

SPIS TREŚCI

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

2.9. WPŁYW GAZÓW CIEPLARNIANYCH NA WIDMO PROMIENIOWANIA ZIEMSKIEGO...	78
Wpływ gazów cieplarnianych na widmo promieniowania termicznego planety, jej bilans radiacyjny i temperaturę powierzchni.	
2.10. ZMIANY KONCENTRACJI GAZÓW CIEPLARNIANYCH A TRANSPORT ENERGII	83
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.	
2.11. CHMURY.....	92
Rola chmur w kształtowaniu albedo planety i efekcie cieplarnianym. Wpływ promieniowania kosmicznego na zachmurzenie.	
2.12. AEROSOL.....	99
Znaczenie aerozolu atmosferycznego w bilansie energii. Bezpośredni i pośredni efekt aerozolowy. Aerozole wulkaniczne.	
2.13. BILANS ENERGETYCZNY ZIEMI.....	103
Regionalny bilans energii, transport energii z rejonów międzyzwrotnikowych do polarnych.	
2.14. GLOBALNA CYRKULACJA ATMOSFERYCZNA I STREFY KLIMATYCZNE	107
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.	
2.15. OCEANY.....	121
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.	
2.16. SZYBKIE CYKLE WĘGLOWE.....	132
Rezerwuary i przepływy węgla w środowisku: atmosfera, oceany, biosfera, gleba, wieczna zmarzlina i hydraty metanu. Dwutlenek węgla i metan w szybkim cyklu węglowym.	
2.17. SPRZĘŻENIA W SYSTEMIE KLIMATYCZNYM ZIEMI.....	149
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.	
2.18. WOLNE CYKLE WĘGLOWE I TERMOSTAT WĘGLOWY.....	166
Wolny cykl węglowy: wulkany, wietrzenie skał, formowanie osadów węglanów. Działanie termostatu węglowego i jego rola w stabilizowaniu klimatu Ziemi.	
2.19. IMPULS WĘGLOWY.....	172
Los szybko wyemitowanej do atmosfery dużej porcji dwutlenku węgla.	

Wpływ na klimat, rozprzestrzenianie się po innych rezerwuarach węgla, procesy stopniowo usuwające nadwyżkę dwutlenek węgla z szybkiego cyklu węglowego.	
2.20. CZUŁOŚĆ KLIMATU	180
Pojęcie czułości klimatu w różnych skalach czasowych. Rola sprzężeń zwrotnych. Metody określania czułości klimatu: modele komputerowe, badania paleoklimatyczne, pomiary instrumentalne.	
2.21. CZUŁE PUNKTY SYSTEMU KLIMATYCZNEGO	187
Lodowce, lądolody, rafy koralowe, cyklony – podstawy funkcjonowania i wpływ zmiany klimatu.	
2.22. PODSUMOWANIE	198
 3. ZMIANY KLIMATU W HISTORII ZIEMI	199
 3.1. EPOKI LODOWE	200
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.	
3.2. DALEJ WSTECZ W CZASIE	213
Zmiany klimatu w kenozoiku. Rola termostatu węglowego i innych czynników.	
3.3. PALEO-EOCENSKIE MAKSYMUM TERMICZNE (PETM)	218
Epizod hipertermiczny sprzed 56 milionów lat. Przebieg, przyczyny, następstwa i niepewności.	
3.4. WIELKIE WYMIERANIA	221
Okresy wielkich wymierań w historii Ziemi – obserwacje, przyczyny, przebieg, konsekwencje. Rola wulkanów i ich emisji.	
3.5. ZIEMIA-ŚNIEŻKA	226
Wejście Ziemi w stan (prawie?) całkowitego pokrycia lodem. Procesy prowadzące do wejścia i wyjścia z tego stanu.	
3.6. PODSUMOWANIE	228
 4. OBECNA ZMIANA KLIMATU	229
 4.1. ŚWIAT PALIW KOPALNYCH	230
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.	

4.2. ZABURZONY CYKL WĘGLOWY	242
Znaczenie antropogenicznych emisji dwutlenku węgla dla cyklu węglowego. Zmiany w cyklu węglowym: atmosfera, oceany, ekosystemy lądowe.	
4.3. INNE GAZY CIEPLARNIANE	253
Obserwowane zmiany koncentracji metanu, tlenków azotu i gazów przemysłowych. Równoważnik emisji dwutlenku węgla. Zestawienie wpływu antropogenicznych źródeł emisji i gazów cieplarnianych na zmianę klimatu.	
4.4. ZMIANA BILANSU RADIACYJNEGO ZIEMI	258
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.	
4.5. BILANS ENERGETYCZNY ZIEMI: GDZIE PRZYSZŁA ENERGIA?	266
Zmiany energii skumulowanej w ziemskim systemie klimatycznym: atmosfera, oceany, lądy, lodowce, pomiary in-situ i satelitarne. Bilans i nierównowaga radiacyjna.	
4.6. FLUKTUACJE WZROSTU TEMPERATURY	270
Wpływ czynników szybkozmiennych na zmiany średniej temperatury globalnej: aktywność słoneczna, oscylacje oceaniczne, wulkany. Zestawienie czynników naturalnych i antropogenicznych.	
4.7. OBSERWACJE I NIEKTÓRE KONSEKWENCJE ZMIANY KLIMATU	273
„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.	
4.8. KLIMATYCZNE KONTROWERSJE	310
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.	
4.9. PODSUMOWANIE	322
 5. PROGNOZA NA PRZYSZŁOŚĆ	 323
5.1. ODPOWIEDŹ KLIMATU NA EMISJE GAZÓW CIEPLARNIANYCH	324
Oszacowanie ocieplenia wynikającego z wprowadzenia do szybkiego cyklu węglowego określonej ilości dwutlenku węgla. Kluczowe znaczenie emisji skumulowanej.	

5.2. POTENCJALNA PULA EMISJI	328
Ilość możliwych do wydobycia i spalania paliw kopalnych: rezerwy i zasoby.	
5.3. SCENARIUSZE EMISJI I ZMIANY KLIMATU	533
Scenariusze emisji i zmiany klimatu – dwutlenek węgla i inne gazy cieplarniane. Budżet węglowy i jego rozmiar dla różnych scenariuszy.	
5.4. ZMIANY W CYKLU WĘGLOWYM	339
Sprzężenia cyklu węglowego w obliczu ocieplenia klimatu: taniecie wieloletniej zmarzliny, efekt nawożenia roślin dwutlenkiem węgla, lasy tropikalne, hydraty metanu.	
5.5. SKUTKI OCIEPLANIA SIĘ KLIMATU	345
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. Perspektywy na nową epokę lodową.	
5.6. CZARNY SCENARIUSZ	363
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?	
5.7. GEOINŻYNIERIA	377
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.	
5.8. PRÓG 2°C	389
Pochodzenie progu „niebezpiecznej zmiany klimatu”. Przełożenie progu 2°C na dostępny budżet węglowy. Ujemne emisje. Niezbędne zmiany w emisjach z energetyki i przemysłu oraz rolnictwa. Kwestia podziału budżetu węglowego.	
5.9. Z POLSKIEJ PERSPEKTYWY	400
Polskie trendy emisji gazów cieplarnianych. Dotychczasowe redukcje. Kwestia polskich złóż węgla.	
5.10. DROGA DO PRZYSZŁOŚCI	406
Efektywność energetyczna i czyste źródła energii. Stosowanie zasady „zanieczyszczający płaci”. Wnioski końcowe.	

6. MATERIAŁY DODATKOWE	417
6.1. HISTORIA BADAŃ KLIMATU	417
Badania klimatu od XVIII wieku do współczesności – ciągłość badań naukowych.	
6.2. BADANIE KLIMATU – TERAŹNIEJSZOŚĆ I NIEDAWNA PRZESZŁOŚĆ	429
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.	
6.3. BADANIE KLIMATU – PALEOKLIMAT	449
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.	
6.4. ŹRÓDŁA KONTROWERSJI W KWESTII ZMIANY KLIMATU	470
Zmiana klimatu jako wyzwanie społeczne, psychologiczne i gospodarcze. Przemysł sfabrykowanych wątpliwości. Tragedia wspólnego pastwiska. Psychologia zmiany klimatu. Dyskontowanie przyszłości.	
6.5. MITY KLIMATYCZNE – INSTRUKCJA OBSŁUGI	481
Mechanizmy powstawania mitów klimatycznych. Przykłady mitów i sposoby ich wyjaśniania.	
6.6. POCHŁANIANIE I EMISJA PROMIENIOWANIA PRZEZ GAZY	495
Podstawy fizyczne pochłaniania i emisji promieniowania przez gazy.	
6.7. MODELE NUMERYCZNE	500
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.	
6.8. ŹRÓDŁA DANYCH KLIMATYCZNYCH	510
ODPOWIEDZI DO ZADAŃ	512
BIBLIOGRAFIA	514
SPIS ILUSTRACJI	528