

Słowa kluczowe: fitoindykacja, las, nawożenie, biogeny, rośliny, oczyszczalnia ścieków, antropopresja

Kazimierz Henryk DYGUŚ*

WYKORZYSTANIE METODY FITOINDYKACJI DO OCENY STANU SIEDLISKA LEŚNEJ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW PRZEMYSŁU KROCHMALNICZEGO

Celem badań było ukazanie reakcji roślin i siedliska leśnego (bór świeży i mieszany) na stres oddziaływania ściekami krochmalniczymi.

Metodą fitoindykacji ekologicznej wykazano ponad dwukrotny wzrost trofii i znaczące zmiany pozostałych wskaźników stanu siedliska. Metodą chemoindykacji stwierdzono nierównomierność pobierania biogenów w warunkach stresu przez poszczególne organy roślin. Na nawożone ściekami leśne siedlisko rośliny zareagowały zwiększoną akumulacją pierwiastków biogennych, głównie potasu, azotu i fosforu. Zasadniczą pulę biogenów zgromadziły organy podziemne i pędy nadziemne ubiegłoroczne.

Uzyskane wyniki wykazały, że dodatkowa pula biogenów wprowadzona do siedliska leśnego zmodyfikowała je oraz zakłóciła gospodarowanie pierwiastkami w ekosystemie leśnym. Konsekwencje ekologiczne tych zmian nie mogą być obojętne dla środowiska, w tym głównie dla wód podziemnych i powierzchniowych.

1. WSTĘP

Intensyfikacja działalności człowieka w minionym stuleciu stała się główną przyczyną wielu zmian w strukturze i funkcjonowaniu układów ekologicznych. Najbardziej drastyczne przekształcenia, czy wręcz zagłada, na kuli ziemskiej objęły – spośród ekosystemów lądowych – ekosystemy leśne.

Przykładów degradacji lasów w minionym wieku nie brakowało, są to chociażby wycięcia, trzebieże, wypas, wypalanie, oddziaływania przemysłowe a także niewłaściwa gospodarka leśna [4,12,20]. Te i inne czynniki pochodzenia antropogenicznego inicjują w ekosystemach leśnych różne procesy ekologiczne, m.in. degenerację, regenerację, regresję, sukcesję wtórną [13,14,15,19], odzwierciedlające zmiany roślinności na różnych poziomach organizacji.

* Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania, Wydział Ekologii, 02-061 Warszawa, ul. Wawelska 14, e-mail: dygus@wseiz.pl

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. Dotychczas na tym obiekcie badano zmiany w składzie i strukturze roślinności, kierunki i dynamikę sukcesji roślinnej [2] oraz procesy degeneracji i synantropizacji nawożonej fitocenozy leśnej [1,6,7,8]. W badaniach uwzględniono także zmiany w środowisku glebowym oraz zmiany w gospodarowaniu materią [3,5,9] w warunkach nawożenia siedliska leśnego ściekami.

Celem obecnych badań jest ukazanie reakcji roślin i siedliska leśnego na stres oddziaływania (nawożenia) ściekami krochmalniczymi w oparciu o metody fitoindykacji (chemoindykacji i fitoindykacji ekologicznej).

2. OBIEKT I METODY BADAŃ

Obiekt glebowo-roślinnej oczyszczalni ścieków przemysłu krochmalniczego zlokalizowany jest na 216 hektarowej powierzchni sosnowego boru świeżego i mieszanego w Nadleśnictwie Iława (Pojezierze Wschodnio-Pomorskie).

W obiekcie leśnym wydzielono dwa typy powierzchni: (i) gospodarczą (192 ha), gdzie nawożono podstawową dawką ścieków wynoszącą 300 mm, oraz (ii) doświadczalną (18 ha), gdzie zastosowano czterokrotnie zróżnicowaną dawkę ścieków, wynoszącą odpowiednio: 150, 300, 450 i 600 mm rocznie. Każdy typ powierzchni poddawany był oddziaływaniom ścieków w okresie wegetacyjnym.

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

Ocenę warunków siedliskowych wykonano metodą fitoindykacji ekologicznej Ellenberga [10,11]. Informacje w formie wskaźników liczbowych dla roślin naczyniowych uzyskano z opracowania Zarzyckiego i in. [23], a dla mszaków z pracy Landolta [16].

W badaniach uwzględniono wartości wskaźnikowe gatunków dla następujących czynników glebowych: wilgotności (W), trofizmu, w tym głównie zasobności w azot (N), odczynu (R), dyspersji (D) i zawartości materii organicznej w glebie (H). Wartości wskaźnikowe gatunków określono za pomocą pięciostopniowej skali [23].

Nazewnictwo łacińskie roślin naczyniowych podano według Mirka i in. [18]. Nomenklaturę mchów przyjęto za Szafranem [21,22], a jednostki grup syntaksonomicznych za Matuszkiewiczem [17].

Reakcję roślin na stres oddziaływania ściekami krochmalniczymi w ekosystemie leśnym wykazano metodą chemoindykacji. W tym celu w obiekcie leśnej oczyszczalni i jej otulinie (kontrola) zebrano w lipcu 2006 r. materiał roślinny 9. gatunków roślin, tj. drzew *Pinus sylvestris*, *Fagus sylvatica*, *Picea abies*, bylin *Dryopteris carthusiana*,

Urtica dioica, krzewu *Rubus idaeus* i roślin jednorocznych *Impatiens parviflora*, *Galeopsis tetrahit*, *Trientalis europaea*. (Na potrzeby tego referatu przedstawiono wyniki dla 4. gatunków i 6. pierwiastków, całe zestawienie wyników zostanie zaprezentowane w sesji posterowej podczas konferencji).

Do analiz zostały pobrane następujące organy roślin: igły, gałązki tegoroczne i ubiegłoroczne, długopędy i szyszki (sosna), liście (buk), pędy nadziemne tegoroczne (pokrzywa, niecierpek), pędy nadziemne tegoroczne i ubiegłoroczne (malina), korzenie (pokrzywa, niecierpek, malina). Na materiale tym oznaczono koncentrację ośmiu pierwiastków biogennych (N_{og.}, P, K, Ca, Mg, Na, S, Cl).

Analizy chemiczne zostały wykonane w Centrum Analitycznym Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

3. WYNIKI

3. 1. KIERUNKI ZMIAN ROŚLINNOŚCI WYWOŁANE NAWOŻENIEM ŚCIEKAMI

Oddziaływaniom ściekami poddawano ekosystem leśny w typie siedliskowym boru świeżego (*Peucedano-Pinetum* Mat. 1962, 1973) oraz, na niewielkich powierzchniach, boru mieszanego *Quercus roboris-Pinetum* Mat. 1981). 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* oraz siewki *Quercus robur*.

W czasie ponad 20 lat funkcjonowania oczyszczalni wyginęło niemal 100% gatunków rodzimych runa i krzewów. Jednocześnie następowała sukcesywna inwazja gatunków synantropijnych, głównie apofitów leśnych i łąkowych. Gatunkami najbardziej inwazyjnymi w kolejnych latach nawodnień ściekami były: *Senecio sylvaticus*, *Urtica dioica*, *Stellaria media*, *Rubus idaeus*, *Galeopsis tetrahit*, *Impatiens parviflora*, *Sambucus nigra*. W ostatnim roku obserwacji zanotowano ogółem ponad 70 gatunków nieleśnych.

Ogółem w analizowanych przemianach sukcesyjnym spontanicznie rozwijało się kilka zbiorowisk, facji i synuzji roślinnych. Oddziaływanie ściekami krochmalniczymi doprowadziło do powstania nowego układu roślinnego w obrębie klas: *Epilobietea angustifolii*, *Chenopodietea*, *Artemisietea*, *Molinio-Arrhenatheretea* i *Alnetea glutinosae*.

3. 2. EKOLOGICZNA OCENA WARUNKÓW SIEDLISKOWYCH ROŚLIN NA STRES ODDZIAŁYWANIA ŚCIEKAMI

Zależność „roślina–siedlisko” wykazano na podstawie wskaźnikowych właściwości gatunków roślin występujących na powierzchniach kontrolnych i nawożonych (metoda fitoindykacji ekologicznej) (tab. 1).

Wskaźnik wilgotności gleby (W). Przed zabiegami nawożeniowymi zdecydowana większość gatunków była wskaźnikami gleb świeżych (W3), np. *Vaccinium myrtillus* i *Pleurozium schreberi*. Po wieloletnim nawożeniu pojawiły się gatunki, które do optymalnego rozwoju potrzebują gleb wilgotnych (W4), np. *Urtica dioica*, oraz mokrych (W5), np. *Solanum dulcamara*.

Wskaźnik trofizmu siedliska (Tr) oceniono na podstawie zapotrzebowania gatunków runa na związki mineralne, głównie azotowe. Większość gatunków przed nawożeniem (55%) była wskaźnikami gleb skrajnie oligotroficznych (N1), np. *Vaccinium myrtillus*, *Melampyrum pratense*, *Deschampsia flexuosa*. Przez ponad 20 lat oddziaływania ściekami ok. 90% gatunków okazało się dobrymi wskaźnikami siedlisk eutroficznych (N4 i N5). Były to głównie gatunki nitrofilne, m.in. *Urtica dioica*, *Rubus idaeus*, *Impatiens parviflora*, *Solanum dulcamara*, *Sambucus nigra*.

Wskaźnik kwasowości gleby (R). W naturalnym układzie borowym większość gatunków była przywiązana do piaszczystych gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych (R1–3) w zakresie pH od 3,0 do 4,5, np. *Deschampsia flexuosa*. Zabiegi oddziaływania ściekami spowodowały pojawienie się i ekspansję w zdecydowanej większości gatunków gleb umiarkowanych i słabo kwaśnych (R4) z pH w zakresie 4,5–5,5 (6,0), np. *Solanum dulcamara* i *Sambucus nigra*.

Wskaźnik granulometryczny (dyspersji) gleby (D). Gatunki runa przed nawożeniem cechowały się przywiązaniem do gleb piaszczystych (D3), piaszczysto-gliniastych lub gliniastych ze znacznym udziałem szkieletu (D4). Eksperyment nawożeniowy spowodował wkraczanie gatunków właściwych dla gleb ciężkich (D4–5). Były to m.in.: *Solanum dulcamara* i *Sambucus nigra*, *Galium aparine*.

Wskaźnik zawartości materii organicznej w glebie (H). Większość gatunków układu roślinnego przed nawożeniem była wskaźnikami gleb mineralno-próchnicznych (H2). Ponad 20. lat nawadniania ściekami spowodowało przesunięcie tego wskaźnika ku glebom upodobnionym do gleb organogenicznych (H3). Wiąże się to głównie z ekspansywnym rozwojem *Urtica dioica*, a także występowaniem *Solanum dulcamara*.

Tab. 1. Zmiany pokrycia roślinności i stanu siedliska w ciągu wieloletniego funkcjonowania oczyszczalni ścieków

Rok	Gatunki dominujące i współdominujące	Pokrycie roślin (%)	Ekologiczne liczby wskaźnikowe (wskaźniki edaficzne) wg Zarzyckiego i in. [23]				
			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
	<i>Wartości średnie wskaźników</i>			3,1	1,7	2,4	3,5
2007	<i>Pinus sylvestris</i>	58	2-4	1-3	1-5	3-4	1-3
	<i>Rubus idaeus</i>	33	3-4	3-4	3-5	3-4	2
	<i>Impatiens parviflora</i>	27	3	4	4	3-4	2
	<i>Urtica dioica</i>	21	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
	<i>Wartości średnie wskaźników</i>			3,4	3,6	3,8	3,7

*stan przed rozpoczęciem działalności oczyszczalni

**wskaźniki dla mchów wg Landolta [16]

x – brak danych

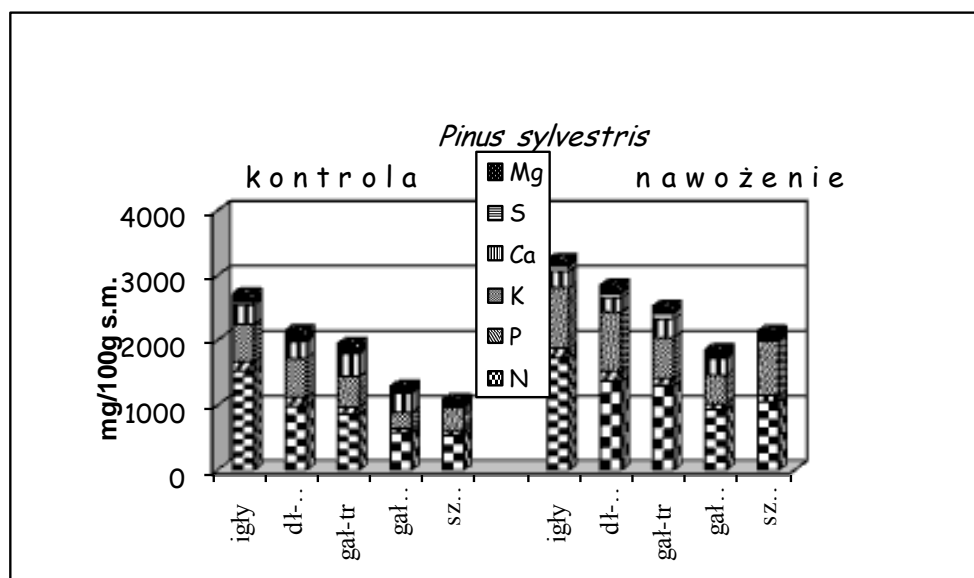
3.3. CHEMICZNA OCENA REAKCJI ROŚLIN NA STRES ODDZIAŁYWANIA ŚCIEKAMI

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 nawożonego 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.

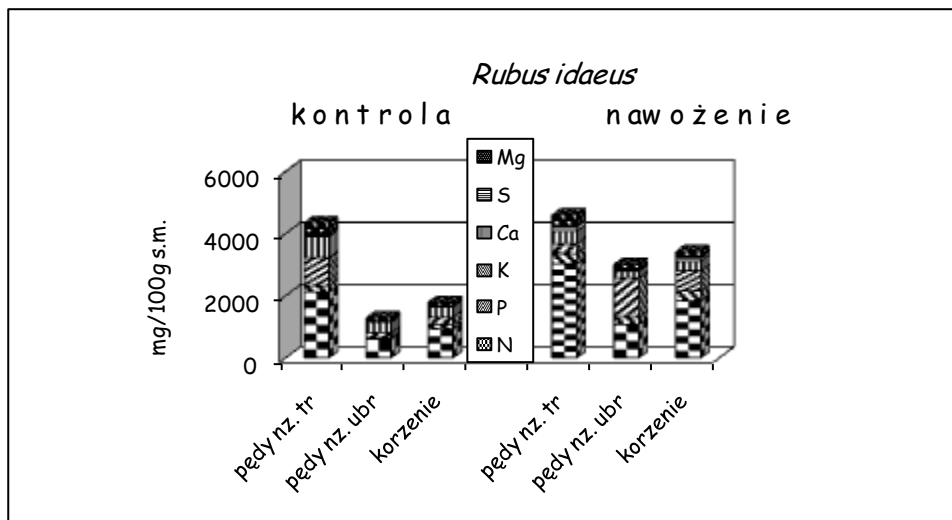
Stwierdzono nierównomierność pobierania biogenów przez poszczególne organy roślin. Najwyższy wzrost koncentracji N_{og.}, P i Cl, w stosunku do próbek kontrolnych, wykazano w szyszkach sosny *Pinus sylvestris*, natomiast w gałązkach i długopędach sosny wystąpiły pośrednie zawartości. Z kolei w liściach buka *Fagus sylvatica* najwyższy wskaźnik akumulacji uzyskał (podwyższony ok. dwukrotnie) Cl i K. 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

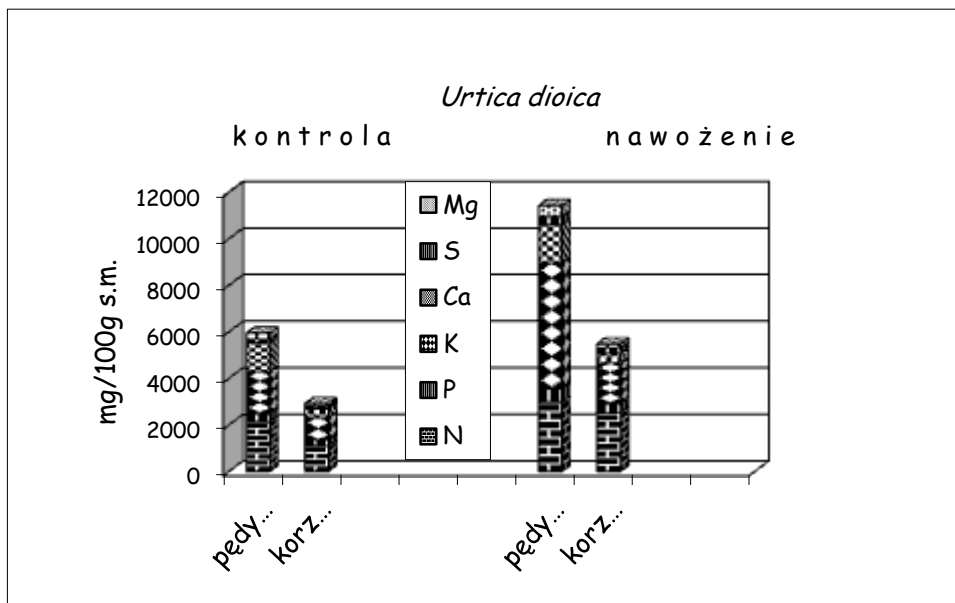
badanych organach oraz kilkukrotny wzrost koncentracji K w tkankach pędów nadziemnych ubiegłorocznych i korzeniach maliny *Rubus idaeus*. Warto także odnotować, że koncentracja K w organach niecierpka *Impatiens parviflora* wyniosła ok. 7000 mg/100 g s.m. Jednocześnie stres nawożenia ściekami spowodował obniżenie poziomu Ca i Mg w większości analizowanych organach roślin (rys. 1–4).



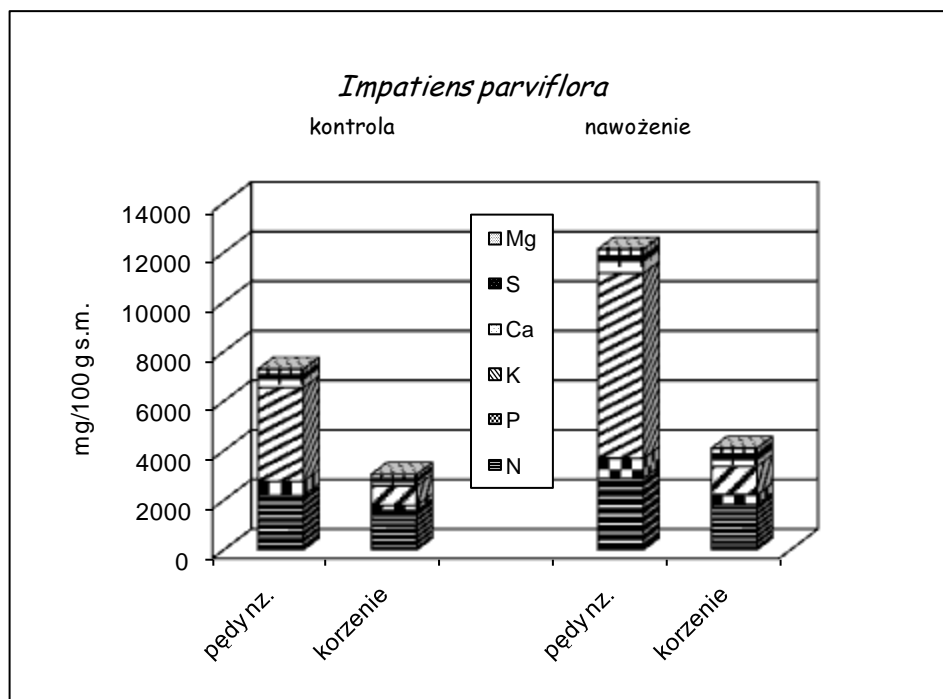
Rys. 1. Zawartość biogenów w organach sosny zwyczajnej



Rys. 2. Zawartość biogenów w organach maliny właściwej



Rys. 3. Zawartość biogenów w organach pokrzywy zwyczajnej



Rys. 4. Zawartość biogenów w organach niecierpka drobnokwiatowego

4. WNIOSKI

1. Badane pod względem pobierania podstawowych biogenów rośliny (w warunkach stresu wywołanego oddziaływaniem ściekami krochmalniczymi) można podzielić na dwie grupy: (i) potasolubne (*Fagus sylvatica*, *Dryopteris carthusiana*, *Impatiens parviflora*) oraz (ii) uniwersalne – z dużym powinowactwem do azotu jak i potasu (*Urtica dioica*, *Rubus idaeus*). Gatunki te okazały się doskonałymi chemoindykatorami stanu siedliska.
2. 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.
3. Oczyszczanie i utylizacja ścieków w środowisku glebowo-roślinnym budzi zwykle wiele kontrowersji. Konsekwencje ekologiczne takiego wykorzystania ścieków to przede wszystkim groźne zakłócenia i przekształcenia w strukturze i funkcjonowaniu ekosystemów, w tym silna eutrofizacja lądowa, a w

konsekwencji ucieczka pierwiastków poza zasięg nawożonego układu glebowo-roślinnego i zanieczyszczenie wód powierzchniowych i podziemnych.

LITERATURA

- [1] 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.
- [2] 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 45, 2, Instytut Ekologii PAN, Dziekanów Leśny: 531-553.
- [3] 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 45, 2, Instytut Ekologii PAN, Dziekanów Leśny: 555-574.
- [4] Dyguś K. H. 1997c. *The influence of clear-cutting on the structure, floral and phytocenotic richness and on ecological processes in a forest ecosystem*. Polish Ecological Studies 23, 3-4, Instytut Ekologii PAN, Dziekanów Leśny: 89-106.
- [5] Dyguś K. H. 1999. *Reakcja ekosystemu leśnego na wieloletnie nawożenie ściekami przemysłu ziemniaczanego*. Sylwan 143, 10, Warszawa: 27-37.
- [6] Dyguś K. H. 2002. *The variability of vegetation in a forest ecosystem disturbed by long-term impact of starch sewage treatment*. Ecological Questions 1/2002, UMK, Toruń: 97-109.
- [7] Dyguś K. H. 2003. *The invasion of apophytes in the forest phytocenosis after long-term organic fertilization (starch sewage)*. In: A. Zajac, M. Zajac & B. Zemanek (Eds.) *Phytogeographical problems of synanthropic plants*. Institute of Botany Jagiellonian University, Cracow: 353.
- [8] Dyguś K. H. 2004a. *Invasion of synanthropic plants to a forest phytocenosis disturbed by an exogenous factor*. Ecological Questions 4/2004, UMK, Toruń: 59-64.
- [9] Dyguś K. H. 2004b. *Matter allocation in forest ecosystem plants in relation to site fertility*. Ecological Questions 5/2004, UMK, Toruń: 55-62.
- [10] Ellenberg H. 1974. *Zeigerwerte der Gfässpflanzen Mitteleuropas*. Göttingen, E. Goltze Verl., Scripta Geobotanica, 9: 97.
- [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. (ed.). 1998. *Plant population biology and vegetation processes*. W. Szafer Institute of Botany, PAS, Kraków, 368.
- [14] Faliński J. B., 1991. *Procesy ekologiczne w zbiorowiskach leśnych*. Phytocenosis 3, (N.S.), Seminarium Geobotanicum 1, Warszawa-Białowieża: 17-41.
- [15] Faliński J. B., 1998. *Vegetation dynamics - definition of processes*. In: K. Falińska (ed.), *Plant population biology and vegetation processes*. W. Szafer Institute of Botany PAS, Kraków, 368.
- [16] Landolt E. 1977. *Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora*. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich, 64, 208.
- [17] Matuszkiewicz W. 2001. *Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski*. PWN, Warszawa, 536.
- [18] Mirek Z., Piękoś-Mirkowa H., Zajac A., Zajac M. 2002. *Flowering plants and pteridophytes of Poland. A checklist*. W. Szafer Institute of Botany, Kraków, 442.
- [19] Olaczek R. 1972. *Formy antropogenicznej degeneracji leśnych zbiorowisk roślinnych w krajobrazie rolniczym Polski niżowej (mscr.)*. Wyd. UŁ, Łódź, 170.

- [20] Olaczek R., 1989. *Wpływ gospodarki zrębowej na zasoby genowe roślin leśnych*. Mat. Sem. Nauk. Nr 7, SGGW-AR, Warszawa, 182-192.
- [21] Szafran B. 1957. *Mchy (Musci) I. Flora Polska*. PWN, Warszawa, 447.
- [22] Szafran B. 1961. *Mchy (Musci) II. Flora Polska*. PWN, Warszawa, 405.
- [23] Zarzycki K., Trzcińska-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.

THE USE OF PHYTOINDICATION METHOD TO ASSESS THE STATE OF THE FOREST SEWAGE TREATMENT PLANT SITE OF THE STARCH INDUSTRY

The aim of the study was the presentation of plant and forest (fresh coniferous and mixed coniferous forest) site reaction to the stress of the starch sewage effect. The investigations were performed using the ecological phytoindication method according to Ellenberg and chemoindication method.

The method of ecological phytoindication showed that as a result of fertilization there developed plants of high trophic requirements with such species as *Rubus idaeus*, *Urtica dioica*, *Impatiens parviflora*, *Solanum dulcamara*, *Sambucus nigra*. The method of chemoindication showed the unevenness of biogenic element uptake by particular plant organs under stress. The highest increase of the concentration of nitrogen, phosphorus, chlorine and potassium were revealed in tree organs. Shrubs, perennial plants and herbaceous plants reacted with a clear increase of their concentrations of biogenic elements, and the main pool of them was accumulated by underground organs and over-ground last year shoots. At the same time the stress caused by fertilization with sewage resulted in the decrease of calcium and magnesium level in most of the analyzed plant organs.

The obtained results showed that the additional pool of biogenic elements contained in sewage and introduced into the forest site modified it and disturbed the use of these elements in the forest ecosystem. Ecological consequences of those changes may not be unimportant for the environment, especially for underground and surface water.