

## WPŁYW PODZIAŁU PRZESTRZENNEGO STATKU TYPU RO-PAX NA WIELKOŚĆ WSKAŹNIKA PODZIAŁU GRODZIOWEGO

### Streszczenie

W raporcie omówiony został wpływ podziału przestrzennego statków typu ro-pax na wielkość wskaźnika podziału grodziowego. Obejmuje on pojedyncze i podwójne burty powyżej pokładu samochodowego oraz ponton wypornościowy stałej wysokości, lub jego brak pod pokładem samochodowym. Podwójne burty powyżej pokładu samochodowego mają szerokość  $b = 0,1B$ , natomiast poniżej - szerokość  $b = 0,2B$ . Podwójne dno, gdy nie jest zalane, pogarsza stateczność w stanie uszkodzonym, dlatego obliczenia wykonano wyłącznie dla uszkodzenia rozciągającego się powyżej dna podwójnego. Pokład samochodowy powinien być ażurowy, przepuszczalny dla wody i powietrza. W przeciwnym wypadku, statek może się wywrócić już w początkowej fazie zalewania wnętrza. Podwójne burty i podwójny pokład samochodowy mają za zadanie poprawić osiągany wskaźnik podziału grodziowego.

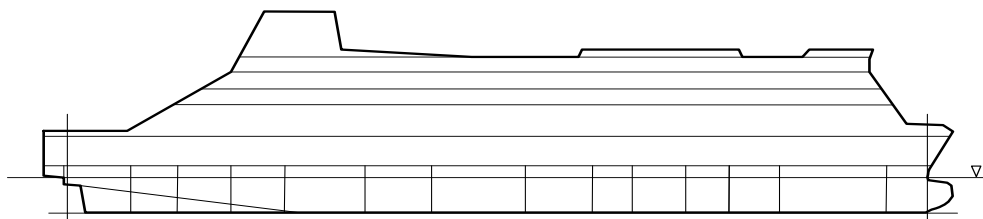
### 1. WSTĘP

W artykule [1] przedyskutowano wpływ podziału przestrzennego statku na stateczność w stanie awaryjnym. Promy starego typu miały podział przestrzenny podobnie, jak na *rysunku 1*, charakteryzujący się tym, że przestrzeń poniżej pokładu samochodowego była gęsto podzielona grodziami poprzecznymi. Większość przedziałów była pusta, nie używana do przewozu jakiegokolwiek ładunku. Nie było podwójnych burt powyżej pokładu samochodowego. Taki typ podziału grodziowego był powszechnie stosowany do końca lat dziewięćdziesiątych. Obecnie, przestrzeń poniżej pokładu samochodowego jest często przeznaczona do przewozu ładunku typu ro-ro

Niniejsza analiza została wykonana używając za punkt wyjściowy zmodyfikowany na potrzeby obliczeń prom zbudowany w roku 1990, jeszcze używany - pokazany na *rysunku 2*.

Wymagany współczynnik  $R$  dla badanego statku wynosi 0.69058.

Statek spełnia wymagania rezolucji IMO A.265 [4], poprzednika obecnej zharmonizowanej Konwencji SOLAS [5]. Powyższa Rezolucja nie wymaga rezerwowej wyporności powyżej pokładu samochodowego. W przypadku istnienia LLH pod pokładem samochodowym, szerokość podwójnych burt pod pokładem samochodowym powinna być równa  $b = 0,2B$ , natomiast wysokość dna podwójnego powinna wynosić co najmniej  $h_b = 0,1B$ .



Rysunek 1. Podział przestrzenny statku ro-pax starego typu

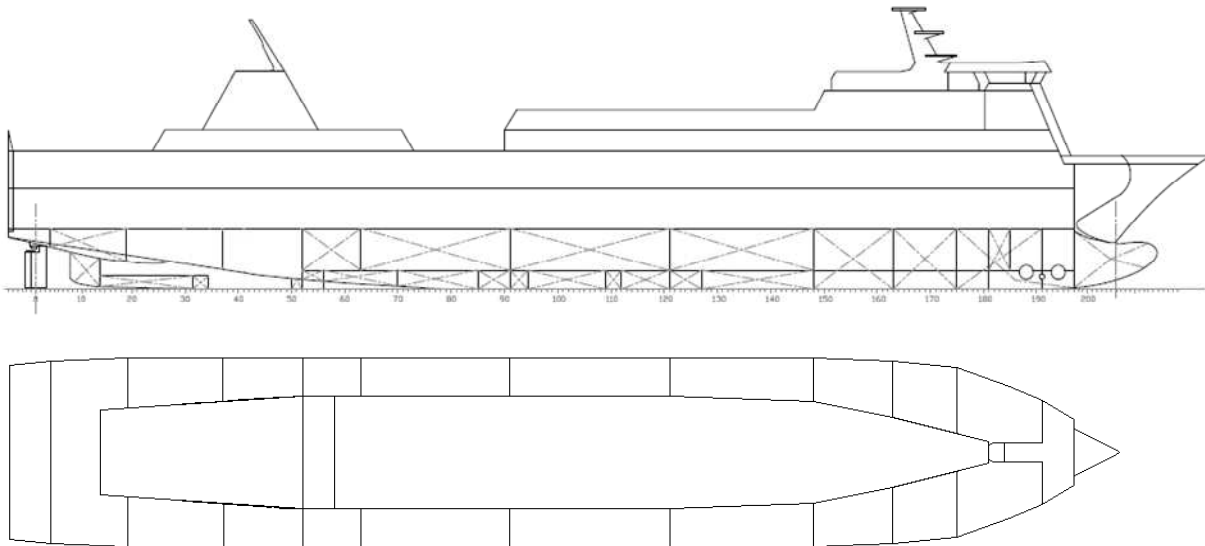
w postaci długiej ładowni (Long Lower Hold - LLH), rozciągającej się na około połowę długości promu (patrz *Rysunek 3*). Poniżej pokładu samochodowego są podwójne burty podzielone grodziami poprzecznymi, zwykle sięgającymi pokładu samochodowego. Nie ma grodzi poprzecznych w przestrzeni ładunkowej. Dla poprawienia bezpieczeństwa podwójne burty powinny rozciągać się powyżej pokładu samochodowego - patrz [2, 3].

Trzeba zaznaczyć, że podwyższona wysokość dna podwójnego jest szkodliwa dla stateczności statku w stanie awaryjnym [1]. Ze względu na bezpieczeństwo po uszkodzeniu dna podwójne powinno być położone najniżej, jak to możliwe. Minimalna wysokość dna statku badanego, zgodnie z Przepisami PRS wynosi  $HB = 1.025$  m.

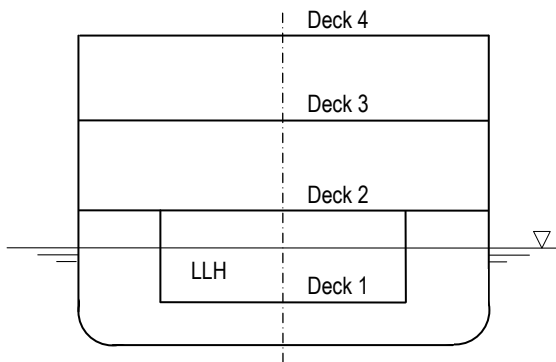
## 2. PRZYKŁADY NUMERYCZNE

Celem analizy wpływu zastosowanego podziału grodziowego na wielkość wskaźnika podziału grodziowego  $A$  wykonano obliczenia dla różnych konfiguracji podziału przestrzennego.

**PRZYKŁAD 1.** Wersja oryginalna (pierwotna) jest pokazana na Rysunku 2 i Rysunku 3.



Rysunek 3. Podział przestrzenny rozpatrywanego statku typu ro-pax

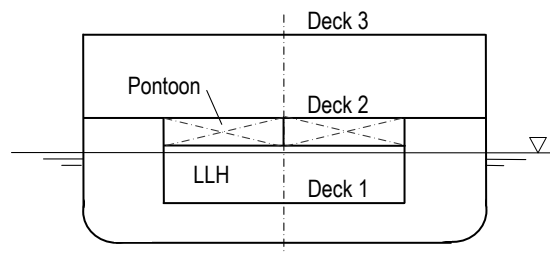


Rysunek 2. Przekrój poprzeczny wersji oryginalnej

Prom posiada cztery pokłady. Pokład 1 jest dnem podwójnym, Pokład 2 jest pokładem samochodowym na wysokości 7,9 m, Pokład 3 położony jest na wysokości 13,2 m natomiast Pokład 4 na wysokości 18,2 m. Balastowe zbiorniki burtowe oraz balastowe zbiorniki w dnie podwójnym są połączone tworząc przestrzenie symetryczne (Rysunek 3), co jest korzystne w przypadku zalewania wnętrza po uszkodzeniu poszycia. Pozwala to na szybkie symetryczne ich zalewanie przy warunku, że pomieszczenie jest skutecznie odpowietrzane, aby wyeliminować negatywny wpływ poduszek powietrznych mogących się pojawiać podczas zalewania wnętrza. To samo powinno dotyczyć przestrzeni ładun-

kowej na Pokładzie 1. Aby zwiększyć rzeczywiste bezpieczeństwo w stanie uszkodzonym, pokład samochodowy powinien posiadać konstrukcję ażurową czyniącą ten pokład przepuszczalnym dla wody i powietrza. Konstrukcja taka przeciwdziała akumulacji wody na pokładzie samochodowym, co jest główną przyczyną przewracania się statków typu ro-ro. Osiągnięty wskaźnik podziału grodziowego wynosi w przypadku statku oryginalnego  $A = 0.73015$ , to jest więcej niż wymagana wartość  $R = 0.69058$ .

**PRZYKŁAD 2.** Statek jak powyżej, ale z pontonem tworzącym dodatkowy pokład wypornościowy o wysokości 1600 mm, takiej samej jak wysokość dźwigarów, co pokazano na Rysunku 4. Przestrzenie powyżej Pokładu 3 nie są uwzględniane w obliczeniach stateczności, dlatego nie będą dalej pokazywane. Dla zanurzenia konstrukcyjnego dolna część pontonu znajduje się jedynie 0,4 m nad wodnicą. Osiąga się teraz wskaźnik podziału grodziowego  $A = 0.74574$ , co jest tylko nieznacznie więcej niż w poprzednim przykładzie. Jest tak dlatego, że pokład wypornościowy, ze względu na przegłębienie na dziób w większości scenariuszy uszkodzenia, pozostaje pod wodą w znacznej części swojej długości, nieznacznie przyczyniając się do redukcji efektu powierzchni swobodnej.



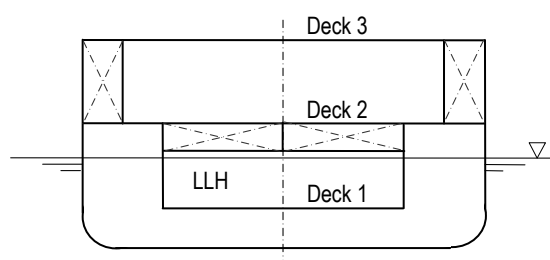
Rysunek 4. Przekrój statku jak w przykładzie 2

Innym powodem jest mała wolna burta lub jej brak.

Statki typu ro-ro mają w większości wysokie dźwigary pokładu. W związku z tym, ze względu na manewrowanie ładunkiem, jego rozmieszczenie jest zwykle ograniczone do przestrzeni znajdującej się pod mocnikami tych dźwigarów. Istnieje więc prosta możliwość, aby uszczelnić przestrzeń w górę od mocników, tworząc w ten sposób ponton zapewniający dodatkową pływalność, co dodatnio wpływa na stateczność statku po uszkodzeniu. Problem ten został przeanalizowany i omówiony w [2]. Dodanie pontonu nieznacznie zmienia ciężar statku.

Warto wspomnieć, że projekt unijny "Roroprob" całkowicie pomija zastosowanie pokładu wypornościowego. Dwa pierwsze statki typu ro-pax na świecie, z wypornościowym podwójnym pokładem samochodowym, zostały wybudowane w szwedzkiej stoczni Nowa w 2001 roku, co opisano w [3]. Pokład wypornościowy okazał się na tych statkach bardzo skutecznym rozwiązaniem.

**PRZYKŁAD 3:** Statek jak w Przykładzie 2 ale z dodanymi zbiornikami bocznymi na pokładzie 2, rozciągającymi się do pokładu 3, o szerokości  $b = 0.1B$ . W tym przypadku zanotowano znaczny przyrost wskaźnika podziału grodziowego do wielkości  $A = 0.83356$ . Jak można zauważyć dodanie rezerwowej wyporności powyżej pokładu samochodowego znacząco powiększa wskaźnik podziału grodziowego. Ta obserwacja powinna być potraktowana jak prawidłowość.



Rysunek 5. Przekrój statku jak w przykładzie 3

**PRZYKŁAD 4:** Statek jak w Przykładzie 3, ale z pokładem samochodowym podniesionym do wysokości 8.1 m, co oznacza zmianę wysokości bocznej o 0.2 m. Położenie zmieniły wszystkie zbiorniki mające kontakt z pokładem 2. Ponton wypornościowy zmienił swoją wysokość z 1.60 m na 1,80 m. Wskaźnik podziału grodziowego, co oczywiste, zwiększył się i wynosi  $A = 0.86729$ .

**PRZYKŁAD 5:** Zastosowano zmianę podobną do tej z poprzedniego przykładu, lecz bez zmiany wysokości bocznej statku. Polega ona na zastosowaniu wzniosów pokładu 2 (grodziowego) w 1/3 rufowej i 1/3 dziobowej części statku. Wznios pokładu wynosi 1.00 m. Położenie zmieniły wszystkie zbiorniki mające kontakt z pokładem 2. Wskaźnik podziału grodziowego zwiększył się i wynosi  $A = 0.87804$ .

### 3. DALSZY PRZYKŁADY NUMERYCZNE

W dalszej części analizy przebadano wpływ długości ładowni długiej LLH na wielkość wskaźnika podziału grodziowego oraz zmniejszoną wysokość dna podwójnego. W przykładach 1a) do 5a) obliczenia wykonano dla ładowni długiej LLH wydłużonej o 4.2 m w kierunku rufy względem statku wyjściowego – odciętą ścianki rufowej przeniesiono z 39.2 m na 35.0 m.

W przekładach 1b) do 5b) obniżono dno podwójne z wysokości 2.40 m do 1.40 m, zwiększono również wysokość pontonu wypornościowego z 1.60 m do 2.00.

Wszystkie tendencje zaobserwowane w przykładach 1-5 zostały utrzymane. Dla wydłużonej ładowni LLH otrzymano jednak znacznie mniejsze wielkości wskaźnika podziału grodziowego niż dla statku wyjściowego, natomiast obniżenie dna podwójnego okazało się praktycznie neutralne, nie wnosząc istotnych zmian.

Poniżej zamieszczono tabelaryczne zestawienie wyników obliczeń.

Tabela 1

Nr	Statek w stanie wyjściowym	A
1	Stan wyjściowy	0.73015
2	Jak 1., dodano ponton 1.6 m,	0.74574
3	Jak 2., dodano baszty na pokładzie samochodowym 0.1B,	0.83356
4	Jak 3., +podniesiono pokład o 0.2 m do poziomu 8.1m, wysokość pontonu 1,8 m,	0.86729
5	Jak 3., wzniosy pokładu grodziowego 1 m	0.87804

Tabela 2

Nr	Statek z wydłużoną ładownią LLH	A
1a	Stan wyjściowy,	0.68307
2a	Jak 1a., dodano ponton 1.6 m,	0.69210
3a	Jak 2a., dodano baszty na pokładzie samochodowym 0.1B,	0.79705
4a	Jak 3a., +podniesienie pokładu o 0.2 m do poziomu 8.1m, wysokość pontonu 1.8m,	0.81254
5a	Jak 3a., wzniosy pokładu grodziowego 1 m	0.80055

Tabela 3

Nr	Statek z obniżonym dnem podwójnym	A
1b	Stan wyjściowy,	0.72476
2b	Jak 1b., dodano ponton 2.0 m,	0.73277
3b	Jak 2b., dodano baszty na pokładzie samochodowym 0.1B,	0.83243
4b	Jak 3b., +podniesienie pokładu o 0.2 m do poziomu 8.1m, wysokość pontonu 2.0 m,	0.86086
5b	Jak 3b., wzniosy pokładu grodziowego 1 m,	0.87620

#### 4. WNIOSKI

Analiza przedstawionych wyników obliczeń dla różnych konfiguracji podziału przestrzennego pozwala na przedstawienie poniższych wniosków:

1. Zastosowanie długiej ładowni pod pokładem samochodowym pozwala na osiągnięcie wymaganych wartości wskaźnika podziału grodziowego. Wskazane jest jednak, aby w przypadku uszkodzenia kadłuba zapewnić symetryczne jego zalewanie, poprzez połączenie zbiorników z lewej i prawej burty oraz efektywnie działający system odpowietrzający, uniemożliwiający tworzenie się poduszek powietrznych,
2. Dodanie pontonu wypornościowego pod pokładem grodziowym nieznacznie zwiększa bezpieczeństwo przetrwania mierzone wielkością wskaźnika podziału grodziowego,
3. Zastosowanie zbiorników burtowych na pokładzie samochodowym o szerokości  $b = 0.1B$  w połączeniu z pokładem wypornościowym daje istotny przyrost wskaźnika podziału grodziowego. Nie ogranicza przy tym możliwości eksploatacyjnych promu, gdyż zamknięte są objętości w rejonie występowania wręgów ramowych i pokładników o znacznej wysokości,
4. Dodatkowym rozwiązaniem przynoszącym przyrost wskaźnika podziału grodziowego jest podniesienie pokładu grodziowego, jednak nie zawsze może być ono zastosowane,
5. Zastosowanie wzniosów w części rufowej i dziobowej pokładu grodziowego zwiększa bezpieczeństwo, ale w sposób mniejszy niż oczekiwano,
6. Należy staranie przeanalizować długość LLH, gdyż nadmierne jej wydłużenie może skutkować znacznym spadkiem wskaźnika podziału grodziowego,
7. Wpływ wysokości dna podwójnego na wielkość wskaźnika podziału grodziowego jest mało istotny.

Powyższe wnioski pokrywają się z uwagami przedstawionymi w pracy doktorskiej [7].

#### BIBLIOGRAFIA

1. Pawłowski M., Laskowski A. *Effect of watertight subdivision on damage stability of ro-ro ferries*, Trans RINA, Vol. 156, Part A2, Intl J Maritime Eng, Apr–Jun 2014, pp. A-131–136, DOI No: 10.3940/rina.ijme.a2.2014.283.
2. Pawłowski M. *Subdivision of RO/RO ships for enhanced safety in the damaged condition*, Marine Technology, Vol. 36, No. 4, Fall 1999, pp. 194–202.
3. RINA, *Best Ships of 2001*, pp. 46–47.
4. International Maritime Organisation: *Regulations on subdivision and stability of passenger ships* (as an equivalent to part B of chapter II of the 1960 SOLAS Convention), London, IMO, 1974. This publication contains IMO resolution A.265 (VIII), A.266 (VIII) and explanatory notes.
5. International Maritime Organisation: *SOLAS Convention*, Consolidated Edition 2009, IMO, London 2009.
6. ROROPROB (2000–2003) *Probabilistic rules-based optimal design of ro-ro passenger ships*, EU Research Project, FP5, DG XII-BRITE.
7. Ravn Erik Sonne, *Probabilistic Damage Stability of Ro-Ro Ships*, Phd Thesis, Technical University of Denmark, Department of Mechanical Engineering, Maritime Engineering, Denmark, Kongens Lyngby 2003.