

RAPORT

**Identyfikacja potencjału zmiany koszyka energetycznego,
ograniczeń i potrzeb na terenie
wysp Uznam i Wolin
Badania terenowe jakości powietrza (BT2)
Raport końcowy**

Szczecin, luty 2022 r.



Identyfikacja potencjału zmiany koszyka energetycznego, ograniczeń i potrzeb na terenie wysp Uznam i Wolin – Badania terenowe jakości powietrza (BT3) – Raport końcowy

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie



Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

na podstawie

K. Gliška-Lewczuk, A. Skwierawski, P. Burandt, Ocena wielkości emisji CO₂ i CH₄ z obszarów pilotowych wysp Uznam i Wolin na potrzeby oceny potencjału energetycznego oraz wykonanie dokumentacji kartograficznej w GIS. Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Olsztyn 2021

oraz dalszych badań terenowych ZUT w kooperacji z US i analiz materiału badawczego

Zespół terenowy

- prof. dr hab. Katarzyna Gliška Lewczuk, WRiL UWM
- dr hab. inż. Andrzej Skwierawski, WRiL UWM
- dr inż. Paweł Burandt, WRiL UWM
- dr inż., mgr inż. arch. Karolina Kurtz-Orecka, WBiŚ ZUT
- dr hab. inż. Piotr Nikończuk, WTMiT ZUT
- dr inż. Wojciech Tuchowski, WTMiT ZUT
- dr Tomasz Olechwir, SM US
- prof. dr hab. inż. Jacek Przepiórski, WTiCh ZUT
- prof. dr hab. inż. Beata Tryba, WTiCh ZUT
- mgr inż. Bartosz Bogusławski, WBiŚ ZUT
- mgr Aleksandra Łacwik, WBiŚ ZUT

Raport opracowali

- prof. dr hab. Katarzyna Gliška Lewczuk, UWM
- dr hab. inż. Andrzej Skwierawski, UWM
- dr inż. Paweł Burandt, UWM
- dr inż., mgr inż. arch. Karolina Kurtz-Orecka, WBiŚ ZUT
- mgr inż. Marek Kurnatowski, WBiŚ ZUT
- prof. dr hab. inż. Jacek Przepiórski, ZUT
- prof. dr hab. inż. Beata Tryba, ZUT
- dr hab. inż. Anna Głowacka, prof. ZUT, WBiŚ ZUT
- mgr inż. Bartosz Bogusławski, WBiŚ ZUT

Projekt jest dofinansowany w ramach Programu Współpracy Interreg V A Meklemburgia-Pomorze Przednie / Brandenburgia / Polska, ze środków Europejskiego Funduszy Rozwoju Regionalnego (EFRR).

Praca naukowa wykonana w ramach projektu międzynarodowego współfinansowanego ze środków programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pn. "PMW" w latach 2021-2022; umowa nr 5195/INTERREG V A MV/BB/PL/2021/2.

Spis treści

1. Wprowadzenie.....	4
2. Zarys charakterystyki fizyczno-geograficznej obszaru MoRE	8
2.1. Geomorfologia oraz wody obszaru MoRE	9
2.2. Klimat	10
2.3. Użytkowanie terenu	11
3. Przedmiot, cel, zakres, obszar i metodyka badań.....	12
3.1. Przedmiot, cel i zakres badań	12
3.2. Metodyka badań	12
3.2.1. Serie pomiarowe	13
3.2.2. Warunki pogodowe podczas kampanii pomiarowych	14
3.2.3. Wykorzystana aparatura	18
3.2.4. Analiza danych surowych	19
4. Wyniki pomiarów stężenia CO ₂ i CH ₄	24
4.1. Stężenia gazów cieplarnianych CO ₂ i CH ₄ w powietrzu na wyspach Uznam i Wolin – pomiary mobilne.....	24
4.1.1. Dwutlenek węgla	24
4.1.2. Zmienność przestrzenna stężenia CO ₂	27
4.1.3. Metan.....	30
4.1.4. Zmienność przestrzenna CH ₄	32
4.1.5. Zależność pomiędzy sposobem użytkowania terenu a stężeniem CH ₄	35
4.2. Wpływ czynników użytkowania terenu na emisję gazów na obszarze MoRE	36
4.3. Pomiary stężenia dwutlenku węgla i metanu w obrębie obiektów potencjalnej emisji	39
4.4. Emisja metanu i dwutlenku węgla z powierzchni obiektów wodnych.....	46
4.5. Obraz rzeczywisty zmiany stężeń CO ₂ i CH ₄ na tle obrazu satelitarnego.....	50
5. Wyniki pomiarów stężenia pyłu zawieszonego PM _{2.5} i PM ₁₀	78
5.1. Pył zawieszony PM _{2.5}	78
5.2. Pył zawieszony PM ₁₀	84
6. Podsumowanie	96

1. Wprowadzenie

Jakość powietrza stanowi wypadkową uwarunkowaną naturalnymi źródłami i procesami w nich zachodzącymi, oraz wpływami antropogenicznymi związanymi z oddziaływaniem przemysłu, obszarów zurbanizowanych oraz szeroko rozumianego transportu. Substancje zanieczyszczające powietrze atmosferyczne, poza najczęściej rozpoznawalnymi gazami, występują również w postaci stałej (pyły) oraz cieczy. Związki te mogą swobodnie przemieszczać się z masami powietrza, stąd na stan powietrza wpływ również aktualny stan atmosfery.

Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) do głównych zanieczyszczeń powietrza zalicza pył zawieszony (PM), dwutlenek azotu (NO₂), dwutlenek siarki (SO₂) oraz ozon w warstwie przyziemnej (O₃). W odniesieniu do przestrzeni zurbanizowanych, do grupy tej należy jeszcze dodać benzo(a)piren (BaP), który już w 1987 r. wpisany został przez Europejską Agencję Badań na listę najgroźniejszych substancji kancerogennych¹. Tabela 1.1 przedstawia określone przez WHO wartości graniczne dopuszczalnego stężenia 12 związków stanowiących czynniki zanieczyszczenia powietrza – wytyczne dotyczące jakości powietrza (AQG – *air quality guidelines*) oraz poziomy referencyjne (RL – *reference levels*)².

Jakość powietrza kształtowana jest przez emisję ze źródeł naturalnych oraz antropogenicznych. Pył znajdujący się w atmosferze może mieć pochodzenie naturalne – jego źródła stanowią: zanieczyszczenia biologiczne, sól morską, emisje wulkaniczne, procesy przemian jego gazowych prekursorów lub wtórne pylenie powierzchni podłoża³. Z kolei pył pochodzenia antropogenicznego pochodzi głównie ze spalania paliw kopalnych na potrzeby źródeł energetycznych i transportu, jak również z wtórnego pylenia obszarów przekształconych przez człowieka⁴. Źródłem emisji zanieczyszczeń do powietrza jest miejsce uwolnienia/ wytworzenia substancji zanieczyszczających. Z punktu widzenia źródeł wyróżnia się emisję punktową (np. emitory zakładów przemysłowych), powierzchniową (sektor gospodarczo-bytowy) oraz liniową (transport). Na obszarach zurbanizowanych z przeważającą emisją powierzchniową, istotnymi czynnikami wpływającymi na stan powietrza są: rodzaj źródła emisji i dynamiczne

¹ Morderczy benzo(a)piren. Baza wiedzy. Life-Mappingair/PL.
<https://mappingair.meteo.uni.wroc.pl/2020/05/morderczy-benzo%CE%B1piren/> (dostęp: 28.11.2020).

² *Ibidem*

³ Ďurčanská D et al., Zarządzanie jakością powietrza. Wydawnictwo Uniwersytet Żyliński w Żylinie, EDIS – Centrum Wydawnicze ŻU, 2020.

⁴ *Ibidem*

wyniesienie smugi zanieczyszczeń. Topografia terenu oraz panujące warunki meteorologiczne dodatkowo wpływają na wielkość stężenia zanieczyszczeń w atmosferze. Zmienna wysokość granicznej warstwy atmosfery⁵, jej niejednorodność czasowo-przestrzenna i niestacjonarność – powodują, że wraz ze zmianami parametrów powietrza zmianom dobowym i sezonowym podlega również stężenie zanieczyszczeń. Wśród głównych elementów meteorologicznych mających wpływ na stężenie zanieczyszczeń w atmosferze wymienia się: promieniowanie słoneczne, temperatura powietrza, wilgotność powietrza i opad atmosferyczny oraz warunki anemologiczne.

Tabela 1.1 Wytyczne (2017 oraz 2021) WHO dotyczące jakości powietrza (AQG) oraz szacunkowe poziomy odniesienia (RL) ^(a) [Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.]				
Zanieczyszczenie	Okres uśrednienia	AQG	RL	Uwagi
PM₁₀	1 dzień	45 µg/m ³		99 centyl (3-4 dni w roku)
	Rok kalendarzowy	15 µg/m ³		
PM_{2.5}	1 dzień	15 µg/m ³		99 centyl (3-4 dni w roku)
	Rok kalendarzowy	5 µg/m ³		
	Szczyt sezonu	60 µg/m ³		
O₃	Maksymalna średnia dobową z 8 godzin	100 µg/m ³		99 centyl (3-4 dni w roku)
	1 dzień	25 µg/m ³		99 centyl (3-4 dni w roku)
NO₂	Rok kalendarzowy	10 µg/m ³		
	Rok kalendarzowy		0,12 ng/m ³	
BaP	Rok kalendarzowy			
SO₂	1 dzień	40 µg/m ³		99 centyl (3-4 dni w roku)
CO	1 dzień	4 µg/m ³		99 centyl (3-4 dni w roku)
C₆H₆	Rok kalendarzowy		1,7 µg/m ³	
Pb	Rok kalendarzowy	0,5 µg/m ³		
As	Rok kalendarzowy		6,6 ng/m ³	
Cd	Rok kalendarzowy	5 ng/m ³ ^(b)		
Ni	Rok kalendarzowy		25 ng/m ³	

^(a) Ponieważ WHO nie ustaliła AQG dla BaP, C₆H₆, As oraz Ni, poziom odniesienia oszacowano przy założeniu akceptowalnego dodatkowego ryzyka zachorowania na raka w ciągu życia na około 1 na 100000.

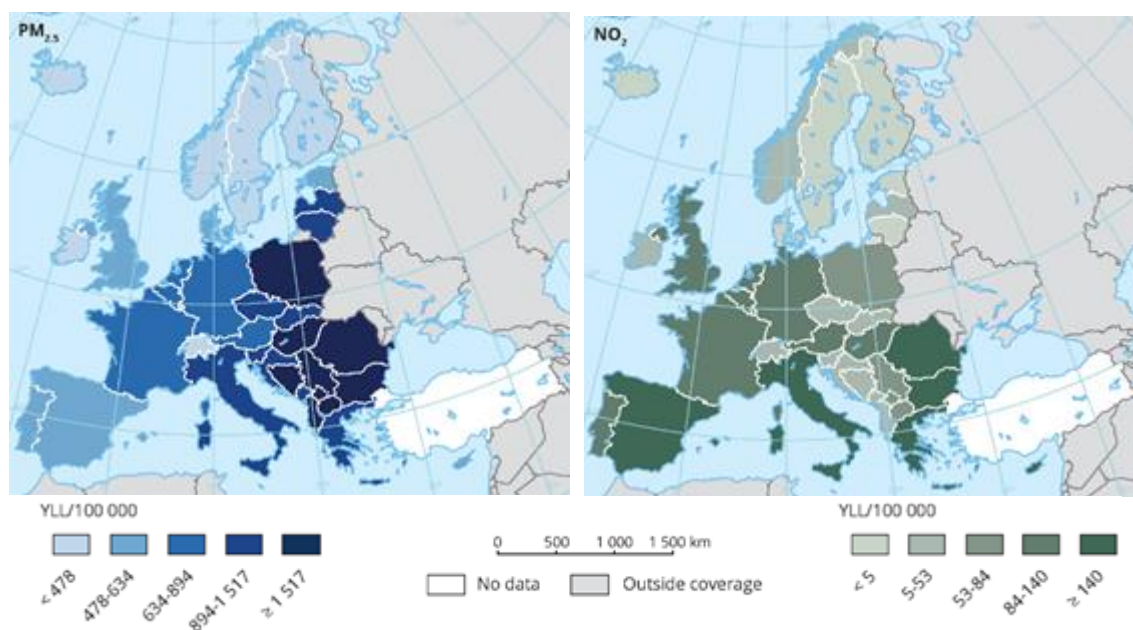
^(b) AQG ma zapobiegać dalszemu wzrostowi kadmu w glebie rolniczej, co prawdopodobnie zwiększy spożycie w diecie przyszłych pokoleń.

Konieczność podjęcia działań w zakresie ograniczenia niskiej emisji potwierdzają badania prowadzone przez Europejską Agencję Środowiskową (*European Environment Agency*, EEA) m.in. nad przedwczesną śmiertelnością osób narażonych na ekspozycję na zanieczyszczenia powietrza, jak również sprawozdanie specjalne z kontroli skuteczności działań podjętych przez UE na rzecz poprawy stanu jakości powietrza, przeprowadzonej w 2018 r. przez Europejski

⁵ Wysokość warstwy granicznej atmosfery jest zmienna i wynosi od kilkuset metrów w nocy do kilku kilometrów w dzień. *Ibidem*

Trybunał Obrachunkowy⁶. W sprawozdaniu tym trybunał wyraźnie wskazuje, że dotychczas podejmowane działania zmierzające do poprawy jakości powietrza nie przyniosły jak dotąd oczekiwanych skutków. Ponadto WHO podaje, że największe zagrożenie dla zdrowia ludności w UE tkwi w jakości powietrza⁷. W tabeli 1.2 zestawiono dane o przedwczesnych zgonach odnotowanych w Niemczech i Polsce w wyniku oddziaływania pyłu zawieszonego PM_{2.5} oraz dwutlenku azotu NO₂, zawartych w powietrzu, zaś na rysunku 1.1 oszacowaną sumaryczną liczbę straconych lat życia na terenie UE.

Tabela 1.2 Przedwczesne zgony spowodowane emisją PM _{2.5} oraz NO ₂ w 2018 r. ⁸					
	Populacja (x 1000)	Średnie roczne stężenie PM_{2.5}	Przedwczesne zgony (PM_{2.5})	Średnie roczne stężenie NO₂	Przedwczesne zgony (NO₂)
Niemcy	82 792	12,30	63 100	19,10	9 200
Polska	37 977	21,70	46 300	15,60	1 900
EU	507 558	13,20	379 000	17,80	54 000



Rysunek 1.1. Liczba utraconych lat życia na 100 tys. populacji w poszczególnych krajach UE w wyniku zanieczyszczenia powietrza PM 2,5 i NO₂ ⁸

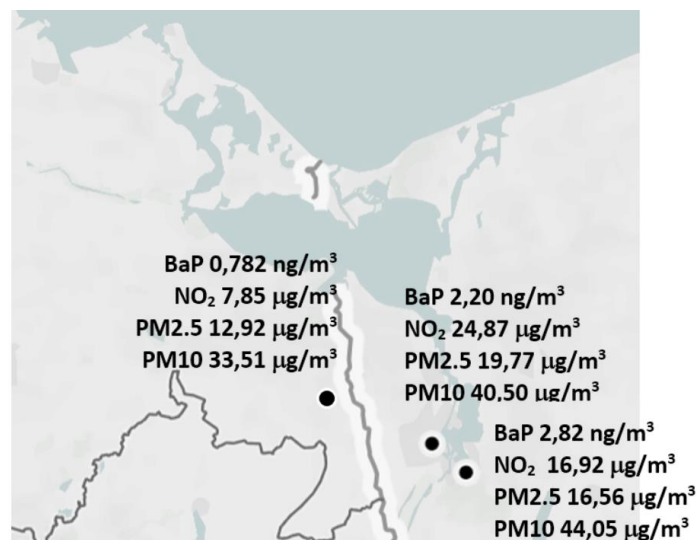
Podnosząc kwestię jakości powietrza w odniesieniu do obszaru wysp Uznam i Wolin, warto zwrócić uwagę na brak szczegółowych danych na temat stężenia zanieczyszczeń. Stacje

⁶ Sprawozdanie specjalne – Zanieczyszczenie powietrza – nasze zdrowie nadal nie jest wystarczająco chronione (przedstawione na mocy art. 287 ust. 4 akapit drugi TFUE). Europejski Trybunał Obrachunkowy, Luksemburg, 2018

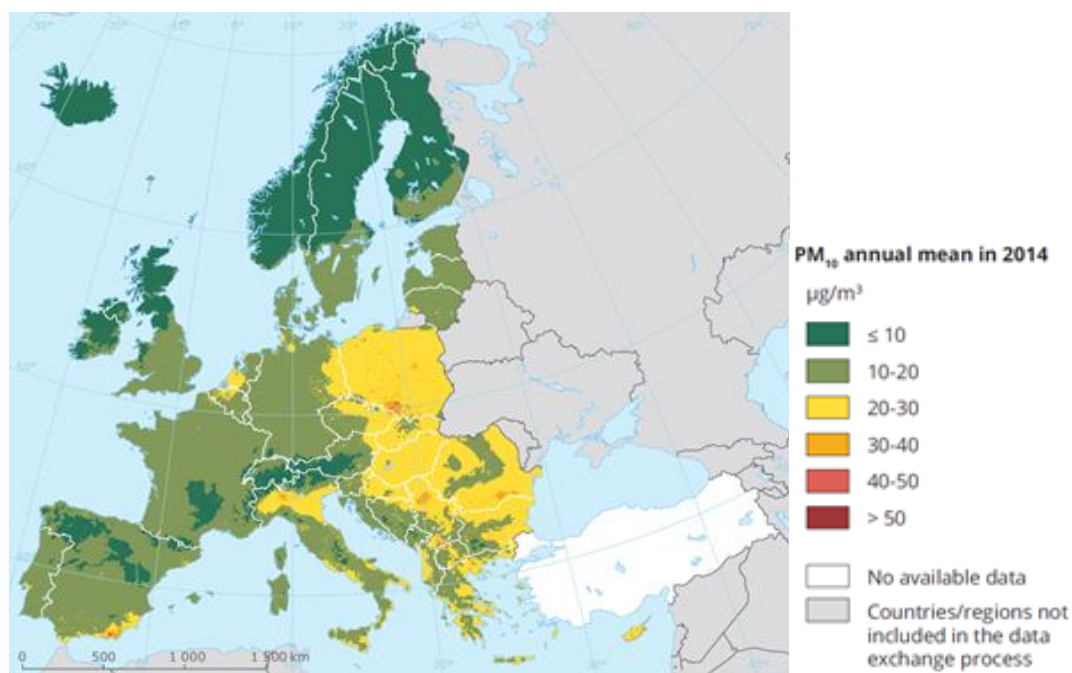
⁷ <https://www.eea.europa.eu/themes/air/country-fact-sheets/2020-country-fact-sheets/>

⁸ *Ibidem*

monitoringu jakości powietrza, zarówno po stronie niemieckiej, jak i polskiej oddalone są od terenu wysp o co najmniej kilkadziesiąt kilometrów (rys. 1.2).



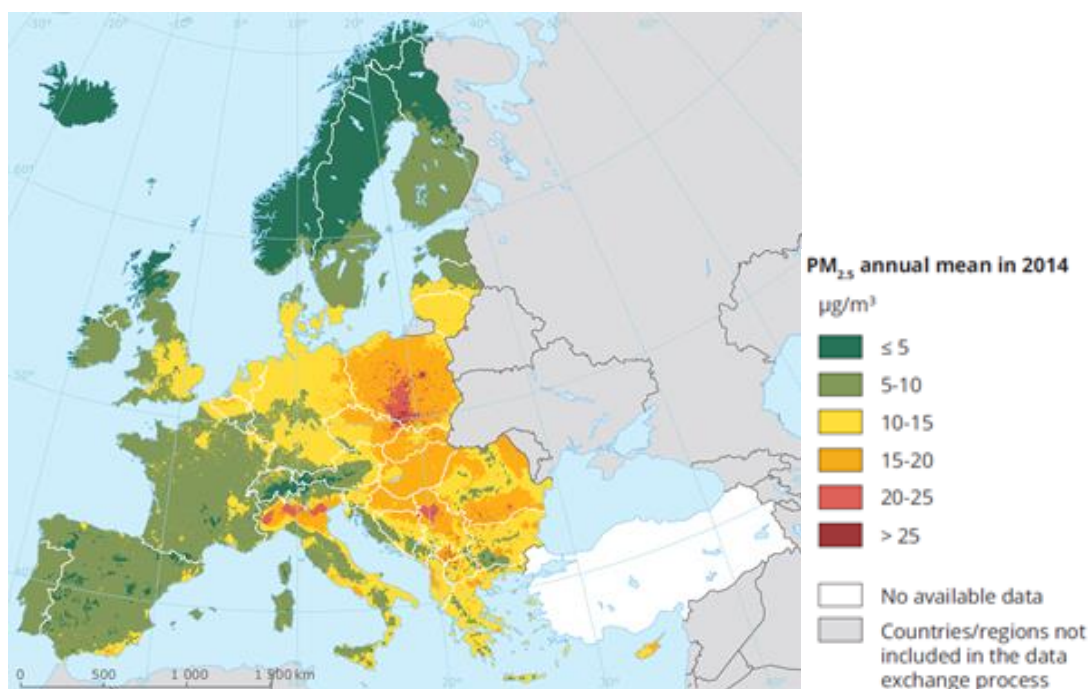
Rysunek 1.2. Średnie roczne stężenie BaP, NO₂, PM_{2.5} oraz PM₁₀ w 2020 r. ⁹



Rysunek 1.3. Średnie roczne stężenie pyłów PM₁₀ w Europie (2014 r.) ¹⁰

⁹ <https://www.eea.europa.eu/themes/air/country-fact-sheets/2020-country-fact-sheets/>

¹⁰ Air quality in Europe – 2017 report. EEA Report No 13/2017. Publication Office of the European Union, Luxembourg, 2017



Rysunek 1.4. Średnie roczne stężenie pyłów $PM_{2.5}$ w Europie (2014 r.)¹¹

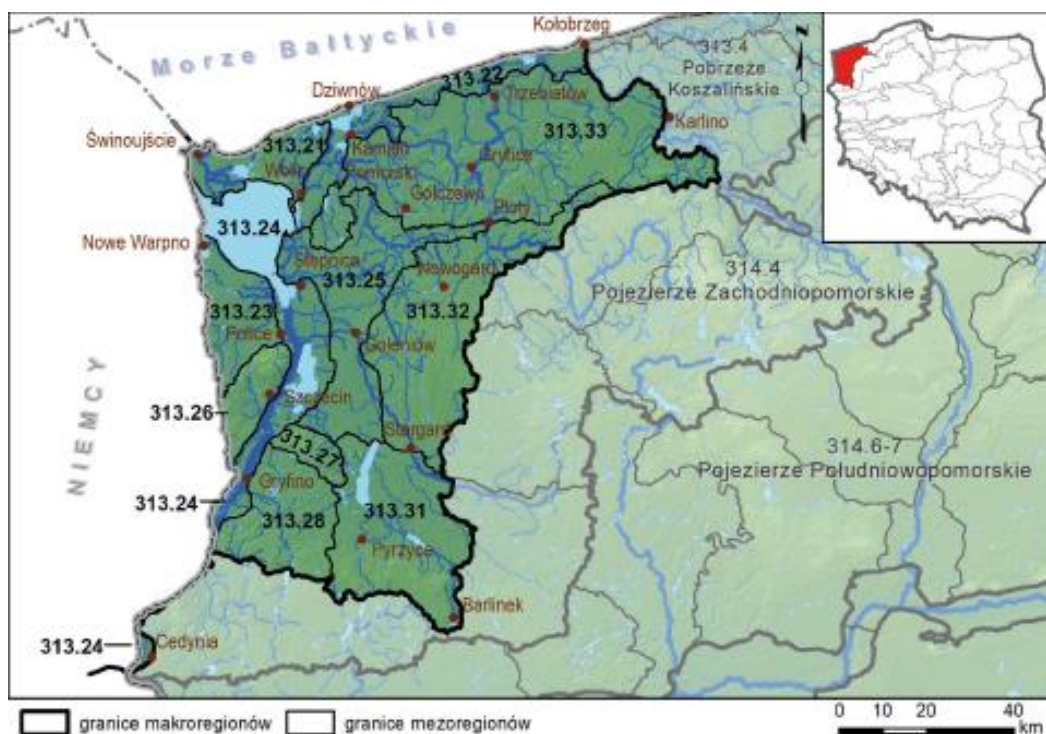
2. Zarys charakterystyki fizyczno-geograficznej obszaru MoRE

Według regionalizacji fizyczno-geograficznej Kondrackiego (Rychling i in., 2021¹²) wyspy Uznam i Wolin tworzą mezoregion 313.21 będący częścią makroregionu Pobrzeża Szczecińskiego (313.2-3), rysunek 2.1.

Wyspa Wolin oddzielona jest na zachodzie od Uznam cieśniną Świny, a od stałego lądu na wschodzie cieśniną Dziwny. Uznam na zachodzie od stałego lądu oddziela cieśnina Płany. Wyspa Wolin wraz z Wyspą Karsibór oraz archipelagiem około 40 wysepek wstecznej delty Świny i częścią Wyspy Uznam należą do Polski. Do Niemiec należy natomiast około 90% Wyspy Uznam oraz wyspy Ruden i Greifswalder Oie.

¹¹ Air quality in Europe – 2017 report. EEA Report No 13/2017. Publication Office of the European Union, Luxembourg, 2017

¹² Richling A., Solon J., Macias A., Balon J., Borzyszkowski J., Kistowski M. (red.) 2021. Regionalna geografia fizyczna Polski. Bogucki Wyd. Naukowe, Poznań.



Rysunek 2.1. Położenie mezoregionu Uznam i Wolin na tle makroregionu Pobrzeże Szczecińskie (313.2–3) ¹³

2.1. Geomorfologia oraz wody obszaru MoRE

Geologicznie obszar obu wysp jest stosunkowo młody. Rozwój rzeźby terenu obu wysp jest związany z fazami postępującego lądolodu i jego zanikiem oraz z działalnością wód pra-Odry i wód morskich. W rzeźbie badanego obszaru czytelne są dwie jednostki geologiczno – geomorfologiczne: tj. wysoczyzna plejstocenska Wysp Uznam i Wolin oraz holocenska Brama Świny. Brama Świny powstała pomiędzy wyspami Uznam i Wolin. Przy wiatrach północnych cieśniną Świny następują wlewy wód morskich do Zalewu Szczecińskiego. Ich efektem jest zatamowanie odpływu wód Odry w tej cieśninie, w której występuje 60% wymiany wód morskich i odrzańskich, oraz powstanie tzw. delty wstecznej na południowym brzegu wysp Uznam i Wolin. Oprócz cieśniny Świny, do ujściowych odnóg rzeki Odry zalicza się także cieśninę Piany, po stronie niemieckiej i cieśninę Dziwny, w części wschodniej. W tych cieśninach następuje po 20% wymiany wód.

Trzon obu wysp Uznam i Wolin stanowią pasma spiętrzonych moren czołowych. Wzgórza te osiągają znaczne wysokości. Kulminację stanowi góra Grzywacz na Wolinie o wysokości 115,9 m n.p.m. Najwyższe wzniesienia na wyspie Uznam w pobliżu granicy państwowej

¹³ Richling A. i in. (red.) Regionalna geografia fizyczna Polski, 2021

sięgają 60 m n.p.m. Stoki tych wzgórz mają często klifowy charakter, przede wszystkim od strony Zatoki Pomorskiej. Wysokości klifu przekraczają 90 m (góra Gosań – 93,4 m n.p.m.).

Opisywany region charakteryzuje duże wewnętrzne zróżnicowanie. Historia rozwoju wysp, urozmaicona rzeźba i podłoże przyczyniły się do zróżnicowania występujących tam typów krajobrazu. W granicach równin i wysoczyzn morenowych przeważają krajobrazy młodoglacjalne równinne, faliste i pagórkowate. Ze strefami czołowomorenowymi związane są krajobrazy pagórkowate i wzgórzowe. W centralnej części makroregionu dominują krajobrazy akumulacyjnych den dolin i akumulacyjne deltowe.

Ekosystemy wód powierzchniowych są genetycznie zróżnicowane. Na Pojezierzu Wolińskim występują stosunkowo małe jeziora polodowcowe wytopiskowe m.in. Czajcze, Domysławskie i Łuniewo oraz rynnowe: Wiselka, Zatorek i Kołczewo. Największe jezioro Koprowo (powierzchnia 486,8 ha, maks. głębokość 3,1 m) to jezioro przybrzeżne, stanowiące zachowany fragment dawnej zatoki morskiej. Na wschód od Świny położone są jeziora Wicko Wielkie i Wicko Małe. Stanowią one dawną zatokę Zalewu Szczecińskiego. Cieki wodne są nieliczne i niewielkie; uchodzą do Zalewu Szczecińskiego i Dziwny.

2.2. Klimat

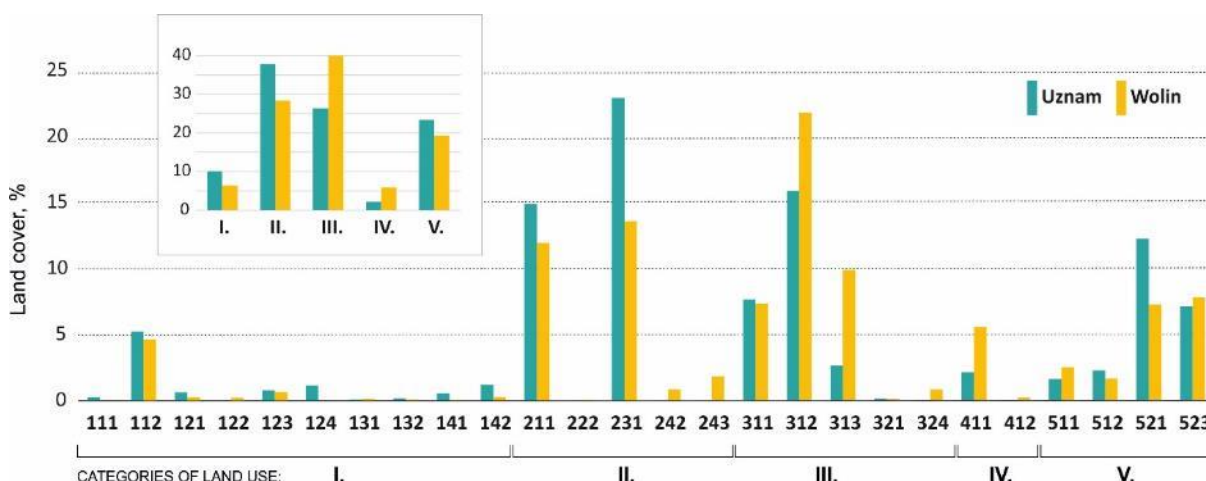
Klimat na przedmiotowych wyspach należy generalnie do najłagodniejszych na Pomorzu Zachodnim oraz Meklemburgii-Pomorzu Przednim. Tworzy on znaczne różnice pogodowe nad samymi wyspami. Nad morzem jest na przykład słonecznie i upalnie, w głębi pochmurnie, a nad Zalewem Szczecińskim mogą występować w tym samym czasie rześiste opady. Dzięki wpływom morskim i Zalewu Szczecińskiego przedwiośnie zaczyna się tutaj w ostatnich dniach lutego, wiosna po 5 kwietnia, lato na początku drugiej dekady czerwca, jesień w pierwszych dniach września, przedzimie po 10 listopada, zaś zima – bywa – w połowie stycznia. Jak widać właśnie tutaj zima jest najkrótsza w Polsce – od 40 do 60 dni. Niewiele jest także nocy przymrozkowych (łącznie z zimowymi 90 – 95), a śnieg zalega najwyżej 40 dni. Temperatura powietrza w styczniu wynosi przeciętnie $-0,6^{\circ}\text{C}$, a w lipcu $17,7^{\circ}\text{C}$. Sporo, bo 40 – 50 jest dni bardzo wietrznych, wiele jednak jest dni wybitnie pogodnych.

Pod względem klimatycznym w części północnej makroregionu, należącej do Regionu Zachodnio-nadmorskiego, występuje najwięcej dni z pogodą umiarkowaną ciepłą i pochmurną oraz najmniej dni z przymrozkami i mrozem. Centralna i południowa część należy

do Regionu Zachodniopomorskiego, gdzie częste są dni z pogodą przymrozkową, umiarkowanie zimną z niewielkim zachmurzeniem, bez opadu.

2.3. Użytkowanie terenu

Udział poszczególnych form użytkowania terenu przedstawiono na rysunku 2.2. Na wyspie Uznam dominują (37%) tereny sklasyfikowane wg Land Use Corine jako tereny rolne (kategoria II) z przewagą łąk i pastwisk (23%) nad gruntami ornymi (14,5%). Lasy i ekosystemy naturalne zajmują na wyspie Uznam 26%, a obszary wodne 23%. Obszary zabudowane zajmują 10% powierzchni wyspy, z czego połowę stanowi zabudowa luźna, miejska.



Rysunek 3.2. Udział kategorii użytkowania terenu wg Corine Land Cover na wyspach Uznam i Wolin

Kategorie:

I: Tereny antropogeniczne: 111 Zabudowa miejska zwarta; 112 Zabudowa miejska luźna; 121 Tereny przemysłowe lub handlowe; 122 Tereny komunikacyjne oraz tereny związane z komunikacją drogową i kolejową; 123 Porty; 124 Lotniska; 131 Miejsca eksploatacji odkrywkowej; 141 Tereny zielone; 142 Tereny sportowe i wypoczynkowe; **II. Tereny rolne** - 211 Grunty orne poza zasięgiem urządzeń nawadniających; 222 Sady i plantacje; 231 Łąki, pastwiska; 242 Złożone systemy upraw i działek; 243 Tereny zajęte głównie przez rolnictwo z dużym udziałem terenów naturalnych; **III. Lasy i ekosystemy naturalne** - 311 Lasy liściaste; 312 Lasy iglaste; 313 Lasy mieszane; 321 Murawy i pastwiska naturalne; 324 Lasy i roślinność krzewiasta w stanie zmian; **IV. Obszary podmokłe:** 411 Bagna śródlądowe; 412 Torfowiska; **V. Obszary wodne:** 511 Cieki; 512 Zbiorniki wodne; 521 Laguny, 523 Morza.

Na wyspie Wolin dominują lasy i ekosystemy naturalne (kategoria III) -40%, z przewagą (23%) lasów iglastych. Tereny rolne (kategoria II) zajmują na Wolinie 27%, z przewagą łąk i pastwisk (13%), nad gruntami ornymi (12%). Ekosystemy wodne zajmują 20%, laguny i jeziora. Zabudowa Wolina zajmuje 6%, z czego głównie w postaci luźnej zabudowy miejskiej (4.5%).

3. Przedmiot, cel, zakres, obszar i metodyka badań

3.1. Przedmiot, cel i zakres badań

Przedmiotem badań był chwilowy stan powietrza na obszarze wysp Uznam i Wolin.

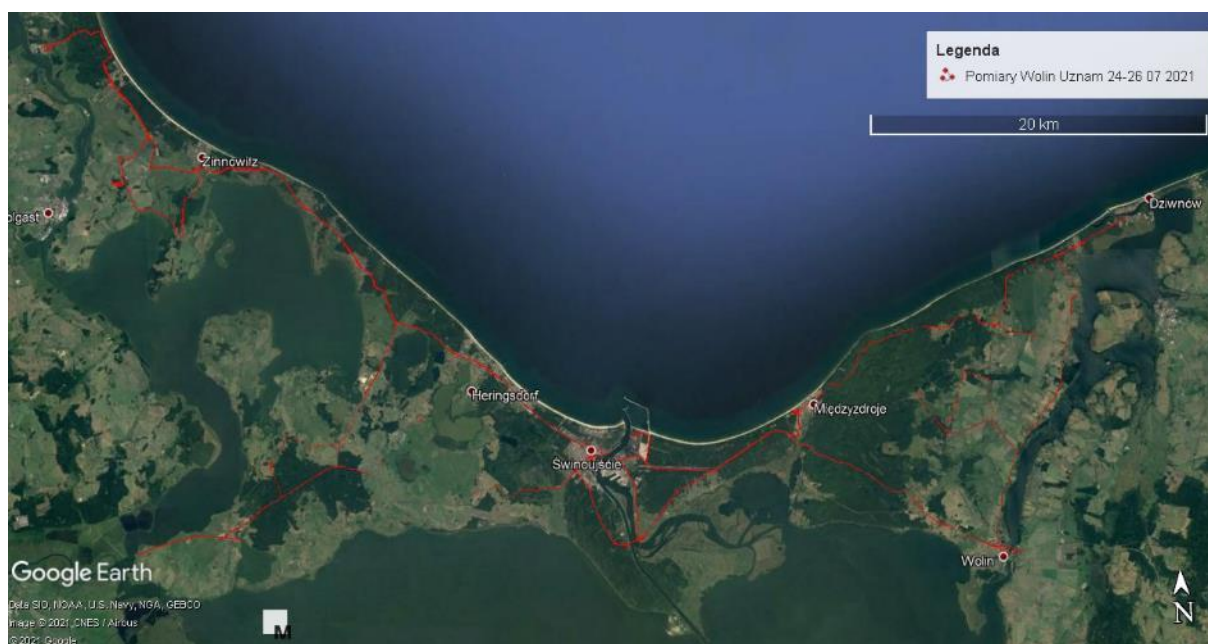
Ze względu na brak szczegółowych danych na temat zanieczyszczeń na przedmiotowym terenie, celem badań było ustalenie parametrów charakteryzujących jakość powietrza na obszarze MoRE, tj. stężenia gazów cieplarnianych emitowanych z antropogenicznych i naturalnych źródeł emisji na terenie wysp.

Zakres badań objął pomiary stężeń CO₂ i CH₄ oraz cząstek stałych PM_{2.5} i PM₁₀ w czterech charakterystycznych sezonach: wiosennym, letnim, jesiennym i zimowym. Wykonano również pomiary emisji ze zbiorników wodnych i kanałów na obszarze MoRE oraz z oczyszczalni ścieków i wysypisk odpadów.

3.2. Metodyka badań

Z uwagi na rozległość terenu wysp, nie przeprowadzono badań pilotażowych w wybranych miejscowościach. Zastosowano monitoring mobilny prowadzony z pokładu samochodu pozwalający na znaczące rozszerzenie obszaru badawczego. Trasa przejazdu, a tym samym pomiarów, obejmowała zarówno główne, jak i boczne szlaki komunikacyjne wysp Uznam i Wolin. Została ona zaprojektowana w taki sposób, aby uchwycić potencjalne źródła emisji gazów i ocenić tło stężeń gazów na obu wyspach. Przejazd w trybie monitoringu dziennego i nocnego w badaniach sezonowych (wiosna, lato, jesień, zima) prowadzono po trasie analogicznej do przedstawionej na rysunku 3.1.

Pomiary tła (CO₂, CH₄, PM_{2.5} i PM₁₀) dokonywano podczas przejazdu samochodem. Sprzęt pomiarowy zamontowany był w sposób ograniczający zakłócenia drogowe (komunikacyjne). Niezależnie od przejazdu, wykonywano pomiary stacjonarne stężenia CO₂, CH₄ na wysokości 1,5 m nad powierzchnią gruntu, którym towarzyszył ręczny pomiar siły i kierunku wiatru, temperatury i wilgotności powietrza. Każdy pomiar został zarejestrowany z uwzględnieniem jego danych georeferencyjnych (długość i szerokość geograficzna), co umożliwiło dalsze analizy i obróbkę graficzną danych (GIS).



Rysunek 3.1. Trasa pomiarowa (czerwona linia) na wyspie Wolin i Uznam podczas sezonowych pomiarów mobilnych

3.2.1. Serie pomiarowe

Serie pomiarowe wielkości stężenia CO_2 i CH_4 w powietrzu wykonywano codziennie w czasie światła dziennego i po zmroku podczas 4 sezonów w 2021 r.:

- zima w dniach 24-25 lutego (Wolin) i 18-19 marca (Uznam¹⁴)
- wiosna w dniach 1-4 maja 2021 r.
- lato w dniach 23-27 lipca 2021 r.
- jesień w dniach 14-17 października 2021 r.

Serie pomiarowe wielkości stężenia cząstek stałych $\text{PM}_{2.5}$ i PM_{10} w powietrzu przeprowadzono w okresie:

- wiosna w dniach 29 kwietnia 2021 r., 5 maja 2021 r. oraz 7-9 maja 2021 r.
- lato w dniach 5-6 czerwca 2021 r.
- jesień w dniach 14-17 października 2021 r.
- zima w dniach 5 i 7 lutego 2022 r.

Dane terenowe zbierano łącznie w cyklach przejazdów przed i po zmroku, w wyżej wymienionych porach roku, uzupełnionych przez dodatkowo wykonywane pomiary stacjonarne oraz marszrutowe. Łącznie wykonano 48 serii pomiarowych.

¹⁴ Opóźnienie spowodowane było zakazem wjazdu na teren Niemiec z powodu pandemii COVID SARS-COV-2. Pomiar wykonano w pierwszym możliwym terminie, przy temperaturze powietrza < 0 st C.

Pomiary po niemieckiej stronie wyspy Uznam możliwe były do przeprowadzenia dopiero po uzyskaniu odpowiednich pozwoleń, z uwagi na obostrzenia wjazdowe do Niemiec związane z pandemią COVID-19.

Na obu wyspach wykonywano pomiary emisji gazów CO₂ i CH₄ z obiektów hydrograficznych. Na wyspie Wolin wykonano pomiary emisji badanych gazów cieplarnianych z 5 zbiorników wodnych, a na 14 obiektach wodnych wykonano dodatkowo pomiary jakości wody. Badaniami objęto:

- **wody jezior:** J. Żółwińskie (9), J. Kołczewo (4), J. Koprowo (7),
- **wody płynące w obrębie wyspy:** Ognica (2), Lewieńska Struga 1 (10), Lewieńska Struga 2v (3), Lewieńska Struga 3 (6), Kanał Darzowice E (8), Kanał Darzowice W (11), odpływ z Darzow. Torfowiska (12),
- **wody otaczające wyspę Wolin:** Stara Świna (1), Dziwna-Dziwnów (5), Dziwna-Wolin (13), J. Wicko Wielkie (14¹⁵).

Na wyspie Uznam wykonano pomiary emisji gazów z 8 zbiorników wodnych, a pomiary jakości wody wykonano na 15 obiektach:

- **wody jezior:** Krumminer Wiek (18), Achterwasser (Uckeritz) (21), Nepperminer See (23), Usedomer See (27), Schloensee (28),
- **wody płynące w obrębie wyspy:** Kanał Heringsdorf (16), Fagnitz (19), Gr. Strumminsee (20), Kanał Pudagla (20), Kanał Vossberg (25), Kanał Reetzow (29), Kanał Torfowy (30),
- **wody otaczające wyspę:** Peenestorm (Wolgast) (17), Peenestrom (Rankwitz) (24), Peenestrom (Zacherin) (26).

3.2.2. Warunki pogodowe podczas kampanii pomiarowych

Pomiary zimowe

Średnia temperatura powietrza w dniach 22-26 luty wynosiła 8,9 °C i była aż o 8,1 °C od średniej miesięcznej (Tab. 3.1a i b). Również w poszczególnych dniach poboru prób, wartości temperatury średniej, maksymalnej i minimalnej powietrza znacznie odbiegały od wartości średnich miesięcznych. Notowane w tym czasie wartości temperatury maksymalnej powietrza kształtowały się od 12,1 do 17,3 °C. Okres w którym dokonywano poboru prób, można uznać za bezopadowy. Tylko 25 lutego odnotowano opad o wysokości zaledwie 0,1 mm. Dominowały

¹⁵ Pomiarów emisji gazów na jeziorze Wicko Wielkie nie wykonano w okresie wiosennym z powodu zbyt wysokiego falowania.

wiatry z kierunku SW o średniej prędkości 2,4-3,0 m/s. W ostatnim dniu pomiarów, 26 lutego, notowano wiatry z kierunku W i NW. W okresie 7 dni przed rozpoczęciem poboru prób przeważały wiatry z kierunku S i SW.

Tab. 3.1a Wartości parametrów meteorologicznych w Świnoujściu w okresie I kampanii pomiarowej

Daty pomiaru		Prędkość wiatru [m/s]	Temperatura powietrza [°C]			Opad atmosferyczny [mm]	Wilgotność względna powietrza [%]	Ciśnienie atmosferyczne n.p.m. [hPa]
Miesiąc	dzień		średnia	max	min			
Luty	22	3	6,2	12,1	1,3	0	77,9	1021,5
2021	23	3	9,3	15	4,4	0	73,5	1029
	24	2,4	10,9	17,3	6,9	0	76,9	1029,5
	25	2,6	10,8	17,4	4,7	0,1	78,3	1025,3
	26	2,9	7,3	14,3	5,9	0	76,1	1027,1
22-26 II		2,8	8,9	15,2	4,6	0,1	76,5	1026,5
II 2021		3,3	0,8	4,1	-1,7	47,2	81,2	1020,8

Tab. 3.1b Udział procentowy [%] kierunków wiatru

Data	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C
22 II	0	0	0	0	25	75	0	0	0
23 II	0	0	0	0	0	100	0	0	0
24 II	0	0	0	0	0	100	0	0	0
25 II	0	0	0	0	0	83	8	8	0
26 II	0	0	0	0	0	0	63	38	0
22-26 II	0	0	0	0	5	72	14	9	0
II 2021	3	3	16	8	19	26	10	13	3
7 dni	1	0	1	1	56	30	8	2	1

Średnia temperatura powietrza w dniach 17-23 marca 2021 wynosiła 2,1 °C i była aż o 2 °C niższa od średniej miesięcznej (Tab. 3.1c - d). Również w poszczególnych dniach pomiarów, wartości temperatury średniej, maksymalnej i minimalnej powietrza znacznie odbiegały od wartości średnich miesięcznych. Notowane w tym czasie wartości temperatury maksymalnej powietrza kształtowały się od 2,8 do 4,3 °C, a minimalnej -1,2 do 1,2 °C. W okresie w którym dokonywano pomiarów suma opadów wyniosła 3.3 mm. Dominowały (52%) wiatry z kierunku NE. W okresie 7 dni przed rozpoczęciem pomiarów przeważały wiatry sektora południowego, w szczególności SW.

Tab. 3.1c Wartości parametrów meteorologicznych w Świnoujściu w okresie I cz.2 kampanii pomiarowej

Daty pomiaru		Prędkość wiatru [m/s]	Temperatura powietrza [°C]			Opad atmosferyczny [mm]	Wilgotność względna powietrza [%]	Ciśnienie atmosferyczne n.p.m. [hPa]
Miesiąc	dzień		średnia	max	min			
Marzec 2021	17	3,6	2,6	4,3	1,2	0	92,9	1022,3
	18	2	2,1	3,8	0,3	0,8	91,1	1021,2
	19	8,1	1,3	2,8	-1,2	0,4	74,9	1023,8
	20	2,9	1,8	4,4	-1	2,1	61,1	1023,9
17-20 III		4,2	2	3,8	-0,2	3,3	80	1022,8
III 2021		2,7	4,4	8,3	1,5	39,1	79,9	1018,5

Tab. 3.1d Udział procentowy [%] kierunków wiatru

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C
17 III	29	63	0	0	0	0	0	0	8
18 III	13	42	8	0	0	17	8	0	12
19 III	4	96	0	0	0	0	0	0	0
20 III	4	8	0	0	0	38	46	4	0
17-20 III	13	52	2	0	0	14	14	1	3
III	8	10	4	1	8	37	16	12	5
7 dni	7	0	2	1	20	48	8	12	2

Pomiary wiosenne

Średnia temperatura powietrza w dniach 1-4 maja 2021 wynosiła 3,6 °C i była aż o 0,1 °C niższa od średniej miesięcznej (Tab. 3.2a, 3.2b). W poszczególnych dniach pomiarów, wartości temperatury średniej, maksymalnej i minimalnej powietrza nie odbiegały od wartości średnich miesięcznych. Notowane w tym czasie wartości temperatury maksymalnej powietrza kształtowały się od 7,3 do 13,9 °C, a minimalnej -1,4 do 4,3 °C. W okresie, w którym dokonywano pomiarów suma opadów wyniosła 3,0 mm. Dominowały wiatry z północnego zachodu o średniej prędkości 4,2 m/s. W okresie 7 dni przed rozpoczęciem pomiarów przeważały wiatry sektora północnego, w szczególności N.

Tab. 3.2a Wartości parametrów meteorologicznych w Świnoujściu w okresie III kampanii pomiarowej

Daty pomiaru		Prędkość wiatru [m/s]	Temperatura powietrza [°C]			Opad atmosferyczny [mm]	Wilgotność względna powietrza [%]	Ciśnienie atmosferyczne n.p.m. [hPa]
Miesiąc	Dzień		średnia	max	min			
Maj 2021	1	3,6	7	11,2	1,4	0	76,4	1015
	2	3	6,5	8,7	3,5	0	85,6	1012,2
	3	2,8	6,3	11,2	2,9	0,9	82,8	1014,7
	4	5	9,5	13,9	4,3	1,1	68,6	1000,5
1-4 V		4,2	3,6	7,3	11,3	3,0	2,0	78,4
V 2021		2,7	3,7	11,5	16,1	7,9	44,3	75,2

Tab. 2-2b Udział procentowy [%] kierunków wiatru

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C
1 V	4	25	54	13	0	0	0	0	4
2 V	21	67	4	4	0	0	0	4	0
3 V	0	0	0	0	8	46	42	4	0
4 V	0	0	0	13	50	38	0	0	0
1-4 V	6	23	15	7	15	21	10	2	0
V	14	8	3	6	16	26	13	14	0
7 dni	23	17	12	8	3	8	11	18	1

Pomiary letnie

Średnia temperatura powietrza w dniach 22-27 lipca 2021 wynosiła 21,6 °C i była o 1,2 °C wyższa od średniej miesięcznej (Tab. 3.3a, 3.3b). W poszczególnych dniach pomiarów, wartości temperatury średniej, maksymalnej i minimalnej powietrza nie odbiegały od wartości średnich miesięcznych. Notowane w tym czasie wartości temperatury maksymalnej powietrza kształtowały się od 22,4 do 29,9 °C, a minimalnej 13,7 do 20,0 °C. W okresie, w którym dokonywano pomiarów suma opadów wyniosła 0,7 mm. Dominowały wiatry z północnego wschodu o średniej prędkości 3,6 m/s. W okresie 7 dni przed rozpoczęciem pomiarów przeważały wiatry z kierunku północnego i zachodniego.

Tab. 3.3a Wartości parametrów meteorologicznych w Świnoujściu w okresie IV kampanii pomiarowej

Daty pomiaru		Prędkość wiatru [m/s]	Temperatura powietrza [°C]			Opad atmosferyczny [mm]	Wilgotność względna powietrza [%]	Ciśnienie atmosferyczne n.p.m. [hPa]
Miesiąc	Dzień		średnia	max	min			
Lipiec 2021	23	2,9	18,9	22,4	13,7	0	67,5	1017,5
	24	5,3	20,7	24,5	14,9	0	74,8	1014,5
	25	3,9	23,5	28,3	20	0	65,3	1011,7
	26	3,1	22,4	26,4	19,5	0,5	76,5	1011
	27	2,9	22,4	29,9	16,9	0,2	78	1010,8
23-27 VII		3,6	21,6	26,3	17,0	0,7	72,4	1013,1
VII 2021		3,9	20,4	24,4	16,7	60,3	77,4	1013,6

Tab. 3.3b Udział procentowy [%] kierunków wiatru

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C
23 VII	0	50	8	0	0	33	8	0	0
24 VII	0	33	38	25	4	0	0	0	0
25 VII	0	21	4	75	0	0	0	0	0
26 VII	8	29	8	17	17	13	4	4	0
27 VII	4	0	8	8	17	50	13	0	0
23-27 VII	3	27	13	24	8	19	5	1	0
VII	10	15	9	7	12	24	14	9	0
7 dni	26	4	0	0	0	14	27	29	0

Pomiary jesienne

Średnia temperatura powietrza w dniach 14-17 października 2021 wynosiła 10,1 °C i była o 0,6 °C niższa od średniej miesięcznej (Tab. 3.3a, 3.3b). W poszczególnych dniach pomiarów, wartości temperatury średniej, maksymalnej i minimalnej powietrza nie odbiegały od wartości średnich miesięcznych. Notowane w tym czasie wartości temperatury maksymalnej powietrza kształtowały się od 12,1 do 14,4 °C, a minimalnej 5,1 do 9,4 °C. W okresie, w którym dokonywano pomiarów suma opadów wyniosła 2,8 mm. Dominowały wiatry z SW i W o średniej prędkości 3,7 m/s. W okresie 7 dni przed rozpoczęciem pomiarów przeważały wiatry z kierunku S i SW.

Tab. 3.4a Wartości parametrów meteorologicznych w Świnoujściu w okresie IV kampanii pomiarowej

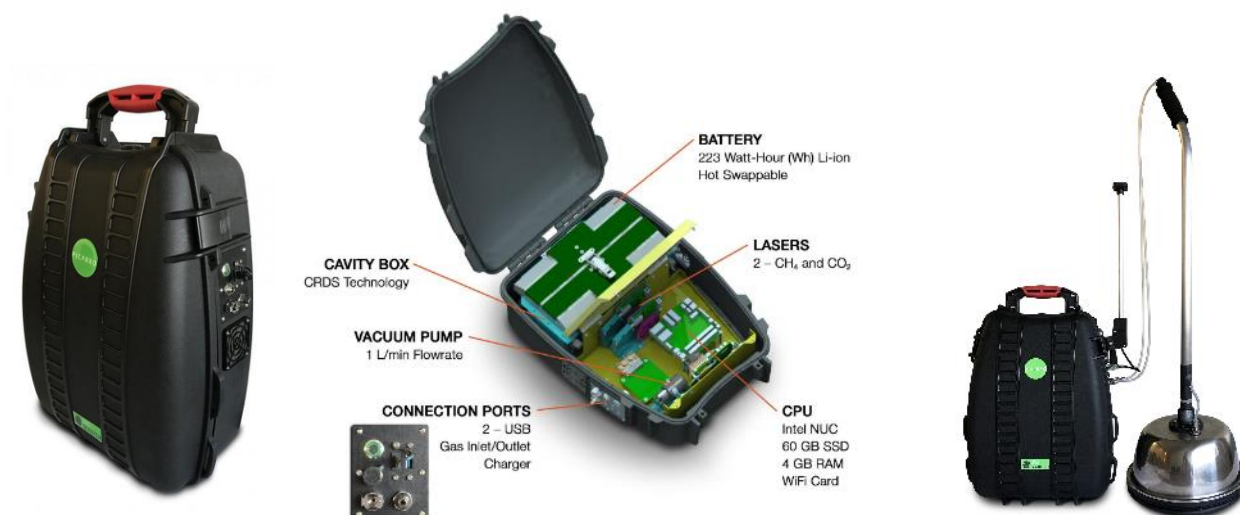
Daty pomiaru		Prędkość wiatru [m/s]	Temperatura powietrza [°C]			Opad atmosferyczny [mm]	Wilgotność względna powietrza [%]	Ciśnienie atmosferyczne n.p.m. [hPa]
Miesiąc	Dzień		średnia	max	min			
Październik 2021	14	3,9	10,9	14,4	6,8	0	90,1	1017
	15	4,4	11,1	13	9,4	1,7	84,1	1010,5
	16	3,4	8,6	12,1	5,1	0	83,1	1018,5
	17	3,1	9,8	12,3	8,4	1,1	79,8	1018,3
14-17 X		3,7	10,1	13,0	7,4	2,8	84,3	1016,1
X 2021		3,7	10,7	14,1	7,9	37,6	75,2	1016,9

Tab. 3.4b Udział procentowy [%] kierunków wiatru

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C
14	0	0	0	0	0	92	8	0	0
15	0	0	0	0	0	50	50	0	0
16	0	0	0	0	0	83	17	0	0
17	0	0	0	0	0	67	29	4	0
14-17	0	0	0	0	0	73	26	1	0
X	2	2	3	5	38	36	11	2	0
7dni	8	10	10	12	24	17	15	5	0

3.2.3. Wykorzystana aparatura

Pomiary stężenia i emisji CO₂ i CH₄ wykonywano za pomocą przenośnego analizatora gazów CO₂, CH₄ i H₂O GasScouter™ G4301 Mobile Gas Concentration Analyzer firmy PICARRO (Santa Clara, Kalifornia, USA), rysunek 3.2.



Rysunek 3.2. GasScouter™ G4301 Mobile Gas Concentration Analyzer – urządzenie do pomiaru stężeń i emisji gazów cieplarnianych CO₂, CH₄ i H₂O wykorzystane w projekcie MoRE

Pomiary stężenia cząstek stałych PM_{2.5} i PM₁₀ wykonano z wykorzystaniem multirejestratora cząstek stałych (rys. 3.3).



Rysunek 3.3. Rejestrator cząstek stałych PM_{2.5} i PM₁₀

3.2.4. Analiza danych surowych

Surowe wyniki dokonywanych pomiarów CO₂ i CH₄ zapisywane były w pamięci urządzenia GasScouter z częstotliwością próbkowania średnio 74 razy na minutę. Zestaw danych dla każdego punktu pomiarowego zawiera wartości stężeń CO₂, CH₄ i H₂O oraz informację o jego geolokalizacji. Dane te zostały wstępnie zweryfikowane i zestawione wg terminów wykonanych obserwacji oraz poddane filtracji celem usunięcia pomiarów wadliwych lub wartości odstających. W celu zachowania integralności danych pochodzących z terminów przejazdów połączonych i niepołączonych z poborem próbek, ze zbiorów wyłączono okresy

postojów przy obiektach badawczych, oraz te części pomiarów, które podlegały zakłóceniom, np. podczas manewrowania pojazdem wykorzystywanym do realizacji badań.

Po dokonaniu wstępnej selekcji danych, uzyskano zestaw danych zawierający 372 972 pojedyncze wyniki pomiarów (dla poszczególnych przejazdów zgromadzono od 10 430 do 26 518 punktów danych). Dodatkowo, w pomiarach marszrutowych i stacjonarnych, zgromadzono 72 100 wyników pomiarów. Aby wyeliminować wpływ rozrzutu danych chwilowych, wynikający ze specyfikacji samego urządzenia pomiarowego, do celów dalszych opracowań dane uśredniono dla interwałów 30-sekundowych. W każdym uśrednionym rezultacie mieściły się 34 pomiary bazowe, z lokalizacją geograficzną umiejscowioną w centrum każdego przedziału. Tak uzyskana baza danych uśrednionych zawiera łącznie 10 080 wyników (dotyczy pomiarów zbieranych w ramach przejazdów samochodowych).

W celu uzyskania porównywalności danych pochodzących z poszczególnych terminów (sezonów), posiadających różne wartości koncentracji tła badanych gazów (397,15 – 456,63 ppm dla CO₂ oraz 1936 – 2029 ppb dla CH₄), obliczono wartości anomalii (odchyleń) od stężeń średnich 30-sekundowych. Wartości referencyjne anomalii określono indywidualnie dla każdego z przejazdów, obliczając je jako średnie arytmetyczne z 50% środkowego przedziału danych bazowych (surowych po weryfikacji) dla CO₂ i CH₄. Uzyskane w ten sposób wyniki posłużyły do wykonania wizualizacji z wykorzystaniem narzędzi GIS. Analizy przestrzenne danych wektorowych pozyskanych (wytworzonych) podczas realizacji niniejszego projektu zostały wykonane w oparciu o narzędzia geoprocesingu zawarte w otwartoźródłowym systemie informacji geograficznej (GIS) QGIS 3.20.2.

Dane pomiarowe z rejestratora zawartości cząstek stałych w powietrzu zawierają informację o lokalizacji punktów w układzie WGS 84 (współrzędne elipsoidalne B,L) oraz wartości stężeń pyłów zawieszonych PM₁₀ oraz PM_{2.5} dla tychże współrzędnych. Czujnik pyłów wykonuje próbkowanie w odstępach 30-sekundowych. Z uwagi, że czujnik poruszał się wraz z samochodem po drogach, punkty pomiarowe układają się w ciągi liniowe pokrywające się z układem drogowym. Ten sposób pomiaru bardzo dobrze obrazuje stężenie pyłów wzdłuż linii komunikacyjnych, gorzej zaś dla całego obszaru wysp, analogicznie jak w przypadku badania CO₂ i CH₄.

Do prezentacji wyników pomiarów zastosowano metodę należącą do grupy metod obiektywnego szacowania obejmujących m.in.:

- matematyczne oraz geostatystyczne metody obliczania stężeń na podstawie wartości uzyskiwanych z pomiarów w innych miejscach lub w innym czasie, w oparciu o wiedzę na temat rozkładów stężeń i emisji na danym obszarze,
- zastosowanie analogii do wielkości stężeń pomierzonych na innym obszarze,
- zastosowanie analogii do wielkości stężeń pomierzonych na danym obszarze w innym okresie

W przypadku wyników gazów z pomiarów mobilnych szacowanie odbyło się z zachowaniem następujących założeń:

- dużej reprezentatywności pomiarów prowadzonych w sąsiednich strefach,
- analogii do stężeń pomierzonych w danym obszarze w innym okresie,
- analogii do stężeń pomierzonych w innym obszarze.

Metodykę tą wykorzystano jako metodę uzupełniającą, za pomocą której określono nie tylko przestrzenny rozkład poziomu stężenia, ale również wskazano obszary przekroczeń wartości kryterialnych/krytycznych.

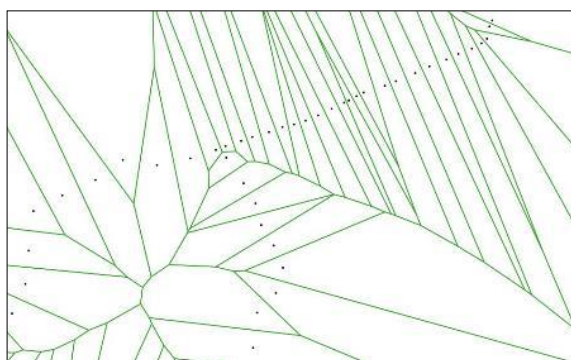
Aby przedstawić liniowe dane pomiarowe (wszystkich badanych stężeń) w postaci wartości stężeń dla pewnych obszarów, zdecydowano się przekształcić punkty pomiarowe w poligony Voronoja. Metoda ta polega na podziale płaszczyzny na obszary wokół punktów pomiarowych w taki sposób, aby każdy punkt w danym obszarze przypisanym do punktu pomiarowego był położony bliżej tego punktu niż jakiegokolwiek innego punktu pomiarowego ze zbioru danych. Opracowanie podziału płaszczyzny oraz map zanieczyszczeń wykonano w programie QGIS. Każdy obszar otrzymał wartość stężenia pyłów właściwą dla danego punktu pomiarowego. Metoda ta jest tym bardziej skuteczna, im linie pomiarowe są prowadzone gęściej. W przypadku dużych odległości między trasami przejazdu, wartości stężeń były ekstrapolowane dla znacznych obszarów i niekoniecznie korelują z prawdziwymi wartościami stężeń.

Obszar badawczy wysp został podzielony na poligony o boku 1x1 km (1 km²). Następnie, z sieci poligonów do dalszych analiz wybrano 1800 poligonów pokrywających swoim zasięgiem przedmiotowy teren (rys. 3.4), którym przyporządkowano jedną uśrednioną wartość stężenia gazów lub pyłów.

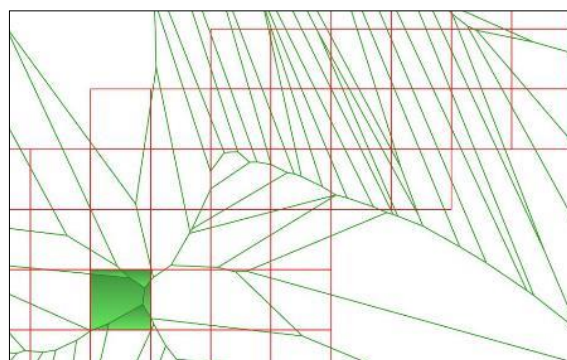


Rysunek 3.4. Sieć poligonów badawczych na wyspach Uznam i Wolin

Na mapach zanieczyszczeń poszczególne kwadraty siatki zostały zaznaczone kolorem odpowiednim dla danego przedziału wartości stężeń. Aby uzyskać wartości stężeń dla kwadratów siatki obliczono średnią ważoną ze wszystkich fragmentów poligonów Voronoja (rys. 3.5) składających się na dany kwadrat. Na poligony Voronoja nałożono przyjętą siatkę pól (1x1 km) i obie warstwy scalono (rys. 3.6). Zastosowaną wagą była powierzchnia każdego fragmentu każdego z poligonów składających się na powierzchnię danego kwadratu. Sumą wag był 1 km², wartościami do średniej ważonej były wartości CO₂, CH₄, PM_{2.5} i PM₁₀ przypisane do danego poligonu. Jest to najlepszy sposób konwertujący dane punktowe na dane powierzchniowe, jednak przy końcach linii pomiarowych, wartości z ostatnich punktów w linii mocno rzutują na wartości kwadratów położonych poza linią, ponieważ wartości tych ostatnich punktów wnoszą największe wagi dla kwadratów, w których nie występuje żaden punkt pomiarowy.

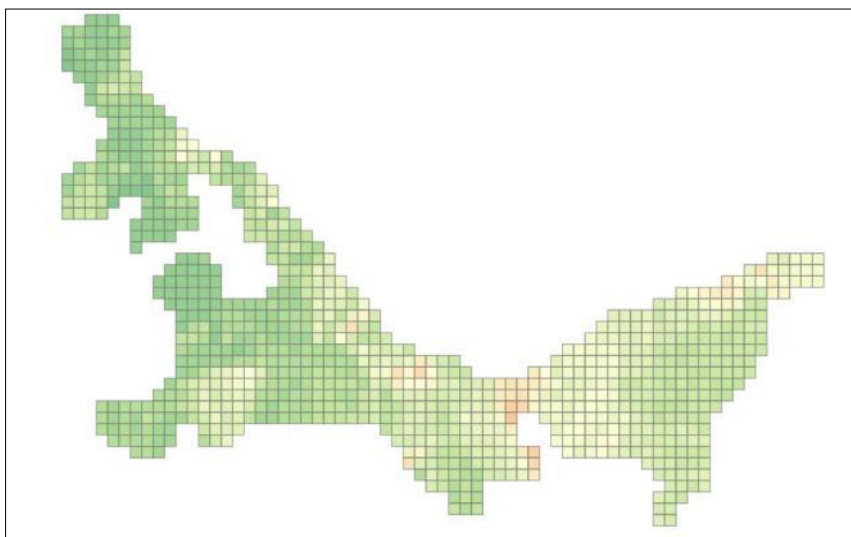


Rysunek 3.5. Poligony Voronoja



Rysunek 3.6. Scalona warstwa poligonow Voronoja i sieci pól 1x 1 km

Poszczególnym polom przypisano wartości z poligonów Voronoja wykorzystując średnią ważoną, gdzie wagą było pole powierzchni dla danej wartości. Wartości te posłużyły do utworzenia warstwy poligonowej przedstawiającej wygenerowaną wcześniej siatkę kwadratów z przypisanymi im wartościami średniej ważonej, co zobrazowano w postaci map (rys. 3.7). Kartogramy tego typu stworzono dla wszystkich dni objętych pomiarami, a na ich podstawie wykonano mapy obrazujące średnie wartości dla sezonów oraz zbiorczą mapę dla roku.



Rysunek 3.7. Przykład zmienności wartości wskaźnika w sieci kwadratów 1 x 1 km

Dodatkowo wykonano wykresy liniowe obrazujące rozkład stężeń wzdłuż dróg, którymi poruszała się aparatura badawcza. Tą metodą prezentowane są wartości PM_{2.5} i PM₁₀, dla każdego punktu pomiarowego na trasie. Oś pozioma prezentuje odległości między punktami pomiarowymi, obliczone ze współrzędnych. Wykresy zostały zaprezentowane dla wybranych tras między wybranymi miejscowościami. Na każdym wykresie zaznaczono poziom dopuszczalnych stężeń dobowych wg wytycznych WHO z września 2021 r. (15 µg/m³ dla PM_{2.5} i 45 µg/m³ w przypadku pyłu zawieszonego PM₁₀).

4. Wyniki pomiarów stężenia CO₂ i CH₄

4.1. Stężenia gazów cieplarnianych CO₂ i CH₄ w powietrzu na wyspach Uznam i Wolin – pomiary mobilne

4.1.1. Dwutlenek węgla

Średnie stężenie CO₂ w okresie badań (2021 r.) na wyspach Uznam i Wolin wynosiło 423,32 ppm i występowało w zakresie od 364,99 do 560,28 ppm (Tabela 4.1).

Tabela 4.1. Zestawienie średnich stężeń gazów CO₂ i CH₄ w powietrzu w sezonach w okresie pomiarowym 2021 r. Odmienne symbole literowe (indeksy górne) oznaczają grupy średnich różniących się istotnie statystycznie w teście HSD Tukeya (post hoc, two-way ANOVA, p<0,05)

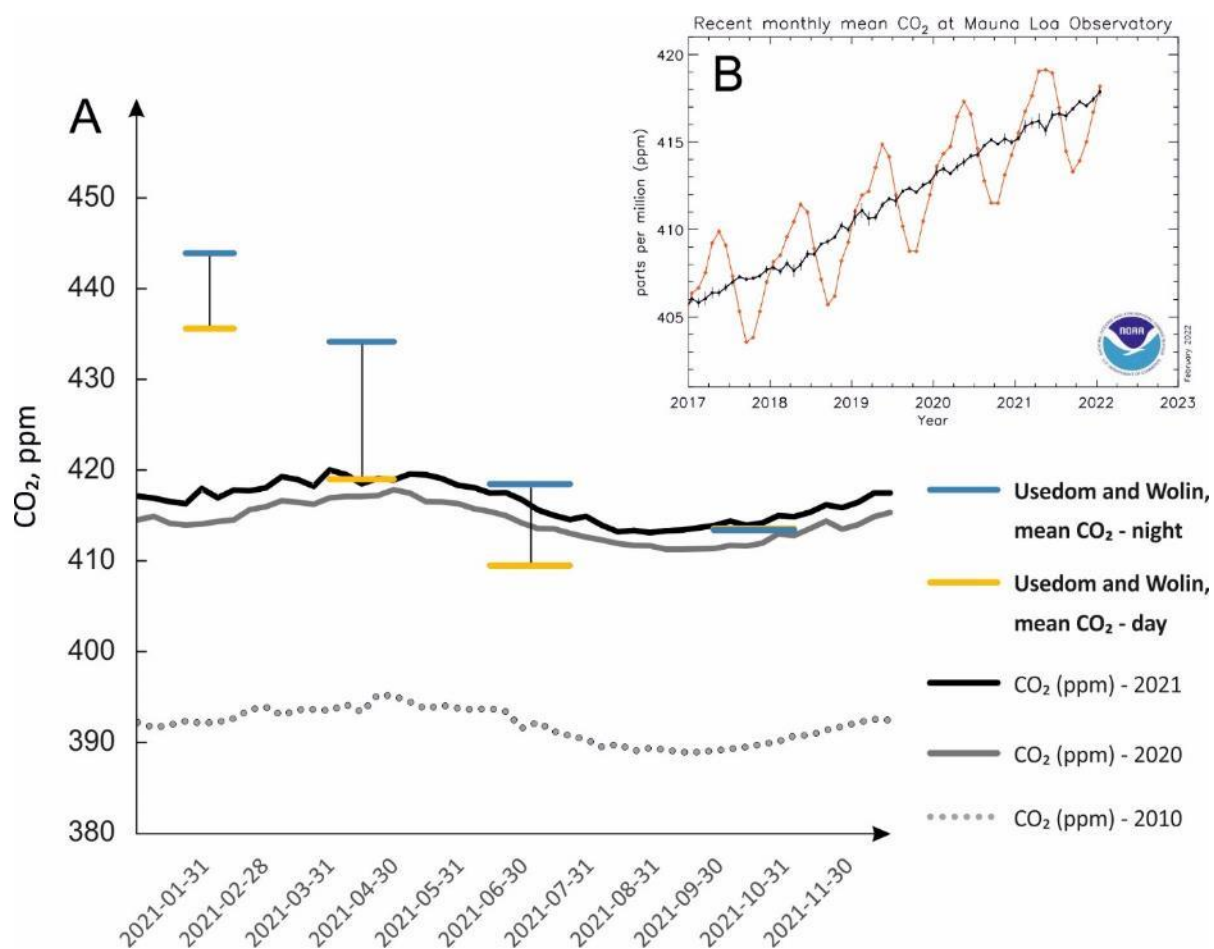
Season	Day Time ¹⁶	CH ₄ ppb						CO ₂ ppm					
		Mean	N	Min.	Max	SD	CV	Mean	N	Min.	Max.	SD	CV
Winter	D	1975 ^b	1884	1870	2150	29	1,45	435,60 ^d	1884	414,94	505,95	15,93	3,66
	N	1955 ^a	1344	1860	2360	42	2,15	443,92 ^e	1344	413,21	511,51	19,21	4,33
Spring	D	1985 ^c	2632	1716	2303	26	1,33	418,98 ^c	2632	365,52	476,12	8,80	2,10
	N	1993 ^d	1648	1941	2606	50	2,48	434,16 ^d	1648	387,43	560,28	21,66	4,99
Summer	D	2002 ^e	2633	1825	3524	81	4,05	409,49 ^a	2633	369,62	451,10	11,17	2,73
	N	1998 ^{de}	1455	1794	2523	59	2,95	418,46 ^c	1455	364,99	534,92	19,48	4,65
Autumn	D	2020 ^f	656	1960	2279	24	1,19	413,57 ^b	656	394,45	459,53	9,32	2,25
	N	1996 ^{de}	366	1968	2078	13	0,65	413,37 ^b	366	402,97	447,37	7,74	1,87
Total		1989	12618	1716	3524	53	2,68	423,62	12618	364,99	560,28	19,18	4,53

Biorąc pod uwagę globalny trend wzrostowy stężenia CO₂ w powietrzu oraz cykliczny przebieg tych zmian (rys. 4.1.b), pomiary wykonane w kolejnych porach roku na wyspach Uznam i Wolin również wykazywały specyficzną zmienność stężenia tego gazu, zarówno w ciągu dnia, jak i nocą (rys. 4.2). Średnie stężenie CO₂ na wyspach było:

- zimą 2021 r. znacząco wyższe od globalnego poziomu tego gazu w tym samym okresie o ponad 25 ppm nocą i 15 ppm w ciągu dnia (rys. 4.1.a),
- wiosną 2021 r. koncentracja dwutlenku węgla w powietrzu w ciągu nocy była wyższa o ok. 15 ppm od globalnej, podczas gdy w ciągu dnia kształtowała się na poziomie średnim globalnym,

¹⁶ D-day light, N-night time

- latem 2021 r. stężenie CO₂ w powietrzu w okresie nocy było wyższe od wartości globalnej o ok. 5 ppm, podczas gdy w ciągu dnia było niższe aniżeli wartość globalna i utrzymywało się na poziomie ok. 410 ppm, tj. o 7 ppm od średniej globalnej,
- jesienią 2021 r. zarówno koncentracje dzienne jak i nocne nie różniły się od wartości globalnych (<https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/global.html>).



Rysunek 4.1. Sezonowe zmiany średnich dziennych i nocnych stężeń CO₂ na wyspach Uznam i Wolin w 2021 r. na tle danych globalnych za lata 2021, 2020 i 2010.

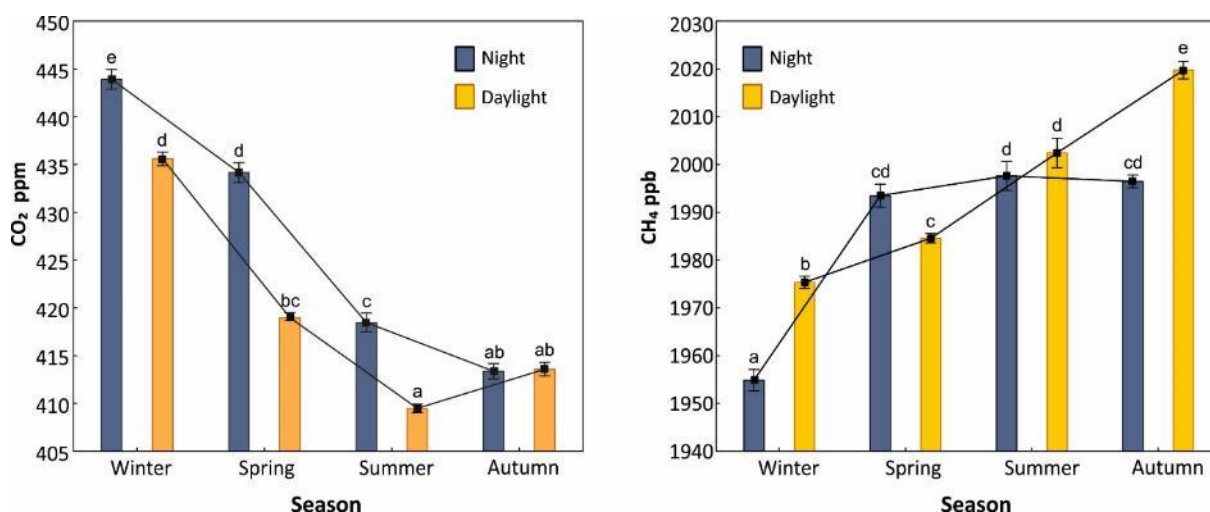
Sezonowe zmiany średniego dziennego i nocnego stężenia CO₂ na wyspach Uznam i Wolin w 2021 r. odniesiono do danych globalnych za lata 2021, 2020 i 2010 (rys. 4.1)¹⁷. Wykres B pokazuje miesięczny średni poziom dwutlenku węgla mierzony w Obserwatorium Mauna Loa na Hawajach¹⁸. Czerwone linie i symbole przedstawiają średnie miesięczne wartości, wyśrodkowane w połowie każdego miesiąca, czarne – po korekcie o średni cykl sezonowy. Pionowe słupki na czarnych liniach wykresu A obrazują niepewność każdej średniej

¹⁷ Źródło danych tygodniowych: https://gml.noaa.gov/aftp/products/trends/co2/co2_weekly_mlo_lastyear.txt

¹⁸ Dane z Mauna Loa stanowią najdłuższy zapis bezpośrednich pomiarów CO₂ w atmosferze. Dane Mauna Loa są uzyskiwane na wysokości 3400 m w północnej części podzwrotnikowej i mogą nie być takie same, jak uśrednione globalnie stężenie CO₂ na powierzchni. Źródło danych: NOAA/ESRL, www.noaa.esrl.gov/gmd/ccgg/trends/.

miesięcznej na podstawie obserwowanej zmienności CO₂ w różnych systemach pogodowych, gdy przekraczają one szczyt odnotowany w Mauna Loa.

Analiza wariancji zastosowana do oceny istotności różnicy wyników między porami dnia i nocy w kolejnych porach roku wykazała istotność statystyczną ($p < 0,05$) (rys. 4.2). Najniższe stężenie CO₂ na obszarze obu wysp stwierdzono latem w ciągu dnia (ok. 409 ppm CO₂). Nie różniło się one statystycznie od stężenia uzyskanego jesienią, zarówno w dzień, jak i w nocy (ok. 413 ppm CO₂). Grupę istotnie statystycznie różniącą się od pozostałych, tworzą wyniki nocnych pomiarów zimowych CO₂ z najwyższą średnią na poziomie 444 ppm. Podobna koncentracja CO₂ w powietrzu zimą w ciągu dnia i wiosną w ciągu nocy (ok. 435 ppm) utworzyła grupę średnich jednorodnych, tj. nieróżniących się istotnie statystycznie w teście HSD Tukeya (post hoc, two-way ANOVA, $p < 0,05$).

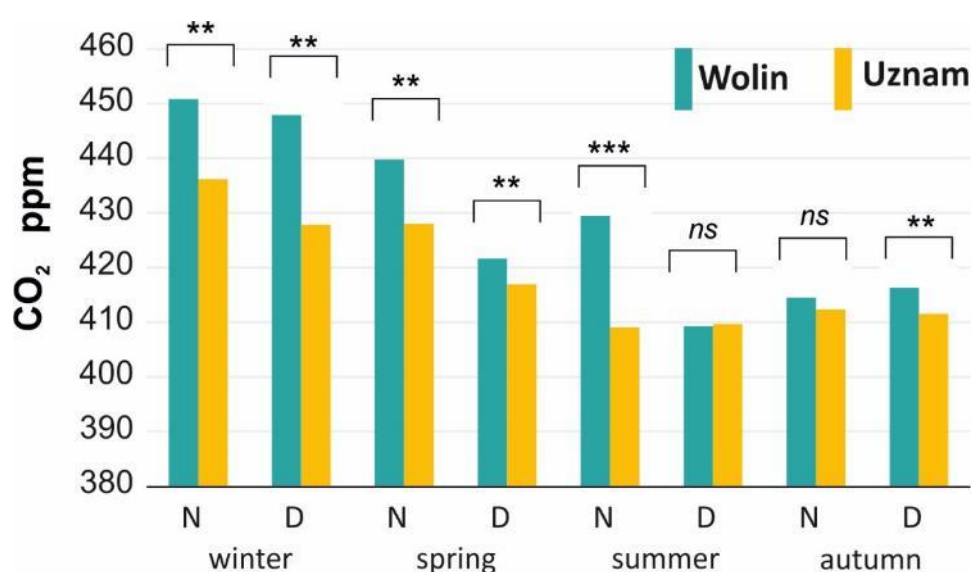


Rysunek 4.2 Zmienność średnich stężeń gazów CO₂ (lewy diagram) i CH₄ (prawy diagram) w powietrzu w sezonach w okresie pomiarowym 2021 r. Odmienne symbole literowe oznaczają grupy średnich różniących się istotnie statystycznie w teście HSD Tukeya (post hoc, two-way ANOVA, $p < 0,05$)

Stężenia dwutlenku węgla, bez względu na porę roku i porę dnia, były wyższe na wyspie Wolin względem stężeń stwierdzonych na wyspie Uznam (Tabela 4.2). W większości pór roku były one istotne statystycznie (test $-t$, $p < 0,05$). Największe różnice stwierdzono zimą, kiedy w ciągu dnia średni wynik stężenia CO₂ był wyższy o +20 ppm, a nocą o +15 ppm. Latem średnie stężenie CO₂ w ciągu dnia na obu wyspach nie różniło się istotnie statystycznie i kształtowało na poziomie ok. 409 ppm. Natomiast w porze nocnej stężenia CO₂ na wyspie Wolin wynosiło średnio 430 ppm i były statystycznie wyższe ($p < 0,001$) niż na wyspie Uznam (409 ppm). Biorąc pod uwagę wyższy odsetek lasów na wyspie Wolin względem wyspy Uznam, różnice te należałoby wiązać z wysoką emisją CO₂ z terenów leśnych (rys. 4.3).

Tabela 4.2 Porównanie średnich stężeń CO₂ dla między wyspą Wolin a Uznam w zależności od pory roku i dnia. Istotność różnic między średnimi stężeniami gazów dla obszarów wysp Wolin i Uznam określono testem –t przy p<0,05.

Season	Daytime	Wolin CO ₂ ppm	Uznam CO ₂ ppm	ΔCO ₂ (ppm)	p
Winter	Night	450,88	436,16	15	**
	Day	447,93	427,83	20	**
Spring	Night	439,80	428,04	12	**
	Day	421,64	416,97	5	*
Summer	Night	429,47	409,07	20	***
	Day	409,28	409,65	0	ns.
Autumn	Night	414,52	412,36	2	ns
	Day	416,32	411,52	5	*



Rysunek 4.3. Porównanie średnich stężeń CO₂ dla między wyspą Wolin a Uznam w zależności od pory roku i dnia. Istotność statystyczną różnic dla p<0.05 zaznaczono *, p<0.01 zaznaczono **, p<0.001 zaznaczono ***.

4.1.2. Zmienność przestrzenna stężenia CO₂

W badanym okresie stwierdzono zmienność przestrzenną stężenia gazów cieplarnianych, uzależnioną od wielkości powierzchni zajętej przez określone formy użytkowania terenu (Tabela 4.3). Na terenach zmienionych antropogenicznie (I kategoria CLC) największe korelacje z CO₂ (p<0,05) odnotowano dla obszarów portowych (CLC 123)¹⁹ i lotnisk (ujemny – (CLC 124), węzłów komunikacyjnych i miejscowości o luźniej, zwykle niskiej zabudowie (CLC 112). Stężenie dwutlenku węgla wykazywało istotnie statystyczną, aczkolwiek ujemną, korelację względem powierzchni zajętej przez grunty orne (CLC 211) oraz łąki i pastwiska (CLC 231). Złożone systemy upraw i działek (CLC 242) oraz tereny zajęte głównie przez

¹⁹ Opis kategorii terenu wg rysunku 3.2.

rolnictwo z dużym udziałem terenów naturalnych (CLC 243) wykazały związek statystycznie istotny z CO₂.

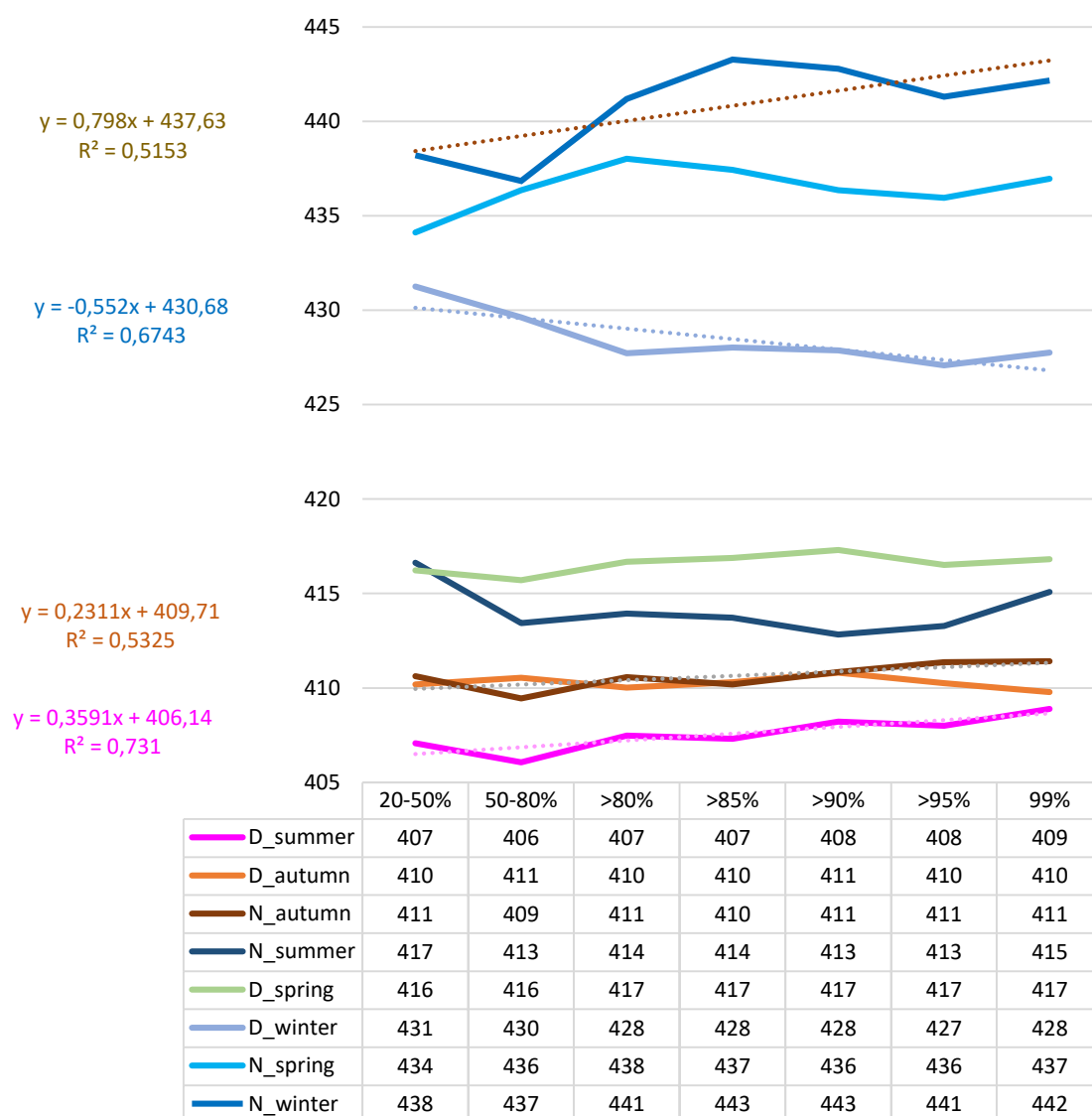
Tabela 4.3. Zestawienie wskaźników korelacji Pearsona (*r*) pomiędzy stężeniami CO₂ (ppm), a udziałem danej kategorii użytkowania terenu (wg CLC). N=12618. Oznaczone współczynniki korelacji na czerwono są istotne z $p < 0,05$ ²⁰

Category	I. Tereny antropogeniczne									
Land use	111	112	121	122	123	124	131	132	141	142
CO ₂ _ppm	-,0038	,0260	-,0011	,0407	,0548	-,0514	-,0026	,0010	,0194	,0044
	p=,668	p=,003	p=,900	p=,000	p=,000	p=,000	p=,770	p=,912	p=,030	p=,625
Category	II. Tereny rolne					III. Lasy i ekosystemy naturalne				
Land use	211	222	231	242	243	311	312	313	321	324
CO ₂ _ppm	-,0886	,0090	-,1224	,0359	,0501	,0160	,1176	,1162	-,0093	,0301
	p=0,00	p=,311	p=0,00	p=,000	p=,000	p=,072	p=0,00	p=0,00	p=,297	p=,001
Category	IV. Obszary podmokłe		V. Obszary wodne							
Land use	411	412	511	512	521	523				
CO ₂ _ppm	,0095	,0108	,0697	-,0175	-,0774	,0207				
	p=,288	p=,224	p=,000	p=,049	p=,000	p=,020				

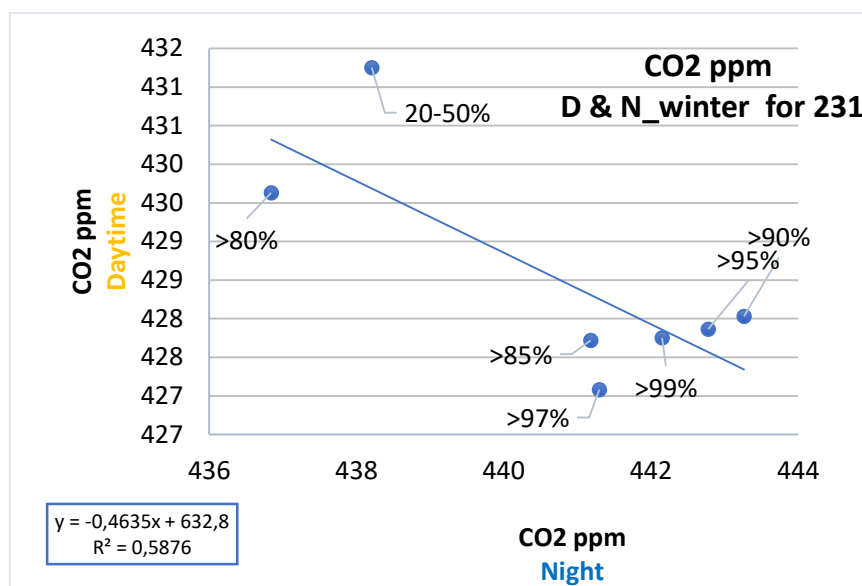
Najwyższe stężenie dwutlenku węgla utrzymywało się nad łąkami i pastwiskami podczas nocy wiosennych (434 – 438 ppm CO₂) i zimowych (434-444 ppm CO₂). Przy czym wzrost stężenia CO₂ zimą na nizinnych obszarach użytków zielonych należy wiązać raczej z wysoką emisją tego gazu ze źródeł antropogenicznych i tendencją do zalegania tego gazu przy powierzchni w obniżeniach terenu.

²⁰ Oznaczenia: 111 Zabudowa miejska zwarta; 112 Zabudowa miejska luźna; 121 Tereny przemysłowe lub handlowe; 122 Tereny komunikacyjne oraz tereny związane z komunikacją drogową i kolejową; 123 Porty; 124 Lotniska; 131 Miejsca eksploatacji odkrywkowej; 141 Tereny zielone; 142 Tereny sportowe i wypoczynkowe; 211 Grunty orne poza zasięgiem urządzeń nawadniających; 222 Sady i plantacje; 231 Łąki, pastwiska; 242 Złożone systemy upraw i działek; 243 Tereny zajęte głównie przez rolnictwo z dużym udziałem terenów naturalnych; 311 Lasy liściaste; 312 Lasy iglaste; 313 Lasy mieszane; 321 Murawy i pastwiska naturalne; 324 Lasy i roślinność krzewiasta w stanie zmian; 411 Bagna śródlądowe; 412 Torfowiska; 511 Ciek; 512 Zbiorniki wodne; 521 Laguny, 523 Morza.

CO₂ (231 CLC)



Rysunek 4.4. Wpływ udziału odsetka powierzchni łąk i pastwisk (CLC 231) na wielkości stężeń CO₂ w powietrzu



Rysunek 4.5. Relacja między stężeniem CO₂ w ciągu dnia i w nocy w zależności stopnia pokrycia terenu łąkami i pastwiskami (CLC 231), oznaczenia: D – dzień, N – noc

Zmiany stężeń CO₂ przedstawia załączona dokumentacja kartograficzna w postaci kartodiagramów wykonanych w plikach .kml i zwizualizowanych w programie Google Earth pro.

4.1.3. Metan

Podczas badań średni poziom CH₄ w powietrzu obu wysp wynosił 1989 ppb, minimalne stężenie wynosiło 1716 ppb, a maksymalne 3524 ppb (Tabela 4.4). Stężenia tego gazu były wyższe o ok. 8 ppb od globalnej średniej²¹ z grudnia 2021 r. wynoszącej 1891 ppm.

Tabela 4.4. Porównanie średnich stężeń CH₄ między wyspą Wolin a Uznam w zależności od pory roku i dnia. Istotność różnic między średnimi stężeniami gazów dla obszarów wysp Wolin i Uznam określono testem –t przy p<0,05; ns- nieistotne

Season	Day Time	Wolin CH ₄ ppb		Uznam CH ₄ ppb	Δ CH ₄ ppb	p
Winter	N	1942	<	1969	-27	*
	D	1960	<	1985	-24	*
Spring	N	1992	<	1995	-3	ns
	D	1985	>	1984	2	ns
Summer	N	2020	>	1979	41	**
	D	1989	<	2013	-24	*
Autumn	N	1990	<	2002	-13	ns
	D	2022	>	2018	3	ns

²¹ https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends_ch4/

Analiza wariancji zastosowana do oceny istotności różnic między średnim stężeniem CH₄ podczas dnia i nocy w kolejnych porach roku wykazała istotność statystyczną ($p < 0,05$) (rys. 4.6). Najniższe stężenie CH₄ na obszarze obu wysp stwierdzono zimą po zmierzchu (ok. 1950 ppb CH₄) oraz zimą w ciągu dnia (ok. 1976 ppb CH₄). Obie średnie różniły się istotnie statystycznie. Wiosną i latem stężenie metanu w powietrzu nie różniło się między dniem a nocą. Z kolei jesienią, emisja metanu w ciągu dnia osiągała najwyższe wartości, a ich średnia (2020 ppb CH₄) była istotnie statystycznie wyższa niż w pozostałych porach dnia i sezonach.

Porównanie rozkładu sezonowego stężeń CO₂ i CH₄ w powietrzu w sezonach posiada odwrotny, aczkolwiek spodziewany, przebieg wynikający ze specyfiki warunków tworzenia się, akumulacji i emisji obu gazów w określonych warunkach meteorologicznych i środowiskowych (rys. 4.6). Średnie stężenie CH₄ w powietrzu było istotnie wyższe jedynie latem po zmroku, kiedy średnie stężenie metanu w powietrzu na wyspie Wolin było wyższe o 41 ppb od średniego stężenia na wyspie Uznam (Tabela 4.4). Na wyspie Uznam odnotowano istotnie wyższe średnie stężenia metanu w okresie zimowym (zarówno po zmierzchu, jak i w dzień) oraz latem w porze dziennej (test $-t$, $p < 0,05$).

Wyraźne różnice dobowe pomiędzy stężeniami CH₄ w ciągu dnia i nocą latem oraz pomiędzy obiema wyspami, mogą wynikać z wysokiej emisji tego gazu z dominujących tam podmokłych terenów zielonych, łąk i pastwisk (CLC 213), które rozwinęły się na podłożu torfowym rozległych obniżen terenu, zasobnych w materię organiczną.

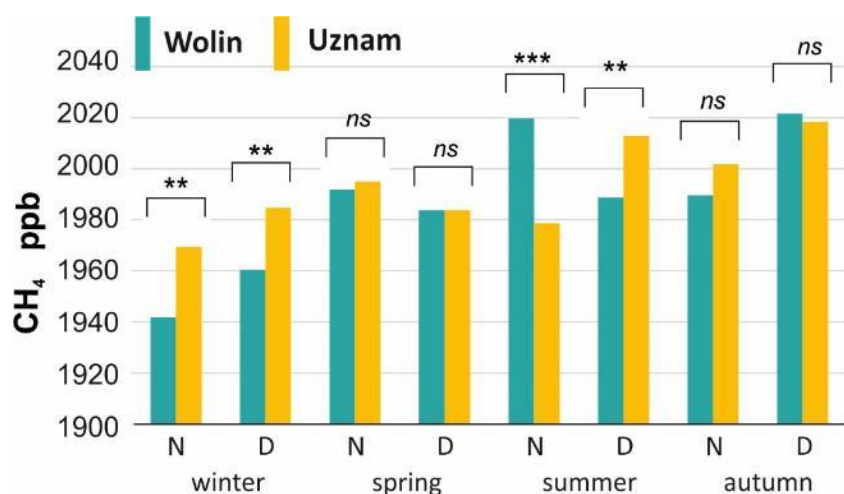
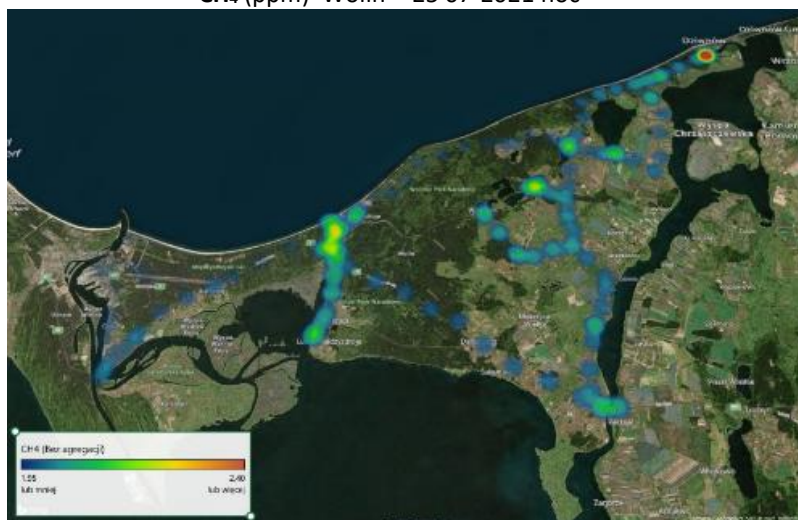
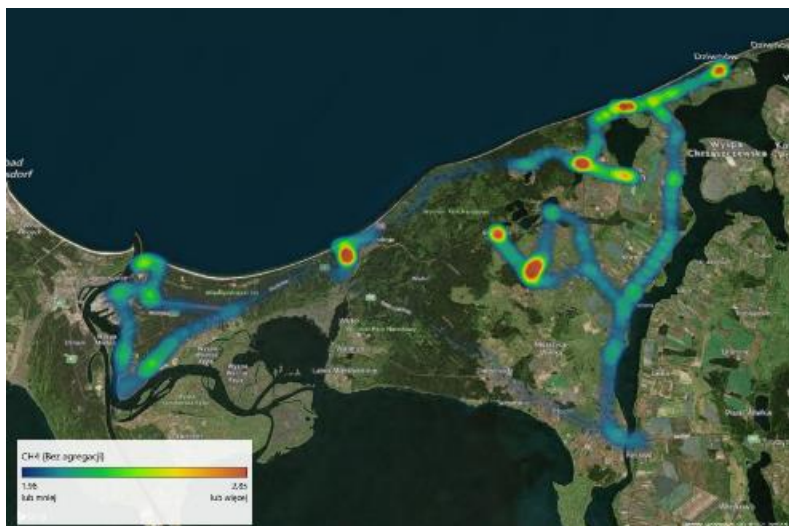


Figure 4-6. Porównanie średnich stężeń CH₄ między wyspami Wolin a Uznam w zależności od pory roku i dnia. Istotność statystyczną różnic ($p < 0,05$) między wyspami zaznaczono *, ns – brak różnic istotnych statystycznie

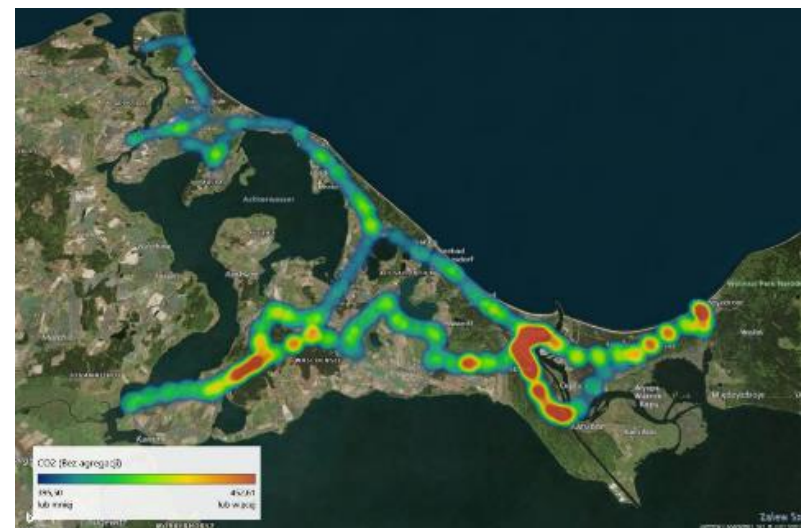
4.1.4. Zmienność przestrzenna CH₄

Latem stwierdzono duże zróżnicowanie przestrzenne wielkości stężenia CH₄ w powietrzu na obu wyspach. W okresie letnim, rozkład przestrzenny stężenia CH₄ różnił się jednak względem zimy i wiosny, podczas których wysokie stężenie tego gazu występowało w rejonie miejscowości oraz węzłów i tras komunikacyjnych. Latem wysokie stężenie CH₄ występowało w rejonie obszarów mokradłowych, odwadnianych rowami, o wysokiej produkcji biomasy, o organicznym, uwodnionym podłożu, bogatym w węgiel (rys. 4.7 i 4.8).

Podczas pomiarów letnich nie zaobserwowano na wyspie Wolin bardzo wysokiego stężenia CH₄ w podblżu Gazoportu (brak przeładunku). Wyraźnie wyższe stężenie metanu odnotowano natomiast w rejonie obszarów mokradłowych i gospodarstw rolnych z hodowlą bydła.



Rysunek 4.7 Rozkład stężeń CH₄ i CO₂ na wyspie Wolin podczas przejazdów w porze dziennej i nocnej w okresie letnim



Rysunek 4.8 Rozkład stężeń CH₄ i CO₂ na wyspie Uznam podczas przejazdów w porze dziennej i nocnej w okresie letnim

4.1.5. Zależność pomiędzy sposobem użytkowania terenu a stężeniem CH₄

Na terenach zmienionych antropogenicznie (I kategoria CLC) zwiększone stężenia metanu w powietrzu skorelowane były z obecnością obszarów portowych (CLC=123; $p=0,02$) i terenów zielonych (CLC 124; $p=,033$). Odwrotną korelację stwierdzono w przypadku lotnisk (CLC 124; $p=0,144$). Koncentracja metanu wykazywała istotnie statystyczny związek względem powierzchni zajętej przez grunty orne (CLC 211) oraz łąki i pastwiska (CLC 231), na poziomie $p < 0,001$. Wzrost udziału powierzchni zajętej przez zbiorniki wodne i laguny (CLC 5012 i CLC 521) sprzyjał zwiększeniu stężenia CH₄ w powietrzu na równie wysokim poziomie istotności.

Udział terenów zajętych głównie przez rolnictwo z dużym udziałem terenów naturalnych (CLC 243) oraz lasów (CLC 311, 312, 313) wykazał odwrotną korelację względem stężenia metanu, na wysokim poziomie istotności $p < 0,001$. Mniej silny związek stwierdzono z bagnami śródlądowymi i wodami morskimi ($p=0,017$ i $p=0,014$, odpowiednio).

Tabela 4.5. Zestawienie wskaźników korelacji Pearsona (r) pomiędzy stężeniami CH₄ (ppb), a udziałem danej kategorii użytkowania terenu (wg CLC). $N=12618$. Oznaczone wsp. korelacji na czerwono są dodatnio skorelowane, a na niebiesko ujemnie skorelowane istotne z $p < 0,05$ ²².

Categor y	I. Tereny antropogeniczne ($r=0,0103$, $p=0,247$)									
Land use	111	112	121	122	123	124	131	132	141	142
CH ₄ _pp b	,0005	,0039	,0068	-,0012	,0281	-,0179	,0038	-,0106	,0190	,0065
	$p=,952$	$p=,665$	$p=,445$	$p=,888$	$p=,002$	$p=,044$	$p=,671$	$p=,236$	$p=,033$	$p=,468$
Categor y	II. Tereny rolne					III. Lasy i ekosystemy naturalne				
Land use	211	222	231	242	243	311	312	313	321	324
CH ₄ _pp b	,0486	-,0072	,0615	-,0146	-,0185	-,0483	-,0558	-,0559	-,0157	-,0130
	$p=,000$	$p=,418$	$p=,000$	$p=,102$	$p=,037$	$p=,000$	$p=,000$	$p=,000$	$p=,077$	$p=,144$
Categor y	IV. Obszary podmokłe		V. Obszary wodne							
Land use	411	412	511	512	521	523				
CH ₄ _pp b	-,0213	-,0069	,0115	,0295	,0338	-,0220				
	$p=,017$	$p=,438$	$p=,196$	$p=,001$	$p=,000$	$p=,014$				

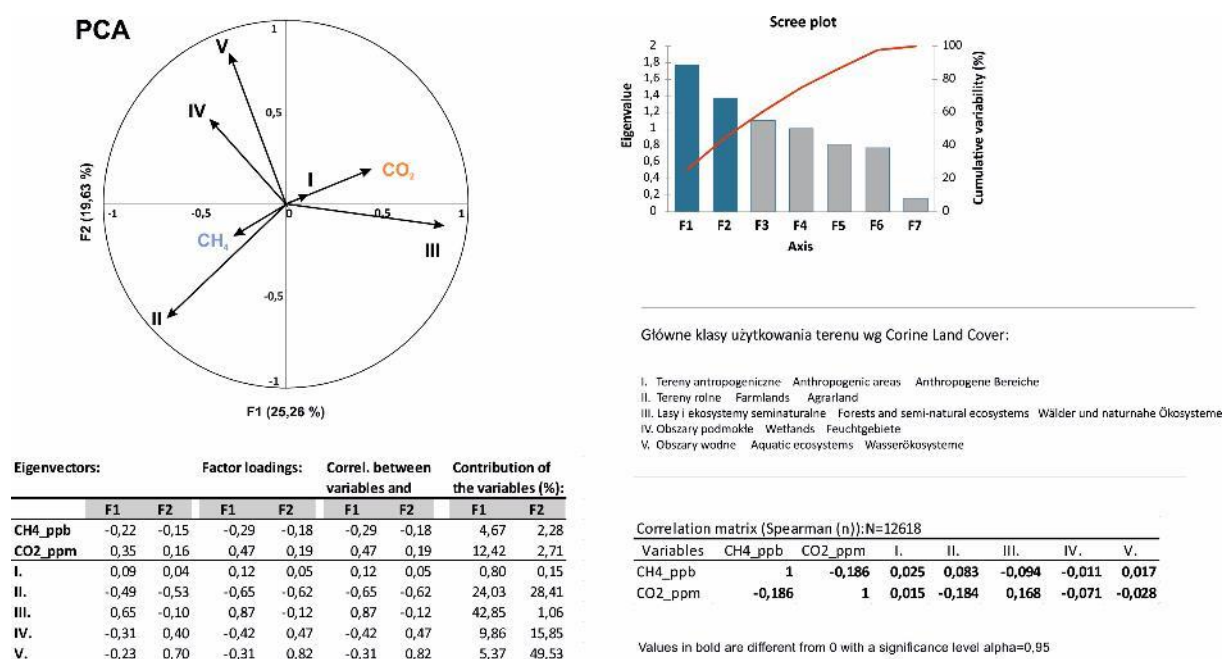
²² Oznaczenia: 111 Zabudowa miejska zwarta; 112 Zabudowa miejska luźna; 121 Tereny przemysłowe lub handlowe; 122 Tereny komunikacyjne oraz tereny związane z komunikacją drogową i kolejową; 123 Porty; 124 Lotniska; 131 Miejsca eksploatacji odkrywkowej; 141 Tereny zielone; 142 Tereny sportowe i wypoczynkowe; 211 Grunty orne poza zasięgiem urządzeń nawadniających; 222 Sady i plantacje; 231 Łąki, pastwiska; 242 Złożone systemy upraw i działek; 243 Tereny zajęte głównie przez rolnictwo z dużym udziałem terenów naturalnych; 311 Lasy liściaste; 312 Lasy iglaste; 313 Lasy mieszane; 321 Murawy i pastwiska naturalne; 324 Lasy i roślinność krzewiasta w stanie zmian; 411 Bagna śródlądowe; 412 Torfowiska; 511 Ciek; 512 Zbiorniki wodne; 521 Laguny, 523 Morza.

4.2. Wpływ czynników użytkowania terenu na emisję gazów na obszarze MoRE

Z przeprowadzonej analizy PCA (rys. 4.9) wynika, że na terenie wysp Uznam i Wolin zwiększone stężenie metanu towarzyszy zwiększonemu udziałowi terenów rolnych, podczas gdy zmniejszenie stężenia tego gazu w powietrzu sprzyja zwiększonemu odsetek terenów leśnych.

W przypadku stężenia CO₂, jego obecność w powietrzu jest stymulowana przez oddziaływanie terenów zmienionych antropogenicznie (kategoria 1), a obniżeniu koncentracji tego gazu sprzyja obecność terenów rolniczych.

Analiza czynników kształtujących stężenie CO₂ i CH₄ w powietrzu widoczna jest w postaci drzewa regresyjnego – rysunek 4.10.



Rysunek 4.9. Analiza PCA (Principal Component Analysis) dla CO₂ i CH₄ względem głównych kategorii użytkowania terenu

Regression tree for CO₂ (ppm) for Wolin and Usedom islands

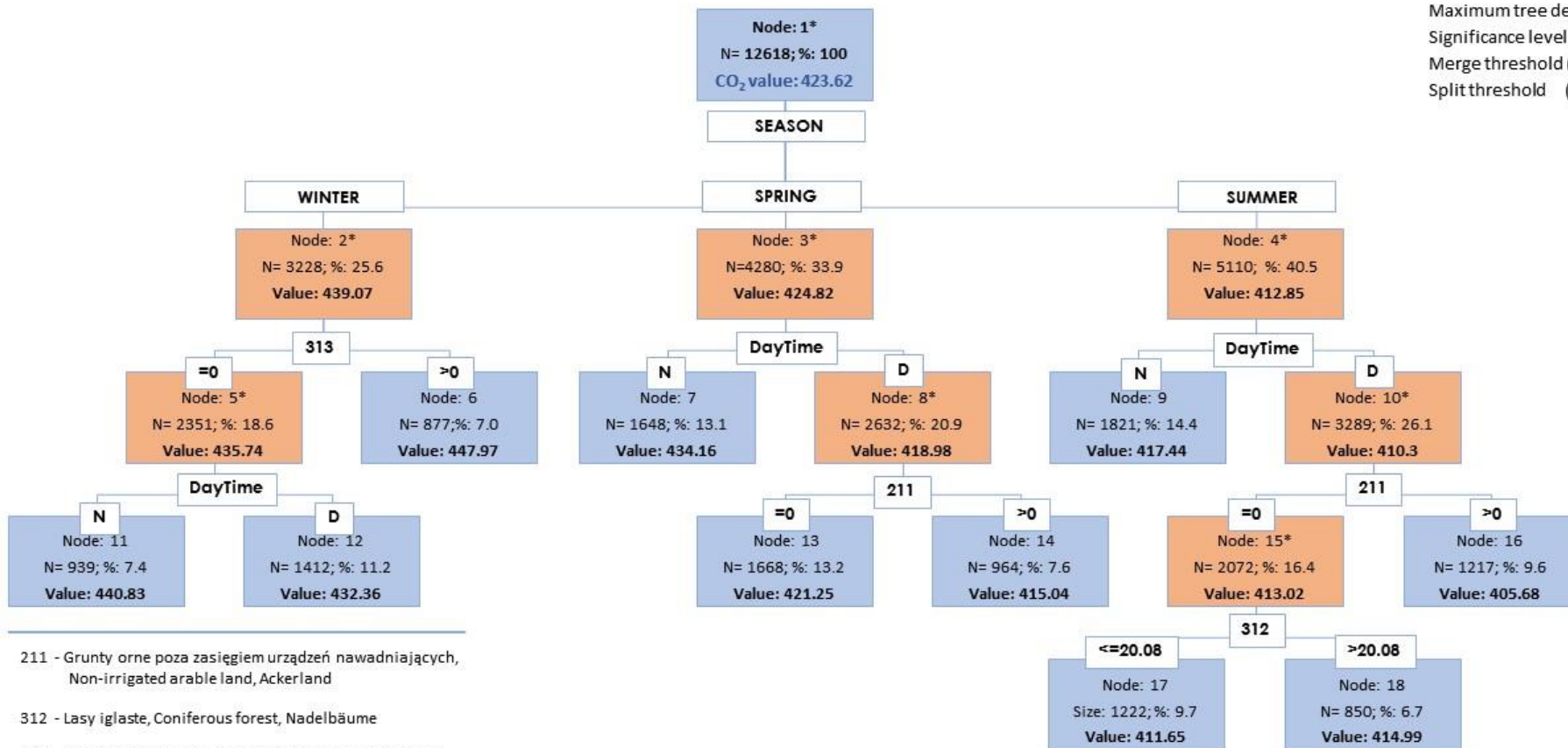
Method: CHAID

Maximum tree depth: 9

Significance level (%): 5

Merge threshold (%): 5

Split threshold (%): 5



211 - Grunty orne poza zasięgiem urządzeń nawadniających,
Non-irrigated arable land, Ackerland

312 - Lasy iglaste, Coniferous forest, Nadelbäume

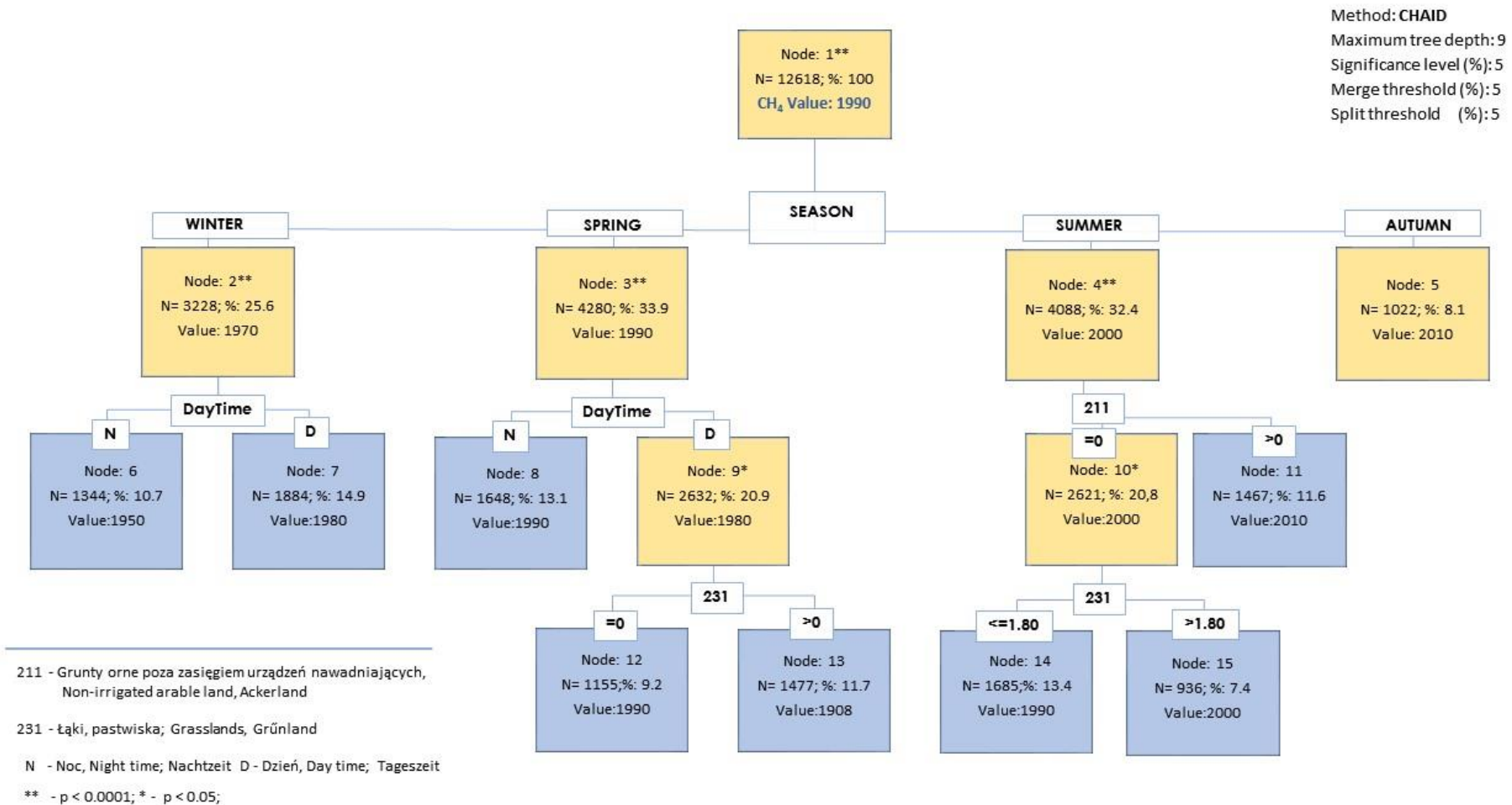
313 - Lasy mieszane, Mixed forest, Nadel und Laubbäume

N - Noc, Night time; Nachtzeit D - Dzień, Day time; Tageszeit

** - $p < 0.0001$;

Rysunek 4.10. Drzewo regresji CHAID dla stężeń CO₂ względem pór roku, pory dnia i kategorii użytkowania terenu

Regression tree for CH₄ (ppb) for Wolin and Usedom islands



Rysunek 4.11. Drzewo regresji CHAID dla stężeń CH₄ względem pór roku, pory dnia i kategorii użytkowania terenu

4.3. Pomiary stężenia dwutlenku węgla i metanu w obrębie obiektów potencjalnej emisji

Badania koncentracji dwutlenku węgla i metanu wykonano równolegle z przejazdami obejmującymi obszar wysp Wolin i Uznam. Pomiarami objęte zostały oczyszczalnie ścieków w Międzyzdrojach, Wolinie i Międzywodziu (Wyspa Wolin) oraz w Świnoujściu (wyspa Uznam). Badania wykonano również na terenie stacji przeładunkowej odpadów komunalnych Świnoujście-Ognica, zlokalizowanej w południowo-zachodniej części wyspy Wolin. Obserwacje wykonano w dwóch cyklach – w maju oraz października 2021 r. Pomiary wykonywane były metodą marszrutową.

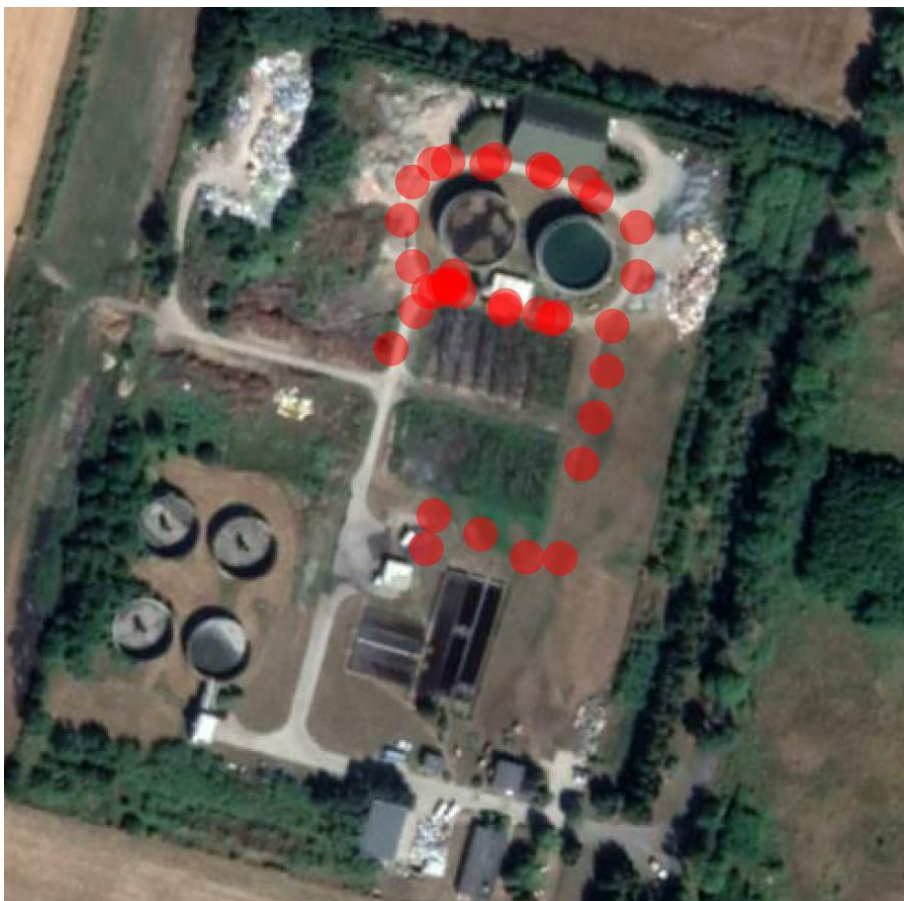
Przeprowadzone pomiary wykazały duże zróżnicowanie zarejestrowanego stężenia CH₄ w obrębie badanych obiektów (Tabela 4.6). Wartości minimalne oraz percentyl 10 w tabeli 4.6 reprezentują poziomy tła, które notowano podczas inspekcji głównie na obrzeżach obiektów, po stronie nawietrznej. Najwyższe średnie 10-sekundowe stężenie było wielokrotnie wyższe od poziomu tła – przekraczało 5500 ppb i występowało w początkowych strefach ciągów technologicznych oczyszczalni ścieków – w sąsiedztwie komór krat i osadników wstępnych (rys. 4.12). Podwyższone wartości stężenia metanu stwierdzono również w innych miejscach oczyszczalni – przy komorach osadu czynnego i osadnikach wtórnych. Największe chwilowe stężenie przekraczało nawet 10 000 ppb. Stwierdzono je na terenie oczyszczalni w Świnoujściu w pomiarach jesiennych oraz na terenie oczyszczalni w Międzyzdrojach w pomiarze wiosennym. Wysokie stężenie metanu zanotowano również w obrębie stacji przeładunkowej odpadów komunalnych w Świnoujściu-Ognicy, w części gdzie czasowo składowane były świeże odpady, jak również pomiędzy nieczynnymi kwaterami w południowej części obiektu. Wokół zrekultywowanej kwatery w części wschodniej stacji, jak również w miejscu składowania odpadów wielkogabarytowych, utrzymywało się niskie stężenie metanu (rys. 4.12 – 4.16).



Rysunek 4.12. Lokalizacja miejsc na terenie oczyszczalni ścieków w Świnoujściu, charakteryzujących się najwyższymi stężeniami CH₄ w powietrzu



Rysunek 4.13. Lokalizacja miejsc na terenie oczyszczalni ścieków w Międzyzdrojach, charakteryzujących się najwyższymi stężeniami CH₄ w powietrzu



Rysunek 4.14. Lokalizacja miejsc na terenie oczyszczalni ścieków w Wolinie, charakteryzujących się najwyższymi stężeniami CH_4 w powietrzu



Rysunek 4.15. Lokalizacja miejsc na terenie oczyszczalni ścieków w Międzywodziu, charakteryzujących się najwyższymi stężeniami CH_4 w powietrzu



Rysunek 4.16. Lokalizacja miejsc na terenie stacji przeładunkowej odpadów komunalnych Świnoujście-Ognica, charakteryzujących się najwyższymi stężeniami CH₄ w powietrzu

Znacznie mniejsze zróżnicowanie koncentracji w powietrzu dotyczyło dwutlenku węgla (Tabela 4.7). W tym przypadku nie stwierdzono tak jednoznacznie zlokalizowanych miejsc emisji, jak to miało miejsce w odniesieniu do metanu (rys. 4.17). Podwyższone stężenia CO₂ notowano w różnych częściach obiektów, jednak różnica pomiędzy stwierdzonymi wartościami a poziomem tła nie przekraczała 30%, co może wskazywać, że zarówno oczyszczalnię ścieków, jak i stacja przeładunkowa odpadów komunalnych nie stanowią znaczących źródeł emisji tego gazu. Podwyższone stężenie CO₂ stwierdzono w tych obiektach w okolicach ciągów transportowych, co mogło być efektem emisji z pojazdów przemieszczających się po ich terenie (rys. 4.17 – 4.21).



Rysunek 4.17. Lokalizacja miejsc na terenie oczyszczalni ścieków w Świnoujściu, charakteryzujących się najwyższym stężeniem CO₂ w powietrzu



Rysunek 4.18. Lokalizacja miejsc na terenie oczyszczalni ścieków w Międzyzdrojach, charakteryzujących się najwyższymi stężeniami CO₂ w powietrzu



Rysunek 4.19. Lokalizacja miejsc na terenie oczyszczalni ścieków w Wolinie, charakteryzujących się najwyższymi stężeniami CO₂ w powietrzu



Rysunek 4.20. Lokalizacja miejsc na terenie oczyszczalni ścieków w Międzywodziu, charakteryzujących się najwyższymi stężeniami CO₂ w powietrzu



Rysunek 4.21. Lokalizacja miejsc na terenie stacji przeładunkowej odpadów komunalnych Świnoujście-Ognica, charakteryzujących się najwyższymi stężeniami CO₂ w powietrzu.

Przeprowadzone pomiary obszarowe wskazują, że emisja metanu z monitorowanych obiektów jest szybko rozpraszane w atmosferze. W sąsiedztwie oczyszczalni ścieków rejestrowano jednak okresowo podwyższoną koncentrację CH₄ w atmosferze, uzależnioną od kierunku i prędkości wiatru. Zależność ta jest widoczna na mapach obszarowych uzyskanych na podstawie pomiarów mobilnych wzdłuż dróg przebiegających w sąsiedztwie analizowanych obiektów. Wyraźnie podwyższona koncentracja dotyczyła jedynie obszarów bezpośrednio sąsiadujących z obiektami emisji. Z punktu widzenia sytuacji w obrębie całego obszaru badań, były to jednak zmiany nieznaczne.

Tabela 4.6. Stężenie metanu [ppb] w powietrzu na terenie badanych obiektów technicznych

Lokalizacja obiektu	Data	Min.	Percentyl 10	Mediana	Średnia	Percentyl 90	Max.	Abs. Max.
OŚ Świnoujście	05.2021	2 012	2 014	2 021	2 084	2 146	3 593	4 362
	10.2021	2 025	2 033	2 147	2 348	2 986	5 553	10 841
OŚ Międzyzdroje	05.2021	2 011	2 018	2 096	2 215	2 561	4 476	7 498
	10.2021	2 018	2 020	2 212	2 411	3 122	3 981	5 796
OŚ Międzywodzie	05.2021	1 987	1 989	2 004	2 034	2 107	2 504	2 883
	10.2021	2 021	2 024	2 032	2 106	2 258	2 756	3 271
OŚ Wolin	05.2021	2 003	2 004	2 010	2 238	2 605	6 280	13 792
	10.2021	2 008	2 009	2 017	2 063	2 173	2 382	2 523
Stacja przeładunkowa Ognica	05.2021	2 016	2 026	2 184	2 335	2 614	6 640	9 112
	10.2021	2 019	2 024	2 045	2 184	2 810	2 851	3 236

Tabela 4.7. Stężenia dwutlenku węgla w powietrzu na terenie badanych obiektów technicznych

Lokalizacja obiektu	Data	Min.	Percentyl 10	Mediana	Średnia	Percentyl 90	Max.	Abs. Max.
OŚ Świnoujście	05.2021	421,8	422,3	423,5	426,2	433,4	467,1	527,8
	10.2021	393,5	395,0	397,8	407,0	427,3	680,6	782,5
OŚ Międzyzdroje	05.2021	415,4	416,0	417,4	423,9	438,6	545,3	615,3
	10.2021	396,0	397,9	400,9	406,6	424,5	470,3	484,6
OŚ Międzywodzie	05.2021	409,7	411,0	412,4	414,5	418,8	468,5	640,6
	10.2021	406,5	408,0	410,5	413,1	423,5	445,9	482,8
OŚ Wolin	05.2021	407,3	409,7	412,6	413,3	417,3	429,1	440,1
	10.2021	405,2	406,3	408,0	409,1	414,9	417,0	438,2
Stacja przeł. Ognica	05.2021	416,1	416,6	418,2	418,9	421,4	434,4	476,8
	10.2021	409,5	409,8	412,2	412,5	416,6	417,6	422,8

4.4. Emisja metanu i dwutlenku węgla z powierzchni obiektów wodnych

Badania emisji metanu i dwutlenku węgla z wód powierzchniowych wysp Uznam i Wolin prowadzone były równolegle z pomiarami instrumentalnymi wskaźników fizykochemicznych wody oraz poborem próbek wody do analiz laboratoryjnych. Do tej części badań wytypowano 14 obiektów: 8 punktów w obrębie wyspy Uznam oraz 6 na terenie wyspy Wolin. W pomiarach uwzględniono 3 rodzaje akwenów (tabele 4.8 – 4.9) :

- jeziora śródlądowe: Żółwińskie, Kołczewo, Koprowo i Schloonsee,
- punkty na cieśninach Dziwna i Piana (Peenestrom) otaczających wyspy w miejscowościach: Dziwnów, Wolin, Karsibór (Stara Świna), Wolfgast, Rankwitz i Zacherin,

- słonawe akweny otwarte, połączone z cieśninami: jezioro Wicko Wielkie, Krumminer Wiek (Krummin), Achterwasser (Uckeritz), zatoka Nepperminer See (Neppermin), oraz Usedomer See w miejscowości Usedom.

Tabela 4.8. Emisja metanu i dwutlenku węgla z powierzchni obiektów wodnych wyspy Wolin

Nr punktu	Nazwa obiektu	Sezon	Emisja CH ₄		Emisja CO ₂	
			μg m ⁻² h ⁻¹	mg m ⁻² d ⁻¹	mg m ⁻² h ⁻¹	g m ⁻² d ⁻¹
1	Stara Świna	Zima	71,1	1,71	4,10	0,098
		Wiosna	148,5	3,56	-14,99	-0,360
		Lato	2676,6	64,24	22,75	0,546
		Jesień	145,8	3,50	1,41	0,034
4	J. Kołczewo	Zima	9,0	0,22	-0,20	-0,005
		Wiosna	1403,0	33,67	42,04	1,009
		Lato	839,4	20,15	-2,20	-0,053
		Jesień	1267,0	30,41	-36,95	-0,887
7	J. Koprowo	Zima	3616,0	86,78	4,64	0,111
		Wiosna	1617,2	38,81	-8,87	-0,213
		Lato	4868,1	116,84	-15,80	-0,379
		Jesień	4557,7	109,39	6,89	0,165
9	J. Żółwińskie	Zima	32,1	0,77	-2,10	-0,050
		Wiosna	947,7	22,75	14,27	0,342
		Lato	4174,5	100,19	23,03	0,553
		Jesień	590,2	14,17	-4,49	-0,108
13	Dziwna-Wolin	Zima	760,7	18,26	23,52	0,564
		Wiosna	122,8	2,95	-6,45	-0,155
		Lato	871,1	20,91	7,68	0,184
		Jesień	263,5	6,33	11,95	0,287
14	J. Wicko	Zima	158,8	3,81	3,19	0,077
		Wiosna	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
		Lato	1143,9	27,45	-9,77	-0,234
		Jesień	289,0	6,94	-9,51	-0,228

Tabela 4.9. Emisja metanu i dwutlenku węgla z powierzchni obiektów wodnych wyspy Uznam

Nr punktu	Nazwa obiektu	Sezon	Emisja CH ₄		Emisja CO ₂	
			μg m ⁻² h ⁻¹	mg m ⁻² d ⁻¹	mg m ⁻² h ⁻¹	g m ⁻² d ⁻¹
17	Peenestorm (Wolgast)	Zima	62,4	1,50	-13,47	-0,323
		Wiosna	238,4	5,72	-23,63	-0,567
		Lato	7478,3	179,48	-13,91	-0,334
		Jesień	869,7	20,87	16,20	0,389
18	Krumminer Wiek	Zima	328,2	7,88	-32,48	-0,779
		Wiosna	930,7	22,34	-20,83	-0,500
		Lato	3063,8	73,53	-26,64	-0,639
		Jesień	230,1	5,52	22,29	0,535
21	Achterwasser (Uckeritz)	Zima	21,5	0,52	-9,16	-0,220
		Wiosna	99,0	2,38	-10,36	-0,249
		Lato	1319,4	31,67	-13,83	-0,332
		Jesień	763,4	18,32	1,98	0,048
23	Nepperminer See	Zima	274,7	6,59	-59,53	-1,429
		Wiosna	264,5	6,35	-27,94	-0,671
		Lato	5241,4	125,79	-17,97	-0,431
		Jesień	2463,5	59,13	36,82	0,884
24	Peenestrom (Rankwitz)	Zima	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
		Wiosna	140,2	3,36	4,09	0,098
		Lato	2081,5	49,96	-17,17	-0,412
		Jesień	374,3	8,98	15,67	0,376
26	Peenestrom (Zacherin)	Zima	48,6	1,17	-3,58	-0,086
		Wiosna	91,4	2,19	0,09	0,002
		Lato	785,9	18,86	-13,98	-0,335
		Jesień	535,4	12,85	136,79	3,283
27	Usedomer See	Zima	186,2	4,47	-4,62	-0,111
		Wiosna	1178,4	28,28	-12,08	-0,290
		Lato	13354,3	320,50	-15,05	-0,361
		Jesień	485,0	11,64	-4,93	-0,118
28	Schloossee	Zima	217,8	5,23	-12,69	-0,305
		Wiosna	1382,4	33,18	8,39	0,201
		Lato	4158,6	99,81	-5,19	-0,124
		Jesień	282,9	6,79	5,84	0,140

Średnia emisja metanu stwierdzona na podstawie pomiarów wykonanych w czterech porach roku (Tabele 4.8 – 4.9), wyniosła $31,90 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ w przypadku pomiarów wykonanych na wyspie Wolin i $37,90 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ na wyspie Uznam. Sezonowo pomierzone wartości różniły się znacznie, jednak na obu wyspach najmniejsza emisja wystąpiła zimą ($3,91 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ – na wyspie Uznam i $18,59 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ – na wyspie Wolin), a największe latem ($112,45 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ – Uznam i $58,30 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ – Wolin). Dla porównania, przeciętna emisja metanu z powierzchni jeziora Kortowskiego w Olsztynie, które wg danych monitoringu Państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska charakteryzuje się niezbyt korzystnym, umiarkowanym stanem ekologicznym, wynosiła $13,60 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, w systematycznych całorocznych pomiarach prowadzonych w latach 2019-2020. Wśród badanych obiektów wodnych wysp Wolin i Uznam, tylko cztery uzyskały podobne lub mniejsze wartości średnie w pomiarach prowadzonych w układzie sezonowym: Dziwna w mieście Wolin ($12,11 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), jezioro Wicko Wielkie ($12,73 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), akwen Peenestrom – Zacherin ($8,77 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) oraz Achterwasser w miejscowości Uckeritz ($13,22 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Średnio we wszystkich grupach badanych obiektów stwierdzono znacznie wyższe wartości emisji metanu niż z porównywanego eutroficznego jeziora Kortowskiego, przy czym z powierzchni cieśnin otaczających wyspy wynosiły one $22,36 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, z akwenów otwartych w obrębie wysp – $38,79 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, a najwyższe z jezior śródlądowych – średnio $44,95 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Wśród tej ostatniej grupy największą emisję metanu odnotowano z jeziora Koprowo (wyspa Wolin) – średnio $87,96 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, z maksimum latem wynoszącym $116,84 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Spośród akwenów otwartych największa emisja dotyczyła zbiornika Usedomer See (wyspa Uznam) – średnio $91,22 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, z bardzo wysoką wartością maksimum w okresie letnim, wynoszącą $320,5 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Tabela 4.9). W tym czasie (pomiar w dniu 24.07.2021) stwierdzono również znacznie podwyższoną koncentrację metanu w powietrzu w pobliżu tego obiektu, co bardzo wyraźnie zaznaczyło się na mapie obszarowej wykonanej dla tego terminu.

Odmienne ukladała się emisja dwutlenku węgla. W przypadku tego gazu, 57% spośród wykonanych pomiarów wykazało ujemne wyniki, czyli zaobserwowano proces pochłaniania przez wodę CO_2 z atmosfery. W porównawczym jeziorze Kortowskim w Olsztynie, stwierdzono zaledwie 22% takich ujemnych wyników obserwacji, głównie w okresie wiosennym.

Średnia wartość z pomiarów wykonanych w czterech porach roku, dla obiektów wyspy Wolin wyniosła $0,056 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, podczas gdy obiekty wyspy Uznam wykazały tę wartość na poziomie

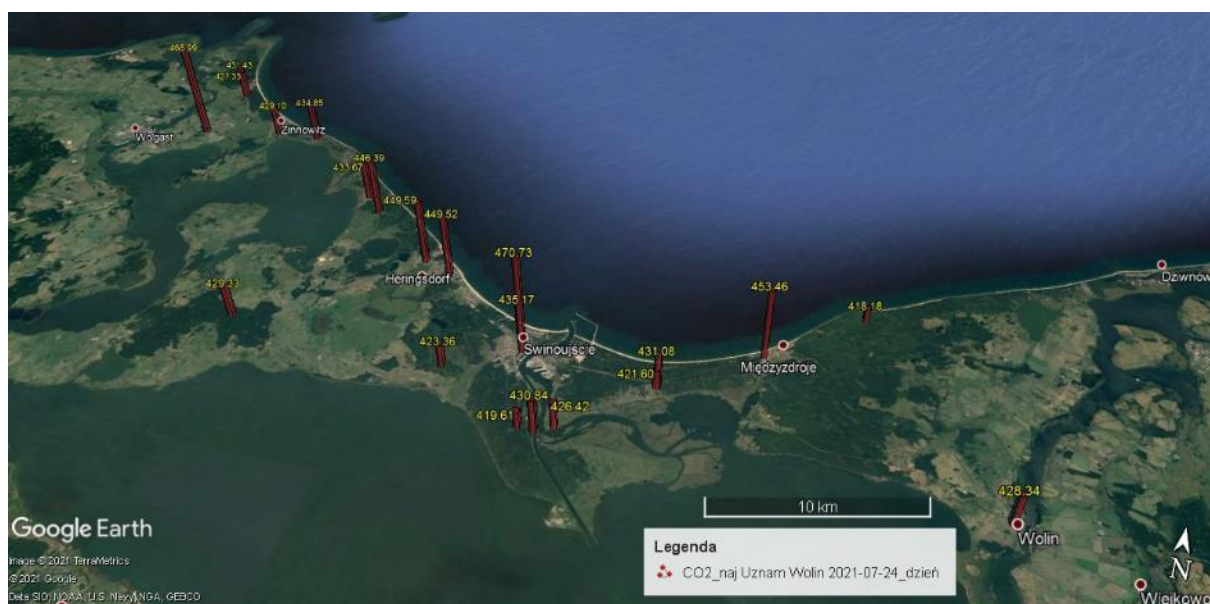
$-0,086 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Wody wyspy Uznam średnio cechowały się pochłanianiem CO_2 w okresie zimy, wiosny i lata (ujemne emisje), jedynie w terminie jesiennym stwierdzono emisję CO_2 z obiektów do atmosfery, wynoszącą średnio $0,692 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Emisją dodatnią cechowały się wówczas wszystkie obiekty z wyjątkiem Usedomer See ($-0,118 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Najwyższa wartość jesienią i ogólnie we wszystkich wykonanych pomiarach, wystąpiła w cieśninie Peenestrom w miejscowości Zacherin, gdzie stwierdzono $3,283 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. W obiektach położonych w obrębie wyspy Wolin, w większości przeważała emisja nad pochłanianiem CO_2 . Średnie wartości sezonowe były dodatnie zimą, wiosną i latem, natomiast w okresie jesiennym przeważało pochłanianie CO_2 , największe dla jeziora Kołczewo, gdzie stwierdzona wartość wynosiła $-0,887 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Największą dodatnią emisję w obrębie wyspy Wolin stwierdzono również z powierzchni jeziora Kołczewo wiosną i wynosiła ona $1,008 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Tabela 4.8). W porównywanych trzech grupach obiektów stwierdzono średnio dodatnią emisję z jezior śródlądowych ($0,025 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) oraz cieśnin otaczających wyspy ($0,165 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), oraz przewagę pochłaniania w przypadku akwenów otwartych ($-0,295 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).

W porównywanym jeziorze Kortowskim, w latach 2019-2020 stwierdzono średnią emisję na poziomie $1,327 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, w zakresie od $-1,431 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (wartości ujemne występowały tylko wiosną i sporadycznie w okresie letnim), do $8,555 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Wysoka dodatnia emisja CO_2 , znacznie przekraczająca wartości w obiektach wysp Wolin i Uznam, w przypadku jeziora Kortowskiego notowana była przede wszystkim w sezonie jesiennym. Ogólnie można zatem stwierdzić, że zróżnicowanie emisji CO_2 w obrębie badanych obiektów było stosunkowo niewielkie, zarówno po stronie wartości dodatnich, jak i ujemnych.

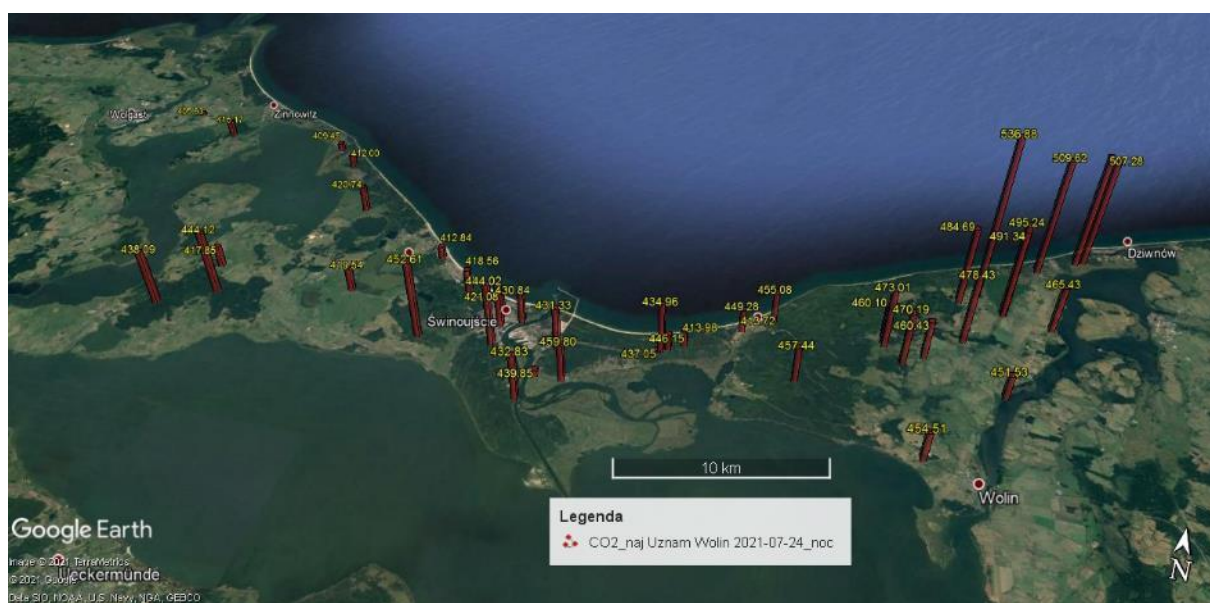
4.5. Obraz rzeczywisty zmiany stężeń CO_2 i CH_4 na tle obrazu satelitarnego

Obraz rzeczywisty zmiany stężenia na obszarze MoRE badanych gazów cieplarnianych – dwutlenku węgla i metanu na tle obrazu satelitarnego (z Google Earth Pro) przedstawiono na rysunkach 4.23 – 4.76.

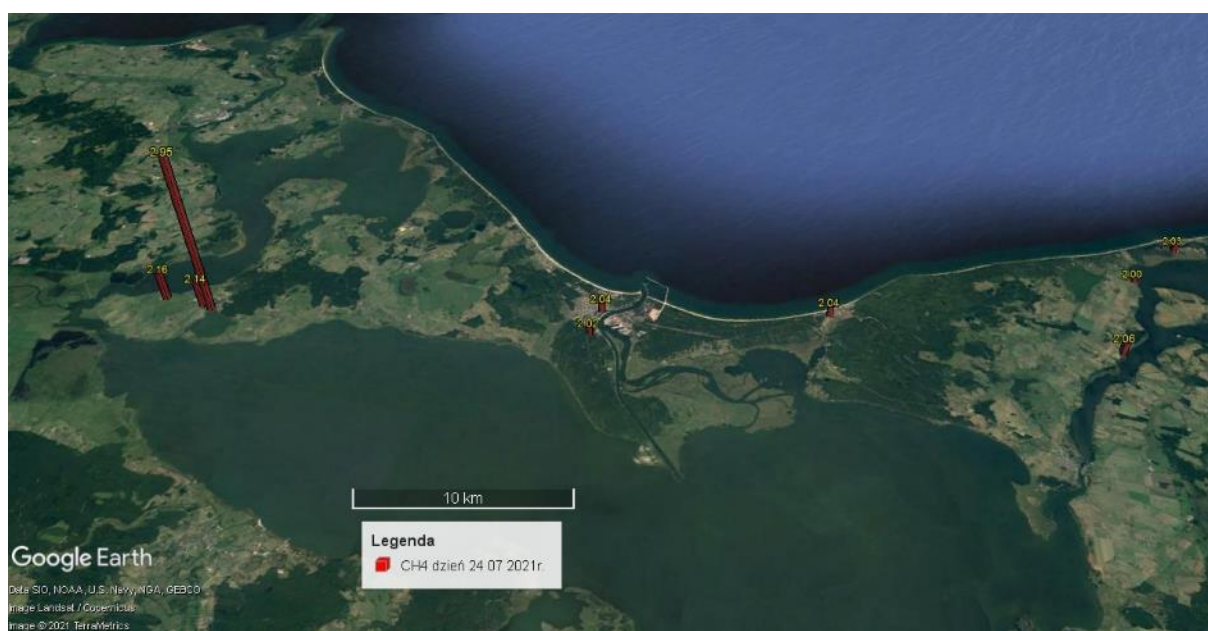
Rozmieszczenie i wartości maksymalne stężenia CO_2 i CH_4 na obszarze obu wysp, dla pomiaru dziennego i nocnego przedstawiono na rysunkach 4.23 – 4.26.



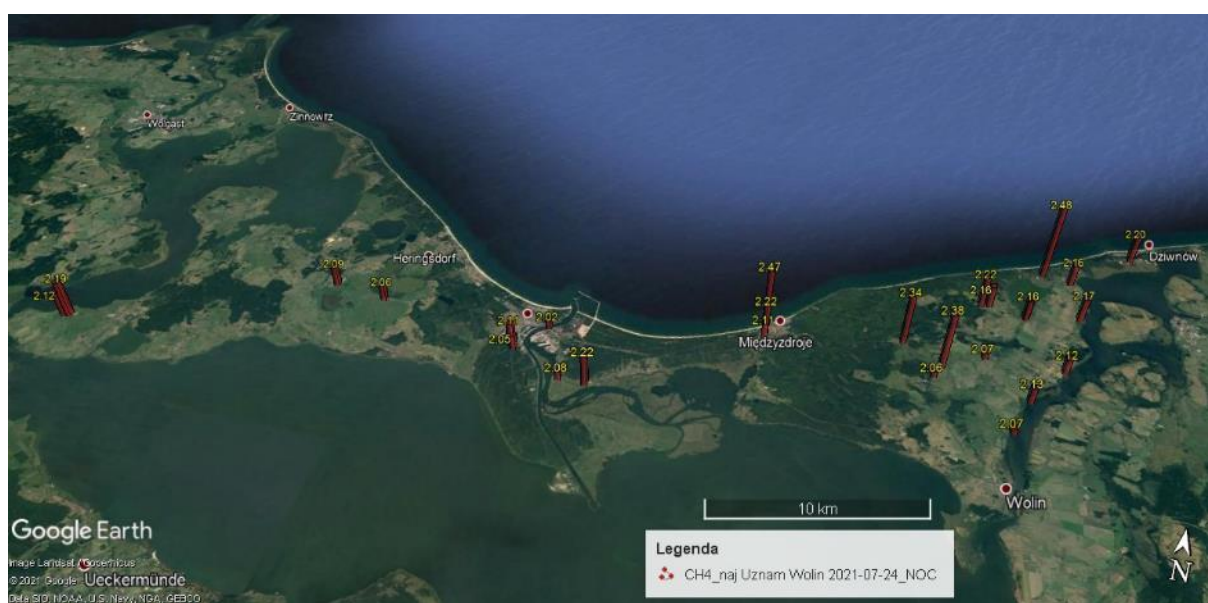
Rysunek 4.23. Rozmieszczenie i wartości maksymalne stężenia CO₂ – wyspy Uznam i Wolin, pomiar dzienny



Rysunek 4.24. Rozmieszczenie i wartości maksymalne stężenia CO₂ – wyspy Uznam i Wolin, pomiar nocny

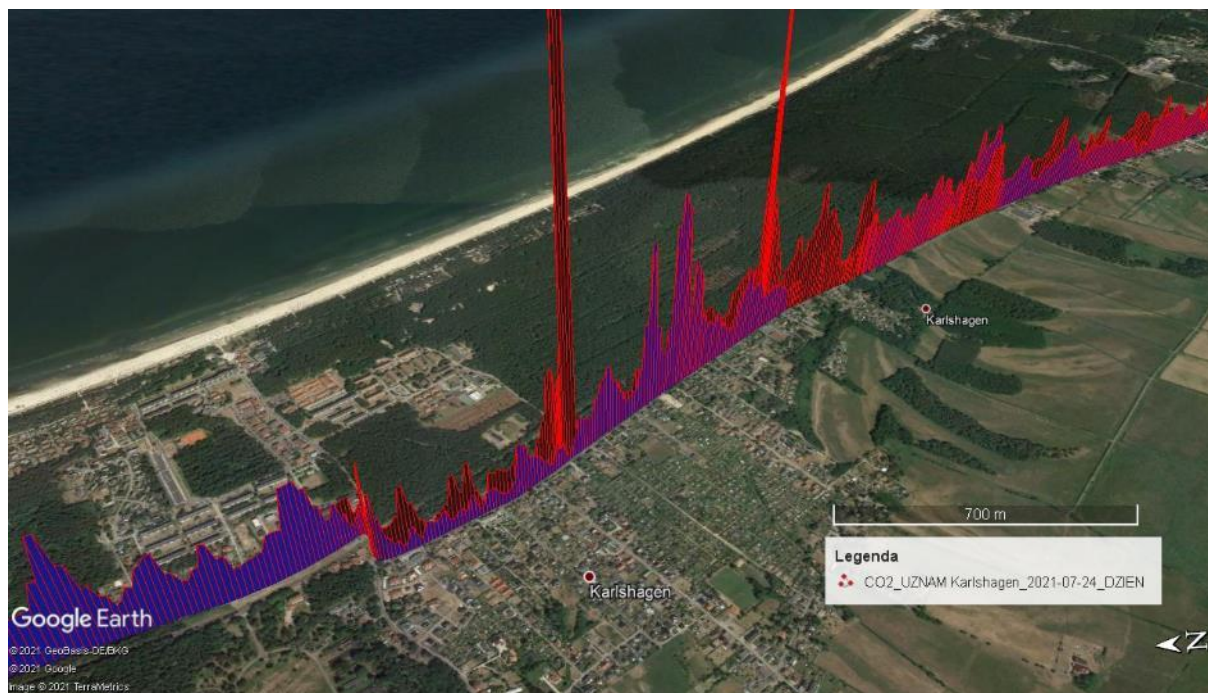


Rysunek 4.25. Rozmieszczenie i wartości maksymalne stężenia CH_4 – wyspy Uznam i Wolin, pomiar dzienny



Rysunek 4.26. Rozmieszczenie i wartości maksymalne stężenia CH_4 – wyspy Uznam i Wolin, pomiar nocny

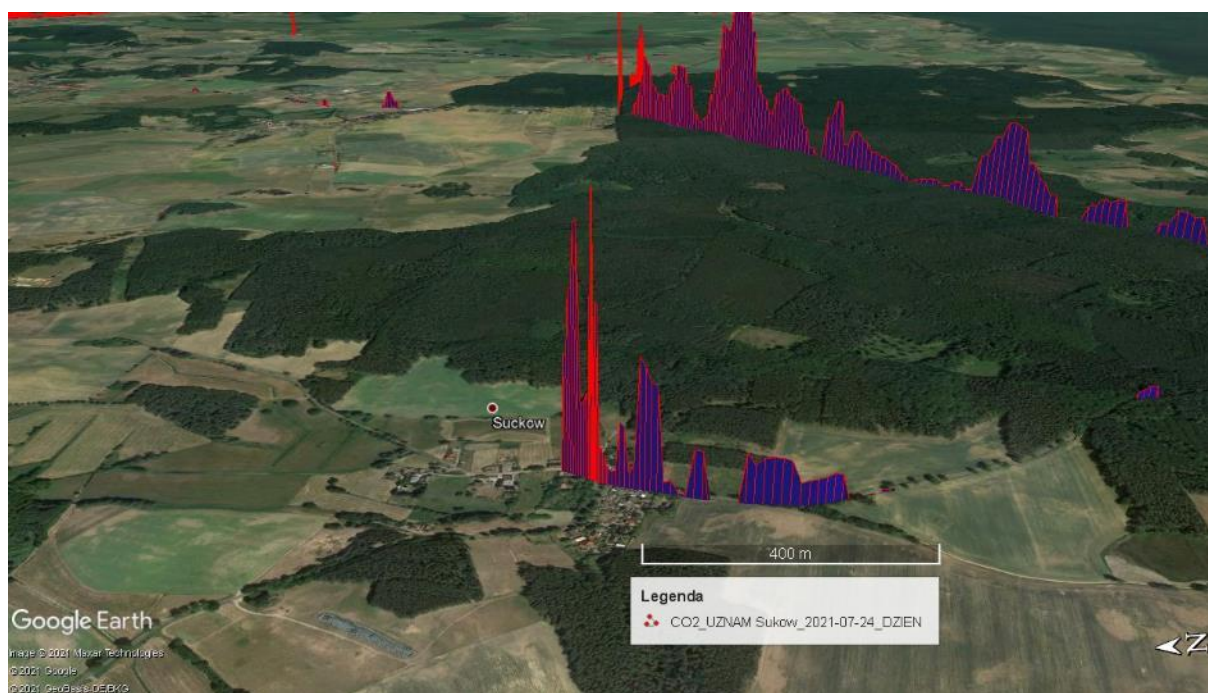
Przebiegi stężenia dwutlenku węgla pomierzone wzdłuż tras przejazdu na wyspach Uznam i Wolin w dziennym cyklu pomiarowym, przedstawiono na rysunkach 4.27 – 4.43.



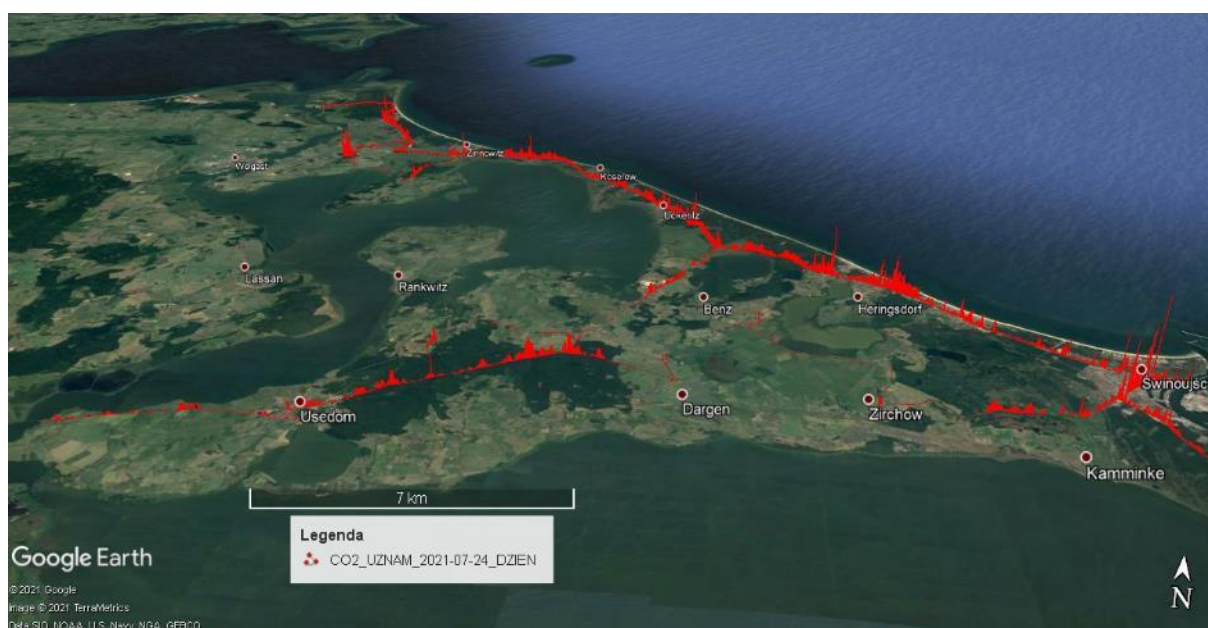
Rysunek 4.27. Wyspa Uznam – stężenie CO₂ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar dzienny (24-07-2021)



Rysunek 4.28. Wyspa Uznam (część północna) – stężenie CO₂ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar dzienny (24-07-2021)



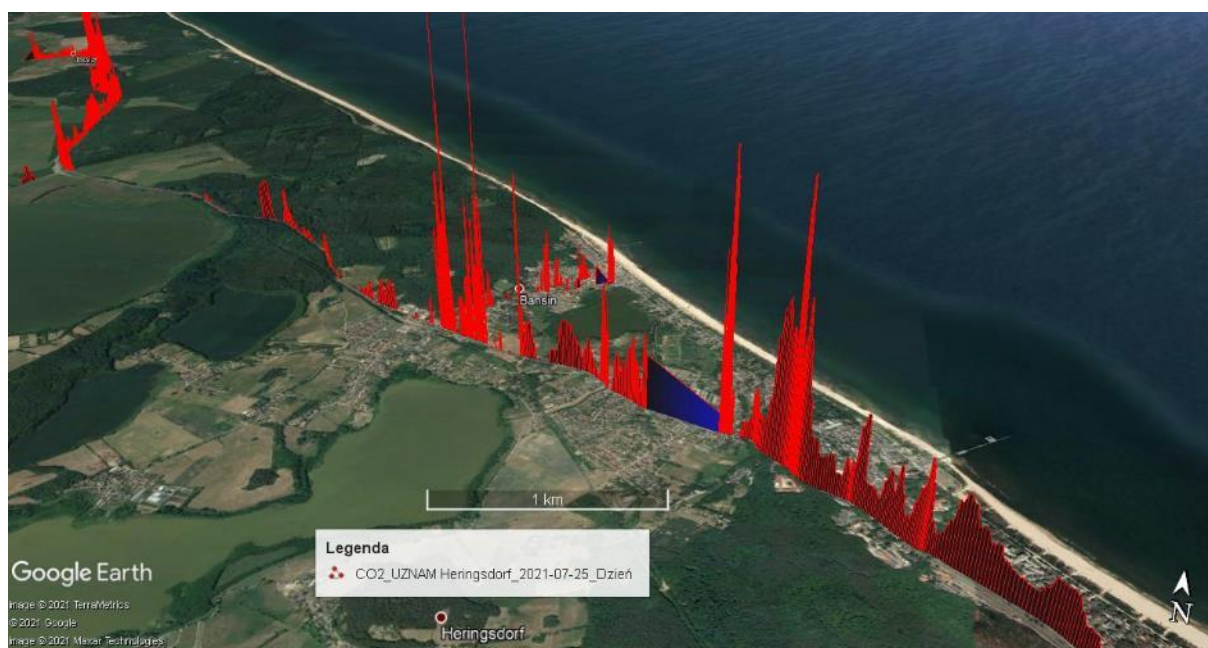
Rysunek 4.29. Wyspa Uznam – stężenie CO₂ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar dzienny (24-07-2021)



Rysunek 4.30. Wyspa Uznam – stężenie CO₂ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar dzienny (24-07-2021)



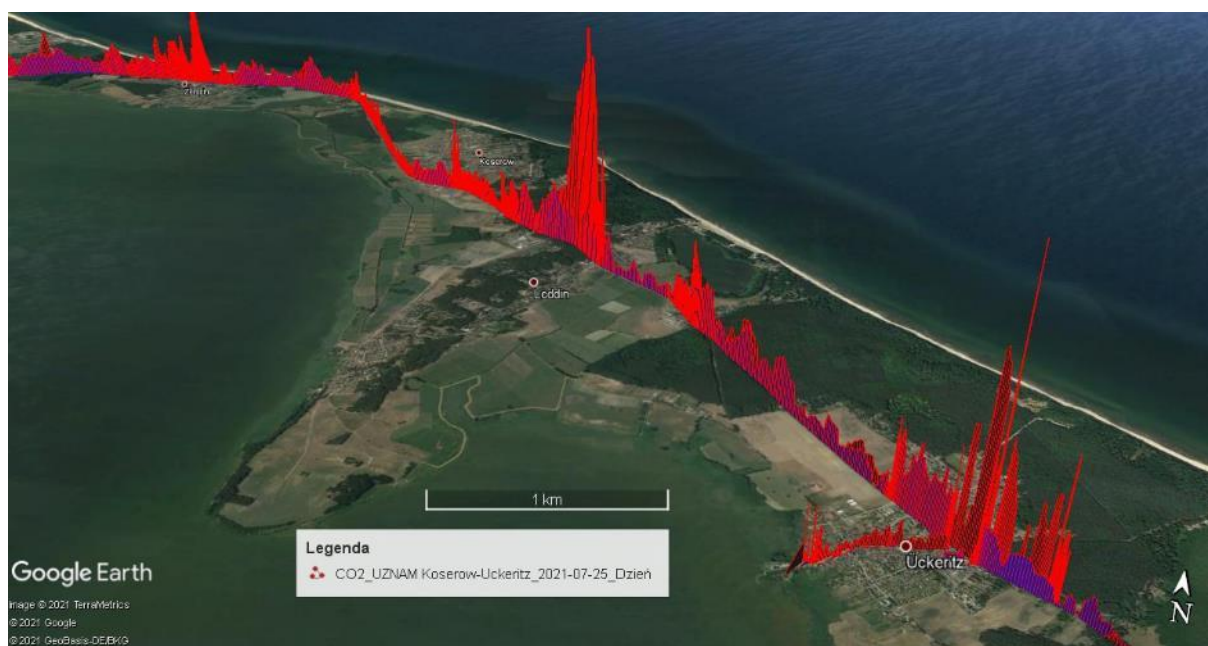
Rysunek 4.32. Wyspa Uznam (Ahlbeck) – stężenie CO₂ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar dzienny (25-07-2021)



Rysunek 4.33. Wyspa Uznam (Heringsdorf) – stężenie CO₂ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar dzienny (25-07-2021)



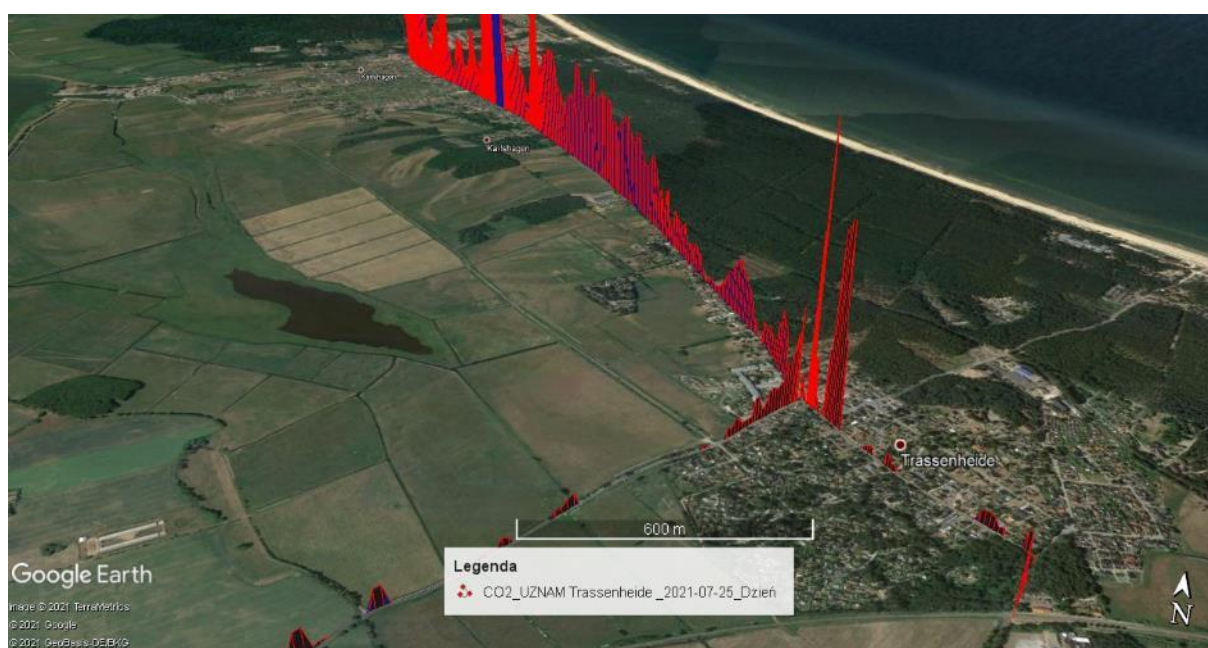
Rysunek 4.34. Wyspa Uznam (Karlsruhe) – stężenie CO₂ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar dzienny (25-07-2021)



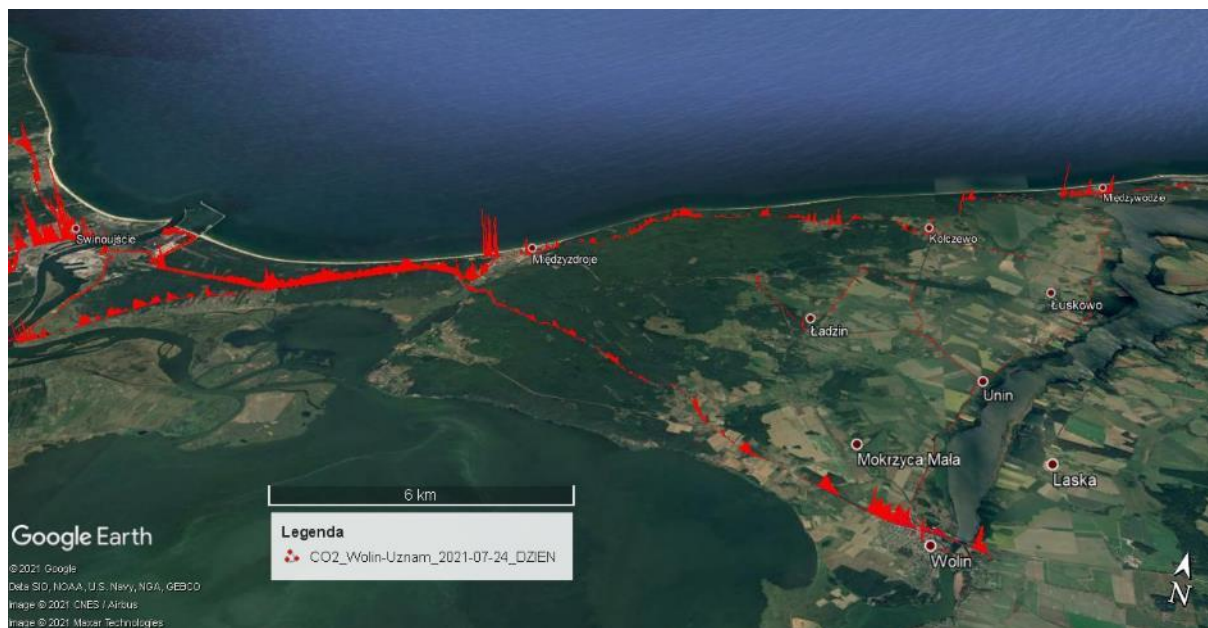
Rysunek 4.35. Wyspa Uznam (Koserow) – stężenie CO₂ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar dzienny (25-07-2021)



Rysunek 4.36. Wyspa Usnam (Neuendorf) – stężenie CO₂ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar dzienny (25-07-2021)



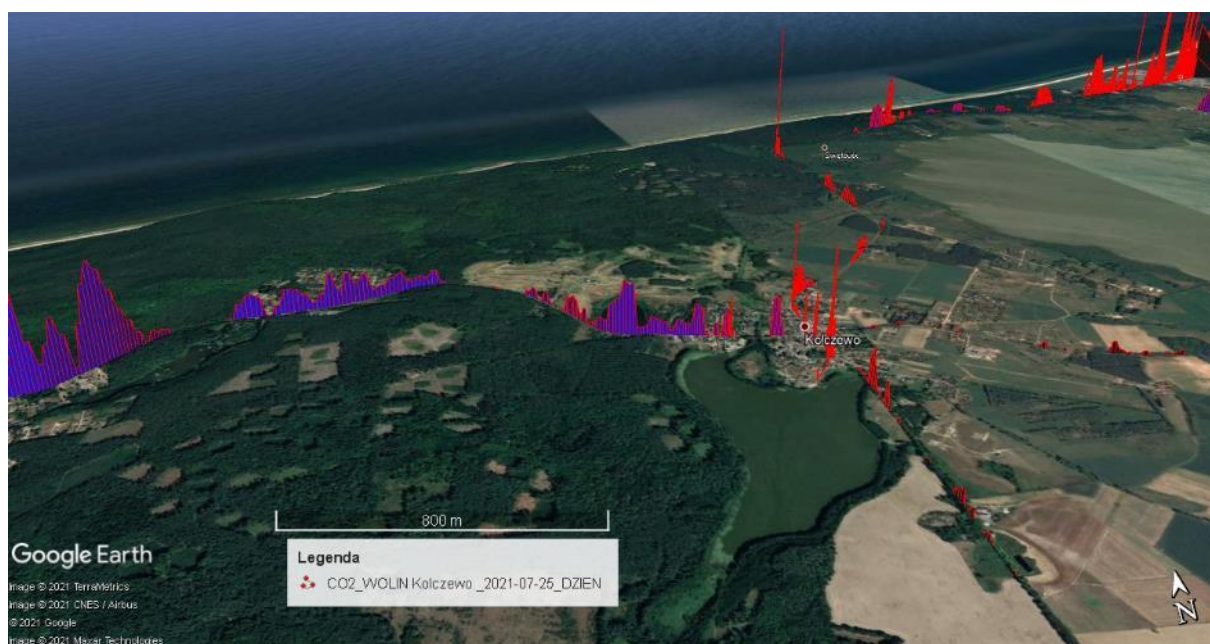
Rysunek 4.37. Wyspa Usnam (Trassenheide) – stężenie CO₂ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar dzienny (25-07-2021)



Rysunek 4.38. Wyspa Wolin – stężenie CO₂ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar dzienny (24-07-2021)



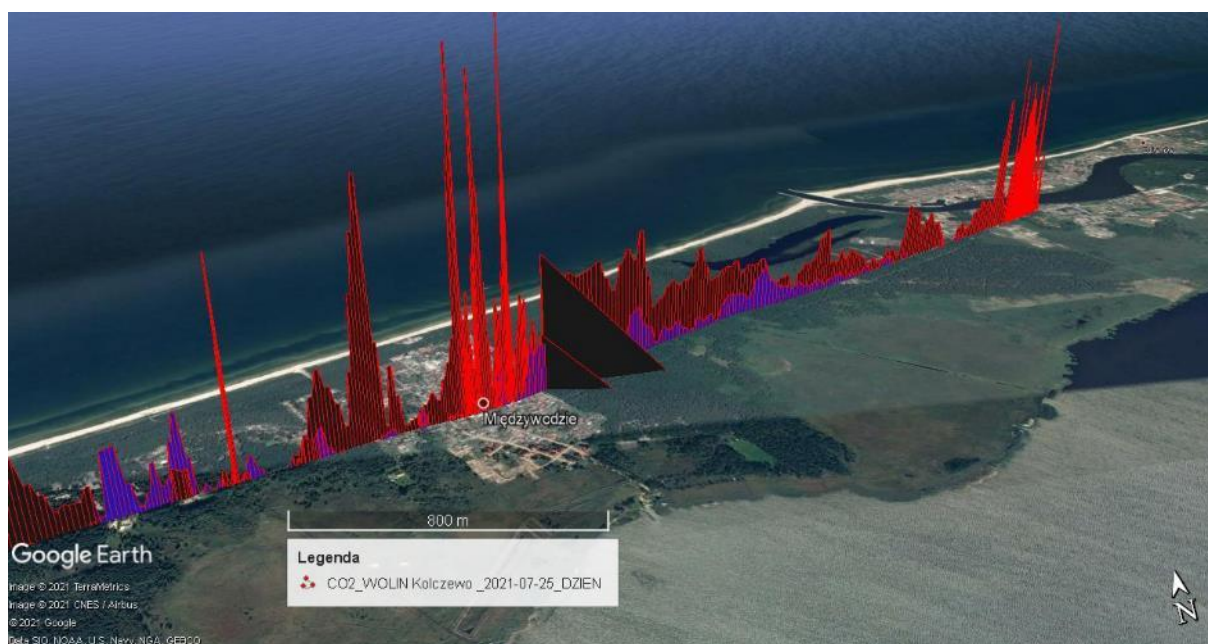
Rysunek 4.39. Wyspa Wolin – stężenie CO₂ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar dzienny (25-07-2021)



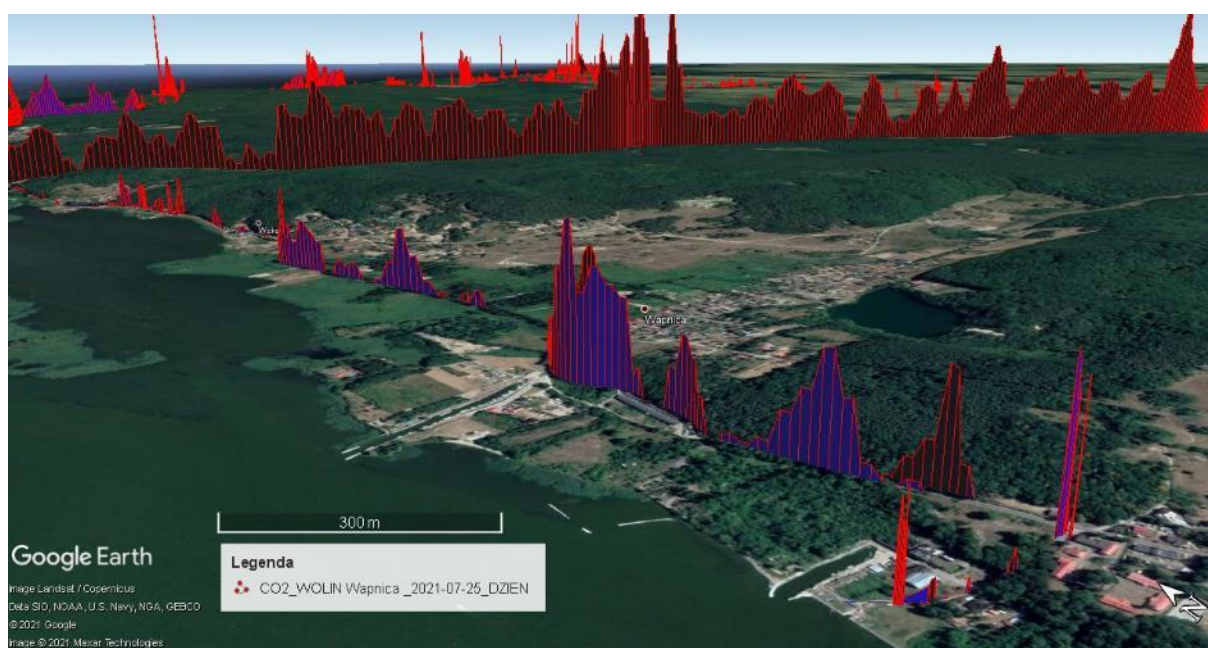
Rysunek 4.40. Wyspa Wolin (Kołczewo) – stężenie CO₂ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar dzienny (25-07-2021)



Rysunek 4.41. Wyspa Wolin (Międzyzdroje) – stężenie CO₂ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar dzienny (25-07-2021)



Rysunek 4.42. Wyspa Wolin (Międzywórze) – stężenie CO₂ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar dzienny (25-07-2021)



Rysunek 4.43. Wyspa Wolin (Wapnica) – stężenie CO₂ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar dzienny (25-07-2021)

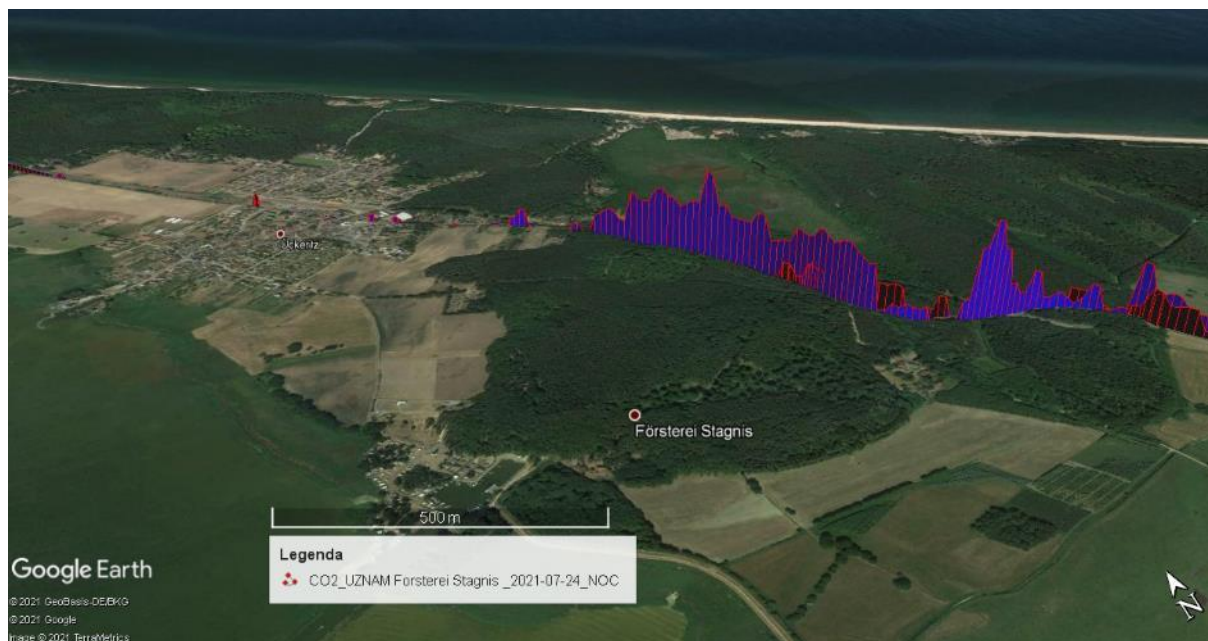
Przebiegi stężenia dwutlenku węgla pomierzone wzdłuż tras przejazdu na wyspach Uznam i Wolin w nocnym cyklu pomiarowym, przedstawiono na rysunkach 4.44 – 4.53.



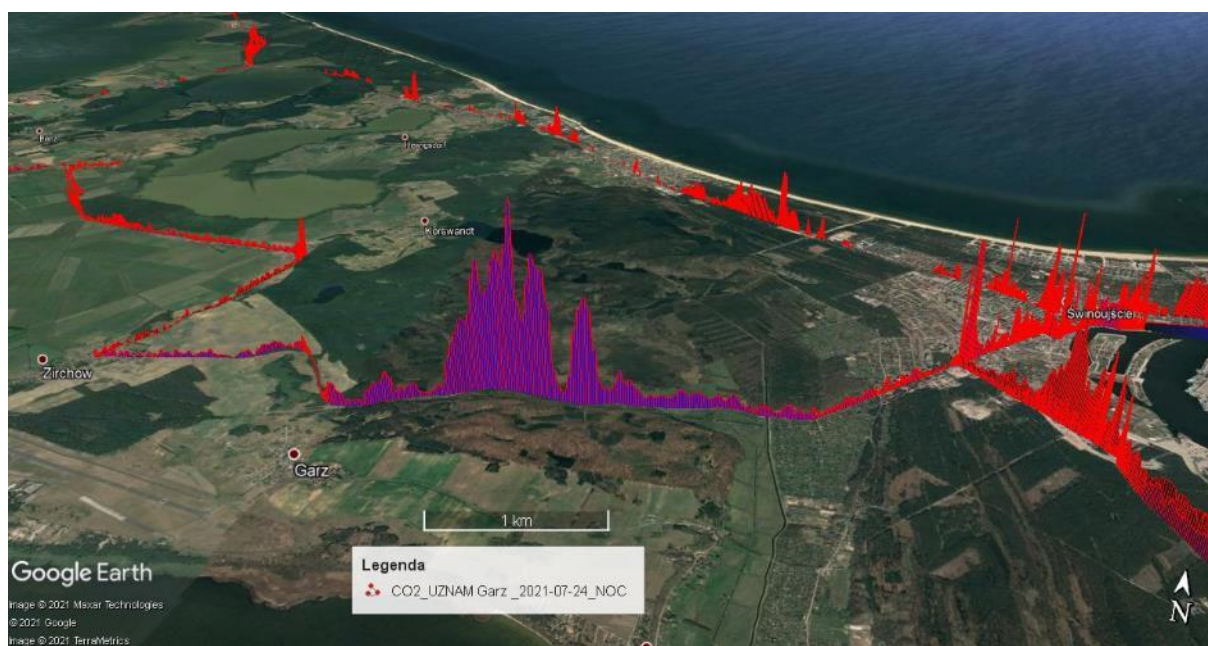
Rysunek 4.44. Wyspa Uznam – stężenie CO₂ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar nocny (24-07-2021)



Rysunek 4.45. Wyspa Uznam (Ahlbeck) – stężenie CO₂ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar nocny (24-07-2021)



Rysunek 4.46. Wyspa Uznam (obszary leśne) – stężenie CO₂ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar nocny (24-07-2021)



Rysunek 4.47. Wyspa Uznam (Garz) – stężenie CO₂ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar nocny (24-07-2021)



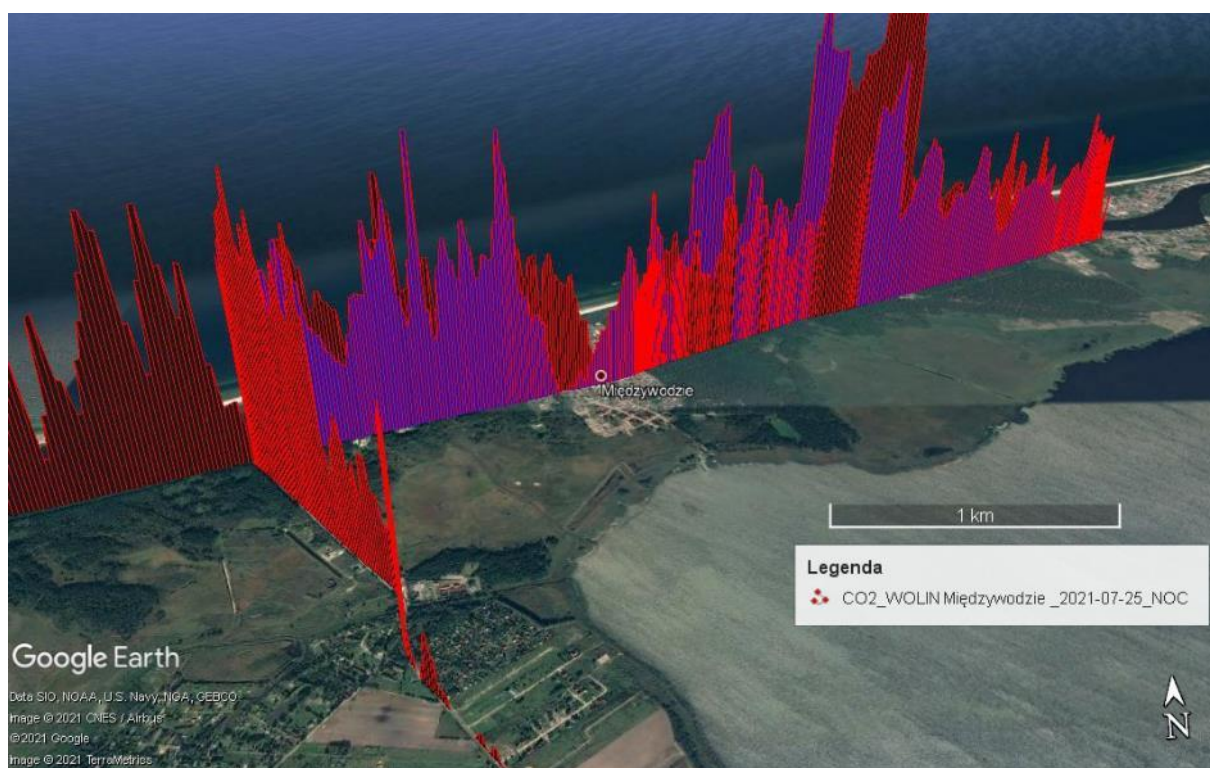
Rysunek 4.48. Wyspa Uznam (Karlsruhe) – stężenie CO₂ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar nocny (24-07-2021)



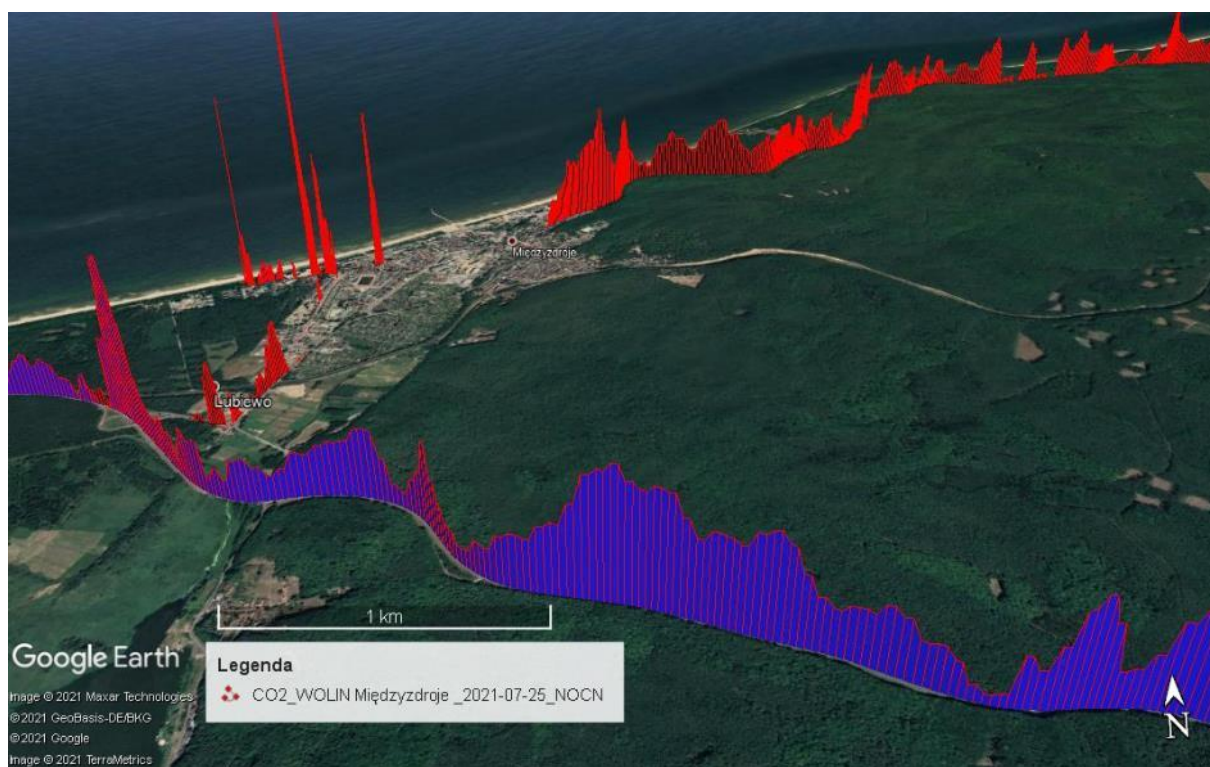
Rysunek 4.49. Wyspa Uznam (okolice Ahlbeck) – stężenie CO₂ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar nocny (24-07-2021)



Rysunek 4.50. Wyspa Wolin (Gazoport) – stężenie CO₂ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar nocny (25-07-2021)



Rysunek 4.51. Wyspa Wolin (Międzywodzie) – stężenie CO₂ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar nocny (25-07-2021)



Rysunek 4.52. Wyspa Wolin (Międzyzdroje) – stężenie CO₂ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar nocny (25-07-2021)

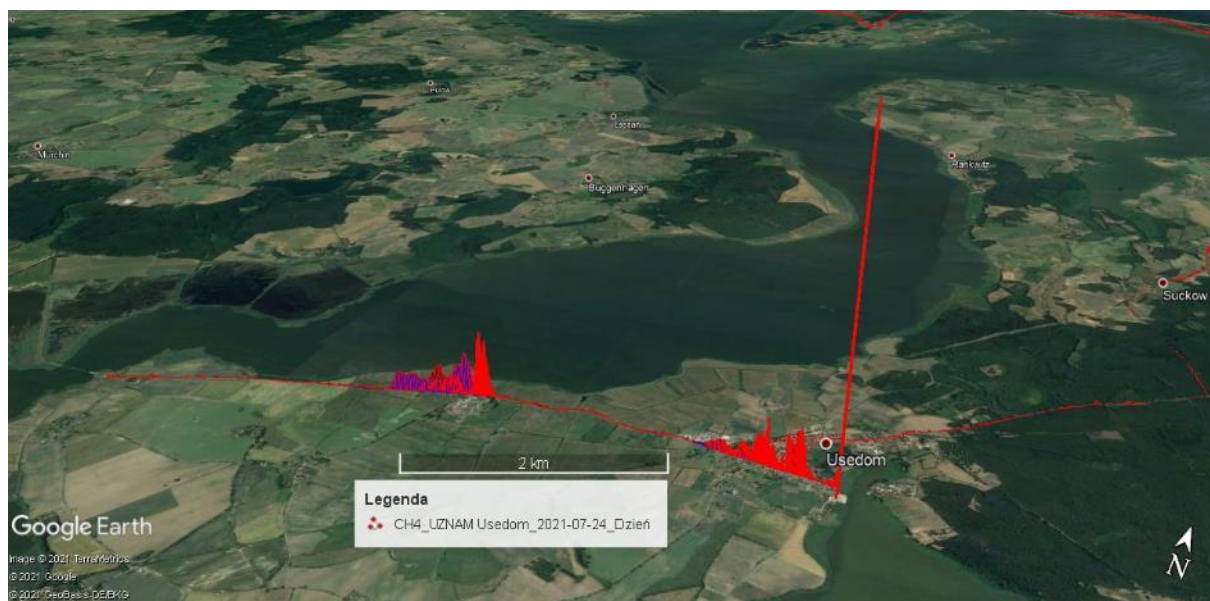


Rysunek 4.53. Wyspa Wolin (Darnowo) – stężenie CO₂ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar nocny (25-07-2021)

Przebiegi stężenia metanu, pomierzone wzdłuż tras przejazdu na wyspach Uznam i Wolin w dziennym cyklu pomiarowym, przedstawiono na rysunkach 4.54 – 4.67.



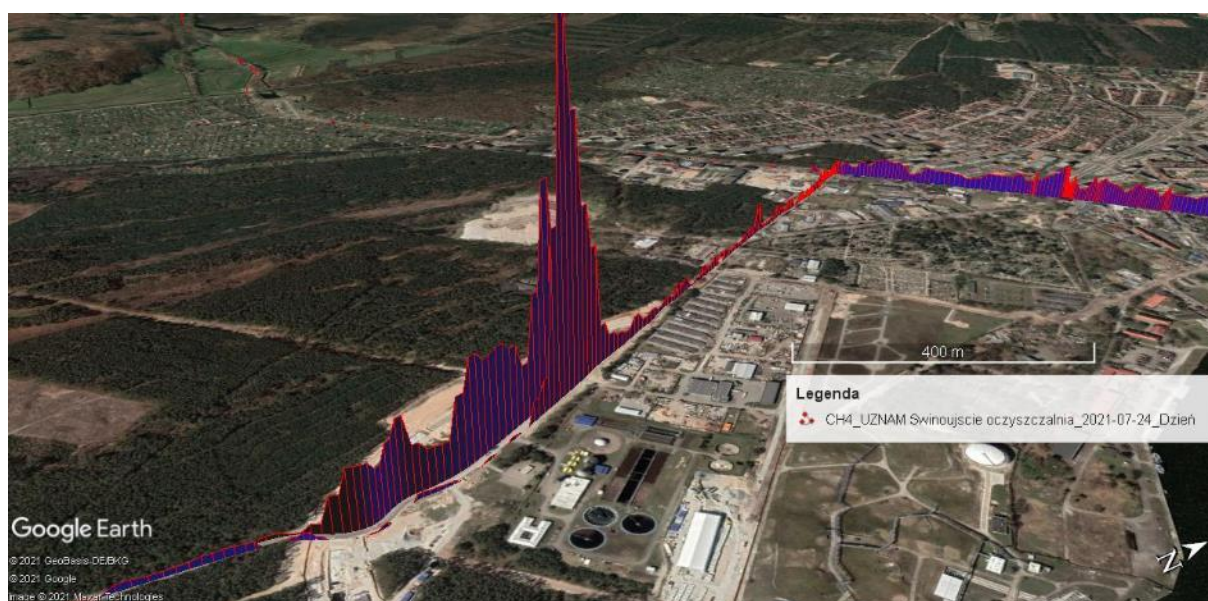
Rysunek 4.54. Wyspy Uznam i Wolin – stężenie CH₄ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar dzienny (24-07-2021)



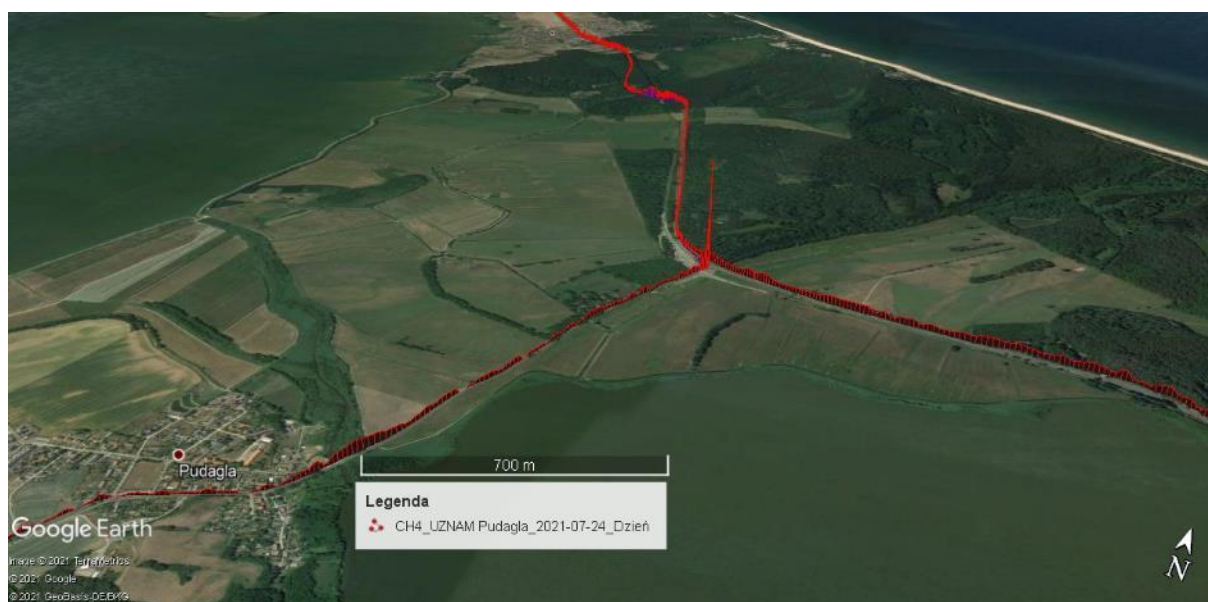
Rysunek 4.55. Wyspa Uznam – stężenie CH₄ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar dzienny (24-07-2021)



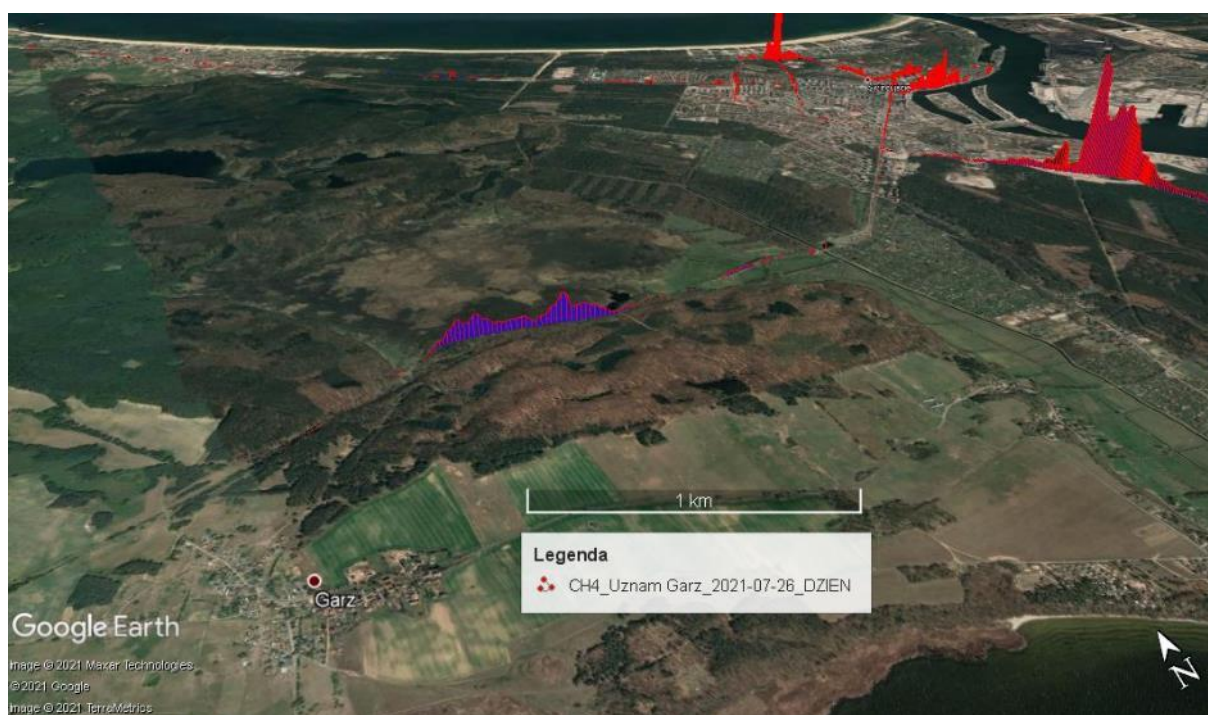
Rysunek 4.56. Wyspa Uznam (Świniujście) – stężenie CH_4 wzdłuż trasy przejazdu, pomiar dzienny (24-07-2021)



Rysunek 4.57. Wyspa Uznam (Świniujście – oczyszczalnia) – stężenie CH_4 wzdłuż trasy przejazdu, pomiar dzienny (24-07-2021)



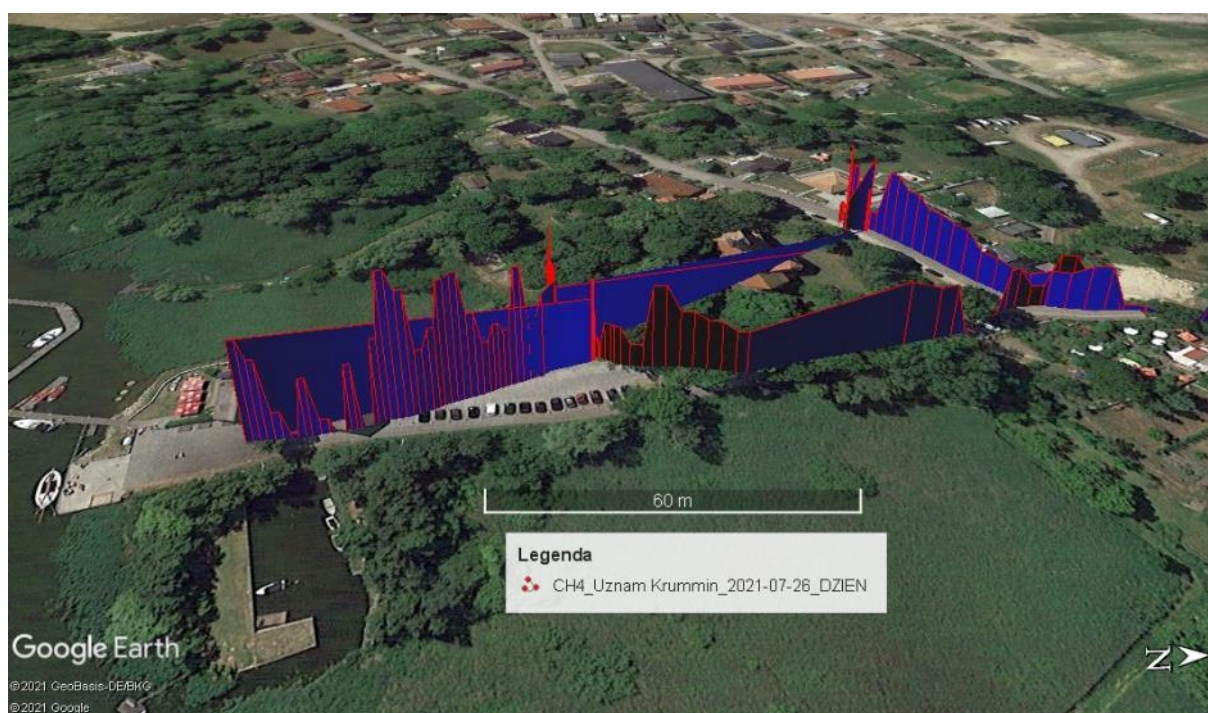
Rysunek 4.58. Wyspa Uznam (Pudagla) – stężenie CH₄ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar dzienny (24-07-2021)



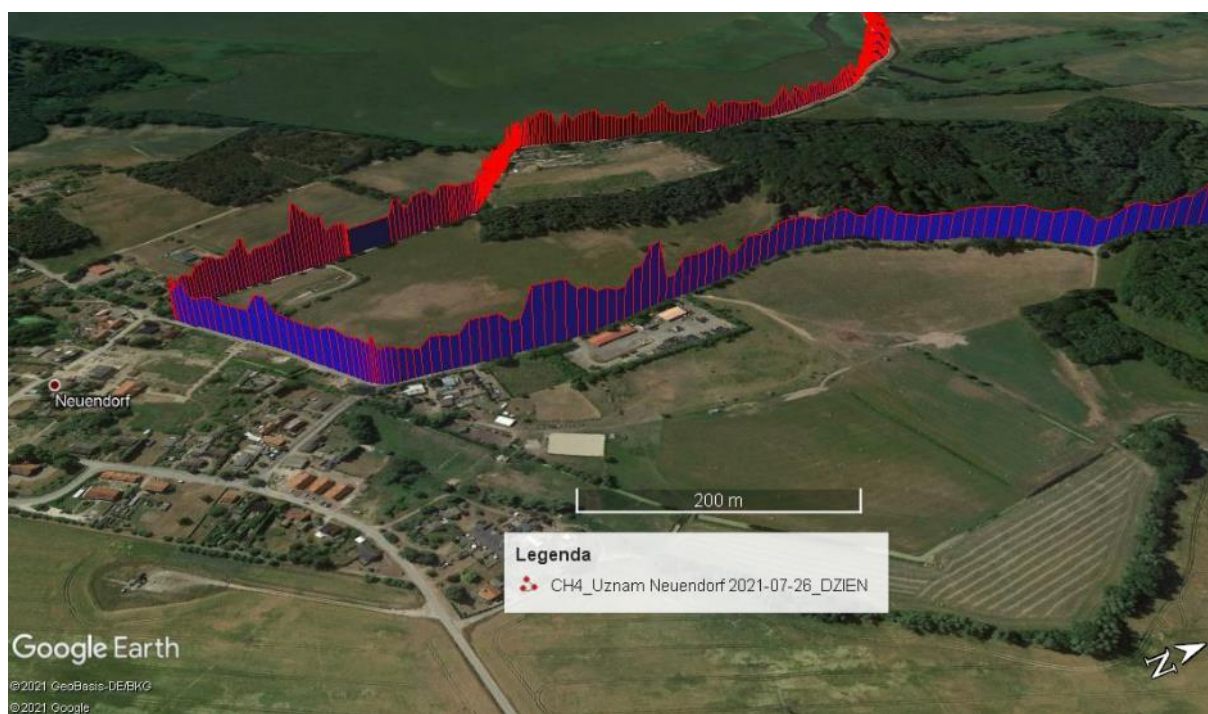
Rysunek 4.59. Wyspa Uznam (Garz) – stężenie CH₄ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar dzienny (26-07-2021)



Rysunek 4.60. Wyspa Uznam (Krummin)– stężenie CH_4 wzdłuż trasy przejazdu, pomiar dzienny (26-07-2021)



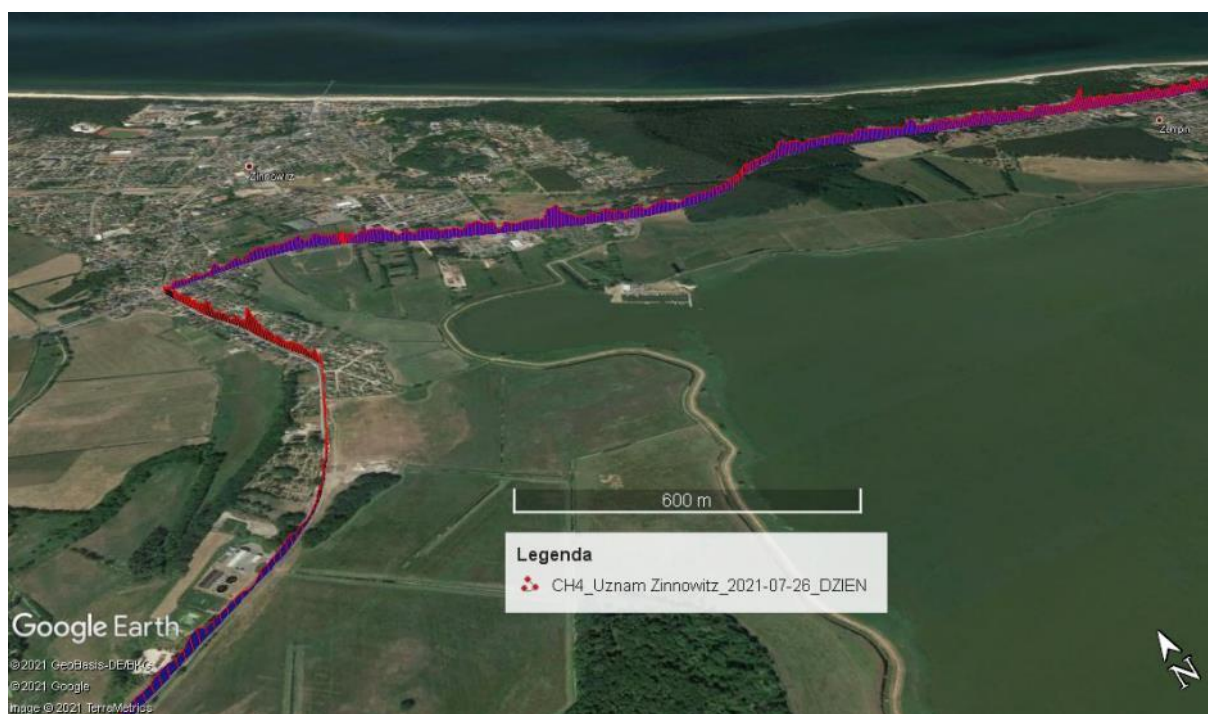
Rysunek 4.61. Wyspa Uznam (Krummin)– stężenie CH_4 wzdłuż trasy przejazdu, pomiar dzienny (26-07-2021)



Rysunek 4.62. Wyspa Uznam (Neuendorf) – stężenie CH_4 wzdłuż trasy przejazdu, pomiar dzienny (24-07-2021)



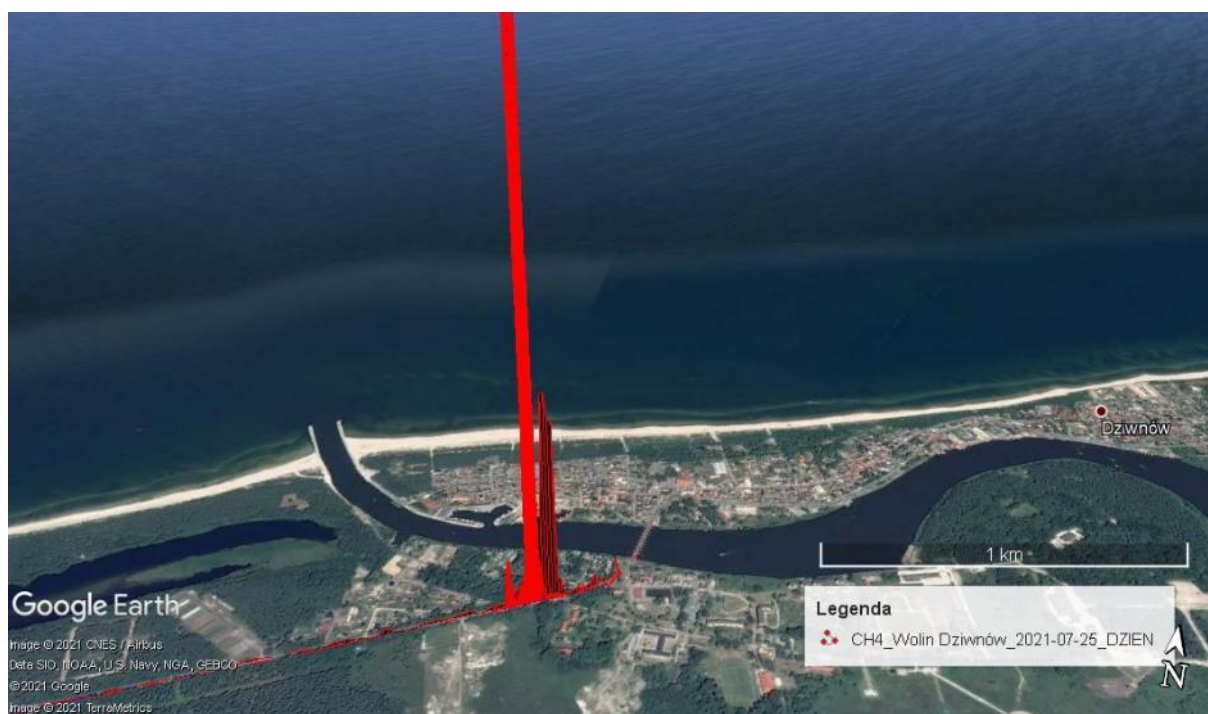
Rysunek 4.63. Wyspa Uznam (Świnoujście) – stężenie CH_4 wzdłuż trasy przejazdu, pomiar dzienny (26-07-2021)



Rysunek 4.64. Wyspa Uznam (Zinnowitz) – stężenie CH₄ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar dzienny (26-07-2021)



Rysunek 4.65. Wyspa Wolin – stężenie CH₄ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar dzienny (25-07-2021)

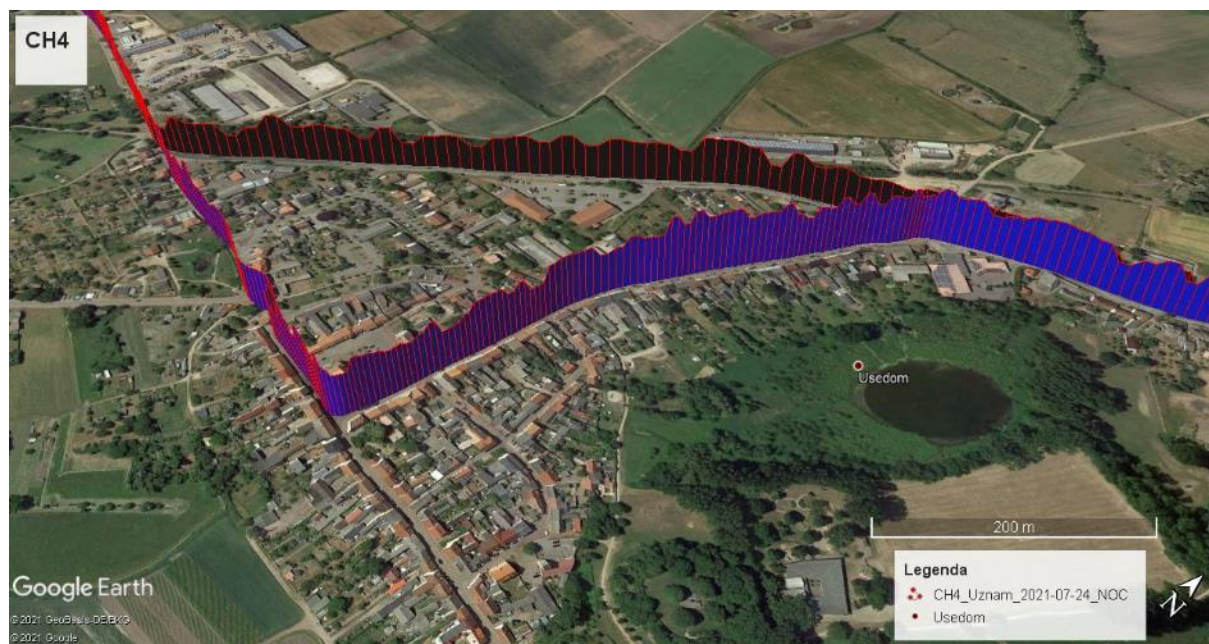


Rysunek 4.66. Wyspa Wolin (Dziwnów) – stężenie CH_4 wzdłuż trasy przejazdu, pomiar dzienny (25-07-2021)



Rysunek 4.67. Wyspa Wolin (Koprowo) – stężenie CH_4 wzdłuż trasy przejazdu, pomiar dzienny (25-07-2021)

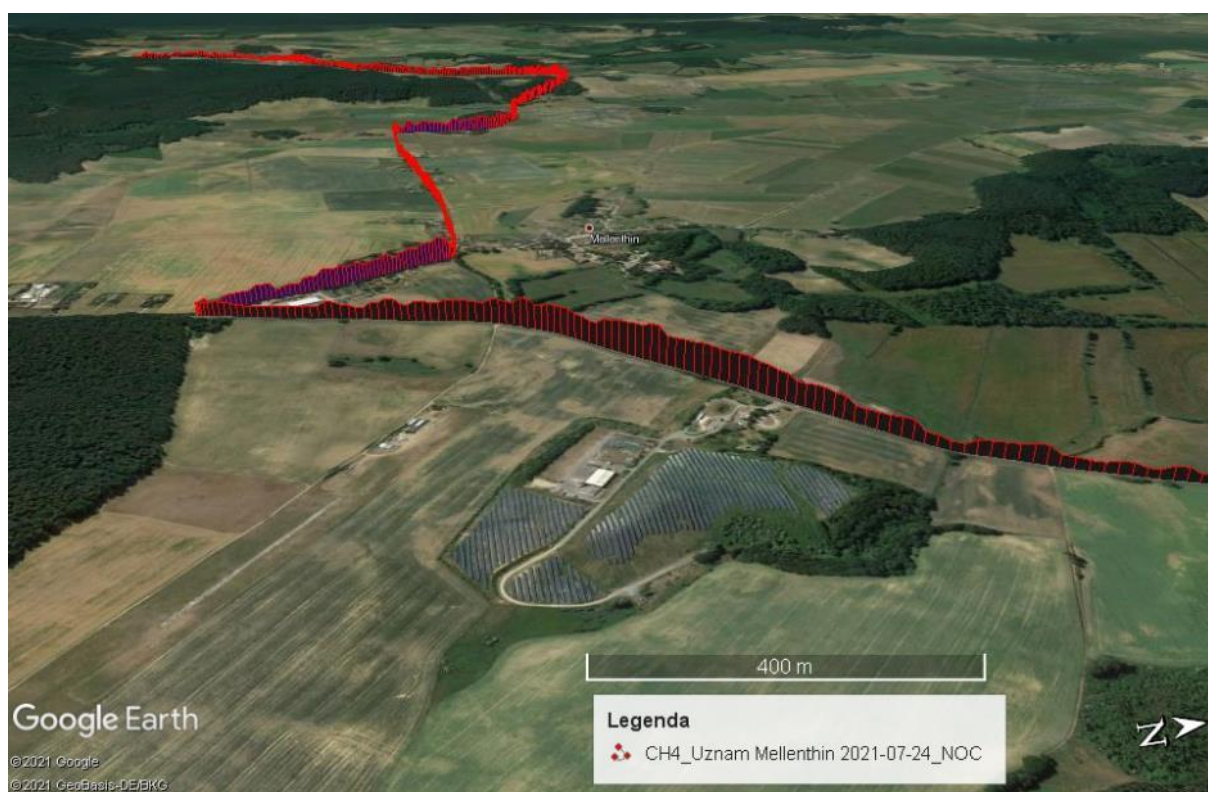
Przebiegi stężenia metanu, pomierzone wzdłuż tras przejazdu na wyspach Uznam i Wolin w nocnym cyklu pomiarowym, przedstawiono na rysunkach 4.68 – 4.67.



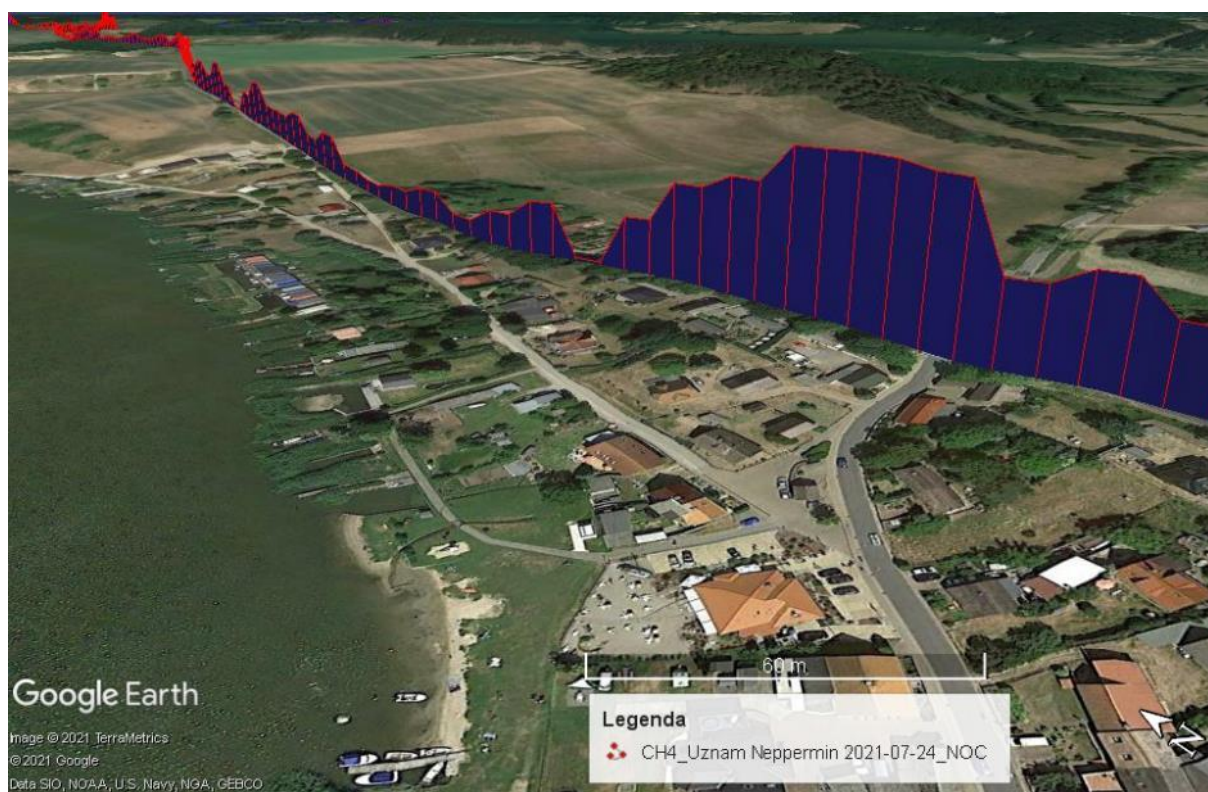
Rysunek 4.68. Wyspa Uznam (Usedom) – stężenie CH₄ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar nocny (24-07-2021)



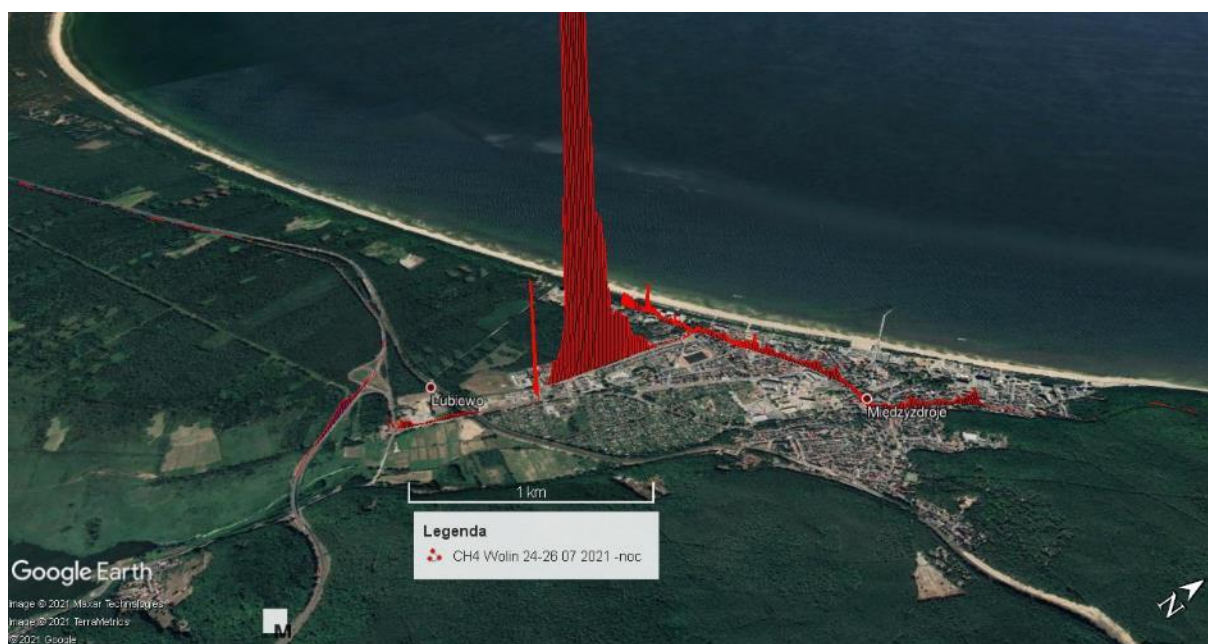
Rysunek 4.69. Wyspa Uznam (Vossberg) – stężenie CH₄ wzdłuż trasy przejazdu, pomiar nocny (24-07-2021)



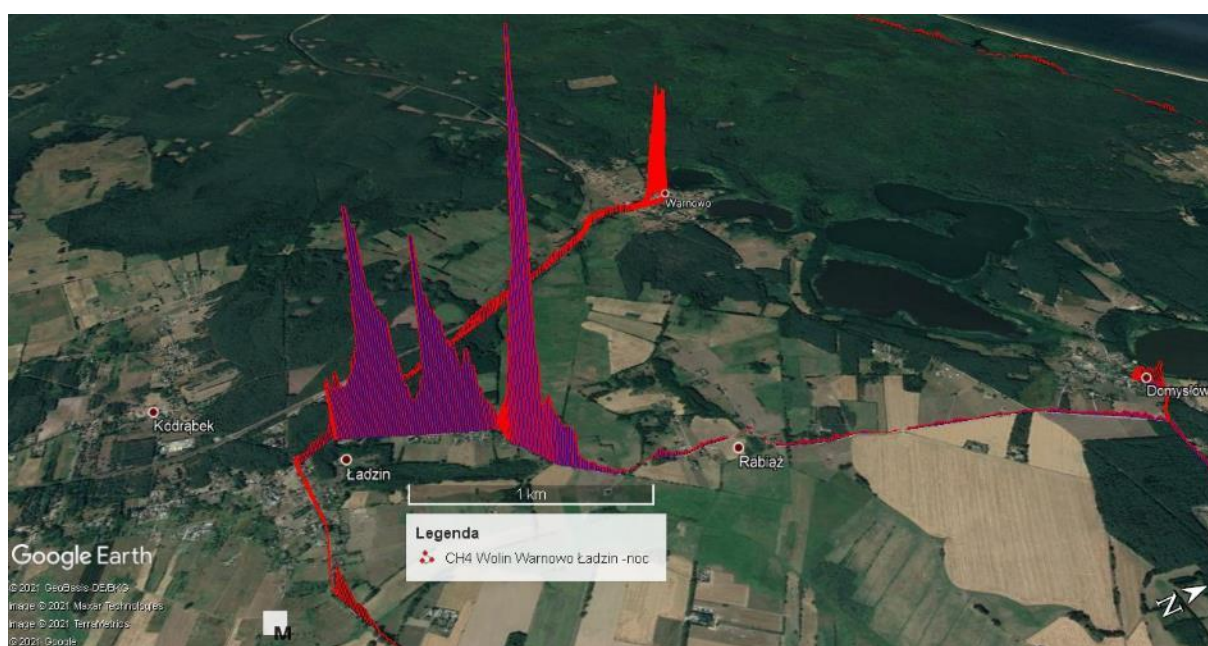
Rysunek 4.70. Wyspa Uznam (Mellenthin) – stężenie CH_4 wzdłuż trasy przejazdu, pomiar nocny (24-07-2021)



Rysunek 4.71. Wyspa Uznam (Neppermin) – stężenie CH_4 wzdłuż trasy przejazdu, pomiar nocny (24-07-2021)



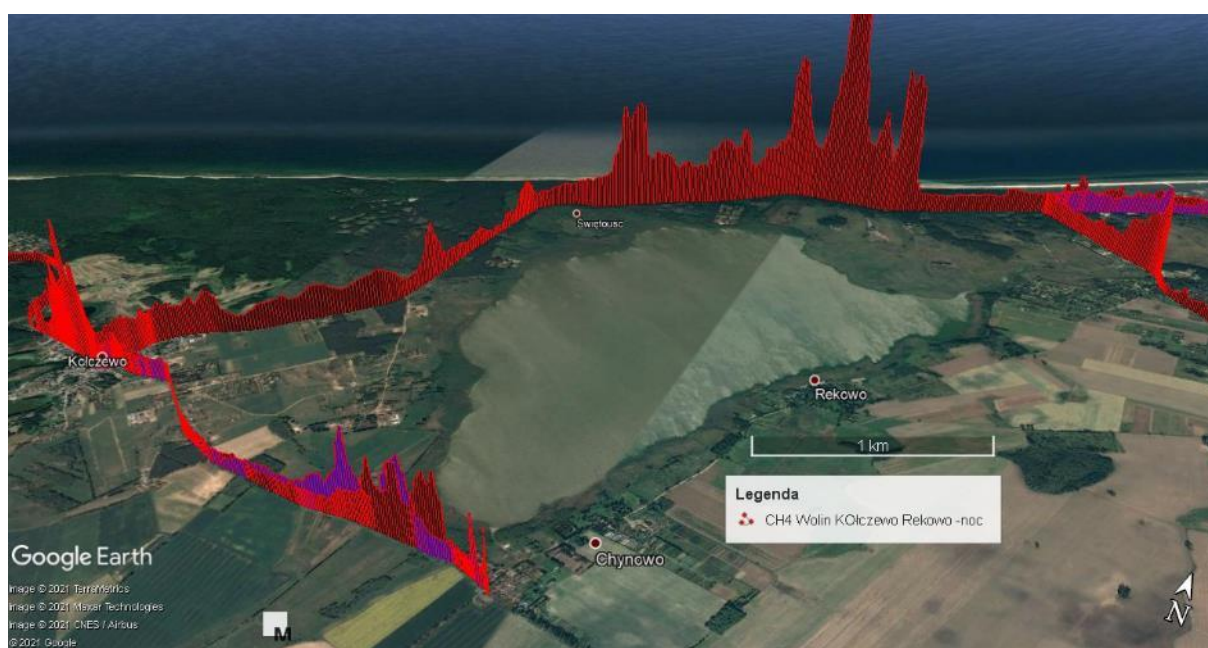
Rysunek 4.72. Wyspa Wolin (Międzyzdroje) – stężenie CH_4 wzdłuż trasy przejazdu, pomiar nocny (26-07-2021)



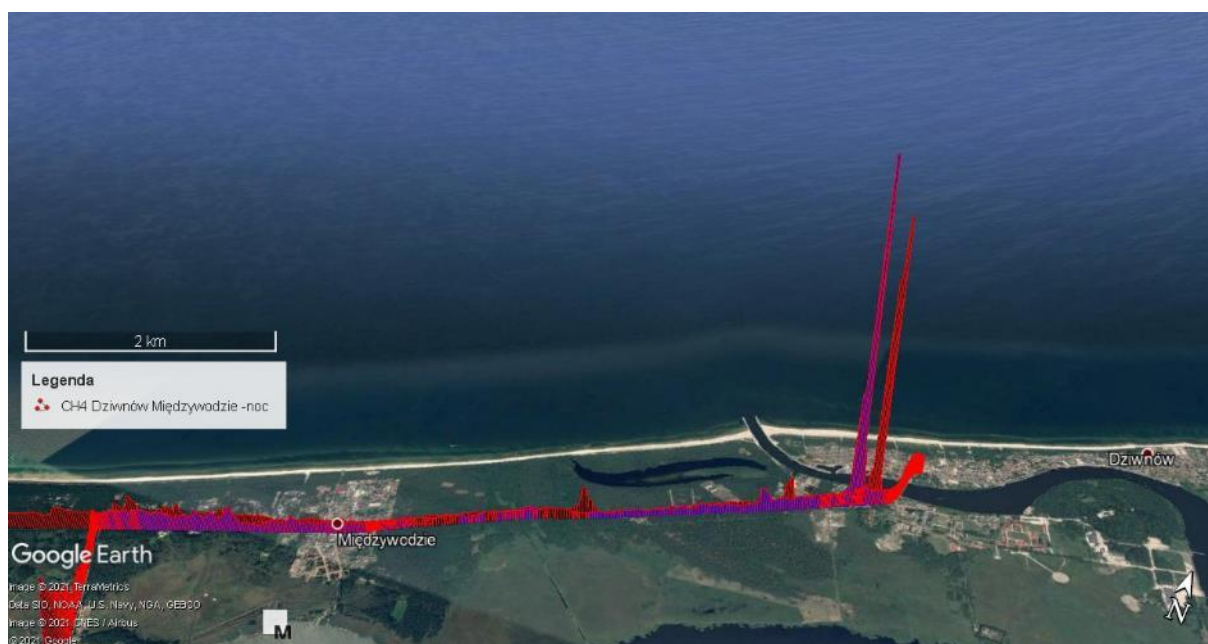
Rysunek 4.73. Wyspa Wolin (Warnowo – Łądzin) – stężenie CH_4 wzdłuż trasy przejazdu, pomiar nocny (26-07-2021)



Rysunek 4.74. Wyspa Wolin (Łoszyńskie) – stężenie CH_4 wzdłuż trasy przejazdu, pomiar nocny (26-07-2021)



Rysunek 4.75. Wyspa Wolin (Kołczewo – Rekowo) – stężenie CH_4 wzdłuż trasy przejazdu, pomiar nocny (26-07-2021)



Rysunek 4.76. Wyspa Wolin (Międzywodzie) – stężenie CH_4 wzdłuż trasy przejazdu, pomiar nocny (26-07-2021)

5. Wyniki pomiarów stężenia pyłu zawieszonego PM2.5 i PM10

Warunki rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń pyłowych w powietrzu atmosferycznym kształtowane są oddziaływaniem czasowo-przestrzennym panujących warunków meteorologicznych, opisanym w skalach od wewnętrznej do globalnej (Tabela 5.1). najczęściej w warunkach pomiaru stężenia pyłów obserwuje się koncentracje będące skutkiem oddziaływania lokalnego i regionalnego.

Tabela 5.1. Przestrzenna i czasowa skala rozprzestrzeniania zanieczyszczeń²³

Zasięg oddziaływania	Skala pozioma [km]	Skala pionowa [km]	Skala czasowa	Skala problemu
Wewnętrzny	$10^{-2} - 10^{-1}$	do 10^{-1}	minuty – godzina	działalność usługowo-bytowa
Lokalny	$10^{-1} - 10$	do 3	minuty – godzina	miasto / kraj
Miejski	$10 - 10^2$	do 3	godzina – kilka dni	miasto / kraj
Regionalny	$10^2 - 10^3$	do 15	godziny – miesiąc	region / kraj
Kontynentalny	$10^3 - 10^4$	do 30	kilka dni – miesiące	kraj / świat
Hemisfera	$10^4 - 2 \times 10^4$	do 50	miesiąc – rok	świat
Globalny	4×10^4	do 50	miesiące – lata	świat

Badania stężenie pyłu zawieszonego w powietrzu PM2.5 i PM10 badane było w czterech okresach, tj. wiosennym, letnim, jesiennym i zimowym, osobno w czasie dnia i nocy. Z uwagi na awarię sprzętu, nie dającą się wykryć podczas prowadzenia badań, serie obserwacji jesiennej wykonane nocą nie zostały prawidłowo zarejestrowane i nie są prezentowane w raporcie.

Z uwagi na przyjętą metodykę prowadzenia pomiaru, rejestrowane stężenie cząstek zawieszonych PM2.5 i PM10 stanowi wypadkową z emisji punktowej, powierzchniowej i liniowej, charakterystycznej dla danej lokalizacji.

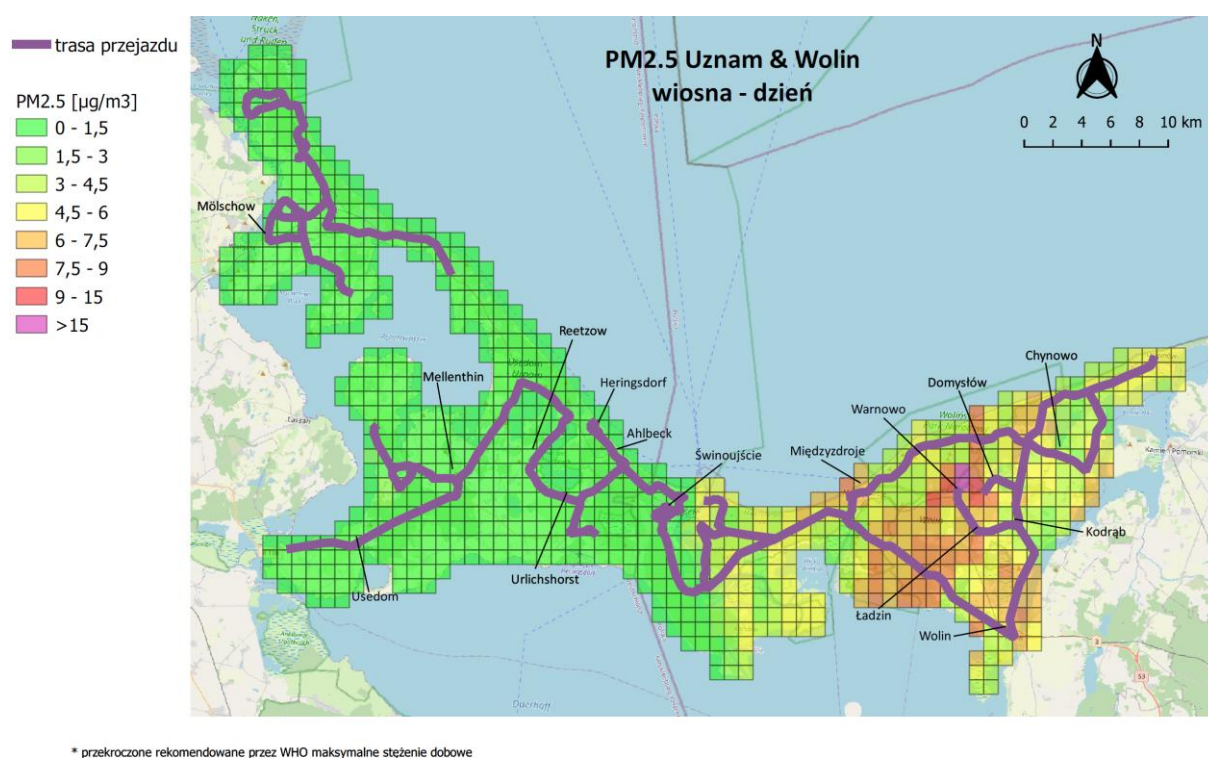
5.1. Pył zawieszony PM2.5

Na rysunkach 5.1 – 5.4 przedstawiono rozkład stężenia pyłu zawieszonego PM2.5 dla pomiaru dziennego w 4 kampaniach pomiarowych. Przyjęta skala obejmuje stężenie PM2.5 od $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ do wartości przekraczającej $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, w podziale na 8 zakresów. Przyjęta wartość graniczna $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ jest rekomendowaną przez WHO (od 2021 r.) dobową wartością graniczną stężenia PM2.5. Z uwagi na ograniczenia pomiarowe (brak możliwości realizacji pomiarów całodobowych), należy zwrócić uwagę, że wartości prezentowane na mapach zanieczyszczeń są wartościami chwilowymi obrazującymi koncentrację źródeł zanieczyszczeń oraz tendencję ich rozkładu, i pomimo przyjęcia podziałki stężenia w odniesieniu do dobowej wartości

²³ Arya S.P., 1999. Air pollution meteorology and dispersion. Oxford University Press, Oxford.

granicznej (WHO), nie pozwalają w pełni na jednoznaczne określenie stanu jakości powietrza na przedmiotowym terenie.

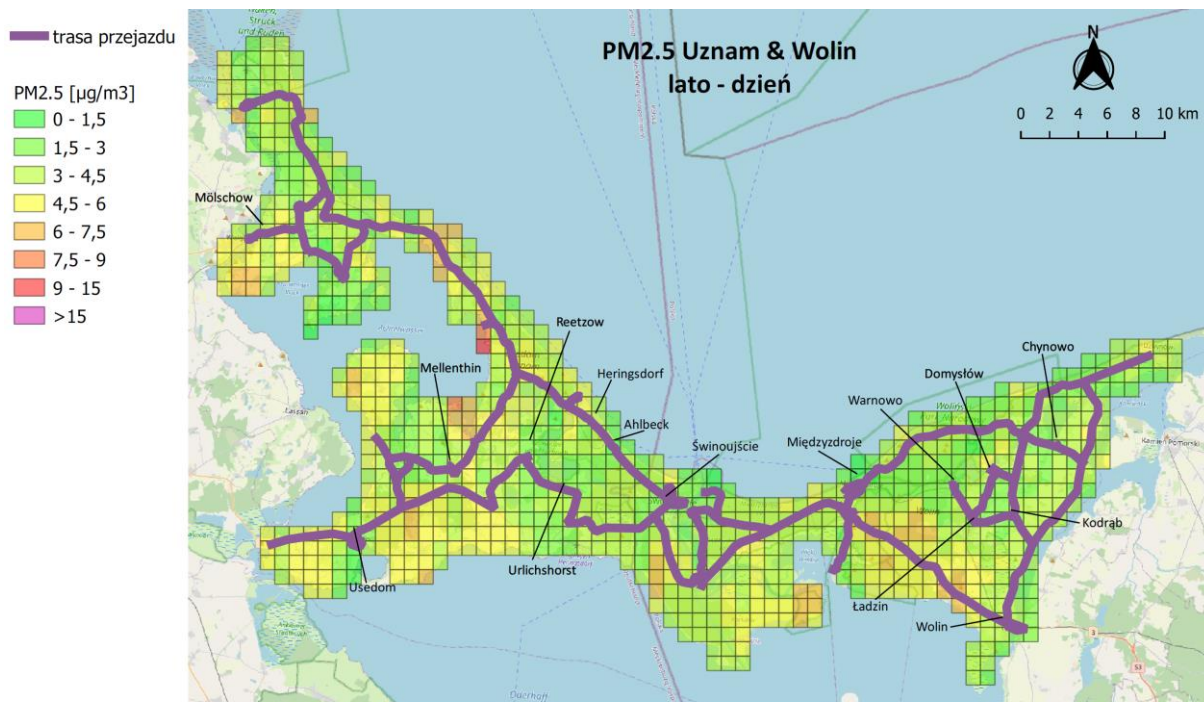
W okresie wiosennym (rys. 5.1) wyraźnie widoczne jest zróżnicowanie stężenia pyłu zawieszonego PM_{2.5} na obszarze MoRE. Zmienność powierzchniowa stężenia zanieczyszczenia nie przebiega w obrębie granic wysp, a raczej dość wyraźnie obejmuje podział terytorialny obszaru projektu. Wyraźnie stężenie PM_{2.5} po stronie niemieckiej jest znacznie korzystniejsze (niższe) w porównaniu z analizowanym obszarem po stronie polskiej. Pomierzone stężenie PM_{2.5} na przeważającej części wyspy Uznam (strona niemiecka) zamyka się w zakresie od 0 – 3 µg/m³. Po stronie polskiej wyspy Uznam oraz na Karsiborze odnotowano zróżnicowanie stężenia PM_{2.5} ze wzrostem wartości w przedziale do 4,5-6 µg/m³. Chwilowe stężenie pyłu zawieszonego na wyspie Wolin opisane jest wszystkimi przyjętymi przedziałami wartości, wraz z przekroczeniem rekomendowanej granicznej maksymalnej wartości dobowego stężenia PM_{2.5}, odnotowanego w okolicach Warnowa.



Rysunek 5.1. Wyspy Uznam i Wolin – rozkład stężenia pyłu zawieszonego PM_{2.5} – wiosna, dzień

W okresie letnim (rys. 5.2) obraz stężenia pyłu zawieszonego PM_{2.5} na terenie całego obszaru jest znacznie bardziej zrównoważony. Przeważający zakres stężenia chwilowego zamyka się w granicach 0 – 6 µg/m³. Lokalnie zwiększa się w zakresie od 6 – 9 µg/m³. W uzyskanych

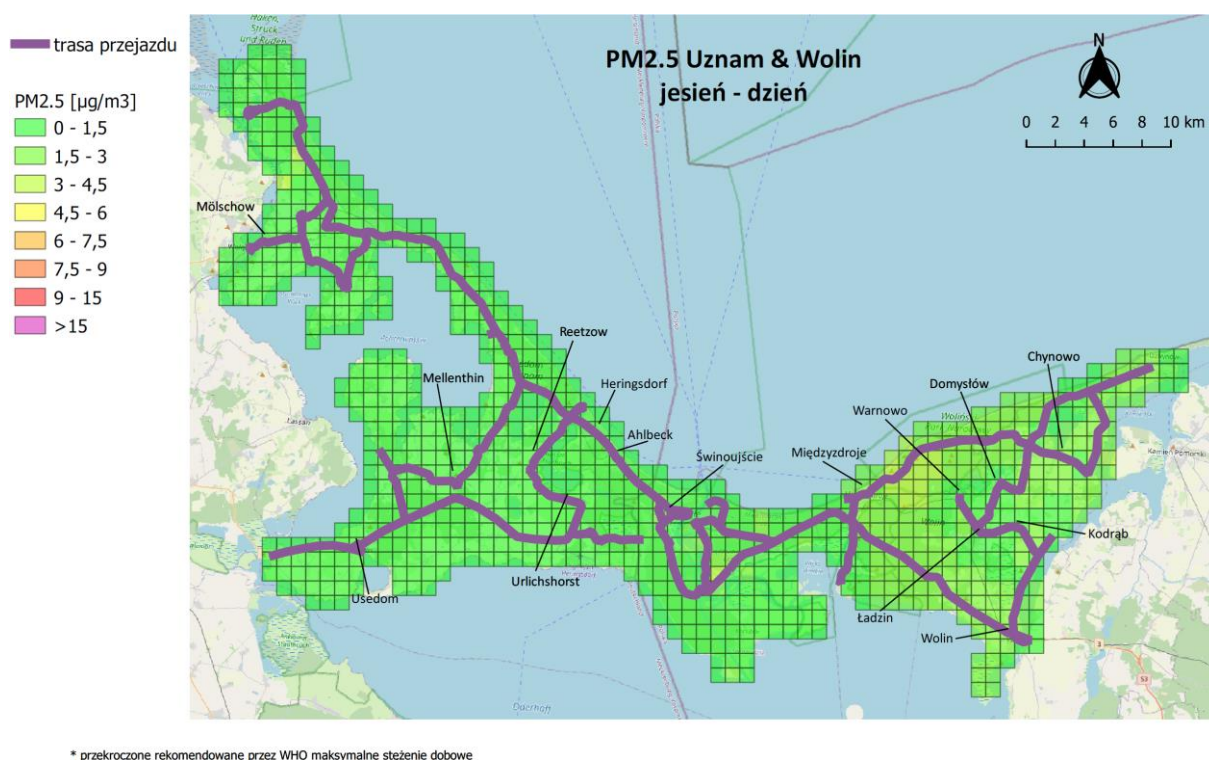
wynikach dla okresu letniego zwraca uwagę zwiększona koncentracja PM2.5 w dwóch lokalizacjach na terenie wyspy Uznam w obrębie wybrzeża Zatoki Achterwasser.



* przekroczone rekomendowane przez WHO maksymalne stężenie dobowe

Rysunek 5.2. Wyspy Uznam i Wolin – rozkład stężenia pyłu zawieszonego PM2.5 – lato, dzień

W okresie jesiennym (rys. 5.3) cały obszar MoRE charakteryzuje się bardzo dobrą chwilową jakością powietrza. Stężenie pyłu zawieszonego przeważnie kształtowała się w zakresie od 0 – 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, z lokalnymi obszarami zwiększonej emisji, jednak nie przekraczającej 4,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Rysunek 5.3. Wyspy Uznam i Wolin – rozkład stężenia pyłu zawieszonego PM2.5 – jesień, dzień

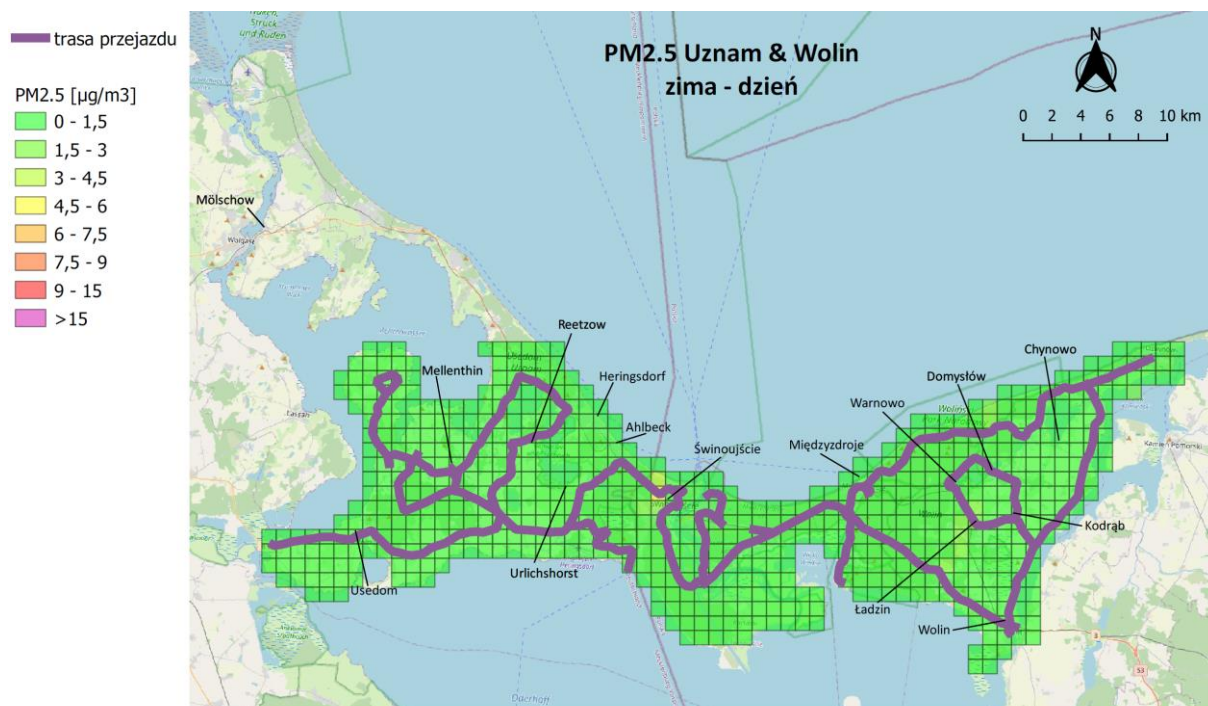
W pomiarze zimowym (rys. 5.4) zmierzone chwilowe wartości stężenia PM2.5 kształtowały się na podobnym poziomie jak w okresie jesiennym. Nieco zwiększone stężenie PM2.5 w odniesieniu do okresu jesiennego odnotowano na terenie Świnoujścia.

Analizując wyniki zimowe należy jednak zwrócić uwagę na silne przewietrzenie regionu. Badania wykonano przy nieznacznej sile wiatru, jednak dobę po ustaniu wiatru o sile 6B w porywach do 8B. Przeprowadzenie kampanii zimowej utrudniały panujące warunki atmosferyczne z przechodzącymi frontami atmosferycznymi i niekorzystną długoterminową prognozą pogody.

Na rysunkach 5.5 – 5.7 przedstawiono rozkład stężenia chwilowego pyłu zawieszonego PM2.5 dla pomiaru nocnego w 4 kampaniach pomiarowych. Przyjęto analogiczną skalę podziału stężenia jak na rysunkach 5.1 – 5.4.

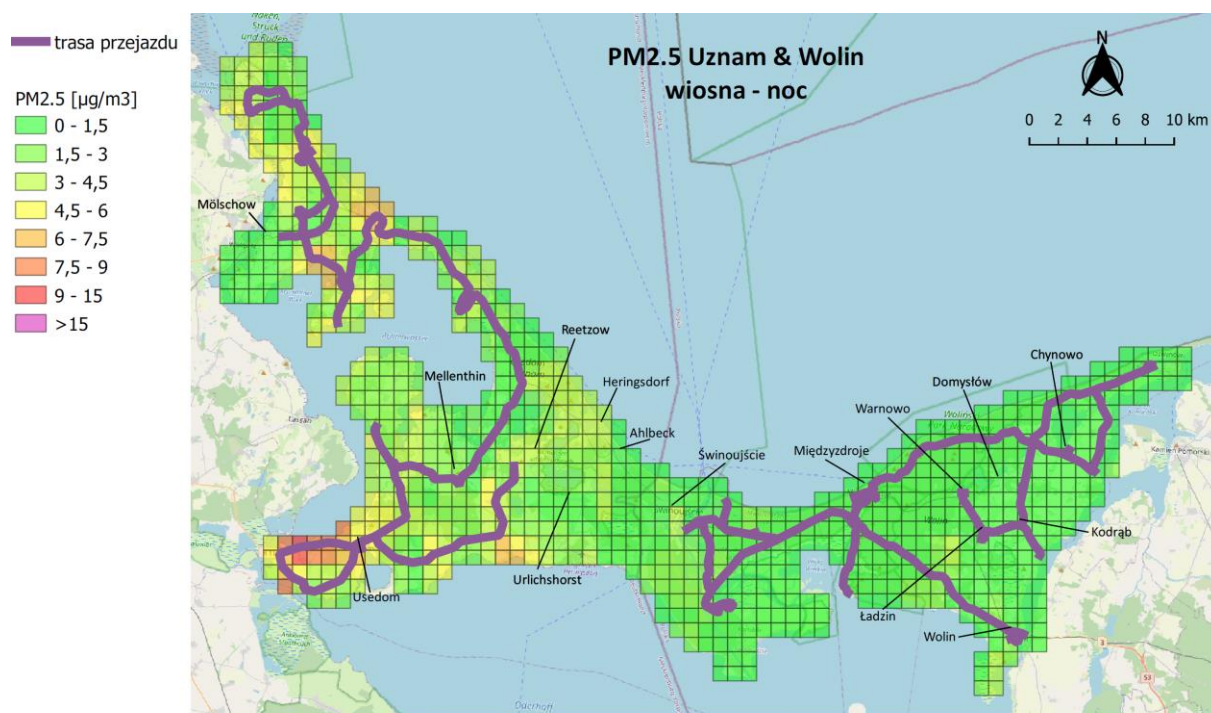
W odróżnieniu do okresu dziennego (rys. 5.1), pomiary nocne wykonane w okresie wiosennym na terenie wysp (rys. 5.5) ujawniły zwiększenie emisji po stronie niemieckiej wyspy Uznam, z koncentracją w obrębie miejscowości: Usedom – poziom najwyższy w zakresie 9-15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,

Karnin, Zinnowitz, Krummin oraz Dargen. Chwilowe stężenie na wyspie Wolin kształtowała się na poziomie do $0 - 4,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



* przekroczone rekomendowane przez WHO maksymalne stężenie dobowe

Rysunek 5.4. Wyspy Uznam i Wolin – rozkład stężenia pyłu zawieszonego PM2.5 – zima, dzień

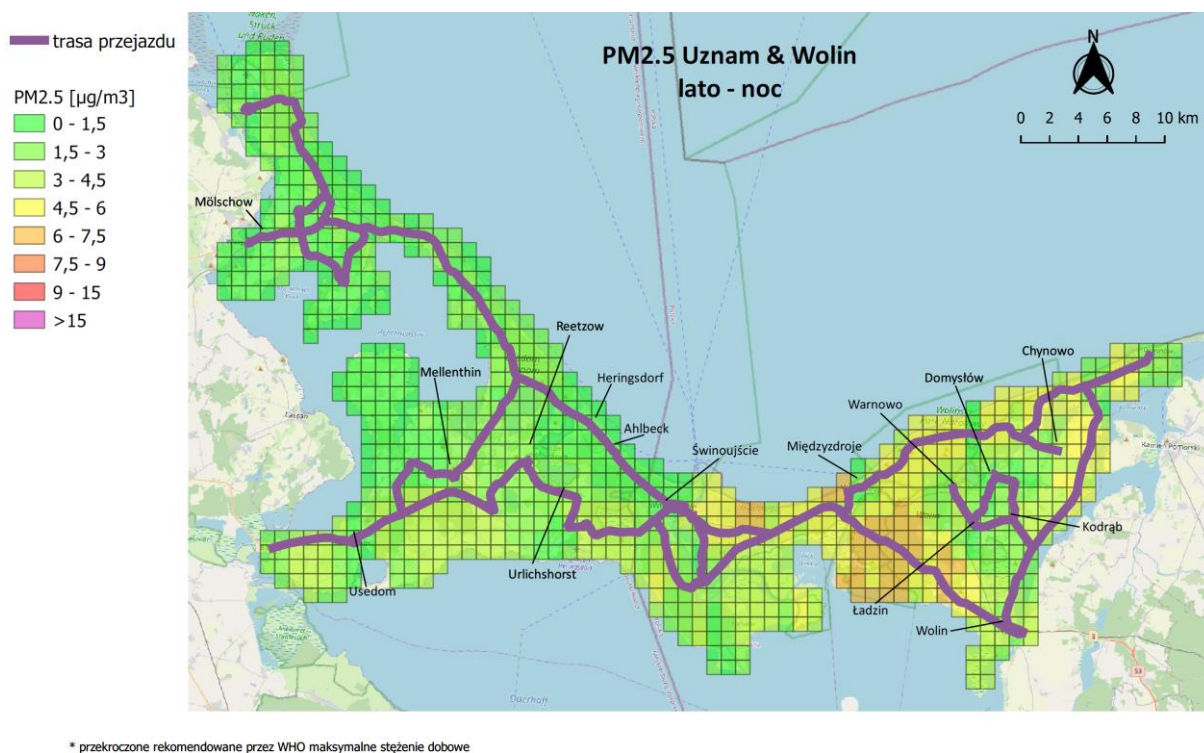


* przekroczone rekomendowane przez WHO maksymalne stężenie dobowe

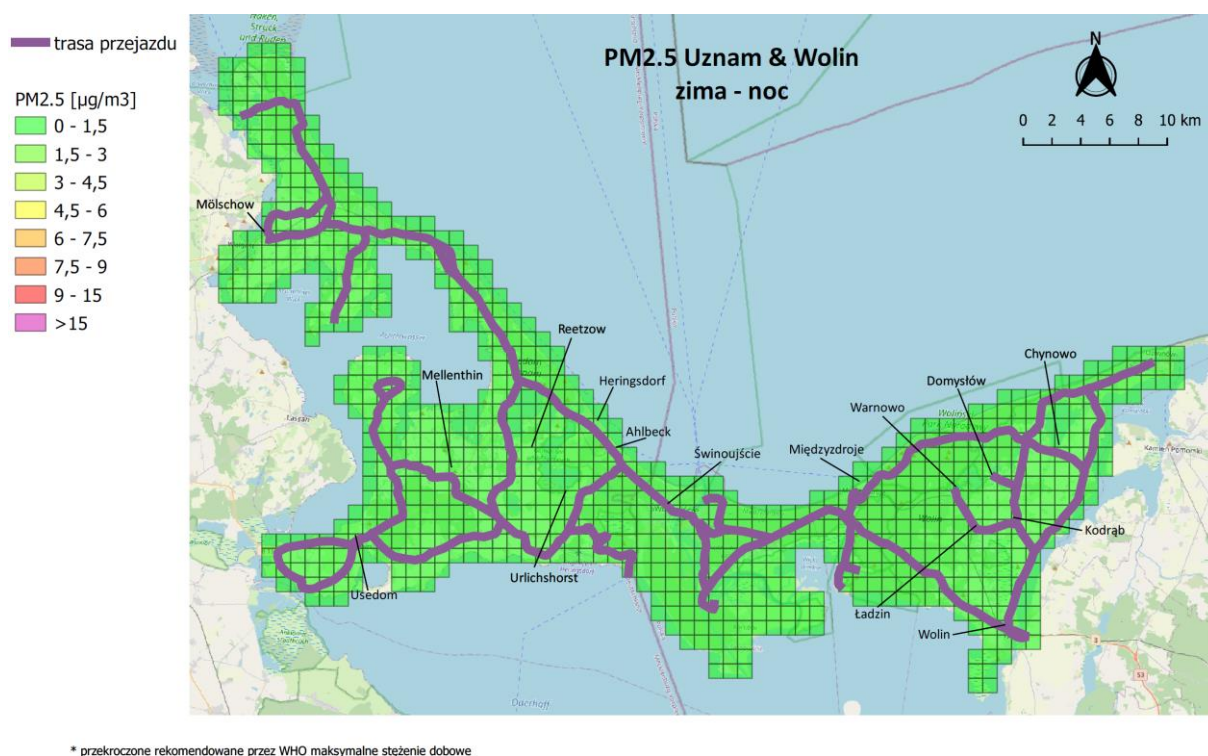
Rysunek 5.5. Wyspy Uznam i Wolin – rozkład stężenia pyłu zawieszonego PM2.5 – wiosna, noc

Pomierzony poziom stężenia PM_{2.5} w okresie letnim nocą (rys. 5.6) wskazuje niskie wartości na wyspie Uznam w zakresie 0 – 4,5 µg/m³. W odniesieniu do letniego dnia (rys. 5.2) odnotowano spadek stężenia PM_{2.5} na wyspie. Na większości wyspy Wolin również w okresie letnim w nocy odnotowano spadek stężenia 2.5. Wyjątek stanowi obszar pokrywający się z przebiegiem trasy S3 na odcinku Wolin – Międzyzdroje, oraz Warszów (prawobrzeżna część Świnoujścia). Chwilowe stężenie pyłu zawieszonego PM_{2.5} na tym obszarze zamykała się w granicach do 7,5 – 9 µg/m³.

W pomiarze zimowym (rys. 5.7) zmierzone chwilowe wartości stężenia PM_{2.5} kształtowały się na podobnym poziomie od 0 – 3 µg/m³ na terenie obu wysp. Jak wcześniej wskazano, uzyskane chwilowe stężenie PM_{2.5} mogło być wynikiem panujących przed badaniami warunków atmosferycznych, sprzyjających przemieszczaniu się zanieczyszczeń, tym samym „przewietrzeniu” analizowanego obszaru.



Rysunek 5.6. Wyspy Uznam i Wolin – rozkład stężenia pyłu zawieszonego PM_{2.5} – lato, noc

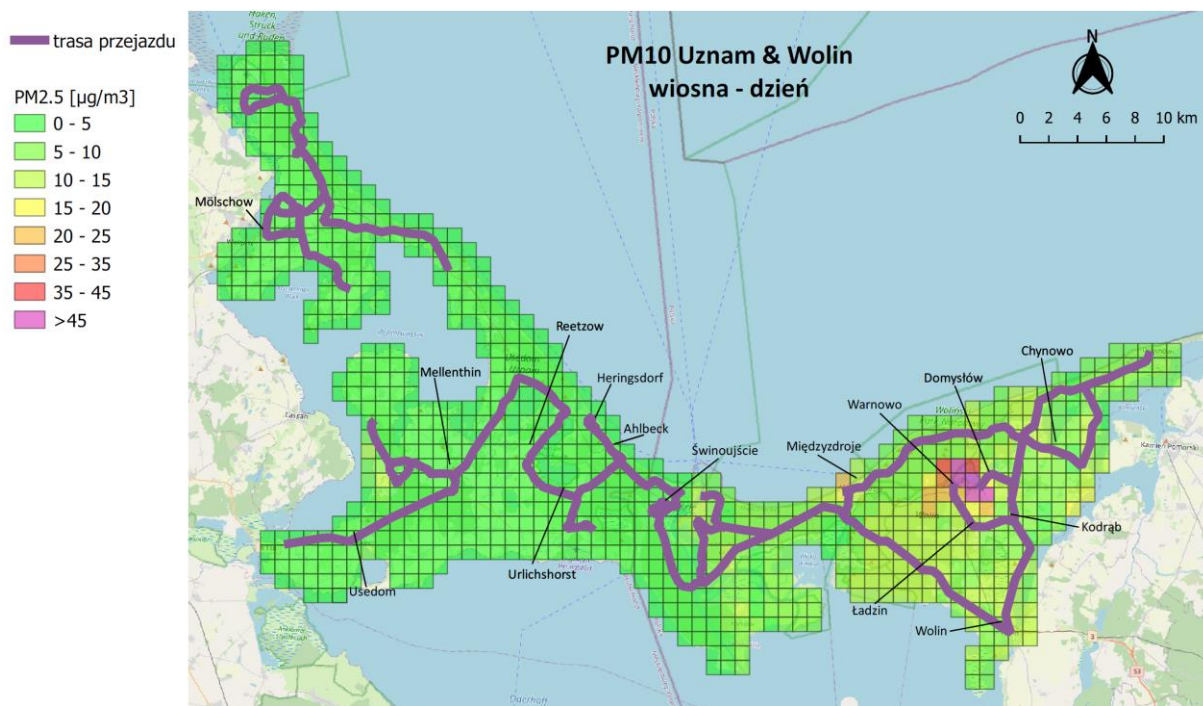


Rysunek 5.7. Wyspy Uznam i Wolin – rozkład stężenia pyłu zawieszonego PM2.5 – zima, noc

5.2. Pył zawieszony PM10

Na rysunkach 5.8 – 5.11 przedstawiono rozkład stężenia pyłu zawieszonego PM10 dla pomiaru dziennego w 4 kampaniach pomiarowych. Przyjęta skala obejmuje stężenie PM10 od 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ do wartości przekraczającej 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, w podziale na 8 zakresów. Przyjęta wartość graniczna 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ jest rekomendowaną przez WHO (od 2021 r.) dobową wartością graniczną stężenia pyłu zawieszonego PM10.

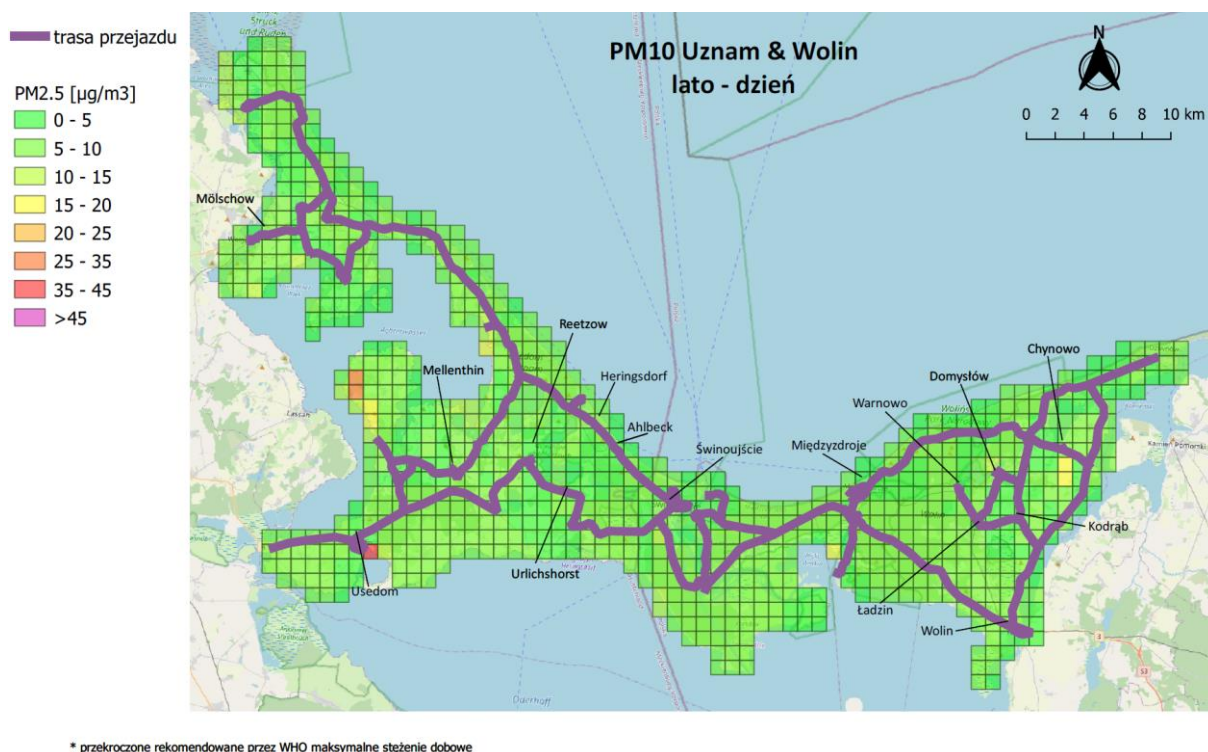
W okresie wiosennym (rys. 5.8) zróżnicowanie stężenia pyłu zawieszonego PM10 na obszarze MoRE jest mniej wyraźne niż w przypadku stężenia PM2.5 w analogicznym okresie. Na większości obszaru chwilowe stężenie pyłu zawieszonego PM10 waha się w granicach od 0 do 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Wyraźna koncentracja pyłu zawieszonego PM10 występuje w części centralnej wyspy Wolin, w okolicach miejscowości Warnowo i Domysłów, gdzie chwilowe stężenie przekracza graniczną dobową wartość stężenia PM10, rekomendowaną przez WHO. Podwyższone stężenie PM10 występuje również w okolicach Międzyzdroi, jednak pomierzone wartości chwilowe PM10 zamykają się w granicy do 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



* przekroczone rekomendowane przez WHO maksymalne stężenie dobowe

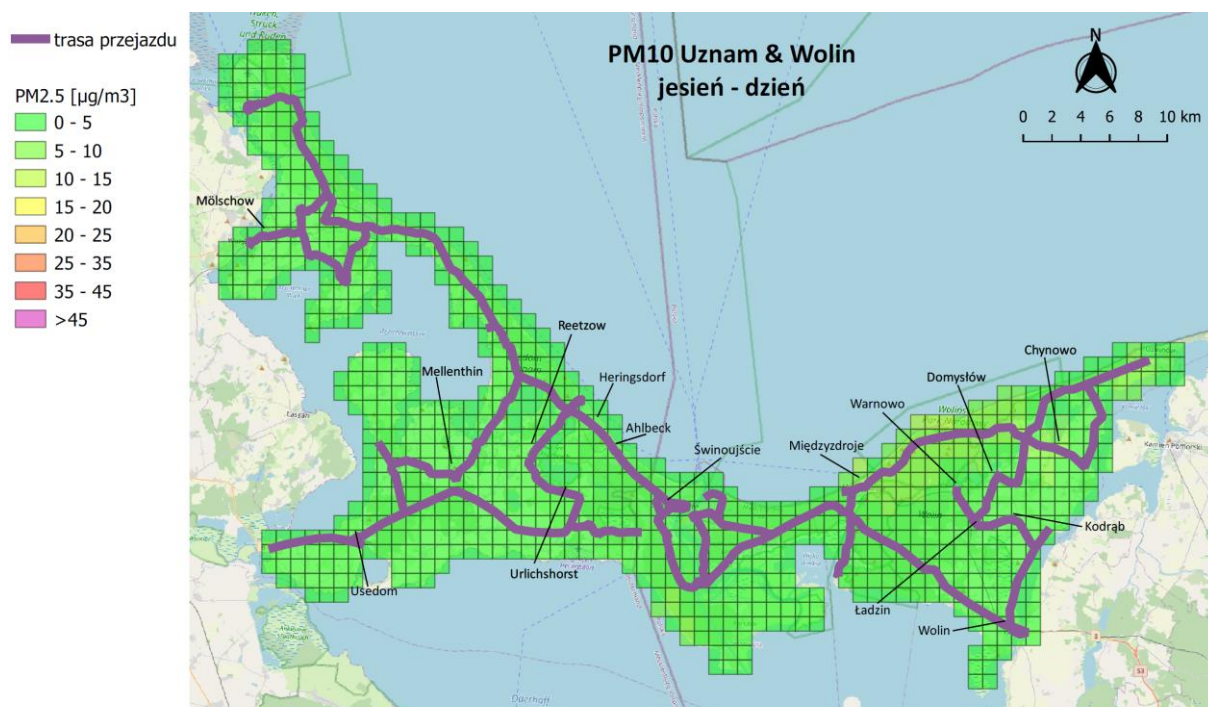
Rysunek 5.8. Wyspy Uznam i Wolin – rozkład stężenia pyłu zawieszonego PM10 – wiosna, dzień

Wyniki pomiarów chwilowych PM10 w okresie letnim (rys. 5.9) wskazują na ograniczoną emisję cząstek stałych na terenie całego analizowanego obszaru. Stężenie PM10 w ciągu wiosennego dnia kształtowało się w granicach od 0 do $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Lokalnie podwyższone wartości zarejestrowano w okolicach Lubinia i Chynowa (wyspa Wolin) – stężenie PM10 w granicach $15 - 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na wyspie Uznam lokalnie podwyższenie stężenia pyłu zawieszonego Pm10 zarejestrowano w okolicach Ückeritz – w przedziale od 15 do $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Rankwitz – Liepe w granicach $20 - 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ oraz najwyższe w okolicach Usedom w zakresie graniczącym z rekomendowaną przez WHO dobową wartością graniczną, tj. w przedziale $35 - 45 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Rysunek 5.9. Wyspy Uznam i Wolin – rozkład stężenia pyłu zawieszonego PM10 – lato, dzień

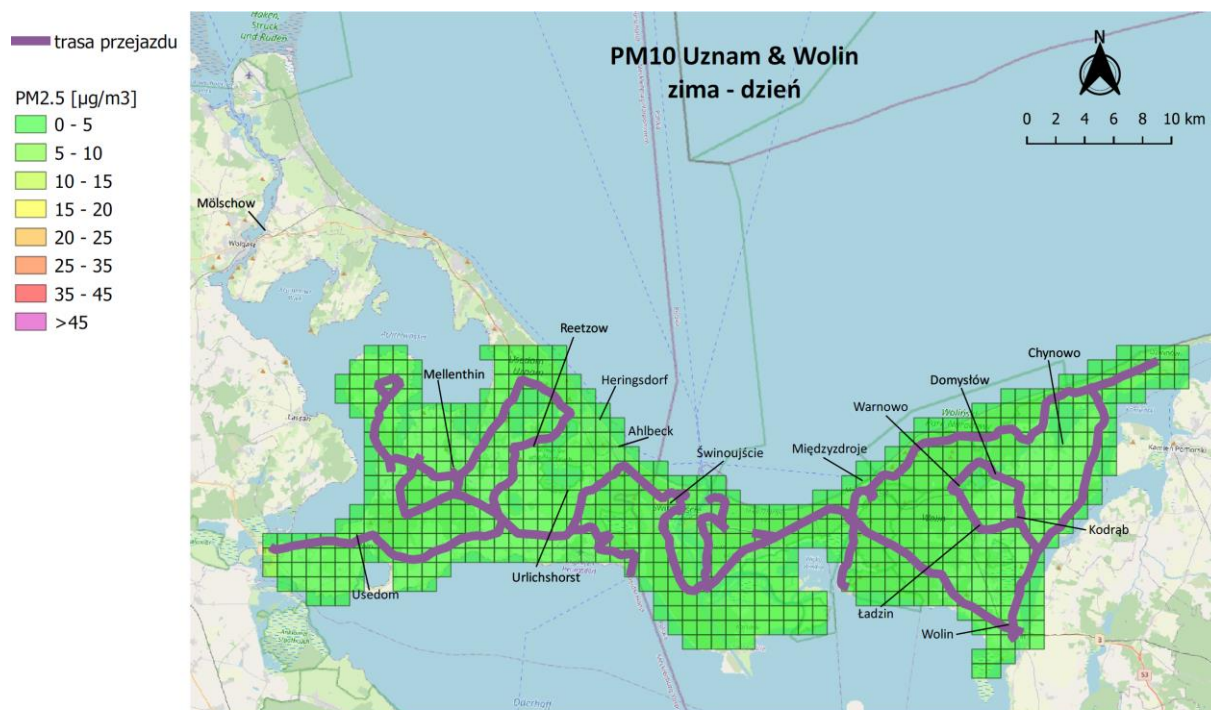
Obraz przestrzenny chwilowego stężenia pyłu zawieszonego PM10 w powietrzu w okresie letnim w dzień (rys. 5.10) wskazuje na dużą jednorodność stanu powietrza ocenianego w kontekście tego zanieczyszczenia. Stężenie chwilowe PM10 kształtowało się na całym obszarze w granicach od 0 do $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, z lokalnym podwyższeniem do $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ w pasie nadmorskim wyspy Wolin – teren Wolińskiego Parku, co można wiązać z mniejszym przewietrzaniem trasy (droga na tym odcinku zamknięta jest w większości koronami drzew) pokrywającej się z drogą łączącą miejscowości nadmorskie oraz natężeniem ruchu kołowego.



* przekroczone rekomendowane przez WHO maksymalne stężenie dobowe

Rysunek 5.10. Wyspy Uznam i Wolin – rozkład stężenia pyłu zawieszonego PM10 – jesień, dzień

Rozkład chwilowego stężenia pyłu zawieszonego PM10 w powietrzu w okresie zimowym w dzień (rys. 5.11) również wskazuje na dużą jednorodność stanu. Stężenie chwilowe PM10 kształtowało się na całym obszarze w granicach od 0 do 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

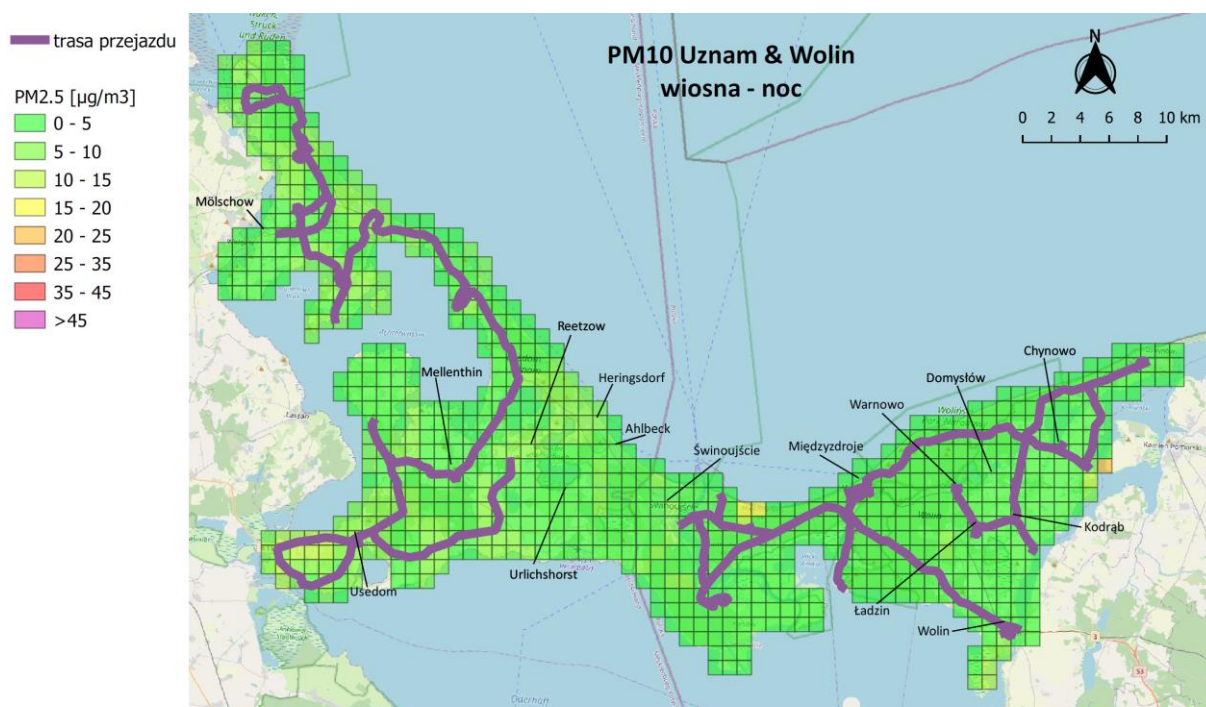


* przekroczone rekomendowane przez WHO maksymalne stężenie dobowe

Rysunek 5.11 Wyspy Uznam i Wolin – rozkład stężenia pyłu zawieszonego PM10 – zima, dzień

Na rysunkach 5.12 – 5.14 przedstawiono rozkład stężenia chwilowego pyłu zawieszonego PM₁₀ z pomiarów nocnych prowadzonych w różnych okresach roku. Przyjęto analogiczną skalę podziału stężenia jak na rysunkach 5.8 – 5.11.

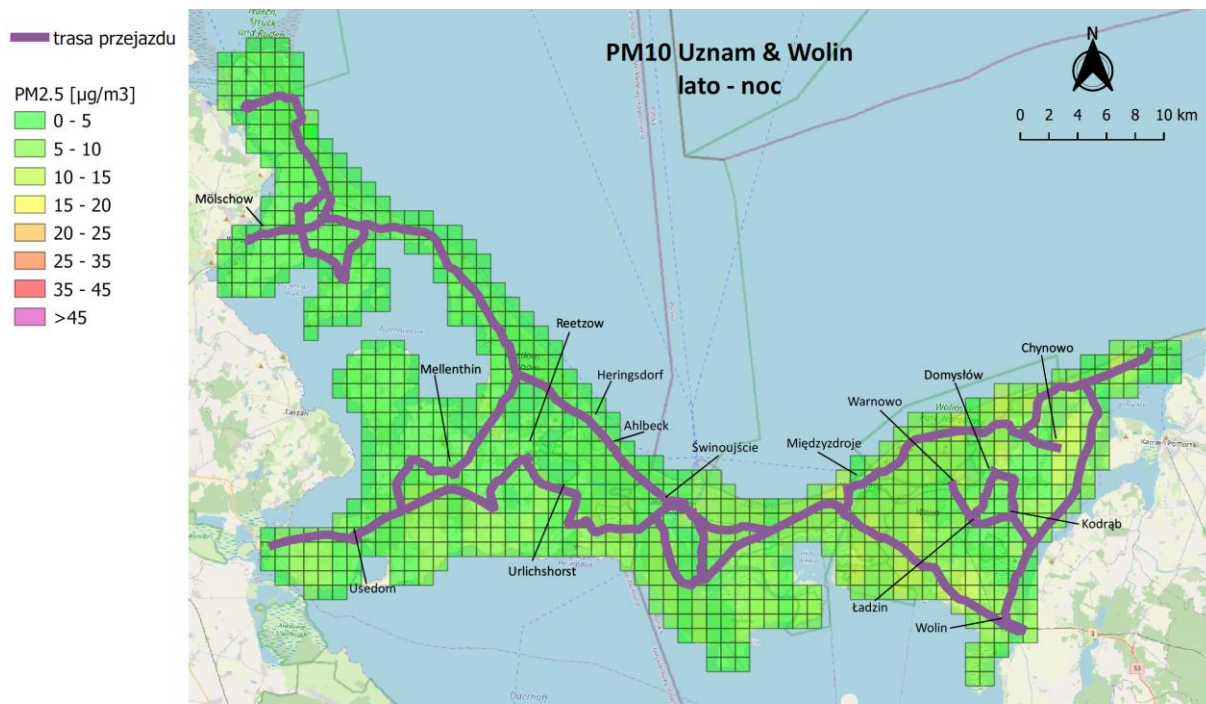
W odróżnieniu do okresu dziennego (rys. 5.1), pomiary nocne wykonane w okresie wiosennym na terenie wysp (rys. 5.5) dały niemal jednorodny obraz przestrzenny stężenia PM₁₀ w powietrzu na terenie obu wysp. Lokalne zwiększenie stężenia odnotowano w okolicy na wschód od Gazoportu oraz w okolicy Łunowa. Obie lokalizacje znajdują się na wyspie Wolin.



* przekroczone rekomendowane przez WHO maksymalne stężenie dobowe

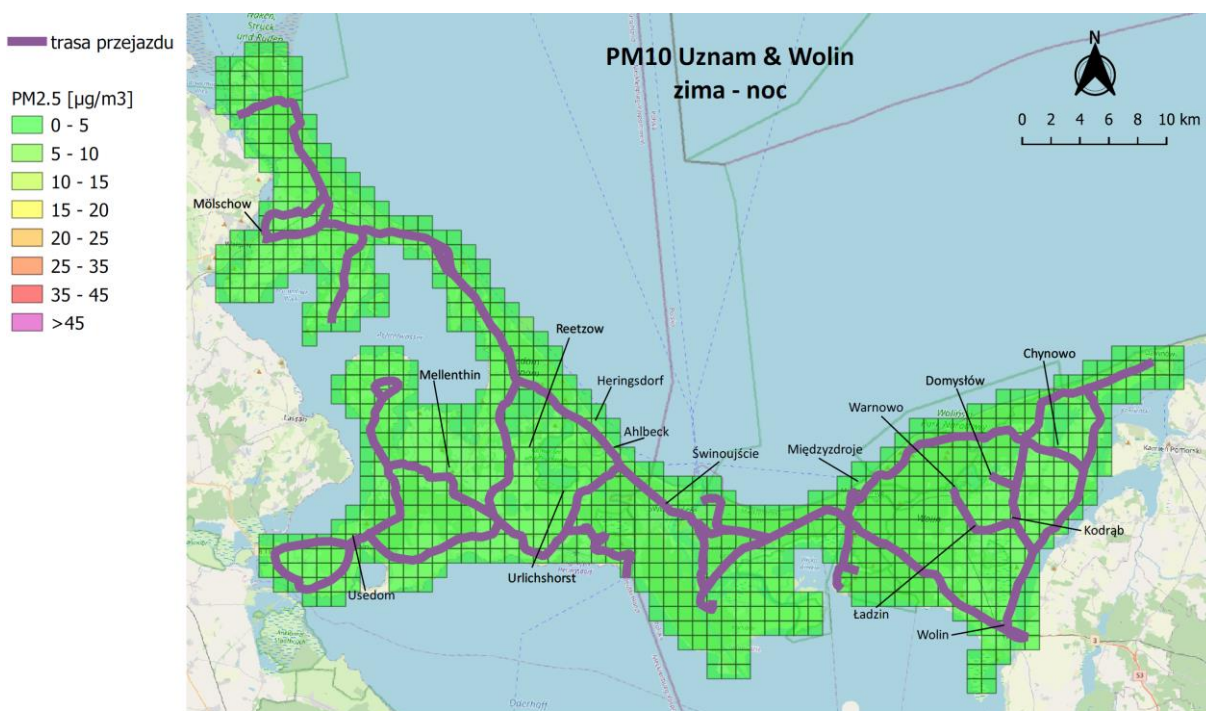
Rysunek 5.12 Wyspy Uznam i Wolin – rozkład stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ – wiosna, noc

Chwilowe stężenie zanieczyszczenia pyłem zawieszonym PM₁₀ w okresie letnim (rys. 5.13) i zimowym (rys. 5.14) na terenie obu wysp podobnie, jak w okresie wiosennym daje niemal równomierny obraz dla obu wysp. W okresie letnim stężenie PM₁₀ kształtowało się w granicach od 0 do 15 µg/m³, w okresie zimowym na niższym poziomie – do 10 µg/m³.



* przekroczone rekomendowane przez WHO maksymalne stężenie dobowe

Rysunek 5.13 Wyspy Uznam i Wolin – rozkład stężenia pyłu zawieszonego PM10 – lato, noc

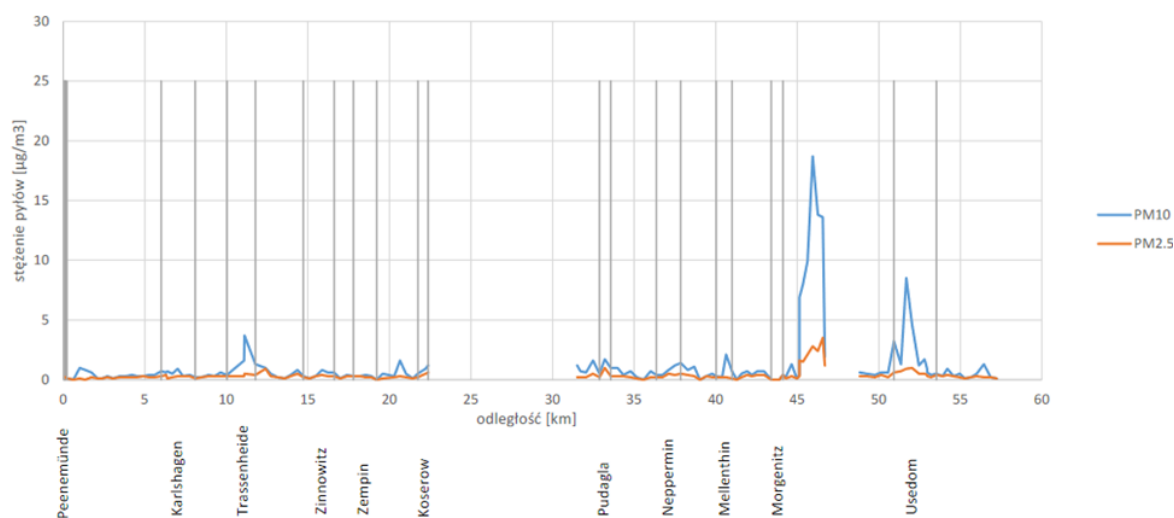


* przekroczone rekomendowane przez WHO maksymalne stężenie dobowe

Rysunek 5.14 Wyspy Uznam i Wolin – rozkład stężenia pyłu zawieszonego PM10 – zima, noc

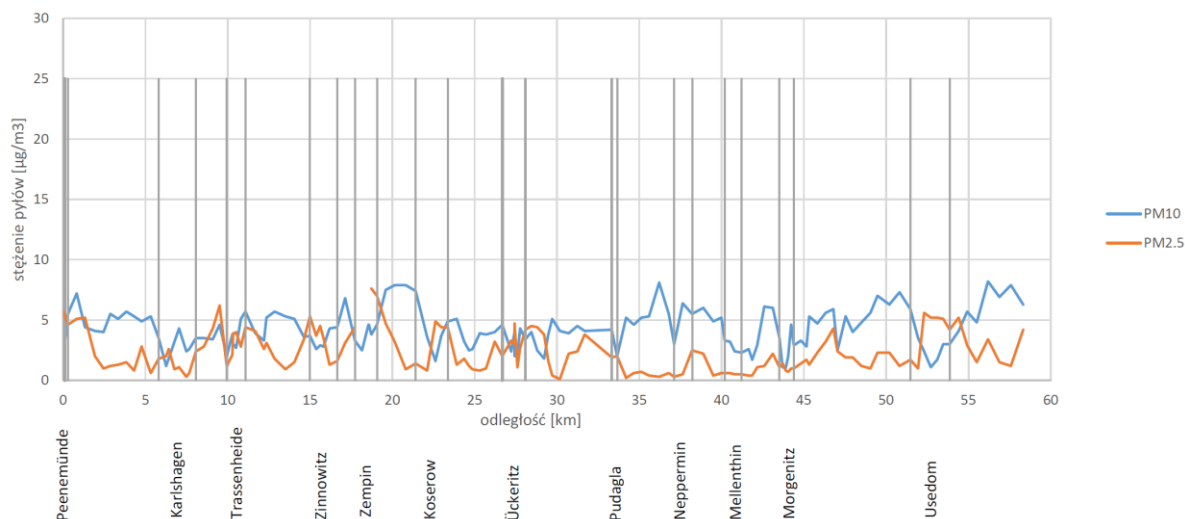
Na rysunkach 5.15 – 5.28 przedstawiono przebieg chwilowego stężenia pyłu zawieszonego w powietrzu PM_{2.5} oraz PM₁₀ rozwinięcie tras przejazdów w okresie dzień / noc w monitorowanych sezonach. Wybrane trasy objęły:

- na wyspie Uznam: Peenemünde – Karlshagen – Trassenheide – Zinnowitz – Zemplin – Koserow – Pudagla – Neppermin – Mellenthin – Morgenitz – Usezom,
- na wyspie Wolin: Świniujście – Międzyzdroje – Wiselkę – Kołczewo – Międzywodzie – Dziwnów.

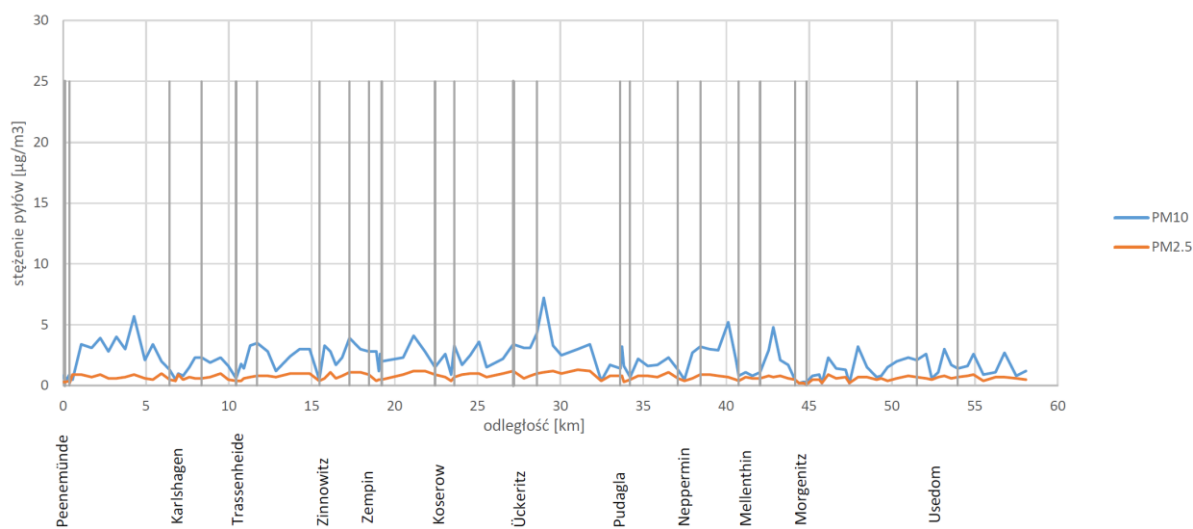


Rysunek 5.15 Wyspa Uznam – stężenie cząstek stałych (pyłu zawieszonego) na trasie Peenemünde – Usezom, wiosna – pomiar dzienny (2021 r.)

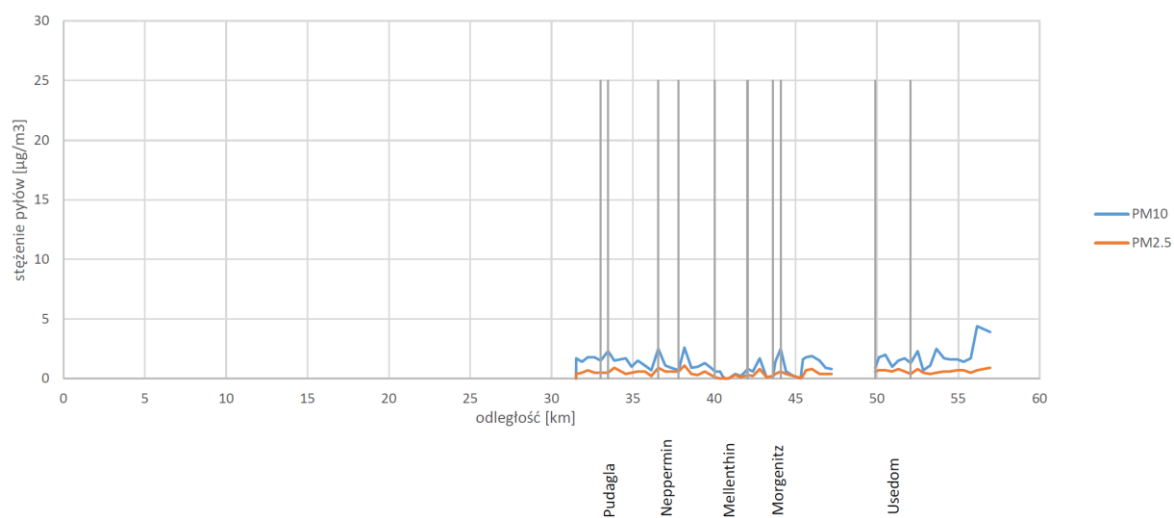
Stężenie pyłów PM₁₀ i PM_{2.5} na trasie: Peenemünde - Usezom
lato - dzień



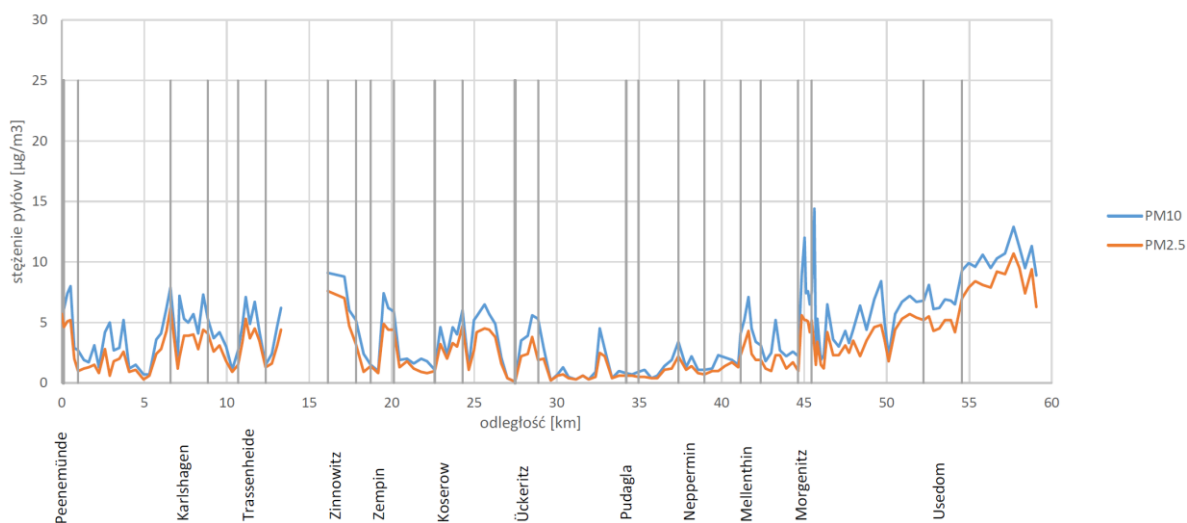
Rysunek 5.16 Wyspa Uznam – stężenie cząstek stałych (pyłu zawieszonego) na trasie Peenemünde – Usezom, lato – pomiar dzienny (2021 r.)



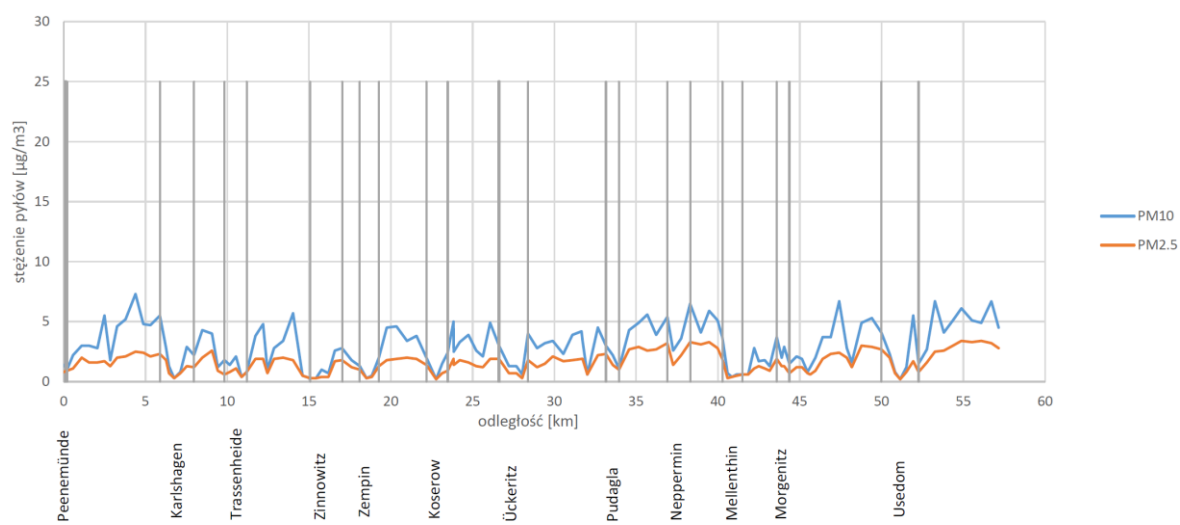
Rysunek 5.17 Wyspa Uznam – stężenie cząstek stałych (pyłu zawieszonego) na trasie Peenemünde – Usedom, jesień – pomiar dzienny (2021 r.)



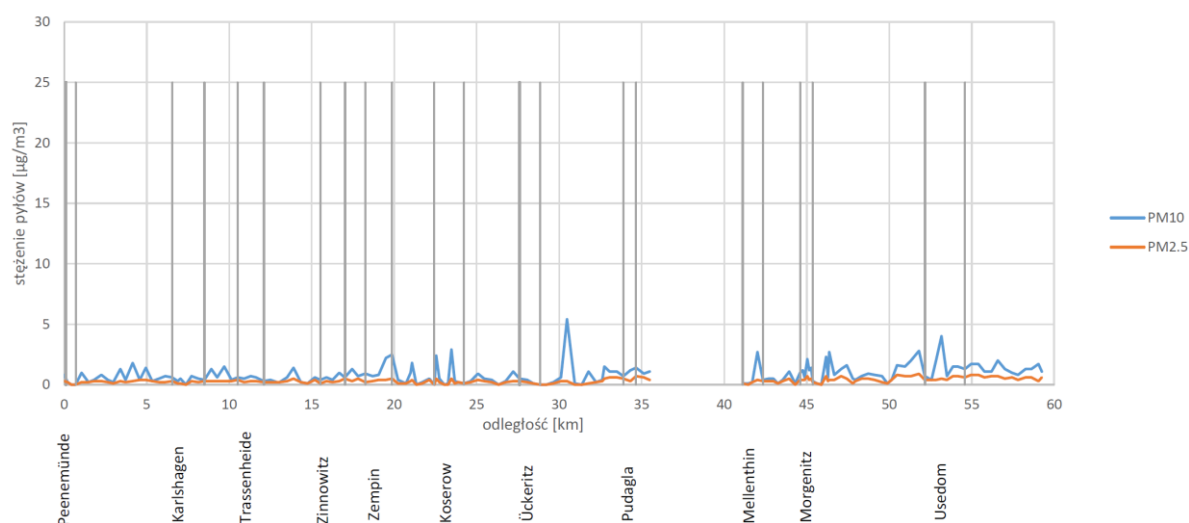
Rysunek 5.18 Wyspa Uznam – stężenie cząstek stałych (pyłu zawieszonego) na trasie Peenemünde – Usedom, zima – pomiar dzienny (2022 r.)



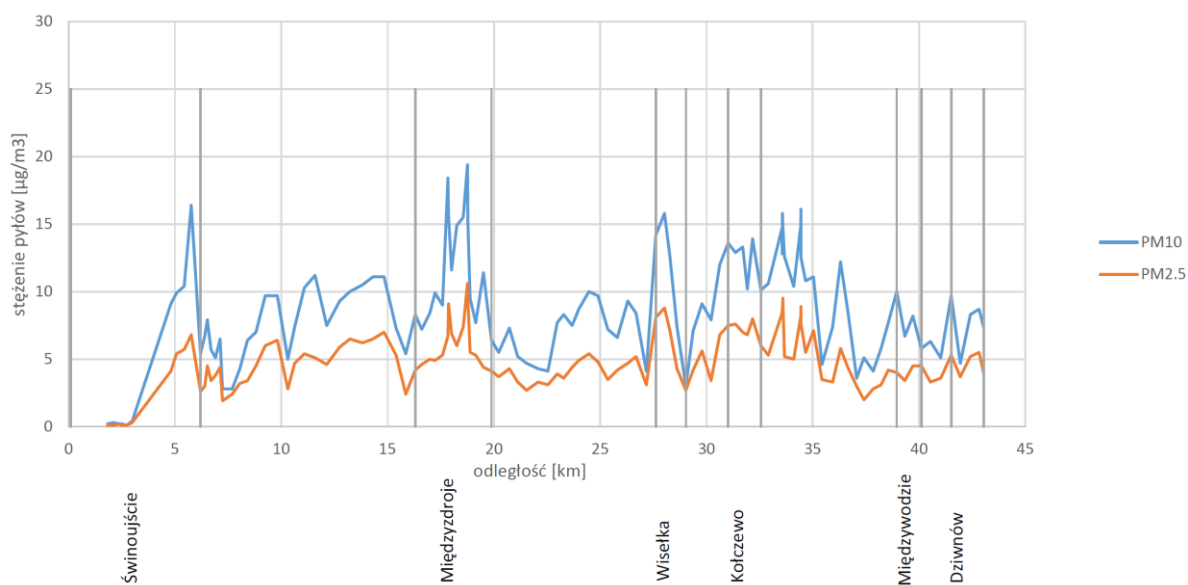
Rysunek 5.19 Wyspa Uznam – stężenie cząstek stałych (pyłu zawieszonego) na trasie Peenemünde – Usedom, wiosna – pomiar nocny (2021 r.)



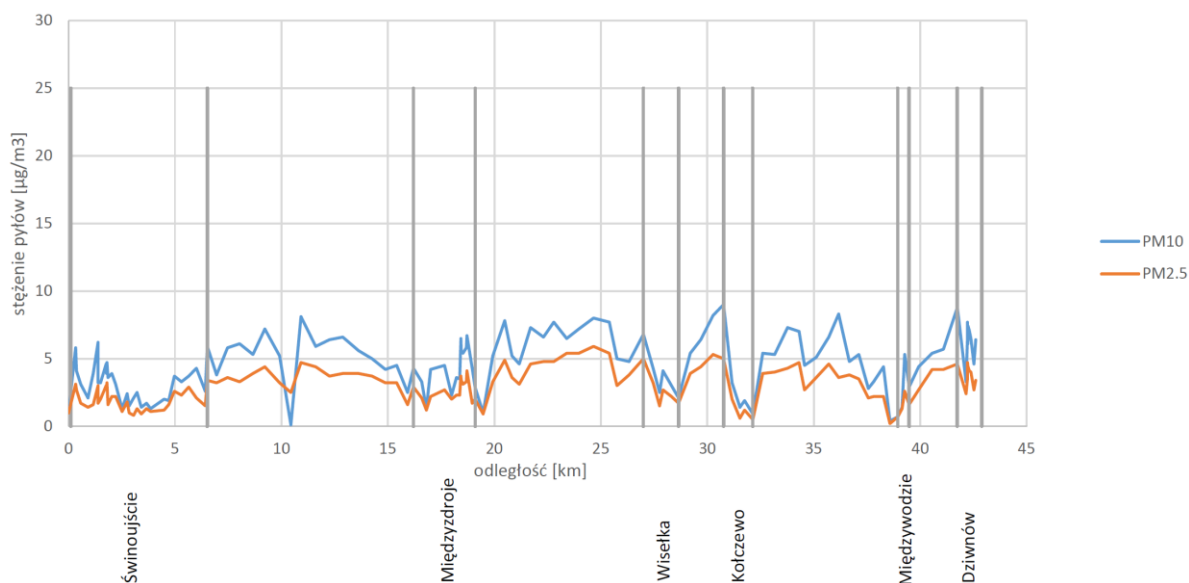
Rysunek 5.20 Wyspa Uznam – stężenie cząstek stałych (pyłu zawieszonego) na trasie Peenemünde – Usedom, lato – pomiar nocny (2021 r.)



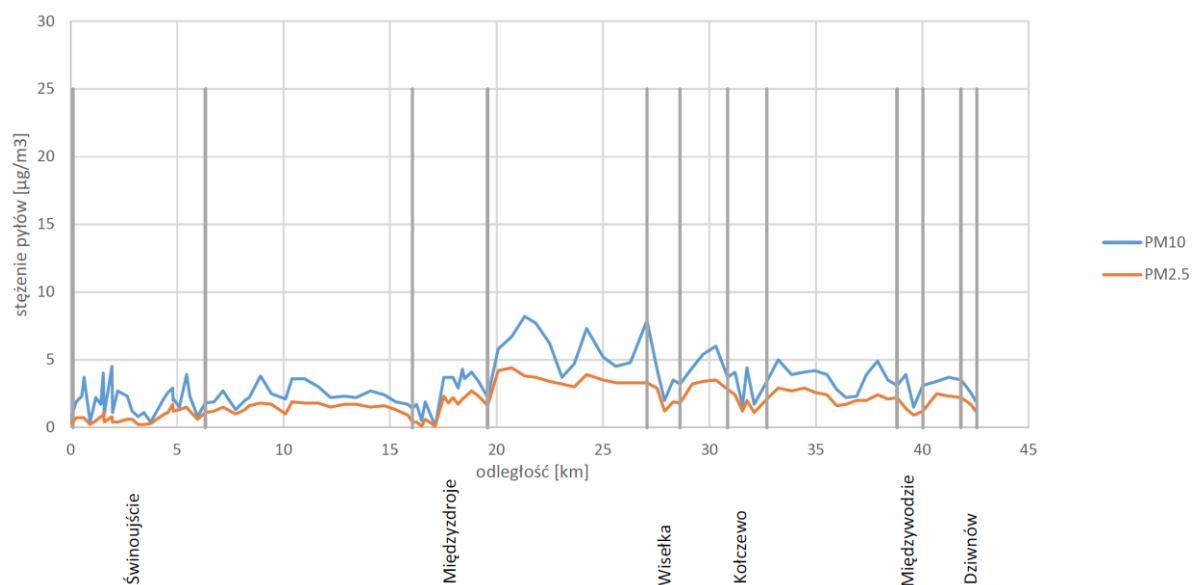
Rysunek 5.21 Wyspa Uznam – stężenie cząstek stałych (pyłu zawieszonego) na trasie Peenemünde – Usedom, zima – pomiar nocny (2022 r.)



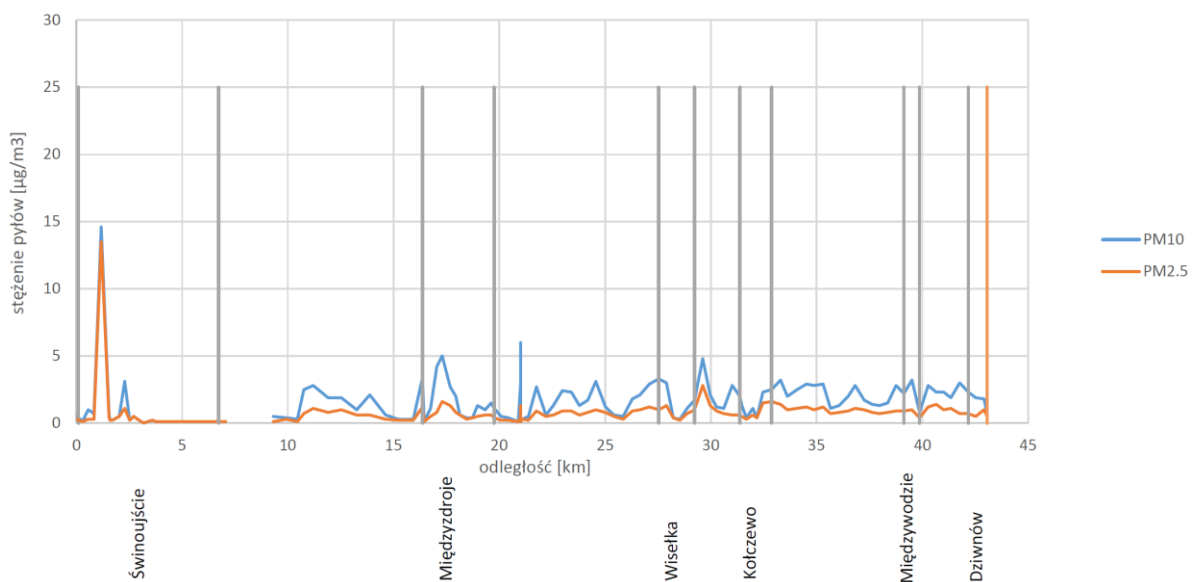
Rysunek 5.22. Wyspa Wolin – stężenie cząstek stałych (pyłu zawieszonego) na trasie Świnoujście – Dziwnów, wiosna – pomiar dzienny (2021 r.)



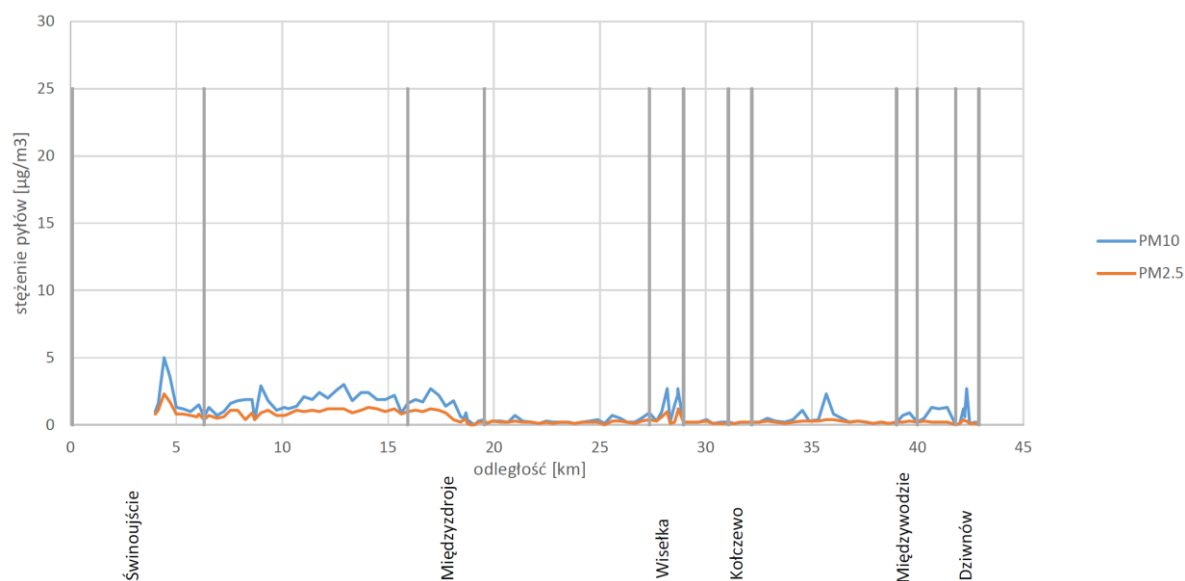
Rysunek 5.23. Wyspa Wolin – stężenie cząstek stałych (pyłu zawieszonego) na trasie Świnoujście – Dziwnów, lato – pomiar dzienny (2021 r.)



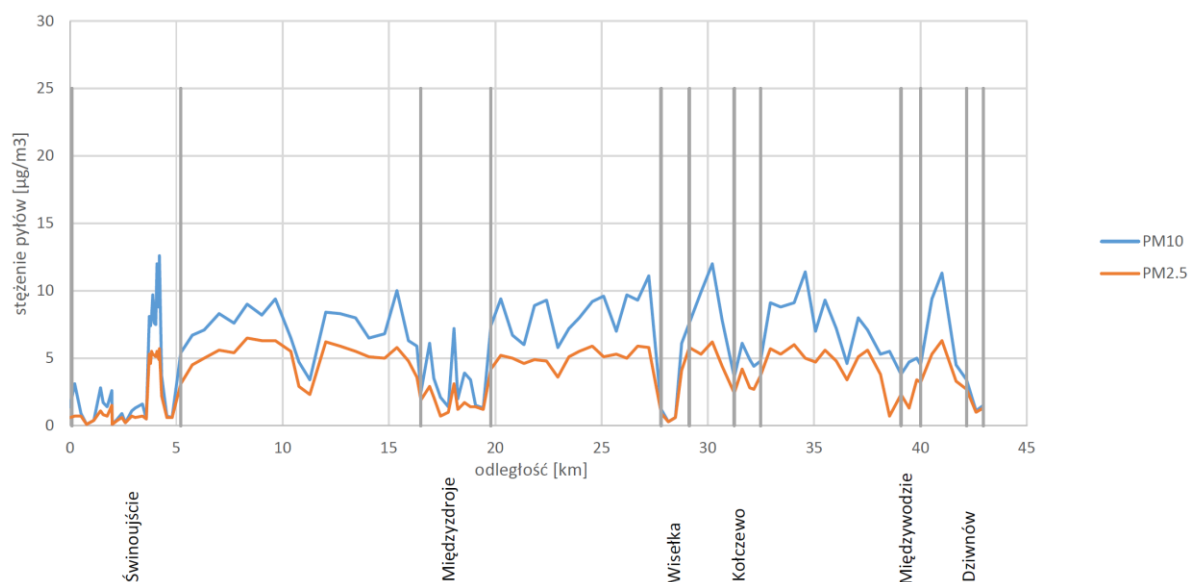
Rysunek 5.24. Wyspa Wolin – stężenie cząstek stałych (pyłu zawieszonego) na trasie Świnoujście – Dziwnów, jesień – pomiar dzienny (2021 r.)



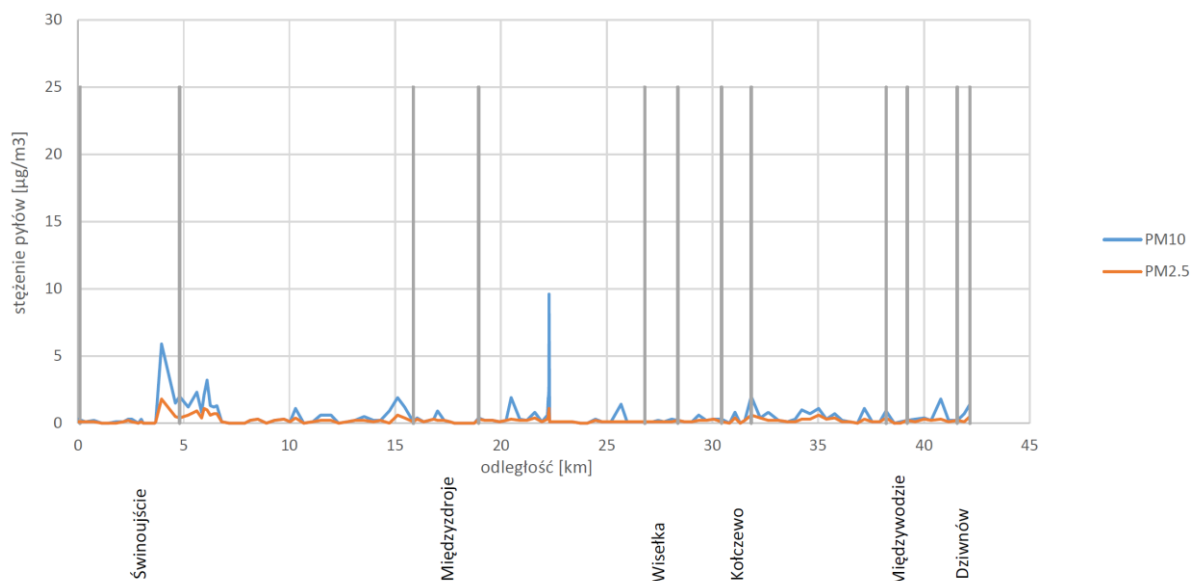
Rysunek 5.25. Wyspa Wolin – stężenie cząstek stałych (pyłu zawieszonego) na trasie Świnoujście – Dziwnów, zima – pomiar dzienny (2022 r.)



Rysunek 5.26. Wyspa Wolin – stężenie cząstek stałych (pyłu zawieszonego) na trasie Świnoujście – Dziwnów, wiosna – pomiar nocny (2021 r.)



Rysunek 5.27. Wyspa Wolin – stężenie cząstek stałych (pyłu zawieszonego) na trasie Świnoujście – Dziwnów, lato – pomiar nocny (2021 r.)



Rysunek 5.28. Wyspa Wolin – stężenie cząstek stałych (pyłu zawieszonego) na trasie Świnoujście – Dziwnów, zima – pomiar nocny (2022 r.)

6. Podsumowanie

O obszarach zurbanizowanych wpływ temperatury powietrza na wielkość emisji zanieczyszczeń pyłowych ma podłoże socjalno-bytowe oraz gospodarcze. Wraz ze spadkiem temperatury zwiększa się emisja pyłów do atmosfery w procesie ogrzewania mieszkań i zwiększania się energochłonności procesów przemysłowych. Drugi obszar oddziaływania temperatury powietrza związany jest z kształtowaniem się warunków równowagi termiczno-dynamicznej w warstwach atmosfery. W przypadku pogody niżowej emisje antropogeniczne są mniejsze niż podczas pogody wyżowej. Wzrasta jednak wpływ wtórnego, naturalnego i pochodzenia antropogenicznego, pylenia powierzchni podłoża.

Wyspy Uznam i Wolin pozostają pod wpływem klimatycznym Bałtyku i Zalweu Szczecińskiego. Jest to obszar o dużym usłonecznieniu, stosunkowo ciepły, o mniejszej niż w regionach sąsiednich, rocznej sumie opadów, charakteryzujący się występowaniem intensywnych wiatrów. Charakterystyka ta wpływa na kształtowanie jakości powietrza na przedmiotowym terenie.

Przeprowadzone w latach 2021/ 2022 rozpoznanie stanu jakości powietrza dało wstępny obraz charakterystyki zanieczyszczeń powietrza na obszarze MoRE, na które składają się źródła punktowe, powierzchniowe i liniowe. Analiza pomierzonych stężeń chwilowych pozwoliła na

zobrazowanie zmienności czaso-przestrzennej rozkładu badanych gazów cieplarnianych – dwutlenku węgla oraz metanu, jak również pyłu zawieszonego w powietrzu PM_{2.5} i PM₁₀.

Pomierzone chwilowe wielkości stężeń ze źródeł zarówno antropogenicznych, jak i naturalnych, w szczególności wielkości bliskie lub przekraczające rekomendowane przez WHO dobowe wartości graniczne, wskazują na konieczność wprowadzenia systemu monitoringu jakości powietrza na obszarze MoRE i dalszego, usystematyzowanego badania stanu powietrza na wyspach Uznam i Wolin.