

Raport z postępu realizacji projektu

Akronim	AQUILO
Tytuł Projektu	Opracowanie metody doboru typu konstrukcji wsporczej morskiej turbiny wiatrowej w polskich obszarach morskich
Numer Projektu	PBS1/A6/8/2012
ID Projektu	179336
Data wydania dokumentu	2015-06-30
Typ dokumentu	<i>Analizy wymaganych technik instalacji dla różnych typów konstrukcji in ich wpływ na aspekty geoekologiczne i ochrony środowiska</i> Przenoszenie zawiesziny w obszarze potencjalnego posadowienia konstrukcji wsporczych morskiej turbiny wiatrowej w rejonie Bałtyku Południowym W_Raport 4.5_AQUILO_IO PAN_ 2015
Status	Opracowanie

Przenoszenie zawiesiny w obszarze potencjalnego posadowienia konstrukcji wsporczych morskiej turbiny wiatrowej w rejonie Bałtyku Południowym w oparciu o model hydrodynamiczny

Lidia Dzierzbicka-Głowacka, Jacek Beldowski, Mariusz Figiela, Marta Szubska i Alicja Kosakowska

SPIS TREŚCI

1. <u>Wstęp</u>	3
2. <u>Materiały i Metody</u>	5
3. <u>Wyniki</u>	8
3.1 <u>Czas zaniku tracza asywnego</u>	8
3.2 <u>Spadek koncentracji tracza pasywnego</u>	12
3.3 <u>Zasięg dystrybucji tracza pasywnego</u>	15
3.4 <u>Dystrybucja tracza pasywnego</u>	18
3.5 <u>Czas zaniku tracza asywnego..</u>	48
4. <u>Podsumowanie</u>	57
5. <u>Literatura</u>	59

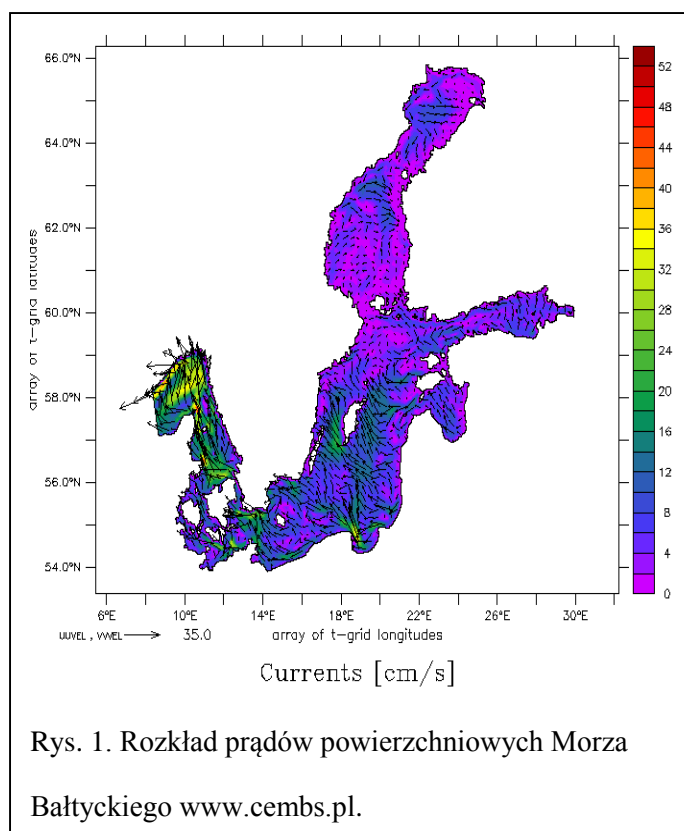
1. WSTĘP

Bałtyk jest wewnątrzkontynentalnym, szelfowym morzem wchodzącym w skład oceanu Atlantyckiego. Jego położenie zlokalizowane jest w północnej Europie. Akwen ten jest morzem stosunkowo płytkim o średniej głębokości 52,3 m, przy czym w najgłębszym punkcie osiąga 459 m. Specyficzna cyrkulacja Morza Bałtyckiego jest ściśle związana ze stratyfikacją zasoleniową akwenu. Lokalnie występujące tam prądy morskie można podzielić na powierzchniowe prądy wody słodkiej, płynące z wschodu na zachód oraz głębinowe prądy transportujące wodę słoną z Morza Północnego (Ehlin 1981).

Cyrkulacja wody powierzchniowej w przypadku każdego basenu (Bałtyk centralny, Morze Botnickie i Zatoka Botnicka) przyjmuje postać wyodrębnionych komórek cyrkulacyjnych. Przemieszczanie się wody następuje w nich wraz z kierunkiem przeciwnym do ruchu wskazówek zegara, co w efekcie końcowym wywiera również wpływ na procesy sedymentacji osadów, osadzania się materiałów zawieszonych w toni wodnej oraz zanieczyszczeń (Håkanson 1991). Ruch wody powierzchniowej powstaje w wyniku rotacji ziemi, której efektem jest siła Coriolisa. Zjawisko to odchyła kierunek płynięcia wody na półkuli północnej w prawo.

Ruch wody począwszy od cieśnin Duńskich odbywa się w kierunku północnym wzdłuż południowego i zachodniego wybrzeża. W Zatoce Botnickiej jej transport zwraca się w kierunku południowym wzdłuż Szwedzkiego wybrzeża (Masłowski i Walczowski 2002). W poszczególnych komórkach prądy powierzchniowe tworzą wiry zewnętrzne, które osłabiają się w kierunku środka każdego basenu (Rys. 1).

Prądy morskie występujące w Morzu Bałtyckim są raczej stałe jednak w poszczególnych sezonach w



roku mogą one lokalnie płynąć w wielu różnych kierunkach (Håkanson 1991).

Kierunki wektorów prędkości wody w Morzu Bałtyckim w ciągu całego roku są do siebie zbliżone, jednak ich wartości są bardzo zmienne. Największe różnice występują u wschodnich wybrzeży Bałtyku gdzie następuje ich wyhamowanie i zmiana kierunku (Osiński 2007). Najsilniejsze wartości prądów występują w okresie zimowym natomiast najsłabsze w okresie letnim (Tab. 1) Najsilniejsze prądy występują w warstwie powierzchniowej natomiast ich prędkość spada wraz ze wzrostem głębokości.

Tabela 1. Sezonowe i roczne wartości prędkości prądów [cm/s] w warstwie dolnej (Osiński 2007).

Okres	Wartość minimalna	Wartość maksymalna	Średnia
Grudzień-luty	0	12,1	2,0
Marzec-maj	0	11,4	1,5
Czerwiec-sierpień	0	11,6	1,1
Wrzesień-listopad	0	6,2	1,1
Rok	0	8,2	1,5

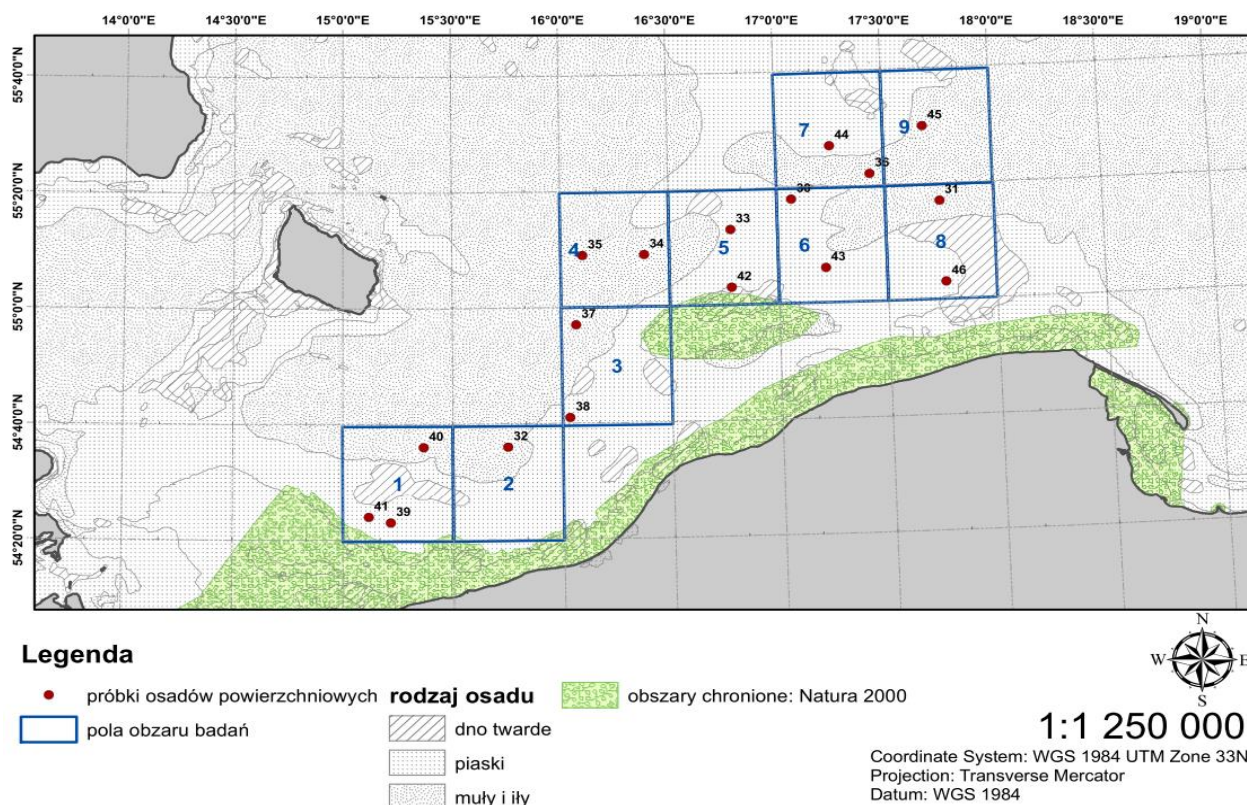
Prądy przydenne w obszarze Bałtyku Właściwego są przeciwnego kierunku niż wiejący wiatr, a północne i wschodnie wiatry są najbardziej efektywne dla transportu wód między Basenem Bornholmskim a Gotlandzkim (Krauss and Brugge 1991). Przepływy przydenne na obszarze rynny Słupskiej również jest skierowany w kierunku przeciwnym niż kierunek wiatru (Osiński 2007).

Projekt AQUILO na potrzeby, którego został sporządzony niniejszy raport ma na celu stworzenie bazy wiedzy dzięki której potencjalny inwestor będzie mógł podjąć decyzję dotyczącą najlepszego typu konstrukcji wsporczej farmy wiatrowej. Przy procesie ustawiania turbiny wiatrowej, wstrząśnięta zostaje warstwa osadów dennych. Ze względu na oddziaływanie prądów morskich będą one transportowane w różnych kierunkach i na różne odległości. Informacje tego typu są ważne przy tworzeniu ekspertyz środowiskowych. Transportowany

osad może zagrażać faunie i florze związanej z obszarami przydennymi jak i również może dojść do ogólnego zanieczyszczenia wody.

2. Materiały i Metody

W celu określenia transportu osadów opracowano model rozchodzenia się tracera pasywnego w toni wodnej. Obliczenia zostały wykonane dla siedemnastu stacji zlokalizowanych w południowej części Morza Bałtyckiego. Próbkę osadów pobierano podczas rejsu w maju r/y OCEANIA w 2013 roku (Rys. 2, Tab. 2).



Rys.2. Punkty poboru osadów powierzchniowych.

Tabela 3. Stężenia badanych metali w osadach dennych, w porównaniu do norm prawnych i wartości tła geochemicznego wg. OSPAR.

Pierwiastek [µg/g]	Tło geochemiczne	Wartość dopuszczalna
	(Uścಿನowicz 2011)	(Dz.U. 2002 nr 55 poz. 498)
Pb	32-56	200
Hg	0,02-0,08	1
As	5-20	30
Cd	0.5-1	7.5
Cr	52-80	200
Co	5	7*
Cu	26-45	150
Zn	5-50	1000
Mn	290-1000	
Ni	1-50	75
Fe	1900 - 3500	6300

Obliczenia numeryczne wykonywano na zmodyfikowanej wersji modelu 3DCEMBS (Dzierzbicka-Głowacka et al. 2013). Modyfikacja dotyczyła modułu hydrodynamicznego opartego na kodzie POP2 (szczegółowy opis modelu znajduje się w sprawozdaniu Pana dr Jaromira Jakackiego).

Dla poniższych obliczeń numerycznych jako wartość progową stężeń przyjęto poziom 1 µg/g. Analizy geochemiczne składu osadów dla poszczególnych stacji pozwoliły na ustalić, że ilość pierwiastków takich jak, kadm (Cd), ołów (Pb), arsen (As) i rtęć (Hg) przy koncentracji 1 µg/g nie będzie groźna dla środowiska ponieważ ich dopuszczalne wartości w środowisku naturalnym są znacznie wyższe (Tab. 3).

Analizy dotyczące transportu tracera pasywnego zostały przygotowane dla frakcji osadu o wielkości 47 μm . Przyjmując dla obliczeń tę wartość odnotowywano najdłuższy czas opadania cząsteczek wyniesionych do wyższych warstw kolumny wody w procesie ustawiania turbiny wiatrowej. Ten rodzaj frakcji nie został odnotowany podczas analiz granulometrycznych dla stacji 39, 41 i 42 dlatego w dalszych obliczeniach stacje te zostały pominięte.

Opracowanie wyników wykonano w oprogramowaniu Matlab R2014a natomiast edycja i przygotowanie rysunków nastąpiła w oprogramowaniu Excel 2010 oraz Inkscape.

Całkowita początkowa ilość tracera pasywnego została wyliczona dzięki danym pochodzącym z analiz granulometrycznych przeprowadzonych dla każdego punktu (Tab.4). W przypadku każdego miesiąca w chwili startowej była ona taka sama, różnice występowały tylko pomiędzy stacjami.

Tabela 4. Suma tracera pasywnego w chwili startowej (suma koncentracji tracera pasywnego zawartej we wszystkich komórkach modelu podana w $\mu\text{g/g}$).

stacja	30	31	32	33	34	35	36
suma tracera	60,21	12,30	46,08	21,26	34,65	38,81	58,12
stacja	37	38	40	43	44	45	46
suma tracera	88,25	11,08	78,28	2,83	3,08	41,73	4,43

Różnice były jedynie zauważalne w przypadku maksymalnej koncentracji początkowej (Tab. 5). W przypadku symulacji z listopada dla stacji 44 i października dla stacji 46 najwyższa koncentracja początkowa osiągnęła wartość niższą niż 1 $\mu\text{g/g}$. Ponieważ za wartość progową przyjęto granicę 1 $\mu\text{g/g}$ całkowity czas opadania wynosi w tym wypadku zero godzin.

Tabela 5. Maksymalna koncentracja tracera pasywnego ($\mu\text{g/g.}$) w chwili startu symulacji.

	STY	LUT	MAR	KWI	MAJ	CZE	LIP	SIE	WRZ	PAŹ	LIS	GRU
30	25,32	25,37	23,72	25,57	24,21	24,50	24,18	24,01	25,45	24,23	24,29	23,30
31	4,83	4,98	5,04	4,56	4,95	4,96	4,97	5,00	4,87	5,00	5,02	4,75
32	27,84	28,45	28,07	28,58	27,80	28,42	28,30	28,43	28,06	28,72	28,74	27,72
33	13,19	11,29	12,86	12,31	8,34	12,70	12,95	9,34	12,20	13,54	11,05	9,40
34	8,85	8,97	9,04	9,16	8,80	8,81	8,97	8,78	8,86	8,87	8,74	8,74
35	23,47	23,67	23,80	23,74	23,57	23,86	23,65	23,87	23,58	23,98	24,06	23,47
36	23,99	23,62	23,28	24,39	23,36	23,33	23,57	23,26	23,77	23,53	23,43	24,17
37	21,75	21,91	22,03	22,21	21,73	22,16	22,09	22,12	21,81	22,24	22,25	21,44
38	6,61	6,82	6,72	6,73	6,61	6,67	6,68	6,68	6,64	6,64	6,75	6,52
40	30,51	30,73	31,93	31,33	31,06	31,42	31,18	31,13	30,97	31,56	31,73	30,32
43	1,75	1,75	1,74	1,62	1,70	1,74	1,74	1,75	1,71	1,75	1,76	1,67
44	1,24	1,57	1,31	1,29	1,16	1,26	1,26	1,25	1,28	1,26	<1	1,29
45	24,28	23,04	23,42	24,46	25,30	25,54	25,47	25,47	25,39	25,36	25,42	25,56
46	1,18	1,23	1,23	1,23	1,19	1,18	1,17	1,18	1,18	<1	1,17	1,11

3. WYNIKI

3.1. Czas zaniku tracera pasywnego

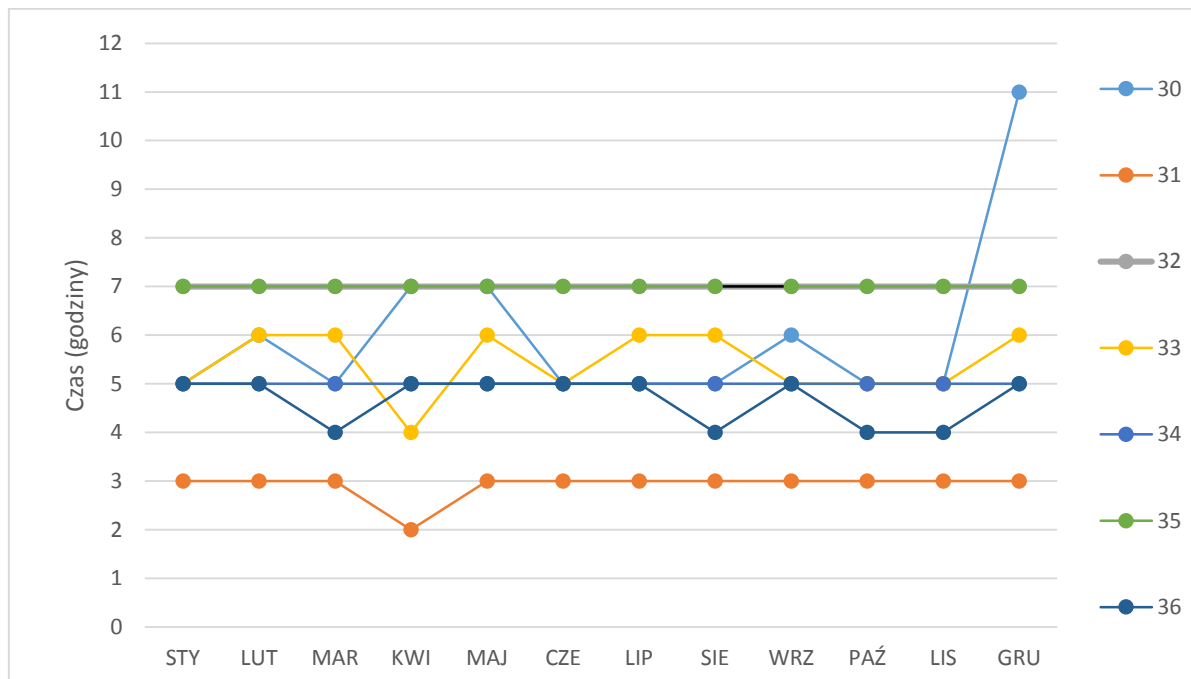
Czas zaniku pokazuje w jakim czasie w różnych warunkach hydrodynamicznych koncentracja tracera pasywnego na skutek jego rozprzestrzeniania i opadania osiąga wartość progową $1 \mu\text{g/g.}$ Jak pokazuje Tabela 4 na skutek zachodzących procesów hydrodynamicznych w badanym okresie roku 2012, uwzględnionych przez model początkowa koncentracja tracera pasywnego (Tab. 5) mogła się zmieniać co również miało wpływ na czas zaniku (Tab. 6). Na poszczególnych stacjach czas osiągnięcia wartości progowych wyglądał następująco:

Tabela 6. Czas zaniku tracera pasywnego na poszczególnych stacjach.

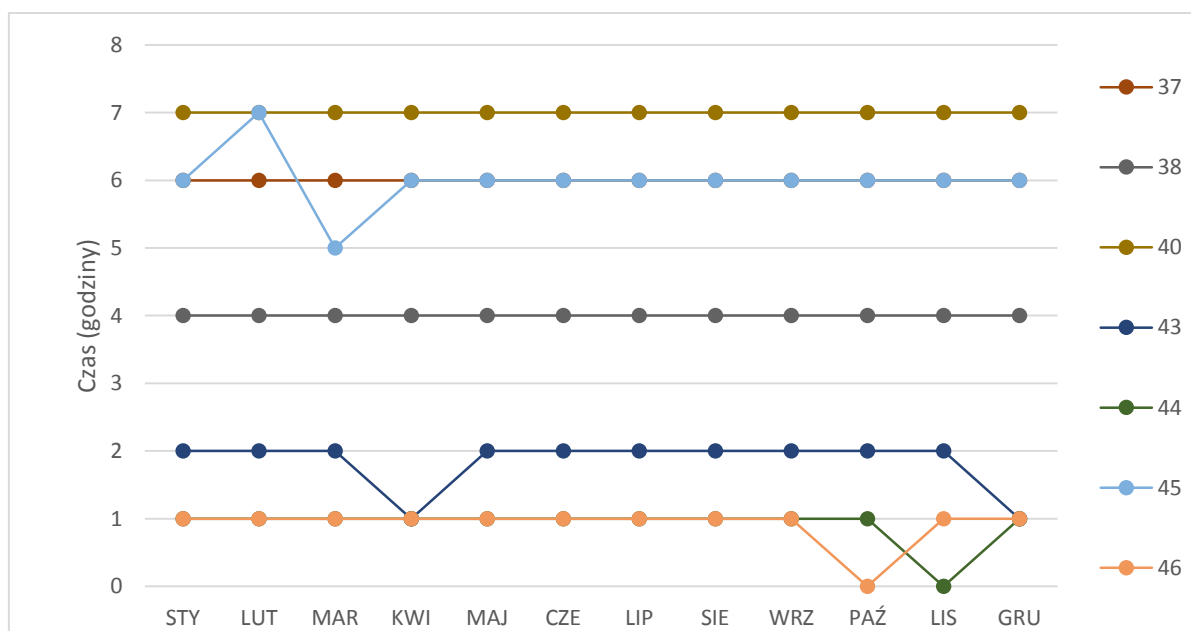
	STY	LUT	MAR	KWI	MAJ	CZE	LIP	SIE	WRZ	PAŹ	LIS	GRU
30	5	6	5	7	7	5	5	5	6	5	5	11
31	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
32	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
33	5	6	6	4	6	5	6	6	5	5	5	6
34	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
35	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
36	5	5	4	5	5	5	5	4	5	4	4	5
37	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
38	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
40	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
43	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1
44	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
45	6	7	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6
46	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1

Analizując uzyskane wyniki można zauważyć, że średni czas opadania cząsteczek osadu wyniósł około pięć godzin (Tab. 6). Maksymalna długość tego procesu nie przekraczała siedmiu godzin wyjątkiem była stacja numer 30 gdzie w grudniu osiągnięcie wartości progowej trwało jedenaście godzin (Rys. 3). Na stacjach 35 i 40 we wszystkich dwunastu miesiącach czas osiągnięcia wartości progowej wyniósł siedem godzin (Rys. 3., Rys.4.) W obydwóch przypadkach odnotowano wysoką koncentrację maksymalną tracersa pasywnego. Wysokie wartości w koncentracji tracersa pasywnego odnotowano także na stacjach 30, 36 i 37 (Tab. 4), również w tych przypadkach odnotowano długi czas opadania cząsteczek osadu (Rys.3, Rys. 4). Najkrótszy czas osiągnięcia wartości progowej wystąpił w przypadku stacji numer 44 i 46 w większości przypadków trwał on jedną godzinę (Rys. 4.) Należy zwrócić uwagę, że początkowa koncentracja tracersa pasywnego na obydwóch stacjach była najniższa ze w wszystkich analizowanych punktów (Tab. 4.) i wyniosła poniżej 1 µg/g w listopadzie i

październiku odpowiednio na stacjach numer 44 i 46. W tych przypadkach całkowity czas zaniku wynosił zero godzin.

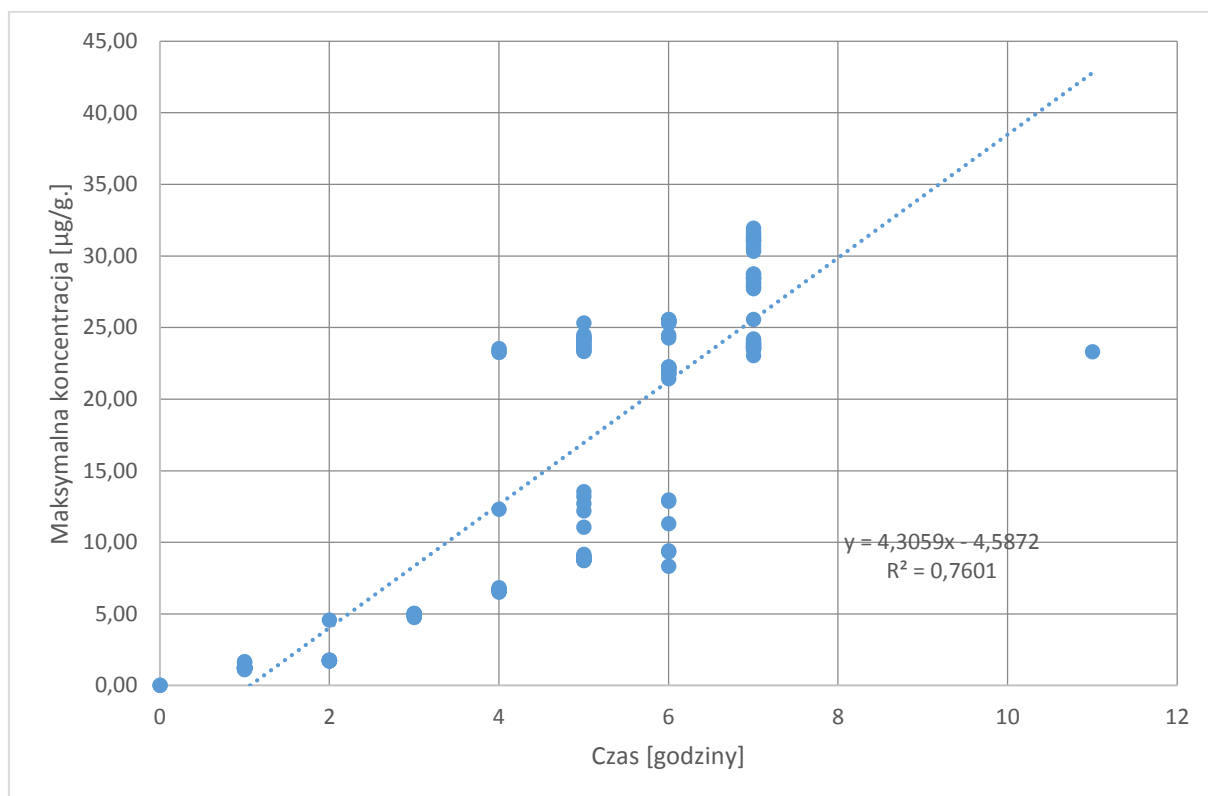


Rys. 3. Czas zaniku tracersa pasywnego na stacjach 30, 31, 32, 33, 34, 35 i 36.

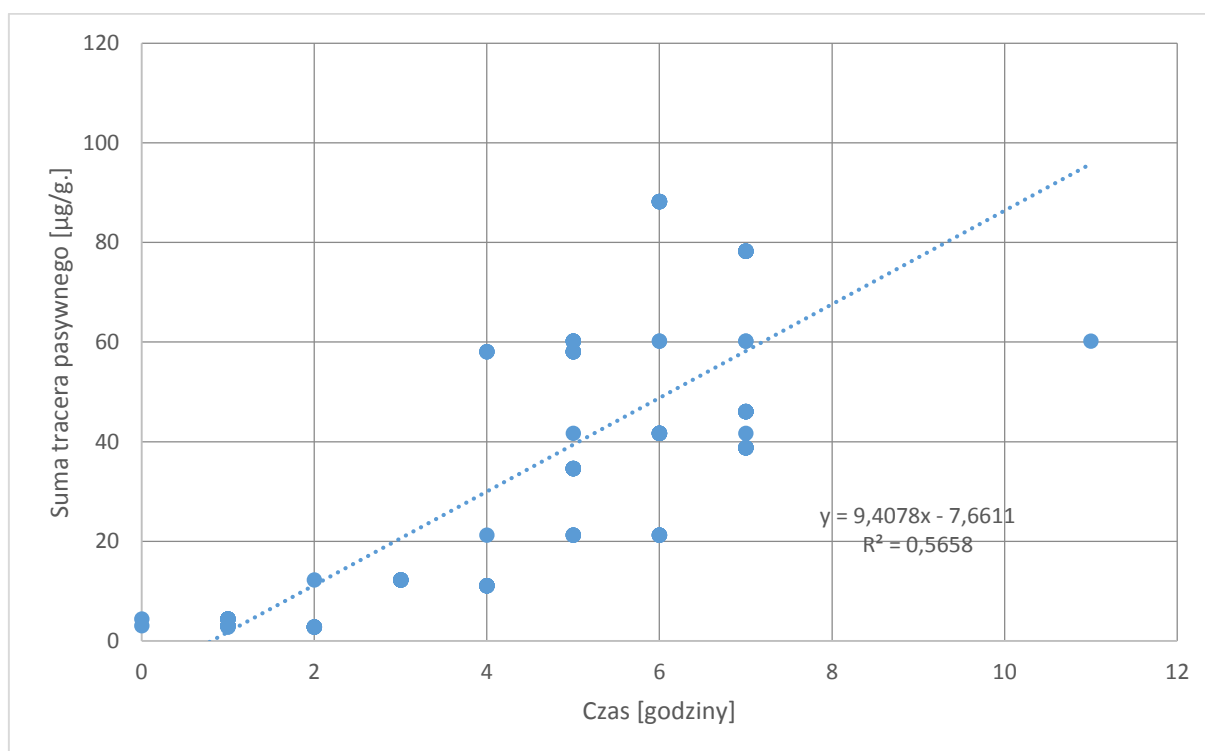


Rys. 4. Czas zaniku tracersa pasywnego na stacjach 37, 38, 40, 43, 44, 45 i 46.

Otrzymane wyniki numerycznych analiz wyraźnie wskazują na wzajemne powiązanie pomiędzy ilością tracersa pasywnego a całkowitym czasem zaniku, w którym osiągnie on wartość progową $1\mu\text{g/g}$. Zarówno w przypadku maksymalnej koncentracji początkowej osadów jak i w przypadku sumy koncentracji występuje korelacja z czasem zaniku tracersa, jednak jest ona wyższa w pierwszym wypadku gdzie współczynnik korelacji R^2 wynosił 0,76. W przypadku maksymalnej koncentracji jego wartość określa zależność dwóch elementów modelu jako zadowalającą, natomiast biorąc pod uwagę sumę tracersa to współczynnik korelacji wyniósł 0,567. W przeciwieństwie do sumy osadu w modelu w każdym przypadku maksymalna koncentracja tracersa pasywnego nie była stała na początku każdego miesiąca. W zależności od aktualnego stanu prądów podlegała ona zmianom.



Rys. 4. Korelacja między maksymalną koncentracją początkową tracersa pasywnego, a czasem jego zaniku.



Rys. 5. Korelacja między sumą koncentracji tracersa pasywnego, a czasem jego zaniku.

3.2. Spadek koncentracji tracersa pasywnego

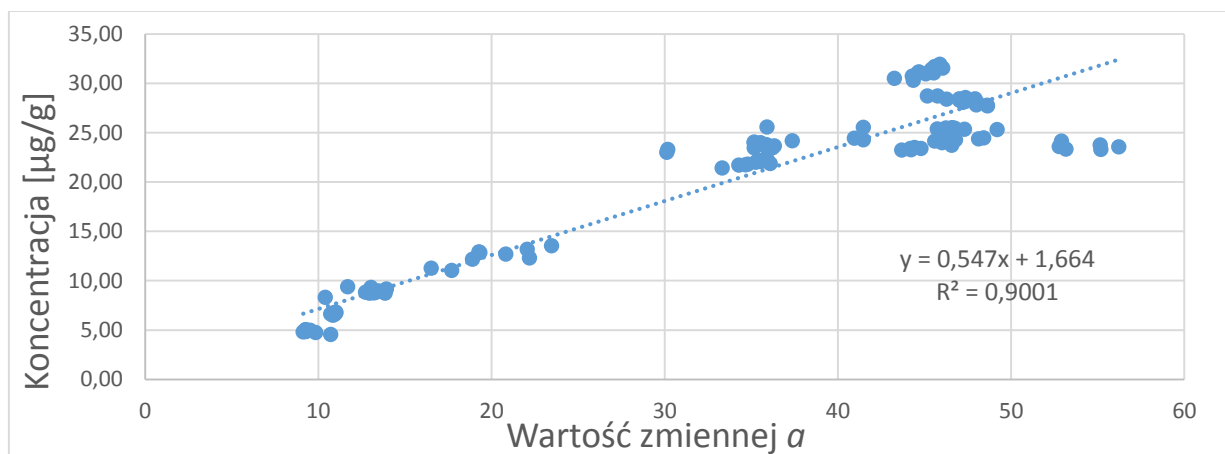
Spadek koncentracji tracersa pasywnego w czasie we wszystkich analizowanych miesiącach na badanych stacjach następował zgodnie z funkcją wykładniczą:

$$y = a * e^{-b*x}$$

gdzie y oznacza koncentracje tracersa pasywnego , x czas (w godzinach) natomiast współczynniki a i b przyjmują różne wartości zależne od czasu (miesiąca), koncentracji i miejsca. W przypadku każdej symulacji numerycznej wraz ze wzrostem maksymalnej koncentracji osadu odnotowywano zwiększenie się wartości zmiennej a . Wartości te na wszystkich stacjach były ze sobą silnie skorelowane. Określenie funkcji wykładniczej dla stacji numer 44 i 46 było niemożliwe ponieważ czas osiągnięcia wartości progowej nie trwał dłużej niż jedną godzinę.

Wykonane obliczenia numeryczne we wszystkich analizowanych przypadkach nie wykazały korelacji pomiędzy wartością współczynnika a i wartościami prądów we wszystkich symulacjach. Okazało się natomiast, że wartość współczynnika a jest ściśle powiązana

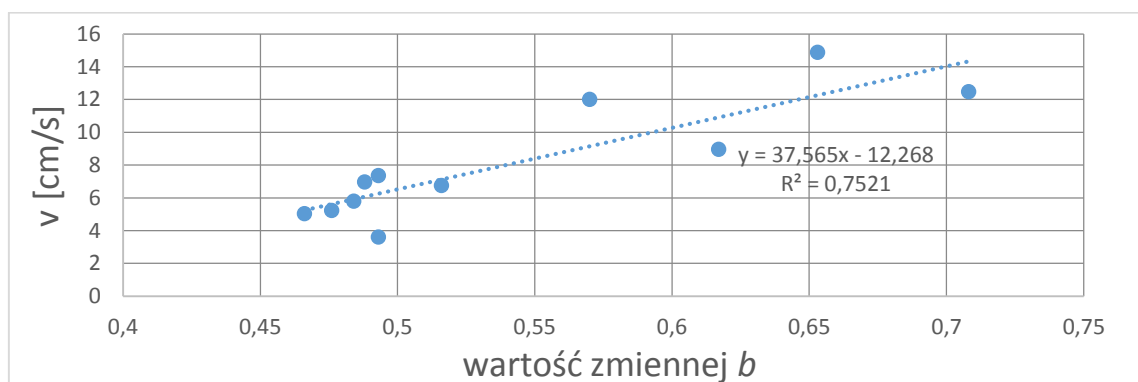
z maksymalną koncentracją początkową, którą uzyskał tracer pasywny w każdej symulacji. Na poniższym diagramie (Rys. 6.) wyraźnie widać, że wraz ze wzrostem maksymalnego stężenia początkowego następuje wzrost wartości zmiennej a . We wszystkich analizowanych miesiącach.



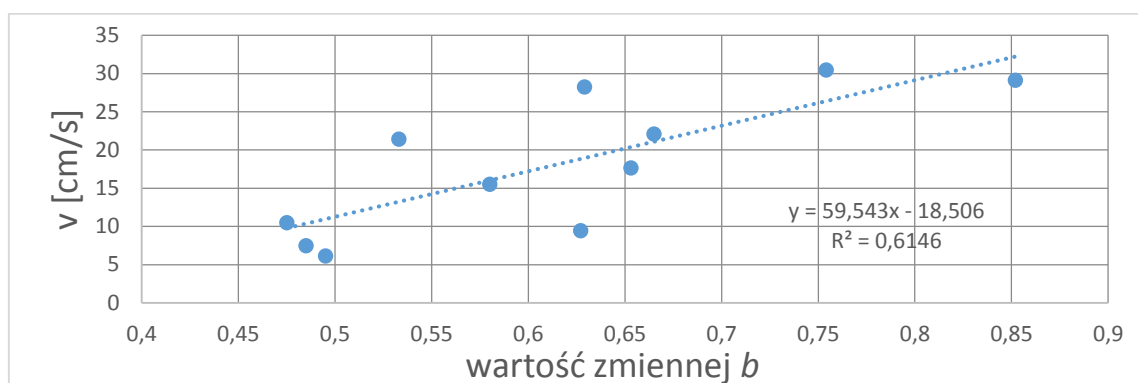
Rys. 6. Korelacja między koncentracją początkową, a wartością zmiennej a w całym roku.

W celu określenia zależności pomiędzy wartościami zmiennych a i b , a parametrami środowiska zestawiono je z wartościami prędkości prądów. Wyraźna zależność pomiędzy prędkością prądów, a wartością zmiennej b była widoczna tylko w okresie lutym, kwietniu i lipcu (Rys.7, Rys.8, Rys.9). W pozostałych miesiącach nie odnotowano tak dobrze skorelowanych wyników.

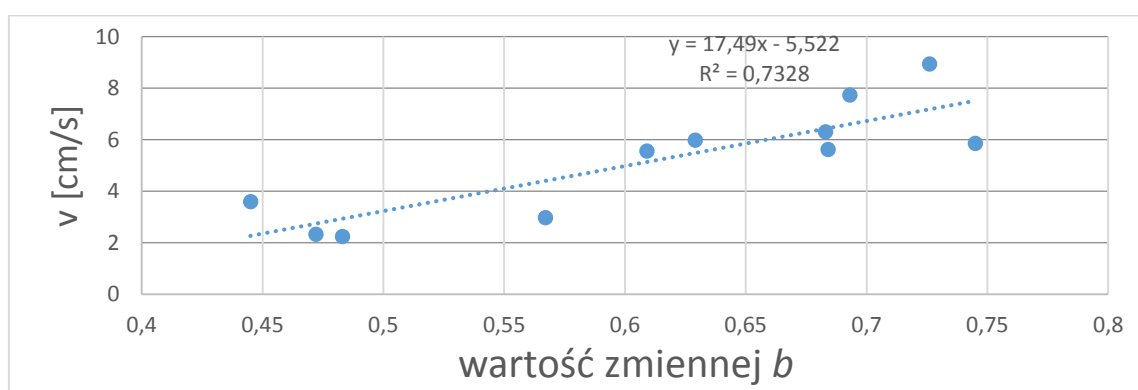
Opadanie cząsteczek osadu w toni wodnej jest naturalnym procesem zachodzącym pod wpływem sił grawitacyjnych, siły bezwładności lub innego wymuszonego przez prądy wody ruchu ziaren.



Rys. 7. Korelacja między prędkością prądów, a wartością zmiennej b w lutym.



Rys.8. Korelacja między prędkością prądów, a wartością zmiennej b w kwietniu.



Rys. 9. Korelacja między prędkością prądów, a wartością zmiennej b w lipcu

Jako, że wyraźne powiązanie pomiędzy wartościami prędkości prądów, a powyższych współczynników zaobserwowano tylko w trzech miesiącach w roku to oznacza to, że opadanie cząsteczek wynika głównie z naturalnych sił grawitacyjnych. Występujące w środowisku morskim ruchy wody, bardziej pełnią rolę w transporcie osadu, natomiast zanik bądź przyspieszenie prędkości opadania będą nie znaczne. Zbliżone wartości współczynnika a można uzyskać dzięki przekształceniu powyższego wzoru dostosowanego do wartości koncentracji początkowej z konkretnego miesiąca. Zbliżone wartości współczynnika b w przypadku przeprowadzonych badań można otrzymać tylko dla każdego miesiąca, dzięki następującym wzorom:

$$\text{dla stycznia} \quad b = \frac{v}{6,3201} - 0,436354$$

$$\text{dla lutego} \quad b = \frac{v}{37,565} - 0,326581$$

$$\text{dla marca} \quad b = -\frac{v}{4,0909} + 1,51859$$

$$\text{dla kwietnia} \quad b = \frac{v}{59,543} - 0,310816$$

dla maja	$b = \frac{v}{0,4326} - 10,30305$
dla czerwca	$b = \frac{v}{6,4489} - 0,011692$
dla lipca	$b = \frac{v}{17,49} - 0,315723$
dla sierpnia	$b = -\frac{v}{2,4417} + 1,61998$
dla września	$b = \frac{v}{13,236} - 0,149441$
dla października	$b = \frac{v}{6,1498} - 0,077889$
dla listopada	$b = \frac{v}{17,49} + 0,89217$
dla grudnia	$b = \frac{v}{17,49} + 1,21024$

3.3. Zasięg dystrybucji tracera pasywnego

Zasięg dystrybucji tracera pasywnego pokazuje na jaką maksymalną odległość został przetransportowany osad wyniesiony do wyższych partii kolumny wody w wyniku procesu ustawiania turbiny wiatrowej. Maksymalny zasięg został obliczony dla każdej symulacji w ostatniej godzinie przed osiągnięciem wartości progowej. W procesie tym uwzględnione były wszystkie komórki modelu w których koncentracja była większa lub równa niż 0,1 µg/g. Wyniki dotyczące zasięgu dystrybucji dla każdej stacji zostały przedstawione dla zostały przedstawione dla wszystkich miesięcy (Tab. 7)

Tabela 7. Zasięg dystrybucji tracera pasywnego (km).

	STY	LUT	MAR	KWI	MAJ	CZE	LIP	SIE	WRZ	PAŹ	LIS	GRU
30	6,47	6,47	6,47	6,47	6,47	6,47	6,47	6,47	6,47	6,47	6,47	9,43
31	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35	4,35
32	2,20	2,87	2,20	2,20	2,20	2,87	2,20	2,87	2,20	2,87	2,87	2,20
33	2,96	5,66	5,66	6,47	6,47	6,47	6,47	6,47	6,47	6,47	6,47	8,62
34	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
35	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	2,14
36	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31
37	10,22	10,22	10,22	11,01	10,22	10,22	10,22	10,22	10,22	10,22	10,22	10,22
38	4,39	2,88	4,39	4,39	4,39	4,39	4,39	4,39	4,39	4,39	4,39	4,39
40	2,89	7,36	4,38	4,44	7,36	7,36	6,52	6,52	6,52	6,52	6,52	7,36
43	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18
44	2,14	2,14	2,14	2,98	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14	2,98	2,14
45	1,65	5,12	5,12	5,12	5,12	5,12	5,12	5,12	5,12	5,12	5,12	4,29
46	2,88	4,39	2,88	2,88	2,88	2,88	2,88	2,88	2,88	2,88	2,88	2,88

Wyniki dotyczące zasięgu dystrybucji zostały porównane z wartościami dotyczącymi modułu wektora prędkości (Tab. 8.). Nie wykazywały one jednak korelacji.

Tabela 8. Wartości modułu wektora prędkości na analizowanych stacjach.

	STY	LUT	MAR	KWI	MAJ	CZE	LIP	SIE	WRZ	PAŹ	LIS	GRU
30	5,35	8,96	2,77	21,42	3,28	3,62	5,94	3,50	7,27	5,75	3,91	14,08
31	8,08	14,88	3,80	29,16	7,51	7,06	5,98	3,44	9,58	4,57	6,28	18,50
32	4,56	3,75	2,38	4,67	4,86	3,31	1,55	1,95	1,94	5,62	6,34	6,34
33	9,71	5,04	2,14	20,10	7,67	0,12	2,32	3,41	4,68	5,98	6,24	25,94
34	1,67	5,24	3,13	10,53	3,05	1,94	3,59	2,52	3,16	3,31	7,41	8,64
35	15,91	6,98	8,46	7,48	2,03	5,72	1,62	5,05	11,84	3,00	8,49	10,46
36	3,35	8,48	2,34	28,25	4,49	4,76	3,85	1,48	6,63	1,43	2,80	6,76
37	6,17	12,01	3,72	2,47	6,09	3,83	4,30	3,27	5,62	2,45	8,49	14,41
38	2,68	3,60	1,15	1,53	2,31	0,97	0,72	0,72	1,33	1,33	2,68	4,40
40	5,83	7,36	7,94	6,17	5,31	4,14	2,24	2,04	3,50	4,48	6,48	10,00
43	2,45	2,45	2,58	7,42	1,93	2,42	2,20	2,71	1,46	4,52	4,19	6,75
44	2,03	2,14	7,67	14,08	7,36	4,49	4,86	6,54	1,15	5,05	8,29	4,94
45	4,08	5,80	6,31	9,46	4,94	2,81	2,96	1,98	3,24	3,85	6,70	7,12
46	8,45	7,44	4,75	13,89	2,15	0,96	3,96	4,52	4,34	4,76	7,36	7,17

W przypadku stacji numer 37 gdzie traser pasywny osiągnął największą odległość wystąpiła największa ilość tracersa pasywnego. Z kolei wyniki otrzymane dla stacji gdzie ilość rozpuszczonego w wodzie osadu była najmniejsza pokazały, że osiągnął on jedno z najkrótszych dystansów w całych analizach. W przypadku pozostałych stacji nie można zaobserwować tak wyraźnej zależności.

Powiązanie zasięgu dystrybucji osadów z maksymalną koncentracją początkową jak i również sumą koncentracji osadów pokazało, że istnieje korelacja, która jednak była wyższa w drugim przypadku. Wyniki współczynnika determinacji R^2 w obydwóch przypadkach pokazały, że jego wartość nie przekracza wartości 0,5. Oznacza to, że dopasowanie elementów modelu jest niezadowolające.

3.4. Dystrybucja tracera pasywnego

Transport tracera pasywnego na analizowanych stacjach był zależny od kierunku i prędkości prądu. Ponieważ całkowity czas sedimentacji osadów raczej nie przekraczał okresu siedmiu godzin rozkłady dystrybucji wyglądały podobnie, swego rodzaju zmienność można było zaobserwować w przypadku ilości osadu. Prądy w tym czasie były relatywnie stałe i tylko w kilku przypadkach odnotowano wyraźne zmiany.

Widoczne różnice zaobserwowano w kwietniu na stacji 30, 31 i 33, oraz w grudniu na stacjach 30 (Rys. 10), 33 (Rys. 13) i 45 (Rys. 22). Na stacji numer 30 w ciągu całego roku osad rozchodził się w dwóch przeciwnych do siebie kierunkach. Położenie tej stacji w opracowanym modelu ma miejsce tuż przy granicy poziomów. W takim wypadku tracer pasywny nie mógł być transportowany w kierunku północnym od lokalizacji startowej ponieważ był to płytszy obszar. W czasie kwietnia i grudnia osad był transportowany głównie w kierunku wschodnim. Zarówno w tych dwóch miesiącach jak i w całym roku prąd skierowane były również w kierunku zachodnim jednak w kwietniu i grudniu wystąpiły najwyższe wartości modułu wektora prędkości (Tab. 8), które przekraczały prędkość 14 cm/s.

Ograniczenie transportu tracera pasywnego jakim jest granica poziomów występowało na większości punktów. Były to stacje numer 31, 32, 33, 36, 37, 38, 43, 44, i 45.

Na stacji numer 33 dystrybucja tracera pasywnego miała podobny przebieg jak na stacji numer 30. Największe ilości osadu transportowane były w kierunku ENE i SS przy czym w pozostałych kierunkach dystrybucja osadu była również wysoka. W czasie kwietnia i grudnia dystrybucja tracera pasywnego była ograniczona do kierunku ENE. W tych dwóch miesiącach wystąpiły wyraźnie większe wartości modułu wektora prędkości (Tab. 8) niż w pozostałych miesiącach i przekraczały prędkość 20 cm/s.

Na stacjach numer 32, 34, 37, 38 i 43 (Rys. 12, 14, 17, 18, 20) we wszystkich miesiącach dystrybucja tracera pasywnego przebiegała w zbliżony do siebie sposób. W ciągu całego roku na stacjach tych występowały słabe prądy (Rys. 26, 28, 31, 32, 34). Wyjątkiem była stacja 37 gdzie w lutym i grudniu wartości modułu wektora prędkości (Tab.8) przekroczyły 10 m/s. Nie wywołało to jednak znaczących zmian w dystrybucji osadu.

Stacja numer 35 (Rys. 15) była jedynym punktem, który nie był ulokowany w pobliżu granicy poziomów. Pomimo, że w ciągu całego roku kierunek i wartości prądów wykazywały

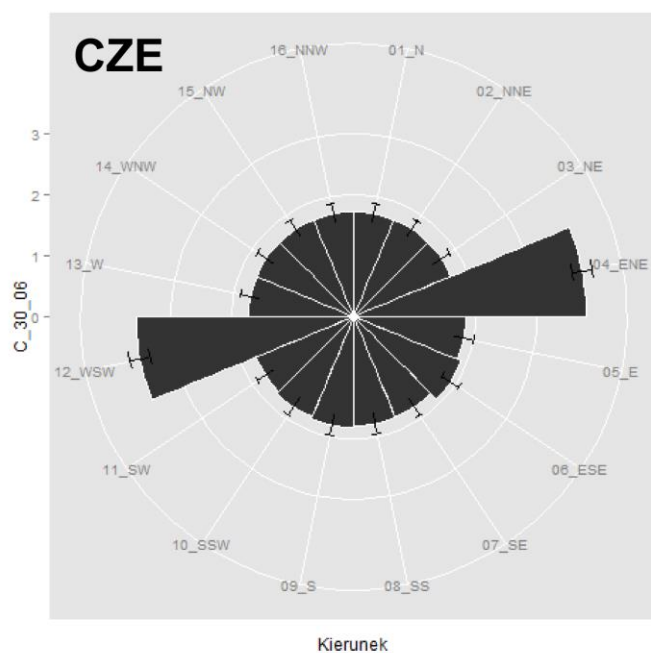
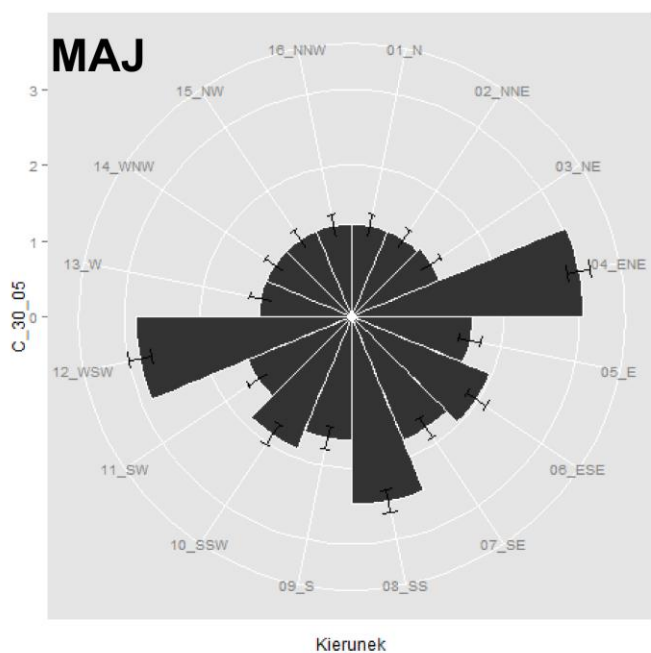
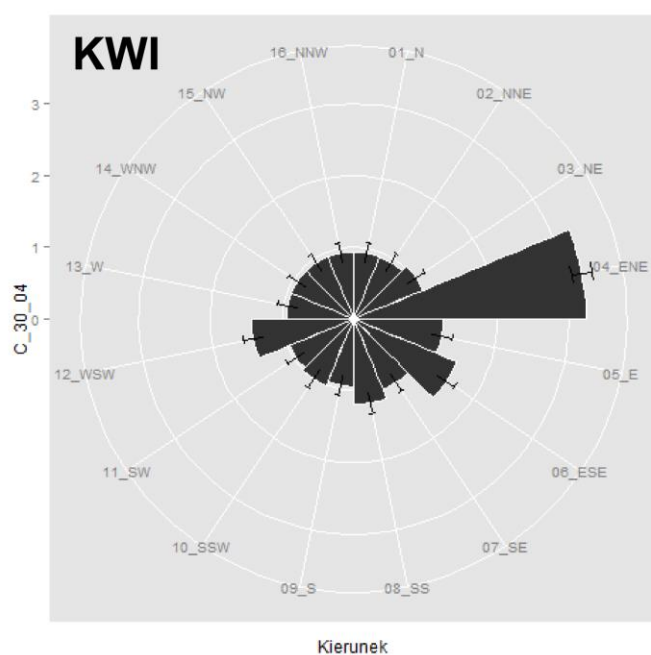
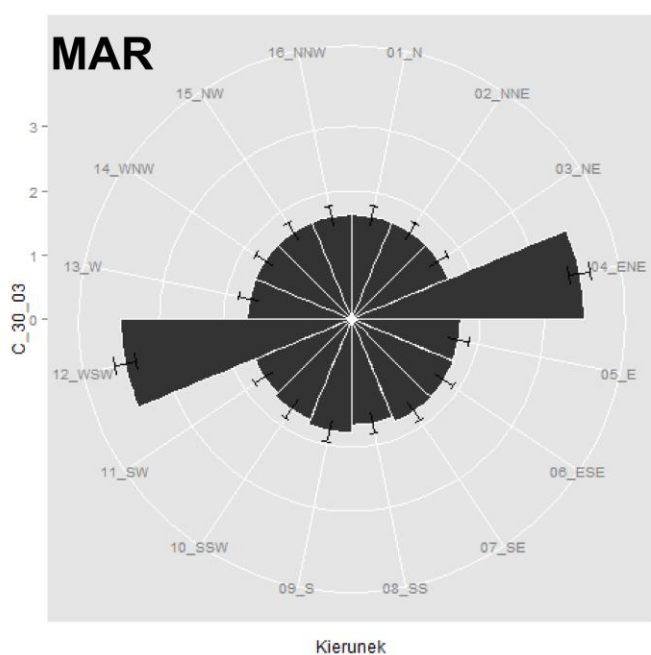
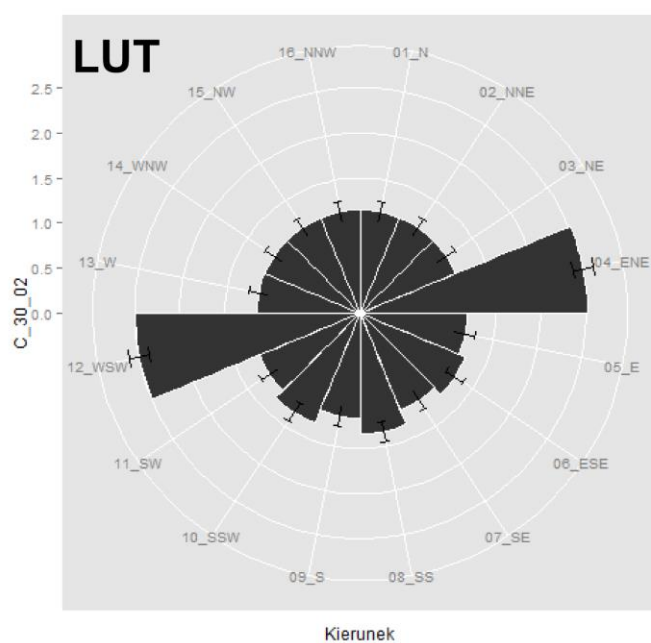
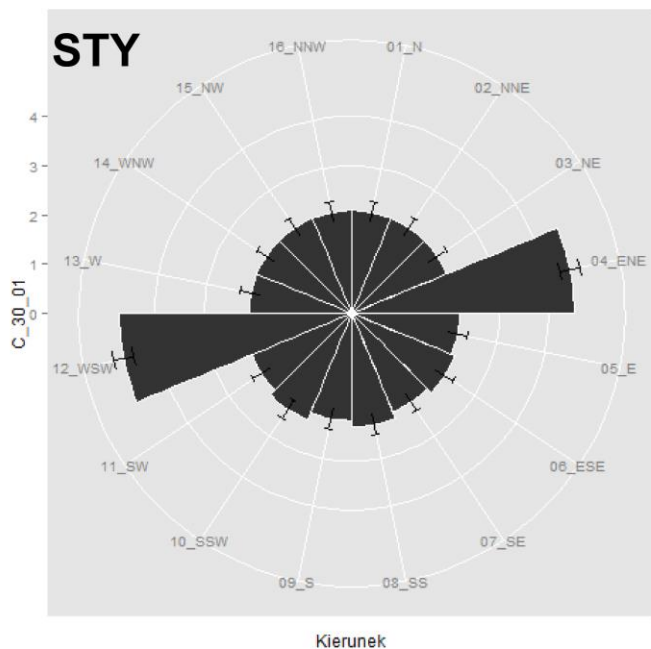
duże różnice (Rys. 29) to dystrybucja tracera pasywnego we wszystkich symulacjach zachodziła w podobny sposób

Duża zmienność w dystrybucji osadu w skali całego roku wystąpiła na stacji numer 36 (Rys.16). W większości badanych miesięcy największe ilości osadu transportowane były transportowane w kierunku WSW, zauważa się jednak, że w kilku miesiącach dystrybucja tracera pasywnego rozkłada się od kierunku zachodniego, przez południowy, aż do wschodniego. W marcu, sierpniu, październiku, i listopadzie występowały najmniejsze wartości modułu wektora prędkości (Rys. 30). W tych właśnie przypadkach widać, że nie wywierały one większego wpływu na transport osadu, natomiast w pozostałych miesiącach występujące silniejsze prądy ograniczały go do określonego kierunku.

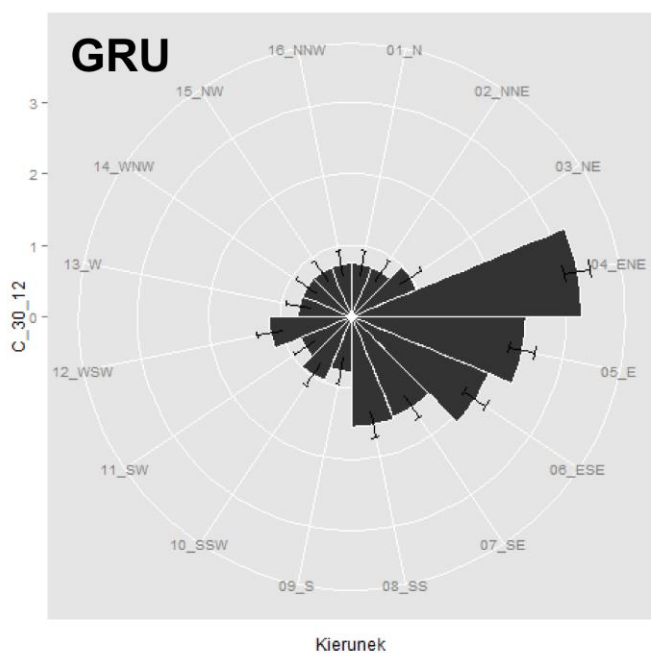
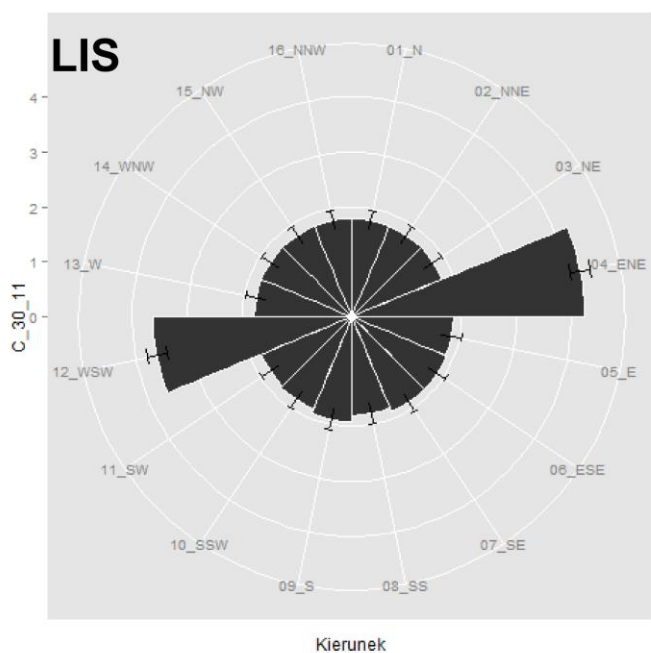
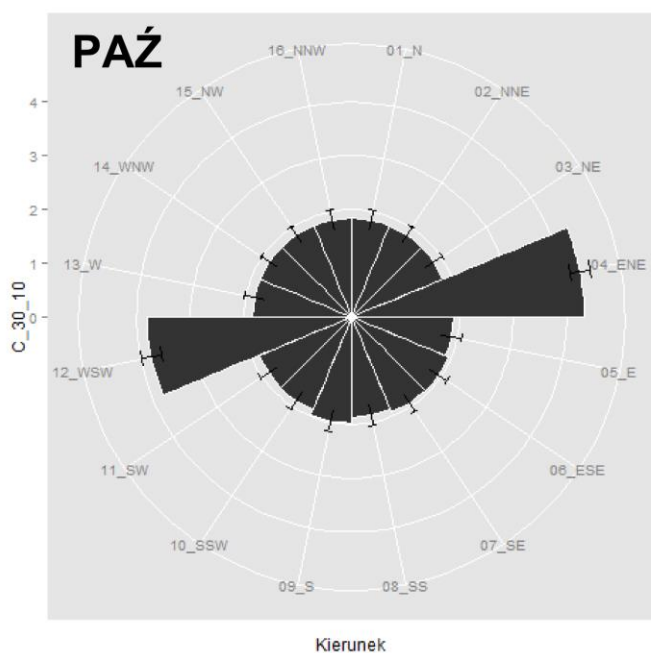
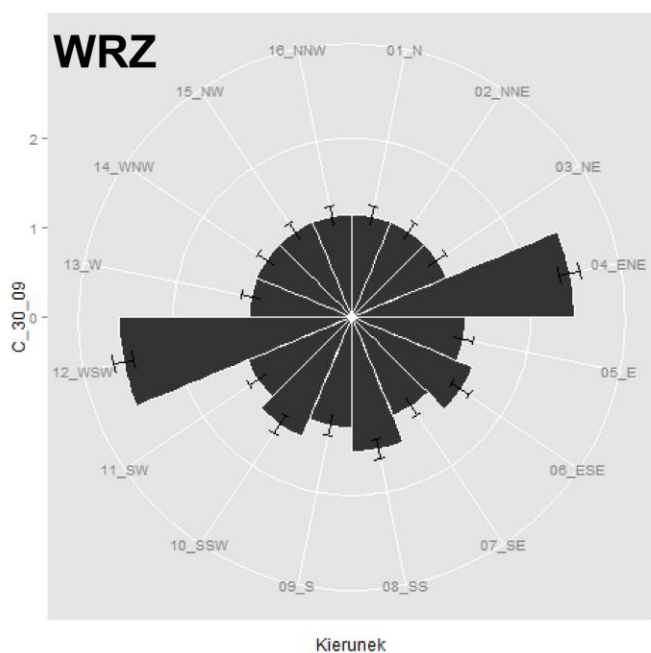
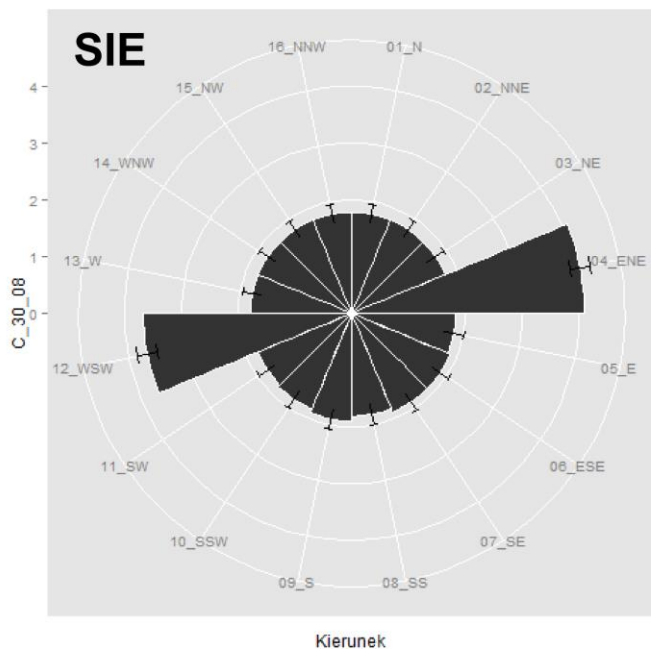
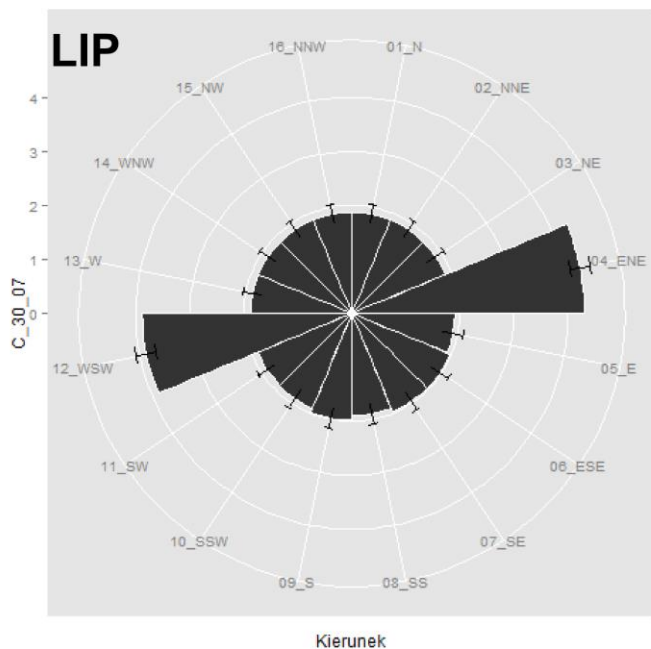
Na stacji numer 40 (Rys.19) transport tracera pasywnego ograniczał się głównie do kierunku WSW przy czym w większości symulacji był on przeciwny do kierunku wektorów prądów (Rys. 33). Wartości modułu wektora prędkości w tym wypadku nie przekroczyły w tym punkcie 10 m/s. Fakt ten może oznaczać, że dystrybucja osadu następowała tutaj samorzutnie.

Stacja 45 (Rys. 22) była umiejscowiona w peryferyjnej części wiru lokalnego (Rys. 36) tuż obok granicy poziomów., dlatego ilość osadu była równomiernie transportowana we wszystkich kierunkach. W czasie stycznia, lutego i grudnia trochę większe ilości tracera były transportowane w kierunku południowym.

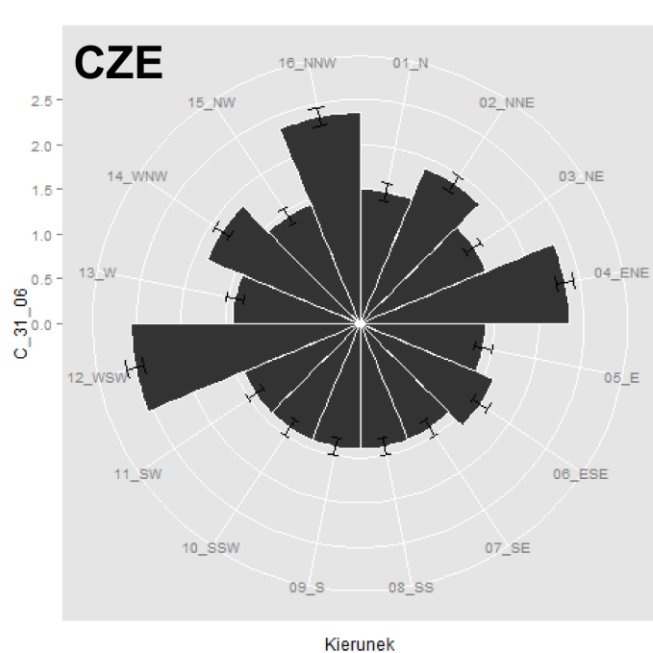
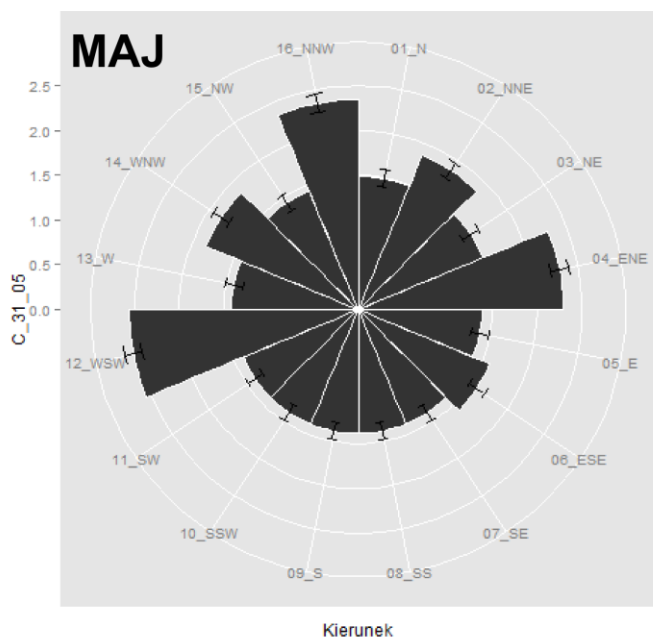
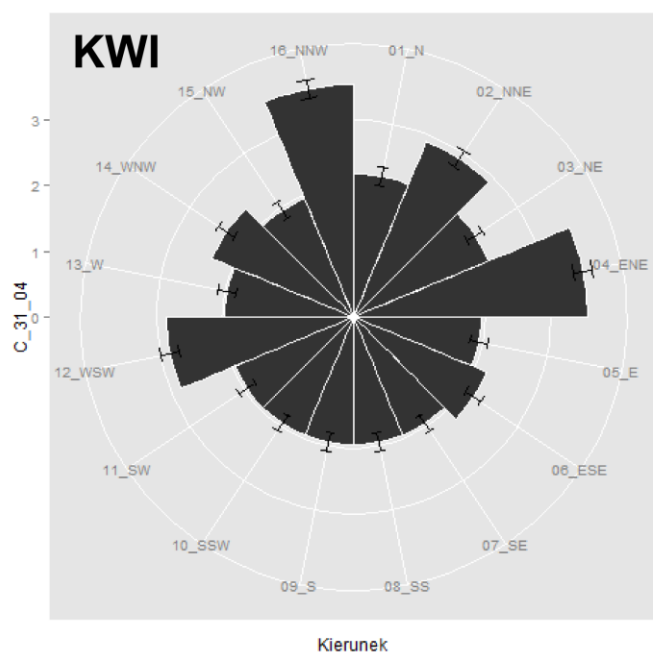
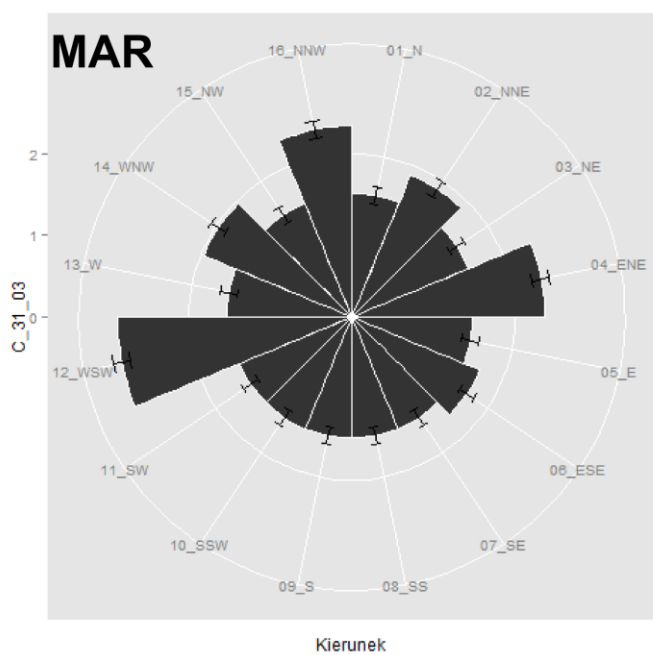
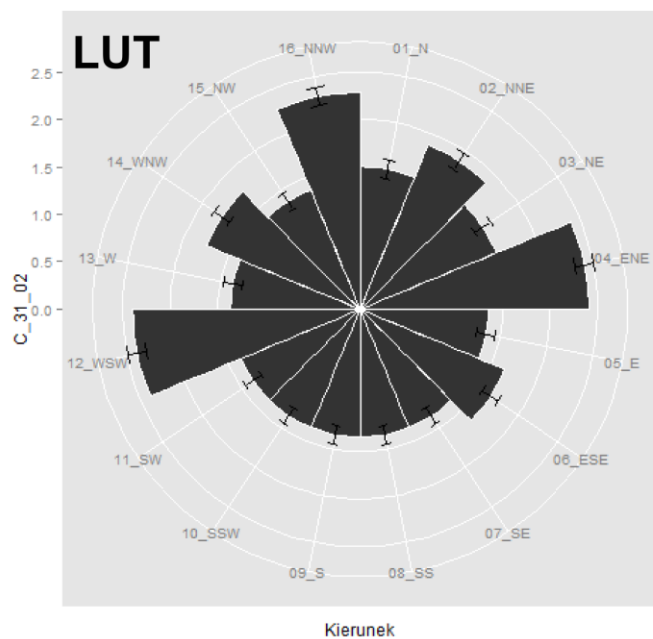
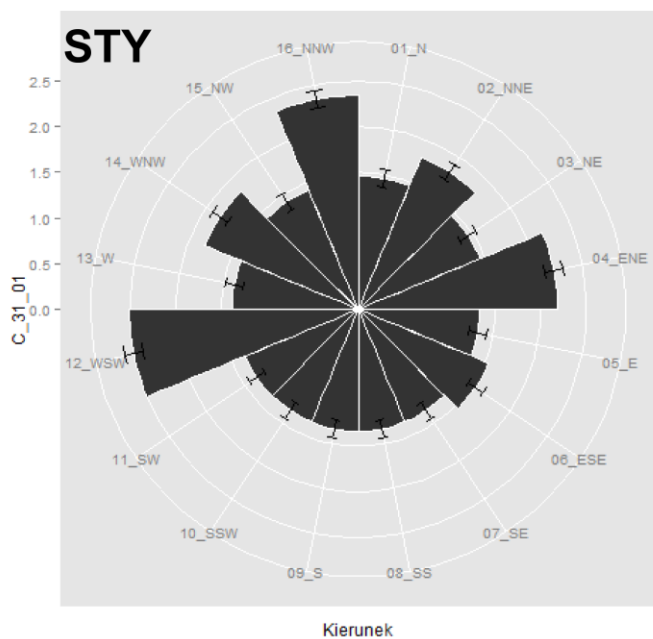
Na stacjach numer 44 (Rys. 21) i 46 (Rys.23) całkowity czas dystrybucji osadu trwał maksymalnie jedną godzinę, dlatego zrównoważony rozkład w ciągu całego roku nie był efektem działalności prądów. Sytuacja ukazana na poniższych wykresach pokazuje dystrybucję tracera pasywnego w chwili startowej



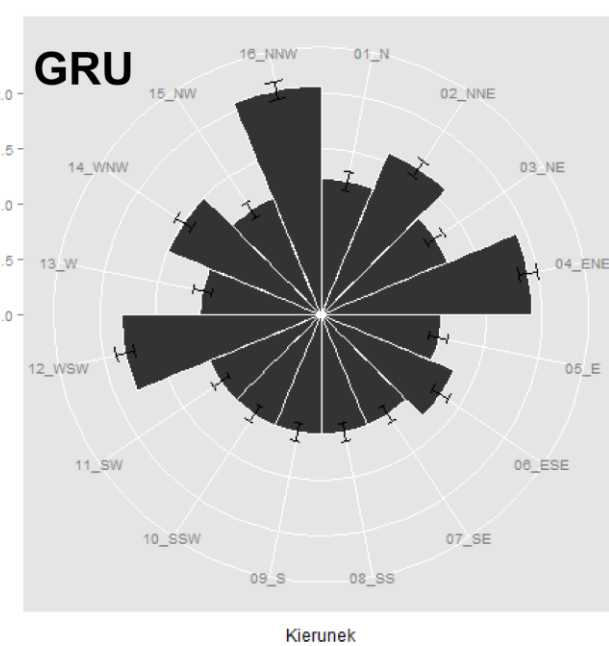
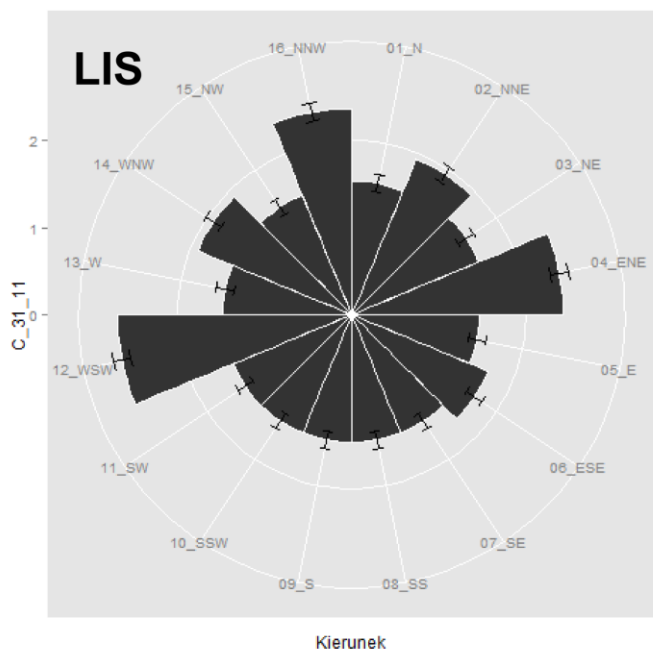
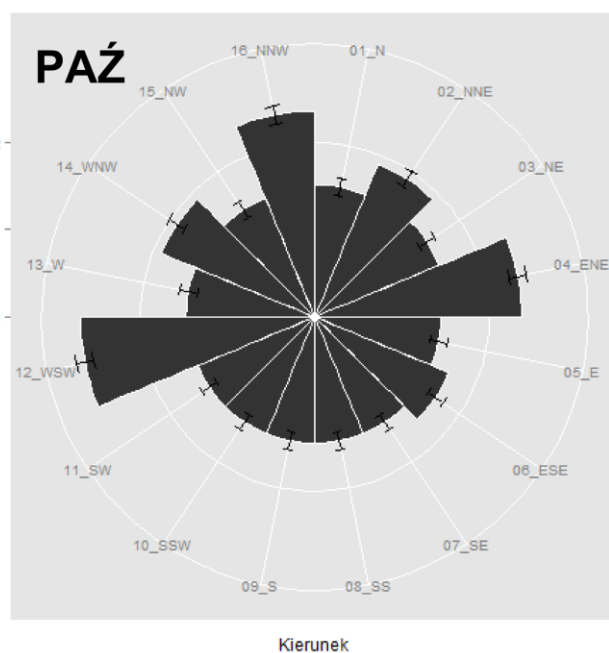
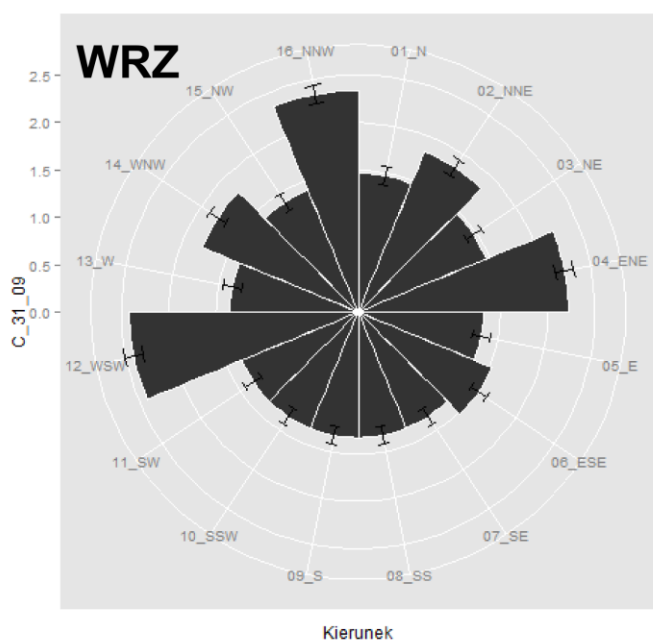
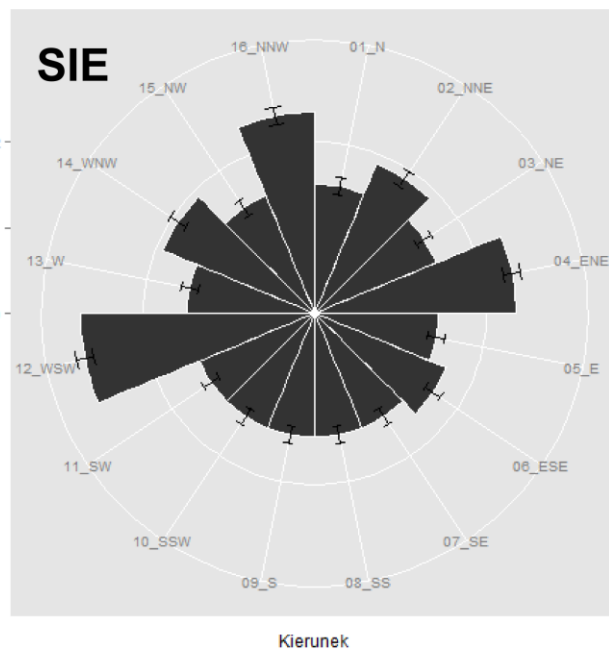
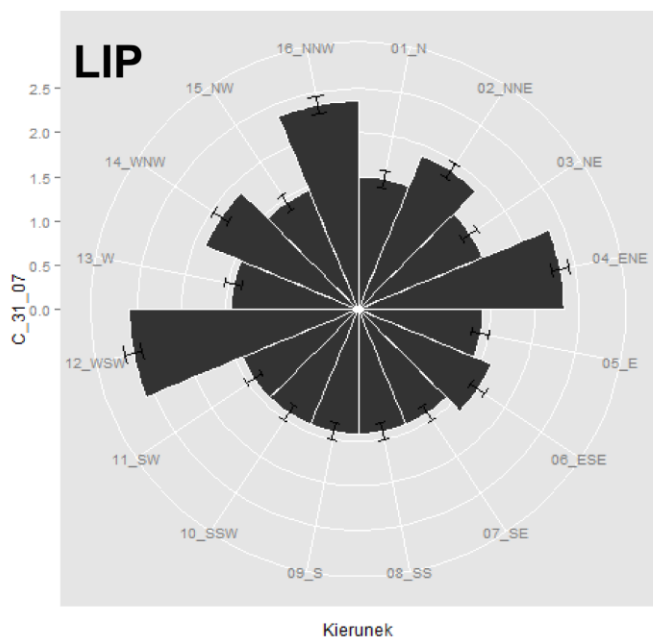
Rys. 10a. Dystrybucja trzecera pasywnego ($\mu\text{g/g}$) na stacji 30.



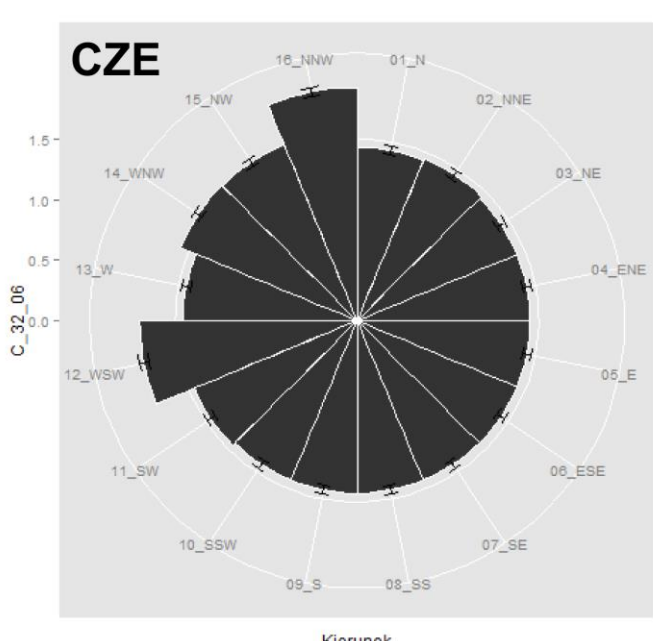
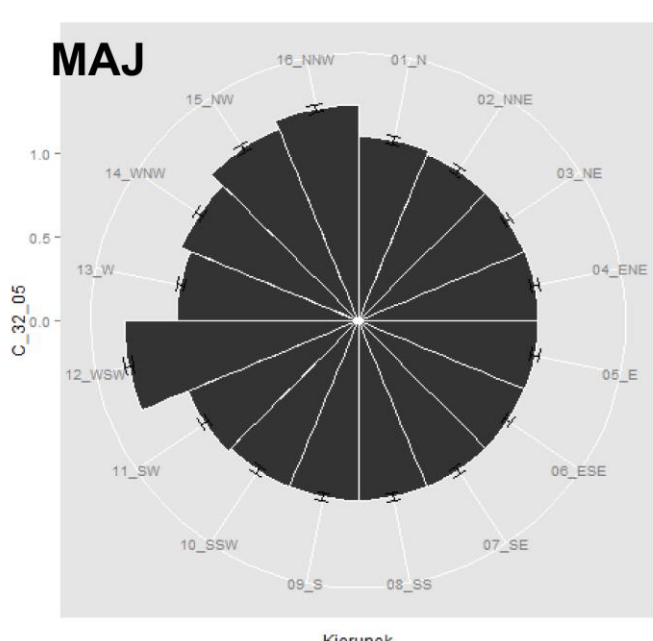
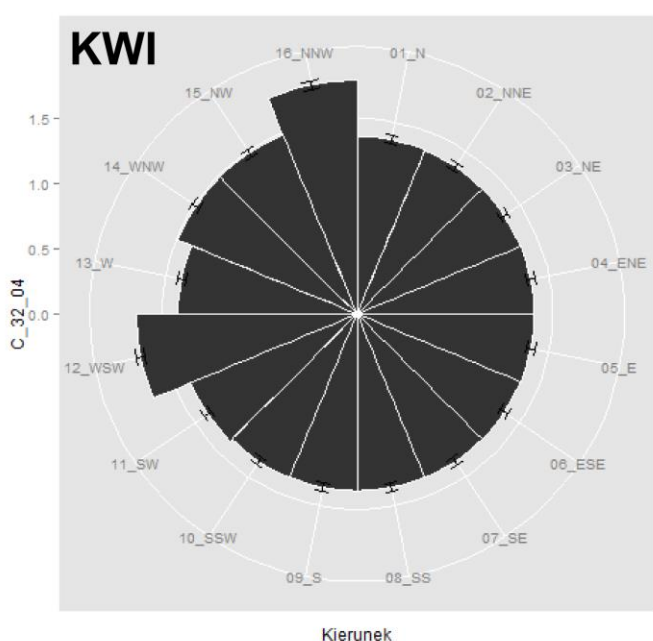
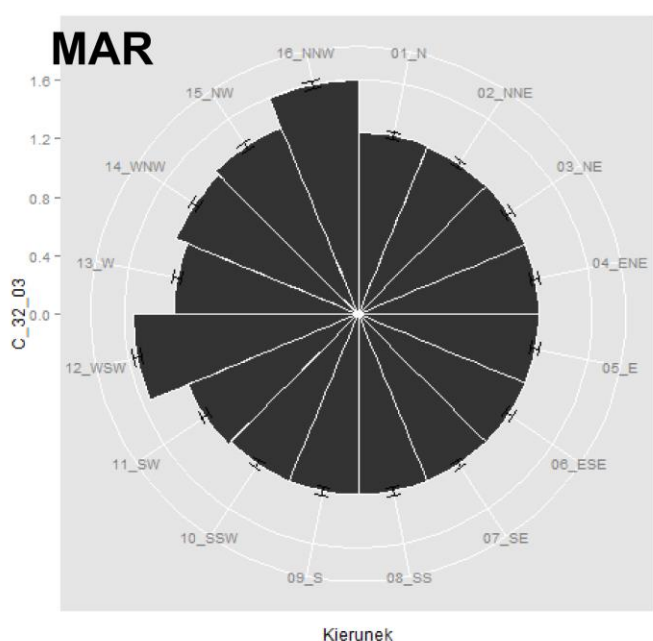
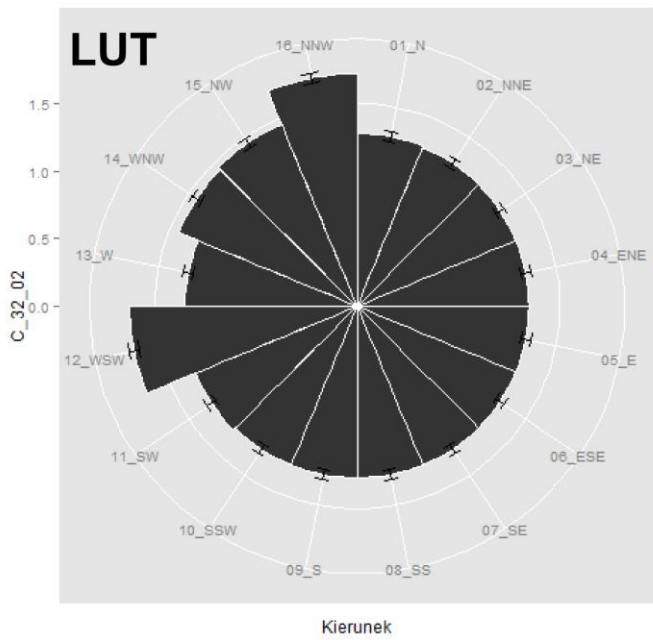
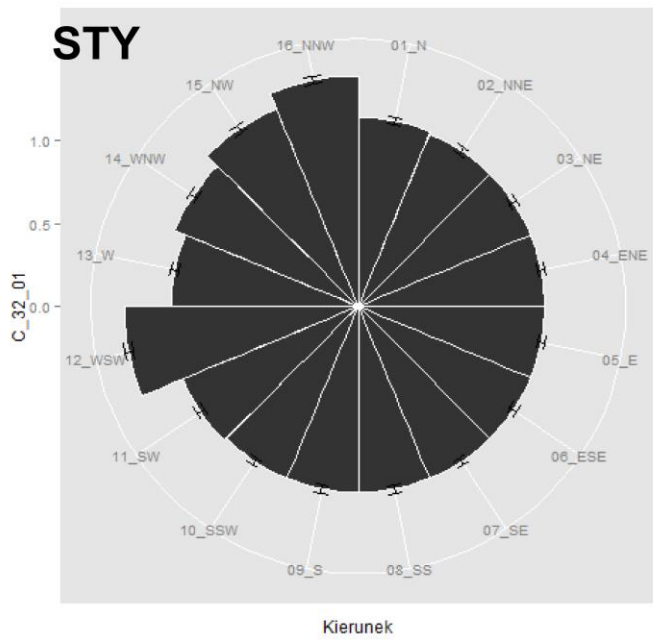
Rys. 10b. Dystrybucja trącyera pasywnego ($\mu\text{g/g}$) na stacji 30.



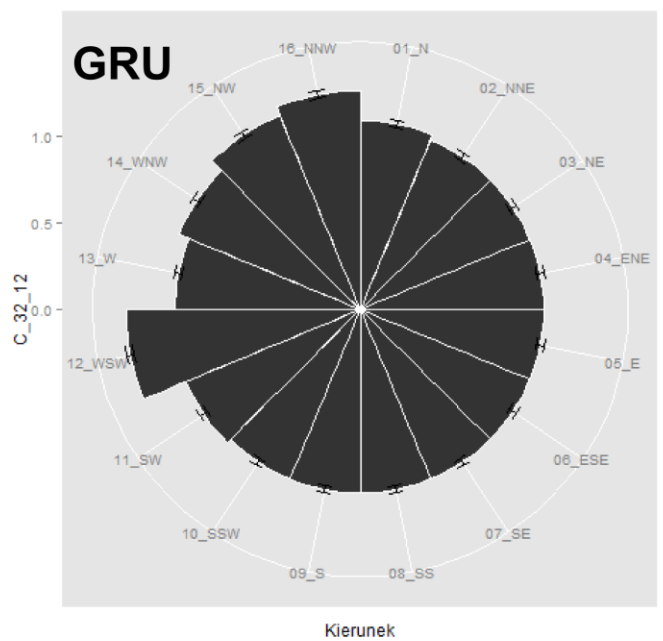
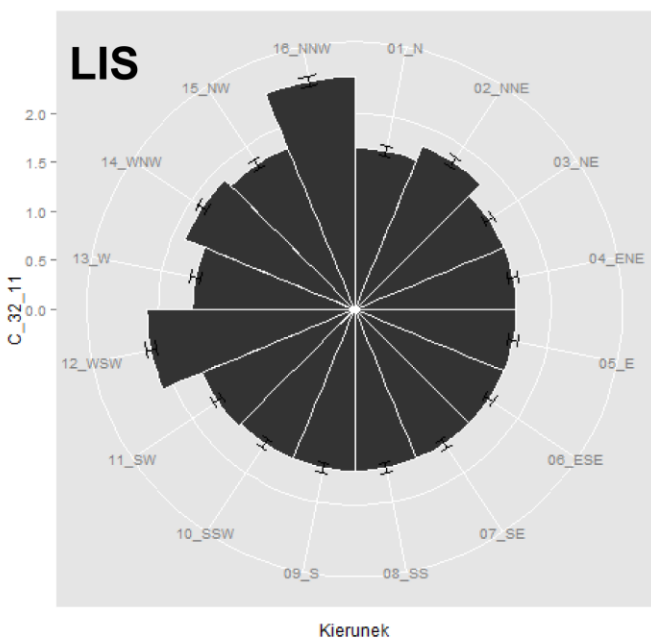
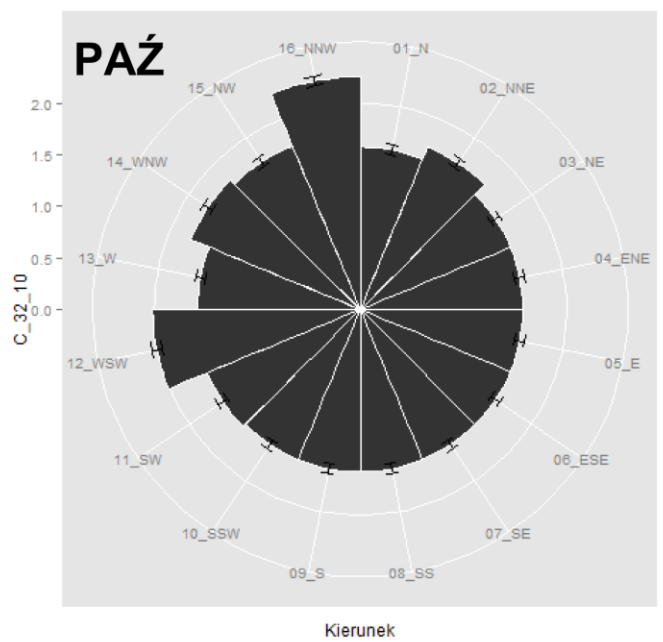
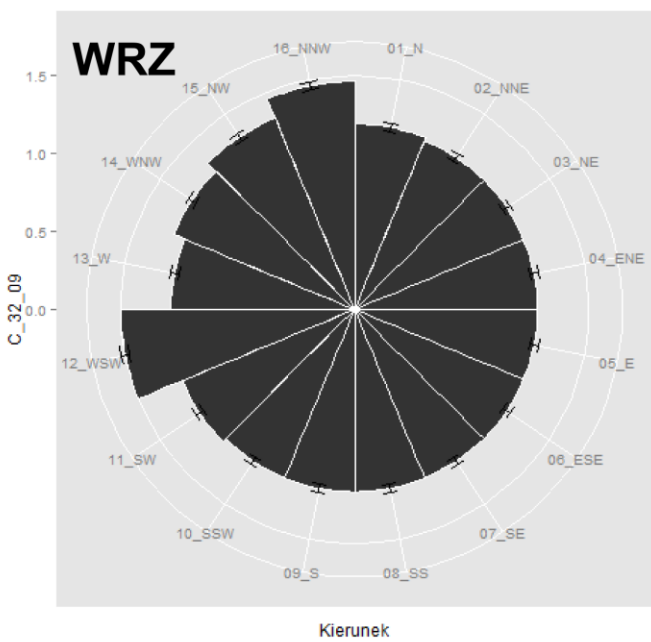
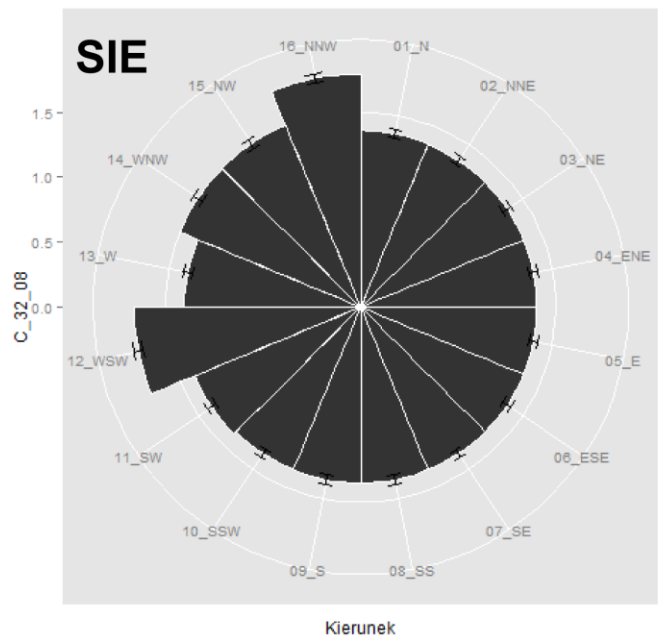
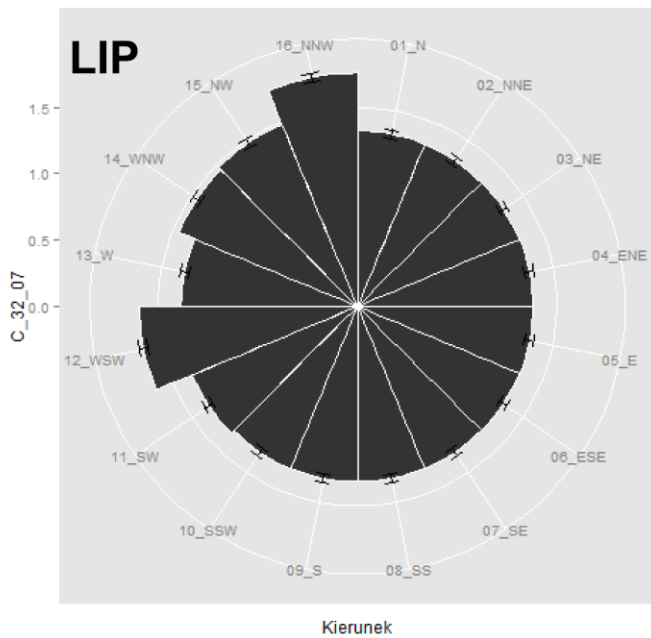
Rys. 11a. Dystrybucja trącyera pasywnego ($\mu\text{g/g}$) na stacji 31.



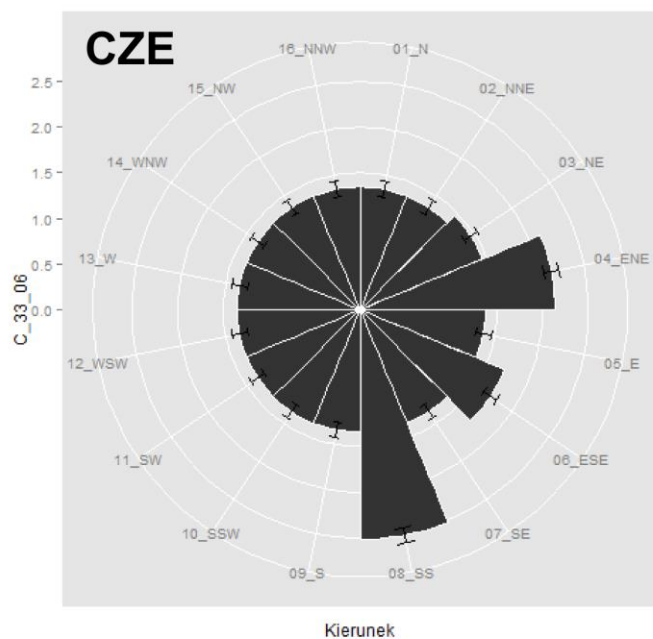
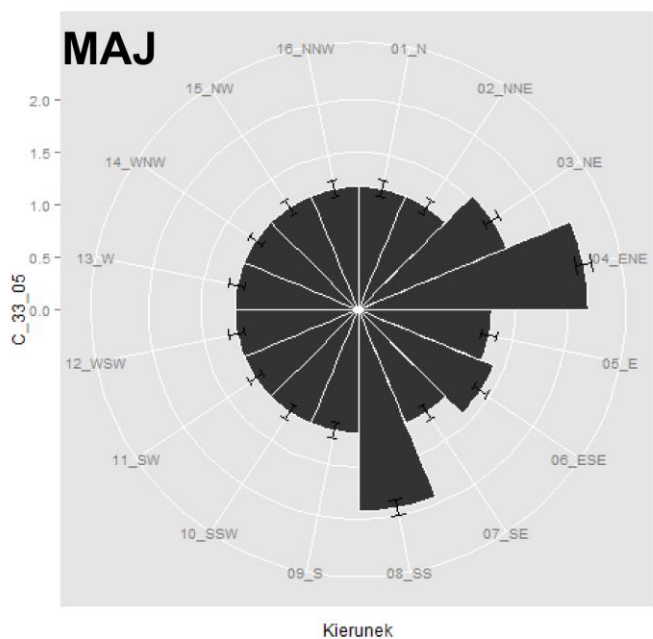
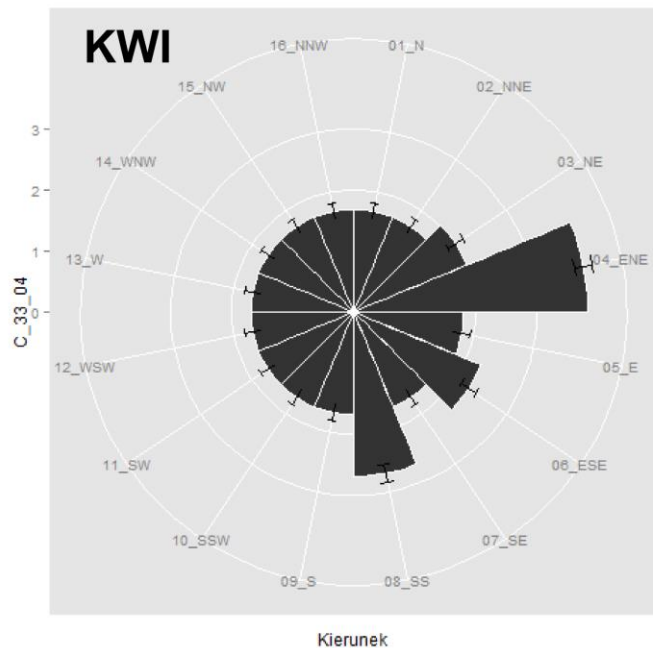
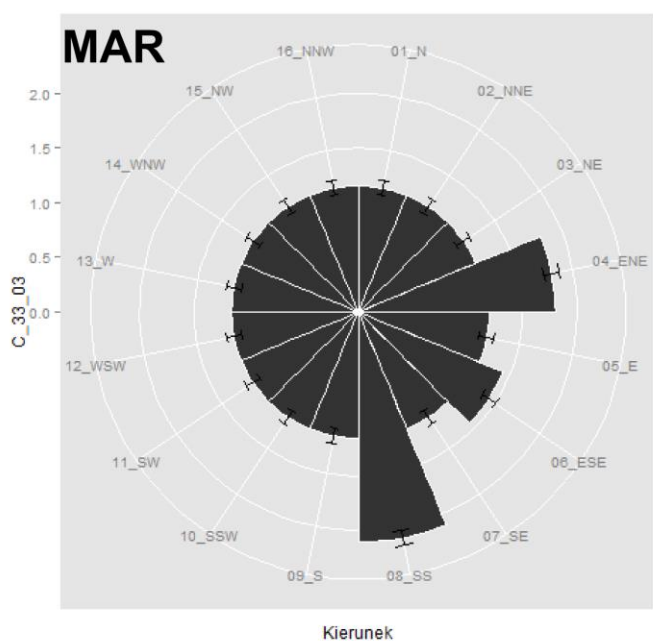
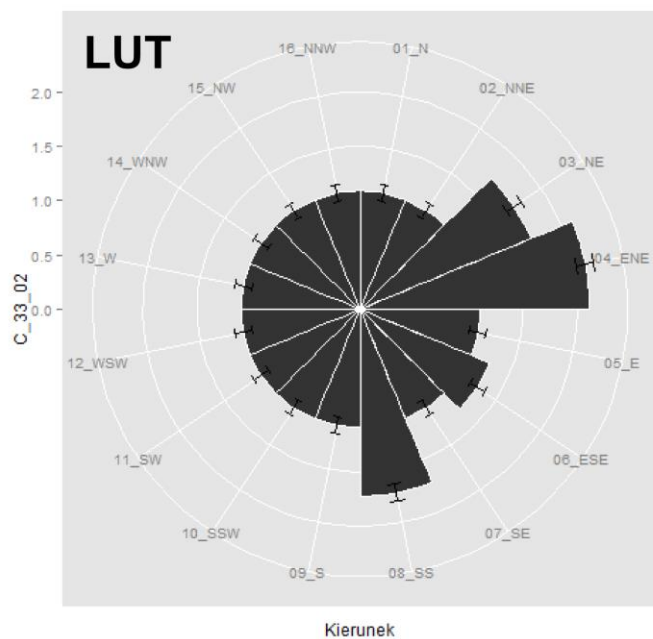
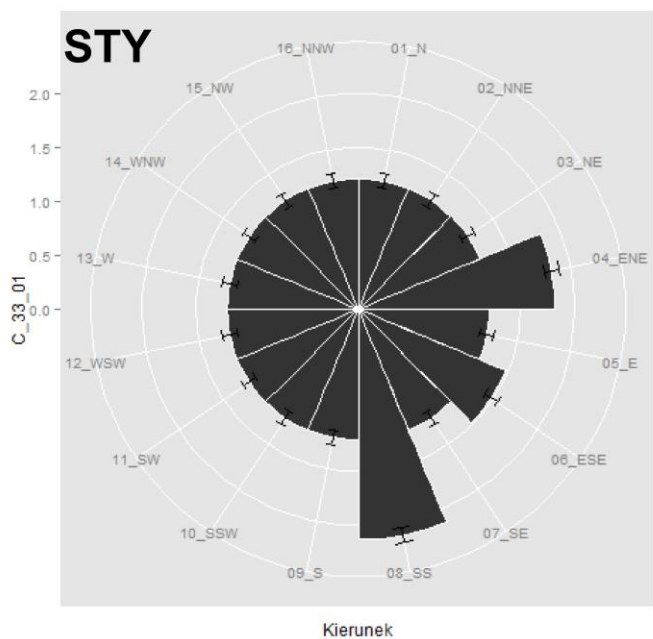
Rys. 11b. Dystrybucja tracera pasywnego ($\mu\text{g/g}$) na stacji 31.



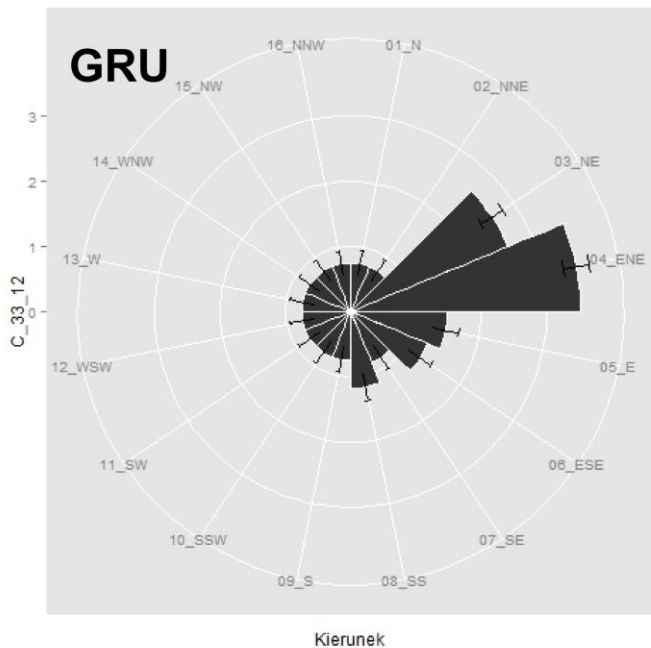
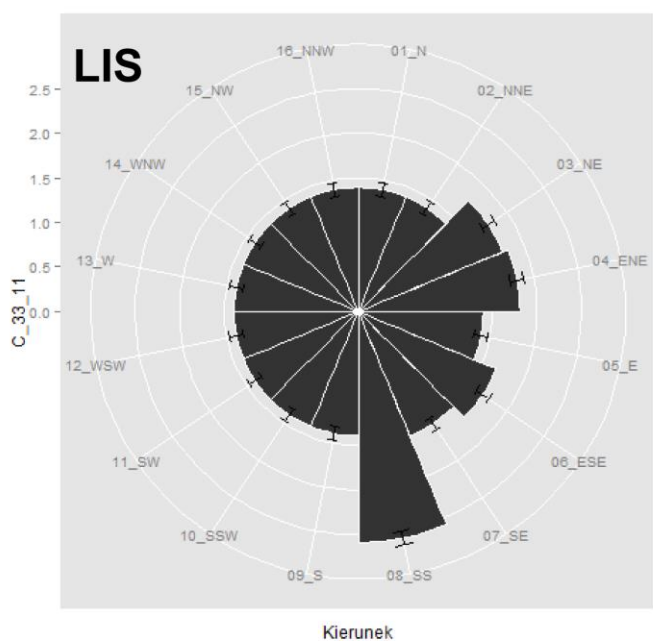
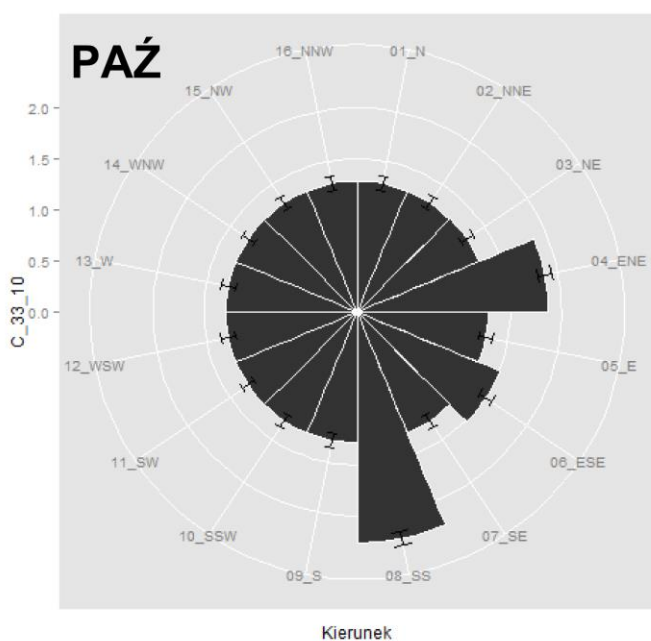
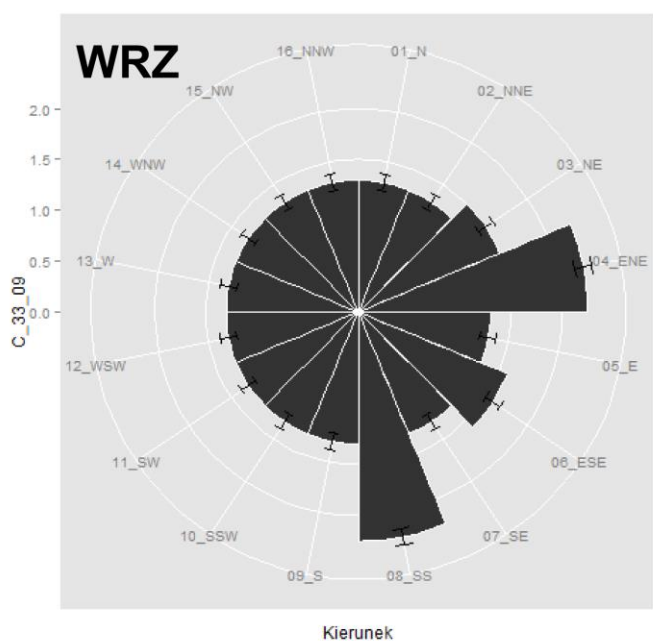
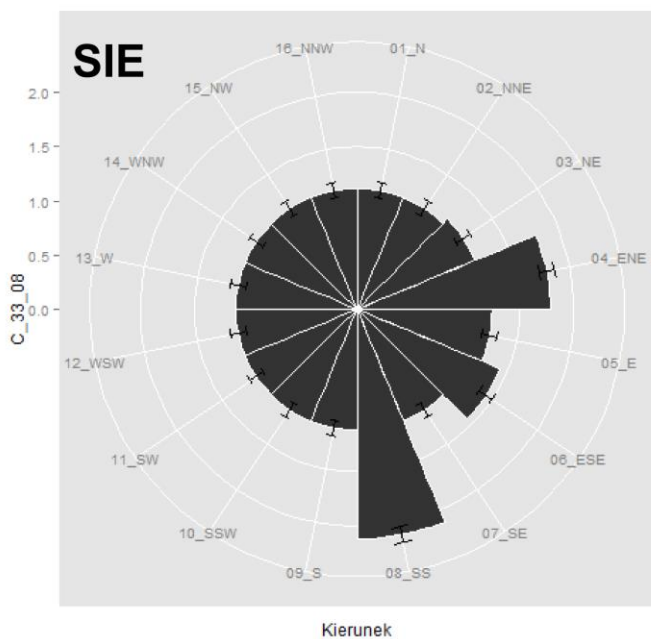
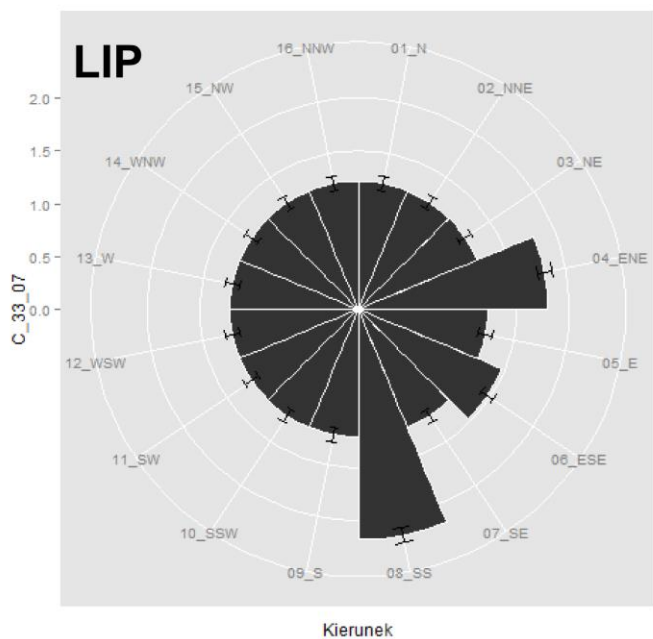
Rys. 12a. Dystrybucja tracera pasywnego ($\mu\text{g/g}$) na stacji 32.



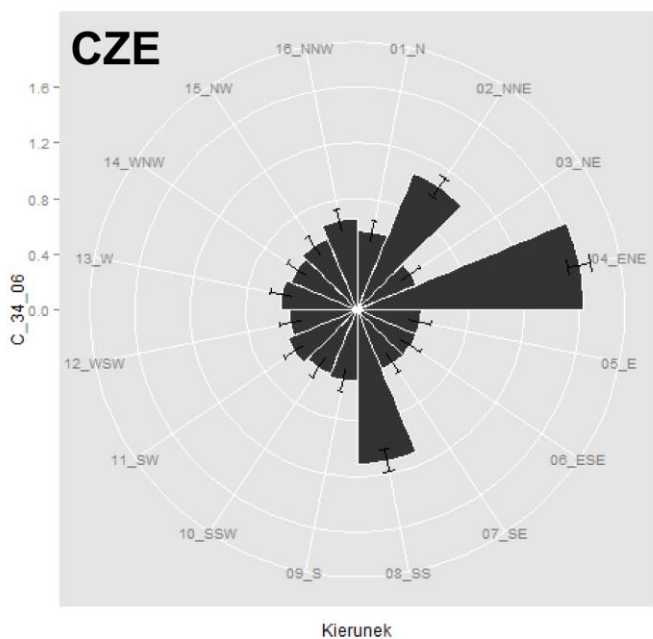
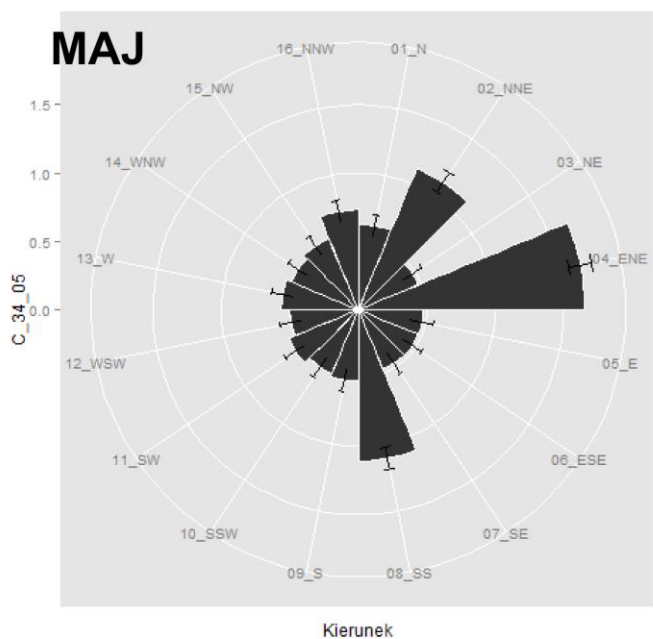
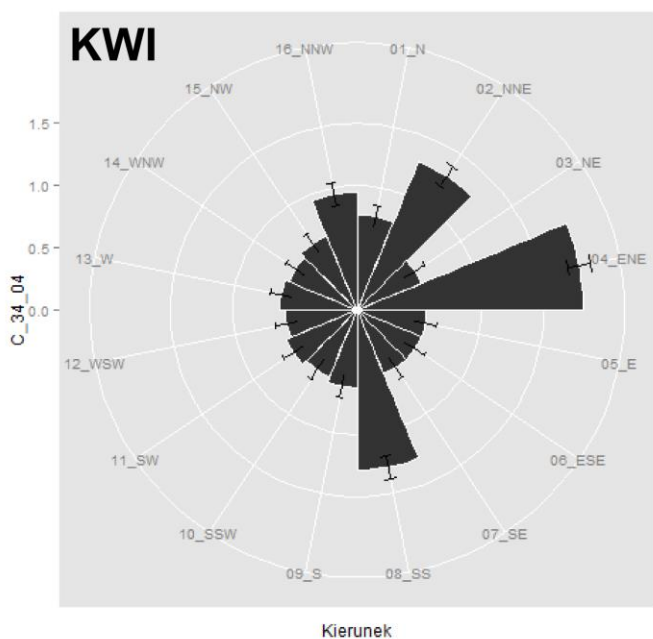
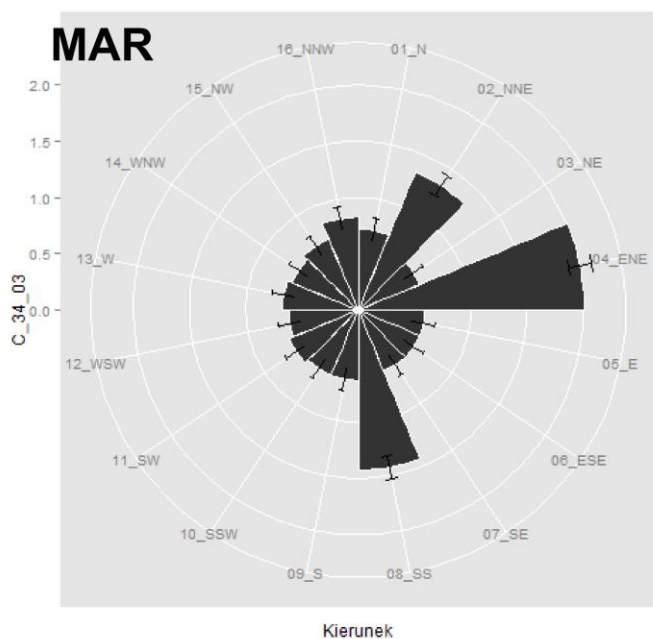
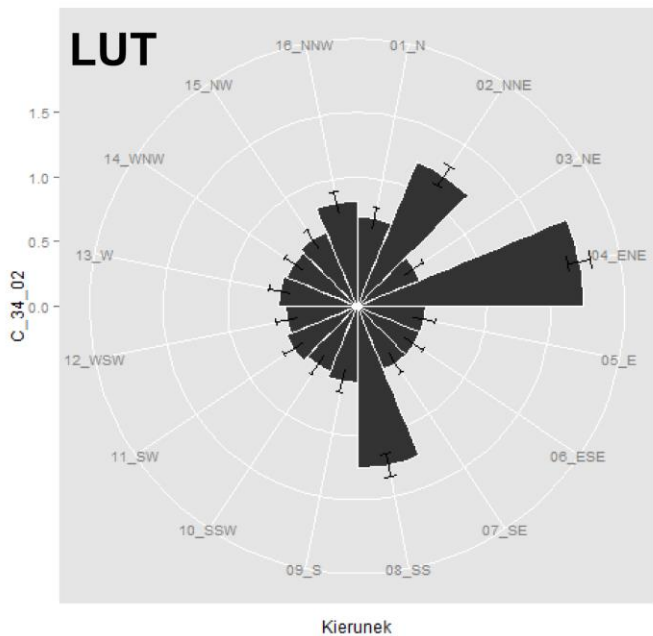
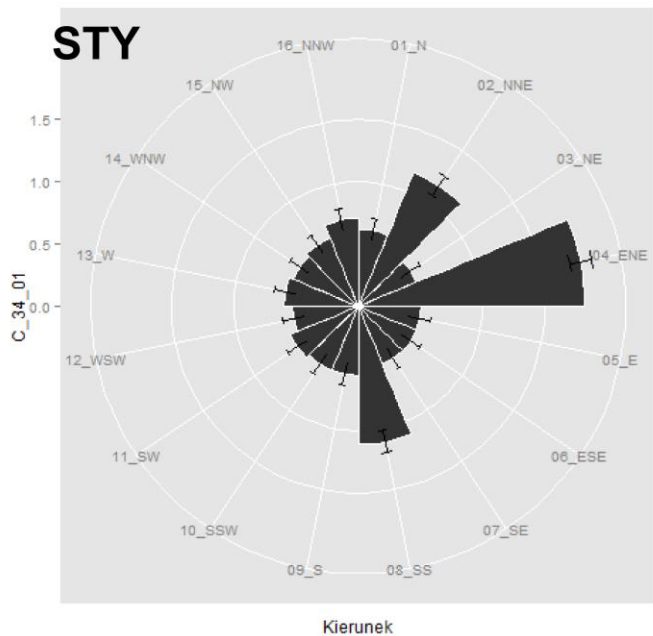
Rys. 12b. Dystrybucja tracersa pasywnego ($\mu\text{g/g}$) na stacji 32.



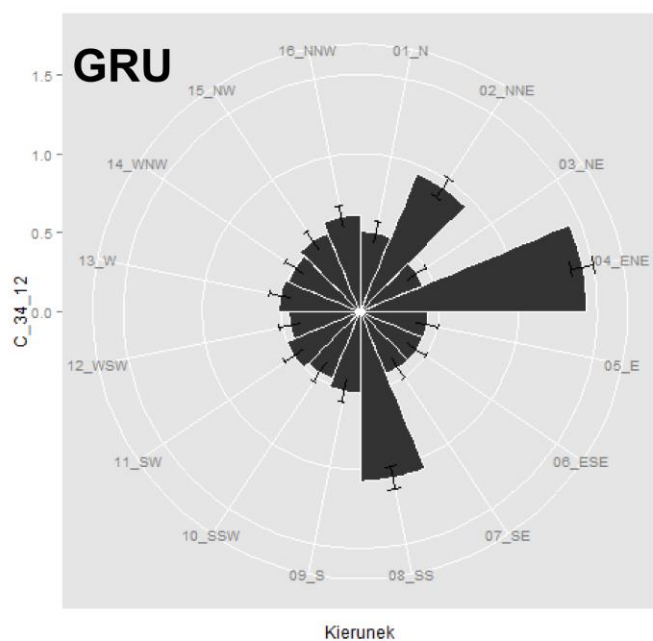
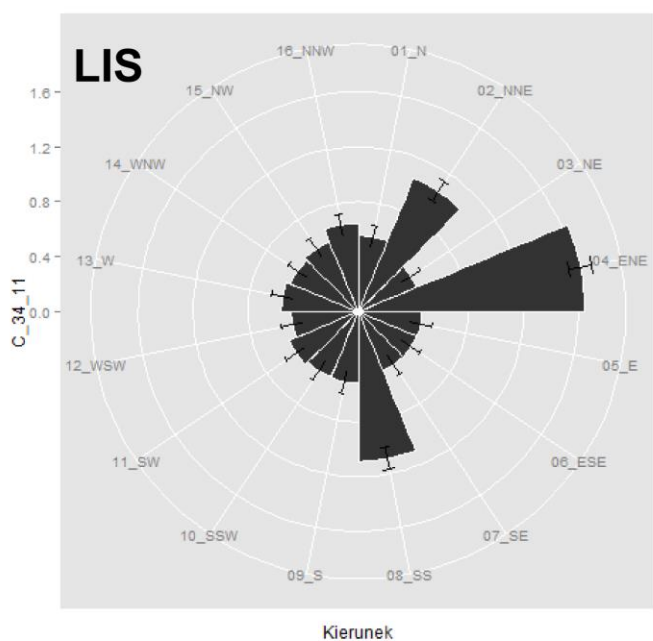
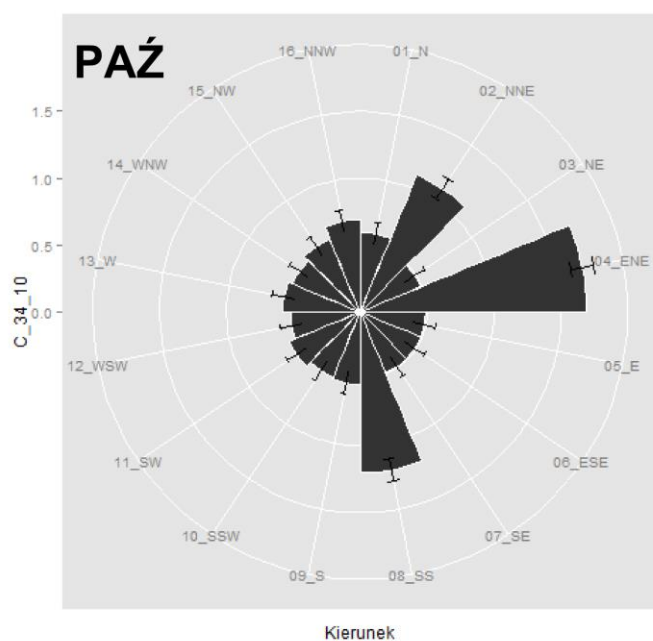
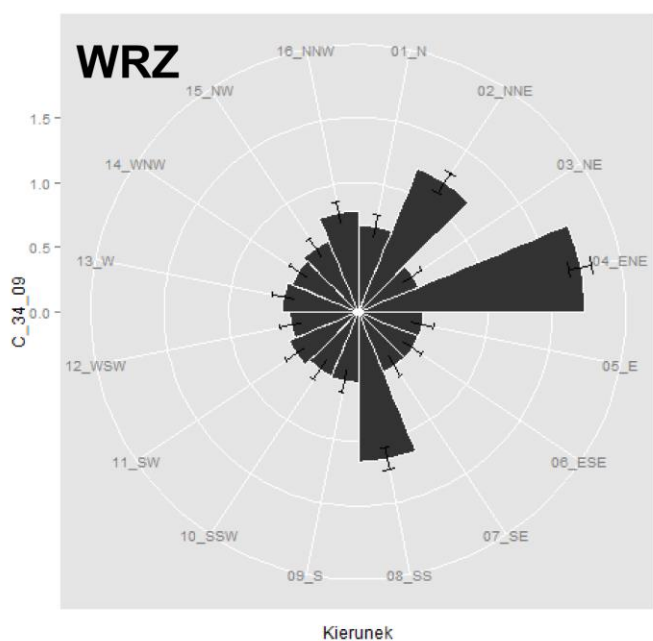
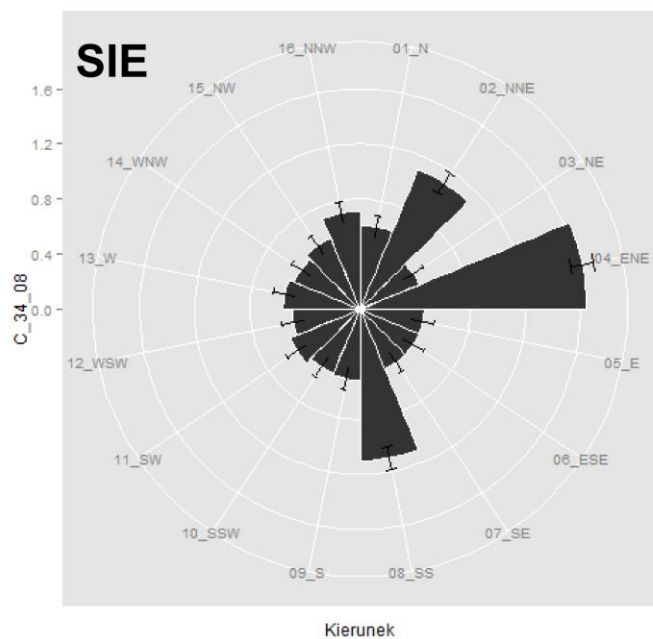
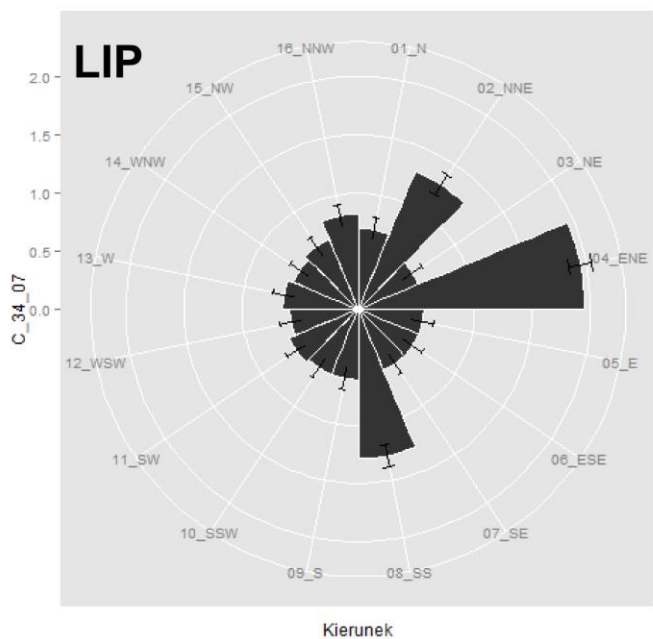
Rys. 13a. Dystrybucja trzcera pasywnego ($\mu\text{g/g}$) na stacji 33.



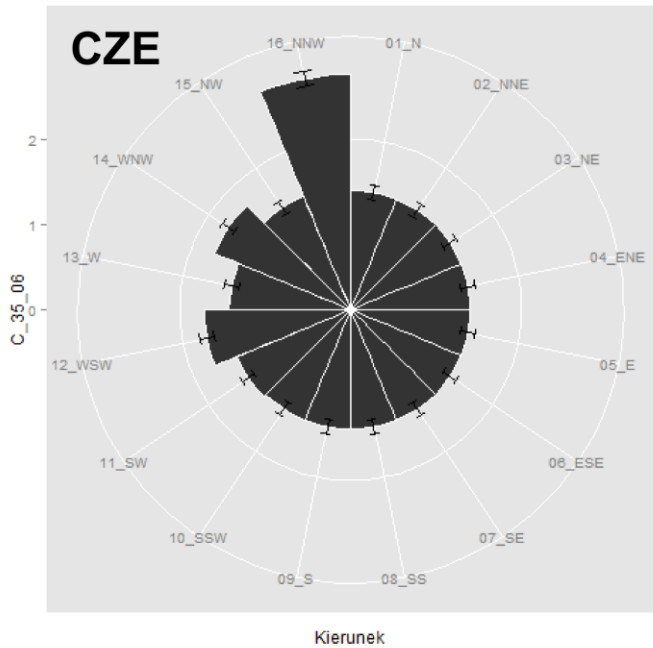
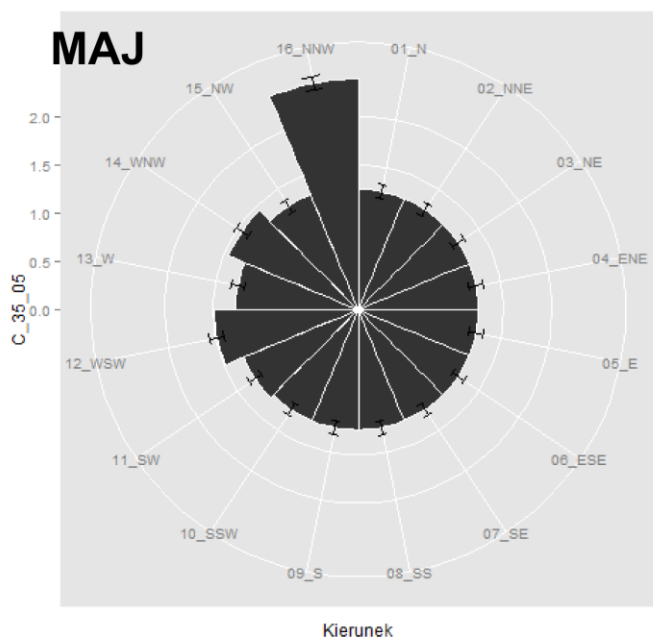
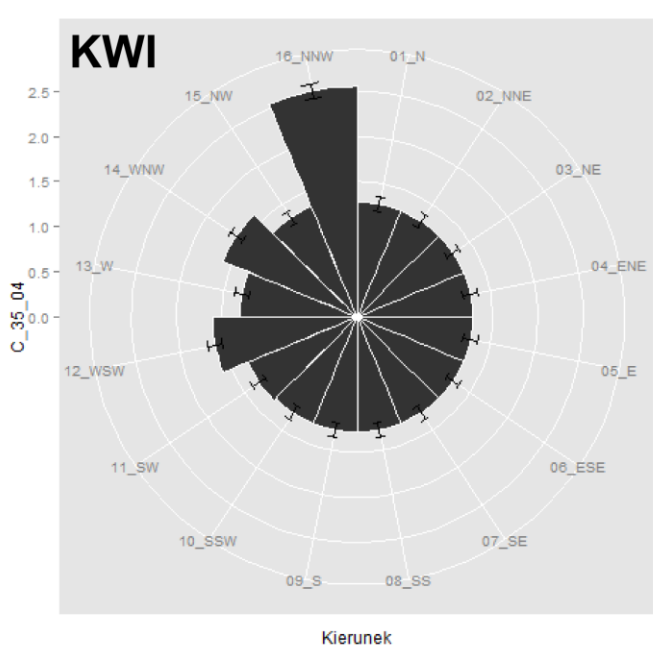
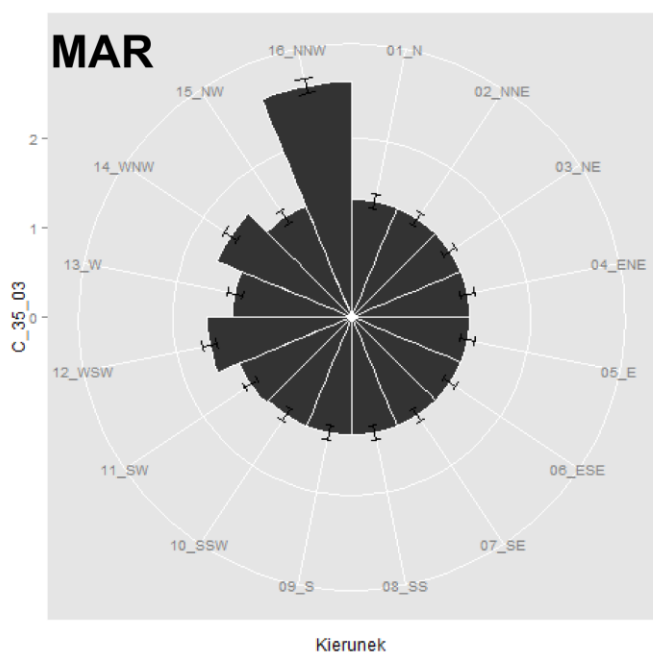
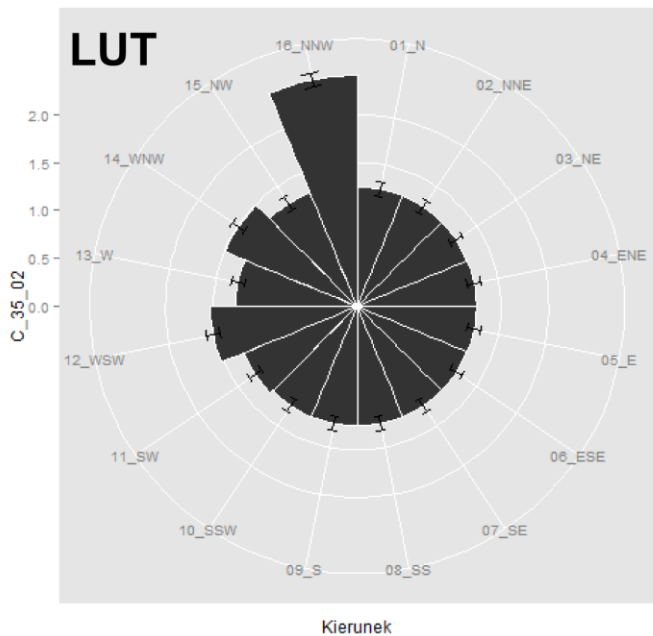
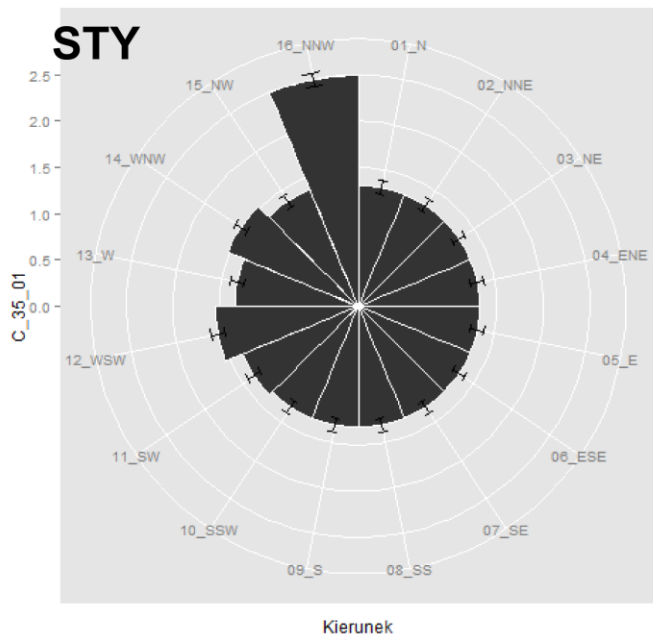
Rys. 13b. Dystrybucja tracera pasywnego ($\mu\text{g/g}$) na stacji 33.



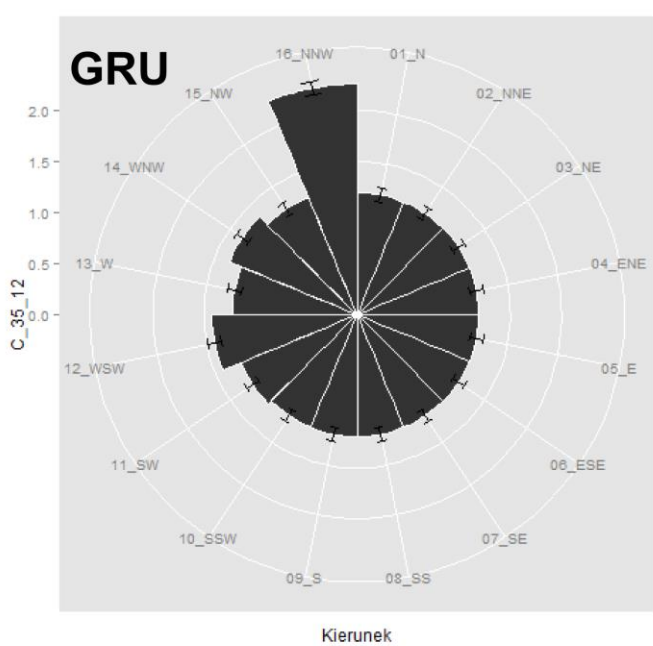
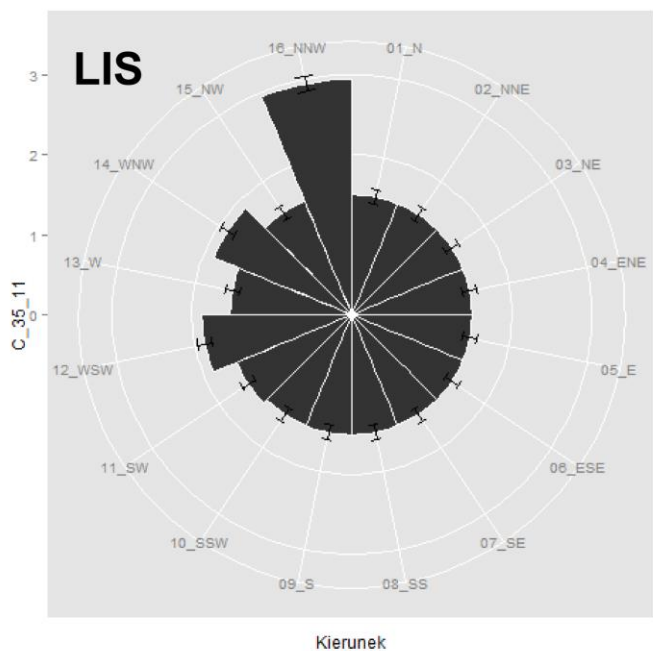
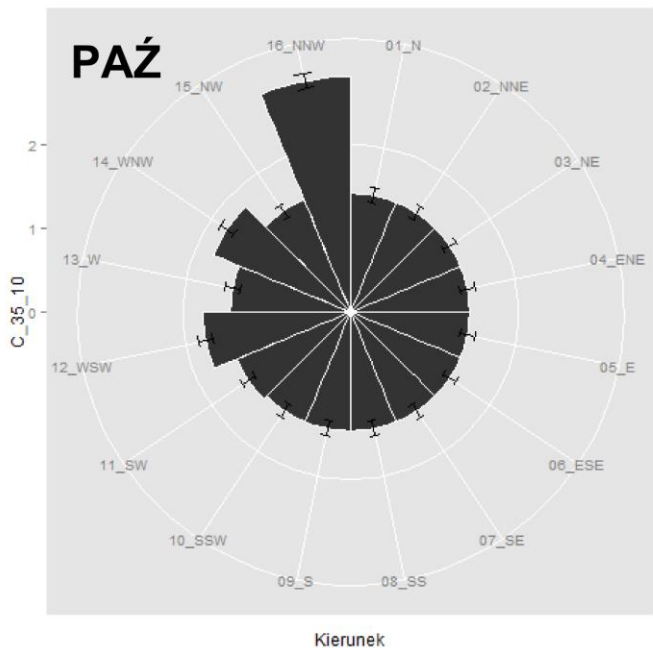
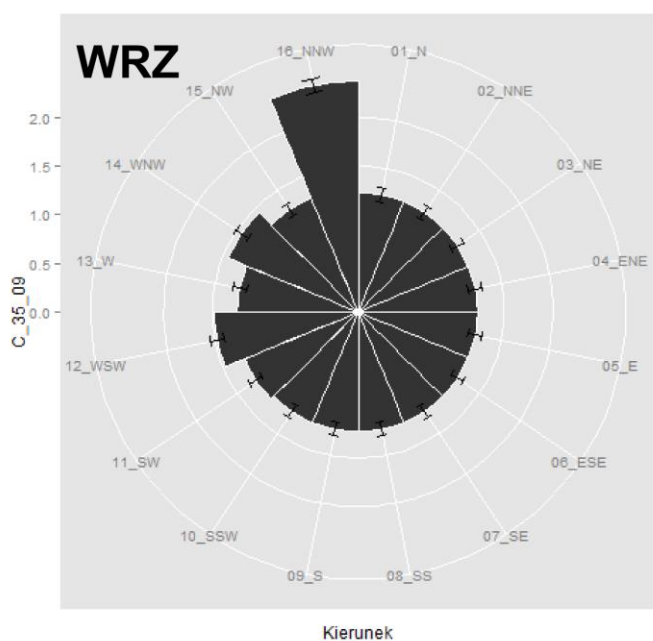
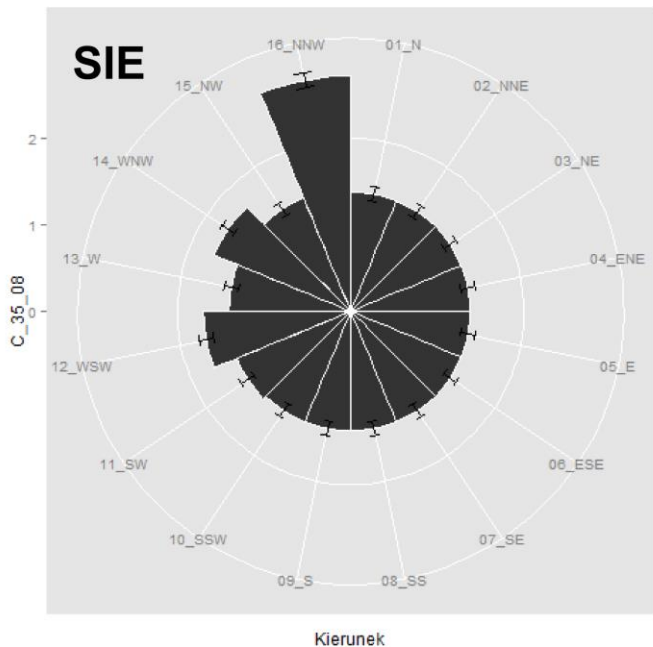
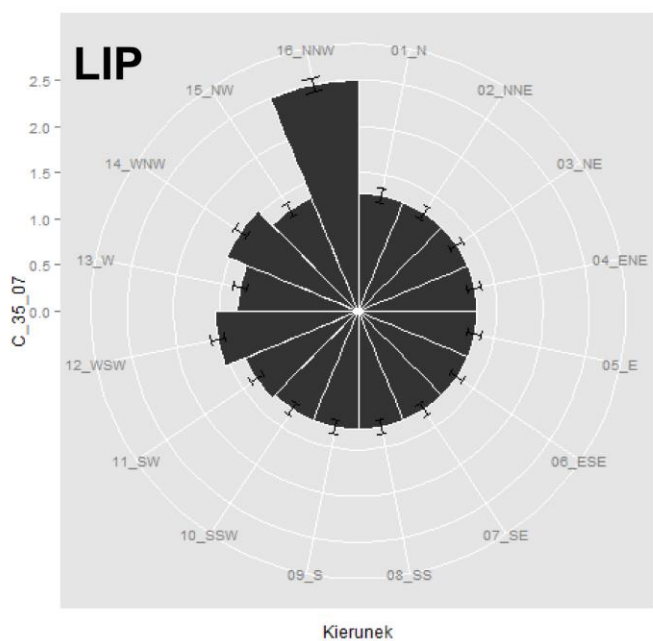
Rys. 14a. Dystrybucja tracera pasywnego ($\mu\text{g/g}$) na stacji 34.



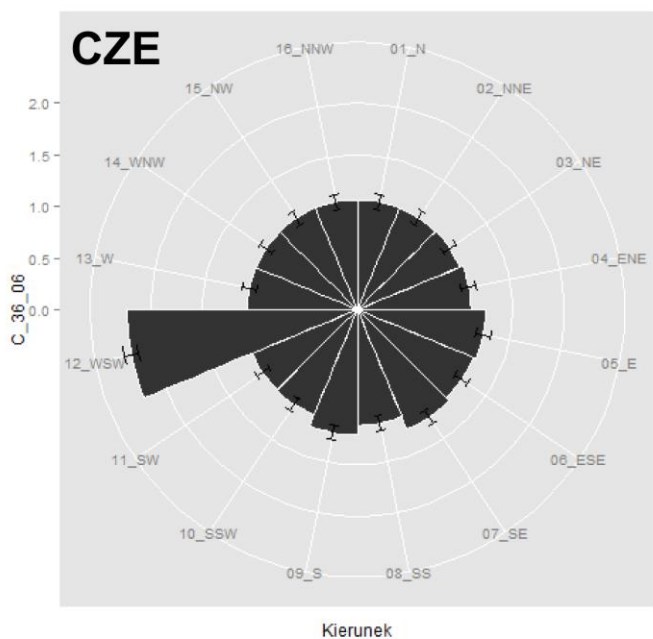
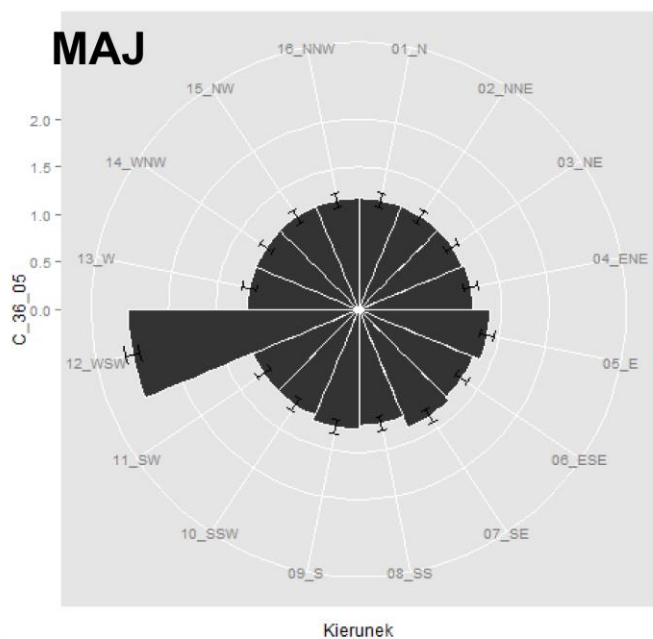
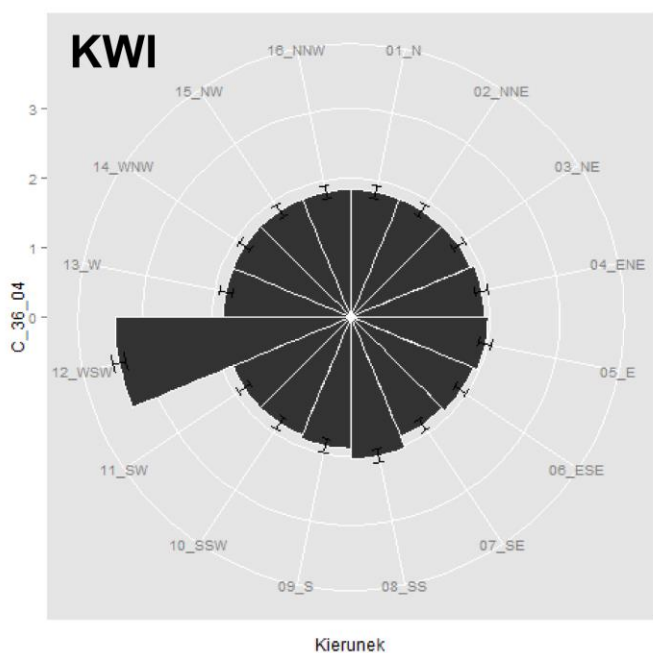
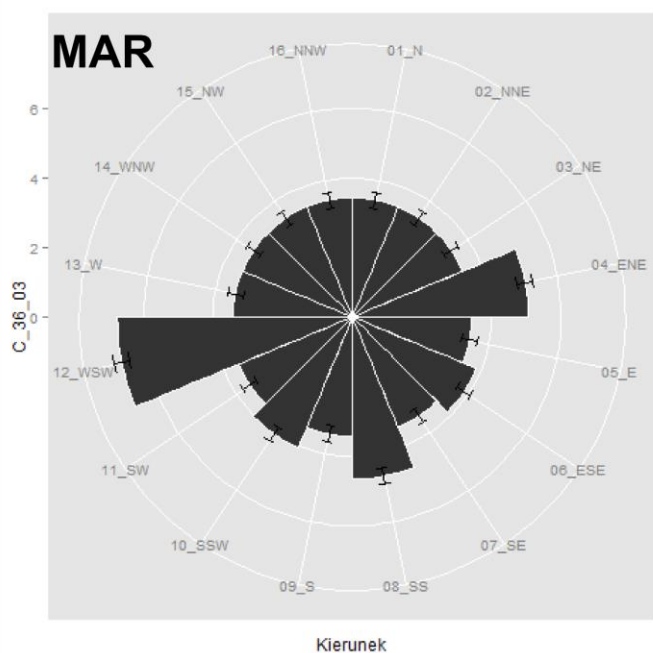
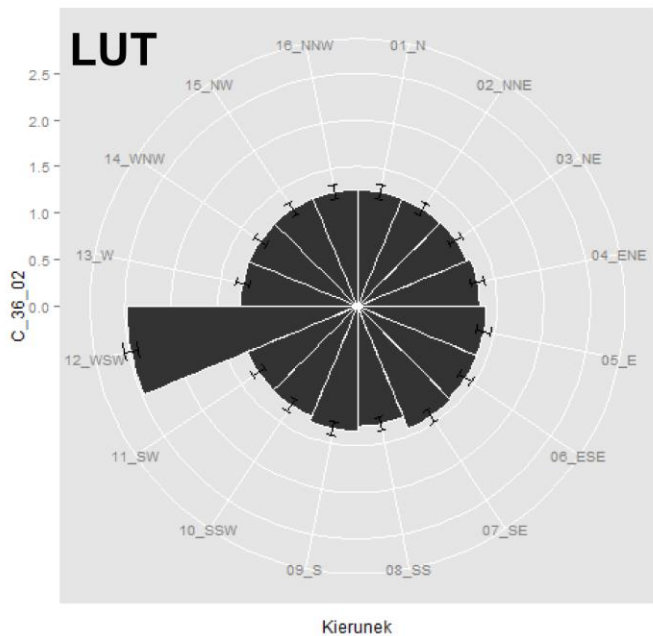
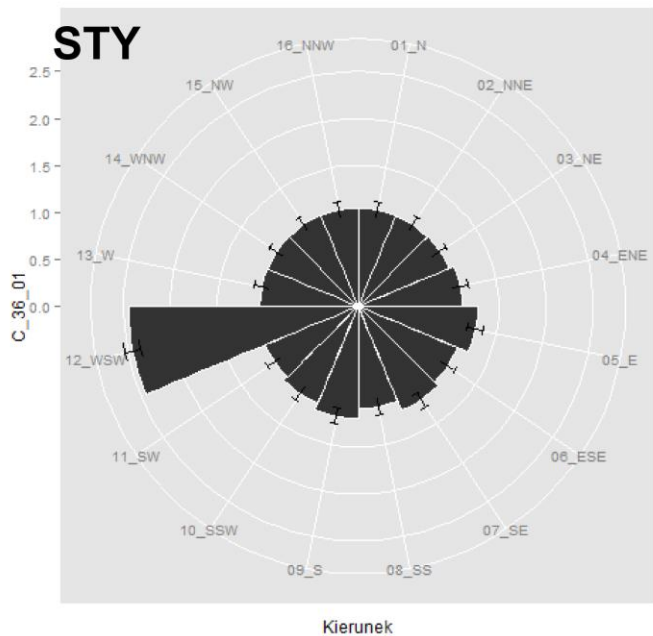
Rys. 14b. Dystrybucja tracera pasywnego ($\mu\text{g/g}$) na stacji 34.



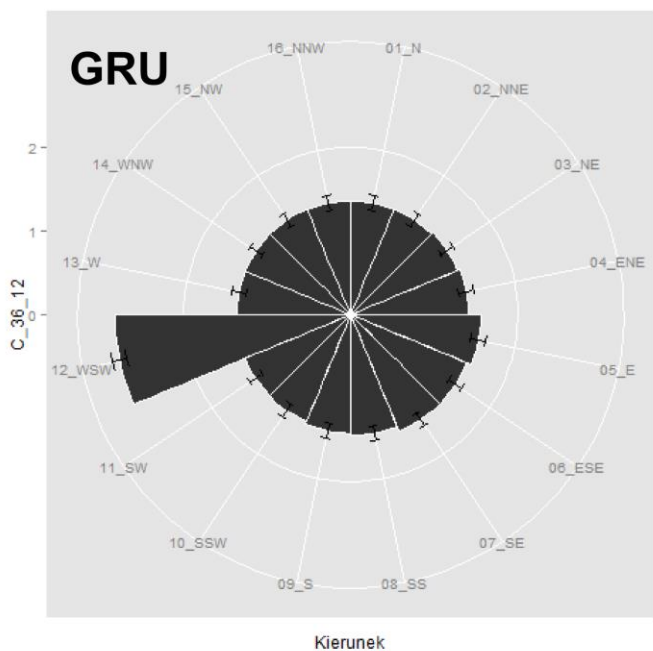
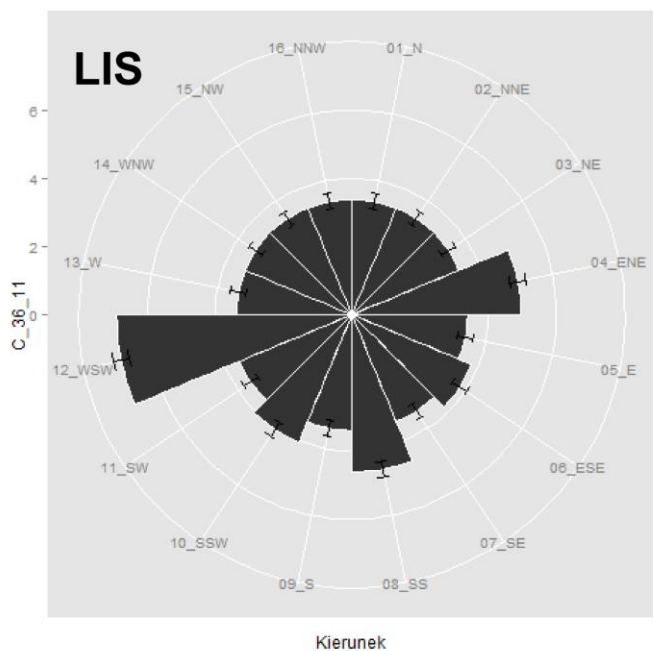
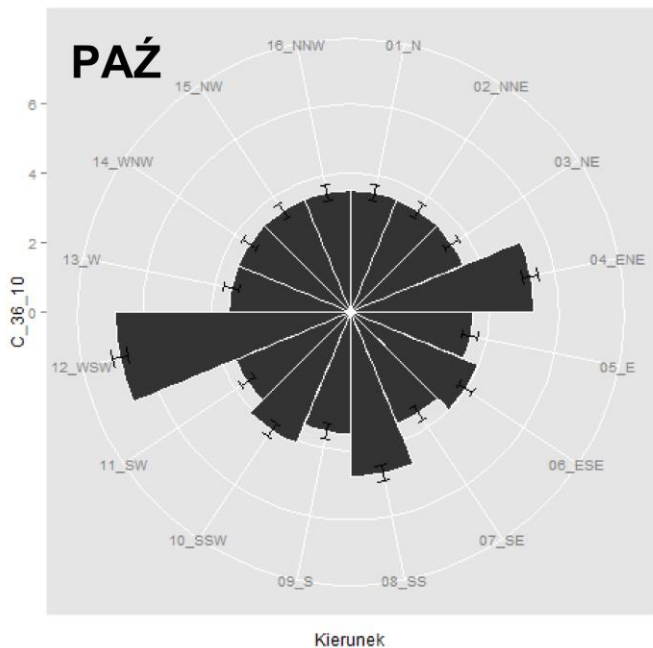
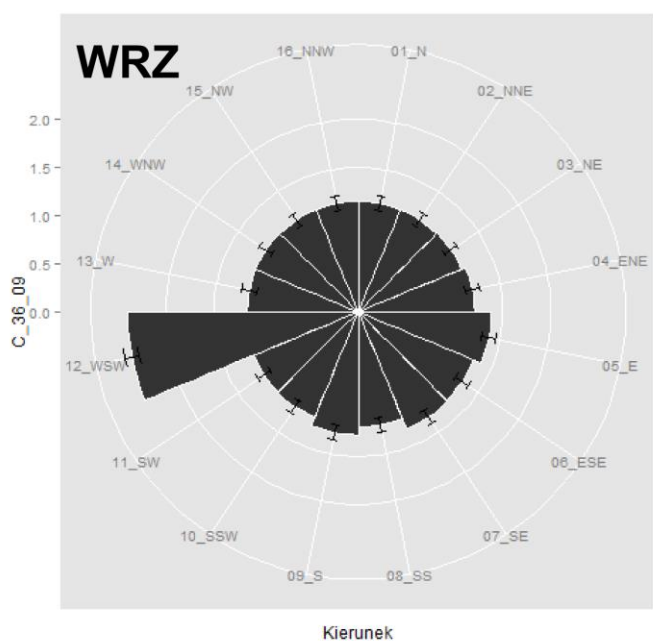
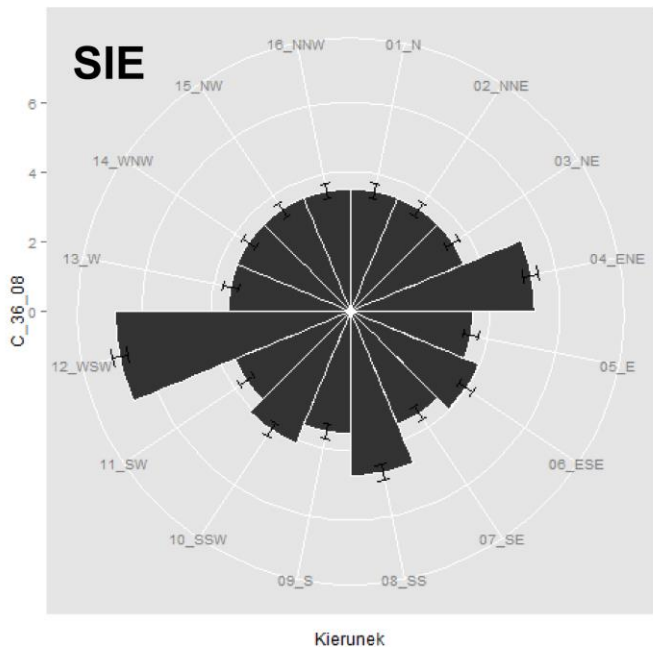
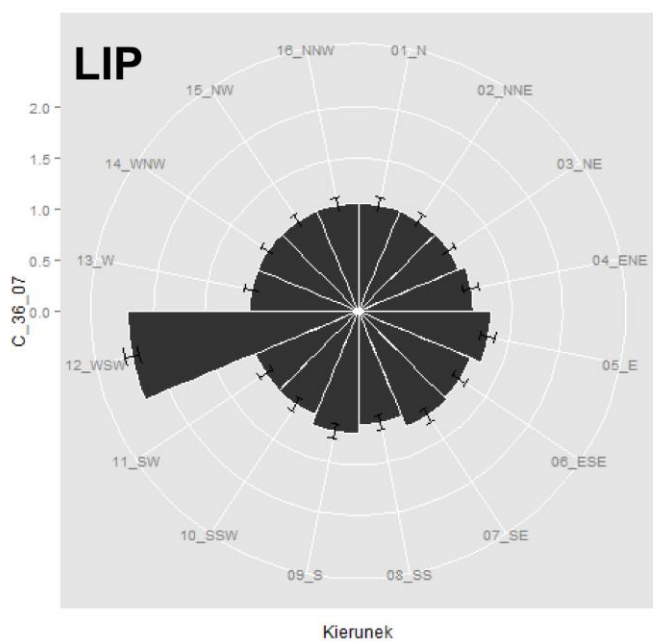
Rys. 15a. Dystrybucja tracera pasywnego ($\mu\text{g/g}$) na stacji 35.



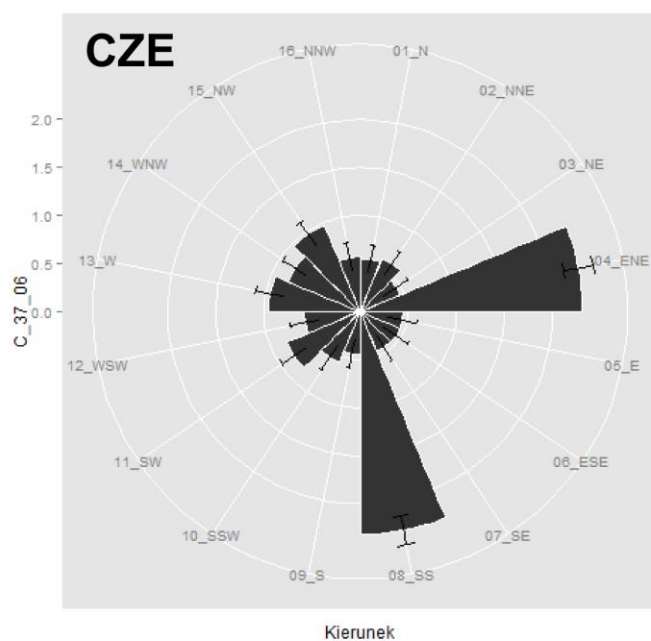
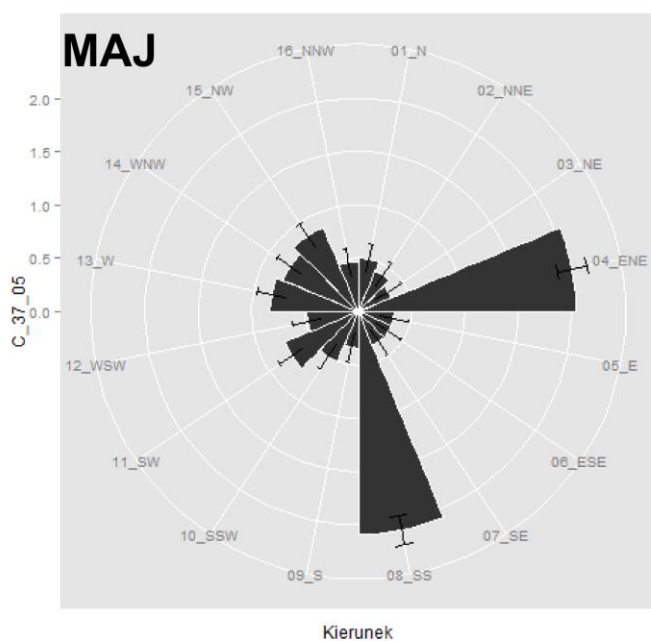
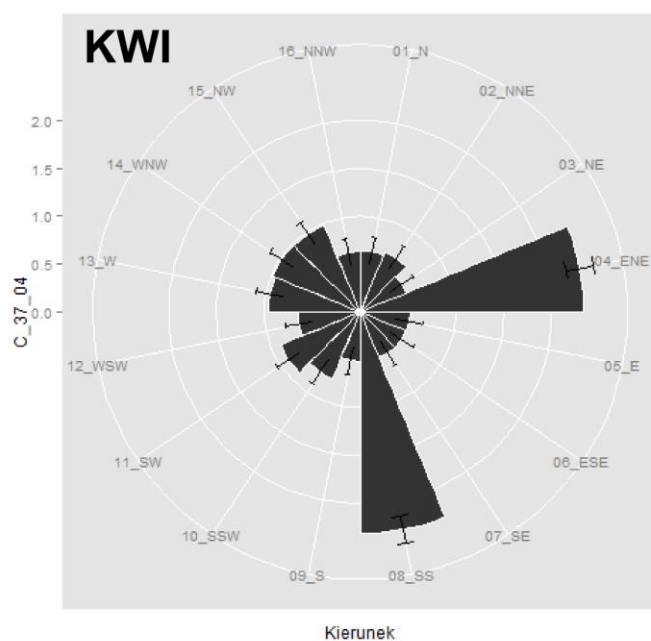
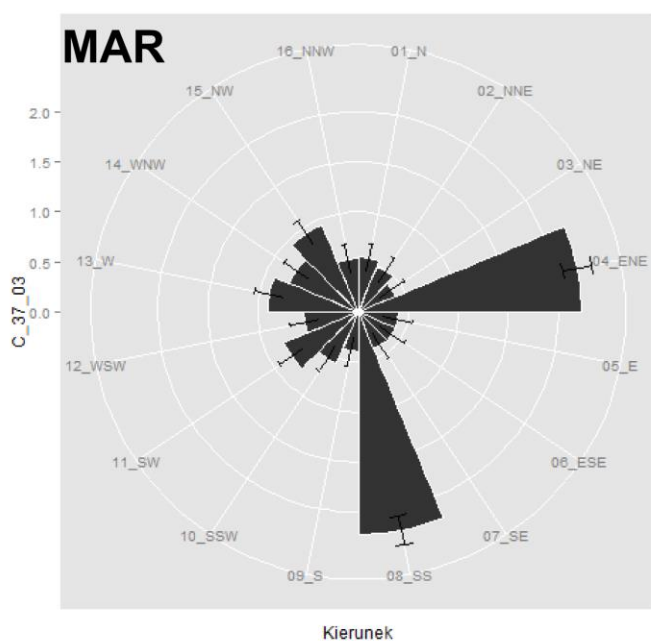
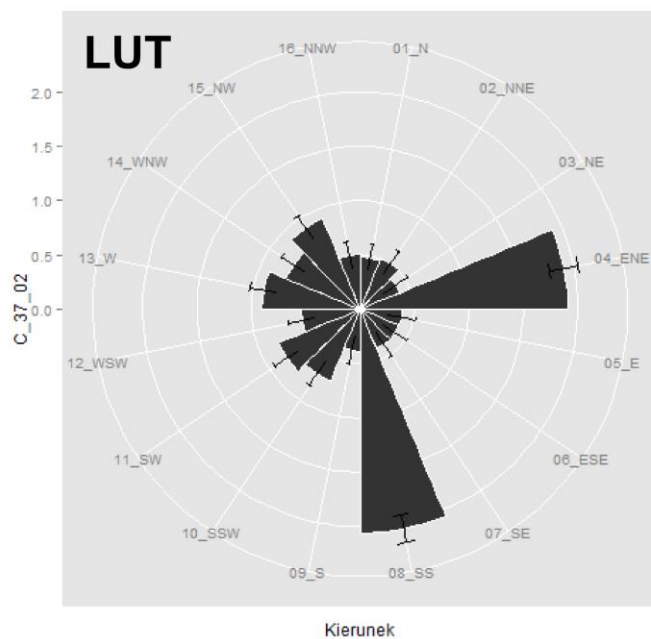
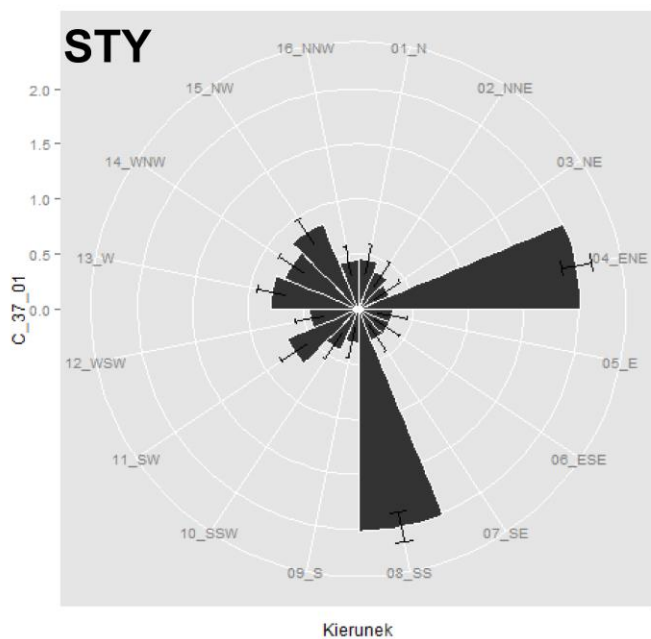
Rys. 15b. Dystrybucja trócynera pasywnego ($\mu\text{g/g}$) na stacji 35.



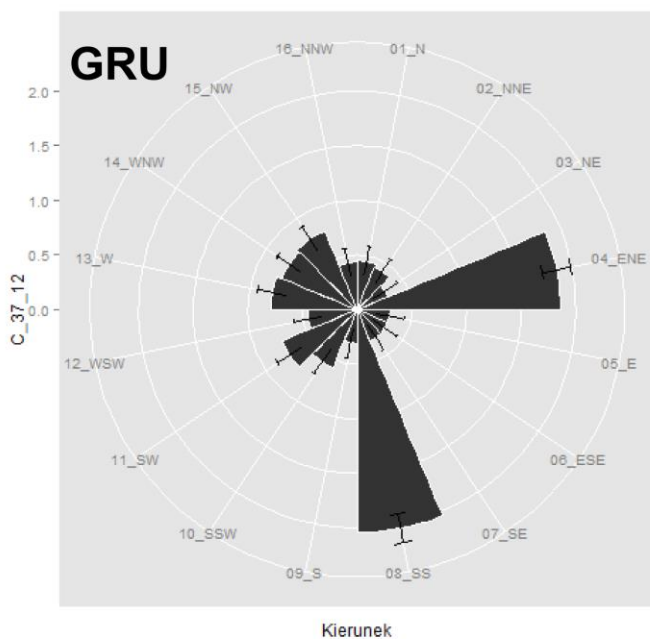
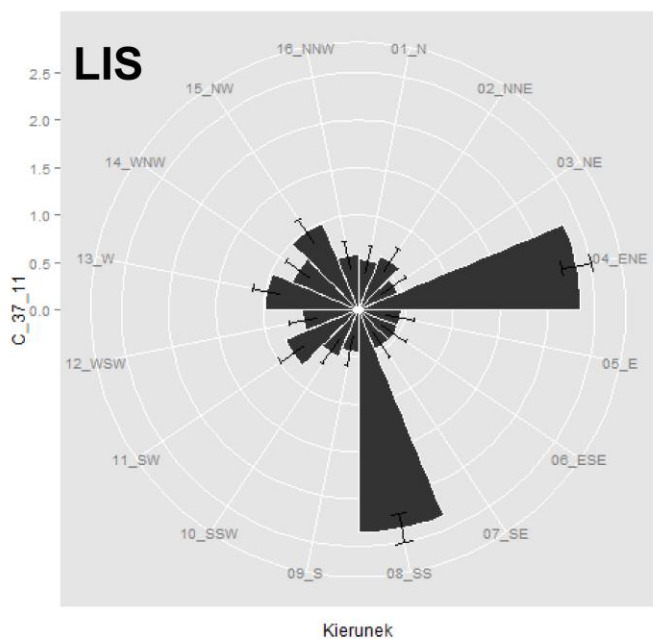
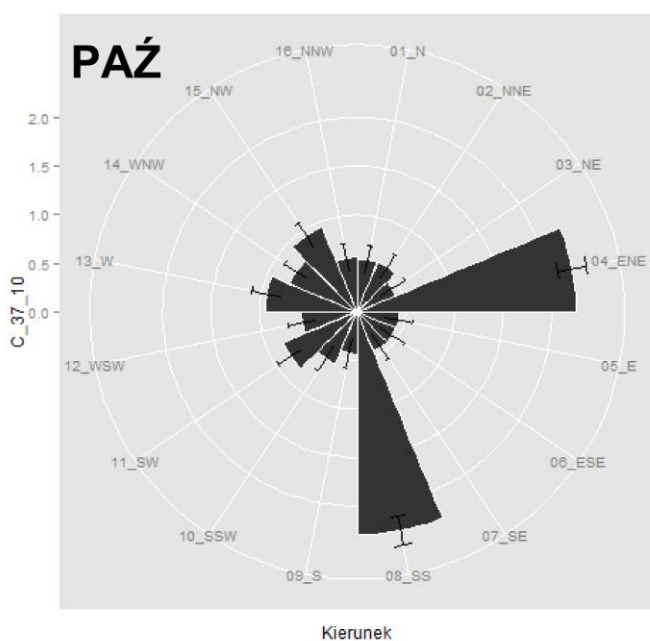
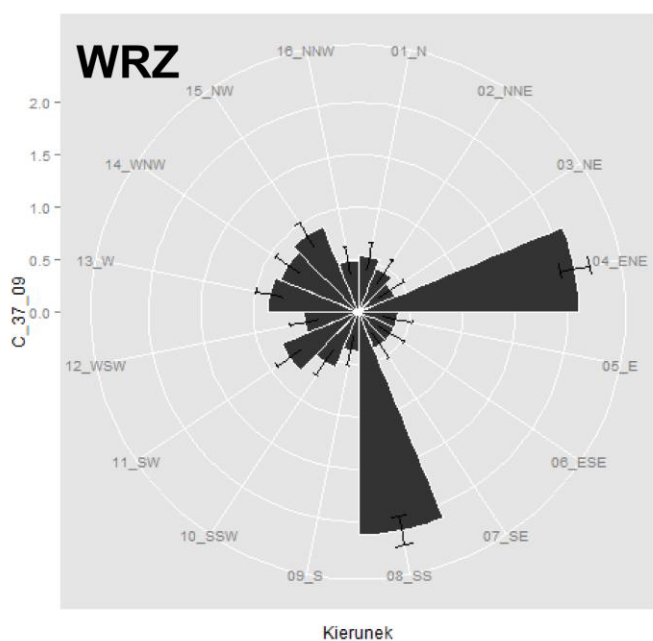
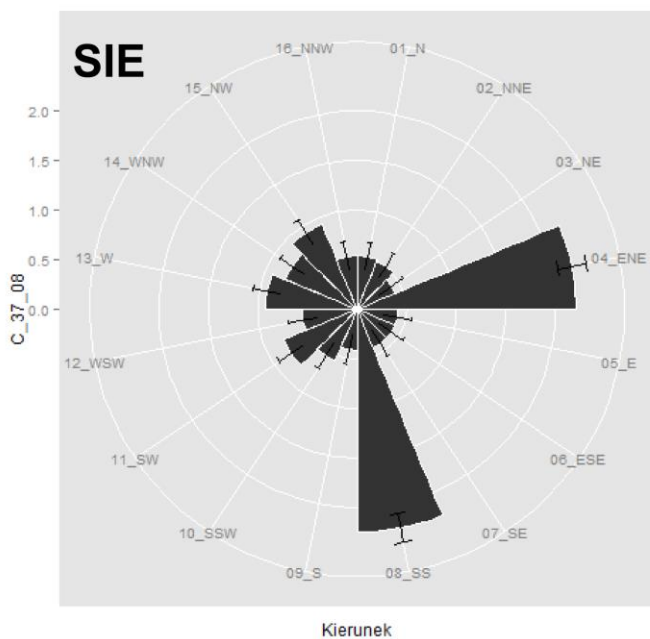
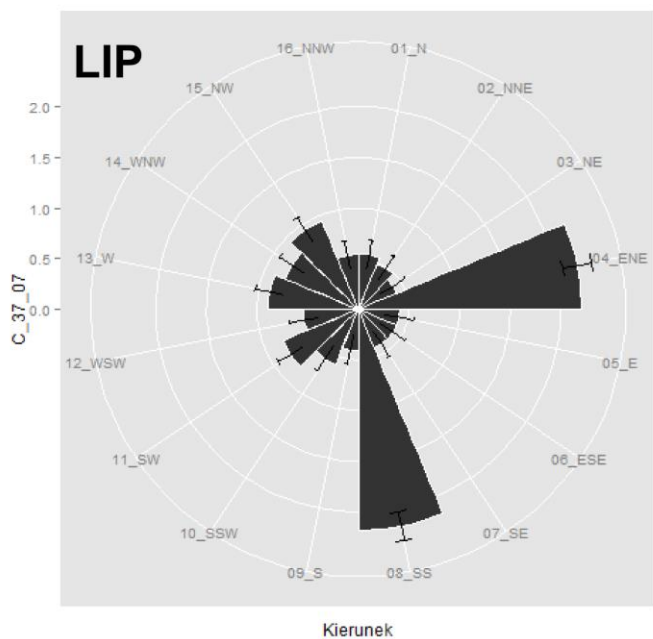
Rys. 16a. Dystrybucja tracza pasywnego ($\mu\text{g/g}$) na stacji 36.



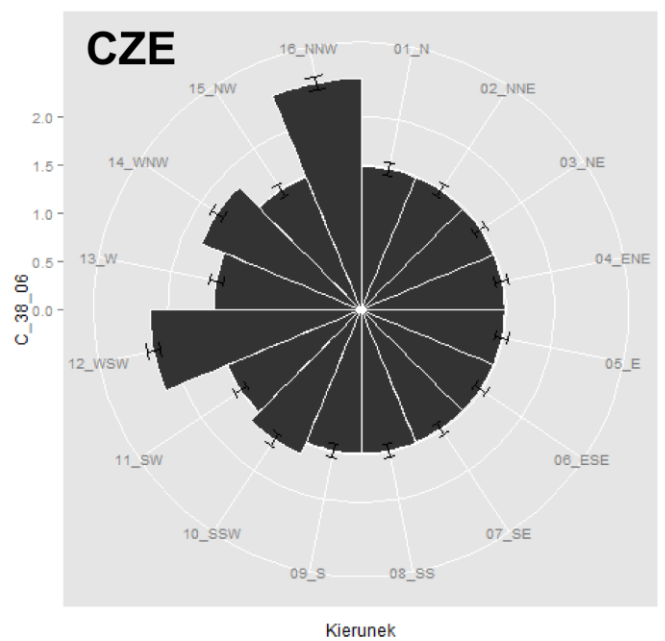
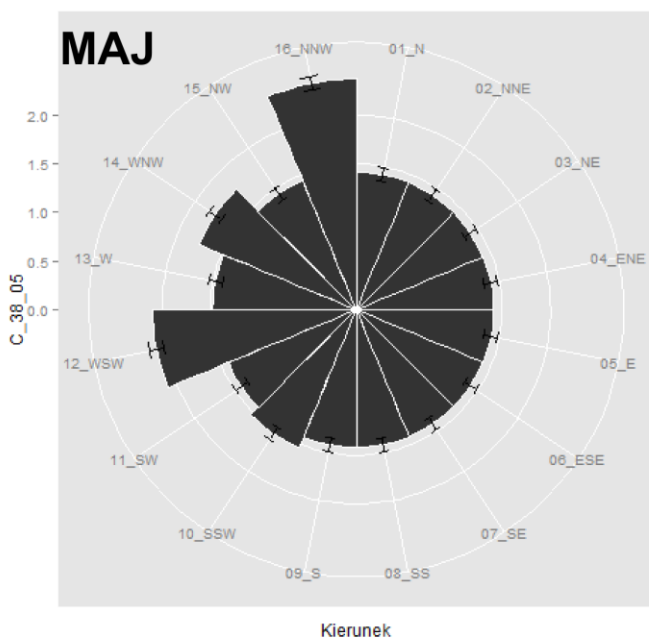
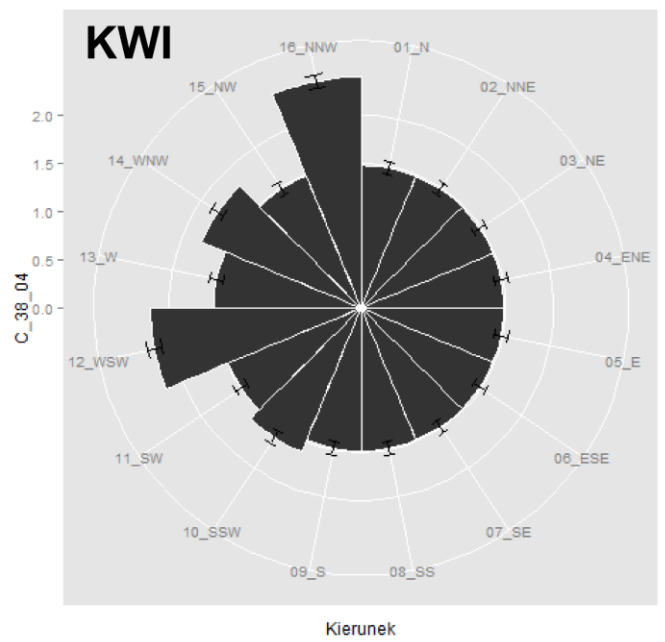
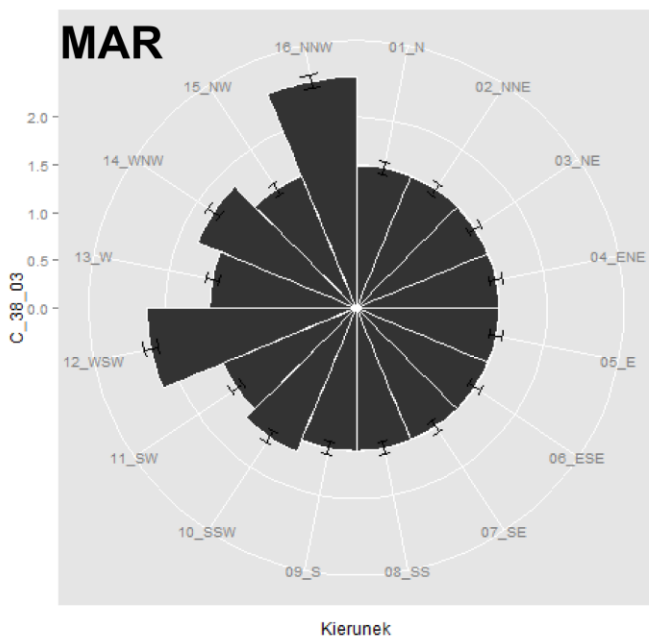
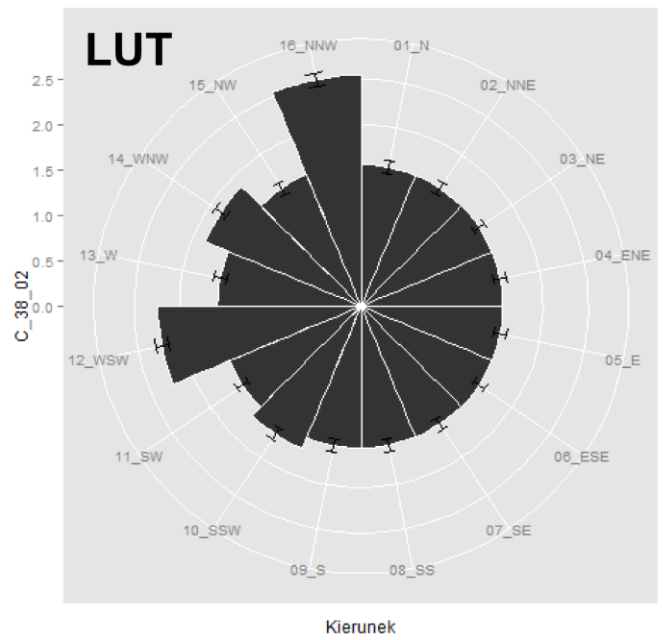
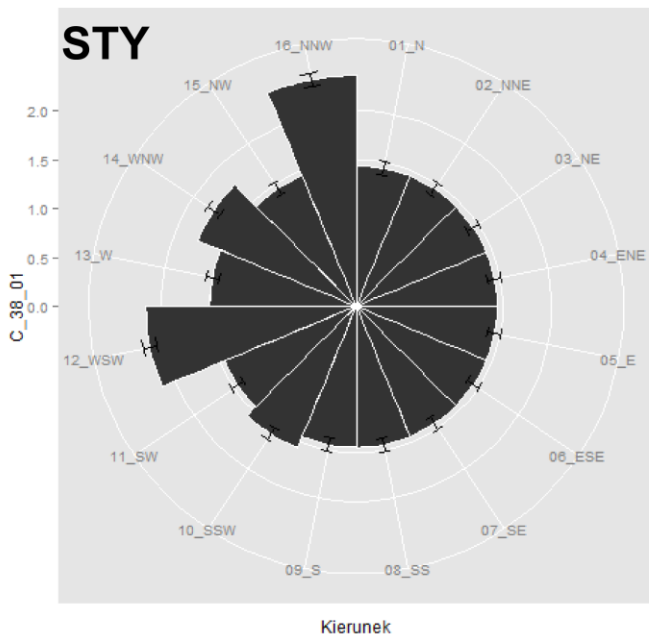
Rys. 16a. Dystrybucja tracera pasywnego ($\mu\text{g/g}$) na stacji 36.



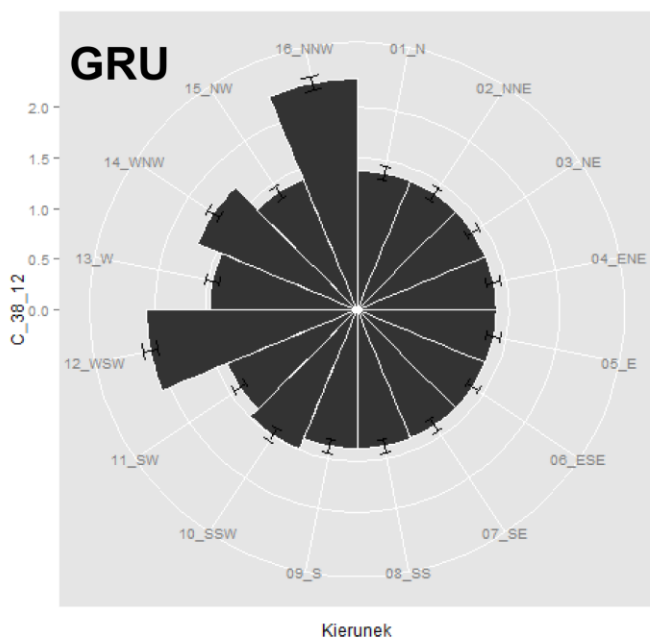
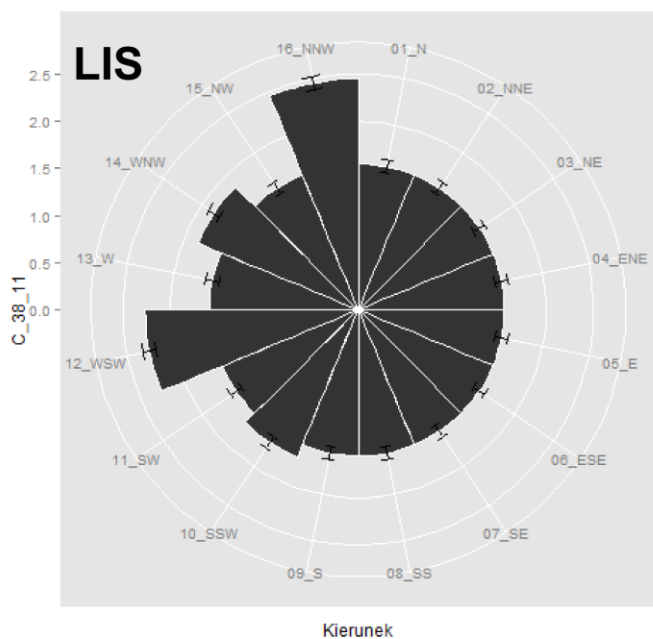
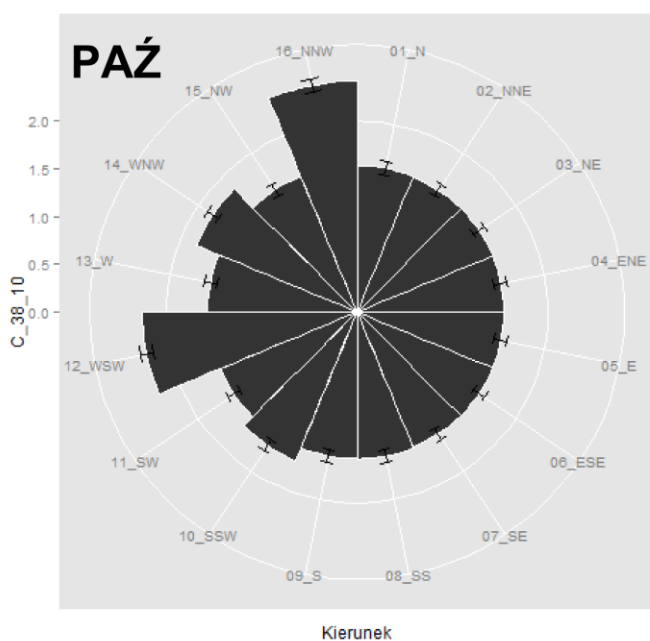
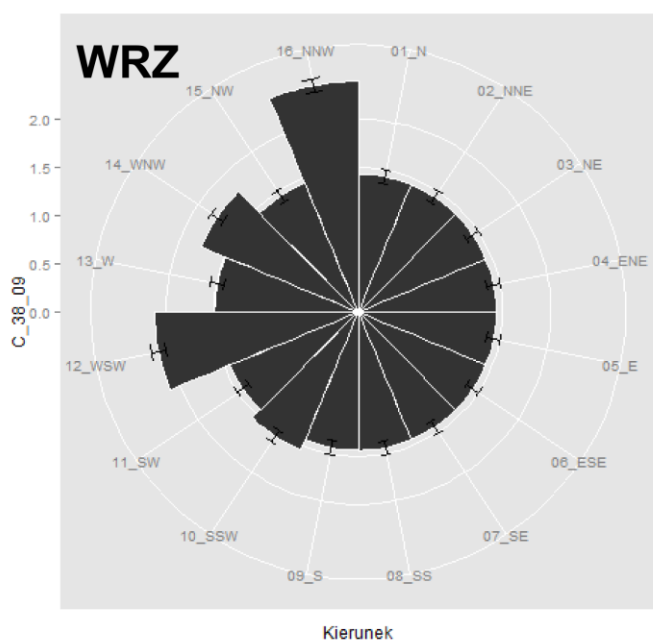
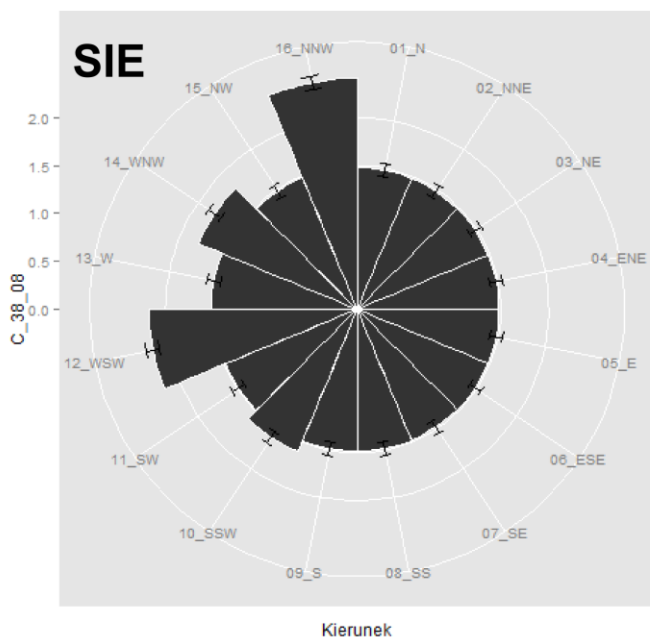
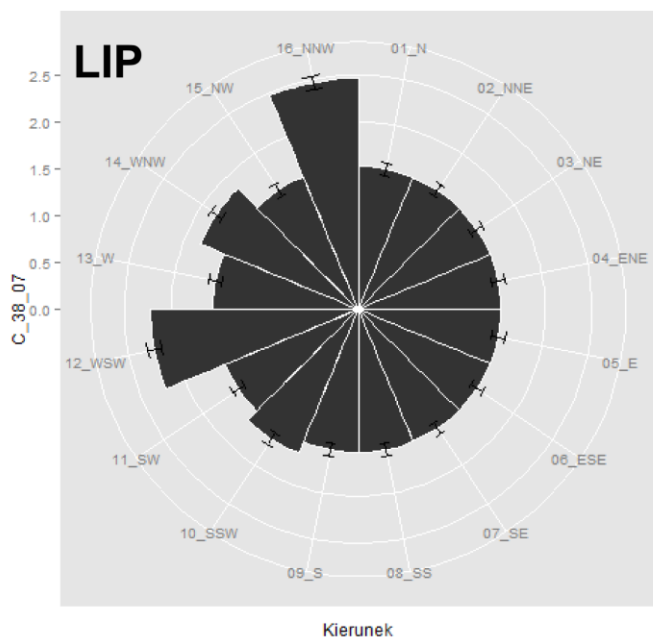
Rys. 17a. Dystrybucja trócyneru pasywnego ($\mu\text{g/g}$) na stacji 37.



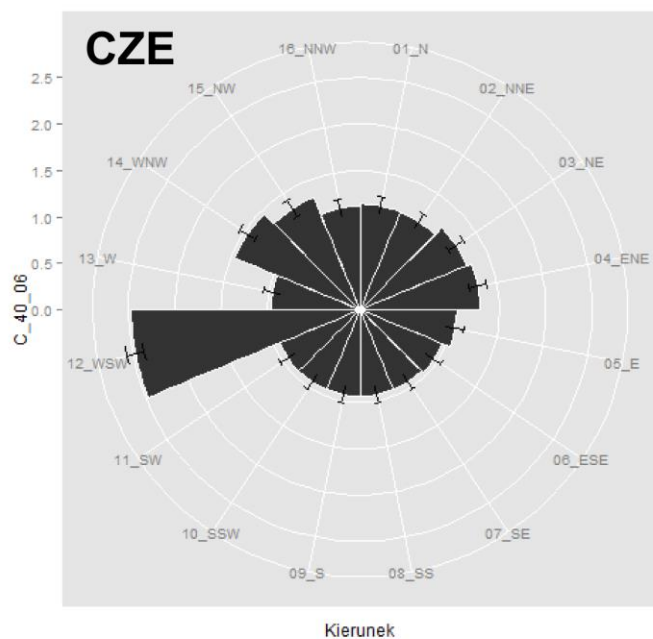
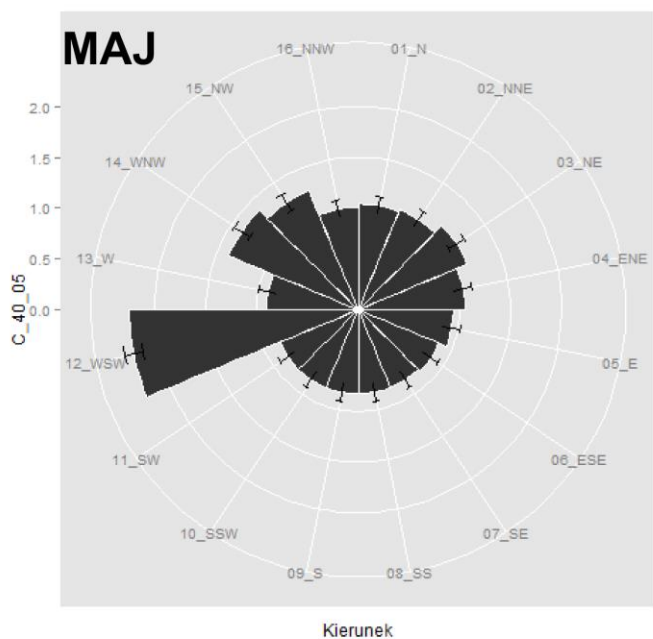
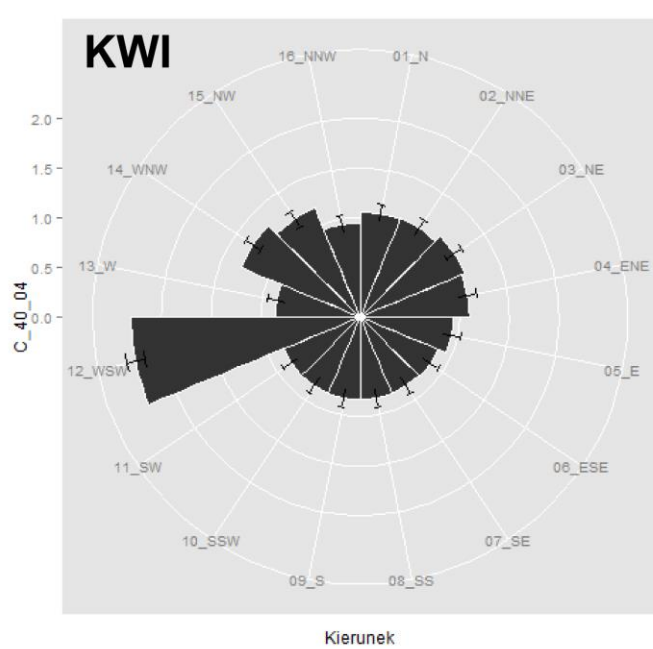
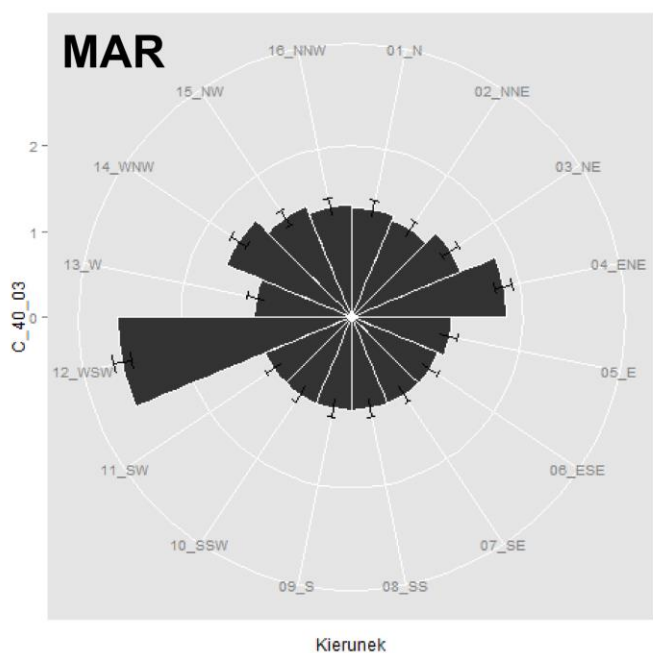
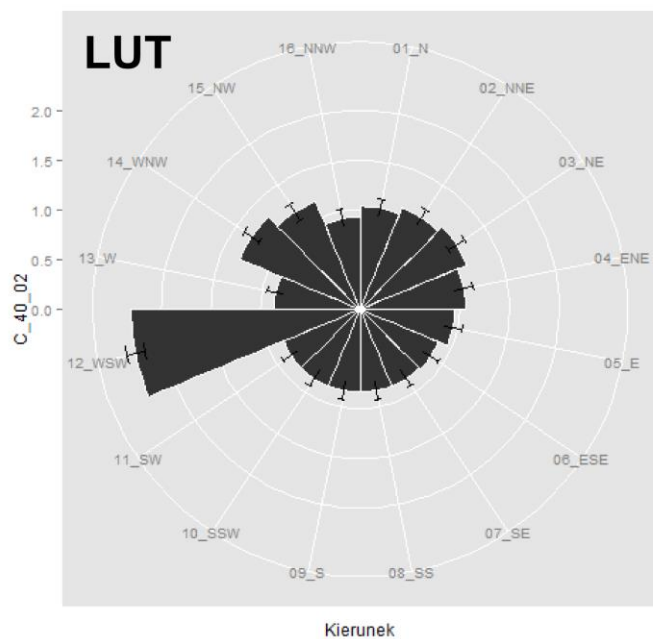
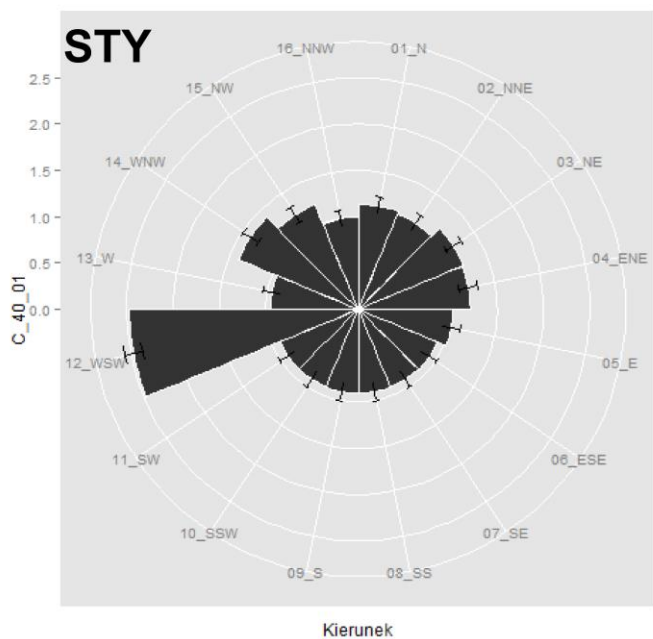
Rys. 17b. Dystrybucja tracersa pasywnego ($\mu\text{g/g}$) na stacji 37.



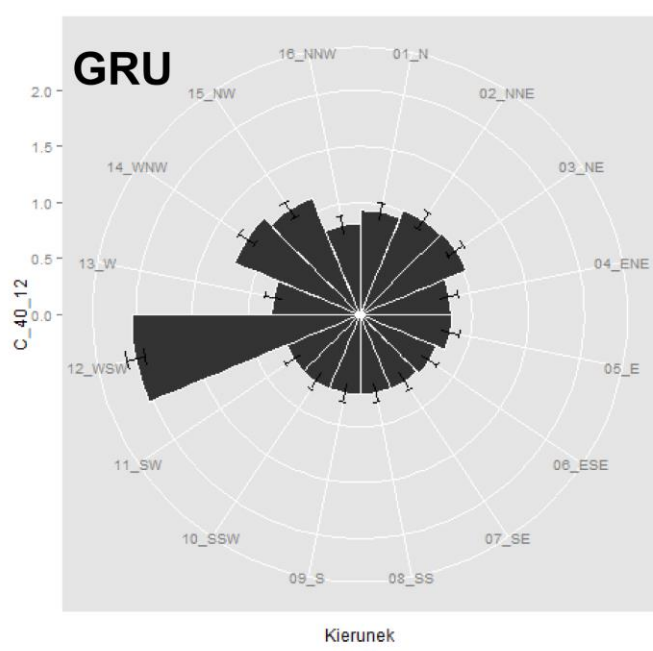
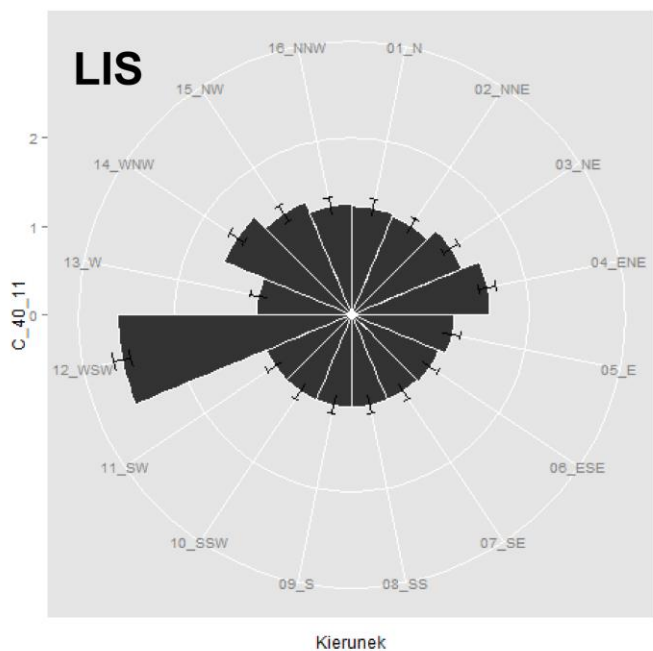
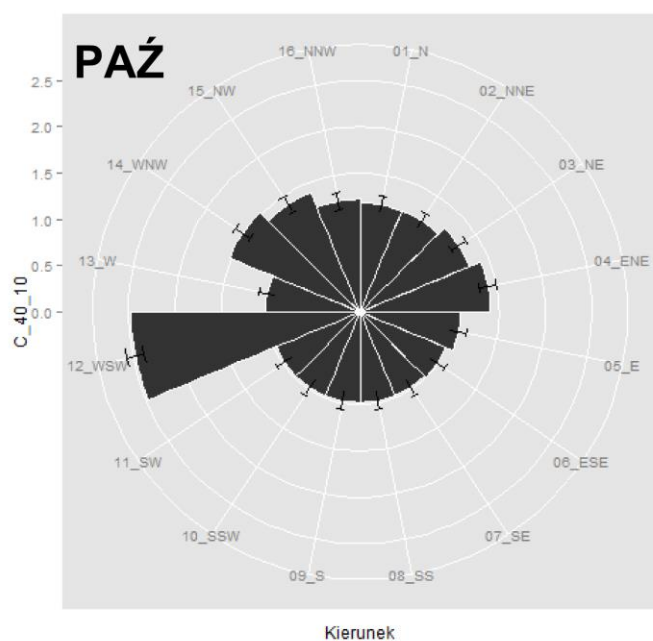
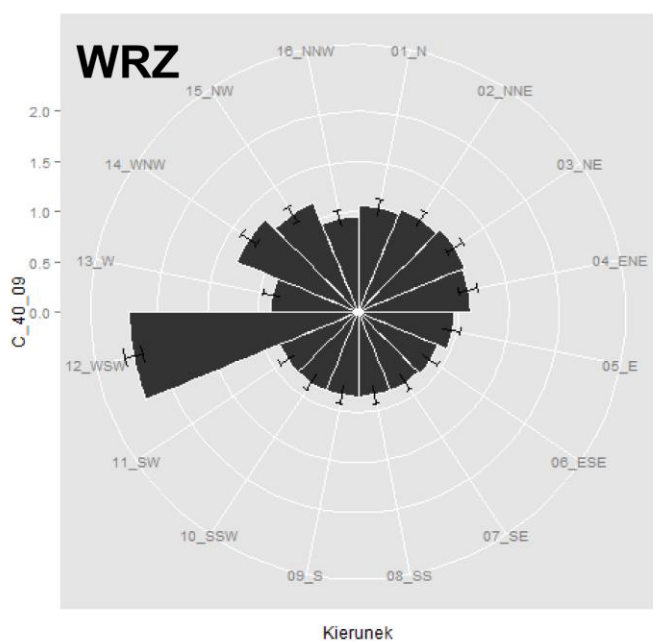
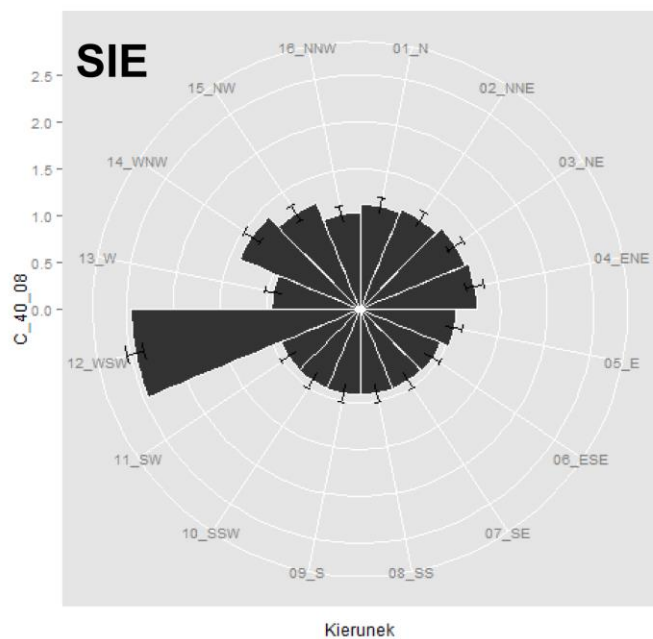
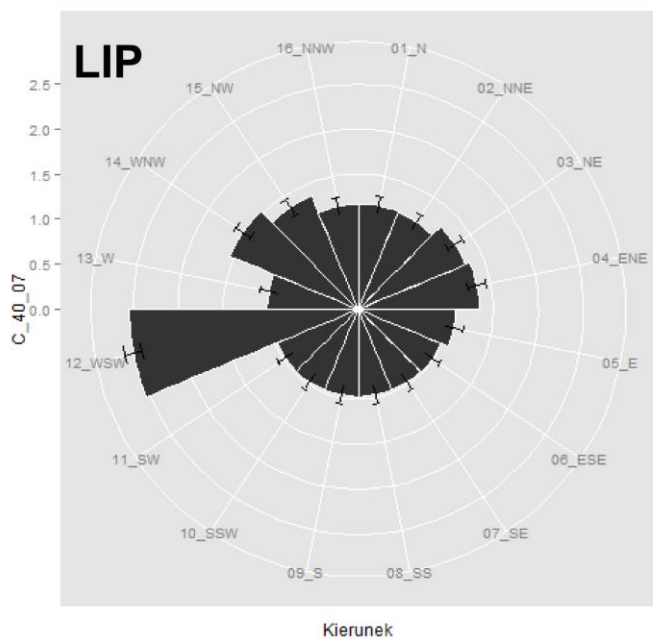
Rys. 18a. Dystrybucja trócyfenu pasywnego ($\mu\text{g/g}$) na stacji 38.



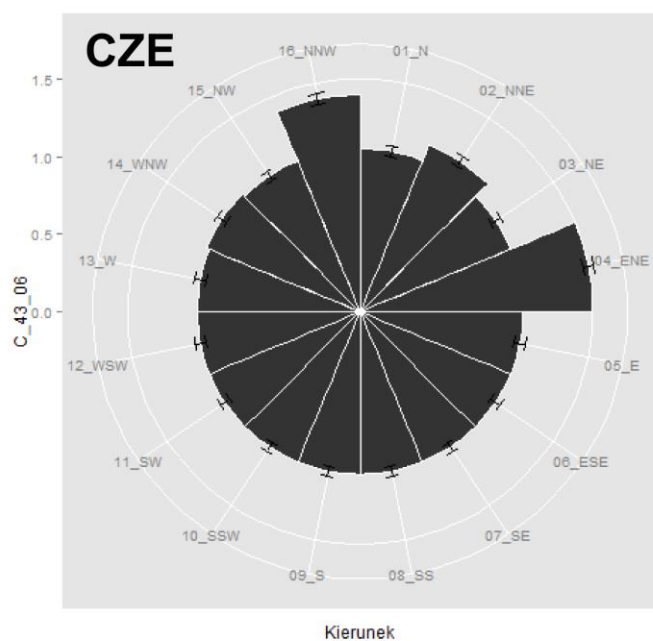
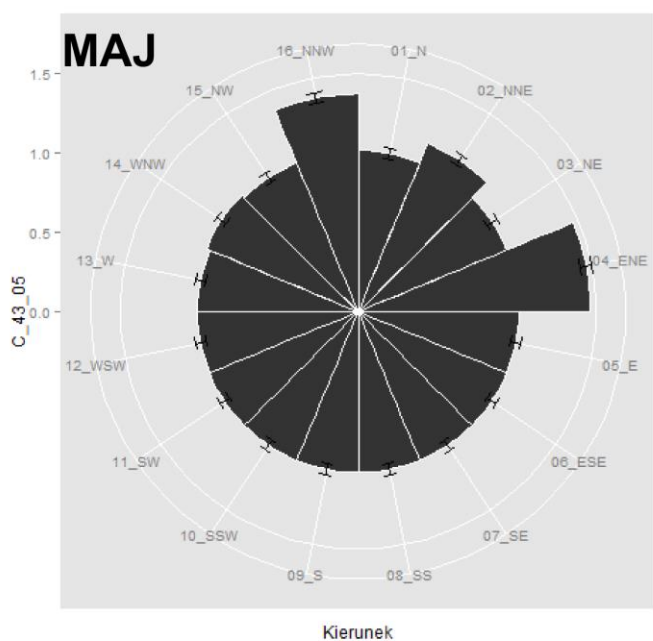
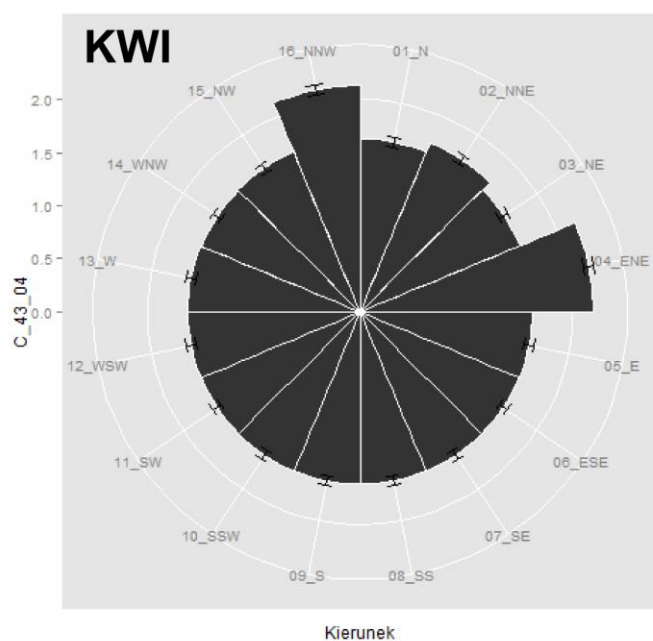
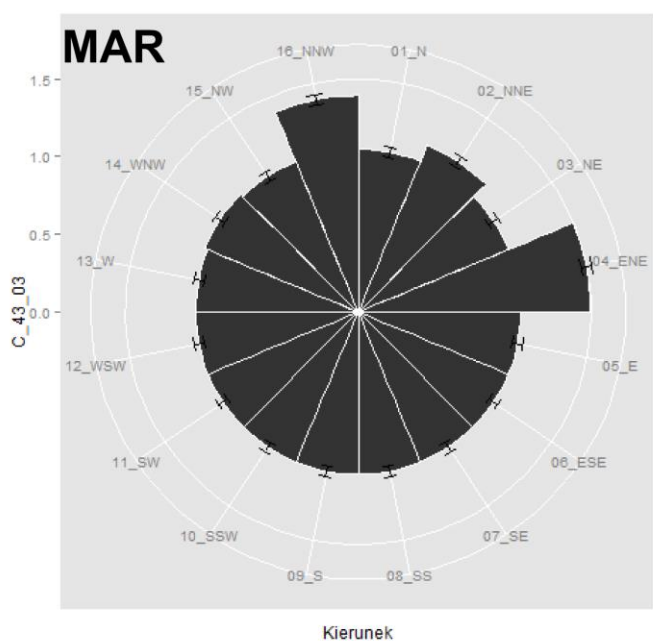
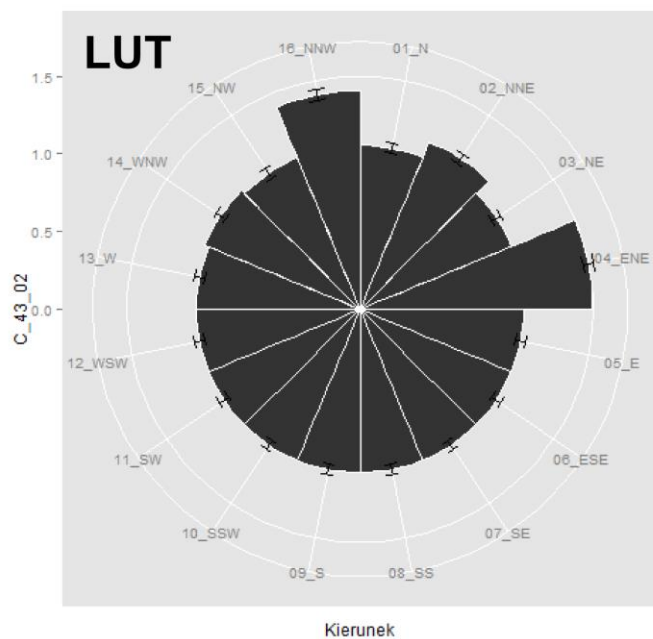
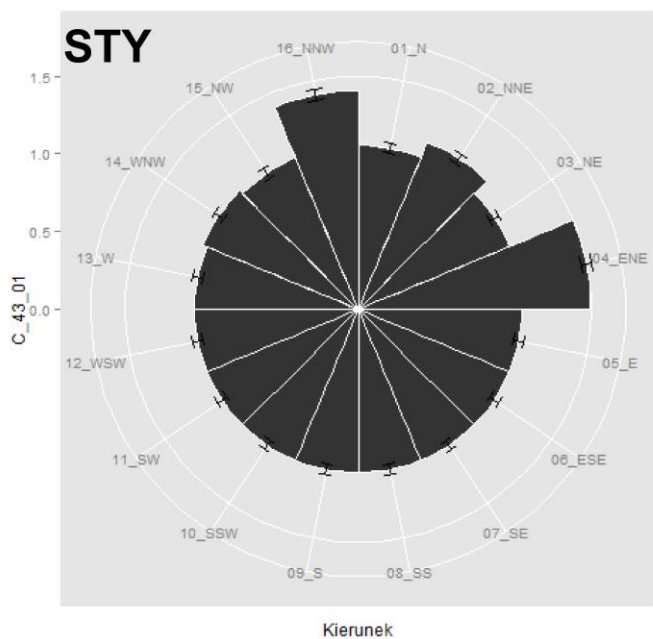
Rys. 18b. Dystrybucja trócyneru pasywnego ($\mu\text{g/g}$) na stacji 38.



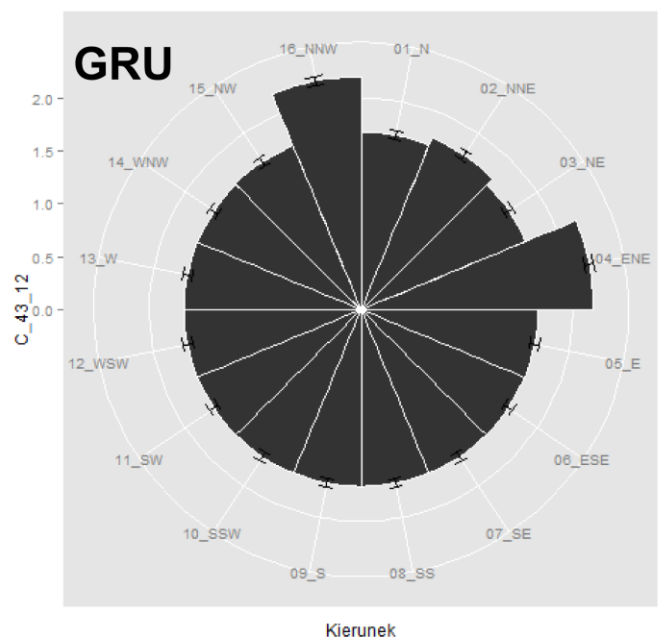
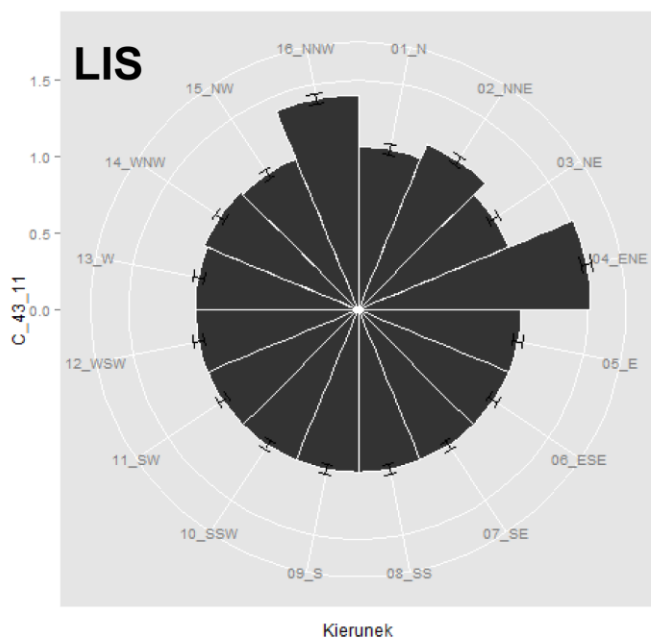
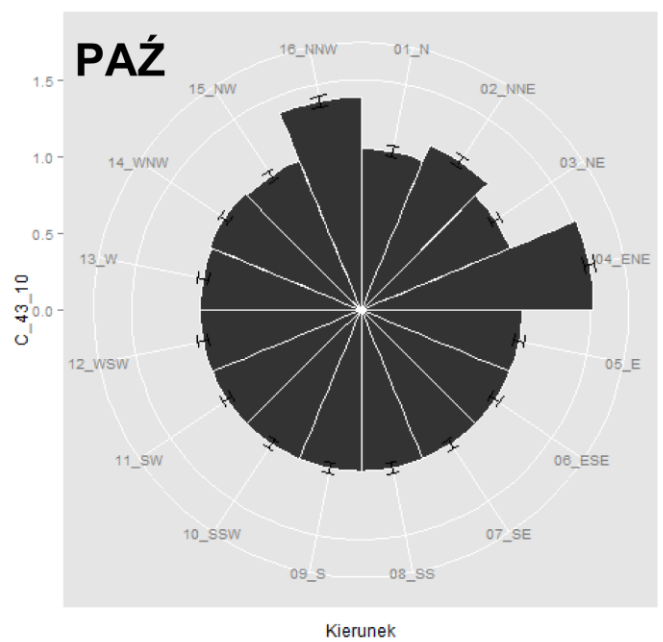
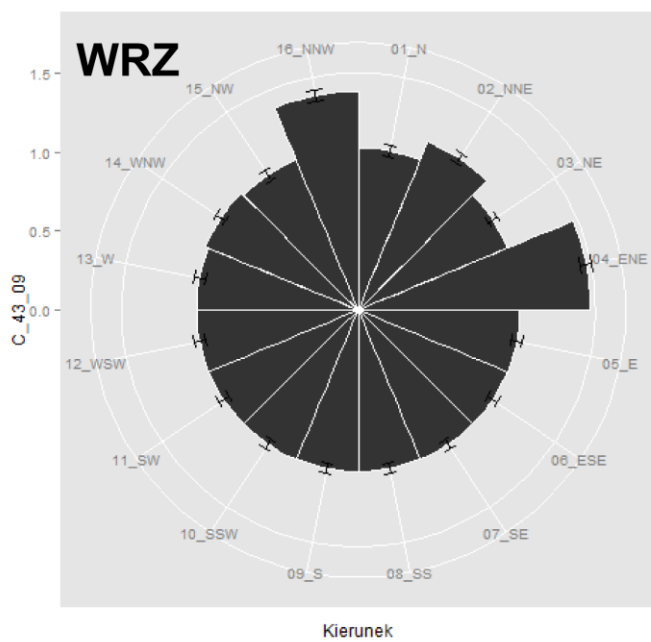
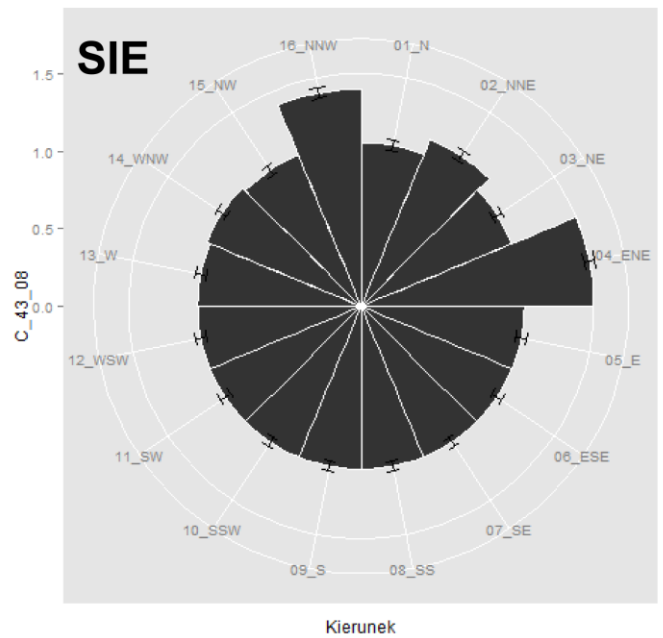
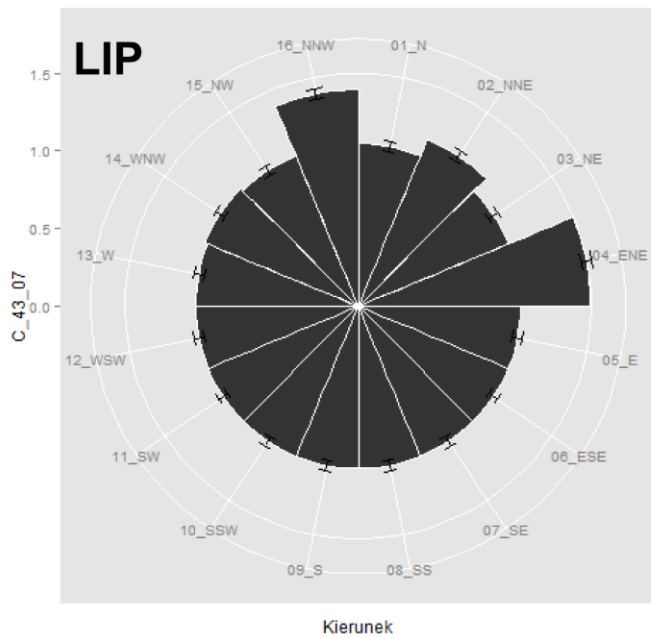
Rys. 19a. Dystrybucja tracera pasywnego ($\mu\text{g/g}$) na stacji 40.



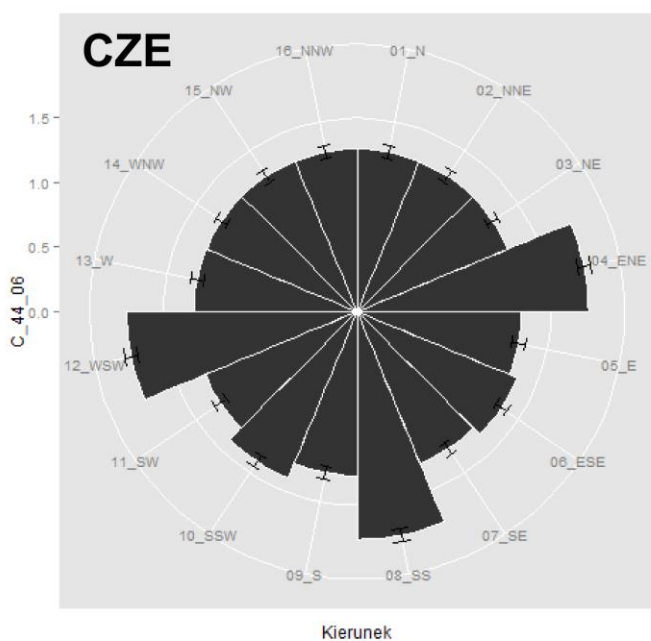
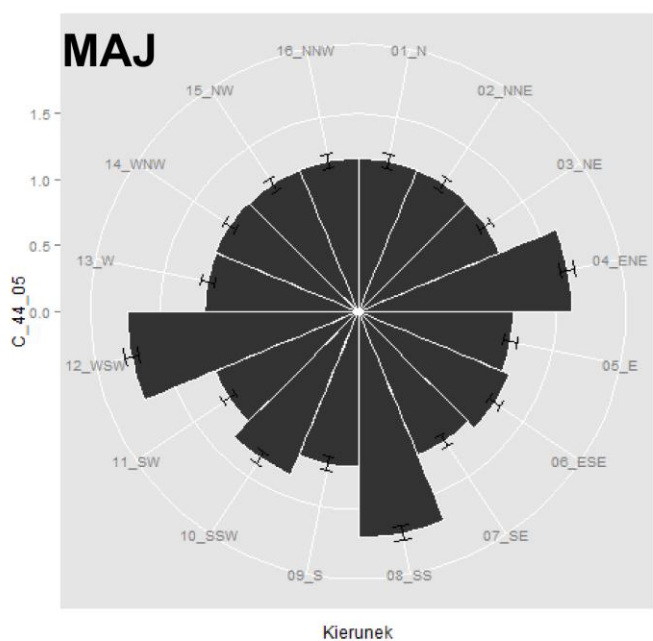
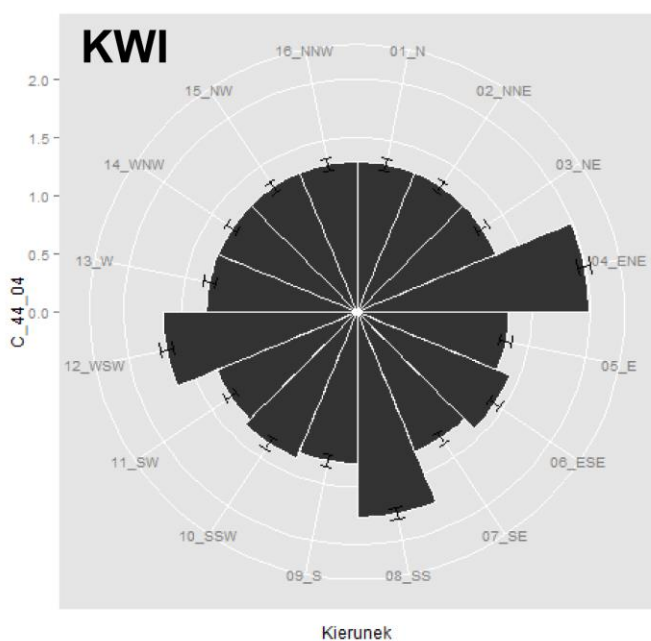
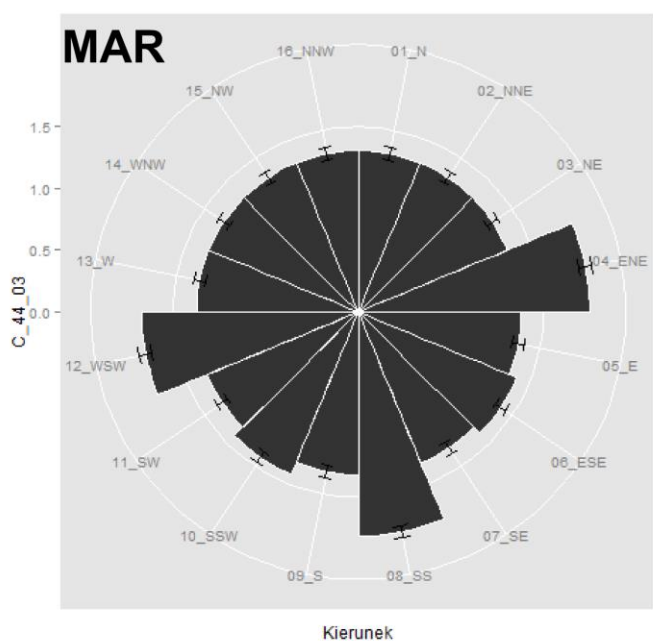
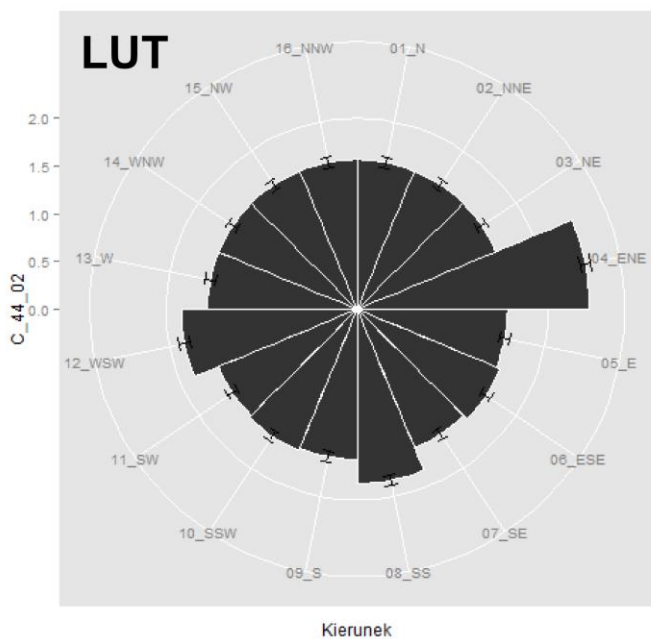
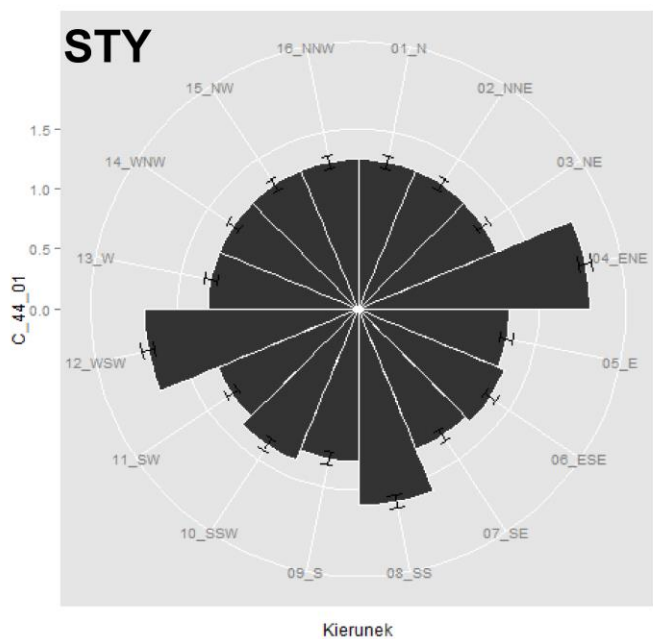
Rys. 19b. Dystrybucja tracersa pasywnego ($\mu\text{g/g}$) na stacji 40.



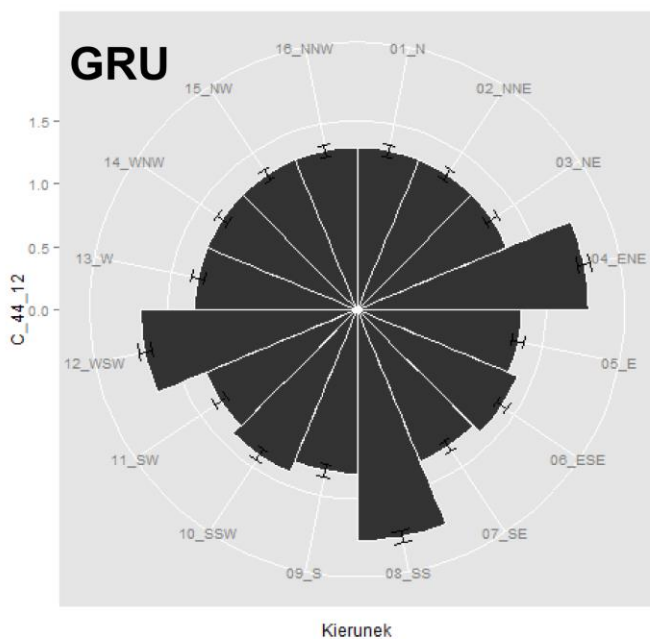
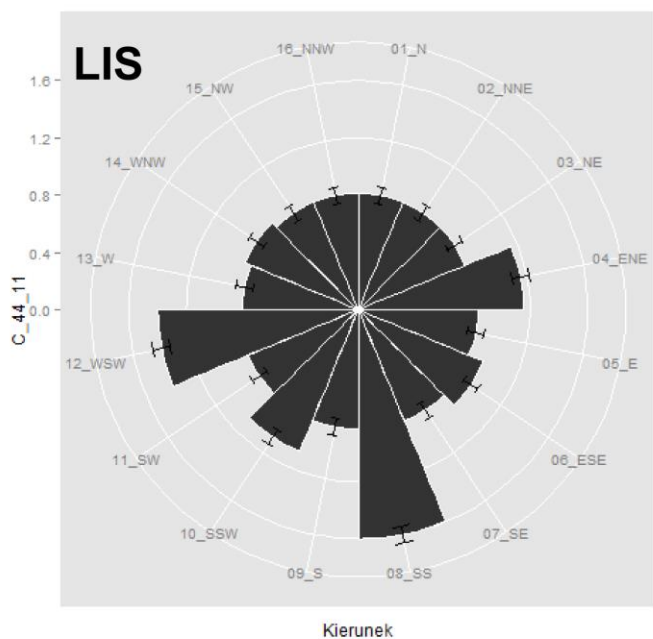
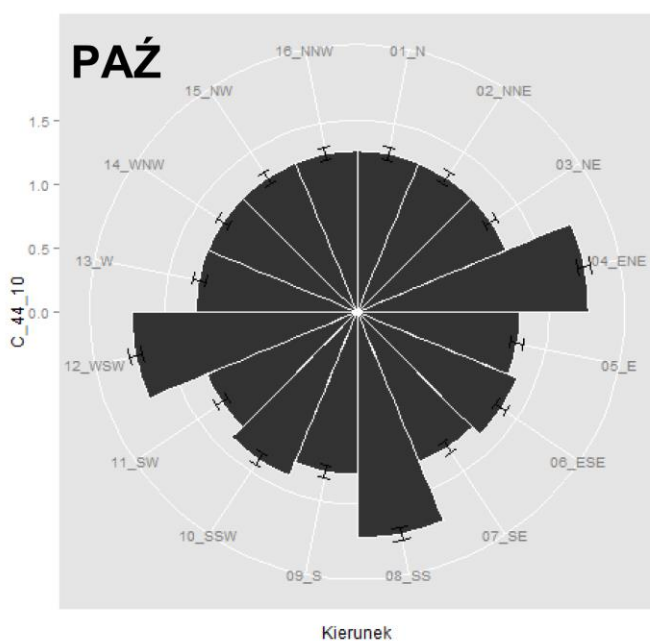
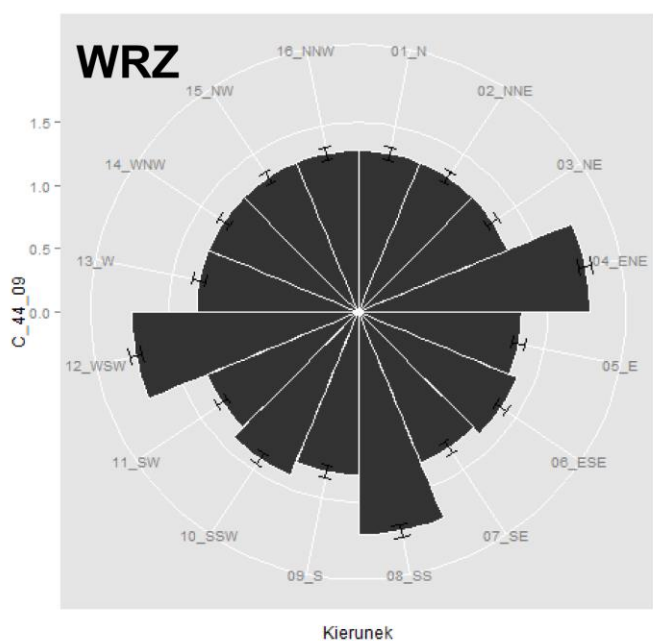
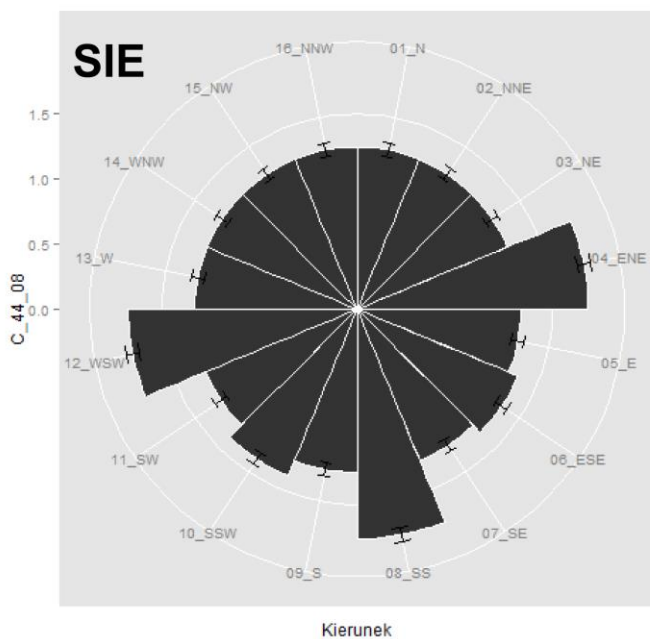
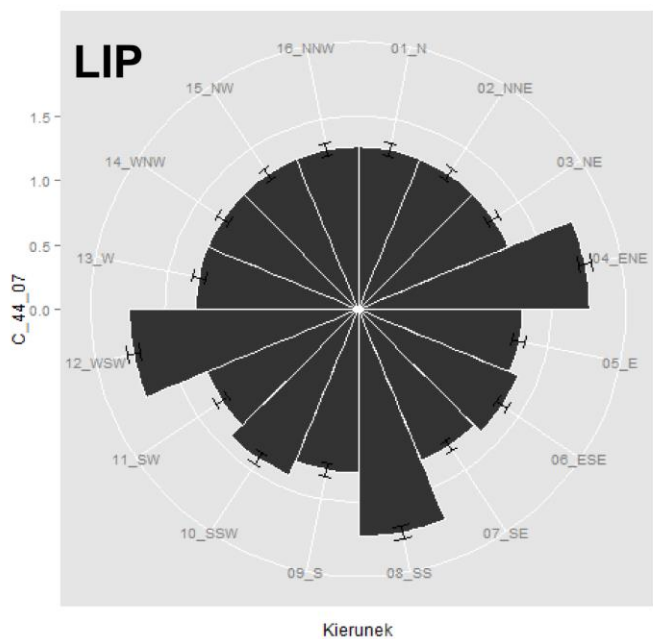
Rys. 20a. Dystrybucja trócyneru pasywnego ($\mu\text{g/g}$) na stacji 43.



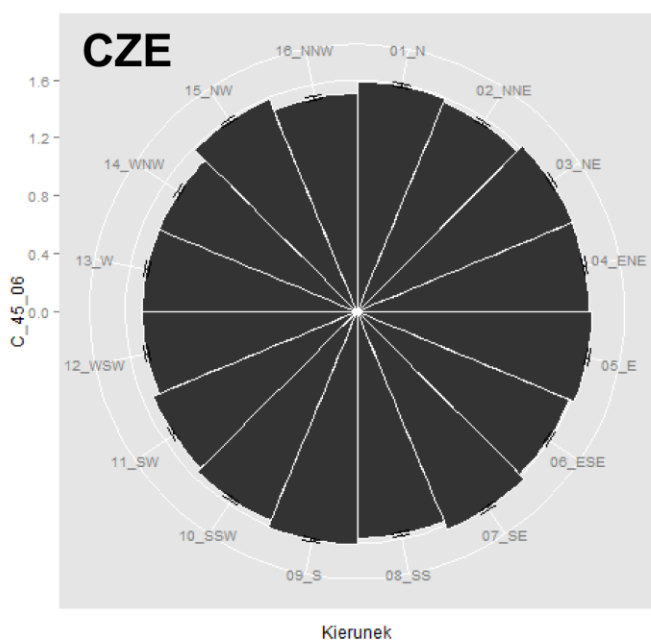
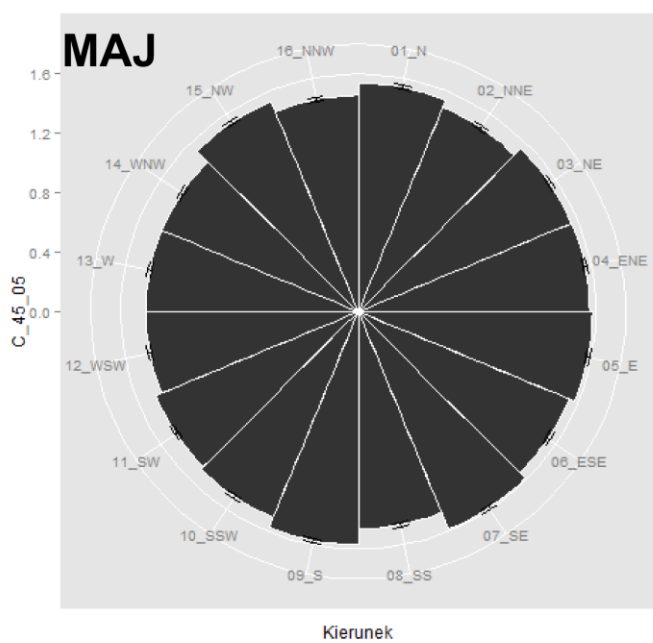
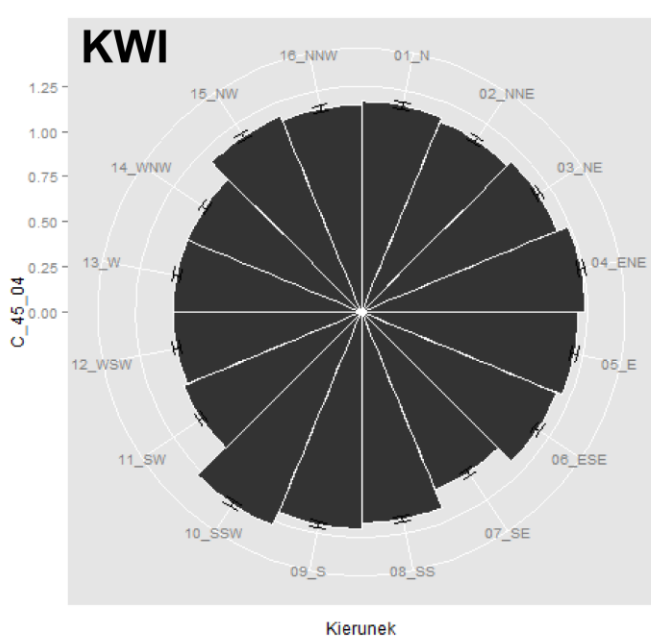
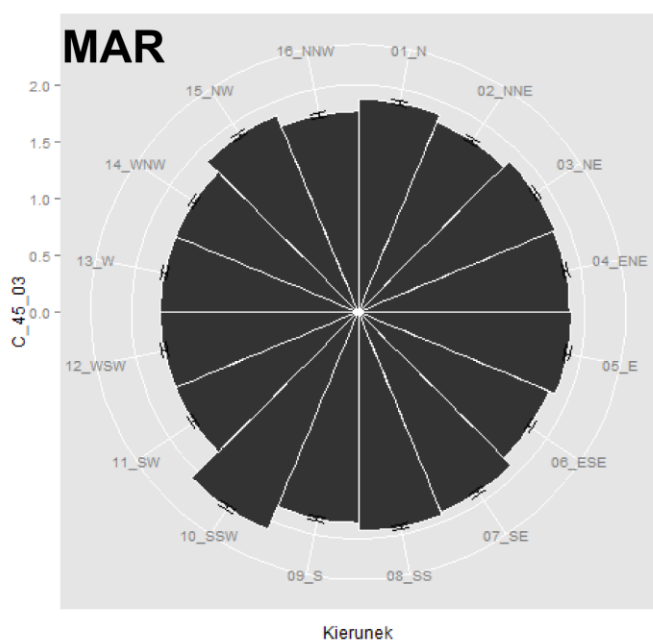
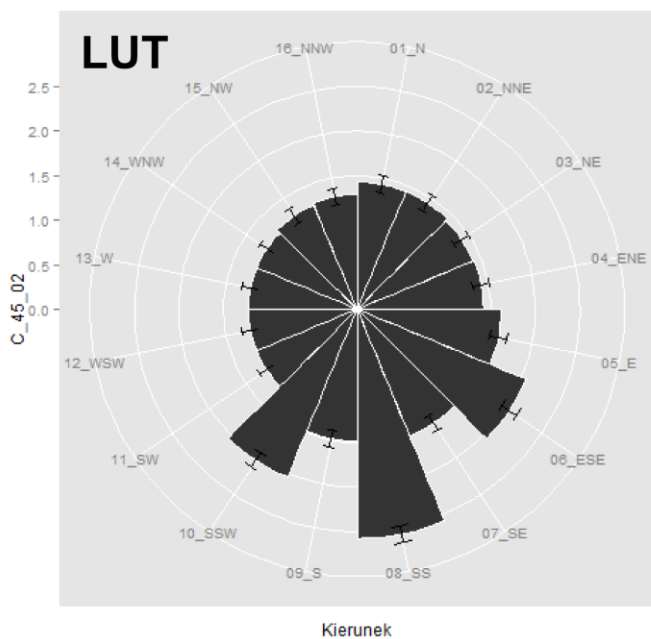
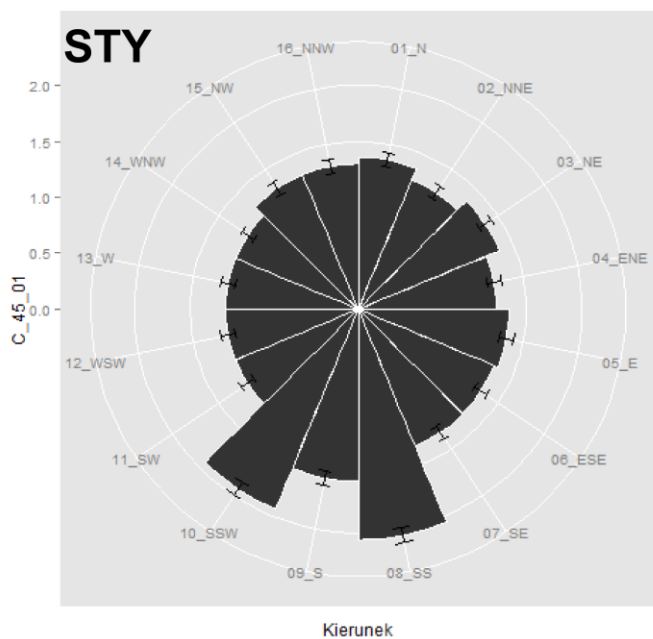
Rys. 20b. Dystrybucja trócyneru pasywnego ($\mu\text{g/g}$) na stacji 43.



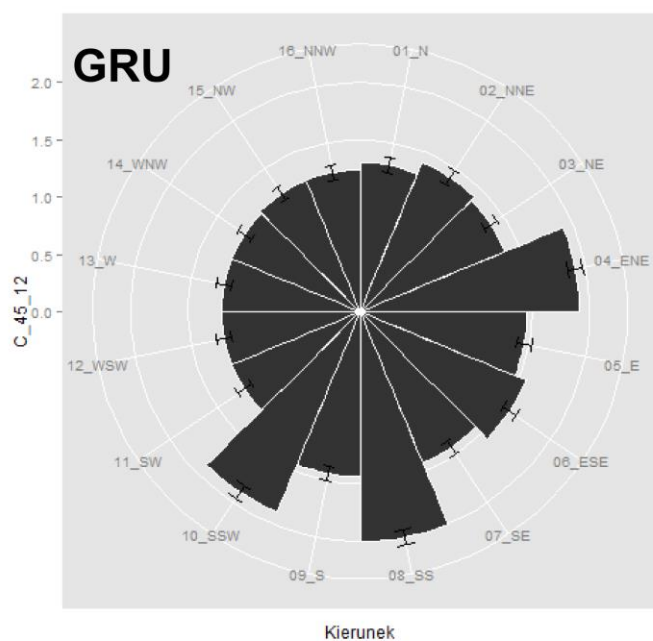
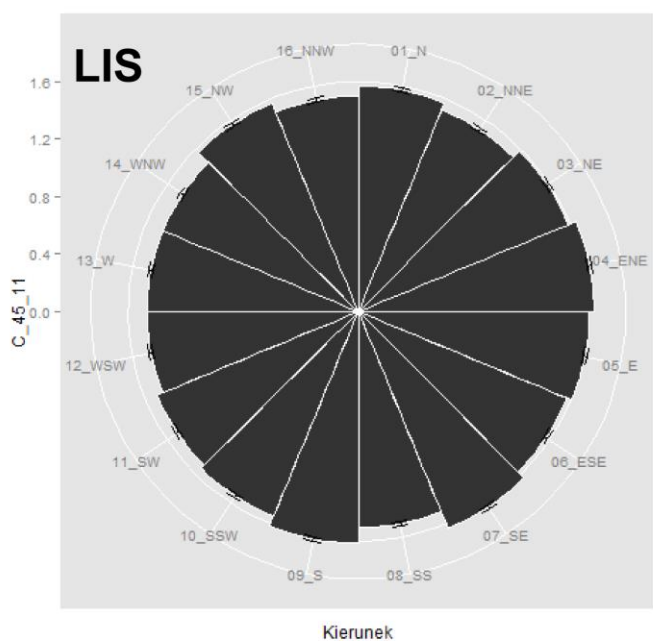
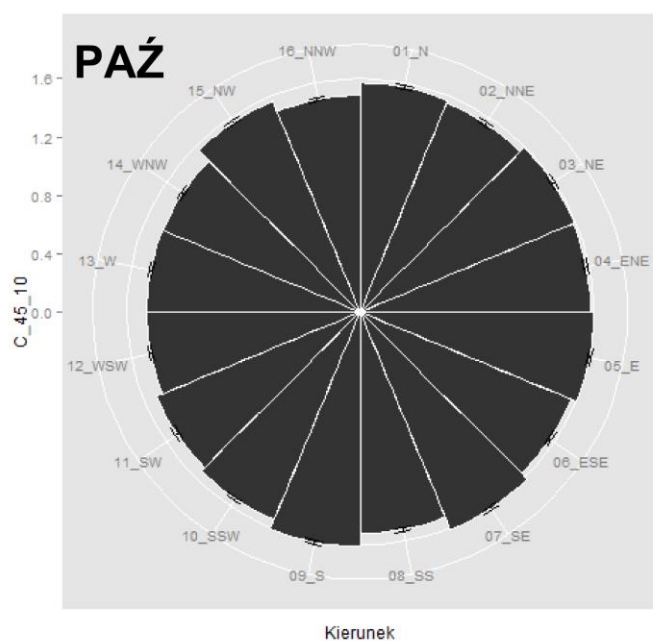
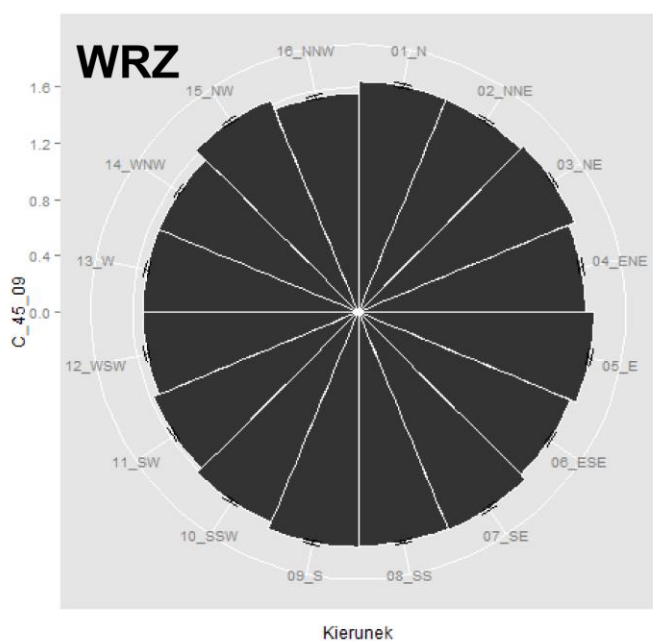
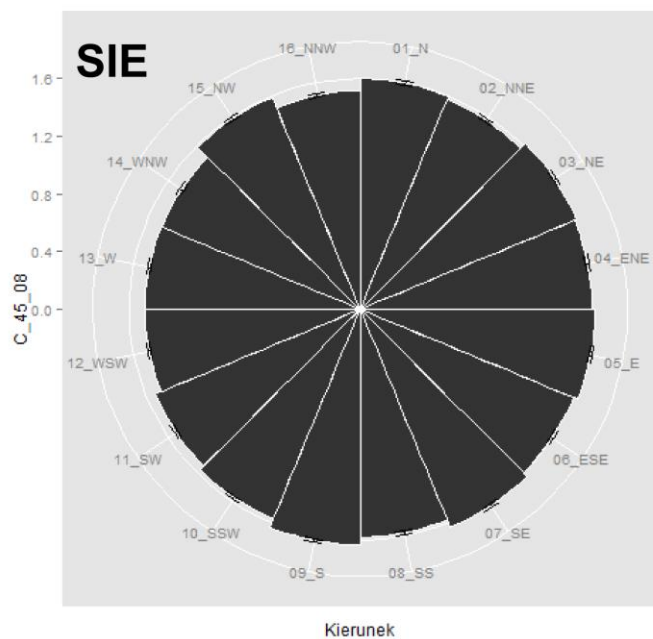
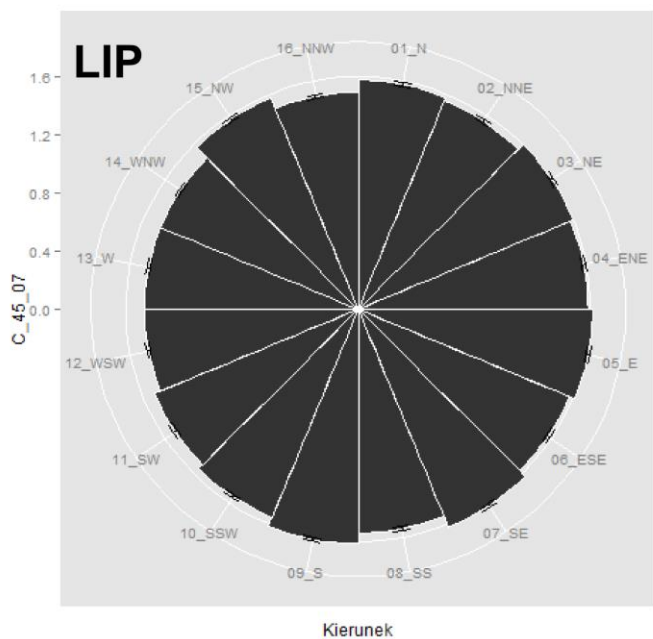
Rys. 21a. Dystrybucja trócyfenu pasywnego ($\mu\text{g/g}$) na stacji 44.



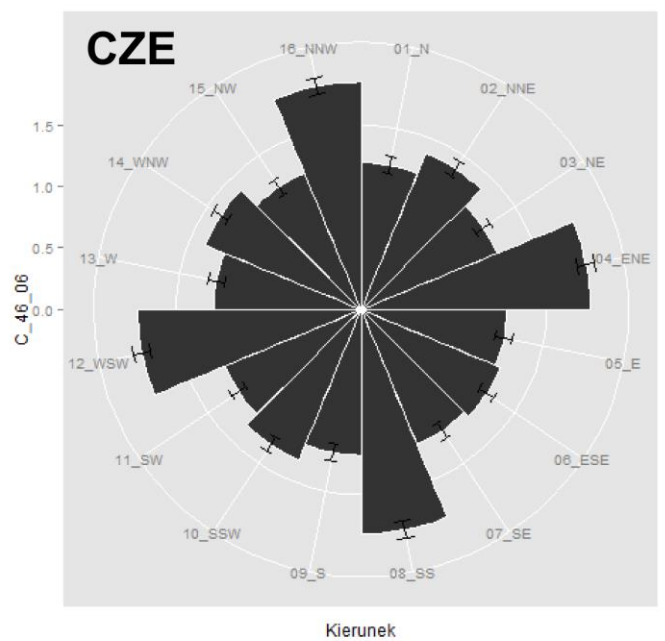
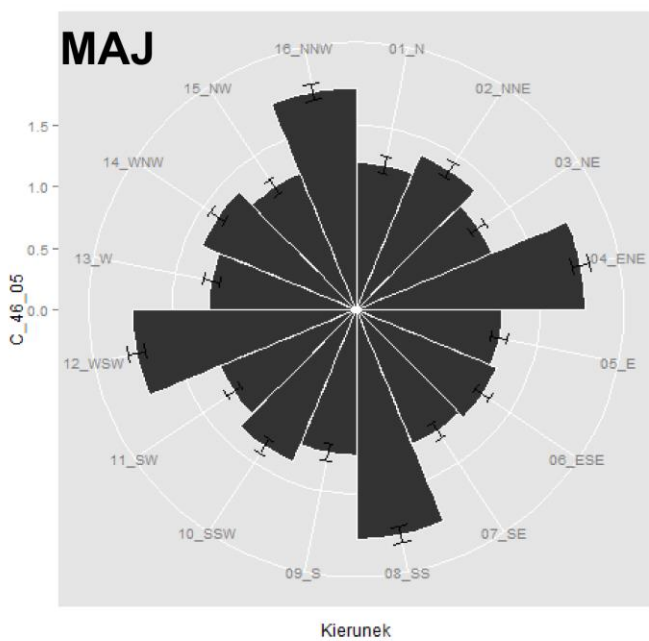
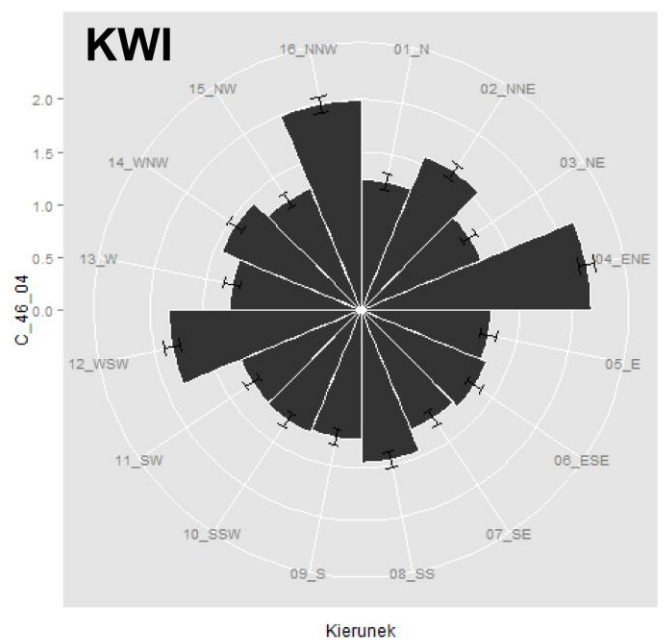
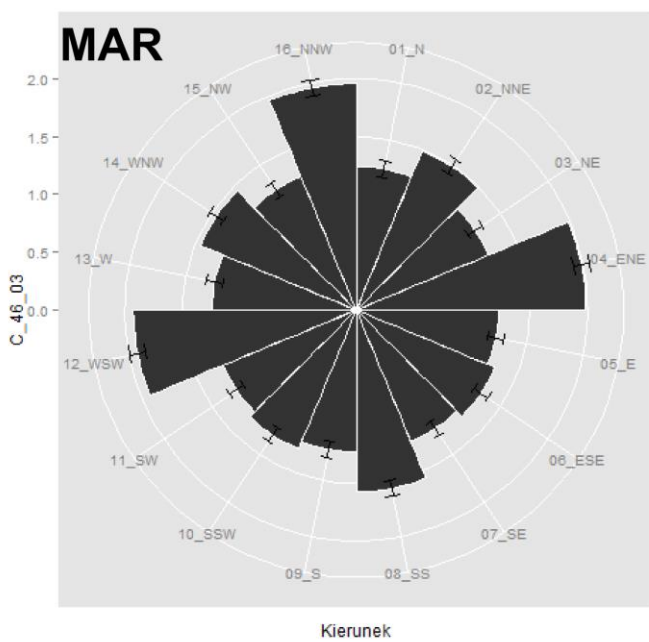
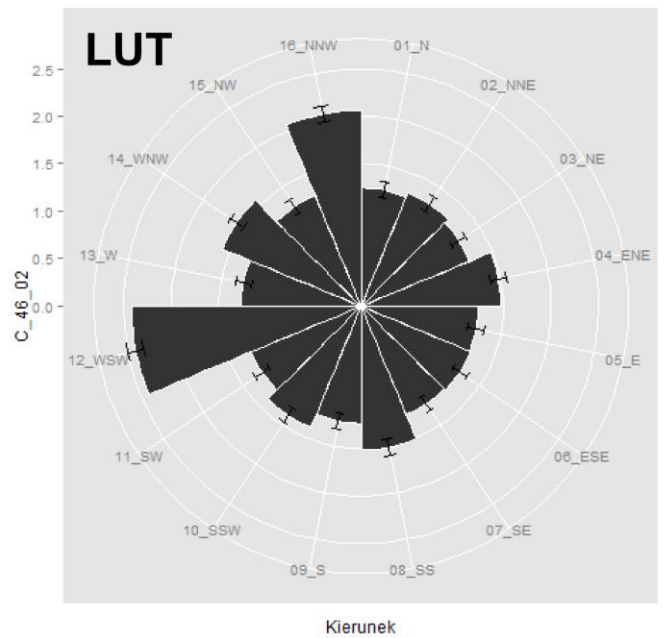
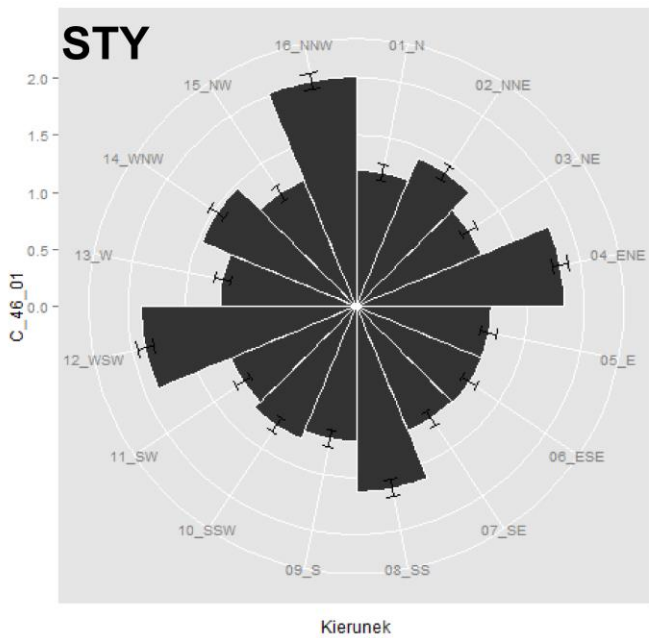
Rys. 21b. Dystrybucja tracersa pasywnego ($\mu\text{g/g}$) na stacji 44.



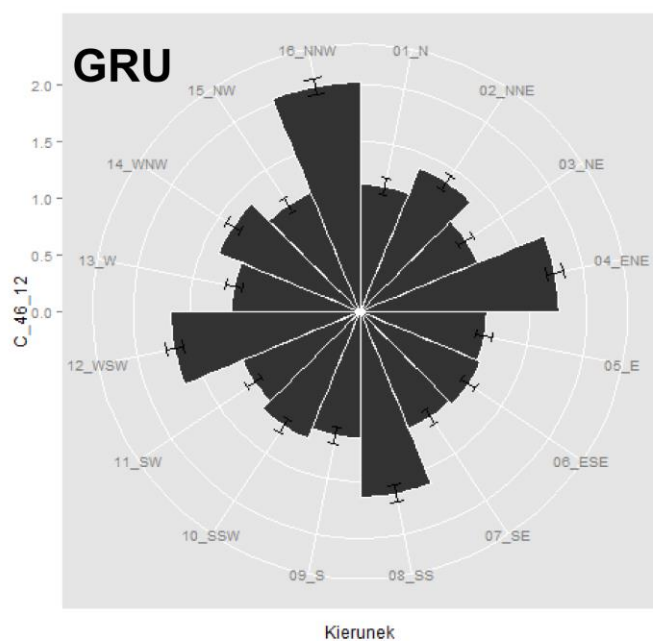
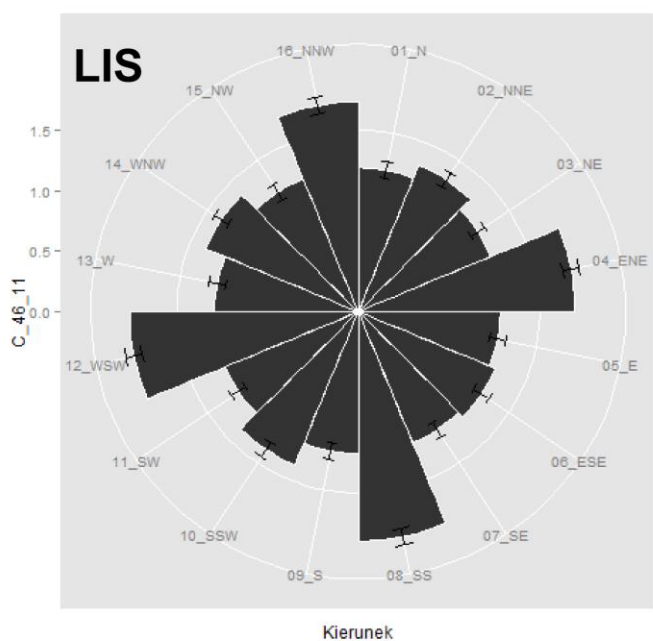
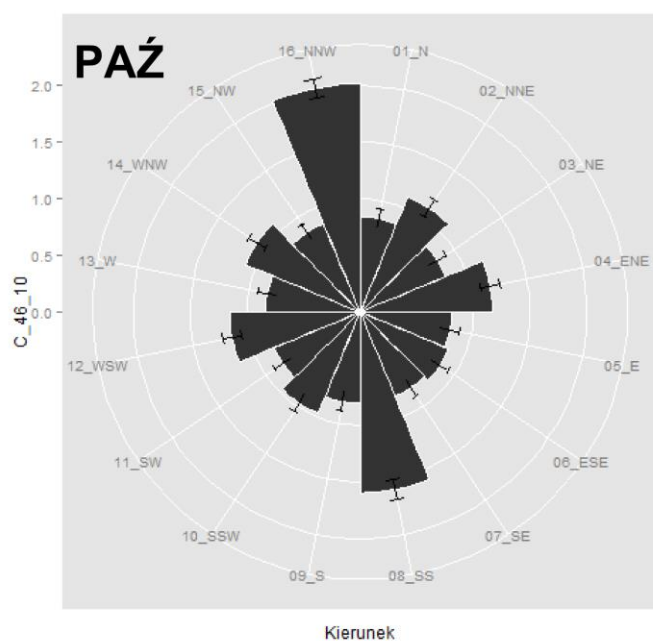
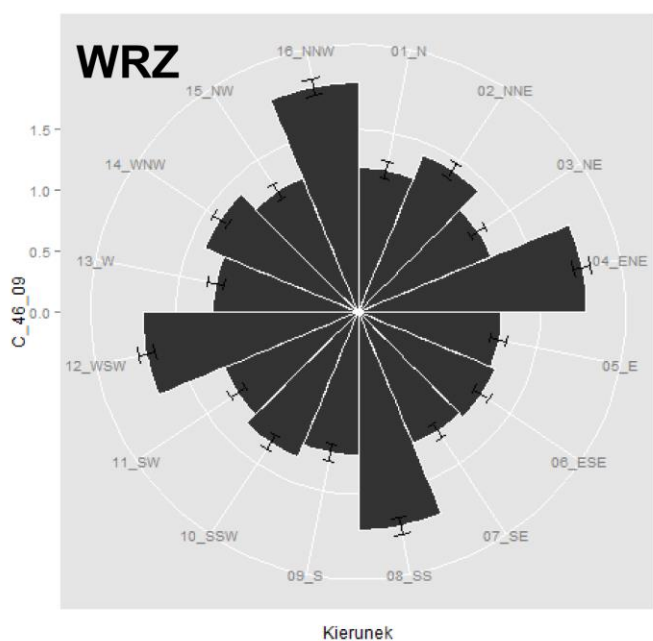
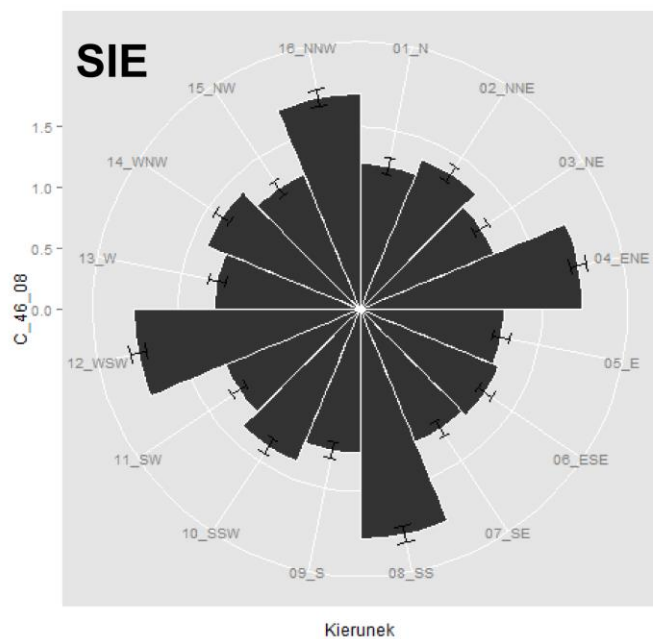
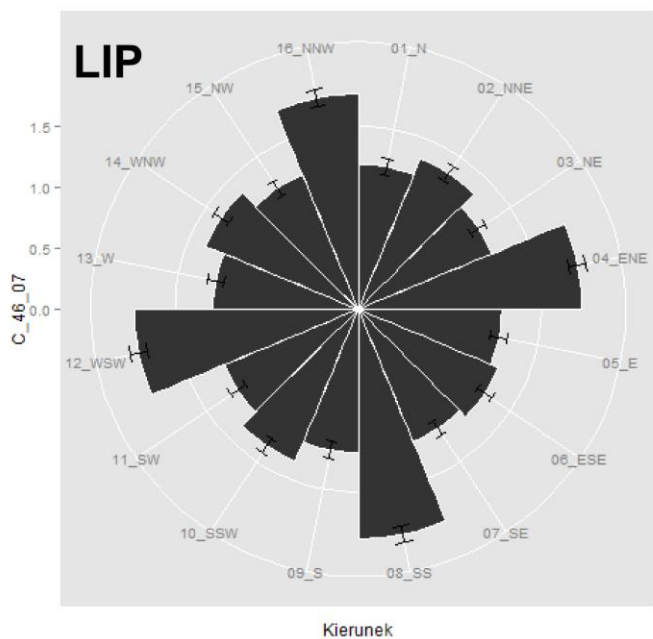
Rys. 22a. Dystrybucja tracza pasywnego ($\mu\text{g/g}$) na stacji 45.



Rys. 22b. Dystrybucja tracza pasywnego ($\mu\text{g/g}$) na stacji 45.



Rys. 23a. Dystrybucja tracza pasywnego ($\mu\text{g/g}$) na stacji 46.



Rys. 23b. Dystrybucja tracza pasywnego ($\mu\text{g/g}$) na stacji 46.

3.5. Ilość metali ciężkich (Hg, Cd, Pb i As) unoszących się do toni wodnej

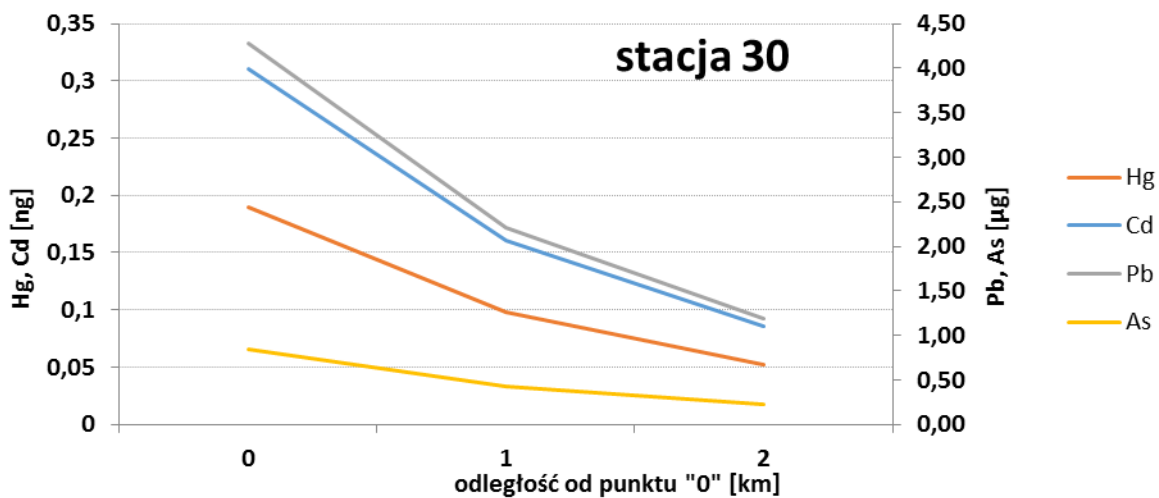
Obliczono przewidywaną ilość metali ciężkich unoszących się do toni wodnej na skutek zaburzenia osadów dennych w „punkcie zerowym”, czyli miejscu bezpośredniej ingerencji w dno morskiej, oraz w zasięgu strefy rozprzestrzeniania się zawiesiny (określonej na podstawie rozkładu i prędkości prądów przydennych, czasu unoszenia zawiesiny w toni wodnej na poszczególnych stacjach badawczych).

Tabela 9. Ilość metali ciężkich unoszona do toni wodnej na określoną odległość.

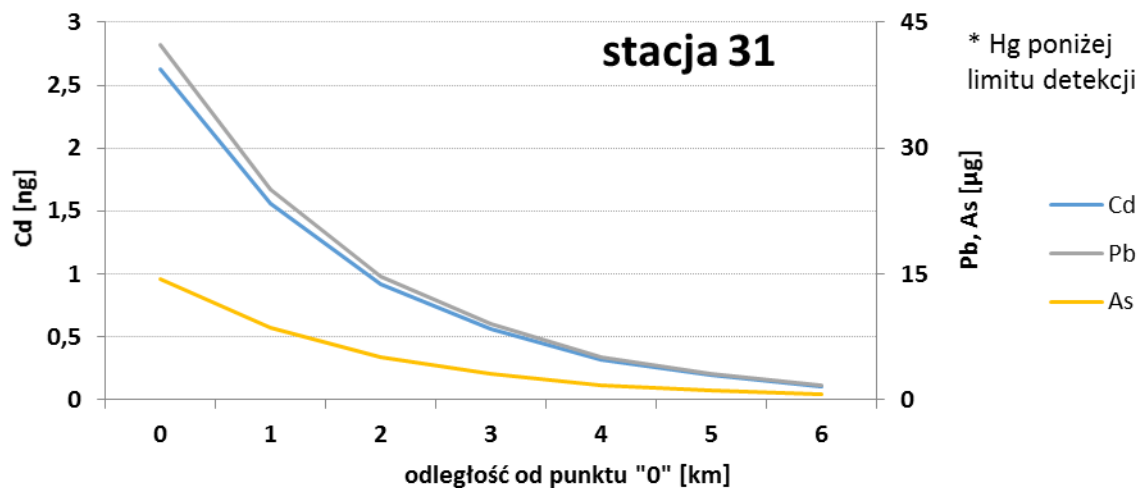
odległość [km]	numer stacji	ilość metali ciężkich unoszona do toni wodnej			
		[ng]		[µg]	
		Hg	Cd	Pb	As
0	30	0.19	0.31	4.28	0.84
1		0.10	0.16	2.21	0.43
2		0.05	0.09	1.18	0.23
0	31	< L.O.D.	2.63	42.28	14.38
1		< L.O.D.	1.56	25.04	8.52
2		< L.O.D.	0.91	14.72	5.01
3		< L.O.D.	0.56	9.04	3.07
4		< L.O.D.	0.31	5.05	1.72
5		< L.O.D.	0.19	3.08	1.05
6	< L.O.D.	0.11	1.71	0.58	
0	32	0.49	0.92	12.01	2.22
1		0.24	0.45	5.85	1.08
2		0.13	0.24	3.19	0.59
3		0.08	0.15	1.94	0.36
4		0.04	0.08	1.10	0.20
0	33	0.17	0.87	11.36	2.12
1		0.09	0.45	5.87	1.10
2		0.06	0.31	4.02	0.75
3		0.04	0.22	2.81	0.52
4		0.03	0.13	1.69	0.32
0	34	0.26	3.24	15.40	4.61
1		0.15	1.85	8.78	2.63
2		0.09	1.09	5.20	1.56
3		0.06	0.69	3.30	0.99
4		0.03	0.42	1.98	0.59
5		0.02	0.28	1.33	0.40
6	0.01	0.18	0.86	0.26	

0		0.68	9.81	55.00	13.29
1	35	0.36	5.23	29.36	7.09
2		0.20	2.84	15.95	3.86
3		0.10	1.48	8.30	2.00
4		0.03	0.43	2.39	0.58
0			0.47	1.25	16.58
1	36	0.26	0.67	8.91	1.41
2		0.18	0.47	6.22	0.99
3		0.12	0.32	4.21	0.67
4		0.07	0.18	2.35	0.37
5		0.04	0.10	1.30	0.21
0		0.16	< L.O.D.	2.41	1.28
1	37	0.09	< L.O.D.	1.41	0.75
2		0.05	< L.O.D.	0.84	0.45
3		0.03	< L.O.D.	0.53	0.28
0			1.15	< L.O.D.	25.66
1	38	0.60	< L.O.D.	13.41	11.60
2		0.34	< L.O.D.	7.68	6.64
3		0.23	< L.O.D.	5.13	4.44
4		0.15	< L.O.D.	3.27	2.83
5		0.10	< L.O.D.	2.17	1.88
6		0.06	< L.O.D.	1.31	1.14
0		0.05	< L.O.D.	0.74	0.55
1	40	0.03	< L.O.D.	0.45	0.33
2		0.03	< L.O.D.	0.53	0.39
0		1.37	< L.O.D.	71.24	122.01
1	43	0.68	< L.O.D.	35.43	60.67
2		0.36	< L.O.D.	18.68	31.98
3		0.21	< L.O.D.	10.81	18.51
4		0.11	< L.O.D.	5.68	9.72
5		0.07	< L.O.D.	3.47	5.95

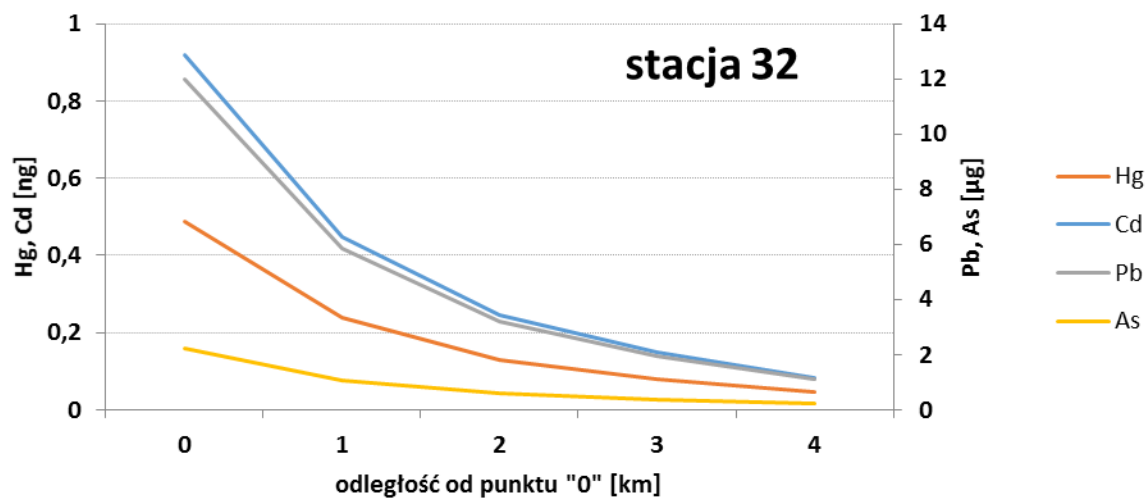
Na większości stacji, dla których obliczony został strumień unoszonej zawiesiny, ilość metali ciężkich unoszonych do toni wodnej z zawiesiną zmniejsza się wraz ze wzrostem odległości od punktu zerowego (Rys. 24-34).



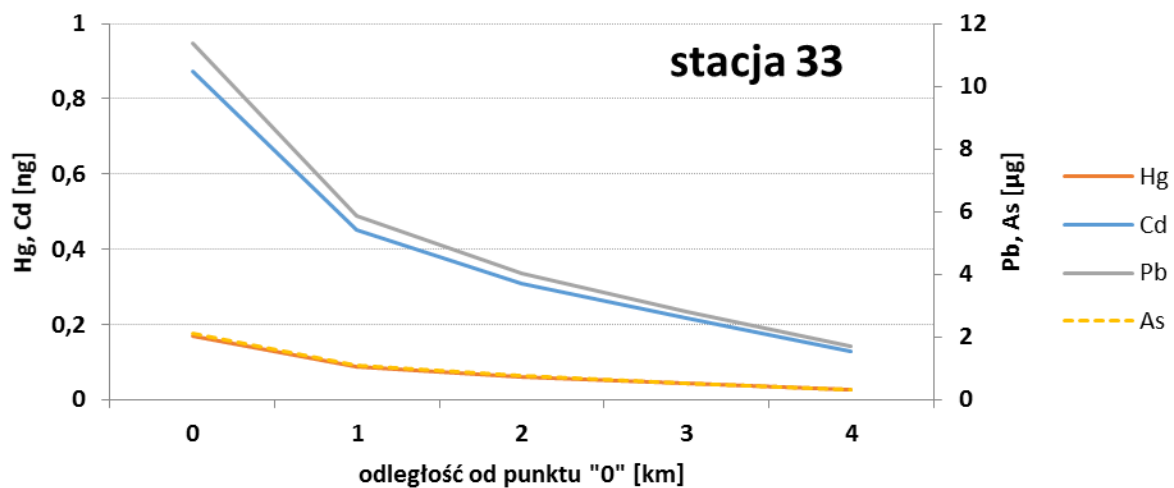
Rys. 24. Ilość metali ciężkich uwalnianych do toni wodnej na stacji 30.



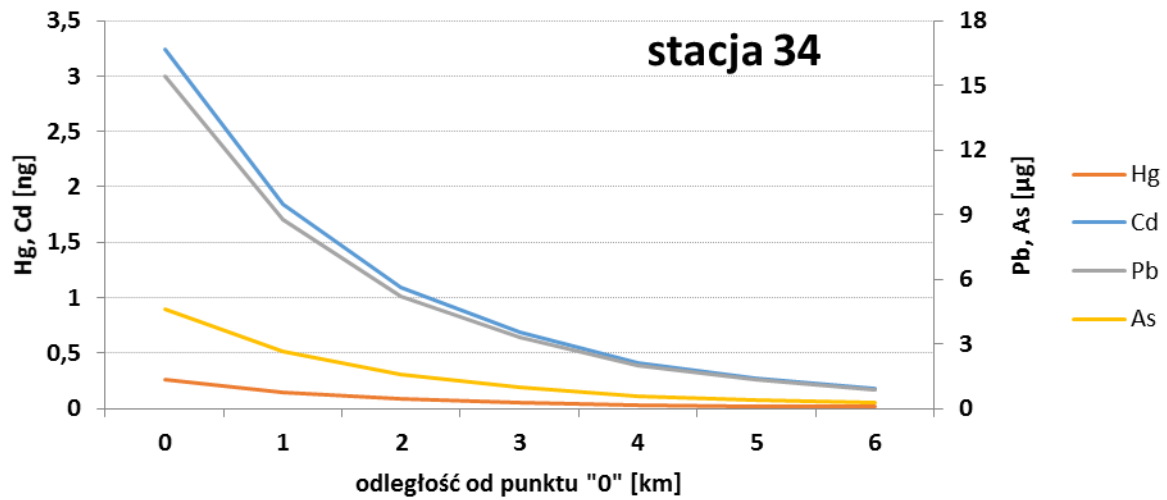
Rys. 25. Ilość metali ciężkich uwalnianych do toni wodnej na stacji 31.



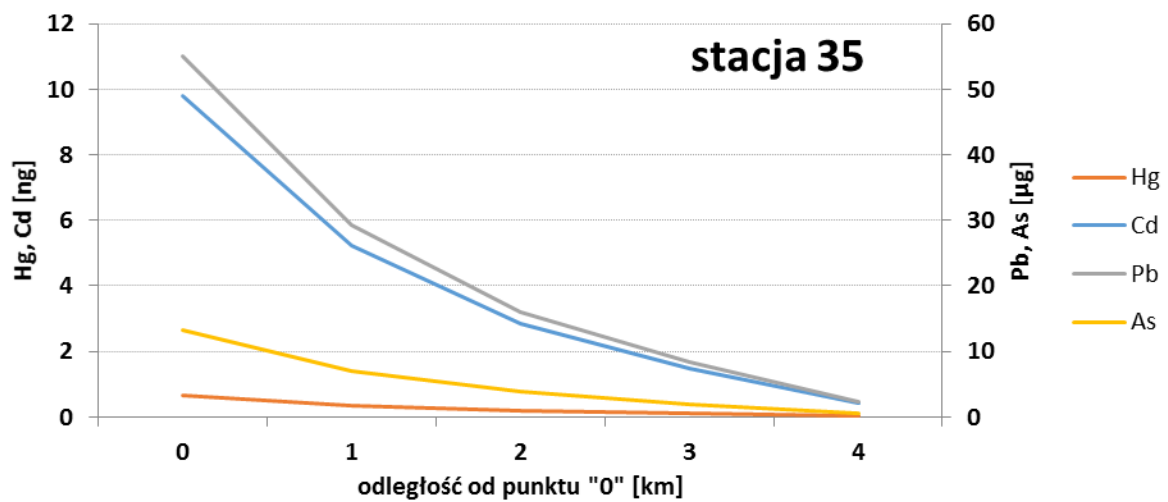
Rys. 26. Ilość metali ciężkich uwalnianych do toni wodnej na stacji 32.



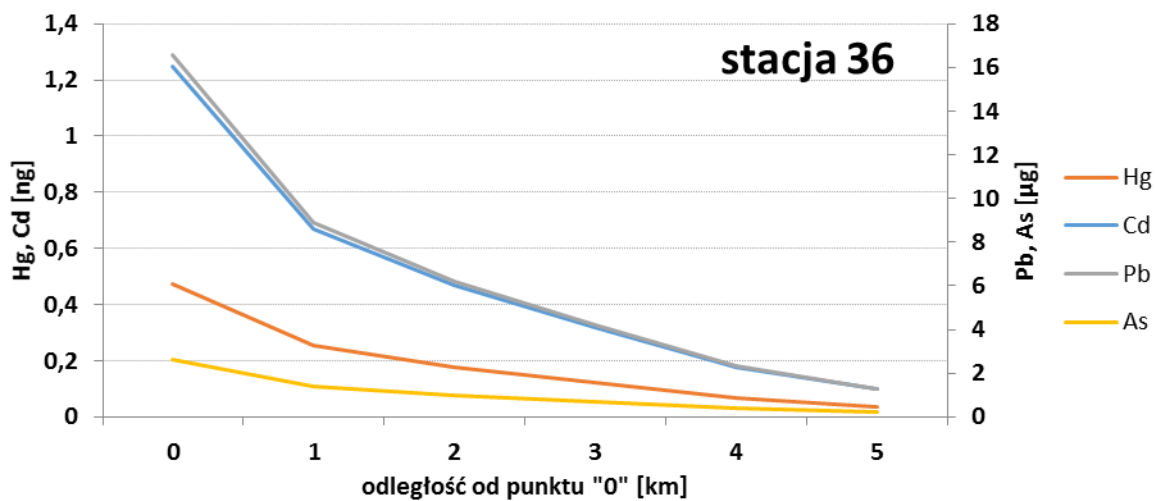
Rys. 27. Ilość metali ciężkich uwalnianych do toni wodnej na stacji 33.



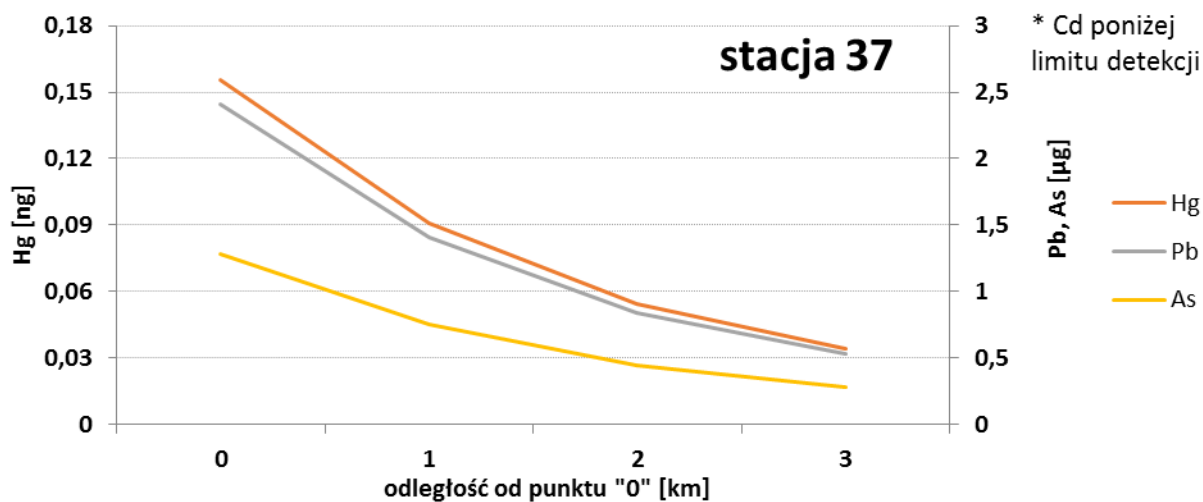
Rys. 28. Ilość metali ciężkich uwalnianych do toni wodnej na stacji 34.



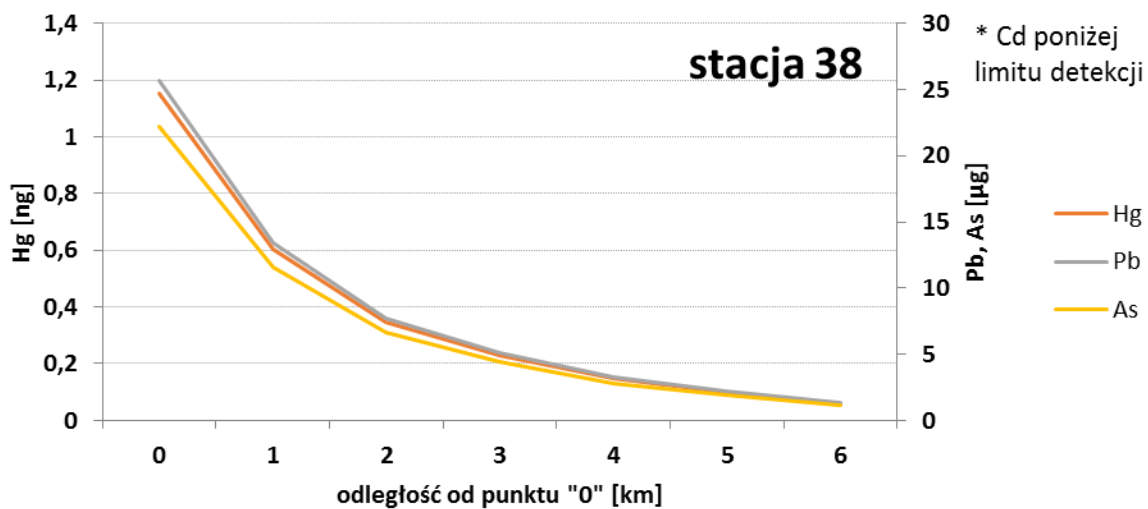
Rys. 29. Ilość metali ciężkich uwalnianych do toni wodnej na stacji 35.



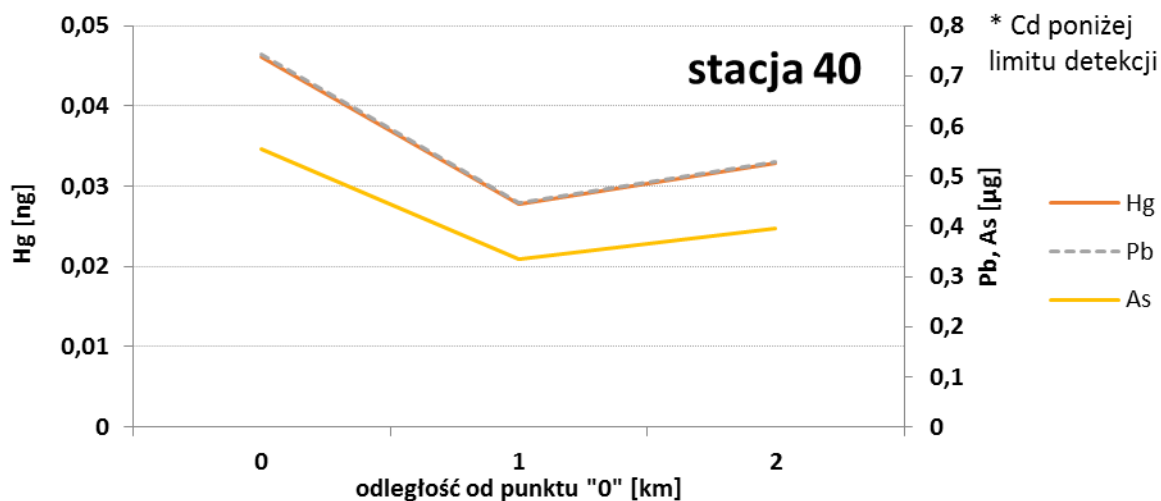
Rys. 30. Ilość metali ciężkich uwalnianych do toni wodnej na stacji 36.



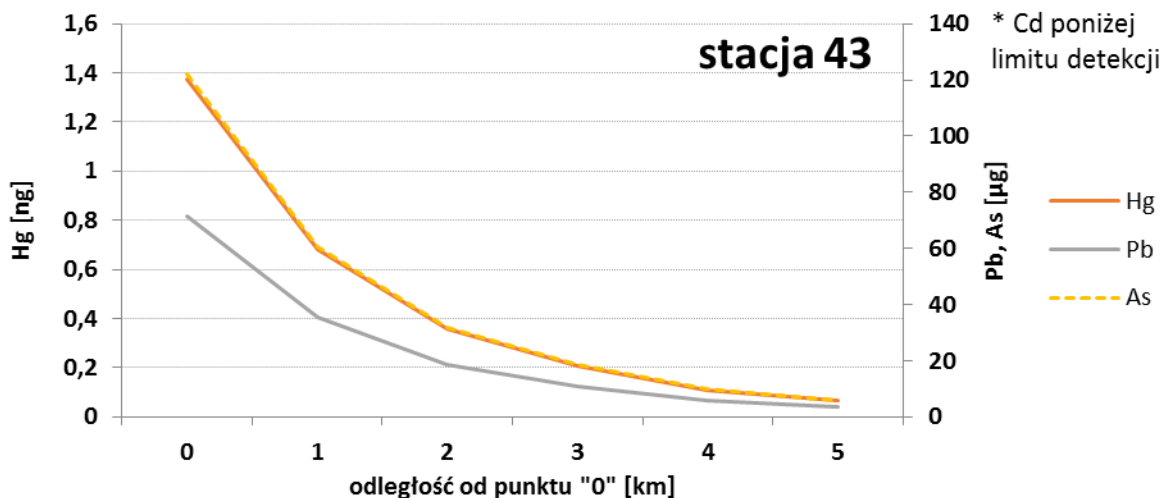
Rys. 31. Ilość metali ciężkich uwalnianych do toni wodnej na stacji 37.



Rys. 32. Ilość metali ciężkich uwalnianych do toni wodnej na stacji 38.

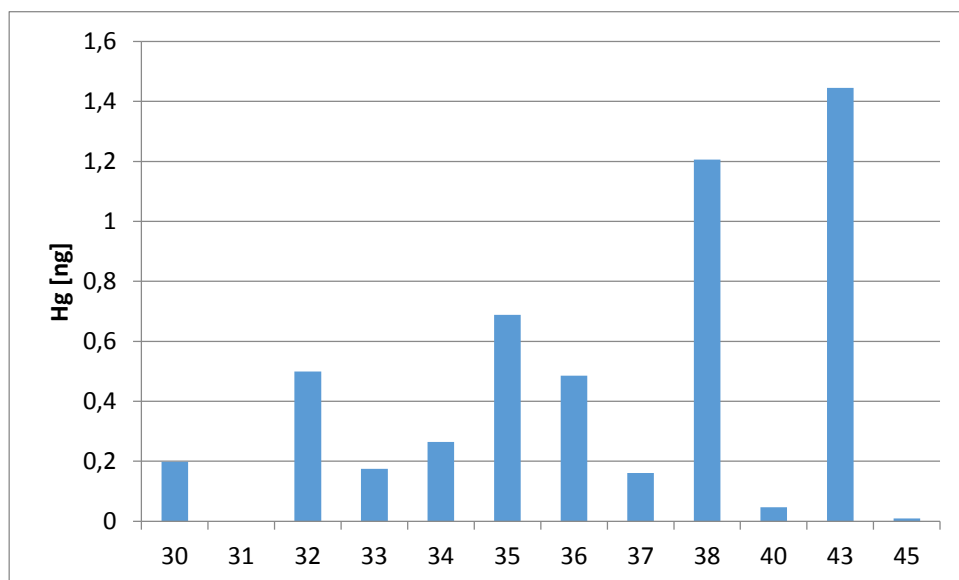


Rys. 33. Ilość metali ciężkich uwalnianych do toni wodnej na stacji 40.

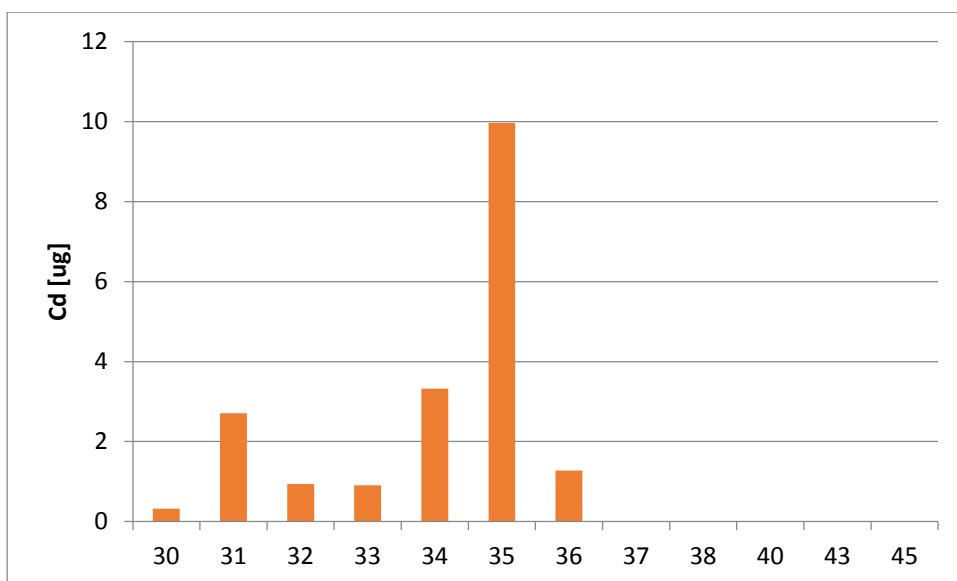


Rys. 34. Ilość metali ciężkich uwalnianych do toni wodnej na stacji 43.

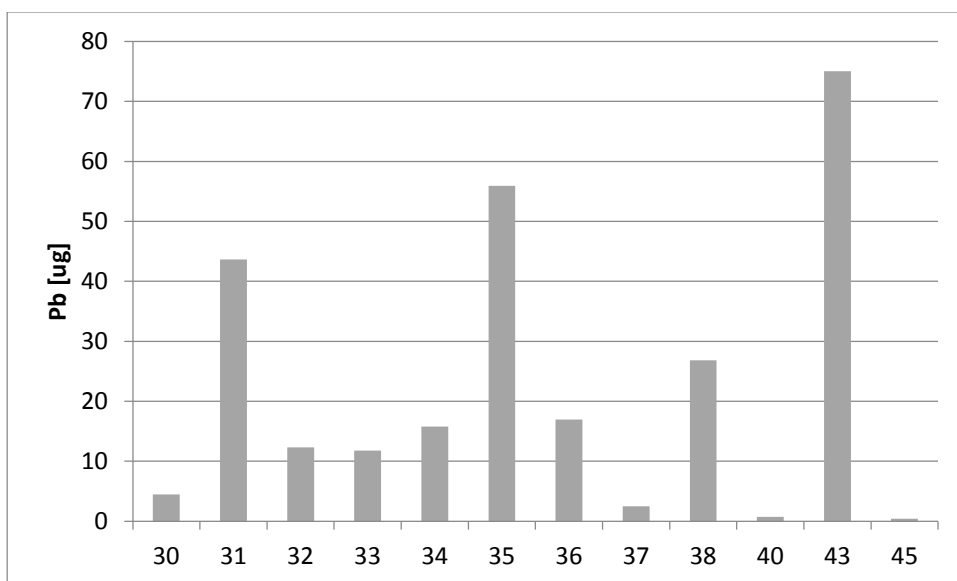
Na rysunkach przedstawiono przykładowe wykresy dla miesiąca stycznia. Przedstawione wartości dotyczą resuspensji jednego grama osadu i związanego z tym strumienia zanieczyszczeń. Przy założeniu jednakowej objętości osadów przy każdej planowanej budowie elektrowni wiatrowej, jest to informacja wystarczająca do podjęcia decyzji lokalizacyjnych i dotyczących czasu postanowienia konstrukcji wsporczej. Aby podsumować optymalną lokalizację inwestycji, przedstawiono maksymalne wartości uwalnianych metali w punkcie zero dla poszczególnych stacji (Rys. 35-38).



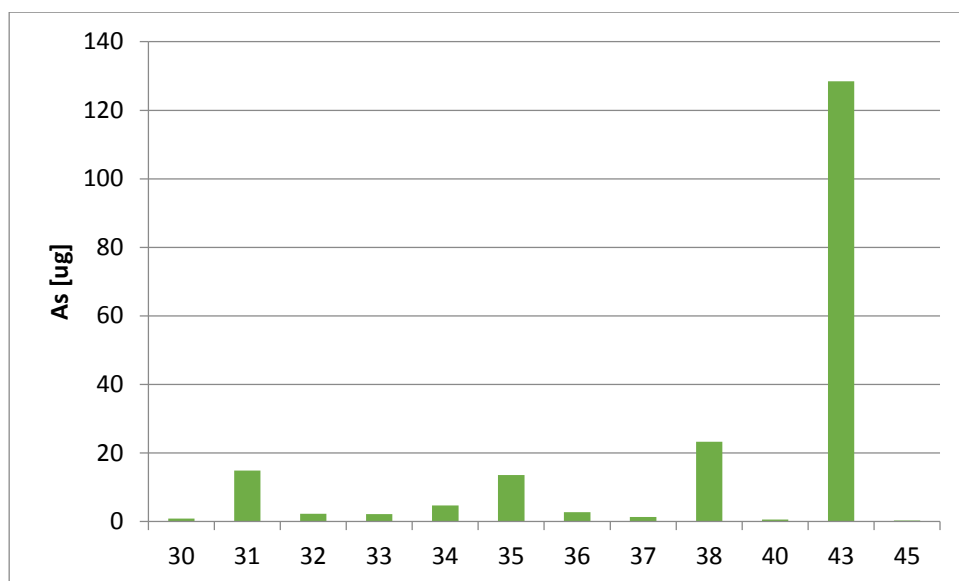
Rys. 35. Maksymalne strumień uwalnianej rtęci w punkcie zero dla poszczególnych stacji.



Rys. 36. Maksymalny strumień uwalnianego kadmu w punkcie zero dla poszczególnych stacji.



Rys. 37. Maksymalny strumień uwalnianego ołowiu w punkcie zero dla poszczególnych stacji.



Rys. 38. Maksymalny strumień uwalnianego arsenu w punkcie zero dla poszczególnych stacji.

Po przeanalizowaniu zebranych danych wydaje się, że najmniejsze wartości uwalnianych metali obserwuje się w punktach 30, 33, 37 i 40, zaś stacje 31, 35, 38 i 43 są najmniej korzystne.

4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania numeryczne dotyczące rozprzestrzeniania się osadu w toni wodnej w obszarze polskiej strefy ekonomicznej dla warunków panujących w 2012 roku pokazują w jaki sposób następował transport tracera pasywnego na kilkunastu wybranych stacjach.

Analizując wyniki obliczeń dla czasu zaniku tracera pasywnego zauważa się, że czas osiągnięcia wartości progowej przyjętej jako $1 \mu\text{g/g}$ dla tracera pasywnego skraca się wraz ze spadkiem maksymalnej koncentracji początkowej. Symulacje numeryczne pokazują, że znaczna redukcja czasu zaniku występowała dopiero w przypadkach kiedy koncentracja w chwili początkowej nie przekraczała wartości $5 \mu\text{g/g}$. Prądy występujące w ciągu całego roku na stacjach numer 31, 43, 44 i 46 przy określonej koncentracji początkowej osadu powodowały bardzo szybkie rozproszenie osadu, które następowało w okresie krótszym niż trzy godziny. Wraz ze spadkiem całkowitej ilości osadu uwolnionego w procesie ustawiania turbiny wiatrowej zmniejsza się również czas, w którym zostanie on rozproszony przez ruchy wody.

Obserwując spadek koncentracji tracera pasywnego w poszczególnych miesiącach można wyraźnie stwierdzić, że opadanie cząsteczek osadu nie było opadaniem swobodnym. Zakłócenia były tutaj generowane intensywnością prądów. Znaczne odchylenia od średniego czasu rozprzestrzeniania się osadu zauważano w kwietniu i lutym. W przypadku każdej stacji kiedy w okresie kwietnia następował spadek czasu osiągnięcia wartości progowej, występował silny prąd. Podobnej zależności nie zaobserwowano w przypadku wydłużania tych okresów. Oznacza to, że prędkość prądu ma istotny wpływ na przyspieszenie czasu spadku koncentracji osadu.

Odległość na jaką był transportowany osad zależna jest od koncentracji oraz prędkości i zmian kierunku prądu (Rijn 2007). Na stacjach takich jak 31, 38, 43 i 44 i 46 gdzie wystąpiły niskie wartości koncentracji początkowej maksymalny zasięg jaki pokonał osad nie przekroczył odległości pięciu kilometrów. W przypadku stacji na których występowały wysokie wartości koncentracji początkowej maksymalny zasięg jaki osiągał transportowany tracer przyjął różne wartości. Symulacje przeprowadzone dla stacji 32 oraz 35 pokazują, że tracer pomimo wysokich koncentracji początkowych nie przemieścił się na duże odległości. Na stacji numer 32 prędkość prądu nie przekraczała kilku centymetrów na sekundę, natomiast w stacji numer 35 kierunek prądów lokalnych w ciągu całego roku często ulegał zmianie.

Przeprowadzone badania pokazują, zmiany w kierunkach dystrybucji w zależności od rocznych zmian ruchu mas wody. Dystrybucja osadów w toni wodnej jest determinowana przez prędkość i kierunek prądów (MITOC), jednak opracowane wyniki pokazują, że przy bardzo niskich wartościach prędkości prądów, rozprzestrzenianie tracera pasywnego zachodziło w sposób swobodny wbrew kierunkowi prądu.

Ważnym czynnikiem warunkującym transport osadu było położenie punktu w pobliżu granicy poziomów głębokości. Skutkiem tego było ograniczenie dystrybucji w kierunku granicy. Jak wcześniej wspomniano siły grawitacyjne mają bardzo duży wpływ na dystrybucję cząsteczek osadu. Oznacza to, że w opracowanych przypadkach przemieszczanie się tracera na wyższe poziomy jest niemożliwe.

Powyższe badania numeryczne pokazały w jaki sposób nastąpi transport osadu wyniesionego do wyższych warstw kolumny wody w procesie ustawiania turbin wiatrowych. Określenie zasięgu i dystrybucji tracera pasywnego w określonych warunkach środowiskowych jest bardzo istotne ze względu na faunę i florę znajdującą się w obszarach w,

których potencjalnie ma powstać farma wiatrowa. Z tego właśnie powodu należy dokładnie zbadać wszystkie czynniki i wybrać warunki, w których inwestycja wywrze najmniejszy wpływ na środowisko.

5. Literatura

- Dzierzbicka-Głowacka L., Jakacki J., Janecki M., Nowicki A., (2013) Activation of the operational ecohydrodynamic model (3D CEMBS) - the hydrodynamic part, *Oceanologia*, 55(3), 519-541.
- Ehlin U. (1981). Hydrology of the Baltic Sea. In: Voipio, A. (Ed.), *The Baltic Sea*. Elsevier, Amsterdam, pp. 123-134.
- Håkanson L. (1991). Charakterystyka fizycznogeograficzna zlewiska Morza Bałtyckiego, *Środowisko Morza Bałtyckiego*. Zeszyt 1, str. 9.
- Krauss W., Brugge B. (1991). Wind-produced water exchange between deep basins of the Baltic Sea. *J. Phys. Oceanogr.*, 11, 373–384.
- Maslowski W., and Walczowski W. (2002). Circulation of the Baltic Sea and its connection to the Pan-Arctic region—A large scale and high-resolution modeling approach, *Boreal Environ. Res.* 7, 319–325.
- Osiński R. (2008) Symulacja procesów dynamicznych w Morzu Bałtyckim zintegrowanym modelem ocean-lód., *Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie*, 53-57
- van Rijn L. (2007). Unified View of Sediment Transport by Currents and Waves. I: Initiation of Motion, Bed Roughness, and Bed-Load Transport. *J. Hydraul. Eng.*, 133(6), 649–667.
- MIT Open Courses. Lecture Notes: The Sediment Transport Rate (Chapter 13) <http://ocw.mit.edu>