

# Innhold

Forord .....	5
1 ATMOSFÆREN .....	17
1.1 Fordeling av temperatur og trykk i atmosfæren .....	17
1.2 Atmosfærens sammensetning .....	19
1.3 Tidsskalaer for gasser i atmosfæren .....	21
2 STRÅLING .....	25
2.1 Bølger .....	26
2.2 Elektromagnetiske bølger .....	28
2.3 Eksitasjon, absorpsjon og dissosiasjon i atmosfæren .....	30
2.4 Stråling fra en fast gjenstand .....	33
2.5 Solstråling .....	36
2.6 Ozonets svekkelse av solstråling .....	37
2.7 Stråling fra jorda .....	39
3 TROPOSFÆRISK OZON .....	43
3.1 Oksidanter og nedbrytning .....	44
3.2 Produksjon av troposfærisk ozon .....	45
3.3 Nedbrytning av troposfærisk ozon .....	49
3.4 Skader av bakkenært ozon .....	51
3.5 Ozonforløperne .....	53
3.5.1 Nitrogenoksider (NO <sub>x</sub> ) .....	53
3.5.2 Karbonmonoksid (CO) .....	57
3.5.3 NMVOC .....	58
4 DET GLOBALE SIRKULASJONSMØNSTERET .....	61
4.1 Stabil og ustabil luft .....	62
4.2 Lavtrykk og høytrykk .....	64
4.3 Strålingsbudsjettet for jorda .....	65
4.4 Et tenkt globalt sirkulasjonssystem i atmosfæren .....	65
4.5 Corioliskraften .....	66
4.6 Luftstrømmer rundt lavtrykk og høytrykk .....	67
4.7 Det idealiserte globale sirkulasjonsmønsteret i troposfæren ..	68
4.8 Havstrømmer .....	71

5	METEOROLOGI .....	75
5.1	Værvarsling .....	75
5.2	Polarfronten .....	76
5.3	Sykloner .....	77
5.4	Konveksjon over land om dagen .....	80
5.5	Inversjon .....	80
5.6	Monsuner .....	81
5.7	Land- og sjøvind .....	82
5.8	Fønvind .....	83
5.9	Nedbør .....	85
5.10	Mikroklima .....	85
6	NATURLIGE KLIMAVARIASJONER .....	87
6.1	Variasjoner i innstrålingen fra sola .....	90
6.1.1	Variasjon i jordbanens form .....	91
6.1.2	Variasjon i jordaksens helningsvinkel .....	92
6.1.3	Presesjon .....	94
6.1.4	Data om klimavariasjoner .....	97
6.1.5	Følsomt klima .....	102
6.1.6	Årsak og virkning .....	102
6.2	Variasjoner i den globale albedoen .....	103
6.2.1	Atmosfærisk albedo .....	104
6.2.2	Jordoverflatens bidrag til albedoen .....	106
6.3	Variasjoner i gassinnholdet i atmosfæren .....	107
6.4	Variasjoner i utstrålingen fra sola .....	109
6.4.1	Solas oppbygging .....	109
6.4.2	Energiproduksjon og energitransport i sola .....	111
6.4.3	Solflekker .....	111
6.4.4	Solflekker og klima .....	115
6.5	Vekselvirkninger i klimasystemet .....	116
6.5.1	Den nordatlantiske oscillasjonen (NAO) .....	117
6.5.2	ENSO .....	118
6.6	Teori for utvikling av istider .....	123
6.7	Temperaturutviklingen de siste 10 000 år .....	124
7	DRIVHUSEFFEKTEN .....	129
7.1	Enkel beskrivelse av naturlig og forsterket drivhuseffekt .....	129
7.2	Den globale energibalansen .....	130
7.3	Den naturlige drivhuseffekten .....	134
7.4	Forsterket drivhuseffekt .....	135
7.5	Toboksmodell for drivhuseffekten .....	135
7.6	Strålingspådriv og klimafølsomhet .....	137
7.7	Tilbakekoplinger .....	139

7.8	Globalt oppvarmingspotensial (GWP) og globalt temperaturendringspotensial (GTP) . . . . .	142
8	DRIVHUSGASSER OG AEROSOLER . . . . .	147
8.1	Karbondioksid (CO <sub>2</sub> ) og karbonsyklusen . . . . .	147
8.1.1	Direkte luftmålinger . . . . .	149
8.1.2	Indirekte CO <sub>2</sub> -målinger . . . . .	150
8.1.3	Isotopmålinger . . . . .	152
8.1.4	CO <sub>2</sub> -budsjetten . . . . .	153
8.1.5	Tilpasningstid for CO <sub>2</sub> . . . . .	154
8.1.6	CO <sub>2</sub> og bilkatalysator for bensinbiler . . . . .	154
8.1.7	CO <sub>2</sub> -håndtering . . . . .	155
8.1.8	Antropogene globale CO <sub>2</sub> -utslipp . . . . .	158
8.1.9	Norske CO <sub>2</sub> -utslipp . . . . .	159
8.2	Metan (CH <sub>4</sub> ) . . . . .	160
8.2.1	Direkte luftmålinger . . . . .	161
8.2.2	Metankilder . . . . .	163
8.2.3	Metanslukene . . . . .	164
8.2.4	Tilpasningstiden for metan . . . . .	165
8.2.5	GWP for metan . . . . .	165
8.2.6	Norske metanutslipp . . . . .	166
8.3	Lystgass (N <sub>2</sub> O) . . . . .	167
8.3.1	Lystgasskilder . . . . .	169
8.3.2	Lystgasslukene . . . . .	169
8.3.3	Norske lystgassutslipp . . . . .	170
8.4	Halokarboner . . . . .	172
8.4.1	Et tynnere ozonlag virker avkjølede . . . . .	172
8.4.2	Utfasing av gasser . . . . .	174
8.4.3	Erstatningsstoffer . . . . .	176
8.5	SF <sub>6</sub> og PFK og de totale, norske drivhusgassutslippene . . . . .	176
8.6	Klimapåvirkningen av CO, NMVOC og NO <sub>x</sub> . . . . .	178
8.7	Troposfærisk ozon som drivhusgass . . . . .	179
8.8	Aerosoler . . . . .	180
8.8.1	Naturlige aerosoler . . . . .	180
8.8.2	Antropogene aerosoler . . . . .	180
8.8.3	Aerosoler og strålingsbalansen . . . . .	181
8.9	Alle strålingspådrivene . . . . .	183
8.10	Fossile utslippsreduksjoner . . . . .	185
9	VIRKNINGER OG TILTAK . . . . .	189
9.1	Sannsynlige virkninger . . . . .	189
9.2	Den forsterkede drivhuseffekten er i gang . . . . .	197
9.3	Etikk og klimaendringer . . . . .	203

9.4	Virkemidler i klimapolitikken .....	205
9.5	Tiltak .....	206
9.6	Kyoto-protokollen .....	211
9.6.1	Internasjonal kvotehandel .....	213
9.6.2	Felles gjennomføring .....	214
9.6.3	Grønn utviklingsmekanisme .....	214
10	OZONLAGET .....	219
10.1	Produksjon av stratosfærisk ozon .....	219
10.2	Transport av ozon .....	220
10.3	Omforming av UV-stråling til termisk energi .....	222
10.4	Naturlig ozonnedbrytning i stratosfæren .....	222
10.5	Menneskeskapt ozonnedbrytning .....	224
10.6	Passive reservoarkomponenter .....	225
10.7	Ozonhullet over Antarktis .....	226
10.8	Ozonhull over Nordpolen? .....	229
10.9	Vulkanutslipp påvirker ozonlaget .....	230
10.10	Reduksjoner av ozonlaget .....	230
10.11	Utviklingen av ozonlaget .....	232
10.12	Skader av et svekket ozonlag .....	232
11	SUR NEDBØR .....	237
11.1	Sure gasser .....	237
11.2	Naturlige svovelutslipp .....	238
11.3	Antropogene svovelutslipp .....	238
11.4	Oksidasjon av SO <sub>2</sub> i atmosfæren .....	241
11.5	Salpetersyre (HNO <sub>3</sub> ) .....	243
11.6	Ammoniakk (NH <sub>3</sub> ) .....	243
11.7	Mindre sur nedbør .....	244
11.8	Skader av sur nedbør .....	245
12	ENERGI .....	249
12.1	Energiformer .....	249
12.1.1	Kinetisk energi .....	249
12.1.2	Potensiell energi .....	250
12.1.3	Kjemisk energi .....	251
12.1.4	Indre energi .....	251
12.2	Energioverføringer .....	252
12.3	Første energilov .....	252
12.4	Effekt .....	253
12.5	Andre energilov .....	254
12.6	Eksergi og anergi .....	255
12.7	Virkningsgrad .....	256

12.8	Energibruk	258
12.9	Global energibruk	260
12.10	Fossil energibruk	263
12.11	Energibruk i Norge	265
12.12	Energieffektivitet	266
13	FORNYBARE ENERGIRESSURSER	269
13.1	Biomasseproduksjon	270
13.2	Skog og CO <sub>2</sub>	270
13.3	Bioenergi	272
13.3.1	Ulike typer biobrensler	272
13.3.2	Vedfyring	274
13.3.3	Briketter og pellets	276
13.3.4	Produksjon av varme og elektrisk energi fra deponigass	277
13.3.5	Avfallsforbrenning	278
13.4	Solenergi	278
13.4.1	Solkraftverk	279
	Solkraftverk med paraboliske traue	279
	Soltårnanlegg	280
	Solkraftverk med parabolisk disk	281
13.4.2	Solceller	282
	En mer grundig beskrivelse av solceller	282
13.4.3	Enkel soloppvarming	286
13.4.4	Solvarmeanlegg	287
	Oppvarming av tappevann	289
	Virkningsgraden til solfangere	290
13.4.5	Miljøvirkninger ved bruk av solenergi	291
13.4.6	Solenergi i Norge	291
13.5	Vindenergi	292
13.5.1	Vindturbiner	292
13.5.2	Vindkraftverk	295
13.5.3	Vindenergi i Norge	296
13.6	Bølgeenergi	297
13.6.1	Bølgekraftverk	298
13.6.2	Bølgeenergi i Norge	301
13.7	Vannkraft	302
13.7.1	Vannkraft i Norge	304
13.8	Geotermisk energi	305
13.8.1	Lavtemperatur geotermisk energi	305
13.8.2	Høytemperatur geotermisk energi	306
13.8.3	Bruk av geotermisk energi globalt og i Norge	306

---

13.9	Saltkraft .....	307
13.9.1	Saltkraftverk .....	307
14	KJERNEENERGI .....	311
14.1	Fusjoner .....	311
14.2	Fisjon .....	313
14.3	Kjernekraftverk eller kjerneenergiverk .....	314
14.3.1	Kjernekraftverk med termisk reaktor .....	315
14.3.2	Kjernekraftverk med hurtige reaktorer .....	316
14.4	Radioaktivt avfall .....	317
14.5	Miljøvirkninger ved bruk av kjerneenergi .....	318
15	EFFEKTIV ENERGIBRUK .....	321
15.1	Varmepumpa .....	321
15.1.1	Virkemåten til varmpumpa .....	322
15.1.2	Varmepumper i Norge .....	324
15.2	Brenselceller .....	325
15.2.1	Ulike typer brenselceller .....	328
15.2.2	Mindre forurensning .....	329
15.3	Stirlingmotor .....	330
	Tillegg A: Viktige størrelser .....	332
	Tillegg B: Ordliste .....	337
	Tillegg C: Referanser og litteratur .....	346
	STIKKORD .....	352