Elektrownie jądrowe a globalne ocieplenie. O przyczynach i skutkach globalnego ocieplenia[1)]

Autor: Jerzy Kubowski

("Energetyka" - styczeń 2016)

Jeszcze parę lat temu - wobec niedostatecznych wyników badań - zagrożenie globalnym ociepleniem budziło wśród klimatologów znaczne kontrowersje. Również polscy uczeni wyrażali wątpliwości co do wiarygodności modeli klimatycznych stosowanych do badania zmian termicznych na powierzchni Ziemi, gdyż monitoring parametrów klimatycznych prowadzony jest w zbyt krótkim okresie - 200 lat. Zwracali przy tym uwagę „że stała zmienność jest podstawową cechą klimatu Ziemi w całej jej historii oraz że „nie wszystkie przyczyny zmian klimatu i zjawiska klimatotwórcze zostały w pełni rozpoznane"[2)]. Co więcej, postulowali zachowanie daleko idącej powściągliwości w doszukiwaniu się w owych zjawiskach charakteru antropologicznego, gdyż „prawdziwość takiego twierdzenia nie została udowodniona".

Takie stanowisko było w owym czasie zgodne z poglądami wielu uczonych. W znanej petycji do rządu Stanów Zjednoczonych (The Global Warming Petition Project) ponad 31 000 osób z wyższym wykształceniem, w tym ponad 9 tys. doktorów nauk, apelowało o odrzucenie Protokołu z Kioto. Pisali: „Nie ma przekonujących naukowych dowodów, że działalność człowieka, prowadząca do uwalniania się dwutlenku węgla, metanu czy innych gazów cieplarnianych, jest lub może być w dostrzegalnej przyszłości przyczyną katastrofalnego ocieplenia atmosfery i zaburzenia klimatu na Ziemi."

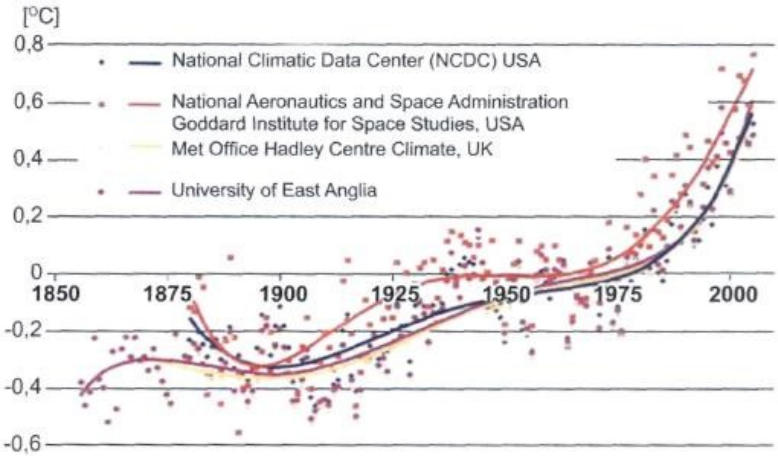
...Poglądy rosyjskich uczonych w tamtym czasie były bardziej jednoznaczne: cechowała je entuzjastyczna afirmacja globalnego ocieplenia. Kierownik laboratorium globalnych problemów energetyki Moskiewskiego Instytutu Energetycznego, Władimir Klimenko, na rosyjsko-niemieckiej konferencji w grudniu 2010 roku oświadczył, że globalne ocieplenie pozwoli Rosji w ciągu najbliższych 40 lat zaoszczędzić na ogrzewaniu (dzięki skróceniu o dwa tygodnie sezonu ogrzewczego), zwiększyć produkcję rolną (dzięki wydłużeniu okresu wegetacji i rozszerzeniu areału upraw roślin) i zaktywizować żeglugę na wodach mórz północnych.[3)]

Teraz większość klimatologów, w tym również rosyjskich, przyznaje, że globalne ocieplenie jest naukowo dowiedzionym faktem. Rosja pierwszy raz na posiedzeniu komisji ONZ ds. klimatu poinformowała we wrześniu 2013 roku, że ma zamiar do 2030 roku zmniejszyć emisję gazów cieplarnianych od 25 do 30% w odniesieniu do 1990 roku.[4)]

Wyniki badań meteorologicznych są alarmujące: pokazują (rys. 1), że w ciągu ostatnich 100 lat średnia temperatura powierzchni Ziemi zwiększyła się o 0,74°C, przy czym rośnie również tempo jej wzrostu.[5)]

Na ile groźna jest obecna sytuacja dowodzi raport Departamentu Obrony Stanów Zjednoczonych opublikowany 13 października 2014 roku.[6)] Pentagon w sposób kategoryczny stwierdza, że zmiany klimatu stanowią bezpośrednie zagrożenie dla bezpieczeństwa państwa, zwiększają ryzyko terroryzmu, chorób infekcyjnych, globalnego głodu i niedostatku żywności. Wskazuje na rosnącą konieczność likwidacji nadzwyczajnych sytuacji, gdyż ekstremalne zjawiska pogodowe stwarzają więcej kryzysów humanitarnych na świecie.

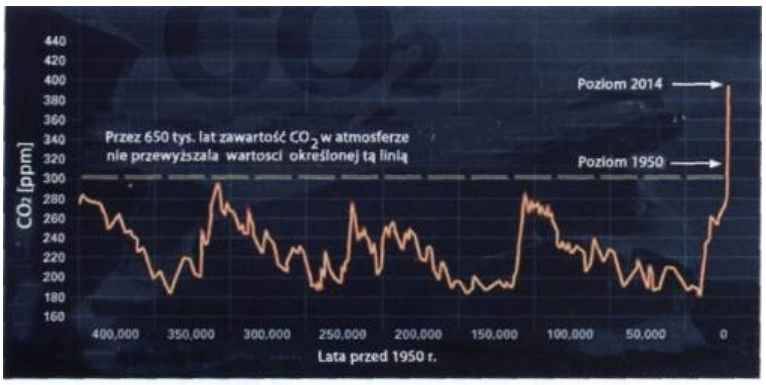
Z tym amerykańskim poglądem koresponduje doktryna klimatyczna Rosji, w której się stwierdza, że przewidywana zmiana klimatu stanowi zagrożenie dla bezpieczeństwa państwa. Podkreśla się przy tym, iż obserwowane szybko narastające zjawisko należy do ważniejszych międzynarodowych problemów XXI wieku.[7)]



Rys. 1. Zmiany globalnej temperatury powierzchni Ziemi w ciągu ostatniego półtora wieku wg danych różnych centrów badawczych. Krzywe aproksymują dane dla lepszego zobrazowania zjawiska. Wszystkie cztery zestawy danych pokazują jednakowy trend globalnego ocieplenia w XX wieku

Według prognoz Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu (lntergovernmental Panel on Climate Change, w skrócie - IPCC), najbardziej autorytatywnej organizacji w dziedzinie klimatologii, pod koniec XXI wieku przyrost temperatury powierzchni Ziemi może przekroczyć 1,5 - 2,0°C, w odniesieniu do lat 1850-1900[8)]. IPCC w swym czwartym sprawozdaniu z badań podała, iż grupa 1300 ekspertów pracujących pod auspicjami ONZ jest jednomyślna co do przyczyny wzrostu temperatury naszej planety: w ponad 90 procentach prawdopodobieństwa odpowiedzialność za taki stan rzeczy ponosi 250-letnia działalność człowieka. Zespół potwierdził ten pogląd - z większym przekonaniem - także w swym piątym sprawozdaniu.

Rozwój naszej industrialnej cywilizacji spowodował, że wciągu ostatnich 150 lat stężenie atmosferycznego dwutlenku węgla zwiększyło się gwałtownie (rys. 2) [9].



Rys. 2. Największa w historii ludzkości koncentracja dwutlenku węgla zaobserwowana za pomocą satelitów przez agencję NASA (National Aeronautics and Space Administration – Narodowa Agencja Aeronautyki i Przestrzeni Kosmicznej)

Wyniki pomiarów poziomu wód w Oceanie Światowym (w szczególności ostatnio otrzymane z satelitów) pokazują, że w ciągu minionego stulecia średni poziom tego oceanu podniósł się o 10-20 cm. Co charakterystyczne, roczny przyrost poziomu wód w okresie ubiegłych 20 lat wynosił 3,2 mm, prawie dwukrotnie więcej niż średnia roczna wartość w poprzednich osiemdziesięciu latach. Dzieje się tak z powodu następujących przyczyn:

- rozszerzania się cieplnego wód oceanu,
- topienia się lodowców i lodów polarnych,
- ubywania lodu na Grenlandii i w zachodniej Antarktyce.

W sytuacji szybkiego podnoszenia się poziomu wód nawet względnie mały przyrost może mieć dewastujący efekt dla mieszkającej na wybrzeżu ludności i ekosystemu. Ostatnie badania wskazują, że pod koniec 2100 roku można się spodziewać wzrostu poziomu wód w oceanach do 0,8-2,0 m, co zagrozi miastom położonym na wschodnim wybrzeżu USA. Bardziej pesymistyczne prognozy, uwzględniające całkowite stopienie się pokrywy lodowej na Grenlandii, przewidują podniesienie się poziomu mórz do 7 m, dostatecznego do zatopienia Londynu.[10]

Na Grenlandii rzeczywiście obserwuje się dziwne i jak się wydaje groźne zjawiska. Oto bowiem, kiedy latem 2014 roku znany badacz lodowca na tej wyspie, dr Jason Box[11], z Duńskiej Służby Geologicznej jak co roku zjawił się tam, by dokonać inspekcji, ujrzał widok zdumiewający: powierzchnia śniegu była zwyczajnie czarna (rys. 3)[12]. A gdy sobie uzmysłowił, że wskutek tego będzie ona pochłaniać więcej niż dotąd ciepła słonecznego, ogarnęło go przerażenie. Po powrocie do Kopenhagi powiedział do redaktora *„Stale":* „Byłem po prostu zszokowany."

Rys. 3. Zdjęcie czarnej powierzchni śniegu na Grenlandii wykonane przez dr. Jasona Boxa latem 2014 r.

Jest kilka koncepcji objaśniających to, co się tam wydarzyło. Najprawdopodobniej przyczyną stało się pewne skumulowanie się coraz rzadziej występujących letnich zamieci, pyłów wzniecanych wiatrem, aktywności bakterii i sadzy z leśnych pożarów. Groźniejsza możliwość wystąpienia tego zjawiska polega na tym, iż mamy do czynienia ze sprzężeniem zwrotnym, wywołanym globalnym ociepleniem. Zapewne w 2014 roku nastąpiła koincydencja owych przyczyn z najczęstszymi pożarami lasów kiedykolwiek zaobserwowanymi na arktycznych obszarach Rosji, Kanady i Alaski.

Rys. 4. Schemat powstawania efektu cieplarnianego[14)]

Mechanizm globalnego ocieplenia jest już dość dobrze zbadany (rys. 4). Warstwa gazu cieplarnianego, na którą składają się przede wszystkim para wodna i - w mniejszym stopniu - dwutlenek węgla (CO_2), metan (CH_4), tlenek azotu (N_2O) oraz gazy przemysłowe (fluorowęglowodory - HFC, perfluorowęglowodory - PFC, sześciofluorek siarki - SF_6) stanowi dla naszej planety swego rodzaju izolację cieplną: pochłania ciepło i zarazem

ogrzewa jej powierzchnię, średnio do 15°C. Zjawisko to nazywa się efektem cieplarnianym.[13)] Obecnie najtrudniejszym problemem związanym z globalnym ociepleniem jest spowolnienie jego wzrostu. Dostępnych jest do tego wiele opcji, jednakże potrzebne są efektywniejsze metody niż obecnie stosowane. Wielu specjalistów uważa, iż budowa nowych elektrowni jądrowych mogłaby w tym dziele być pomocna.

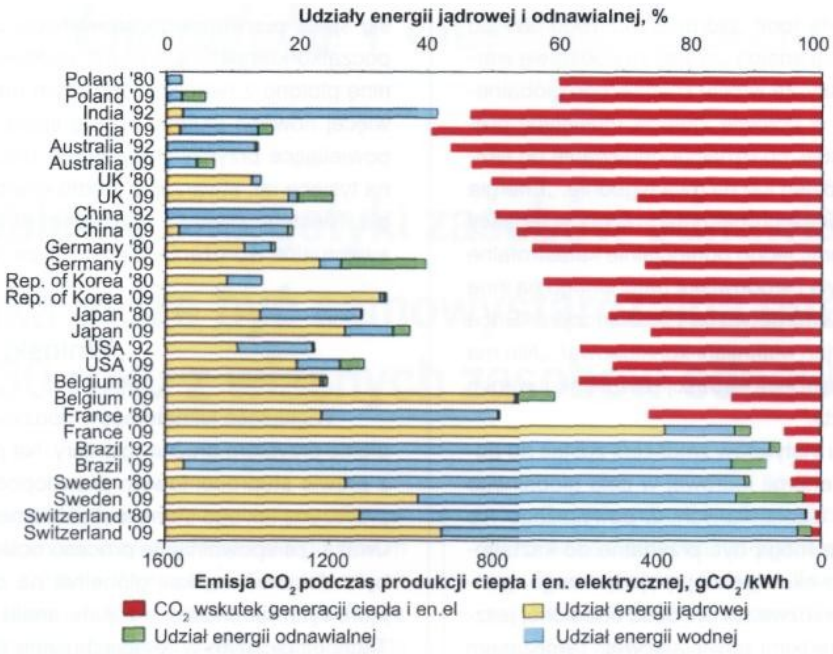
Czy elektrownie jądrowe mogą być remedium na globalne ocieplenie?

Klimatolodzy twierdzą, iż sama energia słoneczna i wiatrowa jest niedostateczna do przeciwdziałania groźnym skutkom zmiany klimatu, i że dla redukcji emitowanych ze spalania gazów potrzebne są elektrownie jądrowe (EJ). Znamienny jest w tej kwestii list otwarty wybitnych naukowych autorytetów[15)] do najważniejszych organizacji ekologicznych, z listopada 2013 roku. Należy do najkategoryczniejszych publicznych oświadczeń popierających budowę EJ. Twierdzą oni, iż bez elektrowni jądrowych skażeń atmosfery gazami ze spalania węgla, ropy i innych materiałów kopalnych nie można będzie opanować. Topnienie lodowych warstw na biegunach planety spowoduje podniesienie się poziomu wody w Oceanie Światowym i zagrozi rejonom przybrzeżnym. Podkreślają przy tym, iż wprawdzie elektrownie te nie są doskonale, ale stosowanie w nich biernych systemów bezpieczeństwa i innych udoskonaleń spowoduje, że staną się bezpieczniejsze. Sądzą, że nowoczesne technologie zmniejszą ryzyko proliferacji broni jądrowej[16)],rozwiążą problem wysokoaktywnych odpadów przez poddanie ich „spalaniu"[17)],a także przez efektywniejsze wykorzystanie paliwa jądrowego. „Nadszedł czas - głosi oświadczenie - by ci, którzy traktują globalne ocieplenie poważnie, zechcieli przyczynić się do rozwoju bezpieczniejszych EJ, w celu stworzenia nowego globalnego systemu wytwarzanie energii".

Elektrownie jądrowe prawie nie produkują gazów cieplarnianych. Dlatego mogłyby odegrać ważną rolę w opanowaniu wzrostu antropogennej ich emisji. Już dzisiaj EJ dostarczają ok. 12% światowej produkcji energii elektrycznej, a w Europie Zachodniej ich udział w 2013 r. osiągnął poziom 27%. Jednakże mimo tak istotnego znaczenia, przyszłość EJ - jak zaznacza raport Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA)[18)] - pozostaje niepewna. Pod względem komercyjnym są nadal mniej atrakcyjne niż elektrownie oparte na spalaniu paliw kopalnych. Przyczyniają się do tego wysokie koszty inwestycji i duże trudności z uzyskaniem kredytów, długi okres budowy oraz ograniczone poparcie społeczne wywołane rozległymi skutkami katastrof w Czarnobylu i Fokuszimie. Ponadto energetyka jądrowa dotąd nie uporała się do końca z problemem przechowywania wypalonego paliwa. Katastrofa w Fokuszimie spowodowała, iż rosnący trend rozwoju EJ zarysowany w okresie do 2010 r. został zahamowany: przewiduje się, że moc elektryczna EJ w 2020 r. wzrośnie z obecnego poziomu 307 GW (434 reaktorów) do 407-503 GW, z uwzględnieniem likwidacji starych jednostek. Wprawdzie nadal zakłada się wzrost mocy instalowanej do 2030 r., ale o 2,8% mniejszy niż pierwotnie planowano w 2012 r.

Na rysunku 5 pokazano aktualny stan emisji CO_2 i udziały źródeł produkcji energii nie opartych na spalaniu paliw kopalnych w wybranych państwach. Państwa o najniższych

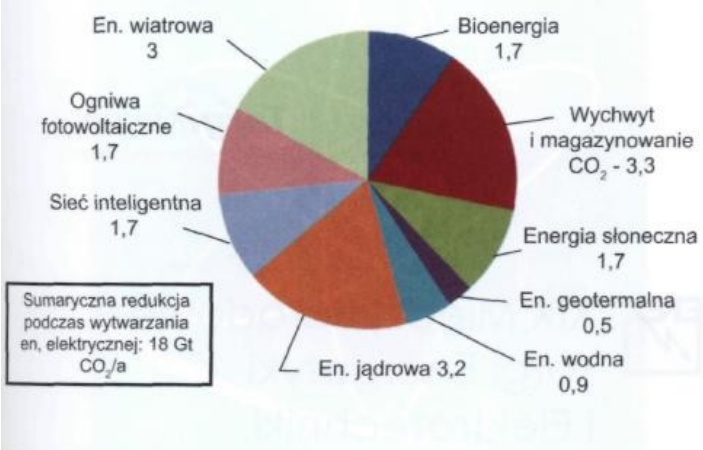
wartościach uwolnień (mniejszych od 100 g CO_2/kWh wytwarzają ok. 80% swojej energii w elektrowniach wodnych (Brazylia), jądrowych (Francja) lub w kombinacji tych dwóch rodzajów elektrowni (Szwajcaria i Szwecja). Porównując dane z 1980 r. i 2009 r. można zauważyć, że zwiększający się udział EJ w systemie elektroenergetycznym (mix) o różnych typach elektrowni przyczynia się do redukcji CO_2, jak na przykład w Belgii, Pd. Korei czy w Wielkiej Brytanii.



Rys. 5. Ilości dwutlenku węgla uwalnianego podczas produkcji energii elektrycznej i udziały w niej różnych źródeł, jakie nie są oparte na spalaniu paliw kopalnych, dla wybranych państw (2013 r.). Skala górna odnosi się do procentowych udziałów źródeł w produkcji energii elektrycznej w latach 1980 i 2009, natomiast skala dolna (od prawej do lewej) odnosi się do ilości CO_2 w gCO_2/kWh, uwalnianej w tych samych latach (© copyright by IAEA, za uprzejmym pozwoleniem MAEA[19])

Z prognozy MAEA (rys. 6) udziałów różnych sposobów spowolniania procesu globalnego ocieplania się Ziemi w ogólnej liczbie wszystkich zaproponowanych metod (stanowiącej 100%) -do 2050 roku - wynika, że źródła odnawialne przyczyniają się w największym stopniu do ograniczenia emisji CO_2: 35%. Również znaczący jest udział EJ, sięgający 19%.

Najważniejszym praktycznym zagadnieniem jest odpowiedź na pytanie: jaka liczba EJ jest potrzebna, by poważnie zahamować uwalnianie się CO_2 z przyszłych elektrowni pracujących na paliwie kopalnym? Aby odpowiedzieć na to pytanie zostały opracowane dwa scenariusze dalszego rozwoju energii jądrowej. W obu założono, że tempo rocznego przyrostu globalnej produkcji energii elektrycznej będzie wynosić 2,1%.



Rys. 6. Przewidywany udział różnych metod wytwarzania energii elektrycznej w redukcji emisji CO_2, w odniesieniu do produkcji energii w 2050 r.; różnica między sumą poszczególnych udziałów a ogólną sumą jest skutkiem zaokrąglania wartości (© copyright by IAEA, za uprzejmym pozwoleniem MAEA[20])

Uczeni z Instytut Technologicznego w Massachusetts (MIT-Massachusetts Institute of Technology)[21] w swojej analizie przyjęli, iż w 2050 r. globalna moc instalowana EJ wyniesie 1000 GW, co pozwoli uniknąć emisji 1,8 Tt CO_2, czyli ok. 25% przyrostu tego gazu w warunkach bez EJ. Ponadto założyli, iż do tego czasu zostaną wycofane z eksploatacji wszystkie działające obecnie reaktory jądrowe. Tempo wzrostu mocy w tych warunkach musiałoby być prawie trzykrotnie wyższe od dzisiejszego. Wobec tego od 2010 r. do 2050 r. trzeba by było co 15 dni oddawać do eksploatacji jeden blok EJ.

Drugi scenariusz opracowała grupa uczonych pod kierownictwem dr. Brice's Smith's[22] z Instytutu Energii i Ekologii (Institute for Energy and Environmental Research; IEER). Wykorzystując dane MIT na temat tempa wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną obliczyli liczbę bloków EJ. Aby nie zmniejszać, a po prostu utrzymać emisje CO na poziomie 2000 r., nawet jeśliby uwzględnić plany wytwarzania energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych, potrzebna by była moc „jądrowa" od 1900 GW do 3300 GW. W celu uproszczenia analizy przyjęli za podstawę wartość 2500 GW. Wyniki pokazały, że w celu znaczącego globalnego zmniejszenia emisji CO_2, w połowie stulecia musiałyby pracować od 1000 do 2500 bloków, co oznacza oddawanie do eksploatacji jednego bloku na tydzień lub na dwa tygodnie. „Energia jądrowa to niebezpieczna i wielce problematyczna opcja redukcji gazów cieplarnianych. Zamienić jedno potencjalnie katastrofalne niebezpieczeństwo dla zdrowia i środowiska naturalnego na inne - nie jest sensowną polityką energetyczną", oświadczył dr Brice Smith. A dyrektor IEER, dr Arjun Makhijani konkludował: „Nie ma żadnego niedostatku w sposobach redukcji dwutlenku węgla: podstawową sprawą są koszty."

W rezultacie uczeni obu instytutów zmuszeni zostali do porzucenia idei wykorzystania energii jądrowej w celu globalnego zredukowania emisji gazów cieplarnianych. Z powyższego nie wynika oczywiście, że EJ nie mogą być przydatne do kształtowania polityki energetyczno-ekologicznej pojedynczego państwa. W swoich analizach nie rozważali oni dość oddalonej jeszcze opcji EJ z reaktorami prędkimi powielającymi. Tymczasem udział

tego typu reaktorów w produkcji energii elektrycznej mógłby mieć wielki wpływ na proces redukcji emisji gazów cieplarnianych. Podstawowa przewaga tych reaktorów nad reaktorami typu PWR (Pressurized Water Reactor - reaktor wodny ciśnieniowy) szeroko obecnie stosowanymi polega na tym, że pozwoliłyby uzyskać 60-krotnie więcej energii z jednostki masy uranu. Osobliwością reaktora prędkiego powielającego jest jego zdolność - w nieporównywalnie większym stopniu niż w reaktorze PWR - do zamiany nierozszczepialnego uranu U-238 w rozszczepialny pluton Pu-239. Przy tym proces powstawania plutonu jest o wiele szybszy niż w reaktorze PWR. W rezultacie w czasie pracy reaktora nagromadza się w przybliżeniu tyle plutonu, ile się spala pierwotnie załadowanego uranu U-235. Jeśli zaś na początku kampanii paliwowej reaktora umieścić w nim mieszaninę plutonu z nierozszczepialnym uranem U-238, to uzyskamy więcej nowego plutonu niż się spala w trakcie pracy. Reaktory powielające przyczyniłyby się do oszczędzania zapasów uranu na tysięce lat, stwarzając źródło energii o niskiej zawartości węgla. Niestety, znajdują się dopiero w fazie doświadczalnej, a ich ewentualne wdrożenie w energetyce nie jest pewne.

Wnioski

Większość klimatologów podziela pogląd, iż globalne ocieplenie przybiera groźne rozmiary. Na podstawie wyników badań, z prawie stuprocentowym prawdopodobieństwem, twierdzą, że przyczyną takiego stanu jest działalność człowieka. Wielu z nich uważa, że spowolnienie procesu ocieplania się Ziemi można by było dokonać w skali globalnej na drodze budowy elektrowni jądrowych. Jednakże rezultaty analiz wykonanych w Instytucie Technologicznym w Massachusetts (MIT) i w Instytucie Energii i Ekologii (IEER) pokazują, iż koncepcja taka z powodu wielkich kosztów, długiego cyklu realizacji i groźby wystąpienia awarii jądrowych, jest nierealna. Klimatolodzy pokładają większą nadzieję w rozwoju energii odnawialnej. Wysuwany jest również postulat zupełnie skrajnego postępowania: zmienić nasz sposób gospodarowania energią i zużywać jej tylko tyle, ile jesteśmy w stanie wytworzyć w sposób ekologicznie nieszkodliwy; zapotrzebowanie powinno nadążać za produkcją, a nie na odwrót. Gdybyśmy postępowali w taki sposób - rozważania o energii jądrowej stałyby się bezprzedmiotowe.

Przypisy:

[1)] W artykule zawarto wiele poglądów dotyczących kontrowersyjnej ciągle teorii globalnego ocieplenia. Znane są nadal poglądy wielu klimatologów, według których zbliża się kolejne oziębienie klimatu Ziemi. Podobnie kwestionowana jest bezpośrednia odpowiedzialność działalności człowieka na tzw. globalne ocieplenie *(Redakcja).*

[2)] „Stanowisko Komitetu Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk w sprawie zagrożenia globalnym ociepleniem."
http://www.planetaziemia.pan.pl/GRAF_aktual-2009/11_Stanowisko_KNG.pdf

[3] „Плюсы глобального потепления перевешивают минусы", http://barentsobserver.com/ru/sections/nature/plyusy-globalnogo-potepleniya-pereveshivayut-minusy

[4] „Снижение выбросов как ответ на санкции", http://www.kommersant.ru/doc/2577921

[5] http://galspace.spb.ru/index97.html

[6] "Pentagon Signals Security Risks of Climate Change", http://www.nytimes.com/2014/10/14/us/pentagon-says-global-warming-presents-immediate-security-threat.html; "Climate change threatens national security, Pentagon says", http://www.washingtonpost.com/news/checkpoint/wp/2014/10/13/climate-change-threatens-national-security-pentagon-says

[7] „Климатическая доктрина Российской Федерации", www.climaty.ru

[8] W zależności od scenariusza zmian koncentracji CO_2, http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1 AR5_SPM_FINAL.pdf

[9] „Graphic: Measuring carbon dioxide from space", http://climate.nasa.gov/climate_resources/99

[10] „Sea Level Rise"; http://ocean.nationalgeographic.com/ocean/critical-issu-es-sea-level-rise/

[11] Dr Jason Box, glacjolog i klimatolog, Duńska Służba Geologiczna; znany badacz Grenlandii, od 1994 r. uczestniczył w ponad 20 naukowych wyprawach na tę wyspę. Jest kierownikiem sekcji d/s. Grenlandii przy NOAA (National Oceanie and Atmospheric Administration - amerykańska Narodowa Administracja d/s. Oceanów i Atmosfery

[12] Erie Holthaus: Stale Exclusive: "Why Greenland's Dark Snów Should Worry You", http://www.slate.com/blogs/future_tense/2014/09/16/jason_box_s_re-searchjnto_greenland_s_dark_snow_raises_more_concerns_about.html

[13] Krótkofalowe promieniowanie słoneczne nagrzewa powierzchnię Ziemi, a emitowane z niej promieniowanie długofalowe o długości fali 5-30 urn powraca w Kosmos. Przenikając przez atmosferę zostaje częściowo pochłonięte przez istniejące w niej parę wodną i dwutlenek węgla. Nagrzana w ten sposób atmosfera wypromieniowuje powstałe ciepło w kierunku powierzchni Ziemi.

[14] „A blanket around the Earth", http://climate.nasa.gov/causes

[15] „Clmate Scientists Endorse Nuclear Energy As Way To Reduce Greenho-use Emissions"; autorami są: James Hansen, fizyk i klimatolog, Columbia University Earth Institute; Ken Caldeira, specjalista w dziedzinie nauki o atmosferze, Carnegie Institution for Science's Department of Global Ecology; Kerry Emanuel, profesor, specjalista w dziedzinie nauki o atmosferze, Massachusetts Institute of Technology (MIT); Tom Wigley, członek organizacji American Association for the Advancement of Science (AAAS). http://www.redorbit.eom/news/science/1112992789/global-warming-nuclear-power-urged-by-experts-110413/#YEyqQghpyy7Qs8oh.99

[16] Chodzi o tworzący się w trakcie eksploatacji EJ pluton, który mógłby posłużyć do wyrobu bomb. Trzeba zauważyć, iż do wyekstrahowania tego pierwiastka z paliwa wypalonego, w celach militarnych, potrzebne są specjalne zakłady przerobu odpadów jądrowych. W istniejących dzisiaj zakładach nagromadziło się już ok 2701 odseparowanego plutonu (http://web.mit.edu/ nuclearpower/pdf/nuclearpower-update2009.pdf).

[17] Metoda polega na użyciu radioaktywnych odpadów jako paliwa w następnej generacji reaktorów jądrowych - tzw. prędkich, w których następuje redukcja ilości tych odpadów i drastycznie skraca się czas ich życia.

[18]

http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub_Climate-Change--NP-2013_web.pdf

[19] CLIMATE CHANGE AND NUCLEAR POWER 2013, IAEA International Atomie Energy Agency; http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub_Climate-Change--NP-2013_web.pdf

[20] ibidem.

[21] The Future of Nuclear Power; AN INTERDISCIPLINARY MIT STUDY; 2003, http://web.mit.edu/nuclearpower/pdf/nuclearpower-full.pdf

[22] Dr Brice Smith jest starszym pracownikiem naukowym IBER i autorem książki: „Insurmountable Risk. The danger of Using Nuclear Power to Combat Global Climate Change", http://ieer.org/wp/wp-content/uploads/downloads/reports/lnsurrnountable-Risks_2006.pdf