



Wpływ sposobów pozyskiwania energii na realizację paradygmatów zrównoważonego rozwoju

Artur Pawłowski, Lucjan Pawłowski
Politechnika Lubelska

1. Wprowadzenie

Prawdopodobnie najstarsze formalne zarządzenie odnoszące się do ochrony przyrody wprowadzono w Chinach, podczas rządów dynastii Czou ok. 1122 roku przed Chrystusem. Odnosiło się ono do konieczności zachowania cenniejszych drzew, lasów i zieleni oraz ustanowienia urzędu leśnika. Zarządzenie wielokrotnie później powtarzano, umieszczając je w kontekście ogólnych zasad prowadzenia gospodarki leśnej, które uwzględniały nawet finansowe wspieranie zalesiania prywatnych posiadłości (Jarosz 1964). W praktyce jednak aż po średniowiecze, jeżeli nawet podejmowano inicjatywy zmierzające do ochrony przyrody, główną motywacją była ochron dóbr władcy. Tak było np. w Polsce, gdzie wprowadzono oryginalny system regaliów i statutów królewskich.

Ważnym momentem był wiek XVII w. Francuscy naukowcy pod wodzą Philiberta Commersona i Bernardina de Saint Pierre zwrócili uwagę na ogromną dewastację drzewostanów wyspy Mauritius, szczególnie w łatwo dostępnej strefie przybrzeżnej. Nie bez znaczenia była także informacja o wyginięciu w 1670 r. – żyjącego tylko tutaj – gatunku ptaka Dodo. W relacji padły ważne słowa „na Mauritiusie została zakłócona harmonia pomiędzy człowiekiem a przyrodą” (Grove 1992), a jej przywrócenie wymaga konkretnych działań ochronnych. W 1769 r., przy wsparciu gubernatora Mauritiusa – jezuitę Pierre Poivra, doprowadzono do otoczenia wyspy ochroną prawną, a motywacją była wartość przyrody

dla niej samej oraz skala negatywnych konsekwencji, jakie wycinanie lasów przyniosło dla lokalnego klimatu. Zapisy prawa zradyzalizowano w 1803 r., wprowadzając całkowity zakaz wycinania lasów na zboczach górskich (powyżej 1/3 ich wysokości).

Początki współczesnych działań na rzecz ochrony przyrody w Europie sięgają przełomu XIX i XX w. Symboliczny jest założony przez Hugona Conwentza (1855-1922) ruch opieki nad pomnikami przyrody, określonymi wówczas, jako zabytki przyrody – Naturdenkmalpflege. Wprawdzie samo pojęcie pomnika przyrody zostało wprowadzone już w 1819 r. przez Alexandra von Humboldta, jednak to właśnie Conwentzowi udało się nadać mu rozgłos i przeprowadzić faktyczne prace ochronne.

Z perspektywy całego XX w. widać jednak wyraźnie, że otoczenie ochroną coraz większych obszarów nie jest w stanie zrównoważyć degradacji środowiska wynikające z ludzkiej działalności przemysłowej. Punktem przełomowym stał się słynny raport sekretarza generalnego ONZ U'Thanta „Człowiek i jego środowisko” (U'Thant 1969) wygłoszony na forum ONZ 26 maja 1969 r. Przez kolejną dekadę był to najczęściej cytowany dokument w całej historii Narodów Zjednoczonych. Stwierdzono w nim, że „po raz pierwszy w historii ludzkości pojawił się kryzys o zasięgu ogólnosiwiatowym, obejmującym kraje rozwinięte, jak i rozwijające się – kryzys dotyczący stosunku człowieka do środowiska. Jego oznaki widoczne były od dawna – eksplozja demograficzna, niedostateczna integracja nadmiernie rozwiniętej techniki z wymogami środowiska, wyniszczenie ziem uprawnych, bezplanowych rozwój stref miejskich, zmniejszenie się wolnych terenów i coraz większe niebezpieczeństwo wyginięcia wielu form życia zwierzęcego i roślinnego” (Tobera 1988). Znaczący był także wniosek: „Stało się jasne, że wszyscy żyjemy w biosferze, której przestrzeń i zasoby, jakiegokolwiek olbrzymie, są jednak ograniczone” (Sztumski 2016, Cel i in. 2016, Meadows i in. 1972).

Powyższe ostrzeżenie stało się inspiracją dla Klubu Rzymskiego. Pierwszy raport tego znanego ośrodka opiniotwórczego pod jakże znaczącym tytułem „Granice wzrostu” (Mersarovic i Pestel 1975) przypominał o istnieniu granic w przyrodzie, których przekroczenie (czy to poprzez przeekspluatowanie zasobów naturalnych, czyli też wzrost emisji zanieczyszczeń) może doprowadzić do załamania się równowagi biologicznej biosfery.

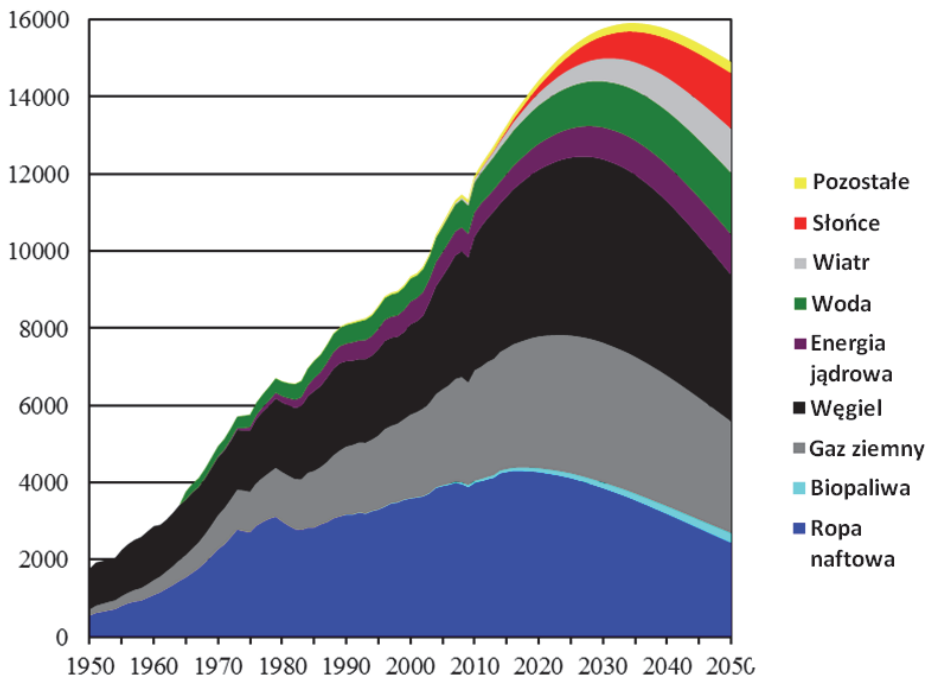
Ocena przeprowadzonych przez Klub Rzymski, w oparciu o model komputerowy „World 3”, odniosła się do globalnej perspektywy, a przyjęty horyzont czasowy był bardzo szeroki. Wskazano, że jeżeli współczesne trendy rozwojowe, znaczone wykładniczym wzrostem ilości zanieczyszczeń trafiają do środowiska, nie ulegną zmianie, postulowana katastrofa nastąpi w ciągu najbliższych 100 lat. Zarazem nadal istnieją możliwości odwrócenia biegu wydarzeń. Dlatego we wnioskach „Granic wzrostu” pojawia się propozycja alternatywnej drogi rozwojowej, prowadzącej do wytworzenia stanu równowagi światowej, w ramach którego „podstawowe potrzeby materialne każdego człowieka na Ziemi byłyby zaspokojone i żeby każdy człowiek miał jednakowe szanse wykorzystania swoich osobistych możliwości” (Boć i Samborska-Boć 2005). Jest to sposób rozumowania bardzo bliski zasadzie zrównoważonego rozwoju: odnajdziemy tu wszak wyraźne odniesienie do jakości ludzkiego życia i troski o uwarunkowania, jakimi podlega ona teraz i będzie podlegać w przyszłości.

Rozwinięcie dyskusji przyniósł kolejny raport Klubu Rzymskiego „Ludzkość w punkcie zwrotnym” (Bielińska i in. 2015) z 1974 r. Sugerowano w nim, że współczesne kryzysy środowiska (m. in. energetyczne, żywnościowe, surowcowe) nie są chwilowe, ale stanowią trwały rezultat dominujących historycznie trendów rozwojowych. Rozwiązanie tych problemów możliwe jest na płaszczyźnie globalnej współpracy. Jak piszą autorzy: „potrzeba nam integracji wszystkich warstw naszego hierarchicznego modelu świata, to znaczy równoczesnego rozważania wszystkich aspektów ewolucji ludzkości, od indywidualnych systemów wartości i postaw do warunków ekologicznych i środowiska” (Karcerauskas 2016, Brundtland 1987).

Ujmując inaczej, mimo bardzo intensywnego rozwoju w XX w. ochrony środowiska, nie udało się zażegnać kryzysu ekologicznego. Okazało się, że realna poprawa jakości powietrza, wody i gleb wymaga umieszczenia dyskusji w szerszym wymiarze, uwzględniając także ekonomiczne i społeczne wyzwania świata.

Takie właśnie podejście zaproponowano w raporcie ONZ „Nasza wspólna przyszłość” z 1987 r. formując koncepcję rozwoju zrównoważonego, umieszczającą dyskusję w kontekście zaspokajania praw i obowiązków obecnych i przyszłych pokoleń (WEC Report 2013).

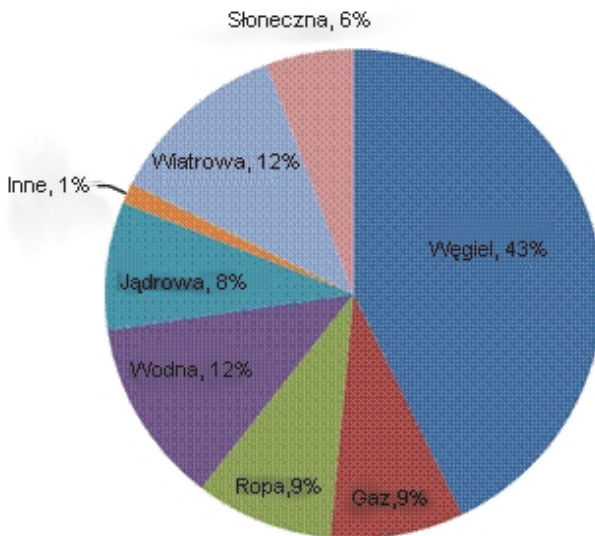
Pozyskiwanie energii i przetwarzanie na formy energii użytkowej wywiera ogromny wpływ na ekonomiczny, środowiskowy i społeczny wymiar rozwoju cywilizacji. Rewolucja techniczna, która zapoczątkowała gwałtowny, trwający do dzisiaj rozwój świata, oparta była i jest przede wszystkim, na wykorzystaniu paliw kopalnych. Problem w tym, że zagadnienie zaopatrywania w energię najczęściej rozpatrywane jest w kontekście emisji CO₂. Pojawiają się głosy, że należy odejść od wykorzystywania paliw kopalnych, w szczególności węgla. Tymczasem wg. programu „Energy International Agency” węgiel jeszcze przez kilkadziesiąt lat będzie podstawowym surowcem energetycznym, a jego zasoby powinny wystarczyć na ok. 150 lat (rys. 1) (Chefuruka 2007). Prognozowane zasoby ropy i gazu, przy obecnym tempie zużycia, wystarczą na około 50-60 lat.



Rys 1. Charakterystyka zużycia nośników energii pierwotnej w latach 1950-2015, oraz prognozowane zużycie w latach 2015-2050 (Chefuruka 2007)

Fig. 1. Characteristics of primary energy carriers consumption in years 1950-2015 and the forecast consumption in until 2050 (Chefuruka 2007)

Z prognozowanego mixu energetycznego w roku 2050 węgiel będzie stanowił aż 43% zużywanych nośników energii pierwotnej (rys. 2) (Chefuruka 2007). W kontekście tych prognoz koncentrowanie się na ograniczeniu emisji gazów cieplarnianych poprzez odchodzenie od stosowania węgla jako podstawowego surowca energetycznego jest mało realne. Co nie oznacza, że nie należy rozwijać alternatywnych źródeł energii. Z tym, że do nowych rozwiązań należy podchodzić z rozwagą, stosując pełną analizę cyklu życia proponowanego źródła. Wtedy uniknie się błędnych rozwiązań.



Rys. 2. Prognozowane zużycie nośników energii pierwotnej w 2050 roku (Chefuruka 2007)

Fig. 2. Forecast consumption of primary energy carriers in 2050 (Chefuruka 2007)

2. Problemy z biopaliwami

Zgodnie z decyzją komisji Unii Europejskiej podjętą w 2009 roku, aż 10% energii używanej w transporcie powinna pochodzić głównie z biopaliw uzyskanych z upraw rolniczych. Aby uczynić biopaliwa opłacalnymi rządy wspierają subwencjami produkcję biopaliw. W USA w 2011 roku przeznaczono na produkcję bioetanolu aż 127 mln ton kukurydzy, tj. 40% rocznej produkcji. Produkcja etanolu do celów paliwowych pochłaniała aż 6 mld dolarów dopłat z budżetu państwa. Przezna-

czenie tak dużych ilości kukurydzy na produkcję etanolu spowodowało w latach 2007-2012 dwukrotny wzrost ceny kukurydzy. Co więcej, duży import upraw rolniczych na biopaliwa przez kraje Unii Europejskiej spowodował w latach 2007-2010 dramatyczny, bo 2,5-krotny, wzrost indeksu cen żywności Organizacji Narodów Zjednoczonych do spraw Wyżywienia i Rolnictwa. Należy podkreślić, że wzrost cen żywności jest szczególnie dotkliwy dla ludzi ubogich.

W świetle powyższych stwierdzeń używanie biomasy z upraw rolniczych jako źródła energii zagraża realizacji strategii zrównoważonego rozwoju, gdyż narusza paradygmat wewnątrzpokoleniowej sprawiedliwości, ograniczając ubogim dostęp do żywności (Liu 2015, Konstańczak 2014).

Ponadto zauważmy, że promocja biopaliw oparta jest na błędnym założeniu, według którego w wyniku ich spalania uwalniane jest tylko tyle CO₂, ile rośliny wcześniej zaabsorbują. To uproszczone rozumowanie nie uwzględnia całego cyklu produkcji biopaliw. Pomija się w tych szacunkach zarówno skutki zmiany użytkowania terenu jak i nakłady energetyczne na uprawę i przerób biomasy na biopaliwa.

Duża presja, w szczególności w polityce Unii Europejskiej, na stosowanie biopaliw do transportu spowodowała, w krajach rozwijających się zaczęto karczować lasy tropikalne i na ich miejsce uprawiać rośliny przeznaczone na biopaliwa. Z badań przeprowadzonych przez Danielsena wynika, że pochłanianie CO₂ przez lasy tropikalne jest znacznie większe niż z uprawianych na ich miejscu roślin używanych do produkcji biopaliw. W konsekwencji uprawa biopaliw zmniejsza pochłanianie CO₂ na obszarach pochodzących z wykarczowanych lasów tropikalnych. Przekształcanie lasów tropikalnych i torfowisk na uprawę biopaliw prowadzi w konsekwencji do dodatkowej emisji CO₂ w ilości około 55 Mg CO₂ rocznie z 1 hektara przez okres około 120 lat. Tak więc stosowanie biopaliw otrzymywanych z upraw rolniczych najczęściej nie prowadzi do zmniejszania emisji CO₂.

Nie zapominajmy także, że aby wytworzyć biopaliwo, np. etanol z kukurydzy, konieczne jest użycie energii do uprawy, wytworzenia nawozów, zebrania roślin, przetworzenia na paliwo w procesie fermentacji i destylacji. Stosując technikę analizy cyklu życia (LCA) wykazano, że ilość wyemitowanego CO₂ przypadająca na jednostkę energii uzyskanej z etanolu produkowanego z kukurydzy jest wyższa aż o 60% w stosunku

do ilości CO₂ wyemitowanego przy spalaniu równoważnej ilości paliw wytworzonych z ropy. Nawet w przypadku produkcji etanolu z trzciny cukrowej w Brazylii, gdzie najlepiej jest rozwinięta produkcja etanolu i w pełni wykorzystuje się pozostałą biomasę np. łodyg do produkcji energii cieplnej, nie udało się obniżyć emisji CO₂ na jednostkę uzyskanej energii poniżej emisji z paliw ciekłych uzyskiwanych z ropy naftowej.

Biopaliwa niejednoznacznie wypadają także od strony efektywności energetycznej. Z badań przeprowadzonych przez profesora Pimentela (Pimental 2012) z Cornell University wynika, że ilość energii zużyta do produkcji bioetanolu jest wyższa od tej uzyskanej ze spalania etanolu w silnikach samochodowych. I tak w procesie wytwarzania etanolu z kukurydzy na jego wytworzenie zużywa się o 29% więcej energii od energii uzyskanej ze spalania wyprodukowanego etanolu, z trawy – 45% a z drewna – 57%.

Sytuacja wygląda podobnie w przypadku produkcji biodiesla, którego produkcja z soi wymaga zużycia 27% więcej energii od energii uzyskanej ze spalania wyprodukowanego biodiesla, a w przypadku produkcji biodiesla z nasion słonecznika wartość ta wzrasta aż do 118% .

Dane przedstawione powyżej pokazują, że w przypadku Stanów Zjednoczonych (i prawdopodobnie innych krajów rozwiniętych) stosowanie roślin uprawnych do produkcji paliw płynnych nie jest zrównoważone, ponieważ prowadzi do zwiększonego zużycia paliw kopalnych i do zwiększenia emisji CO₂.

Bardzo istotny jest również negatywny wpływ, jaki rosnąca powierzchnia upraw roślin energetycznych wywiera na rodzime środowiska i różnorodność biologiczną.

Zauważmy, że w lasach tropikalnych żyje ponad połowa ziemskich gatunków lądowych. Najbardziej zagrożone, przez powstające plantacje roślin energetycznych, są lasy w południowo-wschodniej Azji.

Ponadto lasy tropikalne absorbują około 46% zawartego w atmosferze dwutlenku węgla. Ich zniszczenie może doprowadzić do wynoszącego aż 25% wzrostu zawartości dwutlenku węgla w atmosferze.

Istnieje zatem wewnętrzna sprzeczność w przeznaczaniu lasów tropikalnych na uprawy roślin na tzw. biopaliwa o rzekomo niskiej emisji dwutlenku węgla. Szacuje się, że zamiana lasów na plantacje roślin do produkcji biopaliw zmniejsza pięciokrotnie liczbę gatunków bytujących na tych obszarach.

Produkcja biopaliw płynnych na potrzeby transportu wywiera także negatywny wpływ na środowisko wodne, z powodu dużego zużycia wody używanej zarówno do nawadniania upraw jak i w procesach przeróbki roślin energetycznych na biopaliwa. W procesach przeróbki wytwarzane są duże ilości uciążliwych dla środowiska ścieków, przykładowo wytworzenie 1 litra etanolu związane jest z wytworzeniem 6-12 litrów wysoko zanieczyszczonych ścieków. Tymczasem już obecnie niedostatek wody ma negatywny wpływ na produkcję żywności.

Ogólnie rzecz biorąc, w celu wytworzenia 1 litra biopaliwa zużywa się około 2500 litrów wody. Taka ilość wody potrzebna jest do produkcji żywności dla jednej osoby. Do nawodnienia 30.000.000 hektarów wykorzystywanych do upraw biopaliw, niezbędne będzie zużycie około 180 km³ świeżej wody.

Należy przy tym pamiętać, że z powodu wzrostu populacji do 8,3 mld w 2030 r. (z 7,2 w 2012 roku), zapotrzebowanie na żywność, wodę i energię będzie rosłać odpowiednio o 35%, 40% i 50%.

Duże obszary uprawy monokulturowe, a z takimi z reguły mamy do czynienia w przypadku upraw roślin na biopaliwa, wymagają stosowania dużej ilości herbicydów i pestycydów, które następnie przenikają do wód gruntowych – zanieczyszczając je. Przykładem negatywnego oddziaływania pestycydów są uprawy soi w Brazylii. Stosowane na dużą skalę pestycydy i herbicydy zagrażają podmokłym obszarom Pantanal, który jest jednym z najważniejszych siedlisk na ziemi dla setek gatunków ptaków, ssaków oraz gadów. Jako inny przykład może posłużyć plantacja trzciny cukrowej (20 000 ha), przewidziana do produkcji etanolu, znajdująca się w Tana River Delta w Kenii. Przy planowanym poborze 1680 m³ wody/min, co stanowi około 30% przepływu w rzece, występują poważne zagrożenia dla lokalnego ekosystemu, w którym żyje 345 gatunków ptaków wodnych i błotnych.

Przeprowadzona powyżej dyskusja pokazuje, że choć biopaliwa są bez wątpienia odnawialnym źródłem energii, to jednak ich wykorzystywanie nie jest obojętne dla środowiska. Oznacza to, że biopaliwa nie spełniają kryteriów rozwoju zrównoważonego.

3. Rola węgla

Niewątpliwie podaż energii jest i będzie jednym z najważniejszych czynników warunkujących rozwój, czy wręcz trwanie cywilizacji ludzkiej (Yohe 2007, Banuri i Opschoor 2007, Munasinghe 2001, Konarski 2014, Beer i in. 2010).

Krytyczna analiza obecnych trendów w zaopatrzeniu w energię zdaje się wskazywać, że niezbędnym jest korzystanie ze wszystkich osiągalnych źródeł energii.

Optymalizacja technologii wykorzystania węgla, prowadząca do minimalizacji oddziaływania na środowisko, stanowi racjonalne uzupełnienie problematyki dyskutowanej na COP, szczególnie z polskiej perspektywy (tu w najbliższych latach nie jest możliwe istotne ograniczenie roli węgla jako źródła energii pierwotnej).

Jednym z kluczowych zagadnień związanych z przetwarzaniem nośników energii pierwotnej na różne formy energii użytkowej są zmiany klimatu wywoływane przez nadmierną emisję gazów cieplarnianych, w tym szczególnie dwutlenku węgla. Zmiany te stanowią zagrożenie dla realizacji dwóch najważniejszych paradygmatów zrównoważonego rozwoju: sprawiedliwości wśród-generacyjnej i sprawiedliwości międzygeneracyjnej (Piemental 2012).

Raporty Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) przewidują, że jeśli nie powstrzymamy emisji CO₂ do atmosfery konsekwencje dla klimatu będą dość poważne. Jedną z najważniejszych będzie zaburzenie poziomu opadów deszczu w poszczególnych strefach klimatycznych, co wpłynie na zmniejszenie produkcji żywności. Choć powszechnie przyjmuje się, że skutki zmian klimatu będą katastrofalne, to wobec ogromnych kosztów związanych z wprowadzeniem gospodarki niskoemisyjnej warto odnotować prace wybitnego amerykańskiego klimatologa Lindzena, który kwestionuje przewidywaną przez IPCC skalę zmian klimatu (Lindzen 2010). Jest to o tyle ważne, że szereg technologii obniżania emisji CO₂ (np. zatłaczanie CO₂ do ziemi) związane jest z dodatkowym zużyciem energii, co prowadzi do jeszcze szybszego wyczerpywania, ograniczonych przecież, zasobów paliw kopalnych. To zaś narusza paradygmat sprawiedliwości międzygeneracyjnej.

Ponadto, warto odnotować, że wzrost stężenia CO₂ w atmosferze ma też pozytywne skutki, mianowicie przyczynia się do wzrostu biomasy, a wzrost biomasy, w tym żywności, uzależniony jest od asymilacji CO₂ z atmosfery.

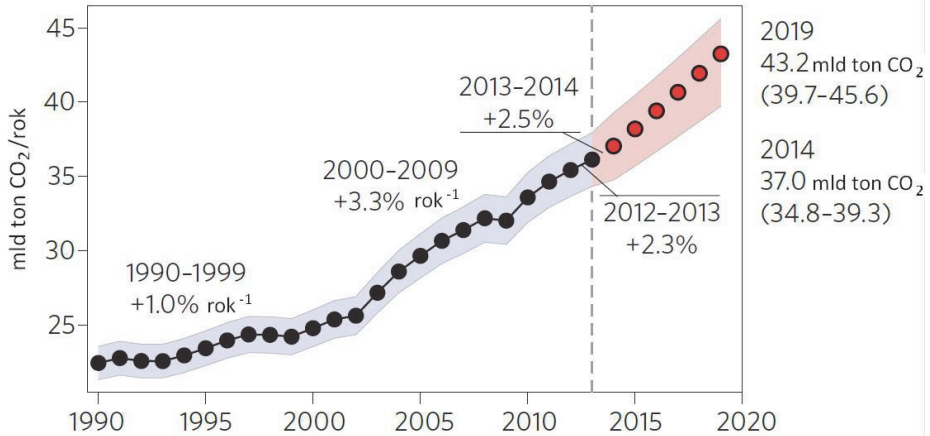
Okazuje się jednak, że emisja CO₂ ze źródeł antropogenicznych stanowi niewielką część naturalnych strumieni CO₂. Dla lepszego zrozumienia roli dwutlenku węgla w środowisku przeanalizujemy obieg węgla w ekosystemach Ziemi.

W procesach fotosyntezy przekształcane jest na biomasę rocznie około 455 mld ton CO₂ (Le Quere 2015, IPCC 2013, Statistical Year Book 2014). Równocześnie w procesach oddychania organizmów i rozkładu biomasy emitowane jest rocznie około 440 mld ton CO₂. Oznacza to, że ekosystemy lądowe absorbują z atmosfery netto 15 mld ton CO₂. Duże przepływy CO₂ mają miejsce także pomiędzy atmosferą a oceanami i morzami. Wody morskie i oceaniczne absorbują rocznie 296 mld ton CO₂, równocześnie wydają 289 mld ton CO₂. Zatem absorpcja netto CO₂ przez wody morskie i oceaniczne wynosi około 7 mld ton CO₂. Niestety, w wyniku zakwaszenia absorpcja CO₂ przez wody morskie i oceaniczne będzie się zmniejszać. Ponadto niewielkie ilości CO₂ są absorbowane przez wietrzejące minerały oraz emitowane przez wulkany.

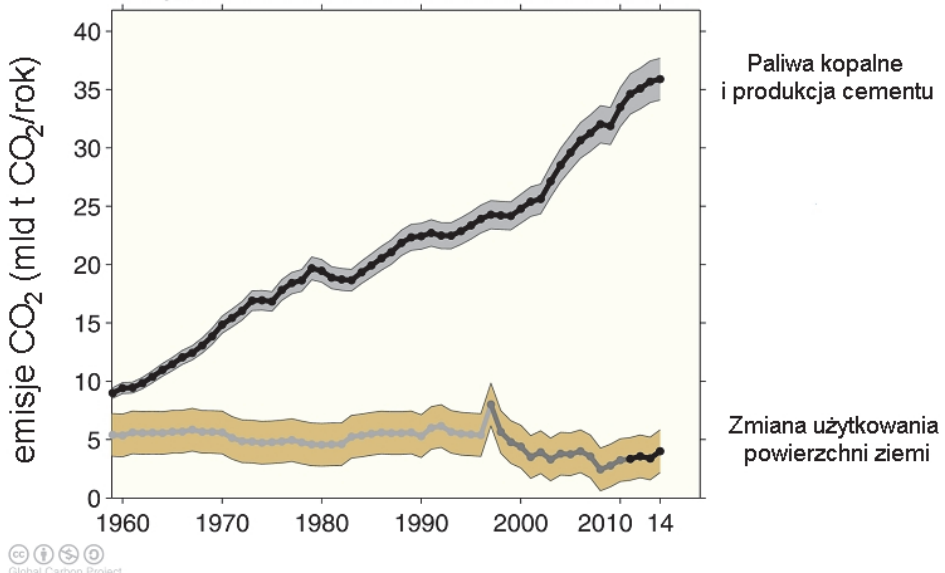
Na tle wyżej wymienionych przepływów naturalnych emisja ze źródeł antropogenicznych, tj. z procesów spalania i produkcji cementu, jest relatywnie niewielka (rys. 3).

Z danych przedstawionych na tym rysunku wynika, że emisja CO₂ w 2014 roku kształtowała się w przedziale 34.8 do 39.3 mld ton CO₂, natomiast prognozowana w 2020 emisja CO₂ będzie zawarta w przedziale 39.7 do 45.6 mld ton CO₂.

Drugim źródłem emisji CO₂, powiązanych z działalnością człowieka, jest emisja wywołana zmianami użytkowania powierzchni ziemi (wylesianie, pożary, osuszanie bagien itp.). Charakterystykę emisji z tego źródła przedstawiono na rysunku 4. Poczynając od gwałtownego wzrostu emisji CO₂ w 1990 r., spowodowanego pożarami bagien, emisja CO₂ z tego źródła spada – w wyniku zalesień. Szacuje się, że poczynając od 2020 r. emisja z tego źródła będzie spadać, osiągając zerową wartość w 2045 roku.

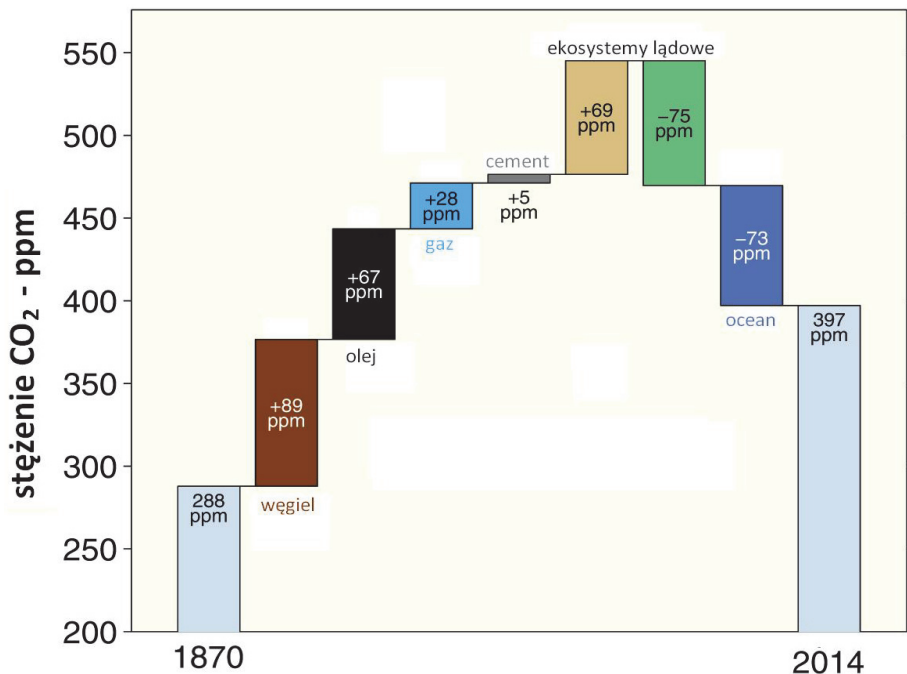


Rys. 3. Charakterystyka emisji CO₂ ze źródeł antropogenicznych (Le Quere 2015)
Fig. 3. Characteristics of CO₂ emissions from anthropogenic sources (Le Quere 2015)



Rys. 4. Charakterystyka emisji CO₂ ze spalania paliw oraz produkcji cementu oraz zmian użytkowania powierzchni Ziemi (Le Quere 2015)
Fig. 4. Characteristics of CO₂ emissions from the fuels combustion, cement production, and changes in land use (Le Quere 2015)

Bilans emisji i absorpcji CO₂ wykazuje, że emisja CO₂ do atmosfery rosła w latach 2011 do 2014 o 3,6%, w konsekwencji obserwuje się wzrost stężenia CO₂ w atmosferze, np. w latach 1870-2014 stężenie CO₂ w atmosferze wzrosło z 288 ppm do 397 ppm. Na ten wzrost nakładały się emisje ze spalania: węgla + 89 ppm, produktów ropy naftowej + 67 ppm, gazu + 28 ppm i z produktów cementu + 5 ppm. Natomiast dwa główne procesy naturalne, tj. absorpcja netto przez ekosystemy lądowe odpowiadające za obniżenie stężenia CO₂ w atmosferze o 6 ppm i absorpcję netto przez morza i oceany, spowodowała odpowiednio obniżenie stężenia w atmosferze aż o 79 ppm CO₂ (patrz rys. 5). Poczynając od 2014 roku zarysował się niewielki spadek. Emisja CO₂ była w 2015 roku niższa o 0,6% (rys. 4).



Rys. 5. Charakterystyka wpływu poszczególnych źródeł na zmiany stężenia CO₂ w atmosferze (Le Quere 2015)

Fig. 5. Impact of individual emission sources on the CO₂ concentration in the atmosphere (Le Quere 2015)

Z powyższego wynika, że procesy naturalne emisji i absorpcji CO₂ przez poszczególne ekosystemy Ziemi są dominujące. Ich rola zostanie zilustrowana na przykładzie Polski.

4. Ocena możliwości sekwestracji CO₂ przez ekosystemy lądowe w Polsce

Emisja CO₂ ze spalania paliw kopalnych i produkcji cementu w Polsce od roku 1990 systematycznie spada, głównie w wyniku likwidacji przemysłu wskutek tzw. reform Balcerowicza. W 2014 roku całkowita emisja CO₂ w Polsce wyniosła 316,8 mln t CO₂ (Statistical Year Book 2014).

Jednym z ważnych ekosystemów, z punktu widzenia ograniczania emisji CO₂, są lasy, których powierzchnia w Polsce wynosi około 9,4 mln ha (Statistical Year Book 2014). W zależności od rodzaju i wieku drzew 1 ha lasu absorbuje od 30 do 35 t CO₂/rok. Zatem łączna roczna absorpcja CO₂ przez polskie lasy wynosi od 283 do 329 mln t CO₂. Równocześnie, w wyniku oddychania oraz rozkładu materii organicznej, lasy emitują CO₂. Gaj (Gaj 2012), opierając się na badaniach Veroustraele i Sabie, podaje, że absorpcja netto CO₂ przez polskie lasy wynosi średnio 9 t/ha rok. Z powyższego wynika, że rocznie lasy polskie absorbują netto 84,6 mln t CO₂, tj. 26% emisji ze źródeł antropogenicznych. Podobną intensywność absorpcji wykazują sady, których powierzchnia w Polsce wynosi 341,8 tys. ha – absorbują one 3,1 mln ton CO₂/rok.

Znaczącą absorpcję CO₂ wykazują także pastwiska (4,8 t CO₂/ha rok) i łąki (2,6 t CO₂/ha rok) (Gaj 2012, Sauerbeck 2001, Acharya i in. 2012, Mota 2010). Powierzchnia pastwisk w Polsce wynosi 486 tys. ha. Zatem, roczna sekwestracja CO₂ przez pastwiska wynosi 1,9 mln t CO₂/rok. Natomiast powierzchnia łąk jest znacznie większa i wynosi 2,6 mln ha, zatem roczna sekwestracja CO₂ przez łąki wynosi 6,8 mln t CO₂/rok.

Największy areal w Polsce zajmują zboża, wynosi on 7,48 mln ha. Dostępne dane na temat sekwestracji CO₂ zostały ustalone dla Hiszpanii (Mota 2010). Wynoszą one dla pszenicy 13,9 t CO₂/ha rok i 11,7 t CO₂/ha rok dla owsa. Sekwestracja w strefie klimatycznej w której leży Polska będzie mniejsza. Posługując się tymi danymi można oszacować, że sekwestracja CO₂ przez zboża wynosi 74,8 mln t CO₂/rok.

Łączna sekwestracja CO₂ przez sady, zboża, pastwiska, łąki wynosi 86,6 mln t węgla /rok, co stanowi 27%. Ponadto w Polsce uprawiane są rośliny przemysłowe na obszarze 1,16 mln ha oraz ziemniaki na obszarze 267 tys. ha. Dla tych roślin brak jest danych o sekwestracji CO₂. Można założyć, że sekwestracja będzie zbliżona do sekwestracji dla warzyw, takich jak kalafior, brokuły, karczoch i pomidor. Dla tych warzyw w literaturze (Mota 2010) podawane są następujące wartości sekwestracji CO₂: kalafior – 36 t CO₂/ha rok, brokuły – 22 t CO₂/ha rok, karczoch – 13 t CO₂/ha rok, pomidor – 24 t CO₂/ha rok. Ziemniaki uprawiane są w Polsce na obszarze 267 tys. ha. Przyjmując sekwestrację CO₂ przez uprawy ziemniaków na poziomie karczochów można policzyć, że uprawy ziemniaków pochłoną 3,5 mln t CO₂/ rok. Dla upraw przemysłowych przyjmujemy sekwestrację taką jak wykazują zboża, tj. 11 t CO₂/ha rok, co dla powierzchni upraw wynoszącej 1,16 mln ha da wartość całkowitej sekwestracji wynosi 12,8 mln t CO₂/rok.

Z przedstawionych powyżej obliczeń wynika, że sekwestracja CO₂ przez uprawy rolne wynosi 103 mln t CO₂/rok, a łącznie z lasami 187,5 mln t CO₂/ rok, co stanowi w przybliżeniu 59% emisji ze spalania paliw i produkcji cementu. Oznacza to, że 59% emisji CO₂ ze spalania paliw i produkcji cementu jest pochłaniane przez uprawy rolne i lasy.

Co więcej, istnieją potencjalne możliwości zwiększenia sekwestracji CO₂ przez ekosystemy lądowe. W literaturze (Wójcik i in. 2014) można odnaleźć wskazania, że w Polsce istnieje 2,3 mln ha gruntów marginalnych. Ich zalesienie pozwoliłoby w przyszłości na zwiększenie sekwestracji CO₂ o 20,6 mln t CO₂/rocznie. Ponadto ugorowane jest około 475 tys. ha. Można je wykorzystać do sekwestracji CO₂, poprzez uprawy na przyoranie, co dałoby podwójną korzyść. Pozwoliłoby na zwiększenie sekwestracji CO₂ w skali kraju o dodatkowe 6,2 mln t CO₂/rok oraz na poprawę żyzności gleby w wyniku wzrostu zawartości próchnicy powstałej z przyoranej zieleni. Niewątpliwie spowodowałoby to zmniejszenie zapotrzebowania na nawozy mineralne, w szczególności gdyby do upraw zielonek na ugorach wykorzystano rośliny wiążące azot z powietrza. W konsekwencji dodatkowo możliwe byłoby zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych związanych z wywarzaniem nawozów mineralnych.

Sekwestracja CO₂ przez ekosystemy lądowe jest ważnym, daleko niewykorzystanym, sposobem neutralizacji emisji CO₂ do atmosfery. Autorzy artykułu nie są specjalistami od uprawy roślin, dlatego też

przedstawione w pracy dane należy traktować jako wielkości przybliżone. Celowym byłoby przeprowadzenie szczegółowej analizy istniejących i potencjalnych możliwości sekwestracji CO₂ przez ekosystemy lądowe w Polsce. Jest to tym bardziej ważne, że jak wykazano w pracy, istnieją możliwości zwiększenia sekwestracji CO₂ przez dalsze zalesienia i wykorzystanie ugorów do uprawy zielonego nawozu o co najmniej 27 mln t CO₂/rok, co odpowiada aż 8,5% rocznej emisji CO₂ ze spalania paliw kopalnych i produkcji cementu.

5. Rola emisji metanu

Mówiąc o roli CO₂ w wywoływaniu efektu cieplarnianego, którego udział wynosi 65%, należy także pamiętać o drugim ważnym gazie cieplarnianym jakim jest metan. Jego udział w efekcie cieplarnianym wynosi 16% (NASA homepage). Globalna emisja metanu ze wszystkich źródeł kształtuje się na poziomie 771 milionów t/rok. Z tym, że ilość metanu emitowana ze źródeł naturalnych kształtuje się na poziomie 223,6 mln t/rok (169,6 mln t/rok emitowane jest z obszarów bagiennych, 30,8 mln t/rok emitują termity, 23,1 mln t./rok emitowane jest z hydratów zalegających w oceanach). Emisja ze źródeł antropogennych jest znacznie większa i kształtuje się na poziomie 547 mln t/rok (z kopalni gazu, ropy i węgla 103,9 mln t/rok, z hodowli przeżuwaczy 87,5 mln t/rok, z upraw ryżu 65,6 mln t/rok, spalania biomasy 43,8 mln t/rok, z wysypisk odpadów 32,8 mln t/rok, oczyszczalni ścieków i odpadów zwierzęcych po 27,4 mln t/rok).

Jednym ze źródeł emisji metanu, bezpośrednio wiążącym się z inżynierią środowiska, jest emisja ze składowisk odpadów stanowiąca 6% całkowitej emisji ze źródeł antropogennych. W wysypiskach metan powstaje w procesie fermentacji metanowej biodegradowalnych odpadów (Montusiewicz et al. 2008, Staszewska i Pawłowska 2011).

Realizacja koncepcji zrównoważonego rozwoju wymaga, aby w maksymalnym stopniu emitowany metan wykorzystywać do celów energetycznych (Hoglund-Isaksson 2012). Przy niskiej emisji metanu można zwiększyć jego produkcję przy wprowadzeniu do składowisk osadów ściekowych (Pawłowska i Siepak 2006) lub wykorzystując naturalne procesy utleniania metanu w odpowiednio ukształtowanej pokrywie (Stępniewski i Pawłowska 1996, 2006) lub pasywnym biofiltrze (Pawłowska 2008).

6. Podsumowanie

Koncepcja rozwoju zrównoważonego narzuca na nas konieczność dbania o przyszłe pokolenia. W aspekcie pozyskiwania energii oznacza to:

- Obowiązek zdecydowanie bardziej oszczędnego zużywania kopalnych nośników energii,
- Obowiązek poszukiwania alternatywnych źródeł energii, nie zapominając jednak o pełnej analizie cyklu życia (problem negatywnego wpływu na środowisko odnosi się wszak także do odnawialnych źródeł energii),
- Zarazem postulat całkowitej rezygnacji z wykorzystywania kopalnych nośników energii, szczególnie w przypadku węgla, którego zasoby są jeszcze znaczne, należy określić jako nieuzasadnione,
- Ponadto należy zauważyć, że współczesne technologie umożliwiają znaczne zmniejszenie emisji CO₂ ze źródeł antropogenicznych,
- Podkreślić należy także ogromne znaczenie procesów naturalnych, do tej pory często niedocenianych. W artykule przedstawiliśmy przykład sekwestracji CO₂, która w polskich warunkach może wynosić nawet więcej niż 80%.

Literatura

- Acharya, B.S., Rasmussen, J., Eriksen, J. (2012). Grassland Carbon Sequestration and Emissions Following Cultivation in a Mixed Crop Rotation. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 153, 33-39.
- Banuri, T., Opschoor, H. (2007). *Climate Change and sustainable Development*, DESA working Paper No 56/2007, St/ESA/2007/DWP/56.
- Beer, C. et al. (2010). Terrestrial Gross Carbon Dioxide Uptake: Global Distribution and Covariation with Climate. *Science*, 329/2010(5993), 834-838. doi: 10.1126/science.1184984.
- Beg, N. et al. (2002). Linkages between climate change and sustainable development. *Climate Policy*, 2/2002, 129-144.
- Bielińska, E., Futa, B., Baran, S., Żukowska, G., Pawłowska, M., Cel, W., Zhang, T. (2015). Integrating Role of Sustainable Development Paradigm in Shaping the Human-Landscape Relations. *Problemy Ekorozwoju/ Problems of Sustainable Development*, 10(2), 159-168.
- Boć, J., Samborska-Boć, E. (2005). *Determinacja pozaprawna*, w: Boć J., Nowacki, K., Samborska-Boć, E. (red.), *Ochrona środowiska*. Wrocław: Kolonia Limited.

- Brundtland, G.H. (1987). *Our Common Future, Report of the World Commission on Environment and Development, Our Common Future (Brundtland Report)*. New York: Oxford University Press 87.
- Cel, W., Czechowska-Kosacka, A., Zhang, T. (2016). Sustainable Mitigation of Greenhouse Gases Emissions, in: *Problemy Ekorozwoju/ Problems of Sustainable Development, 11(1)*, 173-176.
- Chefuruka, P. (2007). *Report: World Energy to 2050, Forty Years of Decline, 2007*.
- Danielsen, F. et al. (2009). Biofuel plantations on forested lands: double jeopardy for biodiversity and climate. *Conserv Biol.*, 23(2), 348-58.
doi: 10.1111/j. 1523-1739.2008.01096
- Gaj, K., (2012). Carbon Dioxide Sequestration by Polish Forest Ecosystems. *Leśne Prace Badawcze (Forest Research Papers), 73(1)*, 17-21, 2012. doi: 10.2478/v10111-012—0002-8
- Grove, R.G. (1992). *Rodowód zachodniej polityki ochrony środowiska. Świat Nauki, 9*.
- Höglund-Isaksson, L. (2012). Global anthropogenic methane emissions 2005-2030: technical mitigation potentials and costs. *Atmos. Chem. Phys.*, 12, 9079-9096
- IPCC, (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, The Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
doi: 10.1017/CBO9781107415324
- Jarosz, S. (1964). *Istota i znaczenie ochrony przyrody*. Warszawa: Liga Ochrony Przyrody.
- Kacerauskas, T. (2016). Discourses of Ecology and the Sketches of Creative Ecology in the Context of Sustainable Development. *Problemy Ekorozwoju/ Problems of Sustainable Development, 11(1)*, 31-39.
- Konarski, W. (2014). Mineral energy sources and political activities: introduction to mutual dependencies and their selected exemplification. *Problemy Ekorozwoju/Problems of Sustainable Development, 9(1)*, 63-70.
- Konstańczak, S. (2014). Theory of sustainable development and social practice. *Problemy Ekorozwoju/ Problems of Sustainable Development, 9, (1)*, 37-46.
- Le Quere, C. et al. (2015). Global Carbon Budget 2014. *Earth Syst. Sci. Data, 7*, 47-85.
- Lindzen, R. S. (2010). Global warming: the origin and nature of the alleged scientific consensus. *Problemy Ekorozwoju/ Problems of Sustainable Development, 5(2)*, 13-28.
- Liu, H. (2015). Biofuel's Sustainable Development under the Trilemma of Energy, Environment and Economy. *Problemy Ekorozwoju/ Problems of Sustainable Development, 10(1)*, 55-59.

- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Behrens, W. W. (1972). *The Limits to Growth*. Nowy Jork: Universe Books.
- Mersarovic, M., Pestel, E. (1975). *Mankind at the Turning Point*. Nowy Jork: Dutton.
- Montusiewicz, A., Lebiocka, M., Pawłowska, M. (2008). Characterization of the biomethanization proces in selected waste mixtures. *Archives of Environmental Protection*, 34(3), 49-61.
- Mota, C. et al. (2010) *Absorption of CO₂ by the Most Representative in the Region of Murcia Crops*. CSIC report
- Munasinghe, M. (2001). Exploring the Linkages between climate Change and sustainable Development: A Challenge for Transdisciplinary research. *Ecology and Society*, 5(1), art. 14.
- NASA homepage. www.nasa.gov
- Pawłowska, M. (2008). Reduction of methane emission from landfills by its microbial oxidation in filter bed. *Management of Pollutant Emission from Landfills and Sludge, Book Series: Proceedings and Monographs in Engineering Water and Earth Sciences*, pages 3-20.
- Pawłowska, M., Siepak, J. (2006). Enhancement of methanogenesis at a municipal landfill site by addition of sewage sludge. *Environmental Engineering Science*, 23(4), 673-679
- Pawłowska, M., Stępniewski, W. (2006), Biochemical reduction of methane emission from landfills. *Environmental Engineering Science*, 23(4), 666-672
- Piementel, D. (2012). Energy Production from Maize. *Problemy Ekorozwoju/ Problems of Sustainable Development*, 7(2), 15-22.
- Sauerbeck, D.R. (2001). CO₂ Rmissions and C Sequestration by Agriculture – Perspectives and Limitations. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 60(1).
- Staszewska, E., Pawłowska, M. (2011). Characteristics of emissions from municipal waste landfills. *Environment Protection Engineering*, 37(4), 119-130
- Statistical Year Book 2014
- Stępniewski, W., Pawłowska, M. et al. (1996). A possibility to reduce methane emission from landfills by its oxidation in the soil cover. *Chemistry for the Protection of the Environment 2, Book Series: Environmental Science research*, 51, 75-92
- Sztumski, W. (2016). The Impact of Sustainable Development on the Homeostasis of the Social Environment and the Matter of Survival. *Problemy Ekorozwoju/ Problems of Sustainable Development*, 11(1), 41-47.
- Tobera, P. (1988). *Kryzys środowiska, kryzys społeczeństwa, Kryzys środowiska – kryzys społeczeństwa*. Warszawa: Ludowa Spółdzielnia Wydawnicza.
- U'Thant. (1969). *Raport Człowiek i jego środowisko*. Biuletyn Polskiego Komitetu ds. UNESCO, nr 1.

- Wójcik, J., Balawejder, M., Leń, P. (2014) Grunty marginalne, propozycje sposobów ich zagospodarowania w pracach scaleniowych w powiecie Brzozowski. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 2, 399-410.
- World Energy Council Report: World Energy Scenarios, Composing Energy Futures to 2050, 2013.*
- Yohe, G.W. et al. (2007). Perspectives on climate change and sustainability. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*, 811-841.
- Zdeb, M., Pawłowska, M. (2009). An influence of temperature on microbial removal of hydrogen sulphide from biogas. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 11, 1235-1243
- Żelazna, A., Gołębiowska, J. (2015). Measures of Sustainable Development – a Study Based on the European Monitoring of Energy-related Indicators. *Problemy Ekorozwoju/ Problems of Sustainable Development*, 10, 169-177.

Impact of Energy Acquisition Methods on the Implementation of Sustainable Development Paradigms

Abstract

The role of energy acquisition in the implementation of sustainable development idea is discussed. The impact of biofuels production on the degradation of the environment, with CO₂ emission taken into account, was discussed in detail. It was shown, that the production of biofuels from agricultural crops causes an increase in food prices. The carbon cycle in our biosphere was described as well, showing that the natural fluxes are much more important, than anthropological ones. The potential of Poland in bio-sequestration of carbon dioxide was also analyzed.

Słowa kluczowe:

zrównoważony rozwój, podaż energii, zmiany klimatu, gazy cieplarniane

Keywords:

sustainable development, energy supply, climate change, greenhouse gases