

Spis treści

1. WPROWADZENIE	15
1.1. KLIMATYCZNE KONTROWERSJE I METODA NAUKOWA	16
<i>Stanowisko nauki na temat obecnej zmiany klimatu i jej przyczyn. Metoda naukowa, literatura recenzowana i wiarygodność informacji.</i>	
1.2. KLIMAT WCZORAJ I DZIŚ	22
<i>Wprowadzenie: zmiany klimatu w przeszłości i obecna zmiana na ich tle - zmiany temperatury, stężeń gazów cieplarnianych.</i>	
2. MASZYNA KLIMATYCZNA	37
2.1. BILANS ENERGETYCZNY	38
<i>Pojęcie bilansu energetycznego i konsekwencji zaburzenia równowagi energetycznej.</i>	
2.2. PROMIENIOWANIE	43
<i>Przekaz energii przez promieniowanie. Ciało doskonale czarne, prawa Plancka, Stefana-Boltzmanna i Wiena. Własności absorpcyjno-emisyjne różnych rodzajów powierzchni, ciało doskonale szare. Cechy charakterystyczne promieniowania słonecznego i promieniowania termicznego Ziemi.</i>	
2.3. ALBEDO	51
<i>Zdolność odbijania promieniowania przez ciało oraz jej znaczenie dla bilansu energetycznego planety.</i>	
2.4. TEMPERATURA EMISyjNA PLANETY	55
<i>Równowaga energetyczna planety i określanie temperatury planety na podstawie obserwacji jej promieniowania.</i>	
2.5. EFEKT CIEPLARNIANY - MODEL SZYBY	57
<i>Rozróżnienie temperatury emisyjnej i temperatury powierzchni Ziemi, efekt cieplarniany. Proste oszacowanie efektu cieplarnianego na podstawie tzw. modelu szyby.</i>	
2.6. TERMICZNA STRUKTURA ATMOSFERY	61
<i>Struktura atmosfery ziemskiej i sposoby transportu energii w atmosferze. Zmiany temperatury wraz z wysokością. Rola pary wodnej.</i>	
2.7. ZMIANY STRUMIENIA PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO	69
<i>Zmiany strumienia docierającego do Ziemi promieniowania słonecznego: ich przyczyny, wielkość i skale czasowe. Pojęcie wymuszenia radiacyjnego.</i>	
2.8. GAZY CIEPLARNIANE I ICH CECHY	75
<i>Gazy cieplarniane - przegląd, mechanizm działania, występowanie w atmosferze.</i>	

2.9. WPŁYW GAZÓW CIEPLARNIANYCH NA WIDMO PROMIENIOWANIA ZIEMSKIEGO	78
<i>Wpływ gazów cieplarnianych na widmo promieniowania termicznego planety, jej bilans radiacyjny i temperaturę powierzchni.</i>	
2.10. ZMIANY KONCENTRACJI GAZÓW CIEPLARNIANYCH A TRANSPORT ENERGII	83
<i>Wpływ zmian koncentracji gazów cieplarnianych w atmosferze na widmo promieniowania długofalowego opuszczającego planetę i jej bilans radiacyjny. Ocieplanie troposfery i ochładzanie wyższych warstw atmosfery przy wzroście stężeń gazów cieplarnianych.</i>	
2.11. CHMURY	92
<i>Rola chmur w kształtowaniu albedo planety i efekcie cieplarnianym. Wpływ promieniowania kosmicznego na zachmurzenie.</i>	
2.12. AEROZOL	99
<i>Znaczenie aerozolu atmosferycznego w bilansie energii. Bezpośredni i pośredni efekt aerozolowy. Aerozole wulkaniczne.</i>	
2.13. BILANS ENERGETYCZNY ZIEMI	103
<i>Regionalny bilans energii, transport energii z rejonów międzyzwrotnikowych do polarnych.</i>	
2.14. GLOBALNA CYRKULACJA ATMOSFERYCZNA I STREFY KLIMATYCZNE	107
<i>Komórki cyrkulacji atmosferycznej: równikowa (Hadleya), polarna i strefy szerokości umiarkowanych (Ferrela). Prądy strumieniowe na granicach komórek. Lokalne efekty klimatyczne związane z rozmieszczeniem oceanów i lądów oraz rzeźbą terenu.</i>	
2.15. OCEANY	121
<i>Rola oceanów w kształtowaniu klimatu. Cyrkulacja termohalinowa: podstawy działania, wpływ na klimat, konsekwencje zmian cyrkulacji dla klimatu. Krótkoterminowe oscylacje oceaniczne El Niño-La Niña, PDO, AMO.</i>	
2.16. SZYBKIE CYKLE WĘGLOWE	132
<i>Rezerwuary i przepływy węgla w środowisku: atmosfera, oceany, biosfera, gleba, wieczna zmarzlina i hydraty metanu. Dwutlenek węgla i metan w szybkim cyklu węglowym.</i>	
2.17. SPRZĘŻENIA W SYSTEMIE KLIMATYCZNYM ZIEMI	149
<i>Sprzężenia dodatnie i ujemne w ziemskim systemie klimatycznym: zmiany rozmiaru czap polarnych, zmiany zachmurzenia i działanie pary wodnej. Sprzężenia w szybkim cyklu węglowym w oceanach i na lądach.</i>	
2.18. WOLNY CYKL WĘGLOWY I TERMOSTAT WĘGLOWY	166
<i>Wolny cykl węglowy: wulkany, wietrzenie skał, formowanie osadów węglanów. Działanie termostatu węglowego i jego rola w stabilizowaniu klimatu Ziemi.</i>	
2.19. IMPULS WĘGLOWY	172
<i>Los szybko wyemitowanej do atmosfery dużej porcji dwutlenku węgla. Wpływ na klimat, rozprzestrzenianie się po innych rezerwuarach węgla, procesy stopniowo usuwające nadwyżkę dwutlenku węgla z szybkiego</i>	

cyklu węglowego.	
2.20. CZUŁOŚĆ KLIMATU	180
<i>Pojęcie czułości klimatu w różnych skalach czasowych. Rola sprzężeń zwrotnych. Metody określania czułości klimatu: modele komputerowe, badania paleoklimatyczne, pomiary instrumentalne. Podsumowanie.</i>	
2.21. CZUŁE PUNKTY SYSTEMU KLIMATYCZNEGO	187
<i>Lodowce, lądolody, rafy koralowe, cyklony - podstawy funkcjonowania i wpływ zmiany klimatu.</i>	
2.22. PODSUMOWANIE	198
3. ZMIANY KLIMATU W HISTORII ZIEMI	99
3.1. EPOKI LODOWE	200
<i>Cykle epok lodowych i ich mechanizm. Rola wymuszeń orbitalnych i sprzężeń w ziemskim systemie klimatycznym. Holocen. Zmiany poziomu morza podczas maksimum epok lodowych i interglacjałów.</i>	
3.2. DALEJ WSTECZ W CZASIE	213
<i>Zmiany klimatu w kenozoiku. Rola termostatu węglowego i innych czynników.</i>	
3.3. PALEO-EOCEŃSKIE MAKSYMUM TERMICZNE (PETM)	218
<i>Epizod hipertermiczny sprzed 56 milionów lat. Przebieg, przyczyny, następstwa i niepewności.</i>	
3.4. WIELKIE WYMIERANIA	221
<i>Okresy wielkich wymierań w historii Ziemi - obserwacje, przyczyny, przebieg, konsekwencje. Rola wulkanów i ich emisji.</i>	
3.5. ZIEMIA-ŚNIEŻKA	226
<i>Wejście Ziemi w stan (prawie?) całkowitego pokrycia lodem. Procesy prowadzące do wejścia i wyjścia z tego stanu.</i>	
3.6. PODSUMOWANIE	228
4. OBECNA ZMIANA KLIMATU	229
4.1. ŚWIAT PALIW KOPALNYCH	230
<i>Emisje dwutlenku węgla w epoce przemysłowej: spalanie paliw kopalnych, wyłesianie, produkcja cementu. Światowe źródła energii, rola ropy, węgla i gazu. Emisje dwutlenku węgla a zużycie energii i PKB. Globalne i regionalnie zmiany emisji.</i>	
4.2. ZABURZONY CYKL WĘGLOWY	242
<i>Znaczenie antropogenicznych emisji dwutlenku węgla dla cyklu węglowego. Zmiany w cyklu węglowym: atmosfera, oceany, ekosystemy lądowe.</i>	
4.3. INNE GAZY CIEPLARNIANE	253
<i>Obserwowane zmiany koncentracji metanu, tlenków azotu i gazów przemysłowych. Równoważnik emisji dwutlenku węgla. Zestawienie wpływu antropogenicznych źródeł emisji i gazów cieplarnianych na zmianę klimatu.</i>	
4.4. ZMIANA BILANSU RADIACYJNEGO ZIEMI	258

<i>Wpływ antropogenicznych emisji gazów cieplarnianych, aerozoli (efekt bezpośredni i pośredni), zmian użytkowania terenu i innych czynników na bilans radiacyjny planety w zestawieniu z czynnikami naturalnymi. Obserwacje zmian widma i strumienia promieniowania długofalowego.</i>	
4.5. BILANS ENERGETYCZNY ZIEMI: GDZIE PRZEMBAWA ENERGII?	266
<i>Zmiany energii skumulowanej w ziemskim systemie klimatycznym: atmosfera, oceany, lądy, lodowce, pomiary in-situ i satelitarne. Bilans i nierównowaga radiacyjna.</i>	
4.6. FLUKTUACJE WZROSTU TEMPERATURY	270
<i>Wpływ czynników szybkozmiennych na zmiany średniej temperatury globalnej: aktywność słoneczna, oscylacje oceaniczne, wulkany. Zestawienie czynników naturalnych i antropogenicznych.</i>	
4.7. OBSERWACJE I NIEKTÓRE KONSEKWENCJE ZMIANY KLIMATU	273
<i>„Globalne ocieplenie” a „Zmiana klimatu”. Wzrost temperatury i przesuwanie się stref klimatycznych, zmiany w Arktyce, lód morski wokół Antarktydy, topnienie lodowców i lądolodów, wzrost poziomu morza, zakwaszanie się oceanów, zmiany w występowaniu huraganów, spadek temperatury górnych warstw atmosfery, koszty gospodarcze.</i>	
4.8. KLIMATYCZNE KONTROWERSJE	310
<i>W jakim stopniu antropogeniczne emisje gazów cieplarnianych, a w szczególności dwutlenku węgla ze spalania paliw kopalnych, są przyczyną obecnej zmiany klimatu. Przegląd dowodów i weryfikacja wcześniejszych prognoz klimatologów.</i>	
4.9. PODSUMOWANIE	322
5. PROGNOZA NA PRZYSZŁOŚĆ	323
5.1. ODPOWIEDŹ KLIMATU NA EMISJE GAZÓW CIEPLARNIANYCH	324
<i>Oszacowanie ocieplenia wynikającego z wprowadzenia do szybkiego cyklu węglowego określonej ilości dwutlenku węgla. Kluczowe znaczenie emisji skumulowanej.</i>	
5.2. POTENCJALNA PULA EMISJI	328
<i>Ilość możliwych do wydobycia i spalania paliw kopalnych: rezerwy i zasoby.</i>	
5.3. SCENARIUSZE EMISJI I ZMIANY KLIMATU	533
<i>Scenariusze emisji i zmiany klimatu - dwutlenek węgla i inne gazy cieplarniane. Budżet węglowy i jego rozmiar dla różnych scenariuszy.</i>	
5.4. ZMIANY W CYKLU WĘGLOWYM	339
<i>Sprzężenia cyklu węglowego w obliczu ocieplenia klimatu: tajanie wieloletniej zmarzliny, efekt nawożenia roślin dwutlenkiem węgla, lasy tropikalne, hydraty metanu.</i>	
5.5. SKUTKI OCIEPLANIA SIĘ KLIMATU	345
<i>Prognozowane skutki ocieplania klimatu: przesuwanie się stref klimatycznych, zmiany temperatury i opadów, wzrost poziomu morza, wpływ na bezpieczeństwo żywnościowe, wymieranie gatunków i inne. Punkty krytyczne systemu klimatycznego. Konsekwencje dla Polski.</i>	

<i>Perspektywy na nową epokę lodową.</i>	
5.6. CZARNY SCENARIUSZ	363
<i>Czego możemy się spodziewać, kontynuując rozwój oparty na paliwach kopalnych: wpływ wysokich stężeń dwutlenku węgla na inteligencję, groźne dla życia temperatury, migracje i inne. Scenariusz wysokich emisji w kontekście dawnych zmian klimatu i wielkich wymierań. Scenariusz Wenus?</i>	
5.7. GEOINŻYNIERIA	377
<i>Inżynieria klimatu w skali planetarnej. Technologie usuwania węgla z szybkiego cyklu węglowego: wychwyt i magazynowanie dwutlenku węgla, zalesianie, bioenergia z wychwytem dwutlenku węgla, biowęgiel, przyspieszenie oceanicznej pompy biologicznej, sztuczne drzewa, sztuczny termostat węglowy. Technologie zmniejszania strumienia energii słonecznej: przesłony w kosmosie, rozpylanie aerozoli w stratosferze, wybielanie chmur, zwiększenie albedo powierzchni Ziemi.</i>	
5.8. PRÓG 2°C	389
<i>Pochodzenie progu „niebezpiecznej zmiany klimatu”. Przelóżenie progu 2°C na dostępny budżet węglowy. Ujemne emisje. Niezbędne zmiany w emisjach z energetyki i przemysłu oraz rolnictwa. Kwestia podziału budżetu węglowego.</i>	
5.9. Z POLSKIEJ PERSPEKTYWY	400
<i>Polskie trendy emisji gazów cieplarnianych. Dotychczasowe redukcje. Kwestia polskich złóż węgla.</i>	
5.10. DROGA DO PRZYSZŁOŚCI	406
<i>Efektywność energetyczna i czyste źródła energii. Stosowanie zasady „zanieczyszczający płaci”. Wnioski końcowe.</i>	
6. MATERIAŁY DODATKOWE	417
6.1. HISTORIA BADAŃ KLIMATU	417
<i>Badania klimatu od XVIII wieku do współczesności - ciągłość badań naukowych.</i>	
6.2. BADANIE KLIMATU - TERAŹNIEJSZOŚĆ I NIEDAWNA PRZESZŁOŚĆ	429
<i>Metody badania klimatu: pomiary temperatury na lądach i homogenizacja danych, pomiary temperatury na oceanach i w ich głębinach, pomiary satelitarne, inne współczesne narzędzia i metody pomiarowe.</i>	
6.3. BADANIE KLIMATU - PALEOKLIMAT	449
<i>Metody badania dawnego klimatu: zapisy historyczne, zasięg lodowców, słoje drzew, izotopy, rdzenie lodowe, niebieski lód, resztki nieorganiczne w osadach oceanicznych, odwierty głębinowe, nacieki jaskiniowe, aparaty szparkowe, pyłki oraz pozostałości roślinne i zwierzęce na lądach, resztki organiczne w osadach oceanicznych, koralowce, paleozole i inne.</i>	
6.4. ŹRÓDŁA KONTROWERSJI W KWESTII ZMIANY KLIMATU	470
<i>Zmiana klimatu jako wyzwanie społeczne, psychologiczne i gospodarcze. Przemysł sfabrykowanych wątpliwości. Tragedia wspólnego pastwiska. Psychologia zmiany klimatu. Dyskontowanie przyszłości.</i>	

6.5. MITY KLIMATYCZNE - INSTRUKCJA OBSŁUGI	481
<i>Mechanizmy powstawania mitów klimatycznych. Przykłady mitów i sposoby ich wyjaśniania.</i>	
6.6. POCHŁANIANIE I EMISJA PROMIENIOWANIA PRZEZ GAZY	495
<i>Podstawy fizyczne pochłaniania i emisji promieniowania przez gazy.</i>	
6.7. MODELE NUMERYCZNE	500
<i>Podstawowe informacje o modelach klimatu: elementy składowe, zasady działania, ewolucja. Modelowanie pogody a modelowanie klimatu. Ograniczenia modeli i ich wiarygodność z punktu widzenia symulowania dawnego klimatu i jego przyszłych zmian.</i>	
6.8. ŹRÓDŁA DANYCH KLIMATYCZNYCH	510
ODPOWIEDZI DO ZADAŃ	512
BIBLIOGRAFIA	514
SPIS ILUSTRACJI	528

oprac. BPK