

Zofia Ciesielska

## Z ZAGADNIEŃ ENERGETYKI EKOLOGICZNEJ

### Wstęp

Nowy program w liceum ogólnokształcącym uwzględnia główne kierunki współczesnej biologii. Nie brak tu również zagadnień z zakresu ekologii, na którą przeznaczona jest osiem godzin lekcyjnych. Przewidziane są również dwie wycieczki. Program obejmuje obok wyjaśnienia podstawowych, podręcznikowych pojęć ekologicznych takich jak populacja, biocenoza, biotop itp. również zapoznanie uczniów - w najogólniejszym zarysie - z aktualnie prowadzonymi badaniami w tej dziedzinie. Do najnowszych kierunków w ekologii zalicza się m. in. produktywność biocenoz, czyli produkcję roślinną i zwierzęcą oraz przepływ energii na poziomie populacji i ekosystemu. Problematyka ta nosi ogólną nazwę **e n e r g e t y k i e k o l o g i c z n e j**.

Wydaje się, że nawet najogólniejsze wprowadzenie uczniów w te zagadnienia może nastreścić nauczycielom pewne trudności, ponieważ nie mają one jeszcze podręcznikowych opracowań. Wyniki aktualnie prowadzonych badań są publikowane w naukowym piśmiennictwie, nie zawsze dostępnym szerokiemu ogółowi nauczycieli. Jednakże waga tych zagadnień nie pozwala na ich pominięcie. Ludzkość w swej dążności do zaspokojenia potrzeb pokarmowych jest uzależniona od ilości energii słonecznej, która dociera na ziemię oraz od sposobu jej wykorzystania przez organizmy żywe. Poznanie prawidłowości przekształceń tej energii w zespołach organizmów żywych jest konieczne z uwagi na to, że dwie trzecie ludzi żyjących na świecie cierpi na brak żywności. Celem więc badań energetycznych, w ekologii, wchodzących m. in. w zakres Międzynarodowego Programu Biologicznego /IBP<sup>x</sup>/, jest właśnie poznanie tych prawidłowości.

Zainteresowania ekologów skupiają się na zagadnieniu, jaka ilość energii wchodzącej do ekosystemu przypada na jednostkę powierzchni i jaka jest wydajność tej energii podczas jej przemian z jednej postaci w  
<sup>x</sup>/IBP - International Biological Program.

inną. Badania te z konieczności ograniczane są do nielicznych gatunków roślin i zwierząt. Pozwalają one jednak na uzyskanie informacji na temat: jaka jest rola najważniejszych gatunków w przepływie energii przez ekosystem. Do atmosfery ziemskiej dostaje się w przybliżeniu  $15,3 \times 10^8$  cal /m<sup>2</sup>/ rok energii słonecznej. Znaczna część tej energii jest rozpraszana przez cząstki pyłu i zużywana na parowanie wody. Średnia ilość energii promieniowania przypadająca na jednostkę powierzchni i na jednostkę czasu do dyspozycji roślin jest różna w różnych częściach kuli ziemskiej. Rośliny z energii tej tracą natychmiast 95-99%, głównie w postaci ciepła parowania i ciepła własnego. Tylko 1-5% zostaje zużyte w procesie fotosyntezy i przemienia się w energię chemiczną tkanek roślinnych.

Przemiana energii słonecznej w chemiczną przez rośliny podlega zasadom termodynamiki:

$$\text{Energia słoneczna pobrana przez rośliny} = \text{Energia chemiczna wzrostu rośliny}^{x/} + \text{Energia ciepła oddychania}$$

U heterotrofów, również zgodnie z zasadami termodynamiki przemiana energii przedstawia się następująco:

$$\text{Energia chemiczna pobrana} = \text{Energia chemiczna przyswojona} + \text{Energia chemiczna fekalii}$$

natomiast:

$$\text{Energia chemiczna przyswojona} = \text{Energia chemiczna wzrostu}^{xx/} + \text{Energia ciepła oddychania}$$

We wszystkich tych rozważaniach musi być uwzględniony czas, w jakim dana ilość energii jest związana. Chodzi bowiem o określenie, jaka ilość materii organicznej została wytworzona przez biocenozę w ciągu np. miesiąca czy roku.

O bogactwie ekosystemu świadczy jego produktywność, która jest jednakże zmienna w czasie. Nie zawsze bogata w liczbę gatunków biocenoza odznacza się dużą produktywnością i dlatego należy wyraźnie odróżnić pojęcie produktywności biocenozy od pojęcia biomasy, stwierdzonej w dowolnym czasie. Produktywności ekosystemu bowiem nie można ocenić jedynie na podstawie policzenia, czy też zważenia organizmów, występujących w określonym czasie na danym terenie. Wyróżnia się dwa rodzaje produktywności - produkcję pierwotną i produkcję wtórną.

<sup>x/</sup> łącznie z nasionami, wydzielinami itp.  
<sup>xx/</sup> łącznie z produkcją potomstwa i wydzielin.

## Produktywność pierwotna

Podstawową produkcją ekosystemu jest produkcja pierwotna. Pod pojęciem tym należy rozumieć intensywność gromadzenia energii w procesach fotosyntezy i chemosyntezy w postaci substancji organicznych dających się zużytkować jako pokarm. Inaczej całość energii chemicznej, wytworzonej przez autotrofy na jednostkę powierzchni w jednostce czasu to tzw. ogólna produktywność pierwotna lub ogólna produkcja pierwotna. Produkcja ta nie stanowi jednakże w całości pokarmu, który jest do dyspozycji heterotrofów. Podczas syntezy substancji organicznych autotrofy muszą wykonać pracę, do wykonania której czerpią energię w procesie oddychania z utleniania substancji organicznych wyprodukowanych w procesie fotosyntezy.

Energię pokarmu potencjalnie dostępną dla heterotrofów jest tzw. czysta produkcja pierwotna, którą stanowi ogólna produkcja pierwotna minus straty na oddychanie. Czystą produkcją pierwotną można więc określić szybkość gromadzenia w tkankach roślinnych substancji organicznych, nie zużytych przez roślinę na oddychanie.

Badania naukowe dotyczące produkcji pierwotnej mają już pewną tradycję. Wciąż trwają jednak prace nad ujednoczeniem metod badawczych, które pozwoliłyby na uzyskiwanie porównywalnych wyników. Stosowane metody badań powinny spełniać kilka podstawowych warunków:

1. dawać informacje o wielkości produkcji pierwotnej naturalnych środowisk,

2. podawać wyniki w jednostkach porównywalnych, pozwalających na przeliczenie jednostki biomasy, i wreszcie

3. nadawać się do stosowania na szeroką skalę /Pieczyńska, Szczepańska, Szczepański, 1967, Kajak, 1967/.

Do oceny produkcji pierwotnej, np. w środowisku wodnym, stosuje się najczęściej metody, które mają na celu m. in. analizę przyrostów biomasy producentów i wyliczenie rzeczywistej produkcji w oparciu o znane lub zakładane charakterystyki zespołu producentów; analizę zmian środowiska, zachodzących pod wpływem procesów fotosyntezy i wyliczenie wielkości fotosyntezy na tej podstawie; analizę ilości węgla przyswojonego przez rośliny w procesie fotosyntezy itp.

Nie wszystkie metody dają się zastosować do wszystkich grup producentów, przy czym jedne dają informacje o produkcji ogólnej, inne o produkcji czystej. Ogólnie rzecz biorąc, metody oceny produkcji pierwotnej opierają się najczęściej na zmianie liczebności i biomasy w jednostce czasu. Metoda analizy maksymalnej biomasy wymaga śledzenia fenologii badanych roślin, które po okresie osiągnięcia maksimum rozwoju

przypadającego zazwyczaj w czasie wytwarzania kwiatostanów obumierają i rozkładają się. Niektóre rośliny mają przecież dwa cykle życiowe w ciągu jednego sezonu wegetacyjnego i dlatego badania prowadzone nad nimi wymagają większego nakładu czasu. Poprawną ocenę produktywności czyściej na podstawie danych o biomase można uzyskać jedynie wtedy, gdy bierze się pod uwagę duże organizmy i to w takich wypadkach, gdy żywy materiał jest przez pewien okres czasu nie użytkowany a gromadzony, np. plony roślin uprawnych. Natomiast w przypadkach, gdy w biocenozie mamy do czynienia z dużą ilością drobnych organizmów, które odznaczają się szybką wymianą, tzn. że organizmy należące do wszystkich grup są zjadane w miarę jak zostają "wyprodukowane" - wielkość biomasy nie może być obrazem produktywności.

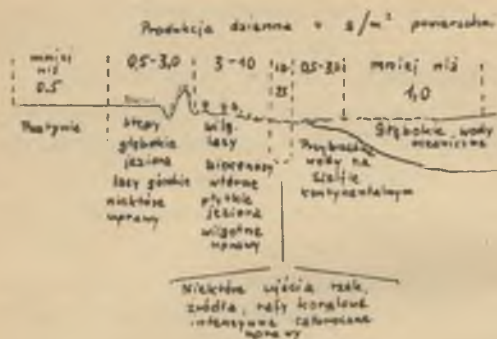
Jako uproszczony przykład może służyć pastwisko, na którym pasie się bydło. Ma ono mniejszą biomasę niż analogiczne pastwisko nie wypasane w czasie wykonywania pomiarów. W pierwszym przypadku konsumpcja odbywa się prawie równocześnie z produkcją, co jest najczęstszym obrazem stosunków w biocenozach naturalnych o wielu poziomach troficznych.

Maksymalna produktywność uzyskiwana przez człowieka w warunkach intensywnej gospodarki rolnej nie przekracza produktywności szeregu żywnych ekosystemów naturalnych. Na przykład, rafy koralowe - to doskonale przystosowane ekosystemy, oparte na symbiozie roślin i zwierząt o niezwykle sprawnym mechanizmie krążenia materii i o ogólnej produkcji rocznej dużo wyższej niż najlepsze osiągnięcia gospodarki rolnej człowieka. Różnica polega na tym, że np. z pola uprawnego duża część czyściej produkcji pierwotnej jest zużywana przez człowieka, natomiast w biocenozie rafy jest wiele różnorodnych konsumentów, przy czym bardzo sprawnie działa mechanizm krążenia materii i co za tym idzie proces "samoużyźniania się".

Wyraźnie tu należy podkreślić różnicę pomiędzy tym, co stanowi plon dla człowieka, a tym, co stanowi podstawową pierwotną produktywność. Człowiek w swej gospodarce nie potrafił dotąd podwyższyć maksymalnej produktywności pierwotnej ponad wartości, które są uzyskiwane w naturalnych ekosystemach bez udziału człowieka. Niestety, należy stwierdzić, że gospodarka ludzka często była rabunkowa i doprowadziła w efekcie do obniżenia produktywności. Schemat rozmieszczenia produkcji pierwotnej na ziemi przedstawia rysunek 1.

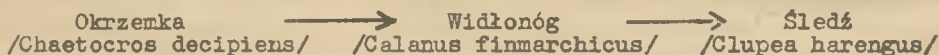
#### Produktywność wtórna

Przez produktywność wtórną należy rozumieć szybkość magazynowania energii na kolejnych troficznych poziomach kon-



Rys. 1. Rozkład produkcji pierwotnej na kuli ziemskiej /wg Oduma, 1962/

sumentów i reducentów. Produktywność wtórna jest ściśle związana z poziomami troficznymi i jest coraz mniejsza na kolejnych wyższych poziomach. Jako punkt wyjściowy wyjaśnienia poziomów troficznych należy przyjmując najprostszy łańcuch pokarmowy: roślina  $\rightarrow$  roślinożerca  $\rightarrow$  drapieżca. W naturze stosunki pokarmowe zwykle są bardziej skomplikowane. Dla przykładu, ogólny schemat stosunków pokarmowych śledzia będzie przedstawiał się następująco:



W rzeczywistości jednakże Calanus odżywia się wieloma gatunkami tak glonów, jak i pierwotniaków. Z kolei sam, mimo, że stanowi ok. 21% pokarmu dorosłych śledzi, jest zjadany również i przez inne organizmy, stanowiąc m. in. pokarm 70% larw tobiaszy /Ammodytes sp./, które z kolei również wchodzi w skład pokarmu śledzi. Poniższy schemat, zresztą bardzo uproszczony, obrazuje skomplikowane zależności pokarmowe na przykładzie śledzia.



Rys. 2. Zależności pokarmowe śledzia /wg Phillipsona/

Celem zbadania łańcuchów, a ściślej sieci pokarmowych stosuje się szereg różnych metod. Metody oparte na analizie przewodów pokarmowych napotykają na poważne trudności, wskutek często braku możliwości oznaczenia materiału na podstawie fragmentów zjedzonych i nadtrawionych osobników. Nie jest możliwe poza tym poznanie soków roślinnych oraz zwierząt nie posiadających twardych elementów szkieletowych. Do najnowszych i interesujących metod należą metody oparte na zastosowaniu izotopów radioaktywnych oraz zastosowana przez Dempstera /1960/ metoda p r e c y p i t a c j i. Dempster, poszukując np. gatunków drapieżnych w stosunku do wybranego gatunku chrząszcza *Phytodecta olivacea* wstrzykiwał królikom pozbawiony cząstek stałych ekstrakt z chrząszcza, wywołując w ten sposób powstanie antyciał w surowicy krwi. Z surowicy krwi drogą sterylizacji i odparowywania w niskiej temperaturze uzyskiwano ekstrakt, służący do dalszych badań. Zawartość przewodów pokarmowych przypuszczalnych drapieżców, względnie same drapieżce rozgniatano na bibule filtracyjnej i suszono nad pięciotlenkiem fosforu. Po 24-godzinnej ekstrakcji w roztworze fizjologicznym uzyskany płyn poddawano działaniu niewielkiej ilości /0,02 ml/ uzyskanego poprzednio ekstraktu z surowicy krwi. Jeśli w skład pokarmu badanego drapieżcy wchodził poszukiwany gatunek - w tym przypadku *Phytodecta* - w kapilarach na powierzchni dwu zmieszanych płynów po upływie dwóch godzin pojawiał się biały strąk antygemu i antyciała. Metoda ta, aczkolwiek bardzo żmudna, okazała się niezastąpiona dla ustalenia związków pokarmowych na różnych poziomach troficznych.

Modelem obrazującym poziomy troficzne jest tzw. p i r a m i d a l i c z e b n o ś c i Eltona. Stanowi ona wspólny mianownik, pozwalający porównać różne biocenozy. Przy tworzeniu piramidy liczb na ogół łączy się wszystkie autotrofy pod nazwą p r o d u c e n t ó w, po czym wyróżnia się konsumentów I, II i III rzędu. Piramida liczebności pozwala na określenie, jaka liczba roślinożerców egzystuje kosztem danej liczby roślin. Przy porównywaniu dwu różnych ekosystemów korzystniej jest operować ciężarem, czyli biomasą organizmów, niż ich liczebnością, ponieważ uzyskuje się w ten sposób dane bardziej porównywalne. Modelem obrazującym zależność biomas na różnych poziomach troficznych jest tzw. p i r a m i d a b i o m a s y /rys. 3/. Piramidy troficzne dotyczą określonego czasu, tj. czasu, w którym były robione pomiary. Informują one więc tylko o ilości materii w danym momencie, ale nie mówią nic o intensywności procesu wymiany energii.

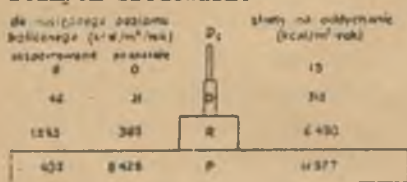
Zgodnie z teorią przepływu materii i energii przez łańcuchy pokarmowe miernikiem obfitości pokarmu dla kolejnego ogniwa nie są rozmiarzy ogniwa poprzedzającego, lecz jego produkcja /Kaczmarek 1969/. Obrazem produkcji ekologicznej w obrębie ekosystemu może być p i r a m i d a

energii, gdzie każdy "słupek" odpowiada całkowitej ilości energii wykorzystanej przez poszczególne poziomy troficzne w obrębie  $1 \text{ m}^2$  w okresie jednego roku.



Rys. 3. Piramida liczb /A/ i piramida bionas /B/ /wg Oduma, 1963/

Wyrażenie produkcji w jednostkach energii umożliwia przedstawienie jej w jednolity sposób w różnych ekosystemach i porównanie w ten sposób różnych środowisk.



Rys. 4. Piramida przepływu energii w źródle /wg Oduma, 1963/

W każdym ekosystemie istnieją dwa podstawowe łańcuchy pokarmowe:

1. łańcuch pokarmowy roślinożerców, składający się ze zwierząt pobierających jako pokarm żywy materiał roślinny oraz z żywiących się nimi drapieżców,

2. łańcuch pokarmowy detrytożerców, składający się z form roślinożernych, żywiących się obumarłym materiałem roślinnym oraz z drapieżców. Oba te łańcuchy nie są od siebie izolowane, ponieważ ciała zwierząt wchodzących w skład łańcucha pokarmowego roślinożerców żywiących się żywymi częściami roślinnymi mogą po śmierci zostać włączone do łańcucha detrytożerców. Podobnie dzieje się z fekaliami detrytożerców. Tak więc w wielu ekosystemach łańcuch pokarmowy detrytożerców czyli destrucentów jest ważniejszy dla przepływu energii niż łańcuch roślinożerców i dlatego ten łańcuch pokarmowy nie może być pominięty przy rozważaniu produktywności ekosystemu.

Heterotrofy łańcucha pokarmowego detrytożerców - inaczej destruenci stanowią zbiór organizmów bardziej jednolity niż heterotrofy łańcucha roślinożerców. W środowiskach lądowych zaliczają się tu stosunkowo duże organizmy, jak np. dżdżownice /Lumbricidae/, stonogi /Isopoda/, wiję /Myriapoda/, roztocze /Acarina/, skoczogonki /Collembola/, wolnożyjące nicienie /Nematodes/, a także mikroorganizmy, jak pierwotniaki /Protozoa/, grzyby /Fungi/ i bakterie /Bacteriae/.

Na ogół uważa się, że mikroorganizmy mogą być odpowiedzialne aż za 90% przepływu energii przez ekosystem. Problematiczna jest zatem rola

dużych heterotrofów. Szczegółowe badania wykazały jednak, że jeśli nie uczestniczą one bezpośrednio w przepływie energii, to z całą pewnością ułatwiają działalność mikroorganizmu poprzez np. niszczenie ściółki, pozostawianie resztek pokarmu i fekalii.

### Przepływ energii przez ekosystem

Pierwsza zasada termodynamiki może być zastosowana zarówno do osobników, jak i do ekosystemów. Zgodnie bowiem z nią ilość energii wchodzącej do organizmu jest równa energii oddawanej, z tym, że oddawana jest w innej formie. Ekosystem w takim przypadku jest traktowany jako jednostka analogiczna do organizmu. Badania przepływu energii przez ekosystem są bardzo trudne i muszą być z konieczności ograniczone do wybranych tylko populacji czy grup organizmów reprezentujących dany poziom troficzny. Dodatkowe trudności sprawia fakt, że wiele zwierząt to organizmy wszystkożerne, co utrudnia zakwalifikowanie ich do odpowiedniego poziomu troficznego. Poza tym niektóre gatunki odgrywają rolę w stymulowaniu przepływu energii /np. dżdżownice/. Dlatego też poznanie wielorakich funkcji różnych gatunków w oparciu o ich biologię jest podstawowym warunkiem możliwości zbadania i modyfikowania środowiska przez człowieka bez obawy zniszczenia go.

Badania nad przepływem energii przez ekosystem opierają się na badaniach produkcji pierwotnej i wtórnej. Odum /1956/ stwierdził, że istnieją dwie podstawowe metody określenia produkcji pierwotnej, pierwsza na podstawie oceny średniej intensywności fotosyntezy i druga - na podstawie badań przyrostów biomasy. Przy czym dla obydwu metod najwłaściwszym odcinkiem czasu badań jest rok.

Badania produkcji wtórnej opierają się głównie na zagadnieniach metabolizmu, mimo że rola wielu zwierząt w przepływie energii jest dużo większa niż to wynika z tego rodzaju badań. Gibbs sformułował równanie, mówiące o tym, że:

zawartość energii w asymilowanym pokarmie	=	zawartość energii w tkankach wyprodukowanych w procesie wzrostu i rozmnażania	+	energia zdegradowana i stracona jako ciepło oddychania,
---	---	---	---	--

które wyraził następującym wzorem:

$$\Delta H = \Delta F + T \Delta S$$

gdzie  $\Delta H$  - to energia metabolizowalna, czyli różnica między, ciepłem pobieranym a wydalaniem,  $\Delta F$  - to swobodna energia potrzebna do wzrostu i podtrzymania pracy ekosystemu, a  $T \Delta S$  - to przyrost ilości ciepła.



Jak dalece ważne są badania poszczególnych populacji wykazał m.in. Berthet /1963/, który w swych pracach nad roztocznymi z rodziny Oribateidae wyliczył intensywność metabolizmu czterdziestu sześciu różnych gatunków i wykazał, że jest ona różna u różnych gatunków, a nawet różna w poszczególnych stadiach rozwojowych w obrębie danego gatunku.

Badania strat energetycznych populacji w procesach metabolizmu, są dopiero rozpoczęte, ale wciąż się rozwijają. Warto tu dla ilustracji zagadnienia przytoczyć za Phillipsonem /1969/ tabelę zestawiającą użytkowanie energii /zgodnie ze wzorem Gibbsa/ przez różne populacje zwierzęce.

Tabela 1

UŻYTKOWANIE ENERGII  $\Delta H = \Delta F + T\Delta S$  PRZEZ RÓŻNE POPULACJE ZWIERZĘCE

Gatunek	Charakterystyka	Asymilacja $\Delta H_a$ kcal/m <sup>2</sup> /r	Produkcja netto $\Delta F$ kcal/m <sup>2</sup> /r	Oddycha- nie $T\Delta S$ kcal/m <sup>2</sup> /r	Stosunek oddycha- nia do produkcji netto
<b>BEZKRĘGOWCE</b>					
Modiolus demissus /małż/	filtrator zmienno- cieplny	56,0	17,0	39,0	2,31
Orthoptera /różne gatunki pasikoników/	roślinożerca, zmiennociepne	25,6	4,0	21,6	5,4
<b>KRĘGOWCE</b>					
Butilus rutilus /płoc/	głównie roślino- żerna, zmiennociepna	119,0	8,6	110,0	12,8
Alburnus alburnus /ukleja/	głównie drapieżna, zmiennociepna	159,0	11,5	147,0	12,8
Mustela vison /łasicowate/	drapieżna, stałociepna	0,556	0,013	0,543	41,8
Peromyscus polionotus /mysz/	roślinożerna, stałociepna	6,7	0,12	6,57	54,8
Passerculus sandwichensis /trznadel sawannowy/	roślinożerny, stałociepny	3,6	0,04	3,55	88,8

Syntetyczne ujęcie przepływu energii przez ekosystem na przykładzie zbiorników słodkowodnych przedstawił w swej pracy H. J. Elster /1963/. Przeanalizował on wyczerpująco problemy krążenia materii w róż-

nych typach jezior, tj. produkcję pierwotną, wtórną oraz ich wzajemne zależności.

Autor stwierdza, że komórki glonów zużywają przeciętnie na oddychanie 5 - 15% wyprodukowanej materii organicznej. W ciągu 24 godzin straty zasymilowanego węgla mogą dochodzić nawet do 40%, wydzielaniu do środowiska może ulec 10%, a tylko 50% stanowi produkcję netto. Ta produkcja netto jest potencjalnym pokarmem następnego ogniwa troficznego, który stanowią głównie filtratory zooplanktonowe. Przykładem może tu być *Daphnia pulex*. Z pokarmu zjedzonego *Daphnia* asymiluje od 13 - 31%, przy czym na wzrost i rozmnażanie idzie około 10 - 17% zjedzonego pokarmu, a 60 - 70% zasymilowanego. Według Elstera produkcja fitoplanktonu niewystarcza na pokrycie zapotrzebowania pokarmowego zooplanktonu, stanowi ona zaledwie około 10%. Pozostała część zapotrzebowania jest pokrywana przez bakterie i detritus. Tak więc w tym przypadku tylko niewielka część produkcji pierwotnej przechodzi do następnego ogniwa troficznego.

Szybkość rozwoju i przemiany energii są specyficzne dla gatunku, czy dla grupy gatunków. Wartość biomasy zmienia się w zależności od zmian warunków środowiska. Szybkość rozwoju jakiegoś gatunku i przemiana energii zależą od temperatury, jednakże przepływ energii przez populację i produkcja nie zawsze są proporcjonalne do zmian temperatury. Dużą rolę odgrywają tu m. in. okresy nieaktywności zwierząt, diapauzy itp. Przyjmuje się, że stała wydajność ekologiczna zwierząt, polegająca na produkcji białka wynosi średnio około 10%, tzn. że z 1000 kalorii materiału roślinnego zjedzonego przez roślinożerców, tylko 100 kalorii przechodzi do mięsożerców, a do następnych "szczytowych" mięsożerców przekazane zostaje tylko 10 kalorii. Tak więc na przyrost zwierzęta przekształcają w przybliżeniu 10% pobranego pokarmu.

Dla człowieka - najbardziej ekonomicznym sposobem przekształcania energii słonecznej w użyteczne dla człowieka białko zwierzęce jest hodowanie głównie tych roślinożerców, które mają najwyższą wydajność przyrostu. Wysoka wydajność przyrostu brutto oznacza, że energia pokarmu jest efektywnie przyswajana na cele przyrostu i że tylko jej niewielka część pozostaje bezużyteczna jako fekalia, czy też zostaje zużyta w procesie oddychania. Wysoka wydajność przyrostu netto natomiast oznacza, że stosunkowo mała część zasymilowanej energii zostaje utracona jako ciepło oddychania.

Wspomniana wyżej *Daphnia* odznacza się wyjątkowo wysoką wydajnością przyrostu. Wydajność brutto wynosi 4 - 13%, zaś netto 55 - 59%. Natomiast wydajność przyrostu bydła hodowanego na łąkach kształtuje się około 4,1% brutto i 1),9% netto.

Ciągły wzrost populacji ludzkiej wymaga racjonalnego wykorzystywa-

nia ograniczonych zasobów naturalnych. Najpilniejszą potrzebą jest produkcja środków żywności. Tradycyjne metody hodowli inwentarza nie są najbardziej efektywnym sposobem produkcji białka zwierzęcego. Dla potrzeb człowieka najbardziej wydajną metodą produkcji białka jest hodowanie zwierząt o wysokiej wydajności przyrostu, przy jednoczesnym zwiększeniu ilości energii docierającej do tych zwierząt wraz z pokarmem. Bogatym źródłem białka zwierzęcego dla człowieka są ryby. Jednym z głównych zadań stojących przed naukowcami zajmującymi się sprawami gospodarki rybnej jest ustalenie granicy, przy której można uzyskiwać maksymalny stały wyłów ryb. W związku z tym konieczna jest dokładna znajomość ilości ryb w danym zbiorniku oraz znajomość ich biologii. Pociąga to zatem za sobą konieczność zwrócenia uwagi na organizmy, którymi żywią się ryby, czyli konieczność zwrócenia uwagi na stosunki energetyczne i pokarmowe ekosystemów morskich i słodkowodnych. Mając dokładne informacje na ten temat można będzie zapewne podnieść produktywność niektórych części morza czy jezior. Jednakże warunkiem wszelkich zabiegów jest dobra znajomość praw przyrody, która nie dopuści do naruszenia równowagi biologicznej. Zakłócenie bowiem równowagi w przyrodzie przez ingerencję człowieka powoduje zmianę w układzie przepływu energii przez ekosystem. I właśnie prace z zakresu energetyki ekologicznej polegają na szukaniu drogi do zapewnienia racjonalnej eksploatacji zasobów naturalnych i zabezpieczenia ich przed ustawicznymi zakłóceniami równowagi. Chodzi w nich o to, by zrozumieć układ przepływu energii przed interwencją człowieka i po niej.

Problematyka ta, jak wspomniano na wstępie, wchodzi w zakres badań Międzynarodowego Programu Biologicznego, w którym uczestniczy 56 krajów. Badania te dotyczą głównie pomiaru i porównania wielkości produkcji pierwotnej i wtórnej różnych środowisk, poznania czynników warunkujących wielkość produkcji oraz pomiaru ilości energii przepływającej przez ekosystem i analizy dróg przepływu tej energii w zależności od naturalnych właściwości ekosystemu /A. Kajak, 1969/. Badania prowadzone w Polsce obejmują głównie produkcję pierwotną, względnie dotyczą oceny produktywności i oddziaływania na roślinność zwierząt szkodliwych gospodarczo np. drobnych gryzoni czy ptaków ziarnojadów. Całościowe badania produktywności ekosystemów prowadzą trzy ośrodki naukowe: warszawski, krakowski i toruński.

#### LITERATURA

B e r t h e t P., *Mesure de la Consommation d'Oxygène des Oribatides /Acariens/ de la Litière de Forêts. Soil Organisms, Amsterdam 1963.*

- D e m p s t e r J. P., J. Anim. Ecol. 1960, 29:149-167.
- E l s t e r H. J., Die Stoffwechselfynamik der Binnengewässer - Verh. Dtsch. Zool. Ges. 1963, 57:335-387.
- K a c z m a r e k W., Liczebność populacji a obfitość pokarmu w zrównoważonych łańcuchach troficznych. Ekol. Pol. B.15,1:71-76.
- K a j a k A., Przegląd projektów badań Międzynarodowego Programu Biologicznego. Badania produkcji wtórnej w środowiskach lądowych. Kosmos 1969, A, 18,3:332-339.
- K a j a k Z., Uwagi w sprawie metod badania produkcji bentonu. Ekol. Pol. 1967, B, 13,2:173-195.
- O d u m E. P., Ecology 1956, 37:592-597.
- O d u m E. P., Podstawy ekologii. PWN Warszawa 1963.
- P h i l l i p s o n J. P., Energetyka ekologiczna. PWN Warszawa 1969.
- P i e c z y Ń s k a E., S z c z e p a Ń s k a W., S z c z e p a Ń s k i A., Metody badania produkcji pierwotnej. Ekol. Pol. 1967, B, 13,2:123-135.
- W ę g l e Ń s k e T., Wpływ naturalnego pokarmu na rozwój i produkcję zooplanktonu. Ekol. Pol. 1968, B, 14,3:271-277.

Zofia Ciesielska

#### SOME PROBLEMS OF ECOLOGICAL ENERGETICS

In the article the author discusses the basic notions in the sphere of ecological energetics. She analyses primary and secondary productivity, and examines the research methods applied nowadays to assess biocenotic productivity. Taking into consideration the principles governing the flow of energy through the ecosystem the author stresses the necessity of finding a proper way to work natural resources and to safeguard them against continuous disturbances of equilibrium through the interference of man.

Зофия Цесельска

#### НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

В статье обсуждаются основные понятия в области экологической энергетики. Дается поочередно анализ продуктивности начальной и вторичной, а также применяющихся в настоящее время методов исследования продуктивности биоценозов. На основании принципов протекания энергии через экосистему автор обращает внимание на необходимость поисков путей к рациональной эксплуатации природных ресурсов и их предохранения перед постоянным нарушением равновесия вследствие вмешательства человека.