

Umocnienia dna morskiego i brzegów z zastosowaniem materacy geotekstylnych

Mgr inż. Dariusz Woliński

Przedsiębiorstwo Robót Podwodnych i Hydrotechnicznych „Marinex” w Sopocie

RYS HISTORYCZNY

Niniejsza publikacja ma na celu podzielenie się doświadczeniami naszego Przedsiębiorstwa w zakresie praktycznego zastosowania tkanin geotekstylnych w budownictwie hydrotechnicznym. Tkaniny te od szeregu lat stosowane są jako powłoki materacy i pojemników geotekstylnych wykorzystywanych w umocnieniach dna i brzegu morskiego.

Zainteresowanie naszego Przedsiębiorstwa praktycznym zastosowaniem geotekstyliów w postaci materacy powłokowych w budownictwie hydrotechnicznym datuje się od 1991 roku.

Pierwotnie były to próby wykorzystania dostępnych na rynku tkanin geotekstylnych, jako miękkich, wiotkich szalunków wypełnionych betonem w celu wzmocnienia pali i likwidacji kawern podwodnych powstałych w strefie posadowienia konstrukcji hydrotechnicznych. Próby te wzorowane były na



Rys. 1. Materace geotekstylne po napełnieniu

znanych rozwiązaniach amerykańskich i holenderskich oraz wykorzystanej w Polsce w trakcie budowy stanowisk promowych PŻB w Świnoujściu technologii wykonywania materacy OVOLO.

Prace prowadzone w naszym Przedsiębiorstwie w latach następnych miały na celu wdrożenie technologii eliminującej zastosowanie betonu jako wypełniacza materacy. Uznaliśmy, że jest to, z racji kosztu betonu, jak i konieczności stosowania specjalistycznego sprzętu, najdroższy element tej technologii. Drugim istotnym, niekorzystnym czynnikiem realizacyjnym przy zastosowaniu wcześniejszych rozwiązań /OVOLO/ była duża pracochłonność i znaczny udział prac podwodnych w procesie produkcyjnym. Nasze działania miały na celu zoptymalizowanie cyklu wytwarzania poprzez ograniczenie do niezbędnego minimum kosztownych i złożonych organizacyjnie prac podwodnych.

Rzeczą oczywistą jest, że prace tego rodzaju są wyjątkowo kosztowne, skomplikowane logistycznie i nie gwarantujące, ze względu na środowisko pracy, optymalnej jakości wykonania. Zamierzeniem naszym było przyjęcie rozwiązań technologicznych pozwalających na wykonanie maksymalnej ilości czynności w warunkach lądowych.

Konsekwencją takich założeń było wdrożenie technologii pozwalającej na wypełnienie materacy wyłącznie kruszywem mineralnym wprowadzonym do powłoki na lądzie. Zalety takiego rozwiązania to ograniczenie prac podwodnych jedynie do czynności montażowych gotowych, prefabrykowanych materacy geotekstylnych. Dodatkową korzyścią uzyskaną dzięki przeniesieniu czynności napełniania materacy z pod wody na ląd było pełne wypełnienie materacy i właściwe zagęszczenie mineralnego materiału wypełniającego (rys. 1). W istotny sposób wpłynęło to na jakość i trwałość wykonanych umocnień.

PODSTAWOWE MATERIAŁY I KRYTERIA ICH DOBORU

Równie ważnym problemem jak zastosowanie właściwego rozwiązania technologicznego był dobór optymalnych materiałów i surowców, a zwłaszcza tkanin geotekstylnych. W trakcie pierwszych prac wdrożeniowych wykorzystywaliśmy dostępne na rynku materiały geotekstylne.

Przetestowano w praktyce typową geowłókninę dwuwarstwową igłową o gramaturze 500 g/m² oraz geotkaninę polipropylenową produkowaną przez Pabianickie Zakłady Tkanin Technicznych o symbolu Ppt 156 MORS. Już pierwsze próby wykazały całkowity brak przydatności popularnych geowłóknin do wykonania powłok materacy. Parametry techniczne i struktura uniemożliwiały ich skuteczne wykorzystanie. Aktualnie wykorzystywane materiały geotekstylne to geotkaniny polipropylenowe, charakteryzujące się wysokimi parametrami wytrzymałościowymi i dużą odpornością na oddziaływanie środowiska morskiego. W tabl. 1 zestawiono podstawowe parametry techniczne geowłóknin i aktualnie dostępnych geotkanin polskich producentów.

Analizując przedstawione powyżej dane techniczne, należy zwrócić szczególną uwagę na wytrzymałość, odporność statyczną i dynamiczną. W zakresie tych parametrów widać wyraźną przewagę geotkanin. Przy stosunkowo dużej masie powierzchniowej i wytrzymałości, charakteryzują się niewielką grubością i korzystnym sposobem tkania (splot krzyżykowy, płócienny). Parametry te mają duże znaczenie w procesie szycia materacy.

Tabl. 1. Parametry techniczne stosowanych geowłóknin i geotkanin

Nazwa Handlowa	Geolon 500	Ppt 156 Mors	Tomatex 150/125	Geotechnotex 550
Rodzaj geosyntestyku ,surowiec	Geowłóknina polipropylenowa	Tkanina-jedwab polipropylenowy	Tkanina-jedwab polipropylenowy	Tkanina-jedwab polipropylenowy
Rodzaj splotu	Igłowana	Płócienny	Płócienny	Płócienny
Masa powierzchniowa / g/m ² /	500	620	520	550
Grubość / mm/	4,4	1,5	1,7	1,4
Wytrzymałość na zerwanie /kN/m/ wzdłuż/wszerz	32/17	156/90	160/135	161/138
Wydłużenie przy zerwaniu /%/ wzdłuż/wszerz	130/85	27/23	24/21	27/24
Odporność na przebicie dynamiczne / mm /	3,5	7,0	8,0	5,75
Odporność na przebicie statyczne / kN /	4,2	15,0	15,0	9,54
Charakterystyczna wielkość porów / mm/	0,08	Brak danych	0,17	0,18
Wodoprzepuszczalność /m/s /	0,006	Brak danych	0,018	0,021

Rozpatrując przydatność poszczególnych geotkanin jako powłok materacy geotekstylnych, należy zwrócić uwagę na wodoprzepuszczalność i charakterystyczną wielkość porów. Z praktycznego punktu widzenia dobór i ocena tych wskaźników ma duże znaczenie technologiczne i eksploatacyjne. Parametry te powinny być ściśle skorelowane z charakterystyką sedimentacyjną mineralnego materiału wypełniającego. Parametr charakterystycznej wielkości porów d_{90} określony na poziomie $0,17 \div 0,18$ mm praktycznie eliminuje możliwość zastosowania kruszywa o frakcji pylastej jako materiału wypełniającego materace geotekstylne. Stosunkowo duża wodoprzepuszczalność gwarantuje łatwy i szybki przepływ wody przez geotkaninę. W konsekwencji nie tworzy ona na dnie akwenu niekorzystnych przepon wodostecznych. Obie opisane powyżej właściwości w warunkach eksploatacji umocnienia sprzyjają szybkiemu wyrównywaniu ciśnień między dolną i górną powierzchnią umocnienia. Redukuje to w dużym stopniu siły ssania i siły odrywające będące konsekwencją oddziaływania na wykonane umocnienie dna prądów zaśrubowych, co ma korzystny wpływ na jego stabilność.

Istotnym problemem technicznym związanym z zastosowaniem geotkanin polipropylenowych jest ich stosunkowo niska odporność na oddziaływanie promieniowania słonecznego. W celu częściowego wyeliminowania tej wady w procesie produkcyjnym stosuje się dodatki uodparniające na działanie promieniowania UV, co znacznie zwiększa trwałość powłok. Należy w tym miejscu zwrócić uwagę, że opisane wzmocnienie surowca nie gwarantuje całkowitej odporności. Z naszych dotychczasowych doświadczeń wynika, że bezpośrednie oddziaływanie promieniowania UV na materiał geotekstylny przez okres kilku miesięcy znacznie zmniejsza jego parametry wytrzymałościowe. Przeciwdziałanie tego rodzaju niekorzystnym zjawiskom jest jednakże stosunkowo proste. Przy relatywnie krótkim procesie formowania i składowania oraz zakryciu materacy po wbudowaniu lub ułożeniu pod wodą, proces ewentualnej degradacji zostaje zatrzymany. W warunkach podwodnych, zwłaszcza występujących w polskich portach, ochronie materacy przed oddziaływaniem promieni UV dodatkowo sprzyja mała przejrzystość wody, szybkie zamulenie osadami dennymi oraz porastanie organizmami morskimi.

W kontekście opisanych podstawowych parametrów geotkanin bardzo istotny wydaje się problem oceny parametrów technicznych materaca geotekstynego jako całości. Oprócz parametrów wytrzymałościowych podstawowego surowca, decydującym o globalnych parametrach powłoki elementem są szwy. Wszelkiego rodzaju połączenia elementów konstrukcyjnych są z reguły potencjalnie najsłabszymi elementami całości. Podobnie jest w przypadku powłok geotekstylnych.

Sposób krojenia i łączenia poszczególnych brytów, dobór odpowiednich nici, zastosowanie ewentualnych wzmocnień i mocowań ma decydujący wpływ na parametry wytrzymałościowe i trwałość materaca jako całości. Należy w tym miejscu podkreślić, że zastosowanie odpowiednich nici w tak specyficznej dziedzinie jak budownictwo, a zwłaszcza budownictwo hydrotechniczne, nie jest proste. Pogodzenie wymogów technicznych i funkcjonalnych dla materiałów stosowanych w budownictwie z wymaganiami stawianymi materiałom w przemyśle włókienniczym było procesem skomplikowanym, wymagającym wielu prób i doświadczeń. W wyniku szeregu działań wdrożeniowych uzyskaliśmy satysfakcjonujące efekty techniczno-eksploata-

cyjne. Udało się dobrać nici odpowiednie do struktury geotkaniny, stosowanych maszyn szwalniczych, i co najważniejsze, zapewniające odpowiednią wytrzymałość szwów. Aktualnie stosujemy nici polipropylenowe lub poliestrowe o wytrzymałości rzędu 150 N. Zastosowane materiały oraz krotność przeszyci (szywy 4-krotne) zapewniają wytrzymałość szwów na poziomie 75% wytrzymałości geotkaniny na zerwanie. Uzyskanie takich wytrzymałości mogłoby nie gwarantować pełnej stabilności połączeń poszczególnych brytów we wszystkich fazach procesu produkcyjnego. Problem ten rozwiązano poprzez dobór kształtów poszczególnych brytów, części składowych materaca oraz rozmieszczenie szwów konstrukcyjnych, zapewniające przeniesienie największych obciążeń przez geotkaninę.

W efekcie przeprowadzonych prób wdrożeniowych i późniejszych wieloletnich doświadczeń aktualnie posiadamy możliwości wykonania materacy geotekstylnych o zróżnicowanych wymiarach i kształtach. Za najbardziej optymalny i popularny należy uznać kształt prostopadłościenny materacy o wymiarach $1,5 \times 2,0 \times 0,45$ m, dający stałą, jednakową na całej powierzchni miąższość wykonywanych umocnień. Taki kształt materacy ułatwia proces szycia, formowania i układania na dnie. Ze względu na specyficzne właściwości geotkanin możliwe jest również szycie i formowanie materacy trójkątnych, trapezowych lub walców.

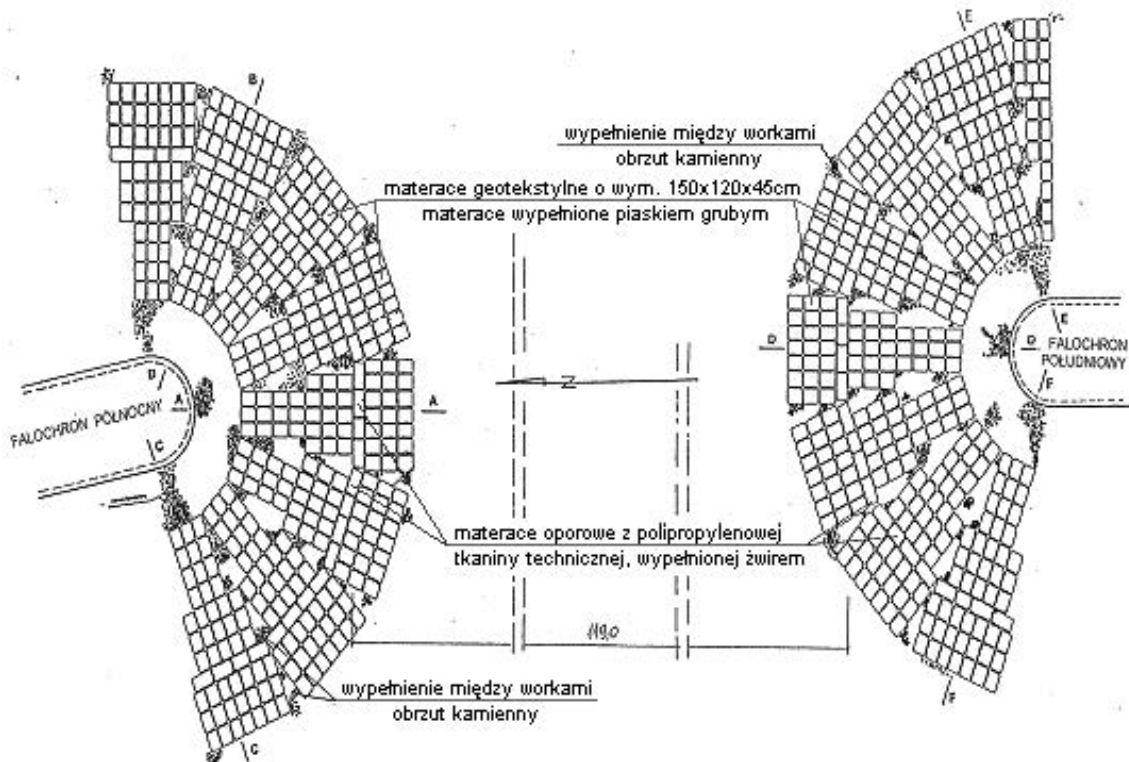
Poza właściwym doбором geotkaniny równie istotny jest dobór materiału wypełniającego. Zazwyczaj do wypełniania materacy stosowana jest pospółka wielofrakcyjna lub piasek gruboziarnisty. Kruszywo powinno spełniać odpowiednie wymogi w zakresie uziarnienia. Z reguły nie powinno ono zawierać więcej niż 10% frakcji pylastych. W uzasadnionych względami technicznymi lub technologicznymi przypadkach możliwe, a czasami wręcz wskazane, jest zastosowanie jako wypełnienie materacy urobku z robót czerpalnych i podczyszczeniowych, towarzyszących z reguły zasadniczym pracom umocnieniowym. Zaletą takiego rozwiązania jest zmniejszenie kosztów wykonania umocnienia, uniknięcie konieczności wywozu urobku na kłapowisko morskie lub odkład lądowy, co niekiedy bywa połączone z koniecznością dodatkowej utylizacji. Oczywiście podstawowym warunkiem wykorzystania urobku z robót czerpalnych do napelniania materacy jest określenie jego przydatności do tych celów, w tym uziarnienia i stopnia zanieczyszczenia.

PODSTAWOWE ZASTOSOWANIA PRAKTYCZNE

Prace związane z umocnieniami dna z wykorzystaniem materacy geotekstylnych realizowane są nieprzerwanie od 1993 roku do dzisiaj. Ogółem, w okresie tym wykonano umocnienia dna akwenów portowych i brzegów morskich na powierzchni przekraczającej 85000 m².

W dotychczasowej praktyce przedmiotowa metoda umocnień znajduje kilka podstawowych zastosowań. Jednym z nich jest umocnienie dna akwenów wodnych przeciwdziałające erozji dna, zmianom jego konfiguracji i batymetrii, powstawaniu niepożądanych przegłębień i spłyceń (rys. 2).

Duża popularność takich rozwiązań wynika z ich dużej skuteczności w ochronie dna przed niekorzystnym oddziaływaniem prądów zaśrubowych i strug sterów strumieniowych. Zwłaszcza oddziaływanie tych ostatnich wywiera bardzo niekorzyst-



Rys. 2. Plan umocnienia dna wejścia głównego do portu Gdynia

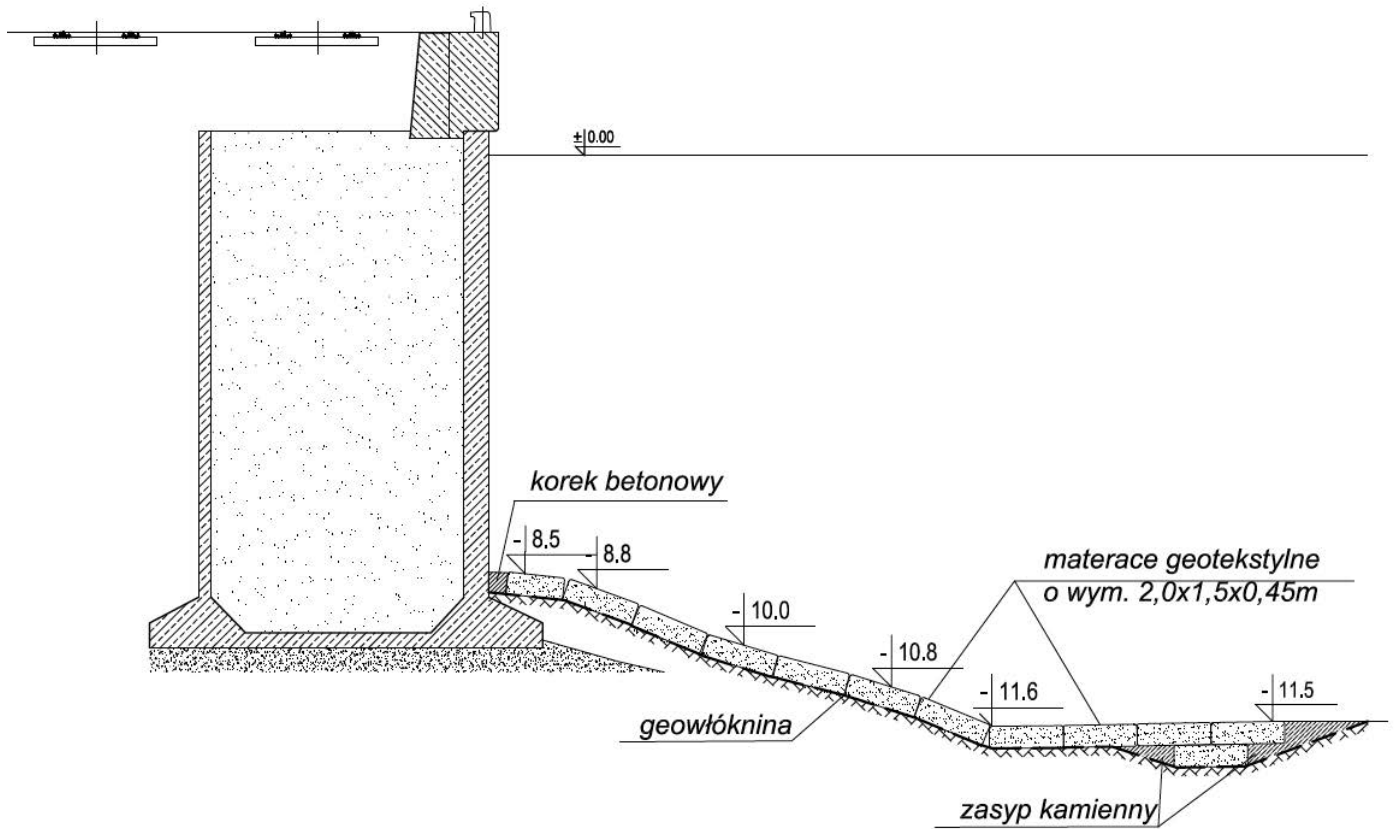
ny wpływ na batymetrie dna akwenów portowych. Zjawiska te nasiliły się w ostatnich latach za sprawą coraz większej liczby jednostek pływających manewrujących na akwenach portowych za pomocą własnych śrub i sterów strumieniowych bez pomocy holowników. Projektowane i zrealizowane zabezpieczenia tego rodzaju to głównie powierzchniowe umocnienia geotekstylne, obejmujące z reguły całą długość nabrzeża na szerokości od kilku do kilkudziesięciu metrów. Do największych realizacji można zaliczyć:

- umocnienie dna przy stanowisku P Bazy Przeładunku Paliw Płynnych w Porcie Północnym w Gdańsku – 4500 m²,
- umocnienie dna wzdłuż nabrzeża WOC II w Porcie Gdańsk – 5300m²,
- umocnienie dna wzdłuż nabrzeża Helskiego I w Porcie Gdynia – 18000 m²,
- umocnienie dna wzdłuż nabrzeża Holenderskiego w Porcie Gdynia – 8000 m²,
- umocnienie dna wzdłuż nabrzeża Śląskiego w Porcie Gdynia – 6700 m²,
- umocnienie dna wzdłuż nabrzeża Francuskiego w Porcie Gdynia – 6200 m²,
- umocnienie dna wzdłuż nabrzeża Indyjskiego w Porcie Gdynia – 7500 m²,
- umocnienie dna wzdłuż nabrzeży Słupskiego i Kołobrzeskiego w Porcie Ustka – 4500 m².

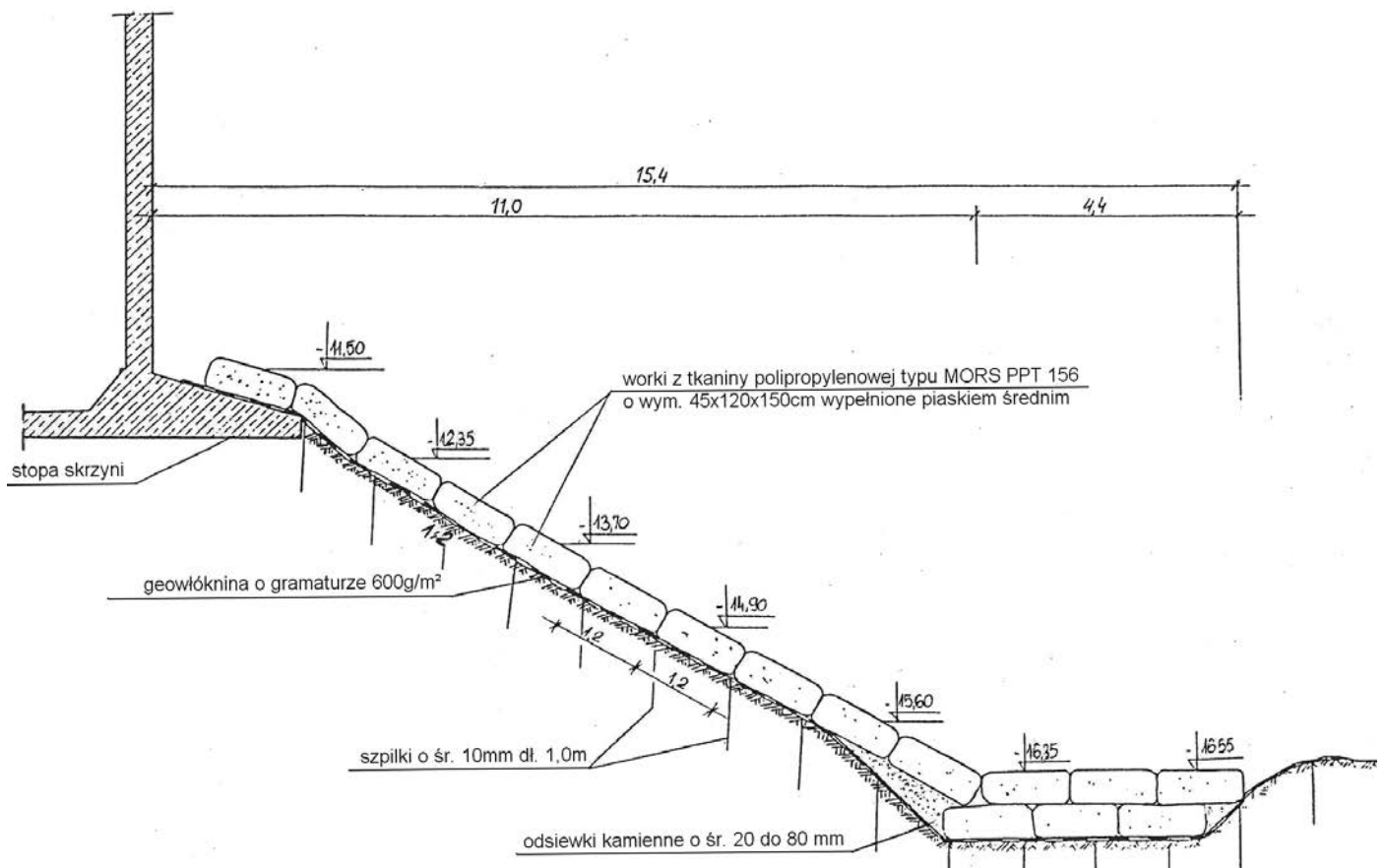
Kolejne, bardzo istotne zastosowanie praktyczne to umocnienie dna stanowiące zabezpieczenie fundamentu konstrukcji hydrotechnicznej lub jej podparcie. Tego rodzaju rozwiązania pełnią dwójakie funkcje. Oprócz funkcji podstawowej polegają-

cej na przeciwerozryjnej ochronie dna, pełnią również istotną rolę w zakresie poprawy stateczności konstrukcji hydrotechnicznej lub skarpy podwodnej. Umocnienia tego rodzaju znalazły szerokie zastosowanie w przypadku konstrukcji hydrotechnicznych typu stawianego (np. skrzynie, kaszyce). Pod względem różnorodności i popularności zastosowań idealnym przykładem jest Gdynia. Gdyński Port budowany w latach międzywojennych oparł konstrukcje swoich nabrzeży o monolityczne skrzynie żelbetowe stawiane na dnie na rzędnej około 10,0 m p.p.m. Zapewniało to uzyskanie bezpiecznych głębokości technicznych na analogicznej rzędnej. Z czasem rozwój portu i konieczność obsługi coraz większych jednostek, i tym samym o coraz większym zanurzeniu, wymusił konieczność zwiększenia istniejących głębokości akwenów portowych. W przypadku konstrukcji stawianych, nieodpornych na wszelkie przegłębienia, istotnym problemem było zapewnienie stateczności konstrukcji i skarpy podwodnych powstałych w wyniku prowadzonych prac pogłębiarskich. Materace geotekstylne ze względu na swoją specyficzną konstrukcję, w tym dużą elastyczność i możliwość formowania dowolnych kształtów i powierzchni, stanowią idealne elementy umocnień skarpy podwodnych i przedpola konstrukcji skrzyniowych. Dzięki zastosowaniu materacy geotekstylnych udaje się skutecznie zabezpieczyć skarpy podwodne i bezpiecznie zwiększyć ich nachylenie. Optymalne nachylenie tak wyprofilowanych skarpy może dochodzić do 1:2, a nawet 1:1 przy zastosowaniu konstrukcji „schodkowej” umocnienia. Daje to techniczne możliwości bezpiecznego zwiększenia głębokości przy nabrzeżach w stosunkowo niewielkiej odległości dostosowanej do zasięgu stacjonarnych urządzeń przeładunkowych.

Przykładem skutecznego zastosowania tego rodzaju rozwiązań technicznych są między innymi:



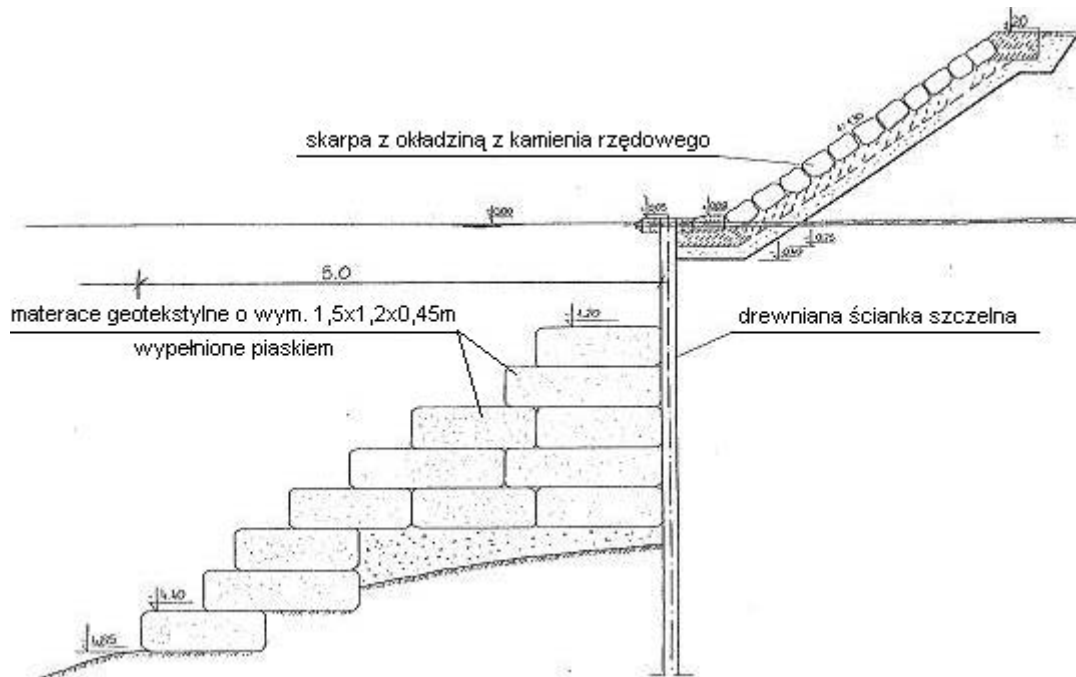
Rys. 3. Przekrój poprzeczny nabrzeża Indyjskiego w Porcie Gdynia



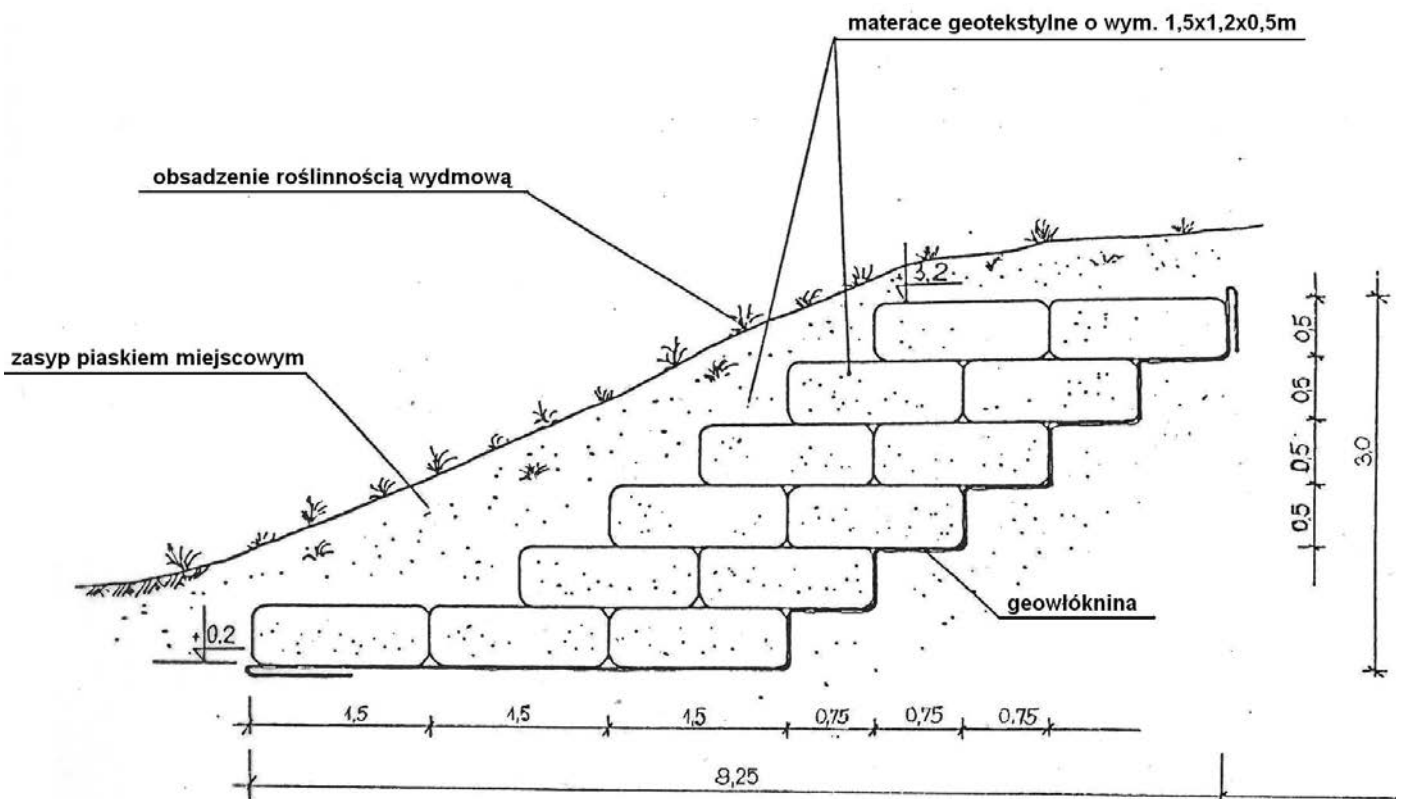
Rys. 4. Przekrój umocnienia wyspy cumowniczej Przy Pirsie Rudowym w Gdańsku

- umocnienie dna przy nabrzeżu Indyjskim w Porcie Gdynia – głębokość eksploatacyjna nabrzeża -11,5 m przy rzędnej posadowienia konstrukcji -10,0 m p.p.m (rys. 3),
- umocnienie skarp podwodnych wzdłuż Kanału Portowego w Gdyni – głębokość eksploatacyjna na kanale portowym -13,5 m przy rzędnych posadowienia przyległych konstrukcji -10,0 m p.p.m;
- umocnienie skarpy podwodnej wyspy cumowniczej przy Pirsie Rudowym w Porcie Gdańsk – głębokość eksploatacyjna – 16,5 m wobec rzędnej posadowienia skrzyni fundamentowej wyspy – 12,5 m p.p.m. (rys. 4).

Zbliżonym rozwiązaniem do opisanego jest metoda polegająca na bezpośrednim podparciu konstrukcji podwodnej budowli hydrotechnicznej. W rozwiązaniu takim jako główny materiał



Rys. 5. Przekrój konstrukcji podpierającej nabrzeże Bytomskie w porcie Gdańsk



Rys. 6. Przekrój rzędzenia wydmowego w Dziwnowie

wypełniający materace stosuje się kruszywo mineralne; dzięki „opakowaniu” go w powłoki geotekstylnie można uzyskać skarpe podwodną o nachyleniu nawet 1:1. Znacznie ogranicza to zasięg wykonanego wzmocnienia oraz zwiększa stabilność skarpy podwodnej i podpieranej konstrukcji. Rozwiązanie jest niezwykle przydatne w wąskich kanałach żeglugowych, przy budowaniu grobli i progów podwodnych (rys. 5).

Poza szeroką gamą zastosowań opisywanej metody w konstrukcjach podwodnych należy zwrócić również uwagę na możliwości wykorzystania materacy geotekstylnych w lądowych konstrukcjach hydrotechnicznych. Jednym z przykładów takich możliwości było wykorzystanie materacy geotekstylnych jako elementów rdzenia wydmy w Dziwnowie i Niechorzu (woj. Zachodniopomorskie). W wyniku ekstremalnego sztormu w 1995 roku z kierunków północnych (do 12°B) przy bardzo wysokich stanach wody (powyżej 600 cm) całkowitemu rozmyciu uległy wydmy na odcinku ponad 500 mb. Wezbrane wody morskie wdarły się do obu miejscowości. Zaistniała sytuacja wymusiła dokonanie szybkich a jednocześnie trwałych i skutecznych napraw. Władze Urzędu Morskiego w Szczecinie podjęły decyzję o pilnym odtworzeniu wałów wydmy, modyfikując ich konstrukcję poprzez wzmocnienie rdzenia geotekstylami (rys. 6 i 7).

W obu opisywanych przypadkach wykonano rdzeń wałów w postaci pryzmy z materacy geotekstylnych wypełnionych piaskiem plażowym. Ogółem w trakcie tych prac wbudowano 5500 sztuk materacy o wymiarach $1,2 \times 1,5 \times 0,5$ m. W celu ochrony tak wykonanego rdzenia przed degradującym wpływem promieniowania słonecznego oraz uszkodzeniami mechanicznymi rdzeń geotekstylny przykryto warstwą piasku miejscowego o miąższości od 0,5 do 1,0 m. Tak utworzoną pryzmę obsadzono roślinnością wydmy, uzyskując efekt naturalnej wydmy plażowej. Rozwiązanie to z drobnymi modyfikacjami związanymi ze wzmocnieniem przedpola funkcjonuje do dzisiaj.

W praktyce należy położyć nacisk na jeden istotny aspekt stosowania tego rodzaju rozwiązań technicznych. Bardzo istotnym elementem takich zastosowań geosyntetyków jest konieczność ich przykrycia. Znane są bliźniacze rozwiązania z wykorzystaniem powłok geosyntetycznych, np. wzdłuż promenady w Kołobrzegu oraz jako umocnienie brzegu kanału portowego w Porcie Gdańsk (nabrzeże Zbożowe na odcinku około 100 mb). Oba te zastosowania miały charakter odkryty i tym samym były narażone na niekorzystne oddziaływanie środowiska naturalnego i ludzi.

Stan powłok wzdłuż promenady kołobrzesckiej wykazuje liczne uszkodzenia mechaniczne, naprawy i ubytki. Generalnie cechuje się niską estetyką. Umocnienie w Porcie Gdańsk po krótkim okresie eksploatacji uległo całkowitej degradacji, głównie ze względu na oddziaływanie promieniowania UV. Jedną z możliwości przeciwdziałania tym niekorzystnym zjawiskom jest dobór odpowiednio uodpornionych tkanin geosyntetycznych. O ile w odniesieniu do promieniowania słonecznego jest to technicznie możliwe, to ochrona przed ingerencją ludzi jest bardzo utrudniona. Jedynym skutecznym rozwiązaniem wydaje się szczelne i trwałe przykrycie materiałów geotekstylnych.

Pokrewnym rozwiązaniem wykorzystanym i sprawdzonym w praktyce jest zastosowanie materacy geotekstylnych jako elementów osłonowych grobli i platform ziemnych. Są to z reguły obiekty tymczasowe, formowane na czas realizacji ściśle określonych prac. Zaletą materacy geotekstylnych jest możliwość formowania dowolnych układów przestrzennych i powierzchni, możliwość wielokrotnego użycia oraz wysokie parametry wytrzymałościowe. Ze względu na czasowy charakter tego rodzaju konstrukcji nie występuje w tych przypadkach degradacja materiałów geotekstylnych lub jej postęp jest praktycznie nieistotny. Obiekty takie z reguły wykonywane są na placach budowy, czyli terenach o ograniczonym dostępie osób nieuprawnionych, a tym samym ryzyko ewentualnej dewastacji jest również ograniczone. Przykładem skutecznego zastosowania materacy geotekstylnych w konstrukcji roboczej jest grobla o długości 110 mb i szerokości 25 m wykonana w 2003 roku na potrzeby remontu mola spacerowego w Sopocie. Dzięki zastosowaniu materacy geotekstylnych wypełnionych piaskiem uzyskano na okres 4 miesięcy platformę roboczą powyżej poziomu wody, umożliwiającą wykonanie wszystkich prac metodą „z ładu”.

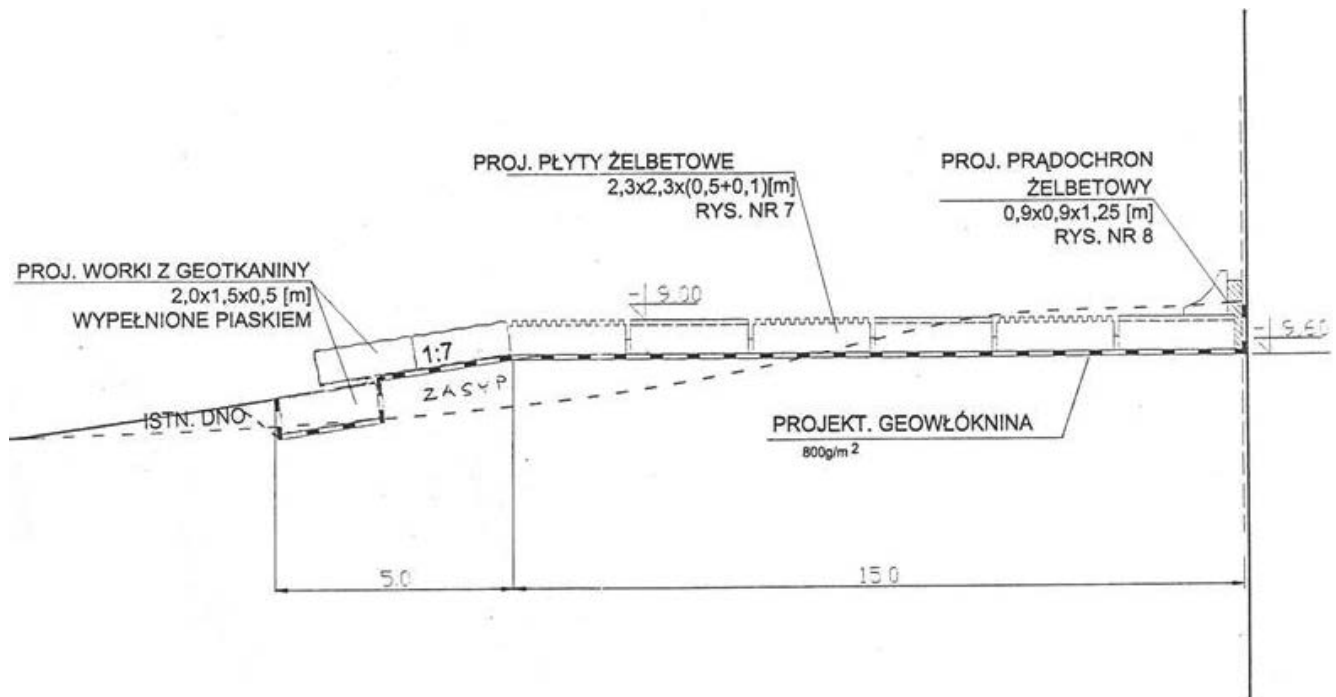
Zoptymalizowało to znacznie koszty budowy poprzez wyeliminowanie sprzętu pływającego oraz, co najistotniejsze, uniezależniło przebieg procesu budowlanego od niekorzystnych warunków pogodowych, umożliwiając prowadzenie prac z sposób ciągły.

ZALETY I WADY STOSOWANIA MATERACY GEOTEKSTYLNICH

Przedstawiona metoda umocnień dna akwenów i brzegów z zastosowaniem materacy geotekstylnych posiada szereg zalet o charakterze zarówno technicznym, jak i ekonomicznym.



Rys. 7. Widok rdzenia wydmy w Dziwnowie



Rys. 8. Przekrój umocnienia dna wzdłuż nabrzeża Obrońców Westerplatte w Porcie Gdańsk

Główne z nich to:

- 1) Niskie koszty wykonania w porównaniu z innymi metodami (gabiony, płyty betonowe, matrace OVOLO, umocnienia faszynowo - kamienne);
- 2) Możliwość prefabrykacji materacy na lądzie, a tym samym ograniczenie prac podwodnych;
- 3) Dzięki dużej elastyczności umocnienia materacami eliminuje się powstawanie kawern i podpluć zarówno w zakresie konstrukcji hydrotechnicznych, jak i obrzeży umocnionego akwenu;
- 4) Łatwy przepływ wody i gazów przez umocnienie;
- 5) Efekt „miękkiego dna”, co jest niezwykle istotne w przypadku ewentualnej kolizji jednostki pływającej z umocnieniem lub konieczności awaryjnego rzucenia kotwicy;
- 6) Łatwość wymiany poszczególnych elementów w przypadku ich uszkodzenia, np. przy rzucaniu kotwicy;
- 7) Dowolność formowania kształtów i powierzchni oraz skarp;
- 8) Szybka realizacja;
- 9) Duża trwałość w warunkach morskich. Pierwsze eksplloatowane do dzisiaj konstrukcje tego rodzaju powstały w 1993 roku.

Opisując zalety stosowania materacy geotekstylnych w budownictwie hydrotechnicznym, należy również zwrócić uwagę na pewne ich minusy i ograniczenia praktyczne. Biorąc pod uwagę strukturę materiałową i parametry techniczne geotkanin, trzeba mieć na względzie ich stosunkowo niską odporność na uszkodzenia mechaniczne w porównaniu z innymi stosowanymi alternatywnie w umocnieniach materiałami, jak kamień czy beton. Wykonane metodą materacy geotekstylnych umocnienia cechują się niskim efektem tłumienia i wygaszania prądów i strug wodnych. W takich przypadkach zdecydowanie korzyst-



Rys. 9. Dokument patentowy

niej prezentują się rozwiązania oparte na materiałach porowatych, takich jak: kamienie i gabiony lub betonowe prefabrykaty, zwłaszcza z elementami wygaszającymi. Rozwiązaniem tego problemu mogą być tzw. umocnienia mieszane. Strefy dna wymagające wygaszania lub ukierunkowania strug zaśrubowych mogą być wykonane np. z prefabrykowanych płyt żelbetowych, a strefy zewnętrzne z materacy geotekstylnych, co zapewnia łagodne przejście do dna naturalnego, nie umocnionego oraz dopasowanie się krawędzi zewnętrznej wykonanego umocnienia do zmieniających się w trakcie eksploatacji parametrów batymetrycznych dna. Rozwiązanie takie zastosowano w Porcie Gdańsk przy nabrzeżu Obrońców Westerplatte (rys. 8).

PODSUMOWANIE

Reasumując należy podkreślić, że opisana metoda umacniania dna akwenów wodnych i brzegów materacami geotekstylnymi jest metodą *stricte* praktyczną, rozwijaną i udoskonalaną poprzez wieloletnie doświadczenia i kolejne zastosowania, zweryfikowaną w warunkach wieloletniej eksploatacji. Liczba wykonanych wdrożeń oraz bogate doświadczenia eksploatacyjne świadczą o jej dużej skuteczności i efektywności. Nie bez znaczenia jest też fakt, że rozwiązanie opiera się w całości na polskich surowcach i materiałach, wykorzystując wiedzę i doświadczenie polskiej kadry wykonawczej, projektantów oraz inwestorów związanych z Gospodarką Morską.

Od 1996 roku technologia ta jest chroniona patentem nr 1800819 pod nazwą „Sposób zabezpieczenia brzegu i umacniania dna morskiego lub innych zbiorników wodnych i cieków oraz budowania sztucznych wysp i progów podwodnych” wydanym przez Urząd Patentowy RP (rys. 9).

LITERATURA

1. Badania parametrów dwóch materiałów przeznaczonych na powłoki geotekstylne. Praca badawcza Instytutu Morskiego w Gdańsku, Gdańsk 1993.
2. Mazurkiewicz B.: Encyklopedia inżynierii morskiej. Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 1996.
3. Projekt umocnienia dna wokół główek falochronu w porcie Gdynia. Opracowanie Marinex, Sopot 1997.
4. Projekt budowlany zabezpieczenia podwodnej skarpy i dna akwenu w rejonie wyspy cumowniczej przy Pirsie Rudowym w Porcie Północnym w Gdańsku. Opracowanie PPBH „Aquadprojekt” spółka z o.o., Gdańsk 1998.
5. Projekt budowlany doraźnego remontu nabrzeża Bytomskiego na odcinku 299 m w Porcie Gdańskim. Opracowanie PPBH „Aquadprojekt” spółka z o.o., Gdańsk 1999.
6. Projekt techniczny umocnienia dna akwenu przy nabrzeżu Indyjskim w Porcie Gdynia. Opracowanie PPBH „Aquadprojekt” spółka z o.o., Gdańsk 1994.
7. Projekt budowlany wykonawczy. Terminal promowy Westerplatte w porcie Gdańsk. Rozbudowa umocnienia dna. Opracowanie Budmors-Consulting spółka z o.o., Gdańsk 2004.
8. Robakiewicz W.: Wytyczne projektowania głębokości i umocnienia dna przy przystaniach promów. Opracowanie IBW PAN, Gdańsk 1992.
9. Robakiewicz W., Sawicki A., Kulczykowski M.: Wytyczne do projektu umocnienia dna stanowiska Ro-Ro przy nabrzeżu Obrońców Westerplatte w Gdańsku. Opracowanie IBW PAN, Gdańsk 1995.
10. Wielkoszewski P., Małasiewicz A., Braun K.: Betonowanie w wiotkich formach z tkanin. Uszczegółowiona koncepcja technologii, Gdańsk 1991.
11. Założenia do wykonania umocnień brzegu w Dziwnowie. Opracowanie Basiński Projekt & Consulting, Gdynia 1995.