

## REKULTYWACJA TERENU SKŁADOWANIA ZAOLEJONEJ ZIEMI OKRZEMKOWEJ W BRZEGU

### Charakterystyka obiektu

Składowisko płynnej zaolejonej ziemi okrzemkowej, zwane osadnikami (lagunami) należało od roku 1952 do byłych Nadbużańskich Zakładów Tłuszczowych S.A.

Ma ono 4 osadniki (rys. 1). Trzy z nich służyły wcześniej jako osadniki odpadów byłej cukrowni. Czwarty osadnik zbudowano w latach dziewięćdziesiątych. Zapora ziemna oddziela osadniki od terasy zalewowej rzeki Odry (fot. 1, 2, 3). Posadowiono ją u podnóża skarpy terasy zalewowej (rys. 1, 2) Zaporę ziemną przebudowano w roku 1991. Nachylenie skarpy wynosi 1:2,5. Skarpę zabezpieczono:

- 1) wykładziną z włókniny obciążoną płytami betonowymi ażurowymi 50 x 100 x 8 cm
- 2) w dolnej części zaporę podparto murkiem ze stalowych bursów typu LARSEN ( $I=8\div 9$  m)

Wysokość zapory (wału zewnętrznego) wynosi ok. 10 m, wzrastając ku dolinie rzeki. Szerokość korony wału wynosi 6,0 m a jej rzędne 146 – 148, 8 (średnia 148, 5) m.n.p.m. Rzędne przyległej części terasy zalewowej mieszczą się w przedziale 134,2 – 136,0 m.n.p.m. Terasa zalewowa rzeki Odry jest zbudowana z aluwialnych glin pylastych (zasobnych w części organiczne) z licznymi przewarstwieniami piasku. Miąższość utworów holocenijskich wynosi średnio 6-8 m., które zalegają na podłożu gliny morenowej. Wycyzynę budują utwory plejstocenijskie: piaski, pospółki, żwiry, gliny pylaste, gliny piaszczyste.

W roku 1995 powierzchnie lagun i rzędne piętrzenia odpadów ciekłych wynosiły :

- osadnik 1 – 1700 m i 147,25 m n.p.m.
- osadnik 2 – 3200 m i 147,34 m n.p.m
- osadnik 3 – 2800 m i 147,03 m n.p.m
- osadnik 4 – 3700 m i 146,97 m n.p.m

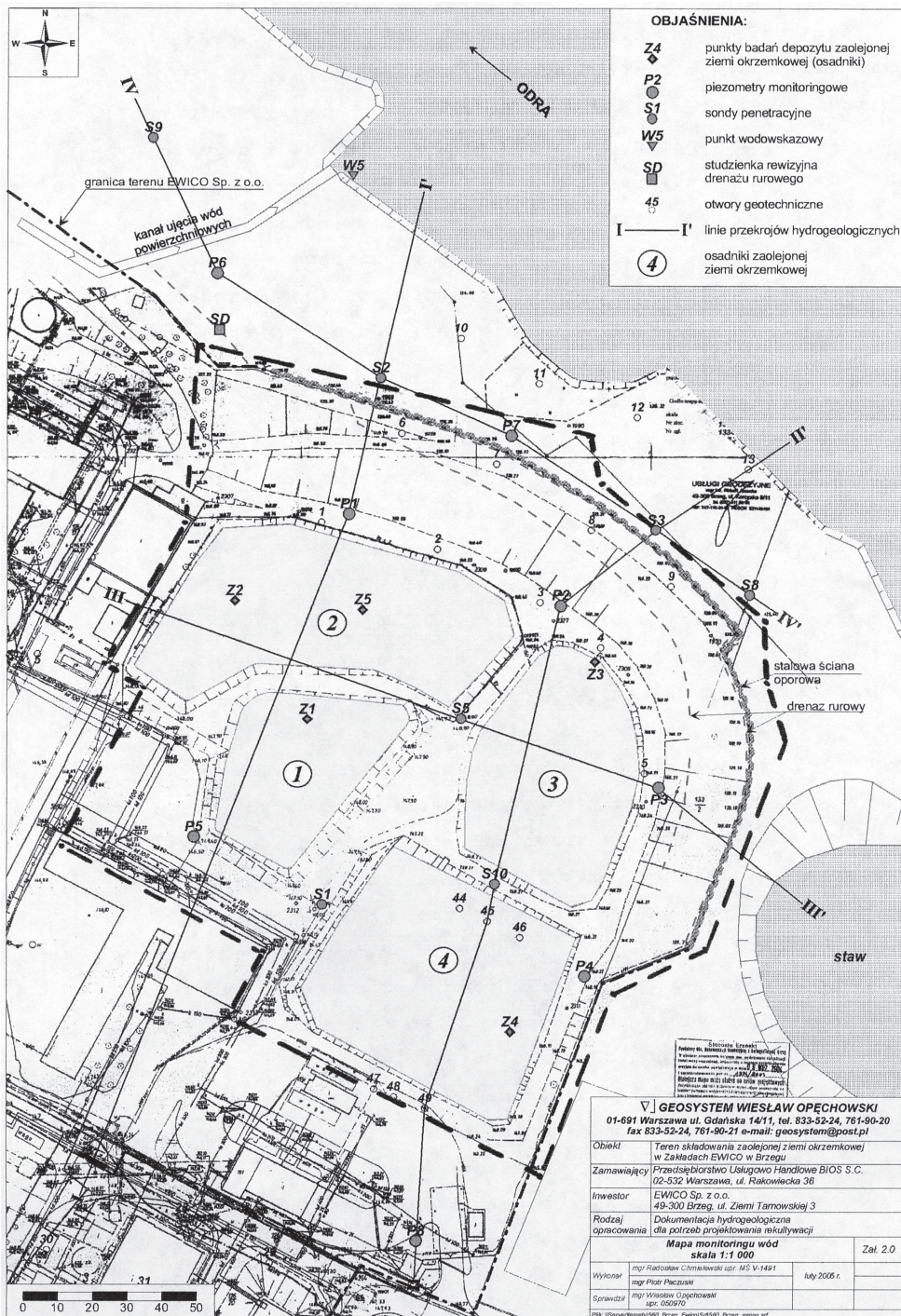
Deponowany odpad zawierał około 50% wody, 8-10 % oleju, trochę śluzu nasiennego i kwasów tłuszczowych, śladowe ilości kwasu fosforowego i siarkowego.

Składowisko odpadów ma sieć piezometrów do monitorowania zwierciadła i jakości wód gruntowych (rys. 1)

Zwierciadło wody gruntowej u czoła osadników stabilizuje się na głębokości około 133 m n.p.m. (ok. 0,6 - 2,0 m p.p.t.) zależnie od stanu wody w Odrze.

Wody gruntowe wycyzyny są głównie pochodzenia atmosferycznego i występują w wodonośnych warstwach piasku.

Średni poziom wód gruntowych w przyległej części wycyzyny ma rzędna 142 m n.p.m. Obwałowanie osadników spowodowało liczne wysięki wody z warstw o różnych współczynnikach filtracji.



Rys. 1. Składowisko zaolejonej ziemi okrzemkowej w Brzegu



## Stan składowiska w 2004 r.

**Laguna 1** miała nieregularną, w dużej mierze zdeformowaną powierzchnię (fot. 4 i 5). Najgłębsza część laguny była zawodniona, a jej otoczenie pokryte silnie zaolejoną ziemią okrzemkową. W porze chłodnej lustro wody było wolne od olejowego ekranu. Podczas słonecznej, zwłaszcza upalnej pogody obserwowano wytapianie się cieczy olejowej z depozytu ziemi okrzemkowej i spływanie jej do głęboczka zawodnionego. Zawodniony głęboczek stanowi korzystne siedlisko dla intensywnego wzrostu pałki wodnej i trzciny polskiej, także dla wielu innych hydrofitów (fot. 5).

W jesieni 2004 r. zanikła woda w głęboczku i nastąpiły wschody samosiewnej roślinności (fot. 6).

**Laguna 2** była zapełniona ziemią okrzemkową oraz w znacznej części pokryta woda zaolejona. Nieregularność powierzchni depozytu ziemi okrzemkowej sprawiła odpowiednio nieregularną głębokość cieczy nadosadowej. Powierzchnia depozytu została zdeformowana przez techniczne pozyskiwanie ziemi okrzemkowej wzdłuż korony obwałowania i grobli wewnętrznej.

**Laguna 3** była całkowicie zapełniona zaolejona ziemią okrzemkową i cieczą wodno-olejową. W porze chłodnej powierzchnię laguny pokrywała maź oleista ( fot. 7, 8), a podczas słonecznej (zwłaszcza upalnej pogody) ciecz oleista – ze znacznym udziałem ziemi okrzemkowej).

Na kilku bardzo małych nieco wypukłych kopczykach laguny obserwowano obecność samosiewnej roślinności ( fot. 8 ), która świadczy o możliwości biologicznej transformacji złoża odpadów.

**Laguna 4** była całkowicie zapełniona zaolejona ziemią okrzemkową. Znaczna część powierzchni została wypiętrzona w postaci nieregularnych płatów i kopczyków. Ekspozycja wypiętrzeń na działanie czynników atmosferycznych i biologiczny rozkład oleju stworzyły warunki do intensywnego wzrostu samosiewnych roślin trawiastych, zielnych, drzew i krzewów (fot. 9 – 11). Świadczy to o możliwości efektywnego zazielenienia powierzchni depozytu ziemi okrzemkowej po usunięciu ciekłej postaci oleju i zaawansowaniu jego biodegradacji oraz zapewnieniu odpowiednich warunków powietrzno-wodnych.

## Zawartości węgla organicznego, azotu i fosforu w depozycie zaolejonej ziemi okrzemkowej

Zawartości wymienionych składników oznaczono w próbkach pobranych z lagun 1,2 i 4 na głębokości 0,5 m od powierzchni do części przydennych włącznie. (tab. nr 1).

Założono, że w tej części złoża depozytu zawiera zbliżone ilości substancji organicznych (tłuszczowych i pozostałych) azotu i fosforu.

Wymienione składniki, w tym głównie ich stosunki ilościowe, mają zasadnicze znaczenie do określenia warunków biodegradacji kwasów tłuszczowych oraz rozwoju procesów glebotwórczych i wzrostu roślin.

**Zawartości węgla organicznego** w depozycie poszczególnych lagun wyniosły 8,85 do 21 % suchej (bezwodnej) masy.

**Tabela 1.** Zawartości węgla organicznego azotu i fosforu w depozycie ziemi okrzemkowej – październik 2004 r.

Głębokość pobrania próbki w m	Węgiel org. C	Azot N	Fosfor P	C : N	N : P
	procent suchej (bezwodnej) masy				
<b>Laguna 1</b>					
0,5 – 0,6	16,9	1,16	0,18	14,5	6,4
1,5 – 1,6	14,5	1,43	0,23	10,0	6,3
<b>Laguna 2</b>					
0,5 – 0,6	16,6	1,15	0,18	13,3	6,3
1,5 – 1,6	11,6	0,83	0,09	12,8	9,2
2,3 – 2,4-	10,5	1,01	0,16	10,4	6,5
2,6 – 2,7	11,7	0,82	0,11	13,3	7,5
3,5 – 3,6	21,0	1,68	0,26	12,3	6,5
<b>Laguna 3</b>					
1,5 – 1,6	13,4	0,93	0,16	14,4	5,6
2,5 – 2,6	9,8	1,04	0,12	9,5	8,4
3,5 – 3,6	16,8	1,54	0,22	10,9	7,0
<b>Laguna 4</b>					
0,5 – 0,7	8,8	0,48	0,12	18,3	4,0

**Zawartości azotu ogólnego** wahały się w granicach 0,48 do 1,68 % suchej masy.

**Zawartości fosforu ogólnego** wyniosły 0,09 do 0,26 % suchej masy.

Stosunek węgla (C) do azotu (N) wahał się w granicach od 9,5 do 14,5.

Stosunek azotu (N) do fosforu (P) wahał się w granicach od 4,0 do 8,4.

Stwierdzone stosunki ilościowe węgla do azotu i azotu do fosforu są bardzo korzystne potencjalnie, ale w warunkach beztlenowych przy obfitości kwasów tłuszczowych może istnieć ostry niedostatek form przyswajanych (mineralnych) dla mikroorganizmów i roślin. W miarę postępu mineralizacji (biodegradacji) substancji organicznych będzie wzrastała dostępność tych składników (tabela 1).

Zawartość węgla organicznego, azotu ogólnego, fosforu ogólnego i ekstraktu eterowego w powierzchniowych warstwach depozytu ziemi okrzemkowej

W styczniu 2005 r. pobrano próbki do oznaczeń zawartości wymienionych składników w powierzchniowej warstwie każdej laguny. Wyniki oznaczeń przedstawiono w tabeli 2.

**Z laguny nr 1** pobrano i analizowano jedną uśrednioną próbkę depozytu z głębokości 10 cm.

**Z laguny nr 2** pobrano dwie uśrednione próbki depozytu z głębokości ok. 10 cm i 15-25 cm.

Odnośne powierzchnie w obu lagunach depozytu są wolne od cieczy nadosadowej. Można było wchodzić na nie bez obawy o bezpieczeństwo człowieka. Badana wierzchnia warstwa depozytu w lagunach 1 i 2 zawierała 13,3 i 23,9 % węgla organicznego, 29,8 i 39,6 % substancji organicznej, 107,9 i 134,2 g/dm<sup>3</sup> ekstraktu eterowego, 0,98 i 1,9 % azotu.

**Tabela 2.** Zawartości składników i pH w wierzchniej warstwie ziemi okrzemkowej.  
Stan w styczniu 2005 r.

Laguna	Głębokość cm	Konsystencja	Węgiel C	Substancja organiczna	Azot N	Fosfor P	Ekstrakt eterowy	pH
			% suchej (bezwodnej) masy		g/dm <sup>3</sup>			
1	0–10	stała mazista	23,9	39,6	1,30	1,17	134,2	4,6
2	0–10	stała mazista	13,3	29,8	1,06	0,59	107,9	3,9
2	15–25	stała mazista	14,7	29,6	0,98	0,78	169,4	4,4
3	0–10	maź olejowa	57,5	78,3	2,05	3,64	583,8	4,2
3	0–10	maź olejowa	60,9	80,4	1,65	2,20	638,0	3,8
4	0–10	maź olejowa	50,0	75,7	3,40	6,04	579,5	4,0
4	0–7	maź olejowa	60,7	68,4	1,94	3,93	628,3	5,2
4	8–15	maź olejowa	63,8	77,1	1,63	3,11	617,0	4,0
4*	0–10	stała mazista	25,8	76,3	7,84	11,72	570,0	5,4
4**	0–10	ziemista	7,4	35,4	8,54	6,08	42,6	6,0

\* kopczyki, \*\* płat roślinny

W warstwie na głębokości 15-25 cm laguny 2 stwierdzono analogiczne ilości wymienionych składników jak na głębokości 0-10 cm.

**Z laguny nr 3** pobrano dwie równoległe próbki uśrednione z warstwy 0-10 cm. Stwierdzono w nich wielokrotnie większe zawartości węgla organicznego (57,5 i 60,9 %), substancji organicznej (78,3 i 80,4 %), ekstraktu eterowego (583,8 i 638,0 g/dm<sup>3</sup>) niż w depozycie lagun 1 i 2 na powierzchniach wolnych od cieczy nadosadowej. (tab. 2)

**Z laguny nr 4** pobrano 3 uśrednione próbki mazi olejowej z warstwy 0-15 cm. Próbki zawierały bardzo duże ilości węgla organicznego, substancji organicznej i ekstraktu eterowego. Pod względem konsystencji i zawartości wymienionych składników są one niemal takie same, jak z laguny nr 3.

**Z laguny nr 4** pobrano ponadto dwie próbki depozytu ziemi okrzemkowej z powierzchni wyniesionych ponad lustro cieczy nadosadowej :

- kopczyków bezroślinnych,
- powierzchni pokrytej samosiewna roślinnością.

Próbka pobrana z kopczyków zawierała 25,8 % węgla organicznego, a próbka z powierzchni pokrytej roślinami zawierała tylko 7,4 % węgla organicznego (tab. 2). Tak duża redukcja zawartości węgla organicznego w depozycie pod roślinami jest skutkiem biodegradacji kwasów tłuszczowych. Potwierdza to daleko idący spadek zawartości ekstraktu eterowego: 42,6 mg/dm<sup>3</sup> wobec około 600 g/dm<sup>3</sup> w mazi olejowej w miejscach przyległych.

Powierzchnie wolne od cieczy nadosadowej wykazały 13,3 do 25,8 % węgla organicznego, podczas gdy w mazi olejowej stwierdzono 57,5 do 63,8 % tego węgla. Rozwój szaty roślinnej nasila rozkład substancji organicznej do poziomu ziemi próchnicznej.

**Zawartości azotu** we wszystkich zbadanych próbkach wahały się od 0,98 do 8,54 g/dm<sup>3</sup>.

**Zawartości fosforu** od 0,59 do 11,72 g/dm<sup>3</sup>.

Stosunek zawartości azotu do fosforu jest bliski jedności. Niedostatek azotu, zwłaszcza w mazi olejowej jest bardzo duży. Będzie zawężał się jednak w miarę usuwania z powierzchni lagun płynnych kwasów tłuszczowych, a następnie w miarę postępu biodegradacji substancji organicznej. Przykładem tego są wyniki analizy próbki depozytu pokrytego szatą roślinną, w której stosunek ilościowy węgla do azotu wyniósł 11,5. Jest on charakterystyczny dla poziomu próchnicznego gleby żywej.

Stosunek azotu do fosforu (1,4) dowodzi nadmiernej ilości tego składnika. Jest on spowodowany zapewne kumulacją związków fosforu przemieszczanych do wierzchniej warstwy depozytu.

## **Technologia rekultywacji terenu składowiska**

Zadaniem rekultywacji jest ukształtowanie gleby i szaty roślinnej w celu przywrócenia ekologicznej i krajobrazowej użyteczności terenu. Niezbędne są więc:

- całkowita likwidacja uciążliwości dla środowiska nadziemnego
- daleko idące zminimalizowanie infiltracji wody opadowej do głębszych warstw depozytu odpadów - poprzez pobieranie jej przez rośliny i wydzielenie do atmosfery pary wodnej.
- minimalizacja migracji składników organicznych i mineralnych ze złoża odpadów do wód podziemnych.

Rekultywacja terenu składowiska polega na:

- 1) odprowadzaniu wody nadosadowej i złożowej,
- 2) upłynnieniu mazi olejowej oraz zdjęcie cieczy olejowej z powierzchni,
- 3) biodegradacji składników olejowych i pozostałych składników organicznych,
- 4) uprawie roślin pobierających duże ilości wody (wyparowywanej do atmosfery), tym samym nasilających dostępność powietrza atmosferycznego do wierzchniej warstwy depozytu ziemi okrzemkowej,
- 5) przekształceniu mazistej konsystencji depozytu ziemi okrzemkowej do konsystencji stałej w drodze:
  - fizycznego odprowadzenia nadmiaru wody,
  - odwadniania roślinnego,
  - napowietrzania depozytu,
  - biodegradacji substancji olejowych,
- 6) wyrównaniu powierzchni depozytu ustabilizowanego,
- 7) ukształtowanie glebotwórczej warstwy ziemi mineralnej,
- 8) użyźnienie glebotwórczej warstwy ziemi,
- 9) wysianie mieszanki traw i roślin motylkowych,
- 10) ukształtowanie dróg komunikacji pieszej i kołowej.

W toku rekultywacji są czynione:

- pomiary objętości wody odprowadzanej z lagun,
- pomiary objętości cieczy olejowej pozyskiwanej z lagun,

- pomiary zawartości ekstraktu, węgla organicznego, azotu i fosforu oraz pH w depozycie ziemi okrzemkowej,
- analiza i ocena zmian jakości wód podziemnych,
- obserwacje i pomiary wzrostu roślin,
- oznaczenia zawartości składników mineralnych w roślinach,
- obserwacje systemu korzeniowego roślin,
- pomiary osiadania gruntu wskutek odwodnienia i biodegradacji substancji olejowych,
- obserwacje wkraczania i bytowania fauny glebowej, naziemnej i ptaków.

Projekt rekultywacji składowania zaolejonej ziemi okrzemkowej w Zakładzie EWICO Sp. z o.o. w Brzegu [1] opracowano w marcu 2005 w oparciu o wszechstronne rozpoznanie obiektu ze szczególnym uwzględnieniem hydrogeologicznych, budowlanych, technologicznych, biologicznych, krajobrazowych uwarunkowań, z uwzględnieniem wyników badań i rekultywacji analogicznych obiektów:

- lagun gruntowych zaolejonej ziemi okrzemkowej Zakładu Tuszczowego Kruszwica, zlokalizowanych w Brześciu nad Gopłem [3],
- roślinnego odwadniania i zagospodarowania lagun wywaru z wytwórni mączki kostnej w Wymyśle Nowym [5],
- roślinnego odwodnienia i zagospodarowania lagun oczyszczalni ścieków Hajdów w Lublinie [6],

oraz stosownie do przepisów:

- ustawy – Prawo ochrony środowiska [7],
- rozporządzenia Ministra Środowiska [4].

Decyzją nr OŚ – 7643-3 /05 Starostwa Powiatowego w Brzegu z dnia 16.08.2005 r. uzgodniono projekt rekultywacji składowiska zaolejonej ziemi okrzemkowej w Zakładzie EWICO Sp. z o.o. w Brzegu.

## Realizacja projektu rekultywacji

Prace rekultywacyjne zapoczątkowano bezpośrednio po uzgodnieniu projektu w roku 2005. Mają być wykonane do końca 2009 r.

### **W roku 2005:**

- 1) zbadano stan i jakość wód gruntowych na terenie i w otoczeniu składowiska odpadów,
- 2) na powierzchni lagun wprowadzono wapno magnezowe (fot. 12- 14) w celu odkwaszenia środowiska oraz dostarczenia wapnia i magnezu dla mikroorganizmów,
- 3) na powierzchnię lagun wprowadzono nawóz NPK w celu dostarczenia składników pokarmowych dla mikroorganizmów,
- 4) wykonano pilotażowy drenaż do czerpania cieczy olejowej ze złóż odpadów na linii spływu wód gruntowych,
- 5) zapoczątkowano czerpanie oleju z punktów drenażowych,
- 6) odprowadzono około 2500 m wody ze złożu depozytu w lagunach 2,3 i 4.



**W roku 2006:**

- 1) kontynuowano badania stanu i jakości wód gruntowych,
- 2) odprowadzano wodę nadosadową i zgromadzono w złożach lagun 2,3,i 4 (fot. 15i 16),
- 3) czerpano ciecz olejową z powierzchni lagun 2,3,4 (fot. 17),
- 4) usunięto metalowe i drewniane elementy technicznego uzbrojenia lagun,
- 5) przemieszczano do lagun 3 i 4 masy ziemne (fot. 21) zgromadzone na zwałach oraz budujące groble wewnętrzne,
- 6) prowadzono pilotowo-wdrożeniowe doświadczenia z roślinami na powierzchniach wolnych od cieczy nadosadowej oraz na glebotwórczych warstwach ziemi mineralnej (fot. 23)
- 7) zazieleniono powierzchnie uwolnione od nadosadowej cieczy oraz nałożono rekultywacyjną warstwę ziemi mineralnej:
  - wysiano mieszankę traw łąkowych i gorczycę ( fot. 23),
  - nałożono warstwę mulczu organicznego z odpadów poprodukcyjnych i z pielęgnacji zieleni zakładowej (fot. 27-29),
  - rozdeszczowywano wodę ujmowaną z lagun osadowych
- 8) osiadanie i deformację powierzchni lagun wskutek ich odwodnienia i odolejania, jak też nakładania glebotwórczej warstwy ziemi mineralnej oraz pilotowo-wdrożeniowe zazielenianie powierzchni rekultywowanych dokumentowano fotograficznie (fot 15 – 29).

Odpady roślinne zastosowano na powierzchniach:

- 1) zaolejonej ziemi okrzemkowej, wolnej od cieczy nadosadowej,
- 2) pokrytych glebotwórczą warstwą ziemi mineralnej, przemieszczonej z miejscowych zwałów i grobli wewnętrznych.

Na stosowanie odpadów technologicznych o kodzie 020380 uzyskano zezwolenie Starosty Brzeskiego – decyzja OŚ. 7626/86/06 z dnia 09.11.2006 r.

Zazieleniane powierzchnie składowiska pokrywa się cienką warstwą odpadów organicznych, która tworzy korzystne warunki do intensywnego wzrostu roślin wysianych i samosiewnych. W odpadach przemysłowych znajdują się pozostałości nasion rzepaku oraz wielu innych gatunków chwastów. W toku mineralizacji odpadów organicznych uwalniają się składniki pokarmowe, które intensyfikują wegetację roślin.

Zawartość substancji organicznej i głównych składników mineralnych w odpadach technologicznych przedstawia tabela 3. Duże i proporcjonalne zawartości azotu, fosforu, potasu, wapnia, magnezu oraz korzystny stosunek węgla organicznego do azotu czynią optymalne warunki nie tylko dla intensywnego wzrostu roślin lecz także dla mikroorganizmów tlenowych mineralizujących substancje olejowa w depozycie ziemi okrzemkowej.

**Tabela 3.** Procentowe zawartości składników w suchej masie) odpadów o kodzie 020380 „Wytłoki, osady i inne odpady z przetwórstwa produktów roślinnych”

Odpad masy roślinnej	Części organiczne	Części mineralne	Węgiel organiczny	N	P	K	Ca	Mg
Z czyszczenia rzepakiem	83,8	16,2	46,9	2,52	0,31	0,98	1,35	0,20
Z odpylania instalacji	57,4	42,6	32,7	2,35	0,47	0,77	1,40	0,28

Nałożona warstwa odpadów organicznych, dobrze przepuszczalna dla wody opadowej i wymiany powietrza chroni grunt rekultywowany przed niekorzystnym działaniem czynników atmosferycznych, tworząc warunki dla rozwoju mikroorganizmów tlenowych i fauny glebowej.

Taka warstwa mulczu organicznego tworzy warunki do kondensacji pary wodnej wstępującej ze złoża depozytu. Co jest bardzo korzystne dla wzrostu roślin

## Oddziaływanie składowiska na jakość wód gruntowych

Wody gruntowe pobiera i analizuje się z sieci 8 piezometrów począwszy od roku 1996. Cztery piezometry ( P1, P2, P3, P4 ) zlokalizowano na koronie obwałowania, dwa piezometry ( P6, P7 ) znajdują się u podnóża obwałowania, dwa piezometry ( P5, P8 ) zlokalizowano na wysoczyźnie. Ponadto analizowano wodę ze studzienki rewizyjnej drenażu rurowego ( SD ) i wody punktów wodowskazowych ( W1, W5 ) rzeki Odry ( rys. 1). Wyniki badań laboratoryjnych z lat 2004 – 2006 zawierają tabele 4 i 5.

Wyniki jakości wód zinterpretowano stosownie do rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 11 lutego 2004 r. w sprawie klasyfikacji danych prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód ( Dz. U. Nr 32, poz. 284 ). Ponieważ monitoring dotyczy terenu przemysłowego, wyniki interpretowano w odniesieniu do wartości granicznych dla IV klasy jakości wód ( wody niezadawalającej jakości).

**Odczyn (pH).** Wartości graniczne pH dla IV klasy jakości wynoszą 6,5 – 9,5. Począwszy od roku 2004 wartości pH wód gruntowych mieściły się w przedziale 6,4 – 7, 6 .

**Przewodnictwo elektryczne.** Wartości graniczne przewodnictwa dla IV klasy jakości wynoszą 3.000  $\mu$  S/ cm. W wodzie z piezometru P2 stwierdzono do 5000  $\mu$ S/cm, a we wszystkich pozostałych punktach sieci monitoringu wód gruntowych 938 do 2916  $\mu$ S/cm. Wody gruntowe wysoczyzny ( P5, P8 ) wykazały 938-1358  $\mu$  S/ cm, wody z podnóża obwałowania (P6, P7 ) 1655-2216  $\mu$  S/ cm, a wody piezometrów P1, P3 i P4 ( korona obwałowania 2340- 2916  $\mu$ S/ cm ) .

Największe rozpiętości  $\mu$  S/cm ( 521 i 2210 ) stwierdzono w wodzie studzienki rewizyjnej (SD). Przewodnictwo elektryczne wody z rzeki Odry ( W1 i W5 ) wynosiło 1446-1548  $\mu$ S/cm. Było ono większe niż w wodzie gruntowej wysoczyzny.

Wartość graniczna  $\mu$  S/ cm została przekroczona tylko w wodzie z P2 .

**Zawartość związków azotu.** Wartości graniczne dla IV klasy jakości wody wynoszą: 3 mg NH<sub>4</sub>/dm<sup>3</sup>; 0,25 mg NO<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> i 100 mg NO<sub>3</sub>/dm<sup>3</sup>.

Zawartość NH<sub>4</sub> w wodach z piezometrów wynosiły:

- P1, P2, P3 i P4 na koronie obwałowania 0,2- 3,96 mg/dm<sup>3</sup>,
- P6, P7 u podnóża obwałowania 0,8 – 3,9 mg/ dm<sup>3</sup> ,
- P5, P8 na wysoczyźnie 0,1 – 2,3 mg/dm<sup>3</sup> ,
- w studzience rewizyjnej ( SD) 0,2-1,6 mg/dm<sup>3</sup>.

Niewielkie przekroczenia zawartości NH<sub>4</sub> stwierdzono w wodach P1, P2, P3 i P6 . Na uwagę zasługuje brak określonych tendencji zmiany zawartości amonowej formy azotu.

**Zawartości NO<sub>2</sub>.** W wodzie piezometrów na koronie obwałowania stwierdzono 0,01 – 0,2 mg NO<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> oraz jeden raz 0,26 mg/dm<sup>3</sup>.

U podnóża obwałowania (P6, P7) stwierdzono 0,01 – 0,64 mg NO<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>.

Wody piezometrów na wysoczyźnie i u podnóża obwałowania zawierały 0,07 – 0,24 mg NO<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>.

**Zawartości NO<sub>3</sub>** były bardzo małe (0,02 – 4,5 mg/dm<sup>3</sup>) w wodach piezometrycznych na koronie obwałowania, wielokrotnie większe w wodzie P5, P7, P8 (3,4 – 58,0 mg/dm<sup>3</sup>) oraz w wodzie studzienki rewizyjnej (1,34 – 8,4 mg) i rzeki Odry (3,9 – 11,1 mg).

Bardzo dużą zawartość NO<sub>3</sub> (58,0 mg) stwierdzoną w listopadzie 2006 r. w P8 uzasadnia się wyjątkową suszą letnią oraz obfitymi opadami atmosferycznymi w jesieni. Niewykorzystane zasoby azotu w okresie letnim zostały przemieszczone do wody gruntowej.

**Zawartości potasu.** Graniczna zawartość potasu dla IV klasy jakości wody wynosi 20 mg K/dm<sup>3</sup>. W wodach piezometrycznych stwierdzono 5-68 mg K/dm<sup>3</sup> w roku 2004; 7-20 mg w roku 2005 i 5-14 mg K/dm<sup>3</sup> w roku 2006. Wody piezometryczne wysoczyzny (P5 i P8) zawierały 7 – 28 mg K/dm<sup>3</sup>, a woda studzienki rewizyjnej (SD) zawierała 7 – 41 mg K/dm<sup>3</sup>.

Uwagę zwracają dużo większe zawartości potasu (we wszystkich wodach gruntowych) w roku 2004 (5 - 68 mg) niż w latach 2005 i 2006 (5 – 20 mg K/dm<sup>3</sup>). Dalsze badania wykażą czy jest to tendencja malejących zawartości czy przypadek.

**Zawartości sodu.** Graniczną zawartość dla IV klasy jakości wody stanowi 300 mg Na/dm<sup>3</sup>. Największe zawartości sodu stwierdzono w wodach piezometrów na koronie obwałowania: 285-722 mg Na/dm<sup>3</sup> w roku 2004; 214–381 mg w roku 2005 i 166-291 mg Na/dm<sup>3</sup> w roku 2006.

W P6 i P7 u podnóża obwałowania mniej sodu (76 i 137 mg) stwierdzono w roku 2004 niż w latach 2005 i 2006 (66 – 306 mg/dm<sup>3</sup>).

Woda studzienki rewizyjnej (SD) podobnie jak wody P1–P4 zawierała najwięcej sodu (248 mg) w roku 2004 r., a najmniej (175 mg) w roku 2006.

W wodzie rzeki Odry zawartości sodu (w latach 2005 i 2006) były zbliżone do zawartości w wodach P1–P4.

Na uwagę zasługują wielokrotnie mniejsze ilości sodu w wodach gruntowych wysoczyzny (P5 i P8) oznaczone w roku 2004 (36 i 51 mg/dm<sup>3</sup>) niż w latach następnych (2005r - 198 i 188 oraz 110-123 mg/dm<sup>3</sup> w 2006r).

Porównanie zawartości sodu w wodach piezometrycznych oraz w wodzie studzienki rewizyjnej (w latach 2005 i 2006) i w wodzie rzeki Odry dowodzi, że składowisko odpadów nie zwiększa koncentracji sodu w rzece.

**Zawartości fosforu.** Wartość graniczna dla IV klasy jakości wody wynosi 5 mg PO<sub>4</sub>/dm<sup>3</sup>. W wodach P1–P4 i P6 stwierdzono: 0,26 – 3,18 mg PO<sub>4</sub>/dm<sup>3</sup> w roku 2004, 0,29 - 0,66 mg w 2005 i 0,21-0,75 mg PO<sub>4</sub>/dm<sup>3</sup> w 2006 r.

Woda studzienki rewizyjnej (SD) zawierała 0,08 – 0,15 mg PO<sub>4</sub>/dm<sup>3</sup> a woda rzeki Odry 0,06 – 0,16 mg PO<sub>4</sub>/dm<sup>3</sup>. Odcinek ze składowiska odpadów nie zwiększa więc koncentracji fosforu w Odrze.

Ponadto woda P8 (spływająca ku składowisku odpadów) zawierała (0,12 - 0,47 mg PO<sub>4</sub>/dm<sup>3</sup>) znacznie więcej fosforu niż woda odciekowa (SD) i rzeki Odry.

**Zawartość siarczanów.** Wartość graniczna dla IV klasy jakości wody wynosi 500 mg SO<sub>4</sub>/dm<sup>3</sup>. W wodach P1–P4 i P6 stwierdzono 87-314 mg SO<sub>4</sub>/dm<sup>3</sup>. Wyraźnie mniej siar-

czanów wykryto w wodzie P7 (71-83 mg) i w SD (52- 66 mg). Woda gruntowa wysoczyzny (P8) zawierała 71-114 mg  $\text{SO}_4/\text{dm}^3$ . Na uwagę zasługuje bardzo duża zawartość (610 mg  $\text{SO}_4$ ). W wodzie P5 w roku 2004, oraz bardzo duży spadek (70 – 80 mg) w latach 2005 i 2006. Tak duża koncentracja siarczanów była spowodowana wodnym wydzielaniem żużla z odpadów paleniskowych na placu przyległym do P5.

Wody spływające ze składowiska do doliny rzeki Odry (P7 i SD) zawierały 52-83 mg  $\text{SO}_4/\text{dm}^3$ , a woda w Odrze 40-101 mg  $\text{SO}_4/\text{dm}^3$ . Biorąc pod uwagę 71-114 mg  $\text{SO}_4/\text{dm}^3$  wody gruntowej (P8) napływającej z wysoczyzny ku dolinie.

**Zawartość chlorków.** Wartość graniczna dla IV klasy jakości wody stanowi 500 mg  $\text{Cl}/\text{dm}^3$ . Wody P1–P4 i P6 zawierały 142 -388 mg  $\text{Cl}/\text{dm}^3$ , a woda studzienki rewizyjnej (SD) 52 - 275 mg  $\text{Cl}/\text{dm}^3$ . Wielokrotnie mniejsze ilości chlorków ( 35 – 71 mg) stwierdzono w wodzie P7. W wodzie rzeki Odry stwierdzono 101 -185 mg  $\text{Cl}/\text{dm}^3$ . Na uwagę zasługują duże zawartości chlorków (237 i 205 mg  $\text{Cl}/\text{dm}^3$ ) w P5 i P8, oznaczone w roku 2005, oraz znacznie mniejsze ilości (55 – 165 mg) oznaczone w latach 2004 i 2006.

Raptowny wzrost zawartości Cl w wodach P5 i P8 (w roku 2005) mógł być następstwem suszy letnio-jesiennej.

**Zawartość ekstraktu eterowego.** W wodach piezometrów P1 – P4 , P6 i P7 stwierdzono 1,7 - 5,2 mg ekstraktu/ $\text{dm}^3$ . W roku 2004 zawartości ekstraktu były większe ( 3,0 – 5,2 mg/ $\text{dm}^3$ ) niż w roku 2006 (1,7 – 4,1 mg/ $\text{dm}^3$ ).

Woda studzienki rewizyjnej zawierała 1,1 – 1,8 mg ekstraktu, a woda rzeki Odry 1,3 – 2,2 mg/ $\text{dm}^3$ . Wynika stąd, że składowisko odpadów nie zwiększa zawartości ekstraktu eterowego w przyległej rzece. Ponadto na uwagę zasługują znaczne zawartości (2,1 – 4,4 mg/ $\text{dm}^3$ ) ekstraktu eterowego w wodach gruntowych P5 i P8 wolnych od wpływu składowiska odpadów.

**Zawartości substancji organicznej (TOC)** we wszystkich analizowanych wodach gruntowych i odciekowych wahały się w przedziale 30,7 do 56,8 mg/ $\text{dm}^3$ . W wodach P1 – P4 stwierdzono 32,1 do 56,8 mg/ $\text{dm}^3$ ; w wodach podnóża obwałowania (P6, P7 i SD) 30,7 – 50,1 mg/ $\text{dm}^3$ ; w wodach wysoczyzny (P5 i P8) 32,4 – 41,1 mg/ $\text{dm}^3$ ; w wodzie Odry 27,1 – 31,2 mg/ $\text{dm}^3$ .

Na szczególną uwagę zasługuje zbieżność zawartości substancji organicznej w wodzie gruntowej (35,2 - 44,1 mg/ $\text{dm}^3$ ) wysoczyzny ( P8) z jej zawartościami w wodzie studzienki rewizyjnej ( SD) 37,0 – 43,8 mg/ $\text{dm}^3$ .

Jakość wód gruntowych w poszerzonej sieci punktów zbadano w październiku 2004 r. na etapie opracowania projektu rekultywacji.

Istniejącą sieć monitoringu wód gruntowych uzupełniono:

- sondami (S2 ,S3 ,S8 ,S9) na terasie zalewowej, głównie u podnóża skarpy obwałowania składowiska
- sondami (Z1 ,Z3 ,Z4 ,Z5) w złożach lagun ziemi okrzemkowej,
- sonda (S1) w grobli wewnętrznej składowiska (rys. 1)

Oznaczono zawartości: węgla organicznego, ekstraktu eterowego, azotu, fosforu, potasu i sodu oraz przewodnictwo elektryczne i pH.

**Zawartości węgla organicznego** były największe (64,2 – 114,5 mg/ $\text{dm}^3$ ) w wodzie z piezometrów na koronie obwałowania. Mniejsze zawartości tego składnika (64,7 – 56,5 mg) stwierdzono w wodzie złóż lagunowych.

W wodach gruntowych terasy zalewowej stwierdzono 44,6 – 71,4 mg C/dm<sup>3</sup>. Wody gruntowe wysoczyzny zawierały 41,1 i 55,2 mg C/dm<sup>3</sup>.

Uwagę zwraca mała zawartość (36,1 mg) węgla organicznego w wodzie gruntowej grobli wewnętrznej (S1). Świadczy to o minimalnym przenikaniu rozpuszczalnych związków organicznych ze złóż zaolejonej ziemi okrzemkowej do wody gruntowej w grobli międzylagunowej. Stwierdzono w niej mniej węgla organicznego niż w wodach gruntowych wysoczyzny (41,1 i 55,2 mg).

**Zawartość ekstraktu eterowego** w wodach gruntowych wysoczyzny wynosiły 2,1 i 2,6 mg/dm<sup>3</sup>. Można je przyjąć jako wielkości tłowe.

Wody terasy zalewowej zawierały 2,4 – 3,6 mg ekstraktu. Wyjątek stanowi 6,4 mg w punkcie S3 o wyraźnie zwiększonych zawartościach azotu ( 1,22 mg) i fosforu ( 0,69 mg).

Wody złóż ziemi okrzemkowej w lagunach zawierały 3,2 – 7,4 mg ekstraktu.

W wodach piezometrycznych obwałowania stwierdzono 3,7 – 5,2 mg ekstraktu, a w wodzie gruntowej grobli wewnętrznej 3,3 mg.

**Zawartości azotu** mieściły się w przedziałach :

- 0,71 – 1,74 mg/dm<sup>3</sup> w wodach gruntowych korony obwałowania,
- 0,54 – 1,18 mg/dm<sup>3</sup> w wodach złóż ziemi okrzemkowej,
- 0,56 – 1,26 mg/dm<sup>3</sup> wody terasy zalewowej,
- 0,52 mg/dm<sup>3</sup> w wodach gruntowych wysoczyzny,
- 0,46 mg/dm<sup>3</sup> w wodzie gruntowej grobli wewnętrznej.

**Zawartości fosforu** były największe (0,64 – 0,76 mg/dm<sup>3</sup>) w wodach gruntowych korony obwałowania, znacznie mniejsze (0,19 – 0,62 mg) w wodach złóż ziemi okrzemkowej. Wody gruntowe terasy zalewowej zawierały (0,29 – 0,69 mg P/dm<sup>3</sup>).

W wodach gruntowych wysoczyzny stwierdzono 0,29 i 0,39 mg P/dm<sup>3</sup>. Podwyższoną zawartość fosforu (0,46 mg) stwierdzono w wodzie gruntowej grobli wewnętrznej. Przestrzenne zróżnicowanie zawartości fosforu w wodach gruntowych świadczy o przemieszczaniu tego składnika z lagun do miejsc przyległych (P1 – P4, P7, S3) gdzie koncentracja składnika jest większa (0,56 – 0,76 mg) niż w wodach złóż stawów osadowych (0,19 - 0,62 mg P/dm<sup>3</sup>).

**Zawartości potasu** są zbliżone (17,7 – 31,2 mg/dm<sup>3</sup>) we wszystkich analizowanych wodach gruntowych. W przedziale tym mieści się 22,7 mg K/dm<sup>3</sup> w wodzie Odry.

**Zawartości sodu** były największe (378 - 442 mg/dm<sup>3</sup>) w wodzie korony składowiska, ale woda gruntowa grobli wewnętrznej zawierała tylko 72 mg Na/dm<sup>3</sup>. Wody gruntowe lagun osadowych zawierały 92-204 mg Na/dm<sup>3</sup>. Duże zasolenie (401 mg Na) stwierdzono w wodzie z P5, będącej w sąsiedztwie placu wodnego wydzielania żużlu z odpadów paleniskowych. Duża przestrzenna zmienność zawartości Na (85 – 370 mg) w wodach gruntowych terasy zalewowej może być niezależna od wpływu składowiska odpadów.

**Przewodnictwo elektryczne** wody z osadników wynosiło 1275 - 9720 μS/cm. Tak duże wahania tego parametru nie znajduje uzasadnienia pozostałymi parametrami analizowanych wód.

Wody gruntowe korony obwałowania wykazały 2380 - 4810 μS/cm, a wody przyległej terasy zalewowej 1620 – 3006 μS/cm.

Woda Odry wykazała 1446 μS/cm, a woda gruntowa wysoczyzny (P8) 863 μS/cm.

**Odczyn** wód gruntowych (oprócz stawów osadowych) był zbliżony do obojętnego (pH 6,4 – 7,3). Wody gruntowe stawów osadowych (Z1, Z3, Z4, Z5) wykazały pH 5,2 – 6,7. Nie miały więc istotnego wpływu na odczyn wód gruntowych w otoczeniu.

Reasumując całokształt wyników badań na terenie przyległym do składowiska odpadów zaolejonej ziemi okrzemkowej stwierdza się stosunkowo mały wpływ tego składowiska na jakość wód gruntowych w dolinie rzeki Odry oraz żaden wpływ na terenie wysoczyzny.

**Tabela 4.** Właściwości wód gruntowych i lagunowych w poszerzonej sieci monitoringu na obszarze oddziaływania składowiska zaolejonej ziemi okrzemkowej w Brzegu. Październik 2004 r.

Punkt badań*	Węgiel organiczny	Ekstrakt eterowy	Azot	Fosfor	Potas	Sód	Przewodnictwo elektryczne $\mu$ s/cm	pH
	mg/dm <sup>3</sup>							
<b>Korona obwałowania</b>								
P1	97,4	4,5	0,88	0,76	27,1	442	2745	6,9
P2	79,1	5,1	0,93	0,71	22,4	411	4810	7,2
P3	64,2	3,7	0,71	0,64	28,5	378	2900	6,9
P4	114,5	5,2	1,74	0,68	26,3	398	2380	6,9
<b>Grobla wewnętrzna składowiska</b>								
S1	36,1	3,3	0,46	0,46	25,4	72	2625	7,3
<b>Podnoże obwałowania (taras zalewowy)</b>								
P6	52,3	3,6	0,63	0,29	23,8	85	2028	7,2
P7	60,8	3,0	0,91	0,56	28,6	169	2180	7,1
S2	44,6	2,8	0,56	0,32	23,4	107	2530	7,2
S3	77,4	6,4	1,22	0,69	19,3	171	2994	7,0
S8	71,4	2,9	1,26	0,52	31,2	370	3006	6,9
S9	49,2	2,4	1,04	0,42	26,3	199	1620	7,0
<b>Stawy osadowe</b>								
Z1	64,7	3,2	0,74	0,39	21,5	146	9720	5,2
Z3	82,2	6,6	1,18	0,62	17,7	106	1275	6,6
Z4	96,5	7,4	0,93	0,32	26,4	204	2260	6,7
Z5	69,6	3,2	0,54	0,19	28,7	92	6450	5,9
<b>Wysoczyzna</b>								
P5	55,2	2,6	0,52	0,39	24,1	401	1238	6,4
P8	41,1	2,1	0,52	0,29	20,8	92	863	7,1
<b>Rzeka Odra (punkt wodowskazowy)</b>								
W5	33,4	1,9	0,40	0,17	22,7	76	1446	7,2

\* Lokalizację punktów badań przedstawiono na rysunku .....

#### **W roku 2007:**

- 1) kontynuuje się odwadnianie i odolejanie lagun,
- 2) stosuje się biopreparat na zaolejone powierzchnie depozytu,
- 3) wprowadza się glebotwórczą warstwę ziemi na odwodnione powierzchnie depozytu w lagunach 1, 2, 3 i 4,

**Tabela 5.** Właściwości wód gruntowych na obszarze oddziaływania składowiska odpadów zoolejonej ziemi okrzemkowej w Brzegu

Parametr	Data	Lokalizacja punktów badań*									
		Korona obwałowania				Podnóże obwałowania			Wysoczyzna		Rzeka Odra
		P1	P2	P3	P4	P6	P7	SD	P5	P8	W5
pH	10.12.04	7,2	7,3	6,9	7,0	7,6	7,4	7,4	7,3	7,6	n.o.
	21.10.05	6,9	7,0	6,8	6,8	7,0	7,0	7,7	7,1	7,3	7,6
μ s/cm	10.12.04	2890	5000	2600	2750	1936	1655	2210	1358	938	1446
	21.10.05	2916	4900	2868	2340	2216	1800	521	1170	1080	1548
mg/dm <sup>3</sup>											
Węgiel org.	26.09.05	48,9	36,5	51,7	44,5	40,9	47,3	43,8	32,4	35,2	37,1
	13.11.06	56,8	41,2	48,3	32,1	50,1	30,7	37,0	35,0	44,1	27,2
Ekstrakt eterowy	10.12.04	4,5	5,1	3,7	5,2	3,6	3,0	n.o.	2,6	2,1	1,9
	26.09.05	3,2	4,0	5,2	2,8	3,1	2,6	1,8	4,4	3,7	2,2
	13.11.06	4,1	3,1	3,7	2,4	4,0	1,7	1,1	2,9	2,2	1,3
Siarczany	10.12.04	62	< 10	13,6	13,6	141	81	66	610	114	n.o.
	26.09.05	110	288	130	87	142	71	52	70	90	101
	13.11.06	103	203	99	91	314	83	64	80	71	89
Chlorki	10.12.04	253	294	244	190	172	35	164	94	55	n.o.
	26.09.05	260	388	229	274	142	71	52	237	205	101
	13.11.06	250	280	225	170	175	45	275	65	165	180
N- NH <sub>4</sub>	10.12.04	17,0	39,6	10,1	9,2	8,9	< 0,2	5,3	3,4	< 0,2	n.o.
	26.09.05	0,7	0,6	0,4	1,1	3,2	1,6	0,7	0,6	0,5	0,4
	13.11.06	3,8	0,2	4,0	0,8	3,9	0,7	0,1	2,3	0,1	0,5
N- NO <sub>2</sub>	10.12.04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,74	0,10	0,13	0,20	n.o.
	26.09.05	0,14	0,10	0,26	0,20	0,64	0,19	0,12	0,24	0,07	0,07
	13.11.06	0,02	0,01	0,13	0,06	0,01	0,01	0,22	0,10	0,08	0,18
N- NO <sub>3</sub>	10.12.04	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	10,65	1,34	1,48	10,7	n.o.
	26.09.05	2,6	1,4	4,5	2,2	2,1	3,4	7,6	6,0	8,3	3,9
	13.11.06	0,25	0,15	0,20	0,80	4,7	4,7	8,4	0,25	58,0	11,1
Potas	10.12.04	68	5	40	46	49	12	41	24	28	n.o.
	26.09.05	14	20	10	13	12	16	8	9	7	10
	13.11.06	12	12	14	9	5	6	11	7	8	4
Sód	10.12.04	395	722	285	291	137	76	248	51	36	n.o.
	26.09.05	214	381	224	221	263	223	198	198	188	241
	13.11.06	196	291	177	166	306	66	175	110	123	180
Fosforany	10.12.04	0,47	0,90	0,26	0,34	3,18	< 0,5	0,08	1,30	0,47	n.o.
	26.09.05	0,36	0,29	0,30	0,34	0,66	0,19	0,09	0,23	0,12	0,09
	13.11.06	0,32	0,81	0,44	0,21	0,78	0,04	0,15	1,68	0,28	0,10

\* Lokalizację piezometrów (P1 – P8), studzienki rewizyjnej (SD) i wodowskazu (W5) w Odrze przedstawiono na rysunku nr 1.

- 4) wprowadza się próchnico twórczą masę odpadów organicznych na glebotwórczą warstwę ziemi i na odwodnione powierzchnie depozytu ziemi okrzemkowej,
- 5) wysiewa się mieszanek traw na powierzchnie glebotwórczej warstwy ziemi,
- 6) zainstalowano pionowy drenaż do odgazowania i napowietrzania depozytu,
- 7) zainstalowano deszczownię do nawadniania roślin,
- 8) prowadzi się monitoring jakości wód gruntowych i składu gazu składowiskowego,
- 9) prowadzi się dokumentację fotograficzną odwadniania, odolejania i modyfikacji powierzchni depozytu w lagunach,
- 10) prowadzi się dokumentację fotograficzną formowania glebotwórczej warstwy ziemi oraz rozwoju szaty roślinnej.

Postęp prac rekultywacyjnych, ze szczególnym uwzględnieniem nakładania glebotwórczej warstwy ziemi mineralnej i rozwoju szaty roślinnej ilustrują fotografie 30 do 40.

Glebotwórczą warstwę ziemi ukształtowano już na około 60% powierzchni terenu składowania ziemi okrzemkowej, w tym powierzchnie grobli wewnętrznych. Cała ta powierzchnia będzie pokryta szatą roślinną do końca jesieni roku 2007.

Nadmienia się, że nałożona warstwa ziemi i wprowadzone roślinności mają charakter rekultywacji wstępnej, ze względu na postępujące osiadanie depozytu i deformację powierzchni.

## Literatura

1. BIOS. Projekt rekultywacji składowiska zaolejonej ziemi okrzemkowej w Zakładzie EWICO Sp. z o.o. w Brzegu. Warszawa, marzec 2005 r.
2. BIOS. Sprawozdanie z prac wykonanych w 2005 r. przy rekultywacji składowiska zaolejonej ziemi okrzemkowej w Zakładzie EWICO Sp. z o.o. w Brzegu. Warszawa, grudzień 2005 r.
3. Garus D., Kiepuski J., Siuta J. 1998: Odtłuszczanie i rekultywacja wylewiskowego gruntu w Brześciu nad Gopłem. Technologie odtłuszczania ścieków, odpadów, gruntów. I Konferencja Naukowo-Techniczna. PTIE. Kruszwica 1998: 13-22.
4. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów (Dz. U. Nr 61, poz. 549).
5. Siuta J. 1998: Roślinne zagospodarowanie wylewiska wywaru białkowo-tłuszczowego. Technologie odtłuszczania ścieków, odpadów, gruntów. I Konferencja Naukowo-Techniczna. PTIE. Kruszwica 1998: 23-24.
6. Siuta J., Sienkiewicz R., Kaźmierczuk M., Puszkar L. 1997: Roślinne odwadnianie lagun i uzdatnianie osadu w oczyszczalni „Hajdów”. Przyrodnicze użytkowanie osadów ściekowych. II Konferencja Naukowo-Techniczna. IOŚ. Puławy-Lublin-Jeziórko 26-28.05.1997: 23-38.
7. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska (Dz. U. Nr 68, poz. 627).

---

Prof. dr hab. Jan Siuta – Instytut Ochrony Środowiska w Warszawie

Mgr inż. Danuta Garus – PUH „BIOS” s.c. w Warszawie

Mgr Wiesław Openchowski – „GEOSYSTEM Wiesław Openchowski” w Warszawie