnie z p. 9.3. Płyty poszycia (zarówno monolityczne jak i przekładkowe) powinny spełniać kryterium sztywności podane w p. 9.4.3.12.2, kryterium wytrzymałości określone w p. 9.4.3.12.3 i 9.4.3.12.4 oraz kryterium stateczności podane w p. 9.4.4.

**9.2.6.10** Siły wewnętrzne, naprężenia i odkształcenia w usztywnieniach grodzi/ścian zbiorników należy określać dla założonych wymiarów konstrukcyjnych z uwzględnieniem wymagań rozdziału 9.4.5.

Obciążenia należy przyjmować zgodnie z p. 9.3.

Usztywnienia powinny spełniać kryteria wytrzymałości i sztywności podane w p. 9.4.5.9 oraz kryteria stateczności zgodnie z p. 9.4.6.

**9.2.6.11** Siły wewnętrzne, naprężenia i odkształcenia w wiązarach grodzi/ścian zbiorników należy określać dla założonych wymiarów konstrukcyjnych wg wymagań podanych w p. 9.4.7.

Obciążenia należy przyjmować zgodnie z p. 9.3.

Wiązary powinny spełniać kryteria sztywności i wytrzymałości określone w p. 9.4.7.5 oraz stateczności określone w p. 9.4.8.

**9.2.6.12** Powierzchnie wewnętrzne zbiorników należy zabezpieczyć systemem powłokowym przed penetracją płynu w poszycie zbiornika

**9.2.6.13** Należy zastosować koferdamy pomiędzy zbiornikami wody słodkiej a zbiornikami paliwowymi lub wody sanitarnej.

## **9.2.7 Konstrukcja pokładów**

**9.2.7.1** Poszycie pokładu może być wykonane w formie laminatu monolitycznego lub konstrukcji przekładkowej. Poszycie może być usztywnione pokładnikami (poprzecznymi) podpartymi przez wzdłużniki lub usztywnieniami wzdłużnymi podpartymi przez pokładniki ramowe.

**9.2.7.2** W poprzecznym systemie wiązań pokładniki powinny być zastosowane na każdym wręgu. Pokładniki ramowe stosowane we wzdłużnym systemie należy połączyć efektywnie z wręgami ramowymi burty.

**9.2.7.3** Wiązary powinny zachować ciągłość przy przejściu przez grodzie.

**9.2.7.4** Konstrukcję pokładu podlegającą obciążeniom skupionym należy odpowiednio wzmocnić.

W przypadku pokładów do przewozów samochodów metodykę obliczeń wytrzymałości lokalnej pokładu należy uzgodnić z PRS. Obciążenia należy przyjmować zgodnie z p. 9.3.

**9.2.7.5** Minimalna grubość pokładu wytrzymałościowego, ładunkowego lub otwartego wykonanego z laminatu monolitycznego nie może być mniejsza niż 4 mm, minimalna grubość pokładów wewnątrz kadłuba i nadbudówek niebędących pokładem wytrzymałościowym ani pokładem ładunkowym nie może być mniejsza niż 3 mm.

**9.2.7.6** W przypadku wysokich pokładników ramowych i wzdłużników pokładowych należy zastosować węzłówki przeciwskrętne.

**9.2.7.7** Siły wewnętrzne i naprężenia w płytach zginanych należy określać wg wymagań podanych w p. 9.4.3.10, 9.4.3.11 stosując założone wymiary poszycia pokładu. Obciążenia należy przyjmować zgodnie z p. 9.3. Płyty poszycia (zarówno monolityczne jak i przekładkowe) powinny spełniać kryterium sztywności podane w p. 9.4.3.12.2, kryterium wytrzymałości określone w p. 9.4.3.12.3 i 9.4.3.12.4 oraz kryterium stateczności podane w p. 9.4.4.

**9.2.7.8** Siły wewnętrzne, naprężenia i odkształcenia w usztywnieniach wzdłużnych/pokładnikach należy określać dla przyjętych wymiarów konstrukcyjnych z uwzględnieniem wymagań rozdziału 9.4.5.

Obciążenia należy przyjmować zgodnie z p. 9.3.

Usztywnienia powinny spełniać kryteria wytrzymałości i sztywności podane w p. 9.4.5.9 oraz kryteria stateczności określone w p. 9.4.6.

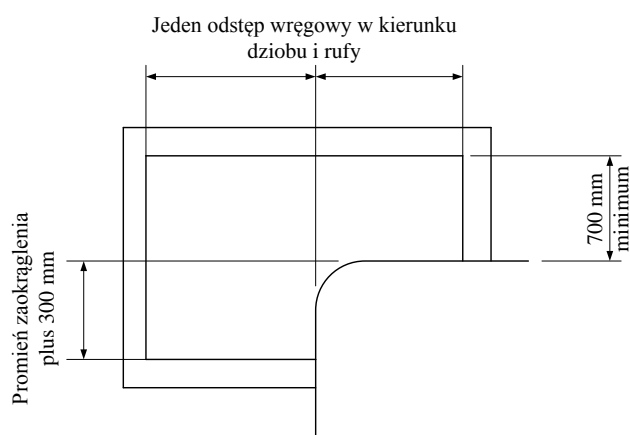
**9.2.7.9** Siły wewnętrzne, naprężenia i odkształcenia w wiązarach pokładu należy określać dla założonych wymiarów konstrukcyjnych wg wymagań podanych w p. 9.4.7.

Obciążenia należy przyjmować zgodnie z p. 9.3.

Wiązary powinny spełniać kryteria sztywności i wytrzymałości określone w p. 9.4.7.5 oraz stateczności w p. 9.4.8.

**9.2.7.10** Otwory w pokładzie powinny mieć naroża zaokrąglone lub o kształcie eliptycznym albo parabolicznym.

Promień zaokrąglenia naroża nie powinien być mniejszy niż 0,10 szerokości otworu. Jeżeli stosuje się naroża zaokrąglone do dużych otworów np. luków ładunkowych, należy w rejonie naroży zwiększyć grubość pokładu o 25% zgodnie z rys. 9.2.7.10.



Rys. 9.2.7.10

W przypadku naroża o kształcie eliptycznym lub parabolicznym stosunek większej długości naroża do mniejszej powinien wynosić 2:1, przy czym mniejsza długość naroża powinna być nie mniejsza niż 0,05 szerokości otworu, ale nie mniej niż 300 mm, nie jest wymagane zwiększenie grubości pokładu w rejonie naroży.

Usztywnienia przerwane na otworze należy połączyć ze zębnicą otworu i odpowiednio wzmocnić wiązary przenoszące obciążenia ze zębnicy otworu na konstrukcję kadłuba.

## **9.2.8 Nadbudowy**

**9.2.8.1** Wymagania p. 9.2.8 odnoszą się do nadbudówek jak i pokładówek.

**9.2.8.2** Grubości poszycia ścian końcowych i pokładów nadbudów z laminatu monolitycznego nie mogą być mniejsze od następujących wielkości:

- ściany czołowe – 3 mm;
- ściany boczne – 2,5 mm;
- ściany rufowe – 2,5 mm;
- pokłady – 2,5 mm.

**9.2.8.3** Usztywnienia wzdłużne i poprzeczne ścian i pokładów nadbudów powinny zachować ciągłość przy przejściu przez podpierające konstrukcje.

**9.2.8.4** Pokładniki i usztywnienia wzdłużne powinny być właściwie podparte przez system wiązarów. Niepodparta długość pokładnika lub usztywnienia wzdłużnego nie powinna być większa niż 2,5 m.

**9.2.8.5** Poszycie i konstrukcja podparcia w rejonie otworów, masztów, dźwigów, urządzeń maszynowych i wyposażenia oraz konstrukcje podlegające obciążeniom wibrującym powinny być odpowiednio wzmocnione.

**9.2.8.6** Należy zapewnić efektywne podparcie ścian końcowych nadbudów w formie grodzi, przegród, ram lub podpór.

W miejscu połączenia końca nadbudówki z burtą grubość poszycia burty należy dodatkowo zwiększyć.

**9.2.8.7** Siły wewnętrzne i naprężenia w płytach zginanych należy określać wg wymagań podanych w p. 9.4.3.10, 9.4.3.11 stosując założone wymiary poszycia grodzi/zbiorników. Obciążenia należy przyjmować zgodnie z p. 9.3. Płyty poszycia (zarówno monolityczne jak i przekładkowe) powinny spełniać kryterium sztywności podane w p. 9.4.3.12.2, kryterium wytrzymałości określone w p. 9.4.3.12.3 i 9.4.3.12.4 oraz kryterium stateczności podane w p. 9.4.4.

**9.2.8.8** Siły wewnętrzne, naprężenia i odkształcenia w usztywnieniach ścian i pokładów należy określać dla założonych wymiarów konstrukcyjnych z uwzględnieniem wymagań rozdziału 9.4.5.

Obciążenia należy przyjmować zgodnie z p. 9.3.

Usztywnienia powinny spełniać kryteria wytrzymałości i sztywności podane w p. 9.4.5.9 oraz kryteria stateczności określone w p. 9.4.6.

**9.2.8.9** Siły wewnętrzne, naprężenia i odkształcenia w wiązarach ścian i pokładów należy określać dla założonych wymiarów konstrukcyjnych wg wymagań podanych w p. 9.4.7.

Obciążenia należy przyjmować zgodnie z p. 9.3.

Wiązary powinny spełniać kryteria sztywności i wytrzymałości określone w p. 9.4.7.5 oraz stateczności w p. 9.4.8.

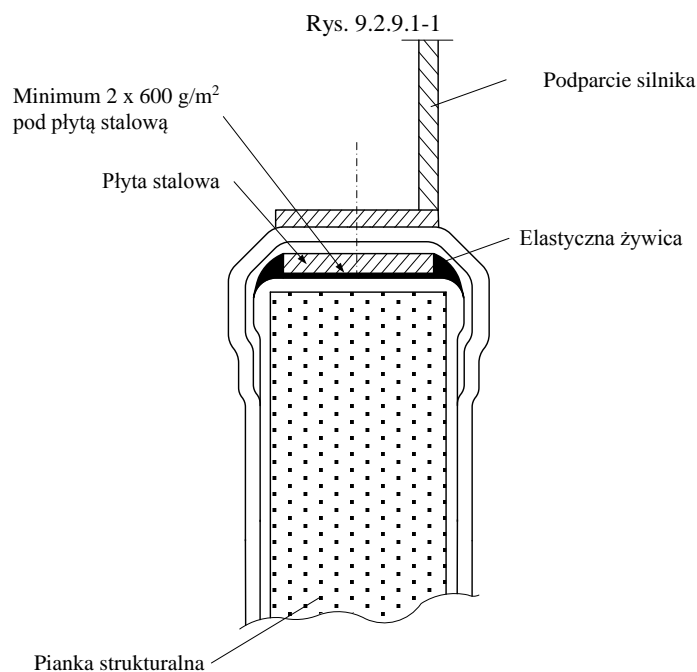
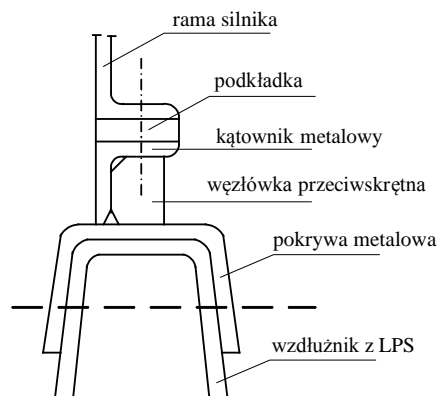
## **9.2.9 Fundamenty. Podpory.**

### **9.2.9.1 Fundamenty**

Silniki i inne urządzenia powinny być umieszczone na mocnych wzdłużnikach, odpowiednio podpartych i usztywnionych.

Konstrukcje wzdłużników powinny być połączone z wiązaniami dna, burt, pokładów i zapewniać przenoszenie sił działających w kierunku wzdłużnym i poprzecznym.

Przykładowe rozwiązanie fundamentu silnika przedstawiono na rys. 9.2.9.1-1.



Rys. 9.2.9.1-2

### 9.2.9.2 Podpory

Podpory powinny być wykonywane ze stali lub stopów aluminium. Konstrukcje pod podporami powinny mieć odpowiednią wytrzymałość dla właściwego rozłożenia obciążeń.

Osie podpór w międzypokładziach i ładowniach powinny w zasadzie stanowić jedną linię pionową.

Oprócz podpór wspierających zasadnicze wiązania pokładu mogą być wymagane dodatkowe podpory pod pokładówkami, urządzeniami kotwicznymi, wciągarkami ładunkowymi i w innych miejscach, gdzie okaże się to niezbędne.

Obliczenia podpór metalowych należy wykonywać wg *Przepisów klasyfikacji i budowy statków morskich, Część II – Kadłub*.

Pionowe usztywnienia grodzi, podpierające wiązary pokładów, powinny spełnić wymagania dla podpór.

Nominalną siłę osiową,  $P$ , w usztywnieniu pionowym grodzi podpierającej wiązary pokładów należy obliczać ze wzoru:

$$P = sbp + P_p \quad [\text{kN}] \quad (9.2.9.2-1)$$

$P_p$  – obciążenie od podpory znajdującej się wyżej, [kN];

$b$  – średnia szerokość/długość części pokładu wspartej na usztywnieniu pionowym grodzi podpierającej, [m];

$s$  – odstęp pionowych usztywnień grodzi podpierającej, [m];  
 $p$  – ciśnienie obliczeniowe działające na podpierany pokład, [kPa].

$$P < \frac{P_E}{3} \quad (9.2.9.2-1)$$

gdzie:

$P_E$  – krytyczne wartości siły ściskającej wg 9.4.8.2, [kN].

## 9.2.10 Połączenia elementów konstrukcji kadłuba

### 9.2.10.1 Wymagania ogólne

Podane w podrozdziale 9.2.10 rozwiązania połączeń należy traktować jako zalecane. Zastosowanie innych rozwiązań wymaga wcześniejszego uzgodnienia z PRS.

### 9.2.10.2 Połączenia doczołowe

9.2.10.2.1 Przy połączeniach doczołowych większe wytrzymałości uzyskuje się przy schodkowym ukosowaniu obu łączonych elementów (rys. 9.2.10.2.1).



Rys. 9.2.10.2.1. Połączenia doczołowe z ukosowaniem elementów

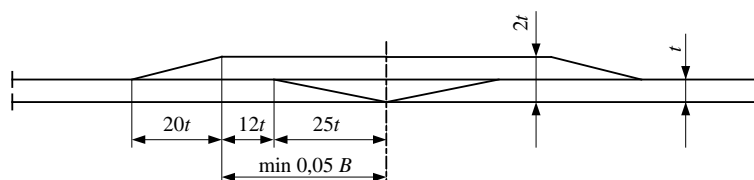
9.2.10.2.2 Elementy mniej obciążone i elementy o małej grubości mogą być łączone bez ukosowania (rys. 9.2.10.2.2).

Liczba warstw laminatu łączącego z każdej strony powinna być nie mniejsza od liczby warstw w laminacie cieńszego elementu.



Rys. 9.2.10.2.2. Połączenia doczołowe bez ukosowania elementów

9.2.10.2.3 Zalecany sposób połączenia poszycia kadłuba w płaszczyźnie poprzecznej w stosunku do osi kadłuba pokazano na rys. 9.2.10.2.3.



Rys. 9.2.10.2.3. Zalecany sposób połączenia poszycia kadłuba w płaszczyźnie poprzecznej

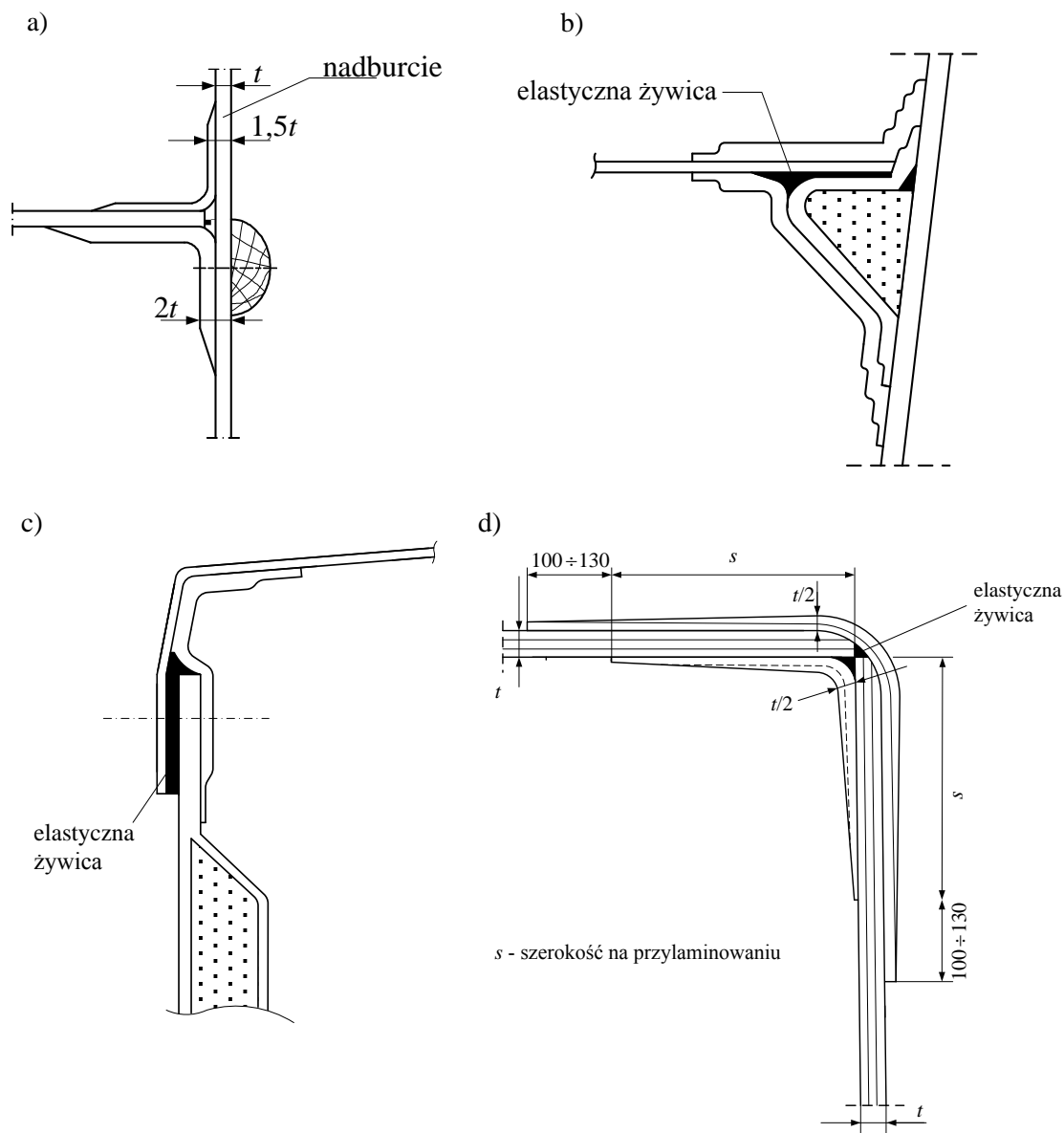
### 9.2.10.3 Połączenia pokładu z burtą

Połączenia pokładu z burtą powinny być wykonywane jako zakładkowe lub jako przylaminowanie nakładkowe.

Przykłady stosowanych połączeń pokładu z burtą pokazano na rys. 9.2.10.3.

Jeżeli uzasadniają to trudne warunki żeglugi lub cumowania, można zastosować śruby w połączeniu burty z pokładem.

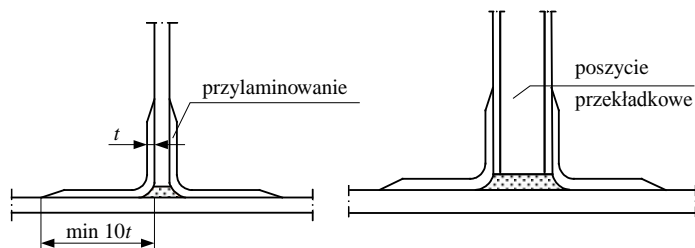
Jeżeli śruby zastosowano, to ich odstęp nie powinien być większy niż  $20d_s$ , gdzie  $d_s$  – średnica śruby. Średnica śruby nie może być mniejsza niż grubość cieńszego z łączonych elementów.



Rys. 9.2.10.3. Zalecane konstrukcje połączenia pokładu z burtą

#### 9.2.10.4 Połączenia kątowe

9.2.10.4.1 Typowe połączenia kątowe powinny mieć konstrukcję pokazaną na rys. 9.2.10.4.1.



Rys. 9.2.10.4.1. Typowe połączenia kątowe



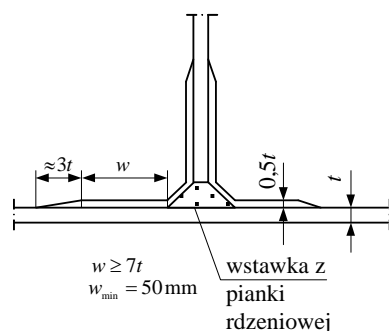
Zastosowanie innego rodzaju połączeń kątowych podlega każdorazowo odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS

- 9.2.10.4.2** Masa wzmocnienia szklanego przylaminowań z jednej strony powinna być nie mniejsza niż:
- 50% masy wzmocnienia elementu cieńszego – dla elementów z laminatu monolitycznego,
  - masa wzmocnienia cieńszej okładki – dla elementów poszyc przekładkowych.

W przypadkach przylaminowań jednostronnych podane wielkości należy podwoić. Masa wzmocnienia szklanego przylaminowań nie może przy tym być mniejsza niż  $2500 \text{ g/m}^2$ , a masa wzmocnienia aramidowego lub węglowego – nie mniejsza niż  $1900 \text{ g/m}^2$ .

### 9.2.10.5 Połączenia grodzi z poszyciem kadłuba i z pokładami

Połączenia grodzi z poszyciem kadłuba lub z pokładami zaleca się wykonywać w sposób pokazany na rys. 9.2.10.5.



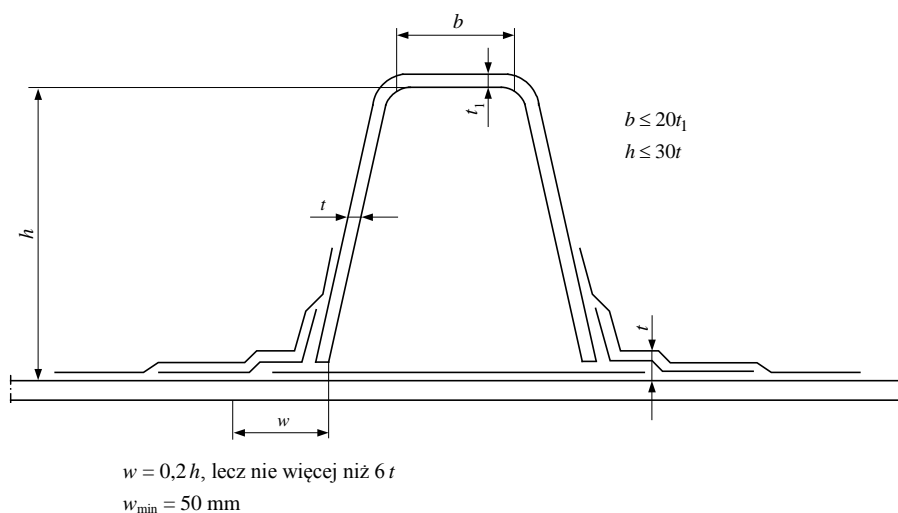
Rys. 9.2.10.5. Połączenie grodzi z poszyciem kadłuba lub z pokładami

### 9.2.10.6 Mocowanie usztywnień

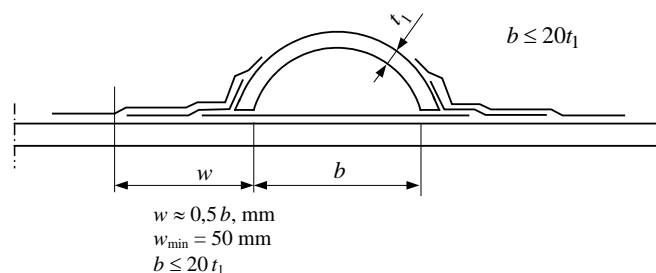
9.2.10.6.1 Usztywnienia i wiązary z rdzeniami pustymi lub z materiałów niekonstrukcyjnych zaleca się wykonywać w sposób pokazany na rys. 9.2.10.6.1.

Na rys. 9.2.10.6.1 podano także wymagane wzajemne proporcje wymiarów poszczególnych elementów usztywnień lub ich wymiary minimalne.

a)



b)

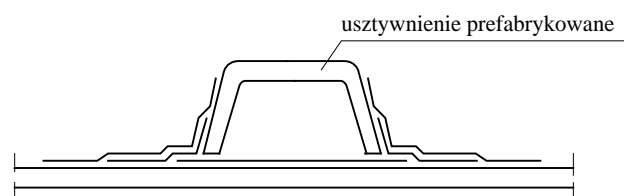


Rys. 9.2.10.6.1. Konstrukcja usztywnień z rdzeniem pustym lub z materiałów niekonstrukcyjnych

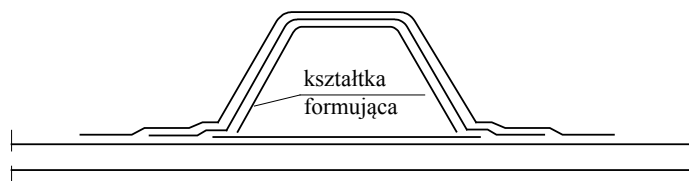
Zastosowanie innego rodzaju usztywnień podlega każdorazowo odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

**9.2.10.6.2** Usztywnienia z kształtek wykonanych z laminatu można łączyć z poszyciem w sposób pokazany na rys. 9.2.10.6.2, przy czym proporcje wymiarowe i wymiary minimalne powinny spełniać wymagania podane na rys. 9.2.10.6.1.

a)



b)



Rys. 9.2.10.6.2. Usztywnienia z kształtek

**9.2.10.6.3** W przypadku zastosowania w konstrukcji wykonanej z laminatu poliestrowo-szklanego, grodzi i przegród ze sklejki, należy je łączyć z poszyciem za pomocą kątowników z laminatu, których całkowita masa wzmocnienia powinna wynosić:

2700 g/m<sup>2</sup> – dla grodzi o grubości nieprzekraczającej 12 mm,

3600 g/m<sup>2</sup> – dla grodzi o grubości większej niż 12 mm, ale nie większej niż 20 mm,

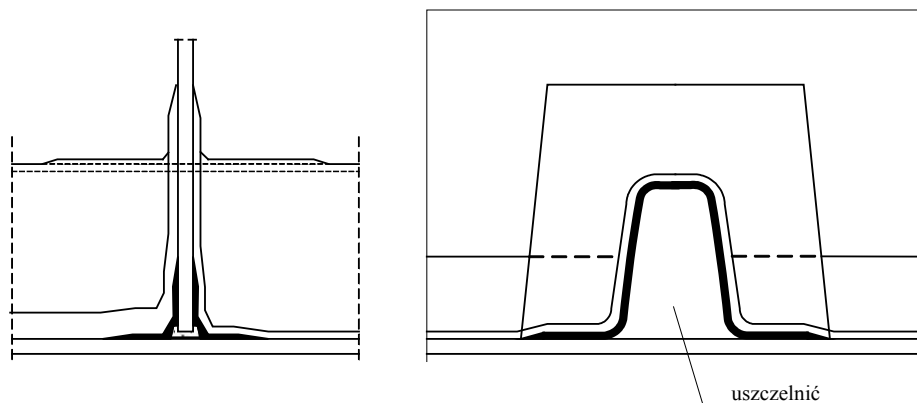
4500 g/m<sup>2</sup> – dla grodzi o grubości większej niż 20 mm, ale nie większej niż 25 mm.

W przypadku zastosowania wiązarów o wysokości  $h > 30t$  ( $h, t$  – patrz rys. 9.2.10.6.1 a)) wymagane jest odpowiednie usztywnienie śródników.

**9.2.10.6.4** Przejścia usztywnień przez wiązary i grodzie (rys. 9.2.10.6.4) powinny być ciągłe, z wyjątkiem końcowych grodzi zbiorników.

Zalecaną konstrukcję połączenia usztywnienia wzdłużnego z grodzią pokazano na rys. 9.2.10.6.4. Wiązary należy łączyć z grodziami podobnie jak usztywnienia.

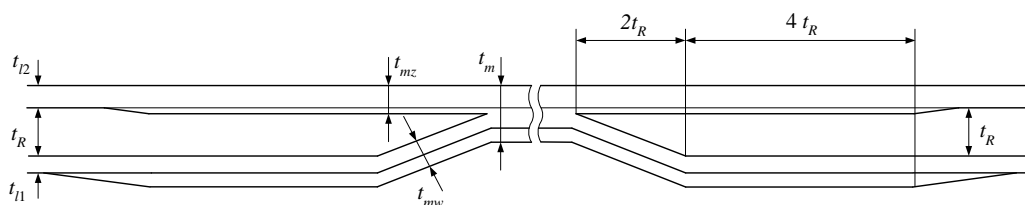
Przejścia usztywnień przez gródź nie powinny pogarszać szczelności grodzi; dotyczy to również usztywnień trapezowych.



Rys. 9.2.10.6.4. Połączenie usztywnienia wzdłużnego z grodzią

### 9.2.10.7 Poszycie przekładkowe i monolityczne

**9.2.10.7.1** W miejscach montażu elementów wyposażenia statku należy zastosować wewnątrz poszycia przekładkowego (pomiędzy okładzinami) sklejkowe wstawki zamiast pianki rdzeniowej albo należy w tych miejscach przewidzieć poszycie monolityczne. Zalecany sposób połączenia poszycia przekładkowego z poszyciem masywnym pokazano na rys. 9.2.10.7.1.



Rys. 9.2.10.7.1. Sposób połączenia poszycia przekładkowego z poszyciem masywnym

$t_{11}$ ,  $t_{12}$  – grubość okładzin konstrukcji przekładkowej, [mm];

$t_m$  – grubość laminatu monolitycznego, [mm];

$t_{mz}$  – grubość okładziny zewnętrznej w rejonie przyległym do poszycia monolitycznego, [mm];

$t_{mw}$  – grubość okładziny wewnętrznej w rejonie przyległym do poszycia monolitycznego, [mm];

Wielkość  $t_{mz}$  i  $t_{mw}$  zaleca się obliczać ze wzoru:

$$t_{mz} = 0,4t_m \text{ [mm]} \quad (9.2.10.7.1-1)$$

$$t_{mw} = 0,6t_m \text{ [mm]} \quad (9.2.10.7.1-2)$$

Grubość,  $t_m$ , i zakres laminatu monolitycznego należy dostosować do wielkości występujących w danym miejscu obciążeń, drogą odpowiednich obliczeń.

**9.2.10.7.2** Przy wszystkich przejściach poszycia przekładkowego w poszycie masywne wymagane jest ukosowanie pianki rdzeniowej w stosunku 1:2 (patrz rys. 9.2.10.7.1).

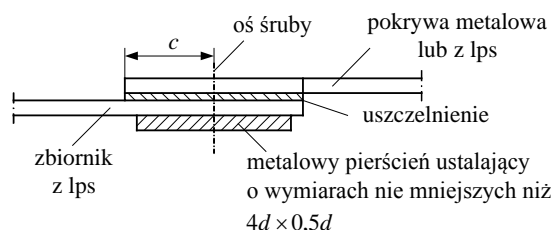
### 9.2.10.8 Otwory i krawędzie

**9.2.10.8.1** Wszystkie wystające krawędzie laminatów powinny być uszczelnione żywicą.

Krawędzie płyt przekładkowych i krawędzie otworów w tych płytach powinny być uszczelnione matą i żywicą.

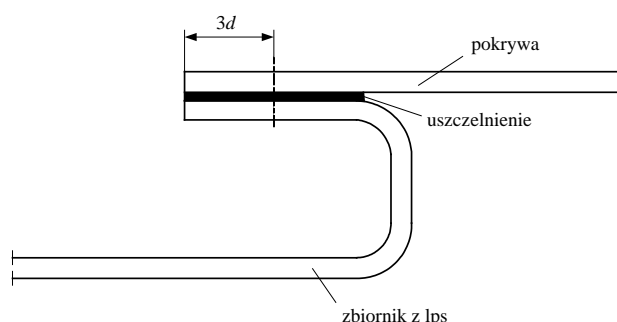
**9.2.10.8.2** Zalecane sposoby zamocowania włazów do zbiorników pokazano na rys. 9.2.10.8.2.

a)



$c = 3d$  – dla pokrywy z lps  
 $c = 2d$  – dla pokrywy metalowej  
 $d$  – średnica śruby (nie mniejsza niż 6,5 mm)

b)



Rys. 9.2.10.8.2. Zamocowanie włączów do zbiorników

### 9.3 Obciążenia konstrukcji

#### 9.3.1 Zasady ogólne

##### 9.3.1.1 Zastosowanie

**9.3.1.1.1** Wartości obciążeń obliczeniowych określone według wskazań niniejszego podrozdziału mają zastosowanie przy wymiarowaniu płyt poszycia, usztywnień, wiązarów zwykłych, złożonych układów wiązarów i wiązań typu podporowego, wchodzących w skład poszczególnych konstrukcji kadłubów statków o długości  $L \geq 24$  m. Są to wartości obliczeniowe, które mogą być zastosowane wyłącznie w ramach przyjętej koncepcji wymagań. W przypadku kadłubów statków o długości  $L < 24$  m wartości obciążeń obliczeniowych należy przyjmować wg *Przepisów klasyfikacji i budowy małych statków morskich, Część II – Kadłub*.

**9.3.1.1.2** Obliczeniowe ściskające siły osiowe stosowane przy wymiarowaniu wiązań typu podporowego należy określać według wskazań podrozdziału 9.3.5.

##### 9.3.1.2 Składowe obciążenia obliczeniowe

Przy ustalaniu obliczeniowych obciążeń konstrukcji zostały uwzględnione statyczne i dynamiczne składowe obciążenia wywołane przez:

- oddziaływanie morza (patrz 9.3.2),
- oddziaływanie płynów w zbiornikach (patrz 9.3.3),
- oddziaływanie ładunków suchych, zapasów i wyposażenia (patrz 9.3.4).

##### 9.3.1.3 Wymagania ogólne

**9.3.1.3.1** W ogólnym przypadku na rozpatrywane poszycie i podpierające je wiązania mogą działać obciążenia z obu stron. Należy je określać niezależnie i jako obciążenia obliczeniowe przyjmując wartości

wyższe. W szczególnych przypadkach jako obciążenie obliczeniowe można przyjąć różnicę obciążeń działających po obu stronach poszycia, jeżeli oba obciążenia zawsze działają równocześnie.

Nie zaleca się stosowania konstrukcji, w których działające na poszycie ciśnienie odrywa poszycie od przylaminowanych do niego usztywnień. W takich przypadkach przy występowaniu dużych ciśnień konstrukcja połączenia usztywnienie – poszycie może wymagać dodatkowych wzmocnień i będzie przez PRS rozpatrywane odrębnie.

**9.3.1.3.2** Zbiorniki służące do przewozu oleju powinny być obliczone dla cieczy o gęstości równej gęstości wody morskiej:

$$\rho = 1,025 \text{ t/m}^3 \quad (9.3.1.3.2)$$

**9.3.1.3.3** Konstrukcja zbiorników do przewozu cieczy o większej gęstości podlega odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS. W przypadku zatwierdzenia konstrukcji gęstość przyjęta w projekcie wpisywana jest w załączniku do *Świadectwa klasy*.

**9.3.1.3.4** Składniki ciśnień lub współczynniki uwzględniające we wzorach dynamiczną część miejscowych obciążeń konstrukcji mogą być w przypadku statków ograniczonego rejonu żeglugi zmniejszone następująco:

- dla rejonu **II** o 10%,
- dla rejonu **III** o 30%,
- dla statków pasażerskich Class C o 40%,
- dla statków pasażerskich Class D o 50%.

Szczegółowe wskazania w tym zakresie podane są przy omawianiu poszczególnych obciążeń. Powyższe ulgi stosuje się do przypadku, gdy w obliczeniach parametrów z rozdziału 9.5 nie zastosowano ulg podanych w p. 9.5.1.3.

#### **9.3.1.4 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/s<sup>2</sup>] – można przyjmować o wartości równej 9,807 m/s<sup>2</sup>;

$h_a$  – 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]. Jeżeli odległość od letniej wodnicy ładunkowej do szczytu grodzi jest znaczna, to określenie wartości  $h_g$  może być oparte na analizie niezatapialności statku;

$h_p$  – pionowa odległość mierzona od punktu przyłożenia wypadkowej obciążenia do górnego zakończenia rury odpowietrzającej, [m];

$h_o$  – pionowa odległość mierzona od letniej wodnicy ładunkowej 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];

$p_0 = 25 \text{ kPa}$ ;

$p_v$  – ciśnienie, przy którym otwiera się zawór bezpieczeństwa, [kPa];

$T_m$  – minimalne zanurzenie projektowe statku, [m]; wartość  $T_m$  należy w zasadzie przyjmować jako równą  $0,35T$ ;

$\rho$  – gęstość ładunku, balastu lub zapasów, [ $t/m^3$ ];

$P(x, y, z)$  – punkt statku, w którym obliczane jest ciśnienie od działania morza;

$p_i$  – ciśnienie od działania morza w punkcie  $P$ ,  $i = 1, \dots, 5$ , [kPa].

### 9.3.2 Oddziaływanie morza

#### 9.3.2.1 Wymagania ogólne

Ciśnienie zewnętrzne wywołane przez środowisko morskie, działające na dno, burty i pokłady otwarte należy obliczać według wzorów podanych w podrozdziale 9.3.2.

#### 9.3.2.2 Ciśnienia zewnętrzne na kadłubie statku

**9.3.2.2.1** W punkcie  $P(x, y, z)$  należącym do burty statku poniżej letniej wodnicy ładunkowej lub należącym do dna ciśnienie zewnętrzne od działania morza należy określać wg wzoru:

$$p_1 = 0,5 p_{db} + 10(T - z) \quad [\text{kPa}] \quad (9.3.2.2.1-1)$$

$$p_{db} = (1 + 0,036v) [0,7Z_A + k_x \theta_A + 3|y| \Phi_A] + 0,02L_0 \times [10 - 0,25(T - z)] \quad [\text{kPa}] \quad (9.3.2.2.1-2)$$

$$k_x = \begin{cases} -4(x + 0,05L_0) & \text{dla } x < -0,05L_0 \\ 5,4(1 + 0,05L_0) & \text{dla } x \geq -0,05L_0 \end{cases} \quad (9.3.2.2.1-3)$$

$v$  – prędkość statku, [węzły];

$Z_A, \theta_A, \Phi_A$  – patrz 9.5.3.2 i 9.5.3.3;

$x, y, z$  – współrzędne punktu  $P(x, y, z)$  – patrz rys. 9.5.2.1.

**9.3.2.2.2** W punkcie  $P(x, y, z)$  należącym do burty na poziomie nieosłoniętego pokładu ciśnienie od działania morza należy określać wg wzoru:

$$p_2 = 0,5 p_{ds} \quad [\text{kPa}] \quad (9.3.2.2.2-1)$$

$$p_{ds} = \rho g [S_A - (z - T)] \quad [\text{kPa}] \quad (9.3.2.2.2-2)$$

$\rho = 1,025 t/m^3$ ;

przy czym należy przyjąć, że:  $[S_A - (z - T)] \geq 2$ ;

$S_A$  – patrz 9.5.3.7;

$z - T$  – odległość między letnią wodnicą ładunkową a punktem  $P$ .

**9.3.2.2.3** Pomiedzy poziomem pokładu a letnią wodnicą ładunkową ciśnienie należy określać przy pomocy interpolacji liniowej. W krańcowych punktach ciśnienie określone jest wzorami 9.3.2.2.1-1 i 9.3.2.2.2-2.

**9.3.2.2.4** W punkcie  $P(x, y, z)$  należącym do nieosłoniętego pokładu ciśnienie zewnętrzne od działania morza należy określać wg wzoru:

$$p_3 = 0,5 p_{dd} \quad [\text{kPa}] \quad (9.3.2.2.4-1)$$

$$p_{dd} = \rho (g + 0,5a_v) [S_A - (z - T)] \quad [\text{kPa}] \quad (9.3.2.2.4-2)$$

przy czym należy przyjąć, że:  $[S_A - (z - T)] \geq 2$ ;

$S_A$  i  $a_v$  – patrz 9.5.3.7 i 9.5.4.1;

$\rho = 1,025 t/m^3$ .

**9.3.2.2.5** Ciśnienie zewnętrzne działające na dno i burty statku, które może być odjęte od ciśnień wewnętrznych w zbiornikach przyległych do tych konstrukcji, odpowiada minimalnemu zanurzeniu projektowemu,  $T_m$ , statku na wodzie spokojnej. Jego wartość należy określać wg wzoru:

$$p = \rho g (T_m - z) \quad [\text{kPa}] \quad (9.3.2.2.5)$$

przy czym powinno być  $p \geq 0$ ;  
 $\rho = 1,025 \text{ t/m}^3$ ;  
 $z$  – współrzędna rozpatrywanego punktu.

### 9.3.2.3 Ciśnienia zewnętrzne działające na nadbudowy

**9.3.2.3.1** Wywołane przez środowisko morskie ciśnienia zewnętrzne działające na nieosłoniętą ścianę nadbudówki lub pokładówki (szybu maszynowego) można określać wg wzorów podanych w 9.3.2.3.2 i 9.3.2.3.3.

**9.3.2.3.2** W punkcie  $P(x, y, z)$  należącym do nieosłoniętej dziobowej ściany nadbudówki lub pokładówki:

$$p_4 = 3p_{dd} \text{ [kPa]} \quad (9.3.2.3.2)$$

przy czym należy przyjąć, że:  $[S_A - (z - T)] \geq 1$ ;  
 $p_{dd}$  – patrz 9.3.2.2.4.

**9.3.2.3.3** W punkcie  $P(x, y, z)$  należącym do nieosłoniętych bocznych oraz tylnych ścian nadbudówek i pokładówek:

$$p_5 = 0,5p_{ds} \text{ [kPa]} \quad (9.3.2.3.3)$$

przy czym należy przyjąć, że:  $[S_A - (z - T)] \geq 1$ ;  
 $S_A$  – patrz 9.5.3.7;  
 $z$  – współrzędna rozpatrywanego punktu;  
 $p_{ds}$  – patrz 9.3.2.2.2.

### 9.3.2.4 Ciśnienia w przypadkach awaryjnych

**9.3.2.4.1** Ciśnienie obliczeniowe dla grodzi wodoszczelnej (po zalaniu przedziału) należy określać wg wzoru:

$$p_{d1} = \rho g h_g \text{ [kPa]} \quad (9.3.2.4.1)$$

$\rho = 1,025 \text{ t/m}^3$ .

**9.3.2.4.2** Ciśnienie obliczeniowe dla dna wewnętrznego po zalaniu dna podwójnego należy przyjąć jako nie mniejsze niż ciśnienie obliczone wg wzoru:

$$p_{d2} = \rho g T \text{ [kPa]} \quad (9.3.2.4.2)$$

$\rho = 1,025 \text{ t/m}^3$ .

Ciśnienie to jest również ciśnieniem minimalnym przy wymiarowaniu denników i wzdłużników szczelnych, stanowiących ograniczenia zbiorników dna podwójnego.

## 9.3.3 Oddziaływanie cieczy w zbiornikach

### 9.3.3.1 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 9.3.3.2. 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 rozpatrzeć je jako ograniczenie każdego zbiornika oddzielnie.

### 9.3.3.2 Ciśnienie cieczy w zbiornikach całkowicie wypełnionych

Jako ciśnienia obliczeniowe dla konstrukcji ograniczających zbiorniki całkowicie wypełnione należy przyjąć największe z ciśnień  $p_6 \div p_{10}$ , obliczonych według następujących wzorów

$$p_6 = (g + 0,5a_v) \rho h_a \text{ [kPa]} \quad (9.3.3.2-1)$$

$$p_7 = 0,67 \rho g h_p \text{ [kPa]} \quad (9.3.3.2-2)$$

$$p_8 = g \rho h_a + p_0 \text{ [kPa]} \quad (9.3.3.2-3)$$

$$p_9 = g \rho \left[ 0,67 (h_a + \Theta_A l_a) - 0,12 \sqrt{h_z l_s \Theta_A} \right] \text{ [kPa]} \quad (9.3.3.2-4)$$

$$p_{10} = g \rho \left[ 0,67 (h_a + \Phi_A b_a) - 0,12 \sqrt{h_z b_s \Phi_A} \right] \text{ [kPa]} \quad (9.3.3.2-5)$$

$a_v$  – według 9.5.4.1;

$\Phi_A$  – według 9.5.3.3;

$\Theta_A$  – według 9.5.3.2.

Wzory 9.3.3.2-4 i 9.3.3.2-5 należy uwzględnić przy wymiarowaniu konstrukcji ograniczających zbiorniki ładunkowe lub balastowe w przypadkach, gdy długość zbiornika przekracza  $0,15L_0$  lub największa szerokość zbiornika przekracza  $0,4B$ .

Wzory 9.3.3.2-1, 9.3.3.2-4 i 9.3.3.2-5 należy stosować także przy sprawdzaniu wytrzymałości konstrukcji dna wewnętrznego, burt, pokładów (platform), grodzi wzdłużnych i poprzecznych, ograniczających przestrzenie przewidziane do przyjmowania balastu wodnego.

### 9.3.3.3 Ciśnienie cieczy w zbiornikach częściowo zapełnionych

**9.3.3.3.1** Jeżeli zbiorniki mogą być podczas podróży zapełnione częściowo w zakresie od 20 do 90% swej wysokości, to ciśnienie obliczeniowe (dla zbiorników o parametrach  $l_z \leq 0,13L_0$  i  $b_z \leq 0,56B$ ) należy określać jako większą z wartości ciśnienia obliczonego dla zbiorników zapełnionych całkowicie, według 9.3.3.2, 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:

$$p_{11} = \rho (4 - 0,005L_0) l_z \text{ [kPa]} \quad (9.3.3.3.1-1)$$

– dla elementów konstrukcyjnych umieszczonych w odległości mniejszej niż  $0,25b_z$  od ścian wzdłużnych zbiornika:

$$p_{12} = \rho (3 - 0,01B) b_z \text{ [kPa]} \quad (9.3.3.3.1-2)$$

Dla zbiorników o parametrach  $l_z > 0,13L_0$  lub  $b_z > 0,56B$  wartości ciśnień  $p_{11}$  lub  $p_{12}$  podlegają odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

**9.3.3.3.2** Wartość ciśnienia obliczeniowego przyjęta dla środków wiązarów w zbiornikach ładunkowych i balastowych powinna być nie mniejsza niż 20 kPa.

**9.3.3.3.3** Ciśnienie obliczeniowe poprzecznych i wzdłużnych grodzi przelewowych nie może być mniejsze niż ciśnienie obliczone wg wzorów 9.3.3.3.1-1 i 9.3.3.3.1-2.

### 9.3.4 Pokłady do transportu samochodów

**9.3.4.1** Obciążenia pokładów przeznaczonych do transportu samochodów należy określić według podrozdziału 19.6 *Przepisów klasyfikacji i budowy statków morskich, Część II – Kadłub*.

**9.3.4.2** Laminowane poszycia i usztywnienia powinny spełniać wymagania zawarte w podrozdziale 9.4.3 w oparciu o maksymalne momenty zginające i ugięcia poszycia, maksymalne momenty zginające i siły ścinające i ugięcia dla usztywnień określone w punktach 9.3.4.2.1 i 9.3.4.2.2.

#### 9.3.4.2.1 Poszycie

Należy określić grubość stalowego poszycia  $t$  ( $= t_s$ ) wg p. 19.4.2 *Przepisów klasyfikacji i budowy statków morskich, Część II – Kadłub* dla geometrii płyty jak w konstrukcji laminatowej (wymiary boków płyty).

Maksymalny moment zginający dla poszycia laminatowego, przypadający na 1 m szerokości poszycia, w miejsce wzoru 9.4.3.10.2 należy określać wg poniższego wzoru:

$$M_{\max} = 0,25t^2 R_e \text{ [Nm/m]} \quad (9.3.4.2.1)$$



gdzie:

$t$  – grubość netto ( $t_k = 0$ ) stalowego poszycia ze wzoru 19.4.2 *Przepisów klasyfikacji i budowy statków morskich, Część II – Kadłub*, [mm];

$R_e$  – granica plastyczności stali przyjętej do obliczeń, [MPa].

Wartości ugięcia płyty należy obliczać stosując metody mechaniki technicznej i teorię laminatów, przyjmując różne możliwe położenia zestawu odcisków opon na płycie i na sąsiednich płytach w zależności od rodzaju przewożonych samochodów.

#### 9.3.4.2.2 Pokładniki

Należy określić wskaźnik przekroju netto w poprzecznych i wzdłużnych stalowych pokładnikach podlegających obciążeniu od kół pojazdu wg wzoru 19.4.3.1 *Przepisów klasyfikacji i budowy statków morskich, Część II – Kadłub* dla rozstawu, długości i warunków podparcia usztywnień jak i w konstrukcji laminatowej.

Jako maksymalny moment zginający usztywnienie w miejsce wzoru 9.4.5.6-1 należy przyjąć moment określony poniżej:

$$M_{\max} = 0,67 \cdot W \cdot R_e \text{ [Nm]} \quad (9.3.4.2.2-1)$$

gdzie:

$W$  – wskaźnik netto wg wzoru 19.4.3.1 *Przepisów klasyfikacji i budowy statków morskich, Część II – Kadłub*, [cm<sup>3</sup>];

$R_e$  – granica plastyczności stali przyjętej do obliczeń, [MPa].

Maksymalną siłę ścinającą dla usztywnień zamiast wzoru 9.4.5.6-2 należy określić wg wzoru:

$$Q_{\max} = 1000Q \text{ [N]} \quad (9.3.4.2.2-1)$$

gdzie:

$Q$  – obciążenie obliczeniowe ustalone wg p. 19.6.3 *Przepisów klasyfikacji i budowy statków morskich, Część II – Kadłub*, [kN]

Wartość ugięcia usztywnień należy określać jak dla belki wieloprzęsłowej zginanej siłami od kół  $Q$  (wg p. 19.6.3 *Przepisów klasyfikacji i budowy statków morskich, Część II – Kadłub*) rozłożonymi w sposób stosowny do rodzaju przewożonych pojazdów i dający maksymalne ugięcia usztywnień

#### 9.3.4.2.3 Wiązary

Należy spełnić wymagania podrozdziału 9.4.7.

Jako obciążenie należy przyjmować obciążenia pod kołami jak dla usztywnień. Należy rozpatrywać realnie mogące wystąpić zestawy obciążeń (położeń samochodów), dające maksymalne momenty gnące i ugięcia wiązarów.

### 9.3.5 Podpory i wiązania ściskane

**9.3.5.1** Wymagania podrozdziału 13.7 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.

**9.3.5.2** Jeżeli jest to możliwe, podpory pokładowe należy umieszczać w jednej linii z podporami wyższymi i niższymi.

**9.3.5.3** Nominalną siłę osiową w podporach pokładowych należy obliczać wg wzoru:

$$P = \sum P_i \text{ [kN]} \quad (9.3.5.3)$$

$P_i$  – 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

### 9.3.5.4 Usztywnienia rozporowe

Siłę ściskającą usztywnienia rozporowe należy obliczyć wg wzoru:

$$P = lbp \text{ [kN]} \quad (9.3.5.4)$$

- $l$  – 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].

### 9.3.6 Wzdłużna wytrzymałość statku

#### 9.3.6.1 Zasady ogólne

##### 9.3.6.1.1 Zastosowanie

**9.3.6.1.1.1** Wymagania p. 9.3.6 mają zastosowanie do statków o długości  $L \geq 24$  m (patrz także p. 9.3.1.1.1). Niezależnie od spełnienia wymagań w zakresie wytrzymałości miejscowej (rozdział 9.3 i 9.4), ostateczne wymiary wiązań wzdłużnych powinny być takie, aby wymagania niniejszego rozdziału w zakresie wytrzymałości wzdłużnej statku na zginanie i działanie sił poprzecznych zostały spełnione. Niniejsze wymagania mają zastosowanie do statków o nieograniczonym rejonie żeglugi. Wytrzymałość statków mających jedną lub więcej cech podanych niżej podlega specjalnemu rozpatrzeniu przez PRS:

- stosunki wymiarowe:  $L_0/B < 5$ ;  $B/H > 2,5$ ,
- współczynnik pełnotliwości  $\delta < 0,6$ ,
- duże otwory pokładowe,
- niekonwencjonalny typ statku.

Mogą być wymagane obliczenia wytrzymałości z zastosowaniem modelu MES.

**9.3.6.1.1.2** 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. W innych zastosowaniach, gdy naprężenia od zginania kadłuba wywołane obciążeniami falowymi są sumowane z naprężeniami określonymi w ramach miejscowej wytrzymałości konstrukcji, przepisowe wartości falowych momentów zginających i sił poprzecznych mogą być zredukowane do wartości:

$$M_{wr} = 0,59M_w \text{ [kNm]} \quad (9.3.6.1.1.2-1)$$

$$Q_{wr} = 0,59Q_w \text{ [kN]} \quad (9.3.6.1.1.2-2)$$

$M_w$  – pionowy falowy moment zginający kadłub, [kNm], określony według 9.3.6.5;

$Q_w$  – falowy składnik sił poprzecznych w kadłubie, [kN], określony według 9.3.6.10.

Zmodyfikowane wartości falowych obciążeń kadłuba odpowiadają wartościom naprężeń dopuszczalnych, określonych w niniejszej części *Przepisów*

**9.3.6.1.1.3** Wymiary wiązań wzdłużnych kadłuba uwzględnianych w wytrzymałości wzdłużnej statku powinny odpowiadać wymaganiom odnoszącym się do stateczności wiązań, podanym w 9.4.

**9.3.6.1.1.4** Dla statków o małym współczynniku pełnotliwości, dużej prędkości i dużym rozchyleniu burt na dziobie, PRS może wymagać zachowania określonego wskaźnika przekroju w poszczególnych przekrojach części dziobowej kadłuba w oparciu o wzdłużny rozkład, obliczonych zgodnie z 9.3.6.4 i 9.3.6.5, momentów gnących na wodzie spokojnej i na fali. Dla statków o prędkości  $v > 17$  węzłów postępowanie takie jest obowiązkowe.

**9.3.6.1.1.5** Wytrzymałość wzdłużna statków o względnie małej szerokości będzie rozpatrywana odrębnie przez PRS z uwzględnieniem wypadkowego oddziaływania zginania w płaszczyźnie poziomej i pionowej.

**9.3.6.1.1.6** Dla statków 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. Sposób określenia ww. naprężeń będzie odrębnie rozpatrywany przez PRS.

**9.3.6.1.1.7** W ocenie wytrzymałości kadłuba należy uwzględnić zakładane zmiany sposobu zabalastowania statku podczas rejsu, powodujące zmiany obciążenia kadłuba.

### 9.3.6.1.2 Oznaczenia

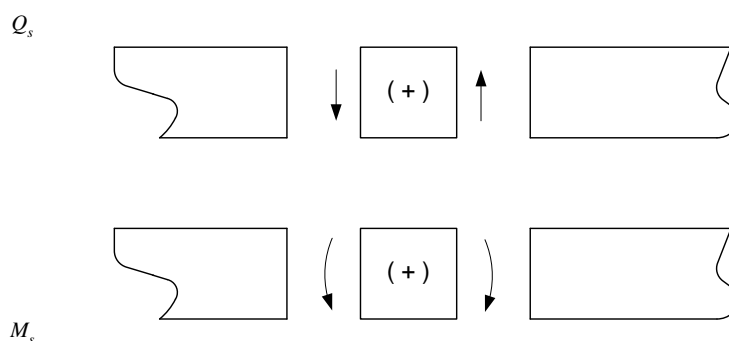
- $C_w$  – współczynnik falowy określony zgodnie z 9.5.2.2.
- $I_n$  – moment bezwładności poprzecznego przekroju kadłuba dla poziomej osi obojętnej, [cm<sup>4</sup>].
- $M_s$  – obliczeniowy moment zginający kadłub na wodzie spokojnej, [kNm].
- $M_w$  – pionowy falowy moment zginający kadłub, [kNm].
- $Q_s$  – 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, [cm<sup>3</sup>].
- $z_n$  – 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].
- $\tau$  – dopuszczalne naprężenia styczne, [MPa].
- $\sigma$  – dopuszczalne naprężenia normalne, [MPa].

### 9.3.6.2 Moment zginający kadłub na wodzie spokojnej

#### 9.3.6.2.1 Zasady ogólne

**9.3.6.2.1.1** Wartości momentu zginającego kadłub,  $M_s$ , i siły poprzecznej,  $Q_s$ , na wodzie spokojnej należy obliczać w każdym przekroju poprzecznym kadłuba dla projektowych stanów załadowania. Jako projektowe wartości  $M_s$  i  $Q_s$  należy przyjąć wartości największe spośród obliczonych jak określono wyżej, z uwzględnieniem wymagań punktu 9.3.6.2.3.

W obliczeniach obowiązuje zasada, że obciążenia kadłuba zwrócone w dół są dodatnie i że obciążenia są całkowane od rufowego końca statku w stronę dziobu. Przyjęte w niniejszej części *Przepisów* dodatnie siły poprzeczne i momenty zginające pokazano na rys. 9.3.6.2.1.1.



Rys. 9.3.6.2.1.1. Dodatnie  $M_s$  i  $Q_s$

**9.3.6.2.1.2** Jako projektowe stany załadowania należy uwzględnić stany minimalnej i maksymalnej wytrzymałości oraz stany dające maksymalne momenty zginające i siły tnące przy ugięciu i przegięciu kadłuba.

#### 9.3.6.2.2 Minimalna wartość momentu zginającego na wodzie spokojnej

Minimalną wartość momentu zginającego kadłub na wodzie spokojnej należy określać wg wzoru:

$$M_s = M_{s0} = 0,006 L_0^3 B (\delta + 0,7) \text{ [kNm]} \quad (9.3.6.2.2)$$

Jeżeli wartość bezwzględna momentu zginającego kadłub na wodzie spokojnej,  $M_{sl}$ , obliczona dla stanu balastowego oraz ewentualnie dla stanów z nierównomiernym, po długości statku, rozkładem obciążeń 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  $x = +0,5L_0$ .

### 9.3.6.3 Falowy moment zginający

#### 9.3.6.3.1 Pionowy falowy moment zginający

Obliczeniową wartość pionowego falowego momentu zginającego,  $M_w$ , w rejonie  $-0,1L_0 < x < +0,15L_0$  dla ujemnego momentu (w ugięciu) należy określać wg wzoru:

$$M_w = M_{wu} = -0,11 C_w L_0^2 B (\delta + 0,7) \text{ [kNm]} \quad (9.3.6.3.1-1)$$

a dla momentu dodatniego (w wygięciu) wg wzoru:

$$M_w = M_{ww} = 0,19 C_w L_0^2 B \delta \text{ [kNm]} \quad (9.3.6.3.1-2)$$

Należy przyjmować wartości:

$\delta \geq 0,6$ ;

$C_w$  – patrz 9.5.2.2.

W stanach portowych należy stosować wartości falowego momentu zginającego równe 40% wartości określonych wyżej w przypadku wód nieosłoniętych i równe 10% w przypadku wód osłoniętych.

#### 9.3.6.3.2 Rozkład wartości $M_w$ po długości statku

**9.3.6.3.2.1** Jeżeli do przeprowadzenia analizy naprężeń lub kontroli stateczności wiązań wymagane jest określenie przebiegu wartości falowego momentu zginającego,  $M_w$ , po długości statku, to przyjęte wartości  $M_{wx}$  powinny być nie mniejsze niż wartości obliczone wg wzoru:

$$M_{wx} = k_{wm} M_w, \text{ [kNm]} \quad (9.3.6.3.2.1)$$

$M_w$  – określono w 9.3.6.3.1,

$k_{wm} = 1,0$  w rejonie  $-0,1L_0 \leq x \leq 0,1L_0$ ,

$k_{wm} = 0,0$  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. 9.3.6.3.2.2).

**9.3.6.3.2.2** Jeżeli statek rozwija względnie dużą prędkość lub ma znaczne rozchylenie burt w części dziobowej, to we wzorze 9.3.6.3.2.1 dla rejonu  $x \geq 0,1L_0$  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.

$$C_{av} = \frac{C_v v}{\sqrt{L_0}} \quad (9.3.6.3.2.2-1)$$

$$C_{af} = \frac{C_v v}{\sqrt{L_0}} + \frac{F_{pd} - F_{wd}}{L_0 z_{pd}} \quad (9.3.6.3.2.2-2)$$

$C_v = \frac{\sqrt{L_0}}{50}$ , przy czym należy przyjmować  $C_v \leq 0,2$ ;

$L_0$  i  $v$  – patrz 1.2.2;

$F_{pd}$  – pole powierzchni rzutu części pokładu górnego na płaszczyznę poziomą z uwzględnieniem pokładu dziobówki znajdującej się w rejonie o współrzędnych  $x \geq 0,3L_0$ , [m<sup>2</sup>];

$F_{wd}$  – pole powierzchni części wodnicy przy zanurzeniu,  $T$ , w rejonie o współrzędnych  $x \geq 0,3L_0$ , [m<sup>2</sup>];

$z_{pd}$  – odległość pionowa od letniej wodnicy ładunkowej do linii rzutowanego pokładu, mierzona na  $PD$ , [m].

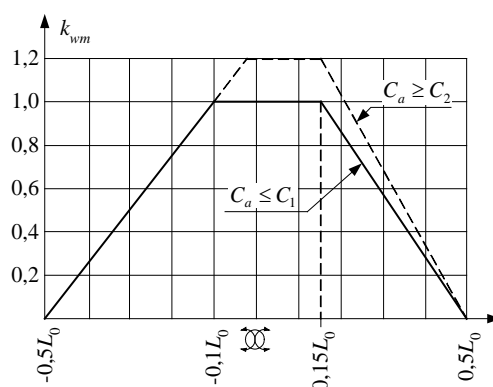
Wartości współczynników  $k_{wm}$  poprawione ze względu na  $C_a = C_{av}$  mają zastosowanie przy określaniu momentów zginających w stanach załadowania statku, wywołujących ugięcie lub wygięcie kadłuba na wodzie spokojnej.

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 9.3.6.3.2.1 (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. 9.3.6.3.2.2. Rozkład wartości współczynnika  $k_{wm}$  po długości statku

### 9.3.6.3.3 Poziomy falowy moment zginający

Obliczeniową wartość poziomego falowego momentu zginającego,  $M_{wh}$ , po długości statku należy określać według wzoru:

$$M_{wh} = 0,22 L_0^{9/4} (T + 0,3B) \delta \left( 1 + \cos \frac{2\pi x}{L_0} \right) \text{ [kNm]} \quad (9.3.6.3.3)$$

$x$  – współrzędna wg rys. 9.1.2.1.

### 9.3.6.4 Wytrzymałość kadłuba na działanie sił poprzecznych

#### 9.3.6.4.1 Zastosowanie

Wymagania podrozdziału 9.3.6.4 odnoszą się do statków z pojedynczymi lub podwójnymi burtami, bez efektywnych grodzi wzdłużnych. Wytrzymałość na działanie sił poprzecznych statku z efektywnymi grodziami wzdłużnymi podlega odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

### 9.3.6.4.2 Poprzeczne obciążenia kadłuba na wodzie spokojnej

#### 9.3.6.4.2.1 Stany załadowania

Siły poprzeczne na wodzie spokojnej,  $Q_s$ , należy określić w każdym przekroju poprzecznym kadłuba po długości statku, z uwzględnieniem stanów załadowania i stanów balastowych wymaganych w 9.3.6.2.1.2. Określenie znaków – patrz rys. 9.3.6.2.1.1.

#### 9.3.6.4.2.2 Rozkład sił poprzecznych po długości statku

Obliczeniowe wartości sił poprzecznych na wodzie spokojnej, obliczone według 9.3.6.4.2.1, powinny spełniać następujące warunki:

$$Q_s \geq k_s Q_{so} \quad [\text{kN}] \quad (9.3.6.4.2.2-1)$$

$$Q_{so} = \frac{5M_{so}}{L_0} \quad [\text{kN}] \quad (9.3.6.4.2.2-2)$$

$M_{so}$  – moment zginający na wodzie spokojnej – patrz 9.3.6.2.3, [kNm];

$k_s = 0$  dla  $x = -0,5 L_0$  i  $x = +0,5 L_0$ ,

$k_s = 1$  dla  $-0,35 L_0 \leq x \leq -0,2 L_0$ ,

$k_s = 0,8$  dla  $-0,1 L_0 \leq x \leq +0,1 L_0$ ,

$k_s = 1$  dla  $+0,2 L_0 \leq x \leq +0,35 L_0$ .

W rejonach pośrednich wartości  $k_s$  zmieniają się liniowo.

Jeżeli podział przestrzenny statku daje małe możliwości różnicowania rozkładu ładunku i balastu, to wartości  $Q_{so}$  można nie uwzględniać przy określaniu podstawy wyznaczania wymiarów wiązań kadłuba.

### 9.3.6.5 Falowe obciążenia poprzeczne

9.3.6.5.1 Wartości obliczeniowe falowych sił poprzecznych, działających w poszczególnych poprzecznych przekrojach kadłuba po długości statku, należy obliczać wg wzorów:

$$Q_{wp} = 0,3k_p C_w L_0 B (\delta + 0,7) \quad [\text{kN}] \quad (9.3.6.5.1-1)$$

$$Q_{wn} = -0,3k_n C_w L_0 B (\delta + 0,7), \quad [\text{kN}] \quad (9.3.6.5.1-2)$$

$Q_{wp}$  – 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.

Dodatnie siły wewnętrzne pokazano na rys. 9.3.6.2.1.1.

$k_p = 0$  dla  $x = -0,5 L_0$  i  $x = +0,5 L_0$ ,

$k_p = \frac{1,59\delta}{\delta + 0,7}$  dla  $-0,3 L_0 \leq x \leq -0,2 L_0$ ,

$k_p = 0,7$  dla  $-0,1 L_0 \leq x \leq +0,1 L_0$ ,

$k_p = 1,0$  dla  $0,2 L_0 \leq x \leq +0,35 L_0$ .

W rejonach pośrednich wartości  $k_p$  zmieniają się liniowo (patrz rys. 9.3.6.5.1).

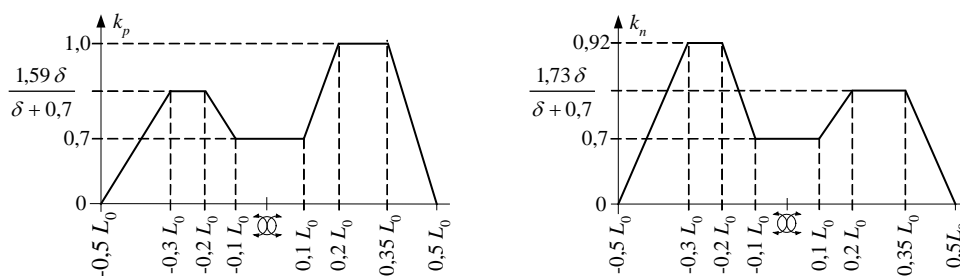
$k_n = 0$  dla  $x = -0,5 L_0$  i  $x = +0,5 L_0$ ,

$k_n = 0,92$  dla  $-0,3 L_0 \leq x \leq -0,2 L_0$ ,

$k_n = 0,70$  dla  $-0,1 L_0 \leq x \leq +0,1 L_0$ ,

$k_n = \frac{1,73\delta}{\delta + 0,7}$  dla  $0,2 L_0 \leq x \leq 0,35 L_0$ .

W rejonach pośrednich wartości  $k_n$  zmieniają się liniowo (patrz rys. 9.3.6.5.1).



Rys. 9.3.6.5.1. Współczynniki  $k_p$  i  $k_n$

**9.3.6.5.2** Dla statków rozwijających duże prędkości lub mających duże rozchylenie burt w części dziobowej we wzorach 9.3.6.5.1-1 i 9.3.6.5.12 należy zastosować 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 9.3.6.5.1 przez współczynnik  $r$  podany niżej:

- |                               |           |   |
|-------------------------------|-----------|---|
| dla $C_a < c_1$ i $C_a > c_2$ | $r = 1,0$ | w rejonie $-0,5 L_0 \leq x \leq +0,5 L_0$ ; |
| dla $c_1 \leq C_a \leq c_2$   | $r = 1,0$ | w rejonie $x \leq +0,1 L_0$ ,               |
|                               | $r = 1,2$ | w rejonie $0,2 L_0 \leq x \leq +0,35 L_0$ , |
|                               | $r = 1,0$ | 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 9.3.6.3.2.2.

## 9.4 Wymiarowanie wiązań

### 9.4.1 Zasady ogólne

**9.4.1.1** W podrozdziale 9.4 podano zasady obliczeń wytrzymałości, sztywności i stateczności konstrukcji kadłuba statku z laminatów lub zbudowanego z zastosowaniem konstrukcji przekładkowych.

**9.4.1.2** Sposób obliczania odkształceń i naprężeń w konstrukcji kadłuba statku oraz poziomych naprężeń powodujących wyboczenie płyt, usztywnień poszycia, wiązarów i całego kadłuba statku (wytrzymałość ogólna) określono w punktach 9.4.2 do 9.4.9.

**9.4.1.3** Wymagane wartości współczynników bezpieczeństwa elementów konstrukcji kadłuba ze względu na poziom naprężeń oraz kryteria sztywności, które konstrukcja kadłuba poddana działaniu obciążeń obliczeniowych powinna spełnić, podano w p. 9.4.3.12, 9.4.4.3.4, 9.4.4.3.5 (dla płyt) i w p. 9.4.8 (usztywnienia poszycia, wiązary i podpory).

**9.4.1.4** Obliczenia wytrzymałościowe wymagane w podrozdziale 9.4 bazują na wartościach parametrów wytrzymałościowych wyznaczonych w badaniach laboratoryjnych próbek wykonywanych równolegle z procesem wytwarzania kadłubów, tzn. odwzorowujących cechy konstrukcji.

W próbach laboratoryjnych mierzy się parametry wytrzymałości i sztywności elementów konstrukcji (wytrzymałość na rozciąganie, zastępcza wartość modułu Younga płyt, usztywnień, itp.).

**9.4.1.5** PRS może wyrazić zgodę na wykonanie obliczeń wytrzymałościowych z zastosowaniem wartości parametrów wytrzymałościowych (moduł Younga, współczynnik Poissona, itp.) podane w p. 9.4.2, 9.4.5 i 9.4.7.

### 9.4.2 Własności pojedynczej warstwy laminatu

#### 9.4.2.1 Zasady ogólne

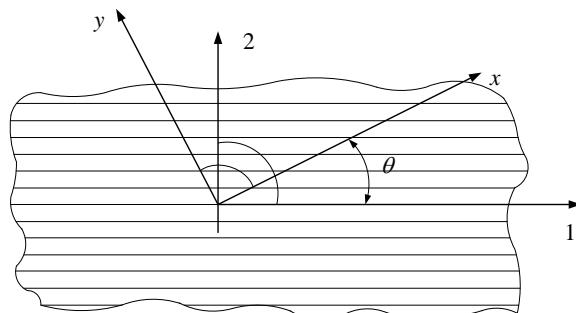
W p. 9.4.2 określono sposób określania sztywności pojedynczej warstwy laminatu wzmocnionego matą, tkaniną lub włóknem 1-kierunkowym, wzdłuż dowolnego kierunku w jej płaszczyźnie.

Wartości tych sztywności są wykorzystywane w p. 9.4.3 do określenia sztywności i naprężeń w płytach budowanych z pojedynczych warstw, stosując tzw. „klasyczną teorię laminatów”

### 9.4.2.2 Symbole i układy współrzędnych

Zakłada się, że główny kierunek wzmocnienia tkaniną lub wzmocnienia 1-kierunkowego pokrywa się z kierunkiem „1” pokazanym na rys. 9.4.2.2.

Na rys. 9.4.2.2 pokazano także lokalny układ współrzędnych  $x, y$ , w którym określone są w p. 9.4.3 sztywności płyt utworzonych z wielu pojedynczych warstw.



Rys. 9.4.2.2

Znaczenie symboli stosowanych w p. 9.4.2:

- $c_m$  – udział masowy (względny) wzmocnienia w pojedynczej warstwie laminatu;
- $c_v$  – udział objętościowy (względny) wzmocnienia w pojedynczej warstwie laminatu;
- $c_0$  – współczynnik określający udział włókien osnowy w całkowitej zawartości wzmocnienia pojedynczej warstwy laminatu wzmocnionego tkaniny (patrz p. 9.4.2.7);
- $E_1$  – moduł Younga pojedynczej warstwy ze wzmocnieniem 1-kierunkowym w kierunku włókien;
- $E_2$  – tak jak  $E_1$ , ale w kierunku poprzecznym w stosunku do kierunku włókien;
- $\nu_{12}, \nu_{21}$  – współczynnik Poissona pojedynczej warstwy laminatu w układzie współrzędnych „12”;
- $G_{12}$  – moduł postaciowy pojedynczej warstwy laminatu w układzie współrzędnych „12”;
- $\rho_{zb}$  – gęstość masowa wzmocnienia laminatu (np. w  $\text{kg/m}^3$ );
- $\rho_{zy}$  – gęstość masowa spoiwa (żywicy) laminatu (np. w  $\text{kg/m}^3$ );
- $E_{zb1}$  – moduł Younga materiału włókien wzmocnienia w kierunku włókien;
- $E_{zb2}$  – tak jak  $E_{zb1}$ , ale w kierunku poprzecznym w stosunku do włókien;
- $E_{zy}$  – moduł Younga spoiwa (żywicy);
- $\nu_{z12}$  – współczynnik Poissona materiału włókien wzmocnienia;
- $\nu_{zy}$  – współczynnik Poissona spoiwa (żywicy);
- $G_{zy}$  – moduł postaciowy spoiwa (żywicy);
- $G_{zb}$  – moduł postaciowy materiału wzmocnienia;
- $E_x$  – moduł Younga pojedynczej warstwy laminatu w kierunku osi  $x$  (rys. 9.4.2.2)
- $E_y$  – tak jak  $E_x$ , w kierunku osi  $y$ ;
- $\nu_{xy}$  – współczynnik Poissona pojedynczej warstwy laminatu w układzie współrzędnych  $xy$  (rys. 9.4.2.2);
- $\alpha$  – kąt pomiędzy osiami  $x$  i 1 (rys. 9.4.2.2).

### 9.4.2.3 Grubości pojedynczej warstwy laminatu

Względna objętość wzmocnienia w laminacie jest obliczana ze wzoru:

$$c_v = \frac{c_m}{c_m + (1 - c_m) \frac{\rho_{zb}}{\rho_{zy}}} \quad (9.4.2.3-1)$$

Grubość,  $t_1$ , pojedynczej warstwy laminatu jest obliczana ze wzoru:

$$t_1 = m_{zb} \left( \frac{1}{\rho_{zb}} + \frac{1 - c_m}{c_m \cdot \rho_{zy}} \right) \quad (9.4.2.3-2)$$

gdzie:

- $m_{zb}$  – masa powierzchniowa wzmocnienia w pojedynczej warstwie laminatu (np. w  $\text{kg/m}^2$ ).



#### 9.4.2.4 Sposób określania sztywności pojedynczej warstwy laminatu

Jeżeli wartości modułów Younga i współczynników Poissona pojedynczej warstwy laminatu nie zostały określone doświadczalnie, to można zastosować ich wartości oszacowane obliczeniowo wg następującego algorytmu:

- obliczane są parametry sztywności fikcyjnej pojedynczej warstwy laminatu, wzmocnionej 1-kierunkowo włóknem zastosowanym w laminacie użytym do budowy kadłuba statku, o takiej samej zawartości  $c_v$  jak wzmocnienie rzeczywiste (matą, tkaniną) (p. 9.4.2.5);
- obliczane są parametry sztywności pojedynczej warstwy laminatu wzmocnionego matą (p. 9.4.2.6);
- obliczane są parametry sprężyste pojedynczej warstwy laminatu wzmocnionego tkaniną (p. 9.4.2.7), a następnie jej macierze sztywności i podatności (p. 9.4.2.8);
- obliczane są macierze sztywności i podatności pojedynczej warstwy laminatu w układzie współrzędnych  $xy$  (rys. 9.4.2.2) – wg p. 9.4.2.9.

Jeżeli parametry materiału wzmocnienia i spoiwa nie są znane z badań doświadczalnych lub nie są podawane przez producenta, to w obliczeniach można stosować dane podane w tabelach p. 9.4.2.4-1 i 9.4.2.4-2.

**Tabela 9.4.2.4-1**  
**Parametry wzmocnień**

Materiał wzmocnienia	Szkło E	Szkło S/R	Węgiel HT/HS	Węgiel IM	Węgiel HM	Włókno aramidowe
Gęstość, [g/cm <sup>3</sup> ]	2,54	2,50	1,77 – 1,8	1,8	1,8 – 1,9	1,45
Moduł Younga w kier. włókien $E_{zb1}$ , [MPa]	73000	86000	230000	290000	370000	130000
Moduł Younga w kier. poprzecznym do włókien $E_{zb2}$ , [MPa]	73000	86000	14000	11900	9000	5400
Moduł postaciowy $G_{zb}$ , [MPa]	30000	35000	23000	21300	20000	12000
Współczynnik Poissona, [-]	0,18	0,18	0,27	0,25	0,23	0,35
Wytrzymałość na rozciąganie $R_m$ [MPa]	2000÷3000	3000÷4000	3500÷4000	4700÷5600	2600÷4000	3000

**Tabela 9.4.2.4-2**  
**Parametry spoiw**

Rodzaj spoiwa	Żywica poliestrowa i winyloestrowa	Żywica epoksydowa
Gęstość $\rho_{zy}$ , [g/cm <sup>3</sup> ]	1,2	1,2
Moduł Younga $E_{zy}$ , [MPa]	3000	3000
Moduł postaciowy $G_{zy}$ , [MPa]	1140	1100
Współczynnik Poissona $\nu_{zy}$ , [-]	0,32	0,35

#### 9.4.2.5 Parametry pojedynczej warstwy laminatu wzmocnionej 1-kierunkowo

Moduł Younga w kierunku włókien wzmocnienia (kierunek wzmocnienia to kierunek „1” na rys. 9.4.2.2):

$$E_1 = c_v E_{zb1} + (1 - c_v) E_{zy} \quad (9.4.2.5-1)$$

Moduł Younga w kierunku poprzecznym do kierunku włókien (w kierunku „2” na rys. 9.4.2.2):

$$E_2 = \frac{E_{zy}}{1 - \nu_{zy}^2} \cdot \frac{1 + 0,85c_v^2}{(1 - c_v)^{1,25} + c_v \frac{E_{zy}}{E_{zb2}(1 - \nu_{zy}^2)}} \quad (9.4.2.5-2)$$

Współczynnik Poissona w układzie współrzędnych „12” (rys. 9.4.2.2):

$$\nu_{12} = c_v \nu_{z12} + (1 - c_v) \nu_{zy} \quad (9.4.2.5-3)$$

$$\nu_{21} = \nu_{12} \frac{E_2}{E_1} \quad (9.4.2.5-4)$$

Moduł postaciowy:

$$G_{12} = G_{zy} \frac{1 + 0,6c_v^{0,5}}{(1 - c_v)^{1,25} + \frac{E_{zy}}{E_{zb1}} c_v} \quad (9.4.2.5-5)$$

gdzie:

$$G_{zy} = \frac{E_{zy}}{2(1 + \nu_{zy})} \quad (9.4.2.5-6)$$

#### 9.4.2.6 Parametry pojedynczej warstwy laminatu wzmocnionej matą

Taki materiał uważany jest za izotropowy w płaszczyźnie wzmocnienia. Moduł Younga w dolnych kierunkach  $x, y$  (rys. 9.4.2.2):

$$E_m = E_x = E_y = \frac{3}{8} E_1 + \frac{5}{8} E_2 \quad (9.4.2.6-1)$$

gdzie:

$E_1, E_2$  – wartości modułów Younga obliczane wg wzorów 9.4.2.5-1 i 9.4.2.5-2, dla zawartości  $c_v$  wzmocnienia włóknem jednokierunkowym takiej, jak w przypadku wzmocnienia matą.

Współczynnik Poissona:

$$\nu_m = 0,3 \quad (9.4.2.6-2)$$

Moduł postaciowy:

$$G_m = \frac{E_m}{2(1 + \nu_m)} \quad (9.4.2.6-3)$$

#### 9.4.2.7 Parametry sprężyste pojedynczej warstwy laminatu wzmocnionej tkaniną

Tkanina zrównoważona ma formę włókien głównych ułożonych w kierunku „1”, zwanych osnową, i poprzecznych do nich włókien (tzn. w kierunku „2” – patrz rys. 9.4.2.2) o mniejszej masie powierzchniowej, zwanych wątkiem.

Wartości modułów Younga  $E_{t1}$  i  $E_{t2}$  w kierunkach „1” i „2” (rys. 9.4.2.2) zależą od współczynnika  $c_0$ , który jest ilorazem gęstości masowej włókien osnowy (w  $\text{kg/m}^2$ ) do gęstości masowej całego wzmocnienia, w pojedynczej warstwie.

Aby wyznaczyć wartości  $E_{t1}$  i  $E_{t2}$ , należy obliczyć wartości współczynników  $a_1, a_2$  i  $a_{12}$ :

$$a_1 = c_0 \frac{E_1}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} + (1 - c_0) \frac{E_2}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} \quad (9.4.2.7-1)$$

$$a_2 = c_0 \frac{E_2}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} + (1 - c_0) \frac{E_1}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} \quad (9.4.2.7-2)$$

$$a_{12} = \frac{\nu_{21} E_1}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} \quad (9.4.2.7-3)$$

gdzie:

$E_1, E_2, \nu_{12}, \nu_{21}$  – parametry pojedynczej warstwy wzmocnionej 1-kierunkowo, odpowiadającej pojedynczej warstwie wzmocnionej tkaniną (patrz p. 9.4.2.5).

Moduł Younga w kierunku osnowy:

$$E_{t1} = a_1 - \frac{a_{12}^2}{a_2} \quad (9.4.2.7-4)$$

Moduł Younga w kierunku wiatku:

$$E_{t12} = a_2 - \frac{a_{12}^2}{a_1} \quad (9.4.2.7-5)$$

Moduł postaciowy w płaszczyźnie warstwy:

$$G_{t12} = G_{12} \quad (9.4.2.7-6)$$

gdzie:

$G_{12}$  – wyznaczyć wg p. 9.4.2.5.

Współczynniki Poissona:

$$\nu_{t12} = \frac{a_{12}}{a_2} \quad (9.4.2.7-7)$$

$$\nu_{t21} = \nu_{t12} \frac{E_{t12}}{E_{t1}} \quad (9.4.2.7-8)$$

#### 9.4.2.8 Macierze sztywności i podatności pojedynczej warstwy laminatu w układzie współrzędnych „12”

Zależności pomiędzy naprężeniami i odkształceniami pojedynczej warstwy laminatu, w układzie współrzędnych „12” (rys. 9.4.2.2), mogą być zapisane w następujących formach macierzowych:

$$\left\{ \begin{matrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{matrix} \right\}_{12} = [\kappa]_{12} \cdot \left\{ \begin{matrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{matrix} \right\}_{12} = \begin{bmatrix} \kappa_{11} & \kappa_{12} & 0 \\ \kappa_{21} & \kappa_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \kappa_{33} \end{bmatrix} \left\{ \begin{matrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{matrix} \right\} \quad (9.4.2.8-1)$$

$$\left\{ \begin{matrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{matrix} \right\}_{12} = [U]_{12} \cdot \left\{ \begin{matrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{matrix} \right\}_{12} = \begin{bmatrix} U_{11} & U_{12} & 0 \\ U_{21} & U_{22} & 0 \\ 0 & 0 & U_{33} \end{bmatrix} \left\{ \begin{matrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{matrix} \right\} \quad (9.4.2.8-2)$$

gdzie:

- $\sigma_1$  – naprężenia normalne w kierunku osi „1”;
- $\sigma_2$  – naprężenia normalne w kierunku osi „2”;
- $\tau_{12}$  – naprężenia styczne;
- $\varepsilon_1$  – odkształcenia normalne w kierunku osi „1”;
- $\varepsilon_2$  – odkształcenia normalne w kierunku osi „2”;
- $\gamma_{12}$  – kąt odkształcenia postaciowego;
- $[\kappa]_{12}$  – macierz sztywności;
- $[U]_{12}$  – macierz podatności.

Wzory do obliczania współczynników macierzy sztywności podano w tabeli 9.4.2.8-1, a współczynników macierzy podatności – w tabeli 9.4.2.8-2.

**Tabela 9.4.2.8-1**  
**Współczynnik macierzy sztywności**

	Pojedyncza warstwa laminatu wzmocniona 1-kierunkowo	Pojedyncza warstwa laminatu wzmocniona matą	Pojedyncza warstwa laminatu wzmocniona tkaniną
$\kappa_{11}$	$E_1 / (1 - \nu_{12}\nu_{21})$	$E_m / (1 - \nu_m^2)$	$E_{t1} / (1 - \nu_{t12}\nu_{t21})$
$\kappa_{22}$	$E_2 / (1 - \nu_{12}\nu_{21})$	$E_m / (1 - \nu_m^2)$	$E_{t2} / (1 - \nu_{t12}\nu_{t21})$
$\kappa_{12}$	$\nu_{21}E_1 / (1 - \nu_{12}\nu_{21})$	$\nu_m E_m / (1 - \nu_m^2)$	$\nu_{t21}E_{t1} / (1 - \nu_{t12}\nu_{t21})$
$\kappa_{21}$	$\nu_{12}E_2 / (1 - \nu_{12}\nu_{21})$	$\nu_m E_m / (1 - \nu_m^2)$	$\nu_{t12}E_{t2} / (1 - \nu_{t12}\nu_{t21})$
$\kappa_{33}$	$G_{12}$	$G_m$	$G_{t12}$

gdzie:

$E_1, E_2, \nu_{12}, \nu_{21}, G_{12}$  – określono w p. 9.4.2.5;

$E_m, \nu_m, G_m$  – określono w p. 9.4.2.6;

$E_{t1}, E_{t2}, \nu_{t12}, \nu_{t21}, G_{t12}$  – określono w p. 9.4.2.7.

**Tabela 9.4.2.8-2**  
**Współczynnik macierzy podatności**

	Pojedyncza warstwa laminatu wzmocniona 1-kierunkowo	Pojedyncza warstwa laminatu wzmocniona matą	Pojedyncza warstwa laminatu wzmocniona tkaniną
$U_{11}$	$1/E_1$	$1/E_m$	$1/E_{t1}$
$U_{22}$	$1/E_2$	$1/E_m$	$1/E_{t2}$
$U_{12}$	$-\nu_{21}/E_2$	$-\nu_m/E_m$	$-\nu_{t21}/E_{t2}$
$U_{21}$	$-\nu_{12}/E_1$	$-\nu_m/E_m$	$-\nu_{t12}/E_{t1}$
$U_{33}$	$1/G_{12}$	$1/G_m$	$1/G_{t12}$

gdzie: znaczenie symboli – jak w tabeli 9.4.2.8-1.

### 9.4.2.9 Macierze sztywności i podatności pojedynczej warstwy laminatu w dowolnym układzie współrzędnych

Do analizy sztywności i wytrzymałości płyt laminatu wg wymagań p. 9.4.3 konieczne jest wyznaczenie macierzy sztywności,  $[\kappa]_{xy}$ , i macierzy podatności,  $[U]_{xy}$ , pojedynczej warstwy laminatu w dowolnie usytuowanym w jej płaszczyźnie układzie współrzędnych  $xy$  (rys. 9.4.2.2).

W praktyce osie  $x, y$  są często równoległe lub prostopadłe do osi globalnego układu współrzędnych związanego ze statkiem.

Wyrazy macierzy  $[\kappa]_{xy}$ , i  $[U]_{xy}$  zależą od macierzy  $[\kappa]_{12}$  i  $[U]_{12}$  (patrz p. 9.4.2.8) i kąta  $\theta$  (rys. 9.4.2.2). W zapisie macierzowym tę zależność można zapisać następująco:

$$[\kappa]_{xy} = [A][\kappa]_{12}[A']^{-1} \quad (9.4.2.9-1)$$

$$[U]_{xy} = [A'][U]_{12}[A]^{-1} \quad (9.4.2.9-2)$$

gdzie: indeks górny „-1” oznacza macierz odwrotną;

$$[A] = \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & \sin^2 \theta & 2 \cos \theta \sin \theta \\ \sin^2 \theta & \cos^2 \theta & -2 \cos \theta \sin \theta \\ -\cos \theta \sin \theta & \cos \theta \sin \theta & \cos^2 \theta - \sin^2 \theta \end{bmatrix} \quad (9.4.2.9-3)$$

$$[A'] = \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & \sin^2 \theta & \cos \theta \sin \theta \\ \sin^2 \theta & \cos^2 \theta & -\cos \theta \sin \theta \\ -2 \cos \theta \sin \theta & 2 \cos \theta \sin \theta & \cos^2 \theta - \sin^2 \theta \end{bmatrix} \quad (9.4.2.9-4)$$

**Uwaga:** w przypadku warstwy wzmocnionej matą lub tkaniną o kierunkach wątku/osnowy pokrywających się z kierunkami  $x, y$  można przyjąć wprost:

$$[\kappa]_{xy} = [\kappa]_{12} \quad (9.4.2.9-5)$$

$$[U]_{xy} = [U]_{12} \quad (9.4.2.9-6)$$

### 9.4.2.10 Odształcenia i naprężenia niszczące pojedynczą warstwę laminatu

Do oceny wytrzymałości płyt, usztywnień i wiązarów z laminatu lub konstrukcji przekładkowych potrzebne są wartości odształceń i naprężeń niszczących pojedynczą warstwę laminatu w układzie współrzędnych „12” (rys. 9.4.2.2), związanym z kierunkiem wzmocnienia 1-kierunkowego, kierunkami osnowy i wątku tkaniny lub dowolnie usytuowanym w płaszczyźnie wzmocnienia matą.

Wartości naprężeń niszczących pojedynczą warstwę laminatu należy określać ze wzorów:

$$\sigma_{n1} = C_{zy} E'_1 \varepsilon_{n1} \quad (9.4.2.10-1)$$

$$\sigma_{n2} = C_{zy} E'_2 \varepsilon_{n2} \quad (9.4.2.10-1)$$

$$\tau_{n12} = C_{zy} G'_{12} \gamma_{n12} \quad (9.4.2.10-3)$$

gdzie:

$C_{zy}$  – współczynnik o wartościach zależnych od rodzaju spoiwa:

$C_{zy} = 0,8$  w przypadku żywic poliestrowych;

$C_{zy} = 0,9$  w przypadku żywic esterowinyloowych;

$C_{zy} = 1,0$  w przypadku żywic epoksydowych;

$E'_1$  – wartość modułu Younga warstwy laminatu w kierunku „1” (rys. 9.4.2.2) czyli  $E_1$ ,  $E_m$  lub  $E_{r1}$  – w zależności od rodzaju wzmocnienia (symbole użyte w tabeli 9.4.2.8-1 i wyjaśnione poniżej tej tabeli).

**Tabela 9.4.2.10**  
**Wartości odkształceń niszczących**

Typ wzmocnienia	Rodzaj odkształceń		Typ włókien wzmocnienia					
			Szkło E	Szkło S/R	Węgiel HS/HT	Węgiel IM	Węgiel HM	Aramid <sup>3)</sup>
1-kierunkowe	Rozciąganie	$\varepsilon_{n1}$	0,025	0,03	0,012	0,014	0,007	0,017
		$\varepsilon_{n2}^{2)}$	0,0042	0,0035	0,0085	0,0065	0,004	0,0065
	Ściskanie	$\varepsilon_{n1}$	0,016	0,016	0,0095	0,0075	0,0045	0,0035
		$\varepsilon_{n2}$	0,0155	0,011	0,023	0,022	0,021	0,02
	Ścinanie	$\gamma_{n12}$	0,018	0,015	0,016	0,017	0,018	0,02
Mata	Rozciąganie	$\varepsilon_{n1}$	0,015	–	–	–	–	–
		$\varepsilon_{n2}$	0,015	–	–	–	–	–
	Ściskanie	$\varepsilon_{n1}$	0,015	–	–	–	–	–
		$\varepsilon_{n2}$	0,015	–	–	–	–	–
	Ścinanie	$\gamma_{n12}$	0,02	–	–	–	–	–
Tkanina	Rozciąganie	$\varepsilon_{n1}$	0,018	0,023	0,01	0,008	0,0045	0,014
		$\varepsilon_{n2}$	0,018	0,023	0,01	0,008	0,0045	0,014
	Ściskanie	$\varepsilon_{n1}$	0,018	0,015	0,0085	0,008	0,005	0,0042
		$\varepsilon_{n2}$	0,018	0,015	0,0085	0,008	0,005	0,0042
	Ścinanie	$\gamma_{n12}$	0,015	0,015	0,0155	0,016	0,0185	0,023

Uwagi:

1. Naprężenia i odkształcenia niszczące laminat w formie ścinania międzywarstwowego będą analizowane przez PRS odrębnie. Przy typowych proporcjach wymiarowych płyt stosowanych w konstrukcjach kadłubów statków wytrzymałość w warunkach ścinania międzywarstwowego jest wystarczająca, tzn. wcześniej następuje zniszczenie od odkształceń/naprężeń w płaszczyźnie wzmocnienia. Patrz także p. 9.4.3.6.
2. Kryterium  $\varepsilon_{n2}$  na rozciąganie włókien jednokierunkowych może być dla wszystkich rodzajów włókien przekroczone, jeżeli w obliczeniach założono, że  $\sigma(\varepsilon_{n2}) = 0$ , a włókna nie mają kontaktu z wodą i innymi płynami. Tam gdzie jest kontakt i  $\varepsilon_2$  na rozciąganie przekracza wartość 0,002, warstwa jednokierunkowa powinna być wewnętrzną warstwą laminatu. Warunek:  $\sigma(\varepsilon_{n2}) = 0$  dla rozciągania oznacza, że na kierunku 2 dla wzmocnienia jednokierunkowego powinny znajdować się włókna przenoszące obciążenia zamiast wzmocnienia jednokierunkowego.
3. W przypadku ściskania warstwy wzmocnienia aramidowego w kierunku wzdłuż włókien (wzmocnienia jednokierunkowe, tkaniny), gdy warstwy wzmocnień aramidowych są rozproszone w warstwach wzmocnień szklanych i/lub węglowych, PRS akceptuje przekroczenie dopuszczalnych odkształceń równe  $1/3 \varepsilon_{n1}$  dla ściskania (przekroczenie  $\varepsilon_{n1}$  dla ściskania oznacza wyboczenie włókien w sprężystym spoiwie – dla technologicznie typowych zawartości włókien w laminacie) przy zachowaniu warunku, że obciążenie niszczące odniesione do wszystkich warstw (całej grubości laminatu), tzn. moment gnący i siła ścisająca są 3-krotnie większe od obciążeń projektowych. Szczegółowy algorytm takich obliczeń będzie odrębnie rozpatrywany przez PRS.

Podane w tabeli 9.4.2.10 wielkości  $\varepsilon_{n1}$ ,  $\varepsilon_{n2}$ ,  $\gamma_{n12}$  są odkształceniami względnymi określonymi następująco:

$$\varepsilon_{n1} = \frac{R_1}{E_1}; \quad \varepsilon_{n2} = \frac{R_2}{E_2}; \quad \gamma_{n12} = \frac{R_{t12}}{G_{12}}$$

gdzie:

$R_1, R_2$  – wytrzymałość na rozciąganie lub ściskanie warstwy wzmocnienia na kierunku 1 i 2;

$R_{t12}$  – wytrzymałość na ściskanie warstwy wzmocnienia;

$E_1, E_2$  – moduł Younga warstwy w kierunku 1 lub 2 przy rozciąganiu lub ścisaniu,

$G_{12}$  – moduł postaciowy warstwy wzmocnienia.

W przypadku gdy badania wytrzymałościowe płyt próbnych wykażą niższe wartości  $\varepsilon_{n1}$ ,  $\varepsilon_{n2}$ ,  $\gamma_{n12}$  niż to podano w tabeli 9.4.2.10, wówczas do obliczeń należy przyjmować dane z badań.

W przypadku gdy wyniki badań wykażą wyższe parametry laminatu, PRS po rozpatrzeniu może zaakceptować zastosowanie ich do obliczeń.

### 9.4.3 Sztywność i wytrzymałość płyt z laminatu

#### 9.4.3.1 Zasady ogólne i założenia

**9.4.3.1.1** W p. 9.4.3 podane są metody oceny wytrzymałości i sztywności płyt z laminatów lub o budowie przekładkowej, stanowiących poszycie kadłuba, pokładów, grodzi, itp., podlegających lokalnemu obciążeniu w formie ciśnienia wody zaburtowej, ciśnienia cieczy w zbiornikach, obciążeniu pokładów, itp., oraz przenoszących naprężenia od zginania ogólnego kadłuba.

**9.4.3.1.2** Zakłada się, że płyta składa się z pewnej liczby pojedynczych warstw (patrz p. 9.4.3.4) lub jest konstrukcją przekładkową.

**9.4.3.1.3** W p. 9.4.3 podano praktyczne wzory do szacowania maksymalnych wartości momentów zginających w płycie zginanej wskutek obciążenia ciśnieniem, wartości sił ścinających (istotne w przypadku płyt o budowie przekładkowej) oraz ugięć płyty.

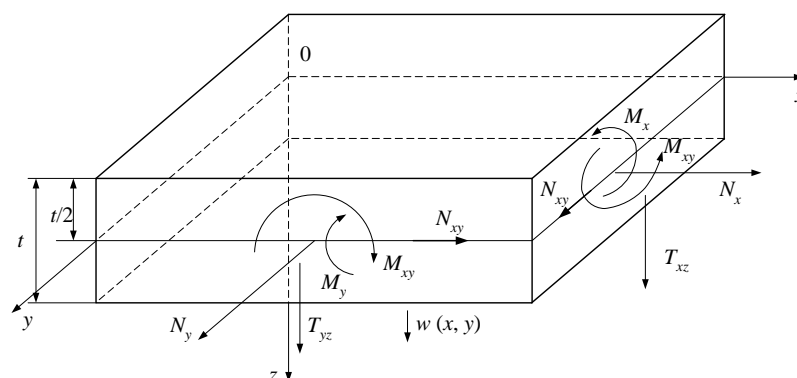
Podano także kryteria dla naprężeń i ugięć płyt w warunkach zginania lokalnego.

#### 9.4.3.2 Siły wewnętrzne w płycie

Siły wewnętrzne w płycie, rozłożone w sposób ciągły wzdłuż jej krawędzi bocznych, zredukowane do płaszczyzny leżącej w środku grubości płyty, pokazano na rys. 9.4.3.2.

Na rys. 9.4.3.2 pokazano także układ współrzędnych  $xyz$  związany z płytą.

Zwroty sił wewnętrznych pokazanych na rys. 9.4.3.2 oraz ugięcie  $w(x, y)$  środkowej warstwy płyty, należy traktować jako dodatnie.



Rys. 9.4.3.2

Znaczenie sił wewnętrznych pokazanych na rys. 9.4.3.2 jest następujące:

$N_x, N_y$  – siły normalne (podłużne) w kierunkach osi  $x$  i  $y$ ;

$N_{xy}$  – siły styczne;

$M_x, M_y$  – momenty zginające o wektorach zwróconych w kierunkach  $y$  i  $-x$ ;

$M_{xy}$  – momenty skręcające (od naprężeń  $\tau_{xy}$  i  $\tau_{yx}$ );  
 $T_{xz}, T_{yz}$  – siły poprzeczne (ścinające).

### 9.4.3.3 Odształcenia płyty

Obowiązują następujące oznaczenia odkształceń płyty:

$\varepsilon_{x0}, \varepsilon_{y0}$  – odkształcenia normalne w kierunkach osi  $x$  i  $y$  w warstwie środkowej płyty;

$\gamma_{xy0}$  – kąt odkształcenia postaciowego w warstwie środkowej płyty;

$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy}$  – odkształcenia w warstwie o współrzędnej  $z$  (układ współrzędnych  $0xyz$  pokazano na rys. 9.4.3.2);

$\kappa_x = -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}$  – krzywizna odkształconej płyty w płaszczyźnie  $xz$ ;

$\kappa_y = -\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}$  – krzywizna odkształconej płyty w płaszczyźnie  $yz$ ;

$\kappa_{xy} = -2\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}$  – odkształcenia związane ze skręcaniem płyty.

Obowiązują następujące zależności określające odkształcenia warstwy płyty o współrzędnej  $z$ :

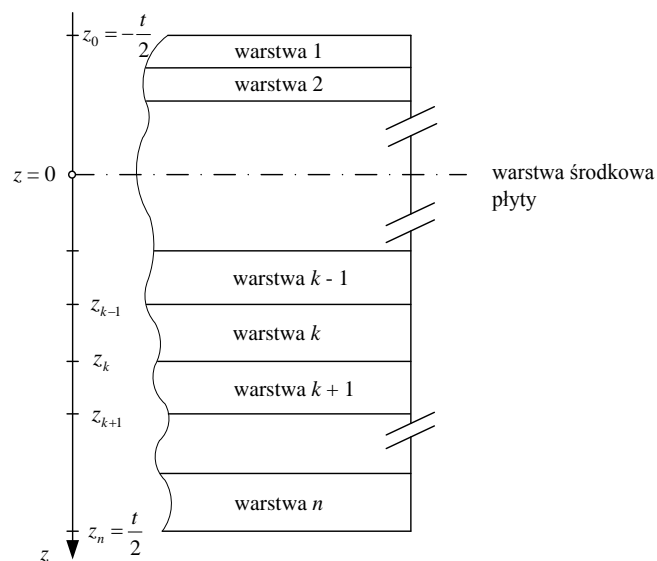
$$\varepsilon_x = \varepsilon_{x0} + \kappa_x z \quad (9.4.3.3-1)$$

$$\varepsilon_y = \varepsilon_{y0} + \kappa_y z \quad (9.4.3.3-2)$$

$$\gamma_{xy} = \gamma_{xy0} + \kappa_{xy} z \quad (9.4.3.3-3)$$

### 9.4.3.4 Założony układ warstw płyty

Zakłada się, że płyta o grubości  $t$  składa się z  $n$  pojedynczych warstw (rys. 9.4.3.4).



Rys. 9.4.3.4. Założony układ warstw płyty

### 9.4.3.5 Zależność między siłami wewnętrznymi a odkształceniami płyty

Obowiązuje następująca zależność (w zapisie macierzowym):

$$\begin{Bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \\ M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [C] & [B] \\ [B] & [D] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_{x0} \\ \varepsilon_{y0} \\ \gamma_{xy0} \\ \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_z \end{Bmatrix} \quad (9.4.3.5-1)$$

gdzie:

$N_x, N_y, N_{xy}, M_x, M_y, M_{xy}$  – siły wewnętrzne (patrz rys. 9.4.3.2);

$\varepsilon_{x0}, \varepsilon_{y0}, \gamma_{xy0}, \kappa_x, \kappa_y, \kappa_z$  – odkształcenia zdefiniowane w p. 9.4.3.3;

$[C], [B], [D]$  – macierze o rozmiarach  $3 \times 3$ , określające sztywność płyty o budowie warstwowej, których wyrazy wyznacza się wg wzorów określonych niżej.

$$C_{ij} = \sum_{k=1}^n (\kappa_{ij,xy})_k \cdot (z_k - z_{k-1}) \quad (9.4.3.5-2)$$

gdzie:

$n, z_k, z_{k-1}$  – pokazano na rys. 9.4.3.2;

$(\kappa_{ij,xy})_k$  – wyrazy macierzy sztywności  $[\kappa]_{xy}$   $k$ -tej warstwy laminatu, określone w układzie współrzędnych  $xy$  (rys. 9.4.3.2), wg wzoru 9.4.2.9-1;

$i = 1, 2, 3$ ;

$j = 1, 2, 3$ ;

$$B_{ij} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n (\kappa_{ij,xy})_k (z_k^2 - z_{k-1}^2) \quad (9.4.3.5-3)$$

gdzie:

znaczenie symboli – jak we wzorze 9.4.3.5-2;

$$D_{ij} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^n (\kappa_{ij,xy})_k (z_k^3 - z_{k-1}^3) \quad (9.4.3.5-4)$$

gdzie:

znaczenie symboli – jak we wzorze 9.4.3.5-2.

Odształcenia warstwy środkowej płyty w funkcji sił wewnętrznych otrzymuje się poprzez transformację wzoru 9.4.3.5-1:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_{x0} \\ \varepsilon_{y0} \\ \gamma_{xy0} \\ \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [C] & [B] \\ [B] & [D] \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \\ M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} \quad (9.4.3.5-5)$$

Wartość odkształceń w środku grubości  $k$ -tej warstwy laminatu oblicza się ze wzoru (na podstawie wzorów 9.4.3.3-1 do 9.4.3.3-3 i rys. 9.4.3.2):

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}_k = \begin{Bmatrix} \varepsilon_{x0} \\ \varepsilon_{y0} \\ \gamma_{xy0} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_{xy} \end{Bmatrix} \cdot \frac{z_{k-1} + z_k}{2} \quad (9.4.3.5-6)$$



Odształcenia w układzie współrzędnych „12”, określającym charakterystyczne kierunki wzmocnienia  $k$ -tej warstwy laminatu (rys. 9.4.2.2), należy określić ze wzoru:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix}_k = [A']^{-1} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}_k \quad (9.4.3.5-7)$$

gdzie:

$[A']$  – określono równaniem 9.4.2.9-4;

$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}_k$  – patrz równanie 9.4.3.5-6.

Naprężenia w  $k$ -tej warstwy laminatu w układzie współrzędnych „12” (rys. 9.4.2.2) należy określić ze wzoru:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{Bmatrix}_k = [\kappa]_{12,k} \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix}_k \quad (9.4.3.5-8)$$

gdzie:

$[\kappa]_{12,k}$  – macierz sztywności  $k$ -tej warstwy określona jako  $[\kappa]_{12}$  w p. 9.4.2.8.

Naprężenia  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\tau_{12}$  służą do oceny wytrzymałości  $k$ -tej warstwy laminatu poprzez ich porównanie do wartości określonych wzorami 9.4.2.10-1 do 9.4.2.10-3, podzielonych przez współczynniki bezpieczeństwa określone w p. 9.4.3.12.

**Uwaga:** w przypadku płyty o pojedynczych warstwach ułożonych symetrycznie względem jej płaszczyzny środkowej  $[B]$  jest macierzą o zerowych wyrazach.

### 9.4.3.6 Ścinanie międzywarstwowe płyty

Poziom naprężeń ścinających  $\tau_{zx}$  i  $\tau_{zy}$  pomiędzy poszczególnymi warstwami płyty zależy od sił wewnętrznych  $T_{xz}$  i  $T_{yz}$  (rys. 9.4.3.2).

Obowiązują uwagi podane na końcu p. 9.4.2.10.

Do wstępnych oszacowań maksymalnego poziomu naprężeń  $\tau_{zx}$  i  $\tau_{zy}$  można przyjmować:

$$\tau_{zx} < 1,5T_{xz} / t \quad (9.4.3.6-1)$$

$$\tau_{zy} < 1,5T_{yz} / t \quad (9.4.3.6-2)$$

### 9.4.3.7 Sztywność płyty z laminatu w jej płaszczyźnie

Zastępcze wartości modułów Younga płyty w kierunkach wzdłużnych osi  $x$  i  $y$  (rys. 9.4.3.2) należy obliczać ze wzorów:

$$E_x = \frac{1}{C'_{11} \cdot t} \quad (9.4.3.7-1)$$

$$E_y = \frac{1}{C'_{22} \cdot t} \quad (9.4.3.7-2)$$

gdzie:

$C'_{11}$  i  $C'_{22}$  – wyrazy macierzy kwadratowej występującej w równaniu 9.4.3.5-5, o indeksach 11 i 22;

$t$  – grubość płyty z laminatu (rys. 9.4.3.2).

Zastępczą wartość modułu postaciowego (ścianania) płyty w płaszczyźnie  $xy$  (rys. 9.4.3.2) należy obliczać ze wzoru:

$$G_{xy} = \frac{1}{C'_{33} \cdot t} \quad (9.4.3.7-3)$$

gdzie:

$C'_{33}$  – wyraz macierzy kwadratowej występującej w równaniu 9.4.3.5-5, o indeksie 33;

$t$  – grubość płyty z laminatu (rys. 9.4.3.2).

Współrzędne  $z = z_n$  warstwy obojętnej płyty, przy jej rozciąganiu/ściskaniu w kierunkach osi  $x$  i  $y$ , należy obliczać ze wzorów (oś  $z$  pokazano na rys. 9.4.3.2):

$$z_{nx} = \frac{\sum_{k=1}^n E_{xk} t_k (z_k + z_{k-1}) / 2}{\sum_{k=1}^n E_{xk} t_k} \quad (9.4.3.7-4)$$

$$z_{ny} = \frac{\sum_{k=1}^n E_{yk} t_k (z_k + z_{k-1}) / 2}{\sum_{k=1}^n E_{yk} t_k} \quad (9.4.3.7-5)$$

gdzie:

$E_{xk}, E_{yk}$  – zastępcze wartości modułów Younga pojedynczej warstwy laminatu o wartościach odpowiednio równych  $1/U_{xy11}$  i  $1/U_{xy22}$  ( $U_{xy11}$  i  $U_{xy22}$  – wyrazy macierzy  $[U]_{xy}$  określonej równaniem 9.4.2.9-2, o indeksach 11 i 12);

$z_{k-1}, z_k$  – patrz rys. 9.4.3.2;

$t_k = z_k - z_{k-1}$ .

Uwagi:

1) w przypadku płyty złożonej z identycznych warstw wzmocnionych matą można przyjmować:

$$E_x = E_y = E_m \quad (9.4.3.7-6)$$

$$G_{xy} = G_m \quad (9.4.3.7-7)$$

2) w przypadku płyty o pojedynczych warstwach ułożonych symetrycznie względem jej powierzchni środkowej, złożonej z warstw wzmocnionych matą lub tkaniną o kierunkach osnowy/wątku pokrywających się z kierunkiem  $x$  lub  $y$  można przyjmować:

$$E_x = \frac{1}{t} \sum_{k=1}^n (E_{ii})_k \cdot (z_k - z_{k-1}) \quad (9.4.3.7-8)$$

$(E_{ii})_k = E_{t1}$  – gdy kierunek osnowy  $k$ -tej warstwy pokrywa się z kierunkiem  $x$ ;

$(E_{ii})_k = E_{t2}$  – gdy kierunek osnowy  $k$ -tej warstwy pokrywa się z kierunkiem  $y$ ;

$(E_{ii})_k = E_m$  – gdy warstwa jest wzmocniona matą.

$E_y$  należy obliczać analogicznie jak  $E_x$ .

$$G_{xy} = \frac{1}{t} \sum_{k=1}^n (G)_{k-1} \cdot (z_k - z_{k-1}) \quad (9.4.3.7-9)$$

gdzie:

$(G)_k$  oznacza moduł postaciowy  $G_{t12}$   $k$ -tej warstwy wzmocnionej tkaniną lub moduł postaciowy  $G_m$   $k$ -tej warstwy wzmocnionej matą.

3) w przypadku płyty o pojedynczych warstwach ułożonych symetrycznie względem jej powierzchni środkowej, można przyjmować:

$$z_{nx} = z_{ny} = 0 \quad (9.4.3.7-10)$$

(oś  $z$  pokazano na rys. 9.4.3.2).

### 9.4.3.8 Sztywność zginania płyty z laminatu

Sztywności płyty z laminatu stosowane do obliczania ugięć płyt od momentów zginających,  $M_x$  i  $M_y$ , (rys. 9.4.3.2) mają wartości:

$$EI_x = \frac{1}{D'_{11}} \quad (9.4.3.8-1)$$

$$EI_y = \frac{1}{D'_{22}} \quad (9.4.3.8-2)$$

gdzie:

$D'_{11}, D'_{22}$  wyrazy macierzy kwadratowej występującej w równaniu 9.4.3.5-5, o indeksach 44 i 55.

Uwagi:

1) w przypadku płyty złożonej z identycznych warstw wzmocnionych matą można przyjmować:

$$EI_x = EI_y = \frac{E_m \cdot t^3}{12(1 - \nu_m^2)} \quad (9.4.3.8-3)$$

( $E_m, \nu_m$  – określono w p. 9.4.2.6).

2) w przypadku płyty o pojedynczych warstwach ułożonych symetrycznie względem jej powierzchni środkowej, złożonej z warstw wzmocnionych matą lub tkaniną o kierunkach osnowy/wątku pokrywających się z kierunkiem x lub y można przyjmować:

$$EI_x = \sum_{k=1}^n \frac{1}{3} \frac{(E_{ii})_k}{(1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21})} \cdot (z_k^3 - z_{k-1}^3) \quad (9.4.3.8-4)$$

gdzie:

$k, (E_{ii})_k, z_k, z_{k-1}$  – tak jak w p. 9.4.3.7;

$\nu_{12}, \nu_{21}$  – odpowiednio  $\nu_{t12}$  i  $\nu_{t21}$  w przypadku warstwy wzmocnionej tkaniną lub

$\nu_{12} = \nu_{21} = \nu_m$  – w przypadku warstwy wzmocnionej matą ( $\nu_{t12}, \nu_{t21}, \nu_m$  – określono w p. 9.4.2.8).

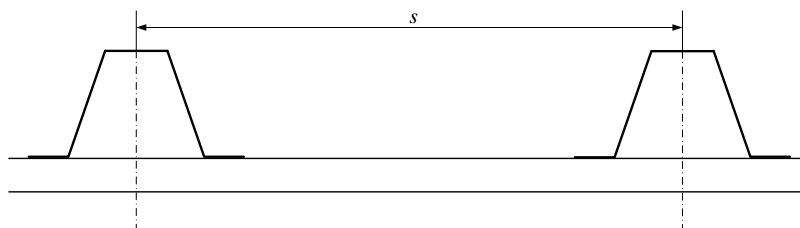
$EI_y$  należy obliczać analogicznie jak  $EI_x$ .

### 9.4.3.9 Wymiary płyt i warunki brzegowe przy zginaniu lokalnym

**9.4.3.9.1** Efektywną rozpiętość,  $s$ , płyty w kierunku prostopadłym do osi usztywnień należy określać jako odległość pomiędzy środkami usztywnień w formie teowników lub kątników lub pomiędzy osiami przekrojów usztywnień „trapezowych” (rys. 9.4.3.9.1).

W przypadku poszyc zakrzywionych,  $s$  należy określać wg p. 9.4.3.9.3.

W przypadku gdy geometria i grubość środków usztywnienia trapezowego ma istotny wpływ na obniżenie momentów gnących poszycia, PRS może indywidualnie dopuścić mniejszą szerokość,  $s$ , płyty niż to pokazano na rys. 9.4.3.9.1.



Rys. 9.4.3.9.1

Współczynnik wydłużenia  $a_w$  płyty, uwzględniany przy obliczaniu sił wewnętrznych i ugięcia płyty (punkty 9.4.3.10 i 9.4.3.11) należy wyznaczyć ze wzoru:

$$a_w = \frac{s}{l} \quad (9.4.3.9.1-1)$$

gdzie:

$s$  – określono wyżej;

$l$  – odległość pomiędzy podpartymi krawędziami płyty, mierzona wzdłuż osi usztywnień; zakłada się, że  $l \geq s$ .

W przypadku płyt o własnościach ortotropowych należy stosować skorygowaną wartość  $a_w$ , obliczaną wg wzoru:

$$a_{wk} = \frac{s}{l} \sqrt[4]{\frac{EI_y}{EI_x}} \quad (9.4.3.9.1-2)$$

gdzie:

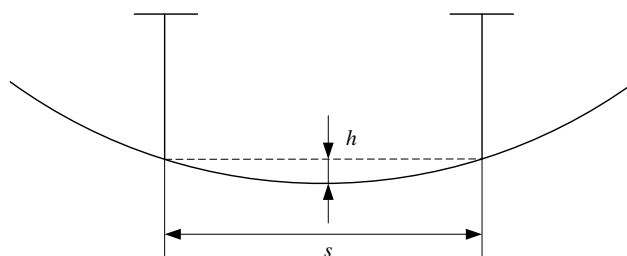
$s, l$  – jak we wzorze 9.4.3.9.1-1;

$EI_x, EI_y$  – określono w p. 9.4.3.8.

**9.4.3.9.2** W przypadku fragmentów poszyc o regularnej budowie (stała wartość odstepu usztywnień i wiązarów), obciążonych w formie ciśnienia, można przyjmować do obliczeń, że krawędzie pojedynczej płyty (pomiędzy sąsiednimi usztywnieniami i wiązarami) są utwierdzone.

W przypadkach innych zalecane jest, aby przyjmować przegubowe podparcie krawędzi pojedynczej płyty lub wykonywać obliczenia odkształceń i sił wewnętrznych w płytach poszyc, stosując model MES konstrukcji kadłuba.

**9.4.3.9.3** W przypadku poszyc zakrzywionych efektywną rozpiętość  $s$  płyty należy określać zgodnie z rys. 9.4.3.9.3.



Rys. 9.4.3.9.3

Współczynnik korygujący  $r_k$  stosowany do obliczania sił wewnętrznych w zakrzywionym poszyciu (p. 9.4.3.10) należy określać wg wzoru (dla  $0,03 < h/s < 0,1$ ).

$$r_k = 1,15 - 5 \frac{h}{s} \quad (9.4.3.9.3-1)$$

gdzie:

$h, s$  – wg rys. 9.4.3.9.3.

Należy przyjmować:

$$r_k \geq 0,65 \quad (9.4.3.9.3-2)$$

### 9.4.3.10 Siły wewnętrzne i naprężenia w płytach zginanych

**9.4.3.10.1** Wzory podane w p. 9.4.3.10.2 do 9.4.3.11 mają zastosowanie do płyt o budowie monolitycznej lub przekładkowej, obciążonych ciśnieniem, z pominięciem efektów membranowych (sprężenie rozciągania/ściskania ze zginaniem).

Obliczenia projektowe konstrukcji kadłuba z uwzględnieniem efektów membranowych będą rozpatrywane przez PRS odrębnie.

**9.4.3.10.2** Maksymalna wartość  $M_{\max}$  momentu zginającego,  $M_x$ , w płycie (rys. 9.4.3.2; oś  $x$  ma kierunek wzdłuż efektywnej rozpiętości,  $s$ , płyty – patrz rys. 9.4.3.9.1 i 9.4.3.9.3) występuje:

- w przypadku płyty o krawędziach utwierdzonych: przy osiach usztywnień poszycia w środkowych rejonach dłuższych krawędzi płyty;
- w przypadku płyty o krawędziach podpartych przegubowo: w środku geometrycznym płyty.

Wartość  $M_{\max}$  należy obliczać ze wzoru:

$$M_{\max} = c_M \frac{p s^2}{12} r_k \quad (9.4.3.10.2)$$

gdzie:

$c_M$  – współczynnik o wartościach zależnych od  $s/l$ , podanych w tabeli 9.4.3.10.2;

$p$  – ciśnienie obliczeniowe;

$s$  – efektywna rozpiętość określana wg p. 9.4.3.9.1;

$r_k$  – współczynnik korygujący wg. p. 9.4.3.9.3.

**Tabela 9.4.3.10.2**

**Wartości  $c_M$**

Wartości $\frac{1}{a_w} = \frac{l}{s}$	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	3	4	5	$\infty$
$c_M$ – dla płyt o krawędziach podp. przegubowo	0,58	0,76	0,90	1,04	1,14	1,22	1,42	1,48	1,48	1,5
$c_M$ – dla płyt o krawędziach utwierdzonych	0,62	0,76	0,88	0,94	0,98	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

**Uwaga:**  $c_M$  dla pośrednich wartości  $a_w = s/l$  określać stosując interpretację liniową.

**9.4.3.10.3** Naprężenia,  $\sigma_x$ , wynikające z momentu,  $M_{\max}$ , (patrz p. 9.4.3.10.2) należy wyznaczać wg algorytmu:

a) wyznaczyć odkształcenia  $\varepsilon_x$ :

$$\varepsilon_x = \frac{M_{\max}}{EI_x} z \quad (9.4.3.10.3-1)$$

gdzie:

$M_{\max}$  – moment zginający wg p. 9.4.3.10.2;

$EI_x$  – sztywność zginania płyty wg p. 9.4.3.8;

$z$  – odległość od warstwy obojętnej (położenie warstwy obojętnej określać wg p. 9.4.3.7).

Przyjąć:

$$\varepsilon_y = \gamma_{xy} = 0 \quad (9.4.3.10.3-2)$$

b) obliczyć odkształcenia  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ ,  $\gamma_{12}$  w układach współrzędnych „12” poszczególnych warstw płyty (rys. 9.4.2.2) wg wzoru 9.4.3.5-7;

c) określić naprężenia  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\tau_{12}$  w układach współrzędnych „12” poszczególnych warstw płyty wg wzoru 9.4.3.5-8;

d) wyznaczyć odkształcenia i naprężenia niszczące poszczególne warstwy laminatu wg p. 9.4.2.10.

**Uwaga:** w przypadku płyt o symetrycznej budowie, rozważanych w końcowych częściach p. 9.4.3.7 i 9.4.3.8, można przyjmować wprost:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_x \text{ lub } \varepsilon_1 = \varepsilon_y \quad (9.4.3.10.3-3)$$

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_y \text{ lub } \varepsilon_2 = \varepsilon_x \quad (9.4.3.10.3-4)$$

w zależności od kierunku osnowy/wątku.

**9.4.3.10.4** Maksymalną wartość siły ścinającej płytę (siły  $T_{xz}$  i  $T_{yz}$  na rys. 9.4.3.2), występującą przy usztywnieniach płyty w środkowej części dłuższej krawędzi płyty, należy obliczać ze wzoru:

$$N_{\max} = c_N p s \quad (9.4.3.10.4-1)$$

gdzie:

$c_N$  – współczynnik o wartościach zależnych od  $s/l$ , podanych w tabeli 9.4.3.10.4;

$p$ ,  $s$  – jak w p. 9.4.3.10.2.

**Tabela 9.4.3.10.4**

**Wartości  $c_N$**

Wartości $\frac{1}{a_w} = \frac{l}{s}$	1	1,2	1,4	1,6	1,8	$\geq 2$
$c_N$ – dla płyt o krawędziach utwierdzonych	0,42	0,46	0,48	0,49	0,50	0,50
$c_N$ – dla płyt o krawędziach podpartych przegubowo	0,42	0,46	0,48	0,49	0,50	0,50

Uwaga:  $c_N$  dla pośrednich wartości  $a_w = s/l$  określać stosując interpretację liniową.

Naprężenia styczne stosowane w ocenie wytrzymałości rdzenia konstrukcji przekładkowej, wykonanego z materiału izotropowego (np. z pianki), należy obliczać ze wzoru:

$$\tau = \frac{N_{\max}}{t_r + 0,5(t_1 + t_2)} \quad (9.4.3.10.4-2)$$

gdzie:

$N_{\max}$  – siła poprzeczna wg wzoru 9.4.3.10.4-1;

$t_r$  – grubość rdzenia;

$t_1, t_2$  – grubość okładzin.

#### 9.4.3.11 Ugięcie płyty

Ugięcie środka płyty obciążonej na całej powierzchni ciśnieniem,  $p$ , należy obliczać ze wzoru:

$$f_p = c_f \frac{p s^4}{12EI_x} \quad (9.4.3.11)$$

gdzie:

$c_f$  – współczynnik o wartościach zależnych od  $s/l$ , podanych w tabeli 9.4.3.11;

$p, s$  – jak w p. 9.4.3.10.2;

$EI_x$  – sztywność zginania płyty wg p. 9.4.3.8.

**Tabela 9.4.3.11**

**Wartości  $c_f$**

Wartości $\frac{1}{a_w} = \frac{l}{s}$	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	3	$\geq 4$
$c_f$ – dla płyt o krawędziach utwierdzonych	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
$c_f$ – dla płyt o krawędziach podpartych przegubowo	0,04	0,06	0,08	0,09	0,10	0,11	0,13	0,14

Uwaga:  $c_f$  dla pośrednich wartości  $a_w = s/l$  określać stosując interpretację liniową.

#### 9.4.3.12 Kryteria sztywności i wytrzymałości płyt

**9.4.3.12.1** Płyty poszycia kadłuba powinny spełniać kryterium sztywności określone w p. 9.4.3.12.2, kryteria wytrzymałości określone w p. 9.4.3.12.3 i 9.4.3.12.4 oraz kryterium stateczności określone w p. 9.4.4.3.4 i 9.4.4.3.5.

**9.4.3.12.2** Maksymalna wartość ugięcia,  $f_p$ , poszycia pomiędzy sąsiednimi usztywnieniami, pod wpływem ciśnienia o wartości obliczeniowej określonej w p. 9.5, powinna spełniać warunek:

$$\frac{f_p}{s} \leq c_p \quad (9.4.3.12.2)$$

gdzie:

$s$  – efektywna rozpiętość płyty określona w p. 9.4.3.9.1 i 9.4.3.9.3;

$c_p$  – współczynnik o wartościach:

$c_p = 0,015$  – w przypadku płyt z laminatu,

$c_p = 0,01$  – w przypadku płyt o budowie przekładkowej.

Wartości ugięcia,  $f_p$ , należy obliczać stosując metody mechaniki technicznej i teorię laminatów. W przypadku płyt prostokątnych poddanych obciążeniu ciśnieniem  $p = \text{const}$  na całej powierzchni,  $f_p$  można obliczać wg wzoru 9.4.3.11.

PRS, po odrębnym rozpatrzeniu, może wyrazić zgodę na zastosowanie większych wartości  $c_p$  od określonych wyżej, do pewnych fragmentów konstrukcji kadłuba.

**9.4.3.12.3** Kryterium wytrzymałości płyt z laminatu lub okładzin konstrukcji przekładkowej polega na porównaniu wartości odkształceń lub naprężeń z ich wartościami powodującymi zniszczenie.

Po określeniu sił wewnętrznych w płycie (rys. 9.4.3.2) należy określić odkształcenia w poszczególnych warstwach płyty w układzie współrzędnych „12” (rys. 9.4.2.2) stosując kolejno równania 9.4.3.5-5 do 9.4.3.5-7.

**Uwaga:** w równaniu 9.4.3.5-5 siły  $N_x$ ,  $N_y$  i  $N_{xy}$  zazwyczaj wynikają ze zginania wiązarów (p. 9.4.7) lub zginania ogólnego kadłuba (p. 9.4.9). Siły  $M_x$ ,  $M_y$  i  $M_{xy}$  wynikają ze zginania lokalnego płyt.

W przypadku punktów w środkowym rejonie płyty, w kierunku jej długości  $l$ :

$M_y = M_{xy} = 0$  – w punktach krawędzi podpartych przez usztywnienia;

$M_{xy} = 0$  – w punktach środkowych płyty (dodatkowo:  $M_y = 0$  gdy  $l/s > 2$ ).

Każde z obliczonych odkształceń  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ ,  $\gamma_{12}$  w każdej z warstw laminatu powinno być nie większe niż 1/3 wartości niszczących, określonych w p. 9.4.2.10.

Alternatywnie, wartości naprężeń  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\tau_{12}$  w każdej warstw laminatu, obliczone wg równania 9.4.3.5-8, powinny być nie większe od 33% naprężeń odpowiednio równych  $\sigma_{n1}$ ,  $\sigma_{n2}$ ,  $\tau_{n12}$ , obliczonych wg równań 9.4.2.10-1 do 9.4.2.10-3.

Poziom naprężeń,  $\tau_{zx}$  i  $\tau_{zy}$ , (ściskanie międzywarstwowe), obliczany wg p. 9.4.3.6, powinien być nie większy od 20% wartości niszczącej.

**9.4.3.12.4** W przypadku rdzeni płyt o konstrukcji przekładkowej poziom naprężeń,  $\tau$ , obliczanych ze wzoru 9.4.3.10.4-2 powinien być nie większy niż 40% wartości niszczącej, wyznaczonej eksperymentalnie lub podawanej przez producenta.

## 9.4.4 Stateczność płyt

### 9.4.4.1 Zasady ogólne

**9.4.4.1.1** Wymagania p. 9.4.4 dotyczą obliczenia poziomu odkształceń ściskanych lub ścinanych płyt z laminatu (lub przekładkowych), przy których występuje wyboczenie sprężyste, oraz kryteriów, które należy spełnić (p. 9.4.4.3.4 i 9.4.4.3.5).

**9.4.4.1.2** Wyboczenie ma zazwyczaj formę globalnego wygięcia płyty lub marszczenia okładzin płyty przekładkowej. Inne formy wyboczenia płyty o budowie przekładkowej, możliwe do wystąpienia przy specyficznej ich budowie, będą rozpatrywane przez PRS odrębnie.

### 9.4.4.2 Wyboczenie w formie marszczenia okładzin płyt o budowie przekładkowej

**9.4.4.2.1** Możliwość wyboczenia w formie marszczenia okładzin powinna być oceniana w przypadku, gdy przynajmniej jedna z okładzin jest ściskana.

**9.4.4.2.2** W przypadku płyty o budowie przekładkowej z rdzeniem monolitycznym izotropowym (np. w formie pianki) poziom odkształceń względnych (ściskających), przy którym występuje marszczenie, należy obliczać ze wzoru:

$$\varepsilon_c = 0,5 \sqrt[3]{E_{01} E_r G_r} / E_0 \quad (9.4.4.2.2)$$

gdzie:

$E_{01}$  – zastępcza wartość modułu Younga okładziny w warunkach zginania (w kierunku ściskania); w przypadku okładziny zbudowanej z wielu warstw, o budowie zrównoważonej (gdy macierz  $[B]$  określona w p. 9.4.3.5 jest zerowa) można przyjmować  $E_{01}$  jako zastępczą wartość  $E_0$  modułu Younga płyty okładziny w warunkach ściskania (patrz wzory 9.4.3.7-1 i 9.4.3.7-2);

$E_r$  – moduł Younga materiału rdzenia w warunkach ściskania;

$G_r$  – moduł postaciowy materiału rdzenia.

**9.4.4.2.3** W przypadku płyty o budowie przekładkowej, z rdzeniem w formie „plastra miodu”, poziom odkształceń względnych (ściskanych) przy którym występuje marszczenie, należy obliczać ze wzoru:

$$\varepsilon_c = 0,6 \sqrt{E_{01} E_r \frac{t_0}{t_r}} / E_0 \quad (9.4.4.2.3)$$

gdzie:

$E_{01}$ ,  $E_0$ ,  $E_r$  – zdefiniowano w p. 9.4.4.2.1;

$t_0$  – grubość okładziny;

$t_r$  – grubość rdzenia.

### 9.4.4.3 Wyboczenie płyt ściskanych lub ścinanych

**9.4.4.3.1** Globalne wyboczenie płyty o budowie przekładkowej lub monolitycznej może wystąpić w warunkach ściskania lub ścinania.

Wzory do obliczania poziomu odkształceń krytycznych, podane w p. 9.4.4.3.2 i 9.4.4.3.3, mają zastosowanie do płyt o budowie zrównoważonej (nie występuje sprzężenie pomiędzy ściskaniem i zginaniem, tzn. macierz  $[B]$  określona w p. 9.4.3.5 jest zerowa), podpartych na całym obwodzie.

W przypadku płyt o budowie przekładkowej wzory w p. 9.4.4.3.2 i 9.4.4.3.3 mają zastosowanie, gdy spełnione są warunki:

$$0,8 \leq \frac{E_{x,g} \cdot t_g}{E_{x,d} \cdot t_d} < 1,2 \quad (9.4.4.3.1-1)$$

$$0,8 \leq \frac{E_{y,g} \cdot t_g}{E_{y,d} \cdot t_d} \leq 1,2 \quad (9.4.4.3.1-2)$$

gdzie:

$E_{x,g}, E_{x,d}$  – zastępcze wartości modułów Younga okładziny górnej i dolnej w kierunku „x” (wzdłuż boku płyty), obliczane ze wzorów 9.4.3.7-1;

$t_g, t_d$  – grubość okładziny górnej i dolnej;

$E_{y,g}, E_{y,d}$  – tak jak  $E_{x,g}, E_{x,d}$ , w kierunku „y” (wzdłuż drugiego boku płyty).

Jeżeli podane wyżej warunki i ograniczenia nie są spełnione, to poziom odkształceń krytycznych będzie oceniany przez PRS odrębnie.

**9.4.4.3.2** Poziom odkształceń względnych krytycznych (normalnych), przy którym występuje wyboczenie płyty w warunkach 1-kierunkowego ściskania, (rys. 9.4.4.3.2) należy obliczać ze wzoru:

$$\varepsilon_c = \frac{1}{E t} c \left( \frac{\pi}{b} \right)^2 \sqrt{D_{11} \cdot D_{22}} \quad (9.4.4.3.2-1)$$

gdzie:

$E$  – zastępcza wartość modułu Younga płyty w kierunku ściskania (wzdłuż boku o długości  $a$ ), obliczana wg wzoru 9.4.3.7-1 lub 9.4.3.7-2;

$t$  – całkowita grubość płyty monolitycznej lub przekładkowej;

$b$  – długość boku płyty w kierunku prostopadłym do kierunku ściskania;

$D_{11}, D_{22}$  – współczynniki sztywności zginania płyty, obliczone ze wzoru 9.4.3.5-4; kierunki „1” i „2” pokazano na rys. 9.4.4.3.2;

$$c = c_1 + c_2 \cdot \beta$$

$c_1$  – współczynnik o wartościach zależnych od zastępczego współczynnika  $\alpha$  smukłości płyty i sposobu podparcia brzegów płyty, określany wg tabeli 9.4.4.3.2;

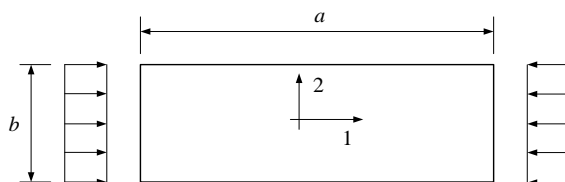
$$\alpha = \frac{a}{b} \sqrt[4]{\frac{D_{22}}{D_{11}}}$$

$c_2 = 2$  – gdy brzegi płyty równoległe do kierunku ściskania są podparte przegubowo;

$c_2 = 2,36$  – gdy brzegi płyty równoległe do kierunku ściskania są utwierdzone;

$$\beta = \frac{D_{12} + 2D_{33}}{\sqrt{D_{11} \cdot D_{22}}}$$

$D_{11}, D_{22}, D_{12}, D_{33}$  – współczynniki sztywności zginania płyty obliczane wg wzoru 9.4.3.5-4



Rys. 9.4.4.3.2. Płyta ściskana 1-kierunkowo



**Tabela 9.4.4.3.2**  
**Wartości współczynnika  $c_1$**

Sposób podparcia brzegów płyty	$\alpha$									
	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	$\geq 3,5$
Wszystkie brzegi podparte przegubowo	7,5	4,3	3,0	2,4	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Brzegi obciążone (ściskane) utwierdzone, brzegi nieobciążone podparte przegubowo	–	–	–	9,5	4,6	3,2	2,8	2,5	2,3	2,2
Brzegi obciążone (ściskane) podparte przegubowo, brzegi nieobciążone utwierdzone	7,5	5,8	5,0	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6
Wszystkie brzegi utwierdzone	–	–	–	9,5	7,1	5,9	5,5	5,1	5,0	4,9

Uwaga: dla pośrednich wartości  $\alpha$  stosować interpolację liniową.

**9.4.4.3.3** Poziom odkształceń kątowych,  $\gamma_c$ , przy którym następuje wyboczenie płyty ścinanej (rys. 9.4.4.3.3), należy obliczać ze wzoru:

$$\gamma_c = \frac{1}{Gt} c \left( \frac{\pi}{b_1} \right)^2 \sqrt[4]{D_{11} \cdot D_{22}} \quad (9.4.4.3.3)$$

gdzie:

$G$  – zastępcza wartość modułu postaciowego płyty obliczana wg wzoru 9.4.3.7-3;

$t, D_{11}, D_{22}$  – określono w p. 9.4.4.3.2;

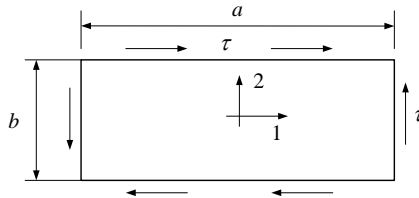
$c$  – współczynnik o wartościach podanych w tabeli 9.4.4.3.3, zależnych od  $\alpha$  i  $\beta$ ;

$\alpha, \beta$  – określono w p. 9.4.4.3.2;

$b_1 = b$  – gdy  $\alpha \geq 1,0$ ;

$b_1 = a$  – gdy  $\alpha < 1,0$ ;

$a, b$  – określono na rys. 9.4.4.3.3.



Rys. 9.4.4.3.3. Ścinanie płyty

**Tabela 9.4.4.3.3**  
**Wartości współczynnika  $c$**

Wartości $\beta$	Wartości $\alpha^{1)}$									
	$\leq 0,1$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0	4,2	4,5	4,9
0,4	4,2	4,3	4,5	4,8	4,9	5,1	5,5	6,0	6,3	6,9
0,8	5,1	5,2	5,4	5,6	6,0	6,2	6,8	7,2	7,9	8,3
1,0	5,3	5,5	5,6	6,0	6,3	6,8	7,2	7,9	8,5	9,2
1,2	5,9	6,0	6,2	6,5	6,9	7,3	8,0	8,6	9,2	10,2
1,6	6,5	6,7	7,0	7,2	7,8	8,2	9,0	9,9	10,9	12,0
2,0	7,1	7,3	7,8	8,1	8,7	9,3	10,2	11,1	12,3	13,6
2,4	7,9	8,0	8,3	9,0	9,7	10,4	11,5	12,7	14,0	15,3
$\geq 2,8$	8,3	8,7	9,0	9,7	10,3	11,3	12,6	13,9	15,3	17,0

Uwagi:

1) Jeżeli  $\alpha = \frac{a}{b} \sqrt[4]{\frac{D_{22}}{D_{11}}} < 1,0$ , to w miejscu  $\alpha$  należy przyjąć  $1/\alpha$ .

2) Dla pośrednich wartości  $\alpha$  i  $\beta$  należy wyznaczyć  $c$  metodą interpolacji liniowej.

**9.4.4.3.4** Wartości  $\varepsilon_c$  określone w p. 9.4.4.3.2 oraz  $\gamma_c$  określone w p. 9.4.4.3.3 powinny być nie mniej niż 3-krotnie większe od odkształceń,  $\varepsilon$  oraz  $\gamma$ , wywoływanych przez obciążenia obliczeniowe.

**9.4.4.3.5** W warunkach jednoczesnego ściskania płyty w kierunkach „1” i „2” i ewentualnego ścinania (rys. 9.4.4.3.5) należy spełnić warunek:

$$\left| \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_{c1}} \right| + \left| \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_{c2}} \right| + \left| \frac{\gamma}{\gamma_c} \right| \leq \frac{1}{C} \quad (9.4.4.3.5)$$

gdzie:

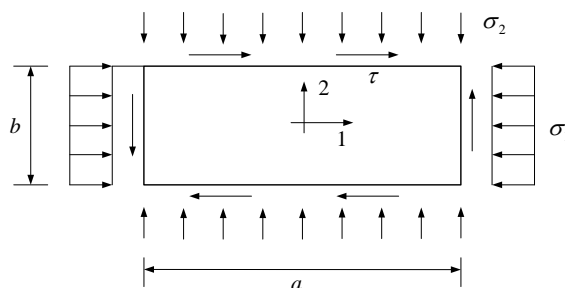
$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \gamma$  – wartości odkształceń wywoływanych przez obciążenia obliczeniowe;

$\varepsilon_{c1}, \varepsilon_{c2}$  – wartości  $\varepsilon_c$  obliczane wg wzoru 9.4.4.3.2-1, dla 1-osowego ściskania w kierunkach „1” i „2” (rys. 9.4.4.3.5);

$\gamma_c$  – obliczać wg wzoru 9.4.4.3.3;

$C = 3,0$  – współczynnik bezpieczeństwa.

W przypadku gdy  $\sigma_1$  lub  $\sigma_2$  są rozciągające (rys. 9.4.4.3.4) to w równaniu 9.4.4.3.5 należy przyjmować  $\varepsilon_1 = 0$  lub  $\varepsilon_2 = 0$ .



Rys. 9.4.4.3.5. Jednoczesne ściskanie w 2 kierunkach i ścinanie

## 9.4.5 Sztywność i wytrzymałość usztywnień poszycia

### 9.4.5.1 Zastosowanie

Wymagania p. 9.4.5 mają zastosowanie do oceny sztywności i wytrzymałości usztywnień podpierających poszycie obciążone ciśnieniem lub podlegające obciążeniom skoncentrowanym, wynikającym z ciężaru ładunku, zapasów lub oddziaływania elementów wyposażenia statku.

### 9.4.5.2 Założenia i zalecenia

Zakłada się, że usztywnienia poszyc mają formę połączonego z poszyciem środnika (lub 2 środników – w przypadku usztywnień o budowie „trapezowej”) równoważące obciążenie poprzeczne (siły ścinające) w formie naprężeń stycznych oraz połączonego ze środnikiem (lub środnikami) mocnika, którego zadaniem jest przede wszystkim równoważyć wewnętrzne momenty zginające naprężeniami normalnymi (w kierunku osi usztywnienia).

Zalecane jest aby usztywnienia miały symetryczną budowę, względem osi prostopadłej do podpieranego poszycia – w celu uniknięcia skręcania i zginania mocnika w kierunku poprzecznym.

### 9.4.5.3 Modele obliczeniowe i kryteria sztywności i wytrzymałości

Zakłada się, że usztywnienie z pasem współpracującym poszycia (p. 9.4.5.4) stanowi przekrój poprzeczny belki o sztywności na zginanie i ścinanie określonej wg p. 9.4.5.5.

Obliczane są maksymalne wartości momentu zginającego i siły ścinającej w belce (p. 9.4.5.6) a następnie odkształcenia normalne i styczne (p. 9.4.5.7) stosowane w ocenie wytrzymałości poszczególnych warstw mocnika, środnika i pasa poszycia – metodami stosowanymi w p. 9.4.3 dla płyt z laminatów.

Maksymalne ugięcia belki są obliczane wg wymagań p. 9.4.5.8.

Należy spełnić kryteria dotyczące wytrzymałości i sztywności usztywnień podane w p. 9.4.5.9.

#### 9.4.5.4 Pas współpracujący poszycia

Szerokość  $b_e$  pasa współpracującego poszycia należy przyjmować równą mniejszej wartości spośród poniższych dwóch:

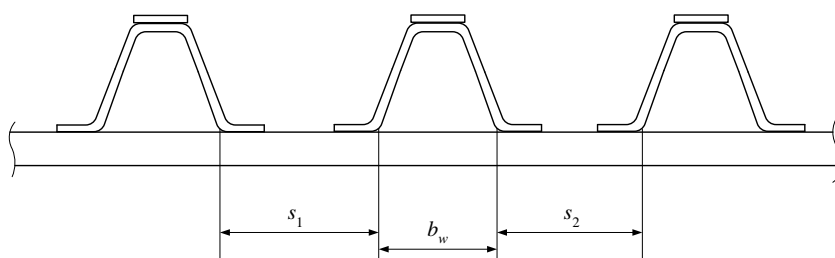
$$b_{e1} = b_w + \frac{1}{6}l \quad (9.4.5.4-1)$$

$$b_{e2} = \frac{1}{2}(s_1 + s_2) + b_w \quad (9.4.5.4-2)$$

gdzie:

$b_w$  – określono na rys. 9.4.5.4; w przypadku usztywnień w formie teownika lub kątownika przyjmować  $b_w = 0$ ;

$l$  – rozpiętość usztywnienia czyli odległość pomiędzy przekrojami poprzecznymi podpieranymi przez sąsiednie wiązary, itp.



Rys. 9.4.5.4

#### 9.4.5.5 Sztywność na zginanie i ścinanie

Należy określić zastępcze moduły Younga  $E_{wi}$  w kierunku osi usztywnienia poszczególnych fragmentów przekroju poprzecznego usztywnienia (pas współpracujący poszycia, środnik/środniki, mocnik) traktując je jako płyty i stosując wzory podane w p. 9.4.3.7. Podobnie należy określić zastępcze wartości  $G_{xyi}$  środników (wzór 9.4.3.7-3).

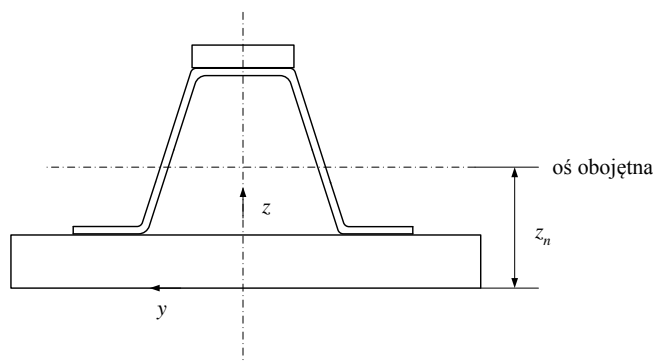
Następnie należy obliczyć odległość  $z_n$  osi obojętnej przekroju poprzecznego usztywnienia od zewnętrznej krawędzi poszycia (rys. 9.4.5.5) ze wzoru:

$$z_n = \frac{\sum E_{wi} A_i z_i}{\sum E_{wi} A_i} \quad (9.4.5.5-1)$$

gdzie:

$A_i$  – pole przekroju poprzecznego i-tego fragmentu przekroju poprzecznego;

$z_i$  – odległość środka ciężkości i-tego fragmentu przekroju poprzecznego od zewnętrznej krawędzi poszycia.



Rys. 9.4.5.5

Sztywność  $EI$  belki na zginanie (potrzebną do oszacowania ugięcia belki) należy obliczyć ze wzoru:

$$EI = \sum E_{wi} (I_{wi} + A_i e_i^2) \quad (9.4.5.5-2)$$

gdzie:

$E_{wi}, A_i$  – jak w równaniu 9.4.5.5-1;

$e_i$  – odległość (w kierunku osi  $z$  – rys. 9.4.5.5) środka ciężkości  $i$ -tego fragmentu przekroju belki od osi obojętnej przekroju;

$I_{wi}$  – własny moment bezwładności  $i$ -tego fragmentu poszycia.

Sztywność na ścianie przekroju poprzecznego belki należy obliczać ze wzoru:

$$GA = \sum G_{xyi} t_i h_i \quad (9.4.5.5-3)$$

gdzie:

$G_{xyi}$  – określono wyżej;

$t_i$  – grubość  $i$ -tego środnika;

$h_i$  – wysokość  $i$ -tego środnika, mierzona w kierunku prostopadłym do poszycia.

### 9.4.5.6 Maksymalne wartości momentu zginającego i siły ścinającej

Maksymalne wartości momentu zginającego w usztywnieniu podpierającym poszycie obciążone ciśnieniem należy obliczać ze wzoru:

$$M_{\max} = \frac{psl^2}{c_m} r_{\kappa} \quad (9.4.5.6-1)$$

gdzie:

$p$  – ciśnienie w środku rozpiętości „ $l$ ” belki;

$l$  – rozpiętość belki (odległość pomiędzy przekrojami podpartymi);

$s$  – szerokość podpieranego pasa poszycia;

$r_{\kappa} = 1,15 - 5 \frac{h}{l}$ , ale nie mniej niż 0,65;

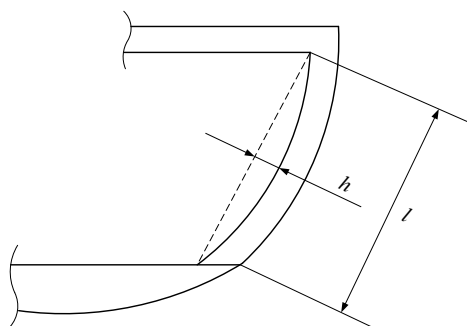
$h$  – odchylenie usztywnienia od linii prostej (rys. 9.4.5.6);

$c_m$  – współczynnik o wartościach:

12 – w przypadku ciągłych usztywnień poziomych obciążonych ciśnieniem  $p = \text{const}$  na całej długości usztywnienia;

10 – w przypadku usztywnień pionowych o końcach połączonych z innymi usztywnieniami (np. wręg burtowy połączony z poprzecznymi pokładnikami);

8 – w przypadku usztywnień o końcach podpartych przegubowo i  $p = \text{const}$  na całej długości usztywnienia.



Rys. 9.4.5.6

W innych przypadkach obciążeń i podparcia końców wartości  $M_{\max}$  należy obliczać bezpośrednio metodami mechaniki technicznej lub MES.

Maksymalną wartość siły ścinającej w usztywnieniu podpierającym poszycie obciążone ciśnieniem należy obliczać ze wzoru:

$$Q_{\max} = \frac{psl}{2} c_q \quad (9.4.5.6-2)$$

gdzie:

$p, s, l$  – jak w równaniu 9.4.5.6-1

$c_q$  – współczynnik o wartościach:

- 1 – gdy  $p = \text{const}$  wzdłuż belki i oba końce są podparte w taki sam sposób;
- 1,25 – przy utwierdzonym końcu belki, gdy drugi koniec jest podparty przegubowo ( $p = \text{const}$  wzdłuż całej belki);
- 0,75 – w przypadku jak wyżej, przy końcu przegubowo podpartym.

W innych przypadkach obciążeń i podparcia końców, wartości  $Q_{\max}$  należy obliczać metodami mechaniki technicznej lub MES.

**9.4.5.7** Odształcenia normalne (w kierunku osi belki), wynikające z momentu wewnętrznego,  $M_{\max}$ , (p. 9.4.5.6) należy obliczać ze wzoru:

$$\varepsilon = \frac{M_{\max}}{EI} z \quad (9.4.5.7-1)$$

gdzie:

$EI$  – obliczać wg wzoru 9.4.5.5-2;

$z$  – odległość od osi obojętnej, której położenie oblicza się ze wzoru 9.4.5.5-1.

Po obliczeniu  $\varepsilon$  należy wyznaczać odształcenia  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ ,  $\gamma_{12}$  w pojedynczych warstwach tworzących poszczególne elementy belki (układ współrzędnych „12” pokazano na rys. 9.4.2.2, a oś  $x$  na tym rysunku ma kierunek osi belki) ze wzorów:

$$\varepsilon_1 = \cos^2 \theta \cdot \varepsilon \quad (9.4.5.7-2)$$

$$\varepsilon_2 = \sin^2 \theta \cdot \varepsilon$$

$$\gamma_{12} = -2 \sin \theta \cos \theta \cdot \varepsilon$$

gdzie:

$\alpha$  – kąt pokazany na rys. 9.4.2.2.

Następnie można wyznaczyć naprężenia  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\tau_{12}$  (w układzie współrzędnych „12” – na rys. 9.4.2.2) stosując wzór 9.4.2.8-1.

Kąt odształcenia postaciowego  $\gamma_{xy}$  warstw środników belki (oś  $x$  ma kierunek osi belki) należy obliczyć ze wzoru:

$$\gamma_{xy} = \frac{Q_{\max}}{GA} \quad (9.4.5.7-3)$$

gdzie:

$Q_{\max}$  – obliczać wg p. 9.4.5.6;

$GA$  – określono wzorem 9.4.5.5-2.

Odształcenia  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ ,  $\gamma_{12}$  w warstwach tworzących środniki (rys. 9.4.2.2) należy obliczyć ze wzoru:

$$\varepsilon_1 = \sin \theta \cos \theta \gamma_{xy} \quad (9.4.5.7-4)$$

$$\varepsilon_2 = -\sin \theta \cos \theta \gamma_{xy}$$

$$\gamma_{12} = (\cos^2 \theta - \sin^2 \theta) \gamma_{xy}$$

Następnie można wyznaczyć naprężenia  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\tau_{12}$  w warstwach środnika, wynikające z jego ścinania, stosując wzór 9.4.2.8-1.

Naprężenia te należy dodać do naprężeń związanych z momentem,  $M$ , działającym w tym samym przekroju poprzecznym belki, gdzie występuje siła ścinająca  $Q_{\max}$ .

### 9.4.5.8 Ugięcie belki

Maksymalną wartość ugięcia przęsła usztywnienia podpierającego poszycie obciążone ciśnieniem  $p = \text{const}$  wzdłuż całej długości,  $l$ , usztywnienia należy obliczać ze wzoru:

$$f_{\max} = \frac{p s l^4}{384 EI} c_f \quad (9.4.5.8)$$

gdzie:

$p$ ,  $s$ ,  $l$  – jak w równaniu 9.4.5.6-1;

$EI$  – sztywność belki na zginanie wg równania 9.4.5.5-2;

$c_f$  – współczynnik o wartościach:

1 – gdy końce belki można uznać za utwierdzone;

5 – gdy końce belki są przegubowo podparte;

2,1 – gdy jeden koniec jest utwierdzony a drugi podparty przegubowo.

W innych przypadkach obciążeń i podparcia końców wartości  $f_{\max}$  należy obliczać metodami mechaniki technicznej lub MES.

#### 9.4.5.9 Kryteria sztywności i wytrzymałości usztywnień poszycia

Maksymalna wartość ugięcia  $f_{\max}$  obliczana wg p. 9.4.5.8 powinna spełniać warunek:

$$\frac{f_{\max}}{l} \leq 0,005 \quad (9.4.5.9-1)$$

gdzie:

$l$  – rozpiętość usztywnienia – jak we wzorze 9.4.5.6-1.

PRS rozpatrzy odrębnie możliwość zastosowania większych wartości  $f_{\max}/l$  od określonych wyżej, w zależności od specyfiki konstrukcji kadłuba statku.

Obowiązuje taki sam poziom dopuszczalnych wartości odkształceń,  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ ,  $\gamma_{12}$ , lub naprężeń,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\tau_{12}$ , w układach współrzędnych „12” poszczególnych warstw elementów tworzących przekrój poprzeczny usztywnienia (patrz układ współrzędnych „12” na rys. 9.4.2.2) jak w przypadku płyt poszyc, określony w p. 9.4.3.12.3.

W przypadku usztywnień wzdłużnych należy uwzględnić sumaryczne wartości  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ ,  $\gamma_{12}$  lub  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\tau_{12}$  wynikające ze zginania lokalnego, zginania wiązarów z usztywnieniami leżącymi w obrębie ich pasów współpracujących (wg p. 9.4.7) i od zginania ogólnego kadłuba (wg p. 9.4.9) momentem  $M = M_s + 0,59M_w$  ( $M_s$  – moment od zginania na wodzie spokojnej;  $M_w$  – falowy moment zginający).

W przypadku usztywnień grodzi wodoszczelnych, w warunkach awaryjnego zatopienia przedziału wodoszczelnego, poziom odkształceń/naprężeń dopuszczalnych może być o 20% większy niż w normalnych warunkach eksploatacyjnych.

#### 9.4.6 Stateczność usztywnień poszycia

9.4.6.1 Metody analizy stateczności usztywnień poszycia i kryteria, które należy spełnić, określono w p. 9.4.8.

#### 9.4.7 Sztywność i wytrzymałość wiązarów

##### 9.4.7.1 Zastosowanie

Wymagania p. 9.4.7 mają zastosowanie do oceny sztywności i wytrzymałości wiązarów kadłuba statku (tzn. mocnych elementów konstrukcji podpierających usztywnienia poszyc).

##### 9.4.7.2 Założenia i zalecenia

Obowiązują analogiczne założenia i zalecenia jak w p. 9.4.5.2, dotyczące usztywnień poszyc.

##### 9.4.7.3 Modele obliczeniowe

Obliczenia odkształceń i naprężeń w wiązarach powinny być wykonane metodami mechaniki technicznej lub MES.

W przypadku zastosowania modeli belkowych (belki ciągłe, ruszty, ramy płaskie lub przestrzenne) sztywność na zginanie ( $EI$ ) i ścinanie ( $GA$ ) należy wyznaczyć analogicznie jak w przypadku usztywnień poszyc (p. 9.4.5.5).

Szerokość pasa współpracującego poszycia wiązara należy określać tak jak w przypadku usztywnień poszycia (wzory 9.4.5.4-1 i 9.4.5.4-2) przyjmując:

$s_1, s_2$  – odległość wiązara od wiązarów sąsiednich, grodzi, burt, pokładu, itp.;

$l$  – odległość pomiędzy punktami podparcia wiązania (np. odległość pomiędzy grodziami poprzecznymi w przypadku dennego wzdłużnika środkowego).

Zalecane jest wykonywanie obliczeń MES z zastosowaniem w modelu obliczeniowym specjalnych elementów powłokowych stosowanych standardowo do płyt z laminatów. Obliczenia takie podlegają odrębnemu rozpatrzeniu przez PRS.

#### 9.4.7.4 Odształcenia i naprężenia w wiązarach

Odształcenia i naprężenia w pojedynczych warstwach laminatu tworzących elementy konstrukcji wiązarów (środniki, mocnik o wzmocnieniu 1-kierunkowym, itp.) należy obliczać analogicznie jak w przypadku usztywnień poszyc, tzn. wg p. 9.4.5.7.

#### 9.4.7.5 Kryteria sztywności i wytrzymałości wiązarów

Obowiązuje kryterium sztywności podane w p. 9.4.5.9 (stosowane tam do usztywnień poszyc). W przypadku wiązarów rozpiętość,  $l$ , należy wyznaczać tak jak określono w p. 9.4.7.3.

PRS rozpatrzy odrębnie możliwość zastosowania większych wartości  $f_{\max}/l$  od określonych wyżej, w zależności od specyfiki konstrukcji kadłuba statku.

Obowiązuje taka sama metoda oceny wytrzymałości konstrukcji wiązarów i kryteria jak w przypadku usztywnień poszyc (p. 9.4.5.9).

W przypadku wiązarów wzdłużnych (przenoszących naprężenia normalne od zginania ogólnego kadłuba) należy uwzględnić sumaryczne wartości  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ ,  $\gamma_{12}$  (lub  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\tau_{12}$  – patrz p. 9.4.5.9) od zginania strefowego wiązarów i od zginania ogólnego kadłuba (wg p. 9.4.9) momentem  $M = M_s + 0,59M_w$  ( $M_s$  – moment od zginania na wodzie spokojnej;  $M_w$  – falowy moment zginający).

W przypadku wiązarów grodzi wodoszczelnych w warunkach awaryjnego zatopienia przedziału wodoszczelnego, poziom odształceń/naprężeń dopuszczalnych może być o 20% większy niż w normalnych warunkach eksploatacyjnych.

### 9.4.8 Stateczność usztywnień poszycia, wiązarów i podpór pokładowych

#### 9.4.8.1 Zasady ogólne

**9.4.8.1.1** Usztywnienia poszycia, wiązary i podpory powinny spełniać określone w niniejszym p. 9.4.8 kryteria dotyczące odporności na wyboczenie (globalne) w warunkach ściskania.

Mocniki i środniki wiązarów powinny spełniać kryteria odporności na lokalne wyboczenie mocnika i środnika pod wpływem naprężeń ściskających i stycznych.

#### 9.4.8.2 Wyboczenie giętne

**9.4.8.2.1** Krytyczną wartość siły ściskającej (powodującej wyboczenie giętne) usztywnienie lub wiązar należy obliczać ze wzoru:

$$P_E = \frac{\pi^2 EI}{l^2 \left( 1 + \frac{\pi^2 EI}{l^2 GA} \right)} \quad (9.4.8.2.1)$$

gdzie:

$EI$  – sztywność na zginanie obliczana wg równania 9.4.5.5-2;

$GA$  – sztywność na ścinanie obliczana wg wzoru 9.4.5.5-3;

$l$  – rozpiętość belki (odległość pomiędzy przekrojami poprzecznymi podpartymi).

**9.4.8.2.2** Siła osiowa przenoszona przez usztywnienia lub wiązar, z uwzględnieniem pasa współpracującego poszycia (patrz p. 9.4.5.4), obliczana dla obliczeniowych wartości obciążeń określonych w 9.3.5, powinna być przynajmniej 3-krotnie mniejsza od siły,  $P_E$ , określonej w p. 9.4.8.2.1.

### 9.4.8.3 Wyboczenie skrętne

9.4.8.3.1 Konieczność zastosowania węzłówek przeciwskrętnych wiązarów będzie rozpatrywana przez PRS odrębnie.

### 9.4.8.4 Lokalne wyboczenie mocnika lub środника

9.4.8.4.1 Odporność na lokalne wyboczenie mocników i środków usztywnień poszycia lub wiązarów należy oceniać stosując metody i kryteria dotyczące wyboczenia płyt, określone w p. 9.4.4.

W przypadku środków należy uwzględnić ścinanie.

### 9.4.8.5 Wyboczenie podpór

9.4.8.5.1 W przypadku podpór z laminatów należy stosować wymagania analogiczne do określonych w p. 9.4.8.2.

W przypadku podpór w formie rur o przekroju kołowym lub prostokątnym we wzorze 9.4.8.2 można w miejsce  $\pi^2 EI / (l^2 GA)$  przyjąć zero.

9.4.8.5.2 W przypadku zastosowania podpór stalowych lub aluminiowych należy spełnić wymagania dotyczące stateczności podpór ściskanych określone w rozdziale 13 *Przepisów klasyfikacji i budowy statków morskich, Część II – Kadłub*.

## 9.4.9 Wytrzymałość ogólna kadłuba

### 9.4.9.1 Zastosowanie

Wymagania p. 9.4.9 mają zastosowanie do oceny wytrzymałości kadłuba statku w warunkach zginania ogólnego.

### 9.4.9.2 Momenty zginające i siły poprzeczne

Obliczeniowe wartości momentu zginającego,  $M$ , i siły poprzecznej (ścinającej) należy ustalić wg wymagań p. 9.3.6 jako sumy składowych na wodzie spokojnej i od falowania wody ( $M_s$ ;  $M_w$ ;  $Q_s$ ;  $Q_w$ ).

### 9.4.9.3 Metoda obliczeń

9.4.9.3.1 Kadłub jest traktowany jako belka, w której występuje wewnętrzny model zginający,  $M$ , i wewnętrzna siła poprzeczna,  $Q$ .

9.4.9.3.2 Wewnętrzny moment,  $M$ , wywołuje naprężenia normalne,  $\sigma$ , w kierunku osi statku. Naprężenia te są przenoszone przez ciągłe wiązania wzdłużne (poszycia dna, burt, pokładów, wzdłużne usztywnienia poszyc, wzdłużne wiązary). Sposób uwzględniania otworów w elementach konstrukcji kadłuba jest taki jak w *Przepisach klasyfikacji i budowy statków morskich, Część II – Kadłub* (stalowy) – rozdział 15.

Wpływ nadbudówek/pokładówek na wytrzymałość kadłuba w warunkach zginania ogólnego będzie rozpatrywany przez PRS odrębnie, z uwzględnieniem specyficznych cech budowy statku.

9.4.9.3.3 Metoda obliczania położenia osi obojętnej zginania i sztywności zginania,  $EI$ , całego kadłuba jest analogiczna do metody stosowanej w obliczeniach usztywnień poszycia (p. 9.4.5.5).

Występujące tam symbole  $E_{wi}$ ,  $A_i$ ,  $z_i$  należy w tym przypadku odnosić do poszczególnych fragmentów ciągłych wiązań całego przekroju poprzecznego, tzn. poszyc, środków usztywnień i wiązarów wzdłużnych oraz mocników usztywnień i wiązarów wzdłużnych.

9.4.9.3.4 Należy obliczać odkształcenie normalne,  $\varepsilon$ , (wzdłuż osi kadłuba) stosując wzór 9.4.5.7-1 (zamiast  $M_{\max}$  podstawić  $M = M_s + M_w$ ), a następnie odkształcenia,  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ ,  $\gamma_{12}$ , w poszczególnych warstwach elementów przekroju poprzecznego kadłuba (wzór 9.4.5.7-2).

Następnie można wyznaczyć naprężenia,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\tau_{12}$ , stosując wzór 9.4.2.8-1.



**9.4.9.3.5** Kąt odkształcenia postaciowego burt/burt wewnętrznych w lokalnym układzie współrzędnych  $xz$ , gdzie oś  $x$  ma kierunek osi kadłuba a oś  $z$  – kierunek styczny do poszczególnych płyt burt, należy obliczać ze wzoru:

$$\gamma_{xz} = \frac{Q}{\sum A_i G_{xzi}} \quad (9.4.9.3.5)$$

gdzie:

$$A_i = h_i \cdot G_{xzi};$$

$h_i$  – wysokość płyty mierzona w kierunku pionowym;

$t_i$  – grubość płyty;

$G_{xzi}$  – moduł postaciowy płyty obliczany jak  $G_{xy}$  wg wzoru 9.4.3.7-3.

**9.4.9.3.6** Odkształcenia i naprężenia obliczane wg wymagań p. 9.4.9.3.4 dla momentu zginającego  $M = M_s + M_w$ , nie powinny przekraczać poziomu 33% wartości niszczących – analogicznie do przypadku wytrzymałości płyt wg punktu 9.4.3.12.3.

**9.4.9.3.7** Odkształcenia i naprężenia w płytach burt/burt wewnętrznych odpowiadające kątowni odkształcenia postaciowego,  $\gamma_{xz}$ , obliczanemu wg p. 9.4.9.3.5, powinny być nie większe niż 33% odkształceń i naprężeń niszczących poszczególnych warstw, obliczanych analogicznie jak w przypadku środników usztywnień poszycia, tzn. wg p. 9.4.5.7, gdzie w miejsce  $\gamma_{xz}$  należy podstawić powyższą wartość  $\gamma_{xz}$ .

## 9.5 Ruchy statku

### 9.5.1 Zasady ogólne

**9.5.1.1** W niniejszym rozdziale podano wzory służące do określania ruchów (przemieszczeń, prędkości i przyspieszeń) statków o długości  $L \geq 24$  m w warunkach morskich podczas normalnej eksploatacji.

**9.5.1.2** Określone ruchy są wielkościami, których prawdopodobieństwo przekroczenia wynosi  $10^{-8}$ .

**9.5.1.3** Dla statków z ograniczonym rejonem żeglugi wielkości ruchów mogą być zmniejszone:

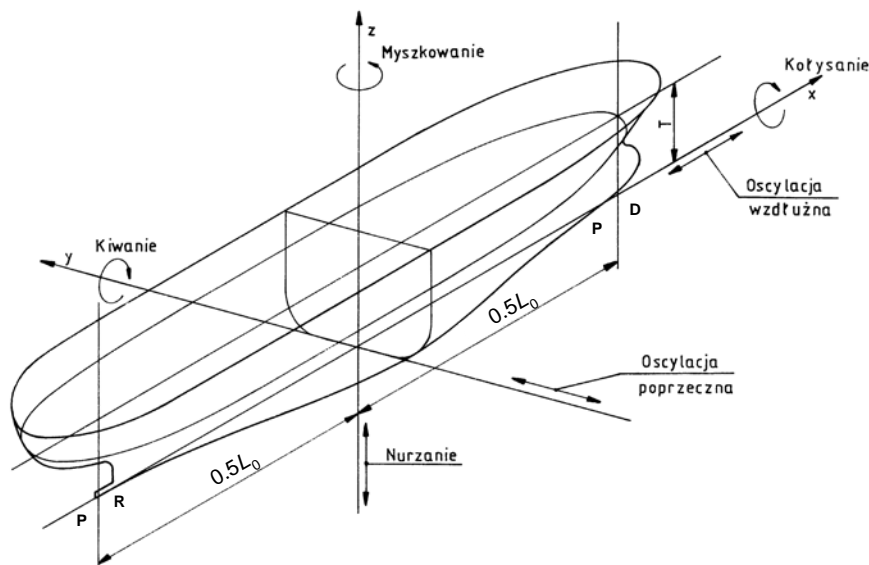
- dla rejonu **II** o 10%,
- dla rejonu **III** o 30%,
- dla rejonu żeglugi odpowiadającego znakowi klasy Class C o 40%,
- dla rejonu żeglugi odpowiadającego znakowi klasy Class D o 50%.

W uzasadnionych przypadkach PRS może określić także inny stopień zmniejszania wielkości ruchów określonych w tym rozdziale.

### 9.5.2 Definicje

#### 9.5.2.1 Układ współrzędnych

Układ współrzędnych oraz nazwy poszczególnych rodzajów oscylacji statku na fali zdefiniowano na rys. 9.5.2.1.



Rys. 9.5.2.1. Definicja układu współrzędnych oraz nazwy oscylacji statku na fali

### 9.5.2.2 Współczynnik falowy

Współczynnik falowy,  $C_w$ , będący podstawowym parametrem przy określaniu falowych obciążeń kadłuba oraz ruchów statku, należy obliczać wg wzoru:

$$C_w = 0,0856L_0 \quad (9.5.2.2)$$

### 9.5.3 Amplitudy przemieszczeń składowych

#### 9.5.3.1 Amplituda nurzania

Amplitudę nurzania można obliczać wg wzoru:

$$Z_A = 12 - 0,1T \text{ [m]} \quad (9.5.3.1)$$

$T$  – patrz 2.2.

#### 9.5.3.2 Amplituda kiwania

Amplitudę kiwania można obliczać wg wzoru:

$$\Theta_A = 4 \left( 1 - 4,5 \frac{T}{L_0} \right) \frac{C_w}{L_0} \text{ [rad]} \quad (9.5.3.2)$$

#### 9.5.3.3 Amplituda kołysania

Amplitudę kołysania (kąt przechyłu) można obliczać wg wzoru:

$$\Phi_A = 35 \frac{T}{B^2 + 50} \text{ [rad]} \quad (9.5.3.3)$$

#### 9.5.3.4 Amplituda oscylacji wzdłużnej

Amplitudę oscylacji wzdłużnej można obliczać wg wzoru:

$$X_A = 8 \frac{1 - 0,03T}{1 - 0,036v} \text{ [m]} \quad (9.5.3.4)$$

$v$  – prędkość statku, [węzły].

### 9.5.3.5 Amplituda oscylacji poprzecznej

Amplitudę oscylacji poprzecznej można obliczać wg wzoru:

$$Y_A = 12 - 0,25T \text{ [m]} \quad (9.5.3.5)$$

### 9.5.3.6 Amplituda myskowania

Amplitudę myskowania można obliczać wg wzoru:

$$\Psi_A = 0,25 \left( 1 - 0,008 \frac{L_0 T}{B} \right) \text{ [rad]} \quad (9.5.3.6)$$

### 9.5.3.7 Amplituda ruchu względnego

Amplitudę przemieszczenia punktu  $P(x, y, z)$  statku względem powierzchni fali można obliczać wg wzoru:

$$S_A = \sqrt{(0,3Z_A)^2 + [(x + 0,05L_0)\Theta_A]^2 + [0,8y\Phi_A]^2}, \text{ [m]} \quad (9.5.3.7)$$

$Z_A, \Theta_A, \Phi_A$  – patrz punkty 9.5.3.1, 9.5.3.2 i 9.5.3.3;

$x, y$  – współrzędne punktu  $P$  – patrz rys. 9.5.2.1.

## 9.5.4 Wypadkowe amplitudy przyspieszeń

### 9.5.4.1 Wypadkowe przyspieszenie pionowe

Wypadkowe przyspieszenie liniowe punktu  $P$  na statku w kierunku osi pionowej (bez uwzględniania przyspieszenia ziemskiego) należy obliczać wg wzoru:

$$a_v = (1 + 0,036v)^2 \frac{25}{L_0} \sqrt{Z_A^2 + [1,6(x + 0,05L_0)\Theta_A]^2 + [0,5y\Phi_A]^2}, \text{ [m/s}^2\text{]} \quad (9.5.4.1)$$

$v$  = prędkość statku, [węzły];

$Z_A, \Theta_A, \Phi_A$  – patrz punkty 9.5.3.1, 9.5.3.2 i 9.5.3.3;

$x, y$  – współrzędne punktu  $P$  – patrz rys. 9.5.2.1.

### 9.5.4.2 Wypadkowe przyspieszenie poprzeczne

Wypadkowe przyspieszenie liniowe punktu  $P$  na statku w kierunku osi poprzecznej (z uwzględnieniem składowej przyspieszenia ziemskiego) należy obliczać wg wzoru:

$$a_T = (1 + 0,036v)^2 \frac{25}{L_0} \sqrt{(0,8Y_A)^2 + [(x + 0,05L_0)\Psi_A]^2 + [(z - T)\Phi_A]^2}, \text{ [m/s}^2\text{]} \quad (9.5.4.2)$$

$v$  = prędkość statku, [węzły];

$\Theta_A, Y_A, \Psi_A$  – patrz punkty 9.5.3.2, 9.5.3.5 i 9.5.3.6;

$x, z$  – współrzędne punktu  $P$  – patrz rys. 9.5.2.1.

### 9.5.4.3 Wypadkowe przyspieszenie wzdłużne

Wypadkowe przyspieszenie liniowe punktu  $P$  na statku w kierunku osi wzdłużnej (z uwzględnieniem składowej przyspieszenia ziemskiego) należy obliczać wg wzoru:

$$a_L = (1 + 0,036v)^2 \frac{25}{L_0} \sqrt{(0,2X_A)^2 + [0,5y\Psi_A]^2 + [2(z - T)\Theta_A]^2}, \text{ [m/s}^2\text{]} \quad (9.5.4.3)$$

$v$  = prędkość statku, [węzły];

$\Theta_A, X_A, \Psi_A$  – patrz punkty 9.5.3.2, 9.5.3.4 i 9.5.3.6;

$y, z$  – współrzędne punktu  $P$  – patrz rys. 9.5.2.1.

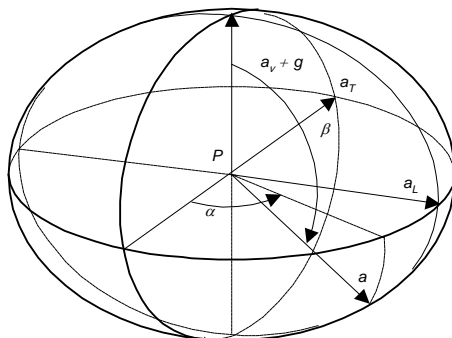
#### 9.5.4.4 Wypadkowe przyspieszenie w dowolnym kierunku

Wypadkowe przyspieszenie liniowe  $a$  punktu  $P$  na statku w dowolnym kierunku może być określone z elipsoidy (rys. 9.5.4.4), której osiami głównymi są:

$(a_v + g)$ ,  $a_T$  i  $a_L$ ;

$a_v$ ,  $a_T$  i  $a_L$  – patrz 9.5.4.1, 9.5.4.2 i 9.5.4.3.

$P(x, y, z)$  – punkt, w którym obliczane są przyspieszenia.



Rys. 9.5.4.4. Sposób określania przyspieszenia  $a$  punktu  $P$  statku w dowolnym kierunku

## 10 OCHRONA PRZECIWOPOŻAROWA

### 10.1 Bierna ochrona przeciwpożarowa, obejmująca: zasady stosowania materiałów palnych, materiałów izolacyjnych, konstrukcje ścianek niepalnych, konstrukcje przegród pożarowych, oddzielenie pomieszczeń statku

#### 10.1.1 Wymagania ogólne

**10.1.1.1** Użycie laminatów w istotny sposób wpływa na bezpieczeństwo pożarowe. Niektóre zastosowania nie zapewniają tego bezpieczeństwa w odpowiednim stopniu, dlatego wszelkie wątpliwości będą rozstrzygane przez PRS w oparciu o cyrkularz MSC.1/Circ.1455 lub jego późniejsze wersje.

**10.1.1.2** PRS dopuszcza zastosowanie projektowych rozwiązań alternatywnych, o ile zostanie wykazane, że zapewniają one równoważny poziom bezpieczeństwa pożarowego.

**10.1.1.3** Na statkach nie powinno być indywidualnych kabin pasażerskich, a tylko pomieszczenia ogólne.

**10.1.1.4** Zabrania się stosowania paliwa o temperaturze zapłonu niższej od 60°C.

#### 10.1.2 Definicje

Dla potrzeb niniejszej *Publikacji* wprowadza się następujące definicje:

- **Kodeks FTP** – *Międzynarodowy kodeks stosowania procedur prób ogniowych*, wraz z poprawkami;
- **standardowa próba ogniowa** – badanie, w odniesieniu do konstrukcji pożarowych, w którym wzorce odpowiednich ścian lub pokładów poddawane są w piecu badawczym działaniu temperatur odpowiadających w przybliżeniu krzywej przyrostu temperatury w czasie, zgodnie z metodą badawczą określoną w *Kodeksie FTP*;
- **materiał niepalny** – taki materiał, który po podgrzaniu do temperatury 750°C nie pali się ani nie wydziela palnych par w ilości wystarczającej do ich samozapłonu, przy czym własności te powinny być potwierdzone badaniem zgodnie z *Kodeksem FTP*; każdy inny materiał jest materiałem palnym;
- **materiał WRP** – oznacza, w odniesieniu do materiałów stosowanych w konstrukcyjnej ochronie przeciwpożarowej, materiał o własnościach wolnego rozprzestrzeniania płomienia po powierzchni, co powinno być potwierdzone badaniem zgodnie z *Kodeksem FTP*;

- materiał ograniczający rozprzestrzenianie się ognia – materiał przeznaczony na konstrukcję i wykończenie powierzchni szalunków grodzi, ścian i sufitów, o własnościach potwierdzonych badaniami zgodnie z *Kodeksem FTP*;
- kategoria pomieszczenia (pożarowa) – liczba zgodna z opisami podanymi w punkcie 10.1.6.3.6, charakteryzująca zagrożenie pożarowe danego pomieszczenia i determinująca klasy ogniowe otaczających to pomieszczenie przegród;
- posterunki dowodzenia – pomieszczenia, w których znajduje się wyposażenie radiowe lub nawigacyjne<sup>1)</sup>, lub awaryjne źródła energii<sup>2)</sup> i ich tablice rozdzielcze, lub urządzenia do rejestrowania pożaru, lub sterowania instalacjami gaśniczymi, lub w których wykonuje się czynności związane z innymi podstawowymi funkcjami bezpiecznej eksploatacji jednostki, takie jak: sterowanie napędem i systemem stabilizacyjnym, operowanie rozgłośnią, itp.;
- posterunek dowodzenia stale obsadzony wachtą – posterunek dowodzenia, który w sposób ciągły obsadzony jest przez odpowiedzialnego członka załogi w czasie gdy jednostka jest w normalnej eksploatacji;
- przedziały maszynowe – pomieszczenia, w których znajdują się silniki spalinowe albo używane do napędu głównego, albo o całkowitej mocy większej niż 110 kW, jak też prądnice, zespoły paliwowe, główne urządzenia elektryczne oraz podobne pomieszczenia wraz z prowadzącymi do nich szybami;
- przedziały maszynowe pomocnicze – pomieszczenia, w których znajdują się silniki spalinowe o mocy do 110 kW włącznie, napędzające prądnice, pompy instalacji tryskaczowych, zraszających wodnych, pompy pożarowe, zęzowe, itp., stacje bunkrowania paliwa, rozdzielnice elektryczne o łącznej mocy większej niż 800 kW oraz pomieszczenia podobne, wraz z prowadzącymi do nich szybami;
- przedziały maszynowe pomocnicze o małym lub zerowym zagrożeniu pożarowym – pomieszczenia takie jak pomieszczenia chłodnicze, pomieszczenia stabilizatorów, urządzeń wentylacji i klimatyzacji, rozdzielnic elektrycznych o łącznej mocy 800 kW lub mniejszej oraz pomieszczenia podobne wraz z prowadzącymi do nich szybami;
- pomieszczenia służbowe – wydzielone pomieszczenia używane jako pentry, w których są umieszczone urządzenia do podgrzewania potraw (bez urządzeń do gotowania z odkrytymi powierzchniami grzewczymi), schowki, sklepy, magazyny i zamknięte przechowalnie bagażu. W takich pomieszczeniach bez urządzeń do gotowania mogą się znajdować:
  - .1 ekspresy do kawy, tostery, zmywarki do naczyń, kuchenki mikrofalowe, podgrzewacze wody oraz podobne urządzenia, każde z nich o mocy maksymalnej 5 kW; oraz
  - .2 elektryczne płyty do gotowania i płyty gorące do utrzymywania ciepła przygotowanych potraw, każda z nich o maksymalnej mocy 5 kW i temperaturze powierzchni nieprzekraczającej 150°C
- przegrody klasy A – konstrukcje ogniotrwale utworzone przez grodzie, ściany lub pokłady, które spełniają następujące kryteria:
  - .1 są wykonane ze stali lub materiału równoważnego stali,
  - .2 są dostatecznie usztywnione,
  - .3 są izolowane uznanymi materiałami niepalnymi w taki sposób, żeby średnia temperatura na stronie niewystawionej na działanie ognia nie wzrosła więcej niż o 140°C ponad temperaturę początkową, a w żadnym punkcie, włączając w to wszystkie połączenia, temperatura maksymalna nie wzrosła więcej niż o 180°C ponad temperaturę początkową przez okres co najmniej:
    - klasa A-60 – 60 min,
    - klasa A-0 – 0 min;
  - .4 są wykonane tak, aby zachowywały ognio- i dymoszczelność do końca jednogodzinnej standardowej próby ogniowej;

1) W skład głównego wyposażenia nawigacyjnego wchodzi, w szczególności, układ do sterowania jednostką, kompas, radar i namierniki.

2) Są to baterie akumulatorów niezależnie od ich pojemności:

- .1 przeznaczone do zasilania energią zanim nastąpi start awaryjnego agregatu prądotwórczego w sytuacji odcięcia dopływu prądu,
- .2 używane jako rezerwowe źródło energii radiotelegrafu,
- .3 przeznaczone do startu agregatu awaryjnego, oraz
- .4 ogólnie, traktowane jako awaryjne źródła energii.

- .5 prototyp konstrukcji ściany lub pokładu tworzącej przegrodę klasy A przeszedł z wynikiem pozytywnym badanie zgodnie z wymaganiami *Kodeksu FTP*;

**10.1.2.1 Przegrody ognioodporne** – przegrody utworzone przez grodzie lub pokłady, wykonane z materiałów niepalnych lub ograniczających rozprzestrzenianie się ognia, które przez właściwości zastosowanej izolacji lub ognioodporność materiału rdzenia spełniają następujące kryteria:

- .1 są odpowiednio usztywnione i tam, gdzie jest to wymagane, zachowują zdolność do przenoszenia obciążeń projektowych przez cały odpowiedni czas ochrony pożarowej;
- .2 są wykonane tak, aby zachowywały ognio- i dymoszczelność cały odpowiedni czas ochrony pożarowej;
- .3 są izolowane uznanymi materiałami niepalnymi w taki sposób, żeby średnia temperatura na stronie niewystawionej na działanie ognia nie wzrosła więcej niż o 140°C ponad temperaturę początkową, a w żadnym punkcie, włączając w to wszystkie połączenia, temperatura maksymalna nie wzrosła więcej niż o 180 °C ponad temperaturę początkową przez cały odpowiedni czas ochrony pożarowej;
- .4 prototyp konstrukcji ściany lub pokładu tworzącej przegrodę klasy A przeszedł z wynikiem pozytywnym badanie zgodnie z wymaganiami *Kodeksu FTP*.

### **10.1.3 Zakres nadzoru**

**10.1.3.1** Nadzorowi podczas budowy statku podlegają konstrukcje przeciwpożarowe, stosowanie innych materiałów i wyrobów oraz rozwiązania konstrukcyjne, których dokumentacja jest przedmiotem rozpatrzenia i zatwierdzenia.

### **10.1.4 Dokumentacja klasyfikacyjna**

**10.1.4.1** Przed rozpoczęciem budowy należy dostarczyć do rozpatrzenia przez PRS następującą dokumentację konstrukcyjnej ochrony przeciwpożarowej:

- plan konstrukcyjnej ochrony przeciwpożarowej,
- plan drzwi,
- plan okien,
- plan izolacji,
- plan wyposażenia pomieszczeń statku z wymaganymi certyfikatami,
- plan oświetlenia dolnego i oznakowania dróg ewakuacji,
- wykaz wymaganych certyfikatów materiałów/elementów/konstrukcji przegród pożarowych.

### **10.1.5 Prawdopodobieństwo zapłonu**

**10.1.5.1** Zaleca się zastosowanie odpowiednich sposobów zapobiegających zapaleniu się materiałów lub cieczy palnych czyli użycie materiałów o ograniczonej palności, kontrolę przecieków cieczy palnych i gromadzenia się ich par, ograniczenie źródeł zapłonu i oddzielenie ich od materiałów i cieczy palnych, co pozwoli na zmniejszenie prawdopodobieństwa zapłonu i wystąpienia pożaru.

**10.1.5.2** Na statku należy przewidzieć wydzielone miejsce do palenia tytoniu.

**10.1.5.3** Zabrania się stosowania otwartych źródeł ognia w urządzeniach do gotowania lub podgrzewania potraw.

**10.1.5.4** Na statkach można stosować wyłącznie kuchenne urządzenia elektryczne o mocy nieprzekraczającej 5 kW.

**10.1.5.5** Konstrukcja okapu kuchennego powinna być z materiału niepalnego.

**10.1.5.6** Grzejniki i piece kuchenne powinny być montowane z zastosowaniem niepalnych osłon (płyt), montowanych na położonych w rejonie grzejnika ścianach i pokładach.

**10.1.5.7** W kuchniach nie powinno się stosować urządzeń do smażenia w głębokim tłuszczu.

**10.1.5.8** Okleiny dekoracyjne mebli i drzwi w pomieszczeniach ogólnego użytku, pomieszczeniach załogi i posterunkach dowodzenia powinny mieć własność wolnego rozprzestrzeniania płomienia.

**10.1.5.9** Powierzchnie zewnętrzne pokładów, ścian i sufitów w pomieszczeniach ogólnego użytku, pomieszczeniach służbowych, pomieszczeniach załogi i posterunkach dowodzenia oraz powierzchnie przestrzeni niedostępnych powinny mieć własność wolnego rozprzestrzeniania płomienia.

#### **10.1.6 Potencjał pożaru**

**10.1.6.1** Stosowanie materiałów palnych powinno być ograniczone.

**10.1.6.2** Zbiorniki wstawiane olejów smarnych i paliwa w maszynowni powinny być stalowe.

**10.1.6.3** Część konstrukcyjna mebli powinna być wykonana z materiałów niepalnych lub materiałów ograniczających rozszerzanie ognia.

**10.1.6.4** Materiały izolacyjne stosowane w przedziałach maszynowych, pomieszczeniach mieszkalnych i służbowych oraz w posterunkach dowodzenia powinny być niepalne. W pomieszczeniach, w których mogą znajdować się produkty ropopochodne, pokrycia powierzchni izolacji powinny być nieprzenikalne dla tych produktów i ich par.

**10.1.6.5** Pojemniki na odpady i śmieci powinny być wykonane z materiałów niepalnych oraz powinny być zamykane; nie mogą mieć otworów.

**10.1.6.6** Powierzchnie każdego z magazynów należy ograniczyć do 4 m<sup>2</sup>.

**10.1.6.7** Systemy wentylacji powinny mieć możliwość odcinania dopływu powietrza do maszynowni i kuchni.

#### **10.1.7 Potencjał wytwarzania dymu i substancji toksycznych**

**10.1.7.1** Farby, lakiery i inne materiały wykończeniowe użyte na odkrytych powierzchniach wewnątrz pomieszczeń mieszkalnych, służbowych, w posterunkach dowodzenia oraz w obudowanych klatkach schodowych nie mogą wydzielać nadmiernych ilości dymu i substancji toksycznych, co powinno być potwierdzone badaniem zgodnie z *Kodeksem FTP*.

**10.1.7.2** Materiały obiciowe mebli i materiały zasłonowe nie powinny wytwarzać zbyt dużych ilości dymu i substancji toksycznych w trakcie palenia.

#### **10.1.8 Opanowanie rozprzestrzeniania się dymu**

**10.1.8.1** Należy zastosować odpowiednie środki do kontrolowania rozprzestrzeniania się dymu w posterunkach dowodzenia, pomieszczeniach maszynowych oraz zakrytych przestrzeniach.

**10.1.8.2** W pomieszczeniach ogólnego użytku, pomieszczeniach załogi i służbowych, posterunkach dowodzenia, korytarzach i klatkach schodowych zamknięte przestrzenie powietrzne za sufitami, szalunkiem lub wykładziną powinny być odpowiednio podzielone dopasowanymi przegrodami zatrzymującymi ciąg powietrza, rozmieszczonymi w odstępach nie większych niż 14 m.

**10.1.8.3** Drzwi do pomieszczeń maszynowych i korytarzy powinny być gazoszczelne i zaopatrzone w samozamykacze.

#### **10.1.9 Powstrzymywanie pożaru**

**10.1.9.1** Statek powinien być podzielony na przestrzenie ograniczone przez przegrody konstrukcyjne, przegrody zapewniające izolację cieplną i akustyczną.

**10.1.9.2** Każdy materiał izolacji pożarowej, cieplnej i akustycznej montowany na przegrodach powinien być materiałem niepalnym lub ograniczającym rozszerzanie ognia.

**10.1.9.3** Przegrody (pokłady i grodzie) powinny mieć odporność na działanie ognia zgodną z wymaganiami w tabeli 10.1-1 lub równoważną.

**10.1.9.4** Konstrukcja drzwi i ościeżnic wraz z urządzeniami do ich zabezpieczania w pozycji zamkniętej, ramy okien, stanowiące zamknięcia otworów w przegrodach ognioodpornych oraz rurociągi, kable elektryczne, kanały wentylacyjne etc., przechodzące przez te przegrody powinny zapewniać odporność na ogień oraz przenikanie płomieni i dymu równoważną przegrodom, w których są zamontowane. Powinno to być potwierdzone badaniem zgodnie z *Kodeksem FTP*.

**10.1.9.5** Do celów klasyfikacji pomieszczeń lub przestrzeni podanych w tabeli 10.1-1, pod względem zagrożenia pożarem przyjmuje się następujący podział na grupy:

- .1** Rejony o dużym zagrożeniu pożarowym w tabelach oznaczone literą (A):
  - przedziały maszynowe,
  - szyby łączące się bezpośrednio z wymienionymi wyżej przestrzeniami.
- .2** Rejony o średnim zagrożeniu pożarowym w tabelach oznaczone literą (B):
  - przedziały maszynowe pomocnicze,
  - pomieszczenia załogi z miejscami do spania,
  - pomieszczenia służbowe,
  - szyby łączące się bezpośrednio z wyżej wymienionymi pomieszczeniami.
- .3** Rejony o małym zagrożeniu pożarowym w tabelach oznaczone literą (C):
  - przedziały maszynowe pomocnicze (o małym lub zerowym zagrożeniu pożarowym),
  - pomieszczenia ogólnego użytku,
  - zbiorniki, puste przestrzenie oraz przestrzenie o niewielkim zagrożeniu pożarem lub niezagrożone pożarem,
  - korytarze w rejonach pomieszczeń pasażerskich i klatki schodowe,
  - pomieszczenia załogi inne niż wymienione w podpunkcie .2
  - szyby łączące się bezpośrednio z wymienionymi wyżej pomieszczeniami.
- .4** Posterunki dowodzenia (w tym centrum bezpieczeństwa <sup>27</sup>), w tabeli oznaczone literą (D):
- .5** Stanowiska ewakuacyjne i zewnętrzne drogi ewakuacji, w tabelach oznaczone literą (E):
  - zewnętrzne schody i pokłady otwarte używane jako drogi ewakuacji,
  - miejsca zbiórki, wewnętrzne i zewnętrzne,
  - przestrzenie pokładów otwartych i odgrodzone przestrzenie osłonięte, będące miejscami wsiadania do łodzi i tratw ratunkowych oraz do ich wodowania,
  - burty jednostki do poziomu wody przy najmniejszym zanurzeniu eksploatacyjnym,
  - ściany boczne nadbudówek i pokładówek usytuowanych poniżej i w pobliżu miejsc wsiadania do tratw i ześlizgów ewakuacyjnych;
- .6** Przestrzenie otwarte w tabelach oznaczone literą (F):
  - otwarte przestrzenie inne niż stanowiska ewakuacyjne, zewnętrzne drogi ewakuacyjne oraz posterunki dowodzenia.

**10.1.9.6** W odniesieniu do klasyfikacji pomieszczeń, podanej w 10.1.6.3.6, mają zastosowanie następujące dodatkowe kryteria:

- .1** jeśli pomieszczenie podzielone jest przez przegrody częściowe na dwie (lub więcej) mniejszych obszarów, tak że tworzą one zamknięte przestrzenie, wtedy takie zamknięte przestrzenie powinny być otoczone, odpowiednio, ścianami i pokładami zgodnie z tabelą 10.1-1. Jednak jeśli oddzielające ściany takich przestrzeni są w co najmniej 30% otwarte, wtedy przestrzeń może być uznana jako to samo pomieszczenie;

---

<sup>27</sup> Na każdym statku pasażerskim powinno znajdować się centrum bezpieczeństwa, przeznaczone do wspomagania zarządzaniem bezpieczeństwem w sytuacjach awaryjnych.

Wyjaśnienia dotyczące wzajemnego powiązania między centralnym posterunkiem dowodzenia, mostkiem nawigacyjnym a centrum bezpieczeństwa zostały podane w okólniku MSC.1/ Circ.1368.

Centrum bezpieczeństwa powinno albo stanowić część mostka nawigacyjnego statku, albo powinno znajdować się w oddzielnym pomieszczeniu sąsiadującym z mostkiem i mającym bezpośredni dostęp do mostka.



- .2 schowki/szafy o powierzchni pokładu mniejszej niż 2 m<sup>2</sup> mogą być zaakceptowane jako część pomieszczenia, które obsługują, pod warunkiem że mają wentylację otwartą do pomieszczenia i nie zawierają żadnych materiałów lub wyposażenia stwarzającego zagrożenie pożarowe;
- .3 jeśli pomieszczenie ma szczególne właściwości dwóch lub więcej grup pomieszczeń, to czas konstrukcyjnej ochrony pożarowej przegrody powinien być najwyższy dla rozpatrywanej grupy. Na przykład, czas konstrukcyjnej ochrony pożarowej przegród pomieszczeń agregatu awaryjnego powinien mieć najwyższą wartość dla danego pomieszczenia, jeśli pomieszczenie rozpatrywane jest jako posterunek dowodzenia (D) i przedział maszynowy (A).

**10.1.9.7** Jeśli pomieszczenie przedzielone jest pokładem lub ścianą, a w każdej przestrzeni zamontowana jest inna izolacja pożarowa, to na ścianie lub pokładzie o niższym czasie konstrukcyjnej ochrony pożarowej powinna rozciągać się na długości co najmniej 450 mm ta sama izolacja, która jest wymagana dla przegrody o wyższym czasie konstrukcyjnej ochrony pożarowej.

Jeśli dolna część izolacji musi zostać wycięta w celu odwodnienia, konstrukcja powinna być wykonana zgodnie ze szczegółem pokazanym na rysunku 7.3.6 z rezolucji IMO MSC.222(82).

**10.1.9.8** Poniższe wymagania mają zastosowanie do wszystkich jednostek bez względu na to, z jakiego materiału zostały zbudowane. Czasy ogniowej ochrony pożarowej konstrukcji oddzielających przegród i pokładów powinny być takie jak podano w tabeli 10.1-1, a wszystkie czasy ochrony pożarowej są oparte na założeniu zapewnienia ochrony podczas ewakuacji, zgodnie z punktem 12.3.4.1, przez okres 60 minut. W żadnym jednak przypadku czas konstrukcyjnej ochrony pożarowej nie może być mniejszy niż 30 min.

**10.1.9.9** Stosując tabelę 10.1-1 należy zwrócić uwagę na to, że określenie każdej grupy przestrzeni ma w zamierzeniu raczej charakter kwalifikacji ogólnej niż ścisłego ograniczenia. Do ustalenia odpowiednich standardów odporności ogniowej, które należy zastosować dla przegród pomiędzy sąsiadującymi przestrzeniami, w przypadku wątpliwości dotyczących ich klasyfikacji dla celów niniejszej *Publikacji* przestrzenie należy traktować jako należące do stosownej grupy, wobec której obowiązują najostrzejsze wymagania dotyczące przegród.

**10.1.9.10** Przegrody ognioodporne, dla których czas ochrony pożarowej wynosi 30 minut, mogą być zastąpione przegrodami klasy A-30 a te, których czas ochrony pożarowej wynosi 60 minut – przegrodami klasy A-60.

**Tabela 10.1-1**  
**Czasy odporności ogniowej oddzielających przegród**  
**i pokładów na jednostkach pasażerskich**

	A	B	C	D	E	F
Rejony o dużym zagrożeniu pożarowym	<b>60</b> <i>1</i>	<b>60</b> <i>1</i>	<b>60</b> <i>1</i>	<b>60</b> <i>1</i>	<b>60</b> <i>1</i>	<b>60</b> <i>1, 4, 5</i>
Rejony o średnim zagrożeniu pożarowym		<b>30</b>	<b>30</b> <i>3</i>	<b>60</b> <i>2, 3</i>	<b>30</b> <i>3</i>	<i>3</i>
Rejony o małym zagrożeniu pożarowym			<i>3</i>	<b>30</b> <i>2, 3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>
Posterunki dowodzenia				<i>2, 3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>
Stanowiska ewakuacyjne i drogi ewakuacji				<i>2, 3</i>	<i>3</i>	<i>3</i>
Przestrzeń otwarta						<i>3</i>

**Uwagi:**

Liczby wytłuszczone po obu stronach linii ukośnej przedstawiają wymagany czas (w minutach) odporności ogniowej konstrukcji przeciwpożarowej, wymaganej po odpowiedniej stronie przegrody<sup>1)</sup>.

- <sup>1</sup> Górne powierzchnie pokładów znajdujących się pomiędzy pomieszczeniami bronionymi przez stałe instalacje gaśnicze nie muszą być izolowane.
- <sup>2</sup> Stanowiska kontroli i sterowania, które równocześnie są przedziałami maszynowymi pomocniczymi, powinny mieć 30-minutową konstrukcyjną ochronę pożarową.
- <sup>3</sup> Nie ma żadnych wymagań dotyczących konstrukcyjnej ochrony przeciwpożarowej, jednakże wymagana jest przegroda dymoszczelna, wykonana z materiałów niepalnych lub materiałów ograniczających rozprzestrzenianie się ognia.
- <sup>4</sup> Brak ograniczeń co do wzrostu średniej temperatury na stronie niewystawionej na działanie ognia przez cały odpowiedni czas ochrony pożarowej.
- <sup>5</sup> Czas ochrony pożarowej może być zredukowany do 0 minut dla tych części otwartych pomieszczeń typu ro-ro, które nie stanowią zasadniczych części konstrukcji przenoszącej obciążenia i do których nie mają dostępu pasażerowie, a załoga nie musi do nich wchodzić w jakichkolwiek warunkach awaryjnych.

**10.1.10 Integralność konstrukcji**

**10.1.10.1** Należy utrzymać integralność konstrukcji statku zapobiegając częściowemu lub całkowitemu zniszczeniu elementów konstrukcyjnych przez obniżenie ich wytrzymałości pod wpływem ciepła.

**10.1.10.2** Zastosowane materiały powinny zapobiegać zniszczeniu integralności konstrukcji statku na skutek pożaru.

**10.1.10.3** Niezależnie od rodzaju podstawowych materiałów zastosowanych przegród, maszynownia i jej szyby powinny być oddzielone od przyległych pomieszczeń grodziami i pokładem, izolowanymi wełną mineralną, stosowaną do izolowania przegród do klasy A-60. Izolowane w ten sposób powinny być też burty w rejonie maszynowni od poziomu 300 mm poniżej najniższej linii wodnej wzwyż.

**10.1.10.4** Podłoga maszynowni, jeżeli jest z laminatu, powinna być pokryta materiałem niepalnym np. blachą stalową.

**10.1.10.5** Zbiorniki paliwa w kadłubie powinny być odizolowane od innych pomieszczeń koferdamami.

**10.2 Czynna ochrona p.poż., obejmująca: stałe instalacje gaśnicze, instalacje sygnalizacji pożarowej oraz przenośny sprzęt pożarniczy****10.2.1 Założenia ogólne dotyczące zasad gaszenia pożarów**

Podczas pożaru na statku z kompozytów polimerowych podstawową zasadą w walce z pożarami jest wczesne wykrycie pożaru i jego ugaszenie „w zarodku”, tak żeby nie dopuścić do powstania wysokiej temperatury oddziałującej na konstrukcję statku.

Ze względu na dobrą izolacyjność materiałów z kompozytów polimerowych, zasadniczy wpływ na skuteczność ugaszenia pożaru ma możliwość podania środka gaśniczego bezpośrednio na źródło ognia.

Do gaszenia pożaru z kompozytów polimerowych najbardziej skutecznym czynnikiem gaśniczym jest woda, która użyta we wczesnej fazie pożaru powoduje szybkie zahamowanie reakcji chemicznych wewnątrz kompozytów polimerowych i powstrzymanie pożaru.

Podczas pożaru materiałów z kompozytów polimerowych ważnym czynnikiem jest chłodzenie powierzchni objętych pożarem w celu obniżenia temperatury i uniknięcia ponownego zapłonu materiału.

Gazowe instalacje gaśnicze nie są zalecane ze względu na słabe zdolności chłodzenia.

**10.2.2 Zakres nadzoru**

**10.2.2.1** Nadzorowi podczas budowy lub przebudowy statku podlegają: stałe instalacje gaśnicze, instalacje wykrywania i sygnalizacji pożaru oraz inne systemy i rozwiązania z zakresu czynnej ochrony przeciwpożarowej, których dokumentacja jest przedmiotem rozpatrzenia i zatwierdzenia.

---

<sup>1)</sup> Liczby niewytłuszczone oznaczają numer uwagi.

**10.2.2.2** Stałe instalacje gaśnicze lub ich elementy, elementy instalacji wykrywania i sygnalizacji pożaru, jak podano w poszczególnych podrozdziałach, oraz przenośny sprzęt pożarniczy powinny być dostarczane ze *Świadectwem uznania typu wyrobu* lub równoważnym innym certyfikatem.

**10.2.2.3** Pompy pożarowe, pompy zasilające instalacje zraszające wodne, powinny być dostarczane z certyfikatem odbioru przeprowadzonym pod nadzorem inspektora PRS.

**10.2.2.4** Zbiorniki i butle ciśnieniowe instalacji gaśniczych gazowych, a także kolektor CO<sub>2</sub>, powinny być dostarczane z certyfikatem prób ciśnieniowych i odbioru PRS.

**10.2.2.5** Materiały z kompozytów polimerowych stosowane w instalacjach, takie jak rury, złączki, uchwyty, przejścia itp., powinny być dostarczane z certyfikatem uznania lub odbioru zgodnie z wymaganiami podanymi w podrozdziale 5.1.2.

**10.2.2.6** Podczas eksploatacji statku instalacje gaśnicze i urządzenia stosowane w ochronie przeciwpożarowej podlegają okresowym przeglądom technicznym i atestacji zgodnie z *Publikacją Nr 29/I – Wytyczne dotyczące okresowych przeglądów instalacji i urządzeń stosowanych w ochronie przeciwpożarowej na statkach*.

### **10.2.3 Dokumentacja klasyfikacyjna**

Przed rozpoczęciem budowy statku należy dostarczyć do Centrali PRS do rozpatrzenia i zatwierdzenia, następującą dokumentację:

- .1 plan instalacji wodnohydrantowej obejmujący rozmieszczenie pomp, rurociągów i zaworów hydrantowych;
- .2 plan gazowej instalacji gaśniczej całkowitego wypełnienia dla siłowni lub instalacji równoważnej;
- .3 plan instalacji wykrywania i sygnalizacji pożaru;
- .4 plan rozmieszczenia sprzętu pożarniczego;
- .5 plan ochrony przeciwpożarowej.

### **10.2.4 Plan ochrony przeciwpożarowej**

Na wszystkich statkach pasażerskich powinien znajdować się wywieszony *Plan ochrony przeciwpożarowej*, opracowany na bazie planu ogólnego statku, pokazujący:

- .1 rejony statku otoczone przegrodami ognioodpornymi;
- .2 posterunki dowodzenia;
- .3 drogi ewakuacji do miejsc wsiadania do środków ratunkowych;
- .4 pomieszczenia i rejony statku chronione przez instalację wykrywania i sygnalizacji pożaru oraz rozmieszczenie ręcznych przycisków pożarowych;
- .5 pomieszczenia i rejony statku bronione przez stałe instalacje gaśnicze;
- .6 rozmieszczenie sprzętu pożarniczego;
- .7 rozmieszczenie zamknięć otworów wentylacyjnych, klap przeciwpożarowych w kanałach wentylacyjnych oraz miejsca zdalnego wyłączenia wentylatorów;
- .8 zbiorniki paliwa i oleju smarowego znajdujące się poza dnem podwójnym, miejsca zdalnego zamykania zaworów odcinających tych zbiorników oraz miejsca zdalnego wyłączenia pomp paliwa i oleju smarowego;
- .9 pompy pożarowe, miejsca ich zdalnego sterowania oraz miejsca zdalnego sterowania głównej i awaryjnej pompy zęzowej;
- .10 awaryjne źródło energii elektrycznej (agregat prądotwórczy lub baterię akumulatorów) oraz awaryjną rozdzielnicę elektryczną;
- .11 miejsca zdalnego sterowania drzwi wodoszczelnych i drzwi pożarowych;
- .12 miejsca umieszczenia *Planu ochrony przeciwpożarowej*;
- .13 miejsca zbiórki pasażerów.

Symbole użyte na Planie były zgodne z rezolucją IMO A.952(23) lub obowiązującymi normami ISO.

## **10.2.5 Zabezpieczenie przeciwpożarowe pomieszczeń statku**

### **10.2.5.1 Pomieszczenia pasażerów i załogi, pomieszczenia służbowe i posterunki dowodzenia**

**10.2.5.1.1** Pomieszczenia pasażerów i załogi, pomieszczenia służbowe, traktowane jako rejony o dużym i średnim zagrożeniu pożarowym, a także inne miejsca zamknięte w pomieszczeniach ogólnego użytku, w których załoga nie przebywa stale, takie jak toalety, klatki schodowe i korytarze, powinny być wyposażone w stałą instalację wykrywania i sygnalizacji pożaru, z czujkami dymu oraz z ręcznymi przyciskami pożarowymi, zgodną z 10.2.7, umożliwiającą wskazanie w posterunku dowodzenia miejsca powstania pożaru.

**10.2.5.1.2** Ręczne przyciski pożarowe powinny być zainstalowane w pomieszczeniach ogólnego użytku, załogowych, korytarzach i klatkach schodowych. Ręczne przyciski pożarowe powinny być łatwo dostępne w korytarzach na każdym pokładzie tak, aby z żadnej części korytarza nie było dalej niż 20 m do przycisku pożarowego. Należy umieścić jeden przycisk przy każdym wyjściu z tych pomieszczeń, a także przy każdym wyjściu z rejonów o dużym zagrożeniu pożarowym.

**10.2.5.1.3** Pomieszczenia załogi, pomieszczenia służbowe i posterunki dowodzenia powinny być wyposażone w gaśnice przenośne, odpowiednie do gaszenia pożarów grupy A i B. Na statku powinno znajdować się co najmniej pięć gaśnic, które powinny być tak rozmieszczone, aby były dostępne do natychmiastowego użycia.

### **10.2.5.2 Przedziały maszynowe**

**10.2.5.2.1** Przedziały maszynowe traktowane jako rejony o dużym i średnim zagrożeniu pożarowym powinny być wyposażone w stałą instalację wykrywania i sygnalizacji pożaru, z czujkami dymu, zgodną z 10.2.7, umożliwiającą przy normalnej pracy wszystkich urządzeń zasygnalizowanie w posterunku dowodzenia miejsca powstania pożaru.

**10.2.5.2.2** Przedziały maszynowe napędu głównego dodatkowo powinny być wyposażone w czujki reagujące na czynnik inny niż dym i powinny być nadzorowane przez kamery telewizyjne, monitorowane z posterunku dowodzenia.

**10.2.5.2.3** Przedziały maszynowe traktowane jako rejony o dużym zagrożeniu pożarowym powinny być wyposażone w stałą gazową instalację gaśniczą zgodną z 10.2.6.3. Instalacja powinna być uruchamiana ręcznie – lokalnie oraz zdalnie z posterunku dowodzenia.

**10.2.5.2.4** Zamiast stałej gazowej instalacji gaśniczej może być zastosowana instalacja zraszająca wodna, spełniająca mające zastosowanie wymagania podane w *Publikacji Nr 89/P – Wytyczne dotyczące projektowania, wykonania i przeprowadzania prób typu stałych instalacji gaśniczych stosowanych na statkach*, podrozdział 3.2.

**10.2.5.2.5** W przedziałach maszynowych należy umieścić gaśnice przenośne, odpowiednie do gaszenia pożaru grupy B.

### **10.2.5.3 Magazyny cieczy palnych**

**10.2.5.3.1** W magazynie powinna być zamontowana czujka dymowa instalacji wykrywania i sygnalizacji pożaru.

**10.2.5.3.2** Magazyny cieczy palnych o powierzchni podłogi większej niż 4 m<sup>2</sup> powinny być wyposażone w stałą gazową instalację gaśniczą lub inną instalację gaśniczą zapewniającą równorzędną ochronę, uruchamianą spoza magazynu.

**10.2.5.3.3** Przy wejściu do magazynu powinna znajdować się gaśnica przenośna, odpowiednia do gaszenia pożaru grupy B.

## **10.2.6 Stale instalacje gaśnicze**

### **10.2.6.1 Wymagania ogólne**

**10.2.6.1.1** W instalacjach gaśniczych należy stosować rurociągi metalowe lub ze stopów metali lekkich. Rurociągi stalowe, oprócz wykonanych ze stali nierdzewnej, należy zabezpieczyć przed korozją, przy czym zaleca się zastosować ocynkowanie obustronne.

**10.2.6.1.2** W instalacjach gaśniczych wodnych dopuszcza się stosowanie rur z tworzyw sztucznych/kompozytów polimerowych, uznanych zgodnie z wymaganiami podanymi w rozdziale 5.

**10.2.6.1.3** Sposób połączeń rurociągów, przejść przez pokłady/przegrody oddzielające pomieszczenia i mocowania rurociągów do konstrukcji kadłuba statku, powinien być zgodny ze standardami krajowymi/międzynarodowymi stosowanymi w okrętownictwie.

**10.2.6.1.4** Rurociągi ciśnieniowe po zamontowaniu na statku podlegają próbie ciśnieniowej ciśnieniem próbnym wynoszącym co najmniej 1,25 ciśnienia roboczego.

**10.2.6.1.5** Zbiorniki ciśnieniowe i butle do przechowywania czynnika gaśniczego, stosowane w instalacjach gaśniczych, powinny spełniać wymagania standardów krajowych/ międzynarodowych stosowanych w okrętownictwie.

### **10.2.6.2 Instalacja wodnohydrantowa**

**10.2.6.2.1** Każdy statek powinien być wyposażony w instalację wodnohydrantową, składającą się z pomp pożarowych, rurociągów doprowadzających wodę, zaworów hydrantowych oraz węży pożarniczych z prądownicami.

**10.2.6.2.2** Na statku należy zastosować co najmniej 2 pompy pożarowe zasilane przez niezależne źródła energii, z których jedna powinna być traktowana jako awaryjna pompa pożarowa. Każda pompa powinna mieć wydajność nie mniejszą niż 2/3 wymaganej wydajności pomp zębowych, lecz nie mniejszą niż 25 m<sup>3</sup>/h. Każda pompa powinna być zdolna do podawania wody o odpowiednim ciśnieniu, w ilości wystarczającej do równoczesnej pracy hydrantów, zgodnie z wymaganiami podanymi w 10.2.3.2.6.

**10.2.6.2.3** Rozmieszczenie pomp pożarowych powinno być takie, aby pożar w jakimkolwiek pomieszczeniu nie spowodował wyłączenia z użycia wszystkich pomp.

**10.2.6.2.4** Należy zapewnić możliwość zdalnego uruchamiania jednej z pomp pożarowych z posterunku dowodzenia. W miejscu zdalnego uruchamiania pompy powinien znajdować się wskaźnik sygnalizujący pracę pompy.

**10.2.6.2.5** Na zewnątrz przedziału maszynowego, w łatwo dostępnym miejscu, należy umieścić zawór oddzielający, przeznaczony do odcięcia sekcji rurociągów znajdujących się w przedziale maszynowym, w którym znajduje się główna pompa pożarowa, od pozostałych rurociągów instalacji. Układ rurociągów instalacji powinien być taki, żeby przy zamkniętym zaworze oddzielającym zawory hydrantowe na statku mogły być zasilane wodą z awaryjnej pompy pożarowej.

**10.2.6.2.6** Liczba i rozmieszczenie zaworów hydrantowych na statku powinny być takie, żeby co najmniej 2 prądy gaśnicze wody nie pochodzące z tego samego zaworu hydrantowego, podawane za pomocą pojedynczego odcinka węża, mogły sięgać do każdego miejsca na statku, zarówno wewnątrz pomieszczeń statku jak i na pokładach otwartych.

**10.2.6.2.7** Jeden zawór hydrantowy powinien znajdować się w pobliżu wejścia do przedziału maszynowego. Na statku powinny znajdować się co najmniej 2 zawory hydrantowe.

**10.2.6.2.8** Węże pożarnicze powinny być wykonane z materiału nieulegającego butwieniu, a długość węży powinna wynosić odpowiednio 10 lub 15 m, mając na uwadze długość statku.

**10.2.6.2.9** Wężę pożarnicze z prądownicą powinny znajdować się w szafkach, w stałej gotowości do użycia, zamocowanych w widocznym miejscu w pobliżu zaworów hydrantowych. Wszystkie wężę pożarnicze znajdujące się wewnątrz pomieszczeń powinny być stale podłączone do zaworów hydrantowych.

**10.2.6.2.10** Dla każdego zaworu hydrantowego należy przewidzieć jeden wąż pożarniczy.

**10.2.6.2.11** Każdy wąż pożarniczy powinien być zaopatrzony w prądownicę wodną typu uniwersalnego, tj. dającą zwarty i rozpylony prąd wody, z zaworem umożliwiającym zamknięcie przepływu wody.

**10.2.6.2.12** Na statku powinny być stosowane prądownice wodne o średnicach dysz 12, 16 lub 19 mm. W przypadku zastosowania prądownic o innym systemie gaszenia, np. system mgłowy, dopuszcza się użycie prądownic o mniejszych średnicach dysz.

**10.2.6.2.13** Na statkach o długości większej niż 24 m, instalacja wodnohydrantowa powinna być stale wypełniona wodą pod ciśnieniem i powinna być tak wykonana, żeby istniała możliwość natychmiastowego podania co najmniej jednego skutecznego prądu gaśniczego wody z dowolnego zaworu hydrantowego znajdującego się na statku oraz żeby był zapewniony ciągły dopływ wody poprzez automatyczne uruchomienie jednej z wymaganych pomp pożarowych.

### **10.2.6.3 Gazowa instalacja gaśnicza**

Instalacja powinna spełniać mające zastosowanie wymagania *Przepisów klasyfikacji i budowy jednostek szybkich (HSC)*, rozdział 3.3, z takim wyjątkiem, że nie wymaga się, aby ilość czynnika gaśniczego zapewniała 2-krotne jego użycie.

Gazowa równoważna instalacja gaśnicza dla przedziałów maszynowych z czynnikami gaśniczymi, takimi jak: FM-200, FE-36 itp., powinna być typu uznanego, spełniając wymagania standardów stosowanych w okrętownictwie.

### **10.2.6.4 Stała instalacja wykrywania i sygnalizacji pożaru**

Instalacja powinna spełniać mające zastosowanie wymagania podane w *Przepisach klasyfikacji i budowy jednostek szybkich (HSC)*, podrozdział 4.1. Instalacja powinna mieć możliwość zdalnej identyfikacji każdej z czujek i każdego ręcznego przycisku pożarowego.

Elementy stałych instalacji wykrywania i sygnalizacji pożaru, takie jak: centralka wykrywcza pożaru, urządzenia alarmowe, czujki i ręczne przyciski pożarowe, kable elektryczne, urządzenia zasilające oraz izolatory zwarcia powinny być typu uznanego, spełniając wymagania standardów stosowanych w okrętownictwie.

## **10.2.7 Sprzęt pożarniczy**

### **10.2.7.1 Wymagania ogólne**

**10.2.7.1.1** Sprzęt pożarniczy obejmujący: gaśnice, ubrania ochronne, wyposażenie strażackie i koce gaśnicze powinien być dostarczany z certyfikatem do stosowania w ochronie przeciwpożarowej na statkach.

**10.2.7.1.2** Sprzęt pożarniczy powinien być umieszczony w łatwo dostępnych miejscach na statku, najlepiej przy wejściu do pomieszczenia i powinien być odpowiednio oznakowany symbolami stosowanymi w ochronie przeciwpożarowej na statkach.

### **10.2.7.2 Gaśnice przenośne**

**10.2.7.2.1** Gaśnice powinny być typu uznanego w oparciu o wytyczne podane w rezolucji A.951(23) oraz normę PN-EN 3-7 jako odpowiednie do stosowania w warunkach środowiska morskiego.

**10.2.7.2.2** Każda gaśnica przenośna proszkowa i gaśnica CO<sub>2</sub> (śniegowa) powinna zawierać co najmniej 5 kg czynnika gaśniczego, natomiast gaśnica pianowa i na mgłę wodną – co najmniej 9 l roztworu środka pianotwórczego lub wody. Całkowita masa gaśnicy przenośnej nie może przekraczać 20 kg.

**10.2.7.2.3** Gaśnice CO<sub>2</sub> mogą być stosowane wyłącznie do użycia w kuchni oraz do gaszenia urządzeń elektrycznych. Mając na uwadze zagrożenie dla życia osób znajdujących się w pomieszczeniu, wielkość gaśnicy powinna być tak dobrana, żeby nie więcej niż 1 kg CO<sub>2</sub> przypadał na 15 m<sup>3</sup> pomieszczenia, w którym gaśnica jest przechowywana lub używana.

**10.2.7.2.4** Gaśnice na statku powinny być tak rozmieszczone i tak zamocowane, żeby w przypadku pożaru mogły być zawsze łatwo dostępne i gotowe do użycia.

**10.2.7.2.5** Ze względu na umożliwienie chłodzenia konstrukcji z kompozytów polimerowych, zalecane jest stosowanie gaśnic na mgłę wodną.

**10.2.7.2.6** Na statku powinny znajdować się gaśnice zapasowe w liczbie co najmniej 50% każdego typu gaśnic rozmieszczonych na statku.

### **10.2.7.3 Wyposażenie strażackie**

Na statkach pasażerskich przewożących więcej niż 100 pasażerów powinny znajdować się co najmniej 2 komplety wyposażenia strażackiego, spełniającego wymagania *Przepisów klasyfikacji i budowy jednostek szybkich (HSC)*, podrozdział 5.3.6.

## **11 WENTYLACJA**

**11.1** Wymagania dotyczące instalacji wentylacyjnych podane są w pkt. 22.3.4.1 *Przepisów klasyfikacji i budowy statków morskich, Część VI – Urządzenia maszynowe i urządzenia chłodnicze*.

**11.2** Zamiast przejść kanałów wentylacyjnych (stalowych tulei), montowanych w przegrodach ognioodpornych lub w przegrodach klasy A, wymaganych w punktach 11.2.6 i 11.2.7 z *Części VI – Urządzenia maszynowe i urządzenia chłodnicze, Przepisów klasyfikacji i budowy statków morskich*, dopuszcza się stosowanie innych równoważnych im rozwiązań/konstrukcji pod warunkiem, że spełnią one badania określone w *Kodeksie FTP* (patrz też pkt. 10.1.6.4.5 niniejszych *Publikacji*).

## **12 DROGI EWAKUACYJNE, MIEJSCA ZBIÓRKI I EWAKUACJI, ŚRODKI EWAKUACJI I ŚRODKI RATUNKOWE**

### **12.1 Cele ogólne**

**12.1.1** Należy zapewnić pasażerom i załodze możliwość bezpiecznego przemieszczenia się do miejsca zbiórki w razie pożaru.

**12.1.2** Należy zapewnić pasażerom i załodze możliwość bezpiecznej ewakuacji ze statku w razie wystąpienia takiej konieczności.

### **12.2 Wymagania funkcjonalne**

**12.2.1** Na statku powinny być zaprojektowane drogi ewakuacji prowadzące z pomieszczeń mieszkalnych, służbowych i posterunków, o możliwie prostym przebiegu i odpowiedniej szerokości.

**12.2.2** Powierzchnia miejsc zbiórki powinna wynikać z ilości pasażerów, której to miejsce zbiórki ma służyć. W pierwszej kolejności miejsca zbiórki należy wyznaczać na pokładzie otwartym.

### **12.3 Rozwiązania projektowe**

#### **12.3.1 Drogi ewakuacji**

**12.3.1.1** Korytarze, schody i drabiny należy tak rozplanować, aby z każdego pomieszczenia mieszkalnego i z każdego pomieszczenia, do którego załoga ma stały dostęp, zapewniona była możliwość ewakuacji na pokład otwarty.

**12.3.1.2** Z każdego rejonu pomieszczeń mieszkalnych i służbowych na każdym pokładzie – jeżeli jest to praktycznie możliwe (uwzględniając wielkość pomieszczeń i liczbę załogi) – należy przewidzieć dwa wyjścia możliwie najbardziej od siebie oddalone.

**12.3.1.3** Z każdego przedziału maszynowego należy przewidzieć dwa wyjścia możliwie najbardziej od siebie oddalone, przy czym jedno z nich może być wyjściem awaryjnym. Jeżeli świetlik przewidziany jest jako wyjście awaryjne, to należy zapewnić możliwość otwierania go z obu stron.

**12.3.1.4** PRS może dopuścić możliwość pozostawienia jednej drogi ewakuacji z rejonu pomieszczeń mieszkalnych lub przedziału maszynowego, mając na uwadze wielkość i rozplanowanie tych pomieszczeń (np. gdy odległość od najbardziej oddalonego miejsca w pomieszczeniu do wyjścia nie przekracza 5 m).

**12.3.1.5** Drogi ewakuacji nie powinny się zwężać w kierunku miejsc zbiórki/ewakuacji, ani być zastawiane meblami lub elementami wyposażenia.

**12.3.1.6** Drzwi znajdujące się na trasie ewakuacji powinny się otwierać w kierunku ewakuacji.

**12.3.1.7** Szerokość korytarzy, drzwi i schodów, które są częściami drogi ewakuacyjnej, powinny wynosić co najmniej 900 mm. Szerokość przejść, drzwi i schodów obsługujących pomieszczenia, w których normalnie nie przebywają ludzie, może być zmniejszona do 600 mm.

**12.3.1.8** Pomieszczenia kategorii specjalnej, wykorzystywane do rozmieszczenia pojazdów mechanicznych, powinny być wyposażone w chodniki o szerokości co najmniej 600 mm prowadzące do bezpiecznych dróg ewakuacji.

**12.3.1.9** Należy zastosować odpowiednie znaki informacyjne kierujące pasażerów do wyjść.

### **12.3.2 Miejsca zbiórki**

**12.3.2.1** Dla każdego pasażera należy przewidzieć min. 0,35 m<sup>2</sup> powierzchni miejsca zbiórki.

**12.3.2.2** Jeżeli niemożliwe jest zapewnienie wszystkim pasażerom miejsc zbiórki na pokładzie otwartym, wówczas należy podzielić jedno pomieszczenie pasażerskie wzdłużną grodzią (np. FRD) na dwa pomieszczenia, tak by jedno z nich mogło służyć jako miejsce zbiórki.

### **12.3.3 Miejsca ewakuacji**

**12.3.3.1** Miejsca ewakuacji powinny znajdować się jak najdalej od siłowni.

**12.3.3.2** Należy przewidzieć co najmniej trzy możliwe miejsca ewakuacji z każdej burty.

**12.3.3.3** W przypadku przewozu więcej niż 100 pasażerów, zalecane jest zastosowanie MES jako środka ewakuacji ze statku.

### **12.3.4 Czas ewakuacji i próba ewakuacji**

**12.3.4.1** Czas ewakuacji należy określać zgodnie z punktem 4.8.1 *Międzynarodowego kodeksu bezpieczeństwa jednostek szybkich, 2000*.

**12.3.4.2** Na statku należy przeprowadzić próbę ewakuacji zgodnie z punktami 4.8.2 do 4.8.11 *Międzynarodowego kodeksu bezpieczeństwa jednostek szybkich, 2000*.



## **13 PRZEGLĄDY**

### **13.1 Przeglądy elementów strukturalnej ochrony pożarowej**

#### **13.1.1 Przegląd roczny**

##### **13.1.1.1 Przegrrody i konstrukcje przeciwpożarowe – wymagany zakres czynności:**

- .1** oględziny zewnętrzne przegród pożarowych: sprawdzenie stanu izolacji (o ile występuje), integralności płyt przegród (w tym braku rozwarstwień) – jeżeli są wykonane z gotowych płyt, szczelności przejść rurociągów, kanałów wentylacyjnych i kabli, szczelności zamknięć otworów w przegródach:
  - w pomieszczeniach mieszkalnych, służbowych i w posterunkach dowodzenia,
  - w przedziałach maszynowych;
- .2** oględziny zewnętrzne konstrukcji przeciwpożarowych w celu potwierdzenia, że nie dokonano zmian konstrukcyjnych, obejmując w tym: osłony schodów i wind, systemy wentylacji, okna i iluminatory oraz użycie materiałów palnych;
- .3** oględziny zewnętrzne przegród przeciwciągowych.

##### **13.1.1.2 Drzwi pożarowe – wymagany zakres czynności:**

- .1** oględziny zewnętrzne wszystkich drzwi pożarowych;
- .2** próba działania wszystkich samozamykających się drzwi pożarowych (zawiasowych i przesuwanych);
- .3** próba działania zdalnego zwalniania wszystkich drzwi pożarowych stale otwartych z posterunku dowodzenia oraz zamykania ich lokalnie z miejsca po obu stronach drzwi;
- .4** próba działania sygnalizacji zamknięcia każdego drzwi na panelu w posterunku dowodzenia;
- .5** próba działania mechanizmu zwalnającego drzwi, umożliwiającego automatyczne zamknięcie w przypadku przerwania układu sterowania lub odcięcia zasilania elektrycznego.

##### **13.1.1.3 Drogi ewakuacji – wymagany zakres czynności:**

- .1** oględziny wewnętrznych i zewnętrznych dróg ewakuacji do miejsc wsiadania do środków ratunkowych: sprawdzenie, czy drabiny/stopnie/ poręcze/ płyty podłogowe na drogach ewakuacji są stalowe i odpowiednio zamocowane oraz czy drogi ewakuacji są wolne od mebli, sprzętu do utrzymania czystości i innych przeszkód:
  - w pomieszczeniach mieszkalnych, służbowych i w posterunkach dowodzenia,
  - w przedziałach maszynowych,
  - na pokładach otwartych;
- .2** oględziny oznakowania i oświetlenia (z awaryjnego źródła zasilania) dróg ewakuacji, wyjść awaryjnych i miejsc zbiórki;
- .3** oględziny włazów pokładowych stanowiących drogi ewakuacji z pomieszczeń
  - sprawdzenie możliwości otwierania pokrywy włazu z obydwu stron;
- .4** oględziny szybów i kabin wind osobowych: sprawdzenie, czy zapewniona jest możliwość ewakuacji osób z kabiny windy w przypadku awarii systemu zasilania i zatrzymania się kabiny między poziomami wyjściowymi. Sprawdzenie, czy kabina windy wyposażona jest w odpowiedni właz ewakuacyjny oraz czy w szybie znajduje się drabina ewakuacyjna.

##### **13.1.1.4 Zabezpieczenie przeciwpożarowe przedziałów maszynowych – wymagany zakres czynności:**

- .1** oględziny przedziałów maszynowych: sprawdzenie czystości i stanu utrzymania (brak zanieczyszczeń, zacieków itp., produktami łatwopalnymi, mogącymi być źródłem pożaru);
- .2** próba działania zamknięć wszystkich otworów prowadzących do przedziałów maszynowych, takich jak: drzwi, włazy, głowice i żaluzje wentylacyjne;
- .3** próba działania zdalnego wyłączania wentylatorów wentylacji nawiewowej i wyciągowej;
- .4** próba działania zdalnego wyłączania: wentylatorów do zasilania kotłów, pomp transportowych paliwa, oleju smarowego, oleju grzewczego i wirówek paliwa;

- .5 próba działania zdalnego zamykania zaworów szybkozamykających rurociągów paliwa zbiorników zapasowych, osadowych lub rozchodowych, umieszczonych w przedziale maszynowym nad dnem podwójnym;
  - .6 sprawdzenie, czy materiały izolacyjne (burt, ścian, sufitów, szybów, kanałów wentylacyjnych, rurociągów itp.) w przedziałach maszynowych są zabezpieczone odpowiednio powłoką chroniącą przed wnikaniem oparów produktów ropopochodnych;
- 13.1.1.5** Zabezpieczenie przeciwpożarowe pomieszczeń kuchennych i pentr:
- .1 oględziny wewnętrzne przestrzeni podsufitowej w pomieszczeniach kuchennych (przez klapy rewizyjne): sprawdzenie, czy są wolne od tłuszczu i zanieczyszczeń;
  - .2 próba działania wyłączenia wentylacji mechanicznej w pomieszczeniu kuchennym.
- 13.1.1.6** Kanał wentylacji wyciągowej znad pieca kuchennego w pomieszczeniach kuchennych – wymagany zakres czynności:
- .1 oględziny zewnętrzne elementów, takich jak: zbiornik z czynnikiem instalacji gaśniczej, przewody elastyczne, zawory sterujące, klapy przeciwpożarowe, rurociągi, dysze wylotowe itp.;
  - .2 oględziny wewnętrzne łapacza tłuszczu i kanału wentylacji wyciągowej (przez klapy rewizyjne): sprawdzenie, czy na ściankach kanału nie znajduje się osadzony tłuszcz;
  - .3 próba działania ręcznego sterowania klap przeciwpożarowych w dolnym i górnym końcu kanału.
- 13.1.1.7** Systemy wentylacji, klapy przeciwpożarowe – wymagany zakres czynności:
- .1 oględziny i próba działania zamknięć głównych zewnętrznych wlotów i wylotów powietrza wszystkich systemów wentylacji;
  - .2 próba działania zdalnego wyłączenia wentylatorów systemów wentylacji;
  - .3 oględziny zewnętrzne wszystkich dostępnych klap przeciwpożarowych w kanałach wentylacyjnych;
  - .4 próba działania wszystkich sterowań wentylacji połączonych z instalacjami gaśniczymi.
- 13.1.2 Przegląd pięcioletni**
- 13.1.2.1** Przegrody pożarowe – wymagany zakres czynności
- .1 oględziny szczegółowe wybranych przegród pożarowych: sprawdzenie stanu i zamocowania izolacji (jeżeli występuje), sprawdzenie przylegania izolacji do ścian, sufitów i kanałów wentylacyjnych, sprawdzenie stanu pokryć powierzchni przegrody, sprawdzenie integralności płyt przegród (w tym braku rozwarstwień) – jeżeli są wykonane z gotowych płyt:
    - w pomieszczeniach mieszkalnych, służbowych i w posterunkach dowodzenia,
    - w przedziałach maszynowych;
  - .2 oględziny szczegółowe wybranych przegród przeciwciągowych w rejonie pomieszczeń mieszkalnych (o ile występują): sprawdzenie stanu i zamocowania izolacji, sprawdzenie wizualne szczelności przegrody.
- 13.1.2.2** Systemy oświetlenia dolnego dróg ewakuacji – wymagany zakres czynności:
- .1 badanie luminacji wszystkich systemów oświetlenia dolnego – sprawdzenie natężenia oświetlenia zgodnie z wytycznymi podanymi w rezolucji A.752(18) i normie ISO 15370.
- 13.1.2.3** Systemy wentylacji, klapy przeciwpożarowe – wymagany zakres czynności
- .1 próba działania jednej z automatycznych klap przeciwpożarowych w przegrodach pożarowych poprzez symulację przekroczenia temperatury nastaw.
-