

GLOBALNE OCIEPLENIE – PRZYCZYNY, SKUTKI ORAZ ZAPOBIEGANIE ZMIANOM KLIMATU

Izabela KUROWSKA, Adrian KONOPKO, Renata ŚWISŁOCKA,
Grzegorz ŚWIDERSKI, Włodzimierz LEWANDOWSKI*

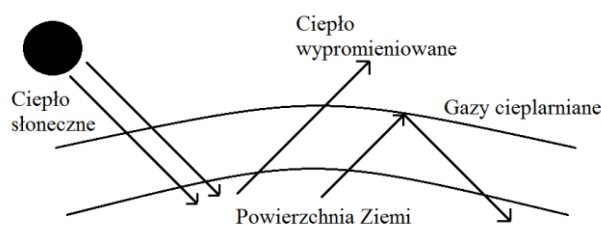
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

Streszczenie: Efekt cieplarniany stał się w ostatnich latach jednym z głównych problemów świata. Globalne ocieplenie wpływa negatywnie na środowisko. Wiele gatunków roślin i zwierząt, które nie mogą przystosować się do zmian klimatycznych może wyginąć. Wpływa ono także niekorzystnie na ekonomię i infrastrukturę państw. Organizowane są liczne konferencje odnośnie zmiany klimatu, których celem jest poszukiwanie rozwiązań służących redukcji emisji gazów cieplarnianych. Na konferencjach w Kioto i Paryżu powstały protokoły odnośnie ograniczenia emisji tych gazów. Protokół paryski przedstawia długoterminową strategię przeciwdziałania globalnemu ociepleniu. Zakłada on redukcję gazów cieplarnianych do roku 2050, o co najmniej o 60% w odniesieniu do roku 2010.

Słowa kluczowe: globalne ocieplenie, gazy cieplarniane, zmiana klimatu.

1. Wprowadzenie

Globalne ocieplenie stało się w ostatnich latach przedmiotem zainteresowania wielu państw oraz dziedzin nauki. W 2013 roku został ogłoszony 5. Raport Oceniający Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu (ang. *Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*, 2013). Wynika z niego, że zmiany klimatu są niezaprzeczalne i z 95-procentowym prawdopodobieństwem można przypisać je działalności człowieka. W globalnym ociepleniu największe znaczenie ma efekt cieplarniany związany z rosnącym stężeniem gazów, takich, jak: CO_2 , CH_4 , N_2O oraz pyłów w atmosferze. Efekt cieplarniany to naturalne zjawisko, dzięki któremu może istnieć życie na Ziemi. Obecne w atmosferze ziemskiej gazy tworzą powłokę łatwo przepuszczającą promieniowanie widzialne i ultrafioletowe, które po dotarciu do powierzchni Ziemi nagrzewają ją. Wyemitowane z naszej planety promieniowanie ciepłe (długofalowe) unosi się i w górnych warstwach atmosfery jego znaczna część jest zatrzymywana. Dzięki temu średnia temperatura powierzchni Ziemi utrzymuje się na poziomie około 15°C . Bez efektu cieplarnianego temperatura wynosiłaby około -18°C (Dubiński i in., 2010). Zatem problemem nie jest efekt cieplarniany, lecz jego nasilenie. Mechanizm tego zjawiska przedstawiony został na rysunku 1.



Rys. 1. Mechanizm efektu cieplarnianego

2. Podstawy fizykochemiczne efektu cieplarnianego

W powstawaniu efektu cieplarnianego kluczową rolę odgrywają gazy, znajdujące się w dolnej warstwie atmosfery (troposferze), takie jak: para wodna, metan, tlenek węgla(IV) oraz inne – nazywane gazami cieplarnianymi. Mają one zdolność do absorbowania i emisji światła podczerwonego. Gazy cieplarniane charakteryzują się trwałością i biernością chemiczną, na co wskazuje długi okres ich przebywania w atmosferze (Kociołek-Balawejder i Stanisławska, 2012).

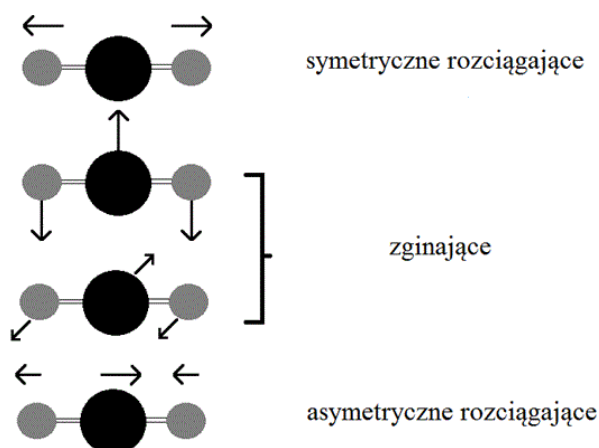
2.1. Gazy cieplarniane

Gazy, jako najprostsze molekuly, mogą drgać tylko przy określonej częstotliwości. Cząsteczki zbudowane z takich samych atomów, na przykład tlen i azot (również znajdujące się w atmosferze) nie są gazami

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: w-lewando@wp.pl

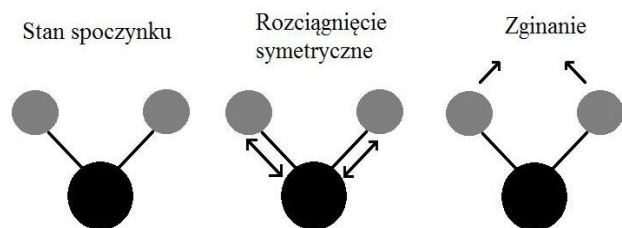
cieplarnianymi. Nie absorbują one promieniowania podczerwonego, dlatego określane są jako nieaktywne w podczerwieni. Powodem przezroczystości azotu i tlenu w zakresie IR (ang. *Infrared*) jest symetria tych cząsteczek – nie mają one w stanie równowagi trwałego momentu dipolowego i nie tworzy się on w czasie drgań, zatem promienie podczerwone nie oddziałują z tymi molekułami. W czasie drgań cząsteczek tlenu i azotu następuje tylko zmiana polaryzowalności (tak zwane potencjalnej zdolności przemieszczania się ładunku elektronowego względem zębów atomowych) tych cząsteczek (Lewandowski i in., 2007, Karwasz i Służewski, 2013).

Tlenek węgla(IV) jest cząsteczką liniową (długość wiązania C=O wynosi 116,3 pm). Cząsteczka CO₂ charakteryzuje się trzema rodzajami drgań oscylacyjnych (rys. 2). Obrót molekuly w stanie spoczynku (symetryczne drgania) nie wpływa na jej pole elektryczne oraz na zmianę momentu dipolowego, który w tym przypadku wynosi zero. Pozostałe dwa rodzaje drgań: asymetryczne rozciągające oraz zginające powodują zmianę momentu dipolowego w czasie drgań, co powoduje aktywność w podczerwieni.



Rys. 2. Rodzaje drgań cząsteczki wody

Cząsteczki wody są nieliniowe, a wiązania pomiędzy wodorem i tlenem są silnie spolaryzowane, dlatego woda ma trwały moment dipolowy i zmienia się on podczas jej drgań. Taka budowa pozwala na pochłanianie promieniowania podczerwonego. Istnieje kilka rodzajów drgań cząsteczki wody, które zostały przedstawione na rysunku 3.



Rys. 3. Rodzaje drgań cząsteczki tlenu węgla(IV)

2.2. Sprężenia zwrotne

Ważną rolę w kształtowaniu klimatu spełniają sprężenia

zwrotne, które dzielimy na dodatnie i ujemne. O ujemnym sprężeniu zwrotnym mówimy wtedy, gdy efekt zmiany przeciwdziała czynnikowi, który ten efekt wywołał. Skutkuje ona osłabieniem i stabilizacją zmian zachodzących w klimacie. W dodatnim sprężeniu zwrotnym efekt zmiany wzmacnia czynnik, który ten efekt wywołał, co skutkuje destabilizacją klimatu (Kundzewicz, 2013). Podczas modelowania klimatu uwzględnia się sprężenie zwrotne pary wodnej, która do niedawna była uważana za gaz szklarniowy mający największy wpływ na powstawanie efektu cieplarnianego. Wzrost temperatury prowadzi do zwiększenia parowania wody. Powstająca para wodna przyczynia się do podwyższenia temperatury Ziemi. Sprężenie zwrotne pary wodnej warunkuje istnienie punktu maksymalnej wartości pary wodnej, jaką może osiągnąć atmosfera. Po przekroczeniu tego punktu dalsze parowanie skutkuje opadami deszczu. Naukowcy uważają, że na Wenus kiedyś było tyle samo wody, co na naszej planecie. Z powodu braku sprężenia zwrotnego pary wodnej oraz mniejszej odległości od Słońca uważa się, że woda wyparowała, zamiast skroplić się i utworzyć morza, tak jak stało się to w przypadku Ziemi.

Sprężenie zwrotne biosfery lądowej wpływa na klimat zmieniając albedo (zależność pomiędzy ilością promieniowania padającego do odbitego) gruntu. Drzewa posiadają znacznie niższe albedo od terenów bezdrzewnych. Oziębienie prowadzi do ograniczenia lesistości, powiększenia albedo, co skutkuje obniżeniem temperatury. Lasy amazońskie pobierają wodę z Ziemi, a następnie oddają ją do atmosfery za pomocą aparatów szparkowych w liściach. Wzrost ilości pary wodnej skutkuje zwiększeniem ilości opadów, co powoduje dalszy intensywny wzrost drzew. Ten efekt uważany jest za główny czynnik, dzięki któremu lasy równikowe mogą istnieć.

Sprężenie zwrotne albedo lodu, występującego głównie na obszarze okołobiegunowym. Zmiany temperatury w wyższych szerokościach geograficznych są dwu-, a nawet czterokrotnie większe od przeciętnych panujących na Ziemi. Jest to zauważalny proces i świadczy o tym na przykład topniejąca pokrywa lodu na Arktyce (Archer, 2011).

3. Przyczyny globalnego ocieplenia

3.1. Obieg węgla w przyrodzie

Węgiel to podstawowy pierwiastek budulcowy związków organicznych. W żywą materię organiczną zostaje wbudowany w postaci tlenu węgla(IV), asymilowanego przez autotrofy w procesie fotosyntezy. Proces ten polega na zamianie, z wykorzystaniem światła słonecznego, tlenu węgla(IV) i wody w organiczne związki węgla. Pełnią one różnorodne funkcje w organizmach, na przykład białka tworzą enzymy kontrolujące reakcje chemiczne. Tlenek węgla(IV), znajdujący się w atmosferze stanowi niewielką część węgla istniejącego na Ziemi. Pierwiastek ten znajduje się również

na powierzchni lądu w postaci szczątków organizmów, w ocenach i skałach osadowych. Każde z tych zasobów gromadzi i przechowuje przerobiony tlenek węgla(IV), dlatego ilość atmosferycznego CO₂ zmienia się.

3.2. Naturalne przyczyny globalnego ocieplenia

Aktywność Słońca, wybuchy wulkanów oraz zmiany cyrkulacji oceanicznej to czynniki naturalne odpowiedzialne za zmiany klimatu. Wulkany podczas erupcji wyrzucają do atmosfery duże ilości pyłów i gazów (na przykład HCl, SO₂, CO₂, H₂S). W kwietniu 2010 roku społeczność europejska została zaskoczona skutkami wybuchu wulkanu Eyjafjallajökull w Islandii. Z jego krateru wydzielala się duża ilość materii na wysokość około 10 kilometrów. Pył wulkaniczny był niesiony przez ruchy powietrza w kierunku wschodnim, co w dużej części Europy wstrzymało ruch samolotów na wiele dni. Cząstki pyłu wulkanicznego są twarde i ostre, pochodzą z magmy znajdującej się w głębi skorupy ziemskiej. Mogą zniszczyć silnik samolotu odrzutowego, a także ograniczać widoczność (Kociołek-Balawejder i Stanisławska, 2012).

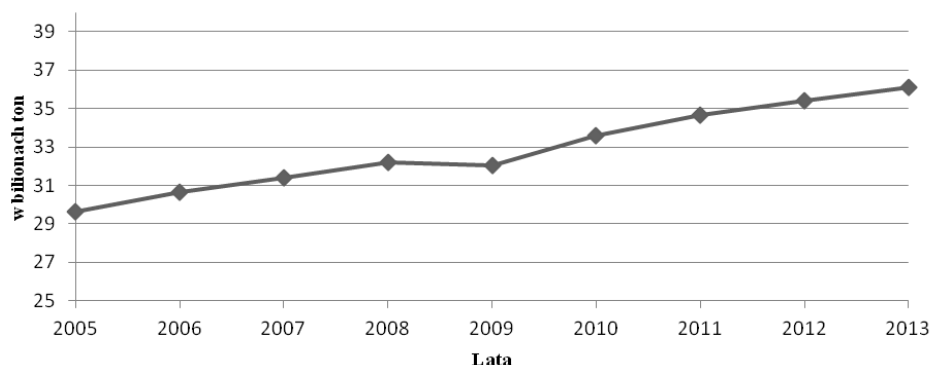
Duże znaczenie w analizie zmian klimatu mają gazy wulkaniczne wyrzucane do stratosfery, które ulegają transformacji fizykochemicznej i rozprzestrzeniają się wokół całej Ziemi. Na rozproszenie krótkofalowego promieniowania słonecznego największy wpływ mają aerozole siarczanowe, powstające z połączenia wody i gazowego SO₂. Molekuły siarczanów absorbują i rozpraszają promieniowanie słoneczne (zjawisko purpurowego zmierzchu) (Batur, 2008). Skutkują one ogrzewaniem stratosfery, podczas gdy w dolnych warstwach troposfery następuje ochłodzenie spowodowane spadkiem promieniowania dochodzącego do Ziemi. Po erupcjach wulkanów poziom nasłonecznienia planety spada o około 10-15%. Dziewiętnaście największych erupcji w naszej erze spowodowało średnie ochłodzenie o 0,6±0,2°C w ciągu pięciu lat po wybuchu (Sigl i in., 2015).

Naukowcy uważają, że zmiany klimatu mogły być

wynikiem zmiany aktywności Słońca, które przesyła różną ilość energii do naszej planety. Aktywność słoneczną można mierzyć na dwa sposoby: ilością plam lub liczbą izotopu berylu obecnego w odwiertach lądolodów na Grenlandii. Izotop ¹⁰Be produkowany jest w atmosferze na skutek działania promieniowania kosmicznego pochodzenia pozasłonecznego. Im bardziej aktywne jest Słońce, tym magnetosfera (magnetyczne otoczenie ciał niebieskich) lepiej chroni planety przed tym promieniowaniem. Skutkuje to tym, że wraz ze wzrostem aktywności Słońca powstaje mniej izotopu berylu. Na tej podstawie można stwierdzić wzmogłą aktywność słoneczną. Korelację pomiędzy aktywnością Słońca, a temperaturą na Ziemi widać w przestrzeni wieków. Ocieplenie klimatu mające miejsce w IX-XIII wieku, „mała epoka lodowcowa” w XV-XVIII wieku są powiązane z aktywnością Słońca. Do lat pięćdziesiątych XX wieku wzrost temperatury można było tłumaczyć wzmogłą działalnością słoneczną. Jednak od tego czasu aktywność Słońca maleje, natomiast temperatura na naszej planecie wciąż rośnie. Z tego wynika, że od około 1850 roku na klimat znaczny wpływ mają takie czynniki jak wzrastające stężenie tlenku węgla(IV) w atmosferze, pomniejszając wpływ aktywności Słońca na zmiany klimatu (Scott i in., 2002).

3.3. Działalność człowieka, a globalne ocieplenie

Działalność człowieka przyczynia się do ocieplenia klimatu na kilka sposobów. Największym i najdłuższym trwającym czynnikiem powodującym zmianę klimatu jest wzrost stężenia tlenku węgla(IV), wskutek spalania paliw kopalnych i intensywnej eksploatacji lasów. Według badań zapoczątkowanych przez Keelinga w 1958 roku w latach 1960-2010 nastąpił szybki wzrost stężenia tego gazu w atmosferze z poziomu 280 ppm do 390 ppm, a więc o 40%. Na wykresie (rys. 4) przedstawiono globalną emisję tlenku węgla(IV) w latach 2005-2013. Na podstawie analizy wykresu można stwierdzić, że globalna tendencja emisji tlenku węgla(IV) wciąż rośnie, co ma niekorzystny wpływ na zmiany klimatu.



Rys. 4. Globalna emisja tlenku węgla(IV) w latach 2005-2013 (GUS, 2015d)

Metan jest drugim, po tlenku węgla(IV), gazem mającym wpływ na efekt cieplarniany. Głównym antropogenicznym źródłem tego gazu w Polsce jest sektor energii (45%), w tym głównie emisja lotna ze spalania paliw (35%), zwłaszcza z kopalni węgla. Na wielkość emisji wpływa także rolnictwo (32%), w szczególności fermentacja jelitowa oraz składowanie odpadów stałych.

Na świecie głównymi źródłami metanu jest produkcja paliw kopalnych, rolnictwo i hodowla oraz obszary bagienne i oceany. Przypuszcza się także, że w wyniku globalnego ocieplenia metan może być uwalniany z wiecznej zmarzliny i lodu (Kundzewicz, 2013). Według naukowców na usuwanie metanu z atmosfery wpływa wzrost stężenia wolnych rodników OH^\bullet w troposferze. W latach 1980-1990 stężenie metanu w atmosferze rosło o 12-17 ppb (około 0,9%). Obecnie zmalało do około 2 ppb rocznie. Przewiduje się, że w 2050 roku koncentracja metanu powinna być zbliżona do obecnej (IPCC, 2007).

Tlenek azotu(I) jest produktem denitryfikacji, przeprowadzanej przez bakterie żyjące w glebie i wodach powierzchniowych. Wzrost emisji N_2O wywołany jest głównie przez stosowanie nawozów azotowych, przekształcanie terenów leśnych w uprawne oraz spalanie paliw kopalnych (Dobrzański i in., 2012). W Polsce istotny wpływ na wielkość emisji tlenku azotu(I) w 2014 roku miało rolnictwo, ponieważ stanowiło 84% całkowitej emisji tego gazu w Polsce. Mniejszy wkład miał sektor energii związany ze spalaniem paliw (7%) oraz procesy przemysłowe (3%).

Nietrwałym gazem cieplarnianym jest ozon troposferyczny, będący także zanieczyszczeniem wtórnym. Powstaje on w wyniku reakcji fotochemicznych, które zachodzą w powietrzu zanieczyszczonym na przykład tlenkami azotu pochodzącymi głównie z transportu.

Zapylenie powietrza w sposób bezpośredni wpływa na globalne ocieplenie. Aerozole pyłowe tworzą się w prostych procesach fizycznych. Cząstki aerozolu o małej średnicy są przenoszone do atmosfery przez wiatr, mają zdolność rozpraszania światła i utrudniają przenikanie promieniowania słonecznego do powierzchni Ziemi (VanLoon i Duffy, 2007, Kociołek-Balawejder i Stanisławska, 2012). Istnieje wiele grup aerozoli atmosferycznych pochodzenia naturalnego. Wśród nich można wyróżnić aerozol kontynentalny utworzony z pyłów z erozji gleb i skał, czy bioaerozol, zawierający pyłki roślin i strzępki grzybów pleśniowych. Aerozole mogą pochodzić również ze źródeł antropogenicznych na przykład aerozol miejski, zawierający między innymi sadzę i dym z rur wydechowych pojazdów. Pyły te są niekorzystne dla środowiska oraz zdrowia człowieka (Manahan, 2012). Stanowią bardzo małe cząstki, które z łatwością są wchłaniane przez układ oddechowy człowieka i zwierząt. Ich duże stężenie na danym obszarze, w połączeniu z odpowiednimi warunkami pogodowymi, może powodować smog. Zjawisko to można zaobserwować w wielu miastach świata (Pekin, Londyn), w tym także w Polsce (Kraków, Katowice).

W związku z działalnością człowieka związana jest

również emisja innych gazów powodujących globalne ocieplenie. Należą do nich substancje objęte protokołem montrealiskim (podpisanym w 1987 roku): freony i halony. Za szczególnie groźne uznawano freony, których używano, jako substancje chłodzące na przykład w lodówkach i aerozolach (Dobrzański i in., 2012). Podjęte działania, między innymi podpisanie Konwencji Wiedeńskiej, w sprawie ochrony warstwy ozonowej przyczyniły się do zahamowania ich emisji.

3.4. Rola gleb i torfowisk w emisji gazów cieplarnianych

W glebie zgromadzone jest dwukrotnie więcej węgla organicznego niż w biosferze lądowej. Glebowy zasób zawiera się w rozkładających się liściach i innym materiale roślinnym. Zawartość węgla zgromadzonego w glebie zależy od typu gleby, warunków klimatycznych i stopnia zalesienia. Do zmniejszenia zawartości materii organicznej w glebie i powodowania emisji CO_2 przyczynia się rolnictwo.

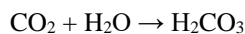
Torf to świeże pokłady szczątków roślin lądowych w bagnach, które w przyszłości mogą przekształcić się w węgiel kopalny. Torfowiska stanowią bardzo ważny element obiegu węgla w przyrodzie. Zajmując około 3,7 mln km^2 (około 2,5% lądów Ziemi), skupiają około 30% zasobów węgla zgromadzonego w ekosystemach, co odpowiada w przybliżeniu 60-75% zasobów tego pierwiastka w atmosferze i dwukrotności zasobów węgla zgromadzonego przez lasy (Oleszczuk, 2012). Odwodnienie torfowisk w wyniku pozyskiwania torfu, niewłaściwej gospodarki leśnej czy wypasania zwierząt prowadzi do zwiększenia intensywności rozkładu materii organicznej i emisji tlenku węgla(IV) oraz innych gazów cieplarnianych do atmosfery, takich jak tlenek azotu(I). Emisja tego gazu kształtuje się na niskim poziomie i wzrasta wraz z intensywnością odwodnienia. Według naukowców odwodnione gleby torfowe w Europie emitują rocznie średnio od około 2 do 56 kilogramów N_2O /ha w krajach europejskich (Oleszczuk, 2012). Skala emisji tego gazu uzależniona jest od zachodzących procesów nitrifikacji i denitryfikacji, zawartości anionu azotanowego(V), odczynu oraz temperatury gleby. Natomiast torfowiska w stanie naturalnym (nieodwodnione) są emiterami metanu i emitują około 22% światowej ilości CH_4 do atmosfery (Pawlaczyk, 2014). Wsuszenie tych terenów w celu użytkowania przez człowieka, na przykład do celów rolniczych, powoduje przerwanie wydzielania tego gazu do atmosfery.

W raporcie wydanym przez Wetlands International (2010) oceniono, że ubytek torfowisk w Polsce powoduje wydzielenie 24 mln ton tlenku węgla(IV) rocznie, co stawia Polskę w pierwszej dziesiątce emitentów tego gazu z torfowisk na świecie.

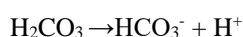
3.5. Wpływ oceanów na zmiany klimatu

Oceany są naturalnym zbiornikiem pochłaniającym około 40% tlenku węgla(IV) z atmosfery (Batur, 2008). Jest on następnie wiązany przez plankton, rośliny morskie oraz zwierzęta (skorupiaki, koralowce). Oceaniczne

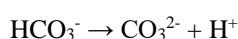
pochłanianie węgla zależy od cyrkulacji wody w oceanie i od postaci chemicznych, jakie przyjmuje rozpuszczony w wodzie tlenek węgla(IV). Gdy w atmosferze znajduje się większa ilość CO₂, to oceany wchłaniają go więcej, ze względu na wzrastającą różnicę ciśnienia tego gazu między atmosferą, a powierzchnią oceanów. Związki węgla odgrywają znaczącą rolę w chemizmie wód, wpływając na równowagę jonową. Tlenek węgla(IV) rozpuszczając się w wodzie, reaguje z nią i tworzy kwas węglowy.



Kwas węglowy traci jon wodorowy, tworząc jon wodorowęglanowy.



Jeżeli zostanie uwolniony drugi proton, możliwe jest wytworzenie jonu węglanowego.



Sumaryczną reakcję przedstawia równanie:



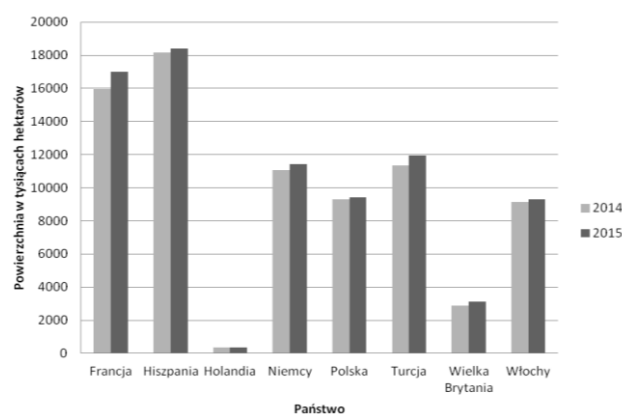
Zgodnie z regułą przekory le Chateliera-Browna, gdy zwiększy się ilość tlenu węgla(IV), równowaga zostaje zachowana wskutek przebiegu reakcji w prawo i wykorzystanie części tlenu węgla(IV) w reakcji z jonem węglanowym. Powyższe reakcje regulują odczyn (pH) wody. Gdyby CO₂ nie ulegał reakcjom związanym z pH, woda morska nie mogłaby pochłaniać ani uwalniać więcej tego gazu. Jest to skuteczny system buforowy, którego siła wynosi około 10 (Archer, 2011). Oznacza to, że woda morska może utrzymać dziesięć razy więcej tlenu węgla(IV), niż w sytuacji, gdy nie ma reakcji buforowania. Gdy stężenie tlenu węgla(IV) w atmosferze rośnie i jest on pochłaniany przez ocean, stężenie jonów węglanowych spada. Wynikiem tego jest zmniejszenie możliwości buforowania tlenu węgla(IV). Następstwem jest zmniejszenie pochłaniania CO₂ przez ocean. Ponadto spadek stężenia jonów węglanowych może zniszczyć rafy koralowe i organizmy wytwarzające wapienne szkielety z węglanu wapnia. Rozpuszczony w wodzie tlenek węgla(IV) przekształca się w kwas, który reaguje z węglanem wapnia, rozpuszczając go.

3.6. Wpływ zasobów leśnych na absorpcję tlenu węgla(IV)

Lasy są najbardziej zróżnicowanymi biologicznie ekosystemami lądowymi. Powierzchnia lasów w 2014 roku w Polsce według danych GUS (2015c) wynosi 9197,9 tysięcy hektarów. W porównaniu z rokiem poprzednim nastąpił wzrost powierzchni lasów o 20,7 tysięcy hektarów. Obliczona według standardu międzynarodowego zalesienie Polski wynosi 29,4% (Milewski, 2015). Podstawą prac zalesieniowych w Polsce jest „Krajowy program zwiększania lesistości”, zakładający wzrost powierzchni lasów do 30% w 2020 roku i do 33% w 2050 roku.

Wobec zmian klimatycznych lasy ogrywają głównie rolę prewencyjną. Rola ta polega na zapobieganiu absorbowaniu tlenu węgla(IV) poprzez działania, które prowadzą do obniżenia zagrożenia wystąpienia zakłóceń w ekosystemach leśnych (w tym pożarów), niedopuszczania do przekształcania terenów leśnych w nieleśne (lasy magazynują znacznie większe ilości tlenu węgla(IV), niż tereny rolnicze czy zurbanizowane) (Milewski, 2015). Oprócz roli prewencyjnej, bardzo ważna jest także funkcja redukcyjna lasów. Funkcja ta jest możliwa dzięki zjawisku sekwestracji, czyli pochłaniania tlenu węgla(IV), który w wyniku fotosyntezy przekształca się w biomasę.

Podczas XIV Światowego Kongresu Leśnego w RPA (7-11 września 2015 roku) opublikowano wyniki raportu Globalnego Oszacowania Zasobów Leśnych FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 2013) obejmujący 234 kraje (Zygmunt, 2015). Według FAO zasoby leśne na świecie wciąż się zmniejszają na skutek między innymi wzrostu liczności populacji i przekształcania gruntów leśnych w rolne, ale w ciągu ostatnich 25 lat tempo globalnego wylesiania netto zmniejszyło się o ponad 50%. Od 1990 roku największa utrata powierzchni lasów występuje w Afryce i Ameryce Południowej. W 1990 roku 4128 mln hektarów lasów składało się na 31,6 % obszarów lądowych, natomiast w 2015 roku 3999 milionów hektarów lasów stanowiło 30,6% powierzchni lądów. Roczny udział netto utraty powierzchni lasów zmniejszył się z 0,18 % na początku lat 1990, do 0,08 % w latach 2010-2015. Na wykresie (rys. 5) przedstawiono porównanie powierzchni, którą stanowią lasy wybranych krajów Europy w latach 2014 i 2015.



Rys. 5. Porównanie powierzchni lasów krajów europejskich w latach 2014-2015 (GUS, 2014, 2015d)

4. Skutki globalnego ocieplenia

4.1. Polska, a zmiana klimatu

W XX wieku tempo ocieplenia wzrosło. Średnia temperatura w Polsce w latach 1901-2000 wzrastała o 0,0089°C na rok. Stuletni przyrost temperatury wyniósł więc prawie 0,9°C (Kozuchowski, 2011). Przewiduje się, że do końca XXI wieku średnia roczna temperatura na terenie Polski wzrośnie o 3-3,5°C. Kilkukrotnie

wzrośnie liczba dni z maksymalną dobową temperaturą powietrza przekraczającą 30°C, a temperatury powyżej 35° mogą występować niemal każdego lata, nawet przez ponad 20 dni w roku (Graczyk, 2013). Zmniejszy się natomiast liczba dni mroźnych w roku. Niektóre zimy mogą być całkowite pozbawione niskich temperatur (Graczyk, 2013).

Zmiany ekstremów pogodowych spowodują szereg niekorzystnych zmian w środowisku Polski. Wzrost temperatury wiosną i jesienią wpłynie na wydłużenie sezonu wegetacyjnego. Jednak produkcja biomasy przez rośliny będzie obniżona, w głównej mierze przez niedostateczną ilość wody (niezbędnej do procesu fotosyntezy) i wysoką temperaturę. W efekcie można spodziewać się współzawodnictwa między gatunkami roślin (Kundzewicz, 2013). Niedobór wody przyczyni się także do osłabienia drzew i zwiększenia ich podatności na rozwój chorób grzybowych oraz atak szkodników (Kundzewicz, 2013). Ponadto zmiana ekstremów temperaturowych w środkowej i wschodniej Europie może spowodować zmniejszenie się ilości opadów latem, podwyższenie ryzyka pożarów lasów (EEA, 2015), występowanie silnych wiatrów, a także rozwoju czynników chorobotwórczych.

Wśród pozytywnych aspektów wzrostu temperatury można wyróżnić: możliwość uprawy roślin ciepłolubnych, oszczędności na materiale opałowym i odśnieżaniu dróg podczas zimy.

4.2. Globalne skutki ocieplenia klimatu

Obszar śródziemnomorski to jeden z najbardziej podatnych na zmiany klimatu terenów w Europie. O ile dla innych europejskich regionów przewiduje się zarówno zyski, jak i straty wynikające z globalnego ocieplenia, teren ten traci w każdej kategorii (EEA, 2015). Europejska Agencja Środowiska (EEA) przewiduje, że wzrost temperatury w obszarze śródziemnomorskim będzie wyższy niż średnia europejska. Inne niebezpieczeństwa wymienione w raporcie to między innymi podwyższenie ryzyka utraty różnorodności biologicznej, podwyższenie ryzyka pustynnienia, czy zwiększone ryzyko pożarów lasów. Przewiduje się także, że nastąpi zmiana przestrzennego zakresu występowania gatunków oraz wymieranie tych, które nie mogą przystosować się do zmian klimatu (Sowiński i Wołoszyn, 2013). Przy wzroście temperatury o 1,5-2,5°C 20-30% gatunków może wyginąć (Dobrzański i in., 2012).

Globalne ocieplenie będzie miało także skutki społeczne i ekonomiczne. Z powodu podnoszenia się poziomu wód ucierpi wiele społeczeństw. Do obszarów, które są szczególnie narażone należy Afryka (Kundzewicz, 2013), nisko położone obszary nadmorskie, małe wyspy Karaibów i Pacyfiku, kraje wyspiarskie (Malediwy, Kiribati) oraz Azja Południowo-Wschodnia. Krajem, który jako jeden z pierwszych zostanie zalany podczas podnoszenia się poziomu mórz jest Bangladesz. Jeśli poziom mórz wzrośnie o 45 cm, kraj ten zostanie zalany w 10% (Giddens, 2010). Według prognoz, do połowy XXI wieku, może pojawić się nawet około

200 mln ekologicznych uchodźców, uciekających przed powodzią i suszami (Dobrzański i in., 2012).

Europejska Agencja środowiska (2015) prognozuje, że zmiana klimatu wpłynie znacznie na ekosystemy morskie. Obecnie, obserwuje się wzrost temperatury wód, zwiększenie zakwaszenia oraz wywołanie nienaturalnych migracji gatunków na północ. W wielu regionalnych morzach na całym świecie występuje ponadto niedobór tlenu (hipoksja), spowodowany zanieczyszczeniem substancjami biogennymi, co prowadzi do zmniejszenia się populacji ryb. Uważa się, że największym morskim obszarem dotkniętym niedotlenieniem jest Morze Bałtyckie (Carstensen i in., 2014).

Zmiany klimatu wpływają również na ekosystemy wód słodkich w południowej i wschodniej Europie – spada ilość wody w rzekach, podczas gdy w innych regionach rośnie. Na wody słodkie mają wpływ także częściej występujące i bardziej intensywne susze (głównie w południowej Europie) oraz podwyższenie temperatury wody (EEA, 2015).

Wzrost temperatury może mieć również skutki zdrowotne. Wzrośnie ilość ofiar śmiertelnych spowodowana powodzią, czy pożarami. Zwiększy się także obszar występowania chorób zakaźnych takich jak malaria, czy żółta febra (Dobrzański i in., 2012; Sowiński i Wołoszyn, 2013).

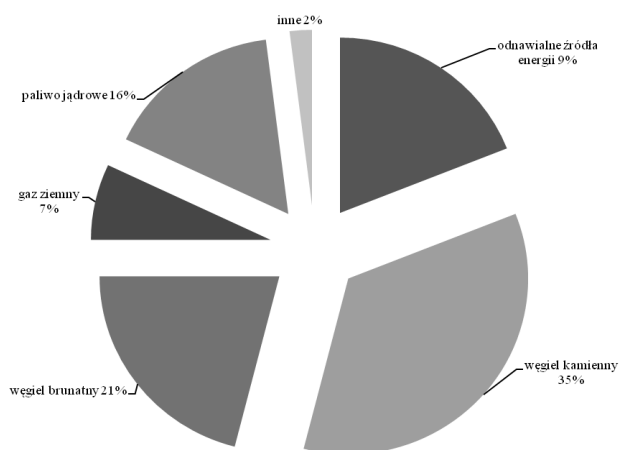
5. Zapobieganie ociepleniu klimatu

5.1. Energia odnawialna w Polsce i na świecie

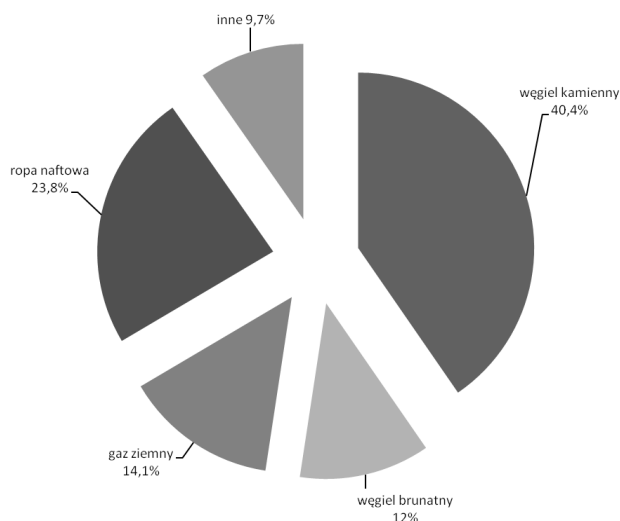
Redukcja emisji gazów cieplarnianych w Polsce i na świecie, jest możliwa dzięki wykorzystaniu i intensyfikacji odnawialnych źródeł energii. Zasoby nieodnawialne, stanowiące dotychczas podstawowe źródło zaopatrzenia energetycznego wszystkich państw w energię pierwotną i warunkujące rozwój cywilizacyjny, obejmują (Jeleń i Cała, 2012):

- węgiel kamienny i węgiel brunatny,
- ropę naftową i jej pochodne,
- naturalne bituminy,
- gaz ziemny,
- paliwo uranowe.

Surowce te, zwane również paliwami konwencjonalnymi, po wykorzystaniu ulegają procesowi rozkładu (Stacharska-Targosz, 2010). W wizji Polski 2030 (Boni, 2012) udział węgla kamiennego i brunatnego w całkowitym bilansie energetycznym ma zostać zredukowany do około 50-60%, natomiast wykorzystanie odnawialnych źródeł energii ma wzrosnąć docelowo do prawie 19% w 2030 roku (rys. 6). Dla porównania udział paliw w wytworzeniu energii elektrycznej w 2014 roku przedstawia rysunek 7.



Rys. 6. Struktura paliwowa źródeł energii w Polsce do 2030 roku (Ministerstwo Gospodarki, 2009)

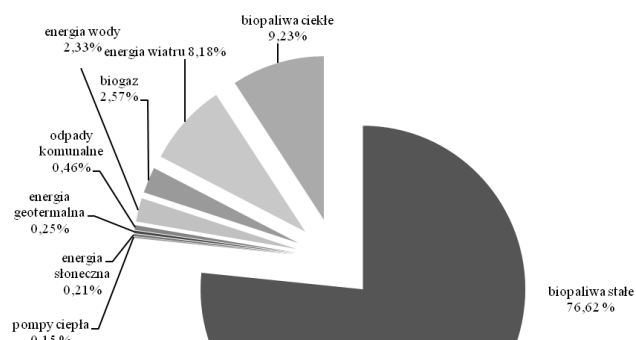


Rys. 7. Struktura paliwowa źródeł energii w Polsce w 2014 roku (GUS, 2015b)

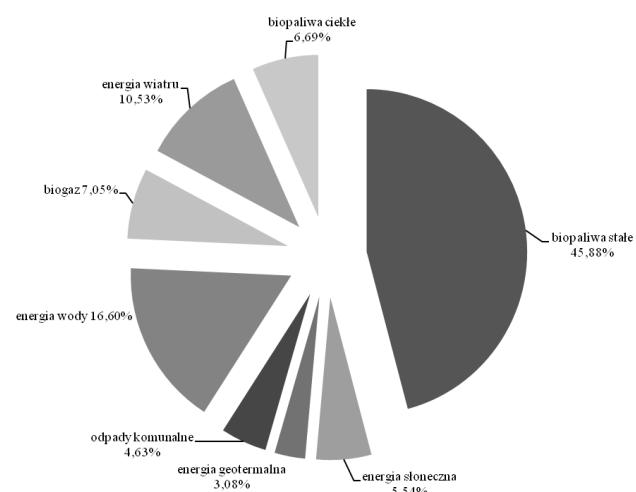
Energia ze źródeł odnawialnych oznacza energię, która pochodzi z naturalnych powielających się procesów zachodzących w środowisku (Niedziółka, 2010). Źródła odnawialne są zatem alternatywą dla rezerw nieodnawialnych. Ich zasoby ulegają uzupełnieniu w naturalny sposób, przez co są praktycznie niewyczerpywalne. W ramach odnawialnych źródeł energii wyodrębnia się energię: promieniowania słonecznego, wody, wiatru, geotermalną, a także fal, pływów i prądów morskich oraz energię pozyskiwaną z biopaliw stałych, ciekłych i biogazu.

Rozkład pozyskania energii ze źródeł odnawialnych Polski (rys. 8) różni się zasadniczo od struktury pozyskania energii ze źródeł odnawialnych Unii Europejskiej (rys. 9). Struktura ta wynika przede wszystkim z charakterystycznych dla naszego kraju warunków geograficznych. Energia pozyskiwana ze źródeł odnawialnych w Polsce pochodzi w przeważającym stopniu z biopaliw stałych oraz ciekłych. Rada Europejska ustaliła (Pismo przewodnie EUCO, 2014), że w 2030 roku udział energii ze źródeł odnawialnych w energii zużywanej w UE wynosił będzie co najmniej 27%. Niekwestionowanym liderem w dziedzinie osiągnięć

ekologicznych jest Szwecja. Kraj ten zakłada, że do 2020 roku stanie się pierwszą na świecie gospodarką wolną od ropy naftowej. Emisję gazów cieplarnianych z transportu zamierza natomiast zredukować poprzez wykorzystanie biopaliw, pochodzących z dużych obszarów leśnych (Giddens, 2010).



Rys. 8. Pozyskanie energii ze źródeł odnawialnych w Polsce w 2014 roku (GUS, 2015a)



Rys. 9. Pozyskanie energii ze źródeł odnawialnych w Unii Europejskiej w 2013 roku (GUS, 2015a)

W 2014 roku energia elektryczna wyprodukowana przez odnawialne źródła energii w Niemczech stanowiła 26,2% całkowitej produkcji. Tymczasem, udział odnawialnych źródeł energii w 2050 roku, w odniesieniu do całkowitego zapotrzebowaniu na energię elektryczną, ma wynieść 80%. Zakładane tempo rozwoju odnawialnych źródeł energii w Niemczech ma wspomóc realizację celów Energiewende przyjętych w 2013 roku. Cele te obejmują między innymi: redukcję emisji tlenku węgla(IV) o 40% do 2020 roku w stosunku do poziomu z roku 1990, zamknięcie elektrowni atomowych do 2022 roku oraz zmniejszenie zależności kraju od importu paliw (PKEE, 2015).

Ciekawym przykładem jest Islandia, gdzie 99% elektryczności i prawie całe ogrzewanie dostarczane do budynków jest wytwarzane z energii wodnej i geotermalnej (Giddens, 2010). Zastąpienie ropy naftowej innymi źródłami energii zajęło Islandii 25 lat. Było to możliwe dzięki uruchomieniu funduszu energetycznego, pozwalającego na przyłączenie do sieci nawet oddalonych obszarów.

5.2. Alternatywne metody magazynowania tlenku węgla(IV)

Nową metodą składowania tlenku węgla(IV) jest sekwestracja CO₂ (wychwytywanie, a następnie składowanie tego gazu) pod ziemią. Technologia CCS polegająca na sekwestracji tlenku węgla(IV) opiera się na oddzieleniu go od innych gazów powstających podczas spalania paliw. Odseparowanie tlenku węgla(IV) możliwe jest dzięki zastosowaniu metod, wśród których można wyróżnić: absorpcja fizyczna lub chemiczna, frakcjonowanie kriogeniczne bądź separacja membranową. Wychwycony w ten sposób CO₂ może być składowany w nieeksploatowanych pokładach węgla (Dubiński i in., 2010). W Polsce w ramach projektu badawczego RECOPOL (ang. *REduction of CO₂ storage in coal seams in the Silesian COal Basin in POLand*) zbudowano instalację do zatłaczania tlenku węgla(IV) pod ziemią. Projekt pod kierownictwem prof. Pawła Krzyszolika zakończył się sukcesem. Łącznie pod powierzchnię Ziemi zatłoczono 760 ton CO₂. Geologiczne składowanie tlenku węgla(IV) daje możliwość zneutralizowania ogromnych ilości tego gazu (milionów ton) pochodzących z przemysłowych źródeł emisji.

5.3. Strategia świata w walce z globalnym ociepleniem

Protokół Paryski (Komisja Europejska, 2015) opisuje strategię świata w zapobieganiu zmianom klimatu. Jego celem jest ograniczenie globalnej emisji gazów cieplarnianych, co najmniej o 60% w odniesieniu do poziomu z roku 2010. Zakłada on monitoring postępów raz na pięć lat, umożliwiając uwzględnienie rozwoju technologicznego i naukowego, który przyczyni się do osiągnięcia zamierzonego celu. Strony protokołu zobowiązują się do wymiany doświadczeń oraz strategii z zakresu redukcji emisji gazów cieplarnianych.

Do 2012 roku strategia świata bazowała na postanowieniach protokołu z Kioto (United Nations, 1998), który zakłada, że całkowita emisja gazów cieplarnianych krajów rozwiniętych musi być ograniczona, co najmniej o 5% w latach 2008-2012 w stosunku do poziomu z roku 1990. Nowe państwa członkowskie Unii Europejskiej (które przystąpiły do UE od 2004 roku) zobowiązały się do wspólnej redukcji tych gazów o 8%. W celu osiągnięcia wyżej wymienionych celów protokół zawiera szereg działań takich jak:

- polepszenie efektywności energetycznej,
- rozwój odnawialnych źródeł energii,
- wymiana doświadczeń i informacji z innymi krajami członkowskimi (Komisja Europejska, 2015).
- promowanie zrównoważonych form rolnictwa
- ograniczenie emisji w transporcie (Sowiński i Wołoszyn, 2013)

Protokół z Kioto zainicjował również Mechanizm Czystego Rozwoju (ang. *Clean Development Mechanism, CDM*). CDM umożliwiało pozyskiwanie kredytów przez kraje uprzemysłowione i finansowanie projektów dotyczących czystej energii. Do połowy 2007 roku zaakceptowano około 700 projektów, z czego większość

pochodziła z Chin, Indii, Brazylii i RPA (Giddens, 2010). Dane liczbowe dotyczące maksymalnej dopuszczalnej emisji gazów cieplarnianych przez kraje Europy zostały zestawione w tabeli 1. Największe liczbowe wartości poziomu emisji gazów cieplarnianych przypadły Niemcom, Wielkiej Brytanii, Francji, Polsce oraz Włochom. Są to państwa, które mają największą powierzchnię w Europie (Protokół Kioto).

Z danych Eurostatu wynika, że Polska osiągnęła cel założony przez protokół. Poziom redukcji gazów cieplarnianych wyniósł 31% (wyrażone w ekwiwalencie tlenku węgla(IV)) w stosunku do roku bazowego (1990).

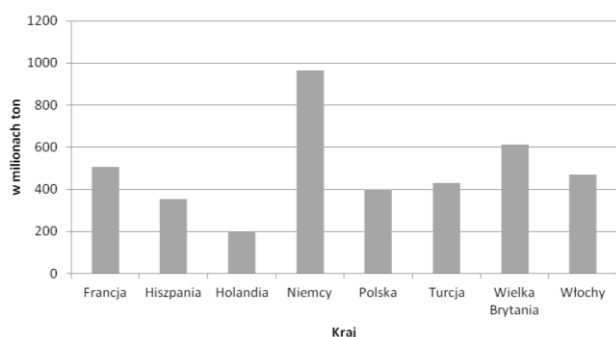
Tab. 1. Maksymalna dopuszczalna emisja gazów cieplarnianych przez kraje Europy (United Nations, 2008)

Państwo	Emisja gazów cieplarnianych [w mln ton]
Austria	343,41
Belgia	679,37
Czechy	902,89
Dania	273,83
Estonia	197,90
Finlandia	355,48
Francja	2819,63
Grecja	694,09
Hiszpania	1663,97
Holandia	1008,57
Irlandia	315,16
Litwa	221,28
Luksemburg	45,68
Łotwa	119,11
Niemcy	4868,52
Polska	2673,50
Portugalia	386,96
Słowacja	337,46
Słowenia	92,93
Szwecja	375,86
Węgry	578,26
Wielka Brytania	3412,08
Włochy	2429,13

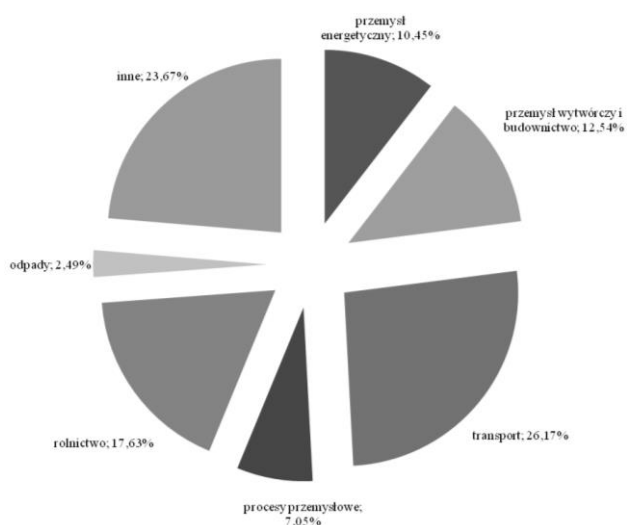
5.4. Strategia Unii Europejskiej: pakiet energetyczno-klimatyczny

Unia Europejska do roku 2013 zmniejszyła emisję gazów cieplarnianych o 19% (w porównaniu z rokiem 1990). Wspólnota europejska jest niezaprzeczalnie światowym liderem w polityce przeciwko globalnemu ociepleniu. W październiku 2014 roku Unia Europejska przedstawiła

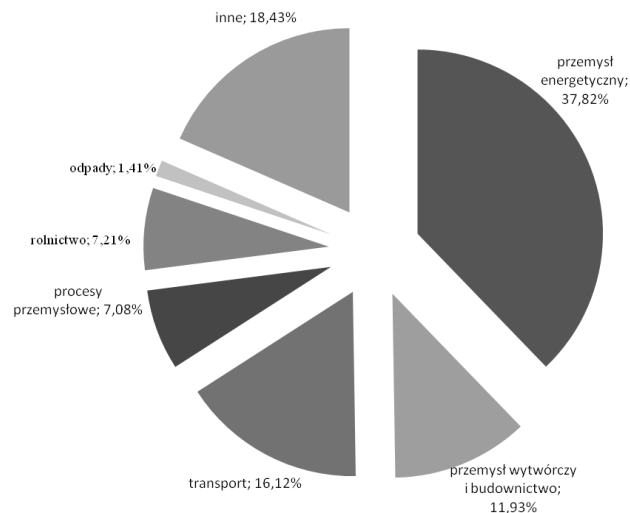
pakiet energetyczno-klimatyczny do 2030 roku. Strategia do 2030 roku zakłada redukcję gazów szklarniowych, co najmniej 40% przez wszystkie sektory gospodarki. Natomiast do 2050 roku redukcja powinna wynosić 80%. W ten sposób Unia Europejska ma stać się najbardziej niskoemisyjną gospodarką na świecie. Plan inwestycyjny Unii zakłada wdrożenie środków umożliwiających modernizację sektorów gospodarki, co będzie skutkowało obniżeniem emisji gazów cieplarnianych. Na wykresie (rys. 10) zostały zestawione kraje Europy, które wyemitowały ponad 200 milionów ton gazów cieplarnianych. Główne źródła powodujące powstawanie gazów cieplarnianych to przemysł energetyczny, budownictwo, transport, procesy przemysłowe, rolnictwo i odpady (Komisja Europejska, 2015). Ich udział w wybranych krajach europejskich (Niemiec, Francji i Polski) został przedstawiony na wykresach (rys. 11-13). Na podstawie analizy powyższych wykresów można wywnioskować, że głównym powodem emisji gazów cieplarnianych jest przemysł energetyczny oraz transport. Zwiększenie pozyskiwania energii z odnawialnych źródeł stanowi szansę na znaczną redukcję emisji gazów cieplarnianych przez przemysł energetyczny.



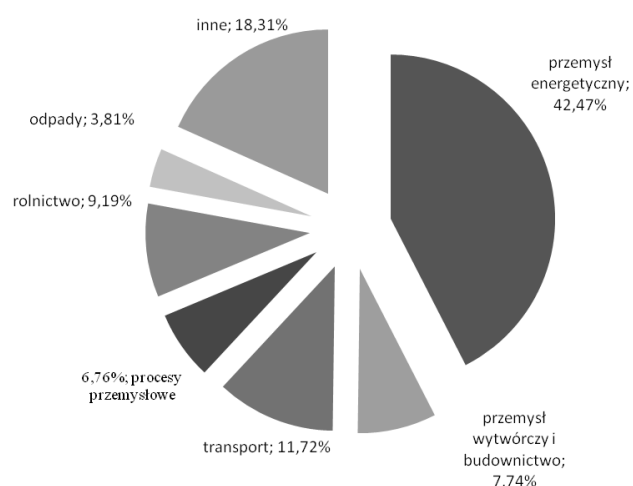
Rys. 10. Emisja gazów cieplarnianych przez kraje europejskie (GUS, 2015d)



Rys. 11. Źródła emisji gazów cieplarnianych we Francji (GUS, 2015d)



Rys. 12. Źródła emisji gazów cieplarnianych w Niemczech (GUS, 2015d)



Rys. 13. Źródła emisji gazów cieplarnianych w Polsce (GUS, 2015d)

Europejski System Handlu Emisjami (EU ETS) jest podstawą polityki Unii Europejskiej na rzecz redukcji gazów cieplarnianych emitowanych przez człowieka. System handlu uprawnieniami do emisji został utworzony na mocy dyrektywy 2003/87/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 13 października 2003 roku. Najważniejsza reforma systemu weszła w życie w 2013 roku. Największą zmianą, jaką wprowadziła, było ustalenie jednego limitu emisji w całej UE (obniżanego co roku o 1,74%) i sukcesywne przejście od bezpłatnego rozdzielania uprawnień do systemu aukcyjnego (Komisja Europejska, 2013). W 2013 roku rozpoczął się trzeci okres Europejskiego Systemu Handlu Emisjami, który będzie realizowany do 2020 roku. EU ETS obejmuje duże instalacje działające w branży energetycznej, metalurgicznej oraz linie lotnicze. System handlu emisjami koncentruje się na tych emisjach, które można zmierzyć i zweryfikować z dużą dokładnością, na przykład emisja tlenku azotu(I), pochodząca z produkcji kwasu azotowego i adypinowego. System EU ETS, działa na zasadzie limit – handel (ang. *cap-and-trade*). Łączna wielkość emisji gazów cieplarnianych, które mogą być emitowane rocznie przez elektrownie,

fabryki i inne przedsiębiorstwa objęte systemem podlega ograniczeniom ustalonym przez Unię Europejską. W ramach tego europejskiego limitu firmy otrzymują lub nabywają uprawnienia do emisji, które mogą odsprzedawać (Komisja Europejska, 2013).

Wprowadzenie handlu emisjami tlenu węgla(IV) w Polsce stanowi realizację postanowień protokołu z Kioto oraz obowiązków wynikających z członkostwa w Unii Europejskiej (Żaba-Nieroda, 2009). W Polsce, rejestr uprawnień do emisji CO₂ jest prowadzony przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBIZE) podlegający Ministrowi Środowiska.

5.5. Strategia Polski

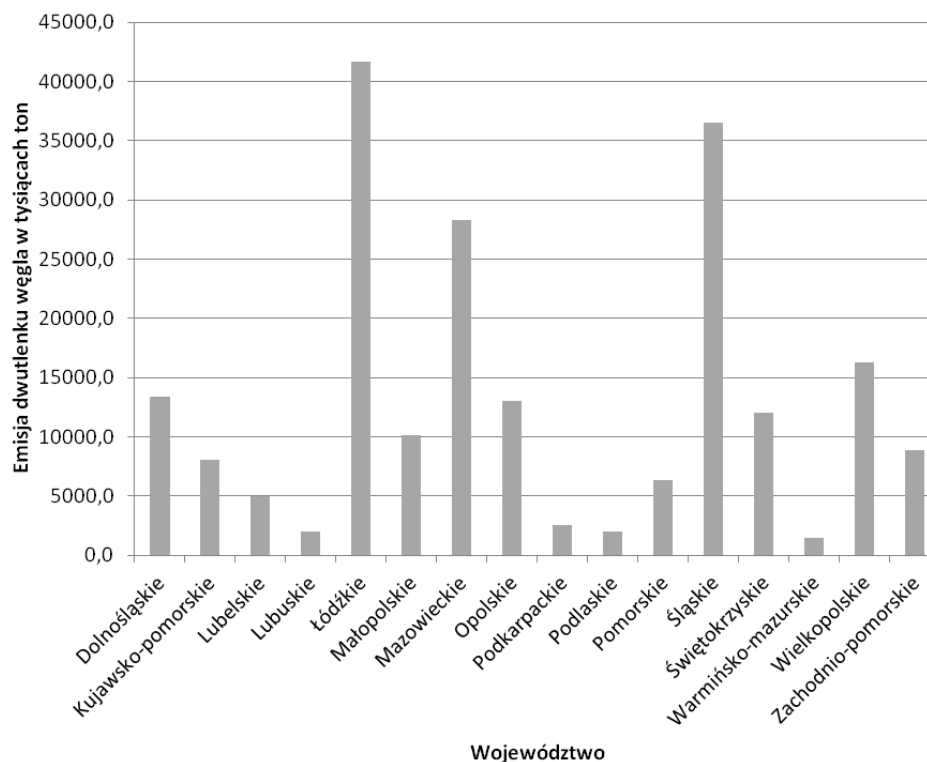
Strategia Polski obejmuje nie tylko redukcję emisji gazów cieplarnianych, ale również adaptację obszarów gospodarki i środowiska do zmiany klimatu. Przykładowymi działaniami adaptacyjnymi z danych zakresów są:

- gospodarka wodna – zakłada ona modernizację istniejących urządzeń wodnych oraz środków zapobiegających powodziom. Głównym celem działań w tym zakresie jest ochrona ludzi przed takimi zjawiskami jak powódź czy susza,
- rolnictwo – wysokie temperatury oraz towarzyszące temu braki opadów deszczu doprowadzać mogą do susz, co skutkować będzie utratą znacznej ilości plonów. Działania adaptacyjne w tym zakresie są bardzo ważne i obejmują między innymi utworzenie systemów nawadniających pola uprawne,
- leśnictwo – jednym z ważniejszych zabiegów adaptacyjnych jest rozwój złożonego systemu ochrony

lasów przed pożarami. Ważne jest również szkolenie nowej kadry naukowej w celu poszerzenia świadomości społeczeństwa z zakresu przekształcania lasów pod kątem adaptacyjnym do zmian klimatu,

- energetyka – głównie polega na zwiększeniu udziału odnawialnych źródeł energii w całkowitym zapotrzebowaniu na energię oraz poprawie efektywności otrzymywania energii ze źródeł odnawialnych jak i nieodnawialnych,
- różnorodność biologiczna – występowanie na danym terenie gatunków roślin i zwierząt jest warunkowane kilkoma czynnikami takimi jak warunki glebowe czy temperatura. Stres temperaturowy w gorących okresach roku może powodować wydłużony okres wegetacyjny, co może prowadzić do wymierania gatunku. Migracja gatunków jest czynnikiem naturalnie występującym w przyrodzie. Istnieją gatunki, które podczas tego procesu zagrażają innym zamieszkującym określony obszar. Przeciwdziałanie temu zjawisku jest bardzo ważne. W tym celu powinno się wdrażać systemy monitoringu środowiska pod kątem różnorodności biologicznej ze szczególnym naciskiem na gatunki stanowiące naturalne wskaźniki (bioindykatory) oraz te, które są bardzo wrażliwe na zmiany klimatu (Nowicki i in., 2012).

Na wykresie (rys. 14) przedstawiono emisje tlenu węgla(IV) przez województwa Polski. Na podstawie analizy wykresu można stwierdzić, że największy udział w emisji CO₂ mają województwa łódzkie i śląskie.



Rys. 14. Emisja tlenu węgla(IV) przez województwa Polski (GUS, 2015d)

5.6. Strategia województwa podlaskiego w przeciwdziałaniu zmianom klimatu

Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Białymstoku (2015) w ramach redukcji emisji zanieczyszczeń powietrza zakłada szereg inwestycji mających na celu:

- budowę i modernizację sieci i węzłów ciepłych,
- większy wkład odnawialnych źródeł energii w całkowite zapotrzebowanie na energię,
- przebudowy kotłowni.

Dzięki pomocy finansowej Funduszu zainstalowano 116 kolektorów słonecznych oraz zmodernizowano sieci ciepłe.

W najbliższym czasie w ramach programu Ochrony Środowiska zakłada się realizację dodatkowych zadań takich jak:

- budowa biogazowni rolniczej w Michałowie,
- instalacja kolektorów solarnych w budynkach mieszkalnych i gmachach użyteczności publicznej w Gminie Krypno,
- przebudowa sieci i węzłów ciepłych w Grajewie,
- termomodernizacja Zespołu Szkół w Łapach.

6. Podsumowanie

Problem globalnego ocieplenia należy do najważniejszych wyzwań współczesnego świata. Świadectwem tego jest przyznana w 2007 roku Al Gore'owi i IPCC Pokojowa Nagroda Nobla za działanie na rzecz ochrony klimatu i przeciwdziałanie globalnemu ociepleniu.

Ocieplenie systemu klimatycznego jest bezdyskusyjne. Średnia temperatura na świecie w latach 2003-2012, w porównaniu do lat 1850-1990 wzrosła o 0,78°C (od 0,72 do 0,85). Na półkuli północnej okres 1983-2012 był prawdopodobnie najcieplejszym 30-leciem podczas ostatnich 1400 lat (IPCC, 2013). W okresie 1901-2010, średni poziom oceanów na świecie wzrósł o 0,19 m (od 0,17 do 0,21), natomiast średnie tempo wzrostu poziomu mórz w latach 1993-2010 wynosiło 3,2 mm (od 2,8 do 3,6) rocznie (IPCC, 2013).

Literatura

- Archer D. (2011). Globalne ocieplenie. Zrozumieć pogodę. *Wydawnictwo Naukowe PWN*, Warszawa.
- Baturo W. (2008). Katastrofy i zagrożenia we współczesnym świecie. *Wydawnictwo Naukowe PWN*, Warszawa.
- Boni M. (2012.). Polska 2030. Trzecia fala nowoczesności. Długookresowa strategia rozwoju kraju. *Ministerstwo Administracji i Cyfryzacji*, Warszawa.
- Carstensen, J., Andersen, J. H., Gustafsson, B. G., Conley D. J. (2014). Deoxygenation of the Baltic Sea during the last century. *Proceedings of the National Academy of Science*, Vol. 111, No. 15, 5628-5633.
- Dobrzański G., Dobrzańska B., Kiełczewski D. (2012). Ochrona środowiska przyrodniczego. *Wydawnictwo Naukowe PWN*, Warszawa.
- Dubiński J., Wachowicz J., Koterka A. (2010). Podziemne składowanie dwutlenku węgla – możliwości wykorzystania technologii CCS w polskich uwarunkowaniach. *Górnictwo i Geologia*, T. 5. *Wydawnictwo Politechniki Śląskiej*, Gliwice.
- Europejska Agencja Środowiska (EEA), (2015). Środowisko Europy 2015 – Stan i prognozy: Synteza. *Europejska Agencja Środowiska*, Kopenhaga
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2015). <http://www.fao.org/home/en/>
- Giddens A. (2010). Klimatyczna katastrofa. *Prószyński i S-ka*, Warszawa.
- GUS (2014). Ochrona środowiska 2014. *GUS*, Warszawa.
- GUS (2015a). Energia ze źródeł odnawialnych w Polsce 2014 roku. *GUS*, Warszawa.
- GUS (2015b). Gospodarka paliwowo-energetyczna w latach 2013 i 2014. *GUS*, Warszawa.
- GUS (2015c). Leśnictwo 2015. *GUS*, Warszawa.
- GUS (2015d). Ochrona środowiska 2015. *GUS*, Warszawa.
- Graczyk D. (2013). Warunki temperaturowe Polski w zmieniającym się klimacie Europy, Rozprawa Doktorska. *Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu*, Poznań.
- IPCC (2007): Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (red.)]. *Cambridge University Press*, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (2013). Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (red.)]. *Cambridge University Press*, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jeleń K., Cała M. (2012). Zarys stanu i perspektyw energetyki polskiej. *Wydawnictwo AGH*, Kraków.
- Karwasz G., Służewski K (2013). Ziemia pod pierzynką, czyli o naturalnym efekcie cieplarnianym. *Foton*, 121/2013, 43-45.
- Kociołek-Balawejder E., Stanisławska E. (2012). Chemia środowiska. *Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu*, Wrocław.
- Komisja Europejska (2013). Unijny system handlu uprawnieniami do emisji.
- Komitet Europejski (2015). COM (2015). Protokół paryski – plan przeciwdziałania zmianie klimatu na świecie po 2020 r.
- Kożuchowski K. (2011). Klimat Polski. Nowe spojrzenie. *Wydawnictwo Naukowe PWN*, Warszawa.
- Kundzewicz Z.W. (2013). Ciepłszy świat. Rzecz o zmianach klimatu. *Wydawnictwo Naukowe PWN*, Warszawa.
- Lewandowski W., Świsłocka R., Bryłka J. (2007). Chemia ogólna z elementami biochemii i biofizyki. *Wydawnictwo Państwowej Wyższej Szkoły Informatyki i Przedsiębiorczości w Łomży*, Łomża.
- Manahan S. E. (2012). Toksykologia Środowiska. *Wydawnictwo Naukowe PWN*, Warszawa.
- Milewski W. (2015). Lasy w Polsce 2014. *Centrum Informacyjne Lasów Państwowych*.
- Ministerstwo Gospodarki (2009). Polityka energetyczna Polski do 2030 roku. *Ministerstwo Gospodarki*, Warszawa.
- Niedziółka D. (2010). Rynek energii w Polsce. *Difin*, Warszawa.
- Nowicki M., Maćkowiak-Pandera J., Dziadkowiec M., Otawski P., Dyjak R., Zawadzka-Stępnik D. (2012). Strategia adaptacji Polski do zmian klimatu. *Europejskie Centrum Klimatu i Środowiska*.

- Oleszczuk R. (2012). Wybrane problemy ochrony mokradel. *Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie*, Olsztyn.
- Pawlaczyk P. (2014). Akumulacja i emisja węgla przez torfowiska, w tym przez torfowiska alkaliczne. *Wydawnictwo Klubu Przyrodników*, Świebodzin.
- Pismo Przewodnie EUCO 169/14 Rady Europejskiej z dnia 24 października 2014 roku. http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/docs/pressdata/PL/ec/145432.pdf
- PKEE (2015). Odnawialne źródła energii w Niemczech 2014.
- Scott P. A., Jones S. G., Mitchell J. (2002). Do Models Underestimate the Solar Contribution to Recent Climate Change. *Journal of Climate*, Vol. 16, 4079-4093.
- Sigl M., Winstrup M., McConnell J.R., Welten K.C., Plunkett G., Ludlow F., Büntgen U., Caffee M., Chellman N., Dahl-Jensen D., Fischer H., Kipfstuhl S., Kostick C., Maselli O.J., Mekhaldi F., Mulvaney R., Muscheler R., Pasteris D.R., Pilcher J.R., Salzer M., Schüpbach S., Steffensen J.P., Vinther B.M., Woodruff T.E. (2015). Timing and climate forcing of volcanic eruptions for the past 2,500 years. *Nature*, Vol. 523, 543-549.
- Sowiński M., Wołoszyn E. (2013). Meteorologia i klimatologia. *Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej*, Poznań.
- Stacharska-Targosz J. (2010). Rynek energii. *Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej*, Kraków.
- Tarkowski R., Uliasz-Misiak B. (2007). Podziemne składowanie – sposób na dwutlenek węgla. *Przegląd Geologiczny*, 8/2007, 3-5.
- United Nations (1998). Kyoto protocol to the United Nations framework convention on climate change. *United Nations*.
- United Nations (2008). Kyoto protocol reference manual on accounting of emissions and assigned amount. *United Nations Framework Convention On Climate Change*.
- VanLoon G., Duffy S. (2007). *Chemia Środowiska*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska (2015), Informacja o stanie środowiska na obszarze województwa podlaskiego w roku 2014.
- Zygmunt T. (2015). XIV Światowy Kongres Leśny. *Z Leśnego Świata*, 9/2015.
- Żaba-Nieroda R. (2009). Innowacyjność przedsiębiorstw a standardy ekologiczne. *Zeszyty Naukowe Małopolskiej Wyższej Szkoły Ekonomicznej w Tarnowie*, 2(13)/2009, 92.

GLOBAL WARMING – CAUSES, EFFECTS AND CLIMATE CHANGE PREVENTION

Abstract: The greenhouse effect has become one of the major problems of the world in recent years. Global warming has a negative effect on the environment. Many species of plants and animal that cannot adapt to climate change could become extinct. It also affect negatively on the economy and infrastructure of states. Numerous conferences relating to climate change are organized, aimed at finding solutions to reduce greenhouse gas emissions. At conferences in Kyoto and Paris protocols were created concerning the limitation of emissions of these gases. Paris Protocol represents a long-term strategy to combat global warming. It assumes the reduction of greenhouse gases by 2050, at least 60% for 2010.

Pracę wykonano w Politechnice Białostockiej w ramach realizacji projektu badawczego S/WBiŚ/1/2012.