

Raport z badań monitoringowych zbiornika Pasternik w Starachowicach – próbek wody i osadów dennych z punktów P1 - P7 w kampaniach badawczych od 23. 07.2021 – 25.07.2022 r.

Autor: Dr Robert Mazur (Inżynieria Środowiska – Ekotoksykologia Wód Powierzchniowych Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków).

Prace rewitalizacji zbiornika Pasternika w Starachowicach mają na celu przywrócenie równowagi biologicznej w obszarze sztucznego zalewu Pasternik (Sitarek i in., 2017). W okresie swojej eksploatacji zbiornik uległ znacznemu zamuleniu, co wpłynęło negatywnie na parametry jakościowe wody (Mazur R. i in., 2022).

Monitoring jakości wody i osadów:

Pomiary grubości osadów dennych dla 7 punktów zgodnie z warunkami projektu

Przed wprowadzeniem biopreparatów mikrobiologicznych, wykonano badania monitoringowe w 7 punktach na zbiorniku zgodnie z warunkami realizacji projektu.

Tabela 1. Badania warstwy osadów dennych w punktach pomiarowych P1 – P7

Daty sesji pomiarowych: 23/07/2021 - 25/07/2022 Starachowice							
Pomiary grubości osadów dennych [cm] w 7 punktach na zbiorniku Pasternik							
Punkty	Punkt pomiaru Współrzędne	23.07.2021	21.09.2021	04.07.2022	25.07.2022	Całkowita różnica w badanym okresie [cm]	Całkowita różnica w badanym okresie [%]
1	N: 51° 03' 05.71" E: 21° 02' 52.22"	74	65	14	10	-64	-86%
2	N: 51° 03' 01.63" E: 21° 02' 53.70"	111	77	40	27	-84	-76%
3	N: 51° 03' 06.50" E: 21° 03' 05.19"	98	74	38	32	-66	-67%
4	N: 51° 02' 58.47" E: 21° 03' 06.30"	99	82	31	28	-71	-72%
5	N: 51° 02' 59.70" E: 21° 03' 16.60"	72	48	16	12	-60	-83%
6	N: 51° 02' 55.75" E: 21° 03' 23.11"	78	69	12	10	-68	-87%
7	N: 51° 02' 53.29" E: 21° 03' 29.31"	100	81	32	7	-93	-93%

Podsumowując, średnia ilość osadu 23 lipca 2021 r. wynosiła 90,29 cm a po 12 miesiącach 25 lipca 2022 r. wyniosła 18,00 cm. Czyli osad został zredukowany o 72,29 cm co daje redukcję osadu na poziomie 80,01 %. W projekcie założono redukcję o 70%.

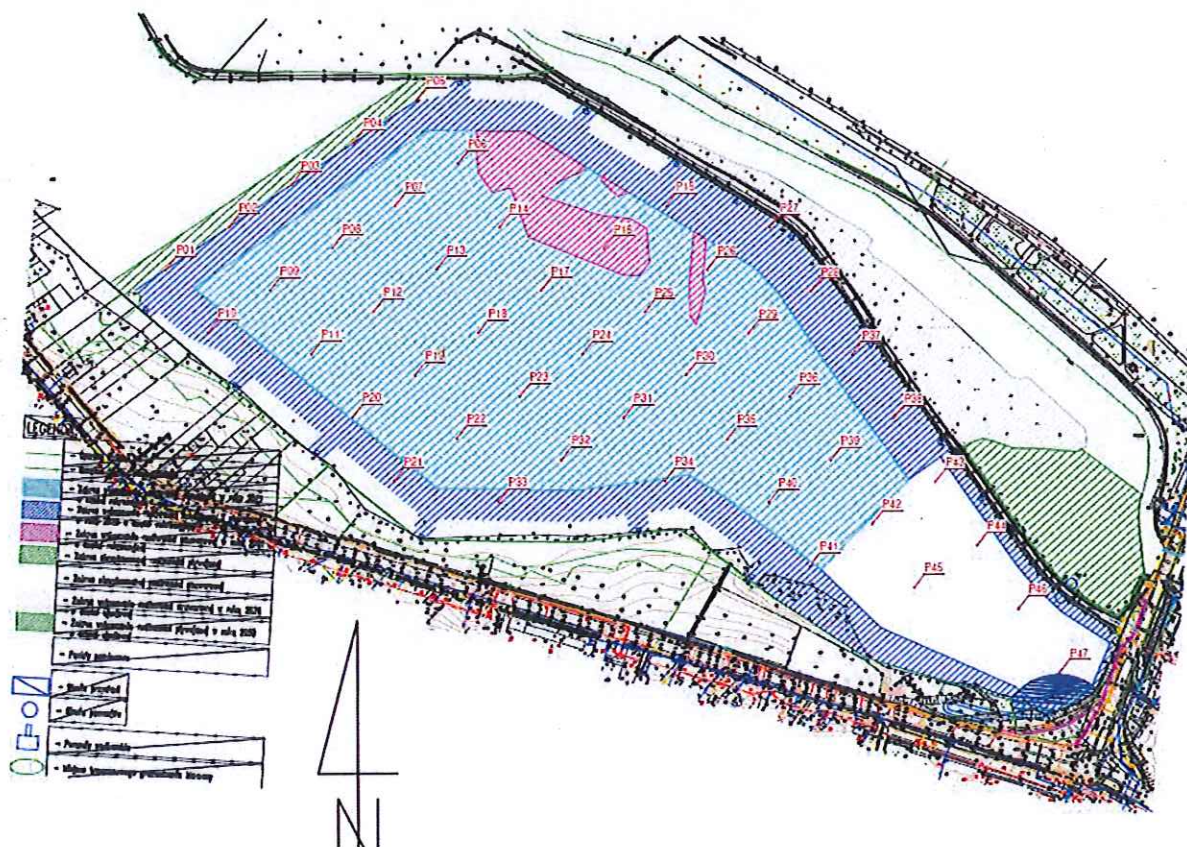
Wyniki monitoringu w 23.07.2021 r. wykazały wysoki poziom kumulacji miękkich frakcji organicznych w strefie dennej zbiornika Pasternik (Tab. 1). Wyniki komisijnego pomiaru geodezyjnego w powyższych terminach z tabeli we wszystkich punktach pomiarowych wskazują na sukcesywną redukcję warstwy osadów (tab. 1). Proces zamulania jest charakterystyczny dla zbiorników zaporowych, natomiast zalegające osady w swojej górnej strefie mogą charakteryzować się znacznym udziałem materii organicznej, której procesy rozkładu mają istotny wpływ na zaburzenie równowagi ekologicznej środowiska wodnego zbiornika (Mazur A. i in., 2020). Warto tutaj

wykonać dodatkowe analizy, które pozwolą na ustalenie stosunku ogólnej suchej masy do suchej masy organicznej w osadach, gdyż to właśnie związki organiczne stanowią główne źródło węgla dla rozwoju bakterii. W całym tym okresie (dokładnie rok po pomiarach wyjściowych) uzyskiwano sukcesywnie istotną redukcję frakcji organicznych w osadach dennych co wpłynęło na zmniejszenie się warstwy osadów aż o 80,01% od ich pierwotnego poziomu pomierzonego 23.07.2021 r. Uzyskane wyniki potwierdzają bardzo wysoką skuteczność zastosowanej metody oraz wskazują, na utrzymanie trwałości efektów w kolejnych latach po aplikacji.

Rozszerzone pomiary grubości warstwy osadów

Wykonano dodatkowe badania na geodezyjnej siatce pomiarowej dla 47 punktów na zbiorniku Pasternik (Rys. 1). Komisyjne pomiary wykonano w dniach 04.08.2022, 28.09.2022 r. oraz 25.07.2022 r. w celu określenia dynamiki zmian w grubości osadów dennych (miękkich frakcji organicznych) zalegających.

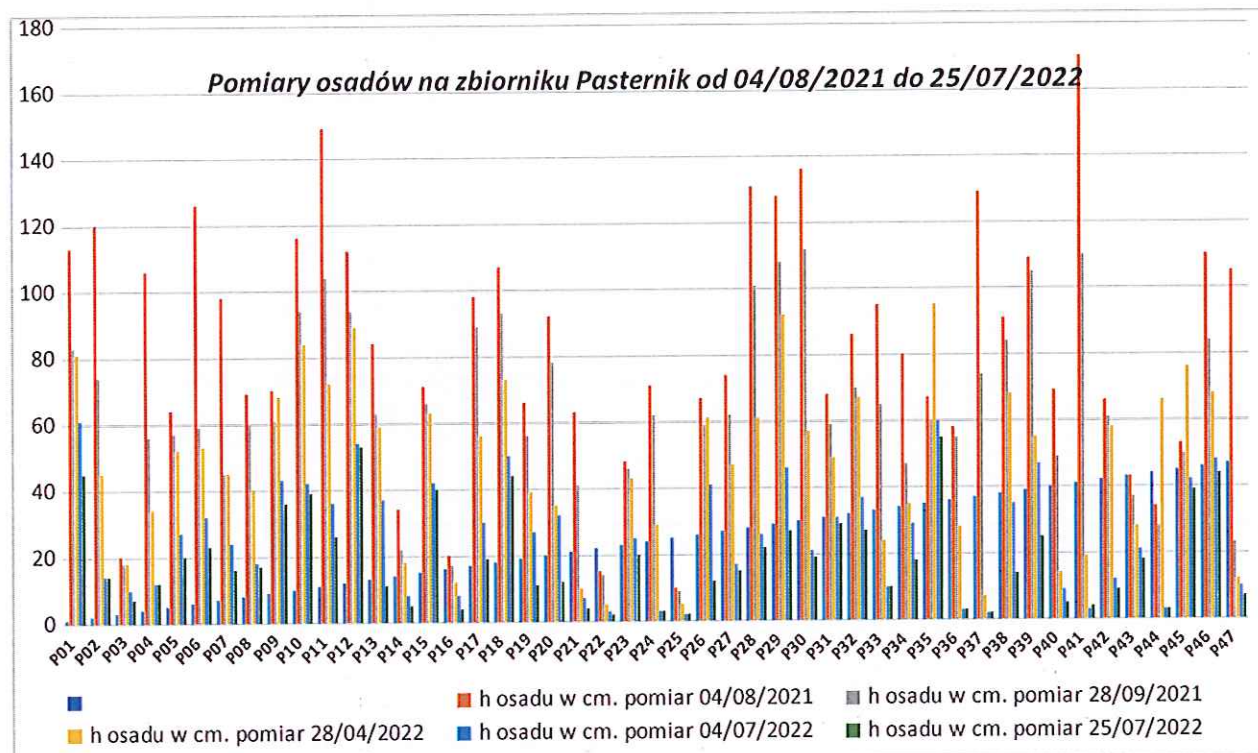
SZKIC LOKALIZACJI PUNKTÓW POMIAROWYCH OSADU NA ZBIORNIKU PASTERENIK



Rysunek 1. Mapa zbiornika Pasternik w Starachowicach z geodezyjną siatką pomiarową dla 47 punktów monitoringu parametrów jakości wody i osadów dennych.

Rozszerzona kampania badawcza uwzględniała zakrojony zakres pomiarów monitoringowych dla badania wybranych parametrów jakości wody oraz osadów dennych. W badanym czasie założono, iż rozwój mikroorganizmów wprowadzonych do zbiornika zachodzi w najbardziej dynamiczny sposób, co przekłada się na proces intensywnej biodegradacji organiki w tym osadów dennych (stanowiącej źródła węgla organicznego dla efektywnych mikroorganizmów z zastosowanych biopreparatów) (Mazurkiewicz i in., 2020). We wszystkich punktach odnotowano redukcję osadów w zakresie 18 – 98%. Średnia wartość redukcji dla 47 punktów pomiarowych wyniosła 77% redukcji i wzrosła w porównaniu do analogicznego okresu z zeszłego roku (2021 r).

Dynamikę procesu redukcji przedstawiono na wykresie 1. W punktach, gdzie zalegające frakcje wykazywały się znaczącą grubością odnotowano szczególnie dużą redukcję. Badania te przy tak licznej ilości pomiarów potwierdzają sukces zastosowanej metody rewitalizacji mikrobiologicznej (wynikającej z prawidłowego doboru konsorcjów efektywnych mikroorganizmów) (Mazur R., 2020).



Wykres. 1. Zmiany w grubości warstwy osadów dennych (miękkich frakcji organicznych) na zbiorniku Pasternik w okresie od 04.08.2021 do 25.07.2022 r.

Pkt pomiarowy	h osadu w cm. pomiar 04/08/2021	h osadu w cm. pomiar 28/09/2021	h osadu w cm. pomiar 28/04/2022	h osadu w cm. pomiar 04/07/2022	h osadu w cm. pomiar 25/07/2022
P01	113	83	81	61	45
P02	120	74	45	14	14
P03	20	18	18	10	7
P04	106	56	34	12	12
P05	64	57	52	27	20
P06	126	59	53	32	23
P07	98	45	45	24	16
P08	69	60	40	18	17

P09	70	61	68	43	36
P10	116	94	84	42	39
P11	149	104	72	36	26
P12	112	94	89	54	53
P13	84	63	59	37	11
P14	34	22	18	8	5
P15	71	66	63	42	40
P16	20	17	12	8	4
P17	98	89	56	30	19
P18	107	93	73	50	44
P19	66	56	39	27	11
P20	92	78	35	32	12
P21	63	41	10	7	4
P22	15	14	5	3	2
P23	48	46	43	25	20
P24	71	62	29	3	3
P25	10	9	5	2	2
P26	67	59	61	41	12
P27	74	62	47	17	15
P28	131	101	61	26	22
P29	128	108	92	46	27
P30	136	112	57	21	19
P31	68	59	49	31	29
P32	86	70	67	37	27

P33	95	65	24	10	10
P34	80	47	35	29	18
P35	67	60	95	60	55
P36	58	55	28	3	3
P37	129	74	7	2	2
P38	91	84	68	35	14
P39	109	105	55	47	25
P40	69	49	14	9	5
P41	170	110	19	3	4
P42	66	61	58	12	9
P43	43	37	28	21	18
P44	34	28	66	3	3
P45	53	50	76	42	39
P46	110	84	68	48	44
P47	105	23	12	10	7

Średnia wartość pomierzonego osadu: **83,21** **63,06** **47,13** **25,53** **18,98**

Wnioski. Rozszerzone pomiary osadu w 47 punktach są prawie identyczne jak w przypadku 7 punktów z projektu. Średnia ilość osadu w 47 punktach w pomiarach z 4 sierpnia 2021 r. wyniosła 83,21 cm. Pomiary po roku 25 lipca 2022 r. wykazały średni poziom mułu na poziomie 18,98 cm. Redukcja wyniosła 64,23 cm czyli daje to zejście mułu o 77,20%. W projekcie założono redukcję o 70%.

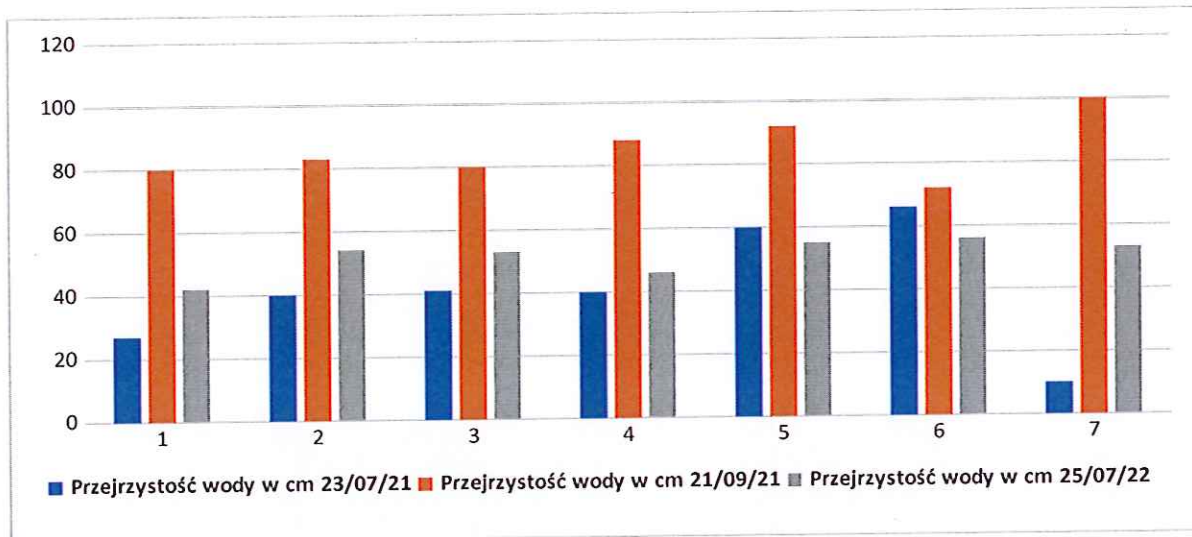
Podsumowując, oba pomiary wykazały prawie identyczne dane. Oznacza to, że wybór technologii był bardzo dobrą decyzją.

Pomiary przenikalności światła w strefie eufotycznej zbiornika

Tabela 2. Badania przenikalności światła w strefie eufotycznej w punktach pomiarowych P1 – P7

Pomiar z dnia: 25/07/2022 Starachowice								
Punkty pomiarów								
Punkty	Punkt pomiaru Współrzędne	Przejrzystość wody w cm 23/07/21	Przejrzystość wody w cm 21/09/21	Przejrzystość wody w cm 25/07/22	Przejrzystość porównanie 23/07/21 do 21/09/21 w cm wzrost	Przejrzystość porównanie 23/07/21 do 21/09/21 w % wzrost	Przejrzystość porównanie 23/07/21 do 25/07/22 w cm wzrost	Przejrzystość porównanie 23/07/21 do 25/07/21 w % wzrost
1	N: 51° 03' 05.71" E: 21° 02' 52.22"	27	80	42	53	196%	15	56%
2	N: 51° 03' 01.63" E: 21° 02' 53.70"	40	83	54	43	108%	14	35%
3	N: 51° 03' 06.50" E: 21° 03' 05.19"	41	80	53	39	95%	12	29%
4	N: 51° 02' 58.47" E: 21° 03' 06.30"	40	88	46	48	120%	6	15%
5	N: 51° 02' 59.70" E: 21° 03' 16.60"	60	92	55	32	53%	-5	-8%
6	N: 51° 02' 55.75" E: 21° 03' 23.11"	66	72	56	6	9%	-10	-15%
7	N: 51° 02' 53.29" E: 21° 03' 29.31"	10	100	53	90	900%	43	430%

Pomiary przejrzystości wody krążkiem Secchiego, w sesji pomiarowej 23.07.2021 r. wykazały, że przenikalność światła w strefie eufotycznej wody była ograniczona przez rozwój fitoplanktonu, niemniej jednak nie była ona krytyczna, pomimo iż nie uzyskano przejrzystości do dna (jest to zbiornik płytki). W punkcie P7 obserwowano wysoki udział rozwoju glonów fitoplanktonu (Tab. 2). W kolejnych etapach monitoringu odnotowano znaczącą poprawę przejrzystości we wszystkich punktach pomiarowych. Rozrzut poprawy przejrzystości kształtował się od 62% do prawie 9ciokrotności w punkcie P7, w który w okresie letnim odnotowano gorsze warunki eufotyczne (tab. 2). W pełni sezonu wegetacyjnego w 23.07.2022 r, w 5ciu na 7 badanych punktach odnotowano polepszenie przejrzystości wody (Tab. 2). Do kwietnia 2022 r., trwał proces refulacji osadów dennych w części ujściowej co mogło wywoływać wzrost zawiesin w wodzie w strefie rekreacyjnej, a mimo wszystko w większości badanych punktów strefa eufotyczna była znacząco większa. Proces wycinki makrofitów wodnych w zbiorniku trwał nadal podczas pomiarów 25 lipca 2022 r. Prace były realizowane przez 3 jednostki pływające (harwestery wodne) o napędzie łopatkowym silnie wzburzającym wodę w trakcie wycinki w części rekreacyjnej. Prace te również mogą mieć istotny wpływ na utrzymywanie się zwiększonego poziomu zawiesin, zwłaszcza że te dwa punkty pomiarowe o obniżonej przejrzystości są zlokalizowane najbliżej obszaru wycinki. Generalnie można stwierdzić, iż w 2022 (25.07. 2022 r) zwiększyła się głębokość przenikania światła w wodzie w badanym obszarze w porównaniu z analogicznym sezonem w 2021 (lipiec – sierpień) (wykres 2).



Wykres. 2. Zmiany w przejrzystości wody (mierzonej krążkiem Secchiego) na zbiorniku Pasternik w okresie od 23.07.2021 do 25.07.2022 r.

Podstawowe parametry fizyko-chemiczne wody:

W każdym z wytypowanych punktów P1-P6 pomierzono parametry tj. pH wody jeziora, potencjał redox (oksydacyjno-redukcyjny wody) (mV) sondą ORP, konduktywność roztworu wodnego mS/L, temperaturę °C. Pomiarów wykonano urządzeniem (multimetrem CX- 461 firmy ELMETRON). Sondy do pomiarów zostały wykalibrowane zgodnie z procedurą producenta oraz w czasie 24 h przed pomiarem były kondycjonowane w wodzie destylowanej w temperaturze pokojowej.

Tabela 3. Parametry fizyko-chemiczne wody w zalewie Pasternik 04.08.2021 r.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Uwagi
pH	6.55	6.7	6.52	6.68	6.75	6.66	
konduktywność [mS]	0.635	0.614	0.643	0.624	0.619	0.64	
Red-ox [mV]	-10.7	-16	-6	-12	-14	-16.4	
Temp. [°C]	23.3	24	23.6	23.4	23.5	23.7	
FNU	0.896667	0.808333	0.675	0.743333	0.623333	0.62	

Stężenie tlenu (badano multimetrem HQ2100 marki Hach Lange z sondą LDO10105) odnotowane 4.08.2021 r. pomimo, iż w górnej warstwie wody jest na bardzo przyzwoitym poziomie w profilu głębokościowych do dna ulega sukcesywnemu spadkowi – przy dnie była strefa beztlenowa. Górne warstwy natleniane są przez powietrze atmosferyczne, natomiast dolne warstwy poddane są presji rozkładu materii organicznej przez mikroorganizmy tlenowe. W warstwie przydennej obserwujemy prawie całkowitą deplecję tlenu (Tab. 4). W przypadku znaczącego wzruszenia osadów może dojść do spadku tlenu w całej objętości wody i wywołania efektu przyduchy groźnej dla rozwoju i makrozoobentosu i zooplanktonu wodnego (Chmielowski i in., 2019; Mazur i Chmielowski, 2020). W kolejnych sesjach pomiarowych we wszystkich punktach pomiarowych odnotowano diametralną poprawę profilu tlenowego wody od dna. W górnych warstwach stężenie tlenu było optymalne dla funkcjonowania ekosystemów wodnych. Nad warstwą denną w okresie letnim silna anoksja zmuszała organizmy wodne do bytowania w wyższych warstwach wody. W sesji pomiarowej z 21.09.2021 r poziom tlenu w całym profilu wodnym wyrównał się do wartości niezagrażających bytowaniu organizmów wodnych (tab. 4). Wyniki stężenia tlenu w 25.07.2022 r., również wskazują na utrzymanie znacząco lepszych wartości w porównaniu z analogicznym okresem z 2021 r. Przy takich wartościach, prawdopodobieństwo krytycznego spadku tlenu i tworzenia się stref odtlenionych jest znikome. Obecne wartości stężenia tlenu, jeżeli zostaną utrzymane warunkują bardzo dobre

parametry dla utrzymania homeostazy w ekosystemie wodnym zbiornika oraz obecnego poziomu bioróżnorodności (Stumm i Stumm-Zollinger, 1971; Burke i Knott, 1997; Klymenko i in., 2018).

Tabela 4. Pomiary stężenia tlenu w sesjach pomiarowych 23.07.2021 - 25.07.2022 r.

Pomiar z dnia: 21/09/2021 Starachowice						
Punkty pomiarów						
Punkt y	Punkt pomiaru Współrzędne	współrzędne X	współrzędne Y	Zawartość tlenu w wodzie mg/l 23/07/21	Zawartość tlenu w wodzie mg/l 21/09/21	Zawartość tlenu w wodzie mg/l 25/07/22
1	N: 51° 03' 05.71" E: 21° 02' 52.22"	5657403.43 0	7503349.36 0	a) 3,63 b) 0,12	a) 7,44 b) 7,39	a) 6,82 b) 4,84
2	N: 51° 03' 01.63" E: 21° 02' 53.70"	5657255.72 0	7503388.97 0	a) 3,36 b) 0,10	a) 7,42 b) 7,18	a) 9,23 b) 6,11
3	N: 51° 03' 06.50" E: 21° 03' 05.19"	5657414.49 0	7503606.78 0	a) 1,42 b) 0,07	a) 6,62 b) 6,57	a) 8,94 b) 6,16
4	N: 51° 02' 58.47" E: 21° 03' 06.30"	5657168.30 0	7503632.24 0	a) 6,70 b) 0,11	a) 7,08 b) 6,80	a) 7,51 b) 4,14
5	N: 51° 02' 59.70" E: 21° 03' 16.60"	5657207.00 0	7503825.63 0	a) 7,25 b) 0,12	a) 7,13 b) 7,06	a) 9,31 b) 5,07
6	N: 51° 02' 55.75" E: 21° 03' 23.11"	5657066.28 0	7503939.72 0	a) 8,28 b) 0,05	a) 7,55 b) 7,63	a) 8,93 b) 4,83
7	N: 51° 02' 53.29" E: 21° 03' 29.31"	5656974.86 0	7504046.30 0	a) 2,19 b) 0,07	a) 6,99 b) 6,87	a) 6,03 b) 6,89

Oznaczenia: a) tlen powierzchniowy, b) tlen strefa przydenna

Pozostałe parametry nie stanowiły zagrożenia dla rozwoju organizmów wodnych w ekosystemie zbiornika, są one w właściwych zakresach (Tab. 3).

Bardzo pozytywny wpływ na utrzymanie jakości wody w zbiorniku mają makrofity masowo porastające zbiornik, wychwytyują one biogeny mogące być przyczyną eutrofizacji oraz wpływają na warunki tlenowe zwłaszcza w górnych warstwach wody zbiornika (Mazur i Sitarek, 2020).

Proces ich wycinki wymaga szczególnych zabiegów, tj. sprawnego usuwania biomasy po harwesterach oraz aplikacji mikroorganizmów aktywnie stabilizujących procesy biodegradacji martwej materii organicznej. Możliwe są też lokalne procesy eutrofizacji w obszarach po działaniach mechanicznych w wyniku nadpodaży biogenów do wody i powolnego procesu ich usuwania.

Analizy laboratoryjne

Wyniki badań laboratoryjnych na chlorofil-a wskazywały na podniesioną wartość tego parametru: 10.12 – 14,5 µg/l, co pozwoliło obliczyć wartość TSI (CHL) = 53 – 56, i jest charakterystyczna dla zbiorników eutrofizujących.

Ponieważ w trakcie prac rewitalizacji zbiornika wykonano masową wycinkę biomasy makrofitów zanurzonych i wynurzonych, również warto zlecić badania na stężenia tych metali ciężkich w ich

biomasie. Rośliny znacząco akumulują metale z osadów dennych i wody i jeśli ich stężenia są przekroczone również sposób utylizacji takiej biomasy powinien przebiegać w specjalnych warunkach z zachowaniem zasad bezpieczeństwa.

Parametry fizykochemiczne materiału z próbek osadów dennych

Oznaczenie parametrów	Jednostka		Identyfikacja metody badawczej	Miejsce wyk. Badań	Wyniki badań: Lokalizacja punktu poboru: Numer laboratoryjny próbki							Niepewność rozszerzona	Autoryzował
					Punkt nr 1 - N: 51°03'05.71" E: 21°02'52.22"	Punkt nr 2 - N: 51°03'01.63" E: 21°02'53.70"	Punkt nr 3 - N: 51°03'05.18" E: 21°03'04.71"	Punkt nr 4 - N: 51°02'58.47" E: 21°03'06.30"	Punkt nr 5 - N: 51°02'59.70" E: 21°03'16.60"	Punkt nr 6 - N: 51°02'55.75" E: 21°03'23.11"	Punkt nr 7 - N: 51°02'53.29" E: 21°03'29.31"		
Zawartość azotu amonowego	%	s.m.	PN-EN 14671:2007 (NA)	PS	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	-	KM
Sucha masa	%	mg		PS	< 1	8,98	11,8	9,35	11,3	10,6	5,55	-	KM
Zawartość azotu ogólnego	%	s.m.	PN-EN 16168:2012 (NA)	PS	0,090	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-	KM
Fosfor (P)	%	s.m.	PN-EN 16171:2017-02 (A)	PS'	0,20	0,20	0,32	0,18	0,051	0,13	0,060	±0,018	KM
Azotany	mg/kg	s.m.	DIN EN ISO 10304-1 (A)	PZ1	6,6	<5	<5	<5	<5	<5	<5	±2	KM

Tabela 5: Zawartość związków biogenych w osadach dennych z próbek środowiskowych pobranych 29.07.2021 r

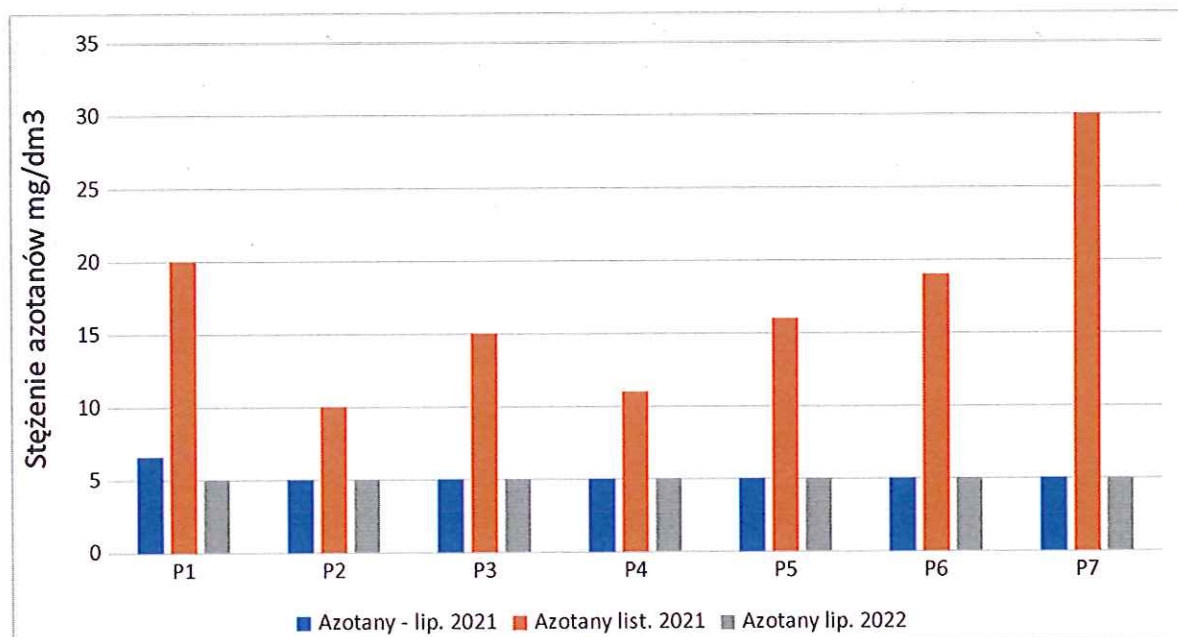
Tabela 6: Zawartość związków biogenych w osadach dennych z próbek środowiskowych pobranych 19.11.2021 r.

Oznaczenie parametrów	Jednostka		Identyfikacja metody badawczej	Miejsce wyk. Badań	Wyniki badań: Lokalizacja punktu poboru: Numer laboratoryjny próbki							Niepewność rozszerzona	Autoryzował
					Punkt nr 1 - N: 51°03'05.71" E: 21°02'52.22"	Punkt nr 2 - N: 51°03'01.63" E: 21°02'53.70"	Punkt nr 3 - N: 51°03'05.18" E: 21°03'04.71"	Punkt nr 4 - N: 51°02'58.47" E: 21°03'06.30"	Punkt nr 5 - N: 51°02'59.70" E: 21°03'16.60"	Punkt nr 6 - N: 51°02'55.75" E: 21°03'23.11"	Punkt nr 7 - N: 51°02'53.29" E: 21°03'29.31"		
Zawartość azotu amonowego	%	s.m.	PN-EN 14671:2007 (NA)	PS	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	KM
Zawartość azotu ogólnego	%	s.m.	PN-EN 16168:2012 (NA)	PS	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-	KM
Fosfor (P)	%	s.m.	PN-EN 16171:2017-02 (A)	PS	0,09	0,45	0,54	0,23	0,09	0,47	0,26	±0,018	KM
Azotany	mg/kg	s.m.	DIN EN ISO 10304-1 (A)	PZ1	20	10	15	11	16	19	30	±2	KM

Tabela 7: Zawartość związków biogenych w osadach dennych z próbek środowiskowych pobranych 25.07.2022r

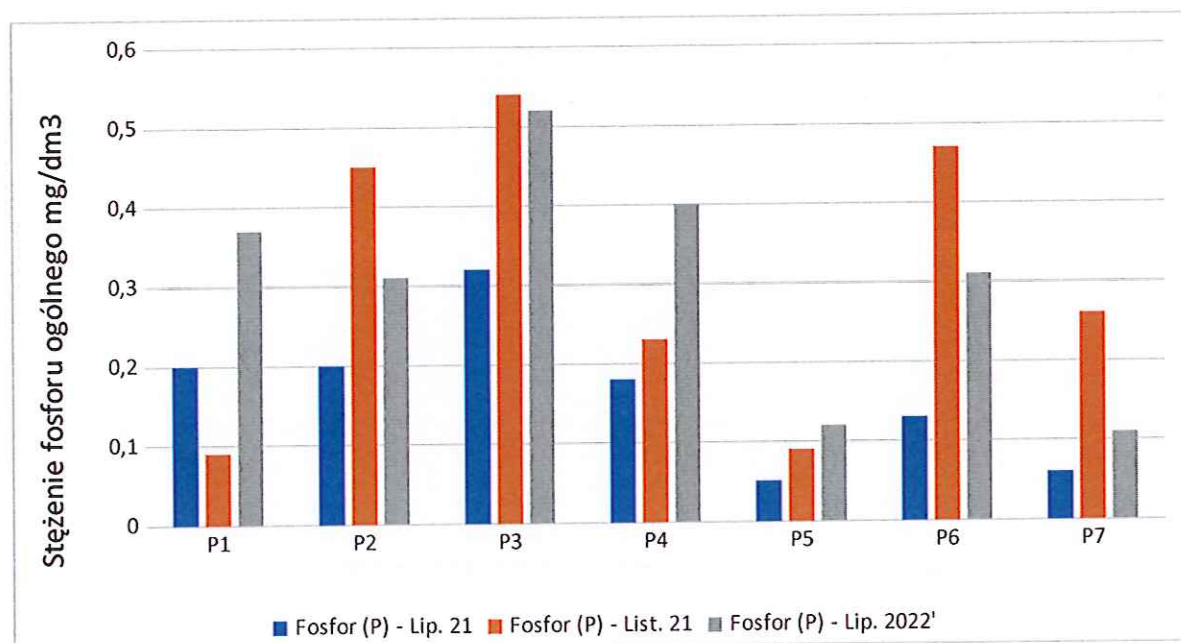
Oznaczenie parametrów	Jednostka		Identyfikacja metody badawczej	Miejsce wyk. Badań	Wyniki badań: Lokalizacja punktu poboru: Numer laboratoryjny próbki							Niepewność rozszerzona	Autoryzował
					Punkt nr 1 - N: 51°03'05.71" E: 21°02'52.22"	Punkt nr 2 - N: 51°03'01.63" E: 21°02'53.70"	Punkt nr 3 - N: 51°03'05.18" E: 21°03'04.71"	Punkt nr 4 - N: 51°02'58.47" E: 21°03'06.30"	Punkt nr 5 - N: 51°02'59.70" E: 21°03'16.60"	Punkt nr 6 - N: 51°02'55.75" E: 21°03'23.11"	Punkt nr 7 - N: 51°02'53.29" E: 21°03'29.31"		
Zawartość azotu amonowego	%	s.m.	PN-EN 14671:2007 (NA)	PS	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	KM
Zawartość azotu ogólnego	%	s.m.	PN-EN 16168:2012 (NA)	PS	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-	KM
Fosfor (P)	%	s.m.	PN-EN 16171:2017-02 (A)	PS	0,37	0,31	0,52	0,4	0,12	0,31	0,11	±0,018	KM
Azotany	mg/kg	s.m.	DIN EN ISO 10304-1 (A)	PZ1	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	±2	KM

Wzrost stężenia tlenu w warstwie przydennej (tab. 4) może być przyczyną wzrostu poziomu azotanów w osadach dennych (tab. 6; wykres. 3) w początkowym etapie procesu rewitalizacji, gdyż procesy tlenowej biodegradacji (na drodze nityfikacji) wzmagają jego produkcję. W kolejnym sezonie stężeniem oznaczanych azotanów obniżył się do poziomu wyjściowego.



Wykres 3. Zmiany w stężeniu azotanów w osadach dennych w punktach pomiarowych w 3 sesjach monitoringowych 2021 – 2022 r.

Można uznać go za wskaźnik intensywnych procesów rozkładu biologicznego frakcji organicznych w osadach dennych. Redukcja warstwy osadów dennych (miękkich frakcji organicznych) również potwierdza to zjawisko.



Wykres 4. Zmiany w stężeniu fosforu ogólnego w osadach dennych w punktach pomiarowych w 3 sesjach monitoringowych 2021 – 2022 r.

Stężenie fosforanu wykazuje znaczące fluktuacje (tab. 5, 6, 7) (wykres 3), jego dalszy podwyższony poziom wskazuje na intensywne procesy biodegradacji osadów przez mikroorganizmy (Wang i in., 2019). Dalsze badania monitoringowe w kolejnych okresach i latach mogą dopiero wskazać, w której fazie są procesy rozkładu miękkich frakcji organicznych osadów dennych (Chen i in., 2018). Badania grubości osadów potwierdzają ich sukcesywną redukcję (tab. 1, wykres 1).

Pozostałe parametry (tab. 5, 6, 7) wykazują naturalne fluktuacje charakterystyczne dla materii organicznej i nieorganicznej nagromadzonej w osadach dennych. Nie stanowią one zasadniczo zagrożenia dla trofii wody w zbiorniku Pasternik.

Parametry fizykochemiczne wody powierzchniowej zbiornika Pasternik:

Tabela 8. Parametry jakościowe w wodzie z próbek środowiskowych pobranych 29.07.2021 r

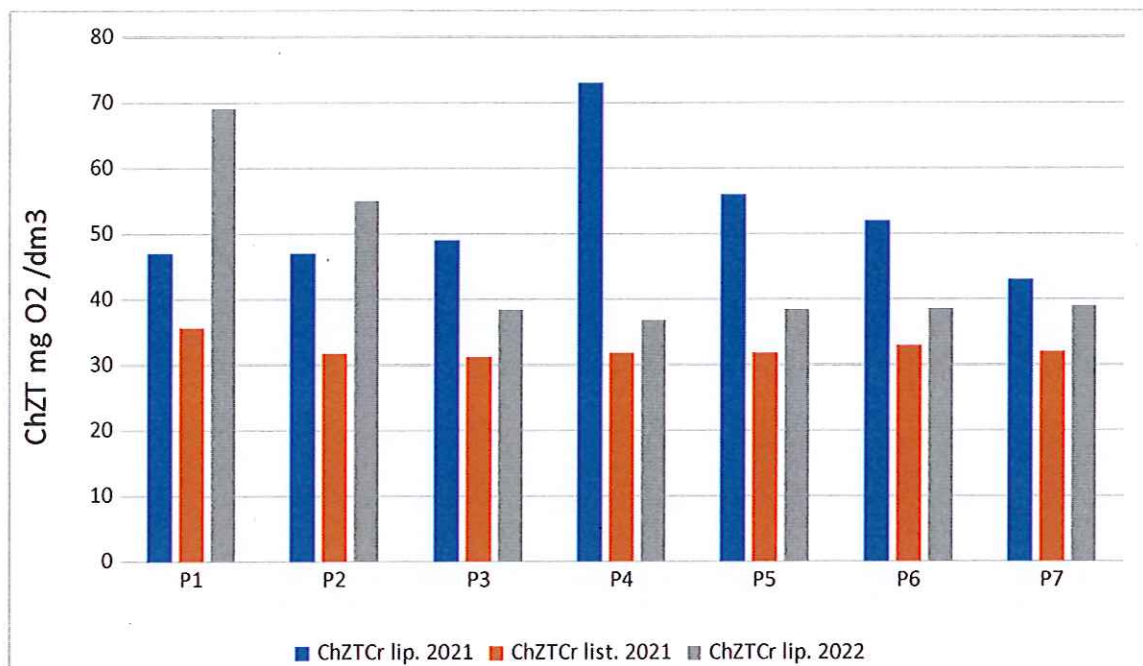
Oznaczany parametr	Jednostka	Identyfikacja metody badawczej	Miejsce wyk. Badań	Wyniki badań: Lokalizacja punktu poboru: Numer laboratoryjny próbki							Niepewność rozszerzona	Autoryzował
				Punkt nr 1 - N: 51°03'05.71" E: 21°02'52.22" 174194/1/2021	Punkt nr 2 - N: 51°03'01.63" E: 21°02'53.70"	Punkt nr 3 - N: 51°03'05.18" E: 21°03'04.71"	Punkt nr 4 - N: 51°02'58.47" E: 21°03'06.30"	Punkt nr 5 - N: 51°02'59.70" E: 21°03'16.60"	Punkt nr 6 - N: 51°02'55.75" E: 21°03'23.11"	Punkt nr 7 - N: 51°02'53.29" E: 21°03'29.31"		
Temperatura - pomiar w terenie	°C	PB-DPP-43 (A)	TE	22,7	23,5	24,1	23,7	23,5	24,2	23,2	22,7	MW
pH	-	PN-EN ISO 10523:2012 (A)	TE	7,2	7,3	7,4	7,4	7,5	7,7	7,4	7,2	MW
Przewodność elektryczna właściwa (PEW) w temp. 20°C	µS/cm	PN-EN 27888:1999 (A)	296	289	263	278	276	267	267	296	±41	MW
Potencjał redox (oksydoredukcyjny) przy elektrodzie Ag/AgCl 3,5M KCl	mV	PB-DPP-49 (A)	243	209	153	152	304	317	302	243	±30	MW
Potencjał redox (względem standardowej elektrody odniesienia)	mV	PB-DPP-49 (A)	456	422	366	365	517	530	515	456	±30	MW
ChZT _{Cr}	mg/l	PN-ISO 15705:2005 (A)	47	47	49	73	56	52	43	47	±8	MW
BZT ₅	mg/l	PN-EN 1899-2:2002 z wyłączeniem p. 7.2; PB-DAN-12 (A)	4,1	4,0	4,8	4,2	4,3	4,5	3,0	4,1	±1,5	MW
Fosfor ogólny	mg/l	PN-EN ISO 15681-2:2019-02 (A)	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	-	MW
Azot azotanowy	mg/l	PN-EN ISO 13395:2001 (A)	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	-	MW
Azot amonowy	mg/l	PN-EN ISO 11732:2007 (A)	0,05	0,05	0,06	0,12	< 0,04	0,04	0,13	0,05	±0,02	MW
Azot ogólny	mg/l	PN-EN 11905-1:2001 (A)	0,79	0,69	0,67	0,63	0,61	0,63	0,67	0,79	±0,13	MW

Tabela 9. Parametry jakościowe w wodzie z próbek środowiskowych pobranych 19.11.2021 r.

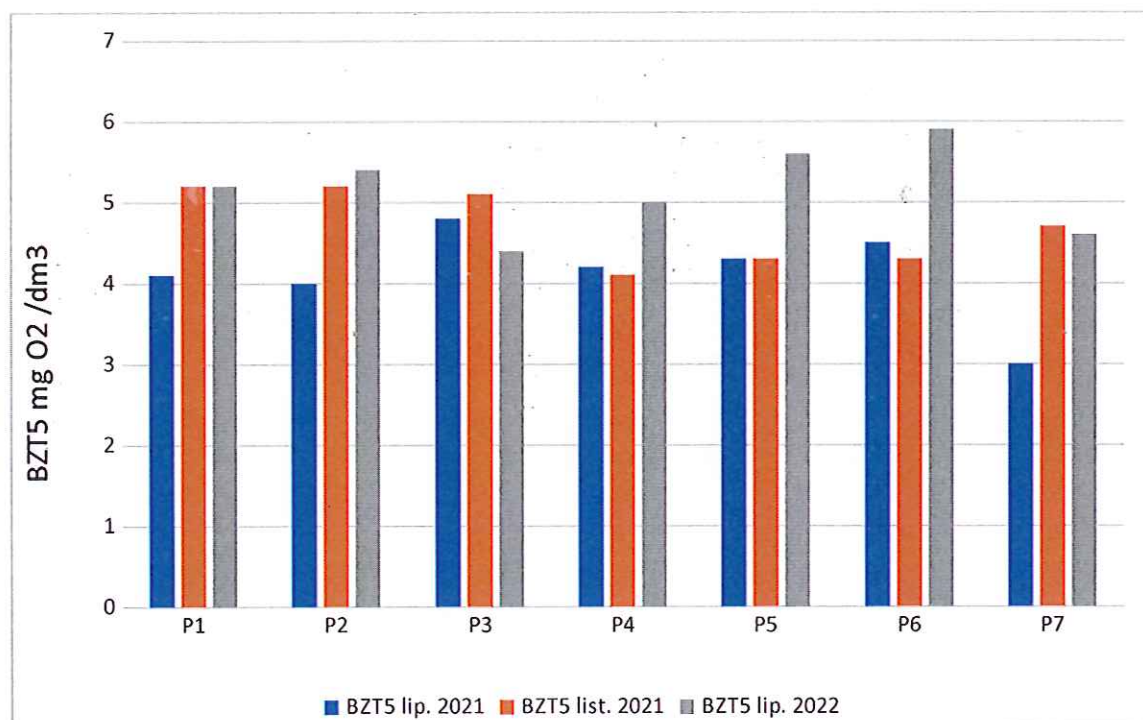
Oznaczany parametr	Jednostka	Identyfikacja metody badawczej	Miejsce wyk. Badań	Wyniki badań: Lokalizacja punktu poboru: Numer laboratoryjny próbki							Niepewność rozszerzona	Autoryzował
				Punkt nr 1 - N: 51°03'05.71" E: 21°02'52.22" 174194/1/2021	Punkt nr 2 - N: 51°03'01.63" E: 21°02'53.70" 474405/1/1/2021	Punkt nr 3 - N: 51°03'05.18" E: 21°03'04.71" 474406/1/1/2021	Punkt nr 4 - N: 51°02'58.47" E: 21°03'06.30" 474407/1/1/2021	Punkt nr 5 - N: 51°02'59.70" E: 21°03'16.60" 474408/1/1/2021	Punkt nr 6 - N: 51°02'55.75" E: 21°03'23.11" 474409/1/1/2021	Punkt nr 7 - N: 51°02'53.29" E: 21°03'29.31" 474410/1/1/2021		
Temperatura - pomiar w terenie	°C	PB-DPP-43 (A)	TE	6,6	6,6	6,6	6,5	6,4	6,5	6,6	±1,0	MW
pH	-	PN-EN ISO 10523:2012 (A)	TE	7,4	7,6	7,6	7,6	7,7	7,7	7,8	±0,2	MW
Przewodność elektryczna właściwa (PEW) w temp. 20°C	µS/cm	PN-EN 27888:1999 (A)	TE	341	275	271	277	281	262	267	±41	MW
Potencjał redox (oksydoredukcyjny) przy elektrodzie Ag/AgCl 3,5M KCl	mV	PB-DPP-49 (A)	TE	496	499	511	502	515	504	505	±30	MW
Potencjał redox (względem standardowej elektrody odniesienia)	mV	PB-DPP-49 (A)	TE	721	724	736	727	740	729	730	±30	MW
ChZT _{Cr}	mg/l	PN-ISO 15705:2005 (A)	PS	35,6	31,7	31,2	31,8	31,8	32,9	32	±8	MW
BZT ₅	mg/l	PN-EN 1899-2:2002 z wyłączeniem p. 7.2; PB-DAN-12 (A)	PS	5,2	5,2	5,1	4,1	4,3	4,3	4,7	±1,5	MW
Fosfor ogólny	mg/l	PN-EN ISO 15681-2:2019-02 (A)	PS	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	-	MW
Azot azotanowy	mg/l	PN-EN ISO 13395:2001 (A)	PS	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	-	MW
Azot amonowy	mg/l	PN-EN ISO 11732:2007 (A)	PS	0,10	0,11	0,08	0,08	0,09	0,07	0,08	±0,02	MW
Azot ogólny	mg/l	PN-EN 11905-1:2001 (A)	PS	0,62	0,67	0,67	0,67	0,68	0,69	0,63	±0,13	MW

Tabela 10. Parametry jakościowe w wodzie z próbek środowiskowych pobranych 25.07.2022 r.

Oznaczany parametr	Jednostka	Identyfikacja metody badawczej	Miejsce wyk. Badań	Wyniki badań: Lokalizacja punktu poboru: Numer laboratoryjny próbki							Niepewność rozszerzona	Autoryzował
				Punkt nr 1 - N: 51°03'05.71" E: 21°02'52.22" 174194/11/2021	Punkt nr 2 - N: 51°03'01.63" E: 21°02'53.70" 474405/14/1994	Punkt nr 3 - N: 51°03'05.18" E: 21°03'04.71" 474405/14/1994	Punkt nr 4 - N: 51°02'58.47" E: 21°03'06.30" 474407/14/1994	Punkt nr 5 - N: 51°02'59.70" E: 21°03'16.60" 474408/14/1994	Punkt nr 6 - N: 51°02'55.75" E: 21°03'23.11" 474409/14/1994	Punkt nr 7 - N: 51°02'53.29" E: 21°03'29.31" 474410/14/1994		
Temperatura - pomiar w terenie	°C	PB-DPP-43 (A)	TE	23,9	24,1	23,9	24,7	25,1	24,9	25	±1,0	M W
pH	-	PN-EN ISO 10523:2012 (A)	TE	7,5	7,9	8,1	8	8,3	8,1	7,8	±0,2	M W
Przewodność elektryczna właściwa (PEW) w temp. 20°C	µS/cm	PN-EN 27888:1999 (A)	TE	431	353	343	369	352	343	341	±41	M W
Potencjał redox (oksydoredukcyjny) przy elektrodzie Ag/AgCl 3,5M KCl	mV	PB-DPP-49 (A)	TE	208	189	173	165	163	157	153	±30	M W
Potencjał redox (względem standardowej elektrody odniesienia)	mV	PB-DPP-49 (A)	TE	415	396	380	372	370	364	360	±30	M W
ChZT _{Cr}	mg/l	PN-ISO 15705:2005 (A)	PS	69	55	38,4	36,8	38,4	38,6	39	±8	M W
BZT ₅	mg/l	PN-EN 1899-2:2002 z wyłączenie m p. 7.2; PB-DAN-12 (A)	PS	5,2	5,4	4,4	5	5,6	5,9	4,6	±1,5	M W
Fosfor ogólny	mg/l	PN-EN ISO 15681-2:2019-02 (A)	PS	< 0,10	0,12	0,13	0,10	0,10	< 0,10	0,10	-	M W
Azot azotanowy	mg/l	PN-EN ISO 13395:2001 (A)	PS	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	-	M W
Azot amonowy	mg/l	PN-EN ISO 11732:2007 (A)	PS	0,08	0,05	< 0,04	0,06	0,06	0,06	0,05	±0,0 2	M W
Azot ogólny	mg/l	PN-EN 11905-1:2001 (A)	PS	0,63	0,67	0,62	0,58	0,64	0,61	0,57	±0,1 3	M W



Wykres 5. Zmiany wartości ChZT ($\text{mg O}_2/\text{dm}^3$) w wodzie w zbiorniku Pasternik (lipiec 2021 – lipiec 2022) w trakcie procesu rewitalizacji mikrobiologicznej.



Wykres 6. Zmiany wartości BZT₅ ($\text{mg O}_2/\text{dm}^3$) w wodzie w zbiorniku Pasternik (lipiec 2021 – lipiec 2022) w trakcie procesu rewitalizacji mikrobiologicznej.

Zmiany wartości ChZT i BZT₅ wykazują naturalne sezonowe fluktuacje (tab. 8, 9, 10), (wykresy 5 i 6) charakterystyczne dla zbiorników o podwyższonej trofii wód. Większość wód akwenach na terenie Polski wykazuje podniesiony poziom trofii wód (Bartoszek i in., 2017). W analogicznych okresach wegetacyjnych nie można wskazać na istnych zmian w wodzie w odniesieniu do tych wskaźników. Proces aplikacji mikroorganizmów oraz dynamika rewitalizacji zbiornika nie miała wpływu na wzrost ChZT i BZT₅, co mogło wynikać ze wzmożonej aktywności makrofitów zanurzonych

obecnych w zbiornikach. Pozostałe parametry nie wykazują znacząco dużych różnic, zarówno w sezonie wegetacyjnym oraz poza. Są one charakterystyczne dla zbiorników wodnych o nieznacznie podwyższonej trofii, ale nie stanowią istotnego zagrożenia dla intensywnych zakwitów glonów oraz redukcji bioróżnorodności ekosystemów wodnych, zwłaszcza że strefa eufotyczna ulega sukcesywnej poprawie (tab. 2).

Monitoring metali ciężkich w osadach dennych w 4 punktach w obszarze zbiornika Pasternik

Tabela 11. Zawartość metali ciężkich w osadach dennych w 7 punktach pomiarowych (uwzględnianiem maksymalnych wartości dopuszczalnych dla wybranych metali ciężkich).

Oznaczany parametr	Jednostka		Wyniki badań: Lokalizacja punktu poboru: Numer laboratoryjny próbki							
			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Dz. U. z 2002 Nr 55 poz. 498
Chrom	mg/kg	s.m.	340	503	590	437	267	491	123	200
Kadm	mg/kg	s.m.	11,3	17,8	24,7	16,4	9,86	20,6	3,64	7,5
Nikiel	mg/kg	s.m.	116	120	80,1	121	62,5	100	40,2	75
Ołów	mg/kg	s.m.	48,3	74,2	49,5	65,8	45,3	61,5	46,2	200
Rtęć	mg/kg	s.m.	1,36	1,78	2	1,73	0,98	1,64	0,39	1

W osadach dennych zalegają znaczące ilości metali ciężkich, których źródłem był najprawdopodobniej przemysł metalurgiczny oraz zakłady mechaniczne w sąsiedztwie zbiornika. Badania laboratoryjne stężenia metali ciężkich w mg/kg suchej masy osadów wykazały, iż w części rekreacyjnej zbiornika Pasternik poza ołowiem poziom ich nagromadzenia, jest znacząco przekroczony (tabela 11) według rozporządzenia Dz. U. z 2002 Nr 55 poz. 498. Od 2013 r. powyższe rozporządzenie wygasło, ale brak jest nowego, które określa normę w sprawie rodzajów oraz stężeń substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony. Nie można stosować tutaj rozporządzenia Dz.U. 2015 poz. 257, które dotyczy stosowania osadów ściekowych, ze względu na nieporównywalny charakter obu typu mieszanin. Rekomenduje się mimo wszystko rozporządzenie Dz. U. z 2002 Nr 55 poz. 498, z braku innych norm i rozporządzeń dotyczących tego typu mieszaniny (którymi są osady denne ze zbiorników i cieków wodnych).

W części basenu dopływowego od strony rzeki Kamiennej, nie odnotowano przekroczeń badanych form metali ciężkich, gdyż większa prędkość przepływu wody, była przyczyną ich wymywania do basenu rekreacyjnego. Nie rekomenduje się zatem prac mechanicznych, które mogą wywołać wzruszenie osadów (frakcji mineralnych) i uwolnienie tych metali do wody, gdyż spowodowało by to wtórną znaczącą intoksykację środowiska wodnego przez te pierwiastki, które są toksyczne dla organizmów wodnych oraz groźne dla człowieka, konsumenta szczytowego.

Podsumowanie:

1. Parametry fizyko-chemiczne wody (wykazane w analizach laboratoryjnych w tabelach 5 - 10), od 23.07.2021 do 25.07.2022 r. nie uległy generalnie istotnym zmianom w okresie prac rewitalizacji

zbiornika, nie pogorszyła się jakość wód powierzchniowych. Podwyższony poziom stężenia biogenów nie odbiega od większości wód w zbiornikach na terenie Polski.

2. Nie odnotowano negatywnego wpływu osadów dennych (miękkich frakcji organicznych) na profil tlenowy wody, w okresie intensywnego ich rozkładu od 2021 – 2022 r.
3. Wykazano bardzo intensywną redukcję frakcji organicznych w osadach dennych, w okresie 2021 – 2022, co jest niewątpliwie głównym sukcesem zastosowanych metod mikrobiologicznych.
4. W kolejnych sesjach pomiarowych do 09.11.2021 r. odnotowano diametralną poprawę przenikalności światła w strefie eufotycznej. Dzięki zwiększeniu się warstwy eufotycznej poprawiły się warunki do rozwoju bioróżnorodności w ekosystemach wodnych rewitalizowanego zbiornika Pasternik.
5. Stosowana metoda rewitalizacji należy do najbezpieczniejszych technologii rewitalizacji zbiorników, która już w pierwszym sezonie przyniosła pozytywne skutki w poprawie wybranych parametrów jakościowych i ilościowych wody i osadów dennych
6. W trakcie prac mechanicznego bagrowania lub refulacji może dojść do uwolnienia znaczących ładunków metali zakumulowanych w osadach dennych (w tym metali ciężkich Pb, Cd i Hg). Należy zatem zachować wszelkie zasady ich bezpiecznego wydobycia oraz transportu oraz odpowiednie metody ich dalszej utylizacji. Dlatego nie jest zalecana na obszarze części rekreacyjnej.
7. Nie rekomenduje się inwazyjnych prac mechanicznych, które mogą uwalniać ładunki metali ciężkich do środowiska wodnego i być przyczyną wtórnej intoksykacji ekosystemu wodnego w zbiorniku.

Bibliografia:

1. Bartoszek, L., Gruca-Rokosz, R., & Koszelnik, P. (2017). Kryteria stężeniowe i indeksy troficzne w ocenie stanu troficznego wód na przykładzie zbiorników zaporowych Polski południowo-wschodniej. *Technologia Wody*, (1 (51)), 54-58.
2. Burke, C. M., & Knott, B. (1997). Homeostatic interactions between the benthic microbial communities and the waters of a hypersaline lake, Lake Hayward, Western Australia. *Marine and Freshwater Research*, 48(7), 623-631.
3. Chen, M., Ding, S., Chen, X., Sun, Q., Fan, X., Lin, J., ... & Zhang, C. (2018). Mechanisms driving phosphorus release during algal blooms based on hourly changes in iron and phosphorus concentrations in sediments. *Water Research*, 133, 153-164.
4. Chmielowski, K., Mazur, R., & Dacewicz, E. (2019). Badania efektywności natleniania ścieków przy zastosowaniu nowych technologii dyfuzorów mikropęcherzykowych. *Przemysł Chemiczny*, 98.
5. Dz.U. 2002 nr 55 poz. 498; Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 kwietnia 2002 r. w sprawie rodzajów oraz stężeń substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony.
6. Klymenko, M. O., Biedunkova, O. O., Klymenko, O. M., & Statnyk, I. I. (2018). Influence of river water quality on homeostasis characteristics of cypriniform and perciform fish. *Biosystems Diversity*, 26(1), 16-23.
7. Mazur R., Kowalewski Z., Wagner A., Włodyga-Bergier A., (2022). Zawansowane procesy rewitalizacji wody w zbiorniku zaporowym Pasternik w Starachowicach. *Przemysł Chemiczny*, 101(9), 470-474
8. Mazur, A., & Chmielowski, K. (2020). Innovative aeration and treatment technologies supporting the process of revitalization of degraded water reservoirs. *Acta Scientiarum Polonorum-Formatio Circumiectus*, 19(3), 15-28.

9. Mazur, A., Wagner, A., Mazur, R., & Bedla, D. (2020). Bioremediacja mikrobiologiczna zdegradowanych wód jako alternatywa dla metod chemicznego oczyszczania zbiorników wodnych. *Przemysł Chemiczny*, 99.
10. Mazur, R. (2020). The application of microbiological biopreparations in the process of water remediation of the dam reservoir in Głuchów. *Acta Sci. Pol. Form. Circumiectus*, 19, 81-95.
11. Mazur, R., & Sitarek, M. (2020). Microbiological bioremediation of the Kamienna Góra dam reservoir. *Acta Scientiarum Polonorum. Formatio Circumiectus*, 19(1), 47-59.
12. Mazurkiewicz, J., Mazur, A., Mazur, R., Chmielowski, K., Czekąła, W., & Janczak, D. (2020). The process of microbiological remediation of the polluted Słoneczko reservoir in Poland: for reduction of water pollution and nutrients management. *Water*, 12(11), 3002.
13. Sitarek, M., Napiórkowska-Krzebietke, A., Mazur, R., Czarnecki, B., Pyka, J. P., Stawecki, K., ... & Kapusta, A. (2017). Application of effective microorganisms technology as a lake restoration tool a case study of muchawka reservoir. *J. Elem*, 22, 529-543.
14. Stumm, W., & Stumm-Zollinger, E. (1971). Chemostasis and homeostasis in aquatic ecosystems; principles of water pollution control.
15. Wang, L., Shao, X., Xu, M., & Chen, S. (2019). Bioremediation of nitrogen-and phosphorus-polluted aquaculture sediment by utilizing combined immobilized effective microorganisms and. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 12(6), 192-201.