

Feliks Białkiewicz,  
Jadwiga Kermen

## ŚRODOWISKO LEŚNE JAKO NATURALNA OCZYSZCZALNIA ŚCIEKÓW

**Streszczenie.** W oparciu o kilkuletnie kompleksowe badania przeprowadzone w Zakładzie Gospodarki Wodnej Instytutu Badawczego Leśnictwa omówiono możliwości oczyszczenia i produkcyjnego wykorzystania w warunkach leśnych ścieków, których główne zanieczyszczenie stanowią związki organiczne. Badania dotyczą ścieków komunalnych, ścieków ziemniaczanych oraz ścieków z produkcji płyt pilśniowych. Stwierdzono, że nawadnianie lekkiej gleby leśnej ściekami z produkcji płyt pilśniowych wymaga uzupełniającego nawożenia mineralnego gleby zwłaszcza nawozami fosforowymi i azotowymi. Nawadnianie ściekami ziemniaczanymi w okresie kampanii wymaga uzupełniającego nawadniania gleby wodą w następnym sezonie wegetacyjnym. Wykazano, że na glebach lekkich przy właściwym doborze jednorazowej dawki ścieków, częstotliwości nawadniania oraz doborze uprawy leśnej o dużych wymaganiach wodnych i pokarmowych, można wykorzystać właściwości zwilżające i nawożące ścieków. W wyniku nawadniania ściekami uzyskiwano wysoki przyrost masy roślinnej oraz wysoki stopień oczyszczenia się ścieków zarówno pod względem chemicznym jak i sanitarnym. Wzrastała przy tym ogólna aktywność biologiczna gleb.

Rzeki polskie w 65 procentach są zanieczyszczone. Wody ich nie nadają się dla celów komunalnych ani przemysłowych. Stan czystości rzek nie ulega polepszeniu mimo poważnych nakładów inwestycyjnych na budowę różnego typu oczyszczalni. Dlatego ochrona powierzchniowa wód połączona z racjonalnym użytkowaniem wody jest zadaniem szczególnie ważnym.

Kraj nasz nie należy do regionów zasobnych w wodę. W Europie pod tym względem zajmujemy 22 miejsce. W ostatnim dziesięcioleciu zużycie wody w Polsce wzrosło 5-krotnie, a ilość wyprodukowanych ścieków - prawie 7-krotnie. Na ogólną ilość 9 mld m<sup>3</sup> wód ściekowych na ścieki o zanieczyszczeniu organicznym przypada ponad 3 mld m<sup>3</sup>.

Najważniejszym czynnikiem w oczyszczaniu ścieków organicznych jest gleba i żyjące w niej drobnoustroje. Gleba od prauku jest naturalną biologiczną oczyszczalnią świata. Do niej ostatecznie trafiają wszystkie martwe szczątki zamieszkujących ląd istot żywych i ich wydaliny. Cały ten balast przyjmują na siebie drobnoustroje, które w wielostopniowych procesach rozkładu mineralizują zawarte w związkach organicznych pierwiastki, włączając je w najważniejszy dla utrzymania ciągłości życia na ziemi cykl zwany obiegiem pierwiastków w przyrodzie.

Nawadnianie ściekami miejskimi użytków zielonych, głównie łąk i pastwisk, ma już ponad 100-letnią tradycję. Profesor Wierzbicki w swojej książce pt. "Wykorzystanie ścieków w rolnictwie i leśnictwie" podaje, że

już w XIX wieku liczne miasta w Anglii oczyszczały swoje wody ściekowe na tzw. polach irygowanych, przy czym pola te były jednocześnie użytkowane rolniczo.

Z biegiem lat oprócz ścieków miejskich zaczęto stosować do nawodnień również niektóre ścieki przemysłowe o wartości nawożącej. Do celów tych nadawały się zwłaszcza te ścieki, których głównym zanieczyszczeniem są związki organiczne pochodzenia naturalnego, np. ścieki przemysłu rolno-spożywczego (np. z krochmalni, zakładów przetwórstwa owocowo-warzywnego, przetwórci mięsa) oraz ścieki przemysłu drzewnego (zakłady celulozowo-papiernicze, wytwórnie płyt pilśniowych).

Wieloletnią tradycję stosowania tego typu ścieków do nawadniania obiektów rolniczych próbowano, zwłaszcza w ostatnim piętnastoleciu, rozszerzyć włączając do nawodnień również tereny leśne. Za wykorzystaniem środowiska leśnego do oczyszczania ścieków przemawiają następujące względy:

1. Obiekty leśne można nawadniać niezależnie od pory roku, co ma duże znaczenie, zwłaszcza w przypadku ścieków zrzucanych w okresie pozawegetacyjnym (np. w czasie kampanii krochmalniczej).

2. Głównym "płonem" zbieranym z terenów nawadnianych jest drzewo - produkt niespożywczy, którego zbiór nie podlega żadnym przepisom karencyjnym.

3. Zalesieniu podlegają na ogół grunty najniższej klasy. Są to zwykle gleby lekkie, piaszczyste o nisko położonym lustrze wody gruntowej. Gleby takie nie nadają się pod uprawy rolne, ale znakomicie spełniają rolę żywego filtra. Właśnie w luźnych przewiewnych glebach najszybciej następuje mineralizacja związków organicznych pochodzenia naturalnego.

Z uwagi na wszystkie te okoliczności oczyszczenie ścieków o zanieczyszczeniu organicznym w naturalnym środowisku glebowym pod uprawami roślinnymi wydaje się być jedną z metod ekonomicznie uzasadnionych. W środowisku glebowym nie tylko bowiem następuje oczyszczanie ścieków, ale nawadnianie i nawożona gleba odpowiada zwiększoną produkcją masy roślinnej, a nadto w wyniku filtracji wód ściekowych w głąb gleby następuje wzbogacenie naturalnych zasobów wód gruntowych.

Dla tych wszystkich przyczyn Zakład Gospodarki Wodnej Instytutu Badawczego Leśnictwa podjął badania nad tym problemem. Dodatkowym czynnikiem mobilizującym są fakty "dzikiego" nawadniania ściekami terenów leśnych przez różne zakłady przemysłowe. Zabiegi te stosowane są nieracjonalnie bez jakichkolwiek założeń teoretycznych. Ścieki kierowane są na lasy w ilości przewyższającej wszelkie dopuszczalne obciążenia. Taka "gospodarka" jest oczywiście szkodliwa dla obiektów w ten sposób "nawadnianych", a jej ewidentne skutki są złą reklamą dla samej myśli nawożenia i nawodnienia ściekami obiektów leśnych.

W trosce o zmniejszenie szkodliwego oddziaływania na środowisko biologiczne intensywnie rozwijającego się przemysłu i dużych aglomeracji miejskich w Zakładzie Gospodarki Wodnej JBL podjęto szeroko zakrojone badania nad opracowaniem zasad oczyszczania, a jednocześnie produkcyjnego wyko-

rzystania w warunkach leśnych, ścieków o zanieczyszczeniu głównie związkami organicznymi pochodzenia naturalnego.

Dla realizacji zamierzeń zbudowano specjalny obiekt doświadczalny w miejscowości Puczniew koło Łodzi. Jest to leśna stacja doświadczalna. Na całość obiektu składa się:

1) Stacja lizymetryczna, założona w roku 1969, na której terenie znajduje się blisko 500 lizymetrów o objętości od 40 litrów do 15 m<sup>3</sup> i o głębokości profilu glebowego od 25 cm do 150 cm. (Lizymetry są to pojemniki wypełnione glebą i obsadzone roślinami. Wszystkie lizymetry mają urządzenia pozwalające na odprowadzanie wody perkolacyjnej, co pozwala na analizowanie ilościowe i jakościowe odcieku).

2) 8-hektarowy obszar usytuowany w środku lasu, gdzie w roku 1971 na 140 kwaterach założono nowe uprawy roślin leśnych i plantacyjnych.

3) 20-hektarowy obiekt leśny, który stanowi drzewostan sosnowy w wieku od 8 do 97 lat, podzielony na 120 kwater doświadczalnych.

Na terenie Stacji Doświadczalnej w Puczniewie prowadzone są badania nad wykorzystaniem w warunkach leśnych ścieków komunalnych miasta Łodzi, pobieranych z rzeki Ner (ok. 30 km za Łodzią). Działanie ścieków porównywane jest z działaniem: 1) nawozów mineralnych, 2) nawodnień wodą studzienną oraz 3) łącznym stosowaniem nawozów mineralnych i wody.

W latach 1969-1971 na tej samej Stacji prowadzono doświadczenia lizymetryczne ze ściekami ziemniaczanymi oraz ze ściekami z produkcji płyt pilśniowych, które to ścieki dowożono do Puczniewa, w odstępach 1-tygodniowych, z zakładów produkcyjnych.

Wszystkie doświadczenia prowadzone są na glebach lekkich, odpowiadających siedliskom boru świeżego. W doświadczeniach uwzględniono 7 rodzajów upraw roślinnych, 4 różne jednorazowe dawki polewowe ścieku i 3-krotnie zróżnicowaną częstotliwość nawodnień. Dalsze zróżnicowanie dotyczy pory roku, w której nawodnienie jest stosowane (stosuje się nawodnienia odcieczne, nawodnienia tylko w sezonie wegetacyjnym lub tylko zimą).

Uzyskiwany materiał doświadczalny jest odpowiednio analizowany.

1. Gleba poddawana jest okresowym analizom chemicznym i mikrobiologicznym; oznaczane są również właściwości fizyczne gleby.

2. Materiał roślinny, pobierany okresowo, jest badany chemicznie, oznaczane są również niektóre cechy morfologiczne roślin.

3. Ścieki użyte do nawodnień i odcieki są badane chemicznie oraz mikrobiologicznie. Analiza mikrobiologiczna ścieków i odcieków obejmuje również oznaczanie miana *Escherichia coli* - wskaźnika sanitarnej czystości wód.

Ponadto prowadzone są obserwacje fitosocjologiczne, pomiary dendrometryczno-przyrostowe roślin oraz ocena zdrowotności roślin.

Pierwsze 4 lata doświadczeń są okresem zbyt krótkim, aby na ich podstawie można było opracować gotowe wskaźniki i harmonogramy odnośnie gospodarczego nawożenia obiektów leśnych ściekami. Dotychczas uzyskane wy-

niki dostarczają już jednak pewnych informacji o kierunku zmian, jakie zachodzą w środowisku leśnym w wyniku stosowanych nawodnień.

Uzyskane dane doświadczalne można przedstawić w skrócie następująco.

### Ścieki komunalne

W wyniku 4-letnich doświadczeń lizymetrycznych ze ściekami komunalnymi stwierdzono, że najlepsze wyniki daje stosowanie jednorazowej dawki ścieku = 50-100 mm (tj. 50-100 litrów ścieku na 1 m<sup>2</sup> powierzchni) w odstępach 1-tygodniowych przez okres wegetacji (tj. od kwietnia do września włącznie). W tych warunkach nawodnień gleba borów świeżych już przy miąższości = 25 cm jest zdolna zatrzymać w wyniku sorpcji całą substancję organiczną ścieku. Przy dawce = 100 mm (ekonomiczniejszej z punktu widzenia roli lasu jako naturalnej oczyszczalni) ilość zatrzymanej przy tym wody wynosiła 38 do 63%, zależnie od rodzaju szaty roślinnej. Najwyższe wykorzystanie wody wskazywała wierzba krzewiasta. W tabeli 1 podano średnie wyniki analiz chemicznych ścieków miejskich oraz odcieków.

Tabela 1

Średnie wyniki analiz ścieków miejskich  
oraz procent redukcji zawartości składników (Puczniew, 1971)

Rodzaj oznaczeń	Ścieki	% redukcji <sup>x)</sup>
BZT <sub>5</sub>	308,7 mg O <sub>2</sub> /l	99,4
N ogólny	27,9 mg/l	94,6
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	8,1 mg/l	96,2
K <sub>2</sub> O	24,0 mg/l	78,2
CaO	106,0 mg/l	78,8
Cl	321,0 mg/l	81,4
SO <sub>4</sub>	201,6 mg/l	nb
C org.	885 mg/l	nb
pH	6,8 - 7,3	6,9 - 7,1

<sup>x)</sup> Dane z lizymetrów obsadzonych wikliną, nawadnianych dawką ścieku = 50 mm 4 x w mies. w sezonie wegetacyjnym; grubość warstwy gleby - 150 cm.

Redukcja chlorków i siarczanów zawartych w ściekach dochodziła do 100% a redukcja BZT<sub>5</sub> do 99%. Warto zaznaczyć, że w okresie nawodnień zimowych redukcja BZT<sub>5</sub> również była bardzo wysoka (wynosiła 97%). (W glebach lekkich, pod okrywą ściółkową mikrobiologiczne procesy rozkładu nie ustają nawet zimą, chociaż są znacznie zwolnione. Wydzielane przy tym pewne ilości ciepła podtrzymują ciągłość procesów rozkładu nawet przy temperaturze otoczenia bliskiej zera).

Zatrzymywanie składników pokarmowych przez glebę i rośliny w warunkach doświadczeń lizymetrycznych okazało się bardzo wysokie. Wniesiony ze ście-



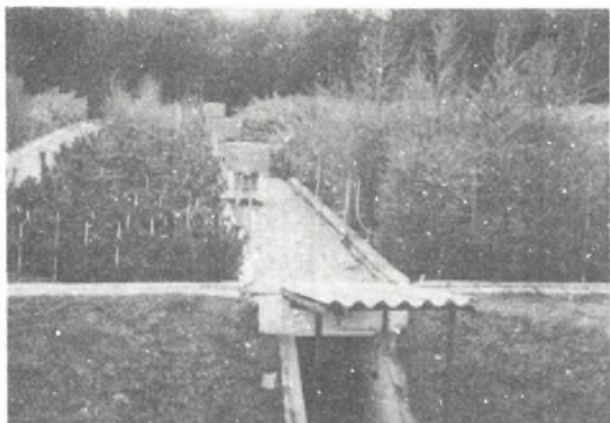
kiem azot zatrzymywany był w ilościach dochodzących do 99%, fosfor do 100% potas do 99%, wapń do 98,9%. Ilość zatrzymanych składników zależała od głębokości profilu glebowego i od rodzaju rośliny. Największy stopień wykorzystania składników pokarmowych stwierdzono dla wierzby amerykańskiej, nieco mniejszy dla modrzewia, najmniejszy dla sosny. Pod uprawą sosny, przy dużych jednorazowych dawkach nawodnieniowych (100 i 200 mm) stwierdzono niekiedy większe ilości wapnia w odcieku z lizymetrów niż w samym ścieku użytym do nawodnień. Jest to przypuszczalnie wynikiem wysycenia kompleksu sorpcyjnego jonami wapnia, a następnie ich wypłukania przy kolejnym nawadnianiu.

W wyniku nawodnienia gleby ściekami miejskimi, pH gleby wzrosło bardzo szybko do wartości 7,2 - 7,5 i na tym poziomie nadal się utrzymywało. Kompleks sorpcyjny gleb został przy tym wysycony zasadami. Zmniejszyła się kwasowość hydrolityczna gleb, a suma zasad wymiennych (głównie wapnia) w glebach nawadnianych w porównaniu z nienawadnianymi wzrosła od 5 do 50%. Najwyższy stopień wysycenia zasadami wykazywała gleba pod uprawą sosny. Należy to tłumaczyć małym stosunkowo zapotrzebowaniem pokarmowym sosny na kationy.

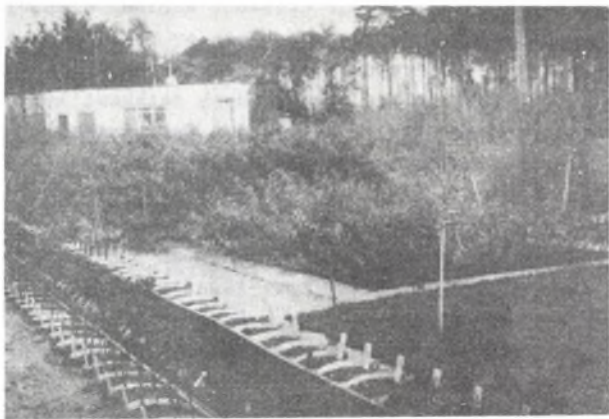
Skutki nawożonego i nadawniającego działania ścieku okazały się bardzo korzystne dla rozwoju roślin. Wysokość 4-letniego modrzewia nawadnianego ściekami w porównaniu z modrzewiem kontrolnym wynosiła średnio 152%, a sosny 166%. Masa modrzewia nawadnianego i nawadnianej wierzby była przy tym blisko 14-krotnie wyższa, a masa sosny ok. 8-krotnie wyższa. Porównując bezwzględny plon masy roślinnej, wyprodukowanej w lizymetrach identycznie nawadnianych można ustawić hodowane rośliny w kolejności następującej: wierzba amerykańska > wierzba biała > Sękocin > olsza czarna > topola Robusta > jesion wyniosły > modrzew europejski > sosna. Rysunki 1 i 2 obrazują wzrost roślin nawadnianych ściekami oraz kontrolnych rosnących w lizymetrach na Stacji Terenowej w Puczniewie.

Również ogólny plon składników pokarmowych wzrósł bardzo wyraźnie. I tak ogólny plon azotu w roślinach nawadnianych w porównaniu z nienawadnianymi (w których plon azotu przyjęto za 100) wynosił od 300 do 1780%, plon fosforu wynosił od 480 do 1880%, plon potasu od 330 do 1770%, a plon wapnia od 275 do 1680%. Tak wysokie plony składników pokarmowych wynikały przede wszystkim z większej ilości wyprodukowanej masy roślinnej oraz w mniejszym stopniu z wyższej zawartości procentowej poszczególnych elementów.

Jest sprawą niewątpliwą, że tak wysokie przyrosty masy roślinnej uzależnione są m.in. od sprawnego działania mikroflory glebowej, która wniesiony ze ściekiem balast związków organicznych mineralizuje i przekształca w formę dostępną dla roślin. Sprawne oczyszczenie ścieku w glebie zależy od aktywności biologicznej tych gleb. Zabiegi nawadniania muszą więc być starannie kontrolowane również pod tym kątem. Jednorazowa dawka ścieku i częstotliwość nawodnień winny być tak dobrane, aby mikroflora glebowa mogła nadążyć z rozkładem wniesionych przez glebę związków. W przeciw-



Rys. 1. Widok ogólny lizymetrów dużych (objętości 15 m<sup>3</sup>) na Stacji Terenowej IBL w Puczniewie. Po lewej stronie widoczne uprawy sosny nawadnianej ściekami. W głębi uprawy sosnowe i modrzewiowe nienawadniane. Po prawej stronie na pierwszym planie uprawy modrzewiowe oraz w głębi uprawy wierzby amerykańki - nawadniane ściekami miejskimi. Widoczne wejście do kanału manipulacyjnego. Zdjęcie wykonano we wrześniu 1972 r. (fot. F. Białkiewicz)



Rys. 2. Widok Stacji Terenowej IBL w Puczniewie. Na pierwszym planie, po lewej stronie lizymetry małe (40-litrowe) usytuowane wzdłuż otwartego kanału manipulacyjnego. W głębi po prawej stronie fragment lizymetrów dużych. Na pierwszym planie uprawy wierzby amerykańki nienawadnianej oraz nawadnianej wodą czystą. W głębi widoczne uprawy wierzby amerykańki nawadnianej ściekami miejskimi. Zdjęcie wykonano we wrześniu 1972 r. (fot. F. Białkiewicz)

nym przypadku następuje zmęczenie gleby, a w dalszych skutkach jej zatrucie. Dlatego w zakres analiz, jakie wykonywano przy prowadzeniu wyżej opisanych doświadczeń, wchodziły również analizy mikrobiologiczne, kontrolujące sprawność biologiczną nawadnianej gleby.

W każdym sezonie wegetacyjnym, wiosną przed rozpoczęciem nawodnień i jesienią po ich zakończeniu, przeprowadzono analizę mikrobiologiczną gleby. Analiza ta obejmowała oznaczenie takich wskaźników jak: ogólna liczba bakterii, grzybów i promieniowców, procent bakterii w stanie przetrwalnym miano amonifikatorów, nitryfikatorów, drobnoustrojów celulolitycznych oraz beztlenowców. Ponadto określano występowanie azotobaktera, aktywność dehydrogenaz glebowych oraz szybkość rozkładu celulozy w glebie (metodą testów celulozowych). Próbkę gleby do analiz pobierano świdrem puszkowym z głębokości 2-8 cm, 20-30 cm i 80-90 cm.

W wyniku 4-letnich doświadczeń nie tylko nie stwierdzono ujemnego działania nawodnień ściekami miejskimi, ale stwierdzono wyraźny wzrost biologicznej aktywności gleb nawadnianych, przy czym gleba nawadniana ściekami charakteryzowała się wyższą aktywnością biologiczną niż gleba nawadniana wodą studzienną. W tabeli 2 przedstawiono niektóre wyniki analiz mikrobiologicznych gleby pod uprawą wikliny nawadnianej ściekami miejskimi z rzeki Ner. Stosowana dawka ścieku wynosiła 50 mm, częstotliwość nawodnień - 4 x w miesiącu, przez okres wegetacji.

Tabela 2

Analiza mikrobiologiczna gleby pod uprawą wikliny  
nawadnianej ściekami miejskimi

Rodzaj analizy	II rok nawodnień			IV rok nawodnień		
	7.V.1970			13.IV.1972		
	nie-nawodn.	woda	ścieki	nie-nawodn.	woda	ścieki
Liczba bakterii w mln/g	2,6	10,7	13,7	2,7	4,6	24,0
Liczba grzybów w mln/g	1,0	0,7	0,5	0,2	0,2	0,5
Liczba promien. w mln/g	0,2	0,3	0,4	0,7	1,5	1,9
Miano nitryfikatorów	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-5}$
Miano amonifikatorów	$10^{-4}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-6}$	$10^{-6}$
Miano drobnoustrojów celulolitycznych	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$
Ilość celulozy rozłożonej w okresie 62 dni (w g)	0,23	0,49	0,50	0,47	0,46	0,77

Wyniki analiz odnoszą się do warstwy gleby pod uprawą wikliny, z głębokości 2-8 cm. Dla sosny i modrzewia otrzymano liczby bezwzględne nieco różne od przedstawionych w tabeli 2. Jednak ogólny kierunek zaobserwowanych zmian dla wszystkich trzech upraw oraz wszystkich trzech badanych

głębokości gleby był taki sam, z tym że liczebność drobnoustrojów w głębszych warstwach gleby była odpowiednio niższa.

Dotychczasowe wyniki analiz nie sygnalizują objawów zmęczenia gleby. Wprost przeciwnie, zarówno ogólna liczba drobnoustrojów, jak i miano fizjologicznych grup mikroorganizmów ozynnych przy przemianie związków węgla i azotu w glebie wskazują na to, że gleby nawadniane ściekami charakteryzują się wyższą aktywnością biologiczną niż gleby kontrolne.

Odrębnym zagadnieniem związanym z utylizacją ścieków komunalnych w warunkach leśnych jest ich zdolność do oczyszczenia się pod względem sanitarnym.

W pierwszym roku nawodnień, tj. w roku 1969, badano jak grubość warstwy gleby wpływa na oczyszczenie się ścieków. W doświadczeniach tych posłużono się lizymetrami o trzech różnych głębokościach, a więc o trzech różnych grubościach warstwy gleby: 50 cm, 100 cm i 150 cm. Oceny czystości odoieku z lizymetrów dokonywano na podstawie oznaczeń miana Escherichia coli. Wyniki doświadczeń zebrano w tablicy 3.

Tablica 3

Miano E. coli w odoieku z lizymetrów obsadzonych wikliną  
(dawka ścieku = 100 mm, 1 x tydzień; pierwszy rok doświadczeń)

Grubość warstwy gleby	Kolejne zalewy/data						
	1 z 27.V.	2 z 3.VI.	4 z 17.VI.	6 z 8.VII.	8 z 29.VII.	12 z 19.VIII.	14 z 2.IX.
50 cm	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-4}$
100 cm	10	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$
150 cm	10	10	10	10	-	-	1
Miano E. coli w ścieku	$10^{-6}$	$10^{-6}$	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-6}$	$10^{-5}$

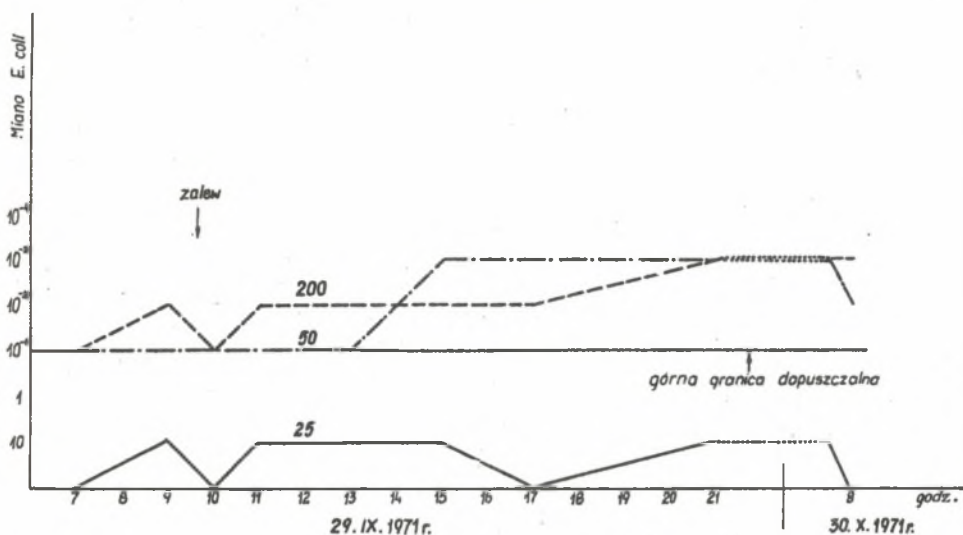
Z danych przedstawionych w tablicy 3 wynika, że warunki czystości sanitarnej spełniał tylko odoinek z lizymetrów o miąższości gleby = 150 cm. (Normy krajowe przewidują, aby woda przeznaczona do ujęć wodociągowych miała miano E. coli  $\geq 1$ , a wody powierzchniowe przeznaczone do kąpielni muszą mieć miano  $\geq 10^{-1}$ ).

W roku 1971 podjęto ponownie badania nad sanitarnym oczyszczeniem się ścieków miejskich. Opierając się na wynikach uzyskanych poprzednio, dalsze badania prowadzono już tylko w lizymetrach o miąższości gleby=150 cm. Były to lizymetry żelbetowe, te same, z których pobierano próbki dla określenia ogólnej biologicznej aktywności gleby.

Celem następných analiz było sprawdzenie, jak wpływa na stopień oczyszczania się ścieku wysokość jednorazowej dawki polewowej. Wyniki przedstawiono na rysunku 3.



Miano *E. coli* w odcieku spod modrzewia  
 /lizymetry o miąższości gleby - 150 cm;  
 miano *E. coli* w ścieku  $10^{-2}$ /  
 Puczniw, 29.IX.1971r. III rok nawodnień.



Rys. 3. Objąśnienia w tekście

Z przebiegu krzywych na wykresie wynika, że po 3 latach nawodnień warunki czystości sanitarnej spełniał tylko odcinek z lizymetrów zalewanych dawką ścieku = 25 mm.

Wiosną 1972 roku oznaczono miano *Escherichia coli* w odcieku spowodowanym roztopami. Analizy wykonano w kwietniu, przed rozpoczęciem sezonowych nawodnień. Okazało się, że odcinek ze wszystkich lizymetrów, nawet tych, które nawadniane były dawką ścieku = 200 mm, spełniał warunki czystości sanitarnej. Wszędzie miano *E. coli* było wyższe od 10.

W roku 1972 w okresie wegetacji 3-krotnie przeprowadzono analizę odcieku na miano *E. coli*. Wykazano, że przy dawce zalewowej ścieku = 25 mm, odciek z lizymetrów obsadzonych zarówno modrzewiem, sosną jak i wikliną wykazywał w znakomitej większości przypadków miano *E. coli* = 1, a więc pod koniec 4 roku nawodnień odciek nadal spełniał warunki czystości sanitarnej.

Przedstawione wyniki analiz mikrobiologicznych, przeprowadzonych pod kątem badania aktywności biologicznej gleby wypadły zachęcająco. Po 4 latach nawodnień dawką ścieku = 50 mm, stosowaną w okresie wegetacji w odstępach tygodniowych na 3 uprawach, nie tylko nie stwierdzono objawów zmęczenia gleby, ale wzrost jej biologicznej sprawności w porównaniu z kontrolą nie nawadnianą, a nawet nawadnianą wodą studzienną.

Natomiast jako skuteczny filtr sanitarny gleba w badanych przez nas warunkach spełniała swe zadanie tylko w przypadku najniższej dotychczas stosowanej przez nas dawki ścieku = 25 mm.

Mikrobiologiczne badania gleb leśnych nawadnianych ściekami są przez nas nadal systematycznie prowadzone dla utrzymania stałej kontroli biologicznej.

Dotychczasowe wyniki badań są raczej zachęcające. Wydaje się, że uda się tak dobrać warunki nawodnień, że bez szkody dla środowiska można w pełni wykorzystać dla produkcji leśnej wartości nawożące i nawadniające ścieków miejskich.

### Ścieki z produkcji płyt pilśniowych

Oprócz ścieków komunalnych, w latach 1969-71 badano również wpływ nawadniająco i nawożąco ścieków z produkcji płyt pilśniowych. Ścieki te dołożono na teren Stacji Doświadczalnej w Puczniewie z Zakładów Płyt Pilśniowych w Czarnej Wodzie. Badania prowadzono w lizymetrah 30-litrowych. Działanie samych ścieków, porównywano z działaniem ścieków uzupełnianych nawozami mineralnymi azotowymi i fosforowymi. Nawozy azotowe wnoszone w postaci saletry amonowej (2 g N na lizymetr), a nawozy fosforowe w postaci superfosfatu potrójnego (2 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na lizymetr). Kontrolę stanowiły lizymetry nienawadniane. Przebiegny skład chemiczny ścieków z produkcji płyt pilśniowych oraz odcieku podano w tabelicy 4.

Tablica 4.

Średnie wyniki analiz ścieków z produkcji płyt pilśniowych  
i procent redukcji zawartości składników (Puczniew, 1971)

Rodzaj oznaczeń	Ścieki	% redukcji <sup>x)</sup>
BZT <sub>5</sub>	1650 mg O <sub>2</sub> /litr	95,8
N ogólny	13,7 mg/l	80,3
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4,8 mg/l	82,3
K <sub>2</sub> O	20,8 mg/l	61,6
CaO	83,2 mg/l	40,0
Cl	94,2 mg/l	86,9
SO <sub>4</sub>	0,686 mg/l	60,0
C org.	1581	nb
pH	6,3 - 7,3	6,0 - 6,4

<sup>x)</sup> Dane dotyczą odcieku z lizymetrów obsadzonych wikliną, z kombinacji "ścieki 50 mm + NP", nawadnianych 4 x w mies. przez okres wegetacji; grubość warstwy gleby = 25 cm.

W wyniku 3-letnich doświadczeń stwierdzono, że gleba nawadniania ściekami z produkcji płyt pilśniowych wymaga uzupełniającego nawożenia azotowo-fosforowego. Ścieki winny być przy tym stosowane w małych dawkach (nie

większych niż 50 mm), w odstępach 1-tygodniowych. W tych warunkach redukcja BZT<sub>5</sub> wynosiła 97%, sorpcja siarczanów w glebie dochodziła do 91%, chlorków do 92%. Jednocześnie gleba i roślina zatrzymywały do 83% azotu wnoszonego ze ściekami, do 90% fosforu, do 70% potasu i do 56% wapnia. W ciągu 3 lat wzrosła również znacznie masa nawadnianych roślin. W porównaniu z kontrolą nienawadnianą i nienawożoną, gdzie masę roślin przyjęto za 100%, waga sosny nawadnianej i nawożonej NP wynosiła 238%, a wierzby 476%. Natomiast nawadnianie samymi ściekami dawało efekty ujemne. Przyrost masy roślinnej był od 3 do 34% mniejszy niż w lizymetrach kontrolnych nienawadnianych.

Badania mikrobiologiczne dały wyniki podobne. Analizy wykonywane w ciągu 3 sezonów wegetacyjnych nie wykazały ujemnego działania nawodnień samym ściekiem; początkowo nawet stwierdzono wpływ dodatni. Jednakże pod koniec 3 roku nawodnień samymi ściekami stwierdzono spadek liczby drobnoustrojów czynnych przy rozkładzie celulozy. Również stosunek drobnoustrojów tlenowych do beztlenowych zawęził się, co jest zjawiskiem niekorzystnym, gdyż produkty mikrobiologicznych procesów beztlenowych mogą być dla roślin toksyczne. Nawożenie azotowo-fosforowe, jako uzupełnienie nawodnień ściekami z produkcji płyt pilśniowych, dawało widoczny skutek dodatni na przejawy działalności drobnoustrojów glebowych. Niektóre wyniki przedstawia tablica 5.

Tablica 5

Analiza mikrobiologiczna gleby spod uprawy sosny  
nawadnianej ściekami z produkcji płyt pilśniowych  
(dawka 100 mm; 4 x w mies.; sez. weg.)

Rodzaj analizy	III rok nawodnień (4.XI.1971)			
	nienawodn.	ściek	ściek +NP	Woda + NP
Ogólna liczba bakterii (w mln)	3,2	11,8	30,9	10,9
Ogólna liczba grzybów (w mln)	0,3	0,8	1,2	0,5
Miano amonifikatorów	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-6</sup>
Miano drobnoustrojów celulolitycznych	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-4</sup>
Ilość celulozy rozłożonej w ciągu 61 dni (28.IV-28.VI) (w g)	0,16	0,17	0,27	0,48

Doświadczenia z konieczności przerwano po 3 latach. Na dalsze kontynuowanie badań nie pozwalała zbyt mała objętość lizymetrów. Wydaje się jednak, że dłużej trwające doświadczenia wykazałyby wyraźniej ten sam kierunek zmian w biologicznej aktywności gleby, co w przyroście roślin, a mianowicie, że nawadnianie samym ściekiem działa hamująco na rozwój drobnoustrojów glebowych. Działanie to oszczędnie znosi wzbogacenie gleby w nawozy mineralne, azotowo-fosforowe.

Ścieki krochmalnicze

W tym samym czasie i w podobnych warunkach przeprowadzono w latach 1968-1971 doświadczenia lizymetryczne ze ściekami krochmalniczymi, dowożonymi z Zakładów Przemysłu Ziemniaczanego w Iławie na teren Stacji Doświadczalnej w Puczniewie. W doświadczeniach tych badano oprócz działania samego ścieku również wpływ następozy nawodnień wodą studzienną tych upraw, które w roku poprzednim w okresie kampanii były nawadniane ściekami. Tablica 6 przedstawia przeciętny skład chemiczny ścieku krochmalniczego stosowanego do nawodnień oraz odcieku z lizymetrów.

Tablica 6

Średnie wyniki analiz ścieków ziemniaczanych  
i procent redukcji zawartości składników (Puczniew, 1971)

Rodzaj oznaczeń	Ścieki	% redukcji <sup>x)</sup>
BZT <sub>5</sub>	1474 mg O <sub>2</sub> /l	96,4
N ogólny	119,2 mg/l	92,3
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	33,6 mg/l	90,4
K <sub>2</sub> O	145,8 mg/l	78,8
CaO	107,8 mg/l	73,9
Cl	44,0 mg/l	nb
SO <sub>4</sub>	139,6 mg/l	nb
pH	5,9 - 6,1	6,2 - 7,0

x) Dane dotyczą odcieku z lizymetrów obsadzonych wikliną, z kombinacji "ścieki (100 mm w okresie kampanii) + woda (50 mm w sezonie wegetacyjnym)"; nawadnianych 4 x mies.; grubość warstwy gleby - 25 cm.

Przemysł krochmalniczy produkuje ścieki w okresie jesienno-zimowym, a więc praktycznie po zakończeniu wegetacji roślin. Wartości nawożące ścieku mogą więc być praktycznie wykorzystane w najbliższym sezonie wegetacyjnym. Wprowadzone do gleby ścieki ulegają w okresie zimy nieznacznemu rozkładowi mikrobiologicznemu. Ich pełna mineralizacja rozpoczyna się dopiero na wiosnę roku następnego. Ścieki zatrzymane w okresie zimy przez górną warstwę gleby ulegają odsączeniu i dalszemu zagęszczeniu. Duże stężenie ścieku znacznie utrudnia i opóźnia jego rozkład mikrobiologiczny. Dlatego w sezonie wegetacyjnym dobre wyniki daje dodatkowe nawadnianie wodą czystą tych gleb, które zimą nawadniane były ściekiem. Takie zabiegi okazały się bardzo skuteczne.

Doświadczenia 3-letnie wykazały, że w takim układzie sorpcja azotu wniesionego ze ściekiem dochodzi do 95%, fosforu do 92%, potasu do 88%, wapnia 82%. Sosna nawadniana tylko ściekami ziemniaczanymi była wyższa od sosny kontrolnej nie nawadnianej o 70%, sosna nawadniana samą tylko wodą w okresie wegetacyjnym była wyższa o 39%, natomiast sosna z kombinacji



"Ściek (w czasie kampanii) + woda" (w następnym sezonie wegetacyjnym) wykazywała wzrost o 127% wyższy od sosny kontrolnej. Modrzew nawadniany samą wodą miał wysokość o 34% wyższą od kontrolnego, modrzew nawadniany samymi ściekami o 20%, a modrzew nawadniany ściekami i wodą o 91%. Masa roślin z kombinacji "Ścieki + woda" w porównaniu z kontrolą nienawadnianą była wyższa w przypadku sosny o 484%, modrzewia o 456%, a wierzby amerykańskiej o 372%. Najwięcej składników pokarmowych pobrała z gleby wierzba, następnie modrzew, a najmniej sosna. Rośliny z lizymetrów nawadnianych ściekiem oraz wodą pobrały 2 do 4 razy więcej makro- i mikroelementów w porównaniu z roślinami nawadnianymi samym ściekiem bez nawadniania wodą czystą w okresie wegetacji.

Analizy mikrobiologiczne gleby wykazały bardzo istotny dodatni wpływ nawodnień ściekami ziemniaczanymi na aktywność biologiczną gleby. W tabeli 7 podano niektóre wyniki analiz gleby wykonanych jesienią 1971 roku przed likwidacją doświadczeń, a więc mniej więcej po upływie roku od ostatniego nawadniania kampanijnego.

Tabela 7

Analiza mikrobiologiczna gleby spod uprawy wikliny  
nawadnianej ściekami ziemniaczanymi  
(dawka 100; 4 x w mies.; w sez. weget.)

Rodzaj analizy	III rok nawodnień (16.IX.1971 r.)		
	nienawadn.	ściek	ściek + woda
Ogólna liczba bakterii (w mln)	1,0	9,3	20,5
Ogólna liczba grzybów (w mln)	0,2	0,6	0,8
Miano amonifikatorów	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-6}$
Miano drobnoustrojów celulołitycznych	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-6}$
Ilość celulozy rozłożonej w ciągu 61 dni (6.IV.-7.VI.) w g	0,10	0,60	0,65

Z tabeli wynika, że warianty nawadniane mają bogate życie biologiczne, przy czym wariant "ścieki + woda" wypadł najkorzystniej.

Przedstawione tu z konieczności w bardzo dużym skrócie dane, uzyskane na podstawie doświadczeń lizymetrycznych z 3 rodzajami ścieków, których główne zanieczyszczenie stanowią związki organiczne pochodzenia naturalnego, są zachęcające. Wydaje się, że dla tego typu ścieków można dobrać tak warunki nawodnień, że bez szkody dla rośliny i środowiska glebowego można będzie w pełni wykorzystać dla produkcji roślinnej właściwości nawożące i nawadniające ścieków. Zachęcające są zwłaszcza wyniki nawodnień ściekami miejskimi i ściekami krochmalniczymi.

Przy rozpatrywaniu różnych sposobów usuwania z otoczenia uciążliwych ścieków nie należy więc zapominać o możliwości wykorzystania ich dużych

wartości nawadniających i nawożących. Tam, gdzie w sąsiedztwie zakładu przemysłowego, odprowadzającego ścieki o wartościach nawożących, istnieją odpowiednie tereny o lekkiej przewiewnej glebie, nawet nieużytki, należałoby rozważyć możliwość założenia leśnej oczyszczalni ścieków. Odzysk czystej wody gruntowej, dodatkowa bardzo wysoka produkcja masy roślinnej i ochrona wód powierzchniowych są oczywistymi korzyściami.

Różne rodzaje ścieków wymagają nieraz dodatkowych uzupełnień, np. odpowiednich modyfikacji składu chemicznego ścieków, albo dodatkowego ich rozcieńczenia. Niektóre ścieki, np. z produkcji płyt pilśniowych, wymagają ostrożnego stosowania, inne, np. ścieki komunalne, są łatwiejsze w stosowaniu. Te różnice winny być zawsze uwzględniane. Należy również dobrać rodzaj uprawy leśnej. Z obserwacji naszych wynika, że sosna z uwagi na małe potrzeby wodne i pokarmowe nie nadaje się do uprawy na glebach mających spełniać rolę naturalnej oczyszczalni. Ponadto odczyn gleby, który skutkiem nawodnień ściekami, np. miejskimi lub krochmalniczymi, staje się bliski obojętnemu, nie jest dla sosny odpowiedni. Przy umiejętnym jednak dobraniu czynników (gleby, uprawy, jednorazowej dawki polewowej i częstotliwości nawodnień, oraz odpowiedniej modyfikacji składu chemicznego ścieku) ten sposób oczyszczania ścieków może dać efekty wysoce zadowalające. Leśne oczyszczalnie ścieków powinny być jednym z rozważanych wariantów przy rozwiązywaniu sprawy ścieków.

Zalecenia dla praktyki odnośnie stosowania różnych rodzajów ścieków muszą być poprzedzone ścisłymi badaniami; wstępne doświadczenia muszą podlegać wielostronnej kontroli. W badaniach naszych biorą więc udział specjaliści różnych dziedzin nauki: leśnictwa, melioracji, fizjologii roślin, fitosocjologii, ochrony roślin, gleboznawstwa i mikrobiologii. Są to badania wybitnie kompleksowe.

## ЛЕСНАЯ СРЕДА КАК ЕСТЕСТВЕННАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

### Р е з ю м е

На основе многолетних комплексных исследований, проведённых на предприятии водного хозяйства Исследовательского института лесничества обсудили возможности очистки и производственного использования в лесных условиях сточные воды, которых главным загрязнением являются органические соединения. Исследования касаются коммунальных сточных вод, картофельных сточных вод, а также сточных вод производства древно-волоконных плит. Пришли к выводу, что наводнение лёгкой лесной почвы сточными водами производства древесно-волоконных плит требует дополнительного минерального удобрения почвы, особенно фосфорными и азотными удобрениями. Наводнение картофельными сточными водами во время кампании требует дополнительного наводнения почвы водой в следующем вегетационном сезоне.

Доказали, что в лёгких почвах при правильном подборе единовременной дозы сточных вод, частоты наводнения, а тоже подборе лесных культур, требующих много воды и удобрений, можно использовать увлажняющие и удобряющие особенности сточных вод.

В результате наводнения сточными водами получали высокий прирост растительной массы, а тоже высокий уровень очистки сточных вод так в химическом, как и в санитарном отношении. Возрастала при этом общая биологическая активность почв.

#### FOREST ENVIRONMENT AS A NATURAL SEWAGE-TREATMENT PLANT

#### S u m m a r y

Possibilities of the cleaning and productive use of sewage containing organic compounds as a main contamination, under forest conditions were discussed on the background of several years long complex research carried out in the Section of Water Management, Forest Research Institute. Studies included municipal sewage, potato, and fibreboard production wastes. It was found that the irrigation of light forest soil with wastes from the production of fibreboards requires a complementary mineral fertilization of soil, mainly with phosphorus and nitrogen fertilizers. Irrigation with potato sewage during campaign requires a supplementary irrigation of soil with water during a next vegetation season. It was indicated that on light soils providing proper selection of single treatment dose, irrigation frequency and choice of forest plantation with high moisture and nutrient requirements, one can utilize moistening and fertilizing properties of sewage. Great enrichment of plant material and high degree of sewage cleaning both in chemical and sanitary respect was obtained as a result of irrigation with sewage. General biological activity of soils has been increased at the same time.