



UNIWERSYTET WARMIŃSKO-MAZURSKI w OLSZTYNIE

---

## WYDZIAŁ GEOINŻYNIERII

Katedra Inżynierii Ochrony Wód i Mikrobiologii Środowiskowej

### **Badanie wpływu preparatu oczyszczającego *SinStop* na wybrane parametry wody jeziornej**

Raport z prac badawczych wykonanych w roku 2023

#### **Zleceniodawca**

Ecco Logic sp. z o.o.,  
ul. Brzozowa 5, 42-282 Jacków,

#### **Kierownik badań**

*dr inż. Michał Łopata*

#### **Autorzy opracowania**

*dr hab. inż. Iwona Gołaś, prof. UWM*

*mgr inż. Marzena Karpienia*

*dr inż. Michał Łopata*

---

*Olsztyn, 2023*

## Spis treści

Cel i zakres badań.....	3
Metodyka.....	3
Wyniki badań.....	5
Warunki tlenowe.....	5
Związki biogenne .....	7
Materia organiczna .....	15
Właściwości buforowe .....	16
Pozostałe wskaźniki fizykochemiczne .....	20
Wskaźniki fitoplanktonowe.....	23
Metale .....	27
Analiza mikrobiologiczna.....	29
Podsumowanie badań i wnioski .....	<b>Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.</b>
Literatura .....	33

## Cel i zakres badań

Badania zostały przeprowadzone na zlecenie firmy Ecco Logic sp. z o.o., z siedzibą ul. Brzozowa 5, 42-282 Jacków, będącej producentem analizowanego preparatu *SinStop*. Celem prac badawczych było rozpoznanie właściwości preparatu pod kątem możliwości usuwania zanieczyszczeń z wód naturalnych.

Zaprojektowano i przeprowadzono badania ukierunkowane na ocenę zmian chemizmu wody jeziornej pod wpływem zastosowania dwóch podtypów preparatu użytych w trzech różnych dawkach, w warunkach eksperymentalno-laboratoryjnych. Zakres badań objął analizę zmian jakości wody obejmujących: stężenie związków azotowych, związków fosforowych, wskaźników materii organicznej, warunków tlenowych, właściwości buforowych, stężenia wybranych metali i parametrów mikrobiologicznych.

## Metodyka

Eksperymenty prowadzono na preparacie *SinStop*, będącym specjalnie wyselekcjonowaną, zmodyfikowaną i uszlachetnioną mieszanką naturalnych minerałów krzemianowo-wapiennych. Preparat ten wytwarzany jest na bazie krajowych złóż i nie zawiera sztucznych dodatków chemicznych. Makroskopowa postać preparatu to kruszywo o barwie jasnoszarej do białej, o uziarnieniu wahającym się w przedziale 0-42mm, w zależności od podtypu.

Do badań przeznaczono dwa podtypy preparatu *Sinstop - F* oraz *SinStop - 02*. Pierwszy charakteryzuje się dominacją frakcji pyłowych, drugi zaś jest preparatem zawierającym ziarna do średnicy 2 mm. Baza mineralogiczna obu preparatów jest podobna.

Do eksperymentów użyto preparat w trzech różnych dawkach, w przeliczeniu na powierzchnię zbiornika wodnego tworzących typoszereg 5,0, 10,0 i 15,0 ton preparatu na hektar.

Testy laboratoryjne przeprowadzono na wodzie surowej, kondycjonowanej preparatem w wyżej wymienionych dawkach. Woda miała naturalne pochodzenie (Jezioro Karczemne w Kartuzach) o charakterystyce eutroficznej i zawierała umiarkowanie wysokie zanieczyszczenie antropogenne oraz dobrze rozwiniętą naturalną biotę (bakterie, fitoplankton, zooplankton) będącą efektem autochtonicznych procesów produkcji pierwotnej, stymulowanych zasobnością w fosfor i azot. Tego typu poziom jakości wody jest charakterystyczny dla wód żyznych, predysponowanych do zabiegów rekultywacyjnych.

Badania prowadzono w reaktorach statycznych o pojemności około 6500cm<sup>3</sup> w okresie 14 dni (pierwszy etap), pozyskując wodę do badań pięciokrotnie: na początku eksperymentu, po 1 dobie, po 3 dobach, po 7 dobach i finalnie po 14 dobach.

Układ eksperymentu był następujący:

reaktor 1: próba kontrolna,

reaktor 2: *SinStop F* dawka 5t/ha,

reaktor 3: *SinStop O2* dawka 5t/ha,

reaktor 4: *SinStop F* dawka 10t/ha,

reaktor 5: *SinStop O2* dawka 10t/ha,

reaktor 6: *SinStop F* dawka 15t/ha,

reaktor 7: *SinStop O2* dawka 15t/ha.

W 16 dniu eksperymentu ponownie zaaplikowano preparat do poszczególnych reaktorów eksperymentalnych, w równej dla wszystkich wariantów dawce 5 t/ha. Po okresie 3 tygodni wykonano ostatnią serię badań.

Wykonywano następujące analizy:

- zawartość tlenu [mg/dm<sup>3</sup>], nasycenie wody tlenem [%], odczyn [pH], przewodność elektrolityczna [ $\mu$ S/cm], mętność [FNU], koncentracja chlorofilu „a” [mg/m<sup>3</sup>], koncentracja fikocyjaniny [mg/m<sup>3</sup>], zawartość rozpuszczonej materii organicznej f-DOM [RFU] – za pomocą sondy wieloparametrycznej EXO 2 firmy YSI Incorporated (Yellow Springs, Ohio, USA).

- fosfor mineralny oraz całkowity: metodą molibdenową błękitną, przy użyciu spektrofotometru Merck Prove 300

- Azot amonowy, azotanowy i azotynowy – spektrofotometrycznie przy użyciu testów laboratoryjnych firmy Merck, i spektrofotometru Prove 300 tego samego producenta.

- azot całkowity – metodą chemiluminescencyjną z użyciem aparatu Hach IL 550

- Alkaliczność – po odmiareczkowaniu próbki wody 0,1 M HCl wobec oranżu metylowego,

- Twardość i wapń – metodą miareczkowania kompleksometrycznego wersenianem disodowym wobec czerni eriochromowej i mureksydu,

Wszystkie analizy hydrochemiczne wykonano zgodnie z wytycznymi Standard Methods (APHA 2005) lub krajową metodyką badań wody i ścieków (Hermanowicz i in. 2010).

## Wyniki badań

### Warunki tlenowe

Dobre warunki tlenowe w ekosystemach wodnych są podstawą zachowania równowagi biologicznej. Rekultywacja zbiorników wodnych często ukierunkowana jest na poprawę tego parametru. W warunkach naturalnych szkodliwy jest zarówno niedobór tlenu, jak również jego znaczący nadmiar. Deficyt tlenu z reguły związany jest z zanieczyszczeniem organicznym wód, które przechodząc proces mineralizacji pobiera dostępny tlen z toni wodnej. Do przetlenienia może dochodzić w wodach naturalnych w sytuacji nadprodukcji tego gazu poprzez metabolizm (proces fotosyntezy) glonów planktonowych lub roślin naczyniowych występujących w nadmiernych ilościach.

W przeprowadzonych eksperymentach zmiany koncentracji tlenu były nieznaczne, a jego zawartość nie odbiegała od wartości optymalnych, zarówno w wodzie surowej jak i poddanej oddziaływaniu preparatu *SinStop* (tab. 1-4, rys. 1-2). Ogólnie ilość tlenu wahała się od 8,7 do 10,6 mg/dm<sup>3</sup>, co odpowiadało nasyceniu wody tym pierwiastkiem 94-102% (przy temperaturze prowadzenia eksperymentów 16-20 °C).

Tabela. 1. Zmiany koncentracji tlenu w wodach poddanych eksperymentom

tlen	0	1	3	7	14	40
[mg/dm <sup>3</sup> ]	27.10.2023	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	9,60	9,58	8,72	8,89	9,25	10,48
pył 5 t/ha	9,61	9,47	8,78	8,89	9,38	10,55
0-2mm 5 t/ha	9,62	9,42	8,67	8,82	9,31	10,52
pył 10 t/ha	9,60	9,40	8,73	8,80	9,20	10,54
0-2mm 10 t/ha	9,61	9,38	8,80	8,85	9,19	10,52
pył 15 t/ha	9,62	9,40	8,82	8,83	9,15	10,52
0-2mm 15 t/ha	9,62	9,39	8,83	8,83	9,19	10,51

Tabela. 2. Procentowa redukcja koncentracji wskaźnika w kolejnych terminach badań

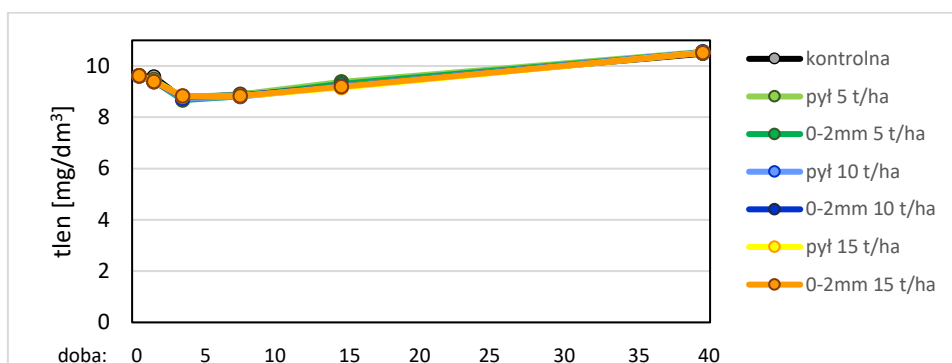
tlen	1	3	7	14	40
zmiana [%]	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	0,2	9,2	7,4	3,6	-9,2
pył 5 t/ha	1,5	8,6	7,5	2,4	-9,8
0-2mm 5 t/ha	2,1	9,9	8,3	3,2	-9,4
pył 10 t/ha	2,1	9,1	8,3	4,2	-9,8
0-2mm 10 t/ha	2,4	8,4	7,9	4,4	-9,5
pył 15 t/ha	2,3	8,3	8,2	4,9	-9,4
0-2mm 15 t/ha	2,4	8,2	8,2	4,5	-9,3

Tabela. 3. Zmiany nasycenia tlenem wód poddanych eksperymentom

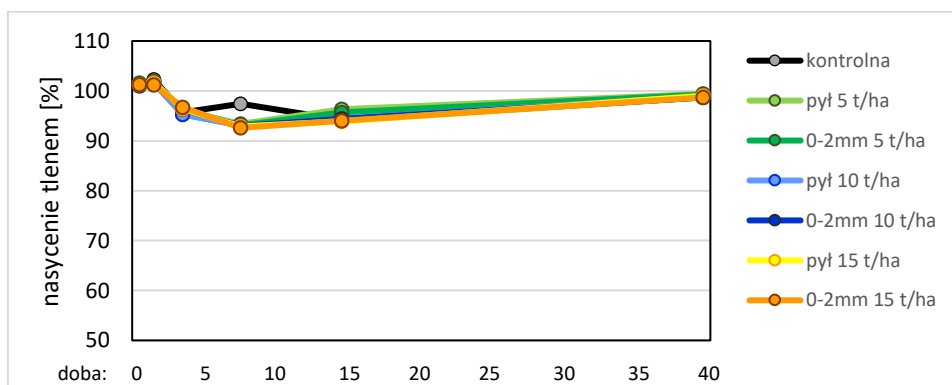
nasycenie O <sub>2</sub>	0	1	3	7	14	40
[% nasycenia]	27.10.2023	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	101,2	102,3	95,7	97,4	94,2	98,7
pył 5 t/ha	101,6	101,9	96,0	93,4	96,3	99,4
0-2mm 5 t/ha	101,4	101,7	95,3	93,1	95,7	99,3
pył 10 t/ha	101,2	101,5	95,3	93,0	94,4	98,9
0-2mm 10 t/ha	101,0	101,5	96,3	93,0	94,4	98,7
pył 15 t/ha	101,3	101,6	96,4	92,9	93,9	99,0
0-2mm 15 t/ha	101,3	101,2	96,7	92,6	94,0	98,7

Tabela. 4. Procentowa redukcja koncentracji wskaźnika w kolejnych terminach badań

% nasycenia	1	3	7	14	40
zmiana [%]	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	-1,1	5,4	3,8	6,9	2,5
pył 5 t/ha	-0,3	5,5	8,1	5,2	2,2
0-2mm 5 t/ha	-0,3	6,0	8,2	5,6	2,1
pył 10 t/ha	-0,3	5,8	8,1	6,7	2,3
0-2mm 10 t/ha	-0,5	4,7	7,9	6,5	2,3
pył 15 t/ha	-0,3	4,8	8,3	7,3	2,3
0-2mm 15 t/ha	0,1	4,5	8,6	7,2	2,6



Rys. 1. Przebieg zmian koncentracji tlenu podczas eksperymentu



Rys. 2. Przebieg zmian koncentracji tlenu podczas eksperymentu

## Związki biogenne

Fosfor i azot to podstawowe pierwiastki biogenne w środowisku wodnym. Od ich dostępności zależy produktywność akwenu, a ich nadmiar powoduje pogorszenie jakości wód. Stąd ograniczanie skutków eutrofizacji powinno przede wszystkim koncentrować się na ograniczaniu ich zrzutu i nadmiaru w ekosystemie. W metodach rekultywacyjnych szczególne miejsce zajmuje tzw. „inaktywacja fosforu” której celem jest ograniczenie podaży biodostępnego fosforu w środowisku wodnym. Preparaty używane do tego celu powinny charakteryzować się zdolnością obniżania koncentracji tego pierwiastka w wodzie.

W przebiegu eksperymentu wykazano, że zastosowany preparat wpływa na spadek stężeń fosforu w wodzie (tab. 5-10, rys. 3-5). Spadek ten był spowodowany zarówno zmniejszeniem ilości fosforu mineralnego, jak i organicznych jego form, a jego wymiar procentowy był porównywalny i wynosił 40-50 % dla fosforanów i 30-40 % dla fosforu organicznego. Zwraca również uwagę zasadniczo niewielka różnica w efektywności usuwania tego pierwiastka dla poszczególnych dawek i form preparatu, przy nieco korzystniejszych skutecznościach dla środka użytego w drobniejszej frakcji. Większa skuteczność eliminowania fosforu mineralnego wskazuje na mechanizmy sorpcji chemicznej i/lub adsorpcji fosforanów na aktywnej powierzchni drobin preparatu. Spadek zawartości fosforu organicznego ma bardziej złożony mechanizm, przy czym biorąc pod uwagę dynamikę zmian, znaczącą rolę zdaje się odgrywać tutaj rozwinięta powierzchnia porowa drobin preparatu.

Całkowita zawartość fosforu, od wartości początkowych na poziomie 0,2 mg/dm<sup>3</sup>, charakterystycznych dla zaawansowanej eutrofii, została zmniejszona o 40-45% na przestrzeni eksperymentu. Wynik ten wskazuje na użyteczny charakter preparatu i jego realną możliwość zastosowania w celu kontroli obiegu fosforu w środowisku wodnym.

Tabela. 5. Zmiany koncentracji fosforu mineralnego w wodach poddanych eksperymentom

<b>P min</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>14</b>	<b>40</b>
[mg/dm <sup>3</sup> ]	27.10.2023	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	0,121	0,122	0,104	0,117	0,101	0,107
pył 5 t/ha	0,122	0,113	0,078	0,087	0,076	0,067
0-2mm 5 t/ha	0,12	0,116	0,087	0,086	0,079	0,067
pył 10 t/ha	0,119	0,117	0,089	0,08	0,078	0,058
0-2mm 10 t/ha	0,118	0,119	0,092	0,088	0,086	0,06
pył 15 t/ha	0,123	0,123	0,094	0,086	0,074	0,064
0-2mm 15 t/ha	0,121	0,121	0,093	0,093	0,089	0,058

Tabela. 6. Procentowa redukcja koncentracji wskaźnika w kolejnych terminach badań

<b>P min</b>	1	3	7	14	40
zmiana [%]	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	-0,8	14,0	3,3	16,5	11,6
pył 5 t/ha	7,4	36,1	28,7	37,7	45,1
0-2mm 5 t/ha	3,3	27,5	28,3	34,2	44,2
pył 10 t/ha	1,7	25,2	32,8	34,5	51,3
0-2mm 10 t/ha	-0,8	22,0	25,4	27,1	49,2
pył 15 t/ha	0,0	23,6	30,1	39,8	48,0
0-2mm 15 t/ha	0,0	23,1	23,1	26,4	52,1

Tabela. 7. Zmiany koncentracji fosforu organicznego w wodach poddanych eksperymentom

<b>P org</b>	0	1	3	7	14	40
[mg/dm <sup>3</sup> ]	27.10.2023	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	0,137	0,137	0,152	0,145	0,116	0,117
pył 5 t/ha	0,132	0,093	0,102	0,061	0,086	0,082
0-2mm 5 t/ha	0,133	0,106	0,103	0,069	0,084	0,086
pył 10 t/ha	0,13	0,11	0,095	0,078	0,087	0,078
0-2mm 10 t/ha	0,135	0,088	0,101	0,072	0,074	0,08
pył 15 t/ha	0,131	0,093	0,091	0,075	0,077	0,077
0-2mm 15 t/ha	0,137	0,097	0,112	0,083	0,085	0,092

Tabela. 8. Procentowa redukcja koncentracji wskaźnika w kolejnych terminach badań

<b>P org</b>	1	3	7	14	40
zmiana [%]	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	0,0	-10,9	-5,8	15,3	14,6
pył 5 t/ha	29,5	22,7	53,8	34,8	37,9
0-2mm 5 t/ha	20,3	22,6	48,1	36,8	35,3
pył 10 t/ha	15,4	26,9	40,0	33,1	40,0
0-2mm 10 t/ha	34,8	25,2	46,7	45,2	40,7
pył 15 t/ha	29,0	30,5	42,7	41,2	41,2
0-2mm 15 t/ha	29,2	18,2	39,4	38,0	32,8

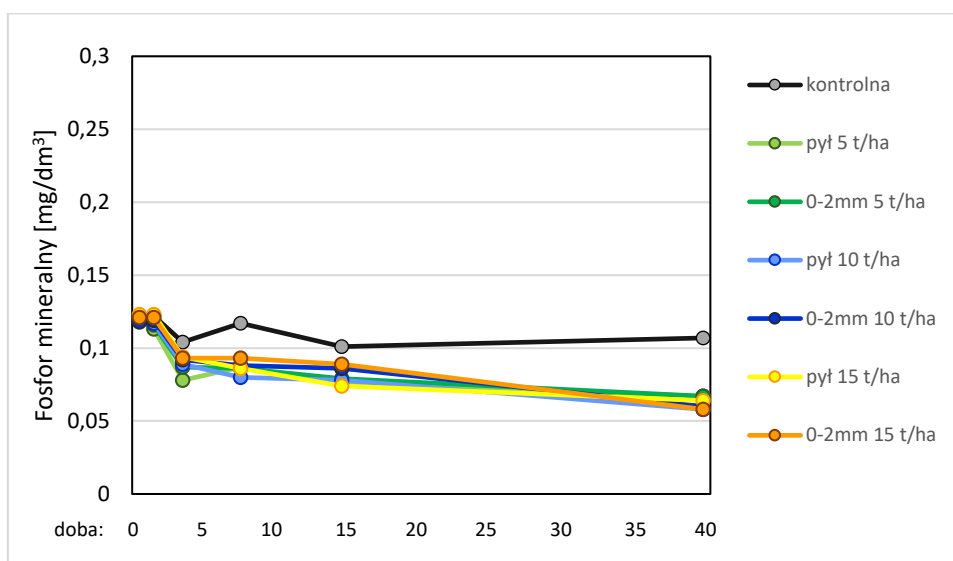
Tabela. 9. Zmiany koncentracji fosforu całkowitego w wodach poddanych eksperymentom

<b>P total</b>	0	1	3	7	14	40
[mg/dm <sup>3</sup> ]	27.10.2023	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	0,258	0,259	0,256	0,262	0,217	0,224
pył 5 t/ha	0,254	0,206	0,18	0,148	0,162	0,149
0-2mm 5 t/ha	0,253	0,222	0,19	0,155	0,163	0,153
pył 10 t/ha	0,249	0,227	0,184	0,158	0,165	0,136
0-2mm 10 t/ha	0,253	0,207	0,193	0,16	0,16	0,14
pył 15 t/ha	0,254	0,216	0,185	0,161	0,151	0,141
0-2mm 15 t/ha	0,258	0,218	0,205	0,176	0,174	0,15

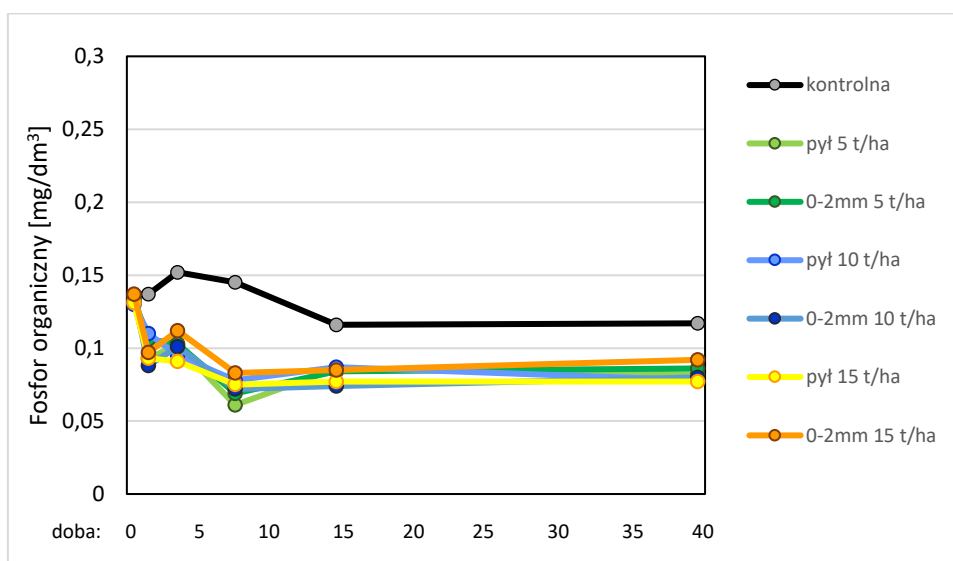


Tabela. 10. Procentowa redukcja koncentracji wskaźnika w kolejnych terminach badań

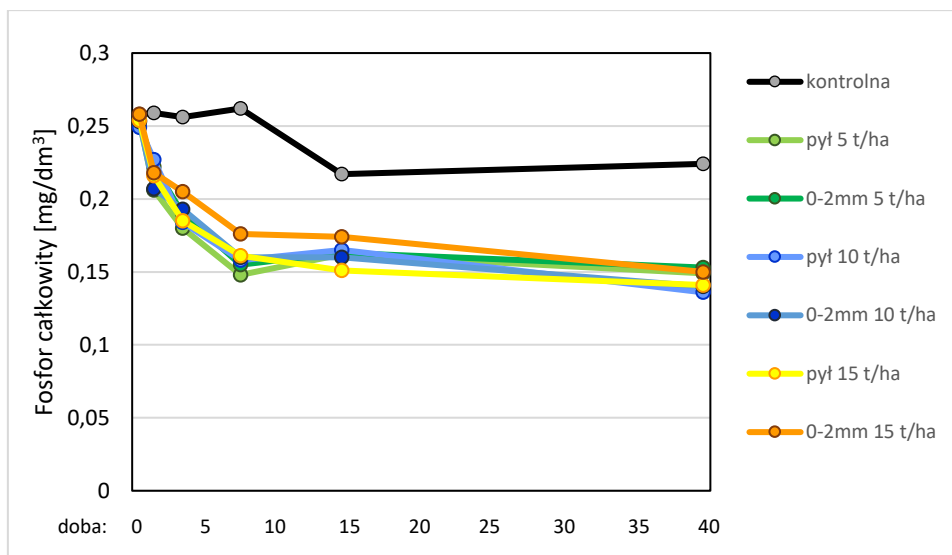
zmiana [%]	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	-0,4	0,8	-1,6	15,9	13,2
pył 5 t/ha	18,9	29,1	41,7	36,2	41,3
0-2mm 5 t/ha	12,3	24,9	38,7	35,6	39,5
pył 10 t/ha	8,8	26,1	36,5	33,7	45,4
0-2mm 10 t/ha	18,2	23,7	36,8	36,8	44,7
pył 15 t/ha	15,0	27,2	36,6	40,6	44,5
0-2mm 15 t/ha	15,5	20,5	31,8	32,6	41,9



Rys. 3. Przebieg zmian koncentracji fosforu fosforanowego podczas eksperymentu



Rys. 4. Przebieg zmian koncentracji fosforu organicznego podczas eksperymentu



Rys. 5. Przebieg zmian koncentracji fosforu całkowitego podczas eksperymentu

Azot występował w wodzie surowej przede wszystkim w formie organicznej. Jego całkowitą ilość, stwierdzana na poziomie około 1,3-1,4 mg/dm<sup>3</sup> należy uznać dla warunków jeziornych za umiarkowanie wysoką. W przebiegu zmian zawartości azotu w poszczególnych wariantach doświadczenia zauważalna jest dość duża dynamika zmian form mineralnych. Fluktuacje koncentracji azotanów, azotynów i jonów amonowych, nie reprezentujące dynamiki porównywalnej z próbą kontrolną wskazują na wpływ preparatu na przemiany związków azotowych. Opisana w kolejnych podrozdziałach interakcja preparatu z mikroorganizmami oznaczanymi w próbach eksperymentalnych zdaje się potwierdzać występowanie mechanizmu oddziaływania cząstek *SinStop*-u na zasobność wód w azot, poprzez intensyfikację metabolizmu bakterii cyklu azotowego.

Zawartość azotu całkowitego spadła o około 12-19% na przestrzeni całego eksperymentu, co w wymiarze ilościowym było związane przede wszystkim z postępującym spadkiem ilości organicznych form azotu. Cała pula związków mineralnych azotu (azotanów, azotynów i jonów amonowych stanowiła niewielki odsetek ogólnej ilości tego pierwiastka (tab. 11-20, rys 6-10). Warto nadmienić, że podczas przebiegu eksperymentu pojawiły się w roztworach eksperymentalnych azotyny, w ilościach istotnie wyższych niż w próbie kontrolnej (maksymalnie do 0,049 mg/dm<sup>3</sup>). Jest to poziom koncentracji bezpieczny jeszcze dla środowiska wodnego (azotyny w dużych ilościach są szkodliwe dla ryb), przy czym fakt ich okresowego jedynie występowania należy przyjąć za korzystny, gdyż optymalny biologicznie poziom koncentracji tych anionów w wodzach nie powinien przekraczać 0,05mg/dm<sup>3</sup>.

Tabela. 11. Zmiany koncentracji azotu azotanowego w wodach poddanych eksperymentom

<b>N-NO<sub>3</sub></b>	0	1	3	7	14	40
[mg/dm <sup>3</sup> ]	27.10.2023	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	0,053	0,051	0,034	0,045	0,043	0,043
pył 5 t/ha	0,055	0,031	0,028	0,061	0,028	0,032
0-2mm 5 t/ha	0,056	0,036	0,03	0,069	0,024	0,035
pył 10 t/ha	0,052	0,03	0,034	0,078	0,027	0,039
0-2mm 10 t/ha	0,052	0,05	0,028	0,072	0,028	0,031
pył 15 t/ha	0,055	0,042	0,036	0,075	0,032	0,039
0-2mm 15 t/ha	0,053	0,053	0,036	0,083	0,052	0,037

Tabela. 12. Procentowa redukcja koncentracji wskaźnika w kolejnych terminach badań

<b>N-NO<sub>3</sub></b>	1	3	7	14	40
zmiana [%]	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	3,8	35,8	15,1	18,9	18,9
pył 5 t/ha	43,6	49,1	-10,9	49,1	41,8
0-2mm 5 t/ha	35,7	46,4	-23,2	57,1	37,5
pył 10 t/ha	42,3	34,6	-50,0	48,1	25,0
0-2mm 10 t/ha	3,8	46,2	-38,5	46,2	40,4
pył 15 t/ha	23,6	34,5	-36,4	41,8	29,1
0-2mm 15 t/ha	0,0	32,1	-56,6	1,9	30,2

Tabela. 13. Zmiany koncentracji azotu azotynowego w wodach poddanych eksperymentom

<b>N-NO<sub>2</sub></b>	0	1	3	7	14	40
	27.10.2023	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	0,003	0,002	0,008	0	0,006	0,003
pył 5 t/ha	0,002	0,004	0,005	0	0,015	0,004
0-2mm 5 t/ha	0,002	0,004	0,006	0,003	0,049	0,001
pył 10 t/ha	0,001	0,006	0,007	0,002	0,041	0,004
0-2mm 10 t/ha	0,002	0,005	0,006	0,002	0,042	0,003
pył 15 t/ha	0,003	0,013	0,012	0,004	0,031	0,003
0-2mm 15 t/ha	0,003	0,006	0,006	0,003	0,044	0,004

Tabela. 14. Procentowa redukcja koncentracji wskaźnika w kolejnych terminach badań

<b>N-NO<sub>2</sub></b>	1	3	7	14	40
zmiana [%]	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	33,3	-166,7	100,0	-100,0	0,0
pył 5 t/ha	-100,0	-150,0	100,0	-650,0	-100,0
0-2mm 5 t/ha	-100,0	-200,0	-50,0	-2350,0	50,0
pył 10 t/ha	-500,0	-600,0	-100,0	-4000,0	-300,0
0-2mm 10 t/ha	-150,0	-200,0	0,0	-2000,0	-50,0
pył 15 t/ha	-333,3	-300,0	-33,3	-933,3	0,0
0-2mm 15 t/ha	-100,0	-100,0	0,0	-1366,7	-33,3

Tabela. 15. Zmiany koncentracji azotu amonowego w wodach poddanych eksperymentom

<b>N-NH<sub>4</sub></b>	0	1	3	7	14	40
[mg/dm <sup>3</sup> ]	27.10.2023	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	0,096	0,08	0,056	0,025	0,065	0,103
pył 5 t/ha	0,088	0,074	0,056	0,041	0,098	0,066
0-2mm 5 t/ha	0,086	0,087	0,05	0,073	0,102	0,072
pył 10 t/ha	0,083	0,089	0,049	0,067	0,095	0,057
0-2mm 10 t/ha	0,09	0,087	0,043	0,062	0,101	0,053
pył 15 t/ha	0,091	0,129	0,057	0,059	0,094	0,057
0-2mm 15 t/ha	0,089	0,081	0,043	0,065	0,118	0,048

Tabela. 16. Procentowa redukcja koncentracji wskaźnika w kolejnych terminach badań

<b>N-NH<sub>4</sub></b>	1	3	7	14	40
zmiana [%]	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	16,7	41,7	74,0	32,3	-7,3
pył 5 t/ha	15,9	36,4	53,4	-11,4	25,0
0-2mm 5 t/ha	-1,2	41,9	15,1	-18,6	16,3
pył 10 t/ha	-7,2	41,0	19,3	-14,5	31,3
0-2mm 10 t/ha	3,3	52,2	31,1	-12,2	41,1
pył 15 t/ha	-41,8	37,4	35,2	-3,3	37,4
0-2mm 15 t/ha	9,0	51,7	27,0	-32,6	46,1

Tabela. 17. Zmiany koncentracji azotu organicznego w wodach poddanych eksperymentom

<b>N org</b>	0	1	3	7	14	40
[mg/dm <sup>3</sup> ]	27.10.2023	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	1,208	1,197	1,269	1,321	1,286	1,211
pył 5 t/ha	1,195	1,201	1,167	1,127	1,059	1,038
0-2mm 5 t/ha	1,196	1,183	1,231	1,115	1,045	1,072
pył 10 t/ha	1,214	1,164	1,19	1,123	1,097	1,08
0-2mm 10 t/ha	1,206	1,144	1,196	1,104	1,049	1,033
pył 15 t/ha	1,191	1,082	1,145	1,022	1,043	1,011
0-2mm 15 t/ha	1,205	1,134	1,181	1,059	0,976	1,011

Tabela. 18. Procentowa redukcja koncentracji wskaźnika w kolejnych terminach badań

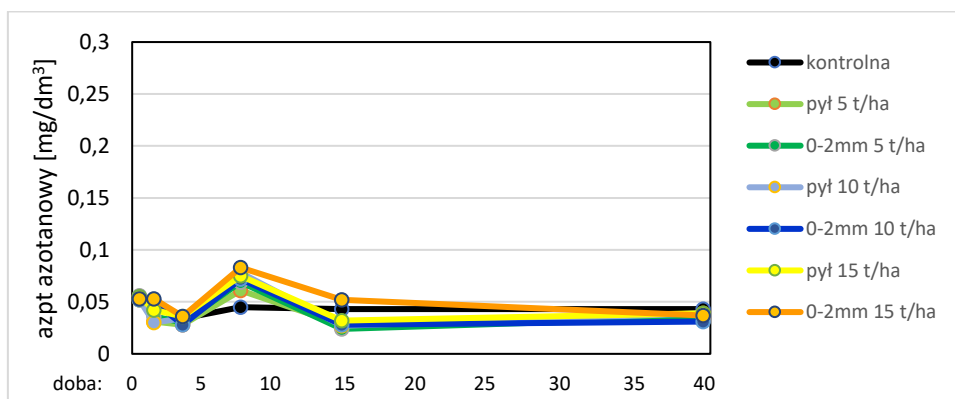
<b>N org</b>	1	3	7	14	40
doza	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	0,9	-5,0	-9,4	-6,5	-0,2
pył 5 t/ha	-0,5	2,3	5,7	11,4	13,1
0-2mm 5 t/ha	1,1	-2,9	6,8	12,6	10,4
pył 10 t/ha	4,1	2,0	7,5	9,6	11,0
0-2mm 10 t/ha	5,1	0,8	8,5	13,0	14,3
pył 15 t/ha	9,2	3,9	14,2	12,4	15,1
0-2mm 15 t/ha	5,9	2,0	12,1	19,0	16,1

Tabela. 19. Zmiany koncentracji azotu całkowitego w wodach poddanych eksperymentom

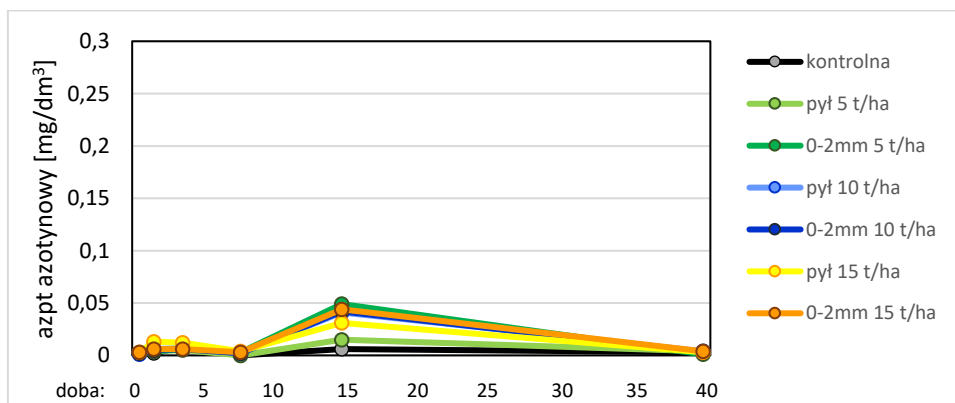
<b>N total</b>	0	1	3	7	14	40
[mg/dm <sup>3</sup> ]	27.10.2023	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	1,36	1,33	1,37	1,39	1,40	1,36
pył 5 t/ha	1,34	1,31	1,26	1,23	1,20	1,14
0-2mm 5 t/ha	1,34	1,31	1,32	1,26	1,22	1,18
pył 10 t/ha	1,35	1,29	1,28	1,27	1,26	1,18
0-2mm 10 t/ha	1,35	1,29	1,27	1,24	1,22	1,12
pył 15 t/ha	1,34	1,27	1,25	1,16	1,20	1,11
0-2mm 15 t/ha	1,35	1,27	1,27	1,21	1,19	1,10

Tabela. 20. Procentowa redukcja koncentracji wskaźnika w kolejnych terminach badań

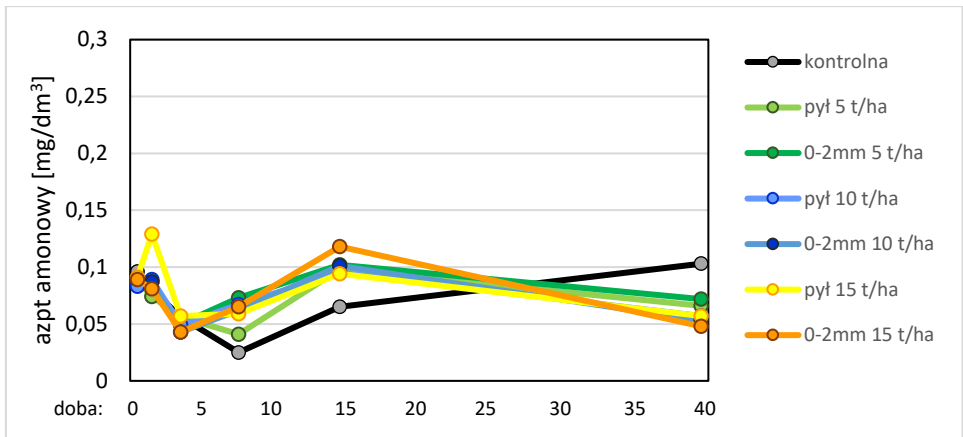
<b>N total</b>	1	3	7	14	40
zmiana [%]	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	2,2	-0,5	-2,3	-2,9	0,0
pył 5 t/ha	2,2	6,3	8,3	10,4	14,9
0-2mm 5 t/ha	2,2	1,7	6,0	9,0	11,9
pył 10 t/ha	4,5	5,2	5,9	6,7	12,6
0-2mm 10 t/ha	4,7	5,7	8,1	9,6	17,0
pył 15 t/ha	5,5	6,7	13,4	10,4	17,2
0-2mm 15 t/ha	5,6	6,2	10,4	11,9	18,5



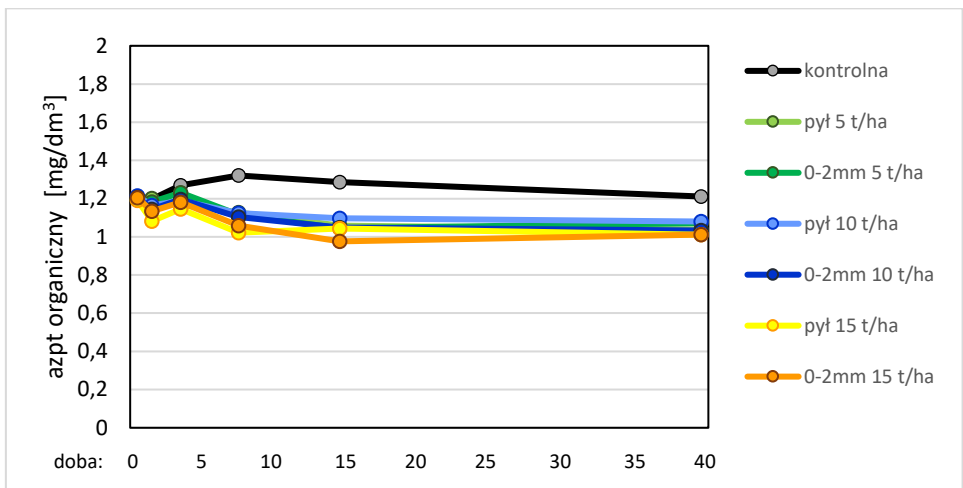
Rys. 6. Przebieg zmian koncentracji azotu azotanowego podczas eksperymentu



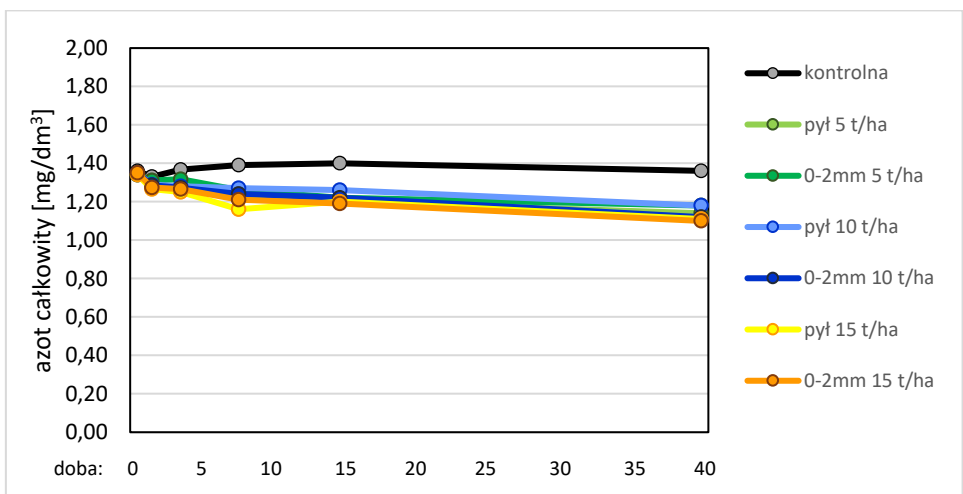
Rys. 7. Przebieg zmian koncentracji azotu azotynowego podczas eksperymentu



Rys. 8. Przebieg zmian koncentracji azotu amonowego podczas eksperymentu



Rys. 9. Przebieg zmian koncentracji azotu organicznego podczas eksperymentu



Rys. 10. Przebieg zmian koncentracji azotu całkowitego podczas eksperymentu

## Materia organiczna

Zawartość materii organicznej (frakcji rozpuszczonych) w badanej wodzie była dość wysoka – na początku eksperymentu woda surowa miała około 96-97 jednostek RFU. Wskaźnik ten jest z reguły wysoki w jeziorach eutroficznym, humusowym lub w wodach otrzymujących znaczny ładunek zanieczyszczeń ściekowych – może dochodzić wówczas do kilkuset jednostek RFU.

W przebiegu zmian tego parametru podczas prowadzonych eksperymentów stwierdzono bardzo wysoką dynamikę (tab. 21-22, rys. 11). Już w dobę po aplikacji preparatu koncentracja rozpuszczonej materii organicznej uległa drastycznemu spadkowi z wartości około 100 do zaledwie 15-20 jednostek, a więc o ponad 80%. Intensywność oddziaływania preparatu nie zależała wyraźnie od dawki – wydaje się więc, że już najmniejsza użyta ilość preparatu jest optymalna.

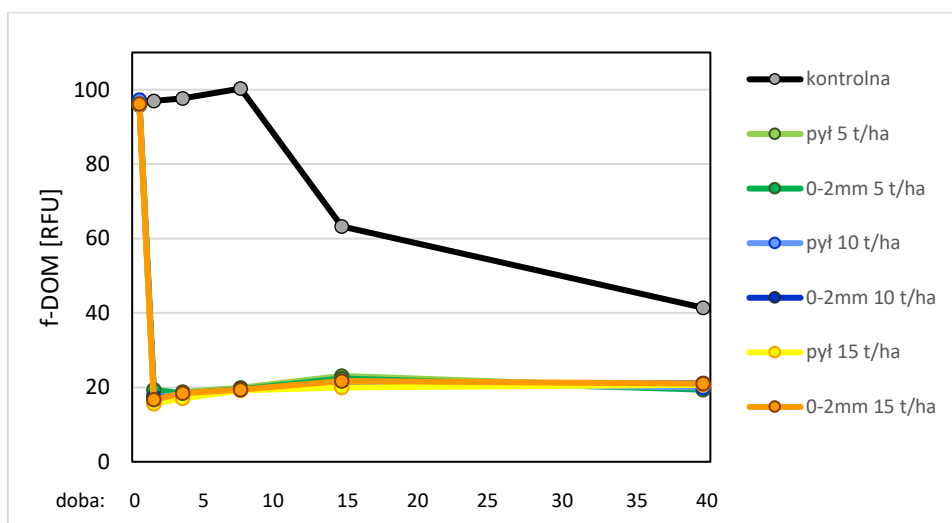
Początkowa duża dynamika zmian tego parametru i dalsza stabilizacja ich przebiegu w kolejnych okresach monitorowania wskazuje na prawdopodobny udział procesów adsorpcji i sedymentacji w usuwaniu tego typu zanieczyszczenia z wód.

Tabela. 21. Zmiany koncentracji rozpuszczonej materii organicznej (f-DOM) w wodach poddanych eksperymentom

<b>f-DOM</b>	0	1	3	7	14	40
[RFU]	27.10.2023	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	96,3	97,0	97,7	100,3	63,3	41,4
pył 5 t/ha	96,1	17,9	18,8	19,9	23,1	19,6
0-2mm 5 t/ha	97,0	19,4	18,4	19,5	22,4	19,4
pył 10 t/ha	97,2	17,4	17,97	19,4	21,1	20,0
0-2mm 10 t/ha	95,9	17,0	17,94	19,5	20,8	21,1
pył 15 t/ha	96,0	15,6	17,06	19,2	20,0	20,7
0-2mm 15 t/ha	96,2	16,7	18,4	19,4	21,7	21,0

Tabela. 22. Procentowa redukcja koncentracji wskaźnika w kolejnych terminach badań

<b>f-DOM</b>	1	3	7	14	40
zmiana [%]	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	-0,7	-1,5	-4,2	34,3	57,0
pył 5 t/ha	81,4	80,4	79,3	76,0	79,6
0-2mm 5 t/ha	80,0	81,0	79,9	76,9	80,0
pył 10 t/ha	82,1	81,5	80,0	78,3	79,4
0-2mm 10 t/ha	82,3	81,3	79,7	78,3	78,0
pył 15 t/ha	83,8	82,2	80,0	79,2	78,4
0-2mm 15 t/ha	82,6	80,9	79,8	77,4	78,2



Rys. 11. Przebieg zmian koncentracji materii organicznej podczas eksperymentu

### Właściwości buforowe

Składniki budujące tak zwany układ buforowy wody to przede wszystkim węglany i wodorowęglany wapnia i magnezu. Układ buforowy wód naturalnych pełni niezwykle ważną rolę regulacyjną – przeciwdziała zakwaszeniu i alkalizacji środowiska. Wody umiarkowanie i mocno zbuforowane wykazują mniejsze wahania odczynu w skali dobowej i sezonowej. Ważnym aspektem równowagi biologicznej w zbiornikach wodnych jest fakt, że glony planktonowe, a zwłaszcza sinice, potrafią silnie alkalizować środowisko wód miękkich w okresach intensywnej aktywności. Silne wahania odczynu faworyzują sinice ponieważ – w przeciwieństwie do innych glonów - znoszą one takie warunki bez znacznego uszczerbku na dynamice populacji. Stąd stabilizacja odczynu i wzmocnienie właściwości buforowych jest pożądaną cechą preparatów używanych do poprawy jakości wód powierzchniowych.

W wodzie eksperymentalnej właściwości buforowe były umiarkowanie wykształcone (tab. 23-24, rys. 12). Alkaliczność wody nie osiągała 2 mval/dm<sup>3</sup>, co wskazuje na nienajlepsze warunki odporności na zakwaszenie. Dodatek preparatu *SinStop* nieznacznie poprawił te warunki (wzrost alkaliczności do maksymalnie 2,1 mval/dm<sup>3</sup>). Wzrost zdolności buforowych był proporcjonalny do zastosowanych dawek preparatu. Wpływ zastosowanego środka na zwiększenie alkaliczności należy uznać za pozytywną cechę. Będzie ona szczególnie istotna w przypadku stosowania preparatu w akwenach o wodach miękkich, charakteryzujących się alkalicznością na poziomie 0,5 mval/dm<sup>3</sup> i mniejszą.

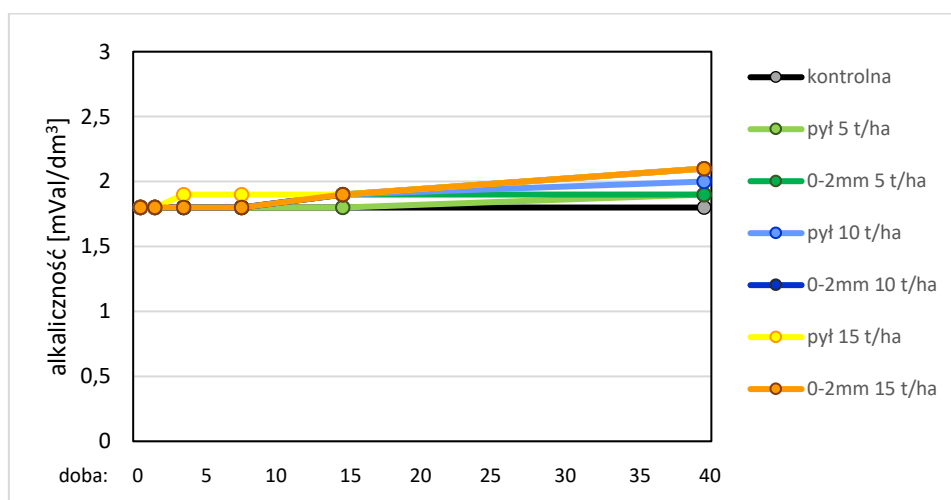


Tabela. 23. Zmiany alkaliczności wód poddanych eksperymentom

alkaliczność	0	1	3	7	14	40
[mval/dm <sup>3</sup> ]	27.10.2023	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
pył 5 t/ha	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9
0-2mm 5 t/ha	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9
pył 10 t/ha	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	2
0-2mm 10 t/ha	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	2,1
pył 15 t/ha	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	2,1
0-2mm 15 t/ha	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	2,1

Tabela. 24. Procentowa redukcja koncentracji wskaźnika w kolejnych terminach badań

alkaliczność	1	3	7	14	14
	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	10.11.2023
kontrolna	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
pył 5 t/ha	0,0	0,0	0,0	0,0	-5,6
0-2mm 5 t/ha	0,0	0,0	0,0	-5,6	-5,6
pył 10 t/ha	0,0	0,0	0,0	-5,6	-11,1
0-2mm 10 t/ha	0,0	0,0	0,0	-5,6	-16,7
pył 15 t/ha	0,0	-5,6	-5,6	-5,6	-16,7
0-2mm 15 t/ha	0,0	0,0	0,0	-5,6	-16,7



Rys. 12. Przebieg zmian alkaliczności wód podczas eksperymentu

Twardość ogólna badanej wody była umiarkowana, właściwa dla wód akwenurow naturalnych niezbyt bogatych w jony dwuwartościowe. Głównym kationem budującym układ buforowy był wapń, którego zawartość na poziomie około 40 mg/dm<sup>3</sup> można uznać za umiarkowaną. Większość polskich jezior położonych na obszarach gleb ciężkich charakteryzuje się podobnym i nieco wyższym poziomem koncentracji tego pierwiastka (40-80 mg/dm<sup>3</sup>). W wyniku eksperymentów wartość tego parametru nieznacznie wzrosła w

reaktorach z dodatkiem preparatu, a wzrost ten był proporcjonalny do zastosowanej dawki (tab. 25-26, rys. 13).

Wapń jest ważnym makroskładnikiem wód, to od jego koncentracji między innymi zależy zdolność do wytwarzania stabilnych populacji przez skorupiaki planktonowe (*Crustacea*), takie jak widłonogi i rozwielitki. Są to drobne organizmy pancerzykowe, pełniące rolę filtratorów w środowiskach wodnych. W jeziorach umiarkowanie eutroficznych dostępność tego pierwiastka pomaga utrzymać równowagę biologiczną, sprzyjając optymalizacji warunków środowiskowych dla cennych organizmów wodnych.

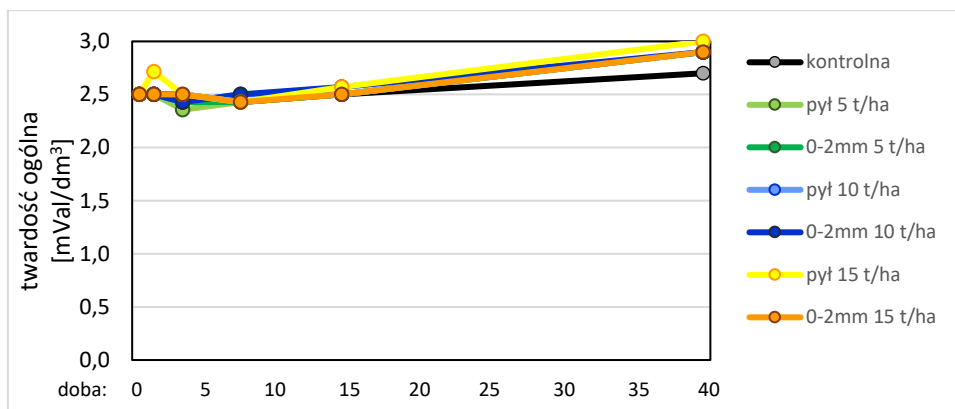
Preparat *SinStop* zawiera w swoim składzie wapń, który częściowo może uwalniać się do wody. Proces ten będzie tym intensywniejszy, im woda poddawana oddziaływaniu preparatu będzie bardziej miękka. Stąd mechanizm wzbogacania wód w jony wapnia najintensywniej będzie przebiegał w jeziorach miękkwodnych. Woda użyta w opisywanych eksperymentach pochodziła z jeziora o umiarkowanej zasobności w ten pierwiastek, stąd również poziom jego uwalniania do wody nie był znaczny – zawartość wapnia rosła powoli, osiągając pod koniec eksperymentu około 12-15% przyrost (tab. 25-26, rys. 14). Warto nadmienić, że proces ten następował do końca prowadzonych obserwacji.

Tabela. 25. Zmiany twardości wód poddanych eksperymentom

<b>twardość ogólna</b>	0	1	3	7	14	40
[mval/dm <sup>3</sup> ]	27.10.2023	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	2,5	2,5	2,5	2,4	2,5	2,7
pył 5 t/ha	2,5	2,5	2,4	2,4	2,5	2,9
0-2mm 5 t/ha	2,5	2,5	2,4	2,4	2,5	2,9
pył 10 t/ha	2,5	2,5	2,4	2,5	2,5	2,9
0-2mm 10 t/ha	2,5	2,5	2,4	2,5	2,6	2,9
pył 15 t/ha	2,5	2,7	2,5	2,4	2,6	3,0
0-2mm 15 t/ha	2,5	2,5	2,5	2,4	2,5	2,9

Tabela. 26. Procentowa redukcja koncentracji wskaźnika w kolejnych terminach badań

<b>twardość ogólna</b>	1	3	7	14	40
zmiana [%]	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	0,0	0,0	2,9	0,0	-8,0
pył 5 t/ha	0,0	5,7	2,9	0,0	-16,0
0-2mm 5 t/ha	0,0	2,9	2,9	0,0	-16,0
pył 10 t/ha	0,0	2,9	0,0	0,0	-16,0
0-2mm 10 t/ha	0,0	2,9	0,0	-2,9	-16,0
pył 15 t/ha	-8,6	0,0	2,9	-2,9	-20,0
0-2mm 15 t/ha	0,0	0,0	2,9	0,0	-16,0



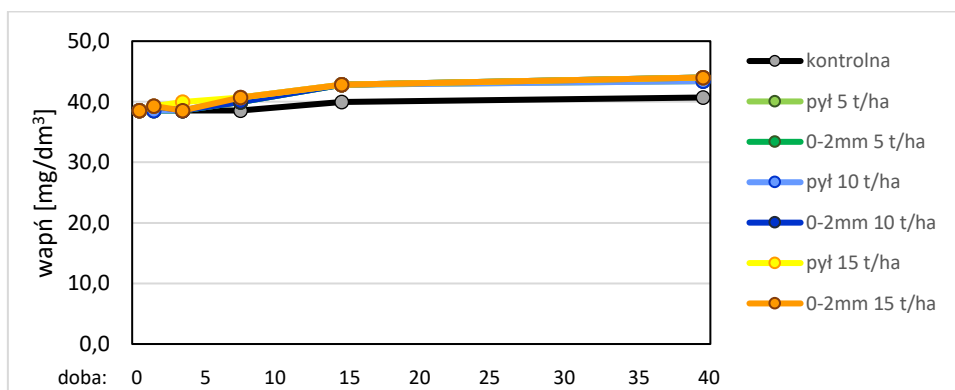
Rys. 13. Przebieg zmian twardości wód podczas eksperymentu

Tabela. 27. Zmiany zawartości wapnia w wodach poddanych eksperymentom

wapń	0	1	3	7	14	40
[mg/dm <sup>3</sup> ]	27.10.2023	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	38,6	38,6	38,6	38,6	40,0	40,7
pył 5 t/ha	38,6	38,6	38,6	40,0	42,8	43,4
0-2mm 5 t/ha	38,6	38,6	38,6	40,0	42,8	44,0
pył 10 t/ha	38,6	38,6	38,6	40,7	42,8	43,4
0-2mm 10 t/ha	38,6	39,3	38,6	40,0	42,8	44,0
pył 15 t/ha	38,6	39,3	40,0	40,7	42,8	44,0
0-2mm 15 t/ha	38,6	39,3	38,6	40,7	42,8	44,0

Tabela. 28. Procentowa redukcja koncentracji wskaźnika w kolejnych terminach badań

wapń	1	3	7	14	40
zmiana [%]	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	0,0	0,0	0,0	-3,7	-5,6
pył 5 t/ha	0,0	0,0	-3,7	-11,1	-12,6
0-2mm 5 t/ha	0,0	0,0	-3,7	-11,1	-14,1
pył 10 t/ha	0,0	0,0	-5,6	-11,1	-12,6
0-2mm 10 t/ha	-1,9	0,0	-3,7	-11,1	-14,1
pył 15 t/ha	-1,9	-3,7	-5,6	-11,1	-14,1
0-2mm 15 t/ha	-1,9	0,0	-5,6	-11,1	-14,1



Rys. 14. Przebieg zmian zawartości wapnia podczas eksperymentu

## Pozostałe wskaźniki fizykochemiczne

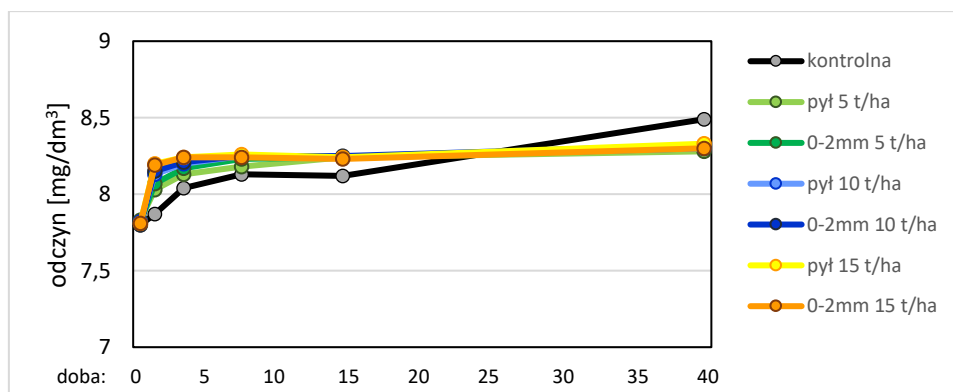
Odczyn badanej wody pozostawał lekko alkaliczny przez cały czas prowadzonych obserwacji. Taka wartość parametru jest naturalna dla wód powierzchniowych (tab. 29-30, rys. 15). pH wód pozostających pod wpływem testowanego preparatu nie różniło się znacznie od odczynu wody w reaktorze kontrolnym, jednakże można zauważyć, że zakres zmienności tego parametru był mniejszy (8,03-8,33 pH) niż zakres zmienności w wodzie próby kontrolnej (7,80 -8,49 pH). Wskazuje to na możliwości stabilizacji wahań odczynu przez preparat. Jest to korzystna cecha, o ważnym wymiarze praktycznym, przy pracy na wodach o małej stabilności kwasowo-zasadowej.

Tabela. 29. Zmiany odczynu w wodach poddanych eksperymentom

odczyn	0	1	3	7	14	40
	27.10.2023	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	7,8	7,87	8,04	8,13	8,12	8,49
pył 5 t/ha	7,83	8,03	8,13	8,18	8,24	8,28
0-2mm 5 t/ha	7,82	8,07	8,17	8,23	8,24	8,3
pył 10 t/ha	7,82	8,13	8,2	8,25	8,24	8,3
0-2mm 10 t/ha	7,8	8,15	8,21	8,25	8,25	8,32
pył 15 t/ha	7,81	8,2	8,24	8,26	8,24	8,33
0-2mm 15 t/ha	7,81	8,19	8,24	8,24	8,23	8,3

Tabela. 30. Procentowa redukcja koncentracji wskaźnika w kolejnych terminach badań

odczyn	1	3	7	14	40
zmiana [%]	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	-0,9	-3,1	-4,2	-4,1	-8,8
pył 5 t/ha	-2,6	-3,8	-4,5	-5,2	-5,7
0-2mm 5 t/ha	-3,2	-4,5	-5,2	-5,4	-6,1
pył 10 t/ha	-4,0	-4,9	-5,5	-5,4	-6,1
0-2mm 10 t/ha	-4,5	-5,3	-5,8	-5,8	-6,7
pył 15 t/ha	-5,0	-5,5	-5,8	-5,5	-6,7
0-2mm 15 t/ha	-4,9	-5,5	-5,5	-5,4	-6,3



Rys. 15. Przebieg zmian zawartości wapnia podczas eksperymentu

Przewodność elektrolityczna wód jest podstawowym wskaźnikiem obecności różnego rodzaju jonów w wodach. Jej wartości w wodach śródlądowych zazwyczaj wynoszą 200-400 jednostek, zaś w wodach słonawych lub zanieczyszczonych dochodzą w skrajnych przypadkach nawet do kilku tysięcy  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Generalnie wzrost tego parametru świadczy o pojawianiu się w roztworze wodnym dodatkowych jonów zdolnych przewodzić impulsy elektryczne. Głównym pochodzeniem tych jonów są różnego rodzaju sole.

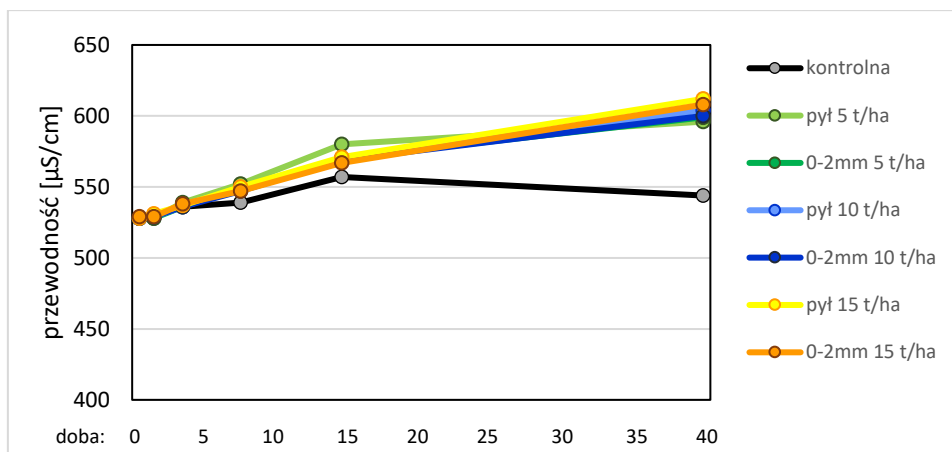
W przebiegu eksperymentów zauważalna była tendencja do nieznacznego podwyższania tego parametru wraz z upływem czasu, a wzrosty te były proporcjonalne do użytych dawek. Najwyższa przewodność była odnotowana w 40 dniu eksperymentu dla dawki preparatu równej 15+5 t/ha, eksponowanego w granulacji pyłowej. Przyrost przewodności w próbach eksperymentalnych świadczy o częściowym, powolnym rozpuszczaniu się pewnych frakcji preparatu, co jest naturalne dla wielu minerałów. Warto nadmienić, że proces ten następował do końca prowadzonych obserwacji.

Tabela. 31. Zmiany przewodności elektrolitycznej w wodach poddanych eksperymentom

<b>przewodność</b>	0	1	3	7	14	40
$\mu\text{S}/\text{cm}$	27.10.2023	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	528	529	536	539	557	544
pył 5 t/ha	528	528	539	552	580	596
0-2mm 5 t/ha	528	528	536	549	570	599
pył 10 t/ha	528	529	536	549	570	604
0-2mm 10 t/ha	528	529	536	547	569	600
pył 15 t/ha	528	531	537	550	571	612
0-2mm 15 t/ha	529	529	538	547	567	608

Tabela. 32. Procentowa redukcja koncentracji wskaźnika w kolejnych terminach badań

<b>przewodność</b>	1	3	7	14	40
	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	-0,2	-1,5	-2,1	-5,5	-3,0
pył 5 t/ha	0,0	-2,1	-4,5	-9,8	-12,9
0-2mm 5 t/ha	0,0	-1,5	-4,0	-8,0	-13,4
pył 10 t/ha	-0,2	-1,5	-4,0	-8,0	-14,4
0-2mm 10 t/ha	-0,2	-1,5	-3,6	-7,8	-13,6
pył 15 t/ha	-0,6	-1,7	-4,2	-8,1	-15,9
0-2mm 15 t/ha	0,0	-1,7	-3,4	-7,2	-14,9



Rys. 16. Przebieg zmian przewodnictwa elektrolitycznego podczas eksperymentu

Mętność jest naturalną cechą wód śródlądowych, wynikającą z obecności w nich różnego rodzaju cząstek, zarówno mineralnych (gliny, iły itp.) jak i organicznych (plankton, szczątki organizmów). Wody mętne stanowią jednak nieprzyjazne środowisko życia w jeziorach i rzekach, powodując zacienienie, gorszą insolację w głębi kolumny wody, a co za tym idzie również utrudniając naturalne procesy fotosyntezy. W przypadku organizmów żywych, szczególnie skrzelodysznych, takich jak ryby czy mięczaki długotrwale utrzymująca się mętność spowodowana zanieczyszczeniem antropogennym może powodować osłabienie organizmu wskutek trudności z wymianą gazową na nabłonku aparatów oddechowych. Konsekwencją nadmiernej mętności wód mogą być więc zaburzenia bilansu tlenowego wód naturalnych.

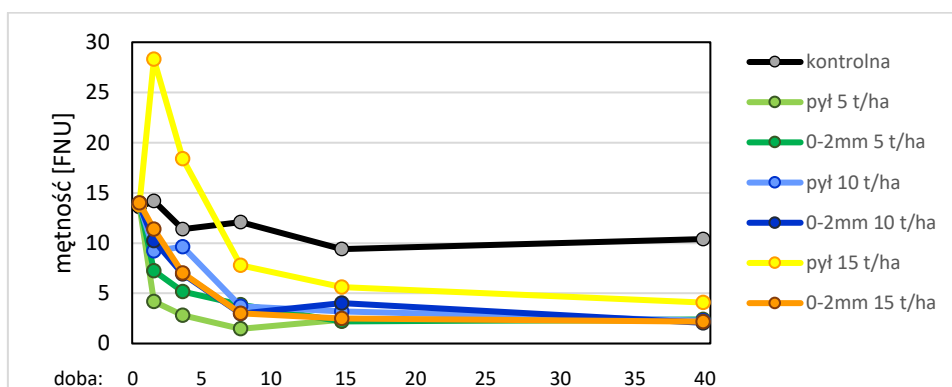
Preparat poddany badaniom został wyprodukowany w bardzo drobnych frakcjach. Spowodowało to czasowe zmętnienie roztworów eksperymentalnych (tab. 33-34, rys. 17). Najbardziej intensywnie proces ten występował w próbie zawierającej najwyższą dawkę preparatu, w formie pylistej. Jednakże generalnie zmętnienie powodowane przez preparat miało charakter przemijający, a po zakończeniu eksperymentu wszystkie próbki wody poddanej oddziaływaniu testowanego preparatu sklarowały się na tyle, że ich mętność końcowa pozostawała niższa niż początkowa oraz niższa niż w wodzie próby kontrolnej. Dla małych i umiarkowanych dawek preparatu proces klarowania wody trwał krótko (maksymalnie kilka dni), przy czym mętność własna preparatu zastępowała mętność naturalną wody surowej, co oznacza, że proces sedymentacji drobin preparatu oczyszczał jednocześnie wodę z autochtonicznych zanieczyszczeń.

Tabela. 33. Zmiany mętności w wodach poddanych eksperymentom

mętność	0	1	3	7	14	40
[FNU]	27.10.2023	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	13,6	14,2	11,4	12,1	9,4	10,4
pył 5 t/ha	13,8	4,19	2,82	1,46	2,37	2,23
0-2mm 5 t/ha	14	7,23	5,16	3,87	2,2	2,41
pył 10 t/ha	13,9	9,21	9,62	3,72	3,21	2,28
0-2mm 10 t/ha	13,8	10,25	6,94	2,98	4,01	2,06
pył 15 t/ha	13,8	28,3	18,4	7,78	5,63	4,08
0-2mm 15 t/ha	14	11,4	7,02	3,01	2,49	2,18

Tabela. 34. Procentowa redukcja koncentracji wskaźnika w kolejnych terminach badań

mętność	1	3	7	14	40
zmiana [%]	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	-4,4	16,2	11,0	30,9	23,5
pył 5 t/ha	69,6	79,6	89,4	82,8	83,8
0-2mm 5 t/ha	48,4	63,1	72,4	84,3	82,8
pył 10 t/ha	33,7	30,8	73,2	76,9	83,6
0-2mm 10 t/ha	25,7	49,7	78,4	70,9	85,1
pył 15 t/ha	-105,1	-33,3	43,6	59,2	70,4
0-2mm 15 t/ha	18,6	49,9	78,5	82,2	84,4



Rys. 17. Przebieg zmian przewodnictwa elektrolitycznego podczas eksperymentu

### Wskaźniki fitoplanktonowe

Plankton roślinny jest kluczowym ogniwem biocenozy wód powierzchniowych. Od jego składu gatunkowego i obfitości zależy niemal cały metabolizm jezior i wód leniwie płynących, jest też jednocześnie ogniwem produkcji pierwotnej dla ekosystemu wodnego. Przy nadmiarze substancji pożywkowych fitoplankton rozrasta się do postaci masowej, często definiowanej jako „zakwit wody”. Długotrwałe utrzymywanie się takiego stanu nadprodukcji biologicznej

proceeds to a series of negative effects, especially if blooms form cyanobacteria or other organisms capable of sustaining monoculture populations. At this time, there is a deterioration in color, taste, odor and water transparency, and from an environmental point of view - a reduction in species diversity. After the peak of the bloom, the biomass massively dies and pollutes the water secondarily with products of its own decomposition, contributing also to the occurrence of oxygen deficiencies. This happens due to the consumption of oxygen for the decomposition of organic matter.

Therefore, water treatment techniques, either indirect or direct, aim to limit the amount of phytoplankton in surface waters. Indirect action consists in the removal of cells from the water column as a result of various processes: coagulation, adsorption, sedimentation, and less frequently lysis of cells as a result of antagonistic interactions. The indirect mechanism of fighting blooms is the elimination of nutrients - the removal of excess bioavailable forms of nitrogen and phosphorus from the water.

The tested preparation acted very intensively on the amount of phytoplankton in the water. The study consisted in evaluating changes in the concentration of the pigment: chlorophyll "a", which is a measure of the intensity of occurrence in the water of phytoplankton (and cyanobacteria), essentially producing this pigment. The rate of chlorophyll removal from the water was significant, and the degree of reduction was close to 80% already in the first day of the experiment (tab. 35-36, fig. 18). In the following days, the water underwent further purification in order to obtain at the end of the experiment a value of this indicator at a level  $< 2 \text{ mg/m}^3$ , which indicates a very small share of phytoplankton in biological structures confirmed in experimental reactors. A probable cause of this phenomenon was the penetration of organic particles into the pores and on the expanded, highly porous surface of the preparation and the removal of such conglomerates from the water. The final effectiveness of the purification in the case of this indicator reached 90-91%.

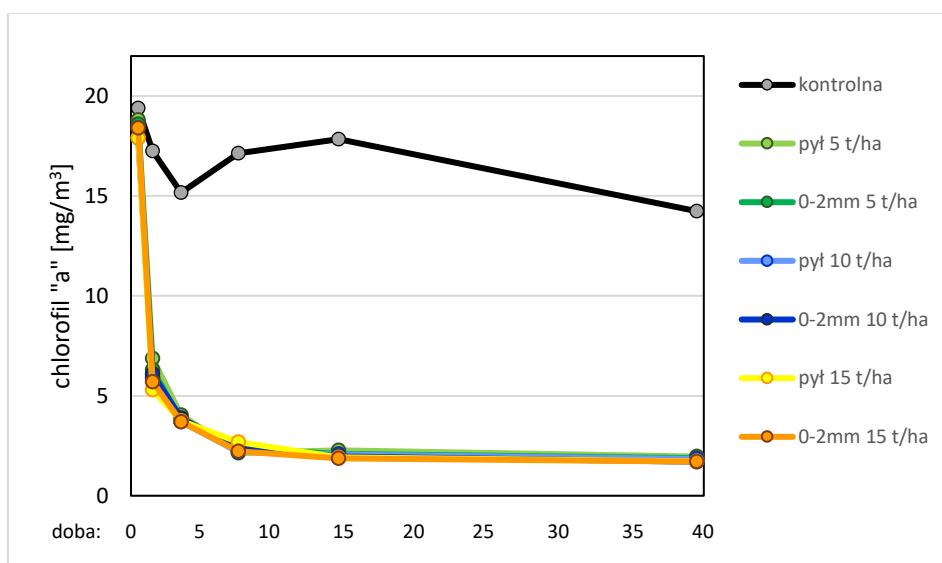
Tabela. 35. Zmiany koncentracji chlorofilu „a” w wodach poddanych eksperymentom

<b>chlorofil a</b>	0	1	3	7	14	40
[mg/m <sup>3</sup> ]	27.10.2023	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	19,4	17,24	15,16	17,13	17,84	14,24
pył 5 t/ha	18,8	6,87	4,04	2,14	2,27	1,96
0-2mm 5 t/ha	18,6	6,3	3,75	2,35	2,1	1,88
pył 10 t/ha	18,4	5,9	3,71	2,19	2,06	1,84
0-2mm 10 t/ha	17,9	6,1	3,88	2,38	1,96	1,7
pył 15 t/ha	17,9	5,3	3,74	2,68	1,92	1,72
0-2mm 15 t/ha	18,4	5,7	3,69	2,23	1,87	1,71



Tabela. 36. Procentowa redukcja koncentracji wskaźnika w kolejnych terminach badań

chlorofil a	1	3	7	14	40
zmiana [%]	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
kontrolna	11,1	21,9	11,7	8,0	26,6
pył 5 t/ha	63,5	78,5	88,6	87,9	89,6
0-2mm 5 t/ha	66,1	79,8	87,4	88,7	89,9
pył 10 t/ha	67,9	79,8	88,1	88,8	90,0
0-2mm 10 t/ha	65,9	78,3	86,7	89,1	90,5
pył 15 t/ha	70,4	79,1	85,0	89,3	90,4
0-2mm 15 t/ha	69,0	79,9	87,9	89,8	90,7



Rys. 18. Przebieg koncentracji chlorofilu „a” podczas eksperymentu

Fikocyjanina to barwnik determinujący obecność sinic w wodach powierzchniowych. Ten szczególny rodzaj mikroorganizmów często wymieniany jest jako barometr czystości wody, a zakwity sinicowe, nękające coraz częściej jeziora i rzeki na całym świecie, dobitnie świadczą o eutrofizacji i zaburzeniach naturalnych mechanizmów populacyjnych. Sinice chętniej wykorzystują fosfor jako główną pożywkę, mają bowiem w niektórych warunkach zdolność pobierania azotu z atmosfery. Ich masowe pojawy w wodach często mają charakter toksyczny dla innych organizmów, w tym ludzi. Stąd możliwość ograniczania ich namnażania jest bardzo ważnym, a właściwie jednym z kluczowych mechanizmów w rekultywacji wód powierzchniowych.

Preparat *SinStop* okazał się bardzo skuteczny w eliminacji fikocyjaniny w wodach poddanych eksperymentom, co oznacza możliwość oczyszczania wód z sinic. Wspomniany barwnik, będący miarą ich obfitości uległ znacznemu obniżeniu koncentracji, z wartości rzędu

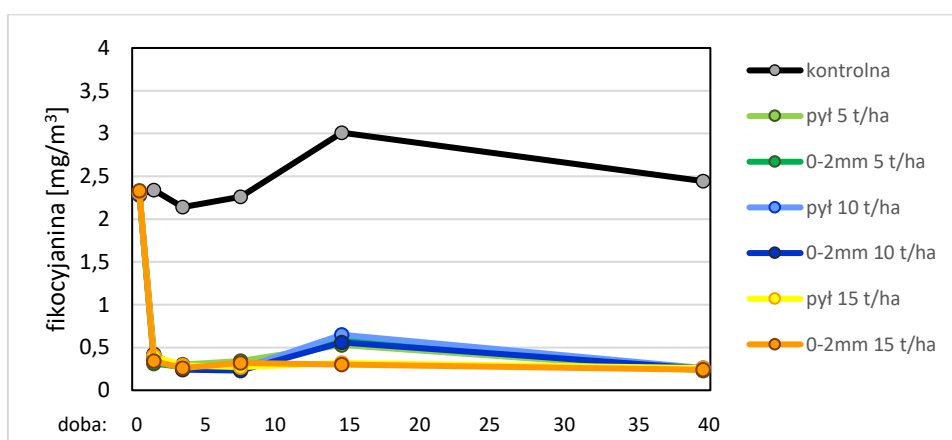
2,3 mg/m<sup>3</sup> (wartość wysoka naturze świadcząca o silnej eutrofii) do wartości poniżej 0,3 mg/m<sup>3</sup>, co oznacza redukcję na poziomie 90% (tab. 37-38, rys. 19). Warto zauważyć, że tempo usuwania fikocyjaniny było wyższe niż chlorofilu „a” w początkowej fazie aplikacji. Oznacza to, że prawdopodobnie preparat może działać wybiórczo, przynajmniej w pierwszych dniach po zastosowaniu wchodząc w interakcję z najbardziej niepożądanymi gatunkami planktonu roślinnego.

Tabela. 37. Zmiany koncentracji fikocyjaniny w wodach poddanych eksperymentom

<b>fikocyjanina</b>	0	1	3	7	14	40
[mg/m <sup>3</sup> ]	27.10.2023	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
<b>kontrolna</b>	2,29	2,34	2,14	2,26	3,01	2,444
<b>pył 5 t/ha</b>	2,28	0,37	0,3	0,34	0,53	0,23
<b>0-2mm 5 t/ha</b>	2,3	0,31	0,27	0,26	0,59	0,24
<b>pył 10 t/ha</b>	2,29	0,37	0,27	0,25	0,65	0,26
<b>0-2mm 10 t/ha</b>	2,31	0,42	0,24	0,23	0,56	0,25
<b>pył 15 t/ha</b>	2,31	0,4	0,29	0,27	0,32	0,26
<b>0-2mm 15 t/ha</b>	2,33	0,34	0,26	0,32	0,3	0,24

Tabela. 38. Procentowa redukcja koncentracji wskaźnika w kolejnych terminach badań

<b>fikocyjanina</b>	1	3	7	14	40
zmiana [%]	28.10.2023	30.10.2023	03.11.2023	10.11.2023	05.12.2023
<b>kontrolna</b>	-2,2	6,6	1,3	-31,4	-6,7
<b>pył 5 t/ha</b>	83,8	86,8	85,1	76,8	89,9
<b>0-2mm 5 t/ha</b>	86,5	88,3	88,7	74,3	89,6
<b>pył 10 t/ha</b>	83,8	88,2	89,1	71,6	88,6
<b>0-2mm 10 t/ha</b>	81,8	89,6	90,0	75,8	89,2
<b>pył 15 t/ha</b>	82,7	87,4	88,3	86,1	88,7
<b>0-2mm 15 t/ha</b>	85,4	88,8	86,3	87,1	89,7



Rys. 19. Przebieg koncentracji chlorofilu „a” podczas eksperymentu

## Metale

Obecność metali w środowisku jest naturalną cechą niegeochemicznego obiegu pierwiastków. Wśród tej grupy elementów znajdują się zarówno cząstki szeroko rozpowszechnione w wodach śródlądowych, pełniące ważne role w metabolizmie żywych komórek (np. wapń, magnez, żelazo) jak i pierwiastki, których nawet niewielki nadmiar w aktywnych formach może być szkodliwy dla organizmów ( np. chrom, nikiel, glin, ołów). Stąd przy analizie nowego preparatu wysoce uzasadnionym jest ocenienie, czy w warunkach potencjalnej aplikacji użyty środek nie będzie wzbogacał środowiska w szkodliwe pierwiastki. Badanie obejmowało analizę 24 metali w wodzie poddanej eksperymentom, po okresie 14 dni ekspozycji. Wyniki przedstawiono w tabeli 39.

Oddziaływanie preparatu na poszczególne metale można pogrupować w cztery scenariusze. Pierwszy z nich dotyczył sytuacji kiedy to pierwiastki te nie występowały ani w próbie kontrolnej ani w próbach eksperymentalnych w ilościach wykrywanych analitycznie. Oznacza to, że preparat nie przyczyniał się do ich uwalniania. Ta prawidłowość występowała dla **antymonu, arsenu, chromu, kobaltu, kadmu, molibdenu, seleniu, ołowiu, srebra i talu**. Był to najbardziej powszechny scenariusz.

Druga grupa metali występowała w zauważalnych ilościach w wodzie próby kontrolnej i w podobnych ilościach w próbach eksperymentalnych, zatem były to składniki obecne w wodzie przeznaczonej do badań, a ich koncentracje nie uległy istotnym zmianom w reaktorach eksperymentalnych. Oznacza to, że preparat w warunkach prowadzanego eksperymentu nie wydzieliał tych składników do wody. Dotyczyło to **boru, litu, potasu, magnezu, miedzi, sodu i żelaza**.

Kolejny scenariusz polegał na wzroście koncentracji metalu w próbach z dodatkiem preparatu. Sytuacja ta dotyczyła tylko dwóch badanych składników to jest **baru i wanadu**. Należy jednak podkreślić, że ilości tych metali pojawiające się w reaktorach eksperymentalnych było bardzo niskie. Dla baru były to wartości zaledwie na poziomie tysięcznych części miligrama na litr, podczas gdy wartości w wodzie przeznaczonej do spożycia zgodnie z wytycznymi WHO bezpiecznie mogą dochodzić do kilku mg/dm<sup>3</sup>. Podobnie z wanadem – przyrost o dziesięciotysięczne części miligrama stanowi wartość wielokrotnie niższą niż normy środowiskowe dla dobrego stanu wód (0,05 mg/dm<sup>3</sup> – zgodnie z Dz.U. 2021 poz. 1475).

Czwartym mechanizmem oddziaływania było usuwanie metalu z wody. Ten pożądany scenariusz dotyczył **glinu, niklu, cynku i manganu**. Pierwsze trzy z nich są w formach aktywnych szkodliwe dla wód naturalnych już w niewielkich ilościach, zatem tę cechę preparatu należy uznać za środowiskowo bardzo pożądaną.

Tabela 39. Zawartość metali w wodzie surowej i poddanej eksperymentom

parametr			reaktor 1	reaktor 2	reaktor 3	reaktor 4	reaktor 5	reaktor 6	reaktor 7
<b>Antymon (Sb)</b>	mg/L	<b>0.01</b>	<0.010 mg/L	<0.010 mg/L	<0.010 mg/L	<0.010 mg/L	<0.010 mg/L	<0.010 mg/L	<0.010 mg/L
<b>Arsen (As)</b>	mg/L	<b>0.005</b>	<0.0050 mg/L	<0.0050 mg/L	<0.0050 mg/L	<0.0050 mg/L	<0.0050 mg/L	<0.0050 mg/L	<0.0050 mg/L
<b>Bar (Ba)</b>	mg/L	<b>0.0005</b>	0.0167 mg/L	0.0194 mg/L	0.0194 mg/L	0.0196 mg/L	0.0209 mg/L	0.0214 mg/L	0.0214 mg/L
<b>Beryl (Be)</b>	mg/L	<b>0.0002</b>	<0.00020 mg/L	<0.00020 mg/L	<0.00020 mg/L	<0.00020 mg/L	<0.00020 mg/L	<0.00020 mg/L	<0.00020 mg/L
<b>Bor (B)</b>	mg/L	<b>0.01</b>	0.042 mg/L	0.044 mg/L	0.043 mg/L	0.043 mg/L	0.043 mg/L	0.044 mg/L	0.043 mg/L
<b>Chrom (Cr)</b>	mg/L	<b>0.001</b>	<0.0010 mg/L	<0.0010 mg/L	<0.0010 mg/L	<0.0010 mg/L	<0.0010 mg/L	<0.0010 mg/L	<0.0010 mg/L
<b>Cynk (Zn)</b>	mg/L	<b>0.002</b>	0.0155 mg/L	0.0097 mg/L	0.0040 mg/L	0.0033 mg/L	0.0032 mg/L	0.0024 mg/L	0.0034 mg/L
<b>Glin (Al)</b>	mg/L	<b>0.01</b>	0.027 mg/L	0.018 mg/L	0.021 mg/L	0.018 mg/L	0.018 mg/L	0.012 mg/L	0.018 mg/L
<b>Kadm (Cd)</b>	mg/L	<b>0.0004</b>	<0.00040 mg/L	<0.00040 mg/L	<0.00040 mg/L	<0.00040 mg/L	<0.00040 mg/L	<0.00040 mg/L	<0.00040 mg/L
<b>Kobalt (Co)</b>	mg/L	<b>0.002</b>	<0.0020 mg/L	<0.0020 mg/L	<0.0020 mg/L	<0.0020 mg/L	<0.0020 mg/L	<0.0020 mg/L	<0.0020 mg/L
<b>Lit (Li)</b>	mg/L	<b>0.001</b>	0.0011 mg/L	0.0014 mg/L	<0.0010 mg/L	0.0012 mg/L	0.0015 mg/L	0.0015 mg/L	0.0014 mg/L
<b>Magnez (Mg)</b>	mg/L	<b>0.003</b>	3.84 mg/L	4.03 mg/L	3.89 mg/L	3.75 mg/L	3.79 mg/L	3.79 mg/L	3.76 mg/L
<b>Mangan (Mn)</b>	mg/L	<b>0.0005</b>	0.00320 mg/L	0.00170 mg/L	0.00130 mg/L	0.00150 mg/L	0.00150 mg/L	0.00170 mg/L	0.00140 mg/L
<b>Miedź (Cu)</b>	mg/L	<b>0.001</b>	0.0013 mg/L	0.0012 mg/L	<0.0010 mg/L	0.0012 mg/L	<0.0010 mg/L	0.0015 mg/L	<0.0010 mg/L
<b>Molibden (Mo)</b>	mg/L	<b>0.002</b>	<0.0020 mg/L	<0.0020 mg/L	<0.0020 mg/L	<0.0020 mg/L	<0.0020 mg/L	<0.0020 mg/L	<0.0020 mg/L
<b>Nikiel (Ni)</b>	mg/L	<b>0.002</b>	0.0024 mg/L	<0.0020 mg/L	<0.0020 mg/L	<0.0020 mg/L	<0.0020 mg/L	0.0030 mg/L	<0.0020 mg/L
<b>Ołów (Pb)</b>	mg/L	<b>0.005</b>	<0.0050 mg/L	<0.0050 mg/L	<0.0050 mg/L	<0.0050 mg/L	<0.0050 mg/L	<0.0050 mg/L	<0.0050 mg/L
<b>Potas (K)</b>	mg/L	<b>0.015</b>	4.78 mg/L	4.90 mg/L	4.80 mg/L	4.90 mg/L	4.86 mg/L	4.83 mg/L	4.86 mg/L
<b>Selen (Se)</b>	mg/L	<b>0.01</b>	<0.010 mg/L	<0.010 mg/L	<0.010 mg/L	<0.010 mg/L	<0.010 mg/L	<0.010 mg/L	<0.010 mg/L
<b>Srebro (Ag)</b>	mg/L	<b>0.001</b>	<0.0010 mg/L	<0.0010 mg/L	<0.0010 mg/L	<0.0010 mg/L	<0.0010 mg/L	<0.0010 mg/L	<0.0010 mg/L
<b>Sód (Na)</b>	mg/L	<b>0.03</b>	51.3 mg/L	52.4 mg/L	51.9 mg/L	51.8 mg/L	51.3 mg/L	50.5 mg/L	50.6 mg/L
<b>Tal (Tl)</b>	mg/L	<b>0.01</b>	<0.010 mg/L	<0.010 mg/L	<0.010 mg/L	<0.010 mg/L	<0.010 mg/L	<0.010 mg/L	<0.010 mg/L
<b>Wanad (V)</b>	mg/L	<b>0.001</b>	<0.0010 mg/L	0.0012 mg/L	0.0014 mg/L	0.0015 mg/L	0.0012 mg/L	0.0014 mg/L	0.0015 mg/L
<b>Żelazo (Fe)</b>	mg/L	<b>0.002</b>	0.0107 mg/L	0.0110 mg/L	0.0097 mg/L	0.0113 mg/L	0.0107 mg/L	0.0112 mg/L	0.0107 mg/L

## Analiza mikrobiologiczna

Analizom mikrobiologicznym poddano wszystkie 7 próbek wody, które pobierano do badań dwukrotnie: na początku eksperymentu oraz w ostatnim dniu trwania pierwszego etapu. Badania mikrobiologiczne próbek wody obejmowały następujące oznaczenia:

- ogólnej liczby bakterii heterotroficznych psychrofilnych (jtk TVC 22°C/ 1 ml) oznaczonej na podłożu TSA po 72 godzinach inkubacji w temperaturze 22±2°C zgodnie z PN-EN ISO 8199:2010 i PN-EN ISO 6222:2004P – jako wskaźnika łatworozkładalnej materii organicznej;
- liczebności bakterii amonifikacyjnych (NPL/1ml) na podłożu hodowlanym z 3% dodatkiem peptonu (pH 7.2) po 7 dniach inkubacji wysiewów w temperaturze 26°C zgodnie z Polską Normą PN – 74/C–04615;
- liczebności (NPL/100ml) bakterii nitryfikacyjnych I fazy (*Nitrosomonas*) na podłożu Meiklejonha z dodatkiem (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (pH 8.5) po 7 dniach inkubacji w temperaturze 28°C;
- liczebności (NPL/100ml) bakterii nitryfikacyjnych II fazy (*Nitrobacter*) na podłożu Meiklejonha z dodatkiem NaNO<sub>3</sub> (pH 7.7) po 14 dniach inkubacji w temperaturze 28°C (Skerman 1967).

W tabeli 1 przedstawiono ogólną liczbę bakterii psychrofilnych TVC 22°C, liczebności bakterii amonifikacyjnych, nitryfikacyjnych I i II fazy w analizowanych próbkach wód pobranych na początku i na końcu prowadzonego eksperymentu.

W próbkach kontrolnych po zakończeniu eksperymentu nie stwierdzono istotnych zmian w liczebnościach TVC 22°C. Zanotowano natomiast ponad 90% redukcję liczebności bakterii nitryfikacyjnych I fazy (utleniających N-NH<sub>4</sub> do N-NO<sub>2</sub>) i bakterii amonifikacyjnych o ponad 30%. W przypadku bakterii nitryfikacyjnych II fazy (odpowiedzialnych za utlenianie N-NO<sub>2</sub> do N-NO<sub>3</sub>) stwierdzono ponad 4-krotny wzrost ich liczebności w kontrolnej próbce wody pobranej w ostatnim dniu eksperymentu.

Po zakończeniu eksperymentu w większości badanych próbek wody, zawierających preparat na bazie skały wapiennej nie odnotowano istotnych zmian w liczebnościach TVC 22°C i bakterii amonifikacyjnych w porównaniu do ich koncentracji w analogicznych próbkach wody pobranych na początku eksperymentu.

Po zakończeniu eksperymentu we wszystkich badanych próbkach wody zanotowano kilkukrotny wzrost liczebności bakterii nitryfikacyjnych I fazy niezależnie od dawki preparatu i jego frakcji. Podobne tendencje wzrostu koncentracji bakterii biorących czynny udział w przemianach związków azotu odnotowano w przypadku bakterii nitryfikacyjnych II fazy we wszystkich badanych próbkach w końcowej fazie doświadczenia (Tabela 40).

Tabela 40 Ogólna liczba bakterii (TVC 22°C), liczebności bakterii amonifikacyjnych, nitryfikacyjnych I i II fazy w próbkach wody o zróżnicowanych dawkach i frakcjach preparatu.

Rodzaj próby	Etap eksperymentu	Ogólna liczba bakterii psychrofilnych TVC 22°C (jtk/1ml)	Liczebności bakterii amonifikacyjnych (NPL/1 ml)	Liczebności bakterii nitryfikacyjnych I fazy (NPL/100 ml)	Liczebności bakterii nitryfikacyjnych II fazy (NPL/100 ml)
kontrolna	początek	14.567	12.566	1.100	20
	<i>koniec</i>	<b>12.660</b>	<b>8.622</b>	<b>95</b>	<b>95</b>
pył 5 t/ha	początek	3.795	2.467	65	15
	<i>koniec</i>	<b>473</b>	<b>337</b>	<b>250</b>	<b>90.000</b>
0-2mm 5 t/ha	początek	7.620	7.150	65	7
	<i>koniec</i>	<b>17.413</b>	<b>11.680</b>	<b>450</b>	<b>1.100</b>
pył 10 t/ha	początek	4.950	4.190	115	0
	<i>koniec</i>	<b>4.806</b>	<b>2.506</b>	<b>200</b>	<b>70.000</b>
0-2mm 10 t/ha	początek	6.450	5.990	30	4
	<i>koniec</i>	<b>2.780</b>	<b>985</b>	<b>95</b>	<b>30.000</b>
pył 15 t/ha	początek	1.847	1.248	20	0
	<i>koniec</i>	<b>1.135</b>	<b>630</b>	<b>150</b>	<b>30.000</b>
0-2mm 15 t/ha	początek	3.250	2.124	115	7
	<i>koniec</i>	<b>1.070</b>	<b>636</b>	<b>250</b>	<b>60.000</b>

W badanych próbkach wód zawierających testowany preparat stwierdzane wyższe liczebności bakterii amonifikacyjnych, nitryfikacyjnych I i II fazy korelowały statystycznie istotnie (test korelacji rang Spearmana;  $p \leq 0,05$ ) ze zmieniającymi się stężeniami odpowiednio: N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>2</sub> i N-NO<sub>3</sub>. Zależności te wskazują, że za dynamikę koncentracji N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>2</sub> i N-NO<sub>3</sub> w próbkach wody odpowiadają określone grupy bakterii biorące czynny udział w przemianach związków azotu. Należą do nich oznaczane bakterie amonifikacyjne zdolne do rozkładu materii organicznej z uwolnieniem N-NH<sub>4</sub>, który może być utleniony przez bakterie nitryfikacyjne I fazy do N-NO<sub>2</sub> a ten z kolei do N-NO<sub>3</sub> na skutek działalności bakterii nitryfikacyjnych II fazy. Zatem należy stwierdzić, że testowany preparat umożliwił istotną intensyfikację przemian azotowych indukowanych przez mikroorganizmy. Mechanizmy te, w odpowiednich warunkach mogą sprzyjać obniżaniu zawartości azotu w wodach poddawanych działaniu preparatu.

Przeprowadzone badania miały charakter pilotażowy. Preparat *SinStop*, będący nowością na rynku nie był jeszcze gruntownie badany. Stąd uzyskane wyniki będą mogły stanowić dobrą podstawę do dalszych analiz i ewentualnej ewolucji linii produktowej.

**Wykonane eksperymenty pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:**

1. Preparat oddziałuje na chemizm naturalnych wód zanieczyszczonych, zaś stopień ingerencji w parametry wody jest zróżnicowany, w zależności od rodzaju zachodzących interakcji, przy czym nie stwierdzono oddziaływań negatywnych.
2. Dodatek preparatu w dawkach 5, 10 i 15 ton na hektar zbiornika wodnego wraz z dodatkową dawką 5t/ha nie spowodował żadnych negatywnych zmian warunków tlenowych w badanej wodzie.
3. *SinStop* ma zdolność ograniczania zawartości fosforu w wodzie poddawanej oczyszczeniu. W warunkach eksperymentu uzyskano wyraźny spadek koncentracji zarówno fosforanów jak i organicznych form tego pierwiastka. Fosfor zostaje immobilizowany przez drobiny preparatu i strącony z kolumny wody w procesie sedymentacji.
4. W wyniku zastosowania preparatu uzyskano istotny wzrost intensywności przemian związków azotu. Interakcja preparatu z mikroorganizmami oznaczanymi w próbach eksperymentalnych zdaje się potwierdzać występowanie mechanizmu oddziaływania cząstek *SinStop*-u na zasobność wód w azot, poprzez intensyfikację metabolizmu bakterii azotowych. Zawartość azotu całkowitego spadła o około 12-19% na przestrzeni całego eksperymentu. Zaobserwowany spadek zawartości azotu całkowitego był wynikiem zmniejszania się ilości azotu organicznego wskutek efektywniejszej mineralizacji materii organicznej.
5. Analiza mikrobiologiczna wykazała pozytywny wpływ preparatu na intensywność przemian związków azotu przy udziale bakterii cyklu azotowego.
6. Preparat miał wpływ na łagodne podwyższenie się alkaliczności i twardości ogólnej badanej wody oraz ograniczenie wahań jej odczynu. W kontekście środowiskowym jest to pozytywny efekt. W jeziorach opanowanych przez fitoplankton stabilizacja odczynu i poprawa właściwości buforowych jest pożądana, bo zmniejsza sukces reprodukcyjny najbardziej niepożądanych sinic, tworzących uciążliwe zakwity.

7. Bardzo intensywne oddziaływanie preparatu dotyczyło parametrów wody wskazujących na ilość glonów planktonowych i sinic (*Cyanoprkaryota*). Wskaźniki ich występowania (stężenie chlorofilu „a”, który jest miarą intensywności występowania glonów oraz fikocyjaniny – barwnika sinicowego) gwałtownie spadły po dodaniu preparatu. Spadek ten był dynamiczny i znaczący (60-90%) i konsekwentnie utrzymywał się do końca trwania eksperymentu (40dni). Bardziej dynamiczna redukcja fikocyjaniny w stosunku do chlorofilu „a” stanowi obiecującą cechę preparatu, wskazując na potencjalnie szersze zastosowanie praktyczne jako środka antysinicowego.
8. Testowany preparat wykazał się zdolnością do ograniczania zanieczyszczenia wody najdrobniejszymi formami materii organicznej. Zasadne byłoby podjęcie dalszych badań nad efektywnością preparatu w procesie hamowania rozwoju najmniejszych gatunków mikro i nanoplanktonu, w tym szczególnie niepożądanych ekologicznie *złotych alg*.
9. *SinStop* jest preparatem bezpiecznym dla środowiska wodnego. Nawet przy najwyższych dawkach użytych w eksperymentach, badania nie wykazały uwalniania do wody szkodliwych metali w ilościach, które mogłyby negatywnie wpływać na tzw. dobry stan chemiczny wód powierzchniowych. Ponadto stwierdzono dla niektórych szkodliwych metali (cynk, glin, nikiel, ale także mangan) zdolność preparatu do ograniczania ich koncentracji w wodzie.
10. Ekspozycja zooplanktonu, występującego naturalnie w wodzie poddanej testom, na dodatek preparatu *SinStop* w dawkach 5, 10 i 15 ton/ha nie wykazała negatywnych zmian w jego liczebności.

Biorąc pod uwagę wykazane wyżej mechanizmy oddziaływania preparatu na chemizm wód naturalnych, można stwierdzić, że jest on obiecującą alternatywą dla istniejących dla rynku rozwiązań do inaktywacji fosforu. Preparat *SinStop*, bazując na całkowicie naturalnym składzie charakteryzuje się szeregiem pozytywnych cech oczekiwanych od środków przeznaczonych do rekultywacji wód powierzchniowych. Preparat nie zakwasza środowiska, oczyszcza je z nadmiaru fosforu i niektórych szkodliwych metali, jak również ma zdolność ograniczania ilości glonów i sinic w wodzie. Uzyskane wyniki badań upoważniają do wydania pozytywnej rekomendacji do używania preparatu w skali technicznej.



## Literatura

- Hermanowicz W., Dojlido J., Dożańska W., Koziorowski B., Zerbe J., 1999. Fizyczno – chemiczne badanie wody i ścieków. Arkady, Warszawa.
- APHA, 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st ed. American Public Health Association, 1368 pp.
- PN–EN ISO 8199:2010. Jakość wody – Ogólne wytyczne oznaczania liczby bakterii metodą hodowlaną.
- PN–EN ISO 6222:2004P. Jakość wody - Oznaczanie ilościowe mikroorganizmów zdolnych do wzrostu. Określanie ogólnej liczby kolonii metodą posiewu na agarze odżywczym
- PN–74/C–04615, kat. XIV, arkusz 18. Woda i ścieki. Badania mikrobiologiczne. Oznaczanie bakterii amonifikacyjnych metodą probówkową.
- SKERMAN V. B. D. A guide to the identification of the genera of bacteria. 2-nd ed. The Williams and Wilkins Comp., Baltimore, pp. 1-217, 1967
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021 r. w sprawie klasyfikacji stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu chemicznego oraz sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych, a także środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych (Dz. U. 2021. poz.1475).