

**Mariusz Kistowski**

## **OCENA ODPORNOŚCI ŚRODOWISKA NA DEGRADACJĘ ORAZ JEGO ZDOLNOŚCI DO REGENERACJI**

### **Miejsce metody w procedurze opracowania ekofizjograficznego**

Ocena odporności środowiska na degradację oraz jego zdolności do regeneracji stanowi element procedury opracowania ekofizjograficznego zgodnie z paragrafem 6, ust.2 i punktem a) rozporządzenia. Ocena ta stanowi część czynności podejmowanych w II etapie sporządzania ekofizjografii – etapie oceny. Aby prawidłowo przeprowadzić wszystkie wymagane na tym etapie oceny, należy wykorzystać większość informacji zgromadzonych w I etapie opracowania, czyli diagnozie. Wykonując ocenę odporności środowiska na antropopresję szczególnie pożądane jest posiadanie wiarygodnych informacji dotyczących:

- struktury (budowy) środowiska przyrodniczego;
- procesów zachodzących w środowisku przyrodniczym, czyli jego funkcjonowania;
- stanu zagospodarowania i użytkowania środowiska;
- skutków zmian w środowisku przyrodniczym, także tych o charakterze degradacyjnym, występujących w przeszłości i obecnie, a pośrednio także antropogenicznych źródeł oddziaływania na środowisko.

Ostatnia z wymienionych grup danych posiada istotne znaczenie dla oceny zdolności środowiska do regeneracji po wystąpieniu zaburzeń jego struktury bądź funkcjonowania. Im lepsze informacje posiadamy na temat przeszłych reakcji środowiska na antropopresję i jego regeneracji, z tym większym prawdopodobieństwem możemy oceniać i prognozować przyszłe reakcje środowiska w tym zakresie.

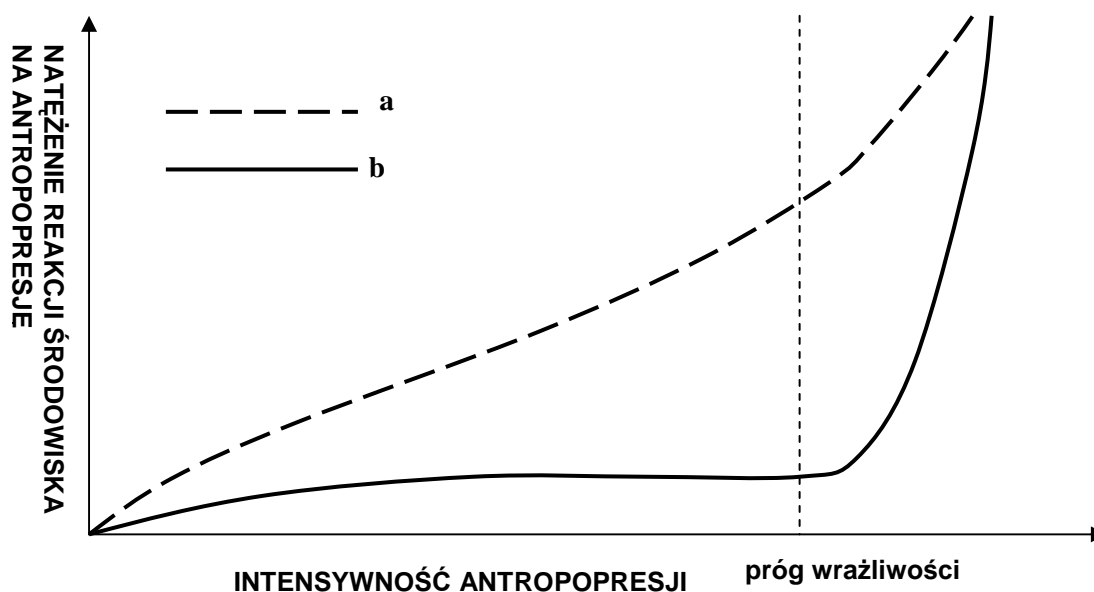
### **Odporność środowiska na antropopresję – terminologia i wstępne założenie metodyczne**

Zdefiniowanie odporności środowiska wymaga przedyskutowania, oprócz pojęcia odporności, także pojęć: stabilności, wrażliwości i reakcji środowiska. **Stabilność** najogólniej definiowana jest jako *trwałość systemu (np. fragmentu środowiska) w warunkach niezmiennego otoczenia oraz zdolność do powrotu do stanu oryginalnego po zakończeniu oddziaływania zakłócających czynników zewnętrznych* [Richling, Solon, 1996]. O ile jednak stabilność rozumiana jest ogólnie, co upoważnia do stwierdzenia, że dany fragment środowiska jest generalnie stabilny bądź nie, to **odporność**, definiowana w sposób prawie

identyczny jak stabilność, *odnosi się do konkretnego rodzaju oddziaływania na środowisko*. Stąd też nie można prawidłowo użyć stwierdzenia, że środowisko jest odporne bądź nieodporne bez dodania, na jaki rodzaj presji antropogenicznej bądź procesów naturalnych jest ono odporne. Termin **wrażliwość** można w tym kontekście potraktować jako antonim „odporności”. Im środowisko danego obszaru jest bardziej wrażliwe na dany bodziec, tym mniej jest na niego odporne, i odwrotnie. Istotny i konieczny do zapamiętania jest fakt, że ten sam obszar może być jednocześnie mało odporny na jeden typ działań człowieka, będąc jednocześnie bardzo odpornym na inny. Tak więc, zdefiniowana wcześniej stabilność środowiska jest wypadkową odporności środowiska na różnych form antropopresji i bodźców naturalnych, nie jest jednak ich prostą sumą, stąd też jest ona kategorią trudną do stosowania w ekofizjografiach. **Reakcja** środowiska przyrodniczego może być zdefiniowana jako *zespół procesów zachodzących w środowisku, będących skutkiem działania bodźców antropogenicznych lub naturalnych*. Reakcja środowiska na antropopresję jest funkcją dwóch podstawowych grup zmiennych: odporności środowiska (wynikającej ze struktury środowiska i sposobu zachodzenia w nim procesów przyrodniczych) oraz typu i intensywności (natężenia i czasu działania) bodźców antropogenicznych (uwarunkowanych przez strukturę społeczno-gospodarczą danego obszaru). W opracowaniu ekofizjograficznym podstawowy problem stanowi określenie wielkości i zasięgu reakcji na oddziaływania człowieka. Zadanie to napotyka na szereg problemów metodycznych wynikających przede wszystkim z:

- trudności w oddzielaniu antropogenicznych przyczyn zmian zachodzących w środowisku przyrodniczym od przyczyn naturalnych;
- nakładania się na siebie w przestrzeni skutków oddziaływania różnych form działalności człowieka, tworzących synergiczne reakcje środowiska;
- silnego zróżnicowania struktury środowiska przyrodniczego, co wpływa na dużą nieprzewidywalność jego reakcji na antropopresję;
- progowego charakteru reakcji środowiska na oddziaływanie bodźców antropogenicznych i naturalnych, którego efektem jest nieliniowość funkcji tej reakcji (rys.1).

Dodatkowy problem stanowi przełożenie wiedzy o reakcji środowiska na antropopresję uzyskanej w skali lokalnej lub w warunkach laboratoryjnych na skalę regionalną, w której ilość wzajemnych relacji przestrzennych znacznie wzrasta. Dalsze trudności wynikają z konieczności określenia natężenia reakcji oraz prób wartościowania (ocenia) reakcji poprzez określenia typu: pożądane – niepożądane. Natężenie reakcji może być różne w zależności od natężenia antropopresji lub odporności środowiska przyrodniczego (rys.1).



Rys. 1. Przykład zależności tempa reakcji systemu przyrodniczego na antropopresję od odporności tego systemu (a – system o małej odporności na antropopresję, b – system o dużej odporności)

Stwierdzenie, czy reakcja środowiska na antropopresję jest bardziej pozytywna, czy negatywna, leży bardziej w kategoriach aksjologii, niż nauk badających środowisko przyrodnicze. Z punktu widzenia potrzeb opracowania ekofizjograficznego wydaje się ono ważne, gdyż ocena ma odpowiedzieć nie tylko na pytanie czy planowane działanie wywoła reakcję w środowisku przyrodniczym, ale także czy ta reakcja z punktu widzenia przyjętych kryteriów będzie korzystna. Kryteriami tymi są coraz częściej kryteria równoważenia (*sustainability*) wywodzące się wprost z koncepcji rozwoju zrównoważonego. Kryteria te nie zawsze są formułowane z punktu widzenia potrzeb utrzymania nie zaburzonej struktury i funkcjonowania środowiska przyrodniczego, ale często wynikają z potrzeb społecznych, np. zapewnienia dobrego stanu zdrowotnego społeczności lub odpowiednich warunków dla rozwoju gospodarczego. Ważne jest, aby nie były one sprzeczne z kryteriami powszechnie uznanymi za sprzyjające utrzymaniu dobrego stanu środowiska przyrodniczego.

Problematyka reakcji środowiska przyrodniczego na antropopresję w trakcie sporządzania opracowań ekofizjograficznych powinna zostać zaprezentowana w sposób stosunkowo ogólny. Jej rozwinięcie powinno znaleźć miejsce w prognozach wpływu planów zagospodarowania przestrzennego na środowisko.

Ocena odporności środowiska na antropopresję należy do stosunkowo złożonych procedur, ze względu na dużą ilość zmiennych, które należy w niej uwzględnić. Oprócz struktury i funkcjonowania środowiska należy wziąć pod uwagę aktualny stan

zagospodarowania i użytkowania terenu oraz skutki oddziaływań antropogenicznych. Tereny o wysokim stopniu degradacji środowiska (o silnie zmienionych jego właściwościach fizycznych lub chemicznych), nawet przy strukturze środowiska bardzo zbliżonej do występującej na terenach nieprzeobrażonych (np. podobnej rzeźbie terenu, warunkach wodnych, glebowych i geologicznych), mogą cechować się znacznymi różnicami w odporności na antropopresję. Z reguły tereny zdegradowane są na nią bardziej wrażliwe. Ocena ta wymaga od oceniającego znacznej wiedzy o sposobach reakcji środowiska na działania człowieka, ze względu na odmienność reakcji każdego komponentu środowiska na różne formy antropopresji. Często niezbędne jest uczestnictwo specjalistów z kilku dziedzin nauk przyrodniczych. Należy także pamiętać o stosowaniu odmiennych metod oceny na poziomie lokalnym (plany miejscowe), regionalnym (studia uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego, plany wojewódzkie) i krajowym. Można zaryzykować opinię, że im mniejsza jest skala (większy obszar) opracowania, tym ocena jest bardziej subiektywna i niepewna. W skalach lokalnych istnieje bowiem możliwość weryfikacji ustaleń teoretycznych wizjami i badaniami terenowymi, których prowadzenie jest dużo trudniejsze i kosztowniejsze w skali regionalnej i krajowej.

Podsumowując uwagi wstępne należy stwierdzić, że ocena odporności, a w jej konsekwencji reakcji środowiska przyrodniczego na antropopresję, szczególnie w skali regionalnej odnoszącej się do większości dokumentów planistycznych i strategicznych, niesie ze sobą dużo elementów niepewności. Tę niepewność należy zawsze brać pod uwagę i oszacować, aby odbiorca opracowania miał świadomość prawdopodobieństwa wystąpienia określonych procesów, gdyż ich analiza stanowi jedną z podstaw podejmowanych decyzji.

### **Wybrane metody oceny odporności środowiska na antropopresję**

W niniejszym rozdziale zaprezentowano dwie metody przydatne w ocenie odporności środowiska przyrodniczego na antropopresję. Pierwsza z nich jest bardziej przydatna do zastosowania w skalach średnich (np. 1:25.000), czyli np. w studiach uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gmin, druga w skalach szczegółowych (1:10.000 – 1:1.000), bardziej odpowiadających skalom miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego.

Metoda oceny wrażliwości i reakcji środowiska przyrodniczego na antropopresję została zastosowana przez Kistowskiego i Lewandowską [1989] dla regionu aglomeracji gdańskiej oraz Kistowskiego i Szczepaniaka [1990] dla obszaru północno-wschodniej Polski (rys.3). Stanowi ona przede wszystkim próbę oceny odporności środowiska na różne przejawy

antropopresji, występujące przede wszystkim poza obszarami zurbanizowanymi. Także ze względu na zastosowane kryteria oceny, metoda ta przydatna jest głównie do oceny odporności środowiska terenów wiejskich. W metodzie tej podstawowe kryteria oceny odporności stanowi analiza:

- krajobrazów elementarnych (które można nazwać także funkcjonalnymi typami rzeźby terenu), wydzielanych głównie w oparciu o informacje dotyczące położenia obszaru w obrębie form rzeźby terenu, spadków terenu oraz charakteru krążenia wód gruntowych w przypowierzchniowej warstwie litosfery (do głębokości 3 – 4 m p.p.t.);
- kompleksów przydatności rolniczej gleb (dla terenów rolniczych) lub
- typów siedliskowych lasu (dla obszarów leśnych).

Jako pola oceny odporności przyjmowane są geokompleksy, wydzielone na podstawie w/w kryteriów. Wynika to z faktu, że wymienione kryteria niosą bogatą informację fizycznogeograficzną – krajobrazy elementarne odzwierciedlają nie tylko rzeźbę, ale i warunki wodne, kompleksy przydatności rolniczej gleb informują nie tylko o warunkach glebowych, ale i o rzeźbie terenu oraz pośrednio o stosunkach wodnych i cechach płytkiego podłoża geologicznego [Hopfer, Cymerman, Nowak, 1982], podobnie jak typy siedliskowe lasów w terenach zalesionych [Obmiński, 1978].

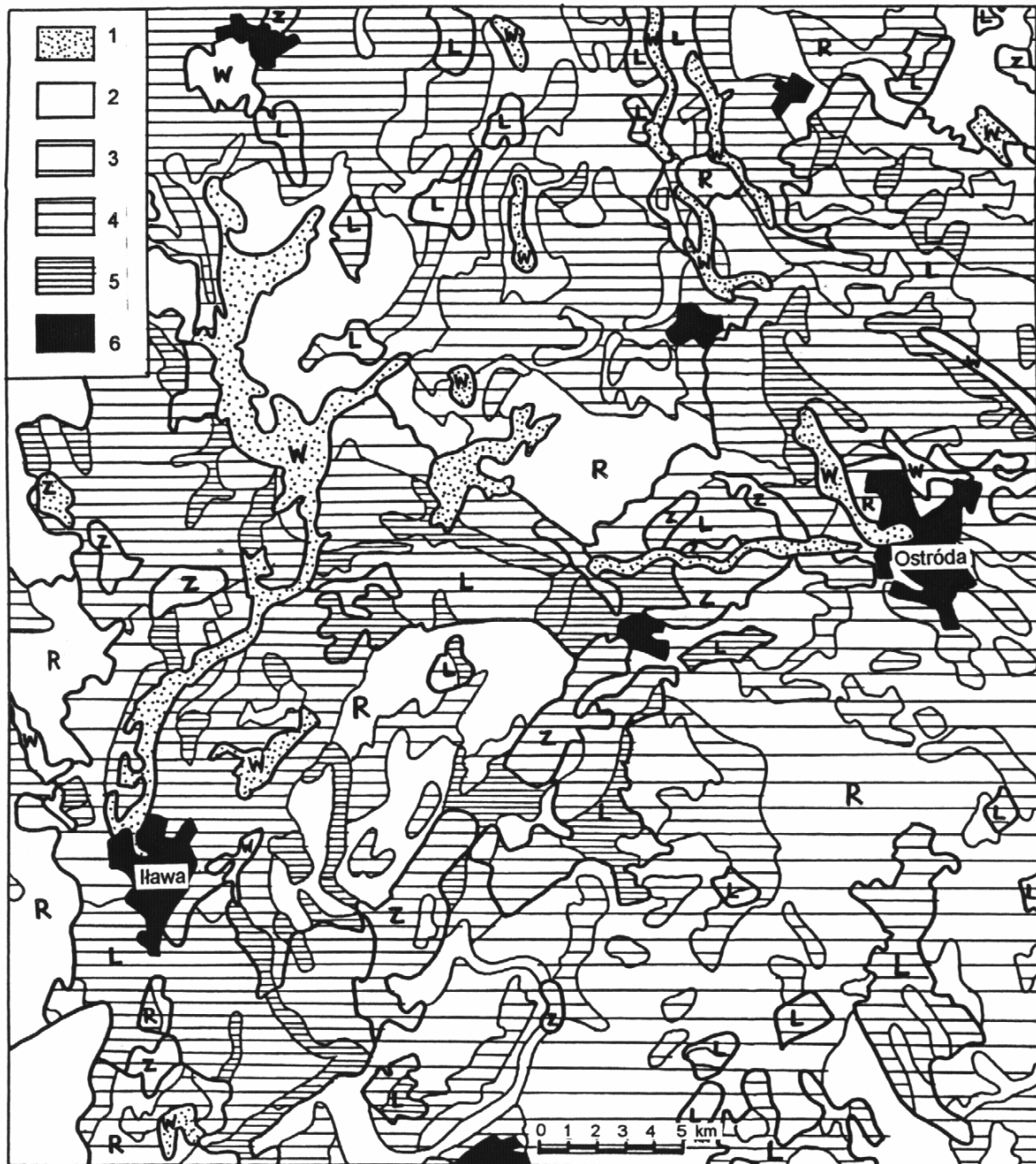
Dla terenów rolniczych i leśnych, w tabelach 1 i 2 zaproponowano po osiem przykładowych przejawów antropopresji, dla których podjęto próbę oceny odporności środowiska na ich oddziaływanie.

Ocena przeprowadzona w tabelach dotyczy przede wszystkim ogólnej odporności środowiska na przejawy antropopresji, a nie jego reakcji, gdyż poziom (intensywność, natężenie) tej reakcji może być bardzo zróżnicowany, będąc uzależnionym od intensywności (natężenie i długości trwania) antropopresji. Ocenę odnosi się do fragmentów środowiska (geokompleksów) charakteryzowanych zróżnicowanymi cechami środowiska, nie uwzględniając całkowicie intensywności antropopresji.

W tabelach 1 i 2 podjęto także próbę oceny, czy procesy będące skutkiem działania danej formy antropopresji, zachodzące w środowisku o danej odporności, będą miały wymiar pozytywny, czy też negatywny z punktu widzenia ogólnych zasad rozwoju zrównoważonego. Opisana metoda, koncentruje się na aspektach odporności wynikających z budowy środowiska, minimalizując zakres kryteriów wynikających z jego funkcjonowania. Aby je uwzględnić, należałoby poszerzyć metodę o analizę migracji (dyspersji) skutków antropopresji w obiegu wodnym, atmosferycznym i denudacyjnym. Tego typu prace prowadzi

się jednak z reguły na poziomie lokalnym, w skalach większych niż 1:25.000. Kryteria te zostaną szerzej uwzględnione w drugiej z prezentowanych metod.

Przykład mapy zawierającej rezultaty oceny odporności środowiska na antropopresję przedstawia rys.2.



Rys. 2. Ocena odporności środowiska przyrodniczego okolic Ostródy i Hawy na wybrane przejawy antropopresji – zabiegi agrochemiczne na gruntach ornych, regulację stosunków wodnych na użytkach zielonych, użytkowanie rekreacyjne i dopływ zanieczyszczeń w obiegu atmosferycznym w lasach (1 - jeziora o wysokiej odporności na antropopresję; tereny: 2 - niewrażliwe, 3 - o dużej odporności, 4 - o średniej odporności, 5 - o małej odporności, 6 - zabudowane – nie podlegające ocenie; R- grunty orne, Z - użytki zielone, L - lasy, W - jeziora)

Drugi z omawianych przykładów metod oceny wpływu antropopresji na środowisko został zaczerpnięty z opracowania wykonanego w bardziej szczegółowej skali [Kistowski, 1995, Kistowski i in, 1996]. Metoda ta może być z powodzeniem stosowana w skalach szczegółowych rzędu 1:10.000 – 1:1.000. Problematyka oceny odporności środowiska stanowi tu fragment szerszego opracowania, dotyczącego analizy i oceny ryzyka ekologicznego okolic Ełku (rys.3). Metoda została częściowo oparta na doświadczeniach amerykańskich, wypracowanych przez federalną Agencję Ochrony Środowiska [Kompendium ..., 1995].



Rys.3. Miejsce oceny odporności środowiska w procedurze oceny ryzyka ekologicznego

Podobnie jak w przypadku wcześniej omawianej metody, także i tu nie jest możliwe określenie „ogólnej” odporności środowiska na różne rodzaje oddziaływań. Jako pierwszy krok należy zdefiniować główne obszary problemowe, z którymi wiążą się konkretne formy antropopresji. Takimi obszarami problemowymi mogą być na przykład:

- emisja zanieczyszczeń powietrza ze źródeł wysokich (punktowych),
- emisja zanieczyszczeń powietrza ze źródeł niskich (powierzchniowych i liniowych);
- zanieczyszczanie wód powierzchniowych (lub podziemnych),
- degradacja szaty roślinnej wywołana bezpośrednią działalnością człowieka (np. rekreacją).

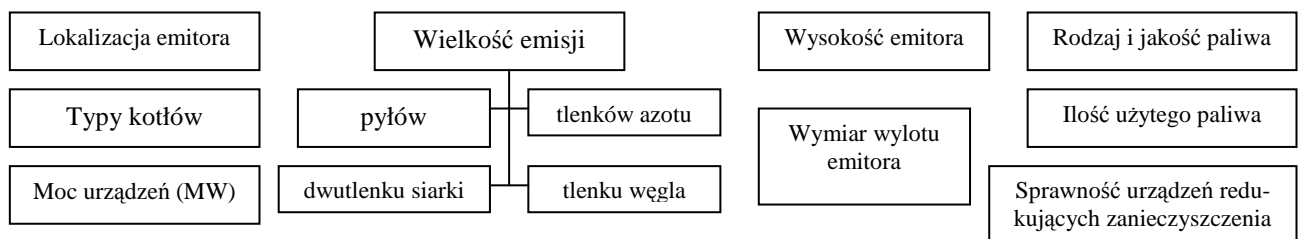
W dalszej części opracowania ekofizjograficznej ocena odporności środowiska na antropopresję powinna być odnoszona konkretnie do każdego z wybranych obszarów problemowych. W obrębie każdego z nich należy zidentyfikować trzy grupy zmiennych:

- źródła oddziaływania na środowisko,

- stresory, czyli materialno-energetyczne nośniki oddziaływań na środowisko (rodzaje związków chemicznych lub oddziaływań fizycznych wprowadzanych do środowiska),
- biorców stresorów, czyli komponenty środowiska przyrodniczego i elementy struktury ekologicznej podlegające oddziaływaniom.

Z punktu widzenia oceny odporności środowiska, najważniejsza jest analiza biorców stresorów, które cechują się określoną wrażliwością na kontakt z konkretnymi stresorami. Należy więc wiedzieć, przynajmniej ogólnie, jakie typy stresorów oddziałują lub mogą w przyszłości (w okresie objętym perspektywą planu przestrzennego) oddziaływać na danym terenie i jakie może być natężenie ich oddziaływania.

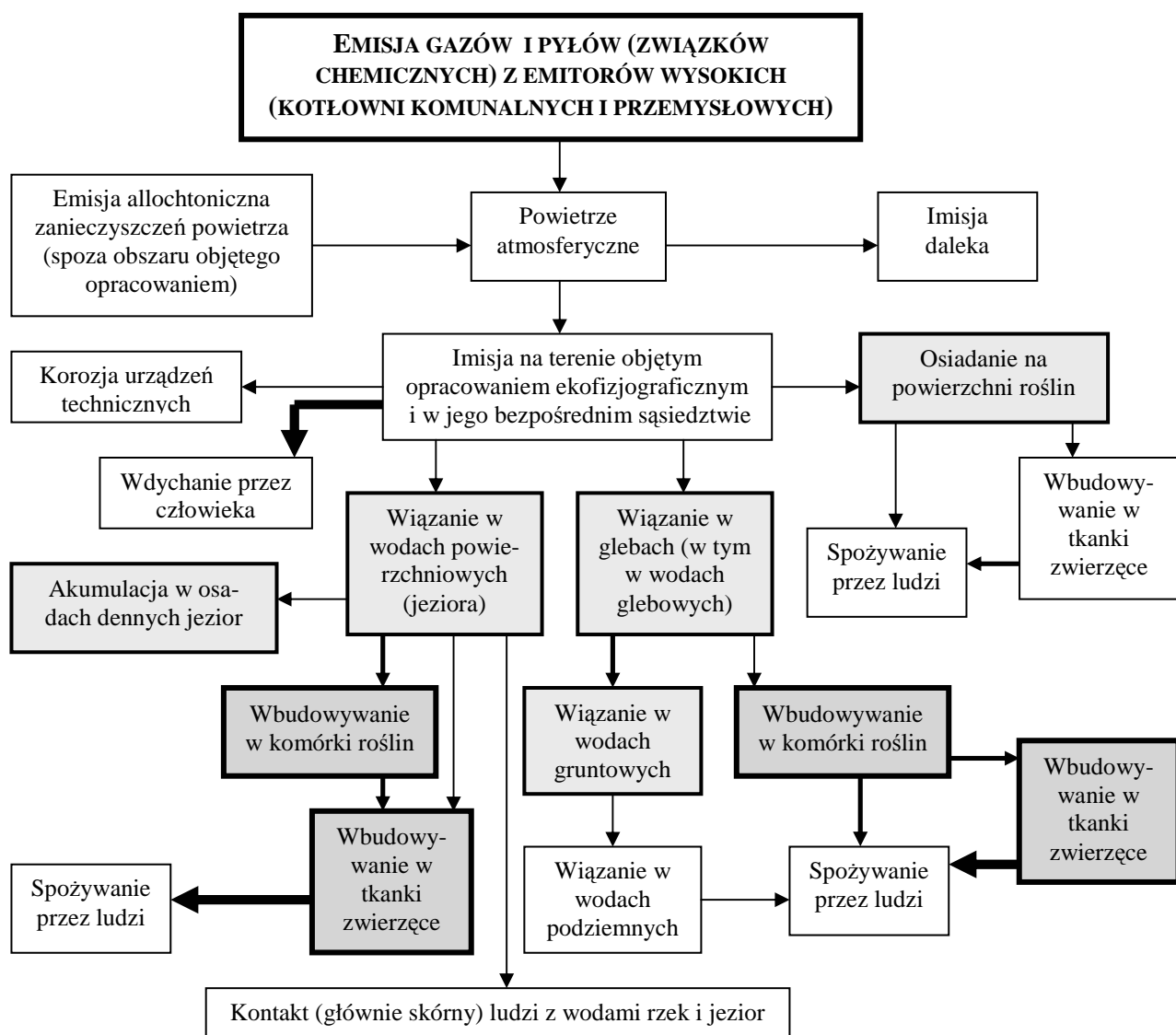
Procedura oceny uciążliwości oddziaływania na środowisko, której elementem jest ocena odporności na antropopresję, zostanie przedstawiona na przykładzie zanieczyszczeń atmosferycznych z emitorów wysokich. Pierwszy krok stanowi określenie źródeł antropopresji i stresorów, które pozwoli na identyfikację czynników, w stosunku do których należy oceniać odporność środowiska (rys.4)



Rys.4. Parametry źródeł antropogenicznego oddziaływania na środowisko i związane z nimi stresory na przykładzie wysokiej emisji zanieczyszczeń do atmosfery (emitorów punktowych)

Kolejny etap to określenie elementów struktury ekologicznej, które w istotnym stopniu mogą podlegać oddziaływaniom danych form antropopresji (stresorów) i których odporność na nie należy ocenić. Etap ten najlepiej rozpocząć od analizy przyczynowo-skutkowych łańcuchów antropopresji w środowisku. Pozwolą one na wychwycenie elementów struktury ekologicznej, które mogą podlegać istotnym oddziaływaniom. Przykłady takich łańcuchów odnoszących się do emisji gazów i pyłów, emisji ścieków, składowania odpadów, odkrywkowej eksploatacji surowców mineralnych, melioracji odwadniających oraz emisji hałasu do środowiska zawierają publikacje autora [Kistowski, 1995; Kistowski, 2001]. Na rys.5 przedstawiono przykładowy łańcuch antropopresji odnoszący się do emisji gazów i pyłów do środowiska. Analiza tego łańcucha wskazuje, że elementami struktury ekologicznej najbardziej zagrożonymi emisją ze źródeł wysokich są rośliny (zbiorowiska roślinne) i zwierzęta, a w dalszej kolejności wody jezior i wody gruntowe.



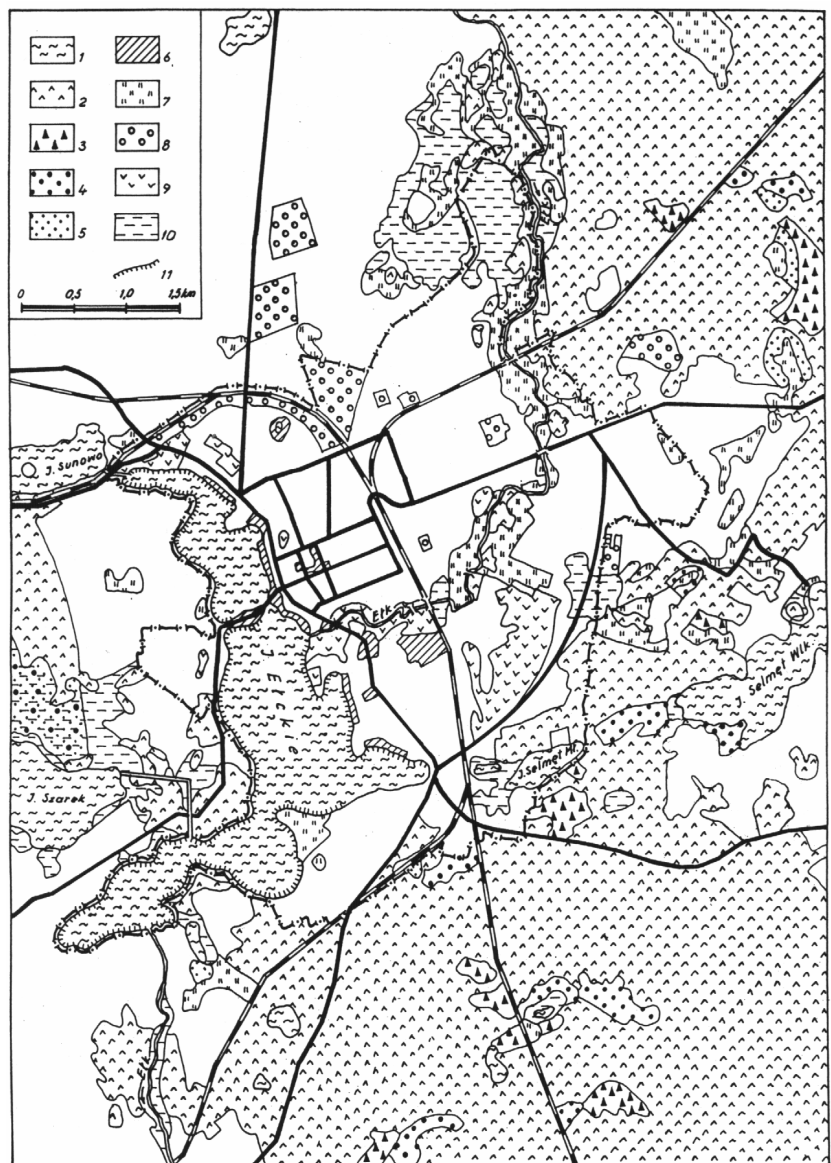


Rys.5. Łańcuch przyczynowo-skutkowy wprowadzania gazów i pyłów do środowiska przyrodniczego (zwiększająca się grubość strzałek oznacza kumulowanie skutków antropopresji w środowisku, a zwiększająca się grubość ramek oznacza wzrost zmian w ekosystemach wywołanych imisją)

Wyróżniono zatem elementy struktury ekologicznej obszaru, takie jak: jeziora, tereny leśne (podzielone według gatunku dominującego w składzie drzewostanu), tereny parków, użytki zielone i murawy, ogrody działkowe i sady, zieleń nieurządzoną, bagna, szuwały, cechujące się zróżnicowaną wrażliwością na różne formy presji antropogenicznej. Wyróżniono także ostoje rzadkich gatunków roślin i zwierząt oraz tereny hydrogeniczne (z płytko występującymi wodami gruntowymi – do głębokości około 1 m p.p.t.). Obszary te przedstawiono na rys.6.

Odporność tych elementów struktury ekologicznej na zanieczyszczenia powietrza pochodzące z emisji wysokiej analizowano w odniesieniu do takich stresorów jak: pyły, dwutlenek siarki, tlenki azotu, tlenek węgla, benzo- $\alpha$ -piren, węglowodory aromatyczne i

alifatyczne oraz wybrane metale ciężkie. Na podstawie analizy danych literaturowych dotyczących reakcji roślin na dostawę zanieczyszczeń z powietrza [m.in. Jagusiewicz, 1981; Godzik, 1989, Karolewski, 1989], dla roślin drzewiastych uwzględniono tempo defoliacji wywołanej różnym stężeniem wymienionych związków, a dla pozostałych roślin osłabianie wzrostu i zanik stanowisk. Odporność jezior na degradację można określić zgodnie z metodyką systemu oceny jakości jezior autorstwa Kudelskiej, Cydzik i Soszki [1992]. Także w przypadku analizy innych rodzajów stresorów należy skorzystać z dostępnych źródeł danych na temat reakcji środowiska przyrodniczego na ich oddziaływanie. Przykład uproszczonej oceny wrażliwości elementów struktury ekologicznej zawarto w tab. 3.



Rys.6. Elementy struktury ekologicznej Ełku i okolic: 1- jeziora, 2 - lasy sosnowe, 3 - lasy świerkowe, 4 - lasy brzozowe, 5 - lasy olchowe, 6 - parki i tereny o zbliżonym charakterze, 7 - użytki zielone i murawy, 8 - ogródki działkowe i sady, 9 - zieleń nieurzędzona, 10 - tereny podmokłe (hydrogeniczne), 11- szuwały trzciny pospolitej i pałki wąskolistnej

Tab.3. Ocena wrażliwości elementów struktury ekologicznej na oddziaływanie najpowszechniejszych zanieczyszczeń atmosferycznych

Mało odporne	Średnio odporne	Odporne
1. Drzewostany leśne i parkowe: <ul style="list-style-type: none"> <li>• sosnowe, modrzewiowe,</li> <li>• brzozowe, topolowe;</li> </ul> 2. Ogrody działkowe; 3. Ostoje rzadkich gatunków roślin i zwierząt; 4. Najbardziej wrażliwe zbiorniki wodne*	1. Łąki i pastwiska; 2. Tereny hydrogeniczne; 3. Drzewostany leśne i parkowe iglaste (poza sosnowymi i modrzewiowymi); 4. Skwery miejskie; 5. Szuwary przybrzeżne; 6. Zbiorniki wodne o przeciętnej wrażliwości*	1. Zieleń nieurządzona; 2. Drzewostany leśne i parkowe liściaste (poza brzozowymi i topolowymi); 3. Zbiorniki wodne o małej wrażliwości*

\*oceny odporności jezior można dokonać zgodnie z Systemem Oceny Jakości Jezior [Kudelska i in., 1992]

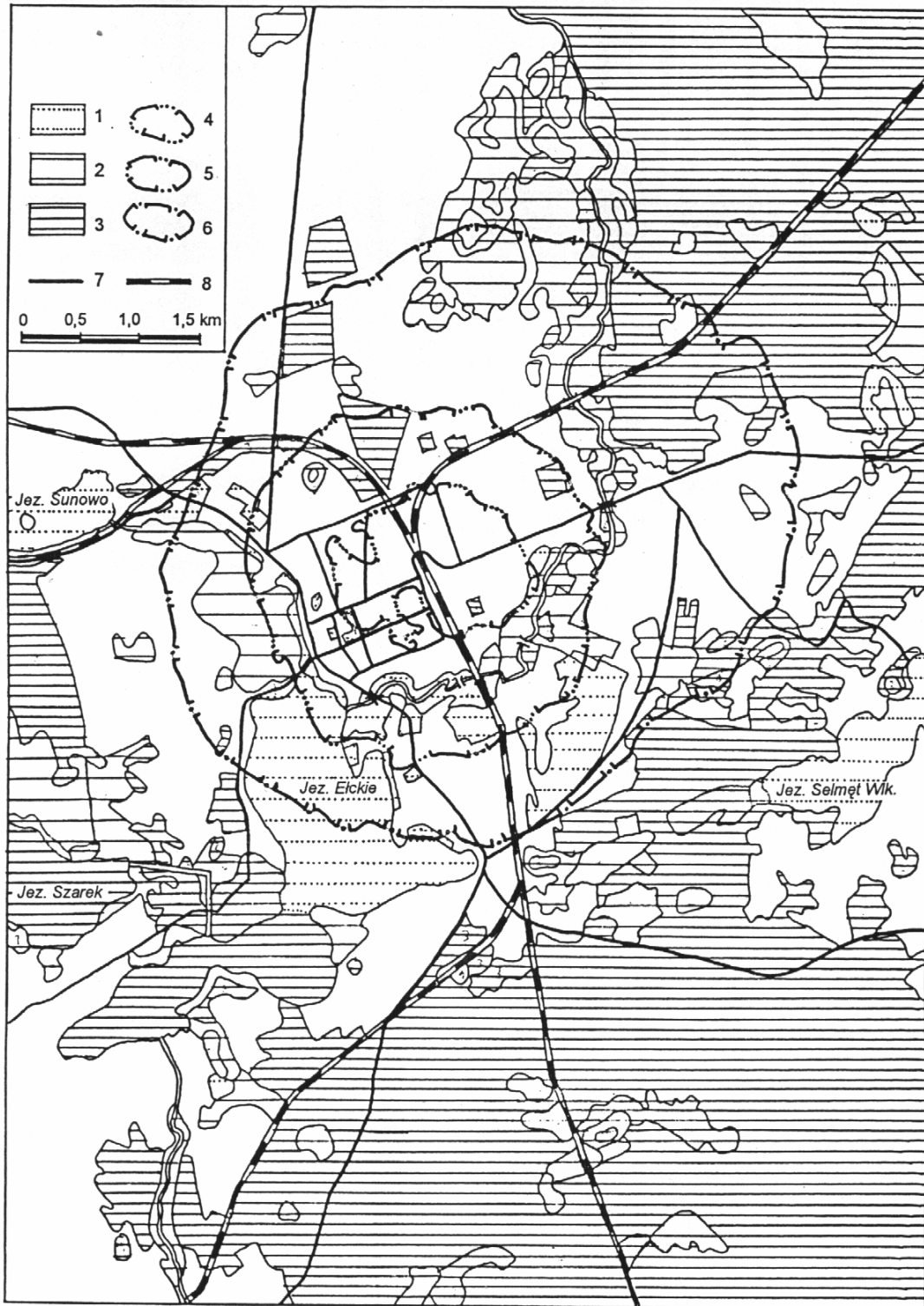
Należy mieć jednak świadomość uproszczeń wprowadzanych przez tego typu oceny, które wynikają m.in. z przenoszenia wiedzy teoretycznej na konkretny, zawsze inny teren.

Ostatni etap oceny odporności to kartograficzna prezentacja rezultatów oceny, gdzie odpowiednim elementom struktury ekologicznej przypisuje się wskazane w tabeli 3 oceny. Na rys.7 zaprezentowano taką ocenę, wraz z oceną zagrożenia pochodzącego z emisji wysokiej.

W świetle obowiązujących przepisów prawnych sporządzanie oceny odporności środowiska na antropopresję w ramach opracowania ekofizjograficznego jest obligatoryjne. Im skala sporządzanych planów jest bardziej szczegółowa, tym bardziej niezbędna jest precyzyjna wiedza o strukturze i funkcjonowaniu środowiska przyrodniczego obszaru objętego planem przestrzennym. Tak więc, zgodnie z obowiązującą ustawą, która ustala skalę sporządzania miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego na 1:1.000, dla wszystkich tych planów wymagane jest dokładne rozpoznanie warunków przyrodniczych, aby możliwe było określenie odporności środowiska na antropopresję.

Jak wykazały zaprezentowane przykłady, tworzenie gotowych algorytmów oceny odporności jest jednak procesem trudnym, obarczonym dużą niepewnością, a co za tym idzie nadal mało doskonałym. Być może dalszy rozwój wiedzy przyrodniczej pozwoli poprawić ten stan, jednak aktualnie niezbędny jest szeroki udział doświadczonych geografów, biologów i ekologów krajobrazu w procesach sporządzania opracowań ekofizjograficznych, ponieważ wszystkie analizowane przypadki są niepowtarzalne. Z pewnością, problem metod oceny

odporności i reakcji środowiska przyrodniczego na antropopresję można uznać za jedno z największych wyzwań i przyszłych pól badawczych nauk przyrodniczych.



Rys. 7. Ocena odporności elementów struktury ekologicznej Elku i okolic na dopływ zanieczyszczeń atmosferycznych na tle oceny zagrożenie imisją z emitorów wysokich (tereny o: 1 - dużej odporności, 2 - średniej odporności, 3 - małej odporności; zagrożenie imisją z emitorów wysokich: 4 - bardzo duże, 5 - duże, 6 - średnie, 7 - główne drogi i ulice, 8 - linie kolejowe)

## Ocena zdolności środowiska do regeneracji

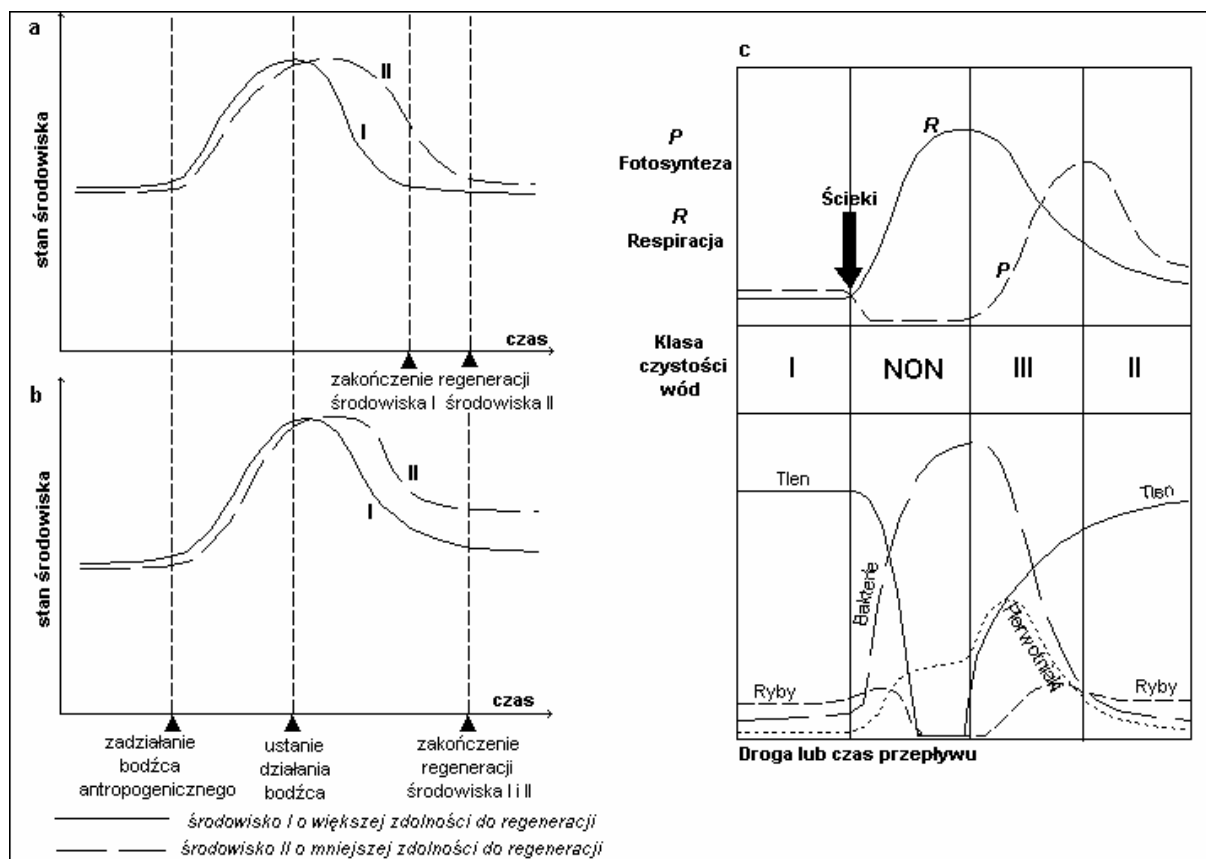
Z problemem odporności środowiska wiąże się ocena jego zdolności do regeneracji. Termin **regeneracja** można najogólniej zdefiniować jako *powrót środowiska do stanu zbliżonego do tego, jaki występował przed wystąpieniem presji na środowisko*. Presja ta może mieć charakter naturalny lub antropogeniczny, przy czym w praktyce termin „regeneracja” najczęściej odnosi się do środowiska, które podlegało antropopresji.

Generalnie można stwierdzić, że im wyższa jest odporność środowiska, tym większe są także jego możliwości regeneracyjne, chociaż istnieją wyjątki od tej zasady. Zdolność do regeneracji najczęściej wyrażana jest długością czasu, jaki upływa między momentem ustania działania czynników odkształcających środowisko, a powrotem środowiska do stanu, który występował przed rozpoczęciem działania tych czynników lub do stanu podobnego. Uzupełniającym miernikiem jest różnica stanów środowiska w punkcie "początkowym" (przed oddziaływaniem) i "końcowym" (po regeneracji), gdyż środowisko rzadko wraca do stanu w pełni zgodnego z wyjściowym (rys.8a-b). W praktyce jednak ocena zdolności środowiska do regeneracji należy do zadań najtrudniejszych pod względem metodologicznym. Wynika to z kilku faktów:

- środowisko bardzo rzadko wraca do takiego samego stanu, jaki występował przed wystąpieniem oddziaływań;
- degradacja (lub degeneracja) środowiska często następuje pod wpływem synergicznego oddziaływania kilku czynników i nie można stwierdzić, który z ich odgrywa ważniejszą rolę, a wstrzymanie ich oddziaływania nie następuje jednocześnie;
- regeneracja przebiegająca pod wpływem czynników naturalnych (po zaniechaniu antropopresji) często wspomagana jest celowymi działaniami człowieka (z zakresu kształtowania środowiska, np. rekultywacji), i wówczas jej tempo jest zróżnicowane;
- wiele procesów regeneracyjnych (odnoszących się np. do roślinności lub zasobów wód podziemnych) trwa długo, np. kilkadziesiąt lat, i przekracza długość życia jednego pokolenia ludzi, przez co, ze względu na prowadzenie rozwiniętego monitoringu środowiska dopiero w ostatnich 2-3 dekadach, brak jest informacji o pełnym przebiegu wielu procesów regeneracyjnych zachodzących w środowisku przyrodniczym.

W literaturze najpełniej omówione są zagadnienia regeneracji:

- jakości wód powierzchniowych, [np. Lampert, Sommer, 1996; Kajak, 1979] (ryc. 8c);
- gatunków i populacji oraz ekosystemów [np. Faliński, 1991; Pawlaczyk, Jermaczek, 2000];
- mokradeł w ujęciu fizycznym i biologicznym [np. Pawlaczyk i in., 2001].



Rys. 8. Hipotetyczne wykresy zdolności regeneracyjnych środowiska przyrodniczego (a - b) i przykładowy schemat samooczyszczania wód płynących (c) wg Uhlmana [za Lampert i in., 1996]

W stosunku do tych elementów przyrody najczęściej powinny być analizowane zdolności regeneracyjne. Oczywiście nie wyklucza to badania możliwości regeneracyjnych jakości wód podziemnych (np. po zanieczyszczeniu z powierzchni), pokrywy glebowej (np. po jej zubożeniu w wyniku erozji) lub powtórnego zasiedlenia obszarów opuszczonych wcześniej przez określone gatunki (np. ornitofauny).

W przypadku rzek (rys.8c) tempo regeneracji zależy od długości (drogi lub czasu) i wielkości przepływu. Im ich wartości są większe (od miejsca lub momentu wystąpienia oddziaływania), tym szanse na regenerację wzrastają. Czas, w którym nastąpi regeneracja należy jednak określać indywidualnie dla każdego ciek, ponieważ jest on niepowtarzalny. Kwestia jest bardziej skomplikowana w przypadku jezior, gdyż ich możliwości regeneracyjne zależą nie tylko od tempa wymiany wody w zbiorniku, ale także od ilości zanieczyszczeń zakumulowanych w osadach dennych. Mogą one być okresowo uwalniane pod wpływem różnych czynników (np. falowania wiatrowego lub uprawiania sportów motorowodnych), co powoduje wtórną degradację jeziora. Generalnie zbiorniki przepływowe i o większych głębokościach mają większe szanse na regenerację, niż jeziora bezodpływowe i płytkie.

W przypadku roślinności, termin „regeneracja” jest powszechnie stosowany w odniesieniu do dynamiki gatunków, populacji lub ekosystemów, obok terminów: fluktuacja, degeneracja, sukcesja i regresja. W tym przypadku regeneracja ma często charakter sukcesji wtórnej, występującej obecnie w Polsce, szczególnie często na gruntach porolnych. Ponieważ na większości obszarów Polski końcowe (klimaksowe) stadium sukcesji stanowią zbiorowiska leśne, w literaturze najczęściej charakteryzowana jest ich regeneracja. Przykładowo, Faliński [1986] podaje, że na porolnym zbiorowisku segetalnym rozwinięty bór sosnowy rozwinię się w okresie nie krótszym niż 70 lat, jednak wcześniej (po około 15 latach) pojawiają się jałowczyska z murawami napiaskowymi, a po około 25 latach zapusty (młodniki, zakrzewienia, zadrzewienia) jałowcowo-osikowe. Rzecz jasna, tempo regeneracji zależy ściśle od charakteru siedliska w którym ona przebiega i od wystąpienia ewentualnych dodatkowych czynników antropogenicznych oraz od stanu przekształcenia pierwotnego środowiska.

W przypadku mokradeł, szczególnie torfowisk, liczba sytuacji występujących w przyrodzie jest na tyle duża, że możliwości regeneracji należy analizować indywidualnie w odniesieniu do każdego obiektu [Pawlaczyk i in., 2001]. Generalnie jednak, możliwości regeneracji zależą od stopnia odwodnienia torfowiska i zaawansowania procesu murszowacenia gleb. W wielu sytuacjach procesy te są już nieodwracalne i torfowisko nie może się zregenerować. Zależy to także od możliwości utrzymania poziomu wód gruntowych zasilających torfowisko, który nie może być ani za niski, ani za wysoki (powyżej poziomu gruntu). Często nie jest to możliwe bez działań człowieka wspomagających regenerację. Ogólnie jednak, odtwarzanie torfowisk, o ile jest możliwe, trwa bardzo powoli. W literaturze podaje się różne wartości. Przeciętnie przyjęć można, że warstwa torfu odbudowuje się w tempie od jednego do kilku milimetrów w ciągu roku, czyli w ciągu stulecia może ono przyrosnąć od dziesięciu do kilkudziesięciu centymetrów.

Generalnie, oceniając w opracowaniu ekofizjograficznym zdolności regeneracyjne środowiska, należy przyjąć założenie, że regeneracja następuje wyłącznie pod wpływem procesów naturalnych. Pomimo, iż celowe działania człowieka mogą znacznie przyspieszyć regenerację środowiska, ich wskazanie nie powinno być przedmiotem opracowania tej części ekofizjografii. Należy także pamiętać, że podejmowanie wszelkich ingerencji człowieka w naturalne cykle odnowienia środowiska, mogą je zaburzyć i można się na nie decydować jedynie w przypadkach, gdy przyroda „nie poradzi sobie sama” z regeneracją środowiska.

Ocenę zdolności regeneracyjnych środowiska mogą przeprowadzić tylko doświadczeni reprezentanci: ekologii, fitosocjologii, hydrografii, limnologii lub geoekologii.

## Literatura

- Faliński J.B., 1986, Sukcesja roślinności na nieużytkach porolnych jako przejaw dynamiki ekosystemu wyzwolonego spod długotrwałej presji antropogenicznej, *Wiad. Botan.*, T.30, nr 1, s.25-50 + 30.
- Faliński J.B., 1991, Procesy ekologiczne w zbiorowiskach leśnych, *Phytocenosis NS Seminarium Geoboticum* 1, s.17-41.
- Godzik S., 1989, Oddziaływanie tlenków siarki na rośliny drzewiaste (w:) *Życie drzew w skażonym środowisku*, Instytut Dendrologii PAN, PWN, Warszawa – Poznań.
- Hopfer A., Cymerman R., Nowak A., 1982, Ocena i waloryzacja gruntów wiejskich, PWRiL, Warszawa, s.154-170.
- Jagusiewicz A., 1981, Powietrze – człowiek – środowisko, LSW, Warszawa, 255 ss.
- Kajak Z., 1979, Eutrofizacja jezior, PWN, Warszawa.
- Karolewski P., 1989, Oddziaływanie tlenków azotu na rośliny drzewiaste (w:) *Życie drzew w skażonym środowisku*, Instytut Dendrologii PAN, PWN, Warszawa – Poznań.
- Kistowski M., Lewandowska J., 1989, Studium struktury i podatności na antropizację środowiska przyrodniczego regionu gdańskiego, Eko-service, Gdańsk (*maszynopis*).
- Kistowski M., Szczepaniak J., 1990, (red.), Materialna i funkcjonalna struktura środowiska przyrodniczego Obszaru Funkcjonalnego "Zielone Płuca Polski", Narodowa Fundacja Ochrony Środowiska, Gdańsk – Warszawa (*maszynopis*).
- Kistowski M., 1995, Analiza przyczynowo-skutkowych łańcuchów antropopresji jako podstawa racjonalnej gospodarki w środowisku przyrodniczym (w:) M.Ruszczycka-Mizera (red.) *Studia krajobrazowe jako podstawa racjonalnej gospodarki przestrzennej*, Wrocław, s.23-39.
- Kistowski M., Rekowska M., Stefaniak B., 1996, Metoda oceny wpływu antropopresji na środowisko przyrodnicze stref podmiejskich w krajobrazie młodoglacjalnym (na przykładzie okolic Ełku), *Przegląd Nauk. Wydz. Melioracji i Inżynierii Środowiska SGGW*, z.10, Warszawa, s.13-24.
- Kistowski M., 2000, Problem oceny wrażliwości środowiska przyrodniczego na antropopresję jako element strategicznych ocen oddziaływania na środowisko, *Problemy Ocen Środowiskowych*, 3 [10], s.22-28.
- Kistowski M., 2001, Zarys koncepcji sporządzania opracowań ekofizjograficznych. Część I, *Problemy Ocen Środowiskowych*, 4 [15], s.57-66.
- Kompendium porównawczej analizy ryzyka i oceny ryzyka, 1995, Instytut na Rzecz Ekorozwoju Społeczności Lokalnych, Vermont.
- Kudelska D., Cydzik D. i Soszka H., 1992, Wytyczne monitoringu podstawowego jezior, PIOŚ, Warszawa.
- Lampert W., Sommer U., 1996; *Ekologia wód śródlądowych*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Obmiński Z., 1978, *Ekologia lasu*, PWN, Warszawa, 1978, s.430-443.
- Pawlaczyk P., Jermaczek A., 2000, *Poradnik lokalnej ochrony przyrody*, Wyd. LKP, Świebodzin, 287ss.
- Pawlaczyk P., Wołejko L., Jermaczek A., Stańko R., 2001, *Poradnik ochrony mokradeł*, Wyd. LKP, Świebodzin, 272 ss.
- Richling A., Solon J., 1996, *Ekologia krajobrazu*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.