

ROCZNIKI
AKADEMII ROLNICZEJ
W POZNANIU
CCCLVII



MELIORACJE
I INŻYNIERIA
ŚRODOWISKA

POZNAŃ 2004

25

MIROŚŁAWA GILEWSKA¹, CZESŁAW PRZYBYŁA²

GOSPODARKA WODNA BIOLOGICZNIE REKULTYWOWANYCH SKŁADOWISK POPIOŁOWYCH

*Z¹ Katedry Gleboznawstwa i Rekultywacji
oraz z² Katedry Melioracji, Kształtowania Środowiska i Geodezji
Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu*

ABSTRACT. In conditions of field studies, the water balance is dependent on the type of material used for recultivation purposes. The stimulation of the development of vegetation cover on the type of materials used for the improvement of water conditions, but also on the applied level of mineral fertilization is described.

Key words: water balance, ash rock, sewage sediments, mineral fertilization

Wstęp

Popioły powstające w elektrowniach Adamów-Konin-Pątnów są efektem spalania w nich węgla brunatnego. Są składowane hydrotransportem w wyrobiskach poeksploatacyjnych węgla brunatnego. Średnia miąższość składowisk waha się od 40 do 50 m. Stanowią one silnie scementowaną skałę z przewagą krzemu i wapnia. Charakteryzują się silnie zasadowym odczynem, nadmierną zawartością wapnia i sodu, a brakiem azotu i przyswajalnych form fosforu oraz małymi zapasami wody dostępnej dla roślin (Maciak 1983, Gilewska 2000, Gilewska i Przybyła 2001). Rekultywacja tych terenów jest bardzo trudna. Składowiska przez wiele lat pozostają bez szaty roślinnej. Stanowią uciążliwy dla otoczenia obiekt – pylenie. Zadarnianie lub zadrzewianie takich powierzchni staje się nie tylko koniecznością, lecz obowiązkiem, zgodnie z Ustawą o ochronie gruntów rolnych i leśnych z 1995 roku z późniejszymi zmianami (Dz. U. nr 16, poz. 78).

Wykorzystanie do rekultywacji biologicznej osadów ściekowych umożliwia jednoczesną realizację dwóch ważnych celów gospodarczych: uproduktywnienia gruntów składowiska popiołów oraz utylizacji osadów ściekowych.

Materiały i metody

Badania rozpoczęto w 2001 roku na składowisku mokrego odpopielania w elektrowni Adamów. Na wybranej części składowiska założono trójczynnikowe doświadczenie, w trzech powtórzeniach. Schemat doświadczenia obejmował:

wariant A – podłoże bez osadów,

wariant B – podłoże pokryte 25 cm warstwą osadów ściekowych,

wariant C – podłoże pokryte 50 cm warstwą osadów ściekowych.

Powierzchnia każdego poletka o wymiarach 16 x 61 m wynosiła 976 m².

Wydzielono 9 punktów obserwacyjnych. We wszystkich trzech wariantach doświadczenia, w celu naprawy chemizmu skały popiołowej, zastosowano także zróżnicowane nawożenie mineralne: NPK lub nawożenie tylko azotowe. Wariant kontrolny stanowiły powierzchnie bez nawożenia. Na powierzchni wszystkich poletek doświadczalnych wprowadzono wybrane gatunki drzew: jesion wyniosły (*Fraxinus excelsior*) i pensylwański (*Fraxinus pennsylvanica*), klon zwyczajny (*Aur rugundo*), robinia akacja (*Robinia pseudoacacia*) oraz krzewy: oliwnik wąskolistny (*Elaeagnus angustifolia*), karagana syberyjska (*Caragana arborescens*), rokitnik zwyczajny (*Hippophae rhemnoides*) i dereń właściwy (*Cornus mas*). Na każdym poletku wysadzono po 183 drzewa i 183 krzewy.

Badania prowadzone są na poletkach doświadczalnych od wiosny 2002 roku i obejmują stałe pomiary terenowe wilgotności gruntu jedną z najnowocześniejszych metod, z zastosowaniem reflektometrii domenowo-czasowej TDR (Time Domain Reflectometry). Metoda ta umożliwia pomiar pełnego zakresu zmian uwilgotnienia badanego gruntu i zaliczana jest do metod nie destrukcyjnych, gdyż na trwale zainstalowane czujniki przesyłowe nie zaburzają swoją obecnością procesu ewentualnego przepływu wody. W wybranych reprezentatywnych stanowiskach pomiarowych doświadczenia zainstalowano na każdym z nich po dwie sondy pomiarowe, na głębokości 25 cm i 75 cm poniżej poziomu terenu. W warunkach prowadzonego doświadczenia panuje opadowo-retencyjny typ gospodarki wodnej. Zwierciadło wody gruntowej i podsiak kapilarny nie występują, a źródłem wody dla roślin są jedynie opady atmosferyczne.

W tabeli I zestawiono wybrane właściwości fizyczne skały popiołowej i gleb mineralnych.

Warunki pogodowe

Ocenę warunków pogodowych w okresie prowadzonych badań przeprowadzono w oparciu o codzienne pomiary opadów i temperatur mierzonych w stacji IMGW, zlokalizowanej w Kleczewie. Na ich podstawie zestawiono miesięczne sumy opadów oraz obliczono średnie miesięczne temperatury powietrza (ryc. 1).

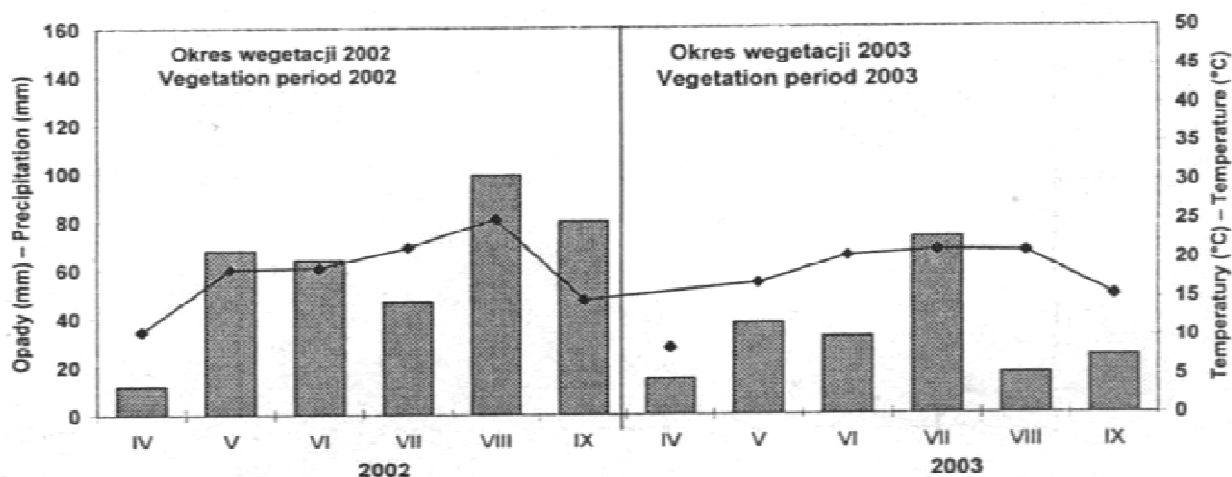
Na podstawie tych danych można stwierdzić, że w okresie wegetacji w 2002 roku suma opadów wyniosła 369 mm i wahała się od 12 mm w kwietniu do 99 mm w sierpniu. Średnia temperatura powietrza z tego okresu wegetacji wyniosła 18,4°C. Rok ten możemy zaliczyć do średnio wilgotnych. Natomiast w okresie wegetacji 2003 roku, suma opadów wyniosła tylko 199 mm, od 16 mm w kwietniu do 73 mm w lipcu, średnia temperatura okresu wegetacji wynosiła 17,3°C. Na podstawie przebiegu opadów rok ten zaliczamy do lat suchych.

Tabela 1

Właściwości fizyczne popiołów i utworów mineralnych
Physical properties of ash rock and mineral soil

Parametr Parameter	Piasek Sand	Gлина Clay	Skala popiołowa Ash rock
Wilgotność w warunkach naturalnych (%) Water content in natural conditions (%)	3,8-7,9	12,2-13,8	0,57-0,60
Wilgotność optymalna (%) Optimal water content (%)	9,00	10,00-15,00	29-32
Gęstość właściwa ($Mg \cdot m^{-3}$) Specific density ($Mg \cdot m^{-3}$)	2,62-2,65	2,63-2,7	2,35-2,55
Gęstość objętościowa ($Mg \cdot m^{-3}$) Bulk density ($Mg \cdot m^{-3}$)	1,62-1,72	1,75-1,82	1,08-1,42
Maksymalna higroskopowość Mh (%) Max. hygroscopicity Mh (%)	1,03-1,2	1,7-3,7	3,1-4,3

Przebieg warunków meteorologicznych w okresie prowadzonych badań dowodzi, że na zmiany uwilgotnienia skały popiołowej, poza wysokością opadów i temperatury powietrza, bardzo duży wpływ ma również rozkład opadów. Potwierdza to przedstawiony na rycinie 1 przebieg miesięcznych sum opadów oraz średnich temperatur w poszczególnych miesiącach w okresach wegetacji lat 2002 i 2003 oraz pokazana na rycinach 2 i 3 dynamika zmian niedoborów opadów w analizowanych okresach badawczych.

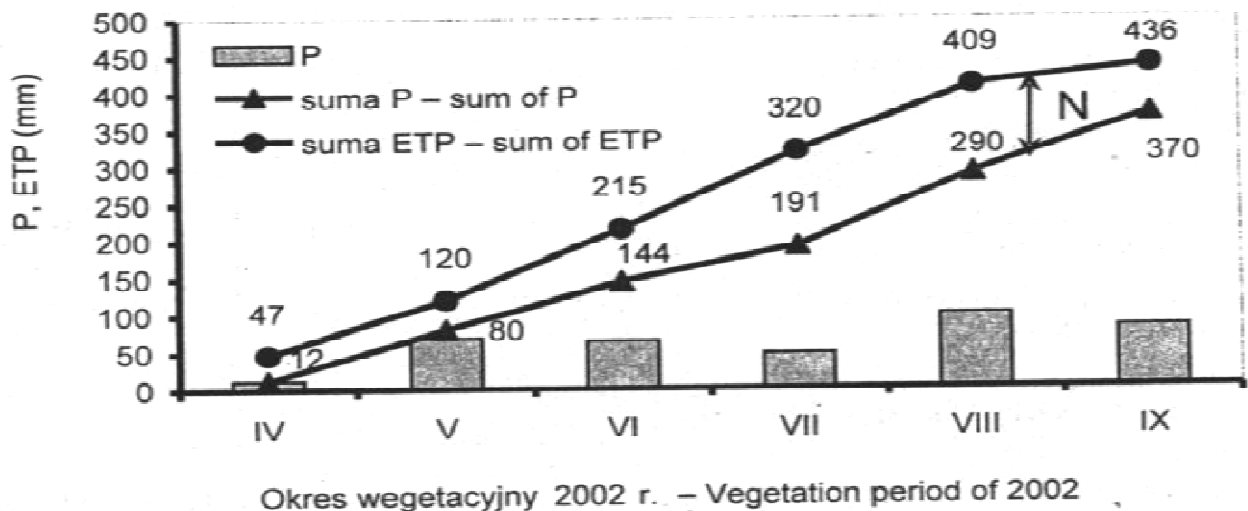


Ryc. 1. Miesięczne sumy opadów i średnie miesięczne temperatury powietrza w okresach wegetacji 2002 i 2003 roku

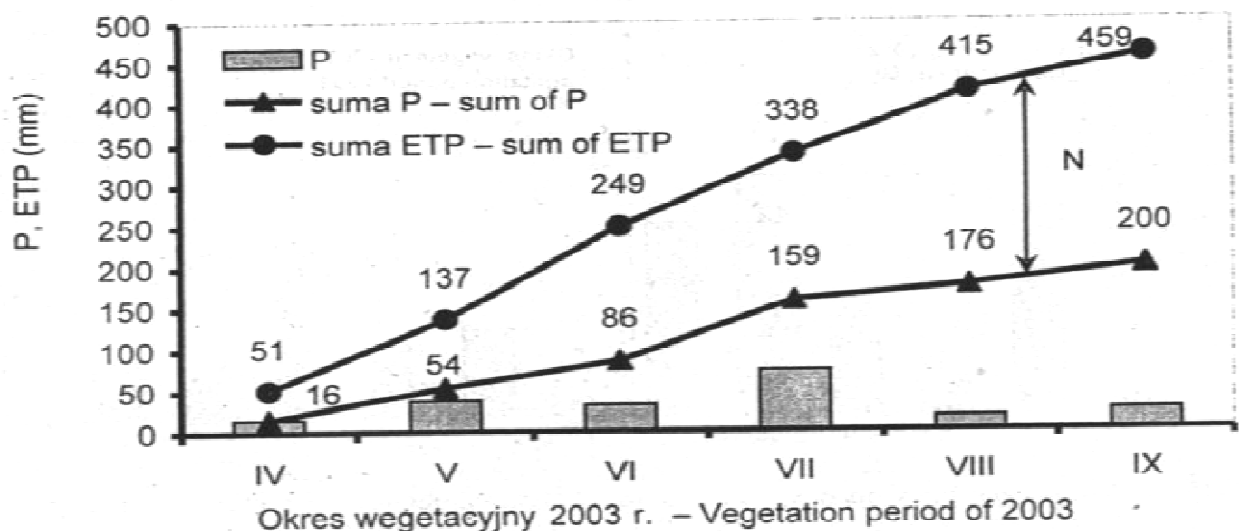
Fig. 1. Monthly sums of precipitation and mean monthly temperature in vegetation period in 2002 and 2003

Na podstawie przebiegu opadów w okresie wegetacji 2002 roku, okres ten zaliczyć możemy do średnich, a w 2003 roku do suchych. Obliczone na podstawie różnicy pomiędzy wielkością ewapotranspiracji potencjalnej i opadami ($N = ETp - P$) sumaryczne

niedobory opadów w okresach wegetacji wyniosły odpowiednio w 2002 roku 67 mm, a w 2003 aż 260 mm, co potwierdza prawidłowość takiego zaszeregowania obu okresów wegetacji.



Ryc. 2. Miesięczne sumy opadów oraz krzywa sumowania opadów, ewapotranspiracji potencjalnej i wielkości niedoborów wody $N = ET_p - P$ (mm) w okresie wegetacji 2002 roku
 Fig. 2. Monthly sums of precipitation and cumulative curves of precipitations, potential evapotranspiration and water deficiency $N = ET_p - P$ (mm) in vegetation period 2002



Ryc. 3. Miesięczne sumy opadów oraz krzywa sumowania opadów, ewapotranspiracji potencjalnej i wielkości niedoborów wody $N = ET_p - P$ (mm) w okresie wegetacji 2003 roku
 Fig. 3. Monthly sums of precipitation and cumulative curves of precipitations, potential evapotranspiration and water deficiency $N = ET_p - P$ (mm) in vegetation period 2003

Wyniki

Analiza otrzymanych wyników badań wykazała, że dynamika zmian uwilgotnienia wierzchnich warstw skały popiołowej uzależniona była przede wszystkim od warunków meteorologicznych. Największe zapasy wody na wszystkich poletkach występowały na początku okresu wegetacji.

Właściwości skały popiołowej, powstałej poprzez wykorzystanie hydrotransportu popiołów i ich deponowanie na składowiskach, są bardzo zróżnicowane. W zależności od odległości miejsca zrzutu, zmienia się skład granulometryczny popiołów. W pobliżu zrzutni sedymentują części grubsze o składzie piasków i żwirów, a wraz z odległością spotykamy coraz drobniejsze frakcje.

Wprowadzenie osadów ściekowych na powierzchnie doświadczalne i ich częściowe wymieszanie ze skałą popiołową spowodowało zmianę jej właściwości (tab. 2 i 3).

Tabela 2

Zawartość azotu, fosforu i potasu
Contents of nitrogen, phosphorus and potassium

Nr poletka Plot no	Kombinacja Combination	N (%)	P ₂ O ₅ mg·kg ⁻¹ wg Egnera-Riehma acc. to Egner-Riehma		K ₂ O
1	0 ₂₅ 300 NPK	0,056	300		45
2	0 ₂₅ 100 N	0,057	975		75
3	0 ₂₅ 0 NPK	0,100	675		85
4	0 ₅₀ 0 NPK	0,140	585		85
5	0 ₅₀ 300 N	0,074	250		40
6	0 0 N	0,049	24		120

Tabela 3

Odczyn i zawartość węglanów
Acidity and content of calcium carbonate

Nr poletka Plot no	Kombinacja Combination	pH			CaCO ₃ %
		H ₂ O 1M KCl 1 h		1 M KCl 24 h	
1	0 ₂₅ 300 NPK	8,11	7,94	7,92	4,35
2	0 ₂₅ 100 N	8,33	8,30	8,21	7,24
3	0 ₂₅ 0 NPK	8,48	8,40	8,38	1,04
4	0 ₅₀ 0 NPK	8,22	8,06	8,07	0,67
5	0 ₅₀ 300 N	8,29	8,23	8,01	2,43
6	0 0 N	9,12	8,90	8,70	10,34

Stwierdzono ich duże zróżnicowanie wynikające ze specyfiki skały popiołowej i metody składowania osadów. Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że obniżeniu uległ odczyn, a wzrosła znacznie zasobność w dwa podstawowe biogeny: azot i fosfor. Jest to rezultat nie tylko stosowanego nawożenia mineralnego, lecz także mineralizacji substancji organicznej zawartej w osadach. Zawarty w osadach ściekowych azot występuje głównie w formie organicznej, natomiast fosfor w formie organicznej oraz mineralnej. Oba te składniki są wykorzystywane przez roślinność, w pierwszym roku około 20%, a w kolejnych – od 2 do 4 roku – wykorzystywane jest dalsze 25% azotu (Mazur 1996). Zwykle po 4 latach kończy się nawozowa rola osadów ściekowych i w dalszych latach konieczne jest ponowne stosowanie osadów ściekowych lub nawozów mineralnych. Zaznaczyć należy, że poletka pokryte osadem ściekowym już w pierwszym roku badań zostały opanowane przez roślinność zielną, głównie z rodziny krzyżowych, w których dominowała gorczyca polna oraz komosowatych, gdzie przeważała komosa biała i strzałkowata. W następnych latach pojawiły się trawy, a wśród nich dominował perz właściwy. Występująca roślinność zielna od samego początku prowadzenia doświadczeń stanowiła duże zagrożenie dla wprowadzonych sadzonek drzew i krzewów. Okazała się ona groźnym konkurentem w walce o światło, składniki pokarmowe, a przede wszystkim o wodę.

Jak wynika z przedstawionych danych, już w pierwszym roku badań obserwowano, że pokrycie powierzchni badawczych 25 cm lub 50 cm warstwą osadów ściekowych, a następnie ich wymieszanie przy użyciu zrywaka ze skałą popiołową wpłynęło na znaczne polepszenie właściwości siedliska. Obserwowano szybkie opanowanie tych powierzchni przez rośliny z rodziny krzyżowych, w których dominowała gorczyca polna oraz komosowatych, gdzie przeważała komosa biała i komosa strzałkowa. Obok tych gatunków, pojawiły się także trawy, a dominował perz właściwy. Większość wody opadowej zretencjonowanej w podłożu wykorzystywana była przez roślinność zielną. Konieczne było ograniczenie jej rozwoju, poprzez ugniatanie mechaniczne i ręczne. Drzewa i krzewy odczuwały, szczególnie w latach suchych, deficyt wody, który negatywnie wpływał na ich wzrost. Obserwowano objawy żółknięcia i więdnienia liści, a także wcześniejsze ich opadanie. W konsekwencji u drzew i krzewów następowało usychanie pędów wierzchołkowych. Udatność nasadzeń drzew i krzewów wahała się w granicach od 67 do 72%. Najkorzystniej warunki deficytów wodnych znosiła robinia akacjowa (tab. 4). Jej wysokość kształtowała się w przedziale od 1,6 do 2,2 m, a grubość na wysokości 1,3 m wynosiła od 1,6 do 2,2 cm. Natomiast klon jesionolistny osiągał wysokość w granicach 1,6 do 1,9 m, a klon zwyczajny od 1,2 do 1,6 m. Pierśnica u klona jesionolistnego wahała się od 1,5 do 1,7 cm, a u zwyczajnego była nieco mniejsza – 1,0 do 1,2 cm. Bardzo wolny był rozwój krzewów oliwnika i derenia. Rozwój drzew i krzewów na poletkach z naprawą chemizmu, czyli z zastosowanym nawożeniem mineralnym, jak też bez nawożenia, przebiegał bez większych różnic. Sugeruje to, że składniki pokarmowe wprowadzone w formie nawożenia mineralnego oraz zawarte w osadach ściekowych zostały pobrane przede wszystkim przez roślinność zielną.

W tabeli 5 zestawiono stan uwilgotnienia podłoża zbudowanego z samej skały popiołowej (poletko nr 6) oraz skały popiołowej ulepszonej osadami ściekowymi. Stan uwilgotnienia mierzono w poziomie wierzchnim (0-50 cm), na głębokości 25 cm oraz w poziomie głębszym (50-100 cm) na głębokości 75 cm. Poziom wierzchni w ciągu całego okresu prowadzenia badań charakteryzował się znacznie mniejszą zawartością wody, aniżeli poziom głębszy. Ponadto w warstwie wierzchniej występował znaczny rozrzut wartości liczbowych, związany nie tylko z rodzajem i miąższością materiału ulep-

Tabela 4

Wzrost drzew na powierzchni doświadczalnej
Growth of trees on the experimental plots

Nr poletka Plot no	Robinia akacjaowa (<i>Robinia pseudoacacia</i>)		Klon jesionolistny (<i>Acer regundo</i>)		Klon zwyczajny (<i>Acer platanoides</i>)		Jesion wyniosły (<i>Fraxinus excelsior</i>)	
	d _{1,3} (cm)*	h (m)**	d _{1,3} (cm)	h (m)	d _{1,3} (cm)	h (m)	d _{1,3} (cm)	h (m)
1	2,2-2,8	1,8-2,0	2,0-2,2	1,5-1,7	1,0-1,5	1,4-1,6	0,7	1,20
2	1,8-2,2	1,7-1,8	2,0-2,3	1,4-1,7	1,0-1,4	1,2-1,6	0,7	1,20
3	2,0-2,4	1,6-1,8	2,0-2,3	1,5-1,7	1,0-1,2	1,1-1,6	0,7	1,20
4	2,2-2,5	1,7-2,0	2,0-2,4	1,3-1,5	1,0-1,2	1,1-1,6	0,7	1,20
5	2,5-3,2	2,4-2,9	2,0-2,2	1,6-1,9	1,4-1,5	1,5-1,6	1,0	1,10

*Pierśnica – średnia na wysokość 1,3 m (cm).

**Wysokość (m).

*Diameter on the height 1.3 m (cm).

**Height (m).

Tabela 5

Zapasy wody w warstwie 0-50 cm i 50-100 cm (mm)
Water content at depths 0-50 cm and 50-100 cm (mm)

Nr poletka Plot no	Kombinacja Combination	Warstwa (cm) Depth (cm)	Zapasy wody (mm) Water content (mm)	
			min	max
1	0 ₂₅ 300 NPK	0-50	62	124
		50-100	149	253
2	0 ₂₅ 100 N	0-50	54	98
		50-100	123	218
3	0 ₂₅ 0 NPK	0-50	47	96
		50-100	117	217
4	0 ₅₀ 0 NPK	0-50	31	78
		50-100	145	265
5	0 ₅₀ 300 N	0-50	22	65
		50-100	139	198
6	0 0 N	0-50	89	114
		50-100	238	319

szającego, ale także przebiegiem warunków meteorologicznych. W roku zaliczonym do suchych (2003) najmniejszymi zapasami wody dysponowała roślinność drzewiasta na poletkach z osadami, gdyż woda opadowa została szybko wykorzystana przez roślinność zielną. Natomiast znacznie większą wilgotność wykazywała sama skała popiołowa (poletko nr 6). Szczególnie jej poziom głębszy, nie tylko wykazywał większą zawartość wody, ale także zapasy wody były bardziej stabilne. Dodać należy, że gospodarka wod-

na w skale popiołowej jest odmienna od gospodarki wodnej w glebach mineralnych. Gospodarkę wodną skały popiołowej, nawet ulepszonej osadem ściekowym, trudno jest porównywać z gospodarką wodną gleb mineralnych, nawet piaszczystych.

Dyskusja

Rekultywacja biologiczna składowisk popiołowych jest zadaniem trudnym, gdyż zawierają one nadmierne ilości wapnia, magnezu, glinu, żelaza i boru w stosunku do potrzeb pokarmowych roślin, natomiast ubogie są w azot i fosfor (Gilewska i Spychalski 2002). Tlenki metali alkaliczują środowisko, a odczyn popiołów jest zasadowy, pH oscylują w przedziale 8,1-8,4. Składowiska popiołów nie stanowią środowiska przyjaznego dla rozwoju roślin. Prawidłowy rozwój roślinności utrudnia nie tylko niezrównoważony układ pierwiastków, ale alkaliczny odczyn oraz występujący niedobór wody łatwo dostępnej. Wprawdzie kapilarna pojemność wodna popiołów wynosi od 12 do 26%, a efektywna retencja użyteczna przy pF 2,2-2,8 waha się od 80 do 170 mm w 1 metrowej warstwie profilu (Krzaklewski i in. 1990). Ponadto przemieszczanie się wody w profilu utrudnia jego budowa. Jest to tworzywo silnie scementowane oraz warstwowane. Występujące deficyty wody dostępnej dla roślin powiększone są przez procesy hydratacyjne zachodzące w skale popiołowej i zdolności puculanowe tej skały.

Wilgotność optymalna popiołów wynosi od 29 do 32% i jest znacznie większa od wilgotności gleb piaszczystych (9%) lub gleb gliniastych (10-15%). Znaczna ilość wody zmagazynowanej w popiołach jest niedostępna dla roślin. Przeważają dwie formy wody: higroskopowa i hydratacyjna. Woda higroskopowa utrzymywana jest z siłą od 31 do 10 000 atm., natomiast woda hydratacyjna jest chemicznie związana. Ponadto faza ciekła nasycona jest jonami wapniowymi, sodowymi, magnezowymi oraz siarczanowymi. Przewodność elektryczna kształtuje się w granicach od 2,38 do 4,17 mS cm⁻¹ i wskazuje, że jest to substrat zasolony. Wobec powyższego, pobieranie składników pokarmowych przez rośliny z takiego roztworu jest bardzo utrudnione, a nawet niemożliwe. Wypadły wszystkie jesiony, większość klonów zwyczajnych i jesionolistnych. Pozostałe rośliny drzewiaste wykazywały objawy skartłowacenia. W tych skrajnie trudnych warunkach wegetacji największą żywotność wykazywała robinia akacjowa oraz rokitnik (tab. 4).

Wnioski

Na podstawie dotychczasowych wyników badań i obserwacji terenowych można sformułować następujące stwierdzenia:

1. Badania wykazały, że dynamika zmian uwilgotnienia wierzchnich warstw skały popiołowej była determinowana przebiegiem warunków meteorologicznych.
2. Najbardziej niekorzystnie kształtowało się uwilgotnienie skały popiołowej w okresach wegetacyjnych w roku suchym 2003.
3. Niekorzystny rozkład opadów i temperatur powietrza spowodował, że wierzchnie warstwy analizowanych powierzchni doświadczalnych wykazywały znaczący niedobór wody.

4. O gospodarce wodnej skały popiołowej decyduje rodzaj wykorzystanego materiału ulepszającego skałę macierzystą – popioły.

5. W warunkach prowadzonych badań polowych, pokrycie składowiska osadami ściekowymi pogorszyło gospodarkę wodną.

6. Rozwój sukcesji spontanicznej wpływa negatywnie na rozwój nasadzeń drzew i krzewów, stanowiących właściwy cel rekultywacji. Wywołuje także zwiększoną ewapotranspirację rzeczywistą, która zwiększa wyczerpywanie wody z warstwy korzenia się roślin i tym samym negatywnie oddziałuje na gospodarkę wodną.

7. Roślinność zielna stanowi duże zagrożenie dla drzew i krzewów wprowadzonych na rekultywowane składowiska popiołów dymnicowych. Stanowi ona dużą konkurencję w zapotrzebowaniu na wodę, światło i składniki pokarmowe. Ograniczanie wzrostu roślinności zielnej, szczególnie w pierwszych latach rekultywacji biologicznej, jest konieczne.

Literatura

- Gilewska M. (2000): Rekultywacja biologiczna składowisk popiołów elektrownianych. W: Tereny zdegradowane – możliwości ich rekultywacji. Mater. Konf. Nauk. AR Szczecin: 65-74.
- Gilewska M., Przybyła Cz. (2001): Wykorzystanie osadów ściekowych w rekultywacji składowisk popiołowych. Mater. Konf. Nauk. nt. kształtowania środowiska. Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie: 398-399.
- Gilewska M., Przybyła Cz. (2001): Wykorzystanie osadów ściekowych w rekultywacji składowisk popiołowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 477: 217-222.
- Gilewska M., Sychalski M. (2002): Właściwości gruntów składowiska popiołów elektrownianych. Roczn. AR Pozn. 342: 95-101.
- Krzaklewski W. (1990): Ocena stanu rekultywacji składowiska popiołów odpopielania elektrowni „Adamów” wraz z podaniem sposobu dalszego postępowania. Mater. AGH Inst. Kształt. i Ochr. Środ. Kraków.
- Maciak F. (1983): Rekultywacja terenów składowiska popiołów elektrownianych. Wyd. Sigma, Warszawa.
- Mazur T. (1996): Rozważania o wartości nawozowej osadów ściekowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 437: 13-21.

WATER BALANCE OF BIOLOGICALLY RECULTIVATED ASH REFUSAL DUMPING GROUND

S u m m a r y

The paper presents preliminary results of field and laboratory studies on water balance in ash rock and on the growth intensity of trees and shrubs in conditions of the application of three variants intensifying the recultivation process of ash dumps. In conditions of field studies, the water balance depended on the type of material used for recultivation purposes. The least effective was covering of the dumping ground with sewage sediments. The stimulation of the development of vegetation cover on the recultivated dumping ground depends not only on the type of materials used for the improvement of water conditions, but also on the applied level of mineral fertilization.