

Przeciwi erozyjne zabezpieczenie wybrzeży –

innowacyjny komórkowy system z siatki z drutu stalowego i porównanie jego śladu węglowego z innymi systemami

tekst: mgr inż. **MATTHIAS DENK**, Company 200, St. Gallen, Geobrugg AG

Liczne linie brzegowe Europy erodują. Szacuje się, że z prawie 17,6 tys. km linii brzegowej Wielkiej Brytanii problem erozji dotknie co najmniej 3 tys. km. Ok. 2,3 tys. km brytyjskiej linii brzegowej jest chronionych sztucznie. W wielu krajach europejskich, takich jak Norwegia, Grecja, Włochy, Chorwacja, Dania (z Grenlandią włącznie) i Polska, erozja morska i sztuczne zabezpieczenie brzegów stanowią kluczowy problem dla społeczności lokalnych, polityków, badaczy i planistów.

1. Wprowadzenie

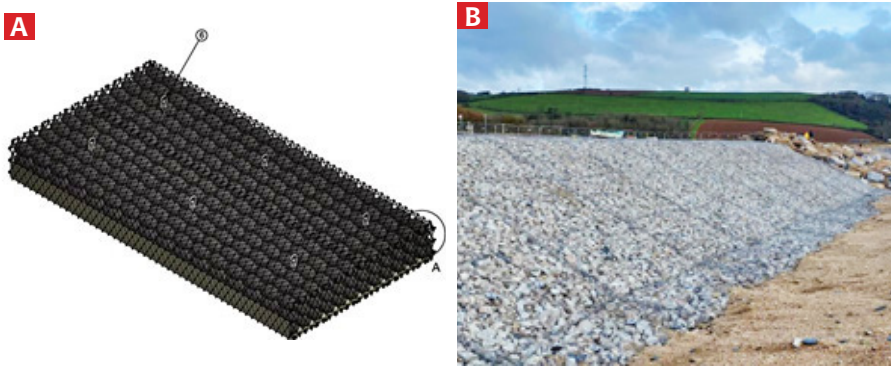
Rosnący poziom mórz i spodziewany wzrost liczby ekstremalnych zjawisk pogodowych, np. gwałtownych burz i nawałnych deszczy, doprowadzą w najbliższych latach do zintensyfikowania działań związanych z zagospodarowaniem nabrzeży i budową sztucznych zabezpieczeń. Zgodnie z wysiłkami wielu krajów na rzecz ograniczenia i redukcji gazów cieplarnianych (porozumienie paryskie, COP26 w Glasgow) spodziewane jest większe zapotrzebowanie na rozwiązania zabezpieczające wybrzeża o niskim śladzie węglowym. Metody rozsądnego i zrównoważo-

nego zarządzania brzegiem obejmują planowanie przestrzenne, a także nowe rodzaje rozwiązań inżynierskich o niskim śladzie węglowym.

W artykule przedstawiono obecnie wykorzystywane systemy zabezpieczenia wybrzeża, takie jak ochrona skalna i betonowe umocnienia oraz nowy typ specjalnie zaprojektowanego rozwiązania o nazwie Tecco Cell, będącego układem komór wykonanych z siatki stalowej wypełnionych lokalnie pozyskiwanymi blokami lub kamieniami. Stosując jakościowe porównanie śladu węglowego, danych i studium przypadku w Anglii, niniejszy



Ryc. 1. Różne rodzaje zabezpieczenia wybrzeża: a) ochrona skalna, źródło: Jonathan Wilkins, www.geograph.co.uk, b) bloki prefabrykatu betonowego, źródło: Coastalwiki, www.coastalwiki.org, c) bloki lub kamienie w oczkach siatki stalowej, źródło: Geobrugg AG, www.geobrugg.com, d) zakrzywiony betonowy falochron, źródło: Engineering Civil, <https://engineeringcivil.org>



Ryc. 2. Systemy zabezpieczenia brzegu Tecco Cell: a) mobilny materac Tecco Cell, źródło: Geobrugg AG, www.geobrugg.com, b) Tecco Cell jako zabezpieczenie nabrzeża, źródło: Landmarc, https://landmarc.co.uk

artykuł ma na celu ocenę potencjalnego zmniejszenia śladu węglowego nowatorskiej siatki stalowej w porównaniu z istniejącymi rozwiązaniami na etapie oceny projektu. Wskazano również obszary dalszych badań, takie jak zalecenia dotyczące lepszego zrozumienia ilościowego śladu węglowego dla specjalnie zaprojektowanych rozwiązań zabezpieczenia brzegu.

2. Obecne systemy zabezpieczenia brzegu

Przykłady systemów zabezpieczenia brzegu pokazano na rysunku 1. Są to:

- ochrona skalna – system głównie dużych bloków o stosunkowo niskim nachyleniu, ustawionych na nabrzeżu w celu rozproszenia energii i zabezpieczenia brzegu przed erozją morską (wymywaniem);
- bloki prefabrykatu betonowego jako ochrona skalna – ten typ umocnienia często stosowany jest na płytkich zboczach jako zabezpieczenie przed erozją morską (wymywaniem);
- gabiony – występują w różnych rozmiarach, najczęściej o prostokątnej kształcie i wypełnione są lokalnie pozyskiwanymi blokami i kamieniami;
- falochrony betonowe lub palowe – to rodzaj ściany często montowanej pionowo, stanowiącej barierę na brzegu, czasem zakotwiczonej wstecznie, o różnej wielkości i formie.

Powyższe techniki stanowią sprawdzone rozwiązania inżynierskie zabezpieczenia nabrzeża. W zależności od warunków panujących w danym miejscu porównanie zalet i wad różnych opcji inżynierskich umożliwi wybór najodpowiedniejszego rozwiązania. W przypadku zabezpieczenia brzegu należy głównie zwrócić uwagę na koszt materiału i transportu, koszt zabudowy, całkowity okres użytkowania, odporność na wymywanie, koszt utrzymania, demontaż i recykling.

Od początku XXI w. ocena śladu węglowego stała się ważnym kryterium w procesie podejmowania decyzji inwestycyjnych, np. Agencja Ochrony Środowiska Anglii i Walii (EA) wymaga obecnie oceny cyklu życia i oceny wpływu każdej z faz na emisję związków węgla każdej nowo finansowanej konstrukcji zabezpieczenia brzegu. Wiele innych krajów o długich liniach brzegowych przyjęło już podobne regulacje lub prawdopodobnie wprowadzi je wkrótce, biorąc pod uwagę dążenie zindustrializowanego świata do znacznego ograniczenia emisji CO₂.

3. Innowacyjna siatka oczkowa

Gabiony wypełnione kamieniami są stosowane od dziesięcioleci i są doskonale znanym rozwiązaniem. Tecco Cell i materace mobilne Tecco Cell rozszerzają zakres możliwych systemów

zabezpieczenia brzegu (ryc. 2) przy zastosowaniu siatki z drutu ze stali nierdzewnej o dużej wytrzymałości 1,4462 (AISI 318). To specjalnie zaprojektowany układ stalowych oczek. Produkt ten (druciana siatka o nazwie Tecco) posiada Europejski Dokument Oceny (EAD), a jego producent, firma Geobrugg, może umieszczać na nim oznakowanie CE, które potwierdza, że został przetestowany zgodnie z najnowszymi normami europejskimi oraz że przeprowadzana jest regularna kontrola fabryczna produkcji (FPC).

Konieczne jest wykonanie następujących głównych czynności montażowych:

1. Przygotowanie zbocza koparką do jego zabezpieczenia.
2. Montaż geosyntetyków w zależności od potrzeb w zakresie separacji i filtracji.
3. Rozmieszczenie pustego układu oczek na zboczu.
4. Wypełnienie układu oczek lokalnie pozyskiwanymi blokami, kamieniami i otoczkami.
5. Zapięcie układu oczek przy użyciu klamer i lin.
6. Zakończenie montażu za pomocą ochrony skalnej na krawędziach oczek w celu zapobieżenia wymywaniu.

Powyższe kroki zostaną uwzględnione w ocenie śladu węglowego w rozdziale 6 tego artykułu.

4. Studium przypadku – zabezpieczenie nabrzeża systemem Tecco Cell w Beesands, Devon w Wielkiej Brytanii

W 2016 r. instalację Tecco Cell zamontowano na plaży w Beesands w hrabstwie Devon w Wielkiej Brytanii. Lokalny wykonawca tak opisał historię odbudowy zerodowanych zabezpieczeń brzegowych: „Całe nabrzeże plaży w Beesands zabezpieczają różnego rodzaju wały nadmorskie. Część plaży, na której znajduje się większość budynków mieszkalnych i firm, została zabezpieczona umocnieniami (ścianami) i bardzo dużymi blokami skalnymi (każdy kamień waży nie mniej niż 5 t). W dolnej części Beesands znajduje się miejski skwer, a za nim ok. 15 nieruchomości. To właśnie na tej części skupia się studium przypadku.

Silne burze na początku 2014 r. spowodowały, że istniejące skalne wały nadmorskie zawiodły na odcinku ok. 150 m plaży. W pierwszej kolejności zamontowano matę geotekstylną z umocnieniem skalnym. Rozwiązanie to nie sprawdziło się z powodu wystawienia maty na działanie promieniowania UV, a po intensywnych burzach umocnienie skalne runęło.

Władze lokalne ogłosiły wówczas przetarg na wymianę uszkodzonego umocnienia skalnego wraz z płytami geotekstylnymi, a także wezwały do zastosowania innowacyjnych rozwiązań w celu uzyskania lepszego sposobu ochrony brzegu. W ramach wspólnego przedsięwzięcia wykonawcy i producenta Tecco Cell zaprojektowano rozwiązanie na zamówienie dla początkowego odcinka 20 m. Projekt ukończono w 2016 r. po zatwierdzeniu go przez Agencję Ochrony Środowiska”.

Po udanej zabudowie 20-metrowego odcinka w 2016 r. pięć lat później (2021) zabezpieczono kolejnych 70 m.b. nabrzeża przy użyciu Tecco Cell (ryc. 3). Po przejściu orkanu Darcy wykonawca upublicznił film pokazujący, że po kilku latach konstrukcja ta dobrze się sprawdza i do listopada 2021 r. nie wykazała żadnych uszkodzeń ani korozji.



Ryc. 3. Zabudowa Tecco Cell: a) zabudowa w 2021 r., źródło: Landmarc, <https://landmarc.co.uk/>, b) zakończona zabudowa zabezpieczenia brzegu w 2021 r., źródło Landmarc, <https://landmarc.co.uk/>

5. Szacowany ślad węglowy – porównanie zabezpieczeń nabrzeży

5.1. Przegląd rodzajów zabezpieczeń nabrzeży

Badania śladu węglowego są obecnie wykorzystywane do analizy możliwych szkód dla środowiska. W tym badaniu porównano ślad węglowy trzech różnych rodzajów zabezpieczenia brzegu: Tecco Cell, ochrony skalnej oraz umocnienia betonowego.

Dla porównania autor wybrał Beesands, ponieważ ten przypadek jest dobrze udokumentowany i znajdują się tam dwa z trzech wybranych umocnień (por. rozdz. 4). Porównano odcinek o długości 70 m i szerokości 12 m, co stanowi rzeczywistą wielkość projektu zrealizowanego w 2021 r.

5.2. Narzędzia i dane

Do oszacowania śladu węglowego wykorzystano następujące narzędzia i bazy danych:

- dokumenty wysyłkowe i budowlane dostarczone przez wykonawcę i producenta Tecco Cell;
- informacje uzyskane bezpośrednio od wykonawcy projektu w Beesands;
- źródła literaturowe, które określają różne wartości śladu węglowego dla wydobycia materiału;
- internetowy kalkulator emisji CO₂ dla transportu;
- najnowsze narzędzie do modelowania emisji CO₂ brytyjskiej Agencji Ochrony Środowiska;
- opracowanie eksperta ds. ochrony brzegów w Wielkiej Brytanii zestawiające ze sobą ślad węglowy dwóch typów konstrukcji nadbrzeżnych (betonowych kesonów i falochronu z nasypem gruzowym) w celu porównania i weryfikacji danych.

5.3. Rodzaj oceny

Agencja Ochrony Środowiska Anglii i Walii (EA) rozróżnia głównie dwa rodzaje oceny:

- dla etapu początkowego oceny produktu – modelowanie CO₂ z wykorzystaniem baz danych obecnych projektów jako szacunków. Głównie stosowane do identyfikacji możliwych alternatyw na wczesnym etapie projektu;
- dla projektów podlegających urzędowemu zatwierdzeniu przez EA – wyliczenie śladu węglowego w całym cyklu produktu (analiza węglowa cyklu życia).

Tecco Cell można postrzegać jako realną alternatywę dla dotychczasowych rozwiązań ochronnych, zatem poniższe porównanie śladu węglowego przeprowadzono na etapie oceny produktu.

Do obliczeń autor zastosował dane literaturowe oraz pochodzące z internetowych kalkulatorów emisji. Przyjęto podejście od kołyski do bramy (dla materiałów) i od szybu do koła (dla transportu). W tym celu pewnych adaptacji wartości dokonano ręcznie. Obliczenia porównano także z wartościami pochodzącymi z najnowszego narzędzia EA do modelowania CO₂. Wartości porównano również z obliczeniami lokalnego eksperta EA ds. weryfikacji śladu węglowego.

5.4. Proces

Ocena śladu węglowego systemu ochrony brzegu typu falochron i zaporą wymaga określenia poszczególnych czynników przyczyniających się do całkowitej emisji CO₂. Na ogół uwzględnia się następujące etapy: produkcja materiałów budowlanych, transport na miejsce budowy, budowa i montaż, eksploatacja i utrzymanie, utylizacja po zakończeniu projektowanego okresu użytkowania konstrukcji.

W tym studium przypadku porównano tylko trzy pierwsze etapy (materiał, transport, budowa z montażem) przede wszystkim z dwóch powodów. Pierwsze trzy etapy stanowią w większości przypadków przeważającą część ogólnego śladu węglowego i stanowią dobry pierwszy ogląd na etapie oceny projektu, gdzie oceniane są opcje. Ponadto w przypadku eksploatacji i utylizacji znacznie trudniej o obszerne dane porównawcze. Jednak etapy te należy uwzględnić w ocenie emisji CO₂ w całym cyklu życia i zaleca się ich ujęcie przy ubieganiu się o zgodę władz na konkretny projekt.

Ocena jakościowa dla eksploatacji i utylizacji zostanie przedstawiona w rozdziale 7.

6. Wyniki oceny śladu węglowego

Obliczenia oceny śladu węglowego dla powyższych rozwiązań (Tecco Cell / ochrona skalna / umocnienie betonowe) wykonano w arkuszu Excel. Podsumowanie wyników przedstawiono w tabeli 1. Szczegółowe obliczenia zrealizowano oddzielnie i są dostępne na życzenie.

7. Ocena wyników

O ile surowe dane z obliczeń dają wstępny obraz różnych śladów węglowych dla studium przypadku, o tyle ich właściwa ocena wymaga umieszczenia ich w kontekście. Dlatego też poniżej przedstawiono pewne ogólne stwierdzenia dotyczące jakości danych, wrażliwości wartości na zmiany oraz tego, czy dane mogą być uogólnione.

7.1. Ocena zastosowanych danych

Zasadniczo dane dotyczące wartości śladu węglowego mogą się znacznie różnić dla jednej konkretnej wartości i należało dokonać założeń badawczych.

Dane operacyjne dla studium przypadku (masa materiału, odległości transportowe, rodzaj stosowanych maszyn i godziny pracy) uznano za dobre jakościowo, ponieważ dwa z powyższych wariantów (Tecco Cell i ochrona skalna) zbudowano w tej lokalizacji, a raporty i dokumenty przewozowe są dostępne.

Dane dotyczące emisji CO₂ przy wydobyciu były czasami trudne do znalezienia i wykazywały szeroki zakres wartości. Wynika to z faktu, że wartości te nie zostały oszacowane dla konkretnego przypadku, np. wydobycia bloków. Emisja przy wydobyciu dużych bloków od kołyski do bramy może znacznie się różnić (o współczynnik 10 lub więcej) w zależności od tego, czy skała jest wydobywana celowo, czy też jest pozostałością. W tym przypadku autor wybrał takie same wartości, jak inni autorzy w ich badaniu, gdzie materiał był pozyskiwany lokalnie jako pozostałości.

Autor zaktualizował i oszacował wartości, aby uzyskać wartości od kołyski do bramy lub od szybu do koła dla niektórych pozycji, np. w branży transportowej często podaje się wartości od baku do koła, które nie uwzględniają wydobycia samego paliwa i pokazują lepszy wynik aniżeli rzeczywisty.

Studium przypadku jest reprezentatywne, a jego wyniki można porównać dla podobnych typów brzegu, oddziaływania fal, nachylenia, materiałów i odległości transportowych. Jednakże wyników tego studium przypadku nie należy uogólniać. Sto-

Tab. 1. Wyniki obliczeń śladu węglowego dla trzech opcji zabezpieczenia brzegu dla studium przypadku Beesands (długość = 70 m, szerokość = 12 m)

| Etap | Ślad węglowy [t CO ₂] | | |
|--|-----------------------------------|---------------|---------------------|
| | Tecco Cell | Opaska skalna | Umocnienia betonowe |
| Materiał łącznie oraz transport | 38,8 | 57,5 | 199,6 |
| Montaż łącznie | 9,16 | 17,09 | 10,69 |
| Materiał łącznie oraz transport i montaż | 48,0 | 74,5 | 210,3 |

sowanie tego nowatorskiego podejścia w kolejnych projektach pozwoli uzyskać wiedzę na temat śladu węglowego, a znaczenie tego studium przypadku wymaga potwierdzenia i przyjęcia.

7.2. Ocena porównawcza wyników

Wyniki przedstawione w tabeli 1 zostały znormalizowane i porównane z wartościami z modelu węgla całkowitego EA (ochrona skalna versus umocnienia betonowe) oraz szacunkami eksperta EA (Tecco Cell versus ochrona skalna, uzasadniony szacunek). Wyniki przedstawiono w tabeli 2.

Wyniki studium przypadku pokazują znacznie niższy ślad węglowy Tecco Cell niż ochrony skalnej i znacznie mniejszy ślad węglowy niż umocnień betonowych. Przyczynami tego wyniku są przede wszystkim:



www.geobrugg.com/tecco



Safety is our nature



TECCO® CELL

ZAPROJEKTOWANO ABY
TRWALE CHRONIĆ ZAGROŻONE
TERENY WYBRZEŻA MORSKIEGO

Tab. 2. Wartości znormalizowane dla studium przypadku Beesands

| Rodzaj zabezpieczenia wybrzeża | | Tecco Cell | Opaska skalna | Umocnienia betonowe |
|--|--|---|-------------------------|---|
| Ślad węglowy [% ochrona skalna] | Materiał, transport i montaż, model własny | 64 | 100 | 282 |
| | CO ₂ łącznie, model EA | – | 100 | 209 |
| | szacunki eksperta EA | 80 | 100 | – |
| Zakres różnicy emisji CO ₂ [% ochrona skalna] | | –20 do –36 | 0 | +109 do +182 |
| Proponowane brzmienie do czasu uzyskania dodatkowej wiedzy | | „Do 20–30% niższe emisje CO ₂ niż ochrona skalna w projekcie”. | Odniesienie porównawcze | „Do 2–2,5 razy wyższe emisje CO ₂ niż ochrona skalna w projekcie”. |

- Tecco Cell wymaga znacznie mniej i mniejszych rozmiarów kamieni niż ochrona skalna, co przekłada się na mniejszą ilość wydobywanego materiału (który może być łatwo pozyskiwany lokalnie);
 - do Tecco Cell i ochrony skalnej nie stosuje się betonu. Cement, stal zbrojeniowa i ogólna masa tej opcji są kluczowymi czynnikami wpływającymi na znacznie wyższy ślad węglowy w przypadku umocnień betonowych. Inne wyniki badań wskazują, że:
 - według wykonawcy bloki do ochrony skalnej często trudno pozyskać lokalnie. W przypadku Beesands bloki można było pozyskać lokalnie, co wydaje się optymalnym i raczej rzadkim przypadkiem. Dla innych projektów z ochroną skalną bloki musiały być sprowadzane z zagranicy – Skandynawii lub Belgii. Gdyby tak było w przypadku Beesands, opcja Tecco Cell byłaby nawet do 30–40% bardziej efektywna pod względem emisji CO₂ aniżeli ochrona skalna;
 - w przypadku Tecco Cell metalowa siatka musiała być wysłana z zagranicy (Szwajcaria). Wzrost śladu węglowego równoważy fakt, że do wypełnienia użyto lokalnie pozyskiwanych małych kamieni i otoczków.
- Dla etapów utrzymania i demontażu / recyklingu, które nie zostały uwzględnione w obliczeniach, można dokonać oceny jakościowej.

Szacunkowo dwa etapy – utrzymanie i demontaż – stanowią mniej niż 35% całkowitego śladu węglowego dla wszystkich trzech wariantów. Jednak w zależności od warunków lokalnych, etapów tych nie można pominąć w modelu ogólnego śladu węglowego, a w przyszłych badaniach należy rzetelnie oszacować te wartości.

Siatkę metalową zastosowaną w układzie oczek można po użyciu poddać recyklingowi. Wartość recyklingu siatki drucianej ze stali nierdzewnej wymaga określenia w ramach dalszych badań.

Zdaniem monterów ochrona skalna w Beesands wymagała corocznych napraw po silnych burzach, a system Tecco Cell okazał się bezobsługowy w ciągu pierwszych pięciu lat eksploatacji. Ta informacja wskazuje na zwiększenie śladu węglowego ochrony skalnej. Tecco Cell po pięciu latach użytkowania wykazuje obiecujące wyniki w zakresie utrzymania, ale nie znaczy to, że nie należy zdobywać długoterminowego doświadczenia w zakresie długości bezawaryjnego użytkowania i wymaganej konserwacji.

7.3. Ocena wyników i zalecenia dotyczące ich wykorzystania

Studium przypadku daje dobry obraz oszczędności CO₂ przy zastosowaniu Tecco Cell w tym projekcie na etapie wydobywania, transportu i montażu oraz umożliwia ocenę opcji na etapie oceny projektu. Należy pamiętać, że wyników studium przypadku nie należy uogólniać. Inne lokalizacje i warunki wymagają odrębnej oceny. Zalecane jest przeprowadzenie oddzielnej oceny śladu węglowego dla każdego przyszłego projektu zabezpieczenia wybrzeża z zastosowaniem Tecco Cell lub innych rozwiązań zabezpieczania.

Do czasu uzyskania dalszej wiedzy autor sugeruje brzmienie jak w tabeli 2 w celu przekazania wyników opracowania.

8. Rekomendacje do dalszych badań

Dla dalszego porównywania śladu węglowego Tecco Cell interesujące byłoby zbadanie, czy dla innych projektów wartości śladu węglowego pozostają w tym samym przedziale, co dla studium przypadku Beesands, a także czy w przypadku parametrów projektu, które różnią się znacznie od studium przypadku Beesands (np. bardziej strome zbocza), ślad węglowy Tecco Cell wraz z zabudową pozostaje korzystny w porównaniu z rozwiązaniami standardowymi.

Wartości emisji CO₂ dla utrzymania i demontażu / recyklingu Tecco Cell można ustalić i potwierdzić.

9. Wnioski

Wyniki oceny śladu węglowego w ramach studium przypadku przeprowadzonego przy użyciu systemu Tecco Cell świadczą o tym, że ten nowatorski rodzaj rozwiązania ze stali nierdzewnej o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie może ułatwić zmniejszenie wpływu na emisję w zabezpieczaniu brzegów. Wykazują również, że technologia ta jest mniej zależna od dużych bloków transportowanych z daleka na place budowy i pozwala na wykorzystanie materiałów pozyskiwanych lokalnie. Sama siatka do układu oczek była transportowana z zagranicy, ale – uwzględniając parametry studium przypadku – ogólna oszczędność emisji CO₂ w porównaniu z emisją ze standardowych rozwiązań jest znacząca. Wyniki te mogą być dostosowane do podobnych projektów, ale nie mogą być uogólnione dla każdego typu projektu. Stąd też zdecydowanie zaleca się – a w niektórych krajach jest to nawet konieczne – przeprowadzenie podobnych ocen śladu węglowego dla przyszłych analogicznych projektów.

www.geobruigg.com



Czytaj więcej