

SPIS TREŚCI KSIĄŻKI „NAUKA O KLIMACIE”

1. WPROWADZENIE.....	9
1.1. Klimatyczne kontrowersje i metoda naukowa.....	10
Stanowisko nauki odnośnie obecnej zmiany klimatu i jej przyczyn. Metoda naukowa, literatura recenzowana i wiarygodność informacji.	
1.2. Klimat wczoraj i dziś.....	16
Wprowadzenie: zmiany klimatu w przeszłości i obecna zmiana na ich tle - zmiany temperatury, stężeń gazów cieplarnianych.	
2. MASZYNA KLIMATYCZNA.....	29
2.1. Bilans energetyczny.....	30
Pojęcie bilansu energetycznego i konsekwencji zaburzenia równowagi energetycznej.	
2.2. Promieniowanie.....	33
Przekaz energii przez promieniowanie. Ciało doskonale czarne, prawa Plancka, Stefana-Boltzmana i Wiena. Własności absorpcyjno-emisyjne różnych rodzajów powierzchni, ciało doskonale szare. Cechy charakterystyczne promieniowania słonecznego i promieniowania termicznego Ziemi.	
2.3. Albedo.....	41
Zdolność odbijania promieniowania przez ciało oraz jej znaczenie dla bilansu energetycznego planety.	
2.4. Temperatura emisyjna planety.....	43
Równowaga energetyczna planety i określanie temperatury planety na podstawie obserwacji jej promieniowania.	
2.5. Efekt cieplarniany – model szyby.....	46
Rozróżnienie temperatury emisyjnej i temperatury powierzchni Ziemi, efekt cieplarniany. Proste oszacowanie efektu cieplarnianego na podstawie tzw. modelu szyby.	
2.6. Termiczna struktura atmosfery.....	50
Struktura atmosfery ziemskiej i sposoby transportu energii w atmosferze. Zmiany temperatury wraz z wysokością. Rola pary wodnej.	
2.7. Zmiany strumienia promieniowania słonecznego.....	57
Zmiany strumienia docierającego do Ziemi promieniowania słonecznego: ich przyczyny, wielkość i skale czasowe. Pojęcie wymuszenia radiacyjnego.	
2.8. Gazy cieplarniane i ich cechy.....	62
Gazy cieplarniane – inwentaryzacja, mechanizm działania, występowanie w atmosferze.	
2.9. Wpływ gazów cieplarnianych na widmo promieniowania ziemskiego.....	69
Wpływ gazów cieplarnianych na widmo promieniowania termicznego planety, jej bilans radiacyjny i temperaturę powierzchni.	
2.10. Zmiany koncentracji gazów cieplarnianych a transport energii.....	74
Wpływ zmian koncentracji gazów cieplarnianych w atmosferze na widmo promieniowania długofalowego opuszczającego planetę i jej bilans radiacyjny. Poziom emisji i jego zmiany. Ocieplanie troposfery i ochładzanie wyższych warstw atmosfery przy wzroście stężeń gazów cieplarnianych.	
2.11. Chmury.....	83

	Rola chmur w kształtowaniu albedo planety i efekcie cieplarnianym. Wpływ promieniowania kosmicznego na zachmurzenie.	
2.12. Aerozol	Znaczenie aerozolu atmosferycznego w bilansie energii. Bezpośredni i pośredni efekt aerozolowy. Aerozole wulkaniczne.	89
2.13. Bilans energetyczny Ziemi	Regionalny bilans energii, transport energii z rejonów międzyzwrotnikowych do polarnych.	93
2.14. Globalna cyrkulacja atmosferyczna i strefy klimatyczne	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.	97
2.15. Oceany	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.	108
2.16. Szybki cykl węglowy	Rezerwuary i przepływy węgla w środowisku: atmosfera, oceany, biosfera, gleba, wieczna zmarzlina i hydraty metanu. Dwutlenek węgla i metan w szybkim cyklu węglowym.	118
2.17. Sprzężenia w systemie klimatycznym Ziemi	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.	133
2.18. Wolny cykl węglowy i termostat węglowy	Wolny cykl węglowy: wulkany, wietrzenie skał, formowanie osadów węglanów. Działanie termostatu węglowego i jego rola w stabilizowaniu klimatu Ziemi.	148
2.19. Impuls węglowy	Los szybko wyemitowanej do atmosfery dużej porcji CO ₂ . Wpływ na klimat, rozprzestrzenianie się po innych rezerwuarach węgla, procesy stopniowo usuwające nadwyżkę CO ₂ z szybkiego cyklu węglowego.	153
2.20. Czułość klimatu	Pojęcie czułości klimatu w różnych skalach czasowych. Rola sprzężeń zwrotnych. Metody określania czułości klimatu: modele komputerowe, badania paleoklimatyczne, pomiary instrumentalne. Podsumowanie.	169
2.21. Czułe punkty systemu klimatycznego	Lodowce, lądolody, rafy koralowe, cyklony - podstawy funkcjonowania i wpływ zmiany klimatu.	176
2.22. Podsumowanie		186
3. ZMIANY KLIMATU W HISTORII ZIEMI		187
3.1. Epoki lodowe	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.	188
3.2. Dalej wstecz w czasie	Zmiany klimatu w kenozoiku. Rola termostatu węglowego i innych czynników.	200
3.3. Paleo-eoceńskie maksimum termiczne (PETM)		205

	Epizod hipertermiczny sprzed 56 mln lat. Przebieg, przyczyny, następstwa i niepewności.	
3.4.	Wielkie wymierania	207
	Okresy wielkich wymierań w historii Ziemi - obserwacje, przyczyny, przebieg, konsekwencje. Rola wulkanów i ich emisji.	
3.5.	Ziemia-śnieżka	212
	Wejście Ziemi w stan (prawie?) całkowitego pokrycia lodem. Procesy prowadzące do wejścia i wyjścia z tego stanu.	
3.6.	Podsumowanie	213
4.	OBECNA ZMIANA KLIMATU	214
4.1.	Świat paliw kopalnych	215
	Emisje dwutlenku węgla w epoce przemysłowej: spalanie paliw kopalnych, wylesianie, produkcja cementu. Światowe źródła energii, rola ropy, węgla i gazu. Emisje CO ₂ a zużycie energii i PKB. Globalne i regionalnie zmiany emisji.	
4.2.	Zaburzony cykl węglowy	225
	Znaczenie antropogenicznych emisji dwutlenku węgla dla cyklu węglowego. Zmiany w cyklu węglowym: atmosfera, oceany, ekosystemy lądowe.	
4.3.	Inne gazy cieplarniane	236
	Obserwowane zmiany koncentracji metanu, tlenków azotu i gazów przemysłowych. Równoważnik emisji CO ₂ . Zestawienie wpływu antropogenicznych źródeł emisji i gazów cieplarnianych na zmianę klimatu.	
4.4.	Zmiana bilansu radiacyjnego Ziemi	241
	Wpływ antropogenicznych emisji gazów cieplarnianych, aerozoli (efekt bezpośredni i pośredni), zmian użytkowania terenu i in. na bilans radiacyjny planety w zestawieniu z czynnikami naturalnymi.. Obserwacje zmian widma i strumienia promieniowania długofalowego.	
4.5.	Bilans energetyczny Ziemi: gdzie przybywa energii?	248
	Zmiany energii zakumulowanej w ziemskim systemie klimatycznym: atmosfera, oceany, lądy, lodowce, pomiary in-situ i satelitarne. Bilans i nierównowaga radiacyjna.	
4.6.	Fluktuacje wzrostu temperatury	251
	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	255
	'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	288
	W jakim stopniu antropogeniczne emisje gazów cieplarnianych, szczególnie CO ₂ ze spalania paliw kopalnych, są przyczyną obecnej zmiany klimatu. Przegląd dowodów i weryfikacja wcześniejszych prognoz klimatologów.	
4.9.	Podsumowanie	297
5.	PROGNOZA NA PRZYSZŁOŚĆ	298
5.1.	Odpowiedź klimatu na emisje gazów cieplarnianych	299

	Oszacowanie ocieplenia wynikającego z wprowadzenia do szybkiego cyklu węglowego określonej ilości CO ₂ . Kluczowe znaczenie emisji skumulowanej.	
5.2.	Potencjalna pula emisji	303
	Ilość możliwych do wydobycia i spalania paliw kopalnych: rezerwy i zasoby.	
5.3.	Scenariusze emisji i zmiany klimatu	307
	Scenariusze emisji i zmiany klimatu - CO ₂ i inne gazy cieplarniane. Budżet węglowy i jego rozmiar dla różnych scenariuszy.	
5.4.	Zmiany w cyklu węglowym	312
	Sprężenia cyklu węglowego w obliczu ocieplenia klimatu: tajanie wieloletniej zmarzliny, efekt nawożenia roślin przez CO ₂ , lasy tropikalne, hydraty metanu.	
5.5.	Skutki ocieplania się klimatu	317
	Prognozowane skutki ocieplania klimatu: przesuwanie się stref klimatycznych, zmiany temperatury i opadów, wzrost poziomu morza, wpływ na bezpieczeństwo żywnościowe, wymieranie gatunków i in. Punkty krytyczne systemu klimatycznego. Konsekwencje dla Polski. Perspektywy na nową epokę lodową.	
5.6.	Czarny scenariusz	336
	Czego możemy się spodziewać, kontynuując rozwój oparty na paliwach kopalnych: wpływ wysokich stężeń CO ₂ na inteligencję, groźne dla życia temperatury, migracje i in. Scenariusz wysokich emisji w kontekście dawnych zmian klimatu i wielkich wymierań. Scenariusz Wenus?	
5.7.	Geoinżynieria	348
	Inżynieria klimatu w skali planetarnej. Technologie usuwania węgla z szybkiego cyklu węglowego: wychwytywanie i magazynowanie CO ₂ , zalesianie, bioenergia z wychwytem CO ₂ , 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	357
	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	366
	Polskie trendy emisji gazów cieplarnianych. Dotychczasowe redukcje. Kwestia polskich złóż węgla.	
5.10.	Droga do przyszłości	373
	Efektywność energetyczna i czyste źródła energii. Stosowanie zasady 'zanieczyszczający płaci'. Wnioski końcowe.	
6.	MATERIAŁY DODATKOWE	381
6.1.	Historia badań klimatu	381
	Badania klimatu od XVIII wieku do współczesności - ciągłość badań naukowych.	
6.2.	Badanie klimatu – teraźniejszość i bliska przeszłość	392
	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	409
	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 in.	
6.4. Źródła kontrowersji w kwestii zmiany klimatu	426
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	436
Mechanizmy powstawania mitów klimatycznych. Przykłady mitów i sposoby ich wyjaśniania.	
6.6. Pochłanianie i emisja promieniowania przez gazy	440
Pochłanianie i emisja promieniowania przez gazy.	
6.7. Modele numeryczne	443
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	448
ODPOWIEDZI DO ZADAŃ	449
BIBLIOGRAFIA	453