

REALIZACJA KONCEPCJI ZINTEGROWANEGO MONITORINGU ŚRODOWISKA PRZYRODNICZEGO W REGIONIE ŚWIĘTOKRZYSKIM W 10-LECIE JEGO INAUGURACJI

Marek Józwiak, Alojzy Kowalkowski

Józwiak M., Kowalkowski A., 2003: Realizacja koncepcji Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w regionie świętokrzyskim w 10-lecie jego inauguracji (*Implementation of the Integrated Environmental Monitoring in the Świętokrzyski Region in the 10th Anniversary of Its Inauguration*), Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego nr 4, s. 9-22, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce.

Zarys treści: Najlepszym indykatorem stanu środowiska jest sam ekosystem. Na tle informacji o Europejskiej Organizacji ICP Zintegrowany Monitoring przedstawiono organizację i zadania Zintegrowanego Monitoringu Środowiska w Polsce. W założeniach koncepcyjnych zrealizowano powstanie koncepcji merytorycznej i racjonalnej lokalizacji stacji pomiarowej monitoringu Akademii Świętokrzyskiej na terenie Świętokrzyskiego Parku Narodowego. W oparciu o wyniki 10-letniego monitoringu geoekosystemu leśno-rolnej zlewni omówiono skutki ekologiczne emisji w badanym ekosystemie leśnym. Wyniki monitoringu zintegrowanego są wykorzystywane bezpośrednio w praktyce zarządzania i będą podstawą tworzenia systemu środowiskowych indykatorów dla rozwoju racjonalnej zrównoważonej gospodarki w ekosystemach. W okresie 10 lat powstała znacząca współpraca z krajowymi i zagranicznymi ośrodkami zajmującymi się monitoringiem środowiska przyrodniczego oraz znaczący dorobek publikacyjny, dydaktyczny i aktywności upowszechniającej ten dorobek.

Marek Józwiak, Akademia Świętokrzyska, Stacja Monitoringu, Zakład Ochrony i Kształtowania Środowiska Instytutu Geografii, ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce, marjo@pu.kielce.pl

Alojzy Kowalkowski, Akademia Świętokrzyska, Stacja Monitoringu, ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce

1. Wprowadzenie

W organizacji Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego dziesięciolecie jest zaledwie wstępną rozpoznawczą fazą jego działalności. Jest to okres krótki w porównaniu z funkcjonującymi w krajach zachodnich stacjami monitoringu zintegrowanego, dostarczającymi szczegółowe dane o ekosystemach i zlewniach od momentu powołania przez UNESCO programu *Człowiek i biosfera* w roku 1970 oraz ustanowionego przez ICSU w roku 1986 *Międzynarodowego Programu Geosfera i Biosfera (IGBP)*. Te nie wykorzystane przez polską naukę międzynarodowe programy były podstawą inauguracji licznych znaczących projektów badawczych, wśród których uwagę w Europie zwracają projekt *Bornhöveder Seenkette* podjęty w roku 1987 w Kilonii (Fränzle

1997; Fränzle et al. 1987) oraz już znacznie wcześniej w roku 1966 zainicjowany w Getyndze projekt „*Ekosystemy leśne*” zlokalizowany w lasach Sollingu (Ulrich, Mayer 1973; Ulrich, Mayer, Khanna 1979).

Uznany w roku 1990 przez UNESCO za międzynarodowy pilotowy projekt *Bornhöveder Seenkette* już w roku 1989 zatrudnił 26 specjalistycznych grup roboczych badających kompleksowo zespoły ekosystemów terestrycznych i wodnych w staro- i młodomo- renowych krajobrazach o powierzchni 15 km². Wiadomo, że najlepszym indykatorem stanu środowiska jest sam ekosystem (Keane et al. 1992). Alternatywą tego jest konieczność wykonania pomiarów setek pojedynczych parametrów odnoszących się do jakości powietrza, wody, gleb i „życia”. Jednak stale jeszcze nierozwiązanym problemem jest znalezienie kluczowych informacji o stanach tego systemu.

Do najważniejszych osiągnięć dotychczasowych badań należy zrozumienie, że zachowanie się pewnego systemu przyrodniczego lub jego dynamika, mogą być określone linijnymi wówczas, gdy przy odpowiedniej kwantyfikacji wszystkich wielkości określona podwójnie dana przyczyna wywołuje podwójne działanie. W przypadku innych zależności system jest nieliniowy.

Badania komputerowe ostatnich lat wykazały, że nawet bardzo proste nieliniowości mogą wywoływać nader kompleksowe zachowania, w których porządek i chaos są sobie bardzo bliskie. Chaos w tym związku znaczy po prostu nie to samo co nieporządek, lecz wyraża spotykane w wielu systemach właściwości. W każdym z podsystemów przypadkowe i bardzo nieraz nieznaczne wydające się wpływy bodźców zewnętrznych lub wewnętrznych mogą mieć w skutku

nieprzewidywalne, skuteczne zmiany strukturalne. Najtrudniejsze do poznania według Blume i wsp. (1992) są w końcu przebiccia w hierarchii, spowodowane przez wewnętrzne lub zewnętrzne zakłócenia.

2. Informacja o europejskiej organizacji ICP Zintegrowany Monitoring

Aktywności ICP IM (*International Cooperation Programme on Integrated Monitoring*) zostały podjęte w połowie lat osiemdziesiątych w formie wspólnego nordyckiego programu współpracy Rady Ministrów Państw Nordyckich. W okresie lat 1989–1999 program ten był realizowany jako pilotowy w ramach CLRTAP (*Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution*), od roku 1999 stał się programem cią-

Tab. 1. Badania wykonywane w programie ICP Lasy poziom II i ICP Zintegrowany Monitoring na powierzchniach leśnych i na wszystkich powierzchniach (F/A II) (wg de Vries et al. 2002)

Table 1. Investigations carried out in ICP Forests Level II and ICP Integrated Monitoring Programme on Forest areas and on all areas (F/A III) (after de Vries et al. 2002)

Przeprowadzane badania <i>Investigations surveyed</i>	ICP Lasy poziom II <i>ICP Forests Level II</i>			ICP Zintegrowany Monitoring <i>ICP Integrated Monitoring</i>		
	Częstotliwość <i>Intensity</i>	Zakres <i>Range</i>	Liczba powierzchni <i>Numbers of areas</i>	Częstotliwość <i>Intensity</i>	Zakres <i>Range</i>	F/A 11 <i>Numbers of areas</i>
Opad atmosferyczny (opad całkowity, opad podkoronowy, spływ po pnich)	tygodniowo-miesięczne	część powierzchni	496	tygodniowo-miesięczne	część siedlisk (opad całkowity wszystkie)	43/51
Jakość powietrza otaczającego	dziennie-tygodniowo	część powierzchni	79	dziennie-tygodniowo	część siedlisk	36/42
Zagrożenie ozonem	rocznie	część powierzchni	79			
Warunki meteorologiczne	dziennie	część powierzchni	201	dziennie	część siedlisk	35/42
Stany koron	rocznie	wszystkie powierzchnie	862	rocznie	część siedlisk	31
Skład chemiczny organów asymilacyjnych	co 2 lata	wszystkie powierzchnie	855	rocznie	część siedlisk	32
Ściółka (skład chemiczny) ¹⁾	rocznie	część powierzchni	350	rocznie	część siedlisk	15
Wzrost drzew	co 5 lat	wszystkie powierzchnie	858	co 5 lat	część siedlisk	15
Inwentaryzacja roślin dna lasu	co 1-5 lat	część powierzchni	634	co 1-5 lat ²⁾	część siedlisk	25
Skład metali w mchach	-	-		co 5 lat	część siedlisk	22
Skład chemiczny gleb	co 10 lat	wszystkie powierzchnie	862	co 5 lat	wszystkie siedliska	36/38
Skład chemiczny wód glebowych	tygodniowo-miesięczne	część powierzchni	250	tygodniowo-miesięczne	część siedlisk	41/51
Skład chemiczny wód gruntowych i jeziornych	-	-		co 2-6 miesięcy	część siedlisk	18/20
Skład chemiczny wód przepływowych	-	-		dziennie-miesięczne	część siedlisk	27/32
Inwentaryzacja ptaków	-	-		co 3-5 lat	część siedlisk	6
Fenologia	rocznie	część powierzchni	44	-	-	
Rozkład mikrobiologiczny	-	-		rocznie	część siedlisk	15
Hydrobiologia cieków i jezior	-	-		co 6 miesięcy	część siedlisk	6
Teledetekcja	co 5 lub 10 lat	część powierzchni	385	-	-	

1) Na niektórych powierzchniach tylko opad ściółki z wyłączeniem składu chemicznego liści i igliwia

2) Obejmuje odrębne badanie epifitów nadrzewnych i obszarowych-zielonych glonów

głym ICP. Zadania tego programu zostały sformułowane następująco:

- monitoring stanu biologicznego, chemicznego i fizycznego ekosystemów zlewni (powierzchni) w czasie w celu wyjaśnienia zmian w układach przyczynowych czynników środowiskowych, włączając zmiany naturalne, zmiany zanieczyszczenia powietrza i zmiany klimatu, dla stworzenia naukowych podstaw kontroli emisji;
- rozwijanie i weryfikacja modeli symulacyjnych reakcji ekosystemów w stosunku do:
 - a) estymowanych reakcji na aktualne lub przewidywane zmiany stresu zanieczyszczeniowego,

oraz

- b) dokonywania regionalnych szacunków zmian przy wykorzystaniu danych badawczych;
- biomonitoring dla wykrywania naturalnych zmian, a szczególnie do szacowania efektywności oddziaływania zanieczyszczeń powietrza i zmian klimatu w ekosystemie.

Pełne wdrożenie ICP IM ma uwzględnić także określenie ekologicznych efektów metali ciężkich, trwałych organicznych substancji i troposferycznego ozonu w środowisku. Punkty monitoringu ICP IM, przeważnie w zalesionych zlewniach są zlokalizowane w obszarach nie zmienionych, takich jak parki przy-

Tab. 2. Kluczowe parametry opisujące „chemiczne i ekologiczne” stany systemów leśnych i wodnych oraz stres środowiskowy w ekosystemach (wg de Vriese i wsp. 2002)

Table 2. Key parameters describing the „chemical and ecological” forest and water systems states and environmental stress in ecosystem (after de Vries et al. 2002)

Typ parametru Key of parameter		Kluczowe parametry ICP Lasy Poziomu II Key of parameters of ICP Forests Level II	Kluczowe parametry ICP Zintegrowany Monitoring Key of parameters of ICP Integrated Monitoring
Czynniki siedliskowe	Charakterystyka drzewostanu	Rodzaj drzewa, wiek drzewa	Informacja w skali zasięgu powierzchni o typie roślinności, dominujących rodzajach drzew i typie gleby
	Charakterystyka siedliska	Region klimatyczny, wzniesienie n.p.m., typ gleby	Informacja w skali zlewni / siedliska odnośnie wzniesienia n.p.m., typu roślinności, typu gleby
Czynniki stresowe	Stres biotyczny	Szacowanie typu zagrożeń	Szacowane typy zagrożeń drzew
	Zanieczyszczenia powietrza	SO ₄ , NO ₃ , NH ₄ , Ca, Mg, K, pH w opadzie całkowitym, w opadzie podkoronowym (niekiedy spływ po pniach)	SO ₄ , NO ₃ , NH ₄ , Ca, Mg, K, pH w opadzie całkowitym, w opadzie podkoronowym (niekiedy spływ po pniach)
	Jakość powietrza	Próbki pasywne O ₃ , SO ₂ , NO ₂ , NO ₃ +HNO ₃ , NH ₃ +NH ₄	Pomiary gazów i aerozoli: O ₃ , SO ₂ , NO ₂ , NO ₃ +HNO ₃ , NH ₃ +NH ₄
	Meteorologia	Opady, temperatury, siła i kierunki wiatru, globalne promieniowanie, wilgotność powietrza	Opady, temperatury, siła i kierunki wiatru, globalne promieniowanie, wilgotność powietrza
Stan biologiczny	Stan koron	Defoliacja, przebarwienia	Defoliacja, przebarwienia
	Przyrosty	Średnica na wysokości pierśnicy, wysokość drzew	
	Roślinność dna lasu	Skład gatunkowy i pokrycie	Skład gatunkowy, pokrycie rodzajami na stałych powierzchniach wegetacyjnych, straty dekompozycji, aktywność fotosyntezy ¹⁾ , oddychanie glebowe ¹⁾ , mineralizacja N ¹⁾
	Zagrożenia ozonem	Zagrożenia liści wystawionych na działanie ozonem	
Stan chemiczny	Skład liści		
	-makroskładniki odżywcze	N, P, S, Ca, Mg, K, N/P, N/Mg, N/K	N, P, S, Ca, Mg, K, C
	-mikroskładniki odżywcze	Fe, Mn, Cu, Zn	Fe, Mn, Cu, Zn
	-składniki toksyczne	Al, Pb, Cd	Al, Pb, Cd
	Skład gleby		
	-węgiel	C	C
	-składniki odżywcze	N, P, Ca, Mg, K, C/N, N/P	N, P, wymienne Ca, Mg, K
-kwasowość	pH, wysycenie zasadami ²⁾	pH, wysycenie zasadami	
-składniki toksyczne	Pb, Cd, Cu, Zn	Pb, Cd, Cu, Zn	
Roztwór glebowy	SO ₄ , NO ₃ , NH ₄ , Ca, Mg, K, Al, Fe, Mn,	SO ₄ , NO ₃ , NH ₄ , Ca, Mg, K, Al, Fe, Mn, pH,	
chemizm	pH, DOC	DOC	
Wody powierzchniowe		SO ₄ , NO ₃ , NH ₄ , Ca, Mg, K, Al, Fe, Mn, pH,	
chemizm		DOC	

1) Ten parametr może być obliczony z obowiązkowych parametrów meteorologicznych

2) Te parametry są trudno dostępne lub niedostępne

rody lub w porównywalnych obszarach. Współcześnie europejska sieć ICP IM obejmuje około 50 stanowisk w 21 krajach. Testowanie zakresu wykonywanych pomiarów w stacjach ICP IM w porównaniu z zakresem pomiarów ICP Las poziom II przedstawiono w tabeli 1. Porównawczy przegląd kluczowych parametrów uzyskiwanych w ICP IM oraz w ICP Las poziom II przedstawiono w tabeli 2.

Zlewnie badane w systemie ICP IM są rozmieszczone na terenie Europy nierównomiernie, w lasach nie zagospodarowanych, w starych drzewostanach naturalnych o długiej kontynuacyjności, często będących rezerwatami przyrody, bez pozyskiwania drewna. Ważną korzyścią realizacji wspólnego programu ICP IM jest rozwijanie i testowanie modeli, które mogą być adaptowane i stosowane w systemie ICP Lasy poziom II, w celu poznawania szerokiej skali zdarzeń na podstawie pomiarów wybranych, określonych parametrów lasów.

3. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego w Polsce

Zgodnie z Rozporządzeniem Rady EWG/210/90 z dnia 7 maja 1990 o utworzeniu i zadaniach Europejskiej Agencji Ochrony Środowiska utworzona w roku 1991 Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska powołała Państwowy Monitoring Środowiska. W jego skład, w bloku jakości środowiska, wszedł Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego ZMŚP, od roku 1998 funkcjonujący autonomicznie. Podsystem ten miał być powiązany z programem europejskiego monitoringu zintegrowanego ICP IM.

Zadaniem ZMŚP jest ocena stanu i funkcjonowania wybranych podstawowych typów geosystemów Polski w zakresie:

- zbierania podstawowych danych jakościowych i ilościowych o stanie aktualnym geosystemów,
- poznania mechanizmów obiegu energii i materii w wybranych geosystemach Polski,
- rejestracji i analizy krótko- i długookresowych zmian zachodzących w geosystemach pod wpływem zmian klimatu, zanieczyszczeń i innych przejawów ingerencji człowieka,
- określenia rodzaju i charakteru zagrożeń geosystemów oraz wskazania dróg ich zapobiegania,

- wskazania tendencji rozwoju geosystemów (przyczyny krótko- i długookresowe) oraz sposobów ochrony i zachowania ich zasobów.

Podstawową jednostką badawczą w programie ZMŚP jest zlewnia rzeczna reprezentatywna dla danego geosystemu. Program pomiarowy ZMŚP obejmuje: meteorologię, chemizm powietrza, chemizm opadów atmosferycznych i pokrywy śnieżnej, chemizm opadu podokapowego, chemizm spływu po pniach, metale ciężkie w mchach, chemizm roztworów glebowych, chemizm gleb, wody gruntowe, chemizm organów asymilacyjnych, chemizm opadu biologicznego, parametry fizyczno-chemiczne rzek i jezior, hydrologię rzek i jezior, florę zlewni reprezentatywnej, strukturę i dynamikę szaty roślinnej, uszkodzenia drzewostanów, inwentaryzację drzewostanów, epifity nadrzewne, rozkład mikrobiologiczny ściółki, faunę bezkręgową (program PMS 1998).

4. Założenia koncepcyjne zintegrowanego monitoringu w regionie świętokrzyskim

Podróż poznawcza w USA i w Japonii w roku 1971 dotycząca organizacji systemów monitoringu środowiskowego w tych zaawansowanych technicznie krajach, a także wielokrotne bezpośrednie kontakty z autorami projektów *Bornhöveder Seenkette* w Kilonii oraz projektu *Ekosystemy leśne* w Getyndze stały się impulsem do podjęcia w nowo utworzonym Zakładzie Geografii Gleb i Ochrony Przyrody w Instytucie Geografii WSP w Kielcach w roku 1986 wstępnych prac nad koncepcją uruchomienia w regionie świętokrzyskim systemu monitoringu środowiska przyrodniczego według zasad technicznych stosowanych w krajach zachodnich.

W latach 1988–1990, dzięki dotacji uzyskanej z Ministerstwa Edukacji Narodowej, wykonano badania wyprzedzające dotyczące koncepcji monitoringu i naukowej podstawy racjonalnej lokalizacji stacji pomiarowej. Na podstawie tych badań przyjęto założenie, że w regionie świętokrzyskim ekosystemy leśne znajdują się pod silną antropogeniczną presją powodującą przeciwstawne procesy silnej alkalizacji oraz silnego zakwaszania z powietrza. Na obszarze tak zwanego *Białego Zagłębia* o powierzchni 1032 km² stwierdzono przesunięcie zakresów buforowości gleb z wymiennego do krzemianowego i węglanowego wskutek długotrwałej emisji pyłów wapniowych

i cementowych emitowanych przez Zakłady Cementowo-Wapiennicze Sitkówka-Nowiny i Małogoszcz (Kowalkowski et al. 1993). Następstwem alkalizacji jest zmiana warunków siedliskowych, odzwierciedlona wypieraniem w ekosystemach leśnych gatunków borowych przez gatunki lasów świetlistych (Świercz 1997). Na dużych obszarach regionu, dominujących poza zasięgiem emisji alkalicznej, istnieje stała kwaśna imisja z powietrza atmosferycznego. Wywołuje ona postępujące zakwaszanie gleb i ich podłoża do zakresów buforowości glinowej i żelazowej, stwarzających niekorzystne warunki rozwoju flory i fauny glebowej, a szczególnie zagrożenie toksyczne środowiska wzrostu korzeni drzew i krzewów. Efektem następczym tego jest silne zakwaszenie wód glebowych, podziemnych i powierzchniowych.

Przy założeniu obowiązującym w stacjach monitoringu zintegrowanego, badania obiegu materii i energii w obrębie zlewni przyjęto koncepcję lokalizacji stacji monitoringu na głównym masywie Łysogór w obszarze Łyśca, na terenie Świętokrzyskiego Parku Narodowego z naturalnym drzewostanem nie eksploatowanym z silnie zaznaczającymi się intensywnymi procesami przemian charakterystycznych dla ekosystemu zakwaszanego. Do celów porównawczych i lepszego zrozumienia charakteru zachodzących przemian wytypowano dodatkowo masyw Malika z Jaskinią Raj w obrębie obszaru zakwaszowanego.

Dzięki wygraniu konkursu w KBN na temat *Ewolucja i współczesne procesy środowiskowe w regionie świętokrzyskim* na lata 1991–1993 otrzymano fundusze przeznaczone na budowę stacji monitoringu zintegrowanego. Powstała wówczas korzystna sytuacja, sprzyjająca sygnowaniu przez Rektora ówczesnej Wyższej Szkoły Pedagogicznej i Politechniki Świętokrzyskiej oraz przez Wojewodę Kieleckiego listy intencyjnej z datą 5 grudnia 1991 roku precyzującej koncepcję tworzenia regionalnego świętokrzyskiego monitoringu środowiska. Monitoring ten miał być oparty na dwóch wszechstronnie wyposażonych stacjach zintegrowanego monitoringu środowiska przyrodniczego, będących własnością Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Kielcach.

Na podstawie porozumienia zawartego między Głównym Inspektorem Ochrony Środowiska w Warszawie i Koordynatorem ZMŚP w Poznaniu a Rektorem Wyższej Szkoły Pedagogicznej, Dyrekcją Świętokrzyskiego Parku Narodowego i Kieleckim Woje-

wódzkim Inspektorem Ochrony Środowiska Stacja Święty Krzyż z dniem 29.09.1993 roku, po jej uruchomieniu w maju tego roku, warunkowo weszła w skład siedmiu stacji ZMŚP zlokalizowanych na obszarach reprezentujących podstawowe typy krajobrazów Polski. W związku z wyposażeniem Stacji w bardzo precyzyjną, automatyczną aparaturę do mierzenia stężeń zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego japońskiej firmy Horiba, Główny Inspektor Ochrony Środowiska zarządzeniem wewnętrznym Nr 2, z dniem 20.01.1995 włączył ją do krajowej sieci podstawowej monitoringu powietrza. Tym samym Stacja znalazła się w wykazie 89 stacji wykonujących w roku 1995 pomiary zanieczyszczeń SO₂, NO₂, pyłu i O₃. Po przerwie od początku roku 1996 z dniem 1 stycznia 1999 roku Stacja została ponownie włączona do krajowej sieci Stacji Bazowych Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. Był to skutek podjętej przez Senat Wyższej Szkoły Pedagogicznej uchwały z dnia 23 września 1998 roku i wydanego przez rektora Uczelni zarządzenia nr 35/98 o powołaniu z dniem 1 października 1998 roku ogólnouczelnianej jednostki organizacyjnej pod nazwą Stacja Monitoringu. Ponadto Stacja uczestniczy w programie badań jakości środowiska województwa świętokrzyskiego w zakresie zanieczyszczenia powietrza, realizowanym przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Kielcach.

5. Ważniejsze wyniki monitoringu świętokrzyskiego

Wyniki pomiarów zanieczyszczeń powietrza prowadzonych w ramach realizacji programu badawczego Stacji Monitoringu Akademii Świętokrzyskiej w ekosystemie leśnym w centralnej części Gór Świętokrzyskich są odzwierciedleniem zmian zachodzących w czasie, w polu emisji zanieczyszczeń pierwotnych powietrza oraz produktów ich przemian fotochemicznych i chemicznych zachodzących w określonych warunkach meteorologicznych podczas zdalnego i bliskiego ich transportu z masami powietrza. Imisja jest końcową fazą funkcjonowania wyemitowanych do atmosfery i transmitowanych związków gazowych i cząstek stałych, podczas której przechodzą one z powietrza atmosferycznego do roślin, gleb i wód powierzchniowych.

Tab. 3. Programy pomiarowe ZMŚP realizowane na Stacji Bazowej Święty Krzyż

Kod programu Nazwa	Ilość mierzonych parametrów	Programy pomiarowe do realizacji w 2002 r.	Częstotliwość pomiarów	Lokalizacja pomiarów
A1 Meteorologia <i>Meteorology</i>	11	Temperatury powietrza na 2,0 i 30,0 m Temperatury powietrza minimalne na 2,0 i 30,0 m Temperatury powietrza maksymalne na 2,0 i 30,0 m Temperatury powietrza przy powierzchni gleby +5cm Wilgotność względna powietrza na 2,0 i 30,0 m Opady atmosferyczne na 30 m Prędkość wiatru na 30 m Kierunek wiatru na 30 m Temperatura gleby na 5, 10, 20, 50, 100, 150 cm Nasłonecznienie na 30,0 m Promieniowanie całkowite	ciągłe ciągłe ciągłe ciągłe ciągłe ciągłe ciągłe ciągłe ciągłe ciągłe ciągłe	maszt maszt maszt poletko A maszt maszt maszt maszt poletko A maszt maszt
B1 Chemizm powietrza <i>Air chemistry</i>	6	Stężenia SO ₂ na 30,0 m (metoda NO, NO ₂ na 30,0 m aktywna) O ₃ na 30,0 m CO na 30,0 m pył zawieszony na 3,0 m (metoda NO ₂ pasywna) SO ₂	ciągłe ciągłe ciągłe ciągłe ciągłe 1 w miesiącu 1 w miesiącu	maszt maszt maszt maszt kontener zlewnia 2 punkty zlewnia 2 punkty
C1 Chemizm opadów atmosferycznych i pokrywy śnieżnej <i>Atmospheric precipitation chemistry and of snow cover</i>	18	Temperatury Przewodność elektrolityczna właściwa Odczyn S-SO ₄ ; N-NO ₃ ; N-NH ₄ ; P-PO ₄ ; Cl; K; Ca; Mg; Na; Mn; Fe; Al; Zn; Pb; HCO ₃	1 w tygodniu 1 w tygodniu 1 w tygodniu 1 w miesiącu	maszt na 30,0 m i nad powierzchnią gleby
C2 i C3 Chemizm opadu śródkoronowego i spływu po pniach <i>Throughfall chemistry Stemflow chemistry</i>	20	Temperatury Przewodność elektrolityczna właściwa Odczyn S-SO ₄ ; N-NO ₃ ; N-NH ₄ ; P-PO ₄ ; Cl; K; Ca; Mg; Na; Mn; Fe; Al; Zn; Pb; HCO ₃	1 w tygodniu 1 w tygodniu 1 w tygodniu 1 w miesiącu	Poletka A i B po 5 punktów
E1 Gleby <i>Soils</i>	18	Corg Nog pH zawiesiny w H ₂ O pH zawiesiny w CaCl ₂ pH zawiesiny w KCl całkowita kwasowość wymienna kationowa pojemność wymienna efektywna kationowa pojemność wymienna potencjalna wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami Al wymienny Ca wymienny Mg wymienny K wymienny Na wymienny P ogólny S ogólna Skład granulometryczny Gęstość objętościowa	1 na 5 lat wszystkie	Powierzchnia badań glebowych
F1 Chemizm roztworów glebowych <i>Soil solution chemistry</i>	18	Przewodność elektrolityczna właściwa Odczyn Ilość roztworu S-SO ₄ ; N-NO ₃ ; N-NH ₄ ; P-PO ₄ ; Cl; K; Ca; Mg; Na; Mn; Fe; Al; Zn; Pb; HCO ₃	1 w tygodniu 1 w tygodniu 1 w tygodniu 1 w miesiącu	Poletko A na głębokościach 15, 30, 60, 90, 120 cm

Tab. 3. cd.

F2 Wody gruntowe <i>Ground water chemistry</i>	19	Przewodność elektrolityczna właściwa Odczyn Temperatury Wydajność S-SO ₄ ; N-NO ₃ ; N-NH ₄ ; P-PO ₄ ; Cl; K; Ca; Mg; Na; Mn; Fe; Al; Zn; Pb; HCO ₃	1 w tygodniu (Z1, Z2, S1, S2) codziennie (Z3) 1 w miesiącu (Z2, Z3) 4 w roku (S1, S2) wszystkie	Zlewnia Z1, Z2, Z3 S1, S2
G1 Chemizm organów asymilacyjnych <i>Assimilation organs chemistry</i>	16	Masa sucha; Corg; Nog; S; P; Ca; Mg; K; Na; Mn; Fe; Co; Ni; Zn; Cu; Pb	1 w roku wszystkie	Zlewnia część górna i dolna Igły jodły i liście buka oraz pędy ostatniego przyrostu
G2 Chemizm opadu biologicznego <i>Biological fall chemistry</i>	16	Masa opadu świeża Masa opadu sucha Corg; Nog; S; P; Ca; Mg; K; Na; Fe; Co; Ni; Zn; Cu; Pb	1 w miesiącu wszystkie	Poletka A i B z podziałem opadu na frakcje
H1 Wody powierzchniowe (rzeki, potoki) <i>Surface waters (rivers, streams)</i>	20	Przepływ Temperatury Odczyn Przewodność elektrolityczna właściwa S-SO ₄ ; N-NO ₃ ; N-NH ₄ ; P-PO ₄ ; Cl; K; Ca; Mg; Na; Mn; Fe; Al; Zn; Pb; HCO ₃ ; Pog	codziennie codziennie codziennie codziennie 1 w miesiącu	Zlewnia Punkty C5, C6
J1 Flora i roślinność <i>Flora and plants</i>	2	Zdjęcia fitosocjologiczne Kartogramy rozmieszczenia drzew i krzewów	1 na 5 lat (1995, 2001)	Obszar Stacji
J2 Struktura i dynamika szaty roślinnej <i>Vegetation structure and dynamics</i>	9	Drzewostan – liczba drzew żywych – liczba drzew martwych stojących – liczba drzew martwych leżących – liczba pniaków – pierśnica drzew żywych – pierśnica drzew martwych stojących – pierśnica drzew martwych leżących – średnica pniaków – rzut koron drzewostanu na powierzchnię gleby	1 na 3-5 lat (1995, 2001) wszystkie	Obszar Stacji
K1 Uszkodzenie drzew i drzewostanu <i>Damages of trees and stands</i>	1	Stopnie defoliacji jodły i buka	1 w roku (2002)	Zlewnia
L1 Inwentaryzacja drzewostanów <i>Stands inventarisation</i>	2	Lokalizacja drzew i krzewów w biogrupach Pierśnica Wysokość	1 w 3-5 latach wszystkie	Zlewnia
M1 Epifity nadrzewne <i>On tree epiphytes</i>	11	Pokrycie Maksymalna długość plechy Klasa żywotności Obwód pnia drzewa (podłoża) Lokalizacja plechy na pniu (podłoża) Niektóre składniki chemiczne na Hypogymnium physodes S; Pb; Zn; Cu; Cd; Fe	1 do 5 lat wszystkie	Zlewnia
O1 Fauna bezkęgową i malakofauna <i>Invertebrates and malacofauna</i>	6	Carabidae – liczebność – struktura dominacyjna – struktura troficzna Malakofauna – liczebność – struktura dominacyjna – struktura troficzna	1 w miesiącu (od IV do IX) wszystkie 2 w roku wszystkie	Zlewnia część górna + obszar Stacji Zlewnia

Na badanym terenie przewaga w ciągu roku dni z wilgotnością powietrza ponad 70%, wysokie na ogół sumy roczne opadów, stosunkowo długie okresy z małą prędkością wiatru są czynnikami umożliwiającymi długotrwałe i zmienne oddziaływanie mas powietrza, zawierających emisje przemysłowe i produkty ich przemian fotochemicznych w atmosferze z emitorów zasięgu bliskiego (do 50 km), średniego (50–100 km) i dalekiego (ponad 100 km), na hydrosferę, pedosferę i litosferę. Intensywność imisji i jej oddziaływania na te składniki ekosystemu rośnie z wzniesieniem nad poziom morza, osiągając maksymalne wielkości powyżej 450 m n.p.m.

Średnie stężenie SO_2 za lata 1994–2002 wynoszące $19,64 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, z wieloma krótkotrwałymi maksimami dochodzącymi do $107,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, łącznie ze średnimi stężeniami NO_2 wynoszącymi $6,66 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, a także wysokie stężenia CO wynoszące średnio $453,53 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, decydują o przewadze występowania na badanym terenie kwaśnych deszczy. Średnie ważone wartości pH opadów deszczu wahały się od 4,54 w 1994 roku do 5,19 w roku 2002. Źródłem ich zakwaszenia są aniony silnych kwasów – siarka siarczaniowa i azot azotanowy oraz chlorki. Wielkości ładunków ich depozycji do podłoża glebowego z wodami opadowymi średnio wynoszą $25,05 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ S- SO_4 , i $10,64 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ N- NO_3 i $19,23 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ Cl. Łączna roczna depozycja tych składników, o silnym kwasowym działaniu, z opadem bezpośrednim w ekosystemie leśnym wynosi $274,62 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Kowalkowski 1994, 1995; Józwiak 1996, 1997, 1998; Kowalkowski et al. 2000; Józwiak, Kozłowski 1999; Józwiak et al. 2001, 2002).

Znacznie zmienione właściwości mają wody opadowe przenikające przez korony drzew – wody opadu podkoronowego. Chwytniki opadu rozmieszczone pod koronami drzewostanu jodłowo-grabowo-bukowego i bukowego wykazują różny i bardzo zmienny w czasie wpływ tych drzewostanów na właściwości wód opadowych. W koronach drzewostanu jodłowo-grabowo-bukowego wody te ulegają zakwaszeniu do średnio pH 4,37 w 1994 r. i do pH 4,39 w 2002 r.; natomiast w koronach drzewostanu bukowego są one odkwaszane do wartości pH 5,00 w roku 1994 i do pH 4,98 w 2002 r. Jednocześnie następuje proces ługowania z organów asymilacyjnych i drobnych gałęzi drzew jonów Ca+Mg+K+Na, których średnie stężenie w opadzie podkoronowym w latach 1994–2002 wynosiło $49,12 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. W porównaniu z zawartością tych jonów w wodzie opadowej nad koronami, na „wejściu” stwier-

dza się 8-krotny wzrost ich stężeń w opadzie podokopowym w drzewostanie bukowo-jodłowym i 6-krotny w drzewostanie bukowym. Jeszcze większemu zakwaszeniu ulegają wody spływające po pniach drzew. Kwasowość wód spływających po pniach jodeł była zazwyczaj znacznie obniżona – w roku 2000 wynosiła średnio pH 4,02 – a także spływających po pniach buków do pH 4,10 z minimum pH 2,91. Czynnikami zakwaszającymi te wody są głównie S- SO_4 , Cl, N- NO_3 , N- NH_4 i Mn oraz rozpuszczalne kwasy organiczne pochodzące z drzew. Jednocześnie zawierają one znaczne ilości wyługowanych zasadowych kationów Ca i K wymytych z kory drzew.

Działające bezpośrednio z powietrza, w tak zwanym opadzie suchym i wilgotnym i pośrednio przez kwaśne deszcze, w tak zwanym opadzie mokrym, z wtórnie zakwaszonymi wodami glebowo-stokowymi, związki i jony azotu i siarki pochodzenia antropogenicznego oraz znaczne stężenia protonów wodoru pochodzącego z wymiany jonowej, są w środowisku gleb ekosystemu leśnego Świętokrzyskiego Parku Narodowego stymulatorami nowych imisjogennych procesów przemian chemicznych i fizykochemicznych. Na słabo nachylonych terasach krioplanacyjnych, charakteryzujących się periperkolatywnymi ruchami wód glebowych, zbita i trudno przepuszczalna dla wód plejstocenska pokrywa soliflukcyjna często znajduje się na powierzchni gleb lub blisko pod nią. Powoduje to długotrwałe w ciągu roku nasycanie gleb wodami stagnującymi pochodzenia opadowego, które zawierają agresywne jony Al, Fe i rozpuszczone kwaśne związki organiczne pochodzenia roślinnego i glebowego. Wody te przemieszczają się śródglebowo głównie wzdłuż współczesnych lub starych otworów korzeniowych oraz siecią szczelin wysychania w dół stoku i wywołują w pokrywie soliflukcyjnej długotrwałe warunki beztlenowe, tworząc ekologiczną barierę dla rozwoju systemów korzeniowych drzewostanu. W okresach bezdeszczowych w roztworach glebowych występują szczególnie wysokie stężenia szkodliwych dla korzeni związków siarki i azotu oraz jonów wolnego żelaza i glinu. Charakterystyczny zespół oddziaływań warunków glebowo-wodnych i długotrwała znacząca imisja kwasowych substancji z powietrza spowodowały przesunięcie kwasowości gleb do zakresu buforowości glinowej i żelazowej na całych głębokościach profili glebowych, a w glebach przyszczytowych obszarów – nawet do podglebowych warstw zwietrzelinowych i podłoża skalnego (Kowalkowski, Józwiak 2000a).

Z przemysłowym typem gospodarki wodnej w glebach i kwaśnymi opadami związany jest także odczyn wód podziemnych w ekosystemie leśnym w centralnej części Gór Świętokrzyskich. W badanych źródłach północnego stoku, pod gołoborzami, w Świętokrzyskim Parku Narodowym na wysokości ponad 500 m n.p.m. w okresie od 1994 r. do 2002 r. średnie pH wahało się od 4,20 (1995 r.) do 3,63 (1998 r.). W dynamice silnie kwaśnych do kwaśnych wód tych źródeł zaznacza się postępujące zakwaszenie w czasie. Mniej kwaśne są wody w źródle Z3, ze średnimi pH od 4,96 (1994) do 4,61 (1998 r.) w dolnej części stoku, migrujące w glebach i zwietrzelinach w dół stoku. Wskazuje to na okresowo zmienne lecz ciągle wzbogacanie tych wód w wymywane z gleb i z podłoża, w części stokowej, zlewni zasadowych i/lub kwasowych składników. Wody źródeł charakteryzują zróżnicowane stężenia badanych pierwiastków w zależności od położenia w obrębie stoku. Stężenia Ca^{2+} i Mg^{2+} w wodach źródeł pod gołoborzami są stosunkowo niskie. Wielokrotnie wyższe są stężenia tych jonów w wodach źródła znajdującego się w dolnej części stoku (Z3). Wskazuje to na wymywanie tych elementów z gleb podczas transportu śródglebowego wód pochodzenia opadowego. Inny jest rodzaj migracji Fe i Mn, których stężenia w wodach Z3, w dolnej części stoku są na ogół niższe niż w wodach Z1 i Z2 w górnej części stoku. Z tego należy wnioskować, że jony te podczas migracji śródglebowej są kumulowane w glebach lub selektywnie pobierane przez korzenie drzew i innych głębiej korzeniących się roślin.

Skład chemiczny wód badanych potoków (C4, C5) płynących w dolnej części stoku wskazuje na dużą zawartość siarki siarczanowej ($20,16 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) i glinu ($143 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) wymywanych z gleb na stoku.

Wielkości masy opadu organicznego w latach 1994–2002 miały przebieg zbliżony do sinusoidy. Wysoki opad tak zwanej ściółki wystąpił w latach 1995–1996 i 2001–2002, niski był w latach 1997–2000. Średnie roczne jego wielkości były stosunkowo wysokie, wynosiły w drzewostanie jodłowo-bukowym $4058,8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$, w drzewostanie bukowym – $4316,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$, ze znacznymi wahaniami masy od $2636,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ do $7984,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$, uzależnionymi od przebiegu warunków pogodowych i wystąpienia roku nasiennego. Pomimo podobnego ilościowo opadu masy organicznej, jakościowy jego skład był zasadniczo różny, zależnie od udziału dominujących w opadzie organów asymilacyjnych – iglastych w drzewo-

stanie jodłowo-bukowym oraz liściastych w drzewostanie bukowym. Zróżnicowanie to ma istotne znaczenie dla kształtowania mozaikowości właściwości fizykochemicznych i chemicznych oraz biologicznych w górnych poziomach glebowych.

6. Skutki ekologiczne imisji w ekosystemie leśnym Świętokrzyskiego Parku Narodowego

Wyżynne i górskie środowisko przyrodnicze Regionu Świętokrzyskiego znajduje się w fazie zaawansowanych, różnokierunkowych, przyspieszających się przemian pod wpływem depozycji imisji suchej, wilgotnej i mokrej. Główny nurt tych przemian uwarunkowany jest postępującym zakwaszaniem środowiska glebowego i wód powierzchniowych wskutek podwyższonych stężeń w powietrzu kwasowych składników. Niewątpliwie częściowo proces ten jest stymulowany przez zmniejszenie emisji do powietrza pyłów alkalicznych. Stwierdzone na badanym obszarze imisje i wywołane przez nie zmiany w środowisku przyrodniczym są charakterystyczne i rozpowszechnione na rozległych przestrzeniach nie tylko regionu Gór Świętokrzyskich. Szczególnie niebezpieczne są kwaśne imisje dla ekosystemu leśnego. Naturalna podatność ekosystemów leśnych na zakwaszenie zależy od układu wielu czynników. Według doświadczeń szwedzkich (Persson 1982) czynnikami tymi są: gatunek drzewa, budowa poziomowa gleby, uziarnienie i głębokość gleby, miąższość poziomu próchnicznego, obecność litych skał i bagien, dynamika przemiana obiegu wody. Na nie, bezpośrednio z powietrza i pośrednio przez drzewostany leśne dodatkowo działają kwaśne deszcze.

Wiadomo, że SO_2 w postaci gazowej, a szczególnie w kwasowej formie w wodach opadowych działa wielokierunkowo na nadziemne organy roślin. Ich wrażliwość na działanie SO_2 jest uzależniona od temperatury i wilgotności powietrza, dostępu światła i od zdolności gleb do uzupełniania zasadowych składników odżywczych. W ekosystemie leśnym Świętokrzyskiego Parku Narodowego te właśnie czynniki są niekorzystnie stymulowane imisją SO_2 . Mniej toksyczne tlenki azotu natomiast działają długookresowo deformująco na środowisko glebowe, zbiorniki wodne i zbiorowiska roślinne (Kowalkowski 1996; Szczepny 1989).

Stężenia SO_2 w powietrzu są na głównym masywie Łysogór na ogół niższe niż w Kielcach i w Regionie

Świętokrzyskim (Józwiak et al. 2002). Jednak mają one istotny wpływ na dalsze kształtowanie właściwości z natury ubogich w zasady i kwaśnych gleb tego masywu. W kwaśnych glebach leśnych, wskutek zwolnionej amonifikacji, przebiega zredukowana mineralizacja materii organicznej, jednak połączona ze znaczną nityfikacją. Nawet przy pH około 3,5 przebiegają jeszcze procesy nityfikacji, przy czym 50–90% mineralizowanego N występuje w formie NO_2 , zwiększającej zakwaszenie gleb i środowiska rozwoju korzeni i głębszych poziomów glebowych oraz podłoża zwietrzelinowego wraz z migracją tego składnika z wodami śródglebowymi i gruntowymi w dół stoku.

Emisja gazów kwasogennych, związana z aktywnością gospodarczą i bytową człowieka, do środowiska przyrodniczego powoduje powstawanie mieszanin gazów, a drobne pyły długotrwale zawieszane w powietrzu atmosferycznym przekształcają się w aerozole, przeważnie o silnie kwasowym charakterze. Efekty działania tych mieszanin, na wyczesującą je z powietrza roślinność, docierających z opadami i adsorbowanych do gleb i wód powierzchniowych mogą być bardzo zróżnicowane, adytywne w czasie, synergistyczne lub antagonistyczne. Badania różnych kompleksów leśnych w środkowej Europie wykazały dwa kierunki działania atmoogenicznego ich obciążenia depozytami SO_2 , NO_2 , CO i pyłu zawieszanego, w postaci opadu suchego i mokrego oraz ozonu, działającego bezpośrednio na organy roślin:

- strukturalne (selektywne obumieranie starych drzewostanów, zagęszczenie pokrywy roślinnej dna lasu spowodowane prześwietleniem koron drzew, zmiany kwasowości gleb),
- funkcjonalne (zmiany w przebiegu wzrostu i statusu żywieniowego roślin, zmiany obiegu wody i substancji), występujące także w Świętokrzyskim Parku Narodowym (Kowalkowski, Józwiak 2000b).

Na terenie zlewni reprezentatywnej Stacji Bazowej ZMŚP Św. Krzyż zmiany te są niezwykle ostro zarysowane, zarówno w kierunku negatywnym jak i pozytywnym. Pod presją działalności człowieka w zasadzie możliwe są dwa kierunki zmian funkcjonalnych w ekosystemach – wzrastania zasadowości lub wzrastania kwasowości biotopów. W badanym geosystemie Świętokrzyskiego Parku Narodowego panuje wzrastanie kwasowości w biotopach. Kwaśne wody deszczowe, zawierające znaczne stężenia SO_4 , Cl, NO_2 , CO_2 , niekorzystnie oddziałują na nadziemne i podziemne części roślin. Z nadziem-

nych ich części, szczególnie z igliwia i liści oraz z kory i pni drzew, wymywane są do gleb znaczne ilości Ca, Mg, K, Mn i Zn wywołując niedobory tych składników w roślinach. Malejące zasoby tych elementów w zakwaszających się glebach uniemożliwiają właściwe odżywianie drzew, wskutek czego u jodeł zrzucane są starsze roczniki igieł i następuje przejaśnienie koron, do całkowitego zaniku organów asymilacyjnych. W igłach jodeł, wskutek długotrwałych niedoborów kationów o charakterze zasadowym, powstają wolne kwasy organiczne i kwasy mineralne, co może być przyczyną zakłóceń w procesach fotosyntezy z niedoborami asymilatów włącznie i powodować uszkodzenia błony komórkowej (Kowalkowski, Józwiak 2000b). Zeskorupienie igiełek wosku krystalicznego, stwierdzone u jodły od 3 rocznika igieł wzwyż, powoduje zalanie szparek oddechowych i utracenie przez nie funkcji transpiracji, nadmierne uwodnienie i rozwój w nich grzybów pasożytniczych (Kowalkowski et al. 1990). Efektem zespołu niekorzystnie kształtujących się warunków edaficznych w ekosystemie leśnym Świętokrzyskiego Parku Narodowego jest zaawansowane obumieranie starodrzewi jodłowych i stan chorobowy dużej części drzew jodły w drugim piętrze, a także w podrościach i nalotach tego gatunku. U buka wykształciła się biczowatość pędów w górnej części koron, a na korze pni występują popielate i białopopielate zacieki wymyte przez spływające agresywne kwaśne wody opadowe. W warunkach kwaśnych gleb nasyconych kwasowymi jonami H^+ , Al^{3+} i Fe^{3+} , kationy zasadowe wymywane z drzewostanu nie są adsorbowane w kompleksie sorpcyjnym gleb lecz są wymywane z gleb w zasięgu systemów korzeniowych (Kowalkowski, Józwiak 2000a). W ten sposób, w zasięgu koron pod drzewami i szczególnie przy pniach drzew, gleby w strefie korzeniowej są najsilniej zakwaszane i wyjąławiane ze składników odżywczych. Ten proces jest szczególnie stymulowany w drzewostanach bukowo-jodłowych i jodłowych.

7. Aspekty zastosowań wyników monitoringu zintegrowanego w przyszłości

Stacje europejskiego monitoringu zintegrowanego ICP IM wykonują ciągłe pomiary znacznej liczby kluczowych czynników wpływających na środowisko naturalne (de Vries et al. 2002).

Założonymi celami wdrożeniowymi tych monitoringów do praktyki zarządzania środowiskowego są:

- określenie reakcji ekosystemów na zanieczyszczenia powietrza i dynamiki ich zmian,
- precyzowanie różnic pomiędzy aktualnymi obciążeniami i obciążeniami krytycznymi depozycji atmosferycznej (możliwe do tolerowania długotrwałe wejścia, w celu zapewnienia zrównoważonego funkcjonowania ekosystemów),
- określenie wpływów atmosferycznej depozycji na kondycję ekosystemu na podstawie symulowanych scenariuszowych analiz,
- określenie dynamiki zmian zapasów węgla organicznego w lasach i w innych ekosystemach (wiązaną węglą atmosferycznego netto),
- określenie wpływu użytkowania powierzchni ziemi i jej zasobów na zrównoważenie i trwałość funkcjonowania geosystemów,
- sprecyzowanie ilościowo-jakościowe cech indykatów różnych funkcji ekosystemów, wpływających na ich długotrwały zrównoważony rozwój,
- opracowanie modeli zrównoważonego funkcjonowania ekosystemów jako podstawy wdrażania zasad trwałego i zrównoważonego systemu zarządzania środowiskowego.

Postulat sprawiedliwości międzygeneracyjnej sformułowany w roku 1992 w Rio de Janeiro uzależniony jest od konsekwentnego sprzyjania takiemu rozwojowi,

który zapewnia zachowanie środowiska naturalnego z jego funkcjami, również dla przyszłych pokoleń ludzkich (sprawiedliwość międzypokoleniowa, Schmid 1996). Zasada trwałości w jej wdrażaniu do praktyki zarządzania środowiskowego, według Schmid (1996) składa się ze stopniowego przebiegu proceduralnego, przedstawionego w tabeli 4, w którym wyróżnia się cele jakości środowiskowej i indykatory środowiskowe. Specyficzne problemowe cele jakości i postępowania środowiskowej indykacji są realizowane przy pomocy różnych instrumentów, przeważnie są to:

- *instrumenty prawno-porządkowe i prawno-planistyczne* (np. zalecenia, nakazy, zakazy, zastrzeżenia na zgodę, wartości graniczne, planowanie przestrzenne),
- *instrumenty ekonomiczne* (np. gospodarczo-rynkowe, ekopodatki i dotacje, środowiskowe certyfikaty, reguły zachowania środowiska np. systemy zarządzania środowiskowego, ekokontrola),
- *instrumenty inne* (dobrowolne uzgodnienia i samozobowiązania środowiskowe).

Jak zrozumieliśmy środowiskowe indykatory są ważnymi poznawczymi wielkościami, opisującymi zarówno stany „*jest*” jak też stany „*powinno być*” systemów ekologicznych.

Tab. 4. Przewodnie zasady określania indykatów środowiskowych zrównoważonego rozwoju (za Schmid 1996)
Table. 4. Leading principles to qualify of sustainable environment indicators (after Schmid 1996)

Przewodni cel	- zasady trwałości ekosystemu
Linie przewodnie (zasady postępowania)	- wielkość zużycia odtwarzalnych zasobów = wielkość regeneracji - wielkość zużycia nieodtwarzalnych zasobów = wielkość oszczędności - zachowanie wszystkich funkcji środowiskowych - zrzuć substancji odpadowych = wielkość asymilacji - zachowanie zdrowia ludzkiego
↓	
Cele jakości środowiskowej	- krytyczne zużycie zasobów - wielkości krytycznych obciążeń z uwzględnieniem pojemności znośności - wielkości krytycznych obciążeń dla ludzkiego zdrowia
↓	
Standardy jakościowe środowiska	- krytyczne zapasy zasobów naturalnych - krytyczne koncentracje - krytyczne ładunki dopływów - krytyczne zmiany strukturalne - znośne ryzyka zdrowotne
↓	
Indykatory środowiskowe	
Wielkości miar rozpoznawalności odchyłek pomiędzy stanami środowiska (<i>jest</i>) i standardami jakości środowiska (<i>ma być</i>)	
↑	
Dane o stanach sytuacji środowiskowych	

Od momentu wprowadzenia w roku 1992 konwencji dotyczącej zachowania zrównoważonego środowiska do dnia dzisiejszego powstały różne przybliżeniowe koncepcje systemów indykatorów środowiskowych na poziomach narodowych i ponadnarodowych. Według Urbaniec i Kramera (2003) w tym czasie podejmowano działania badawcze dotyczące zarówno zasad formułowania pojęć poszczególnych indykatorów jak również ich klasyfikowania. Najwcześniejsze publikacje ukazały się w latach 1992–1993 (Schmid 1996).

Najczęściej opracowania te nawiązują do modelu OECD (Organization for Economic Cooperation and Development), który przewiduje zaszeregowanie indykatorów środowiskowych w trzech grupach funkcjonalnych:

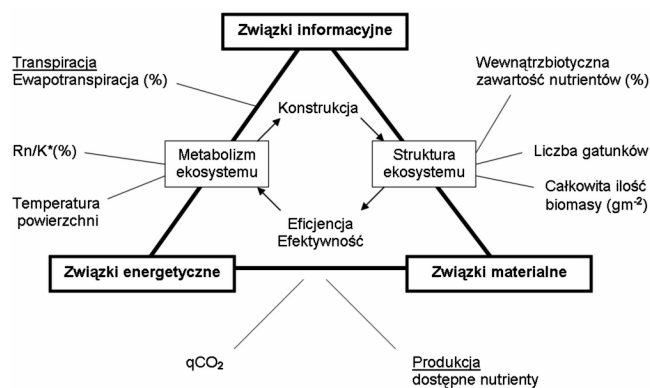
- *indykatory obciążeń środowiska (pressure)*, przedstawiają skalę aktywności ludzkiej w zakresie potencjałów obciążeń środowiska (np. wielkość emisji, wykorzystanie zasobów naturalnych, wytwarzanie odpadów),
- *indykatory stanów środowiska (state)*, odzwierciedlają stany jakości naturalnego środowiska (np. zawartość CO₂, N-NO₂, N-NH₃, S-SO₂, pyłu zawieszonego w powietrzu atmosferycznym, obciążenie wód powierzchniowych metalami ciężkimi, acydifikacja wód podziemnych, stany odżywienia leśnych zbiorowisk roślinnych),
- *indykatory postępowania środowiskowego (response)*, wyjaśniają i określają reakcje społeczne na zmiany stanów środowisk (np. oszczędności zużycia wody, energii, zasobów organicznych i mineralnych w określonych jednostkach wartości).

Według Barkmanna (2003) indykatorami są teoretyczne sformułowania sprecyzowane na podstawie mierzalnych stanów (indycans) dla dokonania możliwie jakościowego określenia wybranego zjawiska (indycand). Schepelmann i wsp. (1998) uważają, że indykatory są wskaźnikami jakościowych stanów określonego systemu, to znaczy dobór indykatorów następuje na podstawie takich kryteriów, za pomocą których można wykonać ocenę stanu danego systemu. Według tych autorów wiążące kryteria są głównymi instrumentami kompleksowych procesów decyzyjnych i planistycznych. Indykatory decydują o wyborze, administracyjnym rozwijaniu i ewaluacji przedsięwzięć, są również podstawą politycznego ich uzasadnienia i akceptacji.

Według Kutscha i wsp. (2003) systemy indykatorów zrównoważonego rozwoju mogą być konstru-

owane na założeniu: im większa jest pojemność biologicznej samoregulacji ekosystemu, tym bardziej prawdopodobnie ten ekosystem jest zasobem istotnych zwrotnych akcji w skali długookresowej i w zakresie niespecyficznego ekologicznego ryzyka. Metabolizm ekosystemu, wskaźniki metaboliczne i struktura systemu są potencjalnymi wyznacznikami stopnia termodynamicznej samoorganizacji i ogranicznikami pojemności samoorganizacyjnej systemów ekologicznych. Autorzy ci proponują wyróżnienie ośmiu indykatorów integralności ekosystemów (ryc. 1), które wyprowadzają z termodynamicznej teorii ekologicznej samoorganizacji ekosystemów Jørgensena (1997). Są to indykatory:

- *metabolizm systemu* – temperatury powierzchni (K) i wskaźnik zdolności ekosystemu rozpraszania energii dopływającej ($R_n/K^{*}\%$),
- *konstrukcji systemu* – stosunki transpiracji (TR) do ewapotranspiracji (ET),
- *struktury systemu* – całkowita biomasa (gm^{-2}), liczba gatunków, wewnątrzbiotyczna zawartość nutrientów (%),
- *efektywność systemu* – całkowita respiracja (q/CO_2), stosunki całkowitej produkcji pierwotnej do dostępnych nutrientów.



Ryc. 1. Indykatory ekologicznej integralności wyprowadzone na podstawie teoretycznych wdrożeń samoorganizacji ekosystemu (za Kutschem i wsp. 2003)

Fig. 1. Indicators of ecological integrity derived from theoretical implementation of selforganization of ecosystem (after Kutsch et al. 2003)

Większość danych potrzebnych do sformułowania wymienionych indykatorów powstaje w wyniku przetworzeń danych uzyskanych bezpośrednio w ekosystemie. W praktyce zarządzania jednak ekologiczna integralność rzadko jest jedyną podstawą planowania środowiskowego. Pragmatyczne rozważania sugerują potrzebę rozpatrywania ekologicznej integralności z trzech różnych ekosystemowych punktów widzenia.

Prócz perspektywy ochrony przed niespecyficznymi zagrożeniami należy zająć się procesami ekologicznymi bezpośrednio określającymi stany służebności ekosystemu oraz kompleksową perspektywą ochrony przyrody. Taka różnorodność perspektyw przybliży do normatywnej wielodymensyjności systemu umożliwiającej przydatną dla praktyki zarządzania zobiektywizowaną kwantyfikację ekologicznej samoorganizacji ekosystemu. Jest to jednak kwestia uzależniona od opracowania, sprawdzenia i wdrożenia systemu modeli funkcjonowania ekosystemów (de Vries et al. 2002).

8. Literatura

- Barkmann J., 2002:** *Modellierung und Indikation nachhaltiger Landschaftsentwicklung-Beiträge zu den Grundlagen angewandter Ökosystemforschung*. In: J. Barkmann (Ed.), *Modellierung und Indikation nachhaltiger Landschaftsentwicklung*. EcoSys Bd 9 :1–62.
- Barkmann J., 2003:** *Modellierung und Indikation nachhaltiger Landschaftsentwicklung*, Beiträge zur Ökosystemforschung, EcoSys Bd. 9 :1–62.
- Blume H.P., Fränzele O., Heydemann B., Kappen L., Nellen W., Widmoser P., 1992:** *Ökosystemforschung im Bereich der Bornhöveder Seenkette.*, Arbeitsbericht 1988–1991, EcoSys. 1 :1–338.
- De Vries V., Forsius M., Lorenz M., Lundin L., Haussmann T., Augustin S., Ferretti M., Kleemola S., Vel E., 2002:** *Cause-effect Relationships of Forest Ecosystems*. Joint Rep. by ICP Forest and ICP Integrated Monitoring UNECE, BFH, SYKE. Hamburg :1–46.
- Fränzele O., 1997:** *Systemökologie als interdisziplinäre Grossforschung*. Christiana Albertina 44 :23–35.
- Fränzele O., Kuhnt D., Kuhnt G., Zölitz R., 1987:** *Auswahl der Hauptforschungsräume für das Ökosystemforschungsprogramm der Bundesrepublik Deutschland*. Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktionssicherheit. Forschungsbericht 1010403, Kiel.
- Jørgensen S.E., 1997:** *Thermodynamik offener Systeme*. In: O. Fränzele, F. Müller, W. Schröder (Eds.), *Handbuch der Umweltwissenschaften*. Ecomed, Landsberg a. Lech.
- Jóźwiak M., 1996:** *Raport Stacji Geoekologicznej Święty Krzyż za rok 1996*, WSP Kielce, mps.
- Jóźwiak M., 1997:** *Raport Stacji Geoekologicznej Święty Krzyż za rok 1997*, WSP Kielce, mps.
- Jóźwiak M., 1998:** *Raport Stacji Monitoringu Akademii Świętokrzyskiej za rok 1998*, WSP Kielce, mps.
- Jóźwiak M., Kowalkowski A., 2002:** *Rozwinięta koncepcja monitoringu leśno-rolnego ekosystemu regionu świętokrzyskiego*, Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego, 3/02, KTN :17–24.
- Jóźwiak M., Kozłowski R., 1999:** *Raport Stacji Monitoringu Akademii Świętokrzyskiej za rok 1999*, WSP Kielce, mps.
- Jóźwiak M., Kozłowski R., Wróblewski H., 2001:** *Raport Stacji Monitoringu Akademii Świętokrzyskiej za rok 2001*, Akademia Świętokrzyska Kielce, mps.
- Jóźwiak M., Kozłowski R., Wróblewski H., 2002:** *Raport Stacji Monitoringu Akademii Świętokrzyskiej za rok 2002*, Akademia Świętokrzyska Kielce, mps.
- Keane R.E., Jensen M.E., Hann W.J., 1990:** *Ecodata and Ecopack: analytical tools for integrated resource management*. The compiler 8 (3) :24–37.
- Kostrzewski A., 1995:** *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Propozycje programowe*, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- Kowalkowski A., 1994:** *Raport Stacji Geoekologicznej Święty Krzyż za rok 1994*, WSP Kielce, mps.
- Kowalkowski A., 1995:** *Raport Stacji Geoekologicznej Święty Krzyż za rok 1995*, WSP Kielce, mps.
- Kowalkowski A., 1996:** *Zagrożenie krajobrazu leśnego Gór Świętokrzyskich wskutek działalności człowieka*, W: A. Kowalkowski (red.), *Elementy rozwoju i monitoringu antropogenicznych krajobrazów w Górach Świętokrzyskich*, Kielce :35–112.
- Kowalkowski A., Brogowski Z., Kocoń J., Swaldek M., 1990:** *Stan odżywienia i zdrowotność jodły (Abies alba Mill.) w Świętokrzyskim Parku Narodowym*, Roczn. Świątokrzyski, 17, Warszawa–Kraków :11–26.
- Kowalkowski A., Jóźwiak M., 2000a:** *Zmiany w środowisku glebowym*, [W:] S. Cieśliński, A. Kowalkowski (red.) *Monografia Świętokrzyskiego Parku Narodowego*, Wyd. Świętokrzyski Park Narodowy :427–439.
- Kowalkowski A., Jóźwiak M., 2000b:** *Wpływ warunków środowiska na zdrowotność jodły*, W: St. Cieśliński, A. Kowalkowski (red.), *Monografia Świętokrzyskiego Parku Narodowego*, Kraków–Bodzentyn :455–470.
- Kowalkowski A., Świercz A., Wiczorek E., 1993:** *Zmiany warunków glebowych w borach sosnowych pod wpływem emisji alkalicznych na terenach Kieleckiego Okręgu Eksploatacji Surowców Węglanowych*. Monitoring Środowiska Regionu Świętokrzyskiego 1/93, KTN Kielce :117–122.
- Kowalkowski A., Jóźwiak M., Kozłowski R., 2000:** *Raport Stacji Monitoringu Akademii Świętokrzyskiej za rok 2002*, Akademia Świętokrzyska Kielce, mps.

- Kutsch W.L., Steinborn W., Werbst M., Baumann R., Barkmann J., Kappen L., 2003:** *Environmental Indication: A field test of an Ecosystem Approach to Quantify Biological Self-Organization*. In: J. Barkmann (Ed.), Modellierung und Indikation nachhaltiger Landschaftsentwicklung. EcoSys Bd 9 :165–190.
- Persson G., 1982:** *Acidification today and tomorrow. Ridbergs Tyckeri AB, Uddervalla* :5–231.
- Program Państwowego Monitoringu Środowiska na lata 1998–2002,** Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- Schepelmann P., Hinterberger F., Kanatsching D., Spangenberg J., 1998:** *Nachhaltige Regionalentwicklung der Europäischen Union*. Policy Paper Nr 3 (Juli), Wuppertal, Wien.
- Schmid U., 1996:** *Ökologiegerichtete Wertschöpfung in Industrieunternehmen*. Frankfurt/Main.
- Szczęsny S., 1989:** *Wpływ zakwaszenia na zbiorowiska organizmów wodnych*. W: S. Wróbel (red.), Zanieczyszczenia atmosfery a degradacja wód, Mat. Sympozjum, 14-15.11.1989, Kraków :111–122.
- Świercz A., 1997:** *Wpływ emisji alkalicznej na gleby i bory sosnowe w Białym Zagłębiu, KTN, Kielce* .
- Ulrich B., Mayer R., 1973:** *Systemanalyse des Bioelement-Haushalts der Wald-Ökosystemen*. In: H. Ellenberg (Ed.), Ökosystemforschung, Springer Verlag :165–174.
- Ulrich B., Mayer R., Khanna P.K., 1979:** *Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Wald-ökosystemen im Solling*. Schr. Aus der Forstl. Fak. Der Univ. Göttingen und der Niedersächs. Forstl. Versuchsanst. Bd. 58 :4–291.
- Urbaniec M., Kramer M., 2003:** *Unternehmensziel und ökologische Herausforderung*. In: M. Kramer, M. Urbaniec, L. Möller (Eds.), Internationales Umweltmanagement, Bd I. Gabler V., Wiesbaden :57–97.

IMPLEMENTATION OF THE INTEGRATED ENVIRONMENTAL MONITORING IN THE ŚWIĘTOKRZYSKI REGION IN THE 10TH ANNIVERSARY OF ITS INAUGURATION

Summary

The best indicator of the environment condition is the ecosystem itself. In the paper the organization and tasks of the Integrated Environmental Monitoring in Poland were described on the background of the European organization of International Cooperative Programme (ICP) on Integrated Monitoring. In conceptional principles there was realized a scientific concept and rational localization of the monitoring station of the Świętokrzyska Academy in the area of the Świętokrzyski National Park. The effects of ecological emissions in the examined forest ecosystem were discussed on the basis of 10-year monitoring results of the forest-agricultural river basin geoecosystem. The results of the integrated monitoring are used in the managerial practice. Additionally, they will form a basis for development of environmental indicators for establishing rational sustainable management of ecosystems. Within 10 years there was established a significant cooperation with national and international environmental monitoring centers. Furthermore, many meaningful publications were edited. Educational work and activities promoting these achievements were performed, too.