



„Zastosowanie odbojnic z elastomerów poliuretanowych do
ochrony morskich budowli hydrotechnicznych”

Wiesław Galor, Przemysław Galor

Szczecin, 2010



**INNOWACYJNA
GOSPODARKA**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



ZASTOSOWANIE ODBOJNIC Z ELASTOMERÓW POLIURETANOWYCH DO OCHRONY MORSKICH BUDOWLI HYDROTECHNICZNYCH

Wiesław GALOR¹, Przemysław GALOR²

Akademia Morska w Szczecinie
Ul. Wały Chrobrego ½, 70-500 Szczecin,

E-mail: (1) w.galor@am.szczecin.pl, (2) p.galor@am.szczecin.pl

Streszczenie. Manewr **cumowania**, polega na zatrzymaniu jednostki przy nabrzeżu. Wiąże się to z wytraceniem energii kinetycznej związanej z jej ruchem. W przypadku, gdy energia pierwszego kontaktu statku z nabrzeżem będzie przekraczała dopuszczalną wytrzymałość kadłuba lub budowli hydrotechnicznej, może nastąpić uszkodzenie któregoś z nich. Odbojnice nabrzeżowe służą do ochrony kadłuba jednostki pływającej i budowli hydrotechnicznej podczas manewru dobijania i postoju. Głównym zadaniem odbojnicy jest absorpcja części energii kinetycznej jednostki. Parametry odbojnic zależą od materiału, z którego są wytwarzane. Powinien charakteryzować się odpowiednimi własnościami sprężystymi. Jednym z takich materiałów jest elastomer poliuretanowy. W artykule przedstawiono odbojnice z takiego materiału stosowane do ochrony budowli hydrotechnicznych.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo nawigacji, manewr cumowania, urządzenia odbojowe

1. Wprowadzenie

Końcowym etapem procesu nawigacji jest zacumowanie jednostki do budowli hydrotechnicznej (nabrzeża). Wymaga to od statku wykonania manewru cumowania, polegającego na zatrzymaniu jednostki przy nabrzeżu. Wiąże się to z wytraceniem energii kinetycznej związanej z jej ruchem. Zjawisko cumowania statku do nabrzeża polega na dynamicznym oddziaływaniu na nabrzeże kadłuba poruszającego się statku. Jeśli energia pierwszego kontaktu statku z nabrzeżem będzie przekraczała dopuszczalną wytrzymałość kadłuba lub budowli hydrotechnicznej, może nastąpić uszkodzenie któregoś z nich [6]. Wystąpi wtedy zjawisko niepożądane zwane wypadkiem lub awarią. Aby temu zapobiec, mogą być przyjęte następujące rozwiązania:

- prędkość (energia) jednostki w momencie pierwszego kontaktu z nabrzeżem powinna być minimalna,
- zastosowanie urządzeń absorbujących energię kinetyczną cumującej jednostki.

Pierwsze rozwiązanie jest trudne do spełnienia, zwłaszcza w niekorzystnych warunkach manewru cumowania ze względu na czynniki oddziałujące na kadłub jednostki. Stąd w przeważającej ilości rozwiązań stosuje się odbojnice nabrzeżowe do ochrony budowli hydrotechnicznej i jednostki pływającej podczas jej dobijania i postoju przy tej budowli. Właściwy dobór odbojnic powinien zapewnić powstanie w konstrukcji jednostki oraz konstrukcji budowli, naprężeń sprężystych w granicach dopuszczalnych. Projekt systemu odbojowego musi zawierać wybór właściwej odbojnicy [4]. Zależy on od wielkości statku i warunków eksploatacyjnych, przy których następuje manewr cumowania i postoju.

Odbojnice, których głównym celem jest pochłanianie energii cumującego statku, są wykonane z materiałów dobrze pochłaniających tę energię (guma, tworzywa sztuczne) [3]. Zadaniem urządzeń odbojowych jest zabezpieczenie kadłuba jednostki oraz konstrukcji nabrzeża podczas manewru dobijania, odbijania oraz postoju przy tym nabrzeżu. Podstawowymi parametrami charakteryzującymi urządzenia odbojowe jest siła reakcji i energia absorpcji. Podczas manewrów cumowania jednostki wydzielana jest energia wynikająca z uderzenia kadłuba w nabrzeże. Warunkiem bezpiecznego manewru jest to, aby energia cumowania nie przekroczyła energii, jaką może pochłonąć kadłub jednostki lub konstrukcja nabrzeża bez uszkodzenia żadnego z tych elementów.

Urządzenie odbojowe przejmuje część energii kinetycznej statku. Pozostała część energii jest przejęta przez konstrukcję kadłuba statku i budowli hydrograficznej. Warunkami bezpiecznego dobijania statku są:

$$E \leq E_d \quad \text{dla} \quad p \leq p_{dop} \quad (1)$$

gdzie:

- E - maksymalna energia kinetyczna statku absorbowana przez system nabrzeże – urządzenie odbojowe – statek
- E_d - dopuszczalna energia kinetyczna absorbowana przez system nabrzeże – urządzenie odbojowe – statek
- p - jednostkowe parcie urządzenia odbojowego na poszycie kadłuba statku
- p_{op} - dopuszczalne jednostkowe parcie na kadłub

Odbojnice nabrzeżowe są urządzeniami specjalnymi służącymi do ochrony budowli hydrotechnicznej oraz jednostki pływającej podczas jej dobijania (manewru cumowania) oraz postoju przy tej budowli. Oddziaływanie jednostki na urządzenia odbojowe mają charakter statyczny i dynamiczny, co powoduje określone odkształcenia i naprężenia, jednostki i nabrzeża. Właściwy dobór typu i parametrów urządzenia odbojowego powinien zapewnić powstanie w konstrukcji jednostki pływającej i chronionej budowli naprężeń sprężystych w granicach dopuszczalnych dla tych konstrukcji. Działanie odbojnicy polega na absorbowaniu części energii kinetycznej statku w chwili zetknięcia statku. Aktualnie na świecie stosuje urządzenia odbojowe pracują w oparciu o elementy sprężyste. Następuje ich ugięcie sprężyste(odkształcenie), a energia dobijania statku zmienia się w pracę sprężystą. Podczas tej pracy odbojnica przejmuje reakcję siły uderzenia statku, która jest przekazywana na konstrukcję nabrzeża. Oznacza to, że następuje przekształcenie przejętej energii od statku na pracę elementów sprężystych samego urządzenia.

Podstawowymi parametrami charakteryzującymi odbojnice nabrzeżowe są:

- siła reakcji w funkcji odkształcenia,
- energia absorbowana w funkcji odkształcenia,
- dopuszczalne odkształcenie.

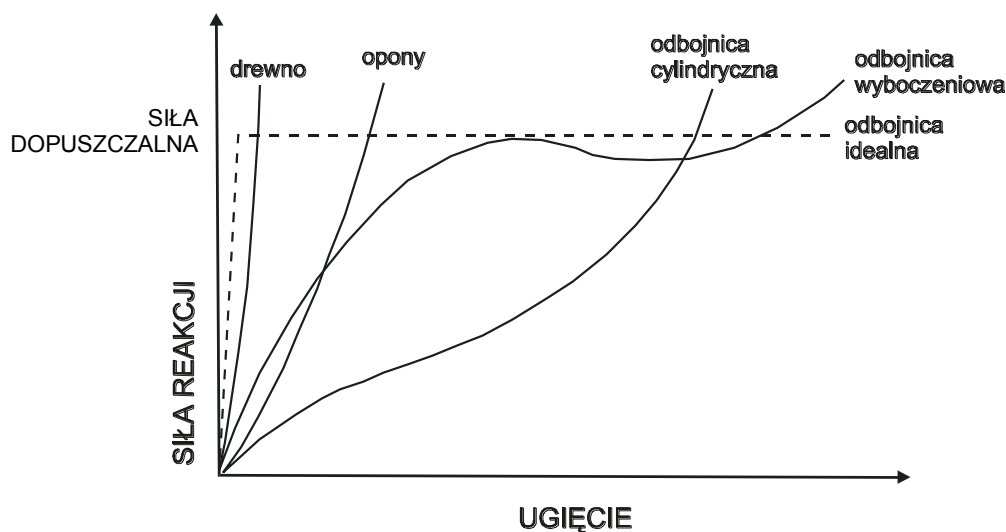
Dodatkowe parametry to:

- twardość urządzenia
- powierzchnia styku z kadłubem statku
- wymiary odbojnicy (długość, szerokość, głębokość),
- sposób mocowania do nabrzeża.

Podstawowe parametry odbojnicy zależne są od rodzaju materiału zastosowanego do jego wykonania, oraz jego kształtu, konstrukcji i wymiarów.

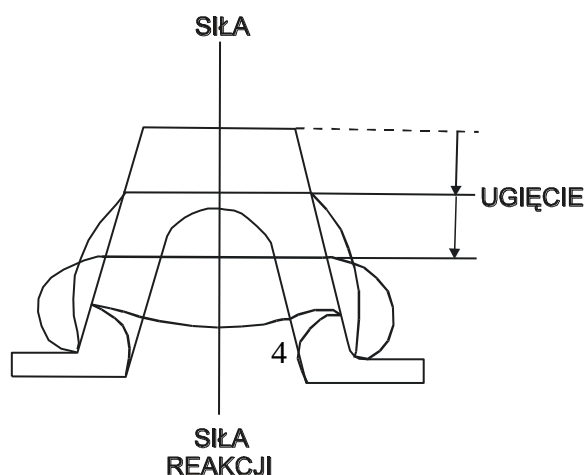
Efektywna odbojnica nabrzeżowa powinna charakteryzować się możliwością dużą absorpcją energii dobijającego statku i niskim parciem na kadłub i budowlę. Najbardziej efektywne w tym względzie są urządzenia wykorzystujące elementy o dużej sprężystości. Materiały stosowane dotychczas obejmowały drewno, litą gumę, opony staroużyteczne i wałki cylindryczne z gumy nie spełniają tych wymagań (rys.1). Aktualnie najnowsza generacja

odbojnic budowana jest w oparciu o odpowiednio dobrane elementy z gumy i elastomeru poliuretanowego charakteryzującego się wyjątkowymi własnościami sprężystymi i możliwością uzyskania wysokiej powtarzalności parametrów. Elastomery dzięki możliwości wytworzenia elementów o dowolnych kształtach znacznie zwiększają efektywność rozwiązań.



Rys.1. Siła reakcji różnych typów odbojnic

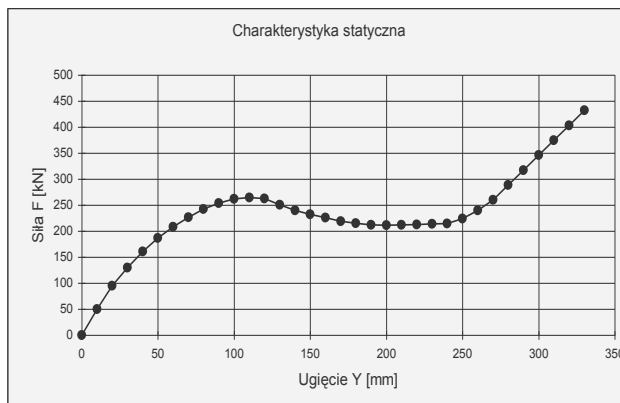
„Idealna” odbojnic powinna w początkowej fazie ściskania (ugięcia) wykazywać się szybkim wzrostem reakcji aż do osiągnięcia wartości dopuszczalnej, a następnie w dalszej fazie ściskania utrzymywać tę reakcję aż do momentu osiągnięcia wartości dopuszczalnej, a następnie w dalszej fazie ściskania utrzymywać tę reakcję do momentu osiągnięcia ugięcia dopuszczalnego. Dzięki temu energia absorbowana osiąga duże wartości. Zbliżone własności do takiej „idealnej” odbojnicy mają tzw. odbojnice wyboczeniowe. Zbudowane są one z elementów sprężystych odpowiednio ze sobą połączonych (zespolonych). W początkowej fazie elementy pionowe charakteryzują się dużą sztywnością i siła reakcji rośnie stosunkowo szybko. Po przekroczeniu pewnej wartości powoduje, że elementy składowe ulegają wyboczeniu. Wtedy siła reakcji przestaje wzrastać i utrzymuje się na stałym poziomie, a nawet ulega niewielkiemu zmniejszeniu. Stan taki utrzymuje się do momentu osiągnięcia odkształcenia maksymalnego. Przy takiej samej masie materiału sprężystego, dla odbojnicy wykonanej z połączonych elementów można uzyskać nawet czterokrotnie większą energię absorbowaną niż wykonanej z litego elementu. Poprzez odpowiedni dobór sposobu połączenia elementów składowych odbojnicy, ich kształtu i wielkości uzyskuje się odpowiednia parametry (charakterystykę). Dodatkowo zmieniając własności sprężyste materiału, z którego są wykonane elementy można otrzymać optymalne urządzenie odbojowe zapewniające maksymalny poziom zabezpieczenia statku i budowli przy niskich kosztach.



Rys.2. Fazy
wyboczeniowej

Elastomery te
własnościami
tabeli 1.

Tabela 1.
mechaniczne



ugięcia odbojnicy

charakteryzują się
przedstawionymi w

Własności
elastomerów
poliuretanowych

Właściwości		
Twardość Shore	ShA	60 – 95
Moduł sprężystości 100%	MPa	1,6 - 26
Moduł sprężystości 300%	MPa	2,4 - 35
Wytrzymałość na rozciąganie	MPa	13 - 52
Wydłużenie przy zerwaniu	%	250 - 600
Wytrzymałość na rozdarcie	KN/m	80 - 300
Ścieralność	Mm ³	20 - 130

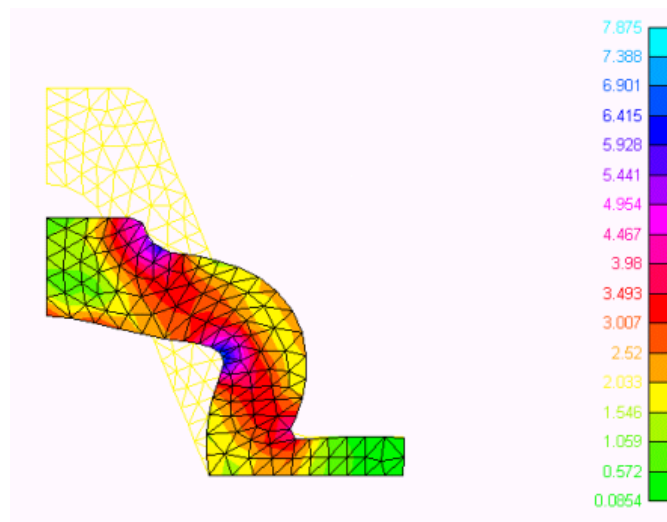
2. Badania laboratoryjne odbojnic

Badania własności sprężystych projektowanych urządzeń odbojowych przeprowadzono w Laboratorium Wytrzymałości Materiałów WSM w Szczecinie [2]. Rejestrowana była siła reakcji w funkcji odkształcenia pionowego odbojnic (rys.2). Na podstawie wyników badań określono wartości siły reakcji i energii absorpcji dla różnych długości odbojnic [3]. Oprócz badań laboratoryjnych podjęto eksperyment numeryczny. Dla zdefiniowania geometrii modelu odbojnicy przyjęto współrzędne jej zarysu zgodnie z projektem. Tak obrany model rozpatrywany był w przypadkach ściskania odbojnicy, spowodowanego działaniem bądź to siły pionowej lub wymuszonym ugięciem pionowym i przesunięciem poziomym. Rys.3 przedstawia mapę naprężeń dla przykładowego ugięcia. Rejestrowana była siła reakcji w funkcji odkształcenia pionowego odbojnic (rys.2). Na podstawie wyników badań określono wartości siły reakcji i energii absorpcji dla różnych długości odbojnic [3]. Oprócz badań laboratoryjnych podjęto eksperyment numeryczny. Dla zdefiniowania geometrii modelu odbojnicy przyjęto współrzędne jej zarysu zgodnie z projektem. Tak obrany model rozpatrywany był w przypadkach ściskania odbojnicy, spowodowanego działaniem bądź to siły pionowej lub wymuszonym ugięciem pionowym i przesunięciem poziomym. Rys.3 przedstawia mapę naprężeń dla przykładowego ugięcia.

Rejestrowana była siła reakcji w funkcji odkształcenia pionowego odbojnic (rys.3).

Rys.3 Charakterystyka statyczna odbojnicy.

Na podstawie wyników badań określono wartości siły reakcji i energii absorpcji dla różnych długości odbojnic [3]. Oprócz badań laboratoryjnych podjęto eksperyment numeryczny. Dla zdefiniowania geometrii modelu odbojnicy przyjęto współrzędne jej zarysu zgodnie z projektem. Tak obrany model rozpatrywany był w przypadkach ściskania odbojnicy, spowodowanego działaniem bądź to siły pionowej lub wymuszonym ugięciem pionowym i przesunięciem poziomym. Rys.4 przedstawia mapę naprężeń dla przykładowego ugięcia.



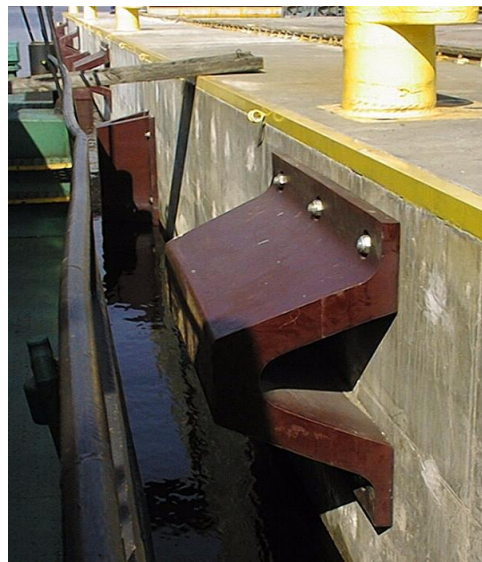
Rys. 4. Naprężenia zredukowane. dla wymuszonego ugięcia pion. o 200 mm (33.3%).

Tabela 2. Parametry urządzeń odbojowych.

Wymiar H x L [mm]	Siła reakcji [kN]		Energia absorbowana [kJ]	
	50%	55%	50%	55%
600 x 1000	483	604	86,3	107,3
600 x 1500	724	906	129,5	160,9
600 x 2000	966	1208	172,6	214,6

3. BADANIA EKSPLOATACYJNE ODBOJNIC PODCZAS CUMOWANIA STATKÓW DO NABRZEŻY

Badania zostały przeprowadzone na Nabrzeżu Chorzowskim w Szczecinie podczas manewru cumowania statku. Nabrzeże Chorzowskie jest przeznaczone do obsługi dużych jednostek (typu Szczecin max – długości do 210 m i



nośności do ok. 20 000 DWT). Łącznie na nabrzeżu zamontowano 37 odbojnic.. W okresie od kwietnia 1998 r. do czerwca 1999 r. zarejestrowano ponad 100 statków cumujących do Nabrzeża Chorzowskiego, z tego dla 31 statków przeprowadzono szczegółowe badania. Największym statkiem był m/s „TALI” (długość 137m, szerokość 21,6 m, zanurzenie 8,6 m, nośność 13.340 DWT, masa wirtualna 26.655 t). Jednak większość obserwowanych statków to jednostki o długości przeciętnej ok. 100m (poniżej 5000 DWT). W większości przypadków, ugięcia odbojnic podczas pierwszego kontaktu statku, były minimalne (poniżej 7 cm). Największe ugięcie odbojnicy zmierzono przy cumowaniu statku m/s „TALI”. W momencie uderzenia statku w odbojnice zaobserwowano ugięcie 15 cm. Kąt podejścia do nabrzeża 5°. Ugięcie odbojnicy o 15 cm odpowiada jej odkształceniu o 25%. Dla odbojnicy typu 600 x 1500 MILANÓWEK odkształcenie takie występuje przy energii absorbowanej równej 62,9 kJ (przy dopuszczalnej 160 kJ). Zarejestrowana prędkość boczna statku w momencie dotknięcia do nabrzeża wynosiła 0,10 m/s. Odpowiada to dla tej wielkości statku energii uderzenia w odbojnice równą 66,6 kNm. W porównaniu dla energii absorbowanej wyznaczonej z charakterystyki odkształcenia, różnica wynosi 5,6 %.

Rys.5. Elastomerowe urządzenia odbojowe zainstalowane na Nabrzeżu Chorzowskim w Szczecinie.

4. PODSUMOWANIE

1. Przeprowadzone obserwacje i badania eksploatacyjne urządzeń odbojowych zainstalowanych na nabrzeżu pozwalają na następujące stwierdzenia:
 - a) w okresie prowadzenia obserwacji i badań eksploatacyjnych nie stwierdzono uszkodzeń odbojnic powstałych wskutek cumowania statków morskich,
 - b) zastosowane na tych nabrzeżach odbojnice posiadają parametry techniczne nie ustępujące urządzeniom produkowanym przez renomowane firmy światowe.
2. Urządzenia te mogą być obciążone siłą o dowolnym kierunku oddziaływującą na roboczą powierzchnię czołową.
3. Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych oraz rzeczywistych, odbojnice nabrzeżowe otrzymały aprobatę techniczną Instytutu Techniki Budowlanej w Warszawie.

LITERATURA

- [1] „Badania eksploatacyjne urządzeń odbojowych typu MILANÓWEK na Nabrzeżach Portowców i Chorzowskim”. Sprawozdanie z badań. Wyższa Szkoła Morska w Szczecinie, 1999
- [2] „Badania urządzeń odbojowych”. Sprawozdanie z badań. Wyższa Szkoła Morska w Szczecinie, 1997
- [3] Mazurkiewicz B.: „Urządzenia odbojowe”. Studia i materiały. Zeszyt nr 17, Politechnika Gdańska, Gdańsk 1991