

KAZIMIERZ HENRYK DYGUŚ

Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania, Wydział Inżynierii i Zarządzania, ul. Olszewska 12,
00-792 Warszawa, e-mail: dygus@wseiz.pl

EKOLOGICZNE SKUTKI WIELOLETNIEJ DZIAŁALNOŚCI LEŚNEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW ZAKŁADÓW PRZEMYSŁU ZIEMNIACZANEGO W IŁAWIE

*Opracowanie zawiera materiały dotyczące funkcjonowania tzw. leśnej oczyszczalni ścieków Zakładów Przemysłu Ziemniaczanego w Iławie. Ścieki ziemniaczane, z dużym ładunkiem zanieczyszczeń organicznych, były odprowadzane rurociągiem na powierzchnie leśne (bór świeży *Peucedano-Pinetum*), a następnie zraszano nimi siedlisko leśne za pomocą systemu rurociągów i zraszaczy. W pracy przedstawiono reakcję roślinności i siedliska leśnego na oddziaływanie ściekami oraz konsekwencje ekologiczne tego oddziaływania. Ponadto ukazano proces spontanicznej regeneracji zaburzonego siedliska leśnego po zaprzestaniu nawadniania ściekami.*

Słowa kluczowe: Leśna Oczyszczalnia Ścieków, ścieki ziemniaczane, bór świeży, roślinność synantropijna, fitoindykacja ekologiczna, chemoindykacja, rekultywacja biologiczna

I. WSTĘP

Przykładów degradacji lasów w minionym wieku nie brakowało, są to chociażby wyręby, trzebieże, wypas, wypalanie, oddziaływanie przemysłowe a także niewłaściwa gospodarka leśna [Olaczek 1989, Fabiszewski i Wojtuń 1994]. Te i inne czynniki pochodzenia antropogenicznego inicjują w ekosystemach leśnych różne procesy; m.in. degenerację, regenerację, regresję czy sukcesję wtórną [Olaczek 1972, Falińska 1986, 1996, 1998, Faliński 1986a, 1986b, 1991, 1998], odzwierciedlające zmiany roślinności na różnych poziomach organizacji. Należy podkreślić, że nadszedł czas, by w XXI wieku lasy mogły funkcjonować bez nadmiernych zagrożeń antropogenicznych i by stały się szczególną troską człowieka; najlepiej wspieraną koncepcją, którą jest retardacja przekształcania zasobów przyrodniczych [m. in. Baran-Zgłobicka 2013, Kostecka 2009, 2010].

Jednym z przykładów destrukcyjnego oddziaływania człowieka na ekosystem leśny jest utylizacja ścieków w siedlisku leśnym. Począwszy od 1984 roku prowadzone są badania nad reakcją i przemianami flory oraz roślinności na terenie leśnej oczyszczalni ścieków przemysłu krochmalniczego w Nadleśnictwie Smolniki k/Iławy [Dyguś 1996, 1997a, 1997b, 2002, 2004a, 2004b, 2008].

Celem badań stała się ocena stanu siedliska leśnego podczas działania Leśnej Oczyszczalni Ścieków (lata 1984-2005), a następnie ocena spontanicznej regeneracji roślinności i biologicznej rekultywacji ekosystemu leśnego po jej likwidacji (lata 2006-2017).

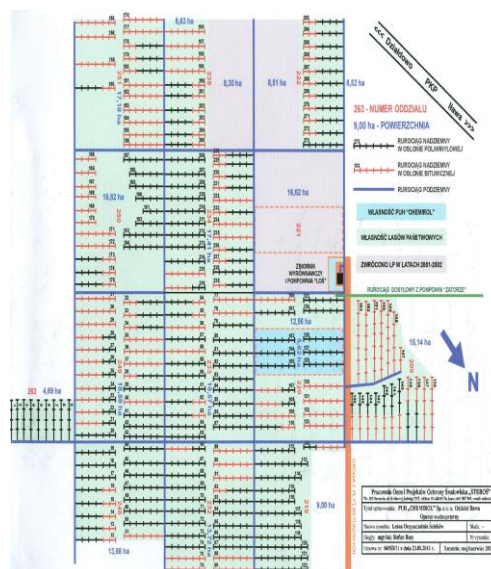
II. OBIEKT BADAŃ

Obiekt glebowo-roślinnej oczyszczalni ścieków przemysłu krochmalniczego zlokalizowany był na 216 hektarowej powierzchni sosnowego boru świeżego (rys. 1) w Nadleśnictwie Iława (Pojezierze Wschodnio-Pomorskie, Polska północna). Ścieki z krochmalni do lasu doprowadzane były podziemnym rurociągiem długości 7 km do zbiornika wyrównawczego o pojemności 11000 m³. Następnie pompami, za pomocą stałych urządzeń zraszających (system rurociągów i zraszaczy obrotowych w rozstawie 36×36 m) ścieki rozprowadzano po terenie leśnej oczyszczalni (rys. 2).



Rys. 1. Powierzchnia leśna przed zraszaniem ściekami (1983 r., wszystkie zdjęcia K. Dyguś

Fig. 1. Forest area before sprinkling with sewage (1983), all photos K. Dyguś



Rys. 2. Schemat rozmieszczenia rurociągów na terenie Leśnej Oczyszczalni

Fig. 2. Layout diagram of pipelines in the area of the Forest Treatment Plant

W obrębie kompleksu boru świeżego, gdzie przeprowadzano oczyszczanie ścieków krochmalniczych, zostały wytyczone dwa typy powierzchni:

- gospodarcza powierzchnia leśna (192 ha), gdzie nawożono podstawową dawką ścieków wynoszącą 300 mm, tj. $3000\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$;
- doświadczalna powierzchnia leśna (18 ha), gdzie zastosowano czterokrotnie zróżnicowaną dawkę ścieków, wynoszącą odpowiednio: 150, 300, 450 i 600 mm rocznie, co odpowiada: $1500, 3000, 4500$ i $6000\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ ścieków.

Głównymi zanieczyszczeniami ścieków krochmalniczych są związki organiczne (węglowodany i białka) oraz substancje mineralne. O wymiarze tych zanieczyszczeń świadczy wysoki wskaźnik BZT₅ ścieków.

III. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Badania fitosocjologiczne na terenie leśnej oczyszczalni prowadzono systematycznie, co 2-3 lata w latach 1984-2017. W tym celu w badanych fitocenozach wytyczono 66 stałych poletek badawczych o powierzchni 100 m² każde. W badaniach posługiwano się powszechnie stosowaną w fitosocjologii metodę Braun-Blanqueta [1964]. Dynamikę

przemian sukcesyjnych roślinności określono stosując systematyczne wartości grupowe gatunków (D) według Pawłowskiego [1977a, 1977b] za Tüxenem i Ellenbergiem [1937].

Nazewnictwo łacińskie roślin naczyniowych podano według Mirka i in. [2002]. Nomenklaturę mchów przyjęto za Szafranem [1957, 1961], a jednostki grup syntaksonomicznych za Matuszkiewiczem [2001].

Ocenę warunków siedliskowych wykonano bioindykacyjną metodą Ellenberga [Ellenberg 1979, Ellenberg i in. 1992]. Informacje w formie wskaźników liczbowych, dla roślin naczyniowych uzyskano z opracowania Zarzyckiego i in. [2002], a dla mszaków, ze względu na brak danych z terenu Polski, z pracy Landolta [1977].

W badaniach uwzględniono wartości wskaźnikowe gatunku dla następujących czynników glebowych: wilgotności (W), trofizmu, w tym głównie zasobności w azot (N), odczynu (R), dyspersji (D), zawartości materii organicznej i humusu w glebie (H). Wartości wskaźnikowe gatunków określono za pomocą pięciostopniowej skali, w której liczba 1 oznacza najniższą wartość, liczba 3 – zakres średni, liczba 5 – najwyższą wartość danego wskaźnika, liczby 2 i 4 to odpowiednio wartości pośrednie. Reakcję roślin na stres oddziaływania ściekami krochmalniczymi w ekosystemie leśnym uzupełniono metodą chemoindykacji. W tym celu w obiekcie leśnej oczyszczalni i jej otulinie (kontrola) zebrano materiał z organów 4 gatunków roślin. Do analiz zostały pobrane następujące organy roślin: igły, gałązki tegoroczne i ubiegłoroczne, długopędy i szyszki sosny (*Pinus sylvestris*), pędy nadziemne tegoroczne pokrzywy (*Urtica dioica*) i niecierpka (*Impatiens parviflora*), pędy nadziemne tegoroczne i ubiegłoroczne maliny (*Rubus idaeus*) oraz korzenie pokrzywy, niecierpka i maliny). Na materiale tym oznaczono koncentrację ośmiu pierwiastków biogenych (N_{og}, P, K, Ca, Mg, Na, S, Cl). Analizy chemiczne zostały wykonane w Centrum Analitycznym Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

IV. WYNIKI

Kierunki zmian roślinności wywołane oddziaływaniem ściekami

Oddziaływaniom ściekami poddawano ekosystem leśny w typie siedliskowym boru świeżego (*Peucedano-Pinetum* Mat. 1962, 1973). W warstwie drzew występuje *Pinus sylvestris* oraz dwa gatunki domieszkowe: *Picea abies* i *Fagus sylvatica*. Warstwa krzewów w fitocenozie sosnowej była słabo rozwinięta, występował głównie *Juniperus communis*. Runo - przed nawożeniem ściekami - przybierało najczęściej postać krzewinkowo-mszystą lub trawiasto-mszystą. Dominowały w nim: *Pleurozium schreberi*, *Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Deschampsia flexuosa*, *Dicranum undulatum*, *Melampyrum pratense*, *Trientalis europaea* (tab. 1).

W ciągu 33 lat obserwacji przemian roślinności na obszarze leśnej oczyszczalni notowano wyginięcie niemal 100% gatunków rodzimych runa i krzewów. W pierwszej fazie sukcesji (lata 1984-1995) luki powstałe po ustąpieniu runa borowego zajmowane były przez gatunki zbiorowiska *Epilobio-Senecionetum sylvatici* z przewagą facji z *Senecio sylvaticus* oraz *Rubus idaeus* (rys. 3).

Niemal jednocześnie zaczęły pojawiać się gatunki z klasy *Molinio-Arrhenatheretea* (były to zwykle zgrupowania facjalne z *Cirsium rivulare*, *Taraxacum officinale* i *Poa pratensis*), rośliny z klasy *Chenopodietea* z dominacją synuzji ze *Stellaria media* oraz niewielkie, ale coraz bardziej ekspansywne kępy *Urtica dioica* (rys. 4).

W drugiej fazie przemian sukcesyjnych (lata 1996-2005) nastąpiło całkowite wycofanie się roślinności runa leśnego z jednoczesną utratą dominacji *Senecio sylvaticus*. W fazie tej zaczęły rozrastać się wysokie byliny z klasy *Artemisietea*, w której zdecydowanym dominantem była

już *Urtica dioica*. Duży udział miał nadal krzewiasta *Rubus idaeus* oraz wypełniająca luki między wysoką roślinnością, zadarniająca i płożąca się na podłożu glebowym, *Stellaria media*.

Dalszy kierunek przemian roślinności (lata 2006-2017) zapoczątkował trzecią fazę analizowanej serii sukcesyjnej. Wytoczyły ją grupy porębowych zbiorowisk krzewiasto-zarostowych, *Epilobietea angustifolii* i *Sambuco-Salicion*, z rozległymi facjami *Galeopsis tetrahit*, *Rubus idaeus* i *Impatiens parviflora* (rys. 5).

Tabela 1 – Table 1

Przemiany roślinności podczas funkcjonowania oczyszczalni ścieków (lata 1984-2005) oraz po zaprzestaniu oddziaływania ściekami (lata 2006-2017) / *Vegetation changes during the operation of the sewage treatment plant (years 1984-2005) and after the discontinuing of sewage impact (years 2006-2017)*

Rok /Year	Gatunki dominujące i współdominujące / Dominant and co-dominant species	P*	Fazy sukcesji / Succession phases	Procesy ekologiczne / Ecological processes
-----------	---	----	-----------------------------------	--

Peucedano-Pinetum

1984	<i>Pinus sylvestris</i>	6250	struktura gatunków typowa dla boru świeżego / species structure typical of fresh coniferous forest	układ niezaburzony / undisturbed system
	<i>Pleurozium schreberi</i>	4388		
	<i>Vaccinium myrtillus</i>	4120		
	<i>Deschampsia flexuosa</i>	3025		
	<i>Dicranum undulatum</i>	2258		
	<i>Melampyrum pratense</i>	781		



Pinus-Vaccinium-Senecio

1987	<i>Pinus sylvestris</i>	6250	dominacja / domination <i>Senecio sylvaticus</i>	degeneracja / degeneration
	<i>Senecio sylvaticus</i>	3359		
	<i>Vaccinium myrtillus</i>	2604		
	<i>Pleurozium schreberi</i>	1732		
	<i>Deschampsia flexuosa</i>	1670		
	<i>Calamagrostis arundinacea</i>	768		



Pinus -Urtica

1995	<i>Pinus sylvestris</i>	6120	dominacja / domination <i>Urtica dioica</i>	regresja, fluktuacja / regression, fluctuation
	<i>Urtica dioica</i>	6544		
	<i>Stellaria media</i>	1572		
	<i>Rubus idaeus</i>	980		
	<i>Galium aparine</i>	368		
	<i>Poa pratensis</i>	236		



Pinus -Galeopsis-Rubus-Impatiens

2000	<i>Pinus sylvestris</i>	6010	mozaikowa kompozycja gatunków / mosaic composition of species	końcowa faza regresji / final regression phase
	<i>Galeopsis tetrahit</i>	3820		
	<i>Rubus idaeus</i>	2890		
	<i>Impatiens parviflora</i>	2300		
	<i>Urtica dioica</i>	860		
	<i>Oxalis acetosella</i>	486		



Pinus - Eurhynchium swartzii

2007	<i>Pinus sylvestris</i>	6010	dominacja / domination <i>Eurhynchium swartzii</i>	wstępna faza regeneracji / initial phase regeneration
	<i>Eurhynchium swartzii</i>	3820		
	<i>Rubus idaeus</i>	990		
	<i>Impatiens parviflora</i>	750		
	<i>Urtica dioica</i>	510		
	<i>Trientalis europaea</i>	225		



Pinus-Betula pendula-Sambucus

2017	<i>Pinus sylvestris</i>	4780	dominacja / <i>domination</i> <i>Betula pendula</i> , <i>Sambucus racemosa</i> , <i>Sambucus nigra</i>	sukcesja wtórna regeneracyjna / <i>secondary</i> <i>regeneration</i> <i>succession</i>
	<i>Betula pendula</i>	2650		
	<i>Sambucus racemosa</i>	1510		
	<i>Sambucus nigra</i>	1450		
	<i>Rubus idaeus</i>	850		
	<i>Impatiens parviflora</i>	625		
	<i>Urtica dioica</i>	600		
	<i>Galeopsis tetrahit</i>	510		
	<i>Galeopsis bifida</i>	370		

*P - współczynnik pokrycia /coverage coefficient



Rys. 3. Facja z *Rubus idaeus* – gatunek dominujący w pierwszej fazie sukcesji

Fig. 3. Facies with *Rubus idaeus* - the dominant species in the first phase of succession



Rys. 4. Facja z *Urtica dioica* – gatunek dominujący w drugiej fazie sukcesji

Fig. 4. Facies with *Urtica dioica* - the dominant species in the second phase of succession



Rys. 5. Facja z *Impatiens parviflora* – dominujący gatunek warstwy zielnej w trzeciej fazie sukcesji

Fig. 5. Facies with *Impatiens parviflora* - the dominant herbaceous species in the third phase of succession



Rys. 6. Facja z *Sambucus racemosa* – subdominujący krzew w trzeciej fazie sukcesji

Fig. 6. Facies with *Sambucus racemosa* - subdominating shrub in the third phase of succession

Ale na fizjonomię tego stadium wpływały głównie dorodne krzewy *Sambucus racemosa* i *Sambucus nigra*, oraz nalot, podrost, a także podszyt *Betula pendula* (rys. 6 i 7). W ostatnich latach obserwacji zanotowano ogółem ponad 80 gatunków nieleśnych. W fazie tej zaznacza swój udział także roślinność z kręgu eutroficznych lasów liściastych, w tym łęgowo-olesowych *Fagetalia sylvaticae*, *Alno-Padion*, *Alnetea glutinosae*, *Circaeo-Alnetum*.



Rys. 7. Duży udział *Betula pendula* w formie nalotu, podrostu i podszytu w trzeciej fazie sukcesji
Fig. 7. A large share of *Betula pendula* in the form of a raid, brushwood and undergrowth in the third phase of succession

Reakcja roślin i siedliska leśnego na stres oddziaływania ściekami

Przebiegające dynamicznie zmiany warunków siedliskowych, wywołane odprowadzaniem ścieków do lasu, powodowały szybkie ubożenie bogactwa gatunkowego runa rodzimego i jednocześnie wzrost bogactwa gatunkowego zbiorowisk zastępczych (antropogenicznych). Dziesięcioletnie nawożenie spowodowało już niemal zupełne wyginięcie runa borowego. Z kolei w latach następnych fitocenoza leśna była wzbogacana gatunkami o coraz większych wymaganiach pokarmowych i wilgotnościowych (tab. 2).

Zależności „roślinność–siedlisko” wykazano na podstawie wskaźnikowych właściwości gatunków borowych oraz gatunków spontanicznie wnিকających do lasu. Badania te wykonano w latach: 1984 (przed oddziaływaniem ściekami), 2007 (po zlikwidowaniu leśnej oczyszczalni) i 2017 (po wieloletnim okresie zaprzestania działalności leśnej oczyszczalni).

Stosunki wilgotnościowe (W). Przed zabiegami nawożeniowymi zdecydowana większość gatunków była wskaźnikami gleb świeżych (W₃), np. *Vaccinium myrtillus* i *Pleurozium schreberi*. Po dziesięcioletnim oddziaływaniu ściekami pojawiły się gatunki, które do optymalnego rozwoju potrzebują gleb wilgotnych (W₄), np. *Urtica dioica*, *Stellaria media*, *Myosoton aquaticum* i *Cirsium palustre* oraz mokrych (W₅), np. *Solanum dulcamara*, *Lycopus europaeus*. Dwa lata po zlikwidowaniu urządzeń zraszających na powierzchniach leśnych zaczęły zasiedlać się lub zwiększać pokrycie gatunki typowe dla gleb świeżych (W₃), np. *Calamagrostis arundinacea*, *Pleurozium schreberi*, *Dryopteris carthusiana*, *Convallaria majalis*, *Luzula pilosa*, *Sorbus aucuparia* i in. W następnych latach, aż do 2017 roku (ostatniego roku obserwacji) zaczęły dominować nitrofilne i ceniolubne gatunki typowe dla lasów z przetrzebionym drzewostanem, były to głównie *Impatiens parviflora* i *Galeopsis tetrahit*.

Tabela 2 – Table 2

Zmiany pokrycia roślinności i stanu siedliska w ciągu wieloletniego funkcjonowania oczyszczalni ścieków
Changes in vegetation cover and habitat status during multi-annual operation of sewage treatment plant

Rok Year	Gatunki dominujące i współdominujące Dominant and co-dominant species	Pokrycie roślin Plant cover (%)	Ekologiczne liczby wskaźnikowe (wskaźniki edaficzne) wg Zarzyckiego i in. (2002) Ecological indicator values (edaphic value) according to Zarzycki et al. 2002]				
			W	Tr	R	D	H
1984*	<i>Pinus sylvestris</i>	62	2-4	1-3	1-5	3-4	1-3
	<i>Pleurozium schreberi</i> **	43	3	1	2	x	1
	<i>Vaccinium myrtillus</i>	41	3-4	2-3	2-4	3-4	2-3
	<i>Deschampsia flexuosa</i>	30	3	2	1-3	3-4	1-2
	<i>Dicranum undulatum</i> **	22	3	1	2	x	1
	<i>Melampyrum pratense</i>	7	3	2	2-3	3-4	2
	Wartości średnie wskaźników Average values of indicators		3,1	1,7	2,4	3,5	1,7
2007	<i>Pinus sylvestris</i>	60	2-4	1-3	1-5	3-4	1-3
	<i>Rubus idaeus</i>	20	3-4	3-4	3-5	3-4	2
	<i>Impatiens parviflora</i>	17	3	4	4	3-4	2
	<i>Urtica dioica</i>	15	3-4	4-5	4	3-4	2
	<i>Sambucus racemosa</i>	8	3	4	4	4	2
	<i>Solanum dulcamara</i>	2	4-5	3-4	3-5	4	3
	Wartości średnie wskaźników Average values of indicators		3,4	3,6	3,8	3,7	2,2
2017	<i>Pinus sylvestris</i>	48	2-4	1-3	1-5	3-4	1-3
	<i>Betula pendula</i>	26	3	2-3	3-4	3-4	1-2
	<i>Rubus idaeus</i>	18	3-4	3-4	3-5	3-4	2
	<i>Urtica dioica</i>	15	3-4	4-5	4	3-4	2
	<i>Sambucus racemosa</i>	15	3	4	4	4	2
	<i>Sambucus nigra</i>	12	3-4	4-5	4	3-4	2
	<i>Impatiens parviflora</i>	8	3	4	4	3-4	2
	<i>Galeopsis tetrahit</i>	6	3-4	3-4	4	3-4	2
	<i>Galeopsis bifida</i>	4	3	3-4	3-4	3-4	2
Wartości średnie wskaźników Average values of indicators		3,2	3,6	3,8	3,6	1,9	

*stan przed rozpoczęciem działalności oczyszczalni / state before start of operation of the sewage treatment plant

**wskaźniki dla mchów wg Landolta (1977) / moss indicators by Landolt (1977)

x – brak danych / no data

Trofizm siedliska (Tr) oceniono na podstawie zapotrzebowania gatunków runa na związki mineralne, głównie azotowe. Przed rozruchem leśnej oczyszczalni większość gatunków (55%) była wskaźnikami gleb skrajnie oligotroficznych (Tr₁), np. *Vaccinium myrtillus*, *Melampyrum pratense*, *Deschampsia flexuosa*. Przez ponad 20 lat oddziaływania ściekami (lata 1984-2005), ponad 90% gatunków okazało się dobrymi wskaźnikami siedlisk eutroficznych (Tr₄ i Tr₅). Były to głównie gatunki nitrofilne, m.in. *Urtica dioica*, *Rubus idaeus*, *Solanum dulcamara*, *Galium aparine*, *Sambucus racemosa*. Po zaniechaniu odprowadzania ścieków do lasu obserwowano tendencję do obniżania żyzności siedliska do poziomu Tr₃, tj. typowego dla lasów mieszanych i grądów wysokich. Ale w ostatnich kilku latach poziom żyzności siedliska leśnego nadal był wysoki, o czym świadczy chociażby coraz większe rozprzestrzenianie się *Sambucus racemosa* i *S. nigra*.

Wskaźnik kwasowości (R). W naturalnym układzie borowym większość z listy gatunków była przywiązana do piaszczystych gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych (R_{1-3}) w zakresie pH od 3,0 do 4,5, np. *Calluna vulgaris*, *Polytrichum commune*, *Deschampsia flexuosa*. Wpływ ścieków spowodował ekspansję gatunków gleb umiarkowanych i słabo kwaśnych (R_4) z pH w zakresie 4,5–5,5 (6,0). Natomiast po zaprzestaniu odprowadzania ścieków do lasu wykazano pH o około 0,5 jednostki niższe, tj. w zakresie 3,9–5,1. Kwasowość ta utrzymywała się do ostatniego roku obserwacji (2017 r.).

Wskaźnik granulometryczny (składu mechanicznego) gleby (D). Gatunki runa przed uruchomieniem leśnej oczyszczalni cechowały się przywiązaniem do gleb piaszczystych (D_3), piaszczysto-gliniastych lub gliniastych ze znacznym udziałem szkieletu (D_4). Nawożenie ściekami spowodowało wkraczanie gatunków typowych dla gleb ciężkich (D_{4-5}). Były to m.in.: *Solanum dulcamara*, *Lycopus europaeus*, *Sambucus nigra* i *Galium aparine*. Po zaniechaniu oddziaływania ściekami nie rozpoznano tą metodą wystarczającego zróżnicowania w składzie mechanicznym gleby.

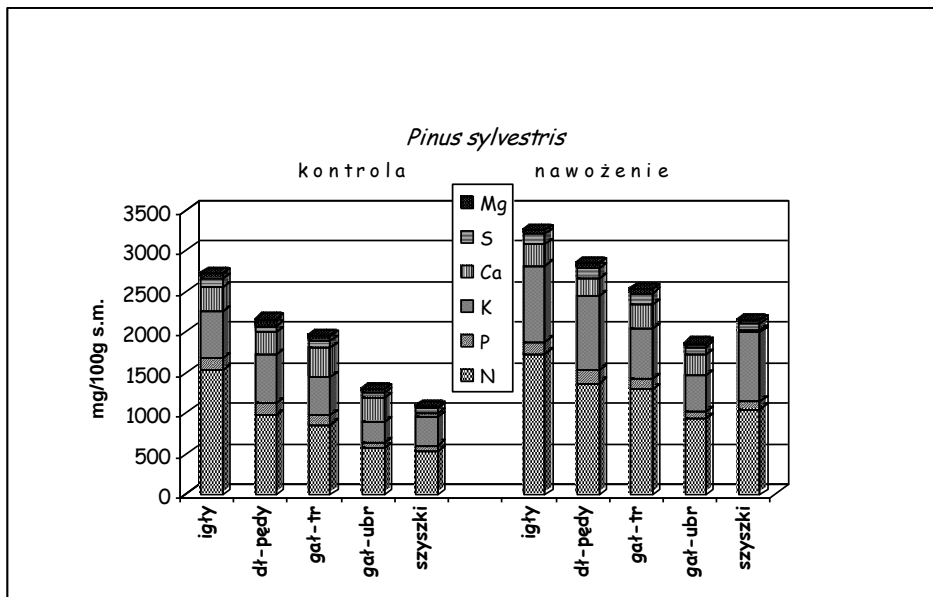
Wskaźnik zawartości materii organicznej i humusu w glebie (H). Większość gatunków układu roślinnego, przed rozruchem oczyszczalni, była wskaźnikami gleb mineralno-próchnicznych (H_3). Po wieloletnim nawadnianiu ściekami obserwowano przesunięcie wskaźnika ku glebom upodobnionym do gleb torfiastych z udziałem części mineralnych (H_4). Wiąże się to głównie z ekspansywnym rozwojem *Urtica dioica*, a także występowaniem *Solanum dulcamara* i *Lycopus europaeus*. Po zlikwidowaniu leśnej oczyszczalni wskaźnik ten przesunął się nieco na korzyść gleb mineralno-próchnicznych, na co wskazują sporadycznie pojawiające się gatunki z klasy *Vaccinio-Piceetea*.

Większość gatunków ma wąską amplitudę ekologiczną i dobrze spełnia rolę wskaźników, umożliwiając rozpoznawanie różnych warunków siedliskowych.

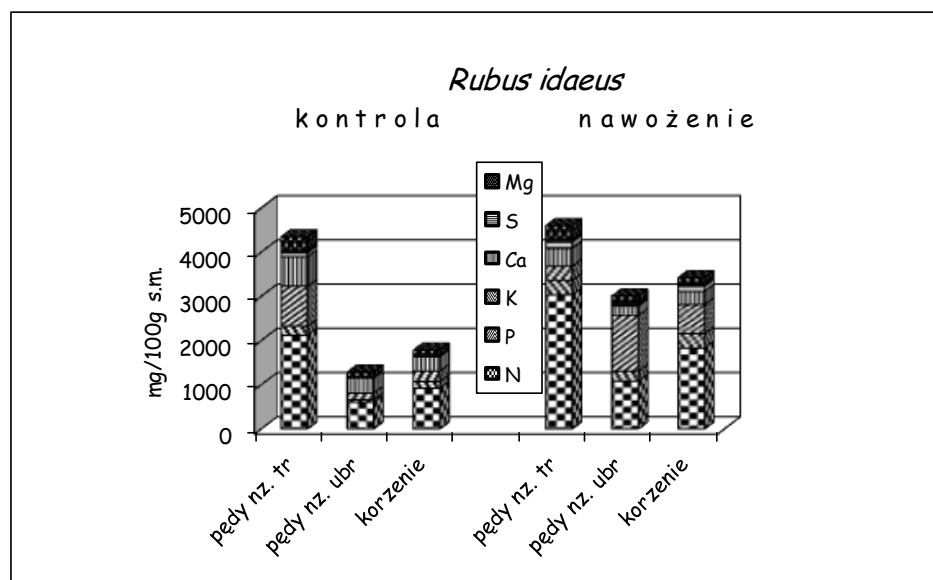
Chemiczna ocena reakcji roślin na stres oddziaływania ściekami

W siedlisku leśnym nawożonym ściekami koncentracja większości pierwiastków w roślinach (N, P, K, Na, Cl) przewyższała zawartości gromadzone w tkankach roślin nie nawożonych (kontrolnych). Spośród analizowanych biogenów największy wzrost koncentracji w roślinach wykazano dla potasu, średnio 4155 mg/100 g s. m., a średnia zawartość azotu w badanych gatunkach roślin wyniosła 2843 mg/100 g s. m. w roślinach nawadnianego ściekami siedliska leśnego. Średnią zawartość fosforu w roślinach tego siedliska określono na ok. 500 mg/100 g s. m. Znacznie podwyższona, w stosunku do fitocenozy kontrolnej, okazała się także zawartość sodu i chloru a nawet siarki.

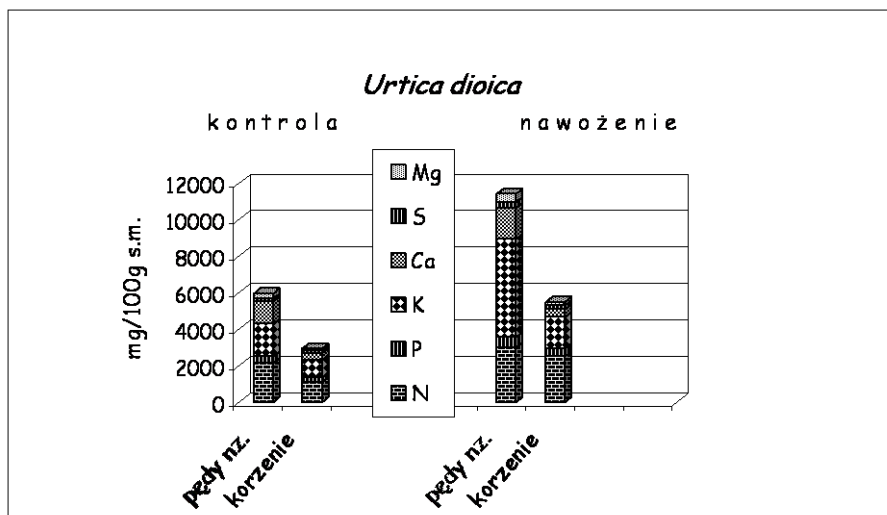
Stwierdzono nierównomierność pobierania biogenów przez poszczególne organy roślin. Najwyższy wzrost koncentracji N_{og} , P i Cl, w stosunku do próbek kontrolnych, wykazano w szyszkach sosny *Pinus sylvestris*, natomiast w gałązkach i długopędach sosny wystąpiły pośrednie zawartości. Krzewy, byliny i rośliny zielne zareagowały wyraźnym wzrostem zawartości większości pierwiastków biogennych, szczególnie N, P, K i S. Zasadniczą pulę biogenów w tych roślinach gromadziły organy podziemne i pędy nadziemne ubiegłoroczne. Wykazano m. in. duży wzrost zawartości N we wszystkich badanych organach oraz kilkukrotny wzrost koncentracji K w tkankach pędów nadziemnych ubiegłorocznych i korzeniach maliny *Rubus idaeus*. Warto także odnotować, że koncentracja K w organach niecierpka *Impatiens parviflora* wyniosła ok. 7000 mg/100 g s. m. Jednocześnie stres wywołany oddziaływaniem ściekami spowodował obniżenie poziomu Ca i Mg w większości analizowanych organach roślin (rys. 8 A-D).



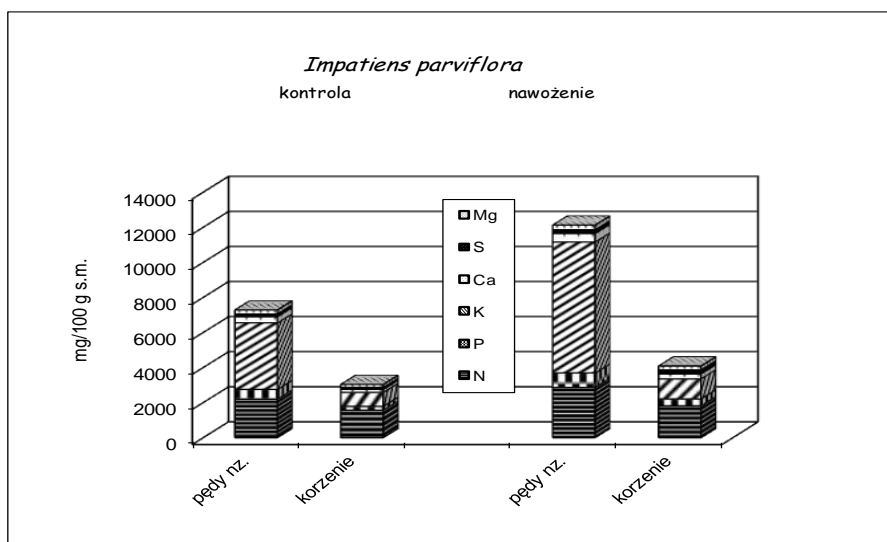
A. sosna zwyczajna / Scotch pine



B. malina właściwa / red raspberry



C. pokrzywa zwyczajna / stinging nettle



D. niecierpek drobnokwiatowy / small balsam

opis / description: kontrola / control, nawożenie / fertilisation

igły / needles, gałązki tegoroczne / this year twigs, gałązki ubiegłoroczne / last year's twigs,
 długopędy / long shoots, szyszki / cones, pędy nadziemne tegoroczne / above-ground shoots his year,
 pędy nadziemne ubiegłoroczne / above-ground shoots last year, korzenie / roots

Rys. 8. A-D. Zawartość biogenów w organach wybranych roślin
 Fig. 8. A-D. Nutrients content in the organs of chosen plants

Wieloletnie oddziaływanie ściekami na ekosystem leśny zainicjowało szereg zmian w środowisku glebowym (wzrost pH , pojemności sorpcyjnej, wilgotności i żyzności). Zmiany siedliskowe były główną przyczyną zmienności w funkcjonowaniu układu leśnego. W konsekwencji nastąpiło osłabienie mechanizmów homeostatycznych w ekosystemie, który tracił sukcesywnie gatunki rodzime i nie reagował na inwazję gatunków obcych. Na tle tych rozważań proces regeneracji ekosystemu leśnego teoretycznie powinien rozpocząć się na etapie zaprzestania odprowadzania ścieków do lasu. Jednak z badań wynika, że będzie to proces długi i trudny do przewidzenia; zachodząca regeneracja środowiska leśnego nie jest jeszcze efektywna.

V. WNIOSKI

1. Wieloletnie (lata 1984-2005) oddziaływanie ściekami pochodzenia organicznego (przemysł krochmalniczy) na fitocenozę borową wywołało rozwój roślinności synantropijnej (*Chenopodietea*, *Polygono-Chenopodietalia*), porębowej (*Epilobietea angustifolii*, *Epilobion angustifolii*, *Sambuco-Salicion*), łąkowej (*Molinio-Arrhenatheretea*), ruderalnej (*Artemisietea*) oraz lasów łęgowych (*Alno-Padion*, *Fagetalia sylvaticae*) i olesowych (*Alnetea glutinosae*).
2. Pod wpływem nawożenia ściekami rodzime runo w fitocenozie borowej uległo stopniowej degeneracji. Proces ten nasilał się zgodnie z gradientem czasu i wielkości stosowanych dawek ścieków. Generalnie, jako pierwsze zanikały gatunki runa o najwyższej amplitudzie ekologicznej, tj. gatunki charakterystyczne dla zespołu *Peucedano-Pinetum* i związku *Dicrano-Pinion* oraz wszystkie mszaki, a w dalszej kolejności gatunki z coraz szerszą amplitudą ekologiczną, tj. charakterystyczne dla rzędu *Vaccinio-Piceetalia* i klasy *Vaccinio-Piceetea* oraz towarzyszące zbiorowiskom borowym.
3. Po zlikwidowaniu leśnej oczyszczalni (2005 r.) odbudowa struktury i funkcji zbiorowiska leśnego zaczynała się dopiero zaledwie zaznaczać; dostrzegane w następnych latach (2006-2017) tempo przemian regeneracyjnych było bardzo wolne a kierunku zmian nie można było jeszcze precyzyjnie określić. Zaobserwowano jednak trend odwracania się relacji ilościowych między gatunkami leśnymi i nieleśnymi na korzyść gatunków leśnych z klasy *Vaccinio-Piceetea* i *Quercu-Fagetea*.
4. Badane pod względem pobierania podstawowych biogenów rośliny (w warunkach stresu wywołanego oddziaływaniem ściekami krochmalniczymi) stanowią dwie grupy: potasolubne (*Impatiens parviflora*) i uniwersalne, z dużym powinowactwem do azotu jak i potasu (*Urtica dioica*, *Rubus idaeus*). Gatunki te okazały się doskonałymi chemioindykatorami stanu siedliska.
5. Uzyskane wyniki wykazały, że dodatkowa pula biogenów wprowadzona do naturalnych siedlisk zakłóca gospodarowanie pierwiastkami w roślinach i ich ewolucyjnie uwarunkowaną ekologiczno-fizjologiczną tolerancję na alokację pierwiastków.
6. Oczyszczanie i utylizacja ścieków w środowisku glebowo-roślinnym budzi kontrowersje. Konsekwencje ekologiczne takiego wykorzystania ścieków to przede wszystkim groźne zakłócenia i przekształcenia w strukturze i funkcjonowaniu ekosystemów, w tym silna eutrofizacja łądowa, a w konsekwencji ucieczka pierwiastków poza zasięg nawożonego układu glebowo-roślinnego i zanieczyszczenie wód powierzchniowych i podziemnych.
7. Renaturyzacja ekosystemu leśnego, po tak długim okresie zaburzenia, wymaga przemyślanej ingerencji człowieka, np. w formie częściowej przebudowy drzewostanu. Należałoby także rozpatrzyć poddanie ekosystemu leśnego samoistnej regeneracji (sukcesji regeneracyjnej) z niewielkim udziałem zabiegów pielęgnacyjnych.

BIBLIOGRAFIA

1. Baran-Zgłobicka B. 2013. Retardacja przekształcania zasobów przyrodniczych w południowo-wschodniej Polsce w świetle wybranych dokumentów strategicznych. *Inżynieria Ekologiczna*. 34. 76-88.
2. Braun-Blanquet J. 1964. *Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde* 3. Aufl. Springer. Wien-New. York. 865 pp.
3. Dyguś K. H. 1996. Fertilization as degeneration and synanthropization factor of the ground flora in the pinewood phytocenoses (*Peucedano-Pinetum* Mat. 1962, 1973). *Bulletin Polish Academy of Sciences. Biological Sciences*. 44. 1-2. Warsaw. 127-135.
4. Dyguś K. H. 1997a. Impact of starch sewage fertilization on phytocenoses of a fresh pine forest and a clearing. I. Vegetational changes as an effect of sewage fertilization. *Ekologia polska*. Instytut Ekologii PAN. Dziekanów Leśny. 45. 2. 531-553.
5. Dyguś K. H. 1997b. Impact of starch sewage fertilization on phytocenoses of a fresh pine forest and a clearing. II. Matter and nutrient economy under conditions of sewage fertilization. *Ekologia polska*. Instytut Ekologii PAN. Dziekanów Leśny. 45. 2. 555-574.
6. Dyguś K. H. 2002. The variability of vegetation in a forest ecosystem disturbed by long-term impact of starch sewage treatment. *Ecological Questions*. UMK. Toruń. 1. 97-109.
7. Dyguś K. H. 2004a. Invasion of synanthropic plants to a forest phytocenosis disturbed by an exogenous factor. *Ecological Questions*. UMK. Toruń. 4. 59-64.
8. Dyguś K. H. 2004b. Matter allocation in forest ecosystem plants in relation to site fertility. *Ecological Questions*. UMK. Toruń. 5. 55-62.
9. Dyguś K. H. 2008. Wykorzystanie metody fitoindykacji do oceny stanu siedliska leśnej oczyszczalni ścieków przemysłu krochmalniczego. [w:] B. Kołwzan i K. Grabas (red.). *Ekotoksykologia w ochronie środowiska*. Wydział Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej. Wrocław. 491 ss.
10. Ellenberg H. 1979. *Zeigerwerte der Grfässpflanzen Mitteleuropas*. Second edition. *Scripta Geobot.* 9. 3-122.
11. Ellenberg H., Weber H. E., Düll R., Wirth V., Werner W., Pulißen D. 1992. *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*. Göttingen. E. Goltze Verl., *Scripta Geobotanica*. 18. 258.
12. Fabiszewski J., Wojtuń B. 1994. Zjawiska ekologiczne towarzyszące wymieraniu lasów w Sudetach. *Prace IBL* 21. Warszawa. 195-210.
13. Falińska K. 1986. Dynamics and structure of plant populations in forest ecosystems. [w:] J. B. Faliński (ed.). *Vegetation dynamics in temperate lowland primeval forests*. Dr W. Junk Publishers. Dordrecht. Boston. Lancaster. 307-346.
14. Falińska K. 1996. *Ekologia roślin*. PWN. Warszawa. 453 ss.
15. Falińska K. (ed.). 1998. *Plant population biology and vegetation processes*. W. Szafer Institute of Botany. PAS. Kraków. 368 pp.
16. Faliński J. B. 1986a. Vegetation dynamics in temperate lowland primeval forests. *Ecological studies in Białowieża forest*. *Geobotany* 8. Dr W. Junk Publishers, Dordrecht-Boston-Lancaster. 1-537.
17. Faliński J. B. 1986b. Sukcesja roślinności na nieużytkach porolnych jako przejaw dynamiki ekosystemu wyzwolonego spod długotrwałej presji antropogenicznej. Część I i II *Wiadomości Botaniczne*. Kraków. 30. 1. 12-50; 30. 2. 115-126.
18. Faliński J. B. 1991. Procesy ekologiczne w zbiorowiskach leśnych. *Phytocoenosis* 3. (N.S.). *Seminarium Geobotanicum* 1. Warszawa-Białowieża. 17-41.
19. Faliński J. B. 1998. *Vegetation dynamics - definition of processes*. [w:] K. Falińska (ed.) *Plant population biology and vegetation processes*. W. Szafer Institute of Botany PAS. Kraków 1998.

20. Kostecka J. 2009. Przestrzeń przyrodnicza jako wartość dla zrównoważonego rozwoju. Zesz. Nauk. Pol.-Wsch. Oddziału PTIE i PTG w Rzeszowie. 11. 135-140.
21. Kostecka J. 2010. Retardacja przekształcania zasobów przyrody jako element zrównoważonego rozwoju. [w:] Kostecka J. (red.). Retardacja materialnego przekształcania zasobów przyrodniczych. Osiągnięcia, problemy, perspektywy. Biuletyn KPZK PAN. 242. 27-49.
22. Landolt E. 1977. Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora. Veröff. Geobot. Inst. ETH. Stiftung Rübel. Zürich. 64. 208.
23. Matuszkiewicz W. 2001. Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski. PWN. Warszawa. 536 ss.
24. Mirek Z, Piękoś-Mirkowa H., Zając A., Zając M. 2002. Flowering plants and pteridophytes of Poland. A checklist. W. Szafer Institute of Botany. Kraków. 442 ss.
25. Olaczek R. 1972. Formy antropogenicznej degeneracji leśnych zbiorowisk roślinnych w krajobrazie rolniczym Polski niżowej. Wyd. UŁ. Łódź. 170 ss.
26. Olaczek R. 1989. Wpływ gospodarki zrębowej na zasoby genowe roślin leśnych. Materials of scientific seminar. No. 7. SGGW-AR. Warszawa. 182-192.
27. Pawłowski B. 1977a. Dynamika zbiorowisk roślinnych. [w:]. W. Szafer i K. Zarzycki (red.). Szata roślinna Polski. t. 1. PWN. Warszawa. 481-501.
28. Pawłowski B. 1977b. Skład i budowa zbiorowisk roślinnych oraz metody ich badania. [w:] W. Szafer i K. Zarzycki (red.). Szata roślinna Polski. t. 2. PWN. Warszawa. 229-274.
29. Szafran B. 1957. Mchy (*Musci*) I. Flora Polska. PWN. Warszawa. 447 ss.
30. Szafran B. 1961. Mchy (*Musci*) II. Flora Polska. PWN. Warszawa. 405 ss.
31. Zarzycki K., Trzecińska-Tacik H., Różański W., Szelaż Z., Wołek J., Korzeniak U. 2002. Ecological indicator values of vascular plants of Poland. W. Szafer Institute of Botany. PAS. Kraków. 183 pp.

ECOLOGICAL EFFECTS OF MULTI-ANNUAL ACTIVITIES OF THE SEWAGE TREATMENT PLANT OF THE POTATO INDUSTRY PLANT IN IŁAWA

Summary

The study contains materials on the functioning of the sewage treatment plant of the Potato Industry Plant in Iława. Potato wastewater, with a large load of organic pollutants, was discharged via pipeline to forest areas (fresh coniferous forest Peucedano-Pinetum), and then sprinkled in forest habitat using a system of pipelines and sprinklers. The paper presents the reaction of vegetation and forest habitat to the impact of sewage as well as the ecological consequences of this impact. In addition, the process of spontaneous regeneration of disturbed forest habitat after cessation of irrigation with sewage was shown.

Keywords: Forest Sewage Treatment Plant, potato sewage, fresh coniferous forest, synanthropic vegetation, ecological phytoindication, chemoinidication, biological reclamation

