

STAN BADAŃ I PERSPEKTYWY NAWODNIEŃ ŚCIEKAMI TERENÓW LEŚNYCH

Bohdan Dobrzański, Józef Boćko, Feliks Białkiewicz

1. WSTĘP

Doświadczalnictwo i praktyka rolnicza wykazały, że w warunkach glebowych pod uprawami roślinnymi można w pełni oczyścić ścieki pochodzenia organicznego i jednocześnie wykorzystać je do użyczenia środowiska glebowego. W zakresie rolniczego oczyszczania ścieków na użytkach zielonych i na użytkach rolnych, dzięki kilkudziesięcioletnim doświadczeniom i nawodnieniom gospodarczym mamy już poważne rozeznanie, a nawet istnieją praktyczne wskazania o działaniu gospodarczym.

Brak jeszcze pełnego rozeznania co do możliwości i sposobu leśnego oczyszczania i wykorzystania ścieków pochodzenia organicznego. Zagadnienie to jest ważne i aktualne, gdyż w ramach resortu leśnictwa i przemysłu drzewnego produkowane są uciążliwe i w dużych ilościach ścieki pochodzące z przemysłu celulozowo-papierniczego, z produkcji płyt pilśniowych itp.

Dotychczasowe badania krajowe i zagraniczne — głównie w Stanach Zjednoczonych A.P. — wykazały, że można uzyskać znaczne zwiększenie produkcji drewna w wyniku nawadniania ściekami lasu czy plantacji drzew [1, 2, 12, 13, 20, 26, 29-32]. W mniejszym zakresie prowadzono badania nad stopniem oczyszczania ścieków w środowisku gleb leśnych [7, 8, 14, 24, 25, 33]. Dotychczasowe, fragmentaryczne badania nie dają pełnego obrazu możliwości oczyszczania i wykorzystania ścieków w warunkach lekkich gleb pod uprawami roślin drzewiastych.

Mając to na uwadze, Instytut Badawczy Leśnictwa w końcu lat sześćdziesiątych podjął się organizacji kompleksowych badań nad leśnym oczyszczaniem i wykorzystaniem ścieków pochodzenia organicznego. Badania ze względu na skromne możliwości kadrowe i materialne ograniczono zasadniczo do ścieków miejskich.

Rozwiązania tego wybitnie złożonego zagadnienia podjęło się we współpracy wiele zainteresowanych i specjalistycznych instytucji nauko-

wych, jak również indywidualnych naukowców. W ramach współpracy z Instytutem Badawczym Leśnictwa biorą udział: Instytut Gleboznawstwa i Chemii Rolnej SGGW-AR, Instytut Biologii Roślin SGGW-AR, Instytut Ochrony Lasu SGGW-AR, Instytut Melioracji Rolnych i Leśnych SGGW-AR, Instytut Melioracji Rolnych i Leśnych AR we Wrocławiu, Zakład Ochrony Przyrody PAN — Pracownia Sudecka we Wrocławiu.

2. UZYSKANE WYNIKI DOŚWIADCZEŃ LIZYMETRYCZNYCH I POLOWYCH

2. 1. KIERUNKI ZMIAN FIZYKOCHEMICZNYCH LEKKICH GLEB LEŚNYCH NAWADNIANYCH ŚCIEKAMI MIEJSKIMI

Badania nad wpływem zróżnicowanego nawożenia i nawadniania ściekami komunalnymi w ujęciu dynamicznym na właściwości fizykochemiczne gleb wytworzonych z piasków prowadzono na dwóch rodzajach obiektów: w lizymetrach dużych i na izolowanych mikropoletkach. Lizymetry o wymiarach $3,33 \times 3,00$ m i głębokości 1,50 m, mikropoletka kwadratowe o boku 5,0 m, oddzielone do głębokości 1,0 m folią ze swobodnym odpływem wody w głąb, zostały obsadzone roślinami drzewiastymi. Analiza gleb w lizymetrach pod kątem stosowania czterech wielkości dawki polewowej (25, 50, 100 i 200 mm jeden raz w tygodniu) miała przede wszystkim wykazać, która ze stosowanych dawek jest najbardziej korzystna w układzie gleba — roślina — odciek, czyli która kombinacja polepsza właściwości fizyczne i chemiczne gleby, zaspokaja potrzeby pokarmowe roślin i daje odciek całkowicie oczyszczony (wg przyjętych polskich norm czystości wody).

Działanie ścieków na właściwości gleby przejawiało się zmniejszeniem w kompleksie sorpcyjnym ilości wodoru i zwiększeniem zawartości zasadowych kationów wymiennych oraz uaktywnieniem działalności mikrobiologicznej. Stwierdzono również, że dynamika kationów wymiennych w glebie w ciągu okresu wegetacyjnego zależy od potrzeb pokarmowych badanych roślin drzewiastych, a także od normy nawodnienia i wielkości opadów.

Pojemność sorpcyjna gleb lizymetrów pod różnymi roślinami drzewiastymi w ciągu 6-letnich badań nie uległa większym zmianom. Jedynie w wierzchnich warstwach przy dawce ścieków 25 i 50 mm zwiększyła się nieznacznie w wyniku rozkładu dużej ilości substancji organicznej wniesionej do gleby z opadłych liści i igliwia. Procentowy udział wodoru i poszczególnych kationów zasadowych w kompleksie sorpcyjnym gleb w lizymetrach ustalił się w następującej kolejności: w nie nawadnianych — $H > Ca > Mg > K > Na$, w nawadnianych wodą i dawkami ścieków 25 i 50 mm tygodniowo — $Ca > H > Mg > K > Na$. Natomiast w lizymetrach nawadnianych dawkami ścieków 100 i 200 mm szereg ten

został zmodyfikowany i przybrał postać: $Ca > H > Mg > Na > K$, lub $Ca > H > Na > Mg > K$.

Chlorki i siarczany wnoszone do gleby wraz ze zwiększaniem dawki polewowej ścieków ulegają kumulacji w glebie i są w większym stopniu pobierane przez roślinę.

Trzyletnie badania prowadzone na poletkach ścisłych, nawadnianych ściekami w ilości 25 mm i nawożonych nawozami mineralnymi + woda czysta, wykazują podobne tendencje w zawartości kationów zasadowych i wodoru w glebie, jednak zaznacza się to w wolniejszym tempie niż w glebach z lizymetrów.

Na podstawie trzyletnich wyników badań nie stwierdzono istotnych zmian w zawartości węgla organicznego w glebie. Zróżnicowanie zawartości tego składnika w ujęciu dynamicznym w ciągu okresu wegetacyjnego zależy głównie od opadów. Zawartość azotu ogólnego utrzymuje się \pm na tym samym poziomie.

Właściwości wodne gleby poprawiają się; zwiększa się zdolność zatrzymywania wody w profilu glebowym. Stosowanie ścieków w okresie wegetacyjnym wpływa w większym stopniu na wzrost zdolności retencyjnych gleb niż stosowanie zbliżonych ilości ścieków w ciągu całego roku.

Dane analiz pozwalają wnioskować, że nawodnienie i nawożenie gleb ściekami komunalnymi z równoczesnym ich oczyszczeniem wpływa korzystnie na właściwości chemiczne i fizyczne gleb piaskowych, a co za tym idzie na wzrost i rozwój roślin drzewiastych. Otrzymane wyniki sygnalizują postępującą w nawadnianych glebach alkalizację środowiska życia roślin [7, 10, 18, 19].

Wyniki tych badań należy sprawdzić w warunkach produkcyjnych.

2.2. AKTYWNOŚĆ BOLOGICZNA GLEB NAWADNIANYCH ŚCIEKAMI MIEJSKIMI

Badania mikrobiologiczne mające na celu określenie aktywności lekkich gleb leśnych nawadnianych ściekami miejskimi prowadzono w lizymetrach. Nawadnianie ściekami miejskimi powoduje zmiany właściwości fizykochemicznych gleby. Następstwem tych zmian jest intensywny rozwój autochtonicznej mikroflory, a więc uaktywnienie reakcji mikrobiologicznych, które mobilizują i udostępniają roślinom jony amonowe, azotanowe, ortofosforanowe, siarczanowe itp. Zwiększa się ogólna liczba drobnoustrojów, szczególnie bakterii amonifikujących, nitryfikujących, denitryfikujących oraz celulolitycznych.

Ścieki miejskie mogą zawierać znaczne ilości mikroorganizmów patogennych dla ludzi i zwierząt. Drobnoustroje patogenne wprowadzone ze ściekami do gleby ulegają fizycznemu zatrzymywaniu w glebie, a następnie są rozkładane przez enzymy bakterii saprofitycznych lub wprost unicestwiane przez ameby.

Środowisko glebowe oczyszcza wody ściekowe z balastu związków szkodliwych (fenole, detergenty, pestycydy, tłuszcze, woski itp.). Dzięki dużej buforowości gleby (większej niż środowiska wodnego) związki wprowadzane ze ściekami ulegają rozkładowi i mineralizacji i nie powodują gwałtownych zmian, mających tak szkodliwy wpływ na równowagę biologiczną, jak to się dzieje w środowisku wodnym. Należy dodać, że w glebach użytkowanych, w tym także leśnych, skład mikroflory i mikrofauny jest nie tylko ilościowo bogaty, ale także różnorodny, co jest istotne dla zdolności oczyszczania ścieków o różnym składzie chemicznym.

Systematyczne nawadnianie gleby ściekami doprowadza z czasem do stanu równowagi ekologicznej na odpowiednim poziomie między układem gleby i uprawianymi roślinami. Stan równowagi ekologicznej może być jednak zakłócony w wyniku zastosowania zbyt dużej jednorazowej dawki nawodnienia ściekami. Następuje wówczas zwiększone zapotrzebowanie na tlen przez intensywnie rozwijające się drobnoustroje glebowe, w następstwie czego mogą zaistnieć procesy beztlenowe, zahamowanie wzrostu niektórych ważnych grup fizjologicznych drobnoustrojów, a nawet całkowita ich eliminacja. W efekcie zaś zachwiania równowagi ilościowej między drobnoustrojami tlenowymi i beztlenowymi może nastąpić zahamowanie wzrostu masy produkowanych roślin [15].

Siedmioletnie badania lizymetryczne wykazały, że na lekkich glebach leśnych, o składzie mechanicznym piasków luźnych i na pograniczu z piaskami słabo gliniastymi, stosowanie dawki polewowej 50 mm ścieków miejskich tygodniowo w sezonie wegetacyjnym, a więc ok. 1000 mm ścieków w tym okresie, sprzyja korzystnemu zachowaniu równowagi ekologicznej między glebą i uprawianymi roślinami drzewiastymi.

W wypadku upraw wierzby amerykańskiej dawka polewowa może być znacznie, bo o 100-200% zwiększona bez obawy zachwiania równowagi ekologicznej środowiska. Mikroflora gleb pod uprawą wierzby ma korzystne warunki rozwoju. Opadające liście wikliny dostarczają glebie dużych ilości substancji organicznej, której obecność zwiększa aktywność biologiczną gleby. Również silnie rozwinięty system korzeniowy wikliny uaktywnia rozwój mikroflory ryzosfery. Produkty mineralizacji nie są kumulowane w glebie w ilości nadmiernej, gdyż wiklina bardzo szybko rosnąc pobiera duże ilości wody i składników mineralnych, które corocznie w postaci prętów są usuwane z lizymetrów [15-17].

2.3. BADANIA ANATOMICZNO-MORFOLOGICZNO-FIZJOLOGICZNE ROŚLIN DRZEWIASTYCH NAWADNIANYCH ŚCIEKAMI MIEJSKIMI

W okresie trzech kolejnych lat (1973-1975) badano na poletkach doświadczalnych izolowanych folią polietylenową wpływ nawożenia ściekami miejskimi, składnikami mineralnymi oraz nawadniania na niektóre

cechy anatomiczno-morfologiczne i właściwości fizjologiczne siewek sosny, modrzewia i sadzonek topoli. W wyniku tych badań stwierdzono, że ścieki komunalne stosowane w dawce polewowej 25 mm tygodniowo wpływają korzystnie na wzrost i rozwój roślin i nie powodują istotnych zmian budowy morfologicznej i anatomicznej pędu i organów asymilacyjnych. Rośliny rosnące na poletkach nawożonych zarówno ściekami komunalnymi, jak i solami mineralnymi z dodatkiem wody wykształcają większe liście i igły oraz grubsze pędy w porównaniu z roślinami rosnącymi na poletkach kontrolnych.

Różnice dotyczą większej powierzchni i grubości organów asymilacyjnych i pędów, co jest wynikiem zwiększonej liczby i wielkości komórek, szczególnie miękiszu asymilacyjnego liści i igieł oraz drewna wtórnego w łodydze. Obok różnic w wielkości stwierdzono w kombinacjach nawożonych i nawadnianych ściekami dłuższy okres trwania powierzchni asymilacyjnej (LAD), co stanowiło jedną z przyczyn zwiększonej aktywności fotosyntetycznej roślin.

Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt bardzo dużych różnic gatunkowych w reakcji roślin na zastosowane nawadnianie i nawożenie ściekami. Dla przykładu w 1975 r. średni procent przyrostu rocznego biomasy nawadnianych i nawożonych ściekami drzewek sosny, modrzewia i topoli w stosunku do drzewek kontrolnych wynosił odpowiednio ok. 180, 330 i 720%. Zróżnicowanie to jest wynikiem zarówno niejednakowego natężenia produktywności transpiracyjnej, jak i różnego zapotrzebowania badanych gatunków na składniki pokarmowe gleby. Średni procent przyrostu biomasy sosny, modrzewia i topoli, wynikający z samego nawodnienia (wodą czystą), wynosił bowiem odpowiednio ok. 120, 190 i 370%. Należy z tego wnioskować, że sama woda obok składników pokarmowych zawartych w ściekach stanowi istotny (szczególnie dla topoli i modrzewia) czynnik obserwowanego przyrostu biomasy roślin.

Odbiegające od przyjętych w nawożeniu klasycznym wzajemne proporcje pomiędzy makro- i mikroelementami, występującymi w ściekach, nie powodują większych zmian w równowadze jonowej samych roślin. Jest to prawdopodobnie wynikiem dużej zdolności wybiórczej systemu korzeniowego w pobieraniu jonów z nie w pełni zrównoważonego pod względem fizjologicznym roztworu glebowego.

W dotychczasowych krótkotrwałych badaniach (3 lata) nie stwierdzono szkodliwego wpływu zawartych w ściekach związków organicznych i mineralnych. Zakładając możliwość występowania w ściekach i kumulacji tego typu związków w glebie i roślinach, badania nad wpływem nawodnienia i nawożenia ściekami na cechy anatomiczno-morfologiczne i właściwości fizjologiczne roślin powinny być kontynuowane w cyklu wieloletnim [21-23, 28].

2.4. BADANIA NAD STOPNIEM OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW I WIELKOŚCI ODZYSKU OCZYSZCZONEJ WODY W WARUNKACH LEKKICH GLEB LEŚNYCH NAWADNIANYCH ŚCIEKAMI

Badania stopnia oczyszczania ścieków prowadzone są w lizymetrach różnej objętości i głębokości profilu glebowego, a więc głębokości filtru mechanicznego, chemicznego i biologicznego. W glebie leśnej występuje w okresie wegetacyjnym zróżnicowane zapotrzebowanie na wodę i składniki pokarmowe przez poszczególne gatunki drzew. Poza tym zmienia się ono w kolejnych fazach wieloletniego, kilka dziesiątków lat trwającego cyklu produkcyjnego. Największe zapotrzebowanie na wodę i składniki pokarmowe występuje w okresie kulminacji wzrostu miąższości danego gatunku drzewa. Dlatego dotychczasowe trzyletnie cykle doświadczeń w lizymetrach małych, czy 7-letnie doświadczenia w lizymetrach dużych nie są w pełni miarodajne, aby w sposób dość ścisły można było określić zdolności i możliwości sorpcyjne poszczególnych gatunków roślin drzewiastych w całym ich okresie cyklu rozwojowego.

Wskaźnikiem stopnia zanieczyszczenia ścieków związkami pochodzenia organicznego jest BZT₅. Redukcja BZT₅ w warunkach 150-centymetrowego profilu gleby lekkiej boru świeżego, zależnie od wielkości dawki nawodnienia (od 25 do 200 mm ścieków tygodniowo), wyniosła około 98-99⁰/. Redukcja poszczególnych pierwiastków w siódmym roku doświadczalnych nawodnień w odcieku z półtorametrowej miąższości profilu gleby lekkiej wyniosła: azotu 96-99⁰/, fosforu 80-98, potasu 49-93, wapnia 31-85, magnezu 40-86, węgla organicznego 86-96, chloru 45-84, sodu 45-84, siarczanów 34-87 procent.

W lizymetrach małych w ciągu 3-letniego doświadczenia w kombinacjach nawadnianych ściekami rośliny pobrały znacznie więcej składników z gleby niż z kontrolnych. Przyjmując kontrolę za 100, poszczególne składniki zostały pobrane z gleby przez rośliny w następującej ilości: azot 390-1780⁰/, fosfor 490-1888, potas 450-1772, wapń 370-1681, sód 2254-5794, magnez 312-1217, żelazo 165-698, mangan 103-256, cynk 243-1036, miedź 519-4247 procent. Duża biologiczna aktywność gleby nawadnianej ściekami, co się objawia między innymi dużym przyrostem biomasy, rzutuje na wielkość redukcji poszczególnych związków wprowadzanych ze ściekami do gleby. Tego warunku zamkniętego cyklu przemiany materii nie spełnia żadna sztuczna oczyszczalnia ścieków [5].

Doświadczenia lizymetryczne w Puczniewie wykazały, że przy stosowaniu tygodniowej dawki ścieków miejskich w ilości 50 mm uzyskuje się w pełni oczyszczony odciek zarówno z punktu widzenia sanitarnego, jak i maksymalnych dopuszczalnych norm detergentów, chlorków, sodu, siarczanów oraz składników biogenych (N, P).

Stosowanie dawki polewowej 50 mm ścieków miejskich tygodniowo

daje odciek w pełni oczyszczony. Zużycie wody na ewapotranspirację było bardzo wysokie, bo wynosiło w ósmym roku życia sosny, modrzewia i wierzby amerykańskiej 66⁰/₀ w stosunku do dostarczonej wody. Tak wysokie zużycie wody spowodowane było kilkukrotnym zwiększeniem produkcji biomasy na powierzchniach nawadnianych w porównaniu z uprawami kontrolnymi. Odzysk wody oczyszczonej przy dawce polewowej 50 mm ścieków tygodniowo w 150-centymetrowej miąższości profilu gleby wyniósł 34⁰/₀, tj. ok. 430 mm wody w okresie wegetacyjnym [5].

2.5. EFEKTY PRODUKCYJNE UPRAW LEŚNYCH I PLANTACYJNYCH NAWADNIANYCH ŚCIEKAMI MIEJSKIMI

Ubogie, lekkie gleby borów suchych, borów świeżych, względnie nieużytki piaszczyste w wyniku nawodnień ściekami pochodzenia organicznego stają się obszarami żyznymi o wysokiej produkcji roślinności. Badania wykazały, że nawodnienie plantacji topoli na siedlisku borowym dało netto 20 m³/ha/rok, a miąższość użytków przedrębnych po 7 latach dochodzi do 70 m³/ha. W porównaniu do produkcji siedlisk borowych nie nawadnianych i nie nawożonych jest to 10-krotny wzrost produkcji [6].

Uprawy sosny i modrzewia w wieku 8 lat na siedlisku boru świeżego nawadniane ściekami miejskimi przez 7 lat uzyskały miąższość o 110-210⁰/₀ większą od upraw kontrolnych. Uprawy wierzby amerykańskiej na glebach boru świeżego w wyniku 7-letnich nawodnień ściekami miejskimi dały wzrost produkcji prętów wikliny o 350⁰/₀ większy od upraw kontrolnych [5].

Drzewostan sosnowy na siedlisku Bśw w wieku 66 lat nawadniany ściekami miejskimi przez 5 lat uzyskał przyrost grubości o 78⁰/₀ większy, a przyrost pierśnicowej powierzchni przekroju o 40⁰/₀ większy od sosny nie nawadnianej. Siedliska sosnowe Bśw, po kilku latach intensywnego nawadniania ściekami miejskimi, stają się lasami łęgowymi [30].

3. LEŚNE OCZYSZCZANIE I WYKORZYSTANIE ŚCIEKÓW A OCHRONA ŚRODOWISKA PRZYRODNICZEGO

Sprawne i trwałe działanie leśnej oczyszczalni ścieków pochodzenia organicznego nie koliduje z zasadami ochrony środowiska przyrodniczego. Prawidłowo funkcjonująca leśna oczyszczalnia ścieków, założona na lekkich, ubogich produkcyjnie glebach, stwarza dogodne warunki dla intensywnego rozwoju drobnoustrojów glebowych, neutralizujących szkodliwe działanie ścieków, umożliwia wykorzystanie przetworzonych przez mikroflorę substancji pokarmowych przez uprawiane rośliny drzewiaste. W efekcie następuje zwielokrotnienie produkcji biomasy na danej po-

wierzchni, a więc z punktu widzenia oczyszczania ścieków następuje zamknięcie kołowego obiegu przemiany materii.

W warunkach leśnej oczyszczalni ścieków dodatkową uzupełniającą funkcję sanitarną środowiska glebowego spełnia samoistnie pojawiająca się roślinność mszysta, zielna i krzewiasta, która wkracza obok zaplanowanej i pielęgnowanej uprawy roślin drzewiastych. Ta dodatkowa, pojawiająca się roślinność zielna pobiera z gleby dyspozycyjne składniki pokarmowe, których nie przyswoiła roślinność drzewiasta. W wypadku upraw rolniczych, nawadnianych ściekami, samoistnie pojawiająca się roślinność zielna, niezgodna z planowaną produkcją rolniczą, jest uważana za chwast, który w pracach pielęgnacyjnych jest usuwany. Z punktu widzenia trwałości i prawidłowości działania oczyszczalni zabieg ten wydaje się być niepożądany.

Leśna oczyszczalnia ściekowa jest terenem intensywnej produkcji biomasy. Zwiększona produkcja biomasy na danej powierzchni powoduje w normalnych procesach asymilacyjnych podwyższoną sorpcję dwutlenku węgla z powietrza i jednocześnie oddawanie większej ilości tlenu do atmosfery. Obszar oczyszczalni leśnej spełnia zatem dodatkową rolę użyteczną w środowisku przyrodniczym — oczyszcza atmosferę ze wzrastającej niepożądanego ilości dwutlenku węgla i jednocześnie natlenia środowisko.

Prawidłowo i trwale pracująca oczyszczalnia glebowa, obok produkcji roślinności drzewiastej i związanej z tym dużej ewapotranspiracji, oddaje około jednej trzeciej, a niekiedy połowę ilości wody dostarczonej ze ściekami do gleby, jako wodę oczyszczoną, zasilającą zasoby wodne pierwszego horyzontu wód gruntowych.

Przytoczone fakty pozwalają na stwierdzenie, że leśna oczyszczalnia ścieków pochodzenia organicznego jest działalnością zgodną z prawami ochrony środowiska przyrodniczego. Nie zmniejsza, ale zwiększa naturalne zasoby przyrodnicze środowiska, oczyszcza ścieki, zwiększa produkcję i rotację produkcji roślinnej, oddaje znaczne ilości wody do ponownego użytkowania i oczyszcza środowisko przyrodnicze z dwutlenku węgla.

Leśna oczyszczalnia ścieków obok oczyszczalni rolniczej wydaje się być cennym sposobem wykorzystania naturalnych praw przyrody, umożliwiającym oczyszczenie i wykorzystanie uciążliwego balastu ścieków pochodzenia organicznego.

Wszystkie przemysły z biegiem lat w wyniku postępu technicznego zmieniają technologię, w wyniku czego zmienia się jakość i ilość wód ściekowych. Dla zapewnienia prawidłowego i trwałego funkcjonowania neutralnej leśnej oczyszczalni ścieków, wydaje się uzasadniona konieczność równoczesnego funkcjonowania kontrolnego laboratorium na terenie glebowej oczyszczalni. W ramach laboratorium powinny m.in. funkcyjono-

wać odpowiedniej wielkości i głębokości lizymetry z uprawami roślin drzewiastych w gatunku i wieku jak na oczyszczalni gospodarczej. W lizymetrach stosowane byłyby nawodnienia dawkami i w częstotliwości podobnej jaka jest zaprojektowana na powierzchni oczyszczalni. Lizymetry umożliwiłyby wykonywanie analizy odcieków oraz oceny sprawności i funkcjonowania biologicznego filtra glebowego, stopnia oczyszczania ścieków, wykorzystania składników odżywczych i kierunków zmian biochemicznych zachodzących w środowisku glebowym. Jednocześnie na obszarze gospodarczej oczyszczalni leśnej powinny być prowadzone badania kierunku naturalnej sukcesji roślinności zielnej, krzewiastej i drzewiastej w wyniku nawodnień ściekami, aby tą drogą sprawdzać i poprawiać zaprojektowaną i realizowaną produkcję roślinności drzewiastej.

4. KIERUNKI DALSZYCH BADAŃ W ZAKRESIE LEŚNEGO OCZYSZCZANIA I WYKORZYSTANIA ŚCIEKÓW

Dotychczasowe badania nad leśnym oczyszczaniem i wykorzystaniem ścieków miejskich nie pozwalają jeszcze na opracowanie wytycznych praktycznego gospodarczego zakładania naturalnych leśnych oczyszczalni. Okres przeprowadzonych doświadczeń jest bowiem zbyt krótki, a zakres badań powinien być rozszerzony.

Badania biochemiczne środowiska glebowego i badania fizjologiczne roślin drzewiastych objęły dotychczas kilka lat pierwszej fazy życia drzew. Środowisko glebowe mimo kilku lat podobnego systemu nawodnień nie ustabilizowało się biologicznie, a z wiekiem drzew wzrastać będzie zapotrzebowanie na wodę i składniki pokarmowe.

Dalsze badania muszą uwzględnić znacznie większy asortyment gatunków drzew, teoretycznie najbardziej odpowiednich do nawodnień danym rodzajem wód ściekowych. Trudności w wyborze gatunków są tym większe, że praktycznie mało lub wcale nie są nam znane wymagania wilgotnościowe i pokarmowe poszczególnych gatunków i zespołów roślin drzewiastych. Nie mamy również dotychczas rozpracowanego i praktycznie sprawdzonego najwłaściwszego systemu nawodnienia obszarów leśnej oczyszczalni.

Nasze ścisłe badania lizymetryczne wykazały, że ścieki Łódzkiej Aglomeracji Miejskiej najodpowiedniej są oczyszczane przy stosowaniu jednorazowej dawki polewowej 50 mm ścieków tygodniowo, tj. 1000 mm ścieków w okresie wegetacyjnym. W praktyce gospodarki leśnej, stosując nawodnienia grawitacyjne systemem smuzno-stokowym czy brzdowym, dolna granica dawki wynosi około 200-300 mm. Uformowanie kwater, a następnie wysadzenie sadzonek już po kilku — kilkunastu latach nie zapewnia równomiernego rozlewu ścieków niską dawką polewową syste-

mem grawitacyjnym. Podobnie jak na użytkach rolnych, najbardziej odpowiednim wydaje się być sposób deszczowania. Umożliwia on bowiem stosowanie dowolnie niskich dawek polewowych, co z kolei może zapewnić najdokładniejsze oczyszczanie ścieków i równoczesne uzyskanie najwyższych efektów gospodarczych. Ze względu jednak na specyficzne warunki leśne należy dostosować sposób doprowadzenia wody do gleby najbardziej zbliżony do opadu naturalnego. Tam, gdzie warunki na to pozwolą — stosunkowo równe powierzchnie i niezbyt przepuszczalne gleby — należy wprowadzać nawodnienia grawitacyjne, np. bruzdowe.

Celem ułatwienia prowadzenia nawodnień terenów leśnych najprawdopodobniej zajdzie potrzeba stosowania bardziej rzadkiej więźby drzew. W pierwszej fazie życia, do czasu wyrośnięcia ponad intensywnie rosnącą na glebowych oczyszczalniach roślinność zielną oraz do czasu dojścia koron drzew do zwarcia, uprawy te powinny być intensywnie pielęgnowane, okopywane oraz formowane strzałki drzew. Po dojściu do zwarcia koron należy dokonać wycinki drzew dla rozluźnienia więźby, którą jeszcze, gdy zajdzie potrzeba, będzie można dodatkowo rozluźnić. Luźno zaplanowana wyjściowa więźba sadzenia drzewek, 10-20-krotnie luźniejsza od dotychczas w lesie stosowanej, spowoduje znaczne zwiększenie kosztów pielęgnacji upraw i młodników. Zaplanowana luźna więźba ułatwi prowadzenie nawodnień, szczególnie deszczownianych, a z nimi zastosowanie małych i równomiernie na całej powierzchni rozprowadzonych dawek polewowych. Stosowanie nawodnienia deszczownianego dodatkowo spowoduje pożądane natlenienie ścieków wprowadzanych do gleby.

W ścisłych badaniach lizymetrycznych stosowano 3 częstotliwości nawodnień: nawodnienia tygodniowe, raz na dwa tygodnie i raz na cztery tygodnie. Najbardziej ekonomiczna z punktu widzenia oczyszczania ścieków okazała się dawka tygodniowa. Wyniki doświadczeń skłaniają do zwiększenia częstotliwości nawodnień do 2 razy w tygodniu, a może i 3, kosztem nieco zmniejszonej jednorazowej dawki polewu, a w sumie w roku czy okresie wegetacyjnym znacznie większej od obecnie stosowanej. I w tym wypadku możliwe byłoby praktyczne zastosowanie zmniejszonej dawki polewu tylko w przypadku nawodnień systemem deszczownianym.

Przedstawiony realizowany i proponowany do uzupełnienia program badań dotyczy tylko jednego rodzaju ścieków, mianowicie, ścieków miejskich. Podobny zakres ramowy badań powinien obejmować inne rodzaje wód zużytych pochodzenia organicznego, które przewiduje się kierować na leśne oczyszczalnie ścieków. Wykorzystanie innych rodzajów ścieków wymaga zaplanowania i przeprowadzenia stosowanych badań. Na przykład odnośnie do ścieków pochodzących z produkcji płyt pilśniowych, z uwagi na ich wysokie BZT₅ i równocześnie małą zawartość azotu i fo-

sforu, zachodzić będzie konieczność dodatkowego nawożenia azotowo-fosforowego dla sprawniejszego ich oczyszczania w środowisku glebowym. Uciążliwe ścieki rozszarnicze wymagają stosowania częstych i niewielkich jednorazowych dawek polewowych, dostarczonych do gleby systemem deszczownicym. Oczyszczanie ścieków z zakładów przetwórstwa ziemniaczanego, które produkowane są w okresie jesienno-zimowym, wymagać będzie dodatkowego nawadniania upraw roślinnych wodą czystą w okresie wegetacyjnym.

LITERATURA

1. Białkiewicz F.: Możliwości wykorzystania ścieków miejskich w produkcji wierzby krzewiastej. Sylwan 4, 1968.
2. Białkiewicz F.: Oczyszczanie i wykorzystanie w gospodarstwie leśnym ścieków z produkcji płyt pilśniowych (badania lizymetryczne). Pr. IBL, 486, Warszawa 1974.
3. Białkiewicz F.: Możliwości wykorzystania ścieków miejskich w gospodarstwie leśnym (doświadczenia lizymetryczne). Pr. IBL 487, Warszawa 1974.
4. Białkiewicz F., Kermen J.: Środowisko leśne jako naturalna oczyszczalnia ścieków. Zesz. nauk. PŚl. Inż. san. z. XVIII, Gliwice 1975, s. 37-51.
5. Białkiewicz F.: Leśne oczyszczanie i wykorzystanie ścieków miejskich. Zesz. probl. Post. Nauk rol. 204, 1978.
6. Białkiewicz F., Boćko J., Nowiński St.: Dynamika wzrostu upraw leśno-plantacyjnych nawadnianych ściekami miejskimi. Zesz. probl. Post. Nauk rol. 204, 1978.
7. Boćko J.: Gleba jako środowisko oczyszczania ścieków. Roczn. gleboz. t. XV, z. 2, 1965.
8. Boćko J., Krężel J.: Oczyszczanie ścieków z fabryki płyt pilśniowych w środowisku gleb leśnych. Zesz. probl. Post. Nauk rol. 204, 1978.
9. Boćko J.: Ochrona wód w drodze kompleksowych nawadnień ściekami użytków rolnych i leśnych. Zesz. probl. Post. Nauk rol. 204, 1978.
10. Czepińska-Kamińska D., Sobczyk R.: Właściwości wodno-powietrzne gleb piaszczystych nawadnianych ściekami pod uprawami sosnowymi. Zesz. probl. Post. Nauk rol. 204, 1978.
11. Dominik J., Ważny J.: Obserwacje nad zdrowotnością drzewostanów i nowo założonych upraw nawadnianych ściekami miejskimi w obiekcie doświadczalnym IBL w Puczniewie. Zesz. probl. Post. Nauk rol. 204, 1978.
12. Dragun W.: Korzyści z nawadniania plantacji topolowych wodami ściekowymi. Zesz. probl. Post. Nauk rol. 47, 1964.
13. Dragun W.: Nawodnienie plantacji topoli jako element całorocznego rolniczego wykorzystania miejskich wód ściekowych. Praca doktorska, WSR Wrocław, 1973.
14. Flower W. A.: Disposal of effluents containing deinking waste by spray irrigation. Paper presented at 1st Secondary Fibers Pulping Conf. Dayton, Ohio 1968.
15. Janota-Bassalik L., Kermen J.: Zmiany w mikroflorze gleb leśnych nawadnianych niektórymi rodzajami ścieków o zanieczyszczeniu związkami organicznymi. Zesz. probl. Post. Nauk rol. 204, 1978.

16. Kerben J.: Wpływ nawodnień ściekami miejskimi na mikrobiologiczną sprawność gleb leśnych na podstawie doświadczeń lizymetrycznych. Zesz. probl. Post. Nauk rol. 204, 1978.
17. Kermen J.: Sanitarne oczyszczanie ścieków miejskich w lekkich glebach leśnych. Zesz. probl. Post. Nauk rol. 204, 1978.
18. Konecka-Betley K.: Fizykochemiczne przemiany w środowisku gleb leśnych nawadnianych ściekami miejskimi. Zesz. probl. Post. Nauk rol. 204, 1978.
19. Konecka-Betley K., Czepińska Kamińska D., Janowska E.: Wpływ nawodnienia, nawożenia i roślin drzewiastych na dynamikę niektórych składników w glebach wytworzonych z piasków. Zesz. probl. Post. Nauk rol. 204, 1978.
20. Kosturkiewicz A., Nowiński St.: Badania wpływu nawodnienia miejskimi wodami ściekowymi na wzrost drzewostanu sosnowego. Zesz. nauk. WSR, Melioracje III, Wrocław 1958.
21. Kozińska M.: Wpływ zróżnicowanego nawodnienia i nawożenia na gospodarkę składnikami mineralnymi u topoli, modrzewia i sosny. Zesz. probl. Post. Nauk rol. 204, 1978.
22. Kozińska M.: Badania porównawcze dynamiki i gromadzenie biomasy u drzew leśnych, rosnących w warunkach zróżnicowanego nawodnienia i nawożenia. Zesz. probl. Post. Nauk rol. 204, 1978.
23. Kozińska M., Golla G.: Wpływ nawodnień ściekami miejskimi na niektóre cechy morfologiczne i właściwości fizjologiczne sosny, modrzewia i wierzby amerykańskiej na przykładzie doświadczeń lizymetrycznych. Zesz. probl. Post. Nauk rol. 204, 1978.
24. Kurhański M.: Leśne oczyszczanie i wykorzystanie ścieków przemysłu Iniar-skiego. Zesz. probl. Post. Nauk rol. 204, 1978.
25. Leończyk A.: Badania przydatności ścieków z przemysłu płyt pilśniowych do nawodnień użytków zielonych. Praca doktorska, SGGW-AR, Warszawa 1967.
26. Mather J. R.: The disposal of industrial effluent by woods irrigation. Amer. Geophys. Union Trans., 34, 1953, s. 227-239.
27. Matusiewicz H.: Wsiąkanie w warunkach nawodnień brzdowych ściekami miejskimi plantacji leśnych. Zesz. probl. Post. Nauk rol. 204, 1978.
28. Nalborczyk E.: Fizjologiczne aspekty nawadniania i nawożenia roślin drzewiastych w doświadczeniach z zastosowaniem ścieków komunalnych. Zesz. probl. Nauk rol. 204, 1978.
29. Rudolph V. J., Dils R. E.: Irrigating trees with cannery waste water. Mich. Agr. Expt. Sta. Quart. Biul., 37, 1955, s. 407-411.
30. Rudolph V. J.: Further observations on irrigating trees with cannery waste water. Mich. Agr. Expt. Sta. Quart. Bul. 39, 1957, s. 415-423.
31. Sopper W. E., Samguller C. J.: Forest vegetation growth responses to irrigation with municipal sewage effluent. Pan. American Soil Conservation Congress Proceedings Sao Paulo, Brasil 1966, s. 639-647.
32. Sopper W. E.: Effects of trees and forests in neutralizing waste, Institute for Research on Land and Water Resources. The Pennsylvania State University, 23, 1971.
33. Voighsts D.: Lagooning and spray disposal of neutral sulfate semichemical pulp mill liquors. Proc. 10th Ind. Waste Conf., Purdue Univ. Ext. Ser., 89, 1956, s. 497.
34. Zaręba R.: Kierunki naturalnej sukcesji roślinności na leśnych glebach lekkich nawadnianych ściekami miejskimi. Zesz. probl. Post. Nauk rol. 204, 1978.

Б. Добжаньски, Ю. Боцько, Ф. Бялкевич

СОСТОЯНИЕ ИСПЫТАНИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОРОШЕНИЯ ЛЕСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ

Резюме

До сих пор нет у нас полного ознакомления по возможности и способам лесной очистки и использования сточных вод органического происхождения. В 1969 г. Научно-исследовательский институт лесного хозяйства взял на себя организацию комплексных испытаний по этим вопросам. К сотрудничеству присоединился ряд заинтересованных специализированных научных институтов а также отдельных научных сотрудников м. др: Институт почвоведения и агрохимии ГШСХ-СА * Варшава, Институт биологии растений ГШСХ-СА, Институт защиты леса ГШСХ-СА, Институт сельскохозяйственных и лесных мелиораций СА — Вроцлав, Отдел защиты пророды ПАН — Судетская лаборатория — Вроцлав.

Испытания проведенные до сих пор позволяют констатировать, что лесная очистка сточных вод органического происхождения является деятельностью соответствующую законам защиты среды. Не уменьшает она но увеличивает естественные ресурсы среды, полностью очищает сточные воды, увеличивает производство и самоотёк растительного производства, отдает значительное количество очищенной воды для вторичного использования, очищает среду от двуокиси, одновременно увеличивая отдачу кислорода в атмосферу.

Полученные до сих пор результаты испытаний по лесной очистке городских сточных вод не позволяют ещё разработать указания для хозяйственной деятельности. Период и сфера опытов еще не полная. Почвенная среда неустойчивая в биологическом смысле, все еще происходят изменения. В испытаниях нужно учесть значительно большее количество древесных пород и древесных совокупностей, теоретически более подходящих для орошения соответствующим видом сточных вод. Нет у нас до сих пор разработанной и проведенной системы орошения территорий лесной очистки. Происходит необходимость применения небольшой дозы орошения, т.е. применения системы дождевания. Это требует, в свою очередь, применения большего расстояния при посадке деревьев и соответствующего ухода за ними.

Что касается различного вида сточных вод органического происхождения, нужно во время испытаний рассматривать различные добавочные исследовательские аспекты. Нпр. бедные в биогенные соединения сточные воды от производства древесноволокнистых плит требуют применения добавочного минерального азотно-фосфорного удобрения. Относительно картофельных сточных вод во время осенне-зимних работ — применения добавочных орошений чистой водой в вегетационном периоде. Что касается очень трудоёмких сточных вод от льнообрабатывающей промышленности — необходимость применения небольших поливных доз системой дождевания.

* Главная школа сельского хозяйства — Сельскохозяйственная академия.

B. Dobrzański, J. Boćko, F. Białkiewicz

STATUS OF RESEARCH AND PERSPECTIVES OF THE IRRIGATION
OF FOREST AREAS WITH SEWAGE

Summary

We lack until now a full recognition of possibilities and way of the forest cleaning and utilization of organic origin sewage. The Institute of Forest Research undertook in 1969 complex research under this line. Cooperation included numerous interested and specialistic scientific institutions, as well as individual scientists, among them: the Institute of Soil Science and Agricultural Chemistry, Agricultural University in Warsaw; Institute of Plant Biology, Agricultural University; Institute of Forest Protection, Agricultural University; Institute of Reclamation of Farm and Forest Land, Agricultural College in Wrocław; Section of Nature Protection, Polish Academy of Sciences, Sudety Laboratory in Wrocław.

Recent studies permit to state that the forest treatment plant of organic origin sewage constitutes human activity concordant with rules of the protection of natural environment. It does not impair, but increases natural resources of an environment, completely cleans sewage, increases production and rotation of plant production, recharges considerable quantities of cleaned water for repeated use, cleans natural environment of carbon dioxide, and at the same time multiplies the return of nitrogen to atmosphere.

Recent results of studies on forest cleaning and utilization of municipal sewage do not permit still to develop highlights for economic activities. Duration and scope of experiments is not complete still. The soil environment is not stabilized in biological respect, changes still occur. Studies ought to include by far greater range of tree species and forest associations from theoretical viewpoint at best adequate for irrigation with definite kind of sewage water. We have not yet developed and verified in practice a most proper system of the irrigation of areas of a forest treatment plant. The need of the application of a small dose of single irrigation, and thus the use of sprinkling machine system, is obvious. This requires, in turn, the use of loose spacing in tree planting and their proper tending.

Various additional research aspects ought to be introduced into studies in connection with different kinds of sewage of organic origin. And so, e.g. in the case of poor in respect to biogeneous compounds sewage from the production of fibreboards, the use of additional mineral nitrogen and phosphorus fertilization is advocated. In the case of potato sewage from the autumnal and winter campaign, additional irrigation with tap water during vegetation season was applied. In the case of very burdensome rettery sewage, the use of frequent and low single doses of treatment with the aid of sprinkling machines, was found to be sound, etc.

Prof. dr hab. *Bohdan Dobrzański*
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego AR
Instytut Gleboznawstwa i Chemii Rolnej
ul. Rakowiecka 26/30, 02-528 Warszawa
Dyrektor: prof. dr hab. *Bohdan Dobrzański*

Prof. dr hab. *Józef Boćko*

Akademia Rolnicza — Instytut Melioracji Rolnych i Leśnych
Pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław

Dyrektor: prof. dr hab. Stanisław Marcilonek

Doc. dr *Feliks Białkiewicz*

Instytut Badawczy Leśnictwa — Zakład Gospodarki Wodnej
ul. Wery Kostrzewy 3, 02-362 Warszawa

Kierownik Zakładu: doc. dr Feliks Białkiewicz