

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

Aneks

Grzegorz R. Cerkowniak, Rafał Ostrowski, Piotr Szmytkiewicz

Opracował		Sprawdził	
Grzegorz R. Cerkowniak	<i>Grzegorz R. Cerkowniak</i> <i>P. Ostrowski</i> <i>M</i>	Piotr Szmytkiewicz	<i>M</i>
Rafał Ostrowski		Zatwierdził	
Piotr Szmytkiewicz		Grzegorz R. Cerkowniak	<i>Grzegorz R. Cerkowniak</i>

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

Przedmiot zlecenia: Opracowanie modelowania rozptywu 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: 30.11.2022 r.

Kierownik pracy: dr inż. Grzegorz R. Cerkowniak

Autorzy: dr inż. Grzegorz R. Cerkowniak
prof. dr hab. inż. Rafał Ostrowski
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	6
1. Przedmiot i cel opracowania	7
2. Wstęp	7
3. Model numeryczny.....	9
3.1. Opis modelu.....	9
3.2. Budowa modelu.....	9
3.3. Założenia do symulacji.....	12
4. Wyniki obliczeń	14
5. Podsumowanie	30
Spis literatury	31
Załącznik – maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie powierzchniowej, w toni wodnej i w warstwie przydennej podczas zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariuszy V250, V350, V100 i V200	32

Spis rysunków

Rys. 1 Szkic siatki numerycznej zastosowanej w module WAVE.....	10
Rys. 2 Obszar obliczeniowy, szkic siatki numerycznej zastosowanej w module FLOW na tle korytarza dla IP morskich farm wiatrowych MFW Bałtyk II i MFW Bałtyk III oraz trasy wykopu do MFW Bałtyk II	11
Rys. 3 Szkic geometrii wykopu pod kabel energetyczny IP	13
Rys. 4 Mapa maksymalnych koncentracji zawiesiny w całej kolumnie wody występujących podczas całego procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V250	16
Rys. 5 Mapa maksymalnych koncentracji zawiesiny w całej kolumnie wody występujących podczas całego procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V350	17
Rys. 6 Mapa maksymalnych koncentracji zawiesiny w całej kolumnie wody występujących podczas całego procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V100	18
Rys. 7 Mapa maksymalnych koncentracji zawiesiny w całej kolumnie wody występujących podczas całego procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V200	19
Rys. 8 Łączny czas zmętnienia wody powstałego podczas całego procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V250	21
Rys. 9 Łączny czas zmętnienia wody powstałego podczas całego procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V350	22
Rys. 10 Łączny czas zmętnienia wody powstałego podczas całego procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V100	23
Rys. 11 Łączny czas zmętnienia wody powstałego podczas całego procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V200	24
Rys. 12 Miąższość warstwy osadów powstałej po całkowitej sedymentacji zawiesiny wprowadzonej do akwenu podczas zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V250.....	26
Rys. 13 Miąższość warstwy osadów powstałej po całkowitej sedymentacji zawiesiny wprowadzonej do akwenu podczas zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V350.....	27
Rys. 14 Miąższość warstwy osadów powstałej po całkowitej sedymentacji zawiesiny wprowadzonej do akwenu podczas zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V100.....	28
Rys. 15 Miąższość warstwy osadów powstałej po całkowitej sedymentacji zawiesiny wprowadzonej do akwenu podczas zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V200.....	29
Rys. 16 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie powierzchniowej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V250, wartość graniczna 5 mg/l	33
Rys. 17 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie powierzchniowej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V350, wartość graniczna 5 mg/l	34
Rys. 18 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	35
Rys. 19 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	36

Rys. 20 Maksymalne koncentracje zawiesiny w toni wodnej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V250, wartość graniczna 5 mg/l	37
Rys. 21 Maksymalne koncentracje zawiesiny w toni wodnej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V350, wartość graniczna 5 mg/l	38
Rys. 22 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	39
Rys. 23 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	40
Rys. 24 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie przydennej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V250, wartość graniczna 5 mg/l	41
Rys. 25 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie przydennej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V350, wartość graniczna 5 mg/l	42
Rys. 26 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	43
Rys. 27 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	44

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. Przedmiot i cel opracowania

Opracowanie sporządzono na zamówienie firmy EKO-KONSULT Sp. z o.o. zgodnie ze zleceniem nr 582.22/IBWPAN/11/2022 z dnia 30 listopada 2022 r. Opracowanie stanowi Aneks do opracowania pt. „Modelowanie rozprzestrzeniania się zawiesziny podczas układania kabla podmorskiego do morskich farm wiatrowych MFW Bałtyk II i MFW Bałtyk III” wykonanego przez IBW PAN w sierpniu 2022 r. na zamówienie firmy EKO-KONSULT Sp. z o.o. zgodnie ze zleceniem nr 582.22/IBWPAN/2022 z dnia 24 czerwca 2022 r. Przedmiotem niniejszego opracowania jest interpretacja, w jaki sposób zmiana danych wejściowych wpłynie na zakres rozprzestrzeniania się zawiesziny, a więc w jakim zakresie zmieniłyby się wcześniejsze wnioski, gdyby warunki prowadzenia robót uległy modyfikacji.

Celem prezentowanego opracowania jest przede wszystkim wskazanie, czy zmiana parametrów wejściowych nie spowoduje zwiększenia zasięgu oddziaływania zawiesziny. Opracowanie posłuży 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.

2. Wstęp

W toku postępującego procesu inwestycyjnego weryfikowane są założenia projektowe oraz technologia układania kabli na dnie morskim. W przypadku IP morskich farm wiatrowych MFW Bałtyk II i MFW Bałtyk III przyjęto początkowo do modelowania konserwatywne założenia, aby ocenić maksymalny możliwy zasięg rozprzestrzeniania się zawiesziny w toni wodnej w wyniku układania kabli metodą jettingu z prędkością 100 m/h i 200 m/h.

Następnie dane były weryfikowane przez dział techniczny i dział zakupowy Zamawiającego. W konsekwencji ograniczono pierwotne założenia dotyczące ingerencji w dno morskie, w tym w szczególności zredukowano głębokość posadowienia kabla z 3 m do 1,5 m na większości trasy. Dokonano również weryfikacji założeń dotyczących przyjętej ilości urobku, jaka przejdzie do toni wodnej w trakcie prac budowlanych, w podziale na podłoże kohezyjne i niekohezyjne. Przyjęto zgodnie z danymi literaturowymi (Foreman 2002, HDR 2014a, HDR 2014b) wartość 10 % urobku dla gruntów niekohezyjnych (piaski) oraz 35% dla gruntów kohezyjnych (gliny, muły, ropy). Ponadto w związku z dostępnymi technologiami na rynku konieczne jest przyjęcie większej prędkości układania kabla w dnie morskim. Porównanie konserwatywnych, teoretycznych danych poprzednio wykorzystanych do modelowania rozprzestrzeniania się zawiesziny podczas układania kabla IP z danymi, które uległy doprecyzowaniu w toku prac projektowych prezentuje Tab. 1.

Nadrzędnym celem wykonanych prac jest wskazanie najbardziej niekorzystnego scenariusza w zakresie oddziaływania na środowisko. W związku z powyższym pojawia się pytanie, czy zmiana parametrów wejściowych nie spowoduje zwiększenia się zasięgu oddziaływania zawiesziny. Uzyskanie odpowiedzi wymaga przeprowadzenia ponownego modelowania rozprzestrzeniania się zawiesziny na podstawie zmienionych parametrów wejściowych. Zatem dla potrzeb niniejszego opracowania wykonano ponowne obliczenia rozprzestrzeniania się zawiesziny na wybranej trasie wykopu do MFW Bałtyk II w celu zweryfikowania, jak zmiana parametrów wejściowych do modelowania może wpłynąć na wyniki obliczeń rozprzestrzeniania się zawiesziny.

Tab. 1 Parametry planowanego Przedsięwzięcia – dla technologii jetting, które uległy zmianie w stosunku do danych wejściowych do modelowania wykonanego na potrzeby opracowania „Modelowanie rozprzysygu zawiesziny podczas układania kabla podmorskiego do morskich farm wiatrowych MFW Bałtyk II i MFW Bałtyk III”

Parametr	Parametry przyjęte do modelowania 08 2022	Parametry przyjęte w Aneksie 01 2023 r.
Głębokość wykopu	3 m – dla większości trasy	1,5 m – dla większości trasy 2,5 m – dla kanału żeglugowego TSS ławica Słupska (odcinek o długości ok. 9 km)
Szerokość wykopu na powierzchni dna	1,5 m	Dla głębokości 1,5 m: 1 m Dla głębokości 2,5 m: 1,5 m
Szerokość podstawy wykopu	0,25 m	Dla głębokości 1,5 m: 0,5 m Dla głębokości 2,5 m: 0,5 m
Kubatura wykopu	Dla głębokości 3 m: 2,6 m³/m b.	Dla głębokości 1,5 m: 1,12 m³/m b. Dla głębokości 2,5 m: 2,5 m³/m b.
Prędkość układania kabli	Min. 100 m/h Max. 200 m/h	Min. 250 m/h Max. 350 m/h
Ilość urobku jaka przejdzie do toni wodnej w trakcie prac budowlanych	Podłoże kohezyjne – 50% Podłoże niekohezyjne – 20%	Podłoże kohezyjne – 35% Podłoże niekohezyjne – 10%

Wartości przedstawione w Tab. 1 oznaczają, że projektowane przez Zamawiającego modyfikacje z jednej strony miałyby polegać na znacznym zmniejszeniu wymiarów podwodnego liniowego wykopu, co skutkowałoby redukcją kubatury prac czerpalnych i w konsekwencji zmniejszeniem dopływu rumowiska wprowadzanego w stan zawieszenia. Efekt ten jest dodatkowo wzmocniony poprzez obniżenie spodziewanego odsetka ilości urobku, jaki przejdzie do toni wodnej w trakcie robót. Z drugiej zaś strony modyfikacje zakładają istotne zwiększenie prędkości wykonywania wykopu - wariantowo do 250 m/h i 350 m/h, co z kolei w oczywisty sposób podnosi kubaturę gruntów wprowadzanych w stan zawieszenia w jednostce czasu.

Z uwagi na fakt, że zależność wyników obliczeń teoretycznych od wartości danych wejściowych zmienia się nieliniowo (o czym stanowi nieliniowy charakter procesu adwekcji-dyfuzji), konieczne jest przeprowadzenia nowych serii modelowania matematycznego.

3. Model numeryczny

3.1. Opis modelu

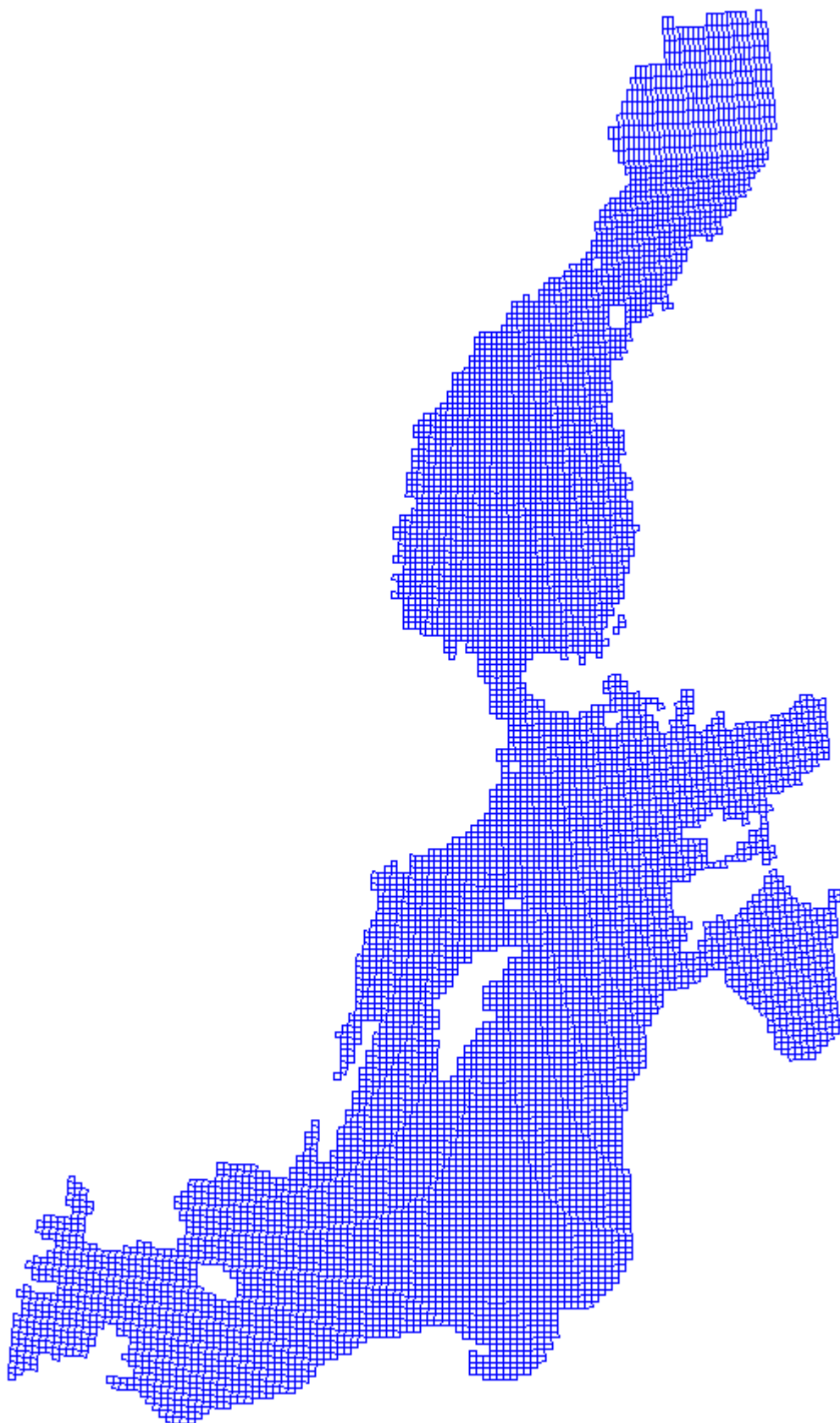
Całość obliczeń pól prądowych i rozprzestrzeniania się drobnoklastycznej zawiesiny w morzu zrealizowano z wykorzystaniem pakietu numerycznego *Delft3D*. Program ten jest złożony z kilkunastu modułów numerycznych przeznaczonych do obliczeń przepływów, falowania, transportu osadów, przebudowy dna morskiego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

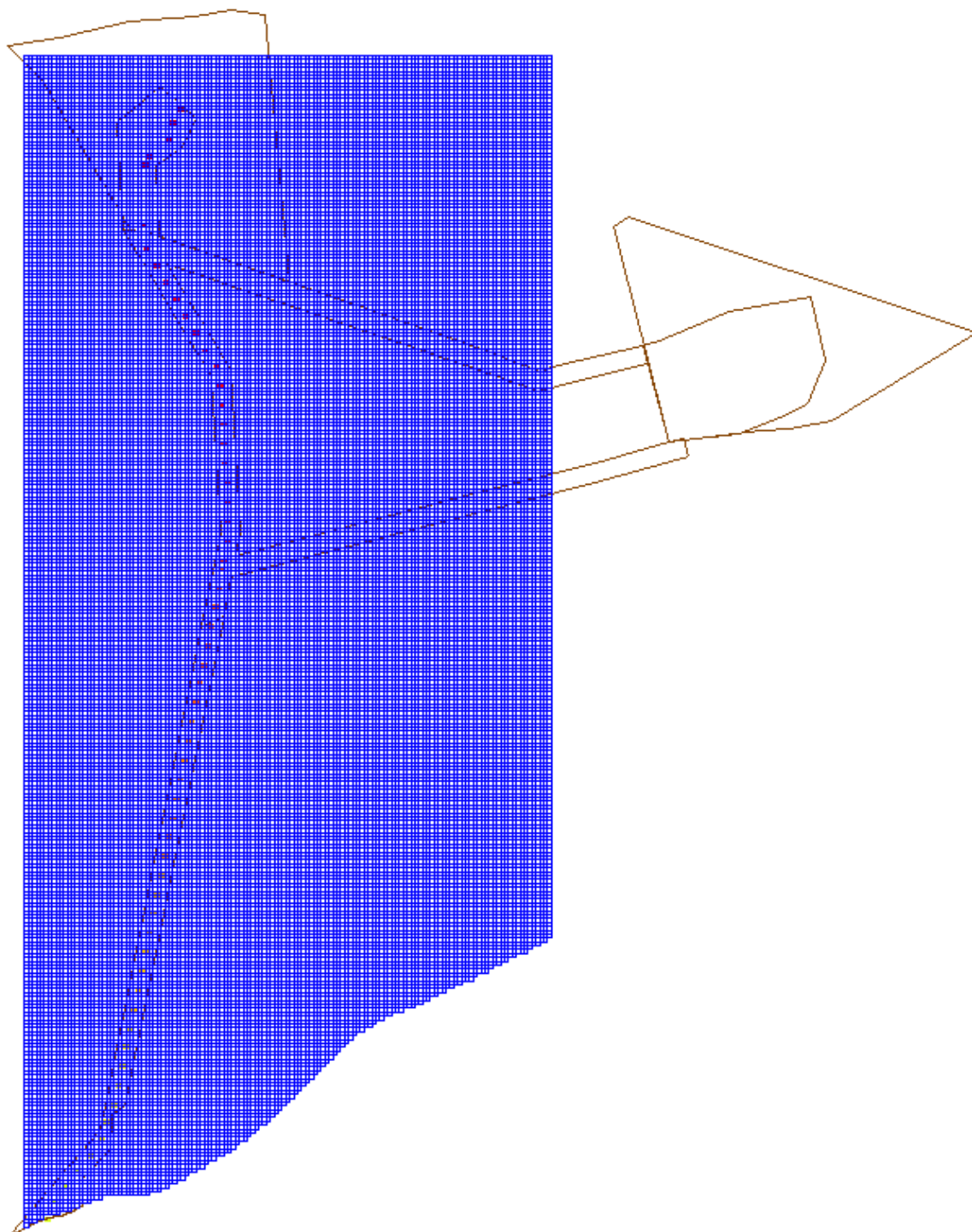
3.2. Budowa modelu

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. 1). Zastosowane podejście wykorzystuje fakt, że Morze Bałtyckie jest morzem zamkniętym z wąskim i płytkim połączeniem z Morzem Północnym poprzez Cieśniny Duńskie. Powoduje to, 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 związku z otrzymaniem od Zamawiającego zmienionych parametrów trasy wykopu (dłuższa trasa, kończąca się w obszarze MFW Bałtyk II) oraz z powodu zawężenia modelowania matematycznego jedynie do wykopu na trasie do MFW Bałtyk II zmieniono obszar obliczeniowy w przypadku modułu FLOW względem zastosowanego na potrzeby opracowania IBW PAN z sierpnia 2022 r. Obszar przyjęty do aktualnych obliczeń rozciąga się na dystansie 27 km w kierunku E i 60 km w kierunku N. Rozdzielczość siatki numerycznej nie uległa zmianie względem wcześniejszych obliczeń i ma wymiary 200 m x 200 m (Rys. 2). Pozostałe ustawienia modelu również pozostały niezmienione.



Rys. 1 Szkic siatki numerycznej zastosowanej w module WAVE



Rys. 2 Obszar obliczeniowy, szkic siatki numerycznej zastosowanej w module FLOW na tle korytarza dla IP morskich farm wiatrowych MFW Bałtyk II i MFW Bałtyk III oraz trasy wykopu do MFW Bałtyk II

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

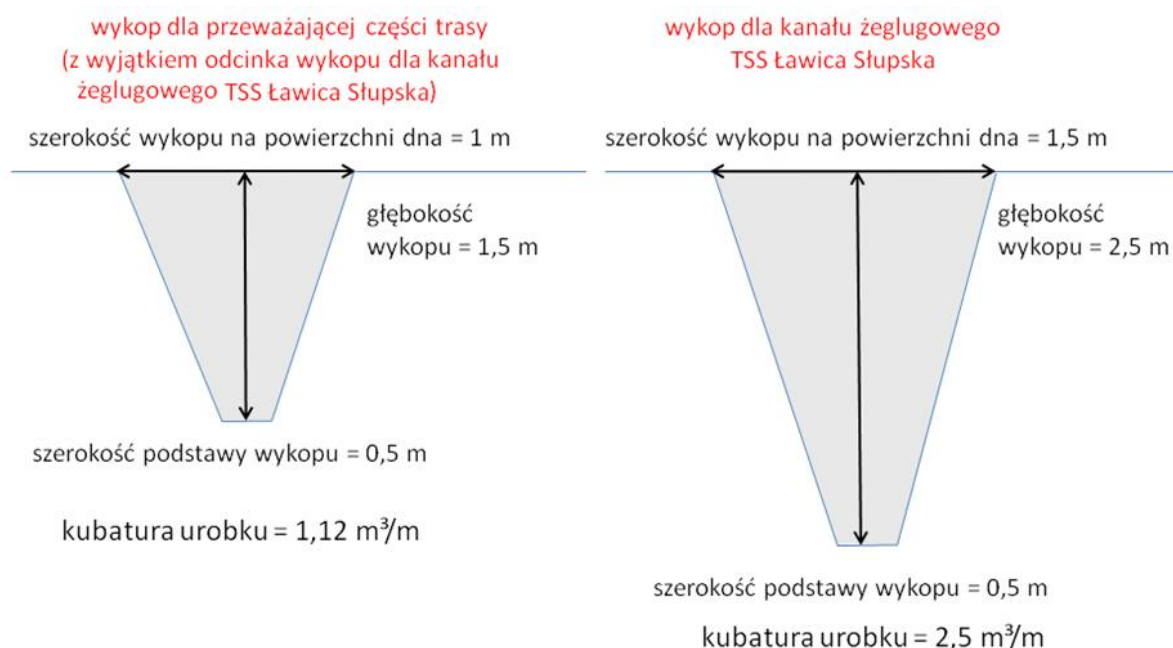
swobodnej do dna (10 warstw): 4,0%; 5,8%; 8,6%; 12,8%; 18,8%; 18,8%; 12,8%; 8,6%; 5,8%; 4,0%. Oznacza to, że warstwa powierzchniowa ma miąższość 4% całej głębokości w danym punkcie itd.

3.3. Założenia do symulacji

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). 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. W granicach korytarza 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.

Otrzymano od Zamawiającego zmienioną specyfikację wykopu pod kabel energetyczny IP, z której wynika, że w przekroju poprzecznym będzie on miał kształt trapezu (Rys. 3, Tab. 1). Jego wymiary nie będą stałe na całej długości trasy. Głębokość wykopu wyniesie 2,5 m na odcinku o długości ok. 9 km na trasie TSS Ławica Słupska oraz 1,5 m w pozostałej części korytarza dla IP. Szerokość wykopu na powierzchni dna wyniesie 1,5 m na odcinku zlokalizowanym na trasie TSS Ławica Słupska oraz 1 m w pozostałej części, natomiast szerokości wykopu u jego podstawy będą stałe i równe 0,5 m. W konsekwencji na trasie TSS Ławica Słupska kubatura urobku wyniesie $2,5 \text{ m}^3/\text{m}$ b. wykopu, zaś w pozostałym obszarze będzie to $1,12 \text{ m}^3/\text{m}$ b. wykopu.



Rys. 3 Szkic geometrii wykopu pod kabel energetyczny IP

Według informacji przekazanych przez Zamawiającego zagłębianie kabli energetycznych odbywać się będzie z wykorzystaniem techniki rozmywania „jetting”; dopuszcza się również metody mechanicznego cięcia i płużenia. Metoda jettingu, która wprowadza w toń wodną największe ilości materiału osadowego (w stosunku do metody cięcia i płużenia), 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 10-35% kubatury urobku (Tab. 1). 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.

Zmienione parametry wejściowe do modelowania przedstawione zbiorczo w Tab. 1 dotyczą procesu zagłębiania kabla energetycznego i wynikającego stąd dopływu zawiesiny do toni wodnej. Na skutek zmiany tych danych, tj. zmiany geometrii wykopu, prędkości zagłębiania kabla w dnie morskim i ilości osadów, jaka może przejść w trakcie prac do toni wodnej, przeliczono na nowo wielkości dopływu zawiesiny symulowanego jako ruchome źródło mieszaniny wodnogruntowej przemieszczające się środkiem korytarza dla IP w kierunku odbiegowym.

Zgodnie z ustaleniami z Zamawiającym wykonano modelowanie rozptyłu zawiesiny dla dwóch scenariuszy prędkości zagłębiania kabla w dnie. W scenariuszu V250 przyjęto prędkość robót równą 250 m/h, natomiast w scenariuszu V350 założono, że prace będą prowadzone z prędkością 350 m/h. Kampania instalacyjna dla jednego kabla uwzględniająca przygotowanie dna, ułożenie kabla i jego

zakopanie będzie trwała ok. 35 dni. Na potrzeby modelowania, wzięto pod uwagę wyłącznie sam proces zakopywania kabla, którego czas trwania przy założeniu prędkości 250 m kabla na godzinę wyniesie ok. 10 dni, natomiast przy prędkości 350 m kabla na godzinę ok. 7 dni. Podane wartości wynikają bezpośrednio z długości trasy wykopu i teoretycznej prędkości zagłębiania kabla. 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 rozprzestrzeniania zawiesiny dla procesu zagłębiania pojedynczego kabla energetycznego.

4. Wyniki obliczeń

Przeprowadzono symulacje numeryczne procesów litodynamicznych wywołanych wprowadzaniem w sposób ciągły do toni wodnej osadów dennych podczas procesu zagłębiania kabla elektroenergetycznego w dnie morskim. W wyniku obliczeń otrzymano przestrzenne (trójwymiarowe) rozkłady chwilowych koncentracji zawiesiny drobnoklastycznej w obszarze badań. Podczas zagłębiania kabli w dnie źródło zawiesiny jest ruchome i przemieszcza się z prędkością zależną od rozważanego scenariusza. Osady przedostające się do toni wodnej ulegają następnie przemieszczaniu wraz z masami wody (adwekcja i konwekcja), na skutek sił grawitacji (sedymencja) oraz dyfuzji (przemieszczanie się substancji z ośrodka o większej koncentracji do ośrodka o mniejszej koncentracji). Z uwagi na założenie mobilnego źródła rumowiska pełna prezentacja wyników obliczeń rozprzestrzeniania się zawiesiny jest możliwa jedynie w formie animacji.

W celu ustalenia, jaki wpływ ma zmiana parametrów wejściowych do modelowania na wcześniej uzyskane wyniki i czy nie spowoduje zwiększenia zasięgu oddziaływania zawiesiny, zestawiono ze sobą rezultaty obliczeń dla scenariuszy V250 i V350 z poprzednio uzyskanymi wynikami obliczeń dla scenariuszy V100 i V200 na trasie wykopu do MFW Bałtyk II.

Na Rys. 4 – Rys. 7 przedstawiono mapy ilustrujące wartości maksymalnego zmętnienia w całej kolumnie wody występujące podczas zagłębiania kabla energetycznego w dnie na trasie do MFW Bałtyk II odpowiednio dla scenariuszy V250, V350, V100 i V200. Należy wyraźnie zaznaczyć, że prezentowane na tych mapach treści nie odzwierciedlają wartości koncentracji zawiesiny w jednym momencie czasu, lecz pokazują łączne maksymalne zasięgi zmętnienia wody podczas całego procesu układania kabla w dnie.

W zależności od właściwości osadów dennych oraz wielkości dopływu rumowiska maksymalny zasięg zmętnienia wody wynosi od ok. 500 m do ok. 9 km, przy czym przeważnie stężenie zawiesiny nie przekracza 10 mg/l. Zasięg zmętnienia wody o stężeniu wynoszącym ponad 30 mg/l nie przekracza ok. 700 m w przypadku scenariusza V350. W przypadku scenariusza V250 zasięg ten jest nieznacznie mniejszy i nie przekracza ok. 650 m. W przypadku zagłębiania kabla w dnie zbudowanym z osadów o dużej zawartości frakcji drobnych zasięg zmętnienia jest większy niż w przypadku osadów piaszczystych.

W przypadku zagłębiania kabla z prędkością 250 m/h (V250, Rys. 4) w dnie zbudowanym przeważnie z osadów piaszczystych koncentracja zawiesiny nie powinna przekroczyć 30 mg/l, zaś zasięg zmętnienia wynosi od ok. 500 m do ok. 950 m. Przy czym większe wartości otrzymano w obrębie trasy TSS Ławica Słupska. Poza nią zasięg zmętnienia nie przekracza ok. 700 m. Natomiast w przypadku prowadzenia robót z prędkością 350 m/h (V350, Rys. 5) w dnie piaszczystym

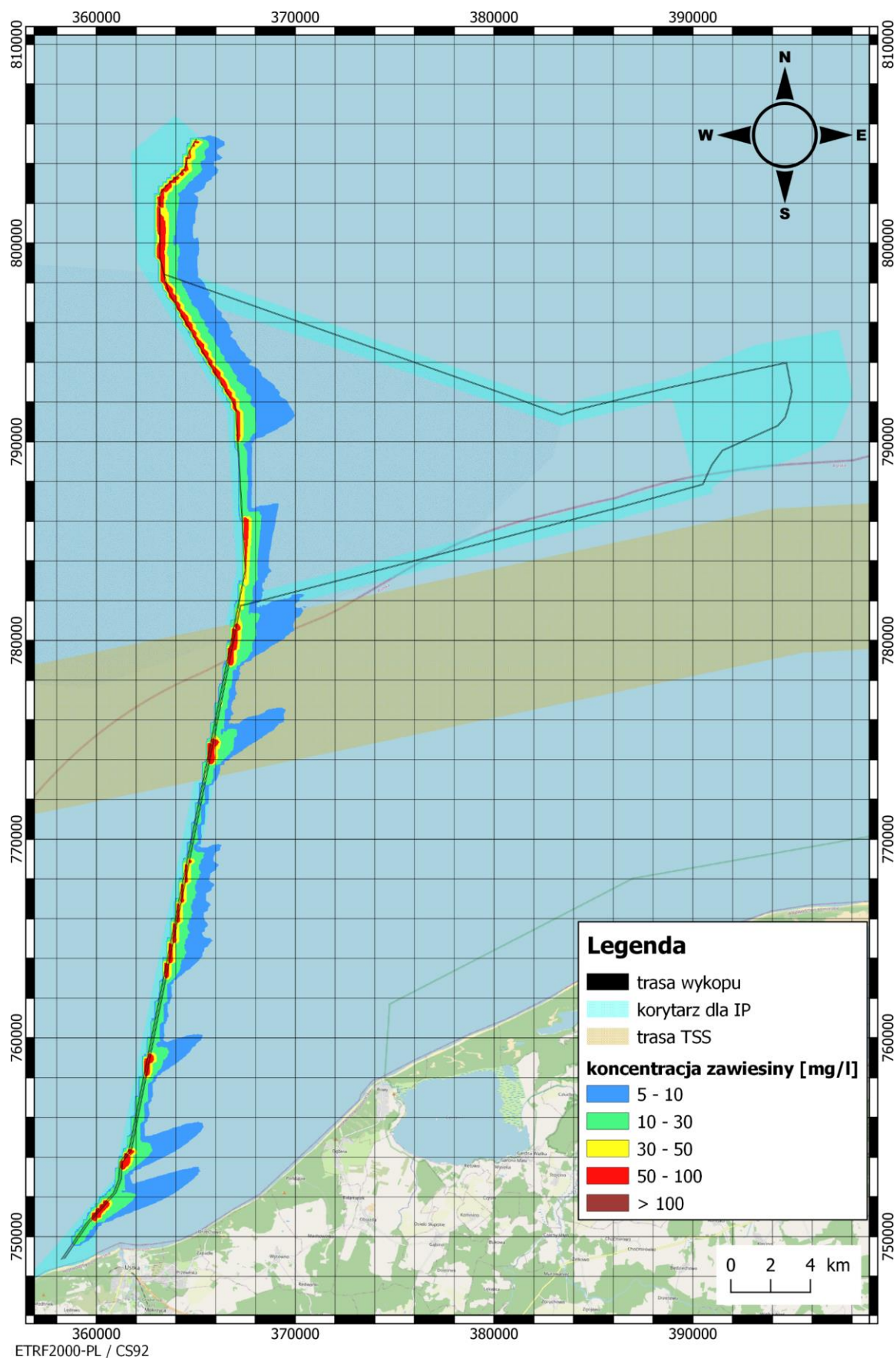
koncentracja zawiesiny przekracza 30 mg/l jedynie w bezpośrednim sąsiedztwie wykopu. Zasięg zmętnienia wynosi w tym przypadku od ok. 600 m do ok. 1200 m. Większe wartości otrzymano w obrębie trasy TSS Ławica Słupska, zaś poza nią zasięg zmętnienia nie przekracza ok. 1000 m.

W przypadku zagłębiania kabla z prędkością 250 m/h (V250, Rys. 4) w dnie zbudowanym z osadów kohezyjnych zasięg zmętnienia wynosi od ok. 1,5 km do ok. 6 km. Największe zasięgi otrzymano w pobliżu brzegu morskiego ze względu na najmniejsze głębokości w tym obszarze. W obrębie trasy TSS Ławica Słupska zasięg zmętnienia wynosi ok 4,5 km. Natomiast w przypadku prowadzenia robót z prędkością 350 m/h (V350, Rys. 5) w dnie kohezyjnym zasięg zmętnienia wynosi od ok. 3 km do ok. 9 km. Największe zasięgi otrzymano w pobliżu brzegu morskiego, zaś w obrębie trasy TSS Ławica Słupska, zasięg zmętnienia dochodzi do wartości ok. 8,5 km.

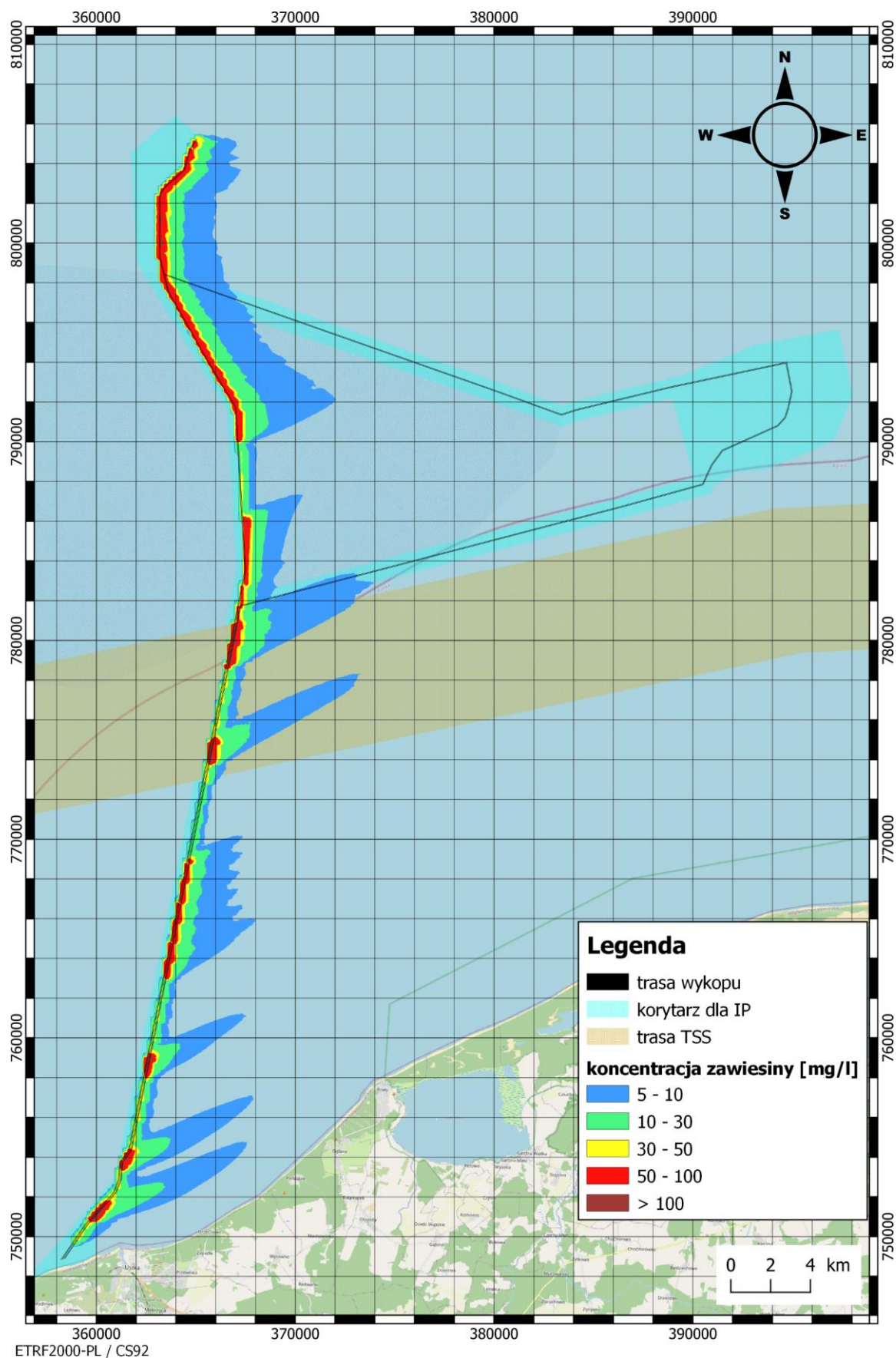
Otrzymane zasięgi zmętnienia wody dla scenariuszy V250 i V350 są znacznie mniejsze niż w przypadku scenariusza V200 (Rys. 7) analizowanego w opracowaniu IBW PAN z sierpnia 2022 r. Jedynie w przypadku prowadzenia robót z prędkością 350 m/h (V350, Rys. 5) w dnie kohezyjnym w obrębie trasy TSS Ławica Słupska otrzymano zbliżony zasięg zmętnienia jak w scenariuszu V200.

Ponadto otrzymane zasięgi zmętnienia wody dla scenariusza V250 są mniejsze, zaś w przypadku scenariusza V350 są zbliżone do wartości otrzymanych w przypadku scenariusza V100 (Rys. 6) analizowanego w opracowaniu IBW PAN z sierpnia 2022 r.

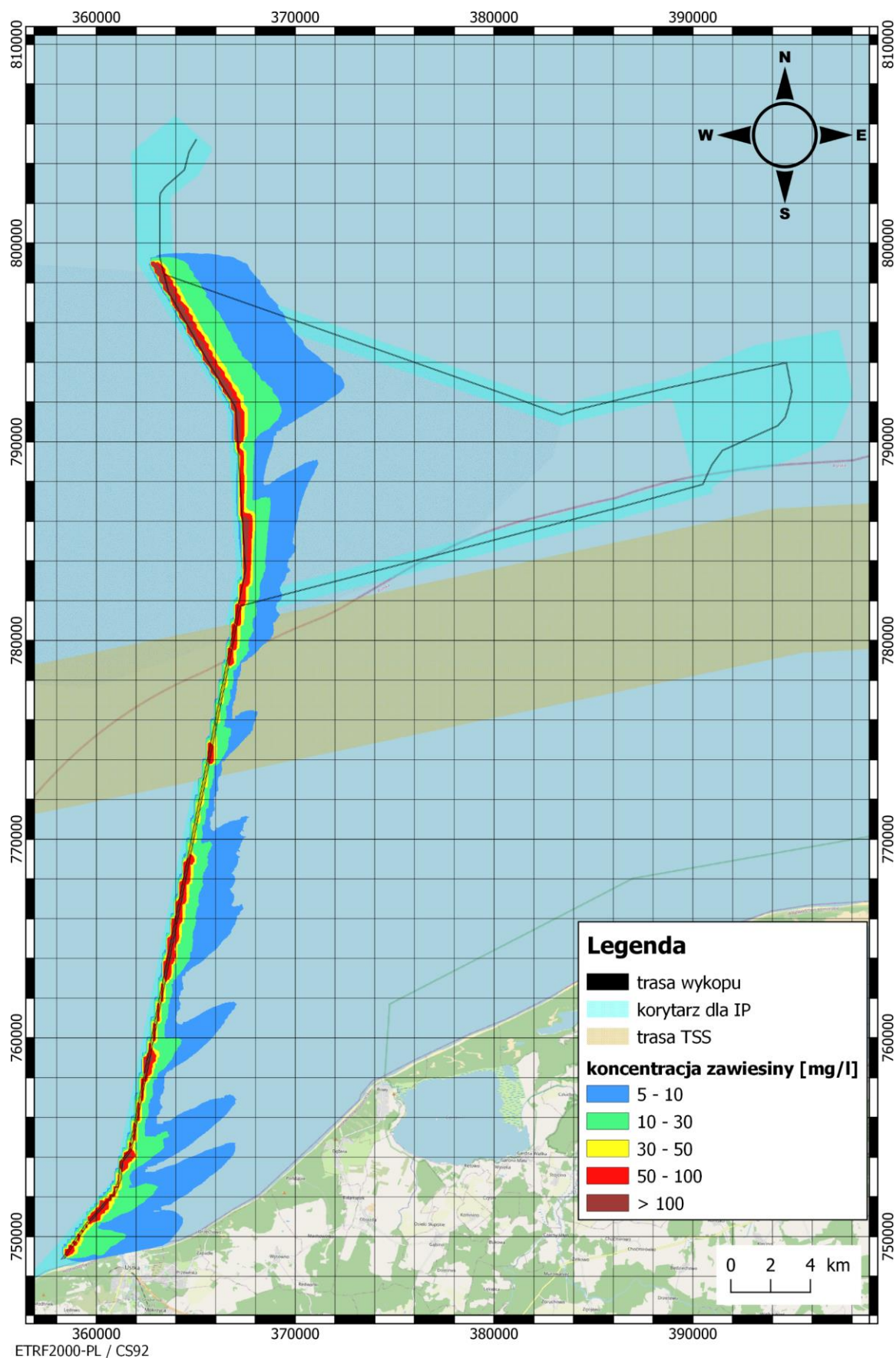
W załączniku do niniejszego opracowania na Rys. 16 – Rys. 27 przedstawiono mapy ilustrujące wartości maksymalnego zmętnienia wody w warstwie powierzchniowej, w toni wodnej i w warstwie przydennej, występujące podczas zagłębiania kabla energetycznego w dnie na trasie do MFW Bałtyk II odpowiednio dla scenariuszy V250, V350, V100 i V200. Wynika z nich, że największy zasięg zmętnienia wody występuje w warstwie przydennej i pokrywa się on z wartościami przedstawionymi na Rys. 4 – Rys. 7. Zmętnienie wody w toni wodnej może wystąpić na zbliżonym obszarze, jednakże koncentracja zawiesiny jest znacznie mniejsza. W obszarze, w którym w dnie morskim zalegają gliny, muły i ropy, zmętnienie wody może dotrzeć do warstwy powierzchniowej. Analogicznie, jak w omówionym przypadku maksymalnych koncentracji zawiesiny w całej kolumnie wody, otrzymane zasięgi zmętnienia wody dla scenariuszy V250 i V350 są znacznie mniejsze niż w przypadku scenariusza V200 analizowanego w opracowaniu IBW PAN z sierpnia 2022 r. oraz mniejsze lub zbliżone do wartości otrzymanych w przypadku scenariusza V100.



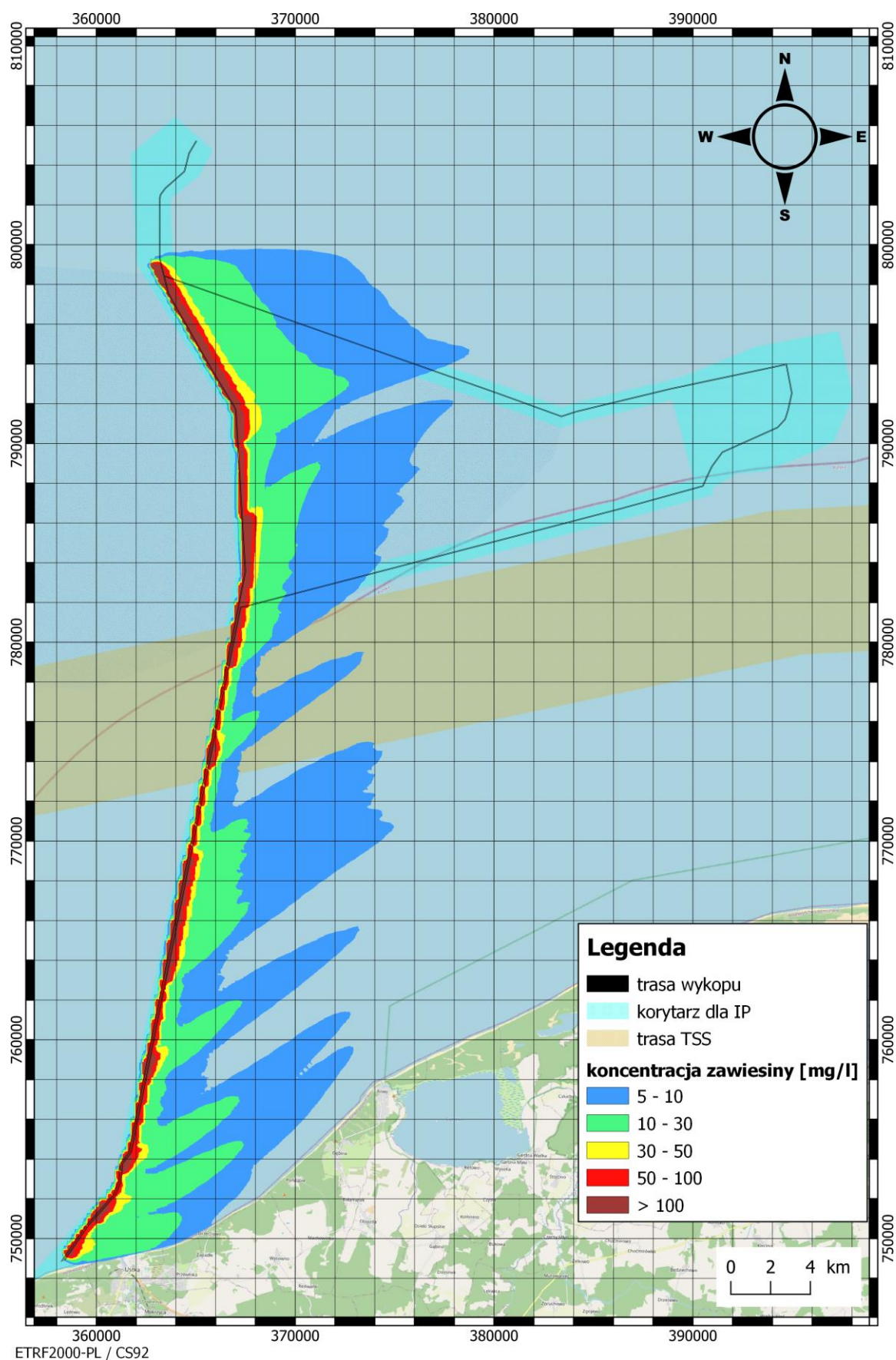
Rys. 4 Mapa maksymalnych koncentracji zawiesiny w całej kolumnie wody występujących podczas całego procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V250



Rys. 5 Mapa maksymalnych koncentracji zawiesiny w całej kolumnie wody występujących podczas całego procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V350



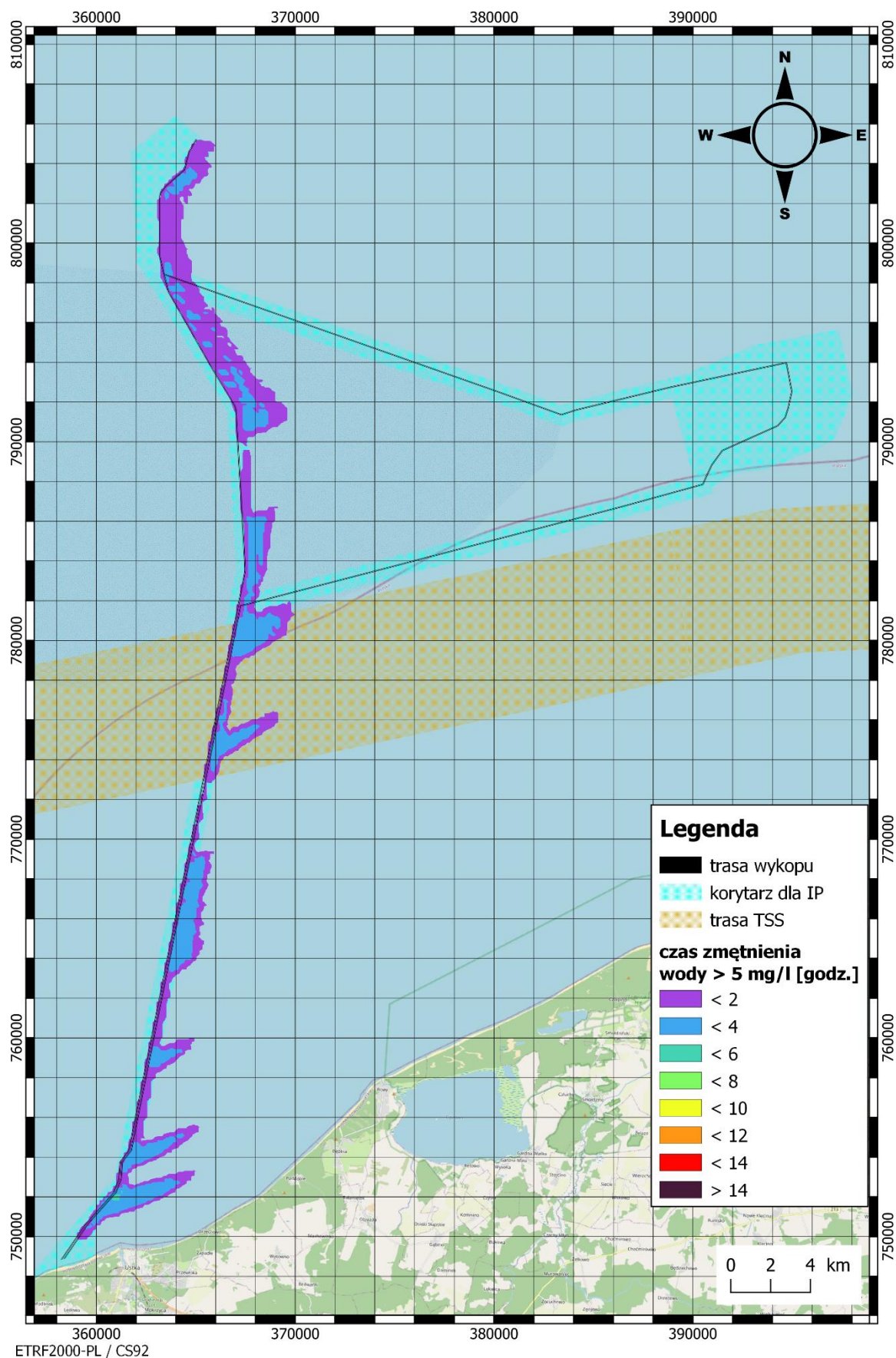
Rys. 6 Mapa maksymalnych koncentracji zawiesiny w całej kolumnie wody występujących podczas całego procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V100



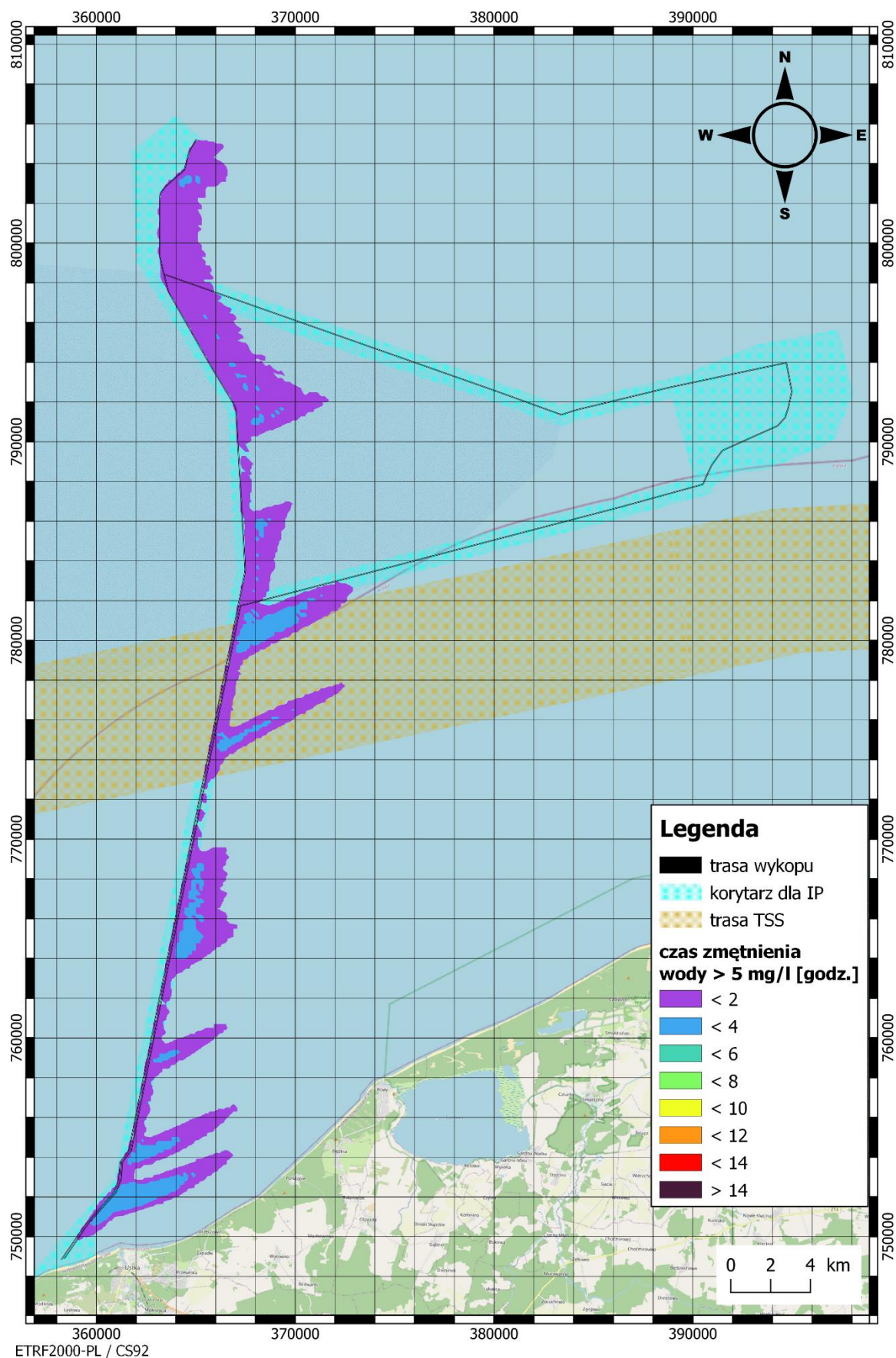
Rys. 7 Mapa maksymalnych koncentracji zawiesiny w całej kolumnie wody występujących podczas całego procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V200

Na Rys. 8 – Rys. 11 przedstawiono mapy ilustrujące czas występowania zmętnienia w kolumnie wody podczas zagłębiania kabla energetycznego w dnie na trasie do MFW Bałtyk II odpowiednio dla scenariuszy V250, V350, V100 i V200. 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. 4 – Rys. 7.

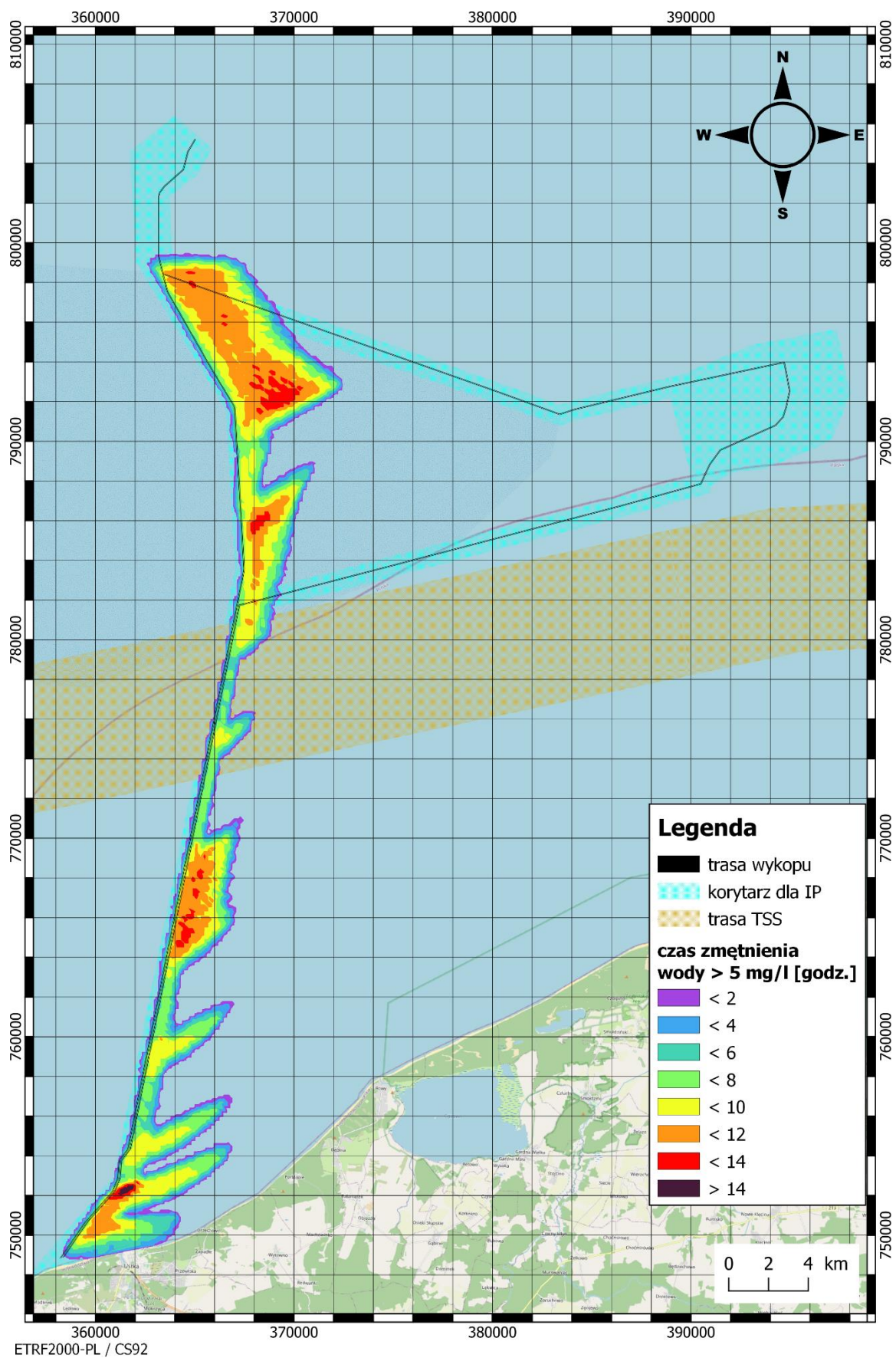
W wyniku obliczeń otrzymano, że w przypadku wykonania wykopu prowadzącego do MFW Bałtyk II zgodnie ze scenariuszem V250 lub V350, czas zmętnienia wody nie będzie dłuższy niż 4 godziny (Rys. 8 i Rys. 9). Jedynie lokalnie w przypadku scenariusza V250 czas zmętnienia wody może dochodzić do 6 godzin (Rys. 8). Otrzymane wartości są znacznie mniejsze niż w przypadku scenariuszy V100 i V200 (Rys. 10 i Rys. 11) analizowanych w opracowaniu IBW PAN z sierpnia 2022 r., gdzie otrzymano, że maksymalny czas zmętnienia wody może wynieść do 16 godzin dla scenariusza V100 (Rys. 10) oraz 12 godzin dla scenariusza V200 (Rys. 11).



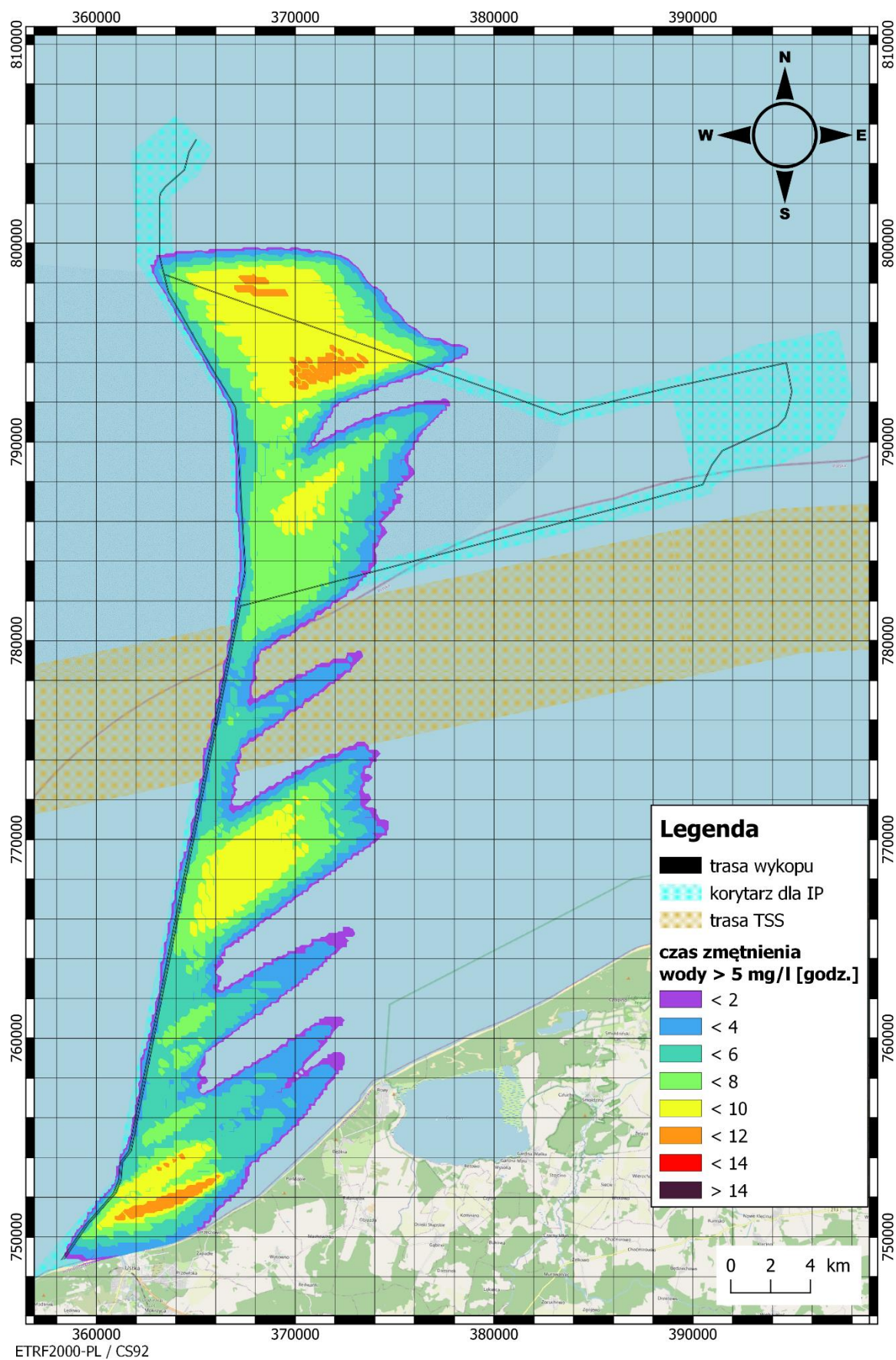
Rys. 8 Łączny czas zmętnienia wody powstałego podczas całego procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V250



Rys. 9 Łączny czas zmętnienia wody powstałego podczas całego procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V350



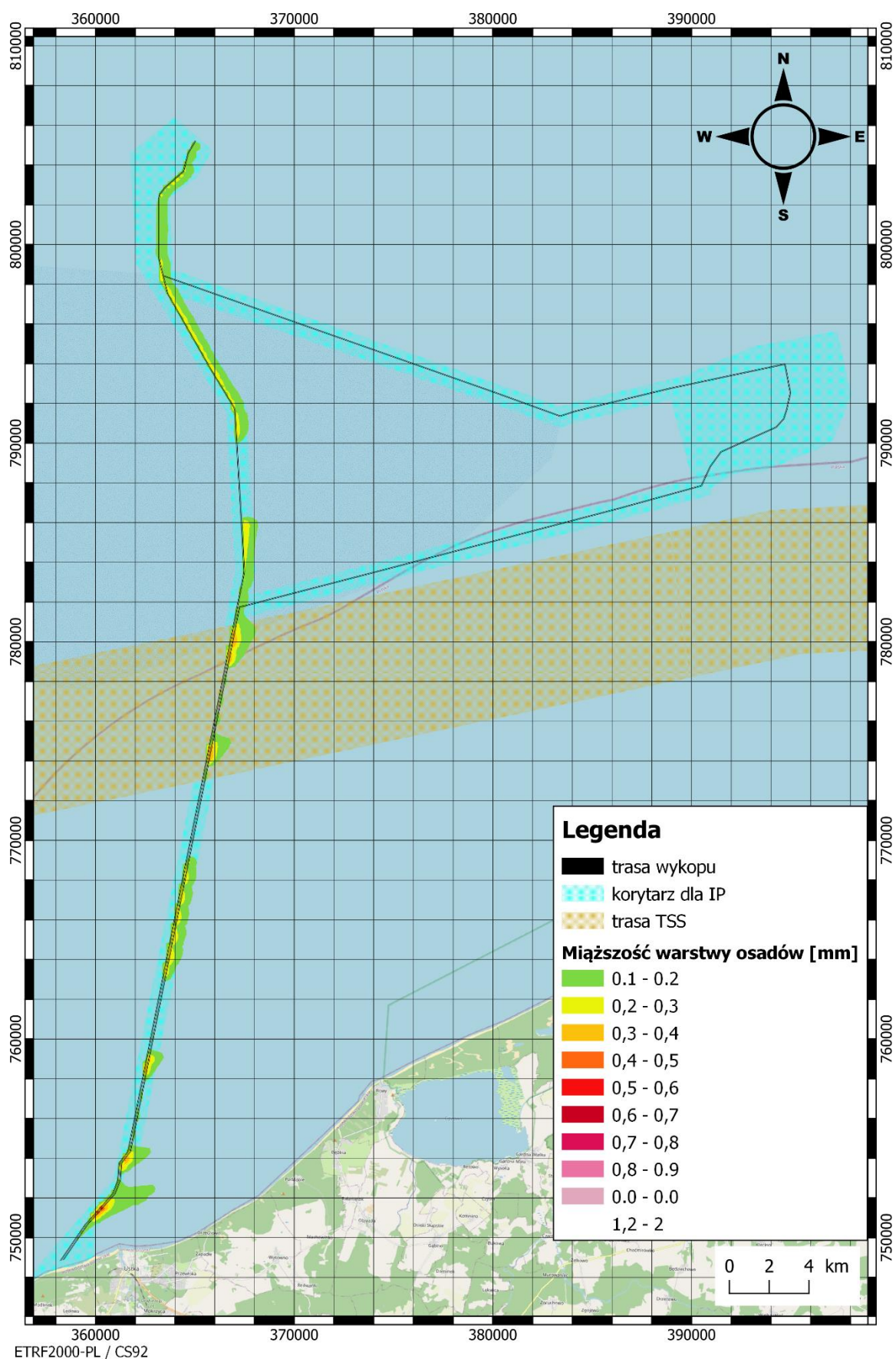
Rys. 10 Łączny czas zmętnienia wody powstałego podczas całego procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V100



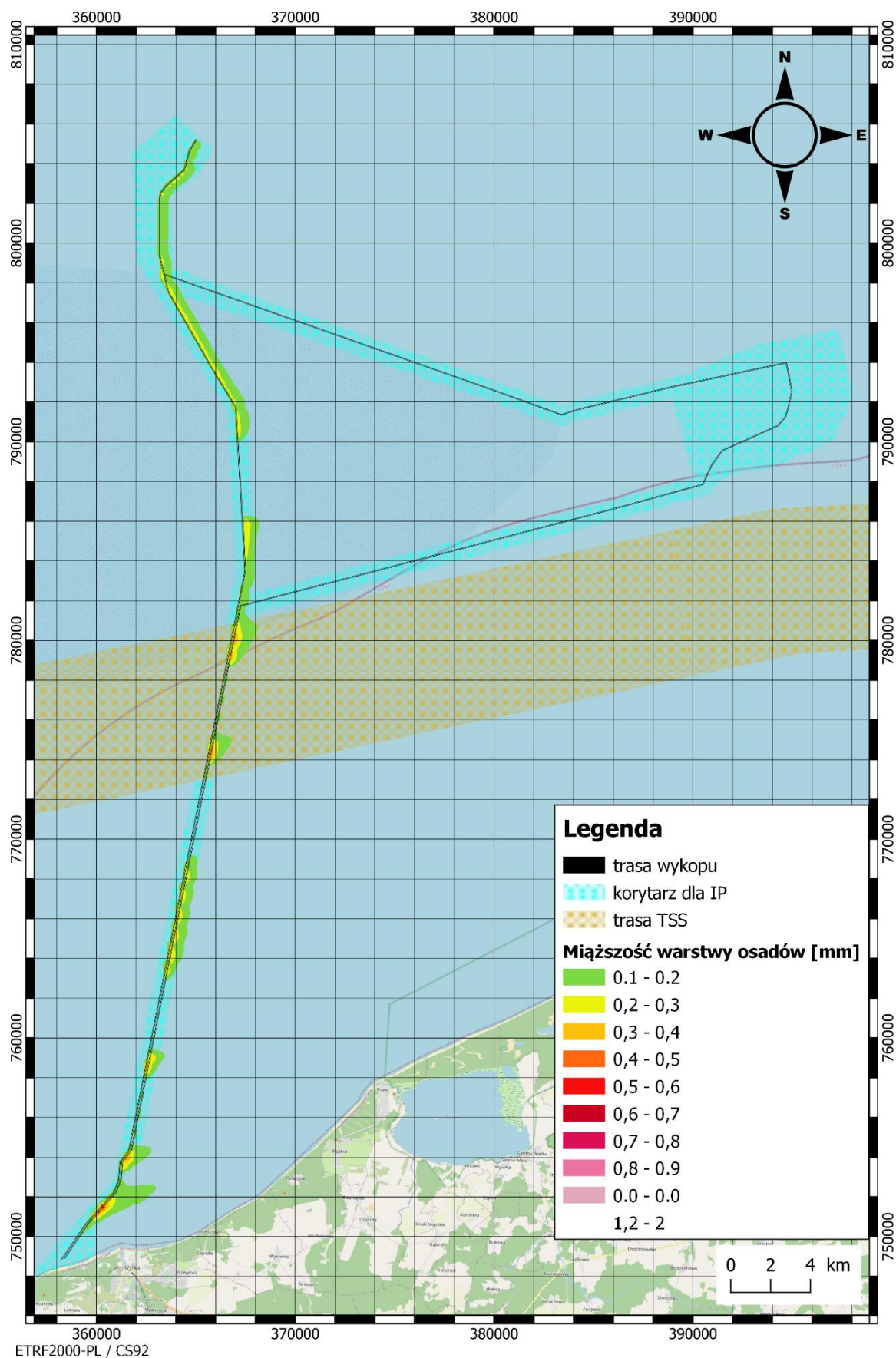
Rys. 11 Łączny czas zmętnienia wody powstałego podczas całego procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V200

Na Rys. 12 – Rys. 15 przedstawiono uzyskaną w wyniku symulacji numerycznych miąższość warstwy osadów powstałej po całkowitej sedymentacji zawiesiny wprowadzonej do akwenu podczas zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II odpowiednio w przypadku scenariusza V250, V350, V100 i V200.

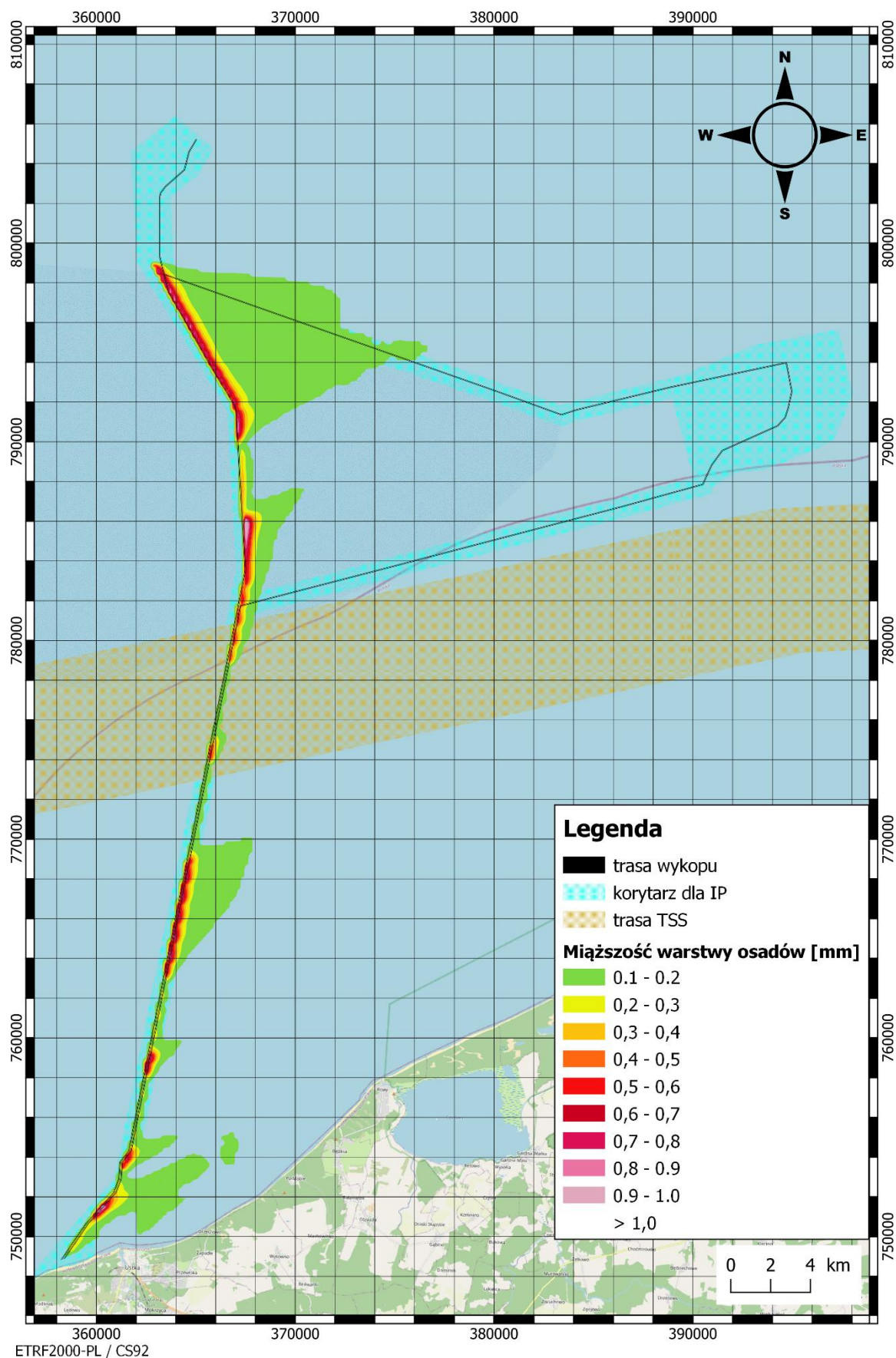
Otrzymane wyniki wskazują, że depozycja osadów wystąpi na niewielkim obszarze. Jego zasięg przestrzenny nie zależy od wariantu prędkości zagłębiania kabla w dnie, natomiast rzeczywisty wpływ na niego ma wielkość dopływu rumowiska oraz głębokość. W rejonach, gdzie dno jest zbudowane z osadów kohezyjnych oraz w pobliżu brzegu, zasięg depozycji jest większy niż w obszarach charakteryzujących się dnem piaszczystym. Otrzymane wartości są mniejsze niż w przypadku scenariuszy V100 i V200 (Rys. 14 i Rys. 15) analizowanych w opracowaniu IBW PAN z sierpnia 2022 r. Wynika to z faktu, że na skutek modyfikacji danych wejściowych do modelowania zmniejszyła się kilkukrotnie kubatura osadów wprowadzanych w stan zawieszenia.



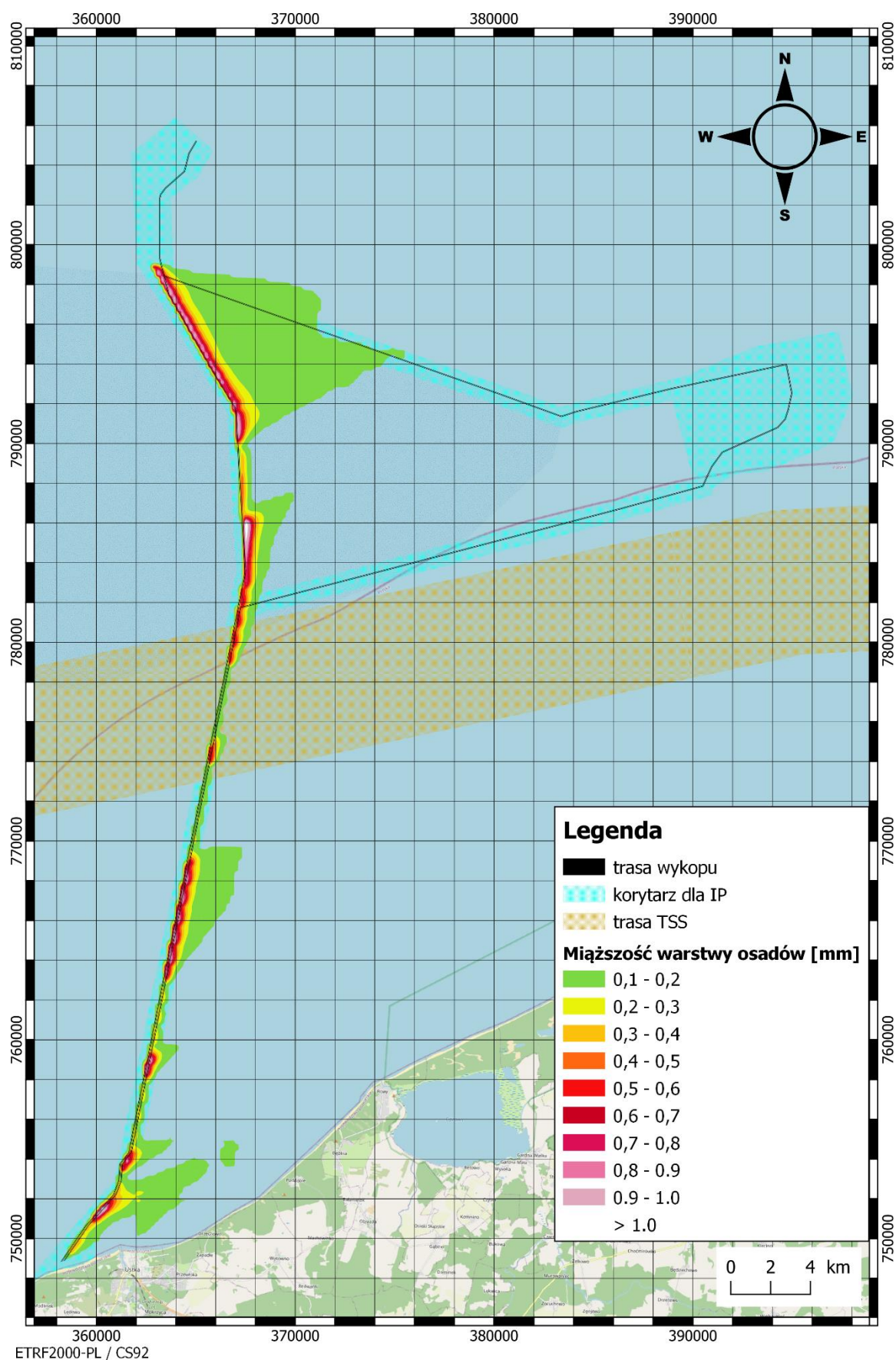
Rys. 12 Miąższość warstwy osadów powstałej po całkowitej sedymentacji zawiesiny wprowadzonej do akwenu podczas zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V250



Rys. 13 Miąższość warstwy osadów powstałej po całkowitej sedymentacji zawiesiny wprowadzonej do akwenu podczas zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V350



Rys. 14 Miąższość warstwy osadów powstałej po całkowitej sedymentacji zawiesiny wprowadzonej do akwenu podczas zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V100



Rys. 15 Miąższość warstwy osadów powstałej po całkowitej sedymentacji zawiesiny wprowadzonej do akwenu podczas zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V200

5. Podsumowanie

Opracowanie stanowi Aneks do opracowania IBW PAN pt. „Modelowanie rozprzężu zawiesiny podczas układania kabla podmorskiego do morskich farm wiatrowych MFW Bałtyk II i MFW Bałtyk III” z sierpnia 2022 r. Powstało w związku ze zmianą parametrów wejściowych do modelowania i wynikającą z tego potrzebą interpretacji, w jaki sposób zmiana danych wejściowych wpłynie na zakres rozprzężenia się zawiesiny.

W opracowaniu przedstawiono wyniki modelowania matematycznego rozprzężenia się zawiesiny podczas układania kabla podmorskiego w korytarzu dla IP MFW Bałtyk II dla zmienionych parametrów wejściowych. Pozostałe ustawienia modelu nie uległy zmianie. Obliczenia wykonano dla dwóch scenariuszy prędkości zagłębiania kabla: 250 m/h (scenariusz V250) i 350 m/h (scenariusz V350).

W celu ustalenia, jaki wpływ ma zmiana parametrów wejściowych do modelowania na wcześniej uzyskane wyniki i czy nie spowoduje zwiększenia się zasięgu oddziaływania zawiesiny, zestawiono ze sobą rezultaty obliczeń dla scenariuszy V250 i V350 z poprzednio uzyskanymi wynikami obliczeń dla scenariuszy V100 i V200 na trasie wykopu do MFW Bałtyk II.

Otrzymane zasięgi zmętnienia wody dla scenariuszy V250 i V350 są znacznie mniejsze niż w przypadku scenariusza V200 analizowanego w opracowaniu IBW PAN z sierpnia 2022 r. Jedynie w przypadku prowadzenia robót z prędkością 350 m/h (V350) w dnie kohezyjnym w obrębie trasy TSS ławica Słupska otrzymano zbliżony zasięg zmętnienia jak w scenariuszu V200. Ponadto otrzymane zasięgi zmętnienia wody dla scenariusza V250 są mniejsze, zaś w przypadku scenariusza V350 są zbliżone do wartości otrzymanych w przypadku wcześniej analizowanego scenariusza V100.

W wyniku obliczeń otrzymano, że w przypadku wykonania wykopu prowadzącego do MFW Bałtyk II zgodnie ze scenariuszem V250 lub V350, czas zmętnienia wody na przeważającej części trasy nie będzie dłuższy niż 4 godziny. Jedynie w przypadku scenariusza V250 czas zmętnienia wody może lokalnie w pobliżu brzegu dochodzić do 6 godzin. Otrzymane wartości są znacznie mniejsze niż w przypadku wcześniej rozważanych scenariuszy V100 i V200.

Otrzymane wyniki wskazują, że depozycja osadów wystąpi na niewielkim obszarze. Jego zasięg przestrzenny nie zależy od prędkości zagłębiania kabla w dnie, natomiast wpływ ma wielkość dopływu rumowiska oraz głębokość. W rejonach, gdzie dno jest zbudowane z osadów kohezyjnych oraz w pobliżu brzegu, zasięg depozycji jest większy niż w obszarach charakteryzujących się dnem piaszczystym. Otrzymane wartości są mniejsze niż w przypadku uprzednio analizowanych scenariuszy V100 i V200.

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.

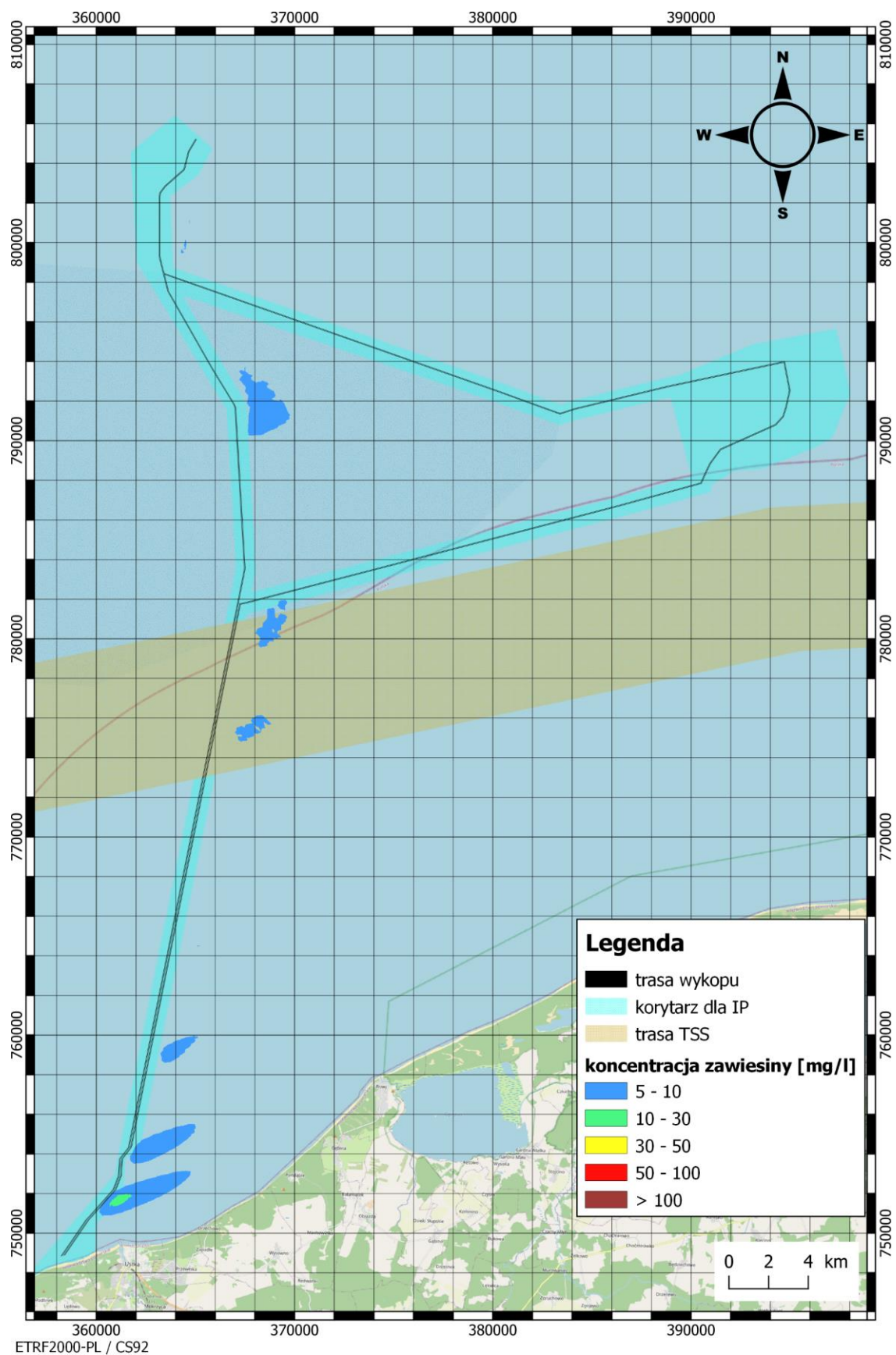
HDR, 2014, Application of Construction of the Rockaway Delivery Lateral Project Appendix G – Hydrodynamic and Sediment Transport Analyses for Rockaway Delivery Lateral Project.

HDR, 2014, Lake Champlain Water Quality Modeling Report, New England Clean Power Link.

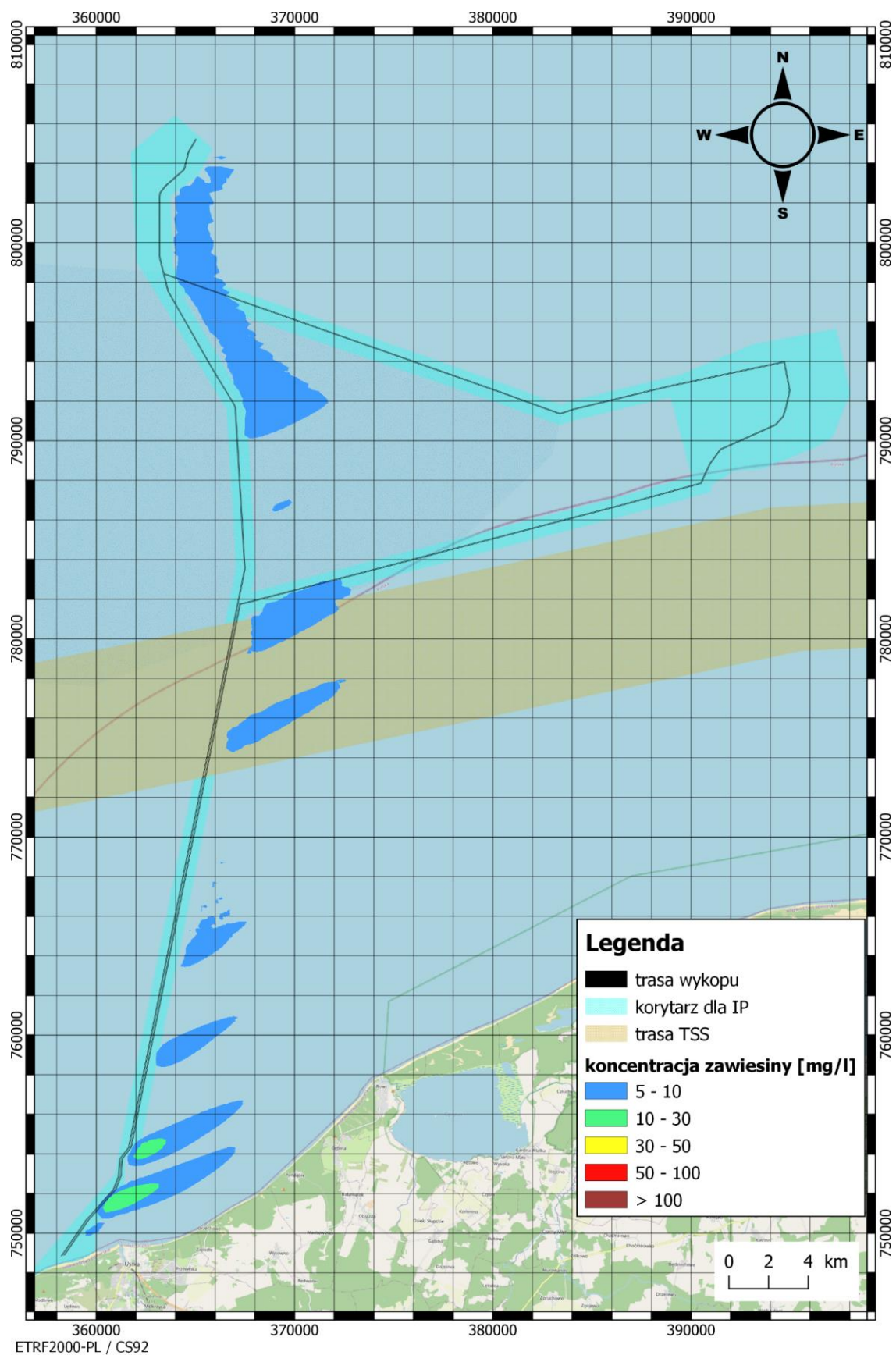
Foreman J., 2002, Resuspension of sediment by the jet plow during submarine cable installation. Submitted to GenPower, LLC, Needham, MA. Submitted by Engineering Technology Applications, Ltd, Romsey, Great Britain.

Załącznik – maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie powierzchniowej, w toni wodnej i w warstwie przydennej podczas zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariuszy V250, V350, V100 i V200

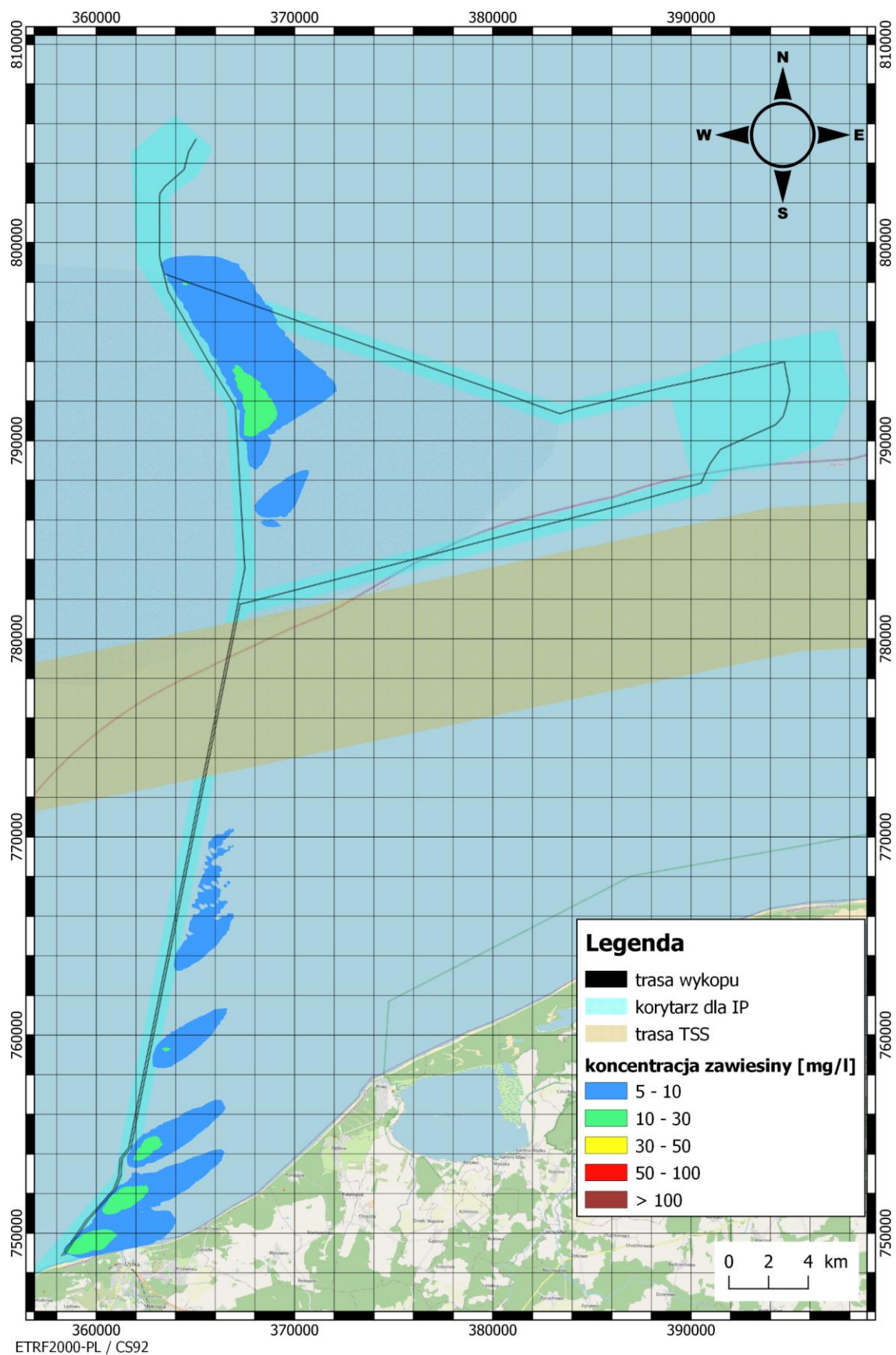
W niniejszym załączniku do opracowania umieszczono mapy obrazujące wartości maksymalnego zmętnienia wody w warstwie powierzchniowej (Rys. 16 – Rys. 19), w toni wodnej (Rys. 20 – Rys. 23) i w warstwie przydennej (Rys. 24 – Rys. 27), występujące podczas zagłębiania kabla energetycznego w dnie morskim na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariuszy V250, V350, V100 i scenariusza V200.



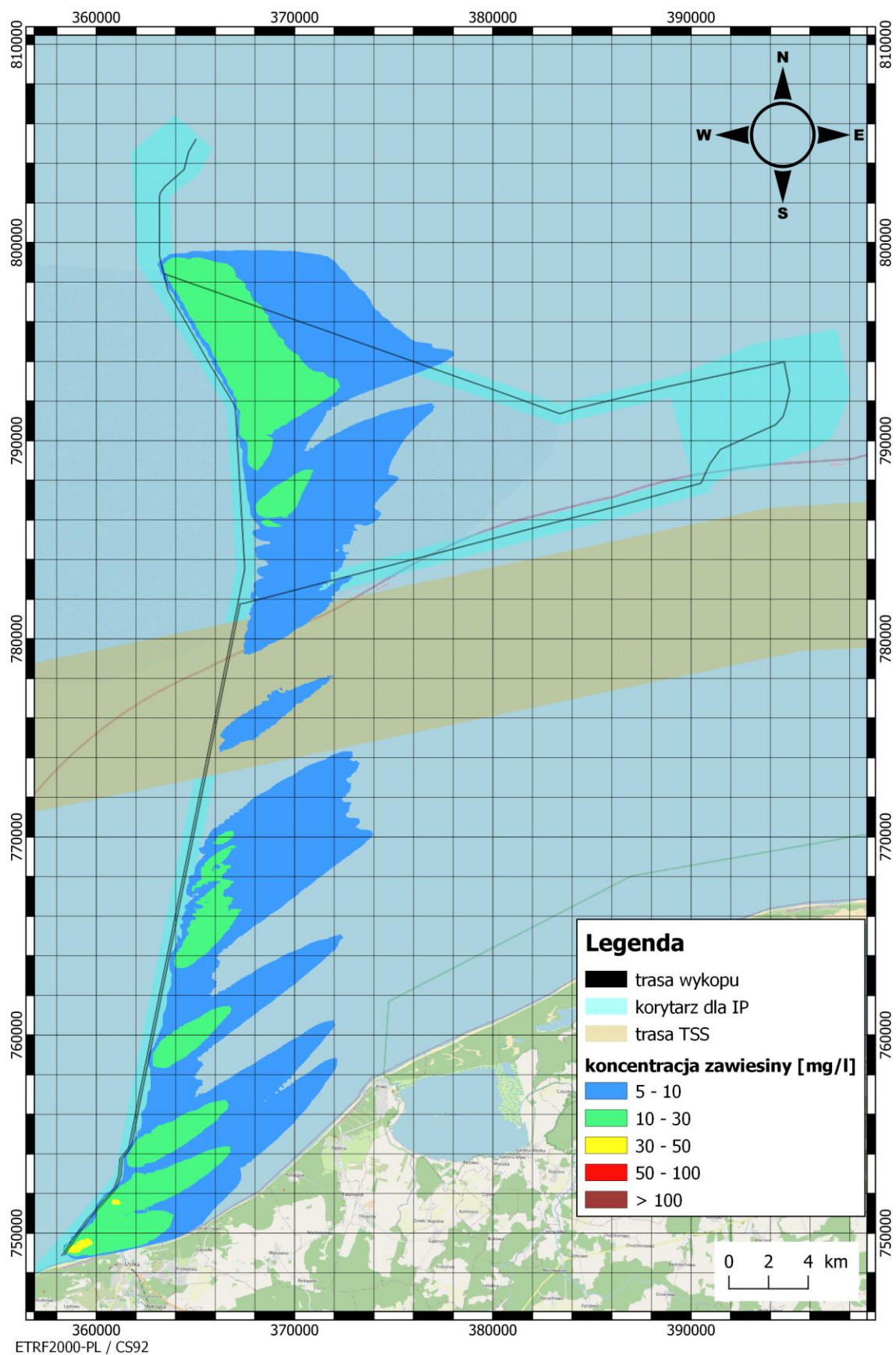
Rys. 16 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie powierzchniowej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębienia kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V250, wartość graniczna 5 mg/l



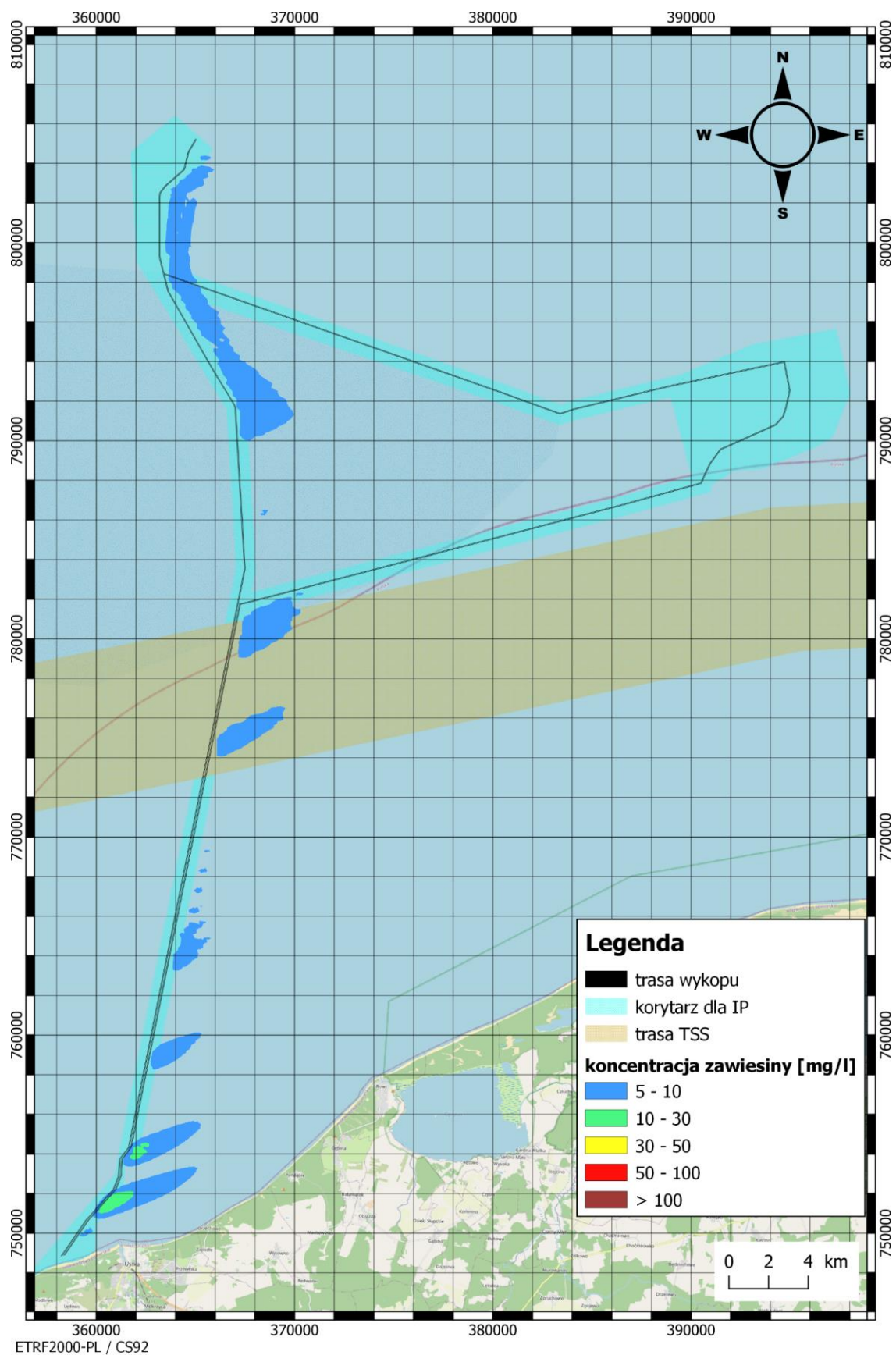
Rys. 17 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie powierzchniowej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V350, wartość graniczna 5 mg/l



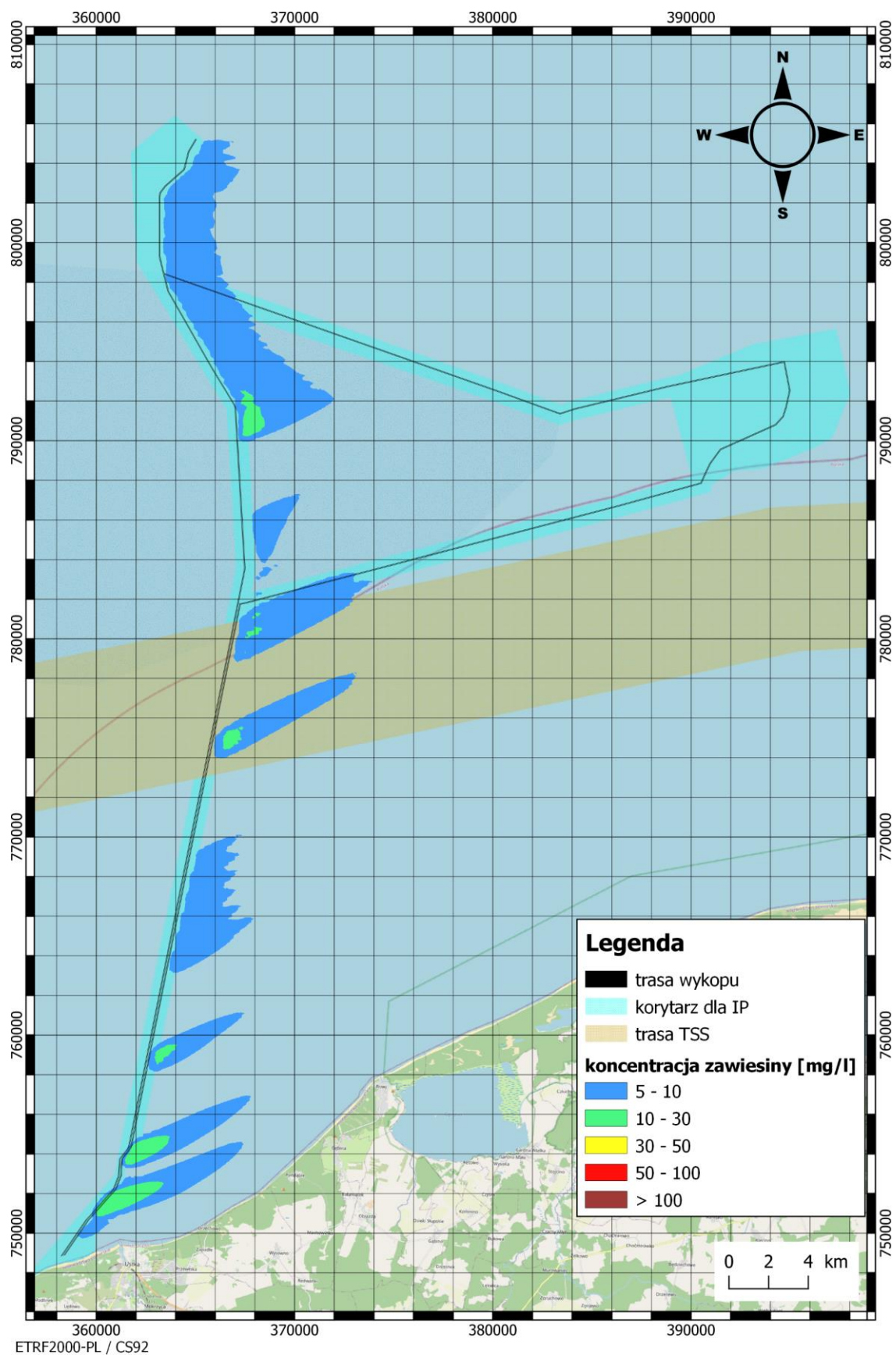
Rys. 18 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie powierzchniowej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V100, wartość graniczna 5 mg/l



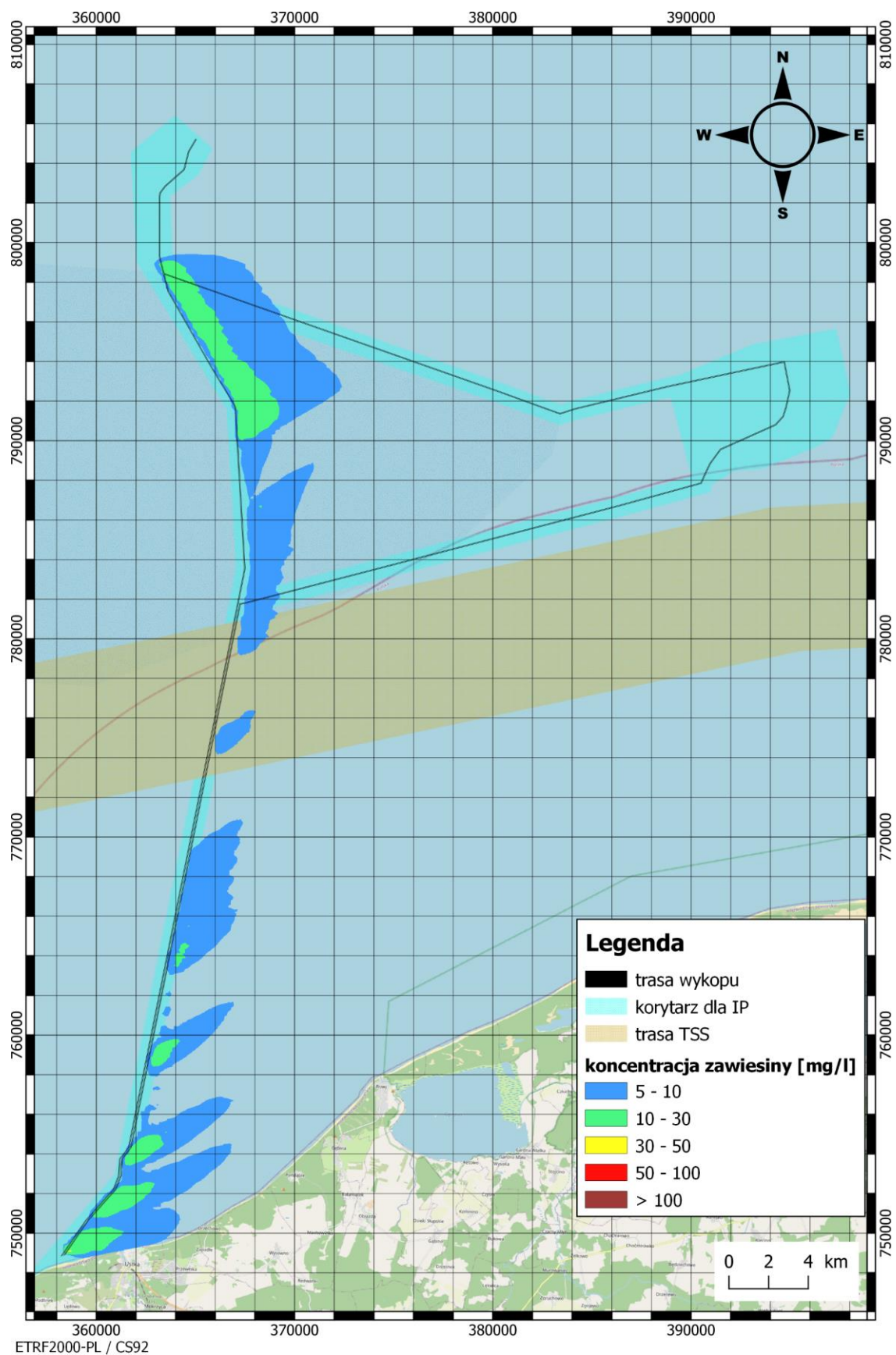
Rys. 19 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie powierzchniowej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V200, wartość graniczna 5 mg/l



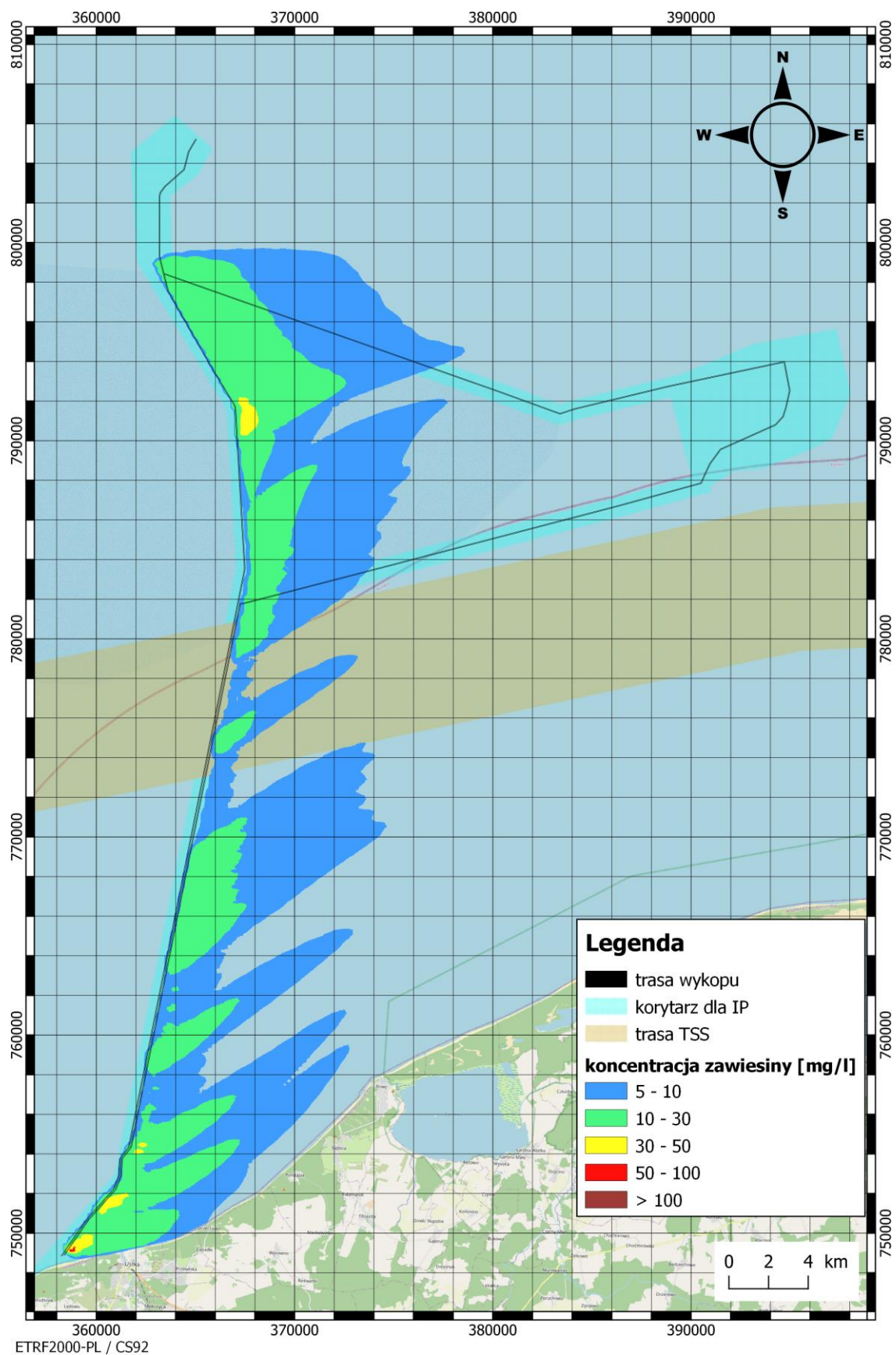
Rys. 20 Maksymalne koncentracje zawiesiny w toni wodnej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V250, wartość graniczna 5 mg/l



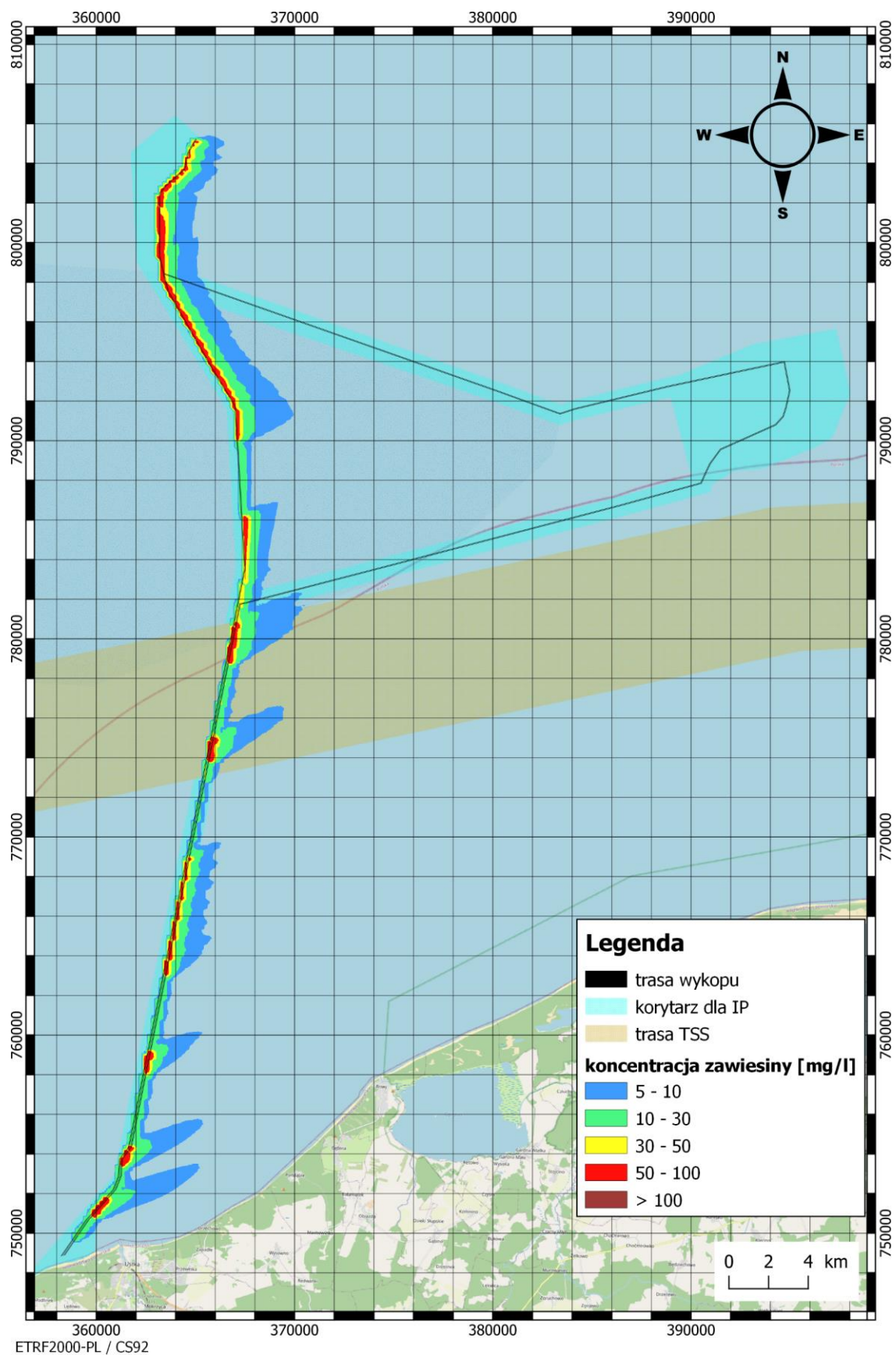
Rys. 21 Maksymalne koncentracje zawiesiny w toni wodnej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V350, wartość graniczna 5 mg/l



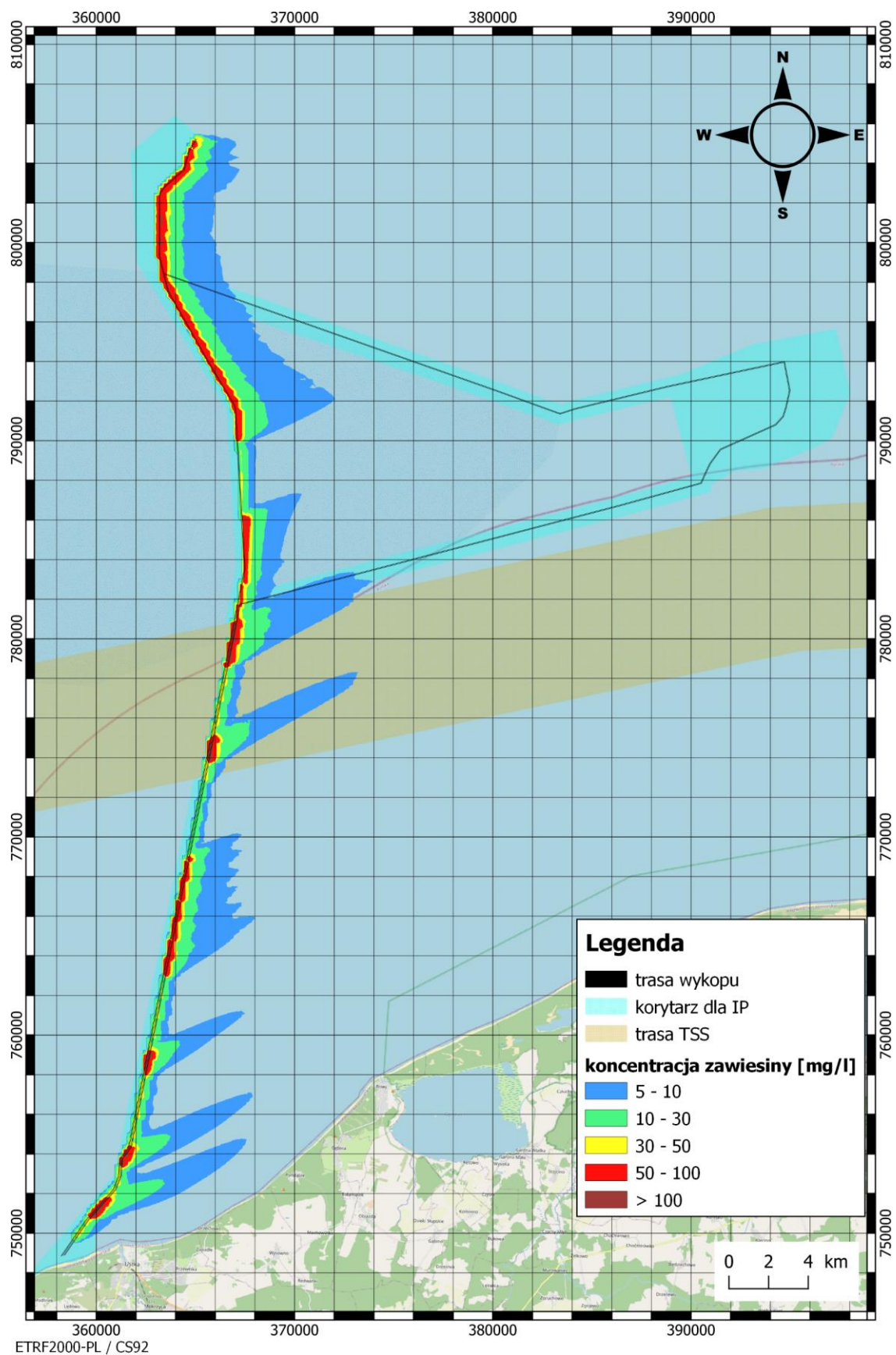
Rys. 22 Maksymalne koncentracje zawiesiny w toni wodnej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V100, wartość graniczna 5 mg/l



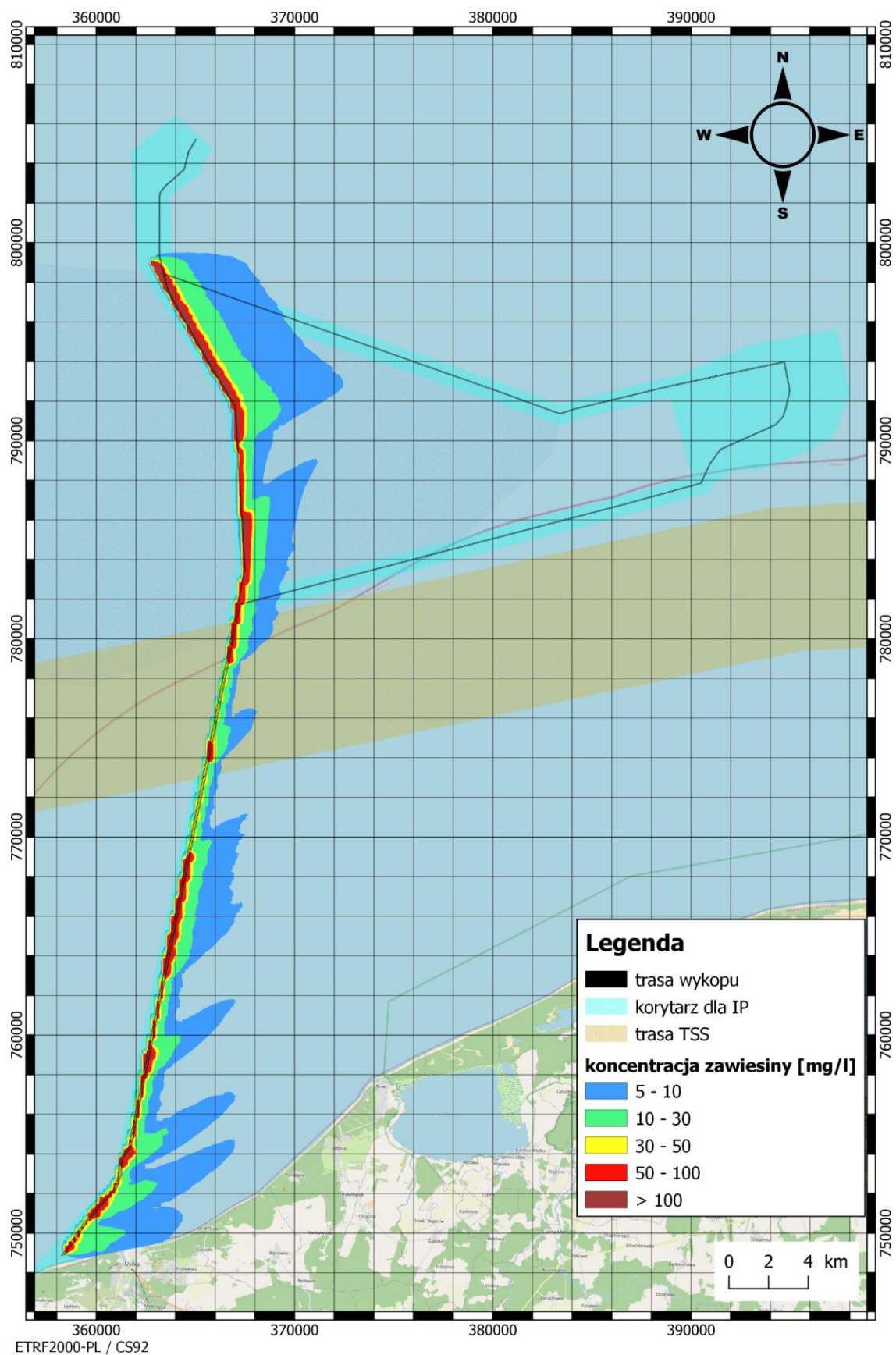
Rys. 23 Maksymalne koncentracje zawiesiny w toni wodnej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V200, wartość graniczna 5 mg/l



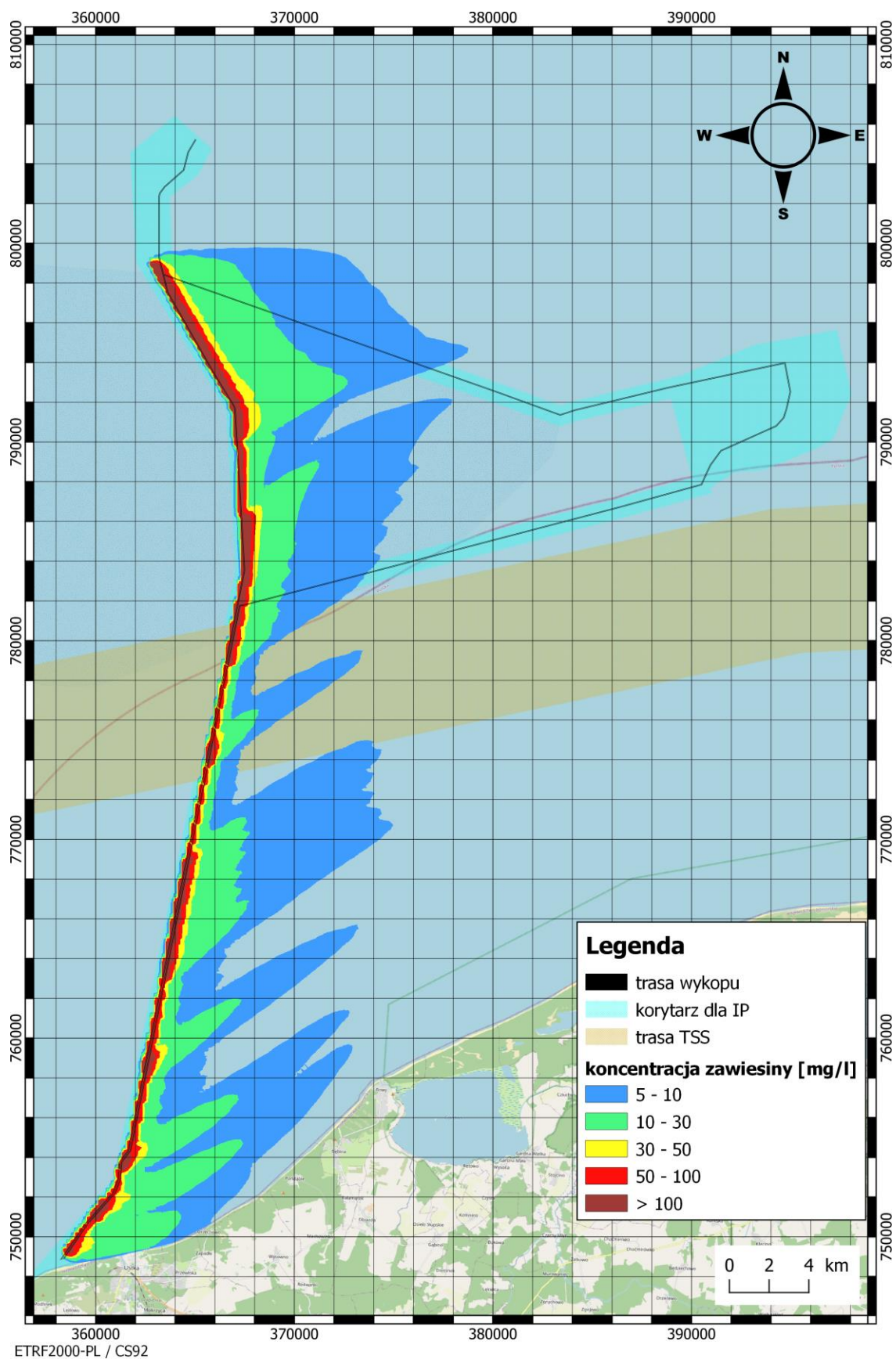
Rys. 24 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie przydennej wyznaczone w każdym węzle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V250, wartość graniczna 5 mg/l



Rys. 25 Maksymalne koncentracje zawiesiny w warstwie przydennej wyznaczone w każdym węźle siatki podczas procesu zagłębiania kabla na trasie do MFW Bałtyk II w przypadku scenariusza V350, wartość graniczna 5 mg/l



Rys. 26 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. 27 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