

Innhold

FORORD	5
1 ATMOSFÆREN	17
1.1 Fordeling av temperatur og trykk i atmosfæren	17
1.2 Atmosfærens sammensetning	19
1.3 Levetid og tilpasningstid for gasser i atmosfæren	21
2 STRÅLING	25
2.1 Bølger	26
2.2 Elektromagnetiske bølger	28
2.3 Viktige prosesser 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	38
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 _x)	53
3.5.2 Karbonmonoksid (CO)	57
3.5.3 NMVOC	58
4 DET GLOBALE SIRKULASJONSMØNSTERET	63
4.1 Stabil og ustabil luft	64
4.2 Lavtrykk og høytrykk	66
4.3 Strålingsbudsjettet for jorda	67
4.4 Et tenkt globalt sirkulasjonssystem i atmosfæren	68
4.5 Corioliskraften	68
4.6 Luftstrømmer rundt lavtrykk og høytrykk	69
4.7 Det idealiserte globale sirkulasjonsmønsteret i troposfæren	71
4.8 Havstrømmer	73

5	METEOROLOGI	79
5.1	Værvarsling	79
5.2	Polarfronten	80
5.3	Sykloner	81
5.4	Konveksjon over land om dagen	84
5.5	Inversjon	84
5.6	Monsuner	85
5.7	Land- og sjøvind	87
5.8	Fønvind	88
5.9	Nedbør	89
5.10	Mikroklima	90
6	NATURLIGE KLIMAVARIASJONER	93
6.1	Variasjoner i innstrålingen fra sola	96
6.1.1	Variasjon i jordbanens form	97
6.1.2	Variasjon i jordaksens helningsvinkel	98
6.1.3	Presesjon	100
6.1.4	Data om klimavariasjoner	103
6.1.5	Følsomt klima	108
6.1.6	Årsak og virkning	108
6.2	Variasjoner i den globale albedoen	109
6.2.1	Atmosfærisk albedo	110
6.2.2	Jordoverflatens bidrag til albedoen	112
6.3	Variasjoner i gassinnholdet i atmosfæren	113
6.4	Variasjoner i utstrålingen fra sola	115
6.4.1	Solas oppbygging	116
6.4.2	Energiproduksjon og energitransport i sola	117
6.4.3	Solflekker	118
6.4.4	Solflekker og klima	121
6.5	Vekselvirkninger i klimasystemet	122
6.5.1	Den nordatlantiske oscillasjonen (NAO)	123
6.5.2	ENSO	125
6.6	Teori for utvikling av istider	129
6.7	Temperaturutviklingen de siste 10 000 år	131
7	DRIVHUSEFFEKTEN	137
7.1	Enkel beskrivelse av naturlig og forsterket drivhuseffekt	137
7.2	Den globale energibalansen	138
7.3	Den naturlige drivhuseffekten	142
7.4	Forsterket drivhuseffekt	143
7.5	Toboksmodell for drivhuseffekten	143
7.6	Strålingspådriv og klimafølsomhet	145
7.7	Tilbakekoblinger	147

7.8	Globalt oppvarmingspotensial (GWP) og globalt temperaturrendringspotensial (GTP)	150
8	DRIVHUSGASSER OG AEROSOLER	155
8.1	Karbondioksid (CO ₂) og karbonsyklusen	155
8.1.1	Direkte og indirekte målinger av CO ₂ -konsentrasjonen	157
8.1.2	Isotopmålinger	159
8.1.3	Antropogene globale CO ₂ -utslipp	160
8.1.4	CO ₂ -budsjettet	162
8.1.5	Tilpasningstid for CO ₂	164
8.1.6	CO ₂ og bilkatalysator for bensinbiler	164
8.1.7	CO ₂ -håndtering	165
8.1.8	Norske CO ₂ -utslipp	167
8.2	Metan (CH ₄)	169
8.2.1	Direkte luftmålinger	169
8.2.2	Metankilder	171
8.2.3	Metanslukene	172
8.2.4	Levetiden og tilpasningstiden til metan	173
8.2.5	GWP til metan	173
8.2.6	Norske metanutslipp	174
8.3	Lystgass (N ₂ O)	175
8.3.1	Lystgasskilder	176
8.3.2	Lystgasslukene	178
8.3.3	Norske lystgassutslipp	178
8.4	Halokarboner	179
8.4.1	Et tynnere ozonlag virker avkjølede	180
8.4.2	Utfasing av gasser	181
8.4.3	Erstatningsstoffer	183
8.5	SF ₆ og PFK og de totale, norske drivhusgassutslippene ...	183
8.6	Klimapåvirkningen av CO, NMVOC og NO _x	186
8.7	Troposfærisk ozon som drivhusgass	187
8.8	Aerosoler	188
8.8.1	Naturlige aerosoler	188
8.8.2	Antropogene aerosoler	189
8.8.3	Aerosoler og strålingsbalansen	189
8.9	Alle de effektive strålingspådrivene	192
8.10	Fossile utslippsreduksjoner	192
9	VIRKNINGER OG TILTAK	195
9.1	Sannsynlige virkninger	195
9.2	Den forsterkede drivhuseffekten er i gang	203
9.3	Etikk og klimaendringer	209

9.4	Virkemidler i klimapolitikken	211
9.5	Tiltak	212
9.6	Kyoto-protokollen	215
9.6.1	Internasjonal kvotehandel	215
9.6.2	Felles gjennomføring	216
9.6.3	Grønn utviklingsmekanisme	216
9.7	Paris-avtalen	217
10	OZONLAGET	221
10.1	Produksjon av stratosfærisk ozon	221
10.2	Transport av ozon	222
10.3	Omforming av UV-stråling til termisk energi	224
10.4	Naturlig ozonnedbrytning i stratosfæren	224
10.5	Menneskeskapt ozonnedbrytning	226
10.6	Passive reservoarkomponenter	227
10.7	Ozonhullet over Antarktis	228
10.8	Ozonhull over Nordpolen?	231
10.9	Vulkanutslipp påvirker ozonlaget	232
10.10	Måleresultater av ozon i ozonlaget og totalozon	232
10.11	Utviklingen av ozonlaget	234
10.12	Skader av et svekket ozonlag	234
11	ENERGI	239
11.1	Energiformer	239
11.1.1	Kinetisk energi	239
11.1.2	Potensiell energi	240
11.1.3	Kjemisk energi	241
11.1.4	Indre energi	241
11.2	Energioverføringer	242
11.3	Første energilov	242
11.4	Effekt	243
11.5	Andre energilov	244
11.6	Eksergi og anergi	245
11.7	Virkningsgrad	246
11.8	Energibruk	248
11.9	Global energibruk	250
11.10	Fossil energibruk og sementproduksjon	253
11.11	Energibruk i Norge	255
11.12	Energieffektivitet	256
12	FORNYBARE ENERGIRESSURSER	259
12.1	Biomasseproduksjon	260
12.2	Skog og CO ₂	260

12.3	Bioenergi	262
12.3.1	Ulike typer biobrensler	262
12.3.2	Vedfyring	263
12.3.3	Briketter og pellets	265
12.3.4	Avfallsforbrenning	266
12.4	Solenergi	266
12.4.1	Solkraftverk	267
12.4.2	Solceller	270
12.4.3	Solparker og solcelleanlegg	274
12.4.4	Enkel soloppvarming	277
12.4.5	Solvarmeanlegg	278
12.4.6	Miljøvirkninger ved bruk av solenergi	282
12.5	Vindenergi	283
12.5.1	Vindturbiner	283
12.5.2	Vindkraftverk	286
12.5.3	Vindenergi i Norge	287
12.6	Bølgeenergi	288
12.6.1	Bølgekraftverk	289
12.6.2	Bølgeenergi i Norge	292
12.7	Vannkraft	293
12.7.1	Vannkraft i Norge	295
12.8	Geotermisk energi	296
12.8.1	Lavtemperatur geotermisk energi	296
12.8.2	Høytemperatur geotermisk energi	297
12.8.3	Bruk av geotermisk energi globalt og i Norge	297
12.9	Saltkraft	298
12.9.1	Saltkraftverk	298
13	KJERNEENERGI	301
13.1	Fusjoner	301
13.2	Fisjon	304
13.3	Kjernerkeftverk eller kjerneenergiverk	304
13.3.1	Kjernerkeftverk med termisk reaktor	305
13.3.2	Kjernerkeftverk med hurtige reaktorer	306
13.4	Radioaktivt avfall	307
14	EKSEMPLER PÅ BRUK AV ENERGI MED NY TEKNOLOGI	313
14.1	Varmepumpe	313
14.1.1	Virkemåten til ei varmpumpe	314
14.1.2	Varmepumper i Norge	316
14.2	Brenselceller	318
14.3	Stirlingmotor	321
14.4	Litiumionebatterier	323

14.4.1	Bruk av litiumionebatterier	324
14.5	Hydrogen	325
14.5.1	Produksjon av grønt hydrogen	325
14.5.2	Produksjon av blått og grått hydrogen	326
14.5.3	Bruk av hydrogen i industrien	327
14.5.4	Bruk av hydrogen og ammoniakk som energibærere i transportsektoren	327
TILLEGG A	VIKTIGE STØRRELSER	329
TILLEGG B	ORDLISTE	334
TILLEGG C	REFERANSER OG LITTERATUR	346
STIKKORD	355