

Zrównoważony rozwój we współczesnej cywilizacji. Część 1: Środowisko a zrównoważony rozwój

Sustainable development in contemporary civilisation. Part 1: The environment and sustainable development

Artur Pawłowski, Lucjan Pawłowski

Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Lubelska,
ul. Nadbystrzycka 40b, 20-618 Lublin, e-mail: a.pawlowski@pollub.pl

Streszczenie

Szybko zwiększające się zużycie zasobów Ziemi stanowi realne zagrożenie ich bliskiego wyczerpania. Oznacza to, że jeśli nie nastąpi jakiś przełom w nauce, zagrożona jest możliwość realizacji idei zrównoważonego rozwoju mówiącej: „*postępuj tak, aby zapewniając możliwość zaspokajania potrzeb obecnych pokoleń, nie zagrażać zdolności przyszłych pokoleń do zaspokajania ich własnych potrzeb*”.

Wyczerpaniu zasobów towarzyszy zanieczyszczanie geosystemów Ziemi poprzez wydalenie do nich związków chemicznych w trakcie wydobywania, przerobu i użytkowania tych zasobów przez cywilizację ludzką. Przyroda wykształciła mechanizmy eliminacji szkodliwego oddziaływania większości związków chemicznych występujących w przyrodzie, to jednak człowiek poprzez swoją działalność cywilizacyjną wielokrotnie zwiększa ilość tych związków emitowanych do geosystemów, przekraczając naturalne zdolności do samooczyszczania. Jednak rozwój techniki i technologii, w szczególności inżynierii środowiska, umożliwia eliminację zagrożeń pochodzących od zanieczyszczeń poprzez intensyfikację naturalnych procesów samooczyszczania będących integralną częścią naturalnych cykli węgla, azotu i tlenu. Wprowadzone są także nowe, nieznanne w przyrodzie procesy, które umożliwiają neutralizację negatywnego wpływu zanieczyszczeń na geosystemy. Można więc powiedzieć, że z technicznego punktu widzenia możliwe jest utrzymanie geosystemów w stanie zapewniającym pełną możliwość korzystania z nich przez przyszłe pokolenia. Problem jednak w tym, że z uwagi na wysokie koszty, a także brak woli, degradacja geosystemów ciągle postępuje, zbliżając się na niektórych obszarach do stanu nieodwracalnej dewastacji. Tak więc człowiek dysponuje odpowiednimi mocami technicznymi pozwalającymi na zachowanie zrównoważoności środowiska, nie czyni tego jednak – i to na wielu obszarach – głównie z braku woli skierowania odpowiednich środków materialnych.

Kwestią otwartą pozostaje w jaki sposób kształtować postawy, wspomagane przez nakazy wynikające z uregulowań prawnych, zapewniając realizację zrównoważoności w zakresie środowiska naturalnego.

Słowa kluczowe: zrównoważony rozwój, zasoby naturalne, obieg tlenu, obieg węgla, obieg azotu, obieg wody

Abstract

The rapidly increasing consumption of the Earth's resources carries with it the threat of these being exhausted over the shorter or longer terms. What this means is that, if no major breakthrough in science takes place, a threat will also be posed to sustainable development itself, inasmuch as that this entails such a means of proceeding with development as "*meets the needs of the present without compromising the ability of the future to meet its own needs*".

The tendency for resources to run out goes hand in hand with the pollution of the world's geosystems through the release into them of chemical compounds - as the said resources are being extracted, processed or utilised by human civilisation. Nature has come up with mechanisms by which the majority of chemical compounds present in it can be neutralised, but human activity has gone far beyond natural systems' capacity for self-purification, in terms of the sheer amounts of chemical compounds emitted. Equally, the development of techniques and technologies - in environmental engineering in particular - is capable of eliminating most threats associated with the pollutants already released into the environment, the trick being to derive intensified versions of the various means of natural self-purification inherent in the processes by which carbon, nitrogen and oxygen in particular are cycled within geosystems. It has further proved possible to introduce new processes unknown in nature whereby the negative impacts of pollution on geosystems can be neutralised. In consequence, it is reasonable to suggest that we possess

the technology to allow geoecosystems to be maintained in a state that does indeed allow future generations undiminished possibilities for making use of them. The problem here is that, thanks to the high costs involved – and (in part in consequence of that) a perceptible lack of will to act, there is ongoing degradation of geoecosystems – so ongoing in fact that an “irreversible” state of degradation may be being approached in certain areas. Thus, while humankind may be in possession of the appropriate technical and technological power allowing for environmental sustainability to be achieved, this aim is not being pursued in many areas on account of an absence of the will to target the necessary material resources at the problem.

A question that therefore remains open concerns the ways in which we might shape attitudes (also as necessary using the force of law to order the carrying out of certain tasks) in such a way that sustainability as regards the natural environment is achieved.

Key words: sustainable development, oxygen cycle, carbon cycle, nitrogen cycle, hydrological cycle

Wstęp

Siłą napędową przemian cywilizacyjnych, nie zawsze pozytywnych i pożądaných, był i jest rozwój nauki oraz wielkie idee kształtujące postawy i zachowania całych społeczeństw. Nauka za pomocą swoich narzędzi, którymi są technika i technologia, przy stanie dzisiejszej wiedzy umożliwia ogromne przekształcenie świata. Natomiast idee, jeśli trafią na podatny grunt, istotnie wpływają na przemiany społeczne w tym także na sposób wykorzystywania w nauki.

Nauka dostarcza potężnych narzędzi. Dzisiaj możliwym staje się zarówno znaczące polepszenie jakości życia człowieka, jak i zniszczenie całych regionów, czy wręcz całego globu. Warto więc zastanowić się nad tym, gdzie jesteśmy i dokąd zdążamy?

W XIX i XX wieku następował szybki wzrost konsumpcji, w szczególności w Ameryce Północnej, Europie i Japonii. Motorem napędowym tego rozwoju był dostęp do tanich źródeł energii oraz beztroška eksploatacja zasobów naturalnych. Przez długi okres lekceważono skutki uboczne takiego rozwoju, w szczególności nie uświadamiano sobie wzrastającej degradacji środowiska i skończoności zasobów naturalnych.

Punktem zwrotnym było wystąpienie U'Thanta na XXIII sesji zgromadzenia ogólnego ONZ w 1969 r., które przeszło do historii jako Raport U'Thanta (U'Thant, 1969). Zasygnalizowano w nim pojawienie się kryzysu o zasięgu globalnym, który dotyczył stosunku człowieka do środowiska. Wśród jego oznak wskazano m.in. na degradację ziem uprawnych, bezplanowy i coraz szybszy rozwój aglomeracji miejskich zajmujących kolejne tereny, eksplozję demograficzną oraz zwiększające się niebezpieczeństwo wyginięcia wielu form życia zwierzęcego i roślinnego. Znaczący był także wniosek głoszący, że zasoby przyrody, choć bardzo duże, są jednak ograniczone.

Tematykę tę podjęły także raporty Klubu Rzymskiego, publikowane od 1972 r. Pierwszy z nich nosił tytuł „*Granice wzrostu*” (Meadows et al, 1972) i potwierdzał tezę U'Thanta o skończoności zasobów naturalnych i realnej możliwości

zaistnienia globalnej katastrofy ekologicznej.

Wśród sposobów przeciwdziałania sformułowano koncepcję tzw. „*wzrostu zerowego*” zarówno w zakresie przyrostu ludności jak i zużycia zasobów naturalnych. Ta radykalna i mało prawdopodobna do wdrożenia idea już w 1974 r. została zastąpiona propozycją „*wzrostu ograniczonego*” (Mersarovic et al, 1974), gdzie uwzględniono do pewnego stopnia także kwestie zróżnicowanego wpływu na środowisko bogatej „*Północy*” i biednego „*Południa*”.

W tym okresie problematykę ochrony środowiska postrzegano jako ochronę poszczególnych elementów przyrody, traktując człowieka jako intruza szkodzącego środowisku przyrodniczemu.

Przełomową, najbardziej holistyczną koncepcję, przedstawiono w 1987 r. w raporcie Brundtland, w którym po raz pierwszy w pełni sformułowana została idea zrównoważonego rozwoju, według której pożądaný jest taki rozwój „*który gwarantuje zaspokojenie potrzeb obecnych pokoleń, nie zagrażając zdolności przyszłych pokoleń do zaspokajania ich własnych potrzeb*” (Our Common Future, 1987).

W publikacji podkreślono, że niezależnie od czynników ekologicznych i ekonomicznych, wiele uwagi powinno się poświęcać także kwestiom społecznym, w opracowaniach związanych z „*klasyczną*” ochroną środowiska zwykle pomijanych.

Punktem wyjścia dla tego dość szerokiego podejścia do wyzwań współczesnego świata powinna być odpowiedź na pytanie: z czego wynika sugerowana powinność obecnych pokoleń wobec przyszłych? Paradoksalnie próby odpowiedzi nie są częste, zapewne dlatego, że kolejne strategie rozwoju piszą głównie ekolodzy i ekonomiści. Tymczasem jest to kwestia ważna, wykraczająca poza ekologię i ekonomię, wchodząca w zakres często niedocenianej filozofii – a dokładniej etyki. Odnosi się ona:

- do istnienia człowieka w przyszłości (co nie jest pewne),
- do warunków panujących w przyszłości, które będą wynikiem procesów zachodzących na

Ziemi już teraz.

Dyskusja nie jest prosta, choćby dlatego że w długiej tradycji refleksji filozoficznej nie rozważano globalnych uwarunkowań ludzkiego życia, czy uwarunkowań jego przetrwania. Tymczasem możliwość zniszczenia przez człowieka całej biosfery jest już obecnie jak najbardziej realna.

Wśród wielu stanowisk i argumentów podajmy postulat najbardziej oczywisty: należy chronić środowisko, ponieważ jest ono niezbędne dla trwania ludzkiego życia tak teraz, jak i w przyszłości (argument antropocentryczny). Nie jest przy tym bez znaczenia jaka będzie jakość tego życia.

Jednym z czynników o szczególnym znaczeniu jest dostęp do surowców. Przy dzisiejszym stanie wiedzy, możemy przyjąć, że jeśli nie nastąpi jakiś, nie dający się dzisiaj przewidzieć przełom w nauce, to przed końcem życia obecnej generacji, wystąpi ostry kryzys w skali globu w dostępie do niektórych zasobów. Tak więc odpowiednia gospodarka zasobami Ziemi, zdaje się być problemem podstawowym dla przetrwania cywilizacji ludzkiej. Do funkcjonowania cywilizacji niezbędne jest pobieranie ze środowiska surowców, które ulegają następnie przetworzeniu, całkowitemu zużyciu lub rozproszeniu. Bardzo często procesy te związane są z zanieczyszczeniem podstawowych elementów środowiska tj. wody, powietrza i gleby oraz wywierania negatywnego wpływu na całą biosferę.

Idea zrównoważonego rozwoju określa bardzo ogólnie kierunki działania, których celem jest zachowanie istnienia gatunku ludzkiego na Ziemi i zapewnienie godnych warunków życia człowieka. Daje ona wyraz niepokoju o przyszłość cywilizacji ludzkiej. Pomimo, że w kontekście uświadamianych zagrożeń idea ta szybko zyskała dużą popularność, sformułowanie praktycznych sposobów wprowadzanie jej w życie nie było i nie jest łatwe.

Ważnym głosem w dyskusji były m.in. dwie ogromne konferencje międzynarodowe ONZ w Rio de Janeiro i Johannesburgu (Kozłowski, 2005).

Uczestnicy tych spotkań, w tym szereg głów państw, potwierdzili potrzebę zapewnienia zrównoważoności w rozwoju współczesnego świata, mocno akcentując nie tylko troskę o przetrwanie gatunku ludzkiego w przyszłości, ale także zwracając uwagę na potrzebę bardziej sprawiedliwego podziału dóbr wśród obecnie żyjącej generacji, w szczególności zaś wskazując na potrzebę świadczenia pomocy przez kraje wysokorozwinięte na rzecz krajów ubogich.

Od tego czasu problematyka zrównoważonego rozwoju znajduje się w centrum uwagi współczesnego świata. Jest ona doprecyzowywana zarówno w publikacjach naukowych jak i rozlicznych porozumieniach i programach międzynarodowych, regionalnych, a także lokalnych. W konsekwencji trudno dzisiaj znaleźć obszar działalności naukowej, społecznej

i politycznej, gdzie nie odnoszono by się do tej problematyki.

Dla potrzeb prowadzonej w tej pracy dyskusji posłużymy się następującą definicją zrównoważonego rozwoju (Liverman et.al. 1988): „Zrównoważoność – jest to nieograniczone trwanie gatunku ludzkiego (z jakością życia powyżej zwykłego biologicznego przetrwania) poprzez utrzymywanie (konserwację) podstawowych systemów podtrzymujących życie (powietrze, woda, gleba, biosfera) istnienie infrastruktury i instytucji, które rozdzielają (dystrybuują) i ochraniają składniki tego systemu”.

Tak zdefiniowana zrównoważoność zawiera ważne dla współczesnego świata wartości:

- społeczne, odnoszące się do potrzeby sprawiedliwości wewnątrz- i międzygeneracyjnej, osiągalnej poprzez zapewnienie ludzkich potrzeb biologicznych, psychicznych i socjalnych;
- ekologiczne, nakazujące ochronę wszystkich elementów środowiska i zasobów naturalnych;
- ekonomiczne, zdążające do poszerzenia analizy efektywności działalności gospodarczej (prowadzonej wcześniej z punktu widzenia maksymalizacji zysku) o zintegrowaną analizę ekoefektywności, w której uwzględnia się nie tylko zysk ale także konsekwencje oddziaływania na środowisko procesów produkcyjnych (m.in. zanieczyszczanie wody, powietrza, gleby) pociągających za sobą coraz szybsze zużywanie zasobów naturalnych (poczynając od ich wydobycia poprzez transport, przetwarzanie, dystrybucję, sprzedaż towarów, użytkowanie, na utylizacji i recyklingu kończąc).

Te trzy grupy problematyczne warto uzupełnić kolejne istotne aspekty (Pawłowski, 2000):

- etyczne (moralne), odnoszące się do kwestii odpowiedzialności człowieka za człowieka i za przyrodę,
- techniczne, a więc zagadnienia bezpośrednio związane z wprowadzaniem nowych technologii i czystsza produkcją,
- prawne – prawo ochrony środowiska,
- i polityczne, odnoszące się do formułowania i wdrażania właściwych strategii rozwojowych.

Ponadto czynnikami warunkującymi realizację idei zrównoważonego rozwoju są:

- utrzymanie naturalnego środowiska człowieka zdolnego do biologicznego trwania gatunku ludzkiego,
- zapewnienie dopływu niezbędnych surowców,
- stworzenie społeczno-ekonomicznego środowiska życia człowieka umożliwiającego samorealizację każdej istoty ludzkiej.

W tym miejscu należy postawić pytanie, czy dzisiejsza cywilizacja ludzka jest zrównoważona?

Odpowiedź nie jest trudna. Z pewnością dzisiejsza cywilizacja nie jest zrównoważona, gdyż:

- istnieją ogromne rozpiętości w dostępie do dóbr. Jedni mają ich ogromny nadmiar inni nie posiadają nawet niezbędnego biologicznego minimum do życia (około 10% populacji ludzkiej jest w posiadaniu około 90% dóbr),
- szybko rośnie zużycie zasobów (czego przykładem mogą być prognozy charakteryzujące zużycie podstawowych surowców jakimi są nośniki energii) niezbędnych nie tylko do życia człowieka, ale także do wydobycia i przetwarzania innych zasobów (Tabele 1- 4).
- ogólnie procesy społeczno-ekonomiczne związane z globalizacją powodujące przyśpieszone zużycia zasobów i jeszcze bardziej pogłębiające nierówności wewnątrzgeneracyjne.

Tabela 1

Charakterystyka wielkości udokumentowanych zasobów ropy naftowej i prognozowany czas ich wyczerpania w latach mierzona stosunkiem wielkości zasobów (W) do wielkości rocznego wydobycia (R).

Regiony świata	Rozpoznane zasoby mld baryłek					
	1986	1996	2005	2006		
				zasoby	% zasobów świata	stosunek zasobów do W/R, lata
Północna Ameryka	101,6	89,3	60,7	59,9	5,0	12,0
w tym:						
USA	35,1	29,8	29,9	29,9	2,5	11,9
Kanada	11,7	11,0	17,1	17,1	1,4	14,9
Centralna i Południowa Ameryka	66,6	98,8	103,2	103,5	8,6	41,2
w tym:						
Wenezuela	55,5	72,7	80,0	80,0	6,6	77,6
Europa i Euroazja	76,8	82,6	145,2	144,4	12,0	22,5
w tym:						
Norwegia	6,1	11,6	9,6	8,5	0,7	8,4
Rosja	Brak danych	Brak danych	79,1	79,5	6,6	22,2
Kazachstan	Brak danych	Brak danych	39,8	39,8	3,3	76,5
Azja Wschodnia	39,7	39,2	40,5	40,5	3,4	14,0
w tym:						
Chiny	17,1	16,4	16,2	16,3	1,3	12,1
Indonezja	9,0	5,0	4,3	4,3	0,4	11,0
Australia	3,2	3,9	4,2	4,2	0,3	21,3
Świat	877,4	1049,0	1209,5	1208,2	100	40,5

World Crude Oil and Natural Gas Reserves January, 2006

Tabela 2

Charakterystyka wielkości udokumentowanych zasobów gazu naturalnego w trylionach m³ i prognozowany czas ich wyczerpania mierzony stosunkiem wielkości zasobów (W) do rocznego wydobycia (R).

Region świata	Rozpoznane zasoby gazu ziemnego					
	1986	1996	2005	2006		
				zasoby	% zasobów świata	W/R lata
Północna Ameryka	10,26	8,41	7,83	7,98	4,4	10,6
w tym:						
USA	5,36	4,66	5,79	5,93	3,3	8,9
Kanada	2,75	1,94	1,63	1,67	0,9	8,9
Centralna i Południowa Ameryka :	4,24	6,06	6,85	6,88	3,8	47,6
Wenezuela	2,62	4,05	4,32	4,32	2,4	?

Europa i Eurazja	47,22	63,55	64,30	64,13	35,3	59,8
w tym:						
Rosja	Brak danych	Brak danych	47,66	47,65	26,3	77,8
Norwegia	2,30	3,00	3,01	2,89	1,6	33,0
Polska	0,17	0,15	0,11	0,10	0,1	24,4
Środkowy Wschód	30,41	49,31	72,49	73,47	40,5	?
w tym:						
Iran	13,96	23,0	27,58	28,13	15,5	?
Zjednoczone Emiraty Arabskie	5,41	5,72	6,07	6,06	3,3	?
Arabia Saudyjska	4,02	5,69	6,82	7,07	3,9	96,0
Afryka	7,4	10,17	14,08	14,18	7,8	78,6
w tym:						
Algeria	3,26	3,70	4,50	4,50	2,5	53,3
Nigeria	2,4	3,48	5,15	5,21	2,9	?
Wschodnia Azja	8,14	10,40	14,66	14,82	8,2	39,3
w tym:						
Indonezja	2,27	2,05	2,48	2,63	1,5	35,6
Chiny	0,87	1,17	2,45	2,45	1,3	41,8
Australia	0,89	1,37	2,61	2,61	1,4	67,0
Świat	107,67	147,89	180,2	181,46	100	63,3

World Crude Oil and Natural Gas Reserves January, 2006

Tabela 3

Charakterystyka wielkości udokumentowanych zasobów węgla i prognozowany czas ich wyczerpania w latach mierzone przez stosunek wielkości zasobów (W) do rocznego ich wydobycia (R). Dane dla 2006.

Węgiel	Mld ton	% zasobów	W/R: lata
Ameryka Północna	254,432	28,0	226
w tym:			
USA	246,643	27,1	234
Kanada	6,578	0,7	105
Centralna i Południowa Ameryka	19,893	2,2	246
w tym:			
Brazylia	10,113	1,1	80
Kolumbia	6,611	0,7	101
Europa i Eurazja	287,095	31,6	237
w tym:			
Rosja	157,010	17,3	?
Ukraina	34,153	3,8	424
Kazachstan	31,279	3,4	325
Polska	14,000	1,5	90
Środkowy Wschód	50,755	5,6	194
w tym:			
Południowa Afryka	48,750	5,4	190
Wschodnia Azja	296,889	32,7	85
w tym:			
Chiny	114,500	12,6	48
Indie	92,445	10,2	207
Australia	78,500	8,6	210
Cały świat	909,064	100	147

World Crude Oil and Natural Gas Reserves January, 2006

Tabela 4

Charakterystyka zasobów uranu. Czas wyczerpania przy zastosowaniu dzisiejszych technologii produkcji na poziomie 2005r – 85 lat (Mobbs, 2005).

	Mld ton	%
Świat	4,743	100
Australia	1,143	24
Kazachstan	0,816	17
Kanada	0,444	9
USA	0,342	7
Południowa Afryka	0,341	7
Namibia	0,282	6
Brazylia	0,279	6
Niger	0,225	5
Rosja	0,172	4
Uzbekistan	0,116	2
Ukraina	0,090	2
Jordania	0,079	2
Indie	0,067	1
Chiny	0,060	1
Pozostałe kraje	0,287	6

IAEA, 2007

Wystarczy przypomnieć, że bogatych krajach Północy żyje tylko 1/3 światowej populacji, ale zużywa ona 70 % zasobów energetycznych, 75 % metali i 85 % drewna. W konsekwencji w tej bogatej części świata notujemy spektakularny wzrost gospodarczy, podczas gdy w innych krajach ma miejsce równie spektakularny wzrost obszarów biedy. Połowa ludności świata ma dochód nie przekraczający 2 dolarów na dzień, a miliard nie ma nawet jednego dolara (UNDP, 1999).

Tę negatywną ocenę rozjaśnia nieco wzrastająca świadomość zaistniałych zagrożeń, co może skłaniać do podejmowania działań zaradczych. Problem w tym, że utworzenie dającej się realizować strategii zrównoważonego rozwoju jest trudne z uwagi na konieczność integracji działań na szeregu płaszczyznach, w których z jednej strony krzyżują się interesy poszczególnych państw i międzynarodowych organizacji gospodarczych, zaś z drugiej mamy do czynienia z różnymi, często pozostającymi ze sobą w konflikcie, wizjami funkcjonowania cywilizacji ludzkiej.

Dla przejrzystości dyskursu wyodrębnimy kilka sfer w obrębie funkcjonowania współczesnej cywilizacji. Będą to:

- środowisko naturalne – w skład którego wchodzi zarówno niezbędne dla podtrzymywania życia elementy geosfery tj.

powietrze, woda, gleba i biosfera, stanowiąca rezerwar odnawialnych zasobów i naturalne siedlisko dla życia człowieka, posiadające zarówno walory umożliwiające przetrwanie biologiczne jak i także wartości estetyczne.

- zasoby naturalne, które co prawda mieszczą się w sferze środowiska naturalnego, jednakże z uwagi na ich szczególne znaczenie, dla przejrzystości wywodu wyodrębnione zostaną w oddzielną strefę. Stanowią je zarówno zasoby przyrody ożywionej jak i nieożywionej (w skład których wchodzi wszystkie surowce, w tym nośniki energii, pobierane z powierzchni i wnętrza skorupy ziemskiej). środowisko społeczne określające relacje międzyludzkie, które zdeterminowane są zarówno przez wartości kształtowane przez kulturę (w tym wyznawane religie), jak i przyjęte doktryny społeczno-ekonomiczne.

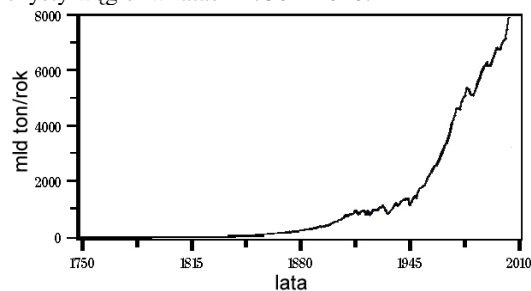
Środowisko naturalne a zrównoważony rozwój

Funkcjonowanie cywilizacji ludzkiej nierozdzielnie związane jest z pobieraniem ze środowiska i wprowadzaniem do środowiska materii i energii. W ciągu przetwarzania zasobów, który obejmuje ich pozyskiwanie, przerób na produkty, transport i

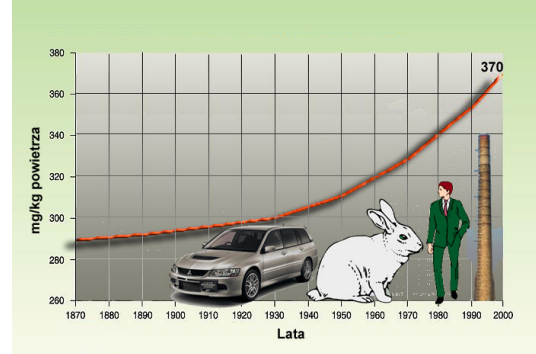
dystrybucję oraz użytkowanie i utylizację zużytych produktów, występuje nieprzerwana antropopresja na środowisko. Na wszystkich wymienionych wyżej etapach ma miejsca duża antropopresja na środowisko obejmująca zarówno abiotyczne (powietrze, woda i ziemia) jak i biotyczne elementy środowiska (tj. całą florę i faunę). Szczególnie istotne są różnego rodzaju związki chemiczne, powodujące degradację ekosystemów, co wywiera negatywny wpływ zarówno na człowieka jak i całą biosferę. W krańcowym przypadku może dojść do sytuacji kiedy to poziom zanieczyszczeń przekroczy możliwość biologicznego przeżycia człowieka i/lub innych organizmów. Warto przy tym zaznaczyć, że zanieczyszczenia, także toksyczne, mogą pochodzić ze źródeł naturalnych. W procesie ewolucji wykształciły się bowiem przyrodnicze procesy pozwalające na eliminację szkodliwego oddziaływania zanieczyszczeń na poszczególne elementy biosfery. Te mechanizmy okazały się być skutecznymi do pewnego poziomu koncentracji tych związków. Procesy takie nazywać będziemy samooczyszczaniem się geosystemów.

Cały ekosystem Ziemi zasilany jest energią Słońca, która przesyłana jest na Ziemię w postaci promieniowania krótkofalowego. Pewna jego część odbija się od atmosfery, chmur i powierzchni Ziemi. Pozostała część jest absorbowana przez powierzchnię lądową i wodną, które podgrzewa. Część z tej energii jest wypromieniowywana w postaci promieniowania podczerwonego, które w atmosferze częściowo zatrzymywane jest przez tzw. gazy cieplarniane w tym ditlenek węgla. Zjawisko to nosi nazwę efektu cieplarnianego. Jest ono procesem naturalnym, jednak duży wzrost emisji gazów cieplarnianych do atmosfery ze źródeł antropogenicznych może to zjawisko spotęgować (porównaj rys. 1, rys. 2 i rys. 3). Wyższa temperatura oznacza zmiany klimatyczne, topnienie lodowców i możliwość zalania wielu obszarów przybrzeżnych mórz i oceanów, a to stanowi istotne zagrożenie tak dla człowieka, jak i biosfery.

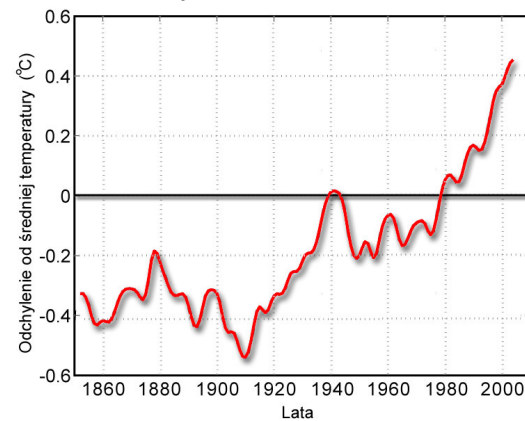
Rys.1. Charakterystyka wzrostu ilości spalanych paliw kopalnych w skali globalnej w przeliczeniu na czysty węgiel w latach 1750 – 2010.



Rys.2. Charakterystyka wzrostu stężenia ditlenku węgla w atmosferze ziemskiej wyrażona w mg na kg powietrza w latach 1870-2000.



Rys.3. Charakterystyka odchylenia średniej temperatury powierzchni Ziemi w poszczególnych latach od średniej za lata 1960-90.



Jest prawdą, że praktycznie do początków rewolucji technicznej tj. do wynalezienia maszyny parowej przez Watta w 1769 roku, istniał stan równowagi, a obserwowane na Ziemi zmiany temperatury powodowane były przez zmiany aktywności Słońca. Także obecnie niektórzy uczeni obserwowany wzrost średniej temperatury na powierzchni Ziemi przypisują raczej wzrostowi aktywności Słońca, tym samym wzrostowi ilości przesyłanej do powierzchni Ziemi energii w postaci promieniowania słonecznego, uznając wpływ emisji ditlenku węgla za mało znaczący. Jeżeli jednak wpływ dodatkowych emisji gazów cieplarnianych jest choćby w części tak poważny, jak sugerują to prace poświęcone efektowi cieplarnianemu, zasada przezorności nakazuje podjęcie radykalnych kroków zaradczych już teraz.

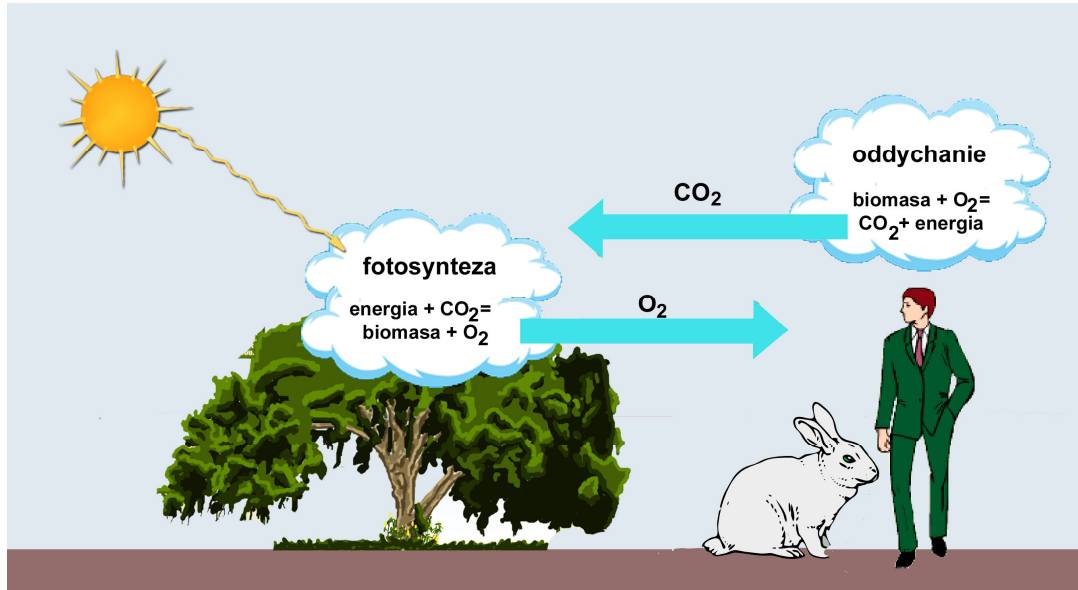
Działanie w kierunku zrównoważoności powinny więc zdążyć do zastępowania energii uzyskiwanej ze spalania paliw kopalnych przez inne źródła energii, w tym tzw. źródła odnawialne, takie jak: spalanie biomasy, wykorzystanie energii słońca, wiatru, sypływów wody a także energii atomowej. Rozważane są też koncepcje wiązania w litosferze

ditlenku węgla powstającego przy spalaniu paliw kopalnych.

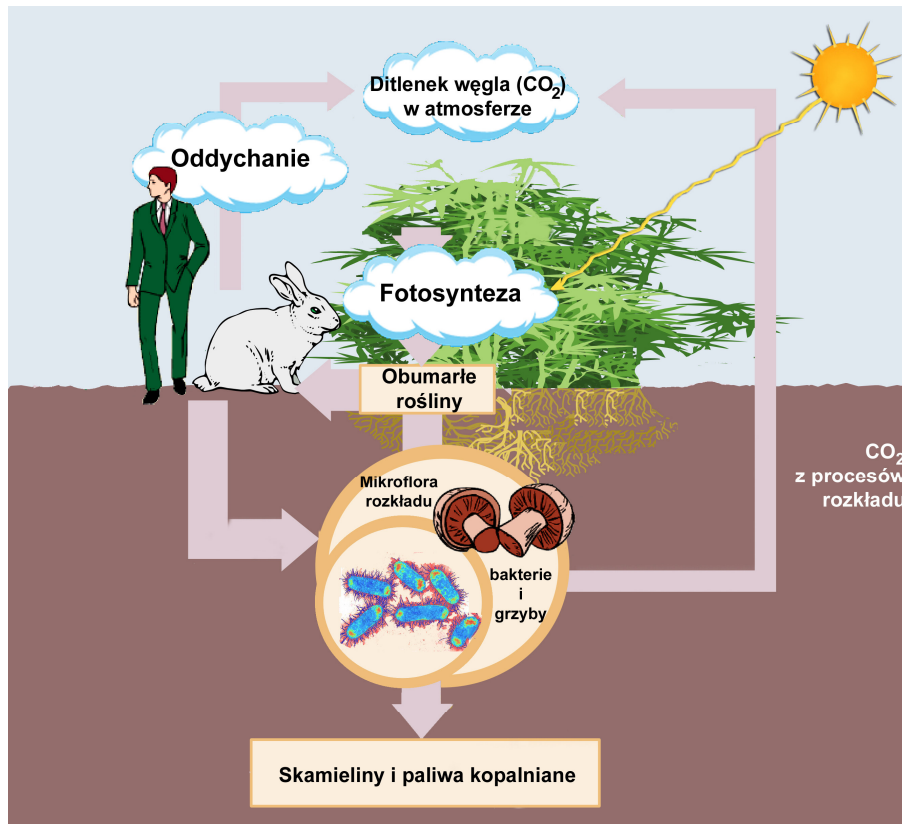
Niezależnie od wybranych rozwiązań, energia słoneczna pozostanie podstawą życia na Ziemi. Organizmy roślinne lądowe i wodne zawierające

chlorofil pobierając energię słoneczną i ditlenek węgla i w procesie fotosyntezy wytwarzają związki organiczne, uwalniając do środowiska wolny tlen (patrz rys.4).

Rys.4. Charakterystyka obiegu tlenu i węgla w biosferze Ziemi.



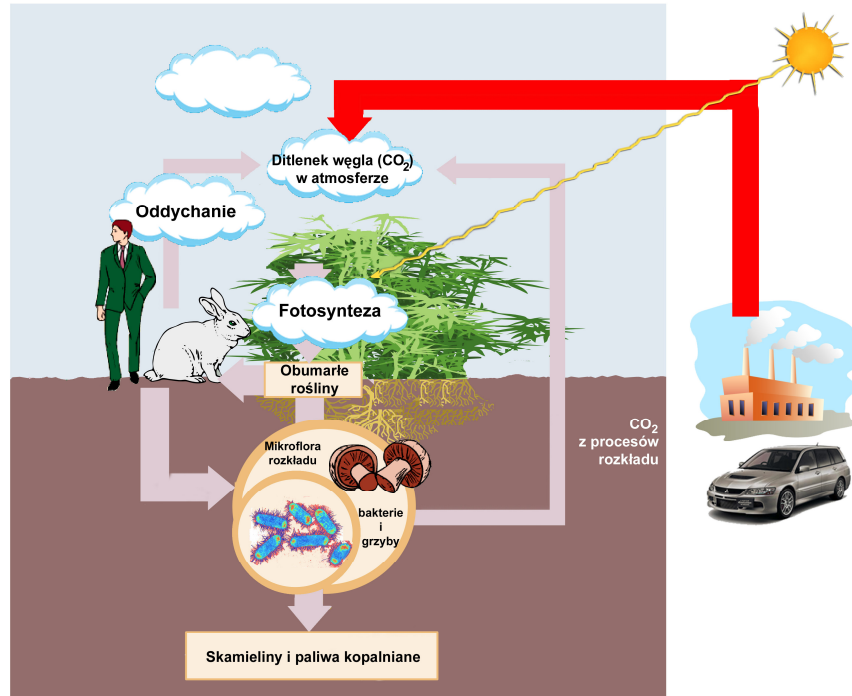
Rys.5. Naturalna cyrkulacja węgla w geosystemach Ziemi (nie zakłócona przez działalność techniczną człowieka).



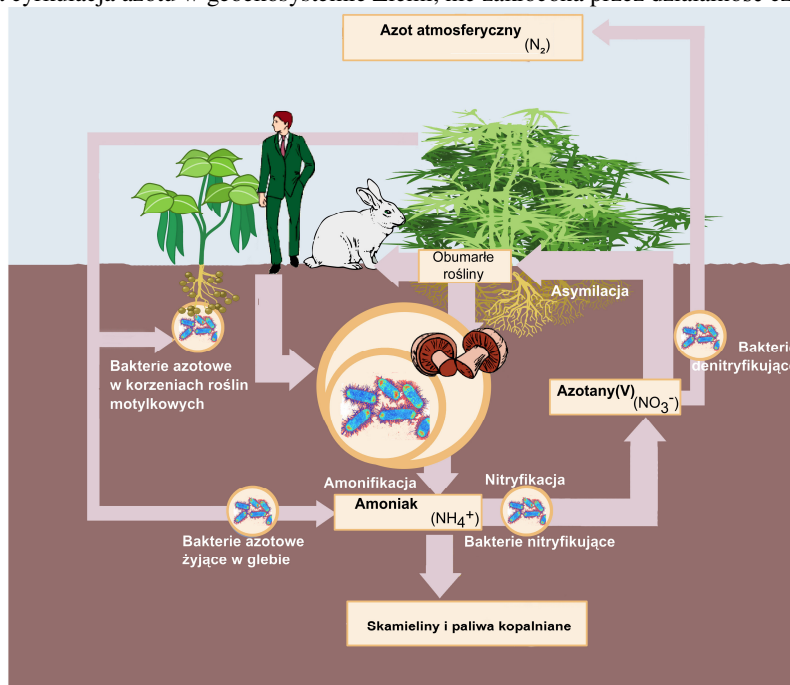
Z kolei organizmy zwierzęce i człowiek energię niezbędną dla ich funkcjonowania czerpią z procesu utleniania związków organicznych poprzez tlen pobierany w procesie oddychania. W konsekwencji ustaliła się równowaga pomiędzy ilością pobieranego ditlenku węgla i wydalanego tlenu w procesie fotosyntezy a ilością wydalanego ditlenku węgla i pobieranego tlenu w procesie

oddychania. Są to procesy naturalne i zależne od ilości roślin lądowych i morskich z jednej strony oraz zwierząt i ludzi z drugiej. Mechanizm, przedstawiony tu w uproszczeniu, odpowiedzialny jest za samoregulację zawartości ditlenku węgla i tlenu w powietrzu. Bardziej szczegółowo obieg węgla w geokosystemach jest zilustrowany na rys. 5.

Rys.6. Cyrkulacja węgla w geokosystemach Ziemi z uwzględnieniem działalności technicznej człowieka.



Rys.7. Naturalna cyrkulacja azotu w geokosystemie Ziemi, nie zakłócona przez działalność człowieka.

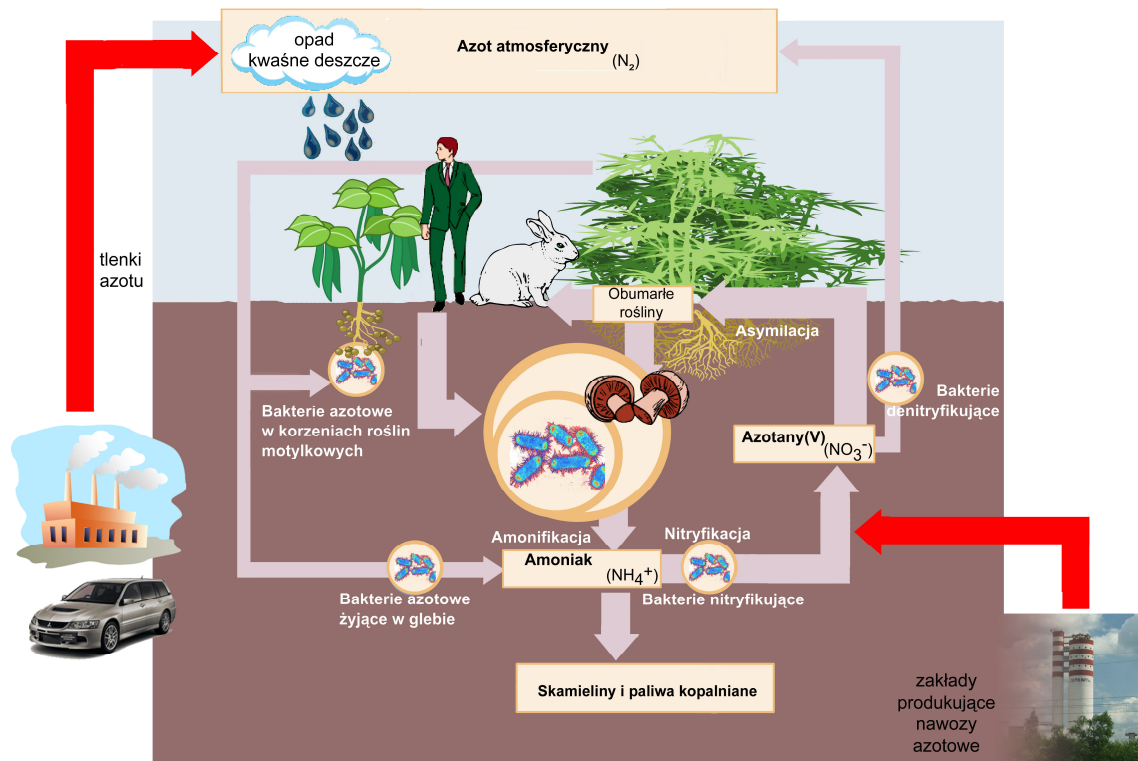


Natomiast węgiel z atmosfery pobierany jest przez organizmy roślinne i morskie i przetwarzany na biomasę roślinną. Jest ona zjadana przez zwierzęta i ludzi. Wydalane następnie odchody odkładają się w części wraz z martwymi roślinami i organizmami wyższymi w skorupie ziemskiej tworząc skamieliny i paliwa kopalne (torf, węgiel, ropa naftowa, gaz), a w części ulegają mineralizacji z wytworzeniem ditlenku węgla, który powraca do atmosfery.

Ten mechanizm samoregulacji działa niezawodnie do czasu kiedy człowiek zaczął spalać paliwa kopalne. Wcześniejsze stosowane spalanie drewna nie wpływało na bilans ditlenku węgla, bowiem przyrost drewna warunkowany jest uprzednim wiązaniem CO_2 z atmosfery. Emisja ditlenku węgla pochodząca ze spalania paliw kopalnych (zaznaczone na czerwono na rysunku 6) budzi w ostatnich latach szereg obaw, ponieważ jak to pokazano na rys. 1 ilość spalanych paliw gwałtownie rośnie prowadząc do wzrostu stężenia CO_2 w powietrzu (rys. 2). Poczynając od lat czterdziestych XX wieku wzrasta ono wręcz lawinowo.

Innym ważnym pierwiastkiem biorącym udział w regulacji obiegu materii jest azot (rys.7). Rośliny pobierają go z atmosfery w dwojaki sposób, albo wprost z powietrza przez wyspecjalizowane bakterie współżyjące z systemem korzeniowym roślin, albo w postaci azotanów asymilowanych przez system korzeniowy. Rośliny są zjadane przez zwierzęta i człowieka, a ich odchody (jak i martwe osobniki) trafiają do Ziemi, gdzie w aspekcie obiegu azotu w procesie mineralizacji powstaje z nich amoniak. Reszta odkłada się tworząc skamieliny i paliwa kopalne (w identycznym mechanizmie jak w obiegu węgla). Przy dostępie tlenu amoniak utleniany jest do azotanów, które w części są pobierane przez system korzeniowy roślin, a w części przy pomocy innych bakterii redukowane do wolnego azotu, który powraca do atmosfery. Człowiek ingeruje również i w ten cykl. We wszystkich procesach spalania (kotły przemysłowe, silniki samochodowe) powstają wszak m.in. tlenki azotu, których zawartość w powietrzu rośnie. Jest to jeden z głównych czynników (obok emisji tlenków siarki) powodujących tzw. kwaśne deszcze.

Rys.8. Cyrkulacja azotu w geоекосystemach z uwzględnieniem działalności technicznej człowieka.



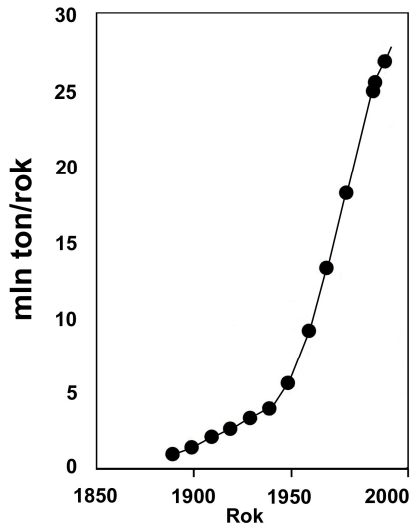
Obiekt azotu w ekosystemie Ziemi z uwzględnieniem działalności technicznej człowieka pokazany został na rys. 8. Wzrost emisji tlenków azotu wytwarzanych w procesach spalania scharakteryzowany został na rys. 9.

Ponadto człowiek w sposób zamierzony wiąże azot

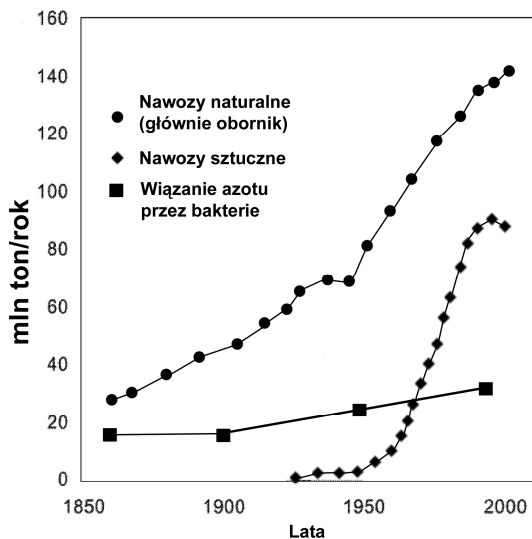
z atmosfery przerabiając go na nawozy sztuczne (np. saletra amonowa, saletra wapniowa, mocznik). Dynamikę wzrostu wprowadzanych do środowiska związków azotowych w postaci nawozów pokazano na rys. 10. Te wysiewane na pola w istotny sposób wpływają na przyspieszenie wzrostu roślin.

Niestety, jako dobrze rozpuszczalne związki azotowe są zarazem łatwo wymywane do wód powierzchniowych.

Rys.9. Charakterystyka wzrostu emisji tlenków azotu powstających w procesach spalania w latach 1850-2000.



Rys. 10. Charakterystyka przepływu do geosystemu Ziemi związków azotowych podawanych w postaci nawozów w latach 1850 – 2000.



W środowisku wodnym, z udziałem tlenu rozpuszczonego w wodzie, obumarłe organizmy ulegają, tak jak w glebie, mineralizacji. Jeśli jednak stężenie związków azotowych przekroczy naturalny poziom wtedy zaczynają gwałtownie rozwijać się glony, które następnie obumierają. Do rozkładu coraz większej ilości wytworzonej w ten sposób obumarłej biomasy zaczyna brakować tlenu i w konsekwencji życie biologiczne w zbiorniku wodnym (staw, jezioro, rzeka) z braku tlenu obumiera. Zjawiska nazwane zostało eutrofizacją.

W normalnych warunkach do wody przechodzą umiarkowane ilości substancji organicznych, które – przy udziale innych mikroorganizmów i dostępie w wodzie rozpuszczonego tlenu – są rozkładane do prostych związków nieorganicznych: ditlenku węgla, azotu i wody. W części są także wbudowane w biomase tych organizmów.

Problem pojawia się wtedy, kiedy człowiek wprowadza dodatkowy strumień materii, prowadząc do przekroczenia zdolności geosystemu do samooczyszczania się.

W przypadku środowiska wodnego przekroczenie naturalnych barier samooczyszczania następuje także przez wprowadzanie do wód powierzchniowych (rzek i jezior) nadmiernej ilości nieczyszczonych lub niedostatecznie oczyszczonych ścieków bytowych, zawierających materię organiczną. Powoduje to nadmierny wzrost stężenia tej materii w wodzie. Wtedy naturalna zawartość tlenu rozpuszczonego w wodzie staje się niewystarczająca, czego konsekwencją jest obumieranie mikroorganizmów odpowiedzialnych za procesy samooczyszczania. Ekosystem wodny zamiera. Zjawiska te mają charakter lokalny (obumieranie jeziora) lub regionalny (np. obumieranie rzeki).

Zakłócenia naturalnych obiegów materii mają więc bez wątpienia związek z ludzką aktywnością. Warto w tym kontekście przypomnieć, że w przypadku człowieka pierwotnego do przemieszczania się wystarczała siła jego mięśni. W miarę upływu czasu coraz większa ilość ludzi korzystała z siły pociągowej zwierząt, zwiększając tym samym ilość energii zużywanej *per capita*. Jednak aż do wynalezienia maszyny parowej przez Jamesa Watt'a w XIX wieku podstawowym źródłem energii była biomasa i jej spalanie. Wynalezienie maszyny parowej, wprowadzonej najpierw do napędzania zakładów tkackich w Anglii, spowodowało szybki rozwój przemysłu tekstylnego. Jednakże nadmierne zużycie drewna, wielokrotnie przekraczające roczne przyrosty, przyczyniło się do wycięcia aż 80% lasów w tym kraju. Brak drewna sprzyjał odkryciu innego źródła energii – węgla i w konsekwencji doprowadził do rozwoju przemysłu węglowego, dając początek eksploatacji nieodnawialnych nośników energii.

Wzrost ilości spalanych paliw kopalnych pociąga za sobą lawinowy wzrost stężenia ditlenku węgla (i innych gazów cieplarnianych, por. rys. 1 i rys. 2), co, jak już to zostało wspomniane, grozi katastrofą klimatyczną w skali globu związaną z efektem cieplarnianym. Mamy tutaj do czynienia co prawda wciąż z materią, która bierze udział w naturalnym cyklu obiegu węgla w przyrodzie. Jednak nowym czynnikiem jest duży wzrost emisji w wyniku działalności człowieka (spalanie paliw), co powoduje przekroczenie zdolności procesów atmosfery do samooczyszczania się (wiązaną ditlenku węgla przez rośliny z utworzeniem

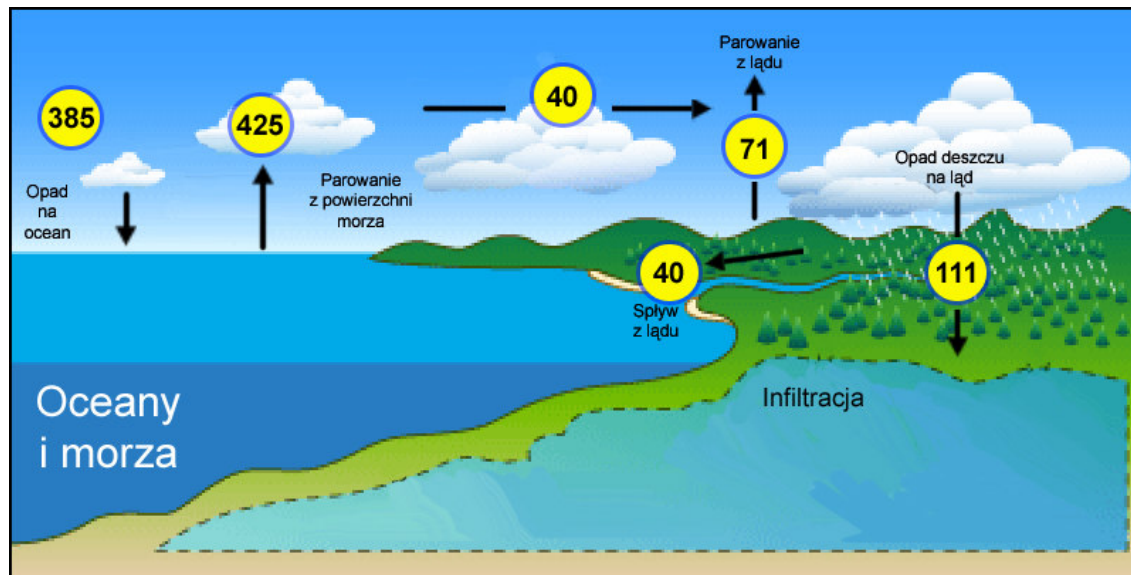
biomasy, pochłanianie przez oceany).

Tak więc działalności człowieka tak w skali lokalnej (nadmierny zrzut ścieków lokalnych do wód powierzchniowych, rzeki czy jeziora) jak i globalnej (wspomniany wyżej wzrost emisji ditlenku węgla do atmosfery) prowadzi do przekroczenia zdolności geosystemów do samooczyszczania się zgodnie ze znanymi w przyrodzie mechanizmami neutralizacji zanieczyszczeń.

To nie jedyne zagrożenia. Człowiek nieustannie syntetyzuje nowe związki chemiczne. Ponieważ nie

występowały one w geosystemach, to nie wykształcone zostały naturalne mechanizmy neutralizacji niektórych z nich w procesach samooczyszczania. Tymczasem, w bazie Amerykańskiego Towarzystwa Chemicznego „SciFinder” skatalogowanych jest ponad 5 mln związków chemicznych i każdego roku przybywa kilkadziesiąt tysięcy nowych, z których tylko dla niewielkiej części przeanalizowano możliwy wpływ na środowisko.

Rys. 11 Naturalny cykl wody w geosystemie Ziemi.



Po pobieżnym scharakteryzowaniu zagrożeń utrudniających zachowanie środowiska zdolnego do dalszego podtrzymywania życia, chcemy się także odnieść do podejmowanych przez człowieka przedsięwzięć zaradczych.

Rozwinięta została cała dyscyplina, inżynieria środowiska, która koncentruje się na neutralizacji negatywnego wpływu zanieczyszczeń na środowisko. Proponowane sposoby zaradcze można podzielić na dwie grupy:

- Intensyfikacja znanych procesów samooczyszczania. Przykładem w środowisku wodnym może być przemysłowe wprowadzanie powietrza do zanieczyszczonych wód, co przeciwdziała obumieraniu organizmów rozkładających zanieczyszczającą materię i prowadzi do pełnego rozkładu nawet podwyższonej jej zawartości w wodzie.

Zjawisko to na skalę przemysłową zastosowane zostało w biologicznych oczyszczalniach ścieków czy też do dotleniania nadmiernie zanieczyszczonych zbiorników wodnych.

- Dynamicznie rozwija się także inne sposoby neutralizacji zanieczyszczeń. Stosowane i opracowane są wciąż nowe metody

wykorzystujące sztuczne procesy (nie występujące w przyrodzie) umożliwiające neutralizację zanieczyszczeń przedostających się do geosystemów.

Nie będzie przesady w stwierdzeniu, że przy obecnym stanie techniki i technologii teoretycznie możliwą jest neutralizacja każdego zanieczyszczenia, zarówno pochodzenie naturalnego jak i sztucznego. Tak więc można powiedzieć, że ludzkość dysponuje już obecnie umiejętnościami neutralizacji zanieczyszczeń, co umożliwia zachowanie geosystemów zdolnych do podtrzymywania życia. Problem w tym, że szereg z możliwych do zastosowania metod jest dla wielu społeczności zbyt kosztowne. Ciągły rozwój inżynierii środowiska stopniowo obniża jednak kosztowność dających się zastosować metod czyniąc je coraz bardziej dostępnymi.

Oddzielnego potraktowania wymaga obieg wody w przyrodzie. Zasoby wody jako związku chemicznego o wzorze H_2O są ogromne i praktycznie niewyczerpalne. Rzecz w tym, że większość wody występują w postaci roztworów soli (wody morskie i oceaniczne, niemal 94 % zasobów hydrosfery), które nie nadają się do bezpośredniego użycia. W geosystemie Ziemi istnieje jednak

naturalny mechanizm samooczyszczania się wody przez tzw. cykl hydrologiczny (Rys. 11). Woda pod wpływem dostarczonej energii przez Słońce, paruje i w postaci czystej wody przechodzi do atmosfery, skąd opada w postaci deszczu. Szacuje się, że z powierzchni mórz i oceanów paruje w ciągu roku 425 mld ton wody, a opada w postaci deszczu 385 mld ton. Pozostałe 40 mld ton przenoszone jest nad lądy. Z ich powierzchni paruje 71 mld ton, a opada w postaci deszczu o 40 mld więcej tj. 111 mld ton. Te 40 mld spływa z powrotem do mórz i oceanów zarówno w postaci wody spływającej rzekami, jak i tzw. spływem podpowierzchniowym.

Obserwowany jest w niektórych rejonach świata deficyt czystej wody bierze się stąd, że intensywność opadów na powierzchni Ziemi jest bardzo zróżnicowana. Ponadto ocieplanie się klimatu może w istotny sposób zakłócić obieg wody w geosystemach. Przyspieszone topienie lodowców zwiększy spływ wody słodkiej z gór, np. w niektórych rejonach Peru w wyniku zwiększonego topnienia lodowców na szczytach Andów powoduje wzrost ilości słodkiej wody w strumieniach i rzekach. Brak opadów występuje w okresie lata. Wtedy, przy wysokiej temperaturze, brak wody uzupełniany jest z topnienia się lodowców, które odbudowują się w okresie chłódów. Jednak po ich całkowitym stopnieniu, co może nastąpić przy dalszym ocieplaniu się klimatu, nie zostaną już odtworzone. W konsekwencji miliony ludzi może w okresie suchym cierpieć na brak wody (Engelhaupt 2007). Jednym z zagrożonych obszarów jest miasto La Paz w Boliwi, w którym ponad 2 mln ludzi uzyskuje około 30% niezbędnej wody do picia z topiących się lodowców w okresie lata (jest mało opadów i gorąco). Walter Vergara z banku Światowego stwierdził, że poczynając od roku 1960 wielkość lodowców w Andach zmniejszyła się o około 50% (Engelhaupt 2007).

Problem pogłębia się poprzez zanieczyszczenia wprowadzane przez człowieka do wód. Niemniej, znane są już dzisiaj technologie pozwalające, przy odpowiednim nakładzie energii, na wyprodukowanie wody czystej nadającej się do wszelkich zastosowań, z wody o dowolnie wysokim zasoleniu lub zanieczyszczeniu. Wyraźnie chcemy podkreślić: ludzkość może w wystarczającej ilości „produkować” wodę oczyszczoną, pod warunkiem, że będzie posiadała wystarczające środki na wybudowanie zakładów oczyszczania wody, a także dostateczną ilość energii na utrzymywanie tych zakładów w ruchu. Przebiegające w nich procesy techniczne są wszak energochłonne.

Zgodnie z hipotezą Gai (Lovelock J. 1987), wszystkie istoty żyjące na Ziemi działają wspólnie,

mając rozwinięte mechanizmy samoregulacji, umożliwiające zapewnienie optymalnych warunków życia na Ziemi. Ta uproszczona koncepcja ekosystemu Ziemi, pozwala na wyodrębnienie podstawowych elementów samoregulacji, które zostały powyżej zasygnalizowane. Ich zakłócenie prowadzi zarówno do zagrożeń regionalnych (kwaśne deszcze, zatrute rzeki czy jeziora) jak i globalnych jakim jest efekt cieplarniany.

W zakończeniu tej części możemy stwierdzić, że już przy dzisiejszym stanie nauki, człowiek posiada umiejętności pozwalające na utrzymanie środowiska zdolnego do podtrzymywania życia. A jeśli tak się nie dzieje, to wynika to z obecnie powszechnie akceptowanego wzorca niezrównoważonego funkcjonowania cywilizacji ludzkiej.

Tak więc, wiedza i technika jaką dysponuje współczesny człowiek, są w stanie zapewnić zasadę zrównoważoności w zakresie jakości środowiska naturalnego. O innych problemach na drodze do zrównoważoności napiszemy w następnych częściach tej pracy.

Literatura

1. Engelhaupt E. (2007), Peru's glaciers meltdown threatens water supplies, *Envir. Sci. and Techn.*, s.6880
2. Kozłowski S., Przyszłość ekorozwoju, KUL, Lublin 2005, s. 293-296.
3. Human Development Report, United Nations Development Programme, Oxford University Press, Nowy Jork, Oxford 1999.
4. Liverman D.M., M.E. Hanson, B.J. Brown, R.W. Merideth Jr.(1988), Global Sustainability: Toward Measurement *Envir. Manage.*, pp. 133-134
5. Meadows D. H., D. L. Meadows, W. W. Behrens, *The Limits to Growth*, Universe Books, New York 1972.
6. Mersarovic M., E. Pestel, *Mankind at the Turning Point*, Dutton, New York 1975
7. Mobbs. P, *Uranium Supply and the Nuclear Option*, Oxford Energy Forum 2005
8. *Our Common Future*, The Report of the World Commission on Environment and Development, New York 1987.
9. Pawłowski A.(2006) , Wielowymiarowość zrównoważonego rozwoju, *Problemy Ekorozwoju*. vol. 1, No1, s. 23-32
10. www. bp.com/statisticalreview
11. U'Thant, Raport Sekretarza Generalnego ONZ z dnia 26.05.1969 r. Człowiek i jego środowisko, w: „Biuletyn Polskiego Komitetu d/s UNESCO” 1/1969.