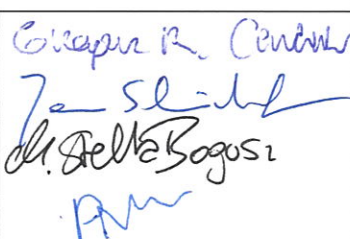
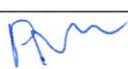



Modelowanie rozptywu zawiesiny podczas układania kabla podmorskiego do morskich farm wiatrowych MFW Bałtyk II i MFW Bałtyk III

Opracował		Sprawdził	
Grzegorz R. Cerkowniak		Piotr Szmytkiewicz	
Jan Schönhofer		Zatwierdził	
Magdalena Stella-Bogusz		Grzegorz R. Cerkowniak	
Piotr Szmytkiewicz			

Zleceniodawca: EKO-KONSULT Spółka z o.o.
ul. Narwicka 6, 80-557 Gdańsk

Przedmiot zlecenia: Opracowanie modelowania rozptyłu zawiesiny podczas układania kabla podmorskiego dla potrzeb dokumentacji środowiskowej raportu o oddziaływaniu na środowisko przedsięwzięcia pn. „Infrastruktura przyłączeniowa morskich farm wiatrowych MFW Bałtyk II i MFW Bałtyk III”

Wykonawca: Instytut Budownictwa Wodnego Polskiej Akademii Nauk (IBW PAN)
ul. Kościerska 7, 80-328 Gdańsk

Symbol pracy: C2-15/22

Umowa z dnia: 24.06.2022

Kierownik pracy: dr inż. Grzegorz R. Cerkowniak

Autorzy: dr inż. Grzegorz R. Cerkowniak
dr inż. Jan Schönhofer
dr Magdalena Stella-Bogusz
dr inż. Piotr Szmytkiewicz

Kierownik Zakładu (IBW PAN) prof. dr hab. inż. Rafał Ostrowski

Dyrektor IBW PAN: prof. dr hab. inż. Waldemar Świdziński

Spis treści

Wykaz skrótów	7
1. Podstawa formalna	8
2. Wstęp, przedmiot i zakres opracowania	8
3. Obszar badań.....	9
3.1. Geologia.....	9
3.2. Wiatr	15
3.3. Falowanie	15
3.4. Prądy.....	16
3.5. Naturalne stężenie zawiesiny w toni wodnej.....	16
4. Model numeryczny.....	16
4.1. Opis modelu.....	16
4.2. Budowa modelu.....	17
4.3. Założenia do symulacji.....	21
5. Wyniki obliczeń	24
6. Komentarz nt. wyników modelowania rozptywu zawiesiny w rejonie korytarza dla IP uzyskanych przez Instytut Morski w Gdańsku w 2015 r.	54
7. Podsumowanie.....	54
8. Trudności wynikające z niedostatków techniki i luk we współczesnej wiedzy	56
Spis literatury	56
Załącznik – maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie powierzchniowej, w toni wodnej i w warstwie przydennej podczas zagłębiania kabla w przypadku scenariuszy V100 i V200	57

Spis rysunków

Rys. 1 Schemat łączenia morskiej farmy wiatrowej z lądem (na podstawie DNV-RP-J301)	8
Rys. 2 Lokalizacja korytarza dla IP MFW Bałtyk II i MFW Bałtyk III	10
Rys. 3 Fragment poprzecznego do brzegu przekroju geologicznego zlokalizowanego w pobliżu korytarza dla IP (Mapa geodyn. polskiej strefy brzegowej Bałtyku, ark. Modlinek /24/; Zachowicz i Dobracki 2003)	12
Rys. 4 Mapa osadów powierzchniowych na trasie korytarza dla IP MFW Bałtyk II i MFW Bałtyk III	14
Rys. 5 Róża wiatrów w obszarze analizy (ibidem)	15
Rys. 6 Szkic siatki numerycznej zastosowanej w module WAVE.....	18
Rys. 7 Obszar obliczeniowy, szkic siatki numerycznej zastosowanej w module FLOW na tle korytarza dla IP oraz MFW Bałtyk II i MFW Bałtyk III	19
Rys. 8 Zestawienie wysokości fali znacznej zarejestrowanej na dwóch dalbach pomiarowych w MLB Lubiatowo w 2006 r. z wysokością fali znacznej obliczoną przy pomocy modułu falowego	20
Rys. 9 Szkic geometrii wykopu pod kabel energetyczny IP	22
Rys. 10 Szkic położenia kabla energetycznego IP na tle danych batymetrycznych.....	23
Rys. 11 (a) Zestawienie chwilowych zasięgów zmętnienia wody na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V100 wyznaczonych (b) w 10 godzinie (punkt na km 33), (c) w 372 godzinie (punkt na km 15 BII) i (d) w 482 godzinie (punkt na km 4 BII) od momentu rozpoczęcia zagłębiania kabla	27
Rys. 12 (a) Zestawienie chwilowych zasięgów zmętnienia wody na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V200 wyznaczonych (b) w 5 godzinie (punkt na ok. km 33), (c) w 186 godzinie (punkt na ok. km 15 BII) i (d) w 241 godzinie (punkt na ok. km 4 BII) od momentu rozpoczęcia zagłębiania kabla	28
Rys. 13 (a) Zestawienie chwilowych zasięgów zmętnienia wody na trasie do MFW Bałtyk III w przypadku scenariusza V100 wyznaczonych (b) w 372 godzinie (punkt na ok. km 21,5 BIII) i (c) w 502 godzinie (punkt na ok. km 8 BIII) od momentu rozpoczęcia zagłębiania kabla	29
Rys. 14 (a) Zestawienie chwilowych zasięgów zmętnienia wody na trasie do MFW Bałtyk III w przypadku scenariusza V200 wyznaczonych (b) w 186 godzinie (punkt na ok. km 21,5 BIII) i (c) w 251 godzinie (punkt na ok. km 8 BIII) od momentu rozpoczęcia zagłębiania kabla	30
Rys. 15 (a) Zestawienie chwilowych zasięgów zmętnienia wody na trasie łącznika w przypadku scenariusza V100 wyznaczonych (b) w 12 godzinie (punkt na ok. km 1), (c) w 60 godzinie (punkt na ok. km 6) i (d) w 240 godzinie (punkt na ok. km 24) od momentu rozpoczęcia zagłębiania kabla.....	31
Rys. 16 (a) Zestawienie chwilowych zasięgów zmętnienia wody na trasie łącznika w przypadku scenariusza V200 wyznaczonych (b) w 6 godzinie (punkt na ok. km 1), (c) w 30 godzinie (punkt na ok. km 6) i (d) w 120 godzinie (punkt na ok. km 24) od momentu rozpoczęcia zagłębiania kabla.....	32
Rys. 17 Maksymalne koncentracje zawiesiny w całej kolumnie wody wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V100, wartość graniczna 5 mg/l	34
Rys. 18 Maksymalne koncentracje zawiesiny w całej kolumnie wody wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V200, wartość graniczna 5 mg/l	35
Rys. 19 Maksymalne koncentracje zawiesiny w całej kolumnie wody wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk III w przypadku scenariusza V100, wartość graniczna 5 mg/l	36

Rys. 20 Maksymalne koncentracje zawiesiny w całej kolumnie wody wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk III w przypadku scenariusza V200, wartość graniczna 5 mg/l	37
Rys. 21 Maksymalne koncentracje zawiesiny w całej kolumnie wody wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie łącznika w przypadku scenariusza V100, wartość graniczna 5 mg/l	38
Rys. 22 Maksymalne koncentracje zawiesiny w całej kolumnie wody wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie łącznika w przypadku scenariusza V200, wartość graniczna 5 mg/l	39
Rys. 23 łączny czas zmętnienia wody powstałego podczas całego procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V100	41
Rys. 24 łączny czas zmętnienia wody powstałego podczas całego procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V200	42
Rys. 25 łączny czas zmętnienia wody powstałego podczas całego procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk III w przypadku scenariusza V100	43
Rys. 26 łączny czas zmętnienia wody powstałego podczas całego procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk III w przypadku scenariusza V200	44
Rys. 27 łączny czas zmętnienia wody powstałego podczas całego procesu zagłębiania kabla na trasie łącznika w przypadku scenariusza V100	45
Rys. 28 łączny czas zmętnienia wody powstałego podczas całego procesu zagłębiania kabla na trasie łącznika w przypadku scenariusza V100	46
Rys. 29 Miąższość warstwy osadów powstałej po całkowitej sedymentacji zawiesiny wprowadzonej do akwenu podczas zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V100	48
Rys. 30 Miąższość warstwy osadów powstałej po całkowitej sedymentacji zawiesiny wprowadzonej do akwenu podczas zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V200	49
Rys. 31 Miąższość warstwy osadów powstałej po całkowitej sedymentacji zawiesiny wprowadzonej do akwenu podczas zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk III w przypadku scenariusza V100	50
Rys. 32 Miąższość warstwy osadów powstałej po całkowitej sedymentacji zawiesiny wprowadzonej do akwenu podczas zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk III w przypadku scenariusza V200	51
Rys. 33 Miąższość warstwy osadów powstałej po całkowitej sedymentacji zawiesiny wprowadzonej do akwenu podczas zagłębiania kabla na trasie łącznika w przypadku scenariusza V100	52
Rys. 34 Miąższość warstwy osadów powstałej po całkowitej sedymentacji zawiesiny wprowadzonej do akwenu podczas zagłębiania kabla na trasie łącznika w przypadku scenariusza V200	53
Rys. 35 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie powierzchniowej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V100, wartość graniczna 5 mg/l	58
Rys. 36 Maksymalne koncentracje zawiesiny w toni wodnej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V100, wartość graniczna 5 mg/l	59
Rys. 37 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie przydennej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V100, wartość graniczna 5 mg/l	60
Rys. 38 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie powierzchniowej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V200, wartość graniczna 5 mg/l	61

Rys. 39 Maksymalne koncentracje zawiesiny w toni wodnej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V200, wartość graniczna 5 mg/l	62
Rys. 40 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie przydennej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V200, wartość graniczna 5 mg/l	63
Rys. 41 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie powierzchniowej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk III w przypadku scenariusza V100, wartość graniczna 5 mg/l	64
Rys. 42 Maksymalne koncentracje zawiesiny w toni wodnej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk III w przypadku scenariusza V100, wartość graniczna 5 mg/l	65
Rys. 43 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie przydennej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk III w przypadku scenariusza V100, wartość graniczna 5 mg/l	66
Rys. 44 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie powierzchniowej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk III w przypadku scenariusza V200, wartość graniczna 5 mg/l	67
Rys. 45 Maksymalne koncentracje zawiesiny w toni wodnej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk III w przypadku scenariusza V200, wartość graniczna 5 mg/l	68
Rys. 46 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie przydennej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk III w przypadku scenariusza V200, wartość graniczna 5 mg/l	69
Rys. 47 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie powierzchniowej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie łącznika w przypadku scenariusza V100, wartość graniczna 5 mg/l	70
Rys. 48 Maksymalne koncentracje zawiesiny w toni wodnej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie łącznika w przypadku scenariusza V100, wartość graniczna 5 mg/l	71
Rys. 49 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie przydennej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie łącznika w przypadku scenariusza V100, wartość graniczna 5 mg/l	72
Rys. 50 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie powierzchniowej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie łącznika w przypadku scenariusza V200, wartość graniczna 5 mg/l	73
Rys. 51 Maksymalne koncentracje zawiesiny w toni wodnej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie łącznika w przypadku scenariusza V200, wartość graniczna 5 mg/l	74
Rys. 52 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie przydennej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie łącznika w przypadku scenariusza V200, wartość graniczna 5 mg/l	75

Wykaz skrótów

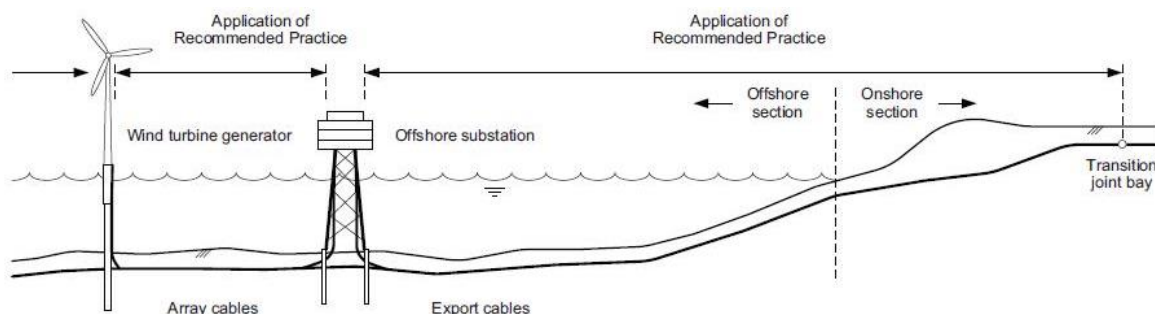
IBW PAN	Instytut Budownictwa Wodnego Polskiej Akademii Nauk
KM	<p>Kilometraż brzegu. Na brzegu polskim istnieje ujednolicony system lokalizacji zwany kilometrażem Urzędów Morskich.</p> <p>KM 0,0 jest położony na granicy z Rosją, KM 428,1 położony jest na granicy z Niemcami.</p> <p>Oddzielny kilometraż obowiązuje dla Półwyspu Helskiego, Zalewu Wiślanego i Zalewu Szczecińskiego.</p>
MFW	Morska farma wiatrowa
IP	Infrastruktura przyłączeniowa
Osad	Rozdrobniony materiał skalny przenoszony przez prądy i fale morskie osadzający się i tworzący dno morza.
PAN	Polska Akademia Nauk
Rumowisko	Patrz: Osad

1. Podstawa formalna

Opracowanie sporządzono na zamówienie firmy EKO-KONSULT Sp. z o.o. zgodnie ze zleceniem nr 582.22/IBWPAN/2022 z dnia 24 czerwca 2022 r. Przedmiotem opracowania jest wykonanie modelowania rozptyłu zawiesiny podczas układania kabla podmorskiego dla potrzeb dokumentacji środowiskowej raportu o oddziaływaniu na środowisko przedsięwzięcia pn. „Infrastruktura przyłączeniowa morskich farm wiatrowych MFW Bałtyk II i MFW Bałtyk III”.

2. Wstęp, przedmiot i zakres opracowania

Bardzo ważnym elementem morskiej farmy wiatrowej (MFW) jest tzw. Infrastruktura Przyłączeniowa (IP) łącząca turbiny wiatrowe z siecią energetyczną na lądzie. Przewody elektryczne tworzące IP ze względów bezpieczeństwa są zazwyczaj umieszczane pod dnem morskim, plażą oraz wydumą i są wyprowadzane na powierzchnię lądu w bezpiecznej odległości od brzegu. Schemat układu IP przedstawiono na Rys. 1. Przewody elektryczne muszą być układane w taki sposób, aby nie uległy odsłonięciu lub zerwaniu. Krytycznym miejscem dla IP jest strefa brzegowa morza, gdyż w tym obszarze ze względu na silne wymuszenia hydrodynamiczne występują intensywne zmiany denne. Poza strefą brzegową oddziaływanie hydrodynamiczne na dno jest znacznie mniejsze. Z tego powodu na otwartym morzu IP układa się płycej w dnie niż ma to miejsce w obrębie strefy brzegowej. W trakcie zagłębiania kabla elektroenergetycznego IP w dnie następuje poderwanie części osadów dennych i ich samoistne przemieszczanie się (transport) w formie zawieszonych w toni wodnej. W środowisku morskim, procesy związane z obecnością i ruchem cząstek osadu w toni wodnej opisywane są przez procesy depozycji¹ oraz sedymentacji². Obecność zwiększonej ilości osadu w toni wodnej może negatywnie oddziaływać na ichtiofaunę oraz fito- i zoobentos.



Rys. 1 Schemat łączenia morskiej farmy wiatrowej z lądem (na podstawie DNV-RP-J301)

Zakres niniejszej pracy obejmuje modelowanie numeryczne rozprzestrzeniania się zawiesiny podczas układania kabla podmorskiego dla potrzeb dokumentacji środowiskowej będącej podstawą do wydania decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach dla dwóch przedsięwzięć polegających na wyprowadzeniu mocy z morskich farm wiatrowych zlokalizowanych na Morzu Bałtyckim: MFW Bałtyk II i MFW Bałtyk III.

Celem pracy jest wskazanie najbardziej niekorzystnego scenariusza, w zakresie oddziaływania na środowisko. Wynikiem prac jest w szczególności określenie zasięgu rozprzestrzeniania się zawiesiny,

¹ **Depozycja** to tymczasowe osadzanie się materiału osadowego na dnie morskim (Musielak 1985, Lund-Hansen i in. 1997, McKee i in. 1983).

² **Sedymentacja** to proces obejmujący transport cząstek, ich rozmieszczenie na dnie, przeniesienie oraz utrzymanie na dnie morskim (*ibidem*).

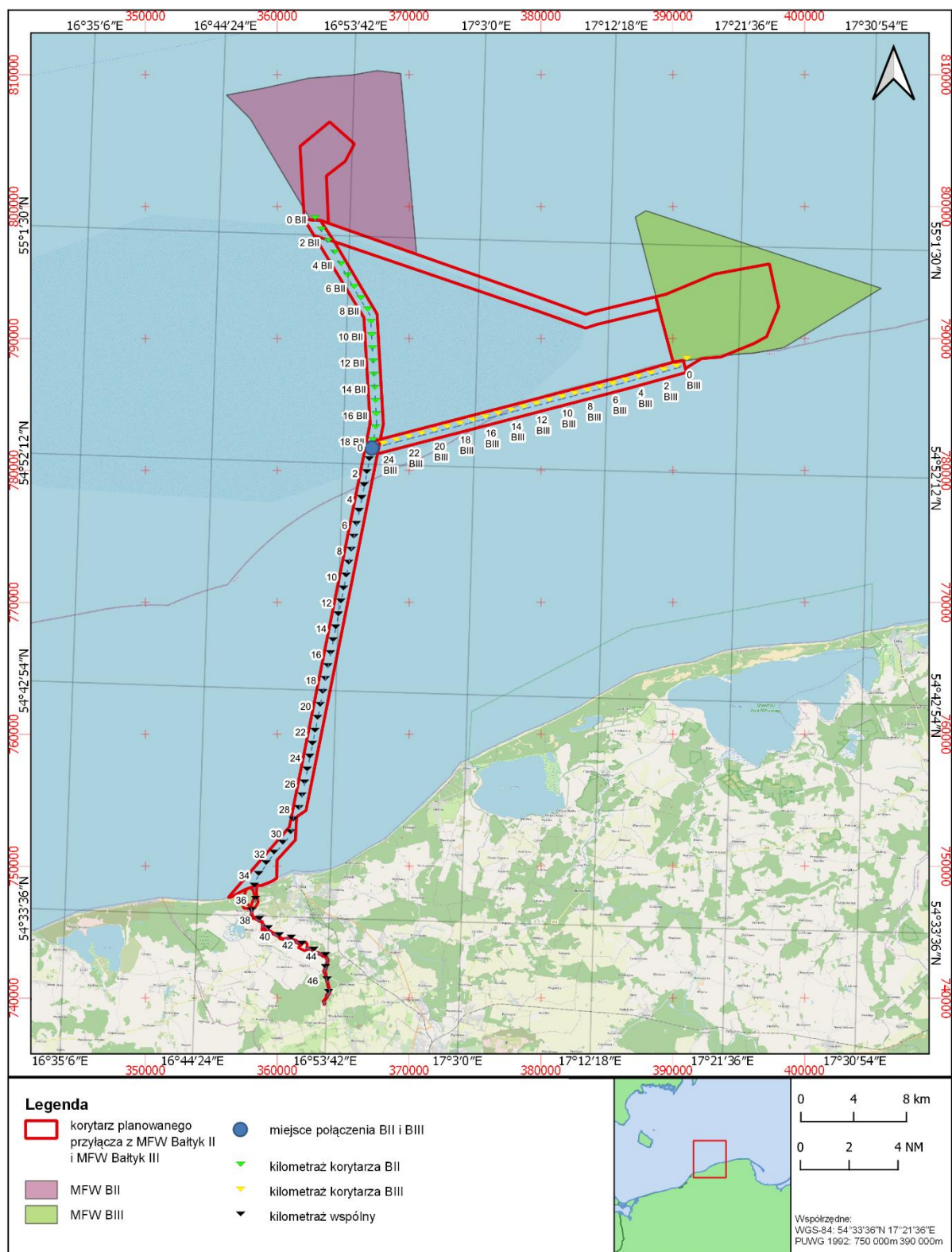
czasu trwania zmętnienia toni wodnej oraz wyznaczenie miąższości warstwy osadów, jaka powstanie w rejonie przedsięwzięcia po całkowitej sedymentacji zawiesiny.

Dodatkowo w raporcie odniesiono się do wyników modelowania wykonanego na potrzeby przedsięwzięcia przez Instytut Morski w Gdańsku w 2015 roku.

3. Obszar badań

3.1. Geologia

Obszarem badań jest akwen obejmujący fragment Morza Bałtyckiego zlokalizowany w rejonie miejscowości Ustka w sąsiedztwie korytarza przeznaczonego pod planowaną trasę IP łączącą ląd z MFW Bałtyk II i MFW Bałtyk III. Korytarz IP rozpoczyna się około 1 km na zachód od Ustki, przy brzegu ma szerokość ok. 4 km (od ok. KM 235 do ok. KM 239) oraz sięga ok. 53 km na północ od linii brzegowej (Rys. 2).



Rys. 2 Lokalizacja korytarza dla IP MFW Bałtyk II i MFW Bałtyk III

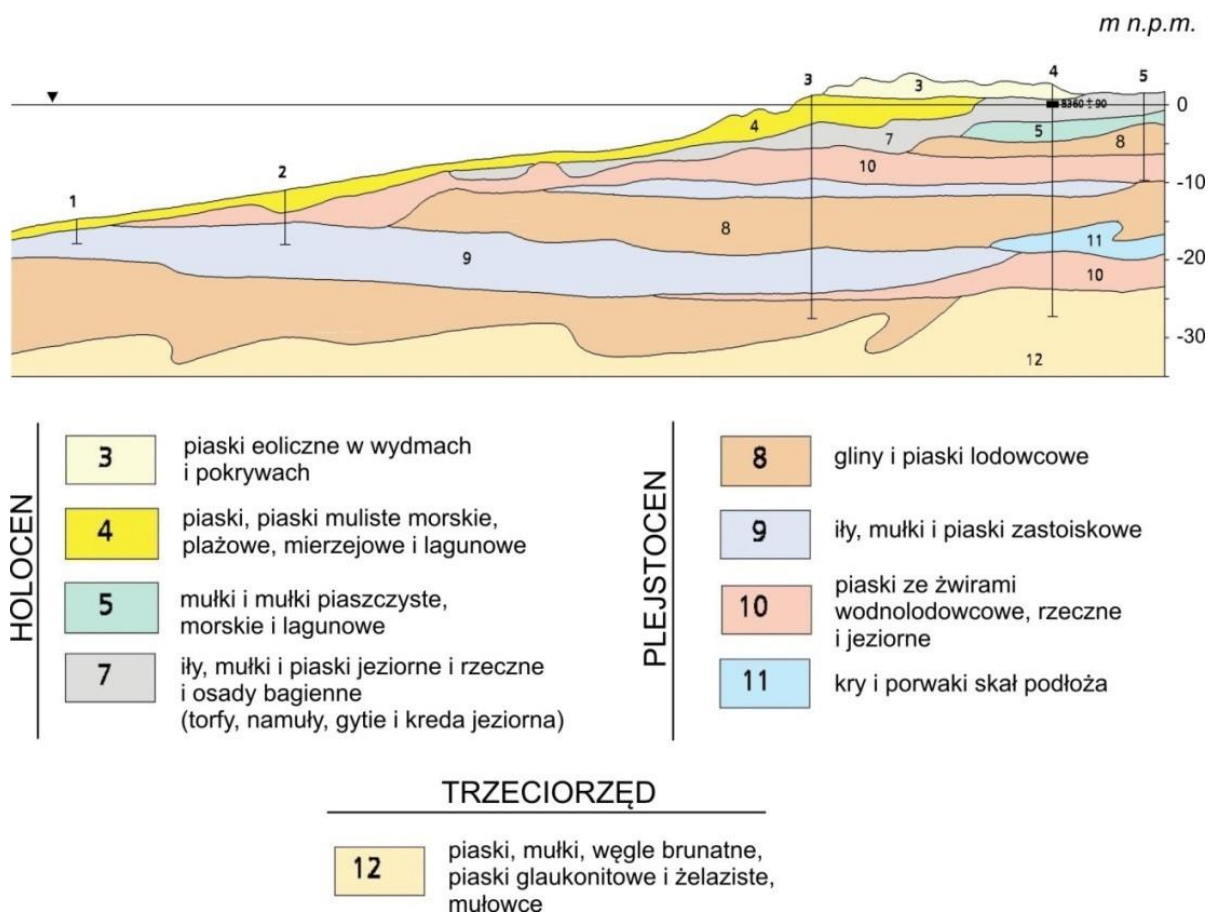
Lądowa część obszaru przeznaczanego pod IP znajduje się na Wybrzeżu Słowińskim należącym do Pobrzeża Koszalińskiego w pasie Pobrzeży Południowobałtyckich (Kondracki 1998). Odcinek ten stanowi obszar mierzei nadbudowanej pasem wydmy nadmorskich (Zachowicz i Dobracki 2003). Ciągące się wzdłuż brzegu Wydmy Łędowskie tworzą rozległą formę plateau wydmowego. Rzędne powierzchni plateau osiągają około 35 m n.p.m.

Brzeg morski na analizowanym odcinku należy do typu wydmowego rozmywanego. Jest on sztucznie utrwalany roślinnością. Plaża posiada płaski profil o szerokości nie przekraczającej 30 m (Zachowicz i Dobracki 2003).

Podwodny skłon brzegowy opada łagodnym stokiem do głębokości 10–12 m (Mielczarski 1963). Układ izobat w strefie podbrzeża jest równoległy do linii brzegowej. Izobata 2,5 m przebiega w odległości ok. 160–250 m od brzegu, zaś izobata 5 m jest oddalona o 400 do 500 m od linii wody. Izobata 10 m ma już przebieg mniej regularny i jest położona od 1000 m do 1400 m od brzegu. Natomiast izobata 15 m biegnie w odległości około 1400–1800 m od brzegu. W strefie podbrzeża występuje typowa dla południowego Bałtyku rzeźba dna z dwiema rewami. Dobrze rozwinięta pierwsza rewa występuje do izobaty 5 m, zaś druga rewa zaznacza się tuż za izobatą 5 m. Średnie nachylenie brzegu wynosi 0,010-0,015. W głębszej części Zatoki Usteckiej dominuje pagórkowata rzeźba poligenetyczna związana z nakładaniem się form pochodzenia morskiego na niszczone procesami denudacji i abrazji powierzchnię późnoglacialną (Michałowska i Pikies 1992). Ponadto w dnie Zatoki Usteckiej występuje pogrzebana dolina, której główny etap rozwoju był związany z działalnością wód subglacialnych i ablacyjnych w fazie gardnieńskiej (Florek i in. 2005).

Dalej na północ od brzegu morska część obszaru przeznaczonego pod IP wkracza na ławicę Słupską. Wraz z tym znacznie zmniejszają się głębokości – nawet do około 16 m (a poza obszarem badań lokalnie nawet do ok. 8 m). Generalnie w obszarze ławicy Słupskiej dno w którym będzie zagłębiany kabel leży na głębokości około 20 m p.p.m.

Zagłębianie IP w dnie morskim odbywa się na głębokości kilku metrów poniżej poziomu dna. Oznacza to, że niezależnie od zastosowanej metody zagłębiania, następuje podniesienie rumowiska jedynie do tego poziomu głębokości. W związku z tym kluczowe znaczenie dla inwestycji mają górne warstwy osadów dennych, a mianowicie osady czwartorzędowe: plejstoceny i holoceny (Rys. 3).



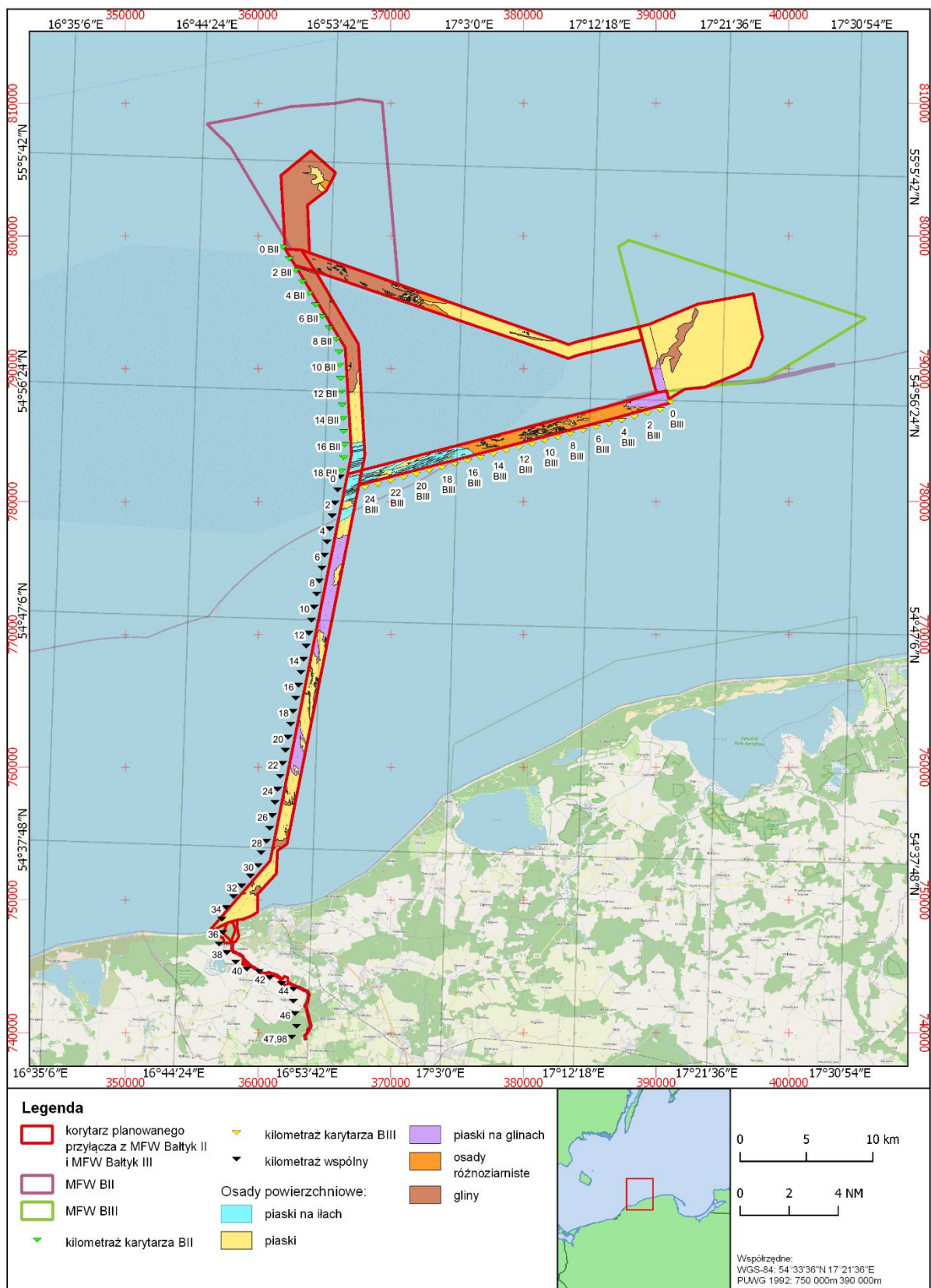
Rys. 3 Fragment poprzecznego do brzegu przekroju geologicznego zlokalizowanego w pobliżu korytarza dla IP (Mapa geodyn. polskiej strefy brzegowej Bałtyku, ark. Modlinek /24/; Zachowicz i Dobracki 2003)

Osady plejstoceny reprezentowane są przez kilka poziomów glin lodowcowych, rozdzielonych utworami piaszczysto-żwirowymi akumulacji wodnolodowcowej. Najstarszy poziom glin zwałowych zlodowacenia Warty zalega bezpośrednio na mioceńskim podłożu. Powyżej występuje seria piasków i żwirów wodnolodowcowych, które podścielają gliny stadiu górnego zlodowacenia Wisły. Górny poziom glin jest silnie zerodowany, a jego strop uклада się od 7 m n.p.m. do 5 m p.p.m.

Osady holocenu reprezentowane są przez serie piasków eolicznych (w wydmach i pokrywach) osiagające kilka metrów miąższości, piaski plażowe, morskie osady mierzejowe i lagunowe oraz organiczne osady akumulacji jeziornej. Osady plażowe ciągną się nieprzerwaną strefą o szerokości dochodzącej do 150 m wzdłuż brzegu morskiego. Jest to seria piaszczysta i piaszczysto-żwirowa o miąższości od 2 do 5 m (Uniejewska i Nosek 1986). Osady mierzejowe i lagunowe występują w strefie płytkiego podbrzeża. Osiagają miąższość rzędu 2–5 m i wykształcone są jako piaski drobnoziarniste i gruboziarniste z domieszką żwiru, zalegające w pobliżu wychodni osadów glacyfluwialnych i glin lodowcowych. Podścielone są one osadami glacyfluwialnymi, zastoiskowymi lub gliną zwałową. Osady organogeniczne (głównie torfy) występują lokalnie w zachodniej części obszaru na głębokości ok. 2 – 3 m p.p.t. podścielając piaski eoliczne. W podbrzeżu osady te występują do izobaty ok. 2 m, pod cienką pokrywą piasków morskich (Zachowicz i Dobracki 2003). Na Rys. 4 przedstawiono mapę osadów powierzchniowych wzdłuż korytarza IP. Na większej części korytarza na powierzchni dna

występują piaski różnego typu, natomiast w północnozachodniej części korytarza na dnie znajduje się glina.

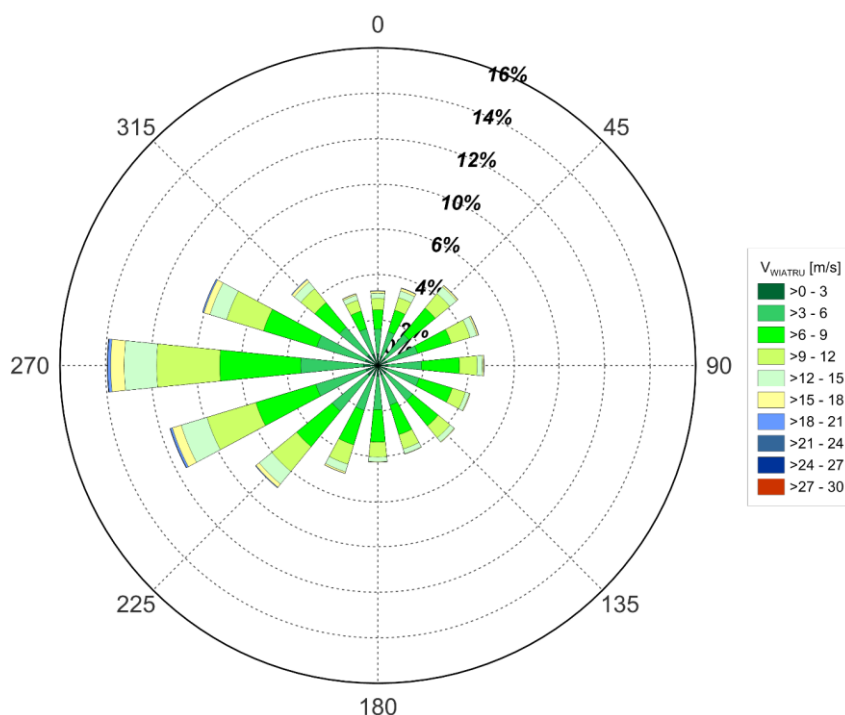
Poniżej osadów czwartorzędowych zalegają osady paleogenu i neogenu reprezentowane przez oligoceńskie glaukonitowe piaski kwarcowe oraz ropy i mułowce brakiczno-morskie, a w górnej części przedmiocieńskie piaski i mułki z węglem brunatnym. Osady neogenu, których strop jest zaburzony gładitektonicznie, zalegają na głębokości od 25 m p.p.m. do 90 m p.p.m. Zatem niewykluczone, że w obszarze o większych głębokościach może się zdarzyć sytuacja, gdy nastąpi poderwanie i przeniesienie do toni wodnej tychże osadów.



Rys. 4 Mapa osadów powierzchniowych na trasie korytarza dla IP MFW Bałtyk II i MFW Bałtyk III

3.2. Wiatr

W obszarze analizy wiatr o prędkościach od 0 do 3 m/s występuje średnio przez około 36 dni w średnim roku statystycznym. Prędkości wiatru z przedziału 3 – 6 m/s występują średnio przez około 110 dni. Wiatr o prędkościach z przedziału od 6 do 9 m/s występuje przez niecałe 70 dni w średnim roku statystycznym. Wiatr o prędkości z przedziału 9 – 12 m/s trwa średnio około 70 w ciągu roku. Prędkości wiatru z przedziału 12 – 15 m/s trwają średnio około 30 dni, a prędkości z przedziału 15 – 18 m/s nie trwają około 9 dni. Pozostałe prędkości nie trwają dłużej niż kilka, kilkanaście godzin w ciągu w roku (Marcinkowski i in. 2014). Na Rys. 5 przedstawiono różę wiatrów w obszarze analizy w podziale na klasy prędkości. Dla prędkości mniejszych od około 3 m/s wystąpienie wiatrów z wszystkich kierunków jest równie prawdopodobne. Dla prędkości większych dominującymi kierunkami propagacji wiatru w obszarze analizy są kierunki zachodnie.



Rys. 5 Róża wiatrów w obszarze analizy (ibidem)

3.3. Falowanie

W pracy Marcinkowskiego i in. (2014) pokazano, że w wieloleciu 1958 – 2001 w obszarze inwestycji:

- maksymalna wysokość fali znacznej wyniosła 8,6 m,
- najmniejsza z maksymalnych wysokości fali rocznych wyniosła 3,9 m.
- średnia wysokość fali znacznej wynosi 1,1 m,
- warunki falowe, podczas których wysokość fali znacznej (H_s) zawarta jest w przedziale od 0 do 1 m, występują przez ponad 212 dni w średnim roku statystycznym,
- warunki falowe, podczas których wysokość fali znacznej (H_s) zawarta jest w przedziale od 1 do 2 m, występują przez ponad 104 dni w średnim roku statystycznym,
- warunki falowe, podczas których wysokość fali znacznej (H_s) zawarta jest w przedziale od 2 do 3 m, występują przez ponad 33 dni w średnim roku statystycznym,
- w pozostałe dni (16) wysokość fali znacznej jest większa od 3 m.

3.4. Prądy

Na podstawie analizy wyników symulacji numerycznych uzyskanych dla lat 2005 – 2012 przy użyciu modelu HIROMB - Marcinkowski i in. (2014) wykazali, że:

- prędkości prądów w strefie przypowierzchniowej charakteryzują się największą dynamiką zmian. Prędkości te zmieniają się w szerokim zakresie (od 0 do 90 cm/s). Największą dynamikę zmian obserwuje się dla miesięcy jesienno-zimowych. Pomimo, że w omawianym obszarze zdarzają się prędkości rzędu kilkudziesięciu cm/s, to najczęściej jednak występują prądy z przedziałów 0 – 5 cm/s i 5 – 10 cm/s;
- prędkości prądów w strefie pośredniej charakteryzują się mniejszą dynamiką zmian niż prądy przypowierzchniowe. Największe prędkości na tej głębokości występują w okresach jesienno-zimowych, a najmniejsze latem. Dominujące prędkości mieszczą się w przedziale 0 – 5 cm/s;
- prędkości prądów w strefie przydennej w porównaniu z prędkościami występującymi w warstwach przypowierzchniowej i pośredniej, charakteryzują się większą jednorodnością. Cechą tych prądów jest mniejsza dynamika zmian ich prędkości. Oznacza to, że prędkości te w mniejszym stopniu zależą od zmiennych w czasie pól wiatrowych, a bardziej powiązane są ze stałymi przepływami wód, wynikającymi z topografii południowego Bałtyku. Należy zwrócić uwagę, że procentowa częstość występowania prądów na tej głębokości wskazuje, że niezależnie od pory roku, dominującą klasą prędkości prądów dla tej strefy jest 0 – 5 cm/s.

3.5. Naturalne stężenie zawiesiny w toni wodnej

Jak podaje Uścińowicz (2011) koncentracja zawiesiny w Bałtyku zmienia się w szerokim zakresie od 0,3 mg/l (w Basenie Gdańskim) do 500 mg/l (Bałtyk Zachodni). Szmytkiewicz (2016) pokazała, że nawet tylko kilkukrotnie wykonane pomiary w obszarze Zatoki Gdańskiej wskazują na bardzo duże wahania koncentracji zawiesiny w toni wodnej, w tym przypadku od ok. 1 mg/l do 150 mg/l. Obserwowane różnice są związane z sezonowością procesów hydrodynamicznych. W warunkach sztormowych, które przeważnie występują w okresie jesienno-zimowym, stężenie zawiesiny jest dużo wyższe niż latem w okresie spokoju na morzu. Oznacza to, że każdorazowo podczas epizodu sztormowego ilość zawiesiny zawartej w toni wodnej wzrasta w sposób naturalny, aby po ustąpieniu sztormu zmaleć do wartości przedsztormowych. Wangen (2010) pokazał, że w zamkniętych i płytkich morzach, takich jak Bałtyk, sztormowe stężenie zawiesiny maleje do wartości przedsztormowych po kilku- kilkunastu godzinach.

Na podstawie literatury (Eisma i in. 1991, Ferrari i in. 2003, Wangen 2010, Uścińowicz 2011, Szmytkiewicz 2016) oraz doświadczenia w badaniach terenowych i modelowych IBW PAN można przyjąć, że w warunkach sztormowych w obszarze inwestycji naturalne chwilowe stężenie zawiesiny w toni wodnej może wynosić od kilkudziesięciu do kilkuset mg/l, a po ustąpieniu sztormu, po kilku- kilkunastu godzinach, stężenie zawiesiny zmniejsza się do wartości przedsztormowych.

4. Model numeryczny

4.1. Opis modelu

Całość obliczeń pól prądowych i rozprzestrzeniania się drobnoklastycznej zawiesiny w morzu zrealizowano z wykorzystaniem pakietu numerycznego *Delft3D*. Program ten jest złożony z kilkunastu modułów numerycznych przeznaczonych do obliczeń przepływów, falowania, transportu osadów,

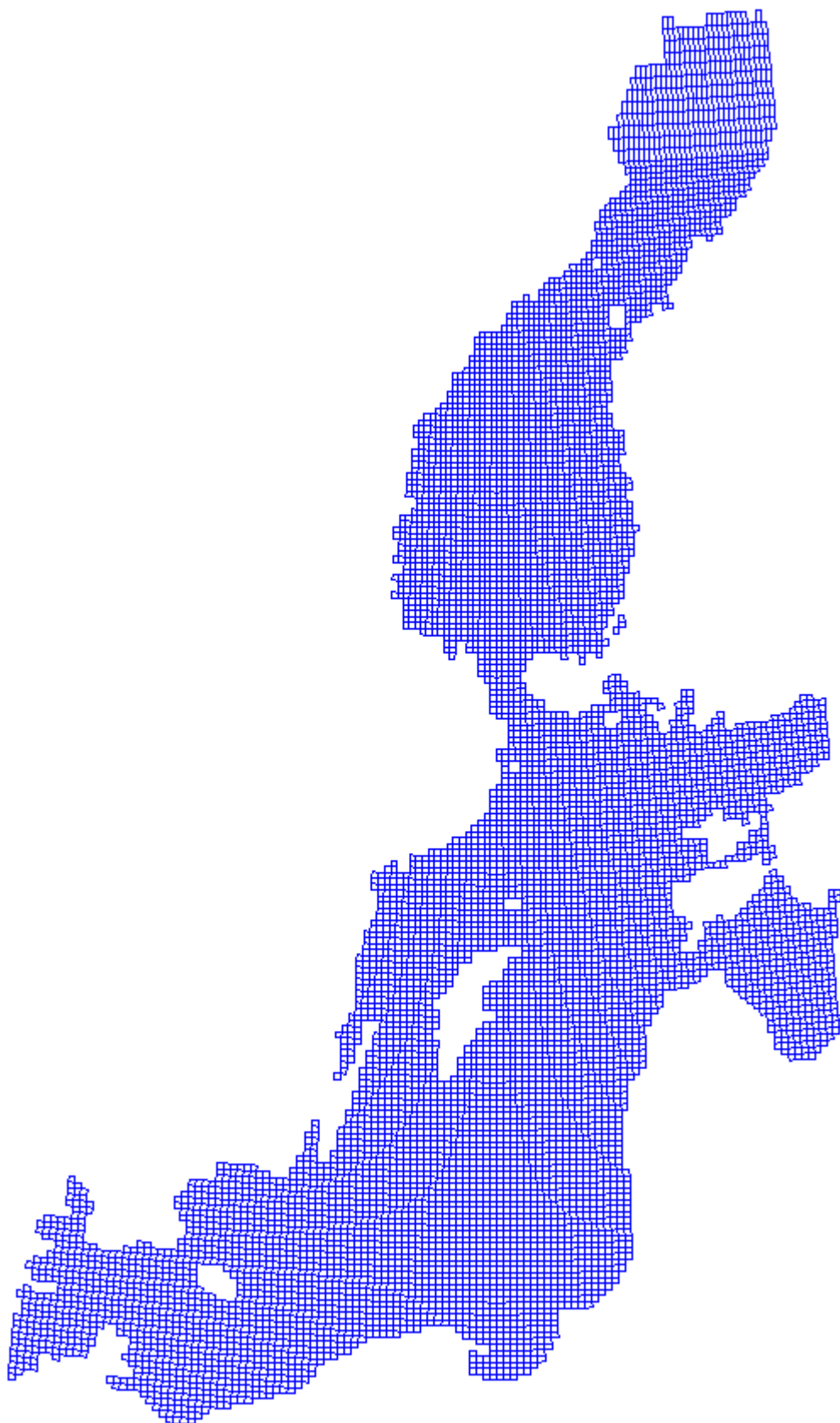
przebudowy dna morskiego oraz rozprzestrzeniania się substancji odprowadzonych do morza. Model ten, pracujący w przestrzeni trójwymiarowej, pozwala na symulowanie zagadnień hydraulicznych z wzajemną interakcją wszystkich użytych modułów.

Delft3D jest otwartym pakietem numerycznym rozwijanym na uniwersytecie w Delft w Holandii, pozwalającym na obliczanie między innymi niestacjonarnych parametrów przepływu i transportu osadów. Prędkości przepływu mogą być generowane takimi czynnikami jak: wypływy wód rzecznych, prądy generowane wiatrem (prądy dryfowe), różnice wzniesień zwierciadła wody (prądy gradientalne), różnice zasolenia i temperatury (prądy gęstościowe), pływy (prądy pływowe) i falowanie (prądy pochodzenia falowego). Oprogramowanie umożliwia również wykonanie symulacji numerycznej punktowego zrzutu lub poboru wody. W trakcie wykonywanych obliczeń wykorzystano następujące moduły obliczeniowe: moduł FLOW obliczający hydrodynamikę przepływów, moduł WAVE obliczający falowanie, moduł SED obliczający transport osadów oraz moduł MOR obliczający zmiany głębokości (Deltares 2010 a i b).

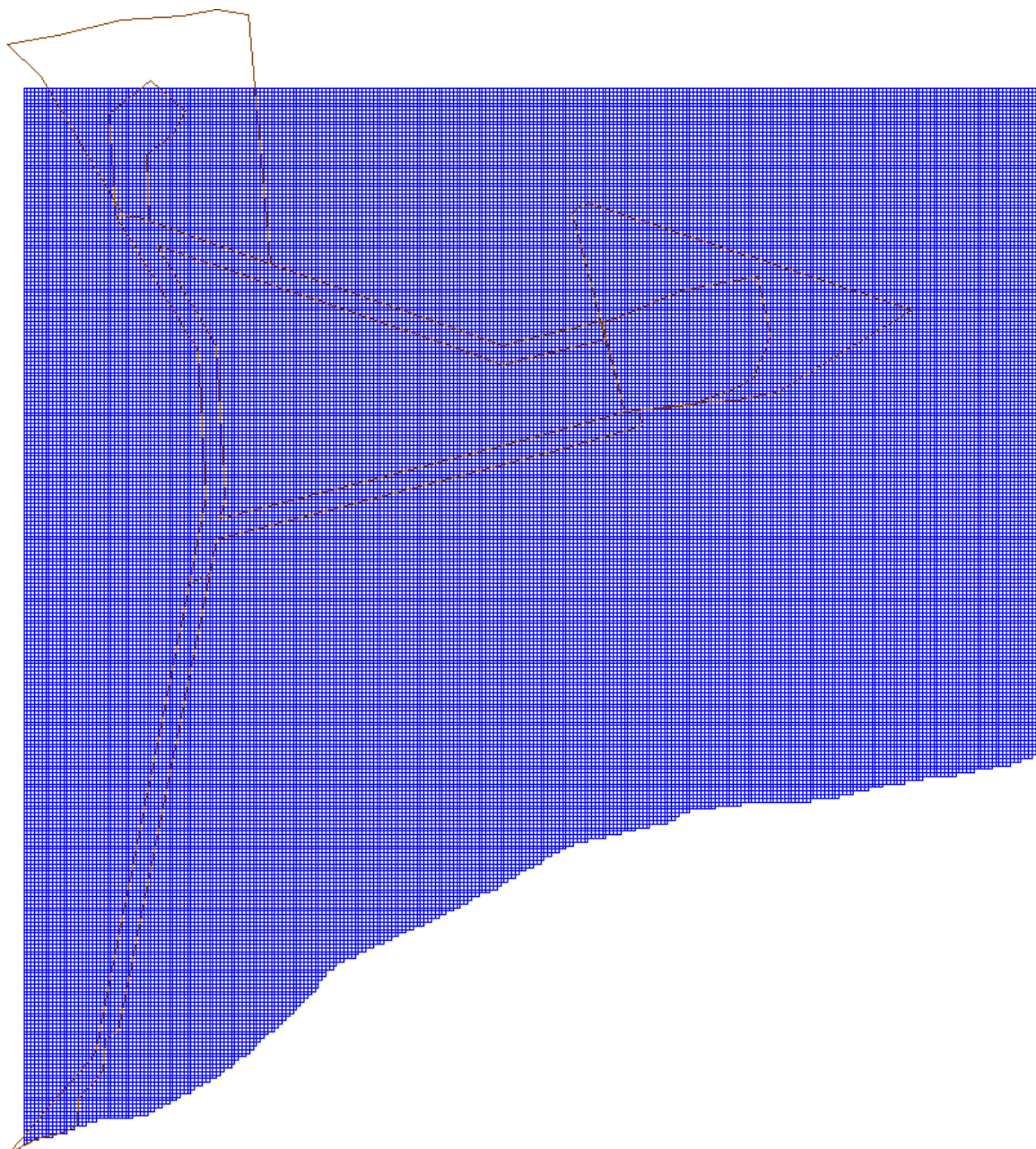
4.2. Budowa modelu

W przygotowanym w IBW PAN modelu zastosowano prostokątne siatki obliczeniowe. W przypadku obliczeń falowania, to jest w module WAVE, obszar obliczeniowy obejmuje cały Bałtyk, a rozdzielczość siatki numerycznej wynosi ok. 6 km (Rys. 6). Zastosowane podejście wykorzystuje fakt, że Morze Bałtyckie jest morzem zamkniętym z wąskim i płytkim połączeniem z Morzem Północnym poprzez Cieśniny Duńskie. Co powoduje, że falowanie i prądy Morza Północnego nie wpływają na generację i propagację falowania i prądów w rejonie inwestycji. W konsekwencji w modelu falowym nie ma granic otwartych, na których należałoby zadać warunki brzegowe. Takie podejście jest szczególnie użyteczne w procesie kalibracji modelu.

W przypadku modułu FLOW obszar obliczeniowy został ograniczony do rejonu korytarza dla IP MFW Bałtyk II i MFW Bałtyk III. Rozciąga się on na dystansie 51 km w kierunku E i 53 km w kierunku N. Obszar ten został podzielony siatką prostokątną o wymiarach 200 m x 200 m (Rys. 7).



Rys. 6 Szkic siatki numerycznej zastosowanej w module WAVE

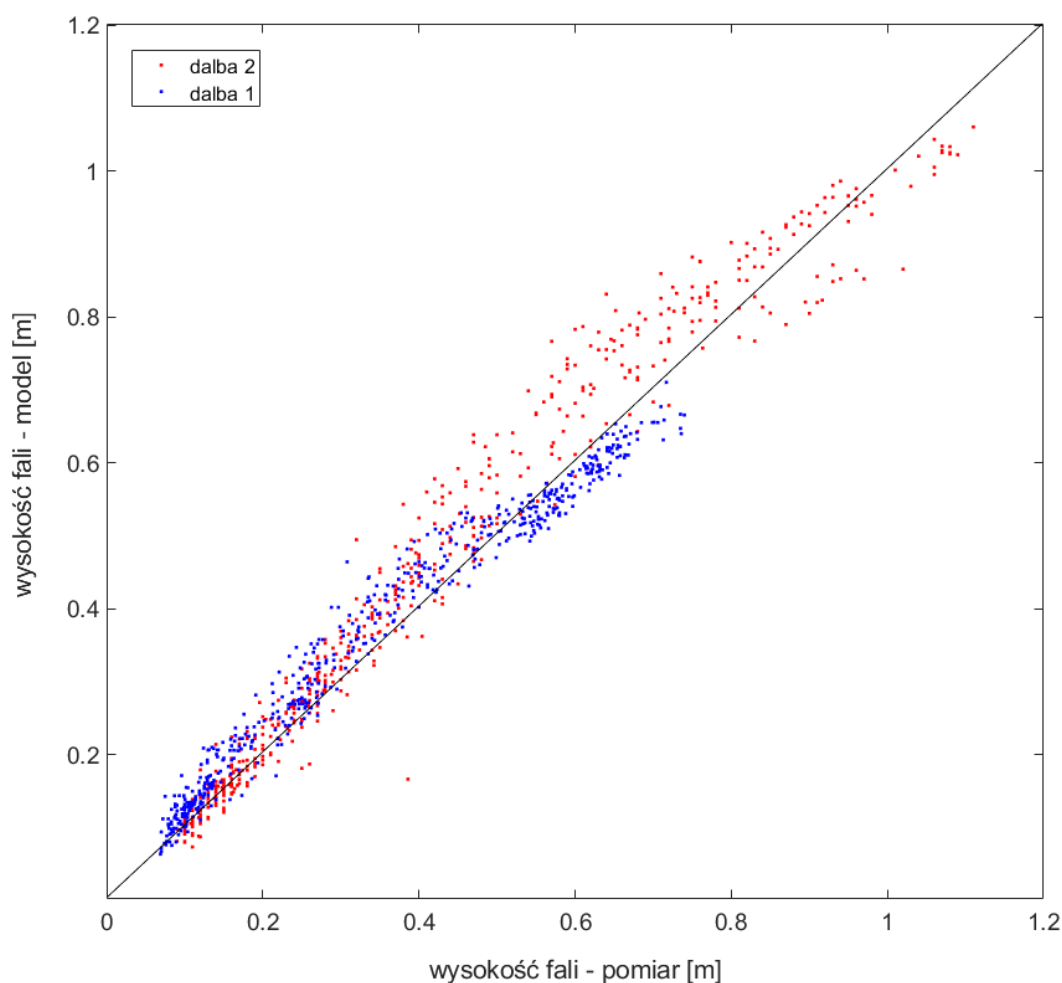


Rys. 7 Obszar obliczeniowy, szkic siatki numerycznej zastosowanej w module FLOW na tle korytarza dla IP oraz MFW Bałtyk II i MFW Bałtyk III

Do budowy modelu wykorzystano otrzymane od Zamawiającego dane batymetryczne korytarza dla IP oraz dane batymetryczne obszaru Morza Bałtyckiego pochodzące z zasobów własnych IBW PAN. Dyskretyzację słupa wody wykonano w układzie sigma współrzędnych, w którym kolumna wody podzielona jest na stałą liczbę warstw, których miąższość jest proporcjonalna do głębokości (w danym węźle siatki) według zadanego schematu. W oparciu o doświadczenie w modelowaniu ruchu wody w basenie Morza Bałtyckiego przyjęto następujący podział pionowy kolumny wody od powierzchni swobodnej do dna (10 warstw): 4,0%; 5,8%; 8,6%; 12,8%; 18,8%; 18,8%; 12,8%; 8,6%; 5,8%; 4,0%. Oznacza to, że warstwa powierzchniowa ma miąższość 4% całej głębokości w danym punkcie itd.

Kalibracja modelu

Model falowy został skalibrowany na podstawie danych falowych zebranych podczas ekspedycji pomiarowej w Morskim Laboratorium Brzegowym w Lubiatowie w okresie od 20.09.2006 r. do 12.11.2006 r. W tym celu wykorzystano parametry falowe zmierzone przez kierunkową boję falową zakotwiczoną ok. 2 km od brzegu na głębokości ok. 18 m oraz dane falowe zarejestrowane przy pomocy sond strunowych na głębokości około 2,5 m i około 4,5 m. Wynik kalibracji w postaci wykresu typu „scatter plot” przedstawiono na Rys. 8. Kalibracja modelu została wykonana na poziomie $R^2 = 0,98$ co oznacza bardzo dobre odzwierciedlenie rzeczywistych warunków falowych w przygotowanym modelu numerycznym.



Rys. 8 Zestawienie wysokości fali znacznej zarejestrowanej na dwóch dalbach pomiarowych w MLB Lubiatowo w 2006 r. z wysokością fali znacznej obliczoną przy pomocy modułu falowego

4.3. Założenia do symulacji

Modelowanie matematyczne procesów hydrodynamicznych wykonywane na potrzeby związane z realizacją przedsięwzięć inwestycyjnych lub infrastrukturalnych można przeprowadzić zasadniczo na dwa sposoby.

Jeden z nich polega na wykonaniu symulacji numerycznych dla rzeczywistego scenariusza meteorologicznego/oceanograficznego, a więc przy założeniu warunków brzegowych w postaci wartości uzyskanych z pomiarów terenowych lub dobrej jakości danych pochodzących z modeli numerycznych. W takiej sytuacji otrzymuje się rekonstrukcję rzeczywistych warunków hydrodynamicznych panujących w zadanym czasie w obszarze objętym modelowaniem. Na tle tych warunków analizuje się rozwiązywane zagadnienie, np. rozptyw zawiesziny podczas układania kabla podmorskiego. Uzyskane wyniki dostarczają informacji, co by było, gdyby przedsięwzięcie zostało zrealizowane w okresie, z którego pochodzą dane użyte w warunkach brzegowych. W związku z losowością zdarzeń zachodzących w naturze oraz szerokim spektrum możliwych warunków meteorologicznych mogących wystąpić w tym samym obszarze o tej samej porze roku, podstawowym mankamentem takiej filozofii modelowania jest fakt, że założone w modelu warunki nigdy się nie powtórzą. Zatem uzyskane wyniki co do zasady są poprawne, ale na ich podstawie nie można wyciągnąć generalnych wniosków co do np. zasięgu rozprzestrzeniania się zawiesziny w obszarze analizy.

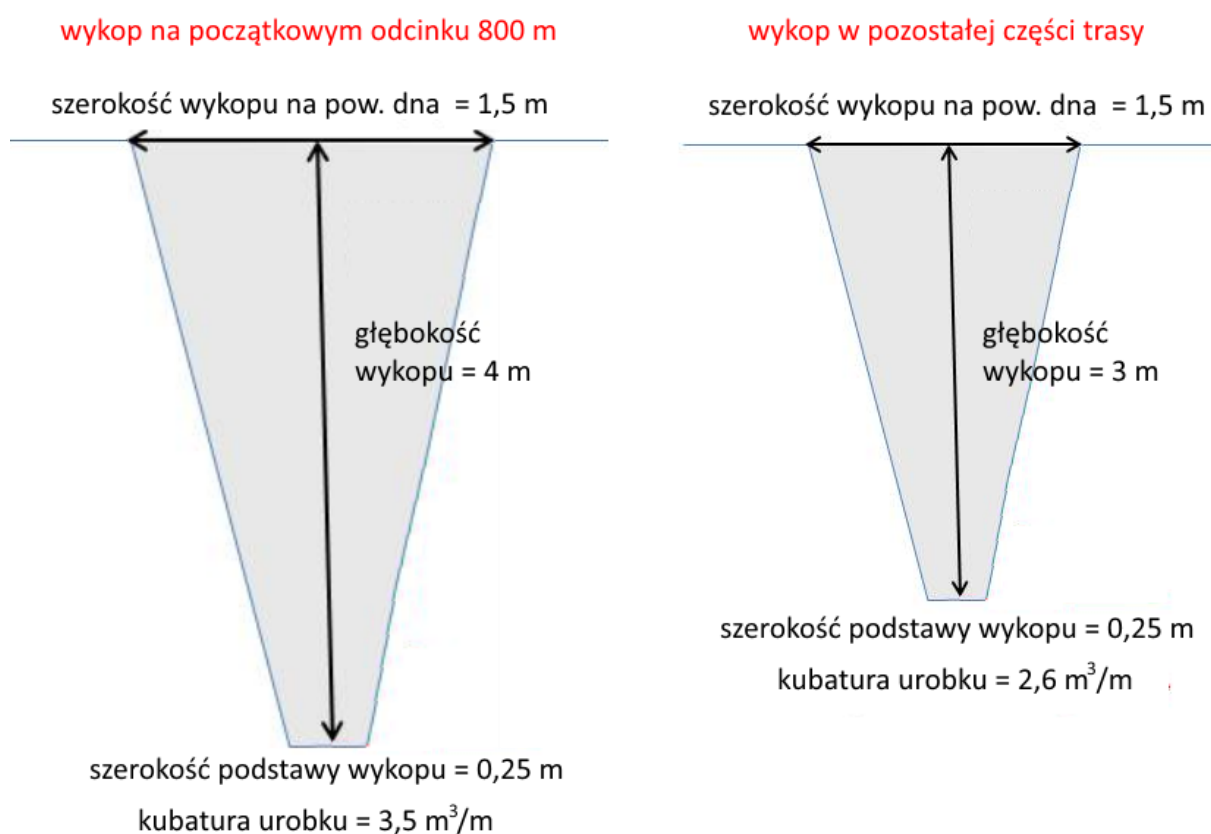
Drugi sposób modelowania polega na wykonaniu symulacji numerycznych dla scenariuszy meteorologicznych i oceanograficznych najbardziej niekorzystnych z punktu widzenia analizowanego problemu. W takiej sytuacji otrzymuje się teoretyczne wyniki, które dostarczają informacji o potencjalnych najbardziej negatywnych efektach realizacji przedsięwzięcia, co jest niewątpliwą zaletą takiej filozofii modelowania. W opinii IBW PAN takie podejście do modelowania numerycznego procesów hydrodynamicznych i litodynamicznych jest właściwe, zwłaszcza w kontekście analizowania oddziaływania przedsięwzięcia na środowisko.

W modelu przyjęto, jak ma to miejsce w rzeczywistości, że wymuszeniem generującym ruch wody morskiej jest wiatr. W związku z korzystaniem z modułów WAVE oraz FLOW, wiatr jest siłą sprawczą zarówno dla falowania, jak i prądów morskich. Zgodnie z informacją uzyskaną od Zamawiającego zagłębianie kabla IP w dnie morskim może być wykonywane w warunkach falowania o wysokości fali znacznej H_s nie większej niż 1,5 m oraz przy granicznej prędkości wiatru 10 m/s. W związku z tym najbardziej niekorzystny scenariusz wystąpi przy tych granicznych wartościach. Obliczenia wykonano zatem dla falowania o wysokości fali znacznej $H_s = 1,5$ m i wiatru wiejącego przez cały czas symulacji ze stałą prędkością 10 m/s z dominującego kierunku, czyli z zachodu.

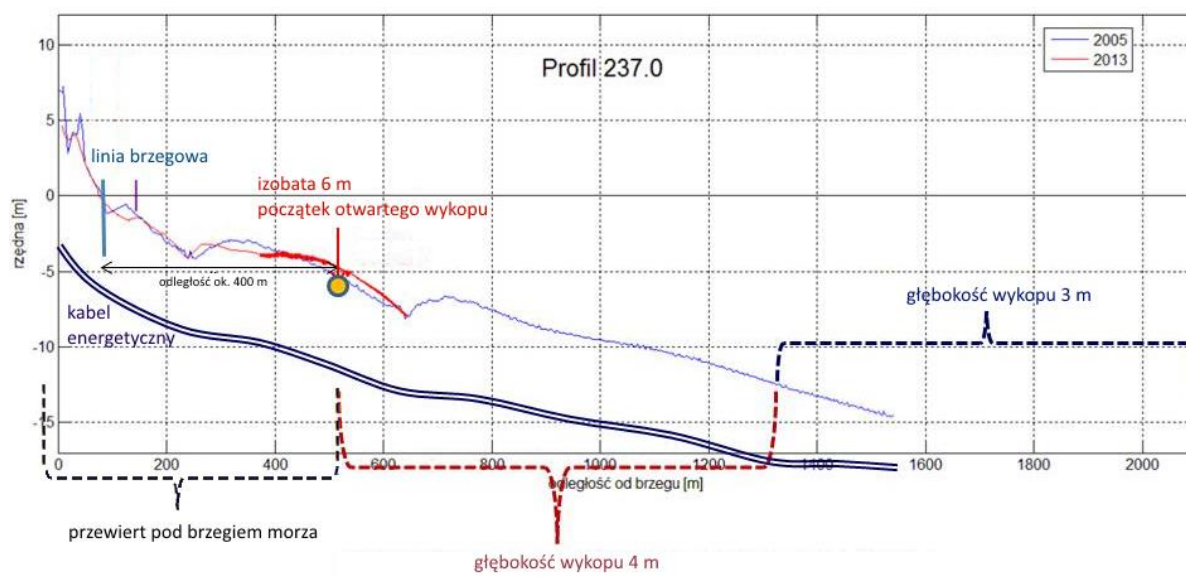
W zachodniej części obszaru obliczeniowego znajduje się wspólny korytarz dla IP MFW Bałtyk II i MFW Bałtyk III (Rys. 2, Rys. 7). W odległości ok. 35 km od brzegu korytarz dla IP rozgałęzia się na dwie odnogi, z których jedna prowadzi w przybliżeniu w kierunku N do MFW Bałtyk II, zaś druga prowadzi w przybliżeniu w kierunku ENE do MFW Bałtyk III. Łączna długość morskiej części korytarza dla IP MFW Bałtyk II wynosi ok. 52,5 km, zaś łączna długość morskiej części korytarza dla IP MFW Bałtyk III wynosi ok. 59 km (Rys. 2). W północnej części obszaru obliczeniowego znajduje się łącznik pomiędzy MFW Bałtyk II i MFW Bałtyk III. Jego długość wynosi ok. 28,5 km. W granicach korytarza dla IP planowane jest zagłębienie kabli energetycznych łączących obie MFW ze sobą i z krajową siecią energetyczną na lądzie. Do każdej MFW będą poprowadzone dwa kable, wobec czego na odcinku

pomiędzy brzegiem a miejscem rozgałęzienia korytarza zostaną zagłębione cztery kable. Zgodnie z informacją przekazaną przez Zamawiającego kable będą układane od lądu w kierunku morza. Ponadto będą one zagłębiane w oddzielnych wykopach położonych w bezpiecznej odległości od siebie i nie będą kładzione równocześnie, lecz sukcesywnie jeden po drugim. Wobec tego wykonano obliczenia oddzielnie dla procesu zagłębiania kabla IP dla MFW Bałtyk II, MFW Bałtyk III oraz łącznika między farmami. Proces zagłębiania kabla energetycznego polega, w uproszczeniu, na wykonywaniu wykopu z jednoczesnym układaniem kabla u jego podstawy.

Otrzymano od Zamawiającego specyfikację wykopu pod kabel energetyczny IP, z której wynika, że w przekroju poprzecznym będzie on miał kształt trapezu (Rys. 9). Jego wymiary nie będą stałe na całej długości trasy. Głębokość wykopu wyniesie 4 m w pobliżu brzegu na odcinku o długości 800 m zaczynając od izobaty 6 m, czyli od miejsca wyprowadzenia kabla poza strefę przyboju. W pozostałej części głębokość wykopu będzie wynosić 3 m (Rys. 9 i Rys. 10). Natomiast szerokości wykopu na powierzchni dna oraz u jego podstawy będą stałe i równe odpowiednio 1,5 m i 0,25 m. W konsekwencji w pobliżu brzegu na odcinku o długości 800 m kubatura urobku wyniesie $3,5 \text{ m}^3/\text{m}$ b. wykopu, zaś w pozostałym obszarze będzie to $2,6 \text{ m}^3/\text{m}$ b. wykopu.



Rys. 9 Szkic geometrii wykopu pod kabel energetyczny IP



Rys. 10 Szkic położenia kabla energetycznego IP na tle danych batymetrycznych

Według informacji przekazanych przez Zamawiającego zagłębianie kabli energetycznych odbywać się będzie z wykorzystaniem technik: rozmywania „jetting”, płuzenia i mechanicznego cięcia, z których pierwsza jest najbardziej inwazyjną w sensie wprowadzenia materiału osadowego w tonię wodną. Metoda ta polega na wpłukiwaniu w dno wody pod dużym ciśnieniem w celu upłynnienia osadów dennych i jednoczesnym zagłębianiu kabla na oczekiwaną głębokość. W trakcie prowadzenia prac następuje wyrzut części rumowiska do toni wodnej. Pionowy zasięg tego zjawiska zależy od wielu czynników i na obecnym etapie nie ma możliwości, aby go ustalić. W związku z tym w symulacjach założono zachowawczo, że wyrzut osadu będzie się odbywał w kolumnie wody do wysokości ok. 5 m ponad dno. Dodatkowym zagadnieniem jest ilość osadów, jaka może przejść w trakcie prac do toni wodnej (dopływ zawiesiny). Zależy ona m.in. od własności osadów dennych i zastosowanej metody zagłębiania kabla. W obliczeniach przyjęto, zgodnie z informacją przekazaną przez Zamawiającego, że w przypadku wybranej techniki zagłębiania kabla w dnie wartość ta może się zmieniać w granicach 20-50% kubatury urobku. W związku z dużą zawartością frakcji ilastych i mulistych w osadach dennych w obszarze korytarza dla IP założono w obliczeniach, że jest to osad kohezyjny. Na podstawie mapy osadów powierzchniowych (Rys. 4) oraz wyników analizy płytkich rdzeni uzgodniono z Zamawiającym wielkość dopływu zawiesiny na trasie wykopu w sposób przedstawiony w Tab. 1. Proces zagłębiania kabla energetycznego i wynikający stąd dopływ zawiesiny do toni wodnej symulowano jako ruchome źródło mieszaniny wodnogruntowej przemieszczające się środkiem korytarza dla IP w kierunku odbrzegowym. W przypadku łącznika przyjęto kierunek układania kabla; z zachodu na wschód, tj. od MFW Bałtyk II do MFW Bałtyk III.

Tab. 1 Specyfikacja wielkości dopływu zawiesiny (procent kubatury urobku) na trasie wykopu

20% urobku przechodzi do toni wodnej	50% urobku przechodzi do toni wodnej
35-32 km	32-31 km
31-29 km	29-28 km
28-24 km	24-23 km
23-19 km	19-13 km
13-8 km	8-7 km
7-3 km	3-0 km
14 BII – 10 BII	18-14 BII km
9 BIII – 3 BIII	10 BII – 0 BII
środkowa i wschodnia cz. łącznika	24 BIII – 9 BIII
	3 BIII – 0 BIII
	zachodnia część łącznika

Zgodnie z ustaleniami z Zamawiającym wykonano modelowanie rozplywu zawiesiny dla dwóch scenariuszy prędkości zagłębiania kabla w dnie. W scenariuszu V100 przyjęto prędkość robót równą 100 m/h, natomiast w scenariuszu V200 założono, że prace będą prowadzone z prędkością 200 m/h. Ze względu na długość korytarza, w którym będzie układany kabel, proces jego prowadzenia i zagłębiania do MFW Bałtyk II będzie trwał ok. 22 dni w przypadku V100 oraz ok. 11 dni w przypadku V200, do MFW Bałtyk III będzie trwał ok. 24,5 dnia w przypadku V100 oraz ok. 12 dni w przypadku V200, natomiast w łączniku będzie trwał ok. 12 dni w przypadku V100 oraz ok. 6 dni w przypadku V200. Podane wartości wynikają bezpośrednio z długości trasy wykopu i teoretycznej prędkości zagłębiania kabla w dnie. W obliczeniach założono, że za każdym razem wystąpi odpowiednio długie sprzyjające okno pogodowe, pozwalające na wykonanie robót bez żadnych przerw. Z uwagi na specyfikę robót (kable nie będą zagłębiane równocześnie, ale sekwencyjnie) przeprowadzono symulacje numeryczne rozplywu zawiesiny dla procesu zagłębiania pojedynczego kabla energetycznego.

5. Wyniki obliczeń

Przeprowadzono symulacje numeryczne procesów litodynamicznych wywołanych wprowadzaniem w sposób ciągły do toni wodnej osadów spoistych podczas zagłębiania kabla energetycznego w dnie morskim. W wyniku obliczeń otrzymano przestrzenne (trójwymiarowe) rozkłady chwilowych koncentracji zawiesiny drobnoklastycznej w obszarze badań. W prawodawstwie polskim nie ma na chwilę obecną norm ani zaleceń dotyczących poziomów koncentracji oraz interpretacji koncentracji zawiesiny w środowisku morskim. Niemniej jednak w literaturze przyjmuje się kilka progów stężeń według następującego schematu:

- 5 mg/l – to tło zawiesiny rejestrowane w warunkach normalnych w środowisku morskim,
- 10 mg/l – koncentracja zawiesiny nieistotna dla środowiska,
- 30 mg/l – najczęściej prezentowany poziom koncentracji zawiesiny w opracowaniach zagranicznych, stosowany w zaleceniach duńskich i niemieckich, traktowany jako dopuszczalny, zarówno dla obszarów hodowlanych, jak i rekreacyjnych,
- 100 mg/l – poziom widocznego zmętnienia wody.

W związku z przyjętym założeniem ruchomego źródła zawiesiny przemieszczającego się z prędkością 100 m/h (scenariusz V100) i z prędkością 200 m/h (scenariusz V200) pełna prezentacja wyników obliczeń jest możliwa jedynie w formie animacji. Wobec tego pokazano tylko przykładowe rezultaty obliczeń odpowiednio dla scenariuszy V100 i V200 na trasie wykopu do MFW Bałtyk II (Rys. 11 i Rys. 12), na trasie wykopu do MFW Bałtyk III (Rys. 13 i Rys. 14) oraz na trasie łącznika (Rys. 15 i Rys. 16). Prezentowane wyniki ilustrują chwilowe zasięgi zmętnienia wody w warstwie przydennej ograniczone izoliną 5 mg/l w różnych momentach czasowych. W przypadku każdej trasy wykopu zostały one dobrane w taki sposób, aby wyniki były porównywalne, tzn. podczas zagłębiania kabla w odpowiadających sobie punktach (czyli dla tych samych lokalizacji źródła zawiesiny).

Z obliczeń otrzymano, że obszar, na którym wystąpi zmętnienie wody, ma wydłużony owalny kształt i w przybliżeniu jest rozciągnięty zgodnie z kierunkiem wiatru. W tym miejscu należy zauważyć, że wygięcie linii brzegowej w kierunku NE na wschód od Ustki oddziałuje na kierunek rozptywu zawiesiny, to jest na kierunek prądów morskich odchylając je w kierunku NE w przypadku wiatru z sektora zachodniego. Wpływ ten jest jeszcze wyraźnie widoczny w odległości ok. 30 km od brzegu (Rys. 11c i Rys. 12c) i w znikomym stopniu w odległości ok. 40 km od brzegu (Rys. 15 i Rys. 16).

Plama zmętnionej wody przemieszcza się wzdłuż wykopu wraz z postępem robót. Jej zasięg zależy od prędkości prądów morskich (to jest oczywiste, więc nie badano tego na potrzeby niniejszego opracowania) oraz od wielkości dopływu rumowiska. Ilość wprowadzanej do toni wodnej zawiesiny jest z kolei uzależniona od zastosowanej techniki zagłębiania kabla (nie analizowano tego zagadnienia w niniejszej pracy), rodzaju osadów dennych i prędkości prowadzenia robót.

W przypadku osadów z dużą zawartością frakcji mulistej i ilastej zasięg zmętnionej wody jest większy niż w przypadku dna piaszczystego. Jest to szczególnie zauważalne w przypadku łącznika (Rys. 15 i Rys. 16).

W przypadku większej prędkości zagłębiania kabla, tj. w przypadku scenariusza V200 zasięg zmętnienia jest 2-3 razy większy niż w przypadku scenariusza V100, co wynika z większego dopływu rumowiska w jednostce czasu. W pobliżu brzegu (Rys. 11b i Rys. 12b) i w zachodniej części łącznika (Rys. 15b i Rys. 16b) sytuacja pozornie wygląda inaczej, gdyż zasięg zmętnienia jest zbliżony w obu scenariuszach. Należy jednak uwzględnić fakt, że przypadki te dotyczą początkowego etapu prac (odpowiednio w 10. i 5. oraz 12. i 6. godzinie od rozpoczęcia zagłębiania kabla), w związku z czym w prezentowanych momentach zmętnienie wody w scenariuszu V200 nie jest jeszcze w pełni rozwinięte.

Godna uwagi jest sytuacja pokazana na Rys. 13b i Rys. 14b. W tym obszarze założono w modelu 50%-owy dopływ zawiesiny analogicznie jak w północnej części korytarza do MFW Bałtyk II i zachodniej

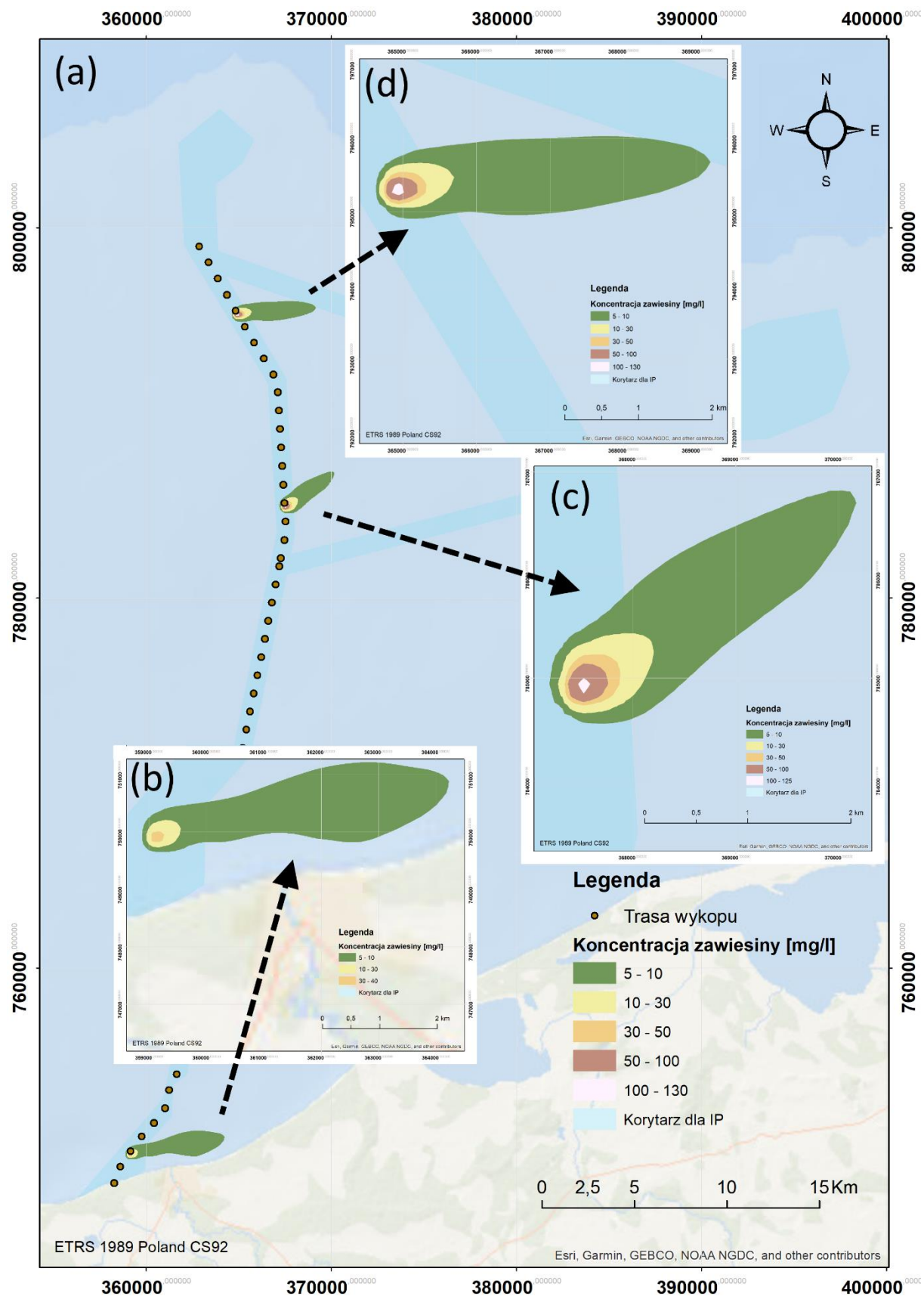
części łącznika. Jednakże otrzymany w obliczeniach zasięg zmętnienia jest istotnie mniejszy. Wynika to z faktu, że jest to obszar o znacznie większej głębokości. Wobec tego prędkości wody są mniejsze, co skutkuje mniejszym zasięgiem zmętnienia.

Sytuacja przedstawiona na Rys. 13c i Rys. 14c wyróżnia się na tle wszystkich innych pokazanych na Rys. 11 - Rys. 16. W tym przypadku zasięg plamy zmętnionej wody w scenariuszu V100 jest ok. 7 razy mniejszy niż w scenariuszu V200 (ok. 1,5 km vs. ok. 10 km). Jest to spowodowane nałożeniem się dwóch czynników:

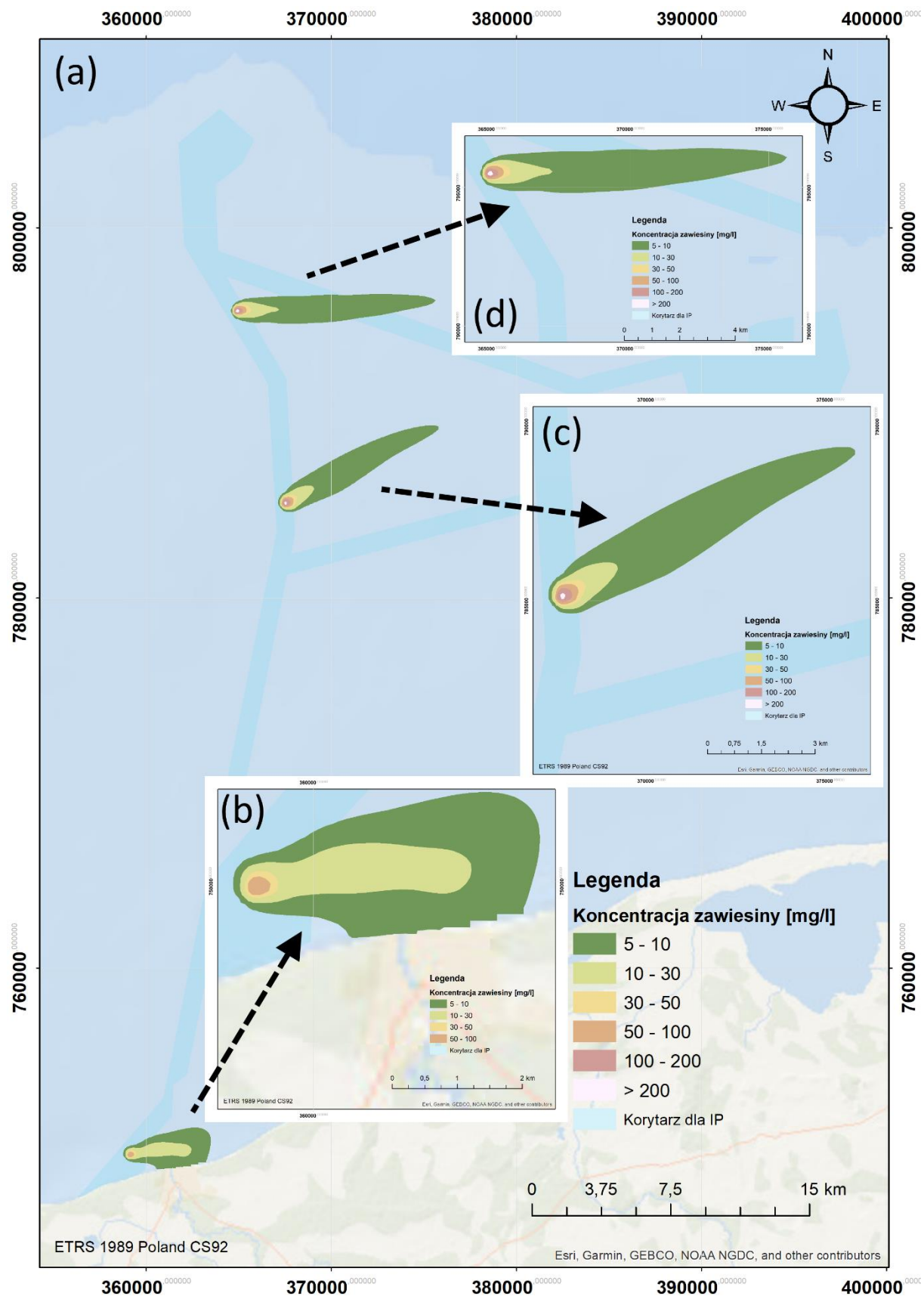
- trasa wykopu do MFW Bałtyk III leży na kierunku ENE, w którym odbywa się rozplływ zawiesiny przy wietrze zachodnim,

- w tym obszarze, ok. 1 km wcześniej (ok. km 9 BIII), nastąpiła zmiana charakterystyki osadów dennych na osady piaszczyste (w modelu zmienił się dopływ rumowiska z 50% na 20% kubatury urobku). W konsekwencji znacznie zmalało zmętnianie wody zawiesiną.

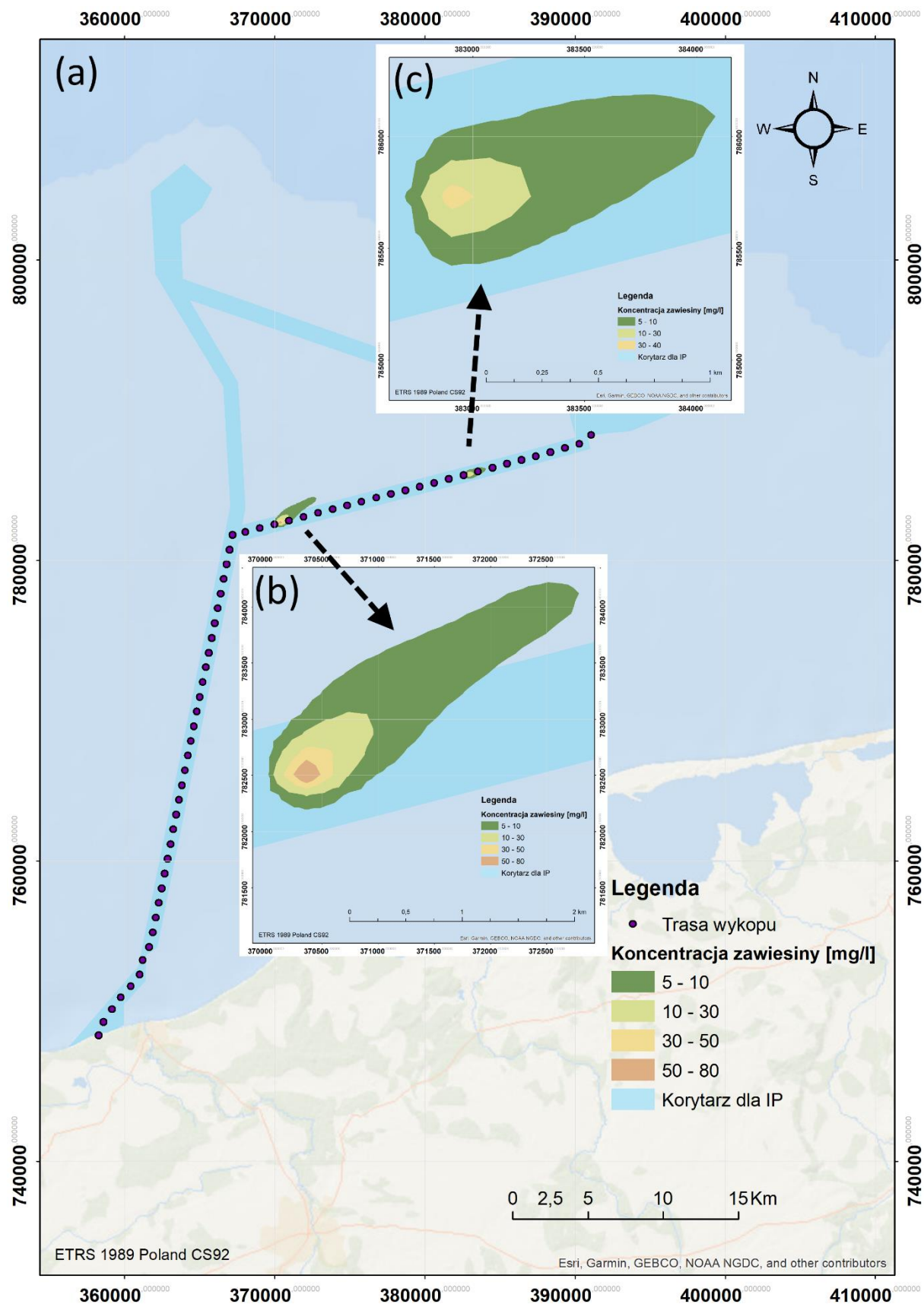
Pokazane na Rys. 11 - Rys. 16 otrzymane w symulacjach numerycznych plamy zmętnionej wody w warstwie przydennej mają zasięgi wynoszące kilka-kilkanaście kilometrów. Jednakże jest to zmętnienie nie przekraczające wartości 10 mg/l. Zasięg zmętnionej wody o stężeniu zawiesiny przekraczającym 30 mg/l jest nie większy niż ok. 1 km w przypadku scenariusza V200 i nie większy niż ok. 0,5 km w przypadku scenariusza V100.



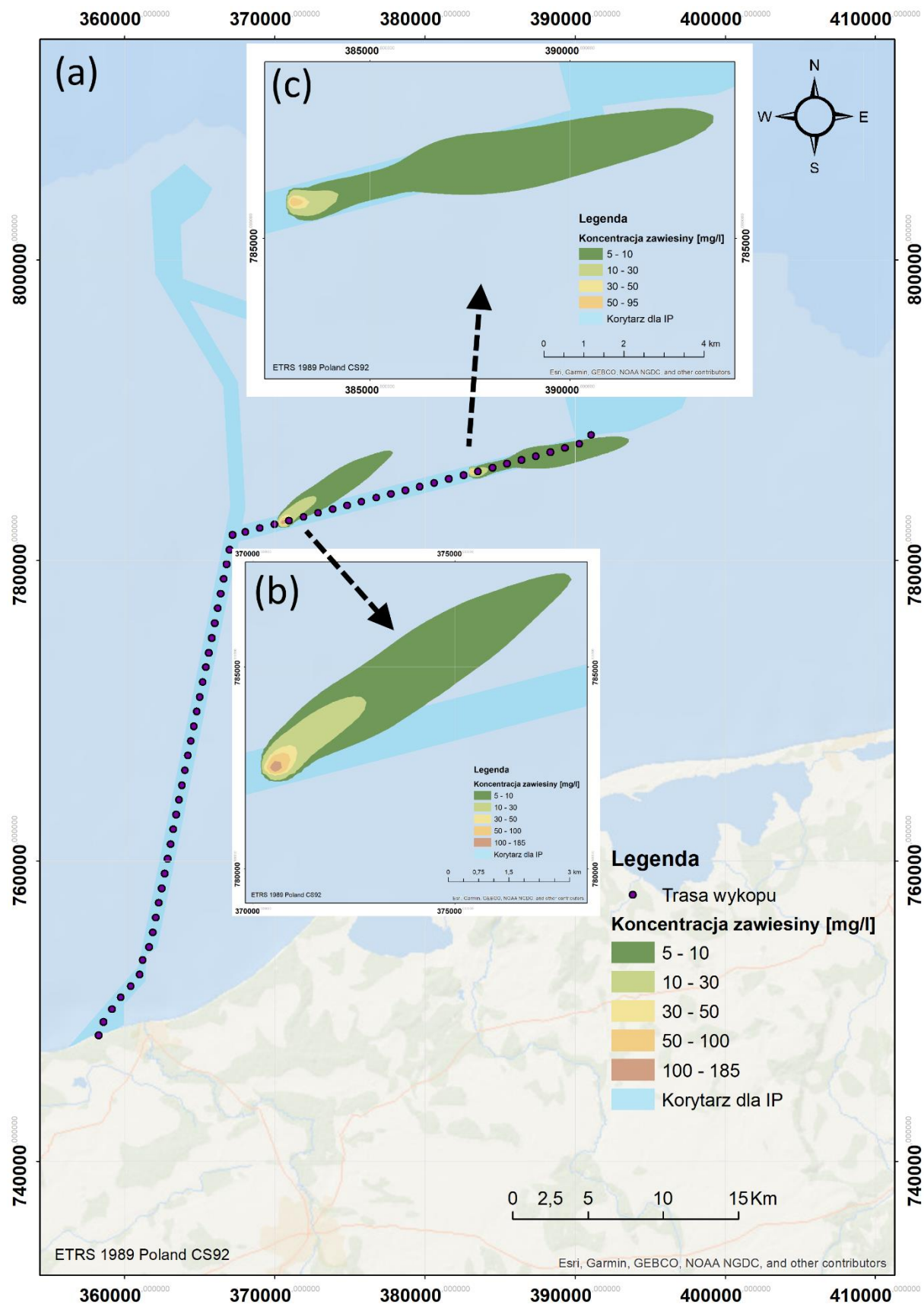
Rys. 11 (a) Zestawienie chwilowych zasięgów zmętnienia wody na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V100 wyznaczonych (b) w 10 godzinie (punkt na km 33), (c) w 372 godzinie (punkt na km 15 BII) i (d) w 482 godzinie (punkt na km 4 BII) od momentu rozpoczęcia zagłębiania kabla



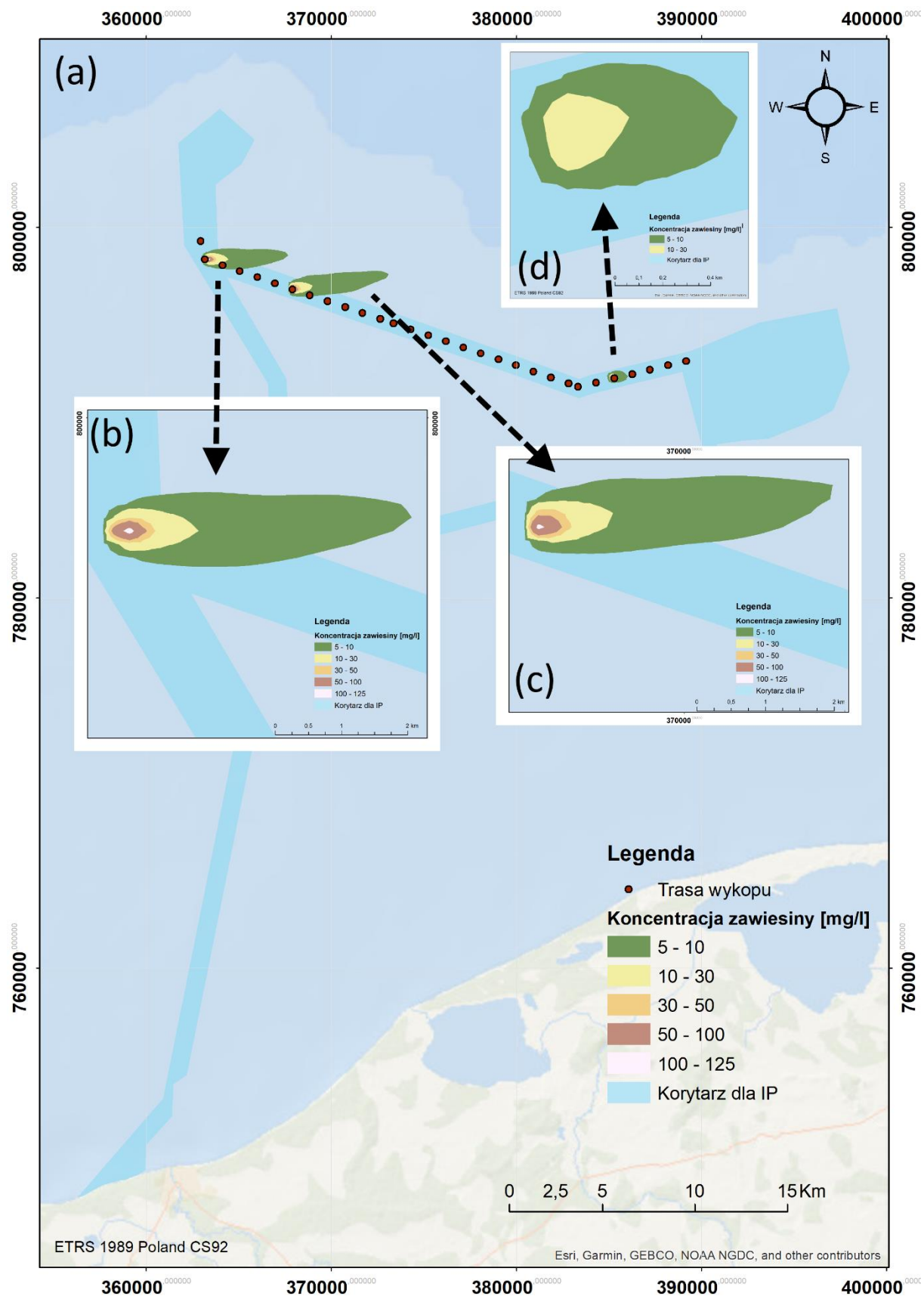
Rys. 12 (a) Zestawienie chwilowych zasięgów zmutnienia wody na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V200 wyznaczonych (b) w 5 godzinie (punkt na ok. km 33), (c) w 186 godzinie (punkt na ok. km 15 BII) i (d) w 241 godzinie (punkt na ok. km 4 BII) od momentu rozpoczęcia zagłębiania kabla



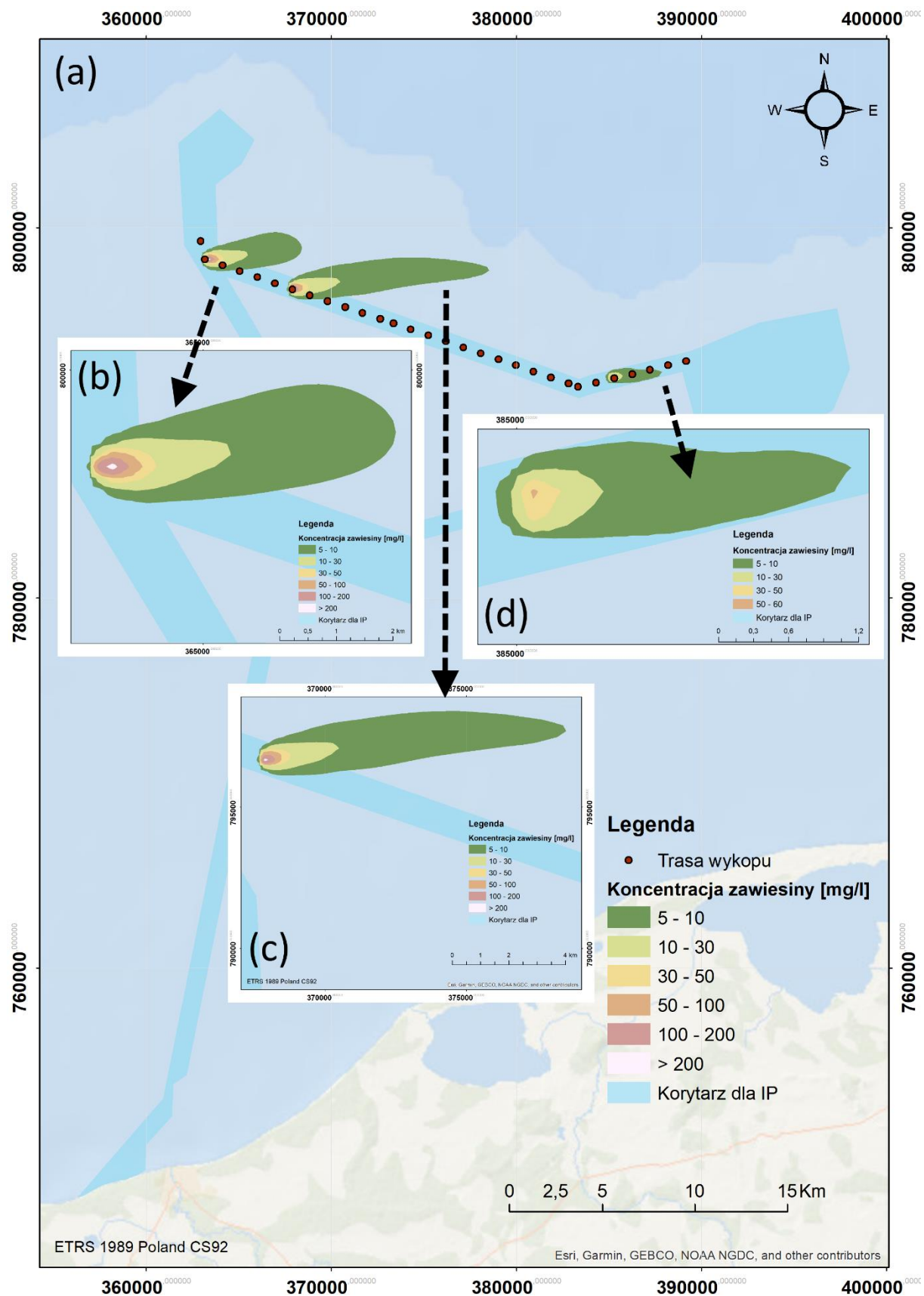
Rys. 13 (a) Zestawienie chwilowych zasięgów zmętnienia wody na trasie do MFW Bałtyk III w przypadku scenariusza V100 wyznaczonych (b) w 372 godzinie (punkt na ok. km 21,5 BIII) i (c) w 502 godzinie (punkt na ok. km 8 BIII) od momentu rozpoczęcia zagłębiania kabla



Rys. 14 (a) Zestawienie chwilowych zasięgów zmętnienia wody na trasie do MFW Bałtyk III w przypadku scenariusza V200 wyznaczonych (b) w 186 godzinie (punkt na ok. km 21,5 BIII) i (c) w 251 godzinie (punkt na ok. km 8 BIII) od momentu rozpoczęcia zagłębiania kabla



Rys. 15 (a) Zestawienie chwilowych zasięgów zmętnienia wody na trasie łącznika w przypadku scenariusza V100 wyznaczonych (b) w 12 godzinie (punkt na ok. km 1), (c) w 60 godzinie (punkt na ok. km 6) i (d) w 240 godzinie (punkt na ok. km 24) od momentu rozpoczęcia zagłębiania kabla



Rys. 16 (a) Zestawienie chwilowych zasięgów zmętnienia wody na trasie łącznika w przypadku scenariusza V200 wyznaczonych (b) w 6 godzinie (punkt na ok. km 1), (c) w 30 godzinie (punkt na ok. km 6) i (d) w 120 godzinie (punkt na ok. km 24) od momentu rozpoczęcia zagłębiania kabla

Na Rys. 17 – Rys. 22 przedstawiono mapy ilustrujące wartości maksymalnego zmętnienia w całej kolumnie wody występujące podczas zagłębiania kabla energetycznego w dnie na trasie do MFW Bałtyk II (Rys. 17 i Rys. 18), MFW Bałtyk III (Rys. 19 i Rys. 20) i łącznika (Rys. 21 i Rys. 22). Należy wyraźnie zaznaczyć że prezentowane na tych rysunkach treści nie odzwierciedlają wartości koncentracji zawiesiny w konkretnym momencie czasu (takie przykładowe chwilowe sytuacje zostały zilustrowane na Rys. 11 – Rys. 16), lecz pokazują maksymalne wartości stężenia zawiesiny w każdym węźle siatki w trakcie całego procesu układania kabla w dnie. Prezentują zatem maksymalne zasięgi zmętnienia wody wraz z wskazaniem intensywności tego zjawiska. Na ich podstawie można wyciągnąć wnioski analogiczne do wcześniejszych spostrzeżeń.

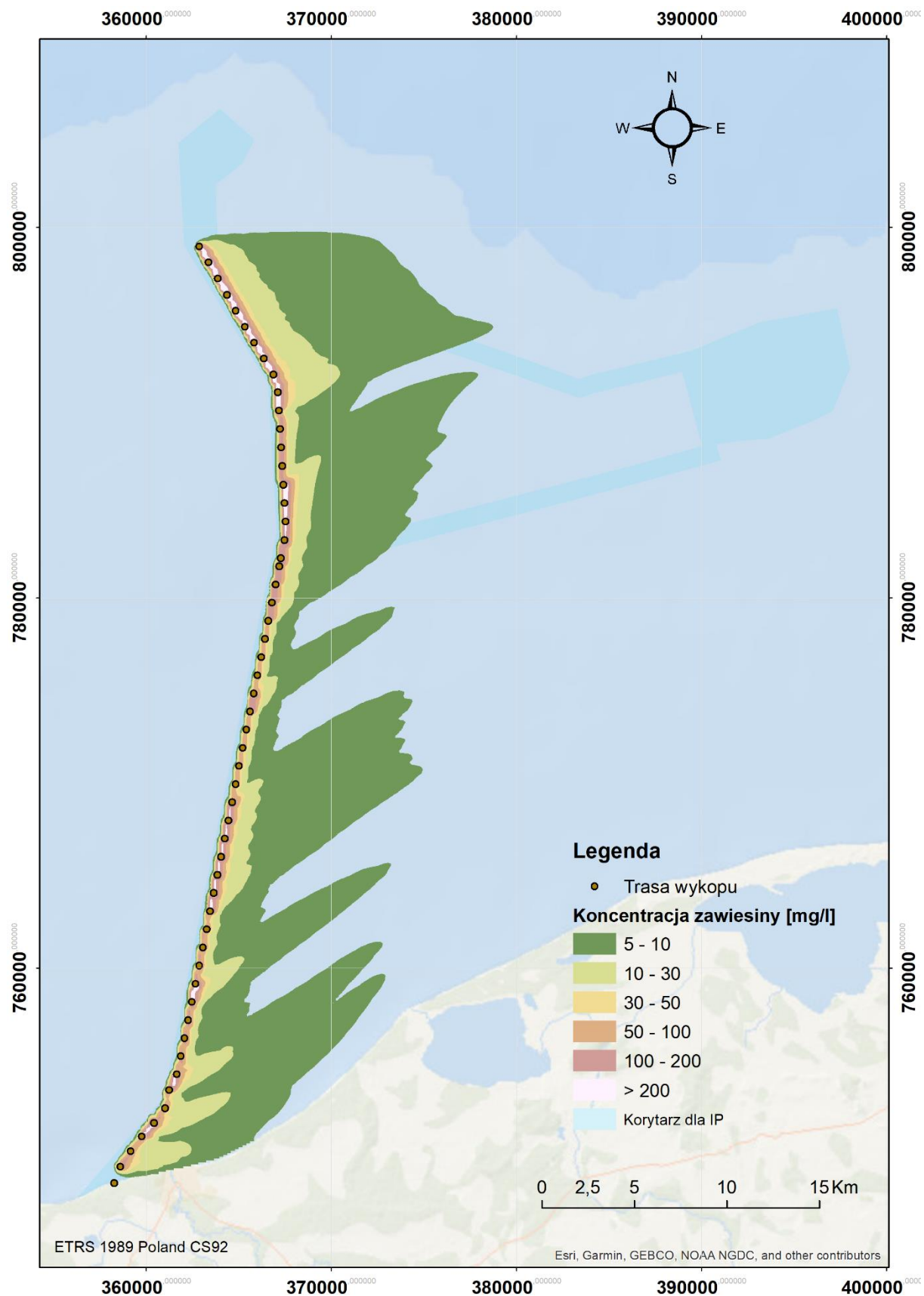
W zależności od właściwości osadów dennych oraz wielkości dopływu rumowiska maksymalny zasięg zmętnienia wody wynosi od ok. 1 km do kilkunastu kilometrów, przy czym przeważnie stężenie zawiesiny nie przekracza 10 mg/l. Zasięg zmętnienia wody o stężeniu wynoszącym ponad 30 mg/l nie przekracza ok. 1 km w przypadku scenariusza V200. W przypadku scenariusza V100 zasięg ten jest mniejszy. W przypadku zagłębiania kabla w dnie zbudowanym z osadów o dużej zawartości frakcji drobnych zasięg zmętnienia jest znacznie większy niż podczas wykonywania wykopu w piaszczystych osadach dennych.

Otrzymano z obliczeń, że podczas robót na trasie do MFW Bałtyk III według scenariusza V100 w warunkach wiatru zachodniego, zawiesina rozplywa się wąską plamą (ok. 1,6 km szerokości) wzdłuż trasy wykopu (Rys. 19). W przypadku scenariusza V200 szerokość plamy jest większa, gdyż w najszerszym miejscu wynosi ok. 3,6 km (Rys. 20), ale również rozplywa się wzdłuż trasy wykopu. Jest to zdecydowanie korzystne zjawisko, gdyż minimalizuje wpływ inwestycji na środowisko. Jest to szczególnie istotne, jako że ok. 75% długości korytarza do MFW Bałtyk III przebiega w gruntach spoistych (Rys. 4, km 0 BIII – km 3 BIII i km 9 BIII – km 24 BIII). W przypadku wiatru zachodniego i trasy do MFW Bałtyk II, która prowadzi w przybliżeniu w kierunku N, a następnie NW, zmętnienie wody może wystąpić w pasie o szerokości ok. 6 km w przypadku scenariusza V100 (Rys. 17) i w pasie o szerokości ok. 10 km, a miejscami nawet ok. 13 km w przypadku scenariusza V200 (Rys. 18). Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku łącznika (Rys. 21 i Rys. 22).

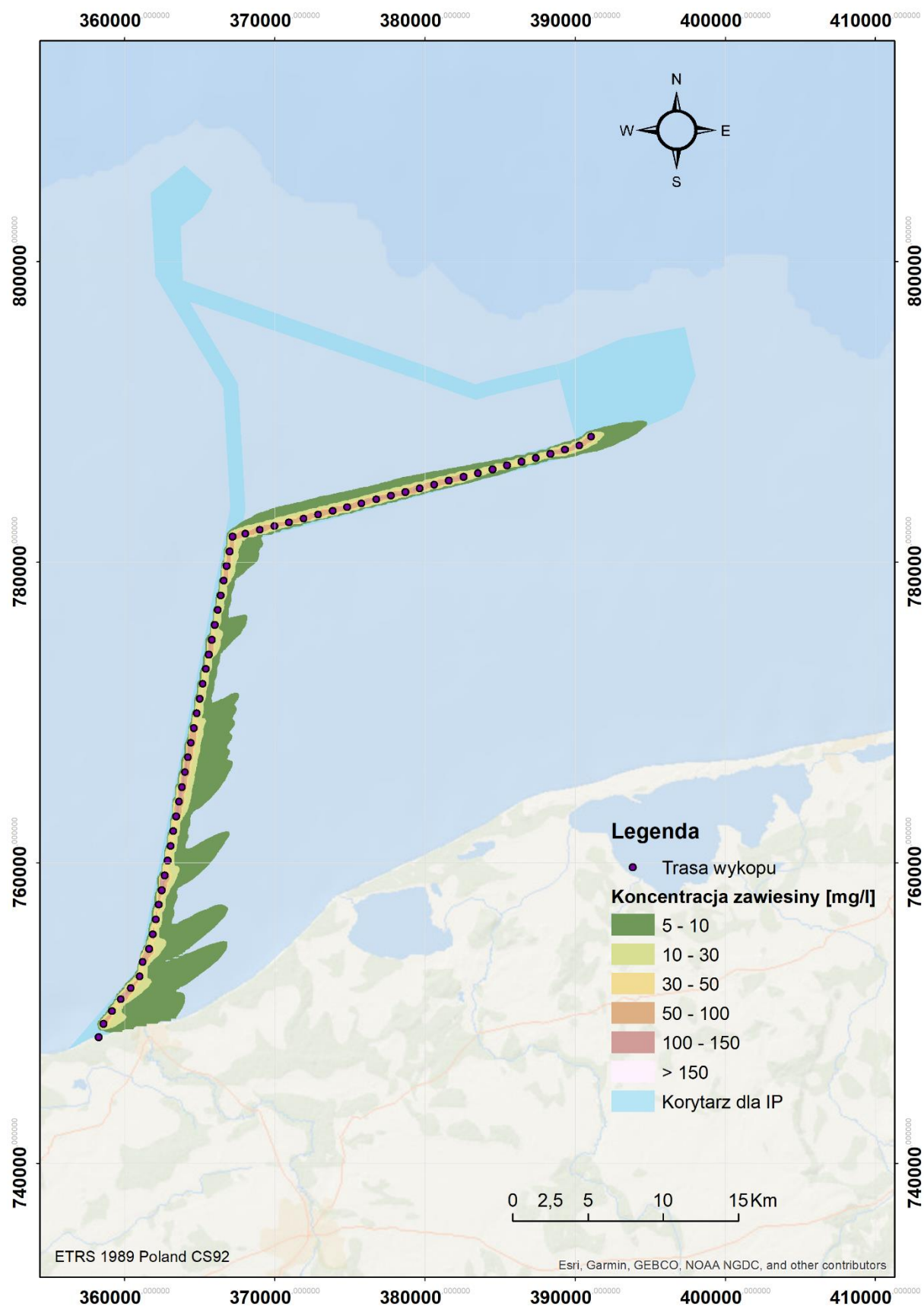
W załączniku do opracowania przedstawiono mapy ilustrujące wartości maksymalnego zmętnienia wody w warstwie powierzchniowej, w toni wodnej i w warstwie przydennej, występujące podczas zagłębiania kabla energetycznego w dnie na trasie do MFW Bałtyk II (Rys. 35 – Rys. 40), MFW Bałtyk III (Rys. 41 – Rys. 46) i łącznika (Rys. 47 – Rys. 52). Wynika z nich, że największy zasięg zmętnienia wody występuje w warstwie przydennej i pokrywa się on z wartościami przedstawionymi na Rys. 17 – Rys. 22. Zmętnienie wody w toni wodnej może wystąpić na zbliżonym obszarze, jednakże, poza lokalnymi sytuacjami, np. w pobliżu brzegu, stężenia zawiesiny nie powinny przekraczać wartości 30 mg/l. W obszarze, w którym w dnie morskim zalegają gliny, muły i ropy, zmętnienie wody może dotrzeć do warstwy powierzchniowej.



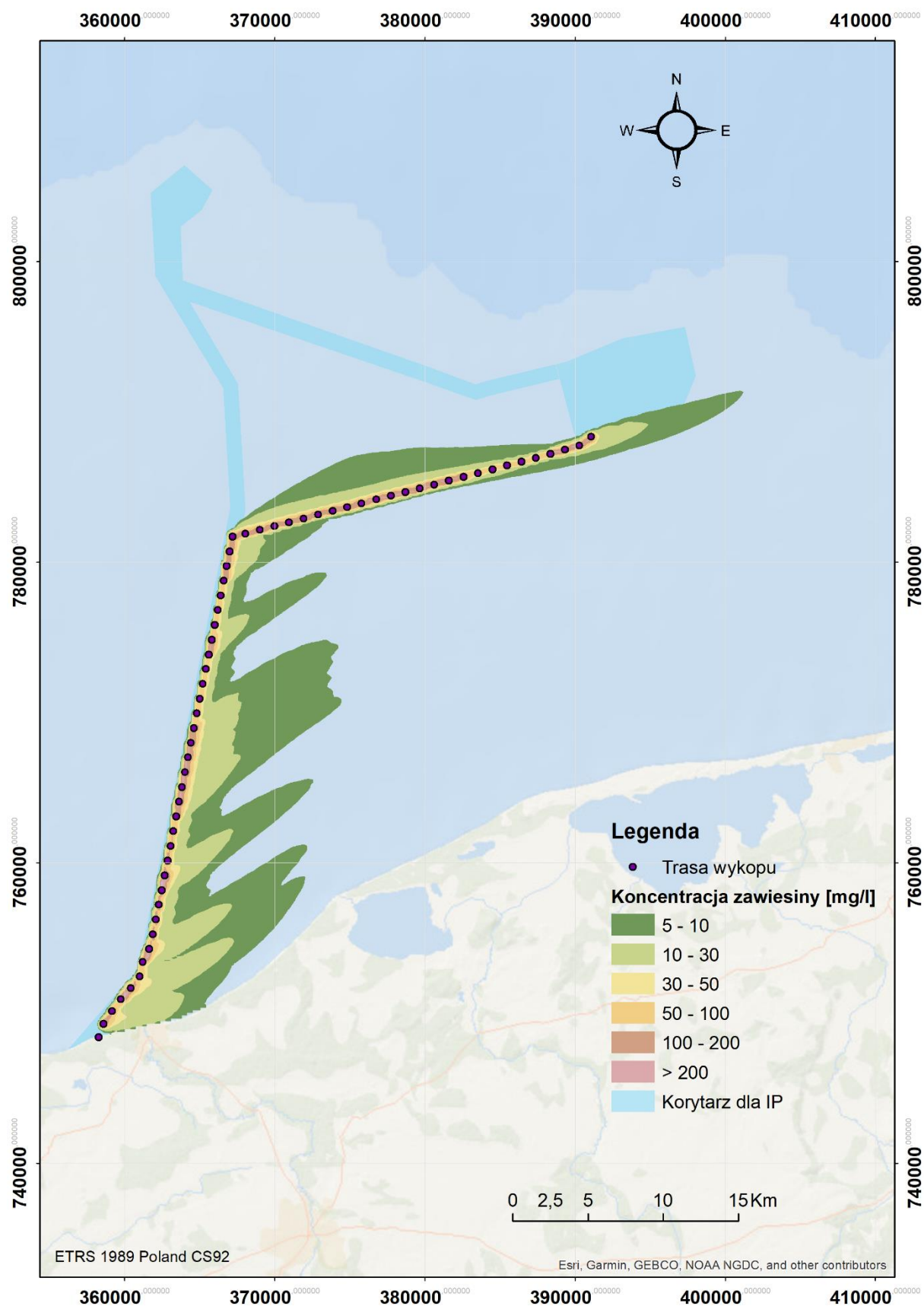
Rys. 17 Maksymalne koncentracje zawiesiny w całej kolumnie wody wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V100, wartość graniczna 5 mg/l



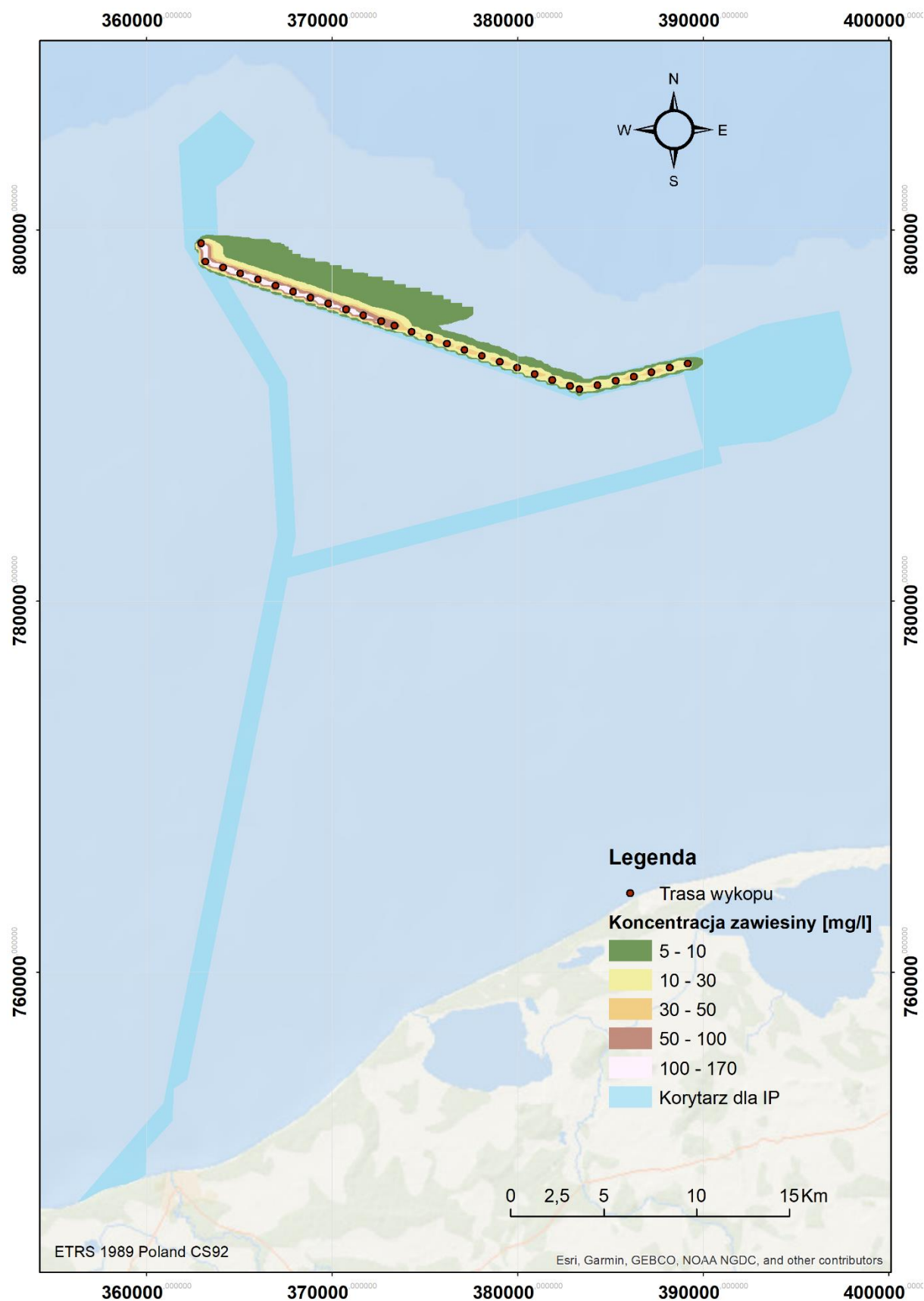
Rys. 18 Maksymalne koncentracje zawiesiny w całej kolumnie wody wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V200, wartość graniczna 5 mg/l



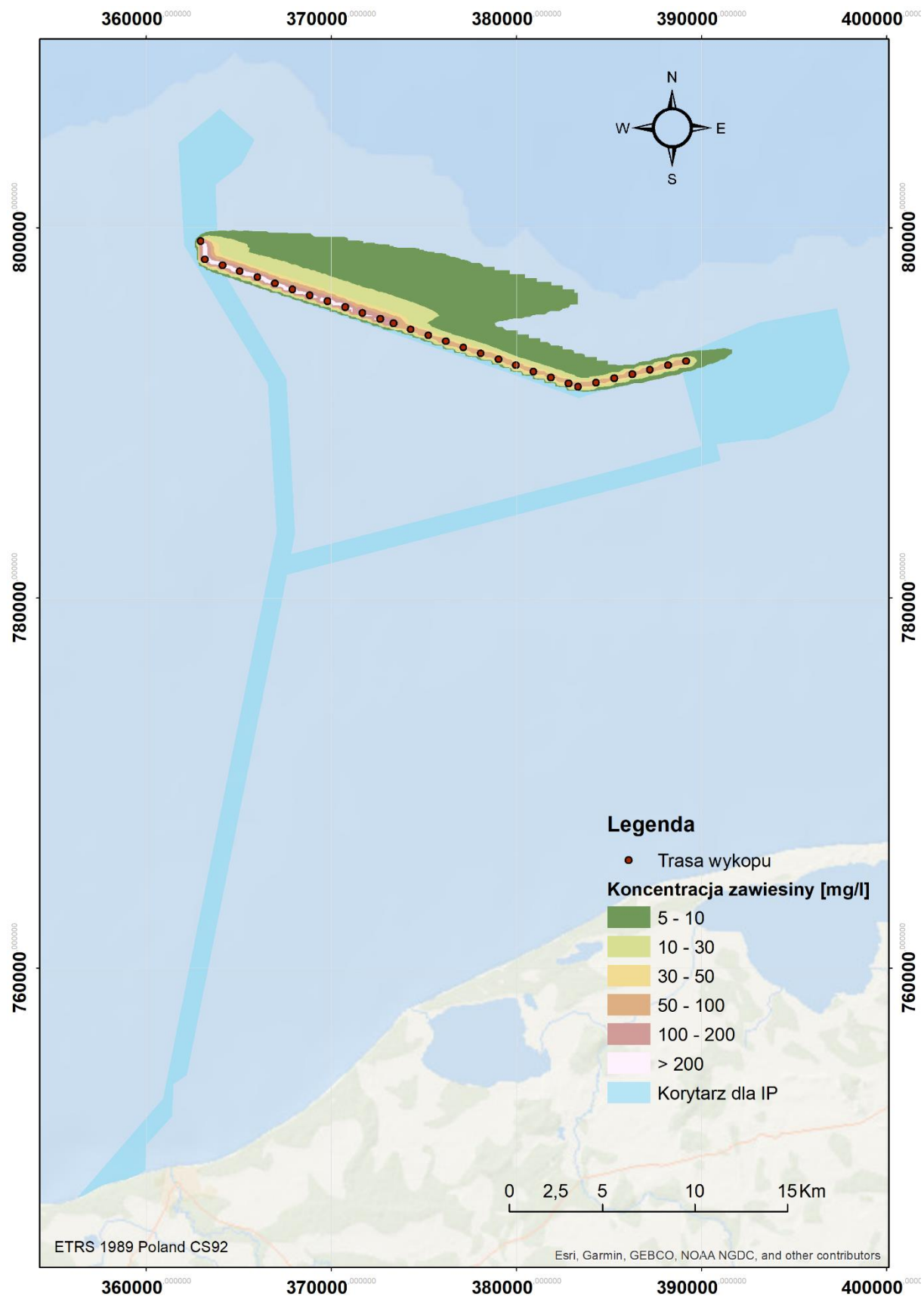
Rys. 19 Maksymalne koncentracje zawiesiny w całej kolumnie wody wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk III w przypadku scenariusza V100, wartość graniczna 5 mg/l



Rys. 20 Maksymalne koncentracje zawiesiny w całej kolumnie wody wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk III w przypadku scenariusza V200, wartość graniczna 5 mg/l



Rys. 21 Maksymalne koncentracje zawiesiny w całej kolumnie wody wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie łącznika w przypadku scenariusza V100, wartość graniczna 5 mg/l



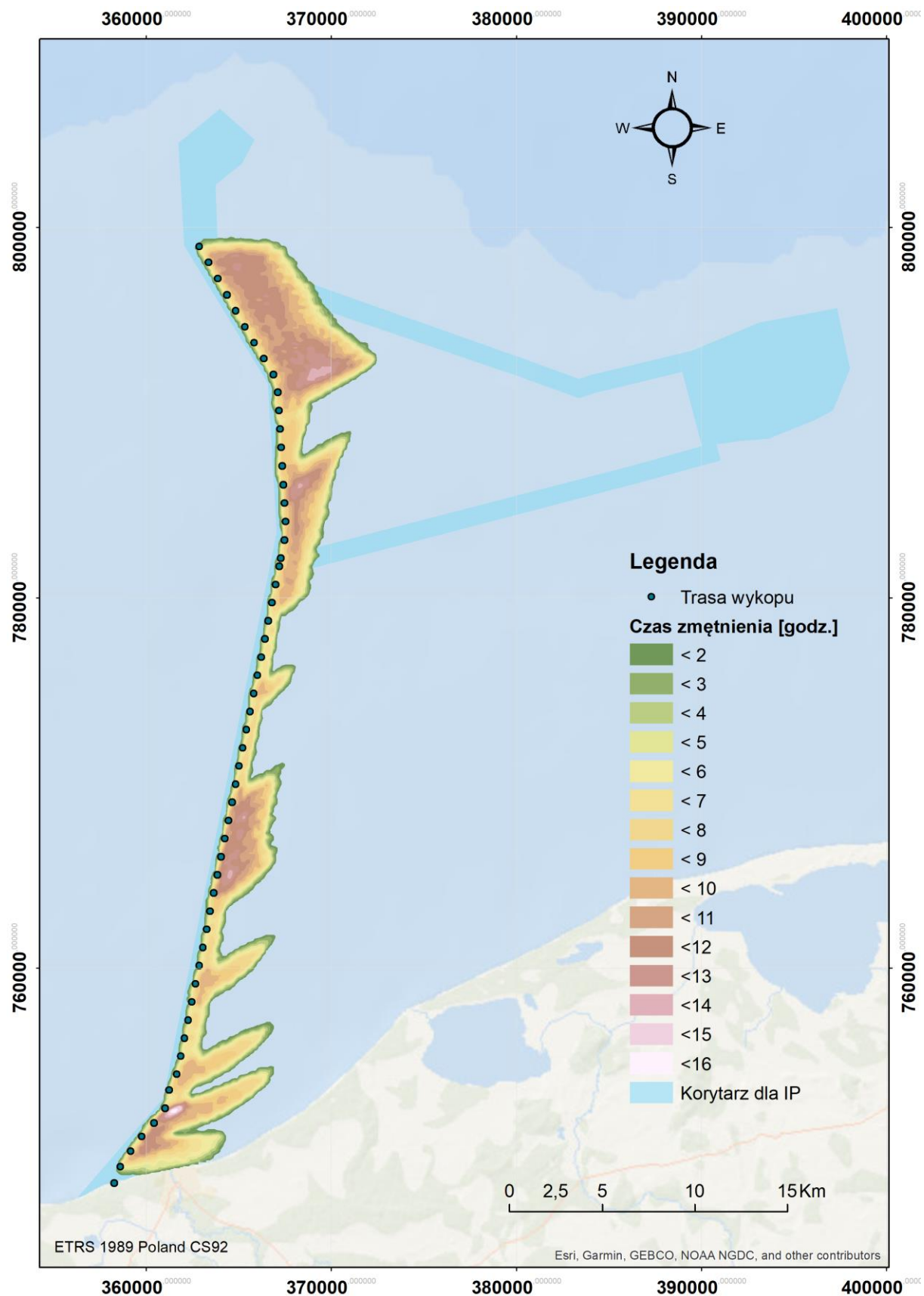
Rys. 22 Maksymalne koncentracje zawiesiny w całej kolumnie wody wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie łącznika w przypadku scenariusza V200, wartość graniczna 5 mg/l

Na Rys. 23 – Rys. 28 przedstawiono mapy ilustrujące czas występowania zmętnienia w kolumnie wody podczas zagłębiania kabla energetycznego w dnie na trasie do MFW Bałtyk II (Rys. 23 i Rys. 24), MFW Bałtyk III (Rys. 25 i Rys. 26) i łącznika (Rys. 27 i Rys. 28). Prezentowane wartości określają łączny czas, w którym koncentracja zawiesiny w poszczególnych węzłach siatki przekracza wartość graniczną tła, czyli 5 mg/l. Wyznaczone na mapach zasięgi zmętnienia wody są tożsame z zasięgami przedstawionymi na Rys. 17 – Rys. 22.

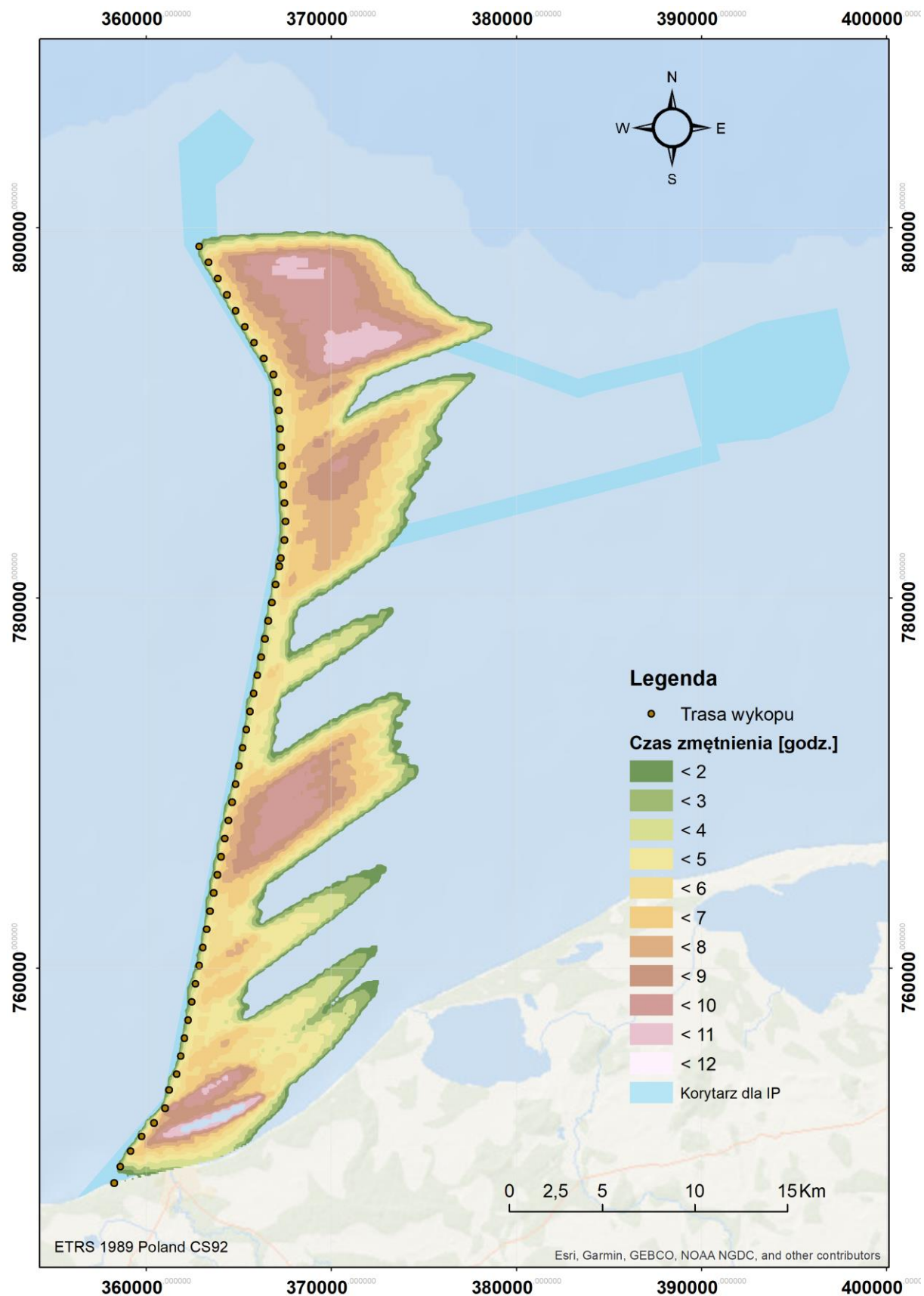
W przypadku wykonania wykopu prowadzącego do MFW Bałtyk II otrzymano, że czas zmętnienia wody w żadnym punkcie nie będzie dłuższy niż 16 godzin dla scenariusza V100 (Rys. 23) oraz 12 godzin dla scenariusza V200 (Rys. 24). Podwyższona koncentracja zawiesiny najdłużej utrzymuje się w pobliżu brzegu, a także pomiędzy km 0 i km 2 oraz km 12 i km 18 korytarza wspólnego dla MFW Bałtyk II i MFW Bałtyk III, jak również wzdłuż całego korytarza do MFW Bałtyk II z wyjątkiem odcinka od km 10 BII do km 12 BII. Są to obszary, w których osady dennie zawierają znaczne ilości frakcji spoistych. W ich przypadku czas zmętnienia wody przekracza 10 godzin w scenariuszu V100 i 8 godzin w scenariuszu V200.

W przypadku trasy prowadzącej do MFW Bałtyk III otrzymano znacznie dłuższe czasy zmętnienia wody. Dochodzą one do 42 godzin dla scenariusza V100 (Rys. 25) oraz do 46 godzin dla scenariusza V200 (Rys. 26). Jest to konsekwencją rozptywu zawiesiny wzdłuż trasy wykopu. Podane maksymalne wartości wystąpią jedynie w kilku punktach, podczas gdy w większości punktów czas zmętnienia nie przekroczy 30 godzin.

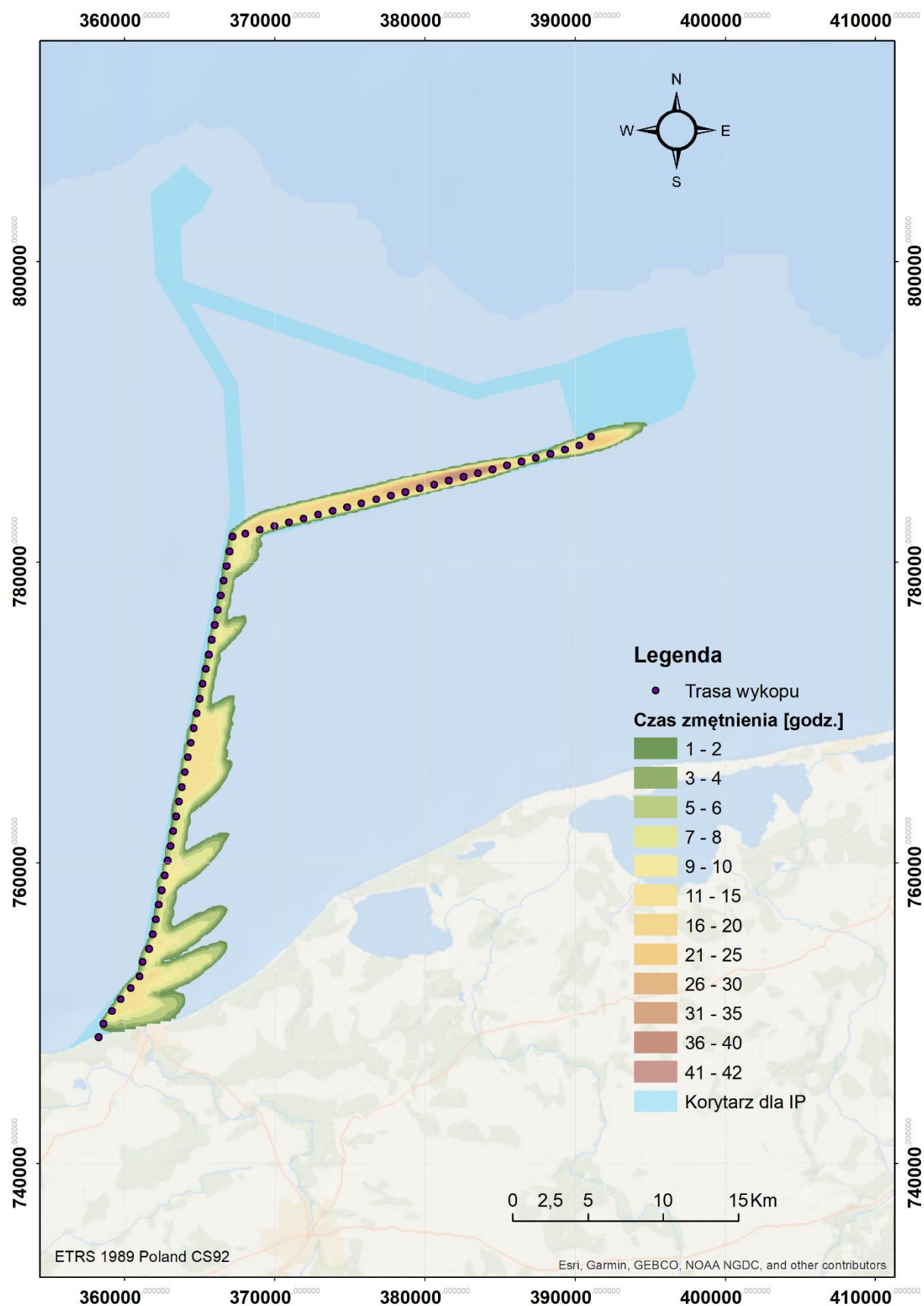
W przypadku łącznika, który charakteryzuje się występowaniem w dnie osadów spoistych w zachodniej części oraz osadów niespoistych we wschodniej części otrzymano analogiczny rozkład czasu zmętnienia wody. W rejonie części wykopu w osadach kohezyjnych czas zmętnienia wody jest dłuższy i dochodzi do 30 godzin dla scenariusza V100 (Rys. 27) oraz do 23 godzin dla scenariusza V200 (Rys. 28). We wschodniej części, w której występują piaski czas zmętnienia wody dochodzi do 8 godzin dla scenariusza V100 oraz do 15 godzin dla scenariusza V200.



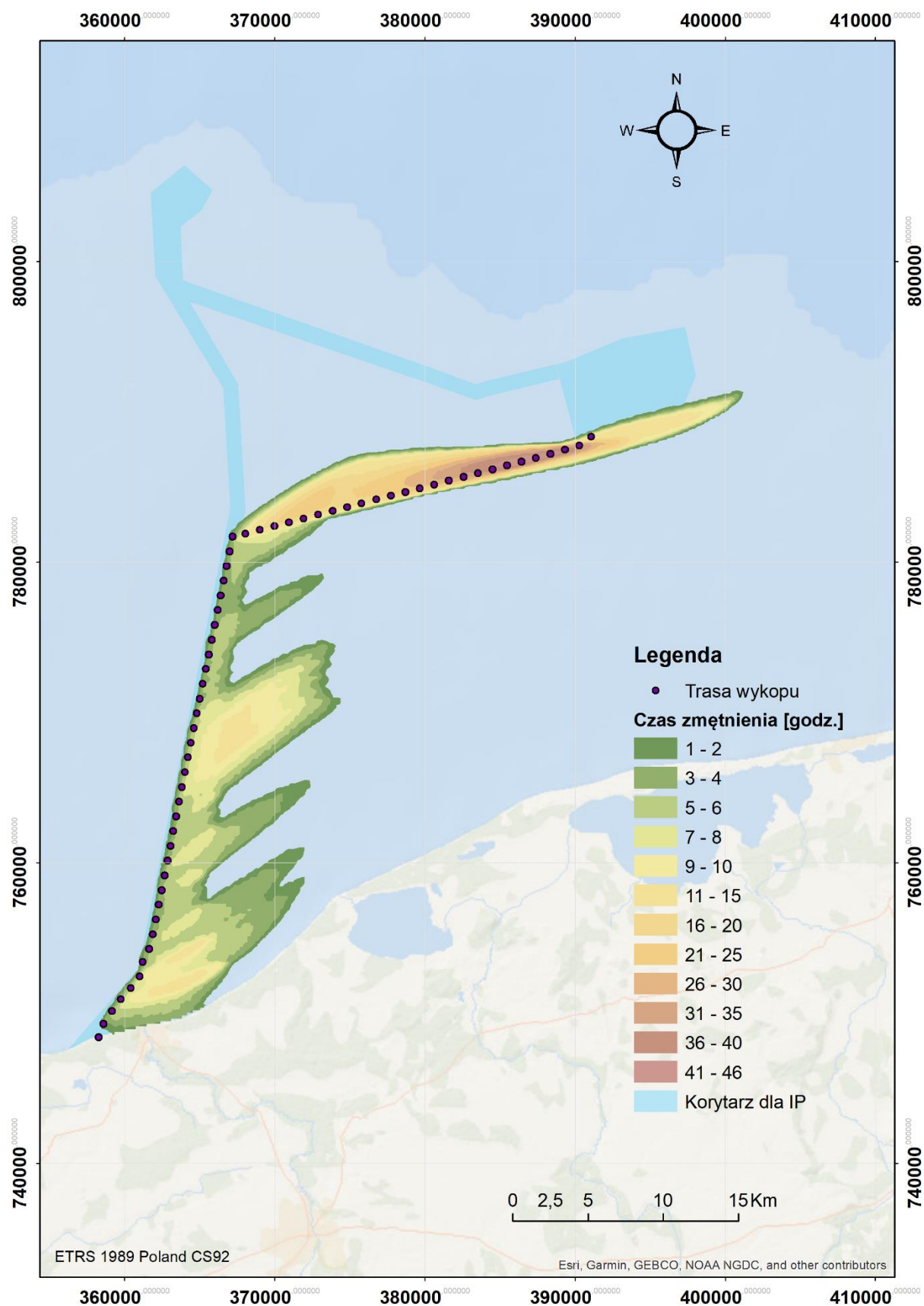
Rys. 23 Łączny czas zmętnienia wody powstałego podczas całego procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V100



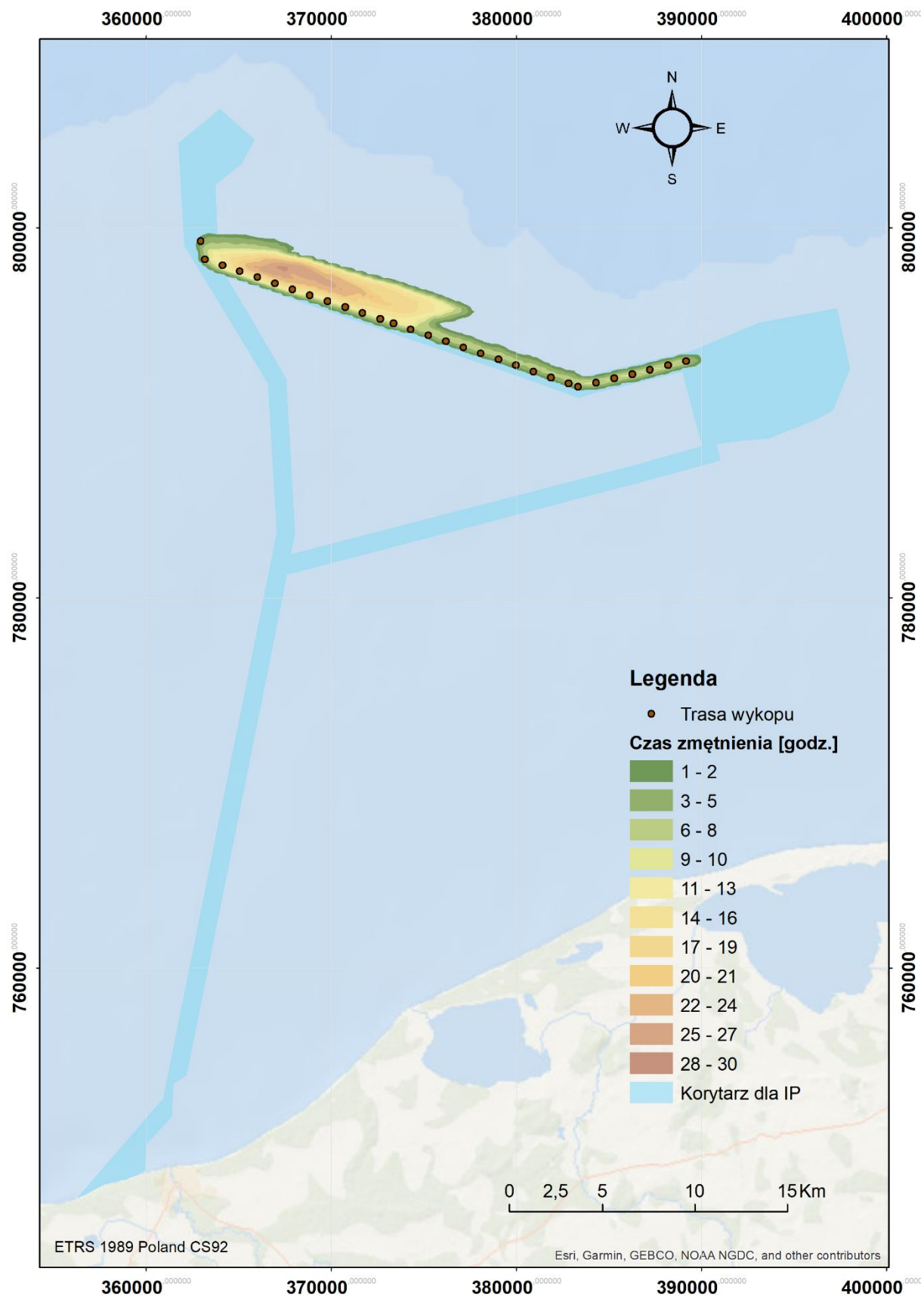
Rys. 24 Łączny czas zmętnienia wody powstałego podczas całego procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V200



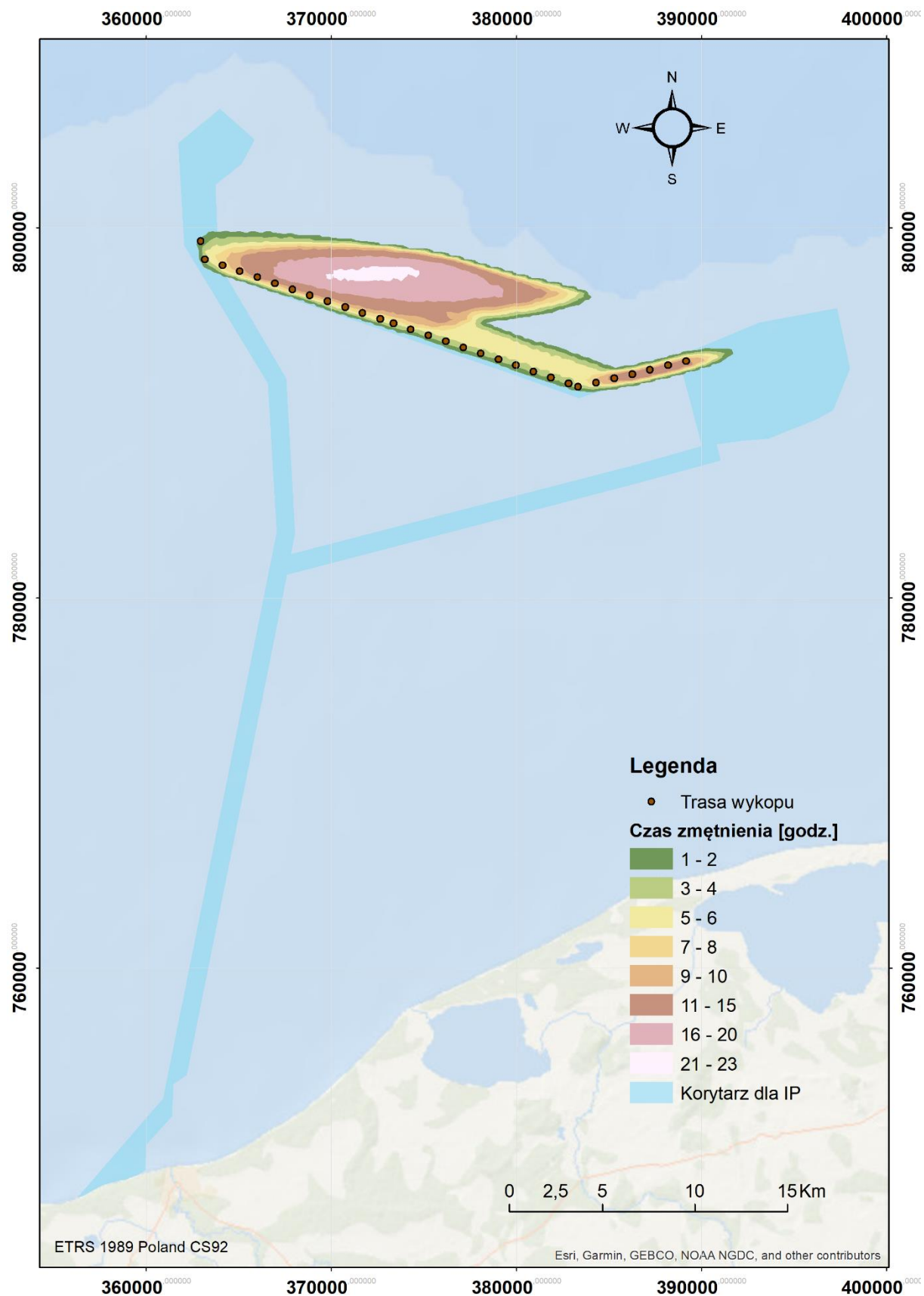
Rys. 25 Łączny czas zmętnienia wody powstałego podczas całego procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk III w przypadku scenariusza V100



Rys. 26 Łączny czas zmętnienia wody powstałego podczas całego procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk III w przypadku scenariusza V200



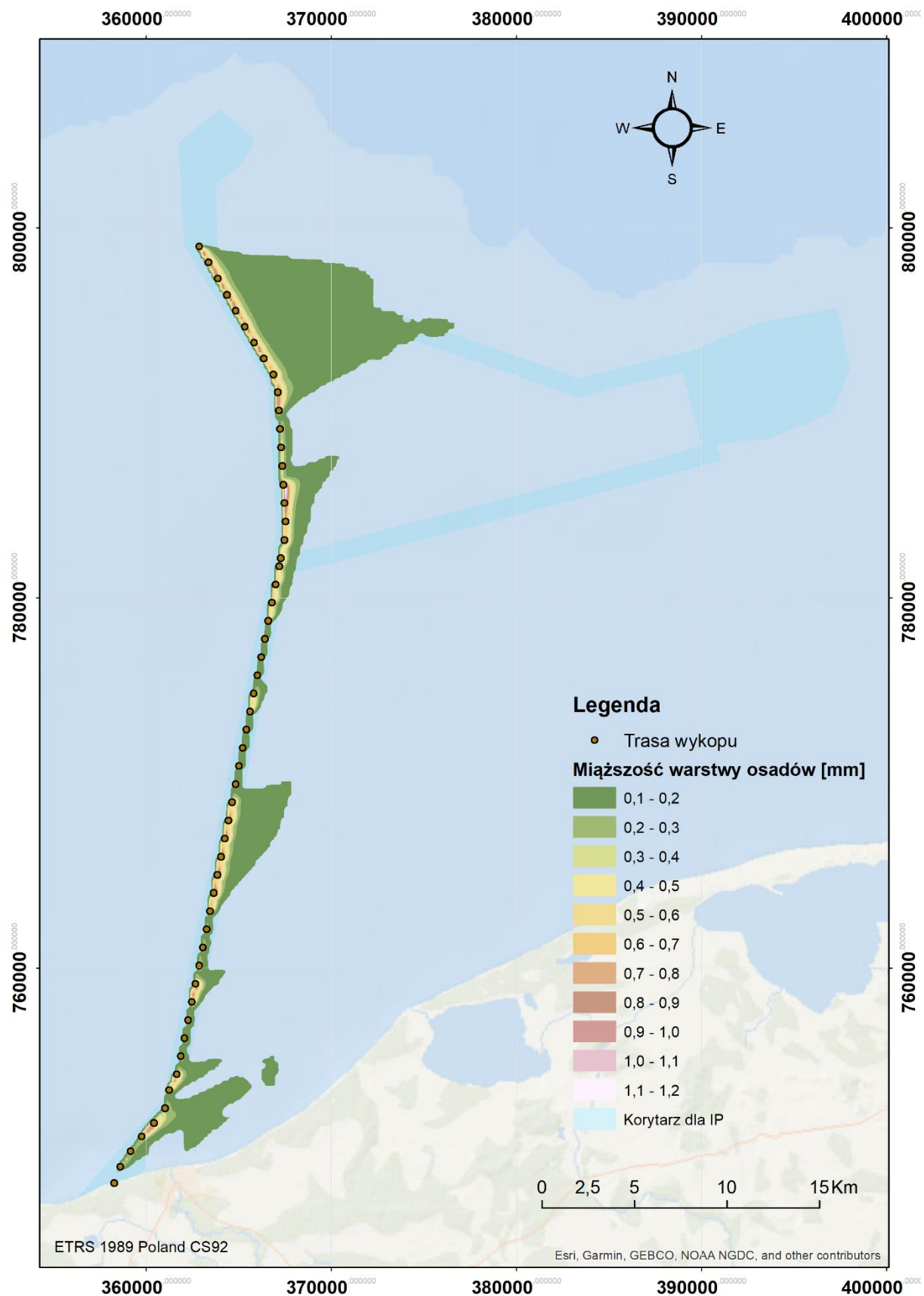
Rys. 27 Łączny czas zmętnienia wody powstałego podczas całego procesu zagłębiania kabla na trasie łącznika w przypadku scenariusza V100



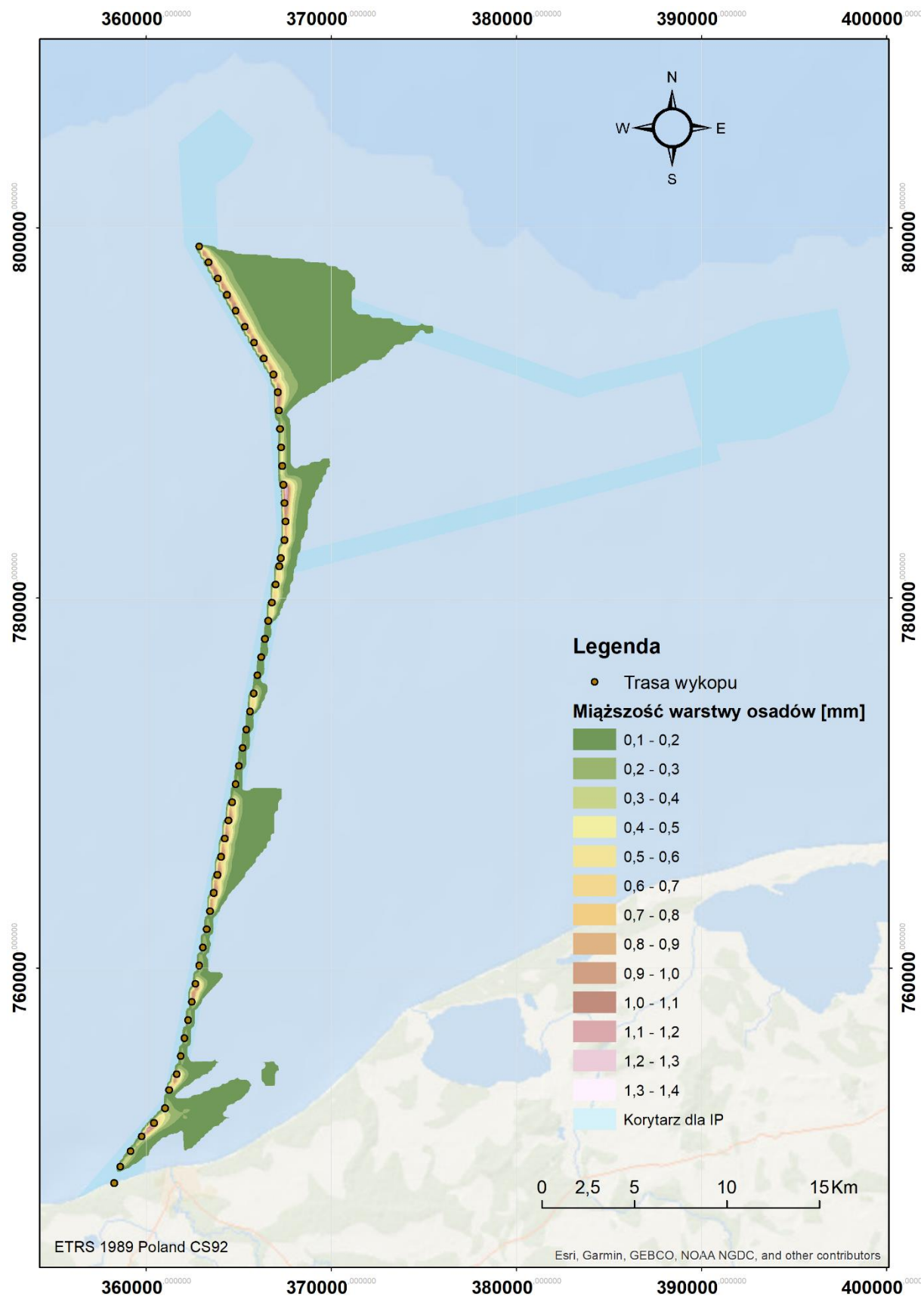
Rys. 28 Łączny czas zmętnienia wody powstałego podczas całego procesu zagłębiania kabla na trasie łącznika w przypadku scenariusza V100

Na Rys. 29 – Rys. 34 przedstawiono uzyskaną w wyniku symulacji numerycznych miąższość warstwy osadów powstałej po całkowitej sedymentacji zawiesiny wprowadzonej do akwenu podczas zagłębiania kabla. Rys. 29 i Rys. 30 prezentują sytuację powstałą w wyniku robót na trasie do MFW Bałtyk II odpowiednio w przypadku scenariusza V100 i V200. Rys. 31 i Rys. 32 prezentują sytuację powstałą w wyniku robót na trasie do MFW Bałtyk III odpowiednio w przypadku scenariusza V100 i V200, zaś Rys. 33 i Rys. 34 prezentują sytuację powstałą w wyniku robót na trasie łącznika odpowiednio w przypadku scenariusza V100 i V200.

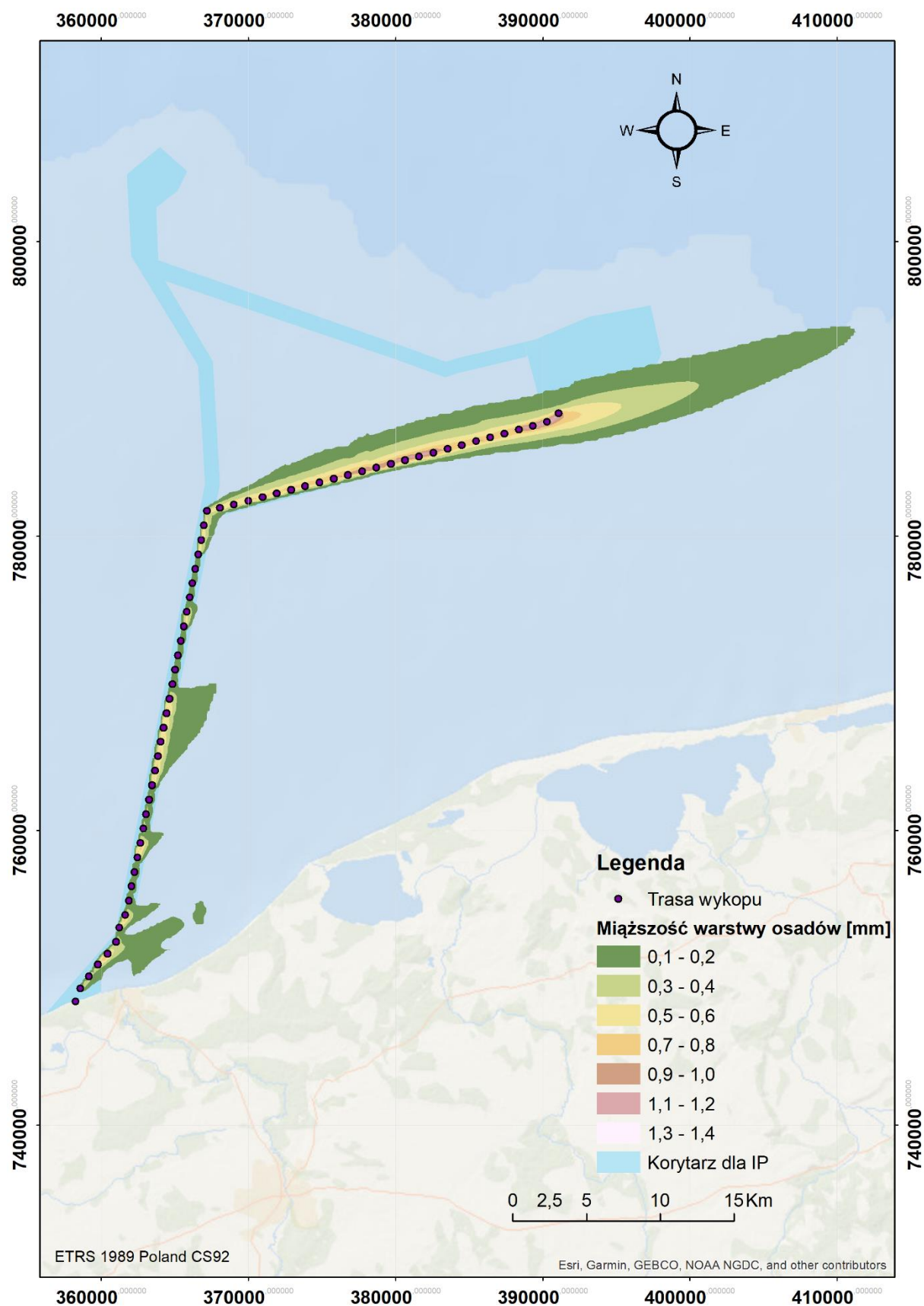
Otrzymane wyniki wskazują, że depozycja osadów wystąpi na relatywnie małym obszarze. Jednakże poza bliskim sąsiedztwem wykopu miąższość nowego depozytu można uznać za nieistotną. Jego zasięg przestrzenny zależy w niewielkim stopniu od wariantu prędkości zagłębiania kabla w dnie, natomiast rzeczywisty wpływ na niego ma wielkość dopływu rumowiska. W rejonach, gdzie dno jest zbudowane z osadów kohezyjnych, zasięg depozycji jest istotnie większy niż w obszarach charakteryzujących się dnem piaszczystym.



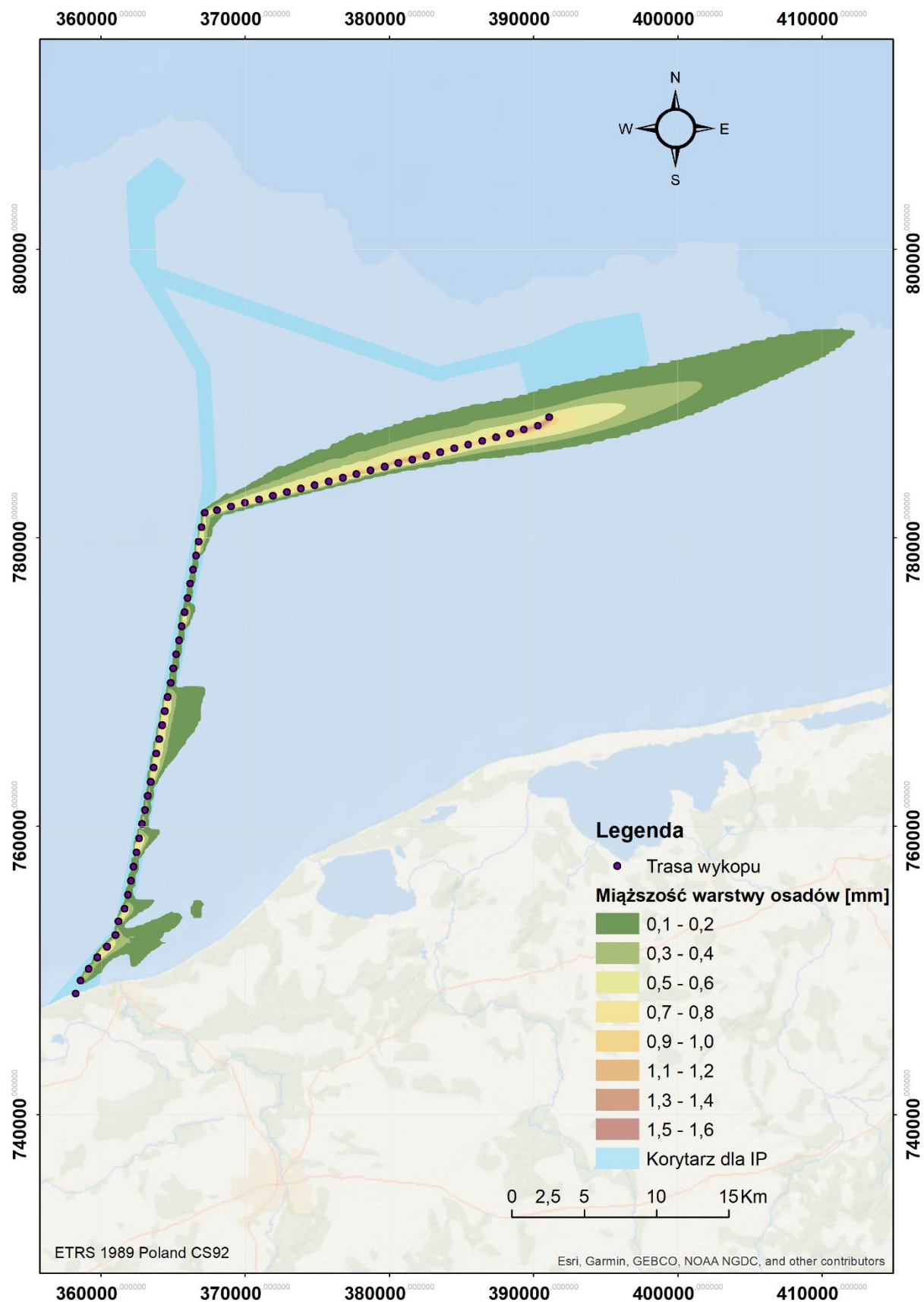
Rys. 29 Miąższość warstwy osadów powstałej po całkowitej sedimentacji zawiesiny wprowadzonej do akwenu podczas zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V100



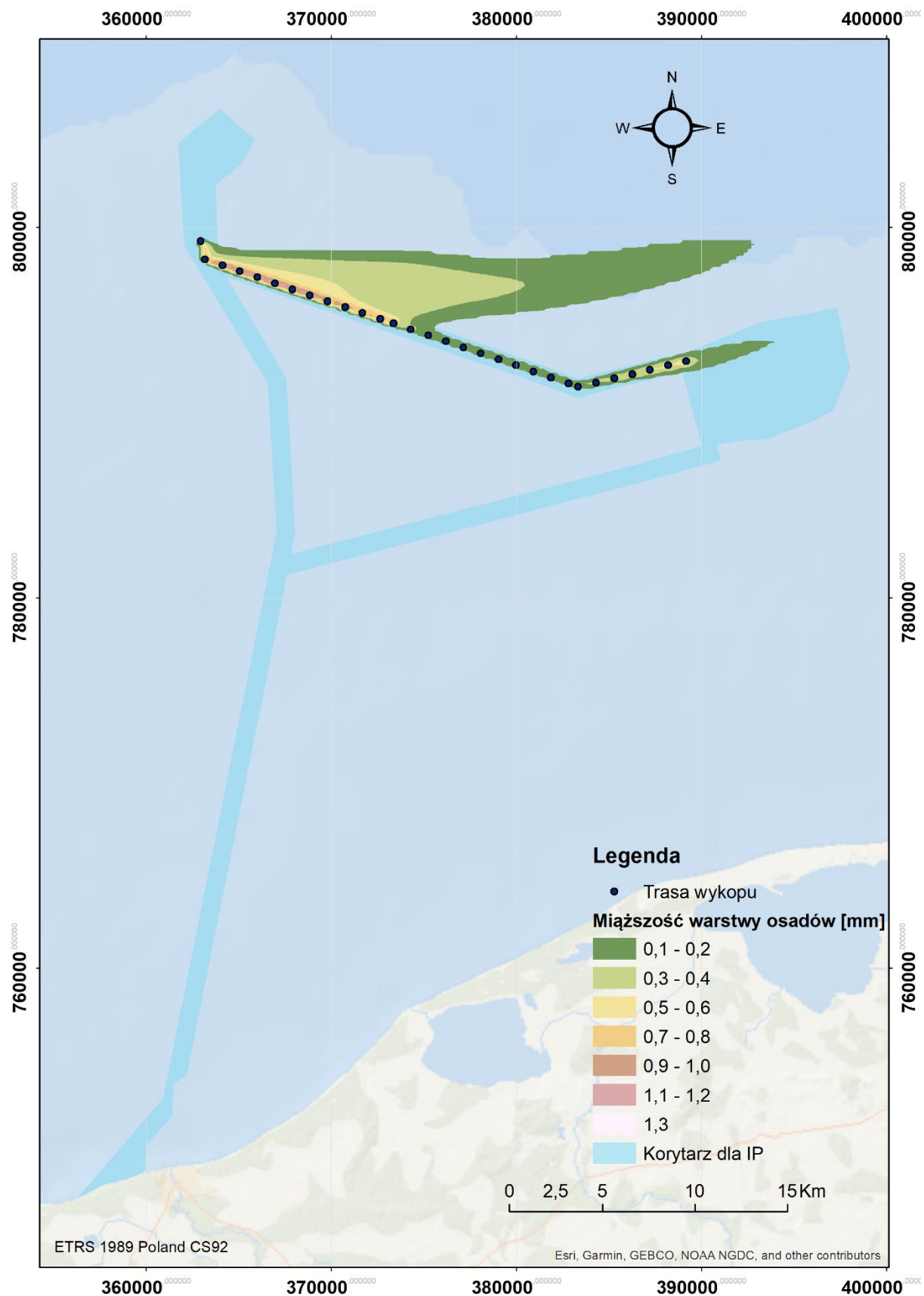
Rys. 30 Miąższość warstwy osadów powstałej po całkowitej sedimentacji zawiesiny wprowadzonej do akwenu podczas zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V200



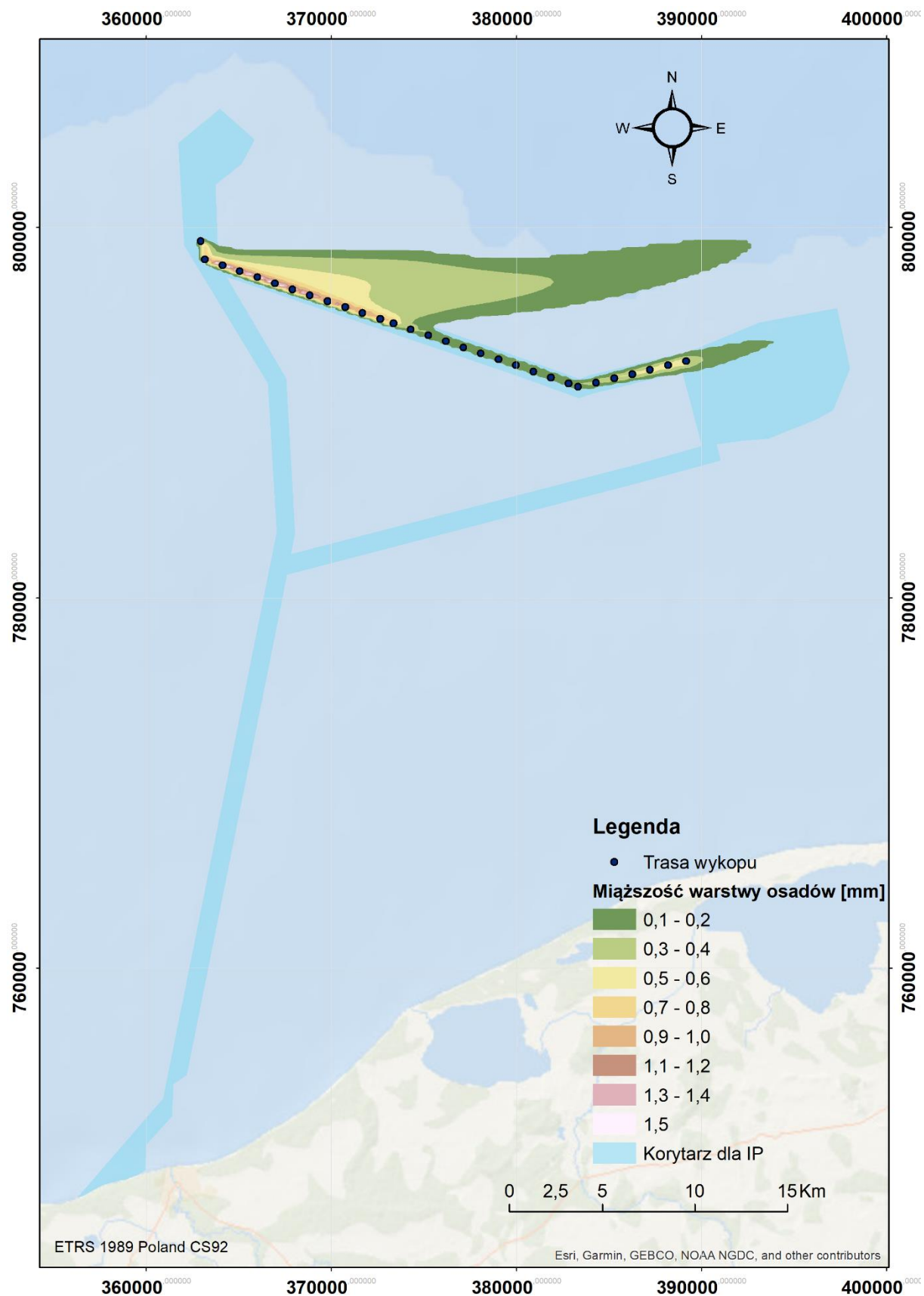
Rys. 31 Miąższość warstwy osadów powstałej po całkowitej sedymentacji zawiesiny wprowadzonej do akwenu podczas zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk III w przypadku scenariusza V100



Rys. 32 Miąższość warstwy osadów powstałej po całkowitej sedymentacji zawiesiny wprowadzonej do akwenu podczas zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk III w przypadku scenariusza V200



Rys. 33 Miąższość warstwy osadów powstałej po całkowitej sedymentacji zawiesiny wprowadzonej do akwenu podczas zagłębiania kabla na trasie łącznika w przypadku scenariusza V100



Rys. 34 Miąższość warstwy osadów powstałej po całkowitej sedymentacji zawiesiny wprowadzonej do akwenu podczas zagłębiania kabla na trasie łącznika w przypadku scenariusza V200

6. Komentarz nt. wyników modelowania rozprzestrzeniania się zawiesiny w rejonie korytarza dla IP uzyskanych przez Instytut Morski w Gdańsku w 2015 r.

Instytut Morski w Gdańsku wykonał w 2015 r. modelowanie numeryczne rozprzestrzeniania się zawiesiny podczas układania kabla eksportowego w dnie morskim w rejonie korytarza dla IP MFW Bałtyk II i MFW Bałtyk III. W raporcie z tych badań omówiono różne techniki zagłębiania kabla oraz przedstawiono uzyskane dla nich wyniki symulacji numerycznych. Obliczenia wykonano przy założeniu warunków brzegowych w postaci rzeczywistej sytuacji hydro- i meteorologicznej, która wystąpiła w okresie od 24.03.2013 r. do 31.05.2013 r. Okres ten został wybrany ze względu na występujące wówczas warunki, sprzyjające realizacji inwestycji. W związku z tym otrzymano rekonstrukcję rzeczywistych warunków hydrodynamicznych panujących w zadanym czasie w obszarze objętym modelowaniem, a w konsekwencji zasięgi rozprzestrzeniania się zawiesiny, jakie wystąpiłyby gdyby prace były wykonywane w okresie od 24.03.2013 r. do 31.05.2013 r.

Z uwagi na losowość zdarzeń zachodzących w naturze oraz szerokie spektrum możliwych warunków meteorologicznych mogących wystąpić w tym samym obszarze o tej samej porze roku, podstawowym mankamentem metodyki zastosowanej przez Instytut Morski w Gdańsku jest fakt, że założone w modelu warunki brzegowe nigdy się nie powtórzą. Oznacza to, że zasięgi rozprzestrzeniania się zawiesiny podczas realizacji inwestycji będą się różnić od tych, jakie wystąpiłyby w 2013 r. Jednakże najważniejszym problemem jest zmienność w czasie warunków brzegowych. Z tego względu na podstawie uzyskanych wyników obliczeń nie można wyciągnąć generalnych wniosków dotyczących zasięgu rozprzestrzeniania się zawiesiny. Nie ma bowiem możliwości stwierdzenia na ile na wyniki wpłynęły zmienne w czasie warunki hydro-meteo, a na ile wielkość dopływu rumowiska do toni wodnej. Ponadto metodyka zastosowana przez Instytut Morski w Gdańsku nie pozwala określić, jaki może być maksymalny zasięg zmętnienia wody, gdyż nie realizuje najbardziej niekorzystnego scenariusza. Zatem uzyskane w ten sposób wyniki symulacji numerycznych nie pozwalają na ogólną ocenę oddziaływania przedsięwzięcia na środowisko. Natomiast metodyka zastosowana przez Instytut Morski w Gdańsku jest właściwa w przypadku rekonstrukcji zjawisk i procesów. Ponadto zaletą wyników przedstawionych w opracowaniu Instytutu Morskiego w Gdańsku jest możliwość porównania wpływu zastosowania różnych metod zagłębiania kabla na środowisko. Jest to możliwe dzięki przyjęciu za każdym razem jednakowych warunków brzegowych.

7. Podsumowanie

Prace podwodne związane z posadowieniem w dnie morskim infrastruktury przesyłowej (IP) prowadzone są obecnie na większości mórz i oceanów świata (Wang i in. 2020, Kitty Hawk Offshore 2021, ESS Group 2013, Eversource Energy Energy Park 2018). We wszystkich tych inwestycjach, na potrzeby przygotowania raportu oddziaływania na środowisko analizowane jest zwiększenie koncentracji zawiesiny w toni wodnej w wyniku prowadzonych prac budowlanych, zasięg owego zwiększenia i czas utrzymywania się podwyższonego stężenia. W zależności od akwenu i technologii wykonywania robót budowlanych koncentracje zawiesiny i zasięg zmętnienia wody są różne.

W opracowaniu przedstawiono wyniki modelowania matematycznego rozprzestrzeniania się zawiesiny podczas układania kabla podmorskiego w korytarzu dla IP MFW Bałtyk II i MFW Bałtyk III. W celu umożliwienia oceny oddziaływania przedsięwzięcia na środowisko założono w symulacjach

najbardziej niekorzystny scenariusz hydro-meteo, tzn. obliczenia wykonano dla dopuszczalnych wartości granicznych, a więc falowania o wysokości fali znacznej $H_s = 1,5$ m i wiatru wiejącego przez cały czas symulacji ze stałą prędkością 10 m/s. Przyjęto dominujący kierunek wiatru, czyli zachodni. Obliczenia wykonano dla dwóch scenariuszy prędkości zagłębiania kabla: 100 m/h (scenariusz V100) i 200 m/h (scenariusz V200).

Otrzymano, że obszar o podwyższonym zmętnieniu wody > 5 mg/l ma wydłużony owalny kształt i w przybliżeniu jest rozciągnięty zgodnie z kierunkiem wiatru. Plama zmętnionej wody przemieszcza się wzdłuż wykopu wraz z postępem robót. Jej zasięg jest uzależniony od prędkości prądów morskich oraz od wielkości dopływu rumowiska, która zależy od zastosowanej techniki zagłębiania kabla, rodzaju osadów dennych i prędkości prowadzenia robót. W przypadku osadów z dużą zawartością frakcji mulistej i ilastej zasięg zmętnionej wody jest większy niż w przypadku dna piaszczystego. W przypadku większej prędkości zagłębiania kabla (V200) zasięg podwyższonego zmętnienia wody jest 2-3 razy większy niż w przypadku V100, co wynika z większego dopływu rumowiska w jednostce czasu.

Największy zasięg podwyższonego zmętnienia wody występuje w warstwie przydennej i wynosi kilka-kilkanaście kilometrów, przy czym koncentracja zawiesiny nie przekracza wartości 10 mg/l. Obszar podwyższonego zmętnienia wody przylega bezpośrednia do miejsca aktualnie prowadzonych robót. Zasięg zmętnionej wody o stężeniu zawiesiny przekraczającym 30 mg/l jest nie większy niż ok. 1 km w przypadku V200 i nie większy niż ok. 0,5 km w przypadku V100. Zmętnienie wody w toni wodnej może wystąpić na zbliżonym obszarze co w warstwie przydennej, jednakże stężenia zawiesiny nie przekracza wartości 30 mg/l (poza lokalnymi sytuacjami, np. w pobliżu brzegu). W obszarze, w którym w dnie morskim zalegają gliny, muły i iły, podwyższone zmętnienie wody może pojawić się również w warstwie powierzchniowej.

W warunkach wiatru zachodniego podczas robót na trasie do MFW Bałtyk III zawiesina rozplywa się wąską plamą wzdłuż trasy wykopu. Jest to zdecydowanie korzystne zjawisko, gdyż minimalizuje wpływ inwestycji na środowisko. W przypadku wiatru zachodniego i trasy do MFW Bałtyk II oraz łącznika, zmętnienie wody może wystąpić w pasie o szerokości ok. 6 km w przypadku V100 i w pasie o szerokości ok. 10 km, a miejscami nawet ok. 13 km w przypadku V200.

W przypadku wiatru wiejącego poprzecznie do kierunku wykopu (przypadek MFW Bałtyk II) podwyższone zmętnienie wody będzie utrzymywać się nie dłużej niż kilkanaście godzin. Czas ten jest krótszy w przypadku większej prędkości zagłębiania kabla (V200 vs. V100). Jest to spowodowane krótszym okresem dopływu rumowiska. W przypadku wiatru długotrwale wiejącego wzdłuż kierunku wykopu (przypadek MFW Bałtyk III) podwyższone zmętnienie wody może utrzymywać się do ok. 2 dni (do 42 godzin - V100 oraz do 46 godzin - V200), aczkolwiek przeważnie czas zmętnienia nie przekroczy 30 godzin.. Jest to konsekwencją rozplywu zawiesiny wzdłuż trasy wykopu.

Depozycja osadów może wystąpić na relatywnie małym obszarze. Co ważne, poza bliskim sąsiedztwem wykopu miąższość nowego depozytu można uznać za śladową (poniżej 1 milimetra), a nawet w bliskim sąsiedztwie wykopu za nieistotną (maksymalnie kilka milimetrów). Zasięg przestrzenny depozycji zależy w niewielkim stopniu od wariantu prędkości zagłębiania kabla w dnie, natomiast rzeczywisty wpływ na niego ma wielkość dopływu rumowiska. W rejonach, gdzie dno jest

zbudowane z osadów kohezyjnych, zasięg depozycji jest istotnie większy niż w obszarach charakteryzujących się dnem piaszczystym.

W przypadku zastosowania technologii jetting (lub podobnej) zwiększona koncentracja zawiesiny w toni wodnej w wyniku prowadzonych prac będzie porównywalna do stężenia zawiesiny, jakie występuje w morzu w czasie silnych sztormów.

8. Trudności wynikające z niedostatków techniki i luk we współczesnej wiedzy

W literaturze poruszającej zagadnienie zagłębiania kabli i rurociągów w dnie morskim znajduje się niewiele informacji na temat ilości osadów dennych trafiających do toni wodnej w wyniku tego procesu. Większość z nich dotyczy osadów niespoistych, natomiast jest bardzo mało danych na temat osadów kohezyjnych. Rozpoznanie tego zagadnienia dodatkowo komplikuje fakt, że w praktyce stosuje się wiele różnych metod zagłębiania infrastruktury liniowej w dnie morskim. Niemniej jednak na tle prezentowanych w literaturze wartości, założenia przyjęte w niniejszym opracowaniu, czyli 20% urobku w gruntach piaszczystych i 50% urobku w gruntach niespoistych, można uznać za konserwatywne.

Wszystkie procesy oceanograficzne, a w szczególności procesy transportu osadów kohezyjnych, są silnie nieliniowe, quasi-losowe i obciążone dużą bezwładnością, jak również zależne od lokalnych zaburzeń. W związku z tym w trakcie układania IP należy na bieżąco kontrolować koncentrację zawiesiny w toni wodnej i/lub modelować jej rozprzestrzenianie w oparciu o prognozy meteorologiczne i hydrologiczne. Pozwoli to na podjęcie stosownych interwencji w razie stwierdzenia przekroczenia dopuszczonych decyzją środowiskową limitów.

Spis literatury

Deltares, 2010a. Delft3D-FLOW. Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flow and transport phenomena, including sediments – User Manual. Version 3.04, rev. 11114. Deltares, Delft, The Netherlands.

Deltares, 2010b. Delft3D-WAVE. Simulation of short-crested waves with SWAN – User Manual. Version 3.04, rev. 11114. Deltares, Delft, The Netherlands.

DNV-RP-J301, 2014. Subsea Power Cables in Shallow Water Renewable Energy Applications.

Ferrari G. M., Bo F. E., Babin M., 2003. Geo-chemical and optical characterizations of suspended matter in Europe an coastal waters. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 57; 17-24.

Eisma D., Bernard P., Cadee G., Ittekkot V., Kalf J., Laane R., Martín J. M., Mook W., Put A. V., Schuhmacher T., 1991. Suspended-matter particle size in some West-European estuaries, part I: particles size distribution. *Neth. J. Sea Res.*, 28, 3, 193-214.

Florek W., Rudowski S., Szeffler K., 2005. Paleodoliny w dnie Zatoki Usteckiej [w:] Florek W. (red.), *Geologia i Geomorfologia Półwyspu i Południowego Bałtyku*, 6: 89–104, PAP w Słupsku.

Kondracki J., 1998. *Geografia regionalna Polski*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.

Lund-Hanses L. C., Petersson M., Nurjaya W., 1999. Vertical sediment fluxes and wave-induced sediment resuspension in a shallow-water coastal lagoon. *Estuaries*, 22 (1), 39–46.

Marcinkowski T., Szmytkiewicz P., Olszeewski T., Paplińska-Swerpel B., Wdowiak M., 2014. Wyznaczenie warunków dynamicznych działających na konstrukcje wsporcze morskich farm wiatrowych. Program NCBiR nr PBS1/A6/8/2012.

McKee B. A., Nitttrouer C. A., De Master D. J., 1983. Concepts of sediment deposition and accumulation applied to the continental shelf near the mouth of the Yangtze River. *Geology*, 11 (11), 631–633.

Michałowska M., Pikies R., 1992. Objasnienia do Mapy Geologicznej Dna Bałtyku 1:200 000, Ark. Koszalin., Państw. Inst. Geol. - Państw. Inst. Bad., Warszawa.

Mielczarski A., 1963. Topografia i morfometria nabrzeży polskich brzegów Bałtyku od Rozewia do Świnoujścia. IBW PAN, Tp. 578.

Musielak S., 1985. Osady mórz i oceanów, Wyd. UG, Gdańsk, 179.

Szmytkiewicz A., 2016. Zróżnicowanie tempa sedymentacji współczesnych osadów dennych Zatoki Puckiej. Rozprawa doktorska wykonana w Zakładzie Geologii Morza Instytut Oceanografii UG pod kierunkiem prof. dr hab. Szymona Uścińowicza.

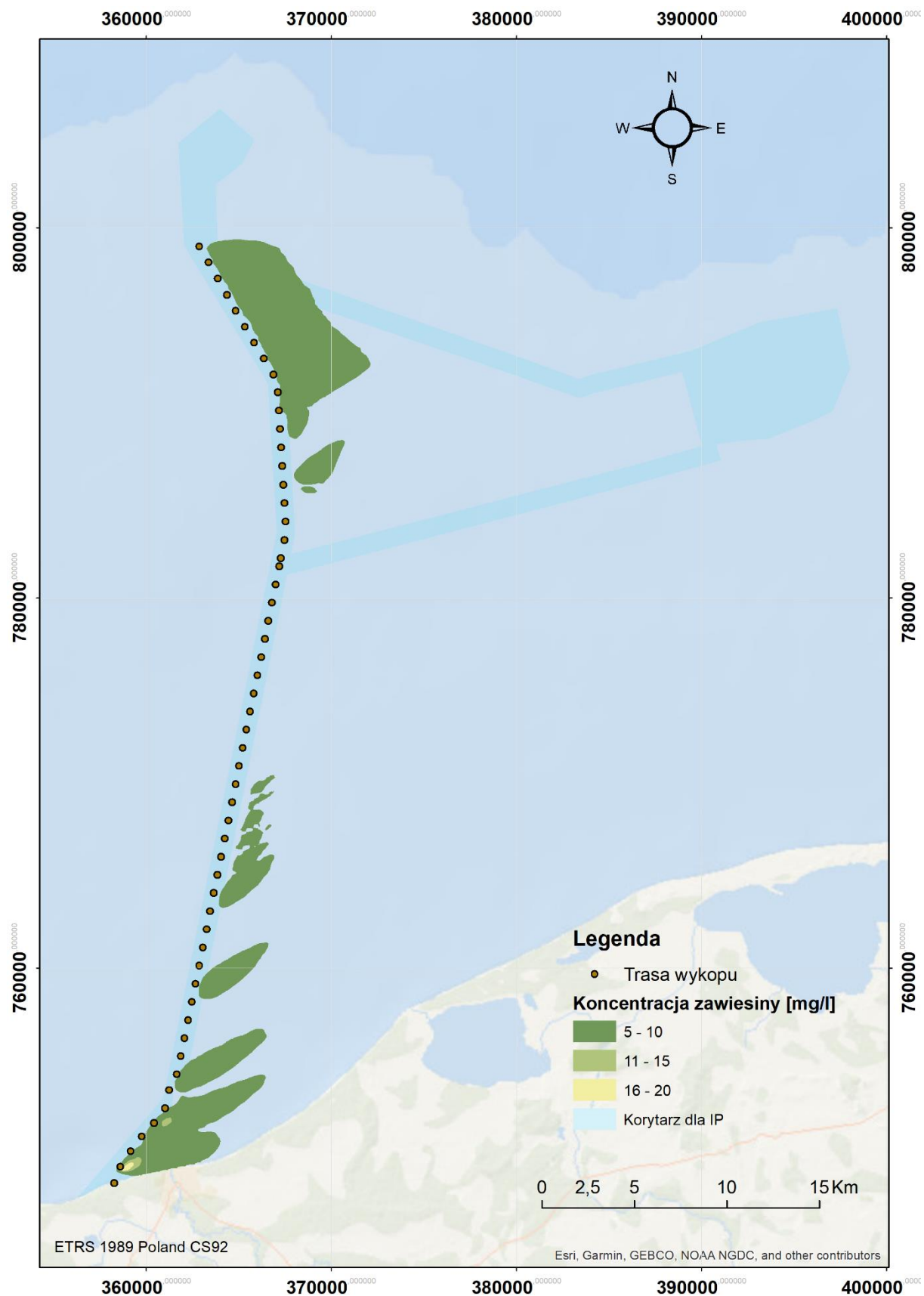
Uścińowicz Sz., 2011. Geochemia osadów powierzchniowych morza Bałtyckiego. PIB PIB, Warszawa.

Wangen M., 2010. Physical principles of sedimentary basin analysis. Cambridge University Press.

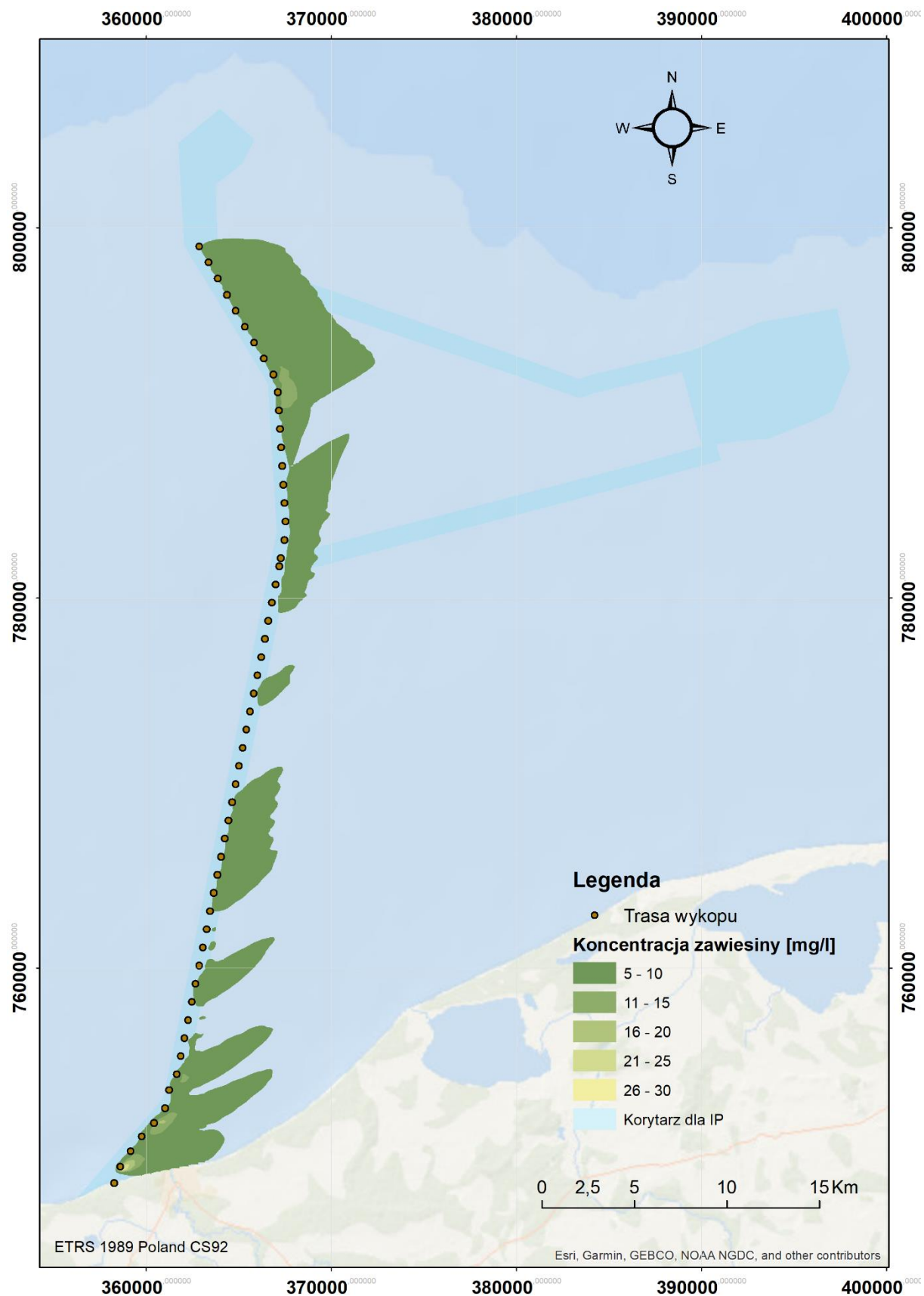
Zachowicz, J., Dobracki, R., 2003. Geologiczne warunki ochrony i kształtowania południowego brzegu Bałtyku oraz obszarów ujściowych Odry i Wisły. Etap III. Mapa geodynamiczna polskiej strefy brzegowej Bałtyku w skali 1:10 000 wraz z objaśnieniami, arkusz: Modlinek (24). Państw. Inst. Geol. – Państw. Inst. Badawczy, Warszawa.

Załącznik – maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie powierzchniowej, w toni wodnej i w warstwie przydennej podczas zagłębiania kabla w przypadku scenariuszy V100 i V200

W niniejszym załączniku do opracowania umieszczono mapy obrazujące wartości maksymalnego zmętnienia wody w warstwie powierzchniowej, w toni wodnej i w warstwie przydennej, występujące podczas zagłębiania kabla energetycznego w dnie morskim na trasie do MFW Bałtyk II (Rys. 35 – Rys. 40), MFW Bałtyk III (Rys. 41 – Rys. 46) i łącznika (Rys. 47 – Rys. 52) w przypadku scenariusza V100 i scenariusza V200.



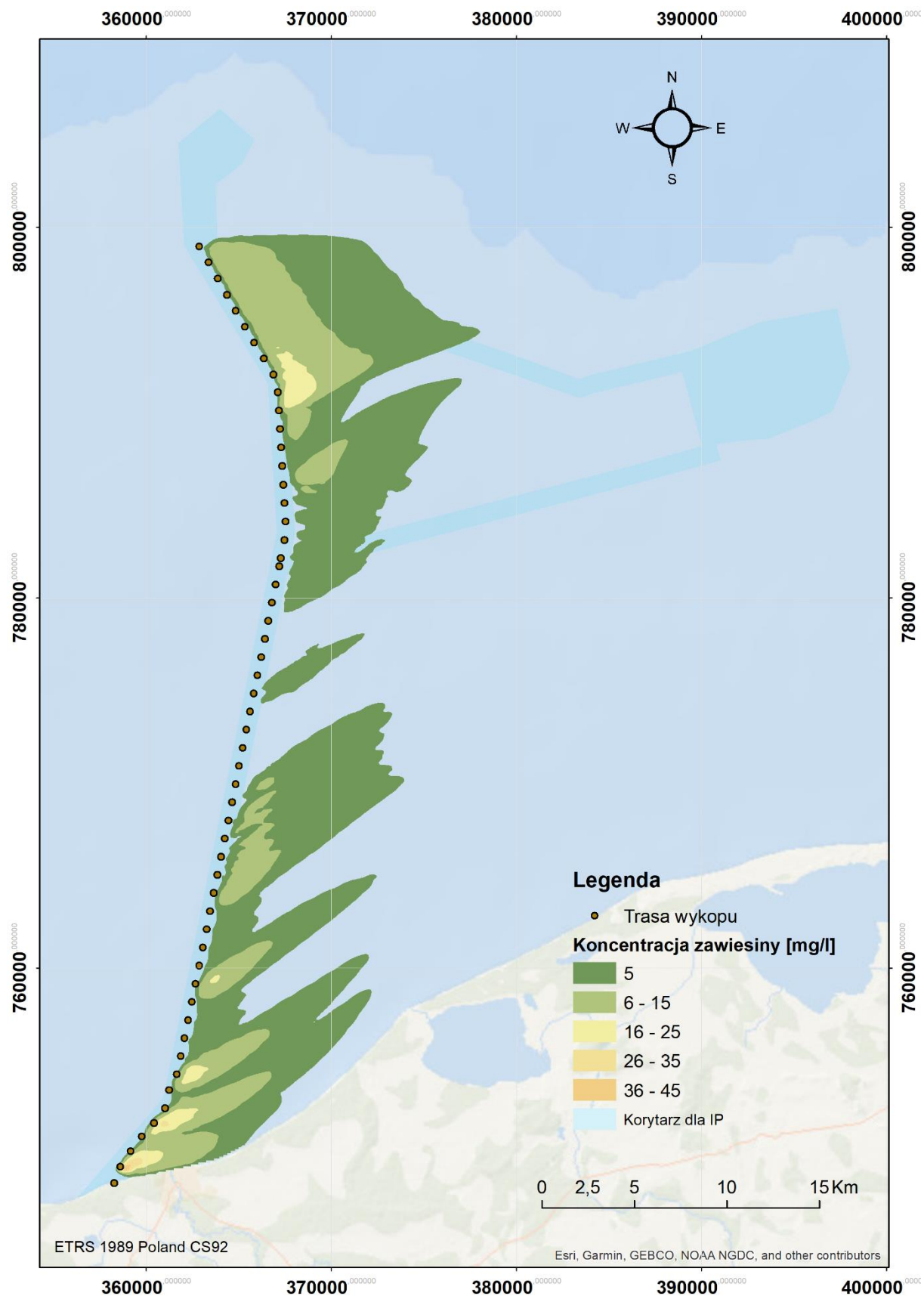
Rys. 35 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie powierzchniowej wyznaczone w każdym węzle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V100, wartość graniczna 5 mg/l



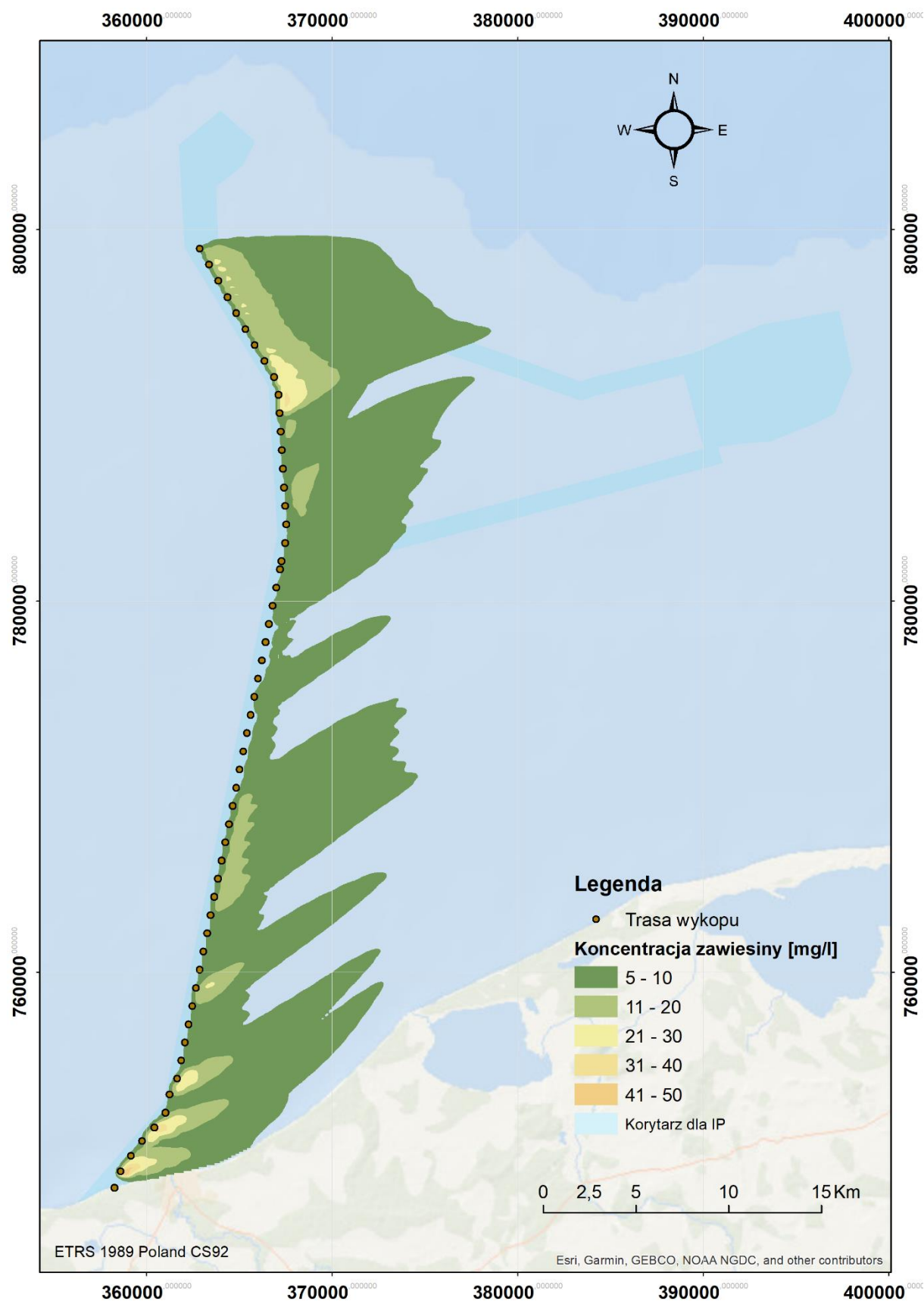
Rys. 36 Maksymalne koncentracje zawiesiny w toni wodnej wyznaczone w każdym węzle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V100, wartość graniczna 5 mg/l



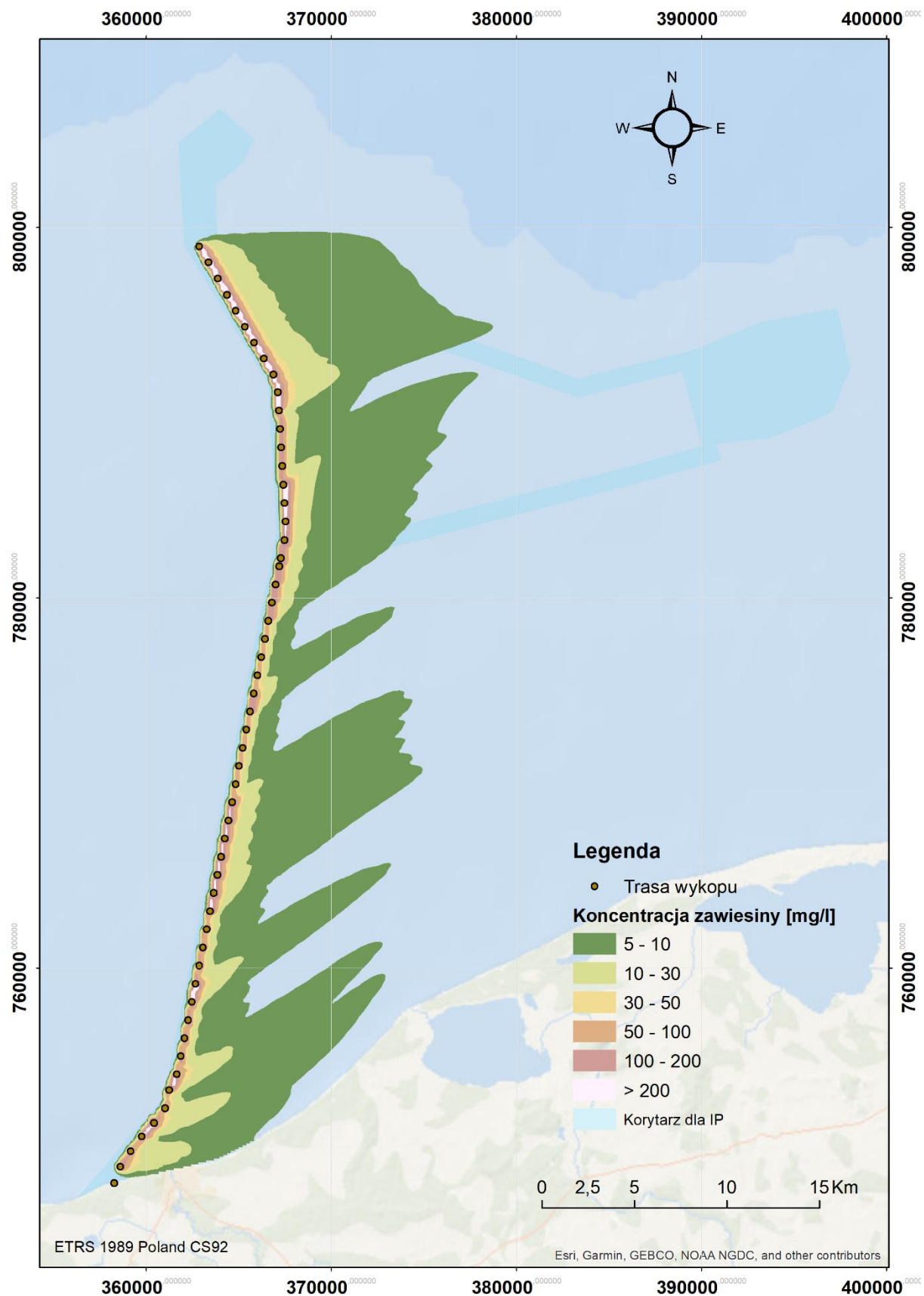
Rys. 37 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie przydennej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V100, wartość graniczna 5 mg/l



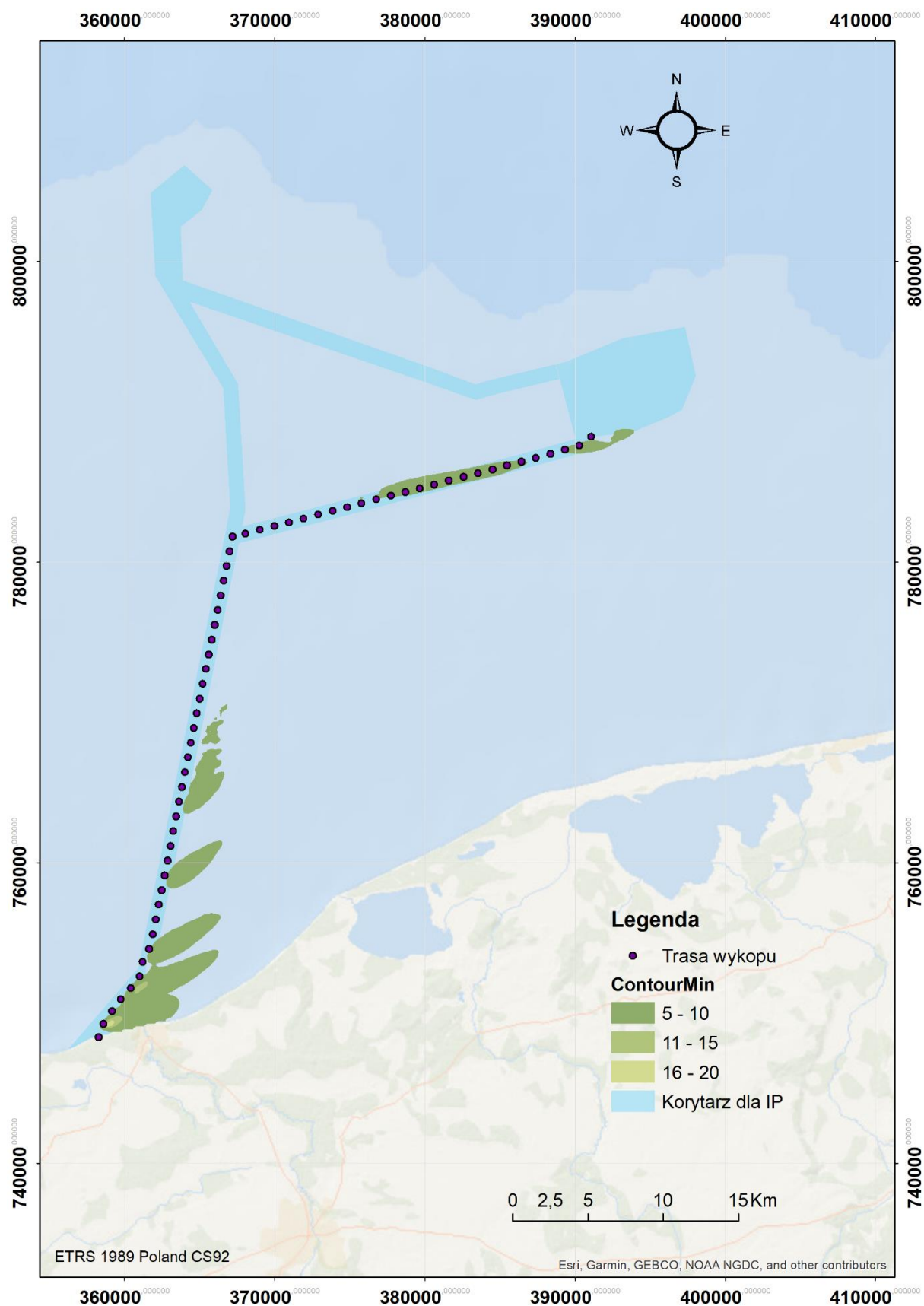
Rys. 38 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie powierzchniowej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V200, wartość graniczna 5 mg/l



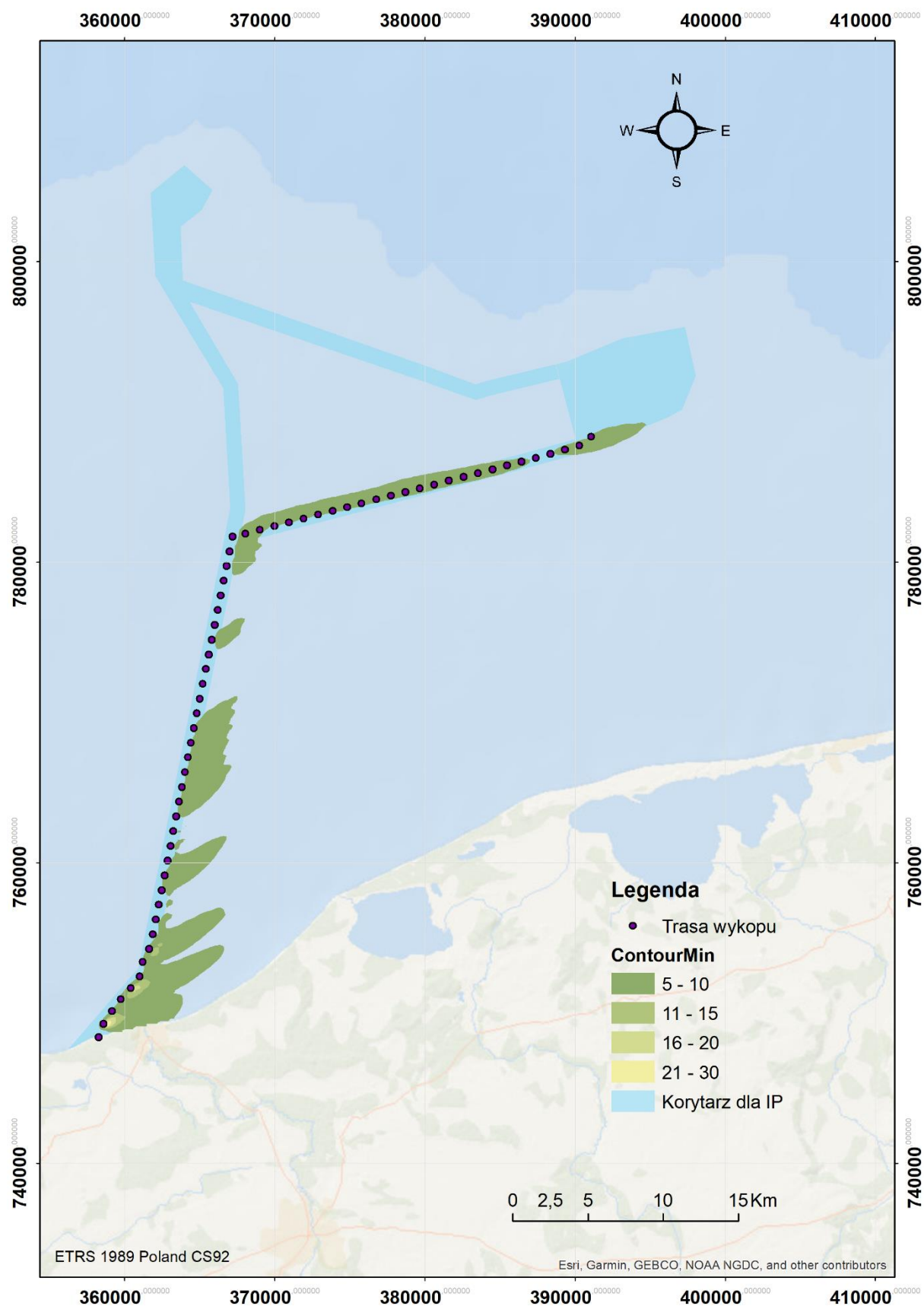
Rys. 39 Maksymalne koncentracje zawiesiny w toni wodnej wyznaczone w każdym węzle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V200, wartość graniczna 5 mg/l



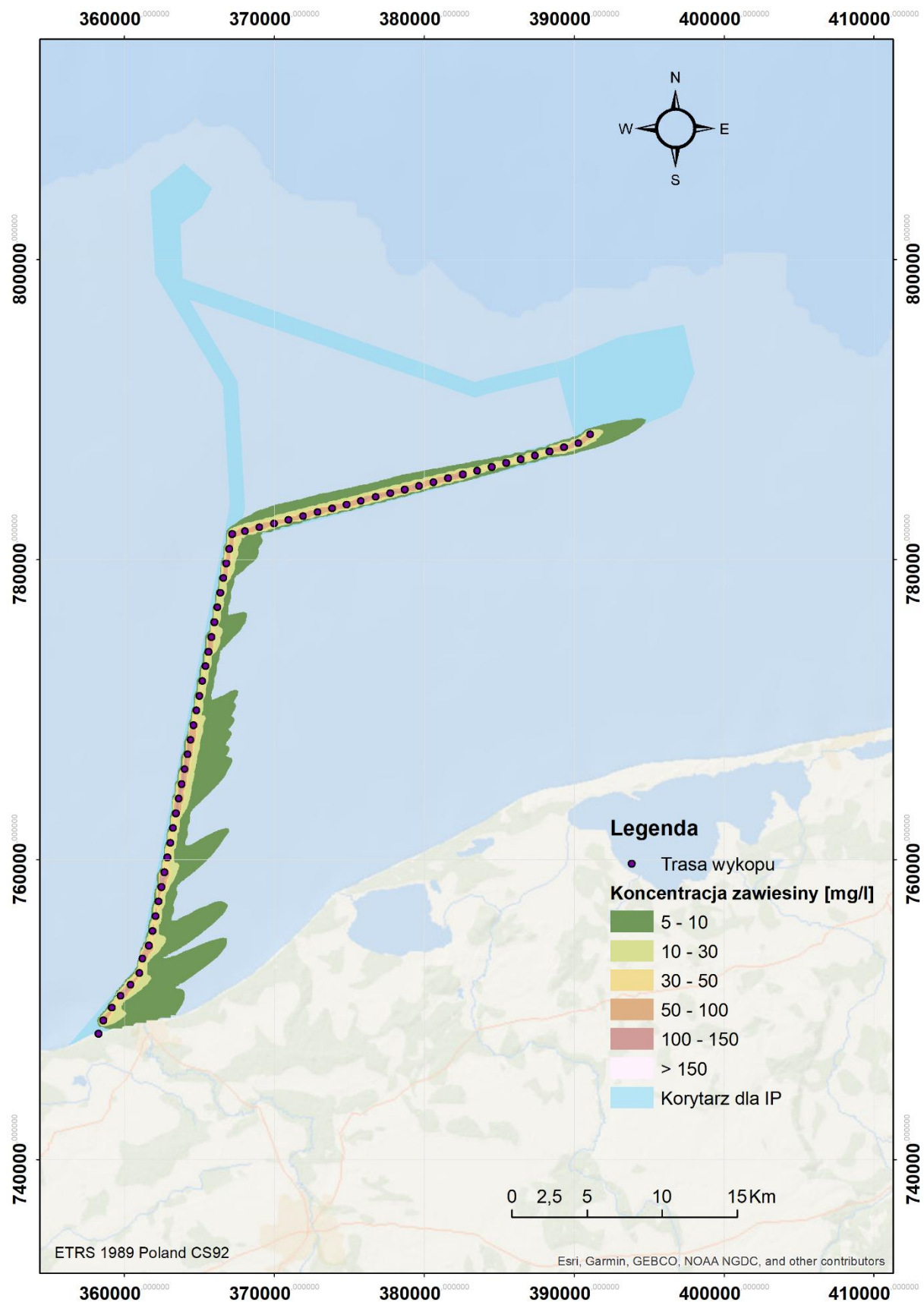
Rys. 40 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie przydennej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V200, wartość graniczna 5 mg/l



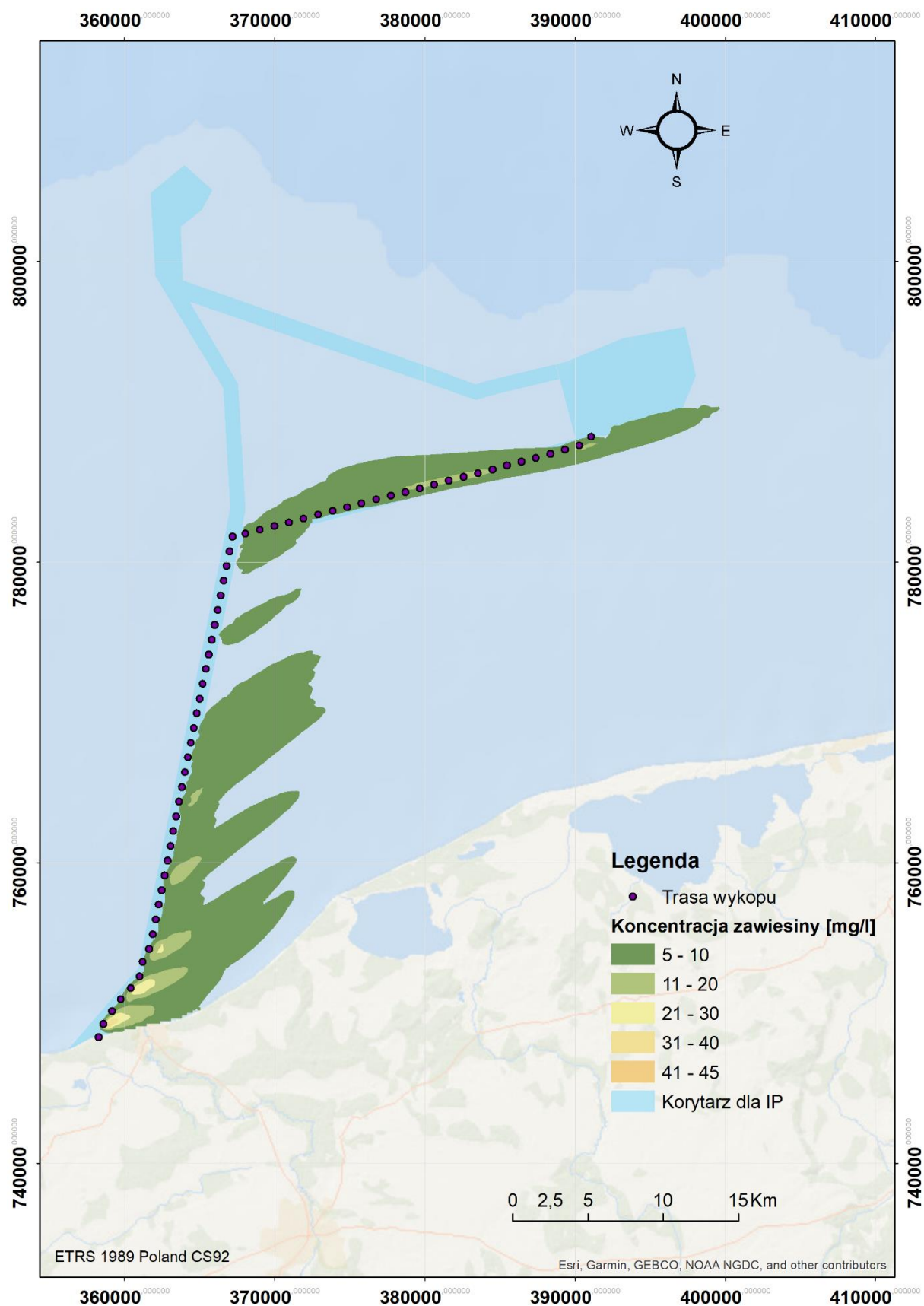
Rys. 41 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie powierzchniowej wyznaczone w każdym węzle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk III w przypadku scenariusza V100, wartość graniczna 5 mg/l



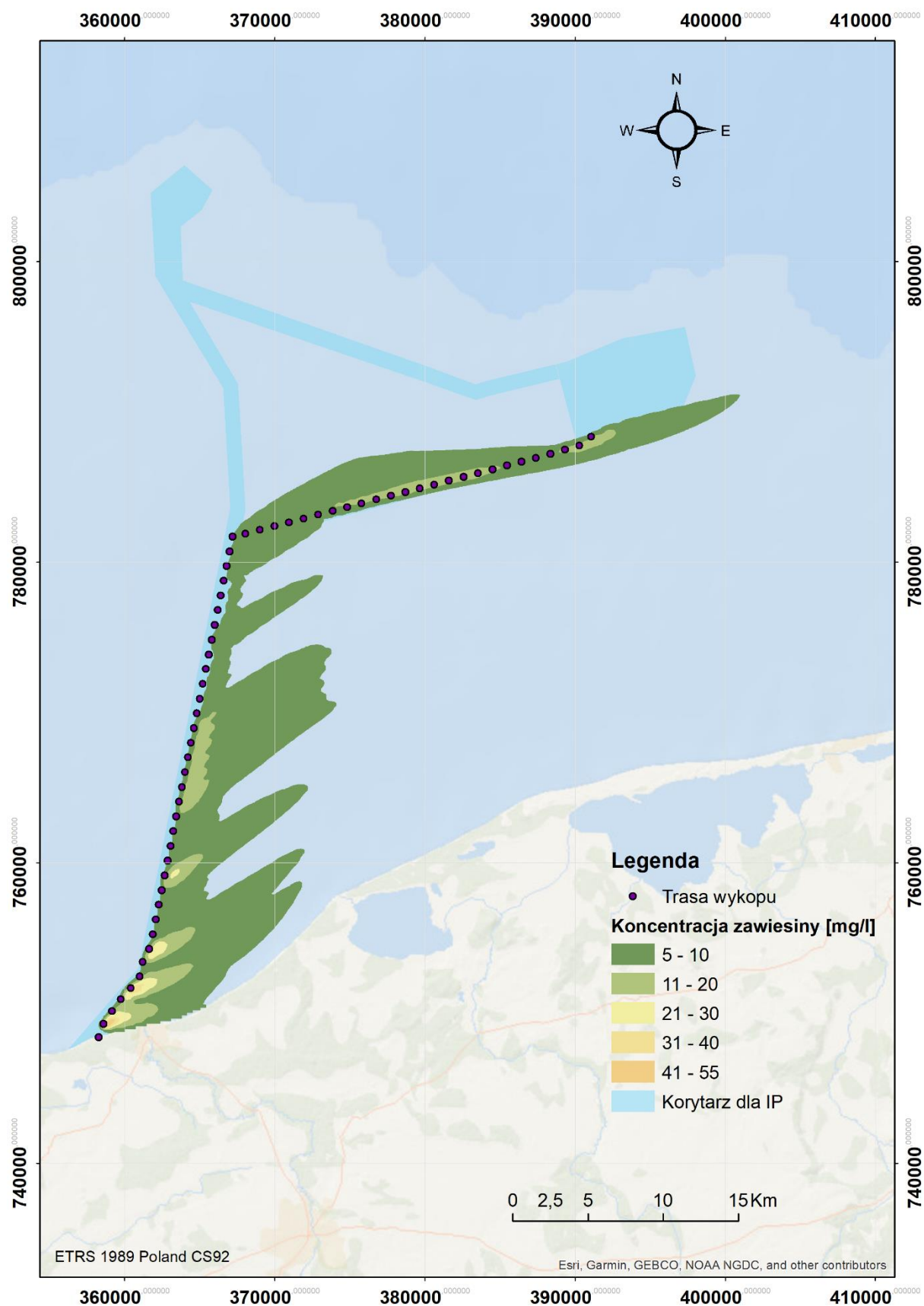
Rys. 42 Maksymalne koncentracje zawiesiny w toni wodnej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk III w przypadku scenariusza V100, wartość graniczna 5 mg/l



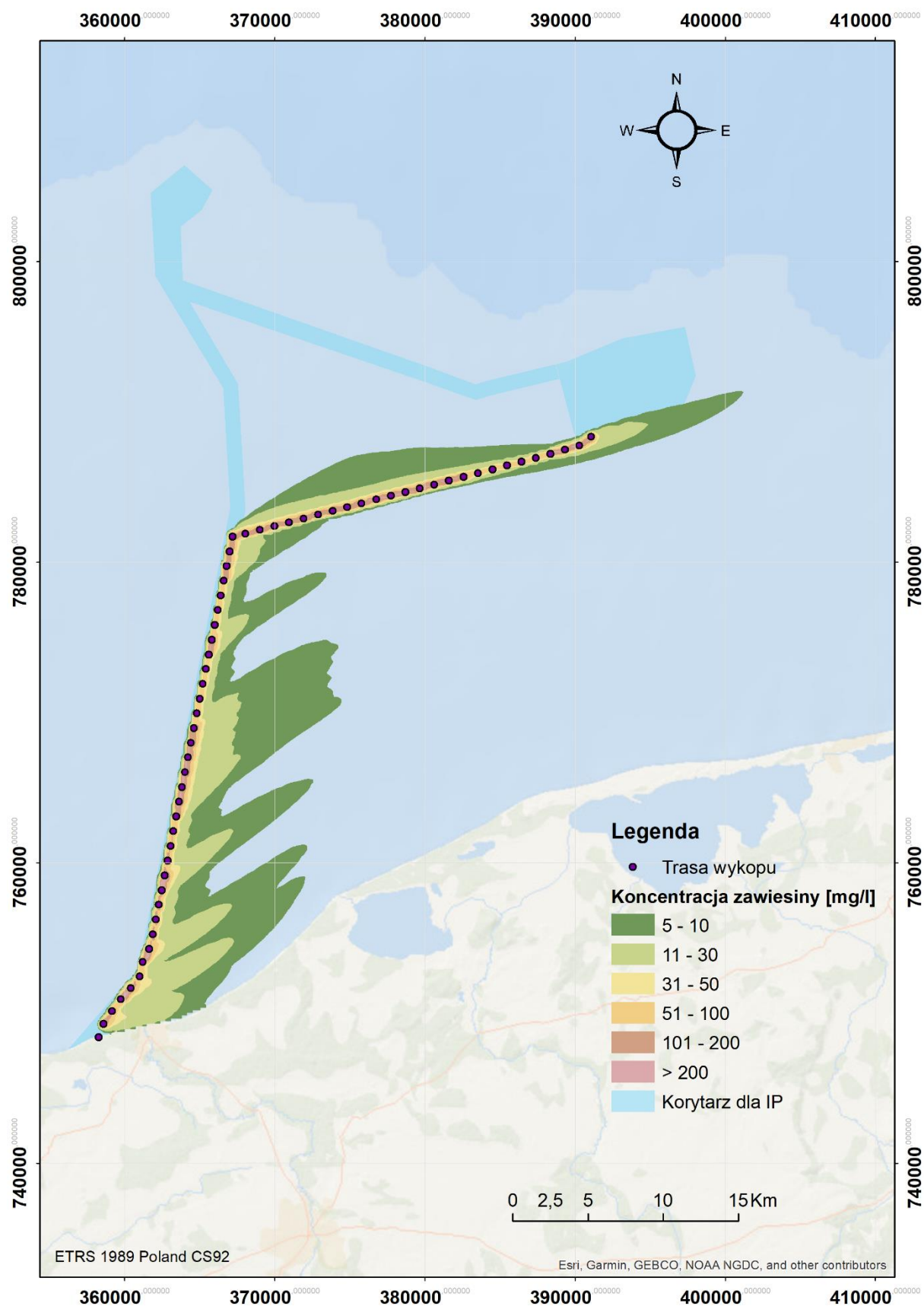
Rys. 43 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie przydennej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk III w przypadku scenariusza V100, wartość graniczna 5 mg/l



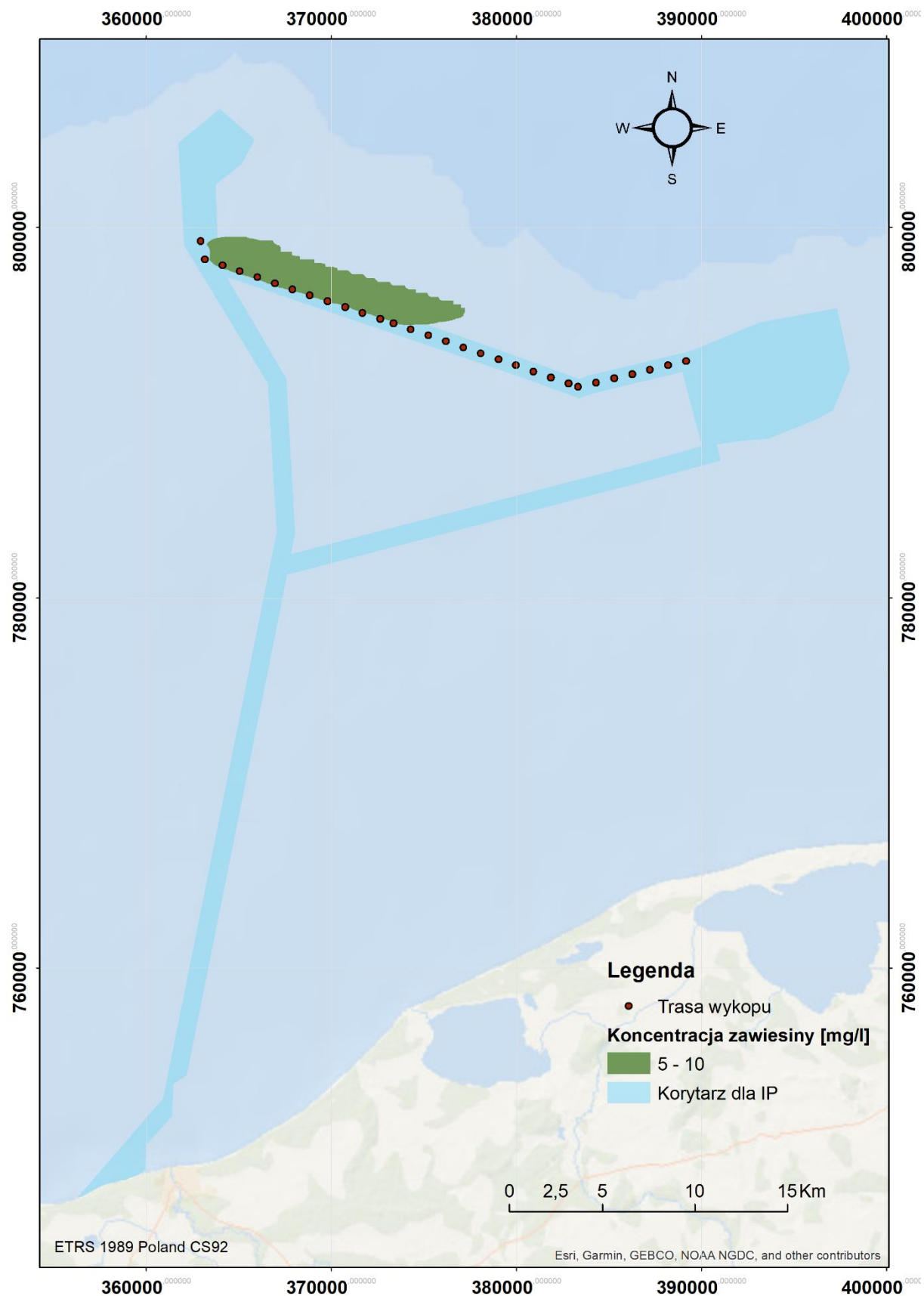
Rys. 44 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie powierzchniowej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk III w przypadku scenariusza V200, wartość graniczna 5 mg/l



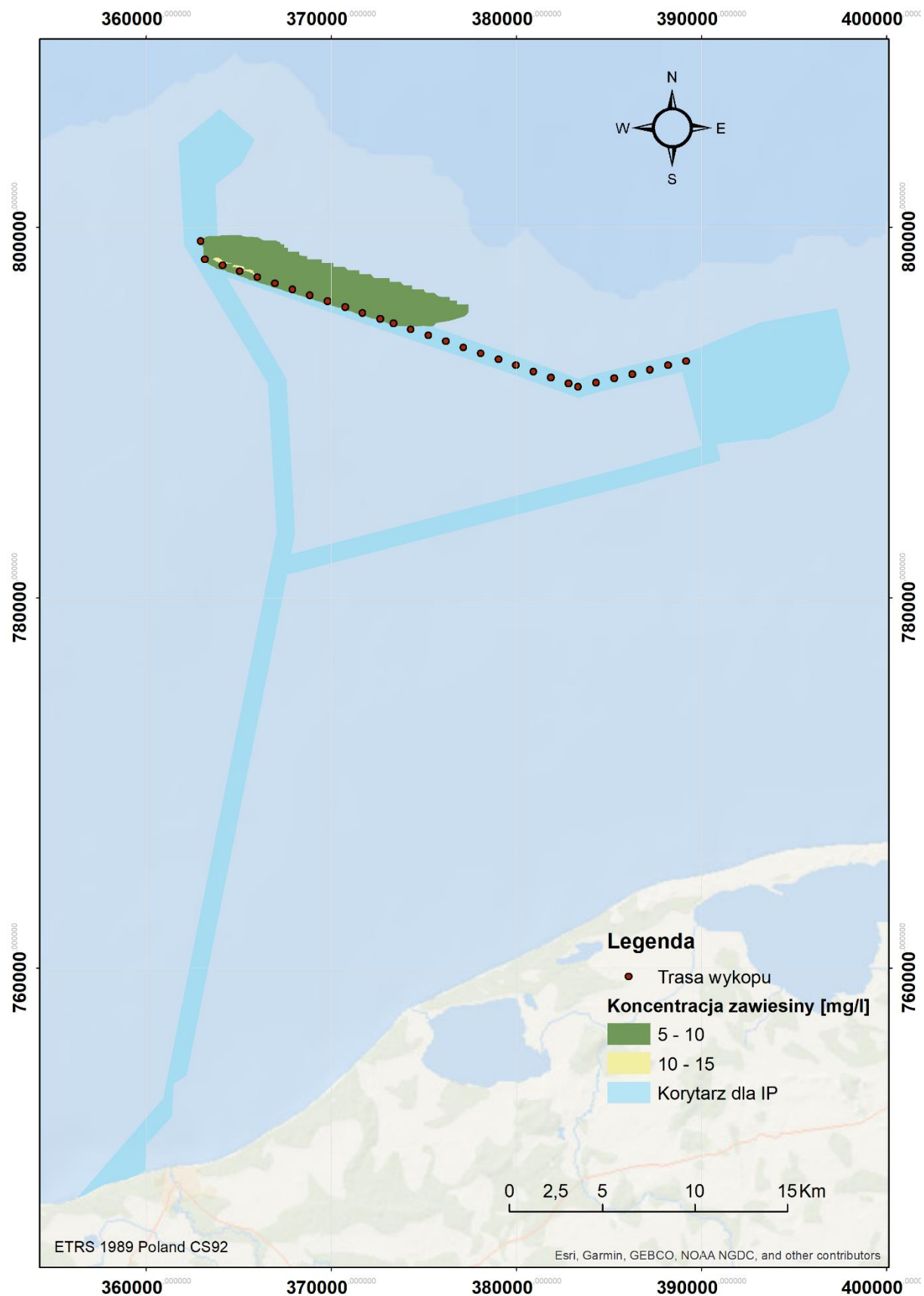
Rys. 45 Maksymalne koncentracje zawiesiny w toni wodnej wyznaczone w każdym węzle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk III w przypadku scenariusza V200, wartość graniczna 5 mg/l



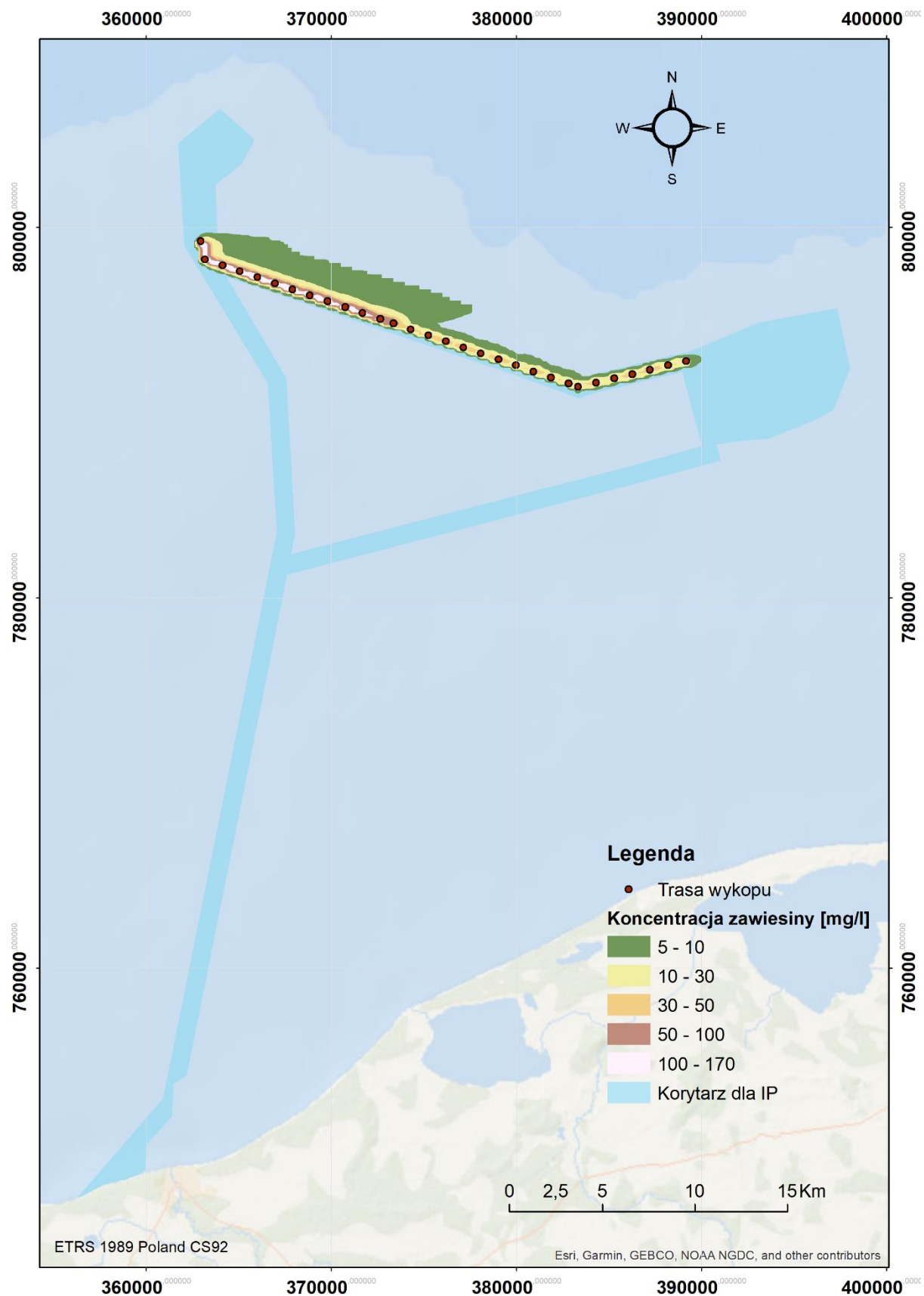
Rys. 46 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie przydennej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk III w przypadku scenariusza V200, wartość graniczna 5 mg/l



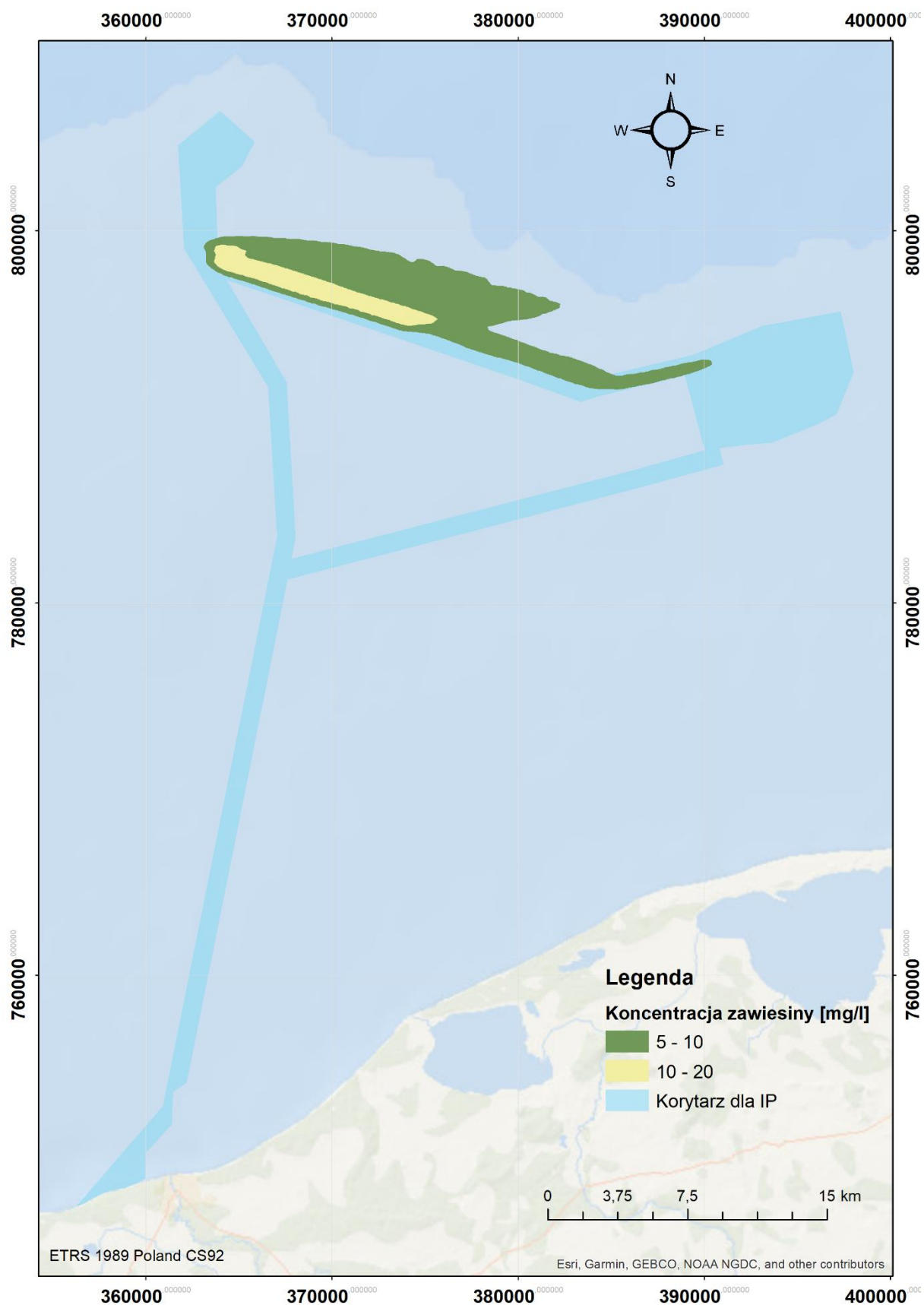
Rys. 47 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie powierzchniowej wyznaczone w każdym węzle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie łącznika w przypadku scenariusza V100, wartość graniczna 5 mg/l



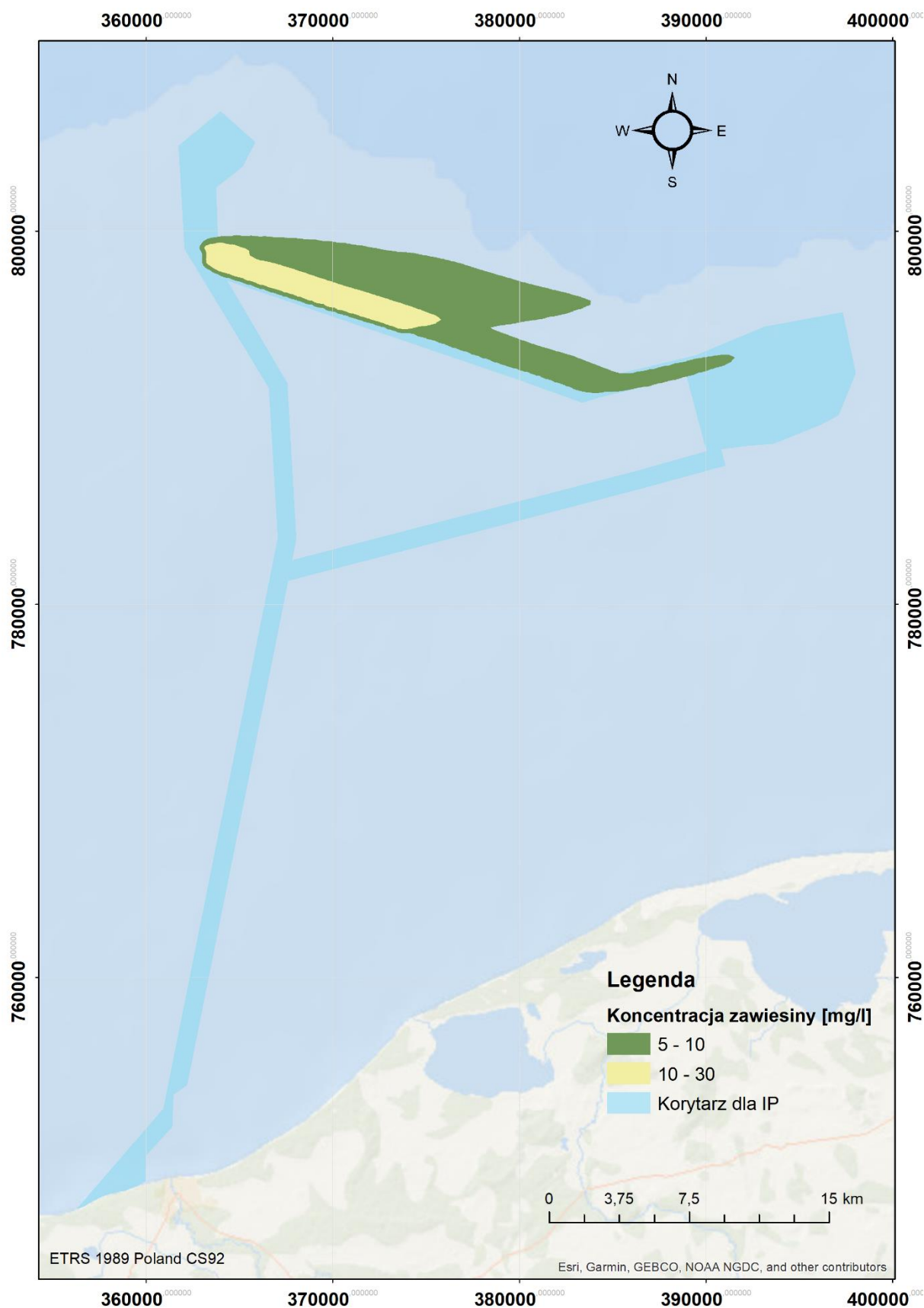
Rys. 48 Maksymalne koncentracje zawiesiny w toni wodnej wyznaczone w każdym węzle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie łącznika w przypadku scenariusza V100, wartość graniczna 5 mg/l



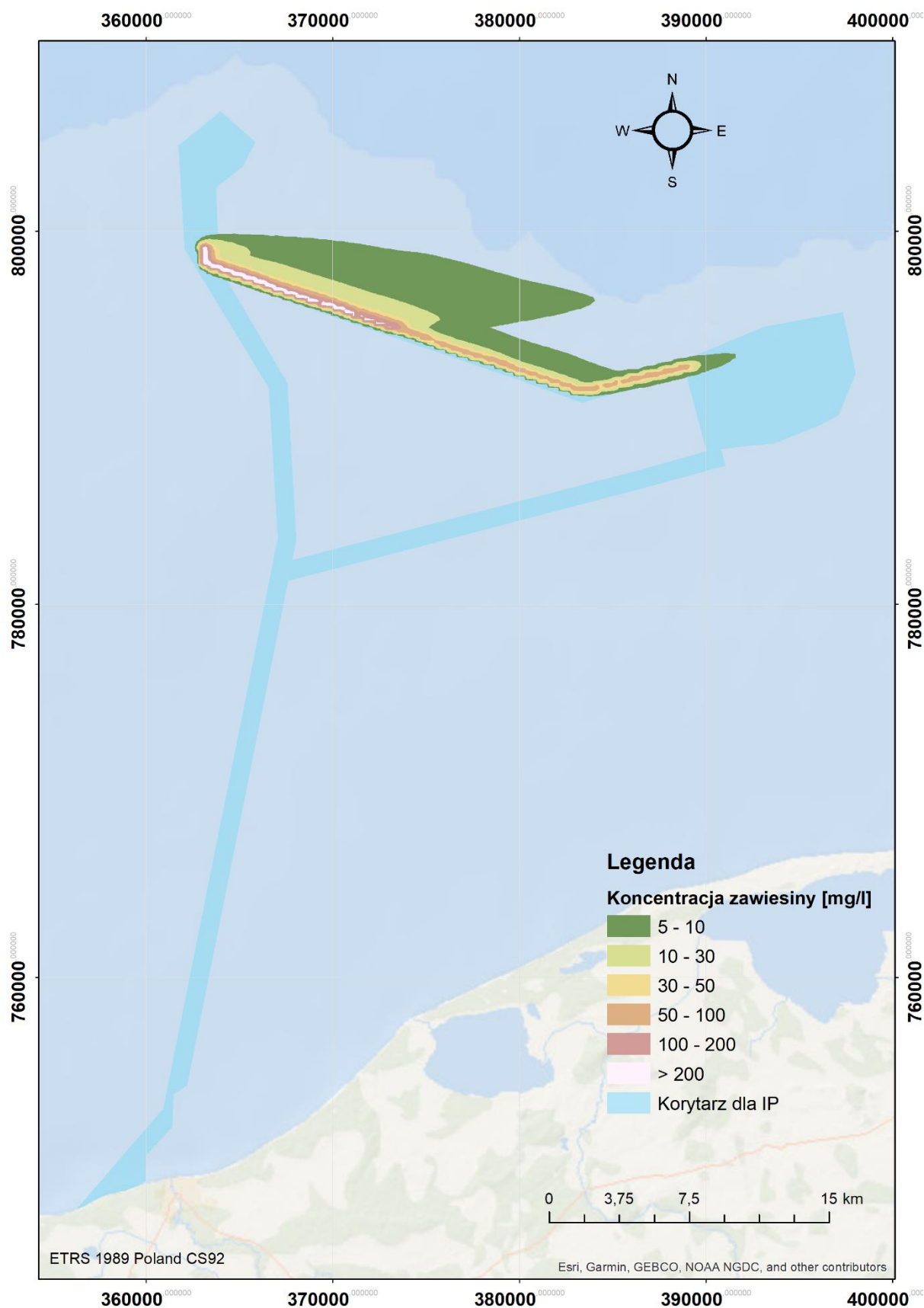
Rys. 49 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie przydennej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie łącznika w przypadku scenariusza V100, wartość graniczna 5 mg/l



Rys. 50 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie powierzchniowej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie łącznika w przypadku scenariusza V200, wartość graniczna 5 mg/l



Rys. 51 Maksymalne koncentracje zawiesiny w toni wodnej wyznaczone w każdym węzle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie łącznika w przypadku scenariusza V200, wartość graniczna 5 mg/l



Rys. 52 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie przydennej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie łącznika w przypadku scenariusza V200, wartość graniczna 5 mg/l