

0 11

Biologiske og økologiske konsekvenser av klimaforandringer i Norge

utredning

Redigert av
Jarle I. Holten

Bidrag til Den interdepartementale
klimautredningen



NINA

NORSK INSTITUTT FOR NATURFORSKNING

Biologiske og økologiske konsekvenser av klimaforandringer i Norge

Redigert av
Jarle I. Holten

Bidrag til Den interdepartementale
klimautredningen

NORSK INSTITUTT FOR NATURFORSKNING

Holten, J.I., red. 1990
Biologiske og økologiske konsekvenser
av klimaforandringer i Norge
NINA Utredning 11: 1-59

Trondheim, april 1990

ISSN 0802-3107
ISBN 82-426-0060-0

Klassifisering av publikasjonen

Norsk: Forurensning og miljøovervåking i terrestrisk miljø
Forurensning og miljøovervåking i limnisk miljø
English: Pollution and monitoring of fresh water ecosystems
Pollution and monitoring of terrestrial ecosystems

Copyright (C) NINA
Norsk institutt for naturforskning
Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

Redaksjon:
Svein Myrberget, Eli Fremstad

Design og layout:
Eva M. Schjetne
Kari Sivertsen
Grafisk avd. NINA

Sats: NINA

Trykk:
Bjærum Grafiske A/S

Papir: 100 % resirkulert

Opplag: 500

Kontaktadresse:
Norsk institutt for naturforskning
Tungasletta 2
7004 Trondheim
Tlf.: (07) 58 05 00

Referat

Holten, J.I., red. 1990. Biologiske og økologiske konsekvenser av klimaforandringer i Norge. - NINA Utredning 11: 1-59.

NINA har i perioden 1.12.1989-30.4.1990 utført økologiske virkningsstudier av mulige klimaendringer på terrestriske og akvatiske økosystemer i Norge. Utredningen dekker følgende fagfelter i biologien: Virkninger på egenskaper og prosesser i terrestriske økosystemer, virkninger på flora og vegetasjon, virkninger på fugl og pattedyr, og virkninger på ferskvannsf fauna. Virkningsscenarioene med utgangspunkt i det foreløpige, norske klimascenariet, viser at en kan få til dels store økologiske konsekvenser for norsk natur, både mht. produksjonsforhold, biogeografiske forhold, artsdiversitet og biotisk regioninndeling. Utredningen lister opp arter og samfunnstyper som kan ekspandere eller gå tilbake, eventuelt bli truet. Blant artene vil generelt de varmekjære artene ekspandere, de alpine gå tilbake eller være truet. Utredningen avdekker stor kunnskapsmangel på alle de behandlede fagområdene. Det er stort forskningsbehov innenfor eksperimentell økologi med simulering av klimaparametre i modellforsøk. Populasjonsbiologiske studier og metodikkutvikling blir viktig innenfor eksperimentene. Et av de viktige målene blir å identifisere følsomme og funksjonelle artsgrupper og samfunnstyper i forhold til klimaendringer. Utvikling av nye vernestrategier i naturvernet bør gå parallelt med forskningsoppgavene. Internasjonalt samarbeid og koordinering av overvåking og forskning knyttet til klimaendringer, må utvikles videre og styrkes. En stor og god forskningsinnsats på "økologiske virkninger av klimaendringer" forutsetter sterk økning av de offentlige forskningsbevilgningene.

Emneord: Klimaendringer - økologiske konsekvenser - vegetasjon - fauna - forskningsbehov.

Norsk institutt for naturforskning, Tungasletta 2, 7004 Trondheim.

Abstract

Holten, J.I., ed. 1990. Biological and ecological consequences of changes in climate in Norway. - NINA Utredning 11: 1-59.

During the period from 1.12.1989 to 30.4.1990, NINA has carried out studies on the ecological impact of possible changes in climate with reference to terrestrial and aquatic ecosystems in Norway. The report covers the following aspects: impacts on properties and processes in terrestrial ecosystems, impacts on flora and vegetation, impacts on birds and mammals, and impacts on freshwater fauna. The impact scenarios, based on the preliminary Norwegian climate scenario, may in some cases result in major ecological consequences for Norwegian nature as regards conditions for production, biogeographical conditions, species diversification and regional distribution of the biota. The report lists species and types of community which may expand or decrease, or perhaps be threatened with extinction. As regards species, the thermophilous species will in general expand and the alpine ones decrease or be threatened with extinction. The report reveals large gaps in our knowledge in all the subject fields treated. There is a great need for research in experimental ecology, involving simulation of climatic parameters using experiments with models. Studies of population biology and development of methods will form important aspects of these experiments. An important objective will be to identify species groups and types of community that are sensitive and functional in relation to changes in climate. Development of new nature conservation strategies should proceed parallel with the research tasks. International cooperation and coordination of monitoring and research related to changes in climate must be further developed and strengthened. A major and good research effort on "ecological impacts of changes in climate" will require large increases in government research grants.

Key words: Changes in climate - ecological consequences vegetation - fauna - research requirements.

Norwegian Institute for Nature Research, Tungasletta 2, N-7004 Trondheim

Forord

Denne rapporten er utarbeidet på oppdrag fra Den interdepartementale klimagruppen. Sammen med en rekke andre nasjonale og internasjonale utredninger, vil rapporten være en del av det faglige grunnlaget for klimagruppens videre arbeid. Den endelige rapporten fra Den interdepartementale klimagruppen vil foreligge våren 1991, og denne utredningen vil da bli et vedlegg til hovedrapporten.

I brev av 1.12.1989 fra Direktoratet for naturforvaltning (DN) har Norsk institutt for naturforskning (NINA) fått i oppdrag å lage en utredning om "biologiske/økologiske konsekvenser av klimaforandringer i Norge". Utredningen er et ledd i den interdepartementale klimautredningen under regjeringens klimautvalg, ledet av klimasekretariatet i Miljøverndepartementet. Miljøverndepartementet har finansiert utredningen, som omfatter virkningsanalyser innenfor fire biologiske fagområder:

- Kapittel 2: Økosystemenes egenskaper og prosesser (professor Eilif Dahl, NLH)
- Kapittel 3: Flora og vegetasjon (forsker og prosjektleder Jarle I. Holten, NINA)
- Kapittel 4: Fugler og pattedyr (forskningsassistent Ole Reitan, NINA)
- Kapittel 5: Akvatiske økosystemer (forsker Tor Næsje, forskningssjef Arnfinn Langland, avdelingsingeniør Terje Nøst, forsker Odd T. Sandlund og forsker Kaare Aagaard, alle NINA)
- Kapittel 1 og 7 er skrevet av Jarle I. Holten, mens kapittel 6 er en samproduksjon av alle forfatterne.

Medarbeiderne i utredningen, klimasekretariatet i Miljøverndepartementet og Direktoratet for naturforvaltning takkes herved for konstruktivt samarbeid under hele utredningsarbeidet.

Trondheim, april 1990
Jarle Inge Holten, prosjektleder

Innhold

	Side
Referat	3
Abstract	3
Forord	4
1 Innledning	6
2 Virkninger på økosystemenes egenskaper og prosesser	6
2.1 Produksjonsprosessene	6
2.2 Virkninger på planters utbredelse	10
2.3 Litteratur	15
3 Virkninger på flora og vegetasjon	15
3.1 Forutsetninger for de botaniske virkningsscenariene	15
3.2 Forflytting av vegetasjonsregioner i Norge	16
3.3 Viktige faktorer for innvandring/ tilbakegang av plantearter	20
3.4 Respons i ulike artsgrupper	21
3.5 Suksesjoner og endringer av plantesamfunn	28
3.6 Naturvern og biodiversitet	29
3.7 Litteratur	30
4 Virkninger på pattedyr- og fuglefauna	32
4.1 Pattedyrs og fuglers responser på klima - hva vet vi?	32
4.2 Skisserte endringer i dyrenes miljø	33
4.3 Faktorer som begrenser dyrenes muligheter til å tilpasse seg klimaendringene	33
4.4 Hva kan ventes av faunaendringer generelt?	34
4.5 Endringer i fuglelivet	36
4.6 Endringer for pattedyr	37
4.7 Litteratur	37
5 Endringer i produktivitet, utbredelsesmønster og dominansforhold hos ferskvannsfauunaen	39
5.1 Forutsetninger	39
5.2 Klimaendringenes virkning på dyras energiomsetning	40
5.3 Dyregeografiske endringer	44
5.4 Endringer i konkurranse og predasjonsforhold hos ferskvannsfauunaen	49
5.5 Litteratur	52
6 Forskningsbehov og anbefalinger	53
6.1 Terrestriske økosystemers egenskaper og prosesser	53
6.2 Flora og vegetasjon	53
6.3 Pattedyr og fugl	54
6.4 Ferskvannsfauuna	54
7 Sammendrag og konklusjoner	55
7.1 Terrestriske økosystemers egenskaper og prosesser	55
7.2 Flora og vegetasjon	55
7.3 Fugl og pattedyr	56
7.4 Ferskvannsfauuna	56
8 Summary and conclusions	57
8.1 Properties and processes in terrestrial ecosystems	57
8.2 Flora and vegetation	57
8.3 Mammals and birds	58
8.4 Freshwater fauna	59
Vedlegg:	
Potensielle vegetasjonsregioner for Norge under 2 x CO ₂ -scenariet (kart)	

1 Innledning

Foreliggende utredning er en av mange utredninger som skal danne grunnlaget for en norsk klimapolitikk. Utredningene er koordinert med et stort internasjonalt utredningsarbeid under IPCC (FN's mellomstatlige klimapanel) som skal lage en global statusrapport til klimakonferansen i Geneve høsten 1990. NINAs virkningsanalyser hører inn under IPCCs arbeidsgruppe 2 som har ansvaret for "Sosioøkonomiske og økologiske konsekvenser av klimaendringer".

NINAs virkningsanalyser skal vurdere følgende forhold, i følge notat av 20.9.1989 fra regjeringens klimautvalg:

- I Endringer i **vegetasjonssonering** og fordeling av vegetasjonstyper/plantesamfunn, herunder endringer i **areal, sonering, grenser, og sammensetning**.
- II Virkninger på **økosystemenes egenskaper og prosesser** herunder
 - * primærproduksjon
 - * energiomsetning, bl.a. balansen mellom produksjon og respirasjon
 - * stoffsirkulasjon og gassutveksling
 - * suksesjon- og stabilitetsforhold
- III Virkninger på terrestrisk såvel som akvatisk flora og fauna, herunder endringer i totalt **artsmangfold, utbredelsesmønster, diversitet** i artsgrupper.

2 Virkninger på økosystemenes egenskaper og prosesser

I det følgende behandles de virkninger de forutsette klimaendringer vil få for planteproduksjon og planters utbredelse i Norge. Ifølge foreliggende scenario ventes at sommertemperaturen vil stige med omtrent 2 grader C og vintertemperaturen med 4 grader C. Dessuten ventes hyppigere nedbør om sommeren. Dette vil si at vi forventer et klima som likner mye på det vi hadde under den varmeste tid etter istiden for ca 6000 år siden. Først forklares hvordan klimaet virker inn på de grunnleggende produksjonsprosesser i planter, og deretter vurderes om de enkelte faktorer vil gi gunstigere eller mindre gunstige virkninger for planteproduksjon i Norge. Deretter vurderes hvordan de klimatiske endringer vil påvirke plantenes mulighet til å overleve og tilpasse seg den forutsette klimaendring.

2.1 Produksjonsprosessene

Lyset. Den grunnleggende produksjonsprosess er fotosyntesen der energi fra solen brukes til å omdanne atmosfærens karbondioksid og vann til organisk stoff. Det skjer ved at lyskvanter absorberes i klorofyll, og energien brukes til å redusere CO₂ til karbohydrat. Til å redusere et molekyl CO₂ medgår ialt 8 lyskvanter. For at prosessen skal komme i gang, må CO₂ absorberes på et molekyl (akseptor), og under fotosyntesen blir akseptoren forbrukt og må regenereres. Til det medgår energien til 4-5 lyskvanter, så totalt kreves energien i 12-13 lyskvanter pr molekyl CO₂10 bundet (Farquhar & v. Caemmerer 1982, Raven 1983). Tar vi energien i 12-13 kvanter av lys som absorberes i klorofyll (PAR, fotosyntetisk aktiv stråling) og sammenholder med forbrenningsenergien av glukose, gir det et energiutbytte på 19 %.

Imidlertid er det bare en del av sollyset, ca 45 % som absorberes i klorofyll og brukes i fotosyntesen. Tar man hensyn til det, er det bare 8,5 % av energien i sollyset som kan utnyttes til fotosyntese.

Dette er heller ikke oppnåelig. Noe av sollyset blir absorbert av andre plantedeler enn klorofyll, noe blir reflektert og noe slipper igjennom fordi det blir for svakt til at plantene kan utnytte det. Denne andelen anslås til 20 % og da sitter vi igjen med et utbytte på 6,8 %.

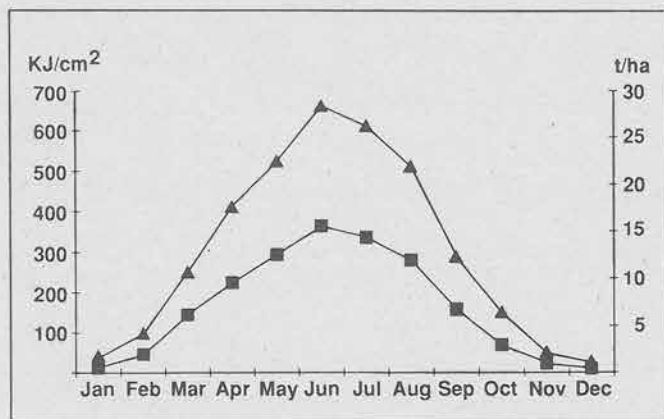
Dette er ikke oppnåelig. For at plantene skal vokse, må fotosynteseproduktene omdannes til nytt vev, bli plassert som opplagsnæring osv. Mange av de prosessene går ikke av seg

selv, men krever energi. Og energien skaffes ved at plantene ånder opp noe av fotosynteseproduktene og produserer energirike forbindelser (ATP) som brukes opp i vekstprosessene. Av grunner som vi kommer tilbake til senere, er denne andelen minst 20 %, og da sitter vi igjen med et utbytte på 5,5 %.

Men heller ikke det er oppnåelig fordi plantene må bruke energi på å holde seg i live, ta opp næring, til transport av materialer til steder der veksten foregår osv. På dette grunnlag er det neppe mulig med et utbytte høyere enn 5 %.

I intensiv kultur har man oppnådd effektiviteter på 4-5 %, (Loomis & Gerlakis 1975); 2 % er mulig i godt drevne jordbruksavlinger under gode vekstforhold, og 1 % er gjennomsnitt hos oss i vekstsesongen. Plantene produserer med høy effektivitet.

En kurve over innkommende strålingsenergi på Ås er gitt i figur 1. I tillegg er laget en kurve over beregnet fotosyntese forutsatt at 4 % av solenergien utnyttes. I klimascenariene er det ikke ventet at lystilgangen blir endret vesentlig. På vintermånedene vil sollyset virke sterkt begrensende, og særlig så i Nord-Norge. Likegyldig om andre vekstfaktorer påvirkes, blir produksjonen liten. Derimot kan man vente at milde vintre vil føre til at åndingen øker om vinteren, og det kan føre til at plantenes vinterforråd av opplagsnæring blir redusert eller brukt opp.



Figur 1
Månedlig globalstråling på Ås (trekanter) og beregnet tørrestoffproduksjon pr. måned (firkanter) forutsatt at 4 % av strålingen utnyttes i fotosyntesen. - Monthly global radiation at Ås, Southeastern Norway (triangles) and calculated monthly dry matter production (squares) provided that 4 % of the radiation is utilized in the photosynthesis.

Vannet. For plantenes fotosyntese må karbondioksid tas opp gjennom spalteåpninger i bladene. Nå er cellene på undersiden av spalteåpningene våte, og mens CO₂ diffunderer inn, vil samtidig vann gå tapt som vanndamp. Hvis det blir tørke, må plantene spare på vannet, og det skjer ved at de lukker spalteåpningene. Da begrenses vanntapet, men samtidig stoppes opptaket av CO₂ og fotosyntesen går i stå. Dette er trolig den viktigste faktor som begrenser planteproduksjonen på landjorda.

Det er derfor viktig å finne ut hvor mye vann som går med ved planteproduksjonen. Den mengde CO₂ som tas opp avhenger av konsentrasjonen av CO₂ i atmosfære, ca, og av konsentrasjonen av CO₂ i luften under spalteåpningene ci. Opptaket, Fc avhenger av diffusjonsmotstanden av CO₂ gjennom spalteåpningene, rs'.

$$(1) Fc = (ca - ci)/rs'$$

Transporten av vann gjennom spalteåpningene, Fv, bestemmes av konsentrasjonen av vanndamp i atmosfæren, ea som er bestemt av luftens temperatur og fuktighet, og av konsentrasjonen av vanndamp under spalteåpningene, ei, som er bestemt av bladets temperatur. Dessuten inngår vanndampens diffusjonsmotstand gjennom spalteåpningene, rs, og vi får

$$(2) Fv = (ei - ea) / rs$$

Nå er det en sammenheng mellom rs' og rs. CO₂ er et tyngre molekyl enn H₂O og diffunderer derfor langsommere. Dette gir en relasjon mellom rs' og rs

$$(3) rs' = 1,56 rs.$$

Ved nå å dividere likningene 1 med 2 og bruke 3 får vi

$$F = Fc/Fv = 0.64 (ca-ci)/ei - ea$$

som gir mengden av vanndamp forbrukt i forhold til opptaket av CO₂, fotosyntesens vanneffektivitet (water use efficiency). Fra meteorologiske observasjoner finner vi ea, og vi antar at ei er lik vanndampens metningstrykk ved bladets temperatur som for effektive jordbruksavlinger eller skog er nær lufttemperaturen. Den eneste størrelse som er ukjent er ci, CO₂-konsentrasjonen i luften under spalteåpningene.

Når CO₂ transporteres fra fri luft til kloroplastene der fotosyntesen foregår, må en rekke motstander overvinnes. Det er en motstand fra fri atmosfære til bladets nærhet, det er en motstand gjennom et grenseskikt på bladet til spalteåpningene, det er en motstand gjennom spalteåpningene. Dermed er det en viktig motstand fra luften under spalteåpningene til kloroplastene som kalles mesofyllmotstanden. Den vil være med

på å bestemme konsentrasjonen av CO_2 under spalteåpningene. Den kan beregnes ved å bestemme isotopforholde av C12 og C13 i plantene.

Når CO_2 bindes til kloroplastene, vil C12 bindes sterkere enn C13. Dette fører til at forholdet C12/C13 er høyere i planteproduktene enn i atmosfæren. Fotosyntesen diskriminerer mot C13 med en ganske stor faktor. Dessuten er det en diskriminering mot C13 under diffusjonen fordi det tyngre C13 diffunderer langsommere enn C12, men det er en meget svak diskriminering. Hvis nå mesofyllmotstanden er stor, får vi en sterk diskriminering mot C13; er den liten eller er summen av andre diffusjonsmotstander stor i forhold til mesofyllmotstanden, får vi en mindre diskriminering (Farquhar, O'Leary & Berry 1982). Målinger for 500 m høyde i Østerrike gir et trykkfall mellom fri luft og luft under spalteåpningene på 90 ppm (Körner 1988), og resten av trykkfallet fra 345 ppm i luften til 10 ppm på kloroplastene, dvs 245 ppm skyldes mesofyllmotstanden. Dette stemmer også med andre data for effektivt produserende planter (Körner et al. 1979).

Beregnet på denne måte må plantene bruke minst 200 kg vann for å produsere 1 kg glukose hvis temperaturen er 20 grader C og med 50 % relativ fuktighet.

Disse beregninger er gjort på grunnlag av planter som er viktige hos oss, såkalte C3-planter. Det finnes planter med en annen fysiologi (C4-planter) og som har en betydelig høyere water use efficiency; et eksempel er mais. Stort sett hører C4-planter hjemme i strøk med et varmere og tørrere klima enn i Norge.

Hvis luftas CO_2 -innhold fordobles, vil trykkfallet mellom fri luft og luft under spalteåpningene også fordobles. Det vil si at plantene kan produsere dobbelt så mye tørrstoff sett i forhold til vannforbruket. Dette er noe som bekreftes av eksperimenter og brukes kommersielt i drivhuskulturer til å øke produksjonen ved å øke CO_2 -innholdet i luften. Siden sommertørke er en viktig begrensende faktor for planteproduksjonen i kontinentale strøk av Norge og man dessuten venter hyppigere nedbør om sommeren, vil man vente at plantenes produksjon i Norge også vil øke. Derimot venter man i andre strøk, f.eks. viktige kornproduserende områder i USA og Canada, mindre sommernedbør og det kan gå ut over verdens kornforsyning.

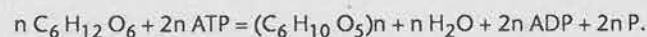
Fullt så enkel er vel ikke saken når det gjelder virkningen av CO_2 -økningen på mer naturlige økosystemer. Positive effekter kan utebli hvis andre negative faktorer er tilstede, bl.a. begrenset lystilgang eller lav temperatur, og CO_2 kan også ha andre fysiologiske virkninger. Dette må undersøkes ved langtidsundersøkelser som man ikke har mye av, men der man iblant støter på uventede effekter (Eamus & Jarvis 1989).

Temperatur. Det hjelper ikke om vann og lys er til stede hvis det er kaldt, noe vi ser hos oss under vinterforhold. Når vannet fryser, stopper nesten all produksjon, og under kjølige perioder vår og høst er også produksjonen liten. Planteproduksjonen avhenger av en rekke kjemiske prosesser i plantecellene, og alle kjemiske reaksjoner går langsomt ved lav temperatur.

Figur 2 gir et skjema av en plante som et produksjonssystem. Vi har en råstoff-avdeling; det er fotosyntesen som ved hjelp av solenergi, CO_2 , vann og mineraler bygger opp råstoffer for veksten i form av karbohydrater, fett o.l. Så har vi en ferdigvare-avdeling som er veksten hvorved råstoffene omdannes til nytt vev eller til opplagsnæring. Men denne omdannelsen går ikke av seg selv, men krever tilførsel av energi. Dette besørgeres av en energi-avdeling som er plantenes ånding som forbruker noe av råstoffene og leverer energi i form av ATP og andre energirike forbindelser. Så medgår det også energi til å transportere stoff rundt i planten og til vedlikehold av cellene.

Åndingen avhenger sterkt av temperaturen. Hvis temperaturen er lav, kan det hende at energitilførselen blir for lav til at alt som produseres i fotosyntesen kan omsettes til ny vekst. Det er sannsynlig at dette er en faktor som begrenser planteproduksjonen ved lav temperatur.

Dette bekreftes av beregninger som først og fremst den hollandske forsker Penning de Vries (1974, 1975, de Vries et al. 1989) er mester for. La oss ta for oss dannelse av cellulose eller stivelse av råstoffet glukose dannet ved fotosyntesen. Stivelse og cellulose består av lange kjeder av glukose koblet sammen. Til å koble på en glukose på en kjede kreves energien av 2 ATP, altså

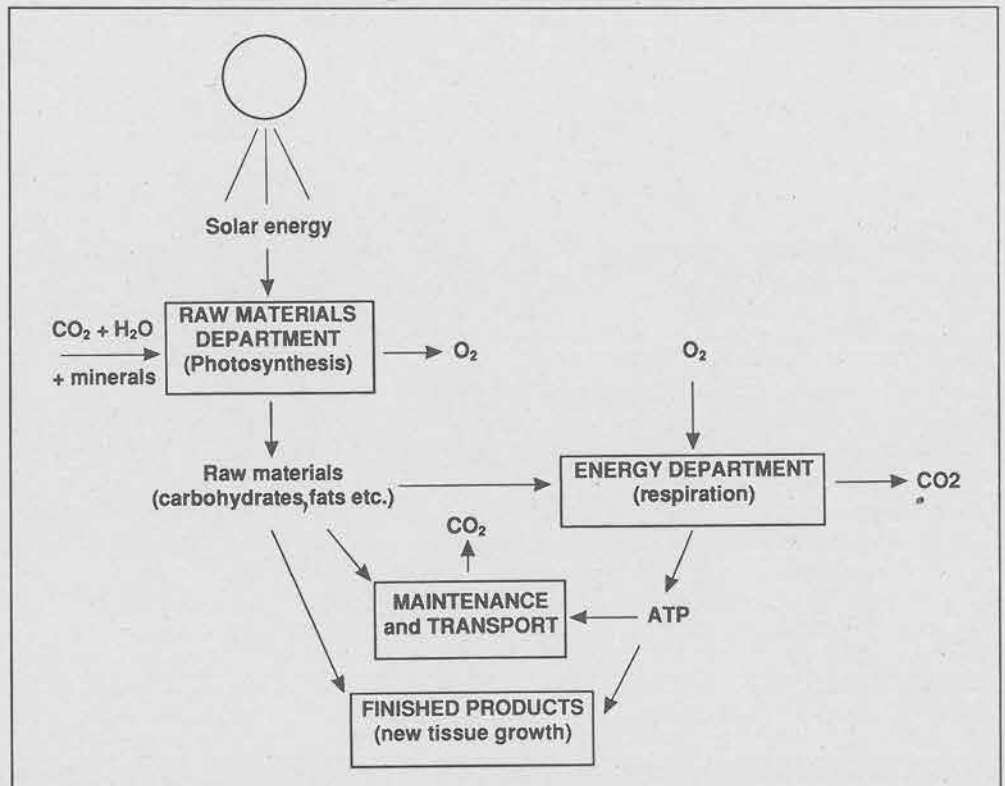


I tillegg kreves 1 ATP til transporten av glukose. Til å produsere 3 ATP medgår en glukosemengde svarende til 7 % av energien som leveres når en glukose blir forbrukt i åndingen.

Forskjellige produkter krever forskjellig tilførsel av energi. Stivelse og cellulose er billige. Derimot krever syntese av fett 20 % ekstra forbruk av glukose, lignin 26 % mens proteiner krever 66 %. Til å produsere et gram maisvev kreves et ekstra forbruk av glukose på 0,2 g. Det er det tallet som tidligere er brukt for nødvendig vekststanding i planteproduksjonen.

Et gram maisvev kan ikke produseres før en glukosemengde på 0,2 g er forbrukt i åndingen i de voksende plantedeler. Den tid det tar å ånde opp 0,2 g glukose avhenger av temperaturens virkning på åndingen, d.v.s at jo varmere det er, jo raskere kan veksten foregå. Det vil si at veksthastigheten øker proporsjonalt

Figur 2
Modell av plantenes produksjonssystem. Videre forklaring i teksten. - A model of the production system of plants. Explanations in the text.



med åndingsintensiteten som igjen er sterkt avhengig av temperaturen. Denne modell for veksten bekreftes av en rekke uavhengige undersøkelser (Dahl & Mork 1959, Skre 1972, 1979).

Når sommertemperaturen stiger med 2 grader og vintertemperaturen med 4 grader, vil det føre til at vekstsesongen forlenges og at vi får høyere ånding og derigjennom høyere planteproduksjon i løpet av vekstsesongen. Vi venter at vegetasjonsgrensene, og derigjennom også grensene for planteproduksjon i landbruket, vil heves ca 400 m. Da vil store deler av våre fjellvidder f.eks. Hardangervidda og Finnmarksvidda få produksjonsforhold svarende til det vi har idag på gardene i våre fjelldaler. Det er også sannsynlig at vi kan begynne å dyrke mais over store områder i Sør-Norge.

Et problem som enda ikke er forskningsmessig avklart, er hvor langt åndingen begrenser planteproduksjonen i kjølige strøk. Hvis energileveransen ved åndingen er den begrensende prosess, kan plantene tilpasse seg det på forskjellige måter. Plantene kan øke antallet mitokondrier i cellene og derved få mer ånding pr. celle. Det er vist at planter fra kjølige strøk har høyere ånding enn planter fra varmere strøk under samme ytre betingelser. Dessuten kan plantene øke meristemandelen, men bare innen visse grenser; det trengs jo også et fotosynteseapparat, røtter osv. Her trenger vi, for nøyere beregninger, å vite

hva en planteavling maksimalt kan produsere pr dag ved f.eks. 10 grader C. Forskjellige planteslag har ulik produktivitet, trolig er gras og urter de som produserer mest i kjølige strøk.

I det store og hele tyder alt på at drivhuseffekten vil virke til å øke landbrukets produktivitet i Norge. Men på visse vilkår, nemlig at vi kan utvikle egnete kultivarer for de nye klimaforhold. Her er det foregått en rask utvikling i norsk landbruk, og det har medført en sterk økning av produksjonen. I løpet av de siste 20 år har nye kornsorter og bedre teknikk økt den norske kornproduksjon med 30 %. Med en moderne planteforedling blir nye sorter produsert forholdsvis raskt, og dette vil si at det bør være mulig for landbruket forholdsvis raskt å tilpasse seg de nye klimaforhold. Så enkel er ikke saken når det gjelder skog og vår ville vegetasjon.

Virkinger for plantelivets potensielle produktivitet. Sammenfatningsvis kan vi vente følgende endringer i plantelivets potensielle produktivitet:

På grunn av økningen av CO₂-innholdet i atmosfæren skal man vente at planteproduksjonen sett i forhold til vannmengder forbrukt ved transpirasjon, "water use efficiency", skal øke. Dette vil virke lite i våre kyststrøk fordi det her sjelden er alvorlig tørke. Derimot er det en markant virkning av tørke,

særlig forsommertørke, på planteproduksjonen i de mer kontinentale strøk av Norge, f.eks. på Østlandet. Her skal man vente seg at planteproduksjonen både i landbruket og i skogen øker, kanskje opp mot det nivå man har i Rogaland, der arealavkastningen av korn og engvekster i jordbruket i dag ligger 20-30 % høyere enn på Østlandets lavland.

Økningene i temperaturer vil få forskjellige virkninger. Vi skal vente at plantenes ånding om vinteren vil øke, i en periode der det er lite lys for effektiv fotosyntese. Det kan medføre at plantenes forråd av opplagsnæring for neste års vekst kan bli redusert eller brukt opp.

I våre strøk spiller temperaturen i områder der det er bra med lys og nok vann den største rolle for planteproduksjonen. I følge den modell som er gitt i figur 2 øker produksjonen proporsjonalt med åndingen. En heving av sommertemperaturen på 2 grader C og vintertemperaturen på 4 grader C vil stort sett gi 20-30 % høyere ånding gjennom sommeren. I områder og til årstider der det er nok lys og vann vil det ventelig føre til at den potensielle produktivitet både i jordbruk og skogbruk øker tilsvarende.

Temperaturøkningen vil føre til en økt jordrespirasjon og nedbrytning av humus. Om dette fører til reduserte humusmengder i jorda avhenger av om den økte jordåndingen blir kompensert av et større strøfall. Det er ikke ventet at de viktige jordsmonndannede prosesser blir vesentlig endret, selv om økt temperatur kan gi større forvitring. Derimot kan endringer i jordas fuktighetsforhold ved endret nedbør eller fordampning få virkninger for de jordsmonndannede prosesser.

I det store og hele tyder alt på at drivhuseffekten vil virke til å øke landbrukets produktivitet i Norge. Men på visse vilkår, nemlig at vi kan utvikle egnede kultivarer for de nye klimaforhold. Her er det foregått en rask utvikling i norsk landbruk, og det har medført en sterk økning av produksjonen. I løpet av de siste 20 år har nye kornsorter og bedre teknikk økt den norske kornproduksjon med 30 %. Med en moderne planteformidling blir nye sorter produsert forholdsvis raskt og dette vil si at det bør være mulig for landbruket forholdsvis raskt å tilpasse seg de nye klimaforhold. Kanskje kan danske og nederlandske sorter bli nyttige for oss. Så enkel er ikke saken når det gjelder skog og vår ville vegetasjon.

2.2 Virkninger på planters utbredelse

Mens landbruket har gode muligheter til å tilpasse seg klimaendringer nokså raskt, gjelder det ikke i samme grad den ville flora, herunder også våre skogstrær.

Det er mange faktorer som bestemmer en plantearts utbredelse og mye arbeide er lagt ned i å forklare artenes utbredelse ut fra de økologiske forhold. Svært mange arter tåler ikke sterk frost om vinteren, noe mange hageeiere har fått erfare. En slik plante er bøk (se figur 3). Dens østgrense i Europa faller sammen med temperaturen i årets kaldeste måned på -3 grader C. Den tåler ikke kaldere temperaturer om vinteren enn -40 grader C, og sannsynligheten for slike kulde-episoder er korrelert med middeltemperaturen for årets kaldeste måned. Hvis vintertemperaturen øker med 4 grader, skal man vente at bøken kommer til å utvide sitt eksistensområde til strøk som i dag har vintertemperaturer varmere enn -7 grader C (figur 4). Vi må da vente at bøken vil spre seg oppover Østlandet og på Vestlandet og også erobre store områder i Øst-Europa. Nå spres ikke bøken lett hvis den ikke blir hjulpet av mennesker. En annen art som vi må vente sprer seg, er plantanlønn, som er en art innført fra Mellom-Europa, men som i dag sprer seg på Vestlandet, i Trøndelag og Nordland.

Andre arter har sin utbredelse begrenset til områder med kalde vintre, en slik art er gran. Som vill har gran en utbredelsesgrense mot sørvest som faller sammen med forekomst av middeltemperaturer i årets kaldeste måned lavere enn -2 grader C beregnet for de høyeste områder i terrenget (figur 5). Som plantet vokser den godt utenfor grensen, men ser ut til å ha vanskeligheter med den naturlige foryngelse; etter avvikning av et bestand må det fornyes ved planting. Hvis vintertemperaturen øker med 4 grader C, vil granas potensielle areal som naturlig treslag bli innskrenket til områder som i dag har kaldere vintre enn -6 grader C (se figur 6). Da kan naturlig gran forsvinne fra store områder i Øst-Europa og i Alpene, og hos oss vil grana klare seg i våre dalstrøk og forsvinne fra Østlandets lavere områder.

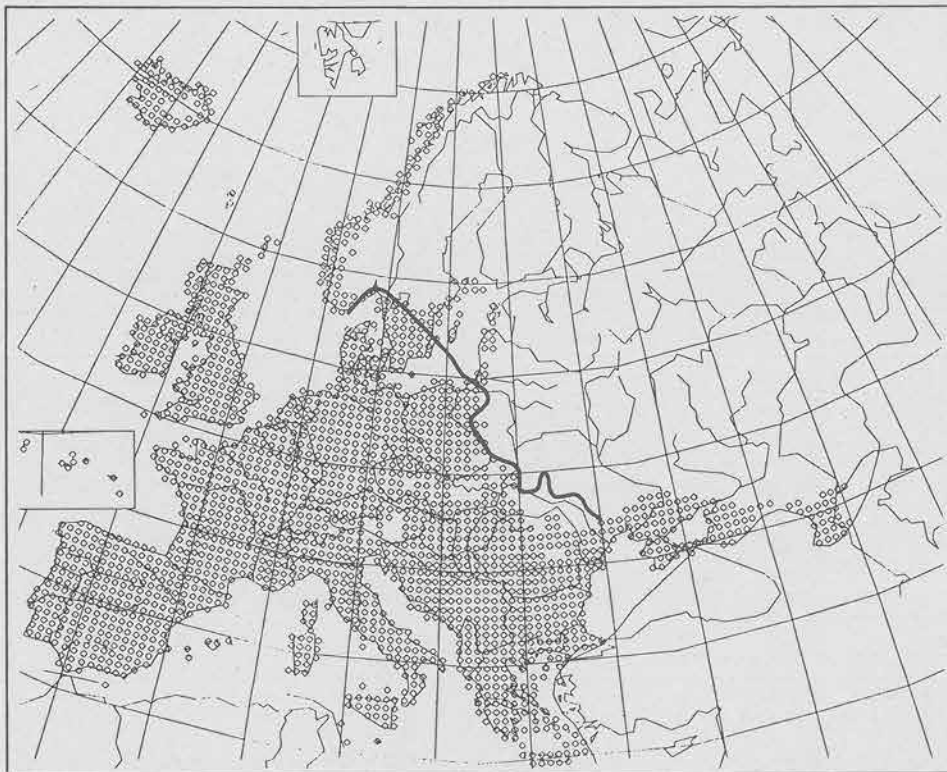
Mange arters nordgrense og høydegrense er bestemt av sommer-temperaturen. Et mål for sommertemperaturen er de såkalte respirasjonssummer (Dahl & Mork 1959, Skre 1972, 1979), som nettopp bygger på den modell som er illustrert i figur 1. Figur 7 gir den aktuelle utbredelsen av eik sette i forhold til en R-verdi (som er en naturlig logaritme til respirasjonssummen) på 1,9. Vi venter at respirasjonssummen skal øke med 1,5 enheter. Figur 8 gir da eikas potensielle areal begrenset av en R-verdi på 1,6.

Vi må vente at en rekke varmekjære treslag vil dra fordel av temperaturhevingen og bre seg nordover og oppover i fjellet. Det vil trolig gjelde arter som lønn, lind, svartor, alm og hassel, de siste to mest på Vestlandet og nordover.

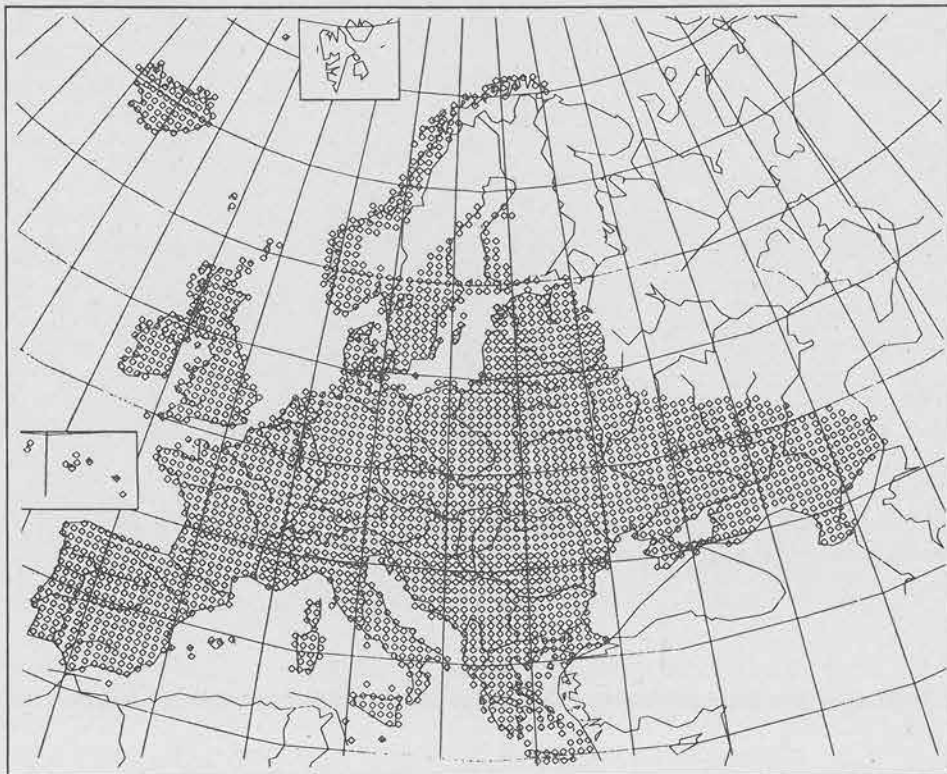
På den andre siden må vi vente at mange fjellplanter kan få sitt eksistensområde truet av klimaendringene idet lavlandets flora vandrer oppover. Særlig kan det gjelde en del spesielle arter som overlever som småpopulasjoner i våre fjell.

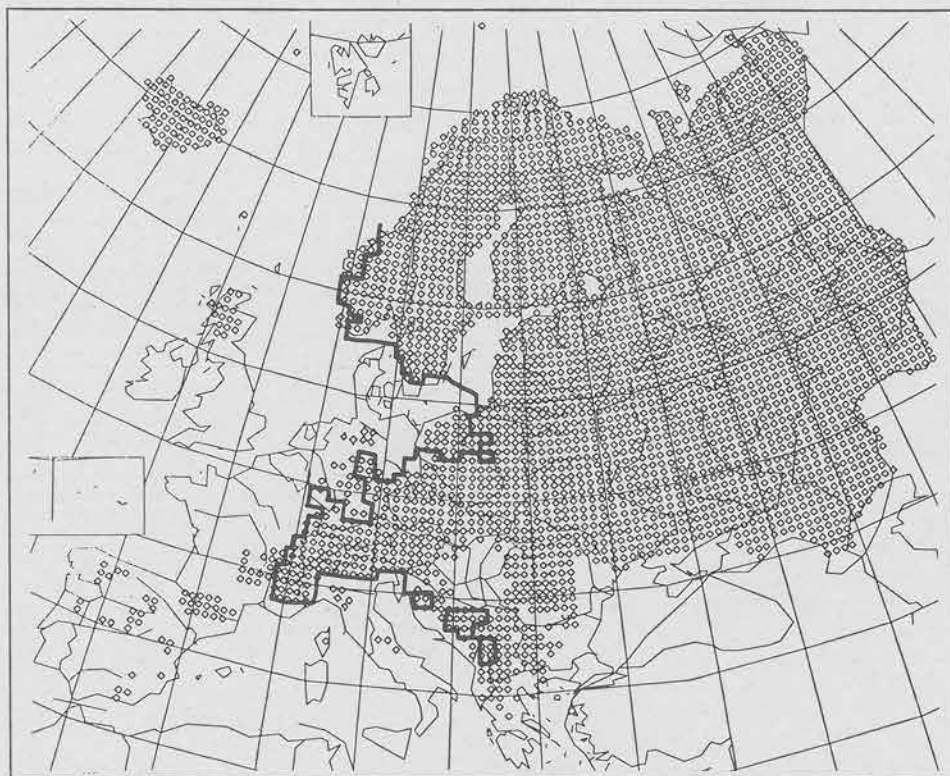
Figur 3

Den aktuelle østgrensen for bøk (*Fagus sylvatica*) i Nord- og Øst-Europa, angitt med heltrukken linje, sett i forhold til de laveste punkter (firkanter) i terrenget der middeltemperaturen i kaldeste måned er -3°C eller høyere. - The current eastern limit of beech (*Fagus sylvatica*) in Northeastern and East Europe, indicated by solid line, related to the lowermost points (squares) in the terrain where the mean temperature for the coldest month is -3°C or higher.

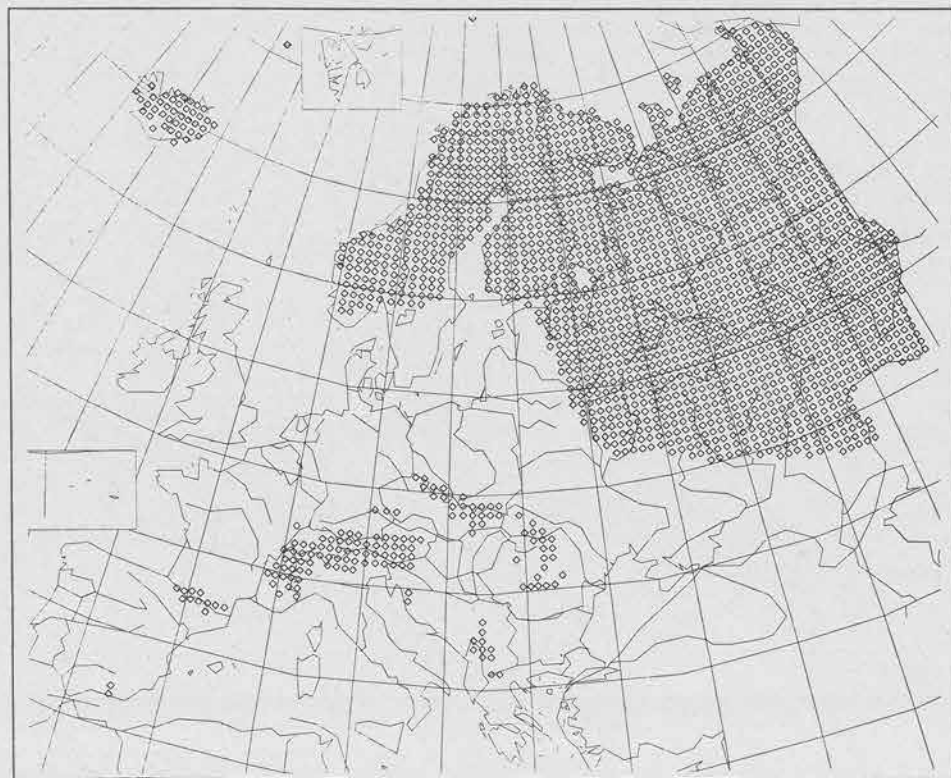
**Figur 4**

Potensiell utbredelse av bøk (*Fagus sylvatica*) forutsatt at vintrene er 4 grader varmere enn nå. - Potential distribution of beech (*Fagus sylvatica*) provided that the winters become 4 degrees warmer than at present.



**Figur 5**

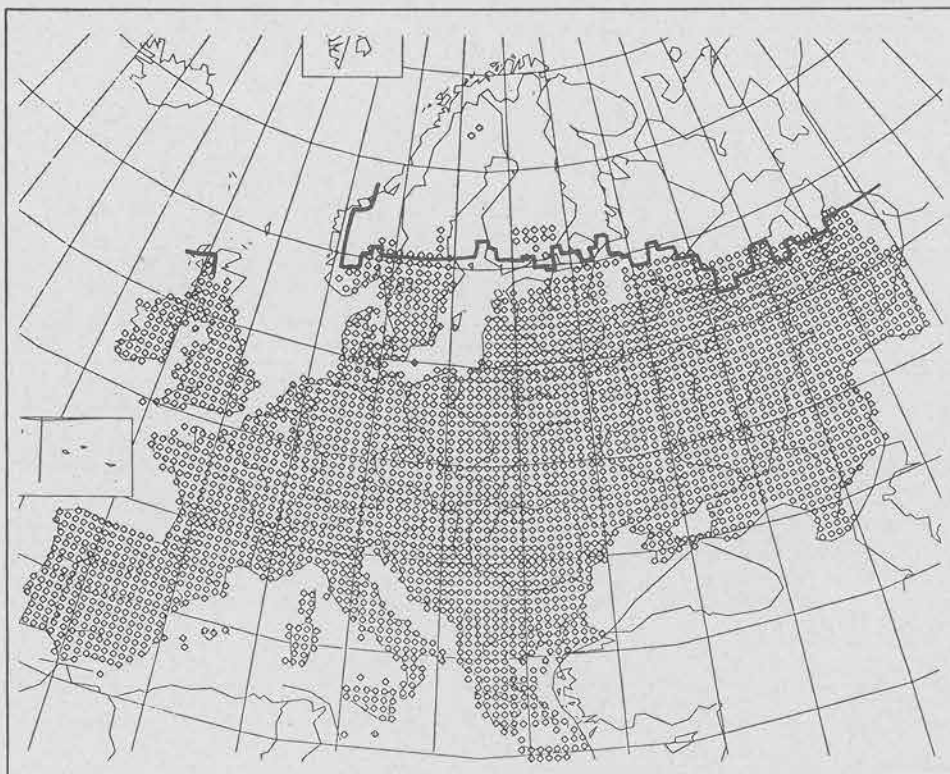
Den aktuelle vestgrensen for gran (*Picea abies*) i Europa, angitt med heltrukken linje, sett i forhold til de høyestliggende punkter (firkanter) der middeltemperaturen i kaldeste måned er $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ eller lavere. - The current western limit of Norway spruce (*Picea abies*) in Europe, indicated by solid line, related to the highest points (squares) where the mean temperature for the coldest month is $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ or lower.

**Figur 6**

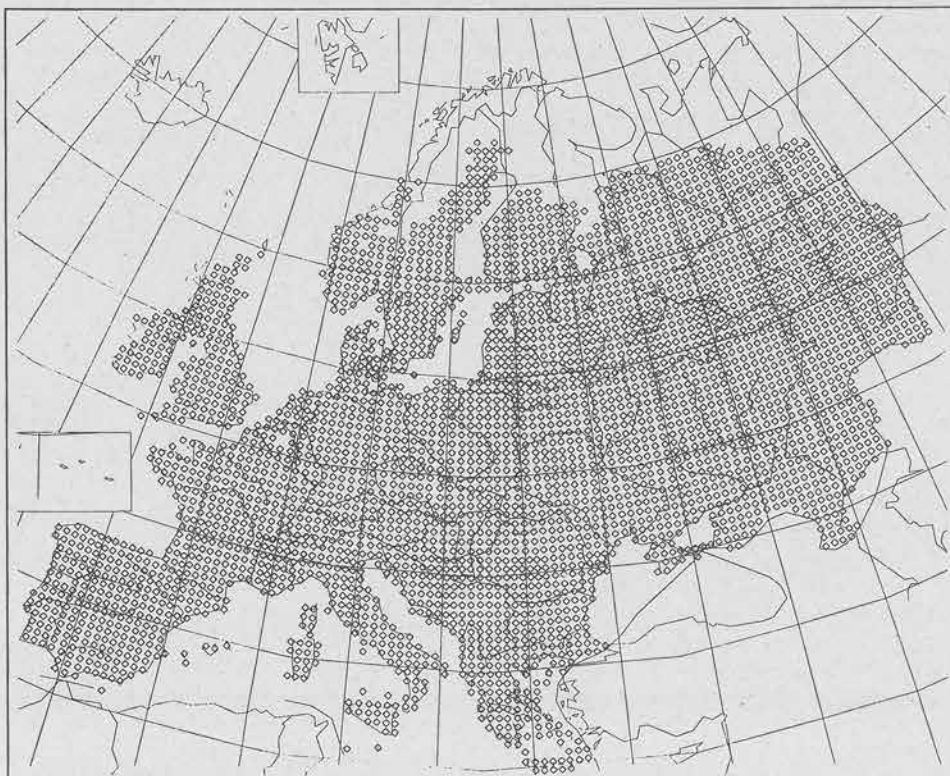
Potensiell utbredelse av gran (*Picea abies*) forutsatt at vintrene er 4 grader varmere enn nå. - Potential distribution of Norway spruce (*Picea abies*) provided that the winters become 4 degrees warmer than at present.

Figur 7

Den aktuelle nordgrensen for utbredelse av eik (*Quercus robur*) sammenholdt med områder med en R-verdi (se teksten) på 1,9 eller høyere. - The current northern limit of common oak (*Quercus robur*) related to areas with R value (see text) of 1.9 or higher.

**Figur 8**

Potensiell utbredelse av eik (*Quercus robur*) forutsatt at sommermånedene er 2 grader varmere og vintermånedene 4 grader varmere enn nå. - Potential distribution of common oak (*Quercus robur*) provided that the summer months are becoming 2 degrees warmer than at present, and the winter months 4 degrees warmer.



Genetisk tilpasning til klimaendringer. Plantene har gjennom en lang evolusjonsprosess tilpasset seg forholdene på steder der de nå vokser; tilpasningen har skjedd ved endringer i plantenes arveegenskaper ved mutasjon og seleksjon. Det er en langsom prosess som i naturen tar mange generasjoner. Slike tilpasninger har funnet sted etterhvert som klimaet langsomt endret seg etter istiden fra istidsforhold under maksimum for 18 000 år siden til varmeperioden for 6 000 år siden dvs. i løpet av 12 000 år. Det var en nesten umerkelig forandring fra år til år. Men her står vi overfor muligheter for like store klimaendringer i løpet av 100 år. Klimaet kan endre seg for fort til at plantepopulasjonene klarer å tilpasse seg, og det er fare for at de dør ut.

En viktig tilpasning for planter i kjølige strøk er mellom plantenes livssyklus på den ene siden og den klimatiske årstidssyklus på stedet. Hvis en populasjon skal overleve, må planten begynne veksten til riktig tid, blomstre og sette frø før vinteren setter inn, og da må også de overvintrende skudd ha gått i hvile før vinterkulden. Denne synkroniseringen styres av en tilpasning mellom plantenes fysiologi på den ene side og miljøsignaler fra omgivelsene på den andre. En viktig mekanisme er at mange planter reagerer på daglengden, de begynner sin vekst når dagene blir lengre enn en viss verdi om våren og avslutter når dagene blir korte om høsten. Men det kan også være temperaturforhold som styrer prosessen, f.eks. at en arts vekst om våren først kommer i gang når nettene er blitt tilstrekkelig varme. Svært alminnelig er at det er et samspill mellom daglengde- og temperatureffekter. For eksempel kan en plante gå i hvile om høsten når dagene blir korte. Men for å anlegge neste års skudd kreves deretter en kjølig vinter. Og våren deretter vil ikke skuddene utvikle blomster før dagene igjen er blitt lange. Det er tallrike kombinasjoner av slike forhold som bestemmer til hvilke årstider planter skal bryte vinterhvile, begynne å blomstre, produsere frø og gå i hvile.

Klimaforhold og årstidsskiftninger er forskjellige i forskjellige deler av en plantearts utbredelsesområde. Det vil si at en populasjon fra et nordlig område kan stoppe veksten om høsten ved en lengre daglengde enn en sørlig populasjon. For eksempel fant Heide (1974) at gran fra Trøndelag stoppet veksten når dagene ble kortere enn 21 timer om høsten, mens gran fra Østerrike først stoppet når dagene ble kortere enn 15 timer.

Slike egenskaper er arvelig forankret, og forandres ved en langsom evolusjon under plantenes tilpasning til miljøforholdene. Vi får differensiert ut en rekke raser, økotyper, der egenskapene står i sammenheng med miljøforholdene; skogbrukere kaller det provenienser. En tommelfingerregel sier at hvis en plante fra et nordlig område (nordlig proveniens) flyttes sørover, vil den bryte vinterhvilen tidligere enn stedegne provenienser og risikerer å bli skadet av sene vårfroster, men avslutter veksten tidligere om høsten. Omvendt vil sørlige

provenienser som flyttes nordover starte senere om våren enn stedegne provenienser, men fortsette veksten lengre utover høsten og risikerer å bli skadet av tidlig høstfrost.

Slike provenienser spiller en stor rolle i skogskjøtselen. For eksempel da vi ville innføre sitkagran til Norge, ble det samlet inn frø fra en rekke steder langs Nord-Amerikas vestkyst som deretter ble dyrket ved Bergen. De sørligste proveniensene døde tidlig, og det var bare de nordligste fra kysten av Alaska som kunne klare seg i vårt klima.

Det er gjort atskillige forsøk med flytting av provenienser i skogbruket og slett ikke alltid med et vellykket resultat. For planting i norsk skog er det derfor gitt enkelte retningslinjer (Anonymus 1961). Det anbefales ikke å flytte nordlige og kuldetilpassete provenienser sørover og til varmere klima idet produksjonen vanligvis blir mindre enn det de stedegne provenienser kan prestere. Derimot kan man flytte provenienser fra lavlandet oppover i begrenset utstrekning, grensen er satt til 300 m for gran og 200 m for furu. Det viser seg også at ulike provenienser har forskjellig følsomhet for kulde og motstandskraft mot parasittangrep.

Slike forhold kan være viktig i skogplantingen. De trær vi planter idag vil knapt bli hogstmodne i 2030 da CO₂-innholdet i atmosfæren kan være fordoblet. Hvis plantingens dør underveis, får vi lite glede av vår kultur. Det kan bli spørsmål å flytte provenienser høyere opp enn man normalt ville gjøre. Det kan bli spørsmål om å plante importerte treslag som er tilpasset høyere temperaturer enn våre skogstrær, f.eks. vestamerikanske treslag som Douglasgran eller *Abies*-arter. Det kan bli spørsmål om det er mulig ved foredling å få frem mer produktive eller robuste raser.

Det er også fare for at mange av våre truede og sjeldne arter vil bukke under pga. klimaendringer. Kanskje kan noen sørlige arter som hos oss lever nær sin nordgrense ha fordeler. Men for andre elementer er det mer sannsynlig at de vil bukke under fordi de økotyper som finnes ikke kan tilpasse seg klimaendringene. Dessuten vil også konkurranseforholdene endres, og mange truede arter er konkurransevake som overlever i spesielle økologiske nisjer. For slike arter kan det bli aktuelt å bevare dem for fremtiden i kultur i botaniske hager eller i form av frøbanks.

Til slutt kan klimaendringene også true vernet av verdifulle økosystemer f.eks. verneverdige skogstyper fordi de skogstyper man ønsker å bevare ikke klarer å tilpasse seg klimaendringene. Klimaendringene vil sikkert forskyve konkurranseforholdene mellom arter slik at noen arter kan bukke under, andre kan spre seg. Det vil si at det kan bli umulig å bevare mange typer av økosystemer på de steder der de vokser i dag.

2.3 Litteratur

- Anonymus 1961. Forskrifter om frø- og planteforsyningen i skogbruket. - Utgitt av skogdirektøren 1957 (revidert 1961). Oslo.
- Dahl, E. & Mork, E. 1959. On the relationships between temperature, respiration and growth in Norway spruce. - Medd. norske Skogfors. Ves. 53: 83-93.
- Eamus, D. & Jarvis, P.G. 1989. The direct effects of increase in global atmospheric CO₂ concentration on natural land commercial temperate trees and forests. - Advances Ecol. Res. 19: 1-55.
- Farquhar, G.D. & v. Caemmerer, S. 1982. Modelling of photosynthetic responses to environmental conditions. - I Physiological plant ecology. II. Water relations and carbon assimilation. s. 615-676. Encyclopedia of plant physiology. 12 B. Springerverlag. Berlin.
- Farquhar G.D., O'Leary, M.H. & Berry, J.A. 1982. On the relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular carbon dioxide concentration in leaves. - Austr. J. Plant. Physiol. 9: 121-137.
- Heide, O.M. 1974. Growth and dormancy in Norway Spruce ecotypes (*Picea abies*). I. Interaction of photoperiod and temperature. - Physiol. Plant. 30: 1-12.
- Körner, C, Scheel, J.A. & Bauer, H. 1979. Maximum leaf diffusive resistances in vascular plants. - Photosynthetica 13: 45-82.
- Körner, C, Farquhar, G.D. & Roksandic, Z. 1988. A global survey of carbon isotope discrimination in plants from high altitude. - Oecologia 74: 623-632.
- Loomis, R.S. & Gerlakis, P.A. 1975. Productivity of agricultural ecosystems. - I Cooper, J.P., red. Photosynthesis and Productivity in Different Environments. s. 145-172. Cambridge Univ. Press.
- Raven, J.A. 1983. Evolution of plant life forms. - I Givnish, T.J., red. On the economy of plant form and function. s. 421-493. Cambridge Univ. Press.
- Skre, O. 1972. High temperature demands for growth and development in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in Scandinavia. - Meld. Norges Landbrukshøgskole 51,7: 1-29.
- Skre, O. 1979. The regional distribution of vascular plants in Scandinavia with requirements for high summer temperatures. - Norw. J. Bot. 26: 295-318.
- de Vries, Penning F.W.T. 1974. Substrate utilization and respiration in relation to growth and maintenance in higher plants. - Neth. J. Agr. Sci. 22: 40-44.
- de Vries, Penning, F.W.T. 1975. Use of assimilates in higher plants. - I Cooper, J.P., red. Photosynthesis and productivity in different environments. s. 459-480. International Biological Programme 5. Cambridge. Univ. Press.
- de Vries, Penning, F.W.T. Jansen, D.M., ten Berge, H.F.M & Bakema, A. 1989. Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops. - Simulation Monogr. 29. PUDOC, Wageningen. 271 s.

3 Virkninger på flora og vegetasjon

3.1 Forutsetninger for de botaniske virkningsscenarioene

Klimatiske forutsetninger. De klimatiske forutsetningene er klimaprognoser for Norge utarbeidet av Eliassen & Grammelvedt, DNMI i brev til Miljøverndepartementet 1.2.1990. Klimascenarioene er i følge meteorologene usikre og må betraktes som foreløpige. For våre virkningsanalyser har vi derfor forenklet og lagt oss på de samme temperaturscenarioene for hele landet, det vil si en forventet temperaturstigning vintermånedene desember, januar og februar på 4 °C ved en 2 x CO₂-atmosfære, og tilsvarende temperaturøkning på 2 °C for sommermånedene juni, juli og august. Disse temperaturscenarioene er bl.a. brukt som grunnlag for konstruksjon av kartet med potensielle vegetasjonsregioner (vedlagt utredningen).

Virkningsanalysene på flora og vegetasjon inkluderer ikke den direkte innflytelse som CO₂ har på vekst og utvikling hos planter, men baserer seg på den indirekte virkningen av CO₂-økning i atmosfæren på klimaet, i første rekke temperatur- og nedbørsforhold.

Nedbørsscenarioene er mer usikre enn temperaturscenarioene, og er derfor tillagt mindre vekt enn temperaturscenarioene, under diskusjonen om utvikling av vegetasjonsregioner, planter samfunn og utbredelsesmønster. De foreløpige **snødekke- og markfuktighetsscenarioene** (N.R. Sæthun, NVE, pers. medd.) har hatt en del betydning for våre prognoser av vegetasjonsutviklingen i fjellstrøkene og for indre strøk av Sør-Norge.

Det må presiseres at våre vurderinger og konklusjoner er av foreløpig karakter, både på grunn av usikre og foreløpige klimascenarioer og at tidsrammen for utredningene ikke har tillatt grundig fordypning i de mange aktuelle problemstillingene. Utredningene må derfor følges opp av omfattende forskningsaktivitet innenfor "vegetasjonsøkologiske virkningsanalyser" knyttet til klimaendringer.

Ekstreme værepisoder. Det er en kjennsgjerning at planters og dyrs utbredelse i sterk grad påvirkes av ekstreme værforhold. Ekstreme værepisoder kan være sterke stormer med stormfelling i skog, eller ekstremt lave temperaturer. Sistnevnte faktor kan være svært virksom hvis de lave temperaturer forekommer i starten av vekstsesongen (senfrost) eller før avslutningen av vekstsesongen (tidligfrost), før plantene er godt fysiologisk herdet og innvintret. Det norske klimascenariet inkluderer nettopp mer ekstremt vær, f.eks. i form av ster-

kere og hyppigere stormer, foruten mer bygenedbør. Vi vet at stormfelling i skog skaper åpninger i bestandene, noe som kan ha innflytelse på suksesjoner i skogplantesamfunnene og eventuell nyinnvandring av nye plantearter.

Biologiske forutsetninger

Hastighet for forandringene av plantedeckket. Forandringene (suksesjonene) i norsk vegetasjon vil ikke kunne gå i takt med så raske klimaendringer som er antydning i klimaprognoene. Det vil være en betydelig "time lag" (tidsforskyving) eller forsinkelse i vegetasjonsdekket. Etter at gode betingelser for frøspredning kan ligge til rette gjennom nye klimabetingelser, forutsettes også at betingelser for **nyetablering** av arter utenfor sitt tidligere utbredelsesområde ligger til rette. Dette kan ta lang tid, kanskje mange hundre år i størstedelen av norsk skogsvegetasjon, hvis man forutsetter at de eksisterende plantearter i norsk vegetasjon er vitale og dermed **konkurrensdyktige**. Et lukket landskap med naturlige og stabile skogsøkosystemer kan muligens yte svært stor motstand mot innvandring av nye arter. Eventuelle hyppige stormfelling kan komme til å få stor betydning for hastigheten av forandringene i skogplantesamfunnene. Hastigheten av forandringene (suksesjonene) vil også i sterk grad avhenge av hvor fort jordsmonnet forandrer seg under nye temperatur-, nedbør- og hydrologiske forhold. Kulturbetingete plantesamfunn og monokulturer er ustabile plantesamfunn hvor innvandring av nye arter, bl.a. ugras, kan skje betydelig raskere enn i de naturlige skogsøkosystemene. Alt i alt er hastigheten av innvandrings-, etablerings- og suksesjonsprosessene ved så raske klimaendringer vanskelig å vurdere (se også 3.3 og 3.5), og blir viktige framtidige forskningsområder (se 6).

Hypoteser og kunnskapsgrunnlag. Diskusjonen av utbredelsestypen hos plantearter, plantesamfunn og vegetasjonsregioner i denne utredningen (se vedlagt kart over potensielle vegetasjonsregioner under det norske 2 x CO₂-scenariet) bygger på en rekke hypoteser for hvordan klimafaktorene, vesentlig temperatur og fuktighet, begrenser plantenes utbredelse i vårt land. Hovedhypotesen bak konstruksjon av det vedlagte vegetasjonsregionkartet (se 3.1) er respirasjonshypotesen (Dahl & Mork 1959, Skre 1979, 1990) med datagrunnlag i tidligere publisert kart over vegetasjonsregioner for Norge (Dahl et al. 1986). **Det vedlagte kartet og arealberegningene av regionene er å betrakte som foreløpige og må revideres så snart klimascenariene er sikrere.** Resonnementer for mulig utvikling av kystplanter/kystplantesamfunn og østlige planter/østlige plantesamfunn i denne utredningen baserer seg bl.a. på hypoteser fra planteutbredelse i forhold til klimafaktorer i arbeidet av (Dahl 1951, Fægri 1960, Holten 1986, Salvesen 1988, 1989). Utbredelsesdata og plangeografiske forhold, mest i form av prikkkart, har også vært viktig for denne utredningen. Grunnleggende plantegeografiske ar-

beider er her Dahl (1950), Fægri (1960), Hultén (1971), Gjærevoll (1973), Hultén & Fries (1986).

3.2 Forflytting av vegetasjonsregioner i Norge

Under det mest sannsynlige klimascenariet for Norge (Eliassen & Grammelvedt 1990 brev til Miljøverndepartementet 1.2.1990), er det laget et virkningsscenario for vegetasjon, med fordeling av vegetasjonsregioner på Norges-kart i målestokk 1:3 mill. (Holten 1990). Kartet baserer seg på respirasjonshypotesen. Denne hypotesen forsøker å forklare hvordan sommertemperaturen virker på vekst hos planter (Dahl & Mork 1959, Skre 1990, Dahl 1990). Ved hjelp av meteorologiske data, her med opplysninger om januar- og julimiddeltemperatur (T₁ og T₇ respektive) fra et bestemt sted, og vertikale temperaturgradienter (0,6 °C/100 m), kan man ved hjelp av nedenforstående likning (Skre 1979) teoretisk beregne hvor mye en vegetasjonsregion eller sonegrense kan forflytte seg mot høyden eller mot nord.

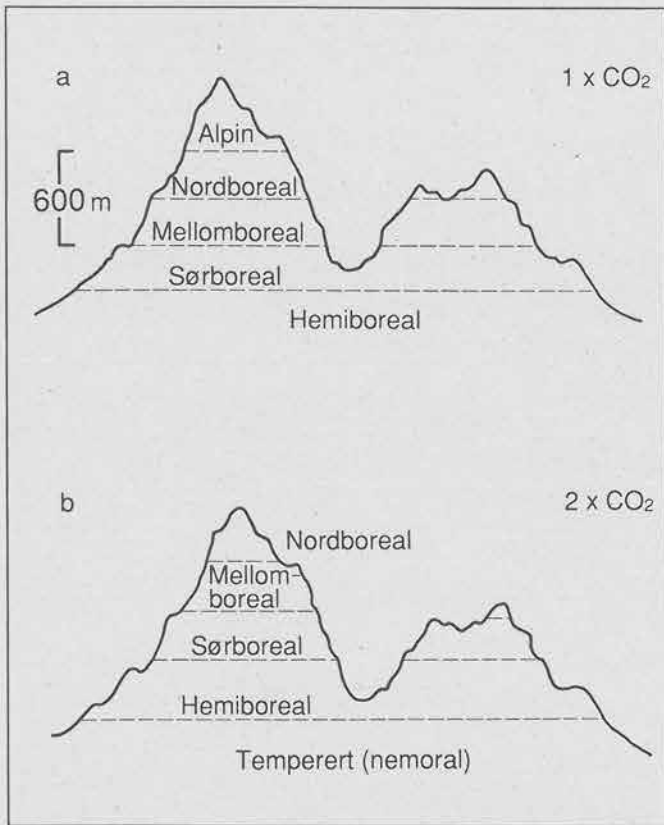
$$Re = 0,575 T_7 + 0,101 T_1 - 2,77$$

Med det gitte temperaturscenariet, vil vegetasjonsregionene kunne forflytte seg mot høyden 300-400 m, det tilsvarer ca 1,5 vegetasjonsregion i indre strøk. Eksempel: Den eksisterende grensen for overgangen hemiboreal (boreonemoral) - sørboreal vil under 2 x CO₂-scenariet, forflytte seg mot høyden til midt inn i mellomboreal region.

Kartet over potensielle vegetasjonsregioner er utelukkende basert på endringer av temperaturklimaet, med vekt på sommertemperaturen. Dette begrunnes med den lenge kjente sammenhengen mellom temperaturklima og vegetasjonsregioner, og at nedbørsscenarioene så langt er temmelig usikre. De økologiske virkningene av endringer i nedbørsklimaet blir diskutert under 3.3 og 3.4.

Forflytting av vegetasjonsregioner medfører arealforskyvinger av de ulike vegetasjonsregionene og av artsarealer. (MacArthur 1972, Peters & Darling 1985). **Figur 1** viser at alpin region går ut, mellom- og nordboreal region blir sterkt fragmentert, og at en ny nemoral (temperert) region kommer inn i lavlandet ved en vertikal forflytting av regionene på 300-400 m. **Figur 1** illustrerer også hva som prinsipielt skjer med forflytting av vegetasjonsregioner fra 1 x CO₂-scenariet på kartet til Dahl et al. (1986), til 2 x CO₂-scenariet på vedlagte kart over potensielle vegetasjonsregioner (se også nedenfor).

Et virkningsscenario på forflytting av vertikale vegetasjonssoner er også laget for et kyst-innland-profil i Midt-Norge (Holten 1989, 1990). Dette scenariet bygger på et grunnleg-



Figur 1
Prinsippsskisse for vertikal fordeling i Sør-Norge av vegetasjonsregioner under $1 \times \text{CO}_2$ - og $2 \times \text{CO}_2$ -scenariet. - Principle sketch of vertical distribution in South Norway of vegetation regions during the $1 \times \text{CO}_2$ and the $2 \times \text{CO}_2$ scenarios.

gende arbeid utført 1978-84, med kartlegging av vertikalutbredelse og habitater til 150 arter, fordelt på 91 karplanter, 34 bladmoser, 8 levermoser og 17 lavararter. Hypotesen med hensyn til begrensende klimafaktorer for artsutbredelse er satt fram. Hovedfaktorene for utbredelsen av artene ble antatt å være sommertemperatur, vintertemperatur og humiditet. På grunnlag av plantenes vertikale utbredelsesmønster er det fastlagt posisjoner for vegetasjonssoner og oseanitetsektorer under det aktuelle klimaet. Dette basisarbeidet (Holten 1986) er funnet godt egnet i forbindelse med forutsigelsen av nye utbredelsesarealer under et $2 \times \text{CO}_2$ -scenario.

Aktuelle vegetasjonsregioner

Den aktuelle regioninndelingen av vegetasjonen i Norge bygger i hovedsak på vegetasjonsregionkartet i 1:1,5 mill. av Dahl et al. (1986). Karakterisering av regionene, diskusjon av kriterier for inndelingen og forklaring av faguttrykk finnes hos Holten (1983) og Moen (1987):

Nemoral region (temperert edellauskogssone). I nemoral region er eik klimakstreslag, og eikeskogssamfunn har dominerende forekomst. Få plantearter har eksklusiv forekomst i nemoral region i Norge, f.eks. agderstarr (*Carex divulsa*) og firtann (*Teucrium scorodonia*). Barskog mangler i nemoral region, bortsett fra furu på rabber (skrinjordfuruskog). Nemoral region er bare representert på sørspissen av Norge. Utgjør bare ca 0,7 % av landarealet (figur 2a, e).

Hemiboreal region (boreonemoral region). Regionen er en overgangsregion mellom de sørlige og varmekjære edellauskogene med hovedforekomst i Mellom-Europa, og de nordlige barskogene. Edellauskog med eik, ask, alm, lind og hassel, foruten varmekjære urter og gras forekommer i sørvendte ller med varmt lokalklima. Regionen danner bredt belte på Østlandet og Sørlandet. På Vestlandet og i Midt-Norge har regionen hovedforekomst i bratte sørskråninger i midtre og indre fjordstrøk opp til ca 400 m over havet. Utgjør totalt ca 7,1 % av landarealet (figur 2a, e).

Sørboreal region (sørlig barskogssone). Utgjør den sørligste og mest produktive barskogen i det boreale barskogsbeltet (Hämet-Ahti 1981). Store arealer med gråorskog og høgmyr finnes i regionen, og består av edellauskog med alm og hassel i sørvendte, bratte ller i indre strøk. Mange varmekjære arter har sine nordgrenser i Europa innenfor sørboreal region. En rekke nordlige arter, bl.a. dvergbjørk (*Betula nana*) og turt (*Lactuca alpina*), er med og definerer regionen mot hemiboreal region i sør. Regionen går nord til Ofoten (Veggfjellet). Utgjør ca 10,3 % av landarealet (figur 2a, e).

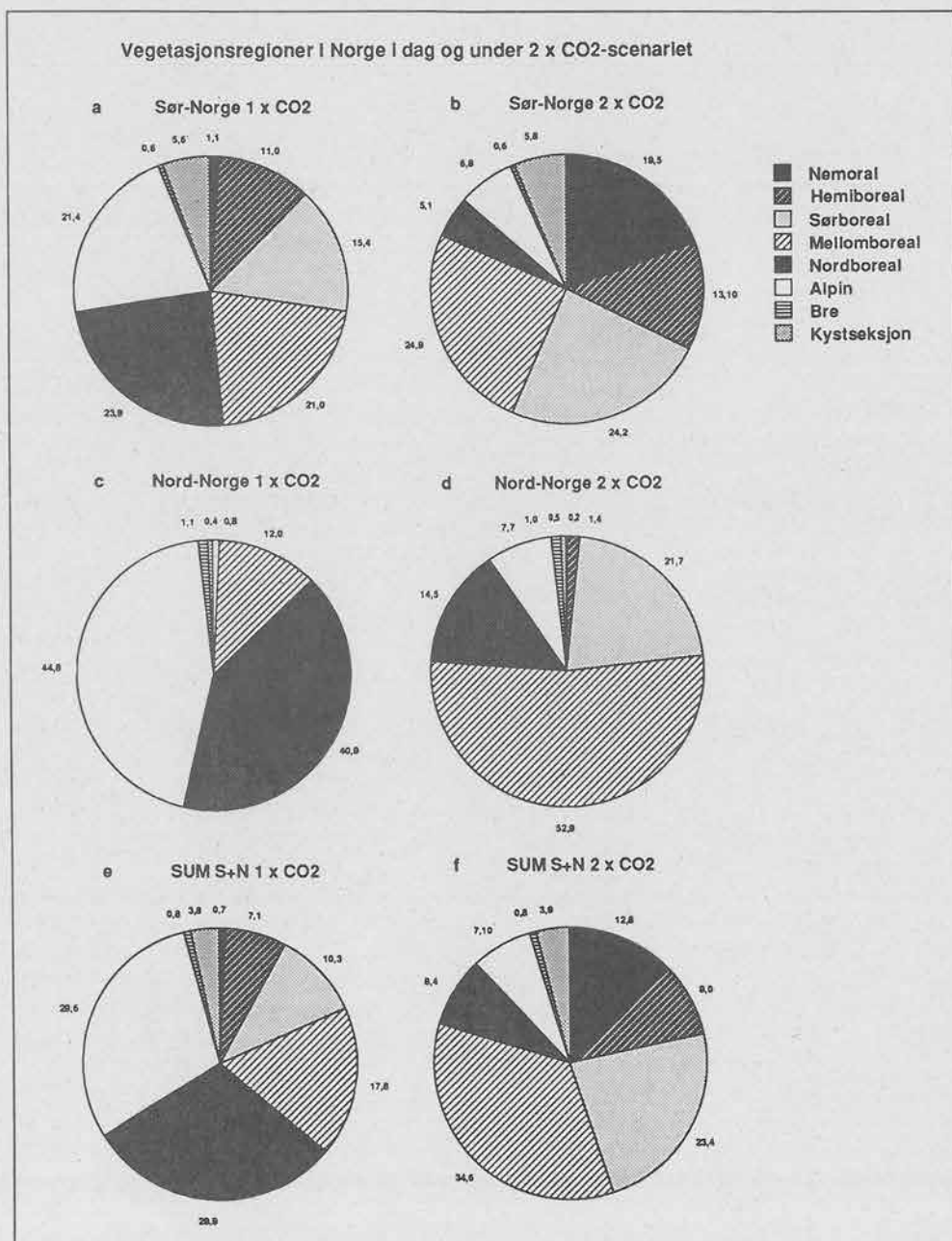
Mellomboreal region (midtre barskogssone). Dominans av barskog og fravær av varmekjære plantesamfunn i streng forstand. Avgrenses oppover av forekomster med velutviklet gråorskog og stor forekomst av lågurtskoger med gran og bjørk. Store myrarealer finnes, og bakkemyrer opptrer fra denne regionen og oppover. Regionen går sammenhengende over fra Østlandet til Møre og Romsdal og Trøndelag via de store dalførene, og nord til Alta og Pasvik. Omfatter ca 17,8 % av landarealet (figur 2a, c, e).

Nordboreal region (fjellskogssone). Regionen domineres av fjellbjørkeskog og glissen fjellbarskog med gran og furu. Store minerotrofe myrarealer finnes i regionen. Øvre grense defineres av klimatisk skoggrense, dvs. opptil ca 1200 m i sentrale deler av Sør-Norge. En rekke ekte alpine plantearter går ned i regionen, f.eks. blålyng (*Phyllodoce caerulea*), greplyng (*Loiseleuria procumbens*) og rabbesiv (*Juncus trifidus*). Er arealmessig vår største vegetasjonsregion, særlig på indre Østlandet, sørøst for Jotunheimen og Rondane. Mesteparten av skogarealene i Nord-Norge er nordboreale. Utgjør ca 29,9 % av landarealet (figur 2a, c, e).

Alpin region (fjellregionen). Deles gjerne inn i tre underregioner i lavalpin region (lavfjellbeltet), mellomalpin region og høyalpin region. Lavalpin region karakteriseres av blåbærheier og viersamfunn. Går opp til ca 1500-1600 m i sentrale fjellstrøk i Sør-Norge. Mellomalpin region mangler forvedete vekster og karakteriseres ofte av grashei- og snøleievegetasjon. I høyalpin region mangler sammenhengende dekke av karplanter. Lav- og mosesamfunn kan dominere høyalpin region

på steder hvor snødekket ikke er for djupt og langvarig. Alpin region utgjør ca 29,6 % av landarealet, i Nord-Norge 44,8 % (figur 2a, c, e).

Kystseksjonen (lyngheiseksjonen). Utgjør et hovedsakelig skogløst kystbelte mellom Lista til Lofoten. Oseanisk lynghei med røsslyng (*Calluna vulgaris*) dominerer. Kystseksjonen er delt i et lavlandsbelte, prealpint belte og alpint belte av Dahl et al. (1986). Utgjør ca 3,8 % av landarealet (figur 2a, c, e).



Figur 2

Sektordiagram med den prosentvise fordelingen av vegetasjonsregioner i Norge i dag (1 x CO₂) og under 2 x CO₂-scenariet. a - Sør-Norge 1 x CO₂, b - Sør-Norge 2 x CO₂, c - Nord-Norge 1 x CO₂, d - Nord-Norge 2 x CO₂, e - sum Sør- og Nord-Norge 1 x CO₂, f - sum Sør- og Nord-Norge 2 x CO₂. - Sector diagram of the percentage area of vegetation regions in Norway to-day (1 x CO₂) and during the 2 x CO₂ scenario. a - South Norway 1 x CO₂, b - South Norway 2 x CO₂, c - North Norway 1 x CO₂, d - North Norway 2 x CO₂, e - sum South and North Norway 1 x CO₂, f - sum South and North Norway 2 x CO₂.

Vegetasjonsregioner under 2 x CO₂-scenariet

Den forutsagte forflyttingen av vegetasjonsregionene vertikalt på 300-400 m eller 1,5 vegetasjonsregion, vil svært sannsynlig også innebære kvalitative endringer av plantesamfunnene i regionene pga. de endrete konkurranseforhold som vil oppstå mellom artene. Etter som vi er svært usikre på hvilken retning den floristiske endringen vil ta, i de forskjellige regioner og i de forskjellige områder i landet, vil vi diskutere nedenfor regionforflytting rent kvantitativt. Kvalitative endringer vil bli diskutert under 3.3 og 3.4. Endrete nedbørsforhold og dermed hydrologiske forhold, som begge har usikre scenarier så langt, er med og kompliserer resonnetet ytterligere og rettferdiggjør derfor den forenklingen som er gjort. Vurdering av endringer av kystseksjonen og av breer er ikke foretatt; disse arealene er derfor de samme for det aktuelle vegetasjonsregionkartet (Dahl et al. 1986) og på det vedlagte kartet over potensielle vegetasjonsregioner. Endringen i vegetasjonsregionene fra aktuell til 2 x CO₂-scenariet vil bli diskutert i lys av 3 prosesser i økosystemene:

- Nyinnvandring (spredning og etablering i nye områder)
- Fragmentering (oppsplitting av sammenhengende og større arealer til mange små arealer)
- Utrydding

Nemoral region (temperert edellauvskogssoner). Vil gå sterkt fram, særlig på Sørlandet og i Sørøst-Norge (se vedlagt kart over potensielle vegetasjonsregioner), pga. nye klimasoner gjennom drivhuseffekten. Nemoral region vil utgjøre en helt ny vegetasjonsregion på Vestlandet og i Trøndelag. I Sørøst-Norge vil regionen strekke seg inn til omtrent Flisa (Østerdalen), Lillehammer, Enger-Sørum ved Randsfjorden, Veikåker (Hallingdal), Flesberg (Numedal), Hjartdal og Vrådal (Telemark) og inn til Evje (Setesdal) på Sørlandet. På Vestlandet vil regionen i hovedsak innta dagens arealer for hemiboreal region, dvs. opp til maksimum 300-400 m i bratte sørskråninger. I Trøndelag vil nemoral region ha potensielle til å innta lavlandsarealene rundt hele Trondheimsfjorden opp til 200-300 m. Med hensyn til innvandringsmuligheter for nemorale arter til Norge fra sør, se nedenfor, i 3.2. Spredte forekomster av de nemorale regionen nord til Rana. Arealene for nemoral region vil kunne endre seg fra 1,1 % i dag til 12,8 % under 2 x CO₂-scenariet (se figur 2e, f). For Sør-Norge vil nemoral region utgjøre ca femteparten av landarealet.

Hemiboreal region (boreonemoral region). Denne regionen vil få en mindre arealøkning, fra 7,1 % til 9,0 % (figur 2e, f). Regionen vil grovt sett innta de øvre deler av dagens sørboreale region og mesteparten av mellomboreal region. Usammenhengende forekomster mellom Nord-Trøndelag og Ofoten (Veggfjellet). Ekstrasonale forekomster av edellauvskog vil kunne forekomme nord til Nord-Troms (Reisadalen), kanskje ekstremt nord til Altavassdraget.

Sørboreal region (sørlig barskogssone). Vil omfatte arealene for de sørligste barskogsområdene i Norge. Hovedområdene blir (se kart over potensielle vegetasjonsregioner) de øvre åsområder og øvre dalsider på indre Østlandet. Regionen vil være sammenhengende mellom indre Østlandet over Gudbrandsdal og Lesja til Romsdal, til Trøndelag over Kvikne i Hedmark til Orkladaløret, over Røros til Gauldalen og over Brekken-Rien-Tydalen til Neadaløret. Sørboreal region vil også være sammenhengende mellom Trøndelag og Jämtland/Härjedalen i Sverige. De større dalførene i Troms og Finnmark blir sørboreale. Arealet av sørboreal region blir litt mer enn fordoblet i forhold til dagens situasjon (fra 10,3 % til 23,4 %, se figur 2e, f).

Mellomboreal region (midtre barskogssone). Den mellomboreale regionen vil bli den arealmessig største regionen under 2 x CO₂-scenariet. Regionen vil få en særlig stor økning i Nord-Norge, fra 12,0 % til 52,7 %, og i Sør-Norge fra 21,0 % til 24,9 % (se figur 2). For Norge i sin helhet blir arealet fordoblet, fra 17,8 % til 34,6 %. Den store økningen kommer fra dagens store nordboreale region og en del av dagens alpine region. En annen viktig medvirkende årsak til den forutsagte store mellomboreale regionen er at flere høyfjellsplatåer som Hardangervidda, Dovrefjell, Gauldalsvidda og mesteparten av Finnmark, er potensielle mellomboreale skogarealer.

Nordboreal region (fjellskogssone). Denne regionen vil gå sterkt tilbake i areal, fra dagens 29,9 % til 8,4 % under 2 x CO₂-scenariet (figur 2). Samtidig vil nordboreal region påvirkes av en sterkt naturlig fragmentering pga. forflyttingen mot større høyder (jf. figur 1). På grunn av målestokken på kartet (1:3 mill.) og bratt topografi har vi valgt en direkte overgang fra mellomboreal til alpin region i de sentrale fjellstrøk. Dette bevirker at arealene for den nordboreale regionen er satt noe lavt. Større nordboreale arealer er utfigurert på nordlige Hardangervidda og i Troms-Finnmark. Fragmenteringen av nordboreal region synes å bli særlig stor på indre Østlandet, fjellområdene mellom Østlandet og Trøndelag, og i grensefjellene mellom Norge og Sverige (i Hedmark, Trøndelag og Nordland). I de sistnevnte områdene vil nordboreal region forekomme som øyer i det boreale skogslandskapet. Det samme vil være tilfelle med nordboreal region i Troms og Finnmark.

Alpin region (fjellregionen). De store og sammenhengende fjellarealene under dagens klima vil under 2 x CO₂-scenariet fragmenteres sterkt. En del fjellområder av midlere høyde (1000-1500 m), vil slutte å eksistere som fjell i botanisk forstand. Der jordbunnsforholdene ligger vel til rette, vil disse fjellene på lenger sikt bli invadert av skog, i første rekke fjellbjørkeskog (konsekvenser for flora og artsdiversitet diskuteres nedenfor, se 3.3). Midt-Norge mellom Trollheimen og Børgefjell, ca 300 km, vil utgjøre en bred skogløkke uten alpin region i klima-økologisk forstand. Større alpine arealer under

2 x CO₂-scenariet, vil i Sør-Norge finnes i sentrale deler av fjellkjeden mellom Hardangervidda (Sandfloegga 1706 m) i sør til Sunndalsfjella-Trollheimen (Storskrynten 1885 m, Vinufjellet 1816 m) og Dovrefjell (Snøhetta 2286 m) i nord. I Sør-Norge vil større alpine arealer kreve fjellhøyder på mer enn ca 1600 m. I den nordlige del av fjellkjeden vil større alpine arealer finnes mellom Børgefjell i sør (Kvigtind 1703 m) og Lyngsalpene i nord (Store Lenangstind 1506 m), med Øksfjordjøkulen (1166 m) og Rastigaissa (1067 m) som nordlige utløpere. I Nord-Norge vil alpine arealer forutsette større fjellområder på minst 1200 m i sør og 800 m i Finnmark. Alpin region får redusert sitt areal fra 29,6 % under dagens situasjon til 7,1 % under 2 x CO₂-scenariet (figur 2).

Kystseksjonen (lyngheiseksjonen). Det er en viss mulighet for at kystseksjonen vil få et mer nemoralt preg. Gjengroingsprosessen som allerede er godt i gang, kan muligens aksellerere ved 2 x CO₂-scenariet. Treslag som eik (*Quercus* spp.), furu (*Pinus sylvestris*) og hengebjørk (*Betula pendula*) kan komme til å øke.

3.3 Viktige faktorer for innvandring/tilbakegang av plantearter

Spredningsbarrierer. MacArthur (1972) har utledet en del generelle regler for hvordan økosystemer svarer på klimaendringer. Han antar at en temperaturøkning på 3 °C (årsmiddel) kan føre til en forflytting av habitater på grovt sett 250 km i geografisk bredde eller 500 m i høyde, forutsatt kontinuerlig forekomst av naturlige habitater hvor den konkrete forflyttingen kan skje.

For forflytting av varmekjære og nemorale skogplantearter fra Mellom-Europa og nordover er Skandinavia, og særlig Norge, i spredningsbiologisk forstand, å betrakte som en øy. Artene har sin individuelle spredningsmåte og hastighet (Cohn 1989), og de vil i forskjellig grad møte barrierer (hindringer) på sin spredning mot nord. Vi kan gruppere slike spredningsbarrierer på følgende måte:

- I Naturlige barrierer
 - 1 Fysiske barrierer
 - Havstrekninger (fjorder og elver)
 - Fjell og fjellkjeder
 - Klimatiske barrierer (ørkenområder)
 - Edafiske barrierer (jordtype, berggrunn)
 - 2 Biologiske barrierer (= fysiologiske/genetiske barrierer)
 - Interspesifikk konkurranse
 - Økotypedifferensiering
 - Temperatortoleransegrenser

II Antropogene barrierer (habitatfragmentering)

- 1 Kulturlandskap
 - Dyrkamark (monokulturer)
 - Store flatehogster
- 2 Bebygde arealer (byer, veier, flyplasser etc.)

Både naturlige og antropogene spredningsbarrierer vil påvirke negativt en effektiv spredning av varmekjære arter fra Mellom-Europa og nordover. Det nordtyske slettelandet (dyrkamark) er sannsynligvis en effektiv antropogen spredningsbarriere for de fleste nemorale skogsarter. Det samme gjelder Danmark, Sør- og Sørvest-Sverige, og i Norge lavlandet i Sørøst-Norge. I tillegg vil Østersjøen, Kattegat og Nordsjøen være fysiske barrierer som vil forsinke en effektiv spredning nordover. Hvis klimaendringen (her temperaturøkning) skjer på 50 år, kan mange arter bli utryddet, f.eks. ved at de ikke rekker å utvikle nye toleransegrenser overfor den nye klimatyppen, samtidig med at de har en lav spredningshastighet. Mer indirekte kan de også utryddes ved at de blir utkonkurrert på deres gamle habitat (interspesifikk konkurranse). Dobson et al. (1989) mener at en temperaturøkning på 2° på 50 år vil kreve spredningshastigheter hos nemorale arter som er flere ganger for høy til at artene kan overleve. Denne temperaturøkningen tilsvarer ca 300 km lateral forskyving. Ifølge Dobson et al. (1989) har de fleste nemorale og boreale treslagene en spredningsevne på 10-40 km pr. hundreår. (Se også Peters & Darling 1985.)

Det norske klimascenariet vil også gi ekspansjonsmuligheter og muligheter for nyinnvandring for en del vest-europeiske kystplanter, særlig de frostømfintlige, dvs. arter med høye krav til termisk oseanitet. En økning av vintertemperaturen på 4 °C vil gi muligheter for etablering av arter i Vest-Norge som i dag bare finnes i de mest vintermilde områdene i Sørvest-Europa, vesentlig England, Wales og Skottland. Dette gjelder få arter, men noen er viktige i en del vesteuropeiske lyngheier (Hultén & Fries 1986, Roisin 1969):

- nåleginst (*Genista anglica* L.)
- gulltorn (*Ulex europaeus* L.)
 - *Hypericum elodes* L.
 - *Endymion nutans* Dum.
 - *Carex laevigata* Sm.
 - *Carex trinervis* Degl.
 - *Deschampsia discolor* R. Sch.
 - *Koeleria albescens* D.C.
 - *Festuca dumetorum* L.
 - *Cirsium anglicum* D.C.

Disse sørvestlige og generelt frostømfintlige artene vil få store vanskeligheter med vandringen over havbarrieren Nordsjøen. Allerede eksisterende frostømfintlige arter i den vest-norske floraen er også fåtallig (se nedenfor), men de vil møte mindre fysiske barrierer på sin antatte ekspansjon østover langs fjordene og opp mot høyden. Ettersom de fleste av de frostømfintlige

fintlige også generelt er lavlandsarter, kan derimot flere møte barrierer i kulturlandskapet langs fjordene og med hensyn til vandring over større granplantinger i liene (sitkagran, gran). Et kart over aktuelle og forutsagte plantegeografiske oseanitetssektorer er ikke utarbeidet på samme måte som for vegetasjonsregioner. Dette kan bli en viktig oppgave, ettersom vintertemperaturen forventes å stige relativt mer enn sommertemperaturen.

For spredning av arter (generelt nordover) i Norge, eksisterer det betydelige fysiske spredningsbarrierer fra Sørlandet nordover Vestlandet og fra Sørøst-Norge til Midt-Norge og lenger nord. De mange øst-vestgående fjorder og kystfjellområder vil forsinke spredningen nordover betydelig for varmekjære nemorale og hemiboreale arter. Etter som de aktuelle artene generelt er kravfulle til jordsmonnet, vil også surbergområdene mellom Bergen og Sognefjorden, og mellom Trondheimsfjorden og Namdalen ("Fosen gap") hemme en effektiv spredning nordover av hemiboreale og nemorale arter til Midt- og Nord-Norge.

Økotypedifferensiering. Forflytting av en art over store horisontale avstander nord-sør har vist seg å innebære andre problemer enn den rene temperaturlpasning. Breddegradsforskningen innebærer også daglengdeforandringer, dvs. forandringer i lysklimaet. Håbjørg (1990) har f.eks. vist ved hjelp av forsøk med bjørk med simulert daglengde i fytotron, at denne arten er dårlig tilpasset raske endringer i fotoperioden. Håbjørg mener at fotoperioden er viktigste kontrollerende faktor for vekst og utvikling i nordlig tempererte og arktiske strøk. I en omfattende økotypestudie viser han at bortsett fra én art, reagerer 13 forvedete arter og 2 grasarter sterkt på endringer i fotoperioden.

For spredningsmuligheter og spredningshastigheter synes derfor også lokalgenetisk tilpasning til et bestemt lysklima (økotyper, provenienser) å være viktig. Forflytting og spredning opp og ned ller vil være atskillig lettere enn stor horisontalforskyving, i siste tilfelle vil fenologisk syklus hos plantene komme i ubalanse med lysklimaet. Den generelt bratte topografien i Norge med følgende kort avstand mellom de ulike vegetasjonsregioner, vil være gunstig for spredning, etter som det vil skje innenfor tilnærmet samme lysklima.

Livsstrategier. Plantene har utviklet forskjellige livsstrategier som har relevans for forutsigelse av respons på klimaforandringer hos planter. Grime (1988) skiller mellom tre primære livsstrategier hos planter:

- 1 "Ruderal" (r) Periodevis hyppig forekomst.
- 2 "Competitor" (K) Kontinuerlig hyppig forekomst, men gjenstand for lokal og/eller progressiv tilbakegang når tilgjengelige ressurser tømmes.
- 3 "Stress-tolerator" Kontinuerlig lite hyppig eller sjelden.

r- og K-strategene er kanskje viktigst mht. vurdering av virkninger av klimaendringer. r-tilpassete arter har mange avkom (frø), har god spredningsevne og kort avstand mellom generasjonene. De fleste ugrasarter hører til her. De K-tilpassete artene har tunge frø og færre frø, har sen spredningsevne og de er langlivete (lang generasjonstid). K-strategene er generelt dårlig tilpasset miljøendringer og kanskje særlig raske klimaendringer. På den annen side kan K-strategene leve lenge på et habitat, men reproduksjonen kan rammes på noe lengre sikt. Typiske K-tilpassete arter er eik og bøk, disse vil lett få problemer å nå sine nye potensielle habitater i Sør- og Midt-Norge på få hundre år (se nemoral og hemiboreal region på kart over potensielle vegetasjonsregioner).

Gunstige spredningsmåter for rask spredning er: vind, vann og dyr/fugl. Arter med lette frø og vingfrukter vil lett spres med vind, f.eks. pionerarter som bjørk, osp, platanlønn og agnbøk, foruten en rekke kurvplanter (svever, løvetann etc.). I og nær kulturlandskapet vil vind-, dyre- og fuglespredte arter lett få et godt fotfeste (Ketner 1990).

3.4 Respons i ulike artsgrupper

Responsen hos enkeltarter på klimaendringer er artsspesifikk. En kan gruppere responstypen i 4 hovedkategorier:

- Framgang
- Tilbakegang
- Eksistens truet
- Ingen forandring

I diskusjonen nedenfor vil en del viktige plantearter i norsk flora bli plassert i disse gruppene, med lite vekt på arter med forventet "ingen forandring". Hovedinndelingen bygger på komplementære utbredelsestyper (Holten 1987):

- De frostømfintlige kystplantene (vintertermofile) er komplementære med østlige og nordøstlige planter (sørvestkystskyere).
- De fuktighetselskende (humidifile) kystplantene er komplementære med de tørkeelskende (xerofile) innlandsplantene.
- De varmekjære plantene (lavlandsplanter) er komplementære med fjellplantene.

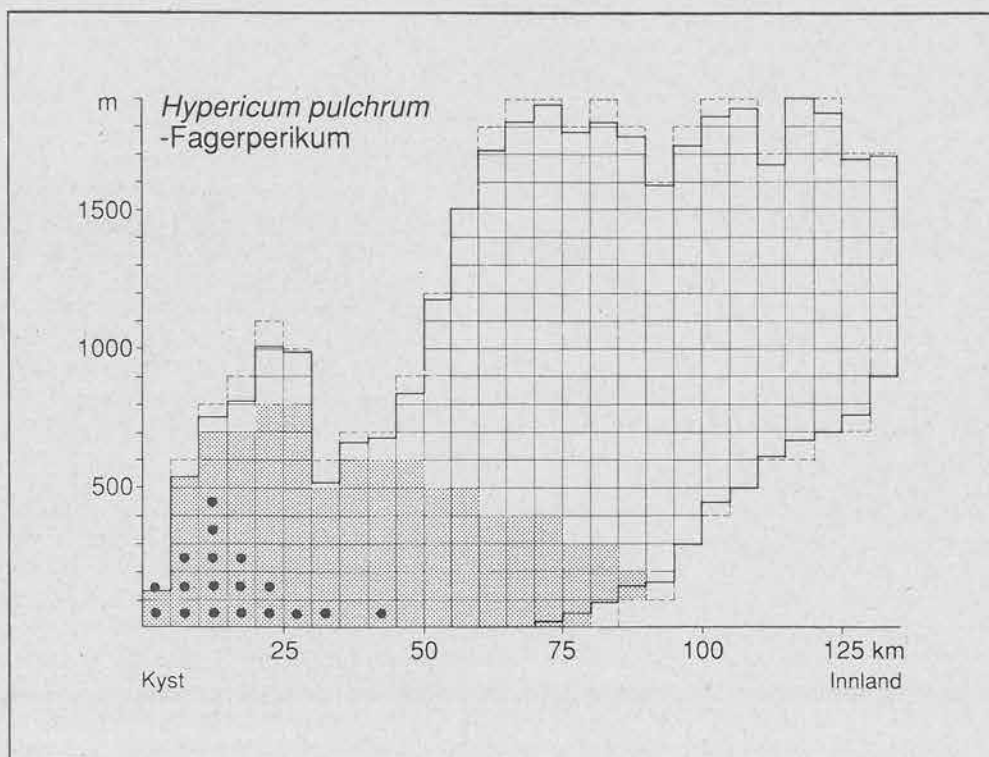
Frostømfintlige planter. Det framsatte 2 x CO₂-scenariet på økning av 4 °C i vintertemperatur i Norge har store konsekvenser for den termiske oseaniteten. For Vest-Norge vil dette f.eks. resultere i at hele kyststrekningen fra Kristiansand til munningen av Trondheimsfjorden får helårig vekstsesong for en rekke plantearter som allerede vokser der, og for nyinnvandring av nye arter fra sørvestlige deler av Europa (se 3.3). Hypoteser er satt fram om vintertemperaturen som viktig begrensende faktor for frostømfintlige arter deres utbredelse

mot innlandet (Iversen 1944, Dahl 1950, Fægri 1960, Holten 1986). De frostømfintlige karplantene utgjør en fåtallig gruppe i norsk flora, men kan forventes, vurdert ut fra klimaendringene alene, å få en vesentlig framgang både i frekvens og areal. De forventes å utvide sitt utbredelsesområde (figur 3) østover langs fjordene og opp i kystfjellene. De viktigste er:

purpurlyng (*Erica cinerea*) *
 klengelerkespore (*Corydalis claviculata*)
 mosesildre (*Saxifraga hypnoides*) *
 blåstjerne (*Scilla verna*) *
 vestlandsvikke (*Vicia orobus*) *
 kristtorn (*Ilex aquifolium*)
 kystbergknapp (*Sedum anglicum*) *
 kusymre (*Primula vulgaris*) *
 vivindel (*Lonicera periclymenum*) *
 jordnøtt (*Conopodium majus*) *
 fagerperikum (*Hypericum pulchrum*) * (figur 3)
 rebebjelle (*Digitalis purpurea*) *
 storfrytle (*Luzula sylvatica*) *
 skogfredløs (*Lysimachia nemorum*)

Spredning av arter merket * er dog ikke avhengig bare av klimatiske forhold, men av at det også finnes egnete, lysåpne habitater der de kan etablere seg.

Østlige og nordøstlige arter. En del østlige og nordøstlige arter benevnes sørvestkystskyere etter som de reagerer motsatt på lave vintertemperaturer i forhold til de frostømfintlige kystplantene. Disse to artsgruppene har ofte komplementære utbredelsesmønstre, dvs. deres utbredelsesarealer kan møte hverandre langs grovt sett en linje fra sørvest til nordøst i Vest-Europa, eller de har overlappende arealer i noen områder. De østlige og nordøstlige plantene har et krav til ekte vinterhvile, dvs. de mangler fysiologisk aktivitet om vinteren og fryser gjerne helt ned om høsten. Dette antyder litt av de problemer slike planter kan ha med å utstå et vintermildt kystklima med hyppige vekslinger mellom temperaturer over og under 0 °C (Printz 1933). Den fysiologiske mekanismen som ligger bak sørvestkystskyernes mangel i vintermilde kyst- og lavlandsstrøk, er ikke kjent, men gode korrelasjoner mellom vestgrensen og forløp av januarisotemer er kommet frem (Dahl 1951, Holten 1986). De østlige og nordøstlige artene utgjør en relativt artsrik gruppe i floraen i Skandinavia, særlig i boreale barskogsområder og myrer foruten i arktisk/alpine områder. De tynnes sterkt ut fra hovedvannskillet i den skandinaviske fjellkjeden og vestover. Vårt viktige skogstre gran (*Picea abies*), tilhører denne gruppen. Et lite utvalg av sørvestkystskyere (se også Salvesen 1988, 1989) som går langt vest, nevnes her:

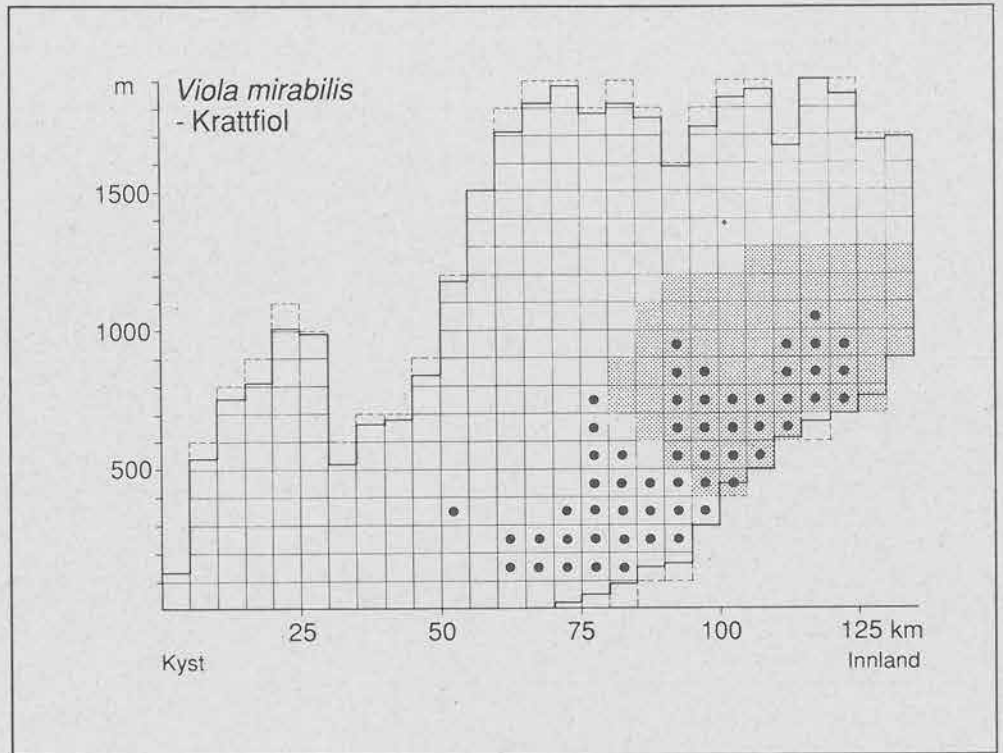


Figur 3

Aktuell (= kartlagt) (prikker) og forventet (rasterlagt område) vertikalutbredelse av en typisk frostømfintlig art i et kyst-innland-profil i Midt-Norge fra Kristiansund til hovedvannskillet på Dovrefjell (etter Holten 1986). Vertikal akse: høyde over havet. Horizontal akse: kystavstand. - Present (= mapped) (dots) and expected (hatched area) vertical distribution of a typical frost sensitive species in a coast-inland transect in Central Norway from Kristiansund to the main divide on the Dovre mountain plateau (after Holten 1986). Vertical axis: height a.s.l. Horizontal axis: distance from the coast.

Figur 4

Aktuell (= kartlagt) (prikker) og forventet (rasterlagt område) vertikalutbredelse av en sørvestkystskyer-art (østlig art) i et kyst-innland-profil i Midt-Norge fra Kristiansund til hovedvannskillet på Dovrefjell (etter Holten 1986). - Present (= mapped) (dots) and expected (hatched area) vertical distribution of a "south west coast avoiding species" (eastern species) in a coast-inland transect in Central Norway from Kristiansund to the main divide on the Dovre mountain plateau (after Holten 1986).



sennegrass (*Carex vesicaria*)
 fjellflokk (*Polemonium caeruleum*)
 storrrapp (*Poa remota*)
 gran (*Picea abies*)
 klubbestarr (*Carex buxbaumii*)
 sveltull (*Scirpus hudsonianus*)
 krattfiol (*Viola mirabilis*) (figur 4)
 tyrihjelms (*Aconitum septentrionale*)
 fjellfiol (*Viola biflora*)
 smårørkvein (*Calamagrostis stricta*)
 knerot (*Goodyera repens*)
 olavsstake (*Moneses uniflora*)
 sivblom (*Scheuchzeria palustris*)
 vanlig lerkespore (*Corydalis intermedia*)
 lodneperikum (*Hypericum hirsutum*)
 vårerteknapp (*Lathyrus vernus*)
 gullstjerne (*Gagea lutea*)
 gråor (*Alnus incana*)
 trollbær (*Actaea spicata*)
 trollurt (*Circaea alpina*)
 gulldusk (*Lysimachia thyrsoflora*)

Hvis hypotesen stemmer (må testes i felteksperimenter!), om at for høye vintertemperaturer begrenser forekomsten av disse artene mot kysten, vil disse artene svare på fire grader temperaturøkning om vinteren med å gå tilbake i frekvens og

areal (jf. Salvesen 1988, 1989). Tilbaketrekkningen vil sannsynligvis gå nordøstover og mot høyden. Dette anses å være godt for sørvestkystskyeren krattfiol (se figur 4).

Fuktighetselskende kystplanter. Fuktigheten i luft og i jord karakteriseres av forholdet mellom nedbør og evapotranspirasjon. Nedbørs-scenariet (Eliassen & Grammelvedt 1990) viser 5-15 % økning, avhengig av årstid og beliggenhet. Vekstsesongen synes å få omtrent 10 % nedbørøkning ifølge DNMI og NILU, men på grunn av økning i både sommer- og vintertemperaturen oppveies dette i stor grad av økt evapotranspirasjon (total fordamping). NVE (N.R. Sælthun pers. medd.) viser at man som nettoresultat får tørrere jord (markvannunderskudd) og litt lavere grunnvannsstand de fleste steder, etter foreløpige klimasimuleringer 8 steder i Norge. Denne tendensen synes å være mest markert i lavlandet (< 500 m).

De foreløpige snødekkescenariene fra NVE viser til tross for økt årsnedbør en lengre snøbar sesong, opptil 85 dager kortere vinter for det simulerte vestlandsklimaet i Vosso-vassdraget (ca 850 m).

Responser hos fuktighetselskende kystplanter som rome (*Narthecium ossifragum*), klokkeløve (*Erica tetralix*), smørtelg (*Thelypteris limbosperma*) og bjønnkam (*Blechnum spicant*) er noe usikker. De vil sannsynligvis gå en del tilbake, i det

minste i lavlandet, ettersom en kortere vinter og dermed dårligere snødekke om våren og høsten lett vil utsette disse plantene for frostskaider nær øst- og øvregrensen.

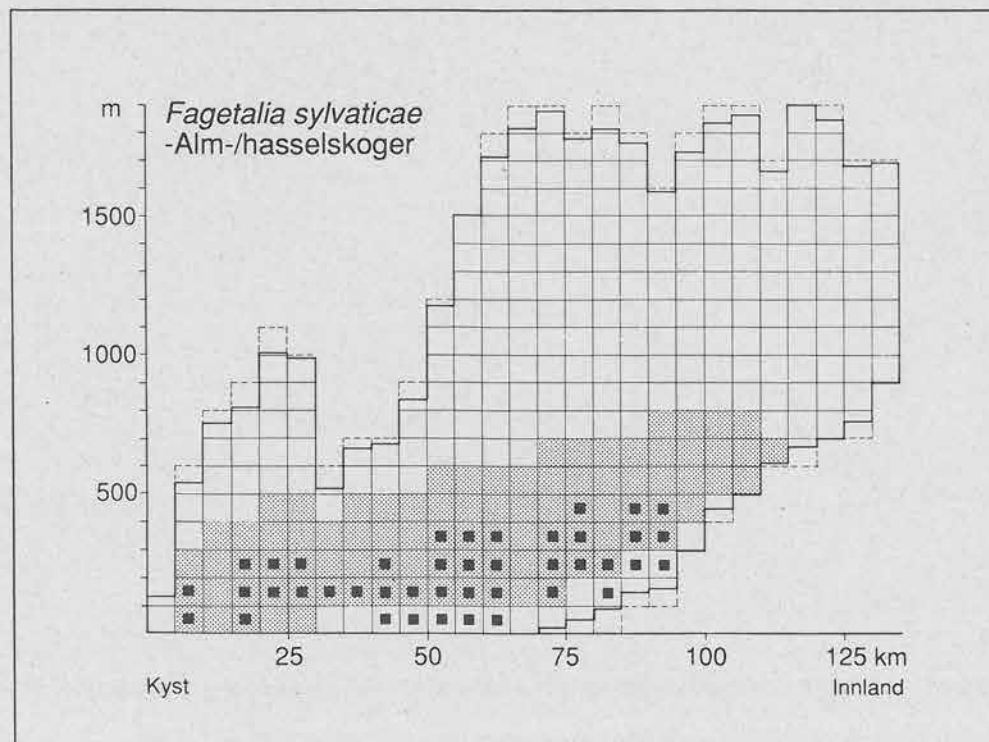
Tørkeelskende innlandsplanter. Dette utgjør en fåtallig gruppe karplanter med typisk kontinental utbredelse. De har en komplementær utbredelse til de fuktighetselskende (humidifile) kystplantene. NVEs simuleringer av snødekke og markfuktighet for sentrale fjellstrøk og innlandet (Otta og Flisa) under 2 x CO₂-situasjonen, viser for vekstsesongen markert lavere markfuktighet for lavlandet og kortere sesong med snødekke, begge steder ca 2 måneder kortere vinter. Begge faktorer skulle tilsa en kontinentalisering av klimaet under 2 x CO₂-scenariet. Sannsynlig respons hos de tørkeelskende (xerofile) plantene, er at de vil ha framgang. Følgende arter kan reagere med framgang på indre Østlandet, særlig i øvre Gudbrandsdal:

sauesvingel (*Festuca ovina*)
engnellik (*Dianthus deltoides*)
krattsleie (*Ranunculus polyanthemos*)
mogop (*Pulsatilla vernalis*)
smalfrøstjerne (*Thalictrum simplex*)
dvergmispel (*Cotoneaster integerrimus*)
fuglestarr (*Carex ornithopoda*)
bakkefiol (*Viola collina*)
sandfiol (*Viola rupestris*)
enghaukeskjegg (*Crepis praemorsa*)

mattestarr (*Carex pediformis*)
bakkestarr (*Carex ericetorum*)
smånøkkel (*Androsace septentrionalis*)
drakehode (*Dracocephalum ruyschiana*)

Varmekjære planter. Varmekjære planter (edellauvskogsarter) kan defineres som planter med hovedforekomst i den nemorale (tempererte) lauvskogsregionen, og med nordlige utløpere inn i den hemiboreale (boreonemorale) regionen, og et mindre antall forekomster til og med den sørboreale regionen i Skandinavia (se vedlagt kart over potensielle vegetasjonsregioner). Varmekjære planter begrenses mot høyden og mot nord av sommervarmen. Varmefaktoren har vært uttrykt på mange måter, de viktigste er: Julimiddeltemperatur, tetra-term (middeltemperatur for de 4 varmeste måneder i året), og respirasjonsenheter (Dahl & Mork 1959, Skre 1979).

De varmekjære plantene (lavlandsplantene) har en komplementær utbredelse til fjellplantene (se figur 5 og nedenfor). De framsatte 2 x CO₂-scenariene for sommertemperatur (ca 2 °C) vil gi et godt grunnlag for stor framgang av denne relativt tallrike plantegruppen. Nedenfor er opplistet viktige varmekjære arter som har større populasjoner i den hemiboreale og til dels i den sørboreale regionen og som vil få sitt potensielle areal under 2 x CO₂-scenariet atskillig utvidet (se vedlagt regionkart og kart av Dahl et al. 1986). Sjeldne varmekjære og de sterkt varmekjære (nemorale s.str.) er sløyfet her:



Figur 5

Aktuell (= kartlagt) (firkanter) og forventet (rasterlagt område) vertikalutbredelse av alm-hasselskoger i et kyst-innland-profil i Midt-Norge fra Kristiansund til hovedvannskillet på Dovrefjell. - Present (= mapped) (squares) and expected (hatched area) vertical distribution of *Ulmus glabra* - *Corylus avellana* forest in a coast-inland transect in Central Norway from Kristiansund to the main divide on the Dovre mountain plateau.

Forvedete arter:

alm (*Ulmus glabra*)
 hassel (*Corylus avellana*)
 ask (*Fraxinus excelsior*)
 eik-arter (*Quercus* spp.)
 lind (*Tilia cordata*)
 svartor (*Alnus glutinosa*)
 sølvasal (*Sorbus rupicola*)
 trollhegg (*Frangula alnus*)
 krossved (*Viburnum opulus*)
 vanlig hagtorn (*Crataegus monogyna*)

Gras, halvgras, urter:

skogfaks (*Bromus benekenii*)
 lundgrønaks (*Brachypodium sylvaticum*)
 kjempesvingel (*Festuca gigantea*)
 skogsvingel (*Festuca altissima*)
 skogstarr (*Carex sylvatica*)
 fingerstarr (*Carex digitata*)
 skogsbjørnebær (*Rubus nessesensis*)
 kransmynte (*Clinopodium vulgare*)
 svarterteknapp (*Lathyrus niger*)
 sanikel (*Sanicula europaea*)
 ramsløk (*Allium ursinum*)
 blankstorkenebb (*Geranium lucidum*)
 laukurt (*Alliaria officinalis*)
 lodneperikum (*Hypericum hirsutum*)
 vårkål (*Ranunculus ficaria*)
 trollbær (*Actaea spicata*)
 rødkjeks (*Torilis japonica*)
 breiflangre (*Epipactis helleborine*)
 kvit skogfrue (*Cephalanthera longifolia*)
 fuglerede (*Neottia nidus-avis*)

Grime & Callaghan (1989) forutsier også en vandring nordover og mot høyden for en rekke varmekjære trær, busker og urter på De britiske øyer, bl.a. for lind (*Tilia cordata*), spolebusk (*Euonymus europaeus*) og dvergtistel (*Cirsium acaule*). Nemorale (tempererte) planter i streng forstand er en svært fåtallig gruppe i Norge. Innenfor det forutsagte og relativt store nemorale arealet under 2 x CO₂-scenariet ligger det et stort potensiale for nyinnvandring fra sør, men både naturlige og menneskeskapte spredningsbarrierer kan forsinke denne innvandringen atskillig (se 3.3).

Fjellplanter og nordlige planter. Det finnes flere økologiske grupper og tilpasningstyper blant fjellplantene, både med hensyn til jordbunnskrav og klimakrav. Fjellplantene vil generelt trues i områder hvor skoggrensen har mulighet (forekomst av løsmasser) til forflytting mot høyden, etter som fjellplanter er generelt kravfulle mht. lys. De vil derfor lett bli skygget ut av et tresjikt og ved interspesifikk konkurranse med skogbunnsfloraen i den kommende fjellskogen.

Mer direkte kan en del fjellplanter nær sin nedre utbredelsesgrense bli truet av større hyppighet og lengre varighet av høye sommertemperaturer. Ifølge Dahl (1951) får en rekke fjellplanter sin nedre grense bestemt av episodisk høye sommertemperaturer (se også Gauslaa 1984). Dahl har funnet en rekke gode korrelasjoner mellom forløp av isotermer for maksimum sommertemperatur og utbredelsesgrenser for mange fjellplanter, f.eks. for musøre (*Salix herbacea*).

En del sørvestkystskyere i vår fjellflora begrenses vestover av høye vintertemperaturer (termisk oseanitet). Hvis denne hypotesen holder (Holten 1987b), vil høyere vintertemperaturer bli et tilleggstress til økte sommertemperaturer for disse sørvestkystskyerne i fjellfloraen. Så langt er påvist brukbare korrelasjoner mellom vertikalforløpet av middeltemperaturen for januar og vest-/nedregrenser for mange sentriske og relativt sjeldne fjellplanter i sørnorske fjell (se figur 6). Omtrentlig begrensende januarisoterm er angitt til høyre for hver art:

stuttarve (<i>Sagina cespitosa</i>)	-12°
huldrestarr (<i>Carex heleonastes</i>)	-11°
høgfjellsklokke (<i>Campanula uniflora</i>)	-11°
mogop (<i>Pulsatilla vernalis</i>)	-10°
hodestarr (<i>Carex capitata</i>)	-10°
gullrublom (<i>Draba alpina</i>)	-10°
snøfrytle (<i>Luzula arctica</i>)	-10°
nålearve (<i>Minuartia rubella</i>)	-10°
jervrapp (<i>Poa arctica</i> s.l.)	-10°
knutshørapp (<i>Poa stricta</i>)	-10°
snøsoleie (<i>Ranunculus nivalis</i>)	-10°
snøstjerneblom (<i>Stellaria crassipes</i>)	-10°
rypebunke (<i>Vahlodea atropurpurea</i>)	-9°
jøkularve (<i>Sagina intermedia</i>)	-9°
snøgras (<i>Phippsia algida</i>)	-9°
bleikrublom (<i>Draba oxycarpa</i>)	-9°
hengefrytle (<i>Luzula parviflora</i>)	-9°
blindurt (<i>Silene wahlbergella</i>)	-9°
smalstarr (<i>Carex parallela</i>)	-8°
fjellkurl (<i>Chamorchis alpina</i>)	-8°
fjellsnelle (<i>Equisetum variegatum</i>)	-8°
grannarve (<i>Minuartia stricta</i>)	-8°
reinmjelt (<i>Oxytropis lapponica</i>)	-7°
nordlandsstarr (<i>Carex aquatilis</i>)	-7°
alperublom (<i>Draba fladnizensis</i>)	-7°
småsoete (<i>Gentianella tenella</i>)	-7°
rabbetust (<i>Kobresia myosuroides</i>)	-7°
linmjølke (<i>Epilobium davuricum</i>)	-6°
fjellmarinøkkel (<i>Botrychium boreale</i>)	-6°
norsk malurt (<i>Artemisia norvegica</i>)	-6°
gulmjelt (<i>Astragalus frigidus</i>) (figur 6)	-6°
fjellpestrot (<i>Petasites frigidus</i>)	-6°
mjukrapp (<i>Poa flexuosa</i>)	-5°
blåmjelt (<i>Astragalus norvegicus</i>)	-5°
småvier (<i>Salix arbuscula</i>)	-5°

agnorstarr (<i>Carex microglochin</i>)	-4°
dubbestarr (<i>C. misandra</i>)	-4°
sotstarr (<i>C. atrofusca</i>)	-3°
tranestarr (<i>C. adelostoma</i>)	-2°
svartstarr (<i>C. atrata</i>)	-2°
blankstarr (<i>C. saxatilis</i>)	-2°
myrtevier (<i>Salix myrsinites</i>)	-2°
gullmyrklegg (<i>Pedicularis oederi</i>)	-2°
tuearve (<i>Saxifraga cespitosa</i>)	-2°
kastanjesiv (<i>Juncus castaneus</i>)	-1°

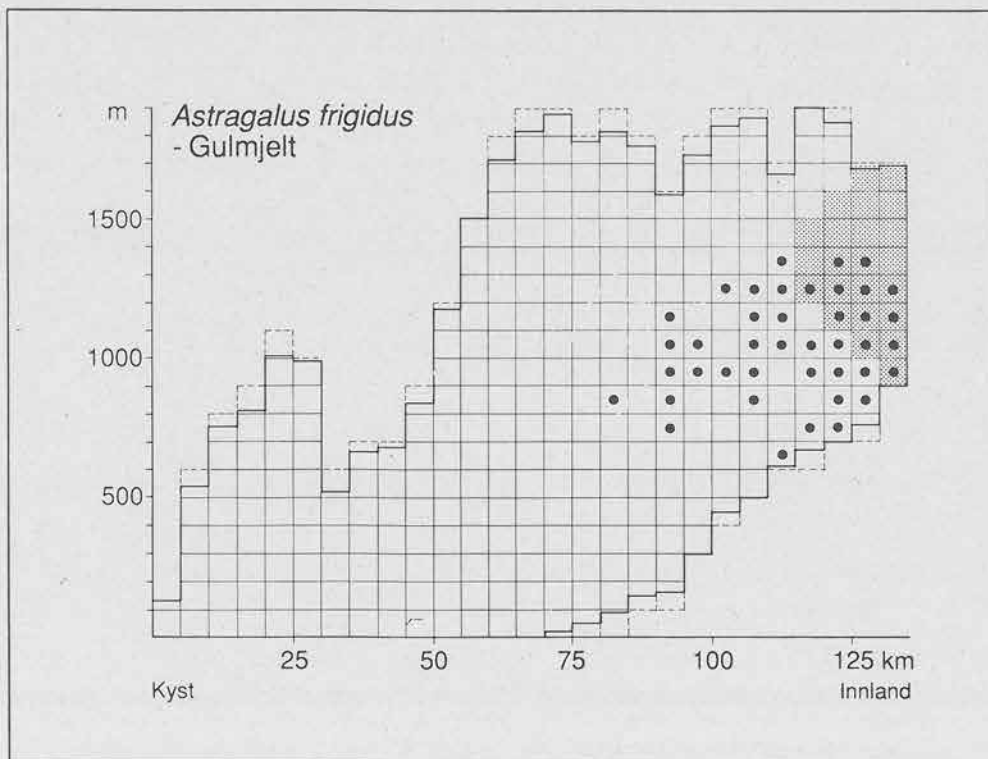
Mange arter i listen ovenfor, særlig i øvre del, tilhører de mest sjeldne arter i fjellfloraen. De har høye næringskrav og deres utbredelse er delvis reliktpreget. Vi antar at arter i listen med begrensede isotherm -10° eller lavere vil tilhøre en sterkt truet gruppe hvis vintertemperaturen stiger med 4 °C. En del arter i listen har i tillegg en typisk mellomalpin utbredelse. Med et varmere klima har disse ingen steder å gå, særlig hvis de vokser på fjell som er under 1500-1600 m, og hvor toppen kan være innen rekkevidde for fjellskogen. En del meget sjeldne, mellomalpine arter i Drivdalen-Dovrefjell-området er meget truet, det gjelder f.eks. høyfjellsklokke (*Campanula uniflora*), knutshørapp (*Poa stricta*), snøfrytle (*Luzula arctica*), stuttarve (*Sagina cespitosa*) og snøstjerneblom (*Stellaria cras-sipes*). Disse kunne nok av høydemessige årsaker vokse i Snøhetta-området (2286 m), men her er ikke jordbunnen tilfreds-

stillende, foruten at de neppe vil kunne komme dit av spredningsmessige årsaker innenfor et 50-100-årsperspektiv. En **kritisk fjellhøyde** i sentrale deler av den sør-norske fjellkjeden synes å være omkring 1600 m mht. mulighet for overlevelse av fjellplanter etter det norske temperatur-scenariet. For nord-norske fjell vil kanskje kritisk fjellhøyde være omkring 1000 m.

De foreløpige snødekke-scenariene (N.R. Sælthun, NVE, pers. medd.) viser omkring 45 dager kortere vinter for sentrale fjellstrøk. I tillegg forutsies tynnere snødekke om vinteren. Snøleiearter og arter i overrislingssamfunn vil kunne gå tilbake, bl.a. snøgras-artene (*Phippsia* spp.), vier-arter (*Salix* spp.) og fjellpestrot (*Petasites frigidus*). Mindre snødekke i fjellet kan generelt føre til en mer tørketilpasset flora og vegetasjon.

Arter med preferanse for fjellskogen (nordboreal region) vil også generelt gå tilbake, f.eks. turt (*Lactuca alpina*), kvitsoleie (*Ranunculus platanifolius*), skogstorkenebb (*Geranium sylvaticum*), ballblom (*Trollius europaeus*) og fjellminneblom (*Myosotis decumbens*) (jf. McNeely 1989, Grime & Callaghan 1988).

Økologiske spesialister. Økologiske spesialister er arter med snevre økologiske toleransegrenser, det være seg overfor temperatur, lys, næring eller fuktighet i jord eller luft. Økologiske spesialister vil være sensitive overfor raske miljøendringer og vil bli erstattet med ubikvister (= vidt utbredte arter) og ugras-



Figur 6

Aktuell (= kartlagt) (prikk) og forventet (rasterlagt område) vertikalutbredelse av gulmjelt (*Astragalus frigidus*) i et kyst innland-profil i Midt-Norge fra Kristiansund til hovedvannskillet på Dovrefjell. - Present (= mapped) (dots) and expected (hatched area) vertical distribution of *Astragalus frigidus* in a coast-inland transect in Central Norway from Kristiansund to the main divide on the Dovre mountain plateau.

arter (se nedenfor). Denne gruppen består gjerne av sjeldne arter, etter som deres habitatkrav er tilfredsstillt få steder. En del urskogsarter både av karplanter, moser og lav (f.eks. huldrestry (*Usnea longissima*) trues under 2 x CO₂- scenariet. Reliktsamfunnene av huldreplanter i de trange bekkekløftene i Gudbrandsdalen kan bli truet, særlig hvis utviklingen går mot et tørrere innlandsklima. På den annen side kan tørrbakkefloraen med en del sjeldne arter i øvre Gudbrandsdalen ha framgang under slike klimaforhold (se 3.4). Edafiske spesialister, dvs. arter med spesielle eller høye næringskrav, f.eks. med hensyn til kalk (kalkflora) eller med forekomst på spesielle substrattyper (f.eks. metall-spesialister som serpentinplanter), vil også utgjøre en truet gruppe. Økologiske spesialister har gjerne liten spredningskapasitet, det er oftest stor avstand til nærmeste egnede habitat. Den aktuelle strekningen har også gjerne fysiske, biologiske og menneskeskapt spredningsbarrierer som gjør spredning innenfor et 50-100-årsperspektiv urealistisk (se liste over sjeldne karplantearter hos Økland et al. 1985).

Vidutbredte arter (generalister). Disse "overalt"-plantene, generalistene i vår flora, har de beste mulighetene til å tilpasse seg klimaendringene, på grunn av deres store toleranse overfor de fleste økologiske faktorer. De aktuelle artene finnes i mange vegetasjonstyper, f.eks. geitrams (*Chamaenerion angustifolium*), rogn (*Sorbus aucuparia*), og vendelrot (*Valeriana sambucifolia*). Hvis mange arter får redusert forekomst eller blir utryddet, kan generalistene være en gruppe som kan få framgang.

Ugras og nitrofile arter. Ugras kan bli en vinnergruppe ved klimaendringer. De tilhører de såkalte **r-strategene** i floraen (Grime & Callaghan 1988). r-strateger har stor reproduksjonsevne, med stor produksjon av lette frø (vindspredning) eller tilpasset spredning med fugl, dyr eller mennesker (frø med kroker, pigger etc.).

Mange av ugrasartene er nitrofile og er sterke konkurrenter til menneskenes kulturplanter i åker og eng. Nitrofile planter (nitrofytter) er planter med krav til høyt innhold av nitrogen i jordsmonnet. Mange av de nitrofile plantene vi finner i åker, eng, veikanter og langs næringsbelastete bekker og vassdrag, har ofte sine primærhabitater i tilknytning til tangvoller ved sjøen.

I tillegg til at nitrofile arter får stimulert sin vekst gjennom gjødsling av kulturmark og sekundært langs næringsrike vassdrag, antar vi at nitrogentilgangen (som ofte er en minusfaktor) generelt vil øke i norske økosystemer ved temperaturøkning. Dette kan skje gjennom økt omsetningshastighet og nedbryting av strø og humus i jorda. Det er påvist i svenske humusnedbrytingsstudier langs klimatransekter at årlig nedbrytingshastighet av strø/humus kan øke med 70-90 % ved en temperaturøkning på 2-5° og nedbørsøkning på 100-200 mm årlig. Forsøket viser en rask nedbryting den første tiden

etter temperaturøkning, for senere å flate ut (Berg et al. 1989). Konsekvenser av økt humusnedbryting kan foruten at vi får økning av nitrofile planter, også føre til nitrogenlekkasje (nitrater) med forsuring og sterk næringsbelastning på vann, vassdrag og senere havområder.

Følgende nitrofile arter og ugrasaktige planter kan regne med økning (jf. Falkengren-Grerup 1986, Rühling & Tyler 1986):

1. Østlandet, Vestlandet (indre strøk) og Midt-Norge

borre-arter (*Arctium* spp.)
 løvetann (*Taraxacum* spp.)
 harematt (*Lapsana communis*)
 skogsalat (*Mycelis muralis*)
 burot (*Artemisia vulgaris*)
 veitistel (*Cirsium vulgare*)
 åkersvineblom (*Senecio vulgaris*)
 klistersvineblom (*Senecio viscosus*)
 raudtvetann (*Lamium purpureum*)
 laukurt (*Alliaria officinalis*)
 svaleurt (*Chelidonium majus*)
 melde-arter (*Chenopodium* spp.)
 bjønnkjeks-arter (*Heracleum* spp.)
 skvallerkål (*Aegopodium podagraria*)
 urakatt (*Geranium robertianum*)
 hundegras (*Dactylis glomerata*)
 raudhyll (*Sambucus racemosa*)
 svarthyll (*Sambucus nigra*)
 kratthumleblom (*Geum urbanum*)
 skogbingel (*Mercurialis perennis*)

2. Kyststrøk

englodnegras (*Holcus lanatus*)
 krattlodnegras (*Holcus mollis*)
 hestehavre (*Arrhenatherum elatius*)
 strandvindel (*Calystegia sepium*)
 klengemaure (*Galium aparine*)
 bjørnebær-arter (*Rubus fruticosus* s.l.)

3. Hele landet

tunrapp (*Poa annua*)
 markrapp (*Poa trivialis*)
 engrapp (*Poa pratensis*)
 sølvbunke (*Deschampsia flexuosa*)
 kveke (*Elytrigia repens*)
 mjødukt (*Filipendula ulmaria*)
 hundekjeks (*Anthriscus sylvestris*)
 bringebær (*Rubus idaeus*)
 stornesle (*Urtica dioica*)
 geitrams (*Chamaenerion angustifolium*)
 skogstjerneblom (*Stellaria nemorum*)
 vassarve (*Stellaria media*)
 slirekne-arter (*Polygonum* spp.)
 då-arter (*Galeopsis* spp.)

Havstrandplanter (halofytter). Skjebnen til denne plante-gruppen er svært usikker, og vil være svært avhengig av både hastigheten og størrelsen på klimaendringene, for begge deler vil være bestemmende for størrelsen på en eventuell havnivåstigning. I Essex, Sørøst-England, er nylig påvist en havnivåstigning på 5,5 mm pr. år (Boorman et al. 1989). Dette resulterer i økt erosjon av strandengvegetasjonen i dette området, noen steder trekker strandvegetasjonskanten seg tilbake ca 2 m pr. år. Erosjonen fører til en utvikling fra plantesamfunn med saftmelde (*Halimione pedunculata*) og fjøresaltgras (*Puccinellia maritima*) til plantesamfunn med strandstjerne (*Aster tripolium*) og salturt (*Salicornia* sp.) (Boorman pers. medd.). Situasjonen i England synes å være verst i estuarier i området fra Humber til Poole Harbour, og i større estuarier som the Mersey, Morecambe Bay og the Solway. Resultatene kan prinsipielt være overførbare til norske forhold. En stigning i havnivået på 0,5 m eller mer vil få alvorlige konsekvenser for de større strandengområdene i Midt- og Nord-Norge, fordi disse områdene helt overveiende grenser opp til dyrkamark eller bebygde områder på større elvedeltaer og ellers flate landhevningstrender. (Eksempler: Håseran i Sunndal, Møre og Romsdal, Gaulosen i Trondheim/Melhus, Sør-Trøndelag, Rinnleiret i Verdalen, Nord-Trøndelag og Reisa-osen, Troms). Våre store og flate strandengområder representerer truede økosystemer ved en havnivåstigning på 0,5 m eller mer. Erstatningsområder for disse finnes ikke på kort sikt. En annen forventet konsekvens av havnivåstigning på 0,5 m eller mer blir saltanriking av den mest lavtliggende dyrkamarka innenfor de større strandengområdene.

3.5 Suksesjoner og endringer av plantesamfunn

Retning og hastighet for suksesjonene i plantesamfunnene vil avhenge av mange faktorer, bl.a. muligheten for innvandring av nye arter, det vil si beliggenhet i forhold til ekspanderende arter, og overlevelse av eksisterende arter. Hvor raskt klimaendringene skjer, vil også ha stor betydning. De norske plantesamfunnene må regne med både kvantitative og kvalitative endringer. De kvantitative endringene er grovt framstilt på vedlagte kart over potensielle vegetasjonsregioner. Kvalitative endringer vil oppstå gjennom den nye konkurransesituasjonen som vil oppstå mellom artene ved klimaendringene. Vi kan ikke forvente stabile plantesamfunn så lenge klimaet er under rask endring. Det nye klimaet vil også føre til en jordsmonnsutvikling, som vil ta mye lengre tid enn forandringen av klimaforholdene. Det kan ta f.eks. mange hundre år å utvikle et podsolprofil. Den potensielle levetiden for treslagene vil også være viktig for suksesjonshastigheten i et skogplantesamfunn. Langliva treslag, f.eks. eik-arter (*Quercus* spp.), vil ha en viss konserverende virkning på miljøet for andre plantearter i skogbunnen, og på denne måten forsinke inntrenging av nye arter.

For Norge vil vi sannsynligvis med tiden få økt innslag av varmekjære lauvtreslag på bekestning av barskogsarealene, med størst forandring for granskogsarealer under 200-300 m i Sørøst-Norge og i Trøndelag. Markvegetasjonen kan komme til å få en utvikling mot mer grasdominert vegetasjon, både i og utenfor skog. Grasarter er sannsynligvis mer konkurranseterke enn urter og lyngarter ved store miljøforandringer. Dette har vært en tendens noen steder i England, bl.a. med stor økning av engreverumpe (*Alopecurus pratensis*), på bekestning av urter. Sannsynlig årsak til den raske suksesjonen i Øst-England er at de tre siste vintrene har vært svært milde og våte (Terry Wells pers. medd.)

Varmekjære plantesamfunn. I de nemorale vegetasjonsregionene (se regionkartet), kan oligotrofe eike- og bøkeskoger på lengre sikt kunne erstatte de lavereliggende blåbærgranskogene i Sørøst-Norge (jf. Liljelund 1990). Stabile eike-/bøkeskogssamfunn vil vi ikke få før jordsmonnet har nådd en ny klimakstilstand. Ask (*Fraxinus excelsior*) og alm (*Ulmus glabra*) vil også gå fram på Østlandet. Gråor (*Alnus incana*), som er sørvestkystskyer slik som gran, vil gå tilbake på Østlandet. Den vil delvis erstattes av svartor (*Alnus glutinosa*).

I Midt-Norge vil sannsynligvis ikke eik og bøk kunne nyinnvandre innom et 50-100-årsperspektiv, men alm, ask (*Fraxinus excelsior*), lønn-arter (*Acer* spp.) og hassel (*Corylus avellana*) vil i stedet forventes å få en stor økning, både i den nemorale og hemiboreale sonen.

Forutsatt økt nedbrytingshastighet av humus pga. temperaturøkning og direkte antropogen deposisjon av nitrogen fra atmosfæren, kan vi regne med økning av nitrofile arter, både i og utenfor skog i nemoral, hemiboreal og sørboreal region, særlig i Sørøst-Norge og på Sørlandet (se 3.3). Platanlønn (*Acer pseudoplatanus*) kan etablere seg relativt raskt i mange skogsamfunn både i nemoral, hemiboreal og sørboreal region. Mulige nyinnvandrere fra sør blant treslagene, til nemoral region i Sørøst-Norge og Sørlandet, er på lengre sikt agnbøk (*Carpinus betulus*), lundalm (*Ulmus carpinifolia*) og vrangalm (*Ulmus laevis*).

Nordvendte bjørkelier langs Vestlandsfjordene vil på lengre sikt utvikle seg til eike- og bøkeskoger under 200-300 m.

I Nord-Norge vil alm og hassel på lengre sikt kunne ekspandere og nyinnvandre i bratte sørskråninger på kalkrik berggrunn. Kontinentale tørrbakker og varmekjære skogkantsamfunn vil sannsynligvis gå fram sammen med de nemorale og hemiboreale skogsamfunnene i indre strøk av Sør- og Midt-Norge.

Barskoger og fjellbjørkeskoger. En rekke arter i sør-, mellom- og nordboreal region er såkalte sørvestkystskyer (3.3), bl.a. gran og gråor. På grunn av atskillig mildere vintre,

vil høystaudesamfunn med tyrihjel (*Aconitum septentrionale*) og andre sørvestkystskyere i mellom- og nordboreal region på Østlandet gå tilbake og kanskje delvis bli erstattet med storbregnesamfunn med skogburkne (*Athyrium filix-femina*).

De store mellomboreale arealene på Hardangervidda vil utvikle seg til mellomboreal kystbjørkeskog på Vestvidda og granskog på Østvidda. Nordboreal region vil her bli ren fjellbjørkeskog. Mellomboreale arealer mellom Østlandet og Trøndelag vil antagelig utvikle seg mot furuskog i de fattige og kontinentale områder (Nord-Østerdalen, Røros-distriktet) mens grana kan ekspandere til de rikere fjelldalene mellom Kvikne og Gauldalen (Gauldalsvidda).

Den mellomboreale Finnmarksvidda vil være potensiell furuskog hvor jorddybden tillater det, særlig på Østvidda mot Øvre Anarjokka. Dalene og de lave fjellområdene i nord og vest i Finnmark er potensielle fjellbjørkeskogsområder. En del større dalområder i Troms og Finnmark har også potensielle granskogsområder, særlig hvor klimaet ikke er for tørt, bl.a. deler av Reisadalføret.

Forekomst av blåbærsamfunn i de høyereliggende vegetasjonsregionene vil i stor grad være avhengig av hvordan vintrene blir, særlig mht. tykkelse og varighet av snødekket, i tillegg til hva som blir dominerende vindretning.

Myrer. Utviklingen til våre myrområder ved klimaendringer er vanskelig å forutsi. Forekomst og dannelse av myr er bl.a. avhengig av humiditeten i klimaet og grunnvannsstanden. De såkalte aapamyrene i barskogsområdene på indre Østlandet kan være i faresonen med en rask økning i vintertemperaturen (Ingelög 1987). De hemiboreale høymyrene kan også være truet. Hvis enkelte myrarter dør ut, kan myrene lett bli utsatt for erosjon før nyinnvandring har funnet sted. Erosjon vil eksponere myrortv og øke hastigheten på oksydasjonsprosesser og dermed øke frigivelsen av CO₂.

Fjellvegetasjon. Kvantitativt vil alle fjellplantesamfunn gå tilbake (se regionkart og figur 2). Fjellbjørkeskog vil komme inn i den lavalpine regionen og deler av den mellomalpine regionen, der hvor jorddybde og snøforhold vil tillate det. De oligotrofe (fattige) fjellplantesamfunnene har en sammenhengende utbredelse i fjellkjeden, og vil ha de beste muligheter til fortsatt eksistens. Blåbær-blålyngheiene vil bli vanlige i mellomalpin region og på gunstige områder i høyalpin region.

Hvis NVE's foreløpige simuleringer av snødekke i sentrale fjellstrøk (N.R. Sælthun pers. medd.), med ca 45 dager kortere vinter for høyder over 1000 m, gir riktig tendens, vil rabbesamfunnene kunne ekspandere nedover mot snøleiene og utvide sine arealer i forhold til snøleiesamfunnene som vil få

sine arealer atskillig redusert. Lesidevegetasjon med blåbær vil muligens bare bli gjenstand for en ren forskyving nedover mot snøleiene med små arealmessige forandringer.

Eutrofe (rike) fjellplantesamfunn forekommer ofte i små og ofte vidt atskilte småbestander i fjellkjeden, bl.a. på Dovrefjell, østlige Jotunheimen og grensefellene i Troms og Finnmark. Småbestander er generelt mer truet, både av spredningsmessige og jordbunnsmessige årsaker. De rike mellomalpine grasheiene, bl.a. på Dovrefjell, er sterkt truet (se 3.3). Lapprosebestandene i Jotunheimen og Romsdalsfjella er også sterkt truet (se også Ingelög 1987).

Vierkratt med sørvestkystskyere som sølvvier (*Salix glauca*), lappvier (*Salix lapponum*) og ullvier (*Salix lanata*) vil kanskje gå tilbake av to årsaker: Økte vintertemperaturer og kortere vintre med tynnere snødekke. Andre overrislingssamfunn og en del fjellmyrer vil kunne få en liknende utvikling som vierkrattene.

Kystheier. Utviklingen av plantesamfunnene på kysten er noe uvisst, og kystseksjonen er på regionkartet beholdt uforandret i forhold til Dahl et al. 1986.

Røsslyng (*Calluna vulgaris*) som art vil sannsynligvis klare seg bra (Marrs 1986). Det nye klimaet gir grunnlag for nyvandring og ekspansjon til Sørlandet og Vest-Norge av varmekjære dvergbuskarter fra sørvestlige deler av Europa, f.eks. gulltorn (*Ulex europaeus*), ginst-arter (*Genista* spp.) og gyvel (*Sarothamnus scoparius*). På dypere mark kan en oseanisk økotype av einstape (*Pteridium aquilinum*) ekspandere nordover. Utviklingen til kystfuruskogene på Vestlandet er usikker.

3.6 Naturvern og biodiversitet

Det framtidige naturvernet vil sannsynligvis få som sin viktigste oppgave å føre an i kampen for å bevare biologisk diversitet og genetisk mangfold i naturen. Begrepet naturvern må antakelig få et nytt, dypere og differensiert innhold. En eller annen form for naturvern bør kanskje berøre mesteparten av våre arealer, men at vernet skal gi klarere og kanskje strengere regler for hvordan vi skal bruke disse arealene, hva og hvordan vi skal produsere i jord- og skogbruket for at vi skal nå det overordnede målet om å ta vare på det biologiske mangfoldet. Videreutvikling av flerbrukstanken kan bli nyttig i denne sammenhengen, for å gi alternativer til dominerende bruk av monokulturer i jord- og skogbruk i dag. Det vil fortsatt bli behov for å ta vare på representativ, spesiell og sjelden natur i form av reservater. Ny vernestrategi med nye utvalgsriterier, skjøtsel og overvåkingsopplegg må imidlertid vurderes i forhold til de trusler som ligger i klimaendringene (McNeely 1989, Boer et al. 1990). Følgende målsettinger, strategier og utvalgsriterier kan komme til å bli viktige for å

sikre mangfoldet i norsk natur:

- Vern av **større arealer**, men hvor strengt vern i klassisk reservat-betydning kan omfatte kjerneområder.
- Primært etablere **verneområder med stor topografisk diversitet**, (store høydeforskjeller og mange terrengetyper) for å gjøre verneområdene mindre ømfintlige for klimaendringer. Stor topografisk diversitet betyr mange vegetasjonsregioner representert lokalt, slik at vandring av arter og dyre-/plantesamfunn kan foregå over kortere avstander. Norge er her i utgangspunktet heldig stilt.
- I forhold til klimaendringer kan det bli viktig å **verne nordflanken** eller de nordligste deler av spesielt verdifulle artsforekomster etter som disse arealene blir de siste som blir truet ved en generell forflytting av regiongrenser nordover (Peters & Darling 1985).
- Sikring av **korridorer** for spredning av planter og dyr blir viktig, særlig sør-nord-gående korridorer og særlig i og i nærheten av store jordbruksområder og bebygde områder hvor de naturlige habitater er sterkt fragmentert (van Huis & Ketner 1987, Bernes 1989). For en del arter kan dette bli vanskelig, (f.eks. for arter med liten spredningskapasitet og som kanskje krever en eller annen gammel granskogstype for sin eksistens). Urskogsarter av planter og dyr i et kulturlandskap er generelt sterkt truet av klimaendringer, og forflytting (transplantasjon) ved direkte menneskelig hjelp kan være eneste utvei for noen. Spredningskorridorer som finnes i dag i kulturlandskapet er vann og vassdrag, veikanter og jernbanetraseer, men oftest bare for hemerofile og vidt utbredte arter (generalister).
- I forhold til klimaendringer bør framtidige vernestrategier for norsk naturvern i enda sterkere grad konsentreres om **boreale skogsområder og alpine områder**, etter som disse områdene synes å være de mest truede. Innenfor det boreale skogslandskapet, bør kanskje hovedinnsatsen på vern, ligge i de nordboreale områdene (fjellskogen).

Med hensyn til konsekvensene for artsdiversiteten for plantelivet under det norske klimascenariet forutser vi muligheter for **artsdød** og **redusert artsdiversitet** i en del områder, særlig for sjeldne arter og økologiske spesialister. Disse kan deretter erstattes av vidt utbredte arter, eventuelt ugras. En mulig konsekvens av artsdød, kan være destabilisering av økosystemer, og påfølgende sterk økning av r-strategier I våre fjellområder og høyere barskogsområder kan man regne med at mange plantepopulasjoner vil måtte gå til grunne. Her kan få eller ingen arter komme inn i stedet, og det eksisterer ingen innvandringspotensiale vestfra. Mellomalpine arter og grasheier, foruten høystaudesamfunn med sørvestkystskyere vil kanskje lide mest i nordboreal og alpin region.

I de varmere deler av landet, Sørøst-Norge og Sørlandet, kan man regne med økt artsdiversitet på lengre sikt, og at økningen særlig vil komme innenfor ugras og nitrofile arter.

I lavlandet i Vest-, Midt- og Nord-Norge, innenfor nemoral, hemiboreal og til dels sørboreal region, kan man regne med liten forandring av diversiteten, mest pga. av innvandring av ugras og nitrofile arter til både naturlige og kulturnære plantesamfunn, samtidig med at en del spesialister går ut. Artsantallet kan således opprettholdes i de sistnevnte områdene, men floraen på lengre sikt kan bli dominert av generalister. Hva dette betyr for stabiliteten i økosystemene, eksisterer det liten kunnskap om. Dette blir et framtidig forskningsområde i den botaniske økologien.

3.7 Litteratur

- Berg, B., Jansson, P.E. & McClaugherty, E. 1989. Climate variability and litter decomposition. - I abstract-bind fra European Conference on Landscape Ecological Impact of Climatic Change (LICC), Lunteren, the Netherlands, 3-7 December, 1989. s. 20-21.
- Bernes, C., red. 1989. Monitor 1989. Klimatet och naturmiljön. - Naturvårdsverket. 176 s.
- Boer, M.M., Koster, E.A. & Lundberg, H. 1990. Greenhouse impact in Fennoscandia. Preliminary findings of a European workshop on the effects of climatic change. - *Ambio* 19,1: 2-10.
- Boorman, L.A., Goss-Custard, J.D. & McGroarty, S. 1989. Climate change, rising sea level and the British coast. - *ITE Res. Publ.* 1: 1-24. ITE, Monks Wood Experimental Station. Huntingdon.
- Cohn, J.P. 1989. Gauging the biological impacts of the greenhouse effect. - *Bioscience* 39,3: 142-146.
- Dahl, R. 1950. Forlesninger over norsk plantegeografi. - Universitetsforlaget. 114 s.
- Dahl, E. 1951. On the relation between the summer temperature and the distribution of alpine vascular plants in the lowlands of Fennoscandia. - *Oikos* 3: 22-52.
- Dahl, E. 1990. Probable effects of climatic change due to the greenhouse effect on plant productivity and survival in North Europe. - I Holten, J.I., red. Effects of climate change on terrestrial ecosystems. Report from a seminar in Trondheim 16.01.1990. NINA Notat 4.
- Dahl, E. & Mork, E. 1959. Om sambandet mellom temperatur, ånding og vekst hos gran (*Picea abies* (L.) Karst). - *Medd. norske Skogfors.* 16: 81-93.
- Dahl, E., Elven, R., Moen, A. & Skogen, A. 1986. Vegetasjonsregionkart over Norge 1:1,5 mill. - Nasjonalatlas for Norge. Statens kartverk.
- Dobson, A., Jolly, A. & Rubenstein, D. 1989. The greenhouse effect and biological diversity. - *Trends Ecol. Evol.* 4,3: 64-68.
- Eliassen, A. & Grammelvedt, A. 1990. Scenarier (2 x CO₂ i Norge). Brev til Miljøverndepartementet 1.2.1990. - DNMI.

- Falkengren-Grerup, U. 1986. Soil acidification and vegetation changes in deciduous forest in southern Sweden. - *Oecologia* 70: 339-347.
- Fægri, K. 1960. Maps of distribution of Norwegian vascular plants. I. Coast plants. - *Univ. Bergen Skr.* 26: 134 s. + 162 kart.
- Gauslaa, Y. 1984. Heat resistance and energy budget in different Scandinavian plants. - *Holarct. Ecol.* 7: 1-78.
- Gjærevoll, O. 1973. *Plantegeografi*. - Universitetsforlaget. Oslo. 185 s.
- Grammeltvedt, A. 1990. Climate scenario for Norway. - I Holten, J.I., red. Effects of climate change on terrestrial ecosystems. Report from a seminar in Trondheim 16.01.1990. NINA Notat 4.
- Grime, J.P. 1988. Vegetation functional classification systems as approaches to predicting and quantifying global vegetation change. - I Solomon, A.M., red. Global vegetation change: Considerations for developing a long-term research plan. Proceedings of conference at the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria 17-22 April 1988.
- Grime, J.P. & Callaghan, T.V. 1988. Direct and indirect effects of climate change on plant species, ecosystems and processes of conservation and amenity interest. - Contract report to the Department of the Environment ref. T07020 b 1.
- Holten, J.I. 1983. Kriterier for avgrensning av vegetasjonssoner i Norge. - *K. norske Vidensk. Selsk. Mus. Rapp. Bot. Ser.* 1983,7: 76-94.
- Holten, J.I. 1986. Autecological and phytogeographical investigations along a coast-inland transect at Nordmøre, central Norway. - *Dr. philos. thesis. Univ. Trondheim.* 349 s., 69 pl. Upubl.
- Holten, J.I. 1987a. Botaniske kriterier for inndeling av arealer i oseanittsleksjoner. - *Prøveforelesning. Univ. Trondheim.* Upubl.
- Holten, J.I. 1987b. De skandinaviske fjellplanter. Hvorfor vokser disse planter i fjellet? - *Prøveforelesning. Univ. Trondheim.* Upubl.
- Holten, J.I. 1989. Predicted floristic change and shift of vegetation zones in a coast-inland transect in Central Norway. - I abstract-bind fra European Conference on Landscape Ecological Impact of Climatic Change (LICC), Lunteren, the Netherlands, 3-7 December 1989. s. 131-132.
- Holten, J.I. 1990. Kart over potensielle vegetasjonsregioner for Norge M 1:3 mill. - *Norsk institutt for naturforskning.*
- Hultén, E. 1971. Atlas över växternas utbredning i Norden. *Fanerogamer och ormbunkväxter.* 2. omarb. uppl. - Stockholm. 56 + 531 s.
- Hultén, E. & Fries, M. 1986. Atlas of North European vascular plants. North of the Tropic of Cancer. I-III. - Königstein. 1172 s.
- Hämet-Ahti, L. 1981. The boreal zone and its biotic subdivision. - *Fennia* 159: 69-75.
- Håbjørg, A. 1990. Adaptation and adaptability in Scandinavian plants. - I Holten, J.I., red. Effects of climate change on terrestrial ecosystems. Report from a seminar in Trondheim 16.01.1990. NINA Notat 4.
- Ingelög, T. 1987. Impact on nature conservation. - I Koster, E.A. & Lundberg, H., red. Impact analysis of climatic change in the Fennoscandian part of the boreal and subarctic zone. - European Workshop on interrelated Bioclimatic and Land Use Changes. Nord wijkerkout, the Netherlands, October 17-21 1987.
- Iversen, J. 1944. *Viscum, Hedera and Ilex* as climate indicators. - *Geol. För Stockh. Förh.* 66: 463-483.
- Ketner, P. 1990. Impact of climate change on flora and vegetation in Western Europe with special emphasize on the Netherlands. - I Holten, J.I., red. Effects of climate change on terrestrial ecosystems. Report from a seminar in Trondheim 16.01.1990. NINA Notat 4.
- Liljelund, L.E. 1990. Effects of climate change on species diversity and zonation in Sweden. - I Holten, J.I., red. Effects of climate change on terrestrial ecosystems. Report from a seminar in Trondheim 16.01.1990. NINA Notat 4.
- MacArthur R.H. 1972. *Geographical ecology*. - Harper & Row, New York.
- McNeely, J.A. 1989. Climate change and biological diversity: Policy implications. - I abstract-bind fra European Conference on Landscape Ecological Impact of Climatic Change, Lunteren, the Netherlands 4-7 December 1989. s. 22.
- Marrs, R.H. 1986. The role of catastrophic death of *Calluna* in heathland dynamics. - *Vegetatio* 66: 109-115.
- Moen, A. 1987. The regional vegetation of Norway, that of Central Norway in particular. - *Norsk geogr. Tidsskr.* 41: 179-226, kart.
- Peters, R.L. & Darling, J.D.S. 1985. The greenhouse effect and nature reserves. - *BioScience* 35: 707-717.
- Printz, H. 1933. Granens og furuens fysiologi og geografiske utbredelse. - *Nyt Mag. Naturvid.* 73: 167-219.
- Roisin, P. 1969. Le domaine phytogéographique atlantique d'Europe. - *Gembloux.* 262 s.
- Rühling, Å. & Tyler, G. 1986. Vegetationen i sydsvenska ekskogar. En regional jämförelse. - *Svensk Bot. Tidskr.* 80: 33-143.
- Salvesen, P.H. 1988. Sammenliknende dyrkingsforsøk med sørvestkyst-skyende planter. 1. Frilandsforsøk. - *Blyttia* 46,3: 145-153.
- Salvesen, P.H. 1989. Sammenliknende dyrkingsforsøk med sørvestkyst-skyende planter. 2. Forsøk i kontrollert klima. - *Blyttia* 47,3: 143-153.
- Skre, O. 1979. The regional distribution of vascular plants in Scandinavia with requirements for high temperatures. - *Norw. J. Bot.* 26: 295-318.
- Skre, O. 1990. Consequences of possible climatic temperature changes for plant production and growth in alpine and subalpine areas in Fennoscandia. - I Holten, J.I., red. Ef-

- fects of climate change on terrestrial ecosystems. Report from a seminar in Trondheim 16.01.1990. NINA Notat 4.
- van Huis, J. & Ketner, P. 1987. Climate sensitivity of natural ecosystems in Europe. - Discussion paper, prepared for the European Workshop on Interrelated Bioclimatic and Land Use Changes, the Netherlands, 17-21 October 1987. Wageningen. 151 s.
- Økland, R.H., Brandrud, T.E., Høiland, K. & Økland, T. 1985. Strategi for forvaltning av forekomster for utsatt plantearter i Norge. - Økoforsk Notat 1985,1: 1-16.

4 Virkninger på pattedyr- og fuglefauna

Kapitlet gir en kort innføring i hva en vet i dag om klimaets betydning for utbredelse av fugl og pattedyr og deres økologi og atferd. Det blir lagt mest vekt på å antyde mulige virkninger som de framlagte scenariene vil kunne få for fugl og pattedyr, deres utbredelse og populasjonsdynamikk. Det meste er basert på gjennomgang av et utvalg av aktuell litteratur, også utbredelseskart i håndbøker (bl.a. Brink 1968, Haftorn 1971, Perrins 1987), og er hovedsakelig framsetting av noen tanker og ideer som basis for videre hypoteseformulering og undersøkelser av effektene.

4.1 Pattedyrs og fuglers responser på klima - hva vet vi?

Ulike dyregrupper har svært ulik følsomhet for og respons på klimafaktorer. Pattedyr og fugl har omtrent konstant kroppstemperatur, uavhengig av omgivelsestemperaturen. De direkte effektene av klimafaktorer er ofte ikke så utpregete som for alle andre dyr, hvor kroppstemperaturen i store trekk følger omgivelsestemperaturen, og hvor klimafaktorer spiller en stor rolle i utbredelse, fordeling og biologi. Men også pattedyr og fugl reagerer på klimafaktorer og klimaendringer, og ikke minst indirekte. Her vil det bli nevnt noen eksempler på hvor klima har vist seg å være viktig for å bestemme utbredelse og økologi til fugl og pattedyr.

Utbredelsesmønstre. Haftorn (1958) og Semb-Johansson (1988) viser mange eksempler på forandringer i antall og utbredelse hos ulike norske dyrepopulasjoner, og diskuterer også ulike årsaker til endringene, og klimaforhold har hatt betydning for mange arter.

Utbredelse av fugler/pattedyr er vist å variere i relasjon til endringer i klima. Det eksisterer mye informasjon om sammenhenger mellom ekspansjon av utbredelse og forekomst av milde vintre, og lange kuldeperioder om vinteren har slått ut mange populasjoner. Flere generelle oversikter over sammenhenger mellom klima og utbredelser er publisert (Kalela 1949, 1952, Haftorn 1958, Haartman 1973, 1978, Williamson 1975, Järvinen & Väisänen 1979b, Semb-Johansson 1988). For en generell diskusjon av endringer i sammensetningen av fuglearter i Nord-Europa vises til Järvinen & Ulfstrand (1980).

I mange tilfelle er klima foreslått som forklaring på variasjoner i utbredelse og økologi uten at en har klart å påvise hvilken betydning klima har (Semb-Johansson 1988). For mange arter har det gjerne vært samvirke mellom klima og andre

faktorer. For noen arter har klima vært foreslått og diskutert som forklaring på utbredelsesvariasjoner, men eksisterende data kan tyde på at klima er en lite viktig faktor, f.eks. hos grevling (Bevanger 1985, pers. medd.).

Populasjonsendringer. Mange undersøkelser har vist sammenhenger mellom vekslinger i populasjonsstørrelser og populasjonstettheter og vekslinger i klimafaktorer (f.eks. Lien et al. 1974, 1975, Slagvold & Grasaas 1979, Møller & Olesen 1980). Dette er også diskutert av Semb-Johansson (1988). Ved en gradvis endring i klimaforholdene vil sannsynligheten for at en ekstrem vær-situasjon skal inntre, endre seg. Det vil være svært vanskelig å vurdere på forhånd hvilke effekter slike endringer vil få på bestandsutviklingen til de ulike artene. Lack (1966), Bailey & Batten (1968), m.fl. viste at en slik ekstrem vær-situasjon (hardvinteren 1962/63) hadde stor betydning for bestandsutviklingen til britiske fugler i lang tid.

Reproduksjon. Fugl og pattedyr reagerer ofte på endringer i miljøforhold, bl.a. klimafaktorer, på å tilpasse reproduksjonen. Variasjon i begynnelse av egglegging, kullstørrelse, hekkesuksess m.m. med høydenivå (e.g. Zang 1980), er direkte eller indirekte klimatisk betinget (jf. Kiziroglu 1982). Se også f.eks. Slagvold (1976).

Vinter og overlevelse. Det eksisterer et stort bevismateriale på at klimaforhold om vinteren har stor betydning på overlevelse av fugl og pattedyr (f.eks. Williamson 1975, Källander & Karlsson 1981, Clutton-Brock & Albon 1982, Semb-Johansson 1988). Se også ovenfor. Vinterens hardhet virker inn på både trekkende fugl, standfugler og sammensetningen av fuglesamfunn på hekkeplassen neste og følgende somre (f.eks. Herrera 1978).

Trekkstrategier/vandringsmønstre. Fugletrekk og vandringer hos pattedyr er hovedsakelig utviklet som tilpasning til forskjellige miljøforhold gjennom året, f.eks. at deler av året har umulige forhold for overlevelse for mange dyr. Alerstam (1982) diskuterer bl.a. klimaets betydning for utvikling og strategier for fugletrekk. Klimaet er også viktig for opprettholdelse av trekk og vandringsmønstre (jf. Haartman 1968, Alerstam & Högstedt 1980, Haila et al. 1986).

Indirekte faktorer som f.eks. endring av vegetasjon. Dyreartene er svært avhengige av vegetasjonen og viser stor overensstemmelse i utbredelse, antall og økologi med vegetasjonsforhold (f.eks. Järvinen & Väisänen 1979a, b, Semb-Johansson 1988). Det samme gjelder også f.eks. mengde insekter som næringsobjekt for mange fugl. Flere insektetende fuglearters hekkesuksess er nøye tilpasset fenologiske endringer i insektfaunaen, noe som igjen står i nært forhold til endringer i plantenes fenologi. Generelt har de fleste artene tilpasset seg en hekkesyklus slik at hekkingen skjer på et tidspunkt hvor mat-tilgangen er størst (Lack 1966, Perrins 1970).

Vi vet ikke i dag hvordan dette samvirket mellom insekter og f.eks. spurvefugl vil bli påvirket av klimaendringer.

4.2 Skisserte endringer i dyrenes miljø

Klimaendringene kommer i tillegg til alle andre endringer vi gjør i dyrenes miljø. Dessuten vil de skisserte endringene i klima medføre store endringer på kort tid, i forhold til de naturlige endringer som dyrene tidligere ofte har måttet tilpasse seg (McNeely 1989). De skisserte klimaendringene kan skje betraktelig fortere enn spredningshastigheten for de fleste dyr og planter (f.eks. Boer et al. 1990). Dessuten vil sannsynligheten for ekstreme vær-situasjoner endre seg, og effekter dette vil ha på dyrene vil være svært vanskelig å vurdere på forhånd.

De skisserte klimaendringene vil kunne føre til endringer i følgende faktorer i miljøet til pattedyr og fugl:

- Temperaturforholdene
- Nedbørforhold
- Snømengdeforhold
- Endringer i det hydrologiske kretsløp, f.eks. i våtmarker
- Habitater/vegetasjon/leveplasser
- Næringstilbudet (planter, insekter, jordlevende dyr, andre fugl og pattedyr)
- Økt havnivå

Eksempelvis vil økt nedbør om vinteren komme som snø i nordlige deler av Norge og i fjellet, og ekstremverdiene for nedbør forventes å bli større. En økning av snømengden kan føre til vanskeligheter for flere dyrearter som er avhengige av næringssøk på og nær bakken eller som vil ha problemer med å forflytte seg i dyp snø. Større grad av ising på vegetasjonen reduserer næringssøk og overlevelse for f.eks. mange fugl, samt pattedyr som villrein og hare (for villrein: se Skogland 1978).

4.3 Faktorer som begrenser dyrenes muligheter til å tilpasse seg klimaendringene

Indre begrensninger, f.eks. spredningskapasitet. De fysiologiske, atferdsmessige og økologiske tilpasninger til klima og habitat endrer seg langsomt hos fugl og pattedyr, og det er lite sannsynlig at dyrene kan utvikle vesentlig nye toleranse-grenser i de nærmeste 100 år. Vi må derfor vente andre typer responser på klimaendringene. Mange faktorer vil virke begrensende på dyrenes muligheter til å møte endringene med vellykket resultat.

De enkelte artene og organismene har bestemte krav til sitt levested. Toleransen mot de typer endringer som vil skje, er viktig for hva slags respons som vil bli gitt av dyrene. Denne varierer fra art til art. Dessuten må vi ha kunnskaper om hvilke faktorer som virker regulerende på de enkelte artene og populasjonene.

De ulike artene har ulike vandrings-/spredningshastigheter. Evnen til å spre seg over større distanser kan ha stor betydning hvis det blir langt mellom potensielle habitater (f.eks. Wiens 1989).

Ytre begrensninger (miljø), f.eks. fysiske barrierer. Spredningsmulighetene antas å ha stor betydning. Dyr som enten må trekke seg unna et område som er blitt ugunstig eller som kan ta i bruk et område som er i ferd med å bli gunstig, vil kunne møte geografiske barrierer som vanskeliggjør spredning. Dette kan f.eks. være havområder eller store fjellpartier. Det er mange eksempler på dette også i norsk fauna. Mulige pattedyrarter fra Mellom-Europa vil møte hindringer på vei til Norge. Fugler har lettere for å komme til nye områder, og færre spredningsbarrierer i nykolonisering av Norge. Disse barrierene kan være fysiske (som sjøer og vann) eller økologiske som f.eks. klima- eller vegetasjonsregioner (f.eks. Udvardy 1969).

Mulighetene for spredning er også avhengig av om det i det hele tatt er noen potensielle områder å flytte til, eventuelt kan mulige habitater ha blitt så sterkt redusert i størrelse og blitt så fragmenterte at langt færre individer kan komme dit og leve der. Dette vil kunne ramme mange nordlige eller alpine arter som får sterkt reduserte habitater.

Spredningsresultatene vil variere mye fra art til art. Noen arter (bl.a. særlig fugler) vil være effektive sprede og vil være i stand til å skifte område for å kunne utnytte nye, passende habitater. Noen arter vil i beste fall oppleve en tidsforskyvning før effektiv ny kolonisering er mulig. Mange arter vil i verste fall aldri være i stand til å komme tilbake uten menneskets hjelp, fordi trekk/vandringsruter er blitt kuttet over. Dette kan skje blant annet ved økt fragmentering av habitaterne, f.eks. for mange alpine/subalpine arter.

De skisserte endringshastighetene i miljøet til fugl og pattedyr er større enn de fleste tidligere kjente naturlige endringer. En slik endringshastighet kan være større enn mulighetene som mange arter har til å tilpasse seg (se også 4.2, McNeely 1989, Boer et al. 1990). Vi kjenner også mange tilfelle av at dyr svært hurtig har tilpasset seg endringer i miljøet.

Kolonisering. Mulighetene til å etablere seg når man kommer fram er avhengig av flere forhold. I starten er individtallet lite. Små bestander er lett sårbare for naturlige bestandsvariasjoner (Soulé 1987). Hvis forplantningsevnen hos

populasjonen er stor, går det lettere og etablere seg og få suksess. r-strategier lykkes lettere som kolonister enn K-strategene. Koloniseringsområdet må være gunstig fysisk og biologisk, bl.a. for reproduksjon og næringskrav til både voksne og unger.

Artens/populasjonens fleksibilitet i næringsvalg har også betydning. For en nærmere diskusjon av spredningsfaktorer, se Udvardy (1969). Vi har generelt for dårlig informasjon om hvilke spredningsmuligheter og spredningsbegrensninger de ulike organismene og artene fugl og pattedyr har, for å kunne forutsi virkningene av klimaendringene for de enkelte artene.

4.4 Hva kan ventes av faunaendringer generelt?

Eksisterende kunnskap er utilstrekkelig til å forutsi hvor store endringene vil bli, i de fleste tilfelle heller ikke hvilken retning de går. Noen arter vil ha fordel av dem, noen vil tape (jf. også McNeely 1989).

Vi må regne med betydelige endringer i arter og populasjoner av fugler og pattedyr. Deres utbredelse beveger seg når klima-mønstre endres: arter dør ut i områder hvor de en gang ble funnet, og koloniserer nye arealer hvor klimaet er blitt nylig passende (f.eks. Williamson 1975, Semb-Johansson 1988).

Arter som generelt vil gå tilbake, inkluderer arter som allerede i dag er truet, alpine arter, arktiske arter, trekkende arter og spesialiserte arter. Arter som generelt vil øke, inkluderer arter som følger mennesket og "pest"-arter (McNeely 1989), muligens også r-strateger.

Endringer i utbredelse av arter. Den antydte forskyvning av vegetasjonsregioner vil kunne minske områder med passende habitater for typiske (sub)arktiske og (sub)alpine arter. I stedet vil arter som lever ved nordgrensen i deres utbredelsesområde trekke fordel av klima-oppvarming (Boer et al. 1990). Forholdene vil ligge til rette for at man får flere arter i sentrale og nordlige deler av Skandinavia enn en har i dag, mens det er tvilsomt om betingelsene vil gi økning i artsantallet i de sørligste delene av Skandinavia, i det minste over kort tid (Ingelög 1987). Flere har dokumentert slike endringer (Haftorn 1958, Haartman 1973, 1978, Järvinen & Ulfstrand 1980).

Dette vil føre til en generell forskyvning av utbredelse for arter mot fjellet og mot nord. Det antas at særlig generalister og lettspredte arter vil flytte sitt utbredelsesområde mot nord (Ingelög 1987).

Utbredelsesmønsteret for de artene vi har i dag vil endres. Artene vil kunne ta i bruk helt nye områder av landet, eventuelt forsvinne eller trekke seg tilbake.

Vi vil antakelig få flere nyinnvandrere, særlig blant fugl. Det er mest naturlig at disse vil komme fra Mellom-Europa eller fra Storbritannia. Tilfeldige trekkgjester vil kunne utgjøre et innvandrings- og koloniseringspotensiale.

Faunaen kan reagere raskere enn vegetasjonen. Dyrene og særlig fuglene kan reagere raskt på det nye klimaet, og det vil være lettere for dem å trekke seg nordover enn for plantene. Vegetasjonsregionene de fortrinnsvis lever i, flytter seg ikke like raskt. Dette fører lett til endrete utbredelsesmønstre for mange arter som er svært komplisert å forutsi.

Vi må vente at klimaendringene fører til økt habitatfragmentering, særlig for nordlige og alpine arter. Dette vil påvirke levedyktigheten sterkt. Det er sannsynlig at arter og populasjoner som i dag lever i "lommer" (isolerte utbredelsesområder) vil få problemer med å trekke seg nordover.

Arter som får økt utbredelse. Generelt vil dette være arter som er begrenset av temperatur, snøforhold og tilgangen på varmekjære vegetasjonstyper, f.eks. sørlige og vestlige arter. Utbredelsen vil øke for disse. Sørlige arter som vil være i stand til å spre seg vil øke (Ingelög 1987). Mange små pattedyr og også småfugl vil få bedre betingelser. Mange av disse er også r-strateger (se nedenfor). Arter som lever sammen med mennesket, f.eks. rotter, mus, spurver, duer og kråker, har vist seg som opportuniste og tilpasser seg lett endringer i sitt miljø, og kan forventes å reagere hurtig på endringer i klimaforholdene (McNeely 1989).

Arter som reduseres i utbredelse. Gruppen inkluderer bl.a. (McNeely 1989):

- Arter som har vanskelig for å spre seg.
- Arktiske, alpine og nordlige arter, bl.a. arter som i dag lever i høyfjellet, går tildels sterkt tilbake.
- Sjeldne, nordlige arter blir direkte truet.
- Barskogsarter vil forflytte seg mot nord og oppover i terrenget.

Mange arter som er karakteristiske for Norge i europeisk sammenheng vil antakelig få det vanskeligere. Både jerv, fjellrev, lemen, villrein, snøugle og jaktfalk vil sterkt reduseres i utbredelse og antall, på grunn av endringer i vegetasjonsmønsteret og at de prefererte leveområdene vil forflytte seg oppover i terrenget og mot nord og totalt sett minke i utstrekning.

Trekkende arter trenger passende betingelser langs hele trekkrutene, og er derfor sårbare for habitatendringer på mange steder. Blant annet er arktiske vadefugler utsatt (McNeely 1989). Jf. også Boorman et al. (1989).

Fjellområder vil etter hvert utgjøre øyer som minker i størrelse, omgitt av skoger. Det er dokumentert at fjellområder allerede i dag taper arter hurtigere enn de får nye (McNeely 1989).

Fragmentering av populasjoner fører også til mindre populasjoner, som igjen er mer sårbare for genetiske effekter og miljøbelastninger.

Endringer i populasjonstettheter og populasjonssammensetning. Vi kan forvente at det vil skje tetthetsendringer i bestandene, reproduksjonsratene og dødsratene endres, aldersfordelinger og kjønnsfordelinger påvirkes, og fordelingsmønstre endres. Bæreevnen vil for de fleste arter og de fleste steder bli annerledes. Klima er vist å ha betydning for produktiviteten hos hjortedyr, f.eks. hos elg (Sæther 1985).

Ulike organismer kan ha ulik respons på klimafaktorer gjennom ulike faser i sin livssyklus, og gjennom ulike årstider (Ingelög 1987). Dette vil så kunne føre til at klimaendringene får ulik virkning avhengig av bl.a. alder på organismene.

Generell livsstrategi for dyreartene, f.eks. evnen å trekke til andre arealer med mer gunstige miljøbetingelser, vil kontrollere graden og naturen til en arts respons. Arter som er tilpasset et variabelt miljø, utnytter en tilgjengelig ressurs bare for en kort tid, formerer seg raskt og har god spredningsevne, vil gjerne ha fordeler når miljøet endrer seg drastisk. Dette er typiske r-tilpassete arter, bl.a. mange småpattedyr og småfugl (f.eks. Boer et al. 1990). Derimot vil K-adapterte arter sannsynligvis tape, fordi de er tilpasset et mer konstant miljø, modner seint, reproducerer sakte, lever vanligvis lenge, lever i mer konstante antall, og har relativt lav trekk-kapasitet. Eksempler er rovfugler, rovdyr og andre arter som er sjeldne eller har få individer i populasjonene. (Jf. også Boer et al. 1990). Hvis derimot forholdene stabiliserer seg, vil K-adapterte arter ha fordeler. Dessuten avhenger dette mønsteret av hvor vi befinner oss. Hvilken effekt dette vil ha på de enkelte populasjonene er svært vanskelig å vurdere på forhånd.

Hva skjer så med populasjonsfluktuationene, f.eks. smånager-svingningene? Et generelt mønster ser ut til å være at stabiliteten er mindre og at svingningene er større i nordlige enn i sørligere områder og i høyereliggende enn i lavereliggende områder (for fugl: Järvinen 1979). Kan vi vente at svingningene reduseres i amplitude på grunn av at områdene får et mer "sørlig" preg? Det er sannsynlig at vegetasjonen vil utgjøre et mer stabilt næringsgrunnlag for bl.a. smånagerne, forskjellene gjennom året varierer mindre, antall småpattedyrarter øker i de fleste områder, og at byttedyrfaunaen for rovfugler, ugler og rovpattedyr omfatter flere arter. I tilfelle vil hele systemet kunne være mer stabilt. Det kreves inngående studier av struktur og dynamikk i småpattedyrsystemene framover for å kunne være i stand til å følge virkningene av klimaendringene.

Predasjonsrater og konkurranseforhold. Interspesifikke interaksjoner vil kunne bli påvirket og endret av klimaendringer. Dette påvirker også utbredelsene. Nye konkurrenter og predatorer og bytteorganismer vil komme fra sør og/eller lavlandet. Resultatene av dette er komplisert å forutsi.

Endringer i reproduksjonsforhold. Reproduksjonsfaktorer er hovedmekanismene som organismene vil bruke for å tilpasse seg endringene i klima. Naturlig utvalg favoriserer sterkt de fugler som produserer mange overlevende unger, og det er viktig for fuglene å kunne tilpasse reproduksjonen til miljøet (jf. Perrins 1970). Både kullstørrelse, fødselsintervall, antall overlevende unger, spontanaborter, forsinket implantasjon, og spredning av unger blir påvirket. Det er særlig de unge stadiene som er sårbare for endringene, jf. McNeely (1989). Det kan også hende at fugler og pattedyr vil få problemer med å finne egnete hekke-/yngeplasser.

Endringer i overlevelse og vinterøkologi. Næringssskumlighetene og diettvalget vil kunne bli påvirket og eventuelt endret. Herbivore dyr vil lettest bli berørt på grunn av tilpasninger til bestemte plantearter eller plantegrupper. F.eks. beiter elg på ulike plantearter sommer og vinter, og selektivt på noen få arter i hver årstid (se flere artikler i Myrberget 1987).

Endringer i trekkstrategier/vandringsmønstre. Vinteren er antydning å bli langt mildere de fleste steder i Norge. Dette vil kunne medføre at flere fugler eller pattedyr vil forsøke å tilbringe vinteren hos oss og overleve. Antallet trekkende fugler, trekkveier og betydningen av rasteplassene vil bli endret (jf. Haartman 1968, Alerstam & Högstedt 1980, Haila et al. 1986). Som diskutert tidligere vil det i tilfelle en enkelt hard vinter kunne føre til at en stor del av overvintrende populasjoner blir redusert kraftig og ha effekter på hekkepopulasjonene i mange år framover. Et annet forhold er at fuglene ved endringer i miljøet på grunn av klima vil kunne komme på galt tidspunkt i forhold til fenologi (jf. f.eks. Slagsvold 1976).

Genetiske effekter. Vil det skje noen utrydding eller tilbakgang av bestemte stammer av dyr. Små populasjoner kan ha liten genetisk diversitet og er svært sårbare for endringer, også fordi de kan ha vanskelig for å tilpasse seg endringer (McNeely 1989). Enkelte sjeldne eller sårbare arter vil få store problemer med å overleve.

Endringer i fugle- og pattedyrsamfunn. Artene antas å reagere ulikt på de klimatiske endringene, og ulike populasjoner vil komme til å gi ulik respons på klimaendringene (f.eks. Boer et al. 1990). Dette vil gi store endringer i dyresamfunn både kvalitativt og kvantitativt, både for fugl og sammensetning av pattedyrarter, f.eks. smågnagere, innen samme område. Vi kan vente nye og ukjente/hittil uvanlige sammenhenger mellom artene i samfunn.

Samfunnenes organisering, struktur og mangfold (diversitet) vil endres, også på grunn av artenes ulike respons på endringene. Det er også grunn til å vente at samfunnene de fleste steder vil bli mer stabile (jf. Järvinen 1979). I tillegg vil antakelig næringskjedene endres, samt at nye arter blir nøkkelarter og dominante arter i samfunnene.

Virkninger av stigning i havnivået. Det er skissert en økning av havnivået på inntil 100 cm på 100 år. Det er antatt at forandringene knyttet til økning av havnivået vil sterkt redusere de store antallene av de mange fugleartene som raster, søker næring eller hekker i og ved tidevannssonene (Boorman et al. 1989). Estuarier utgjør vinterområdene for de aller fleste vadefugl i Europa.

4.5 Endringer i fuglelivet

Fuglelivet vil antakelig bli sterkt berørt og endret. På hekkplassene vil det skje endringer i fuglesamfunnenes struktur, tetthet, sammensetning av arter, og funksjon. Fuglepopulasjoner som er særlig sårbare for habitatendringer er utsatt. Generelt vil populasjonstettheter endre seg mye, opp eller ned avhengig av sted. Vi må regne med at alle fuglearter vil møte store endringer på hekkplassene.

Antakelig skjer de største endringer med trekkfuglene. For det første er trekkfugler avhengige av forholdene under hele trekkrutene, og klimaendringer vil føre til at trekkfuglene vil møte endrete forhold både i Afrika, Sør-Europa og Nord-Europa. Hvordan dette slår ut for de enkelte artene, er svært komplisert å forutsi. For det andre vil langt-trekkende fuglearter som i dag er svært sjeldne eller ikke fins så langt nord som Norge, sannsynligvis trekke lenger mot nord og begynne å hekke nordover i Norge. Eksempler på dette vil være f.eks. flere sørlige sangerarter. For det tredje vil fugler som i dag trekker sørover om høsten/vinteren i større utstrekning begynne å overvintre i Norge. Disse vil få bedre overlevelse og være i stand til å ta i bruk hekkeområdene tidligere på våren. Dessuten vil endrete forhold på trekklokaliteter muligens redusere sjansene for å komme fram til hekke- eller overvintringsplassene. Uansett, må vi de fleste steder regne med større og flere overvintrende populasjoner.

Vi må vente en kraftig forskyvning av arter ettersom vegetasjonen forflytter seg.

Noen få fuglearter kan nevnes som eksempel på mulige endringer for fuglelivet. Av arter som vil få problemer, er mange nordlige arter og de typiske høvfjellsartene, samt arter som lever av høvfjellsartene. Spesialiserte arter vil samtidig være utsatt. F.eks. må jaktfalk *Falco rusticolus* ha åpne vidder å jakte på og unngår skog (P. Tømmeraaas pers. medd). Snø-

gle *Nyctea scandiaca* vil kan hende forsvinne helt fra vår fauna. Arktiske vadefugl som i dag til dels også hekker i det nordligste Norge, er svært utsatt. Fjellrype *Lagopus mutus*, snøspurv *Plectrophenax nivalis* og lappspurv *Calcarius lapponicus* vil få sterkt innskrenkede hekkearealer. Lirypas *Lagopus lagopus* hekkebiotoper vil forflytte seg oppover i terrenget, og totalarealet for lirype vil bli sterkt redusert. Fugler knyttet til fjellbjørkeskogen vil generelt gå sterkt tilbake og bli erstattet av granskogsarter. Fugler knyttet til våtmark vil antakelig delvis øke i antall og utbredelse, delvis minke.

Mange sørligere arter vil antakelig øke, bl.a. flere arter som i dag fins sør i landet eller i Danmark eller i Sør-Sverige, men ikke i mer nordlige eller høyere liggende strøk. Antakelig vil arter som pungmeis *Remiz pendulinus*, svartrødstjert *Phoenicurus ochruros*, svartstrupe *Saxicola torquata* og isfugl *Alcedo atthis* få større innpass i lavlandsområdene i Sør-Norge. Dessuten vil mange lavlandsarter bli begünstiget av at biotopene går lenger oppover i terrenget og at vinteren blir mildere oppover mot fjellet. Bokfink *Fringilla coelebs*, pilfink *Passer montanus*, tornirisk *Carduelis cannabina*, gransanger *Phylloscopus collybita*, de fleste *Sylvia*-sangerne, nattergal *Luscinia luscinia*, fasan *Phasianus colchicus*, flere riksearter, rapphøns *Perdix perdix*, kornspurv *Miliaria calandra* er eksempler på arter som antakelig vil få økt utbredelse ved klimaendringene.

4.6 Endringer for pattedyr

Pattedyrarter fra Mellom-Europa antas å ha små muligheter for innvandring til Skandinavia på grunn av spredningsbarrierer. Derimot kan arter som i dag fins f.eks. i Skåne lettere komme hit når vintrene blir gunstigere. Arter som får fordel av klimabedring om vinteren er bl.a. sørhare *Lepus capensis*, villkanin *Oryctolagus cuniculus* og moldvarp *Talpa europaea*. Andre arter som muligens blir begünstiget, er dvergmus *Micromys minutus* og hasselmus *Muscardinus avellanarius*. Villsvin *Sus scrofa* er også en potensiell nykommer i norsk fauna. Dådyr *Dama dama* vil kunne øke i utbredelse. Antakeligvis vil også rådyr *Capreolus capreolus* ta i bruk nye områder opp mot fjellet, mot nord, og kanskje også øke i generell tetthet, på grunn av mindre snødybder.

Artene som lever i fjellet vil få problemer. Fjellrev *Alopex lagopus* som i dag lever i små bestander, er lett sårbar for miljøendringer, og som også i dag er truet, må vies spesiell oppmerksomhet. Den vil antakelig utryddes som norsk art ut fra de skisserte endringene. Lemen *Lemmus lemmus* må generelt trekke seg oppover i terrenget og vil få mindre arealer med gunstige habitater. Moskusfe *Ovibos moschatus* er truet såfremt klimascenariene slår til. Jerv *Gulo gulo* vil være direkte truet.

En temperaturøkning vil begrense villreinbestandenes *Rangifer tarandus* leveområder. De optimale leveområder blir kraftig redusert etter hvert som skoggrensa trekker seg oppover. Tilgjengeligheten av de eksisterende beiter vil antakelig endre seg. Mange av dagens villreinbestander vil kunne forsvinne bl.a. på grunn av vegetasjonsendringene. De genetiske virkningene av dette trengs å undersøkes nærmere.

Elgens *Alces alces* utbredelsesområde trekkes nordover på grunn av at bl.a. barskogen minker i sør og øker i nord.

Hvordan vil en rask og betydelig klimaendring virke inn på syklisiteten i våre smågnagerbestander, som samtidig er en betydelig drivkraft i populasjonsdynamikken hos mange andre arter? Vi må regne med at artssamsetningen endres, at vi får større innslag av flere arter og at svingningene blir mindre. (Se også 4.4).

4.7 Litteratur

- Alerstam, T. 1982. Fågeflytning. - Signum, Uppsala.
- Alerstam, T. & Högstedt, G. 1980. Spring predictability and leapfrog migration. - *Ornis Scandinavica* 11: 196-200.
- Bailey, R.S. & Batten, L.A. 1968. Bird population changes on farmland for the years 1966-67. - *Bird Study* 15: 181-183.
- Bevanger, K. 1985. Utvikling av grevlingbestanden og utbredelse i Norge. - *Fauna*, Oslo 38: 120-131.
- Boer, M.M., Koster, E.A. & Lundberg, H. 1990. Greenhouse impact in Fennoscandia. Preliminary findings of a European workshop on the effects of climatic change. - *Ambio* 19: 2-10.
- Boorman, L.A., Goss-Custard, J.D. & McGroarty, S. 1989. Climatic change, rising sea level and the British coast. - *Inst. Terrest. Ecol. Res. Publ.* 1: 1-24.
- Brink, F.H. van den. 1968. Europas pattedyr. Norsk utgave ved J.A. Pedersen. - Tiden Norsk Forlag, Oslo.
- Clutton-Brock, T.H. & Albon, S.D. 1982. Winter mortality in Red Deer (*Cervus elaphus*). - *J. Zool., Lond.* 198: 515-519.
- Haartman, L. von. 1968. The evolution of resident versus migratory habit in birds. Some considerations. - *Ornis Fennica* 45: 1-7.
- Haartman, L. von. 1973. Changes in the breeding bird fauna of North Europe. - I Farner, D.S., red. Breeding biology of birds. Proceedings of a symposium on breeding behavior and reproductive physiology in birds, Denver, Colorado, February 1972. s. 448-451.
- Haartman, L. von. 1978. Changes in the bird fauna in Finland and their causes. - *Fennia* 150: 25-32.
- Haftorn, S. 1958. Populasjonsendringer, spesielt geografiske forskyninger i den norske avifauna de siste 100 år. - *Sterna* 3: 105-137.
- Haftorn, S. 1971. Norges fugler. - Universitetsforlaget, Oslo.

- Haila, Y., Tiainen, J. & Vepsäläinen, K. 1986. Delayed autumn migration as an adaptive strategy of birds in northern Europe: evidence from Finland. - *Ornis Fennica* 63: 1-9.
- Herrera, C.M. 1978. On the breeding distribution pattern of European migrant birds: MacArthur's theme reexamined. - *Auk* 95: 496-509.
- Ingelög, T. 1987. Impact on nature conservation. - I Koster, E.A. & Lundberg, H., red. European workshop on interrelated bioclimatic and land use changes. Noordwijkerhout, Netherlands, October 19-21.1987. Volume D. Impact analysis of climatic change in the Fennoscandian part of the boreal and subarctic zone. s. 69-75.
- Järvinen, O. 1979. Geographical gradients of stability in European land bird communities. - *Oecologia*, Berl. 38: 51-70.
- Järvinen, O. & Ulfstrand, S. 1980. Species turnover of a continental bird fauna: Northern Europe, 1850-1970. - *Oecologia*, Berl. 46: 186-195.
- Järvinen, O. & Väisänen, R.A. 1979a. Changes in bird populations as criteria of environmental changes. - *Holarctic Ecology* 2: 75-80.
- Järvinen, O. & Väisänen, R.A. 1979b. Climatic changes, habitat changes, and competition: dynamics of geographical overlap in two pairs of congeneric bird species in Finland. - *Oikos* 33: 261-271.
- Kalela, O. 1949. Changes in geographic ranges in the avifauna of Northern and Central Europe in relation to recent changes in climate. - *Bird-Banding* 20: 77-103.
- Kalela, O. 1952. Changes in the geographic distribution of Finnish birds and mammals in relation to recent changes in climate. - *Fennia* 75: 38-51.
- Kiziroglu, I. 1982. Brutbiologische Untersuchungen an vier Meisenarten (*Parus*) in der Umgebung von Ankara. - *Journal für Ornithologie* 123: 409-423.
- Källander, H. & Karlsson, J. 1981. Population fluctuations of some North European bird species in relation to winter temperatures. - *Proc. Second Nordic Congr. Ornithol.* 1979: 111-117.
- Lack, D. 1966. *Population Studies of Birds*. - Clarendon Press, Oxford.
- Lien, L., Østbye, E., Hogstad, O., Haande, K.M., Hagen, A., Skar, H.-J., Skartveit, A. & Svalastog, D. 1974. Bird surveys in the high mountain habitats of Finse and Stigstuv, Hardangervidda, south Norway, 1967-72. - *Norw. J. Zool.* 22: 1-14.
- Lien, L., Østbye, E., Hagen, A., Skar, H.-J. & Svalastog, D. 1975. Density variations of bird populations in high mountain habitats, Hardangervidda. - I Wielgolaski, F.E., red. *Ecological Studies. Analysis and Synthesis*, 17. Fennoscandian Tundra Ecosystems, 2. s. 105-110.
- McNeely, J.A. 1989. Climate change and biological diversity: Policy implications. - *European Conference on Landscape Ecological Impact of Climatic Change*, Lunteren, the Netherlands 4-7 December 1989. Unpubl. manus. 22 sider.
- Myrberget, S., red. 1987. Elgen og Skogbruket. Elg - Skog - Samfunn. Artikkelsamling fra Norsk Skogbruk 32. 1986. - Direktoratet for naturforvaltning, Trondheim.
- Møller, N.M. & Olesen, N.S. 1980. Distribution of the Gray Heron *Ardea cinerea* in Denmark 1978. - *Dansk orn. Foren. Tidsskr.* 74: 105-112.
- Perrins, C.M. 1970. The timing of birds' breeding seasons. - *Ibis* 112: 242-255.
- Perrins, C. 1987. Europas fugleliv. Norsk utgave ved V. Ree (red.), P.-G. Bentz, F. Mehlum & T. Slagsvold. - Gyldendal Norsk Forlag, Oslo.
- Semb-Johansson, A. 1988. Endringer i dyrelivet i vår tid. - *Fauna*, Oslo 41: 73-90, 109-132.
- Skogland, T. 1978. Characteristics of the snow cover and its relationship to wild mountain reindeer (*Rangifer tarandus tarandus* L.) feeding strategies. - *Arctic and Alpine Research* 10: 569-580.
- Slagsvold, T. 1976. Annual and geographical variation in the time of breeding of the Great Tit *Parus major* and the Pied Flycatcher *Ficedula hypoleuca* in relation to environmental phenology and spring temperature. - *Ornis Scandinavica* 7: 127-145.
- Slagsvold, T. & Grasaas, T. 1979. Autumn population size of the Capercaillie *Tetrao urogallus* in relation to weather. - *Ornis Scandinavica* 10: 37-41.
- Soulé, M.E. 1987. *Viable populations for conservation*. - Cambridge University Press, Cambridge.
- Sæther, B.-E. 1985. Annual variation in carcass weight of Norwegian moose in relation to climate along a latitudinal gradient. - *J. Wildl. Mgmt* 49: 977-983.
- Udvardy, M.D.F. 1969. *Dynamic zoogeography. With special reference to land animals*. - Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- Wiens, J.A. 1989. *The ecology of bird communities. 1. Foundations and patterns*. - Cambridge University Press, Cambridge.
- Williamson, K. 1975. Birds and climatic change. - *Bird Study* 22: 143-164.
- Zang, H. 1980. Der Einfluss der Höhenlage auf Siedlungsdichte und Brutbiologie höhlenbrütender Singvögel im Harz. - *Journal für Ornithologie* 121: 371-386.
- Østbye, E., Steen, H., Framstad, E. & Tveite, B. 1989. Er det noen sammenheng mellom klimavariasjoner og smågangersvingninger? - *Fauna*, Oslo 42: 147-153.

5 Endringer i produktivitet, utbredelsesmønster og dominansforhold hos ferskvannsfaunaen

Innledning. Dyras utbredelsesmønster er grovt sett bestemt av abiotiske faktorer som klima og fysisk miljø, artenes spredningsevne og lokalitetenes bæreevne eller produktivitet. Det aktuelle utvalg og dominansforhold mellom artene bestemmes ved konkurranseforhold og predasjon. I avsnitt 5.1 går vi gjennom de klimatiske endringene som ligger til grunn for våre vurderinger, mens vi i 5.2 tar for oss fysiologiske prosesser og produksjonsendringer, i 5.3 dyregeografiske endringer og i 5.4 konkurranseforhold og predasjon.

5.1 Forutsetninger

For å kunne vurdere klimaendringers virkning på dyrelivet i ferskvann må vi gjøre visse forutsetninger om endringer i abiotiske og biotiske faktorer. Dette er gjort på grunnlag av de skisserte klimascenarier. Økosystemet i ferskvann er bygd opp av ulike trofiske nivåer i næringsnett. Endringer på et nivå vil påvirke arts- og bestands sammensetning på andre nivåer. Således vil endringer i primærproduksjonen og sammensetningen av algesamfunnet få konsekvenser for dyrelivet på høyere trofiske nivå. Vi har derfor bygd våre vurderinger på NIVAs rapport om endringer i innsjøens primærproduksjon (Hessen 1990). I tillegg har vi benyttet grunnlagsdata om endringer i abiotiske faktorer fra foreløpige rapporter av DNMI og NVE.

Temperaturendringer. Den økte lufttemperaturen vil endre temperaturen i vannet. Vann har høy varmekapasitet og varmes seint opp sammenlignet med luft. I vannlaget over sprangsjiktet anslås en temperaturøkning på 50 % eller mer av den forventede økningen i lufttemperaturen (Hessen 1990). Ved fullomrøring av vannmassene (vår, høst og om vinteren fram til eventuell islegging) vil temperaturøkningene bli mindre. Minst endringer vil vi få i dype sjøer hvor det er et langt større vannvolum som skal varmes opp. På grunn av det varierende vannvolumet som skal varmes opp, er det vanskelig å anslå hvilke temperaturendringer vannet vil få i disse perioder. Vi antar derfor at temperaturendringen under omrøringsperioden blir som i epilimnion om sommeren. Det er imidlertid klart at i dype sjøer vil endringene i vanntemperaturen bli mindre enn dette.

De antatte temperaturendringer vil således bli:

Sommer: Luft: 1,5-3,0 °C Vann: 1,0-2,0 °C
Vinter: Luft: 3,0-5,0 °C Vann: 1,0-3,0 °C.

Vannføring. Klimascenariene forutsetter at nedbøren vil øke med 5-20 % avhengig av årstiden. Endringene vil bli noe forskjellig avhengig av om området i dag har kyst- eller innlandsklima. Simuleringer av klimaendringene på Vestlandet viser at vintervannføringen øker kraftig (NVE 1990), og det blir et betydelig tilslag fra alle deler av nedslagsfeltet. I tillegg vil variabiliteten i vintervannføringen øke kraftig. Det vil også bli en kraftig økning i lengden av perioden med høst- og vinterflommer; fra i dag tre måneder (september - november) til fem måneder (september - januar). Vårflommen vil imidlertid bli kraftig redusert og bli helt borte i lavereliggende strøk. I stedet vil det bli betydelige flommer i perioden februar - april. Simuleringer av klimaendringene på det indre av Østlandet viser at også i dette området vil høst- og vintertilslaget øke kraftig på bekostning av vårflommen. Dette vil særlig gjøre seg gjeldende i de midlere og lavereliggende strøk (< 1000 m o.h.) hvor høstflommene vil øke kraftig samtidig som de får økt varighet. Høstflommene vil imidlertid ikke bli større enn vårflommen. I de lavereliggende strøk vil de i dag stabile vårflommene i mai bli erstattet av smelteflommer fra februar til slutten av april.

Isfri periode. Omrøring og sjiktning av vannmassene er viktige parametre for økosystemet i innsjøen. Under omrøring av vannmassene vil næringsstoffer bringes opp til de produktive øvre vannlag fra de bunnære områder. Ved temperatursjiktning av vannmassene vil det øvre vannlaget fungere som et til dels separat vannvolum. Omrøringen av vannmassene skjer kun over sprangsjiktet som virker som en felle for næringsstoffer. Døde dyr og partikulært materiale vil til en viss grad sedimentere til bunnen, mens det foregår liten transport den motsatte veien. Sjiktningen av vannmassene gjør at den reelle oppholdstida for vannlaget over sprangsjiktet vil være vesentlig kortere enn den teoretiske oppholdstida for hele innsjøen.

I henhold til klimascenariene vil sprangsjiktet inntre tidligere om våren og oppløses seinere om høsten, dvs. lengre sommersjiktningen, og dermed økning av den viktigste produksjonsperioden i innsjøen. På grunn av økt vind antas sprangsjiktet å bli presset ned slik at det produktive vannvolumet øker samtidig som vanntemperaturen blir høyere (Schindler et al. 1990, Hessen 1990).

Den isfrie perioden antas å øke betydelig. I innsjøer i lavereliggende strøk vil vi få en sterkt begrenset islegging av vannene. Hvis islegging av vannene uteblir vil det bli en sammenhengene periode med fullomrøring av vannmassene fra høst til vår. Endringene i den isfrie perioden kan til en viss grad relateres til reduksjonen i antall dager med mer enn 25 % snødekke. Klimascenariene gir følgende forutsigelser om dette: Høyfjellet: antall dager med 25 % snødekke reduseres med 30 til 60 dager. Midlere nivå: antall dager med 25 % snødekke reduseres med 40 til 65 dager. Lavlandet: antall dager med 25 % snødekke reduseres med 60 til 85 dager.

Primærproduksjon og alloktion tilførsel. Hessen (1990) konkluderer i sin rapport med at de antatte klimaendringene vil føre til små endringer i store dype innsjøer. Redusert avrenning om sommeren vil kunne føre til lavere biomasse av plankeplankton, mens økt vinteravrenning og derigjennom økt fosforbelastning i vinterhalvåret ikke forventes å ha noen effekt på denne type sjøer. For grunne, næringsrike sjøer (mesotrofe og eutrofe) vil en imidlertid i produksjonsperioden kunne få "indre gjødsling". Dette vil skje som en følge av at sedimentbundet fosfor frigjøres pga. økt oksygenvinn og høy pH. Økt næringssalttilførsel og høy vanntemperatur kan føre til endringer av algesamfunnet med oppblomstring av ugunstige alger som f.eks. blågånnalger.

Tilførselen av terrestrisk organisk materiale (alloktion tilførsel) vil bli endret som følge av endringer i avrenning og vegetasjonen i nedslagsfeltet. Basert på endringer i lufttemperaturen vil arealet av løvskog, blandingskog og barskog øke, mens fjellbjørkeskogen og den alpine sona vil bli redusert (Holten 1990). Årsvariasjonene i tilførsel av det alloktone materialet vil også endres. På grunn av seinere snø- og islegging og større avrenning om høsten og vinteren vil mer av tilførselen komme i denne perioden.

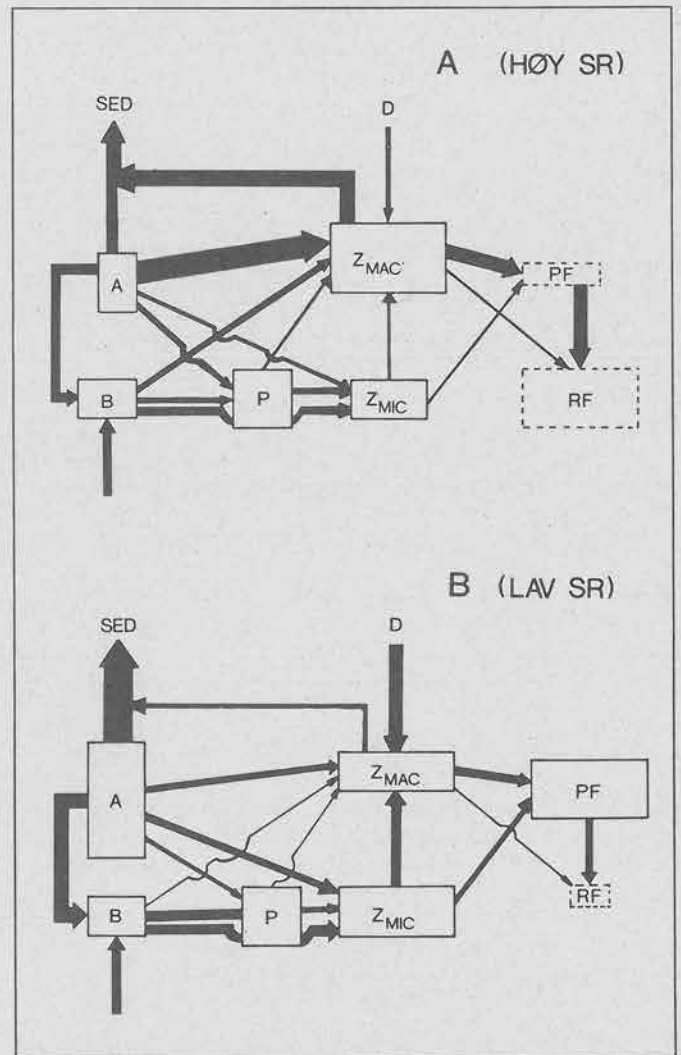
5.2 Klimaendringenes virkning på dyras energiomsetning

I limnisk næringsnett er produktivitet og biomasse styrt av to motsatte prosesser: (A) "Top - down"-prosessen hvor mengden av predatorfisk påvirker de underliggende trofiske nivåer (plankton-spisende fisk, invertebrater, alger) og (B) "Bottom - up"-prosessen hvor tilførselen av næringssalter påvirker utviklingen innenfor bestandene av alger, virvelløse dyr (invertebrater) og fisk. Dette kan illustreres som i figur 1. Den øvre delen av figuren (A) viser et system som hovedsakelig er "Top - down"-kontrollert. Slike predatorkontrollerte systemer er karakterisert ved høy selvrensningsevne og lav algebiomasse. Et system som i vesentlig grad er "Bottom - up"-regulert (B), er karakterisert ved lav selvrensningsevne og høy algebiomasse. Under stabile forhold vil innsjøens økosystem reguleres til en likevekt mellom disse to prosesser.

Produksjon (P) og respirasjon (R) hos dyr påvirkes av temperaturen, og generelt kan energiomsetningen i en populasjon uttrykkes som:

$$(1) \text{Konsumert næring, } C = P + R + F + U$$

hvor P = produksjon (d.v.s. somatisk vekst og gonadevekst); R = respirasjon (d.v.s. basismetabolisme, energiforbruk ved fordøyelse, fysisk aktivitet); F = faeces og U = ekskresjonsprodukter.



Figur 1

Struktur og karbonstrøm i limnisk næringsnett under forhold med høy (A) og lav selvrensning (B). Karbonstrømmen er ikke kvantitativt angitt, figurene formidler bare relative verdier. Stipling indikerer at organismegruppen ikke alltid er til stede. A: alger, B: bakterier, P: protozoer, Z_{MAC}: makro-dyreplankton, Z_{MIC}: mikro-dyreplankton, PF: planktonspisende fisk, RF: rovfisk, D: detrituspartikler, SED: sedimenter og dypvann. (Fra Olsen & Vadstein 1989.) - Structure and carbon flow of limnic food webs during conditions with high (A) and low (B) water cleaning efficiency. The carbon flow is not quantified; the figures indicate relative values. Stippled line indicates that the group is not always present. A: algae, B: bacteria, P: protozoa, Z_{MAC}: macroscopic zooplankton, Z_{MIC}: microscopic zooplankton, PF: planktivorous fish, RF: carnivorous fish, D: detritus, SED: sediments and profundal. (From Olsen & Vadstein 1989.)

Kroppsfunksjonene hos vekselvarme dyr (fisk og invertebrater) er avhengig av temperaturen i miljøet. Metabolisk rate (R i ligning 1) øker med økende temperatur. Basismetabolismen er et uttrykk for dyrets energiforbruk når det er inaktivt. Økningen i basismetabolismen for hver $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ benevnes Q_{10} . Basismetabolismen (M_2) ved temperatur T_2 i forhold til ved temperatur T_1 kan uttrykkes som:

$$(2) M_2 = M_1 * Q_{10} \exp((T_2 - T_1)/10)$$

For det aktuelle temperaturområdet og for dyregrupper i ferskvann antas Q_{10} å være tilnærmet lik 2. Dette betyr at en temperaturøkning på $2\text{-}3\text{ }^{\circ}\text{C}$ som antatt i klimascenariet ($2 \times \text{CO}_2$), gir en økning i basismetabolismen på $15\text{-}25\%$.

Invertebrater (virvelløse dyr). Netto produksjon (P) hos invertebrater (bunndyr og zooplankton) er avhengig av vann-temperaturen og kan uttrykkes ved formelen:

$$(3) \text{ Netto produksjon, } P = \frac{\sum N_i * W_i}{D_i}$$

hvor i = de enkelte utviklingsstadier, cohort eller årsklasser; N = antall individer; W = individvekt; D = utviklingstid som er avhengig av temperatur og fødetilgang.

Utviklingstiden fra egglegging til klekking er regulert av temperaturen (T) og kan uttrykkes ved:

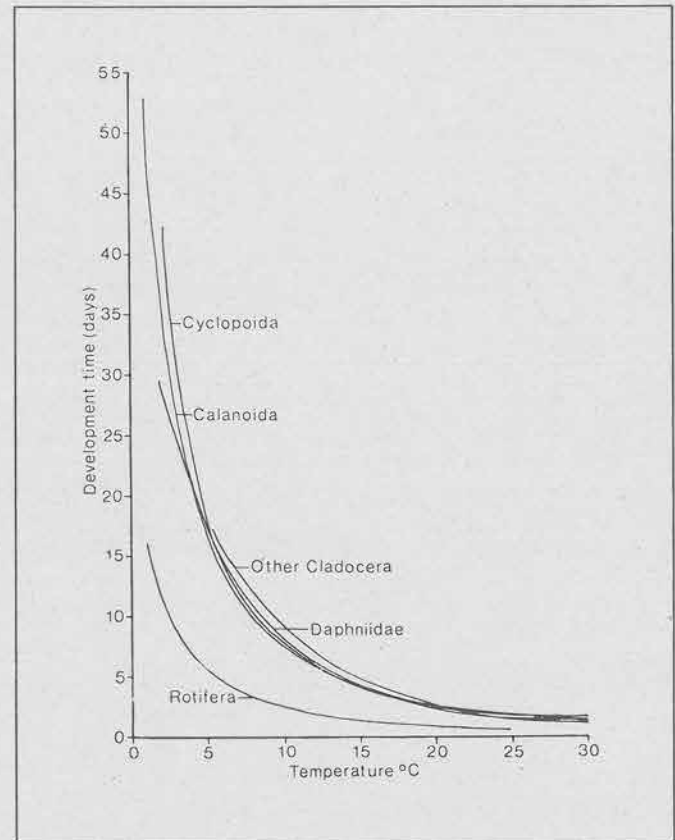
$$(4) \ln D = \ln a + b(\ln T)^2 \text{ (Bottrell et al. 1976)}$$

hvor a og b er konstanter.

Bottrell et al. (1976) oppgir den generelle modellen for alle grupper av zooplankton til å være: $\ln D = 3,79 - 0,15 (\ln T)^2$

Etter denne modellen vil en gjennomsnittlig økning av vann-temperaturen i epilimnion fra 13 til $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ gi en økning i netto produksjon (P) på 12% . Dette er en følge av at utviklingstiden for dyreplankton avtar med økende temperatur. Dette forholdet mellom utviklingstid og temperatur er vist i figur 2. Figuren viser at de ulike former for krepsdyrplankton reagerer relativt likt på endringer i temperaturen, mens hjuldyra (Rotifera) reagerer mindre enn krepsdyrplanktonet på endringer i vann-temperaturen.

Undersøkelser har imidlertid vist at fødetilgangen har større betydning enn temperaturen for utviklingstiden fra klekking til voksent stadium og derved produksjon hos invertebrater. Dette er illustrert i figur 3 som viser optimalt temperaturområde og sammenhengen mellom produksjon (P) og temperatur ved forskjellig fødetilgang hos planktonkrepsen *Daphnia pulex* (Lampert 1977).

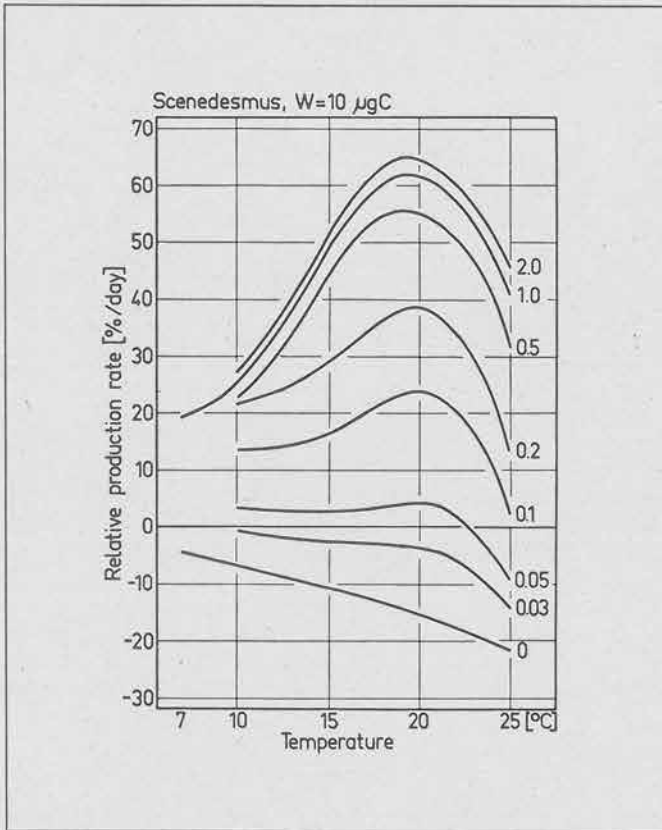


Figur 2

Forholdet mellom utviklingstid (Development time) og temperatur (Temperature) hos de ulike dyreplanktongruppene vannlopper (*Daphniidae* og *Cladocera*), hoppekreps (*Cyclopoida* og *Calanoida*) og hjuldyr (*Rotifera*). (Fra Bottrell et al. 1976.) - The relationship between development time and temperature of the zooplankton groups *Daphniidae* and *Cladocera*, *Cyclopoida* and *Calanoida*, and *Rotifera*. (From Bottrell et al. 1976.)

En sammenfatning av de ovennevnte vurderinger skulle tilsi at både produksjon og respirasjon hos invertebrater i ferskvann vil øke som en følge av økt vann-temperatur. Følgelig vil omsetningshastigheten av biomassen (produksjon (P)/biomassen (B)) øke. Dyreplanktonet har flere generasjonssyklus gjennom året enn bunndyra og har derfor vanligvis et høyere P/B -forhold enn bunndyra. Brylinsky (1980) gir eksempler på P/B -forhold for aktuelle grupper av invertebrater (gjennomsnitt og variasjon):

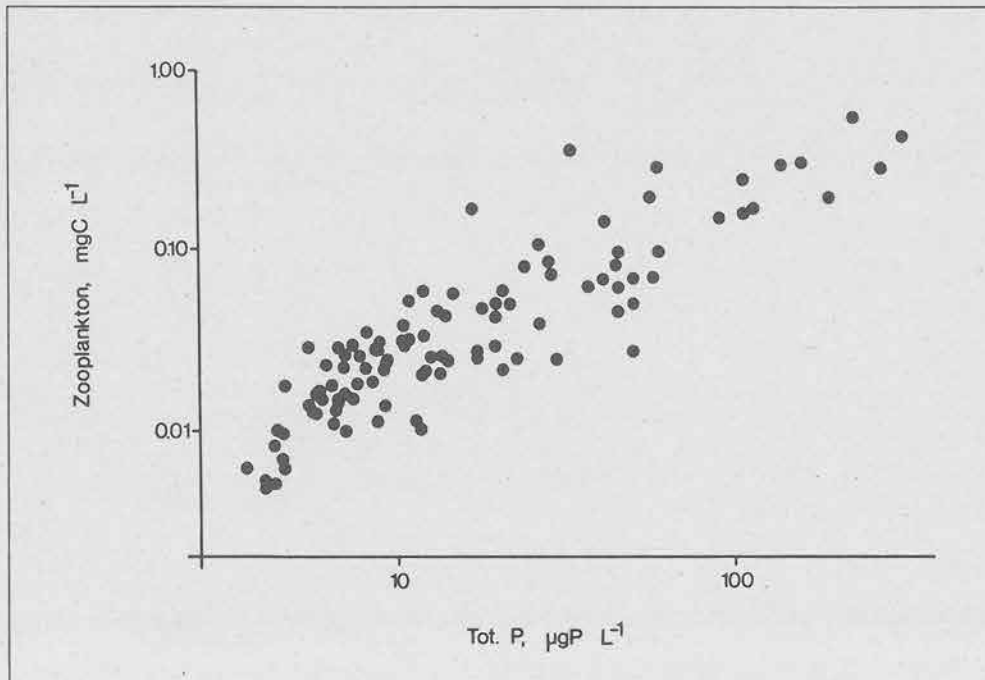
Plantespisende dyreplankton:	15,9 (0,5 - 44,0)
Kjøttspisende dyreplankton:	11,6 (1,5 - 30,4)
Plantespisende bunndyr:	3,7 (0,6 - 12,8)
Kjøttspisende bunndyr:	4,8 (1,0 - 25,0)



Figur 3

Effektene av fødetilgang, indikert med linjer med ulike numre, og temperatur (Temperature) på produksjon (Relative production rate) av planktonkrepsen *Daphnia pulex*. (Fra Lampert 1977.) - The effect of food supply, indicated by numbered lines, and temperature on production of the zooplankton *Daphnia pulex*. (From Lampert 1977.)

Den empiriske sammenhengen mellom gjennomsnittlig biomasse av dyreplankton og konsentrasjonen av fosfor viser at spredningen er stor og at ved samme fosforbelastning kan dyreplanktonbiomassen variere med en faktor på 10 (figur 4). Imidlertid er det en generell trend at dyreplanktonbiomassen øker med økende fosformengde. NIVA konkluderer med at den økte avrenningen om vinteren og tidlig på våren vil kunne føre til økt produksjon av alger, mens det i algebiomasse kun vil forekomme små endringer. Det synes derfor å få større konsekvenser for dyreplanktonet at det kan oppstå endringer i algenes artsstruktur. Særlig i mer næringsrike sjøer kan en få oppblomstring av arter og grupper av planteplankton som er lite attraktive for dyreplanktonet. Enkelte av disse (f.eks. visse blågrønnalger) kan være direkte giftige. I slike tilfeller vil det reelle næringstilbudet for dyreplankton bli redusert.



Figur 4

Empirisk sammenheng mellom dyreplanktonbiomasse og total konsentrasjon av fosfor i innsjøer. (Fra Olsen & Vadstein 1989.) - Empiric relation between zooplankton biomass and total concentration of phosphorus in lakes. (From Olsen & Vadstein 1989.)

Globale studier har vist at P/B - forholdet (produksjon pr. biomasse) generelt øker med avtagende breddegrad. Dette skyldes at den aktive vekstsesongen også øker tilsvarende. Den økte vekstsesongen gir mulighet for flere generasjoner pr. år (Wetzel 1983). Overført på de antatte klimaendringer betyr dette at vi kan forvente økt omsetningshastighet (P/B) av biomassen og økt produksjon av invertebrater. Innsjøens næringsinnhold vil imidlertid virke regulerende på dette. Organismer i næringsfattige innsjøer har lavere P/B - forhold enn organismer i næringsrike innsjøer. En eventuell økt utvasking av næringsstoffer fra nedslagsfeltet pga. økt avrenning, vil derfor være med på å bestemme produksjonen av invertebrater. Dersom ikke fødeinntaket (C i lign. 1) øker som følge av økt næringstilgang, vil den økte energiomsetningen pga. temperaturen lignes ut mellom produksjon og respirasjon (hhv. P og R i lign. 1). Økningen i produksjon vil i slike tilfeller bli minimal. På grunn av økt tilførsel av alloktont materiale fra områder med lauvskog og blandingskog og forlenget vekstsesong må en likevel anta at klimaendringene vil føre til økt produksjon av invertebrater.

Fisk. Nettoproduksjon hos fisk kan beskrives ved formelen:

$$(5) \text{ Produksjon, } P = B \cdot G$$

hvor B = biomasse og G = den individuelle tilvekstraten som kan uttrykkes ved formelen:

$$(6) G = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{T}$$

Her er W_1 og W_2 dyrets vekt ved henholdsvis tid (T) 1 og 2.

Den individuelle tilveksten hos fisk er også avhengig av vann-temperaturen og kan uttrykkes ved modellen:

$$(7) W = [b(a+ct)T + W_0^b]^{1/b} \text{ (Elliott 1975)}$$

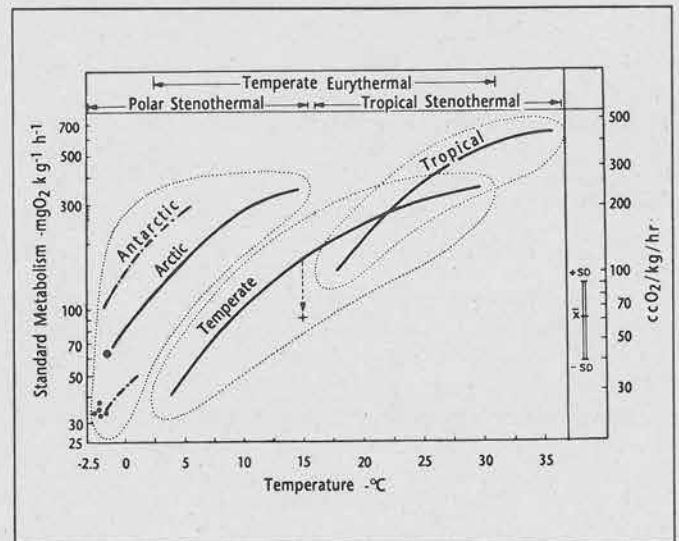
hvor W_0 = fiskens startvekt; W = fiskens sluttvekt; T = antall dager mellom start og slutt; t = temperatur og a, b og c = konstanter.

Modellen er basert på aure som er gitt maksimum fóring ved forskjellige temperaturer.

Elliott konkluderer med at aure har optimal veksthastighet ved 13 °C. Men den optimale temperaturen for veksthastigheten er også avhengig av partikkelstørrelsen på næringsemnene. Dette er trolig årsaken til at man i naturen har funnet en optimal temperatur på 15 °C for aurens vekst. Den optimale temperaturen er også avhengig av oksygeninnholdet i vannet og tettheten av næringsdyr. Økt metabolisme krever mer oksygen, men høyere vanntemperatur gjør at vannet kan

holde på mindre oksygen (lavere metningskonsentrasjon). Spesielt i næringsrike vann og myrvann, hvor nedbrytningen av organisk materiale kan føre til redusert oksygeninnhold i vannet, kan oksygenet bli en regulerende faktor for om fisken vil kunne få bedre tilvekst. Det er også nødvendig at fisken har tilstrekkelig med næring for at veksten skal bedres ved optimale temperaturer. Den økte tilveksten vil derfor kunne reguleres av produksjonen av næringsdyr. Elliotts (1975) vekstmodell er derfor basert på studier hvor han lot fisken få et overskudd av næring. Den økte temperaturen vil kunne føre til økt metabolisme og høyere aktivitet hos fisken, men ved lavere byttedyrtetthet vil energigevinsten gå med til søk etter byttedyr (respirasjon (R) i lign. 1).

Ulike fiskearter har ulik optimal temperatur for tilvekst. Varmekjære fiskearter som f.eks. karpfiskene har høyere optimal temperatur. Forholdet mellom temperatur og basismetabolisme hos fisk er vist i figur 5. På grunn av høyere optimal temperatur vil varmekjære arter kunne få bedre livsvilkår og konkurransevne ved høyere vanntemperatur.



Figur 5

Skematisk representasjon av sammenhengen mellom metabolsk rate (Standard metabolism) og temperatur (Temperature) for fisk i forskjellige klimasoner. De prikkede linjene indikerer variabiliteten innenfor hver av sonene. (Fra Brett & Groves 1979.) - Schematic outline of the relation between standard metabolism and temperature of fish in different climate zones. The dotted lines indicate the variability within each zone. (From Brett & Groves 1979.)

Ved vanntemperaturer lavere enn 4-5 °C har fisken minimal tilvekst. Den økte vanntemperaturen vil føre til tidligere start og seinere avslutning av vekstsesongen. Følgelig vil den årlige tilveksten øke. Fiskens alder ved kjønnsmodning er blant annet avhengig av fiskens størrelse. Den økte tilveksten vil således påvirke fiskens livshistorie slik at den blir kjønnsmoden ved lavere alder. Etter kjønnsmodning er det vanlig at det meste av tilført energi går med til produksjon av kjønnsprodukter. Det er derfor lite sannsynlig at den økte vekstsesongen vil føre til større fisk i vann og vassdrag.

5.3 Dyregeografiske endringer

Ved de klimaendringer som er antatt i denne utredningen vil de abiotiske "rammene" som temperatur, nedbør, fuktighet, vinterens lengde og vannføringer endres. Hvorvidt en art vil få en større utbredelse eller økt antall vil være avhengig av artens evne til å utnytte den endrete situasjon.

Ferskvannsinsektene har god spredningsevne, de følger en endret klimagrense raskt og vil også i løpet av noen årtier kunne overskride barrierer, f.eks. høyfjellsområder. Krepser og bløtdyr er ikke så raske til å kolonisere nye områder og kan bare overvinne barrierer ved passiv spredning, f.eks. spredning med fugl. Fisk kan ikke overvinne barrierer uten menneskets hjelp, noe dagens utbredelsesmønster for de aller fleste av våre arter viser. Mange av disse artene overlever godt i områder utenfor deres opprinnelige utbredelsesområde når de blir satt ut av mennesket (gjedde, ørekyt, mort).

Utbredelsesmønster for virvelløse dyr i ferskvann. Ut fra den utbredelsen de har i dag, kan vi dele inn de virvelløse dyreartene (invertebratene) i ferskvann i syv grupper, jf. figur 6 (Økland 1969, Nøst et al. 1986). I de to første gruppene finner vi arter som er utbredt over det meste av Norge. Artene i gruppe A finnes jevnt utbredt over det meste av landet, mens de i gruppe B tilsynelatende har en mer spredt utbredelse. Artene i disse to gruppene vil sannsynligvis ikke få endret sine utbredelsesområder. Et stort antall arter av invertebrater hører til i en av disse to gruppene, jf. tabell 1.

I gruppene C1 og C2 finner vi særlige arter. Dette er arter som har sin hovedutbredelse sør for Norge og som i dag har en utbredelsesgrense i Trøndelag (C1) eller på Sør-Østlandet (C2) som mest sannsynlig er klimatisk bestemt. Artene er gjerne bundet til blandingskogsområdene (boreonemorale region) (C1) og eller bare (C2) løvskogsområdene (nemorale region jf. Holten i kap. 3). Artene i gruppe C1 vil muligens kunne følge endringene i naturregionene og spre seg opp mot Saltfjellet og videre opp til indre Vestfjorden, mens arter i C2 vil trenge lengre innover i landet på Sørlandet og Østlandet, opptre spredt på Vestlandet og i enkelte tilfeller bre seg

Tabell 1. Antall arter av ulike dyregrupper i ferskvann fordelt på de ulike utbredelsesmønstrene gitt i figur 6. - Number of species of different freshwater invertebrate groups divided on the distribution patterns shown in Figure 6.

Gruppe Group	A	B	C1	C2	D	E	F
Bløtdyr	6	8	3	21	6	4	1
Vannlopper	15	44	13	18	2	1	0
Hoppekreps	3	13	12	11	5	3	0
Døgnfluer	5	17	10	2	5	6	0
Steinfluer	13	4	1	1	9	7	0
Øyestikkere	5	4	12	18	2	3	0
Vannteger	0	5	10	23	0	0	5
Vårfluer	47	43	32	29	19	18	0
Sum	94	138	93	123	48	42	6

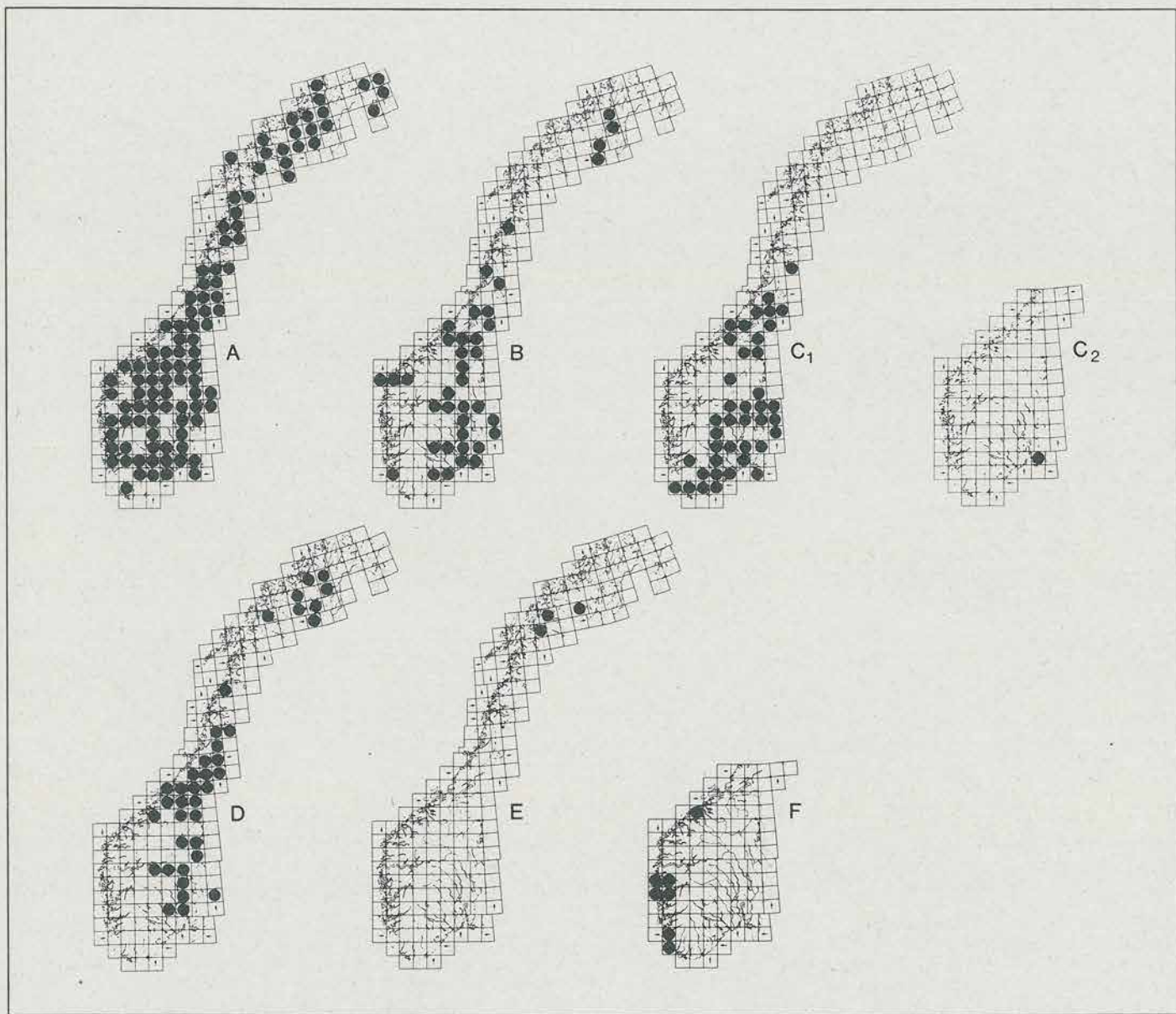
til Trøndelag. Arter som i dag finnes sør for Norge, f.eks. i Skåne og Danmark, vil kunne kolonisere de varmeste områdene av Agder og områdene rundt Oslofjorden. I disse to gruppene er det et stort antall arter av bløtdyr, vannlopper, døgnfluer, hoppekreps, vårfluer, øyestikkere og vannteger.

Artene i gruppe D har sin hovedutbredelse øst for Norge med en viss tilknytning til barskogsområdene (mellomboreale region). Da denne sonen øker, vil disse artene kunne gå fram i enkelte områder av landet. Gruppen omfatter særlig mange steinfluearter og vårfluearter, men også en del arter av de fleste andre dyregrupper, jf. tabell 1.

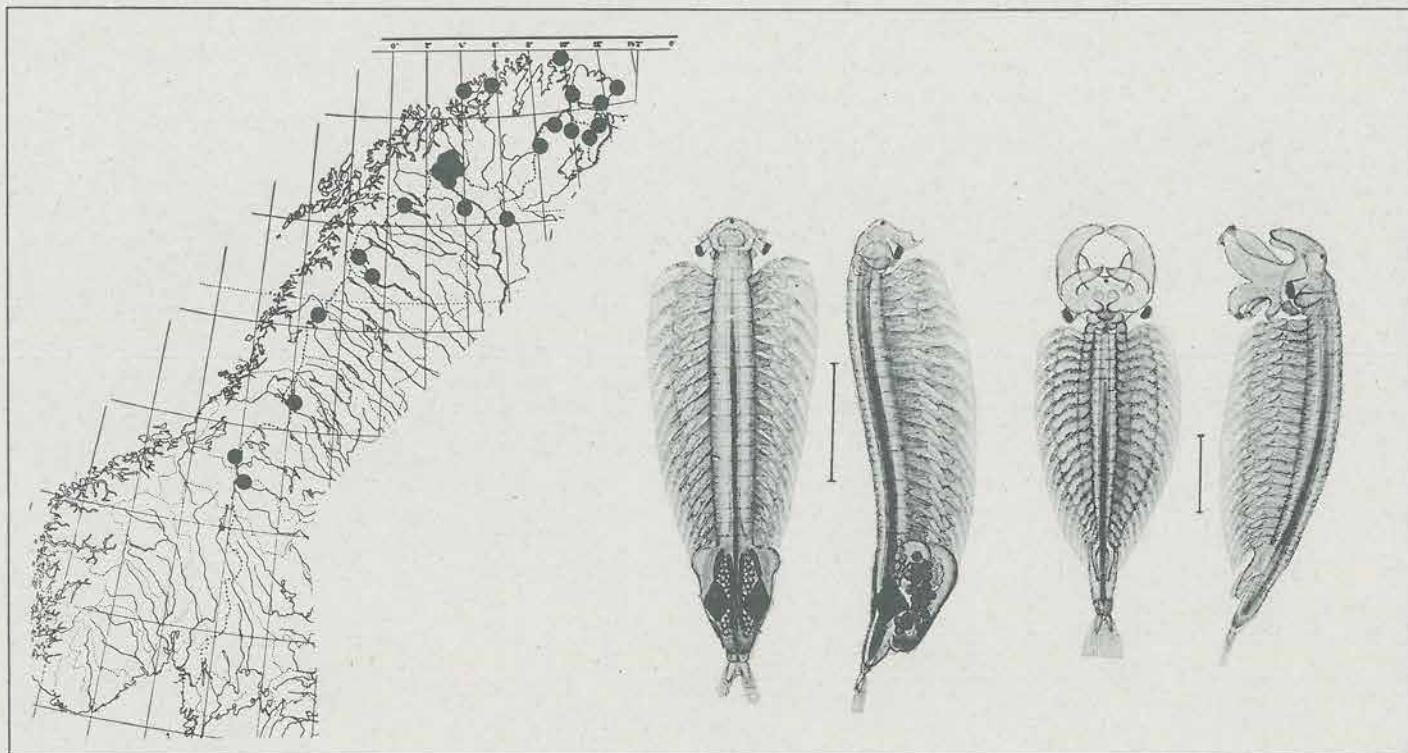
Artene i gruppe E er i dag knyttet til fjellområdene i Sør-Norge og de indre strøk av Nord-Norge. Dette er nordlige arter som er knyttet til den alpine regionen. Denne regionen vil bli redusert ved klimaendringen og en del av de alpine eller arktiske artene vil bli isolert i "øyforekomster" i høyfjellet. Mulighetene for at de mest arktiske elementene vil dø ut er dermed tilstede. Et eksempel på en slik art er tusenbeinkrepseren *Polyartemia forcipata* (figur 7). Arten innvandret til Norge kort tid etter istiden og er lite tilpasset endringer i miljøet. Arten er også meget sårbar for å bli utryddet fra et vann på grunn av fiskepredasjon.

Et relativt høyt antall nordlige arter finnes blant døgnfluer, steinfluer og vårfluer.

Artene i gruppe F har et vestlig utbredelsesmønster. Det er få ferskvannsinvertebrater som passer inn i denne gruppen, bare



Figur 6
 Eksempler på utbredelsesmønstre. A: vanlig utbredt i hele landet, B: utbredt over det meste av landet, men kan tilsynelatende være fåtallig eller mangle i deler av landet, C1: arter med nordgrense i Trøndelag eller Nordland, C2: sørøstlige arter, bare utbredt i kystområdene fra Østfold til Agder eller Rogaland, D: østlige arter, mangler vanligvis på Vestlandet, E: nordlige arter og/eller arter som forekommer i fjellet i sør, F: vestlige arter. A til E er døgnfluearter, F en vanntege. (Fra Nøst et al. 1986.) - Examples of distribution patterns. A: distributed in the entire country, B: distributed in most parts of the country, but might apparently be rare or missing in some parts, C1: species with northern distribution limit in the Trøndelag or Nordland counties, C2: southeastern species, only found in the coastal areas between Østfold and Agder or Rogaland, D: eastern species, usually missing in western Norway, E: northern species and/or species occurring in the mountains in the south, F: western species. A-E are mayflies, F is a water-bug. (From Nøst et al. 1986.)



Figur 7
Tusenbeinkreps (Polyartemia forcipata). Kartet viser utbredelsen i Norden. Tegningene til høyre er av en hunn, til venstre av en hann. (Kartet er fra Aagaard et al. 1975, figurene fra Sars 1896.) - The distribution of Polyartemia forcipata in the Nordic countries. To the right a female, to the left a male. (Map from Aagaard et al. 1975, Figures from Sars 1896.)

en bløtdyrart og fem vanntegearter. Utbredelsesområdet til disse artene vil muligens bli større pga. klimaendringen.

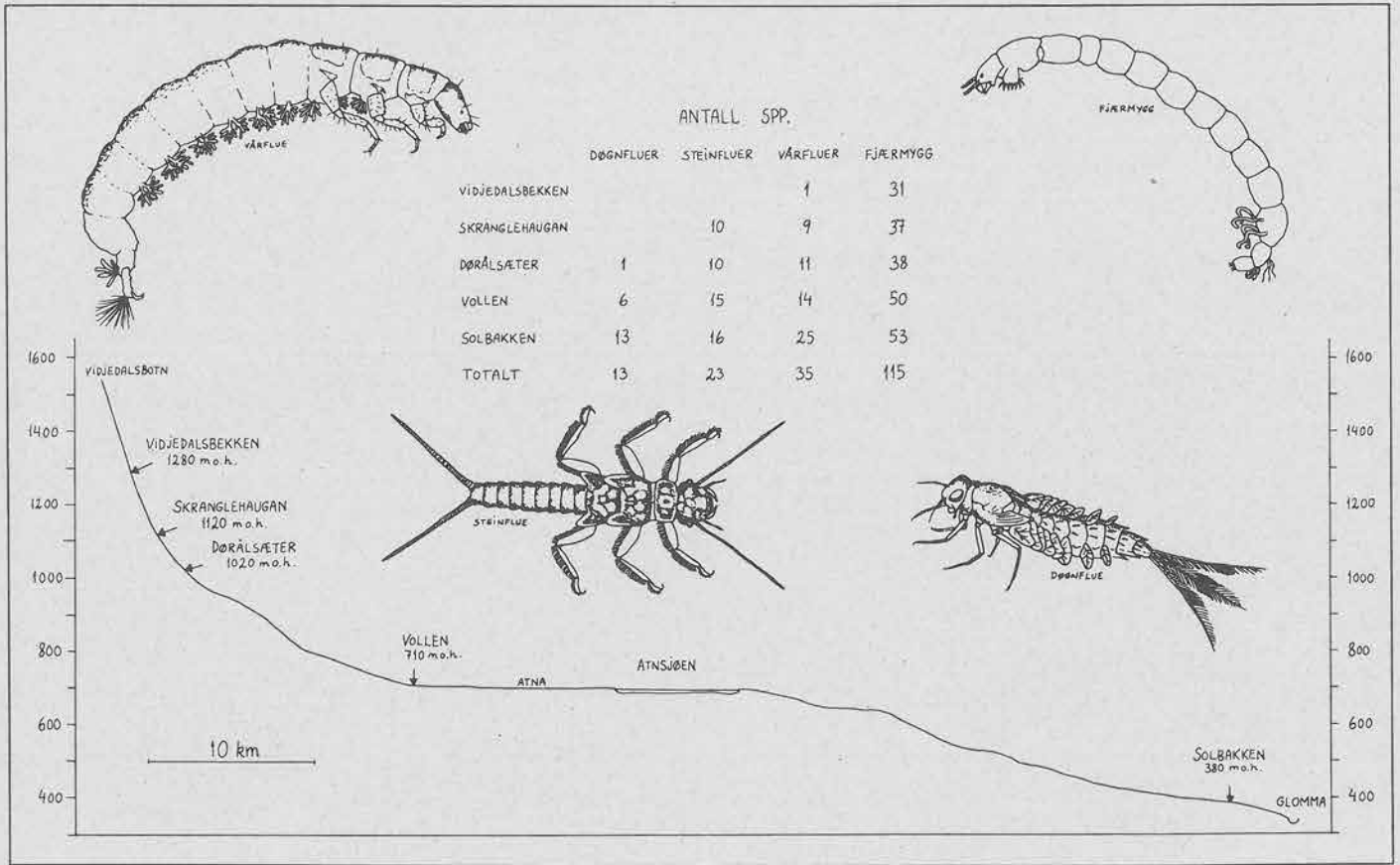
Endringer i invertebratfaunaen innenfor et vassdrag. Temperaturendringene vil også påvirke utbredelsesmønsteret av dyrearter innenfor de enkelte vassdrag. Artssammensetningen i et vassdrag endres fra kildeområdet som gjerne ligger i de alpine regionene ned gjennom de subalpine og boreale områdene. Som eksempel på dette kan vi velge Atna hvor FORSKREF-undersøkelsene i åttiårene har gitt et tverrvitenskapelig grunnlag for slike vurderinger (Aagaard et al. 1989).

I dag har vi en sonering av ferskvannsfauunaen som i stor grad kan tilskrives de klimatiske forhold og sammensetningen av kantvegetasjonen. På den øverste prøvestasjonen i det lavalpine området (Vidjedalsbekken, 1280 m o.h.) ble det registrert 31 fjærmyggarter og en vårflueart (figur 8). En av fjærmyggartene er ellers bare kjent fra Jotunheimen og arktisk Canada. På neste prøvestasjon, øverst i den subalpine bjørkeskogen (Skranglehaugan, 1120 m o.h.), er det kommet til

ti arter av steinfluer, åtte nye arter av vårfluer, og fjærmyggfaunaen har endret seg i artssammensetning og mengdeforhold. Litt lengre ned i fjellbjørkeskogen er det også kommet til en døgnflueart. Nede i furuskogen (Vollen, 710 m o.h.) har antallet av alle de fire gruppene økt og noen av de artene som opptrådte på de øverste stasjonene falt ut. Nede i barskogen (Solbakken, 705 m o.h.) øker antallet døgnfluer og vårfluer sterkt mens en del av artene i fjærmyggfaunaen er skiftet ut.

Månedsmiddeltemperaturen for vanntemperatur på stasjoner på 1280, 1120, 1000, 710 og 430 m o.h. var i juli 1988 henholdsvis mindre enn 5,0; 6,4; 8,9; 10,1 og 13,4 °C (Tvede 1989). Med en temperaturøkning på rundt to grader og de antatte endringer i vegetasjonsbeltene vil sannsynligvis samfunnet i vassdraget forflytte seg oppover tilsvarende denne temperaturforskjellen.

Endret vannføring. Vurderingene av endringer i utbredelsen av ferskvannsfauunaen er så langt basert på økt temperatur

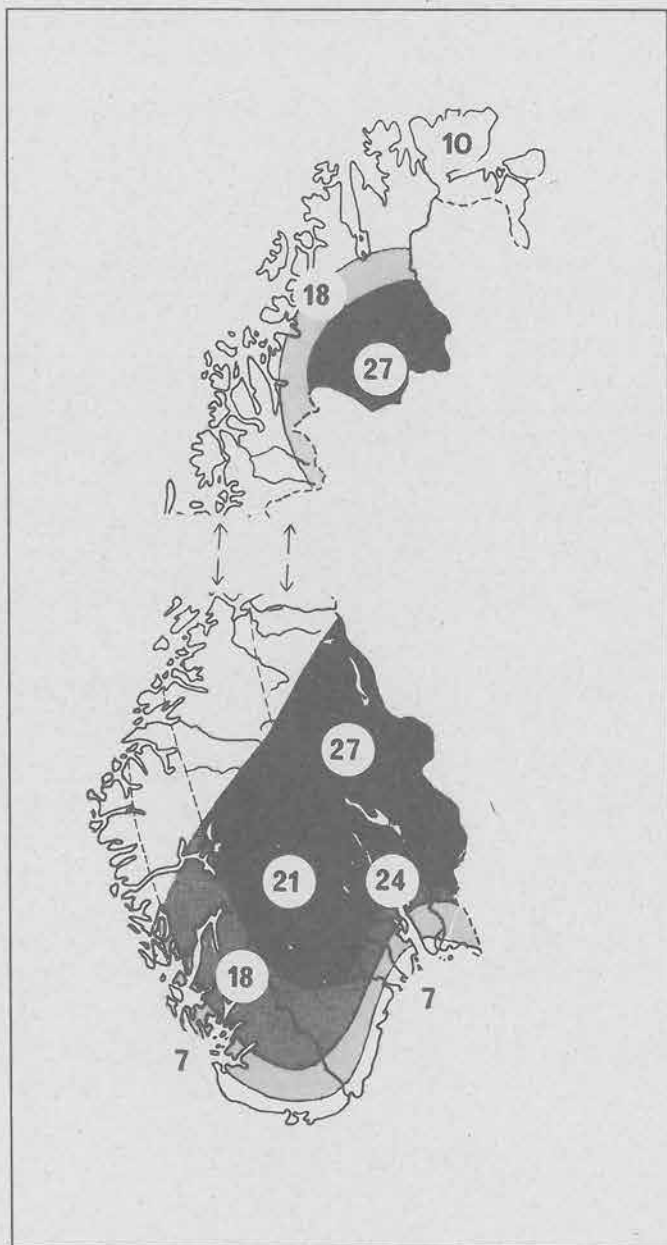


Figur 8
Sonering av ferskvannsinsekter i Atna. Figuren viser en høydeprofil av Atnavassdraget fra fjellet og ned til utløpet i Glomma. - Zonation of fresh-water insects in the river Atna, Southeastern Norway. The Figure shows a transect of the river from the mountains to the outlet in the Glomma river.

alene. Økt nedbør vil også påvirke miljøbetingelsene for ferskvannsfauunaen. Endringer i vannføringens størrelse og mønster gjennom året vil gi nye betingelser for artenes formering og oppvekstvilkår. Erfaringer fra vassdragsutbygninger viser imidlertid at invertebartsamfunnene er relativt plastiske. Økt vintervannføring vil imidlertid kunne slå ut både negativt og positivt for bunndyrene. Økt strømhastighet vil kunne redusere bunndyrmengder og artsmangfold. Dessuten vil den forventede økningen i variabiliteten i vintervannføringen kunne ha negative effekter på bunndyrene. Erfaringer fra vassdragsreguleringer viser at bare få bunndyrarter kan tilpasse seg store vannføringsendringer innen korte tidsintervaller (Nøst et al. 1986). I enkelte vassdrag vil en dessuten kunne forvente forverrede miljøforhold for bunndyr ved at det dannes større mengder rekis, bunnis og sarr som demmer vannet. Ved løs-

ning av isdemningene får en flomgang med påfølgende skuring og omlagring av bunnsstratet.

En viss positiv effekt kan forventes dersom økningen i vassføringen ikke er for stor da økt produksjonsareal kombinert med grovere substrat vil kunne skape miljøforhold for en mangfoldig bunnfauna (Standford & Ford 1979). Elvene vil beholde en "grunnkarakter" når det gjelder fallforhold, vegetasjon (forskyves oppad) og elveløputforming. Det er i dag en påfallende forskjell mellom faunaen av steinfluer i elvene på Vestlandet og de i Trøndelag og på Østlandet (figur 9) (Lillehammer et al. 1980). Mest sannsynlig skyldes dette klimamessige, innvandringsmessige, ernæringsmessige og konkurransemessige forhold.



Figur 9
Artsantallet av steinfluer i kontinentale områder og kyststrøk i Sør- og Nord-Norge. Kartet er hittil bare utarbeidet for Finnmark og Sør-Norge. (Fra Lillehammer et al. 1980.) - Number of species of stoneflies in continental areas and in coastal areas in South and North Norway. Maps have only been made for Finnmark county and South Norway. (From Lillehammer et al. 1980.)

Utbredelsesmønster for ferskvannsfisk

Dagens utbredelsesmønster. Det er karakteristisk for de ferskvannsfiskenes som ikke kan vandre ut i saltvann at de har svært dårlig spredningsevne. Spredning ved egen hjelp kan bare skje ved vandring innen samme vassdrag, og fosser og lignende begrenser spredningen oppstrøms. Dagens utbredelse av ferskvannsfisk i Norge viser i hovedtrekk den utbredelsen artene hadde da innvandringen av nye arter tok slutt etter istida. Den naturlige innvandringen stoppet da Østersjøen og Skagerrak ble for salt til at vandring fra vassdrag på kontinentet kunne fortsette. Huitfeldt-Kaas (1918) delte innnorske ferskvannsfisk i fire grupper etter deres innvandringsvei og -periode.

- 1 De første innvandrere (aure, røye, laks, trepigget stingsild) kom vesentlig gjennom saltvann vestfra, og opp vassdragene i øst. Både aure og røye har fått sin utbredelse kraftig endret gjennom utsetninger, særlig til fjells. Utbredelsen tilsvarer omtrent gruppe A på figur 6.
- 2 Finnmarks-Femundfiskene (sik, abbor, lake, gjedde, harr, ørekyte) kom via Østersjøbassenget opp vassdragene fra øst. Noen av artene (bl.a. sik) vandret i brakvannssona langs kysten så langt som til Jæren. Utbredelsen tilsvarer omtrent gruppe D på figur 6, bortsett fra at artene naturlig mangler i Trøndelag. Flere av disse artene har imidlertid blitt satt ut i mange vassdrag. Dette gjelder for sik bl.a. i vassdrag i Trøndelag som drenerer mot øst. Ørekyte er kraftig spredt de siste årtier bl.a. ved sportsfiskeres bruk av arten som levende agn.
- 3 Mjøsa-Storsjø-fiskene (lagesild, krøkle, mort, brasme, laue, gullbust, vederbuk, hork, steinsmett, hornulke) finnes på Østlandet opp til Mjøsa og Storsjøen i Odal. Disse artene kom senere enn gruppe 2, og innvandringen ble stoppet av fosser og stryk som oppsto ved landhevingen.
- 4 Øyeren-Østfold-fiskene (flire, stam, sørv, asp, gjørs) var trolig de siste artene som kom til landet vårt på naturligvis, og finnes på Sør-Østlandet opp til Øyeren og i Østfold. Disse artene er i liten grad spredt av mennesket.

I de siste tiårene har det skjedd regionale endringer i utbredelsesmønsteret for enkelte arter som følge av sur nedbør. Dette gjelder f. eks. laks og aure på Sørlandet. Eutrofiering og økt sedimentasjon som følge av endret virksomhet i jord- og skogbruk i nedslagsfeltet, har også ført til at enkeltbestander av arter som røye, sik og lagesild har forsvunnet i innsjøer på Østlandet.

Mulige endringer. Den dårlige spredningsevnen til ferskvannsfisk innebærer at endrete miljøforhold i svært liten grad vil føre til økt utbredelse for arter. Anadrome arter har en noe

bedre mulighet til å spre seg. Det er derfor en viss mulighet for at anadrome arter som for eksempel *Alosa*-artene (maisild, stamsild) som i dag gyter blant annet i tyske elver, kan begynne å gyte i sør-norske elver. Det kan også tenkes at introduserte arter som ikke formerer seg i norske vassdrag i dag kan bli i stand til dette. Dette gjelder f. eks. Stillehavslaks som er introdusert i sovjetiske elver som renner ut i Nordishavet. På grunn av endringer i dominansforhold innen fiskesamfunnet i de enkelte lokaliteter kan det tenkes at marginale bestander av kaldtvannsararter som røye vil forsvinne, og at disse artene på den måten vil få sin utbredelse redusert. Det er bl.a. sannsynlig at enkelte røyebestander i mindre lavlandssjøer på Østlandet vil dø ut. Sjørøya er begrenset til områder der lufttemperaturen i juli/august er lavere enn 12 °C (Johnson 1980), og finnes i dag sør til grensa mellom Nord-Trøndelag og Nordland. Vi venter at grensa for sjørøyas utbredelse i Norge flyttes et godt stykke nordover på Nordlandskysten.

5.4 Endringer i konkurranse og predasjonsforhold hos ferskvannsaunaen

Invertebrater. Som nevnt ovenfor vil samfunnene i et vassdrag "parallelforskyves" oppover i vassdraget. En annen måte å se dette på, er å vurdere de endrete artssammensetningene på den enkelte lokalitet. Når det gjelder dominansforhold og artssammensetning av de ti artene av fjærmygg-slekten *Diamesa* som i finnes i øvre deler av Atna-vassdraget, vil endringene i temperatur, kantvegetasjon og konkurranse eller predasjon fra andre dyregrupper føre, til en annen artssammensetning på lokalitetene i høyfjellet. Arktiske arter som *D. gregsoni* og *D. bohemani* vil gå tilbake eller forsvinne mens *D. serratosioi* og *D. latitarsis* vil bli enda mer fremtredende (tabell 2).

De rent klimatiske endringene vil sannsynligvis bare forårsake små endringer i artssammensetning og dominansforhold hos dyreplankton. Endrete fiskesamfunn av planktonspisende fisk kan antas å få betydning for dominansforholdet mellom dyreplanktonartene og følgelig også for beiteeffekten på planteplanktonet (figur 10) (Langeland 1982). Dette kan føre til at et ferskvannssystem endres fra høy selvrensningsevne (figur 2A) til lav selvrensningsevne (figur 2B) med økt algebiomasse som resultat. En slik utvikling kan finne sted ved økt dominans av varmekjære arter som f. eks. mort på bekostning av redusert utbredelse av laksefisk.

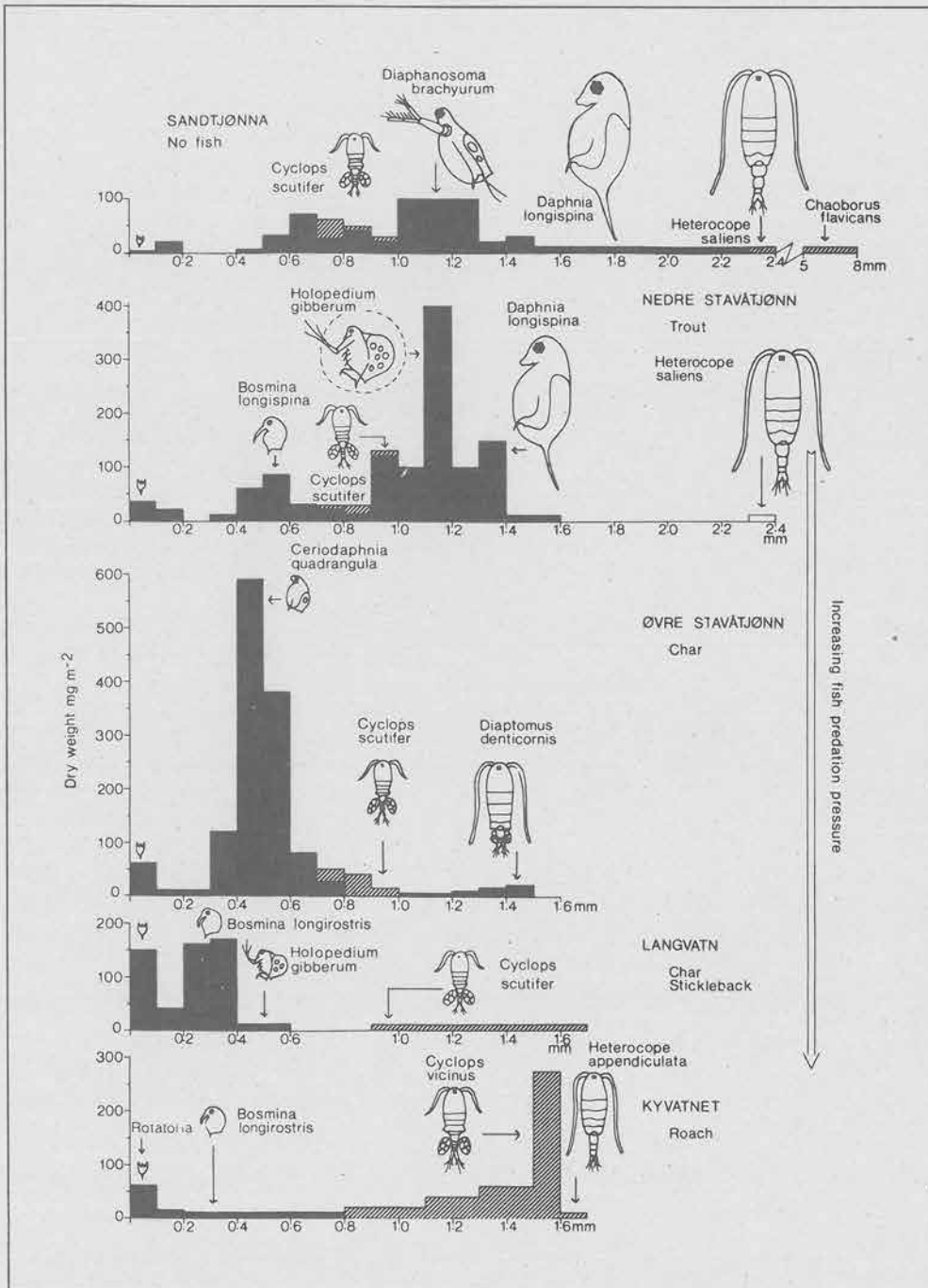
Fisk. Vanntemperatur og vassføring virker spesielt inn på enkelte stadier i fiskens liv.

- **Gytetidspunkt** påvirkes av vanntemperatur og vassføring. **Høstgytere** gyter ved fallende vanntemperatur, og de endringer som er ventet i klima vil føre til seinere gyting. Hos elvegytere utløses vandringsmotivasjonen mot gyteplassene ofte av økt vassføring i gyteelva. Endringer i flommønsteret vil kunne påvirke dette vandringsmønsteret. **Vårgytere** gyter ved stigende vanntemperatur, og de forventede klimaendringer vil føre til tidligere gyting.
- **Inkubasjonstida** for rogn fram til klekking påvirkes i stor grad av vanntemperaturen (Crisp 1981, Heggberget & Wallace 1984, Wallace & Heggberget 1988).
- **Klekking** utløses i mange tilfelle av stigende vanntemperatur, og klekking av rogn lagt i elv kan utløses av stigende vassføring (Næsje et al. 1986, Næsje & Jonsson 1988). Høyere vanntemperatur fører til en kortere periode fra klekking til første næringsopptak (Jensen et al. 1989).

Etter klekking utsettes fiskeyngelen for stor dødelighet, og overlevelsen er avhengig av at yngelen etter at plommeseknæringen er oppbrukt finner velegnet føde, dvs. at starten av næringsopptaket er tilpasset næringstilbudet i omgivel-

Tabell 2. Relative mengdeforhold i fellefangsten av noen fjærmyggarter i slekten *Diamesa* på ulike høydenivåer i Atna. - Relative abundance of species of *Diamesa* in traps at different elevations at Atna, South Norway.

Art Species	Høyde (m o.h.): Height (a.s.l.)	1280	1120	1020	710	380
<i>D. gregsoni</i>		14	3	1		
<i>D. bohemani</i>		18	48	10	1	
<i>D. serratosioi</i>		7	3593	1231	776	1
<i>D. latitarsis</i>		36	336	443	2	



Figur 10

Lengdefordelingen av dyreplanktonbiomassen i innsjøene Sandtjønn, Nedre Stavåtjønn, Øvre Stavåtjønn, Langvatn og Kyvatn i august 1978. Herbivore dyreplankton (fylte, svarte) og carnivore dyreplankton (skravert) er adskilt. (Fra Langeland 1982.) - The distribution of zooplankton biomass along the lakes Sandtjønn, Nedre Stavåtjønn, Øvre Stavåtjønn, Langvatn and Kyvatn in August 1978. Herbivorous (filled, black) and carnivorous zooplankton (shaded) are separated. (From Langeland 1982.)

sene. Hypotesen om at denne mekanismen er den viktigste faktoren som bestemmer rekrutteringen til bestanden kan kalles "passer/passert ikke"-hypotesen ("match/mismatch", Cushing 1975). Endrete klekkesidspunkter på grunn av endret vanntemperatur vil trolig i en overgangsfase føre til endringer i overlevelsen hos yngel, og dermed rekrutteringen hos mange fiskearter. Omfang og varighet av disse effektene er imidlertid vanskelig å forutsi. Utviklingen i de organismene fiskeyngelen spiser vil også bli endret, og de fleste fiskebestandene vil trolig kunne tilpasse seg de endrete forholdene over en viss tid, så lenge klimaendringene holder seg på det nivået som er forutsatt. Dette er imidlertid en faktor som kan føre til endrete dominansforhold mellom fiskearter.

Vanntemperaturen påvirker oksygeninnholdet i vannet. Stigende vanntemperatur vil føre til redusert oksygeninnhold. Våre ferskvannsfiskearter er tilpasset ulike oksygenforhold. Dette er særlig tydelig gjennom tilpasningene ved valg av gyteplass. De mest oksygenkrevende er de artene som gyter i rennende vann og graver ned rogn i grusen. Dette gjelder særlig laks, aure og røye. Både aure og røye kan også gyte i innsjøer, og fordi rogn også der graves ned i bunnsubstratet er disse bestandene spesielt avhengig av gode oksygenforhold i innsjøvannmassene og grunnvannet.

En stor gruppe fisk legger rogn oppå bunnsubstratet, og er dermed noe mindre sårbare overfor oksygenvinn i sedimentene. I mange tilfelle gyter disse artene også i strandsona, der vinden fører til omrøring i vannmassene og dermed oksygentilførsel til bunnlagene. Dette gjelder for eksempel sik, lagesild og krøkle.

De artene som er best tilpasset dårlige oksygenforhold er vårgytere og henger rogn fast på kvister, død vegetasjon etc. Dette gjelder blant annet abbor, gjedde, og flere av karpefiskartene.

På bakgrunn av disse faktorene kan vi anta at dominansforholdene i de ulike fiskesamfunnene vil endre seg som følge av en generell økning i vanntemperatur og vassføringsmønster. I en del grunne og eutrofe innsjøer kan økt primærproduksjon og redusert oksygeninnhold føre til oksygenvinn. Dette vil gå ut over arter som gyter på dypt vann.

Hos laks og sjøaure, to økonomisk svært viktige fiskeslag langs norskekysten, er utviklingstida for egg og plommesekeyngel nesten utelukkende avhengig av vanntemperaturen. Hver enkelt bestand er tilpasset slik at yngelen kommer opp av grusen på det tidspunkt som gir maksimal overlevelse. Hos laks har en funnet at vanntemperaturen må være minst 8 °C i dette stadiet. Dessuten er de tilpasset til å unngå å komme i dette stadiet akkurat i toppen av vårflommen (Jensen et al. 1990). Denne tilpasningen er regulert av gytetidspunktet. Klimaendringen vil føre til at yngelen kommer opp av grusen

tidligere på våren. Om dette blir før vanntemperaturen har nådd 8 °C er usikkert. Vårflommen vil imidlertid bli sterkt redusert, og vil neppe skape problemer for yngelen.

I vekstsesongen vil vannføringen bli sterkt redusert. Laksunge- ne er tilpasset å leve i mer strømharde områder enn aureunge- ne (Kalleberg 1958). Derfor vil klimaendringen favorisere ungfisk av sjøaure framfor ungfisk av laks. Økt vanntempera- tur i vekstsesongen vil gi økt tilvekst i ungfiskstadiet, og dermed lavere alder ved smoltutvandring (Symons 1979). Dette vil i sin tur gi økt smoltproduksjon. Redusert vår- og sommerflommer kan medføre at stor fisk får problemer med å vandre opp i vassdragene. Gjennomsnittsvakta for laksen vil derfor kunne avta. Redusert vårflokk og økt høstvannføring ventes å føre til at oppgangen av laks og sjøaure vil bli forsinket i forhold til i dag. En større andel av fisken vil gå opp om høsten.

De mulige endringene i fiskesamfunnene i ferskvann kan oppsummeres som følger (basert på Huitfeldt-Kaas' (1918) grup- pering):

Samfunn A: Sørlig/østlig samfunn, består av arter som vandret inn fra sør og øst etter istida. Samfunnet omfatter mange karpefisk, abbor, gjedde, sik, lagesild, krøkle; forekomst av aure er avhengig av egnete gytebekker. Finnes i dag i Østfold, Akershus, Sør-Hedmark, Buskerud.

Virkning av klimaendring: I disse samfunnene vil laksefiske- nes vilkår forringes ytterligere.

Samfunn B: Østlig samfunn, består av arter som kom fra øst, de typisk sørlige artene mangler. Samfunnet omfatter færre karpefisk enn samfunn A; ellers abbor, gjedde, lake, sik, aure, røye. Finnes på Østlandet, Finnmark.

Virkning av klimaendring: Karpefisk, abbor og gjedde favori- seres. Røyebestander kan eventuelt forsvinne.

Samfunn C: Vestlig samfunn, består av saltvannstolerante arter som vandret inn fra vest. Samfunnet omfatter ofte aure, røye, laks, stingsild. Finnes langs kysten fra Agder og nord- over.

Virkning av klimaendring: Neppe endringer av betydning. I forurensningsbelastede systemer kan de negative effekter på laksefiskene bli større.

Samfunn D: Arktisk samfunn. Begrenset av lav vanntempera- tur og kort vekstsesong, og omfatter bare røye. Finnes på Svalbard, Jan Mayen og Bjørnøya.

Virkning av klimaendring: Neppe særlige endringer av sam- funnet, men miljøforholdene for fisken bedres.

5.5 Litteratur

- Bottrell, H.H., Duncan, A., Gliwicz, Z.M., Grygierek, E., Herzig, A., Hillbricht-Ilkowska, A., Kurasawa, H., Larsson, P. & Weglenska, T. 1976. A review of some problems in zooplankton production studies. - *Norw. J. Zool.* 24: 419-456.
- Brett, J.R. & Groves, T.D.D. 1979. Physiological energetics. - I Hoar, W.S., Randall D.J., & Brett, J.R., red. *Fish physiology*, VIII, Bioenergetics and growth. Academic Press, New York and London.
- Brylinsky, M. 1980. Estimating the productivity of lakes and reservoirs. - I Le Cren, E.D. & Lowe-McConnell, R.H., red. *The functioning of freshwater ecosystems*. s. 411-453.
- Crisp, D.T. 1981. A desk study of the relationship between temperature and hatching time for eggs of five species of salmonid fishes. - *Freshwater Biol.* 11: 361-368.
- Cushing, D.H. 1975. The natural mortality of the plaice. - *J. Cons. int. Explor. Mer* 36: 150-157.
- Elliott, J.M. 1975. The growth rate of brown trout, *Salmo trutta* L., fed on maximum rations. - *J. Animal Ecol.* 44: 805-821.
- Heggberget, T.G. & Wallace, J.C. 1984. Incubation of the eggs of Atlantic salmon, *Salmo salar*, at low temperatures. - *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 41: 389-391.
- Hessen, D.O. 1990. Klimaendringer. Effekter på akvatisk miljø. - NIVA. Foreløpig rapport.
- Holten, J.I. 1990. Potensielle vegetasjonsregioner for Norge M 1:3 mill. - Norsk institutt for naturforskning.
- Huitfeldt-Kaas, H. 1918. Ferskvandsfiskenes utbredelse og indvandring i Norge med et tillæg om krebsen. - Centraltrykkeriet, Kristiania. 106 s.
- Janzen, D. 1986. Science is forever. - *Oikos* 46: 281-283.
- Jensen, A.J., Johnsen, B.O. & Saksgård, L. 1989. Temperature requirements in Atlantic salmon (*Salmo salar*), and brown trout (*Salmo trutta*), and Arctic char (*Salvelinus alpinus*) from hatching to initial feeding compared with geographic distribution. - *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46: 786-789.
- Jensen, A.J., Johnsen, B.O. & Heggberget, T.G. 1990. Initial feeding time of Atlantic salmon, *Salmo salar*, alevins compared to river flow and water temperature in Norwegian streams. - *Env. Biol. Fish.* I trykk.
- Johnson, L. 1980. The Arctic charr, *Salvelinus alpinus*. - I Balon, E.K., red. *Charrs: salmonid fishes of the genus Salvelinus*. W. Junk Publishers, The Hague. s. 15-98.
- Kalleberg, H. 1958. Observations in a stream tank of territoriality and competition in juvenile salmon and trout (*Salmo salar* L. and *Salmo trutta* L.). - *Rep. Inst. Freshwat. Res. Drottningholm* 39: 55-59.
- Lampert, W. 1977. Studies on the carbon balance of *Daphnia pulex* de Geer as related to environmental conditions. - *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 48: 336-360.
- Langeland, A. 1982. Interactions between zooplankton and fish in a fertilized lake. - *Holarct. Ecol.* 5: 273-310.
- Lillehammer, A., Borgstrøm, R. & Skulberg, O.M. 1980. Miljøpåvirkninger i norske vassdrag. 1. Økosystembeskrivelse. - *Fauna* 33: 109-116.
- NVE 1990. Klimaendringers virkning på vannføring. - NVE. Foreløpig rapport.
- Næsje, T.F., Jonsson, B. & Sandlund, O.T. 1986. Drift of cisco and whitefish larvae in a Norwegian river. - *Trans. Am. Fish. Soc.* 115: 89-93.
- Næsje, T.F. & Jonsson, B. 1988. Impacted stress: a causal agent for reduced whitefish (*Coregonus lavaretus*) egg incubation time. - *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46: 27-31.
- Nøst, T., Aagaard, K., Arnekleiv, J.V., Jensen, J.W., Koksvik, J.I. & Solem, J.O. 1986. Vassdragsreguleringer og ferskvannsinvertebrater. En oversikt over kunnskapsnivået. - Øko-forsk Utredning 1986,1.
- Olsen, Y. & Vadstein, O. 1989. NTNFs Program for eutrofieringsforskning, faglig sluttrapport for Fase 1-3, 1978-88. - 79 s.
- Sars, G. 1896. Fauna Norvegiae I. Phyllocardia og Phyllopo-da. - Christiania.
- Standford, J.A. & Ward, J.V. 1979. Stream regulation in North America. - I Ward, J.V. & Standford, J.A. red., *The ecology of regulated streams*. Plenum press, New York and London. s. 215-236.
- Symons, P.E. 1979. Estimated escapement of Atlantic salmon (*Salmo salar*) for maximum salmon production in rivers of different productivity. - *J. Fish. Res. Board Can.* 36: 132-140.
- Tvede, A.M. 1989. Forsknings- og referansevassdrag ATNA. Vanntemperatur, isforhold og avrenning i Atnavassdraget. - MVU Rapp. B 53 NTNFs utvalg for miljøvirkninger av vassdragsutbygging.
- Vannote, R.L., Minshall, G.W., Cummins, K.W., Sedell, J.R. & Cushing, C.E. 1980. The river continuum concept. - *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37: 130-137.
- Wallace, J.C. & Heggberget, T.G. 1988. Incubation of eggs of Atlantic salmon (*Salmo salar*) from different Norwegian streams, at temperatures below 1 °C. - *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45: 193-196.
- Wetzel, 1983. *Limnology*, second edition. - Saunders Collage Publ., Philadelphia.
- Økland, J. 1969. Distribution and ecology of the fresh-water snails (Gastropoda) of Norway. - *Malacologia* 9: 143-151.
- Aagaard, K., Solem, J.O., Lillehammer, A., Hanssen, O., Nøst, T. & Dalen, T. 1989. Forsknings- og referansevassdrag ATNA. Utbredelse, sonering og årsvariasjoner hos bunn-dyr i Atna og Atnsjøen. - MVU Rapp. B 57 NTNFs utvalg for miljøvirkninger av vassdragsutbygging.

6 Forskningsbehov og anbefalinger

6.1 Terrestriske økosystemers egenskaper og prosesser

Den forskning som det først og fremst er behov for hvis vi skal møte de utfordringer som raske klimaendringer kan medføre, er økofysiologisk grunnforskning. Vi må vite hvilke klimafaktorer det er som begrenser plantenes eksistensmuligheter og hvordan klimaet påvirker de prosesser i plantene som bestemmer deres vekst og utvikling. Vi må vite hvordan plantene genetisk tilpasser seg klimaet, hvordan de fenologiske prosesser blir styrt av temperatur- og lysforholdene, og eventuelt om det er mulig å endre plantesortenes egenskaper på måter som er gunstige for oss. Dette gjelder både dyrkede og ville planter. Heldigvis har vi på dette forskningsfelt gode tradisjoner som vi kan bygge videre på.

6.2 Flora og vegetasjon

Forskningsbehovene innenfor vegetasjonsøkologien knyttet til forventede klimaendringer bestemmes i stor grad av følgende spørsmål: Hvordan skal vi raskest mulig klare å dokumentere klimainduserte forandringer i de terrestriske økosystemene, både med hensyn til retning og hastighet? For å klare dette kreves god forståelse for grunnleggende prosesser, foruten struktur og funksjon i økosystemene. I dette ligger også store utfordringer i utvikling av god metodikk.

Eksperimentell økologi. Å utføre godt planlagte og detaljerte økologiske eksperimenter, særlig i felt, bør bli en **forskningsmessig hovedmålsetting**. I eksperimentene bør man manipulere de årsaksfaktorer man på forhånd har satt opp sin forklaring i hypoteser. Eksperimentene skal f.eks. avklare problemer omkring hvor fort forandringene kan skje og i hvilken retning plantesamfunnene kan utvikle seg. En egen forskningsmessig utfordring ligger i hvordan en skal klare å kvantifisere **konkurransfaktoren**, som antas å bli svært viktig for utformingen av et vegetasjonsdekke som utsettes for raske klimaendringer. Eksperimentene bør også samtidig gi oss bedre forståelse for de mekanismer som begrenser plantenes utbredelse, og her bør inngå testing av hypoteser på arter og artsgrupper, særlig på antatt klima-sensitive arter, fra forskjellige utbredelsestyper.

For å studere innvandring, framgang og tilbakegang av arter, behøves utvikling og bruk av **følsomme populasjonsbiologiske parametre** i de transplanterte vegetasjonsmattene.

Transplantasjoner av utsnitt av intakte plantesamfunn mot en varmere klimatype, kan bli en viktig tilnæringsmåte for å studere hastighet og retning for forandring hos klimafølsomme arter og plantesamfunn, ved simulert temperaturstress. Transplantasjoner bør ideelt sett utføres både lokalt (f.eks. i ett og samme dalføre), regionalt (f.eks. fra Midt-Norge til Sørøst-Norge), særlig langs kyst-innland-gradienten og over større strekninger i den boreale barskogssonen (f.eks. fra Ural til Skandinavia). En transplantasjonsmetodikk for forflytting av intakt vegetasjon er under utvikling i NINA, og et pilotforsøk starter sommeren 1990.

Plantegeografisk metodikkutvikling. Forandring av plantenes livsvilkår av klimaendringer vil innebære spredning av arter ut i fra deres optimalområder. Det blir viktig å etablere et metodisk opplegg for å overvåke hvordan (spredningsmåte) og hvor fort (spredningshastighet) artene beveger seg, f.eks. for varmekjære arter og nitrofile arter (ugras) i deres bevegelse nordover. Til dette kreves atskillig mer raffinerte, objektive og reproduerbare plantegeografiske metoder enn de som eksisterer i dag. Opplegget vil i starten ha et sterkt overvåkingspreg. Det bør snarest etableres overvåkingnett for antatt klima-følsomme arter, artsgrupper, med permanente oppmerkete flater, kanskje med vekt på ett- og fåårige arter, langs to hovedgradienter i Europa:

- Langs sør-nord-gradient (sommervarmegradient Mellom-Europa - Skandinavia)
- Langs vest-øst-gradient (vintertemperaturgradient og fuktighetsgradient Skandinavia - Øst-Europa) (se "Anbefalinger på kort sikt" nedenfor)

Anbefalinger på kort sikt (1990-1995)

- Økt offentlig støtte og stimulering til forskerrekuttering og kompetanseoppbygging innenfor klimarelevant vegetasjonsøkologi.
- Norge bør raskest mulig etablere internasjonalt forsknings-samarbeid på temaet 'virkninger av klimaendringer' med vekt på å delta aktivt i "core project" GCTE (Global Change and Terrestrial Ecosystems) innenfor IGBP (International Geosphere Biosphere Program).
- Etablere tverrfaglig samarbeid mellom økologer og klimatologer, f.eks. knyttet til overvåkingsprogrammer.
- Økologiske virkningsstudier må inn med full tyngde i klima-ozon-programmet.
- Få bedre innsikt i klimaekstremenes betydning for utforming og suksesjoner i terrestriske økosystemer.
- Etablere et nytt system av "funksjonsgrupper" for antatt klimafølsomme plantearter og plantesamfunn i forhold til klimaendringer (Eksempel: Frostømfintlige/vintertermofile kystplanter antas å være en slik funksjonell artsgruppe med felles responstype på lave vintertemperaturer). Slike funksjonelle artsgrupper og plantesamfunn må først identifiseres og beskrives mht. utbredelse, Autøkologiske og sy-

nøkologiske forhold i funksjonsgruppene må avklares i egne prosjekter, helst i et internasjonalt samarbeid, hvor økofysiologisk frekvens også bør inngå.

- Identifisere bruksmåter i landbruket som på grunn av de antatte klimaendringene kan komme i konflikt med naturvern hensyn og hensyn til biologisk diversitet.
- Identifisere og skaffe gode avtaler for bruk av boreale og arktiske områder (forskningsreservater) for overvåking og økologisk forskning på klima-relevante spørsmål, for snarlig innlemming i et internasjonalt nettverk av 'Global Bio-monitoring Sites' (GBS).
- Etablere system for lagring av klima-relevante økologiske data, utvikle gode statistiske og numeriske metoder, for behandling av slike data, og etablere samarbeid mellom vegetasjonsøkologer og kompetansepersoner i matematisk modellering.

6.3 Pattedyr og fugl

Vår kunnskap om og forståelse av hvordan klimafaktorer påvirker arter og populasjoner og interaksjoner mellom ulike populasjoner eller arter, synes å være alt for dårlig. Det er nødvendig med innsats på flere felter og med ulike metoder for å kunne forutse forholdene for vår fugle- og pattedyrfauna når klimaet endres. Mange høyst aktuelle og nødvendige forskningstema ved klimaendringene er behandlet eller nevnt i kapittel 4.4-4.6. Nedenfor gis en oversikt over sentrale oppgaver som må og bør prioriteres.

Matematisk modellering. Det bør arbeides med utvikling av modeller for hvordan dyrene reagerer når klimafaktorer endrer seg, særlig med sikte på å avdekke viktige relasjoner og finne de mest anvendelige indikatororganismer.

Overvåking av viktige indikatororganismer. Det er meget viktig å sette opp et overvåkingssystem hvor organismer og populasjoner som er antatt klimaømfintlige inngår. Ved særlig utbredelsesgrense for nordlige arter og ved nordlig grense for sørlige arter er det særlig viktig å overvåke endringene. Denne overvåking bør inngå i det terrestriske overvåkingsprogram som settes i gang i 1990 i regi av DN.

Det er nødvendig med prosjekter som går over lange tidsreier for å kunne ha kontroll over årlige populasjonsfluktasjoner ved slike studier (Järvinen & Väisänen 1979a). Dessuten kan lokale trender være atypiske og en bør dekke flere vegetasjonsregioner. Fugler er særlig velegnet til å være gode overvåkingsverktøy på grunn av sin økologiske diversitet. Dessuten eksisterer flere godt standardiserte måle- og telle-teknikker og det er forholdsvis lett å innhente data om fugl, og mye bakgrunnsinformasjon fins tilgjengelig om de fleste arter (se for øvrig Järvinen & Väisänen 1979a).

Årsak/virkning-studier (relasjoner klima - fugl/pattedyr). Det synes nødvendig å kunne identifisere på hvilke måter homeoterme dyr blir påvirket av endringer i klima, og med vekt på hva som skjer med dyrene når f.eks. temperaturen går opp 4 °C om vinteren eller 2 °C i hekke-/yngleperioden. Det legges særlig vekt på eksperimentell forskning.

Populasjonsøkologisk forskning på antatt klimaømfintlige arter. Generelt vet vi mye om fugl og pattedyr, og de er derfor gode forskningsobjekter for mer detaljstudier bl.a. om klimaeffekter. Det kreves imidlertid mer kunnskap om populasjonsøkologien til fugle- og pattedyrarter før vi kan estimere betydningen av klimatiske faktorer mot andre faktorer. Dette gjelder særlig for arter hvor klima er angitt å være en viktig populasjonsdynamisk faktor. Både utbredelse, populasjonstettheter, reproduktiv suksess og interspesifikke relasjoner må studeres.

Økofysiologiske studier av "klimafølsomme" arter. Som for populasjonsdynamisk forskning trengs det mye mer økofysiologisk kunnskap. Kunnskap om fysiologiske tilpasninger til ulike klimaforhold er for dårlig.

6.4 Ferskvannsfauuna

Forskningsbehovet innen ferskvannsökologi i forbindelse med mulige klimaendringer kan knyttes til to temaer, **faunasammensetning og artsutbredelse, og modellutvikling for simulering av miljøendringseffekter.**

Faunasammensetning og artsutbredelse. Grunnlaget for enhver utredning av effekten av miljøendringer på naturmiljøet må være kunnskap om fauna og flora under dagens forhold. Registrering av eventuelle framtidige endringer i dyrelivet må baseres på kunnskap om den opprinnelige sammensetning av faunaen, og prioriteringer som må gjøres i arbeidet for å bevare naturmiljøet er avhengig av kunnskap om hvilke arter som finnes i de ulike områder. Stilt overfor de potensielle endringer i miljøet vi kan tenke oss i dag, er registrering og kartlegging av faunaen for å fylle huller i vår kunnskap på dette området en av de mest presserende oppgaver innen dagens biologi (jf. Janzen 1986).

Både innen invertebrater og fisk er det mangler ved våre faunistiske kunnskaper. Forekomsten av viktige grupper av insekter, krepsdyr og bløtdyr er lite kartlagt spesielt i områder på Vestlandet, i Nord-Norge og på Svalbard. På Svalbard er også forekomsten av ferskvannsfisk (røye) dårlig kjent. Det bør derfor settes i gang et program for kartlegging av norsk ferskvannsfauuna i disse områdene.

Modeller for simulering av miljøendringer. Det er i laboratoriet utviklet en del gode modeller som beskriver sammenheng mellom vanntemperatur og f.eks. næringsopptak, veksthastighet og generasjonstid hos både invertebrater og fisk. Det er imidlertid mangel på kunnskap og erfaring fra arbeid med å knytte slike enkle modeller sammen til modeller som kan simulere interaksjoner mellom arter og mellom trofiske nivåer. Det gjenstår mye arbeid for å kvantifisere parametre som konkurranse og predasjon, og utviklingen av pålitelige modeller krever testing i naturlige systemer.

Det bør settes i gang et program for utvikling av økosystemmodeller for innsjøer og rennende vann. Det foreligger relativt gode modeller av plankton - fisk-systemet. For bunndyr er det enklest å lage slike modeller for samfunnet i dypområdene (profundalen). Grunnvannsområdene (littoralen) med sitt store artsmangfold, er langt vanskeligere å beskrive i en modell.

For rennende vann har økologene siden 1980 i stor grad benyttet en modell som er kjent som "the river continuum concept" (RCC). Denne modellen ble først lagt frem av Vannote et al (1980). Modellen forutsetter at de fysiske forhold langs et vannløp følger en kontinuerlig gradient fra kildene til utløpet i havet. Denne kontinuiteten i de fysiske forhold gjen-speiles i de biotiske forhold. I Norge er det få vassdrag som er så godt kjent per i dag at totalmodeller kan utvikles. Fra FORSKREF-vassdraget Atna foreligger det imidlertid så vidt mye data også innen hydrologi og vannkjemi at det ville være mulig å gjennomføre et simuleringsforsøk basert på allerede kjente data.

7 Sammendrag og konklusjoner

7.1 Terrestriske økosystemers egenskaper og prosesser

Hvis klimaendringene inntreffer så raskt som geofysikerene forutser vil det medføre betydelige tilpasningsproblemer både for dyrkede og ville planter. For jordbruksvekstene vil de forutsette endringer stort sett ventes å forbedre vårt produksjonsgrunnlag idet man kan vente høyere avlinger og at det blir mulig å dyrke vekstslag som er for varmekrevende for oss idag. Vi må vente at det blir mulig i atskillig utstrekning å dyrke mais.

Vanskeligere blir forholdene for skogbruket. Det er spørsmål om skogstrærne raskt nok kan tilpasse seg forandringene, 40 år som nå er perspektivet, er ikke nok til at et nyplantet tre blir hogstmodent. Hvis treet ikke klarer seg i klimaet om 40 år får vi lite nytte av våre plantinger. Man bør derfor vurdere om dette bør påvirke våre valg av provenienser ved planting allerede i dag.

De klimaforhold vi forutser om 40 år svarer noenlunde til klimaforholdene under den varmeste del av tiden etter istiden. Vi har derfor i vår flora populasjoner som kan tilpasse seg de nye forhold. Men hvis utviklingen fortsetter utover det som ligger som forventes om 40 år f.eks. ved at man ikke klarer å stanse eller redusere utslippet av CO₂, vil man stå overfor helt nye situasjoner.

7.2 Flora og vegetasjon

Med utgangspunkt i klimaforholdene vil det potensielle skogarealet av Norges totalareal øke fra ca 66 % i dag til ca 88 % under 2 x CO₂-scenariet, eksklusiv potensiell skog i kystseksjonen og uten hensyn til jordbunnsforholdene. Av vegetasjonsregionene vil sør- og mellomboreal region omtrent fordoble sine arealer (SB fra 10,3 % til 23,4 %, MB fra 17,8 % til 34,6 % av landarealet), mens nordboreal og alpin region vil gå sterkt tilbake (NB fra 29,9 % til 8,4 %, alpin fra 29,6 % til 7,1 % av landarealet). Forandringene blir relativt størst i Nord-Norge, hvor mellomboreal region vil utgjøre ca 50 % av landarealet under 2 x CO₂-scenariet. Hele Finnmarksvidda og mesteparten av Hardangervidda blir mellomboreal, og er derfor potensielle skogarealer på lengre sikt. Nemoral region blir å betrakte som en ny vegetasjonsregion de fleste steder i Sør-, Vest- og Midt-Norge (øker totalt fra 0,7 % til 12,8 % av landarealet).

Spredningsbarrierer (fysiske og kulturbetinget) og iboende genetiske barrierer hos enkeltarter, vil forsinke og delvis hindre en rask vandring nordover av nemorale (varmekjære) arter fra Mellom-Europa til Norge. Det samme vil gjelde spredning fra Sørøst-Norge til Midt- og Nord-Norge.

Utviklingen av nye regioner med rask spredning av arter vil sannsynligvis skje **sprangvis** hvor episodiske varme somre vil få nøkkelbetydning.

Nye artskombinasjoner og nye plantesamfunn vil oppstå i og med den helt nye konkurransesituasjonen som vil oppstå mellom artene.

En del plantearter vil gå fram (ekspandere) i areal og hyppighet, andre vil gå tilbake. **Varmekjære planter** (edellauvskog-sarter) og **frostømfintlige** kystplanter kan regne med en ekspansjon. **Fjellplanter** vil generelt gå tilbake, en del av disse får sin eksistens truet, særlig mellomalpine arter (over ca 1400 m i Sør-Norge). **Østlige og nordøstlige arter** (sørvestkystskyere), deriblant gran og en del høystauder, vil trekke seg tilbake mot nordøst som reaksjon på mye mildere vintre. En del havstrandplanter (halofytter) vil trues med en havnivåstigning på 0,5 m eller mer.

Ugras og nitrofile arter kan ekspandere sterkt og raskt på grunn av sin spredningsevne (r-strategier) og bedre tilgang på nitrogen i jordsmonnet, pga. av raskere humusomsetning.

Økologiske spesialister vil generelt gå tilbake. Sjeldne artsfokomster og utkantlokaliteter vil trues, f.eks. huldreplantelokalitetene i Gudbrandsdalen. Sørlige utposter og lavlandslokaliteter av nordlige arter og fjellplanter blir truet. **Vidutbredte arter** (generalister) kan ekspandere til dels sterkt på bekostning av arter med snevrere økologisk amplitude (spesialister).

Destabilisering av plantesamfunn på grunn av omfattende artsdød kan skje, men er ikke svært sannsynlig på kort sikt.

Den klimatiske skoggrensen vil stige, inntil 300-400 m i indre strøk.

Vegetasjonsutviklingen kan, når man tar hensyn både til temperatur-, nedbør-, snø- og markfuktighetsscenariene, gå mot:

- **Mer tørrbakker og tørre skogtyper med furu** på indre Østlandet.
- På lengre sikt utvikling av oligotrofe **elk- og bøkeskoger** på bekostning av blåbærgranskoger i lavere strøk av Østlandet (under 200-300 m).
- Kolonisering av **edellauvskoger i nordskråninger** under ca 300 m i Sør- og Midt-Norge.
- På lengre sikt kolonisering av **edellauvskog i sørhellinger**, helt opp til 800-900 m i Sør- og Midt-Norge med mulige utpostlokaliteter nord til Reisadalen og Alta.

- **Myrområder** får en uvisst utvikling, med mulighet for ustabile forhold i en periode, og påfølgende fare for erosjon av torv.

Biodiversiteten for planter kan øke noe i lavlandet og i sør, og avta i fjellet og i østlige deler av landet.

Det er sterkt behov for oppprioritering, bedre koordinering og internasjonalisering av forskning innenfor området "økologiske virkninger av klimaendringer på terrestriske økosystemer" helst innenfor internasjonale, langsiktige forskningsprogrammer 'Core project' GCTE (Global Change and Terrestrial Ecosystems) innenfor IGBP bør spille en nøkkelrolle i koordinering av denne forskningen.

7.3 Fugl og pattedyr

Klimafaktorer har stor betydning for utbredelsesmønstre, populasjonstettheter, fordeling, spredning, reproduksjon og dødelighet hos fugl og pattedyr. I de fleste tilfelle har det vist seg vanskelig å skille ut betydningen av klima relativt til andre faktorer.

Dyrene vil stå overfor store problemer med å tilpasse seg de hurtige miljøendringene som de framlagte klimascenarier medfører. Spredningsmulighetene til passende habitater vil være viktige.

Store faunaendringer vil komme til å skje. Mange av artene i alpine og arktiske områder, som f.eks. fjellrev, villrein, moskusfe, lemen, jerv, fjellrype, snøspurv, lappspurv og lirype vil måtte trekke seg nordover og sannsynlig gå sterkt tilbake i antall. Mulighetene for å overleve i norsk fauna vil være små for enkeltarter.

Vi får antakelig noen flere arter fra sørligere områder, særlig av fugl. Nye pattedyrarter vil være få. Det ventes økt konkurranse i lavlandsområdene i Sør-Norge mellom dagens arter og nye fuglearter. Dagens lavlandsarter og skogarter antas å forflytte eller spre seg mot fjellet og mot nord.

Det er nødvendig med forskningsinnsats på en rekke felter for å kunne forutsi forholdene for vår fugle- og pattedyrfauna når klimaet endres.

7.4 Ferskvannsf fauna

Endret klima som skissert i klimascenariene, vil føre til endringer i de abiotiske og biotiske forholdene i ferskvann. De viktigste endringene i abiotiske faktorer kan ventes som økt vanntemperatur (1-3 °C), endret vannføringsregime (økt vin-

tervannføring), redusert islegging (ca 1-2 mnd.) og lengre produksjonsperiode (vanntemperatur > 4 °C).

Den økte vanntemperaturen vil påvirke de vekselvarme dyras metabolisme og produktivitet. Deres metabolske rate vil øke, men om den økte produksjonen skal omsettes til økt biomasse vil være avhengig av næringsstilbudet. I dype, næringsfattige innsjøer vil det sannsynligvis bli liten endring i biomassen av dyreplankton og fisk. I grunne og næringsrike innsjøer kan det imidlertid bli økt primærproduksjon, men denne produksjon kan bli forskjøvet over mot algearter som er lite egnet som dyreføde. De antatte klimaendringene kan derfor forårsake størst endringer i grunne næringsrike innsjøer, men resultatet av endringene vil være avhengig av endringer i bl.a. algesamfunnet og fiskesamfunnet. Høyere vanntemperatur og lengre vekstsesong kan føre til endringer i fiskens livshistorie. Bedre vekstforhold vil kunne føre til større årlig tilvekst og at fisken kjønnsmodnes tidligere.

De rent klimatiske endringene vil sannsynligvis bare forårsake små endringer i artssammensetning og dominansforhold hos dyreplankton. Imidlertid kan endringer i fiskesamfunnet påvirke dyreplanktonet. Økt dominans av varmekjære, planktonspisende fiskearter kan få betydning for predasjonstrykket på dyreplanktonet. Spesielt i næringsrike innsjøer kan likevekten mellom de ulike trofiske nivå i innsjøen forskyves mot et system med lav selvrensingsevne.

Klimaendringer vil medføre dyregeografiske endringer. Ferskvannsinsekter vil raskt kunne følge de endrede klimagrenser og derigjennom endre sitt utbredelsesområde. Bløtdyr og krepsdyr i vann er hovedsaklig avhengig av passiv spredning. En utvidelse av disse arters leveområde vil derfor gå langt senere. Enkelte invertebrater med refugier i de alpine områdene kan få redusert sitt leveområde. Den stasjonære innlandsfisken har dårlig spredningsevne. Dette fører til at endrede miljøforhold i svært liten grad vil føre til økt utbredelse. Varmekjære arter vil imidlertid få bedre livsvilkår og bli mer dominerende i fiskesamfunnene. De anadrome fiskeartene vil derimot kunne få endret utbredelsesområde. Sjørøya som er en kaldtvannsart vil kunne få redusert sitt leveområde, mens varmekjære arter som maisild og stamsild, vil kunne få utvidet sitt leveområde.

8 Summary and conclusions

8.1 Properties and processes in terrestrial ecosystems

If the changes in climate occur as rapidly as the geophysicists predict they will lead to cultivated and wild plants having major problems in adapting. In the case of agricultural plants, the predicted changes can largely be expected to improve the basis for our production since higher yields can be expected and it will be possible to cultivate types of plant that are too warmth-demanding for us today. We can expect maize cultivation to be possible to a significant extent.

Forestry will face more difficult conditions. It is questionable whether forest trees will be able to adapt themselves to the changes sufficiently rapidly. The present perspective of 40 years is insufficient time for a newly planted tree to be ready for felling. If the tree does not tolerate the climate 40 years hence, we will derive little benefit from our planting. We should therefore consider whether this should already now be influencing our choice of provenances when planting.

The climatic conditions that are being predicted for 40 years hence roughly correspond with those experienced during the warmest period after the Ice Age. Our flora therefore contains populations that can adapt themselves to the new conditions. But if the development continues beyond that being predicted, for example because we fail to succeed in stopping or reducing the discharge of CO₂, we will be faced with entirely new situations in 40 years time.

8.2 Flora and vegetation

Based on the climatic conditions, the potential area of forest relative to the total area of Norway will increase from ca. 66 % today to ca. 88 % under the 2 x CO₂ scenario. This excludes potential forest in the coastal tract and ignores the soil conditions. Of the vegetation regions, the southern and middle boreal regions will approximately double their areas (SB from 10.3 % to 23.4 %, MB from 17.8 % to 34.6 % of the land area), whereas the northern boreal and alpine regions will become much smaller (NB from 29.9 % to 8.4 %, alpine from 29.6 % to 7.1 % of the land area). The changes will be relatively greatest in North Norway where the middle boreal region will comprise ca 50 % of the land area under the 2 x CO₂ scenario. The entire upland plateau of Finnmarksvidda and most of the mountain plateau of Hardangervidda will become middle boreal, and therefore potential forest areas in

the long term. A nemoral region will come to be viewed as a new vegetation region in most parts of South, West and Central Norway (increasing in total from 0.7 % to 12.8 % of the land area).

Dispersion barriers (physical ones and those depending on culture) and inherent genetical barriers in individual species will delay and in part prevent rapid migration northwards of nemoral (thermophilous) species from Central Europe to Norway. The same will apply to migration from Southeast Norway to Central and North Norway. The development of new regions, with rapid dispersion of species, will take place **surge-wise**, episodically warm summers being of key significance.

New combinations of species and new plant communities will appear because of the completely new competition relationships that will come into being between the species.

Some plant species will show an increase (expand) in area and frequency, others will decline. **Thermophilous plants** and **frost-sensitive** coastal plants can expect to expand. **Mountain plants** will generally decrease, and some of them will have their existence threatened, particularly middle alpine plants (above ca. 1400 m in South Norway). **Easterly** and **northeasterly** species (**southwest coast avoiders**), including spruce and some tall perennials, will retreat north-eastwards as a reaction to much milder winters. Some sea-shore plants (halophytes) will be threatened by a rise in sea level of 0.5 m or more.

Weeds and **nitrophilous species** may expand greatly and rapidly because of their dispersion ability (r-strategists) and probable improved access to nitrogen in the soil because of more rapid humus turnover. **Ecological specialists** will generally decline. Occurrences of rare species and outlying localities will be threatened, e.g. the "nymph" localities in Gudbrandsdalen. Southerly outposts and lowland localities of northerly species and mountain plants will be threatened. **Widely-distributed species** (generalists) may expand, in part strongly, at the cost of species with a more restricted ecological amplitude (specialists).

Destabilisation of plant communities may take place, with possible extensive species mortality, but is not very probable without more wide-reaching and rapid changes in climate.

The climatic treeline will rise, up to 300-400 m in inland districts.

When the temperature, precipitation, snow and ground moisture scenarios are taken into consideration, the development of vegetation may move towards:

- **Drier slopes and drier types of forest with pine** in inner eastern Norway (Østlandet).
- In the long-term, the development of oligotrophic **oak woods and beech woods** at the cost of bilberry-pine forests in lowland parts of eastern Norway (Østlandet) (below 200-300 m).
- Colonisation of thermophilous forests on north-facing slopes below ca 300 m in South and Central Norway.
- In the long-term, the colonisation of thermophilous forests on south-facing slopes as far up as 800-900 m in South and Central Norway, with possible outpost localities north to Reisadalen and Alta.
- Areas of mire will have an uncertain future, with the possibility of unstable conditions for a while, followed by peat erosion.

The **biodiversity** of plants may increase somewhat in lowland areas and in the south, and decrease in the mountains and in eastern parts of the country.

There is a great need for a well coordinated and internationalised research effort within the field of "the ecological impacts of changes in climate on terrestrial ecosystems", preferably under the umbrella of long-term international research programmes, e.g. under the auspices of the "core project" GCTE (Global Change and Terrestrial Ecosystems) within IGBP.

8.3 Mammals and birds

Climatic factors have considerable bearing on distribution patterns, population densities, distribution, dispersion, reproduction and mortality in birds and mammals. In most cases it has proved difficult to distinguish the importance of climate relative to other factors.

Animals will be faced with major problems in adapting themselves to the rapid environmental changes entailed by the climatic scenarios that have been put forward. Possibilities for dispersion to suitable habitats will be important.

Major changes in fauna will take place. Many of the species in alpine and arctic areas, such as, for example, the mountain fox, wild reindeer, muskox, lemming, wolverine, ptarmigan, snow bunting, lapland bunting and willow grouse will have to migrate northwards and will probably show a strong decrease in numbers.

We will probably receive some additional species from areas to the south, particularly birds. There will be few new mam-

mal species. Increased competition can be expected in lowland areas of South Norway between today's species and new species of birds. The present lowland and woodland species are expected to transfer or spread towards the mountains and the north.

A research effort is needed in several fields to enable us to predict the conditions for our bird and mammal fauna when the climate changes.

8.4 Freshwater fauna

A change of climate as outlined in the climate scenarios, will lead to changes in the abiotic and biotic conditions in freshwater. The most significant changes in abiotic factors can be expected to be rise in water temperature (1-3 °C), changes in the flow regime (increased winter discharge), reduced period of frozen water (ca 1-2 months) and a longer production period (water temperature > 4 °C).

The rise in water temperature will affect the metabolism and productivity of the poikilotherms. Their metabolic rate will increase, but whether the increased production will be translated into increased biomass will depend upon the food supply. There will, however, probably be little change in the biomass of animal plankton and fish in deep, nutrient-poor lakes. In shallow and nutrient-rich lakes there may, however, be an increase in primary production, but this production can be displaced towards species of alga which are little suited as animal food. The assumed changes in climate may therefore cause the greatest changes in shallow, nutrient-rich lakes, but the results of these changes will depend upon changes in, among other things, the algal community and the fish community. A higher water temperature and longer growing season can lead to changes in the life-history of the fish. Improved conditions for growth may lead to increase in annual yield and to the fish maturing earlier.

The purely climatical changes will probably only cause small changes in species composition and dominance relationships among animal plankton. However, changes in the fish community may affect the animal plankton. Increased dominance of thermophilous, plankton-eating fish species may have significance for the predation pressure on the animal plankton. Particularly in nutrient-rich lakes, the equilibrium between the various trophic levels in the lake can be displaced towards a system with low self-cleaning ability.

Changes in climate will lead to changes in animal geography. Freshwater insects will be able to rapidly follow the changing climate boundaries and thereby change their area of distribution. Molluscs and crustaceans in water are chiefly dependent

on passive dispersion. An extension of the area in which these species live will therefore take place much more slowly. A few invertebrates with refugia in the alpine areas may have their area reduced. The stationary inland fish have poor dispersion ability. This means that changing environmental conditions will only to a very limited degree lead to increased distribution. Thermophilous species will, however, obtain improved living conditions and become more dominant in the fish communities. The andromous fish species will, on the other hand, be likely to have their area of distribution changed. The sea char, which is a cold-water species, may have its area reduced, whereas thermophilous species such as Allis shad and Twaite shad, may have theirs increased.

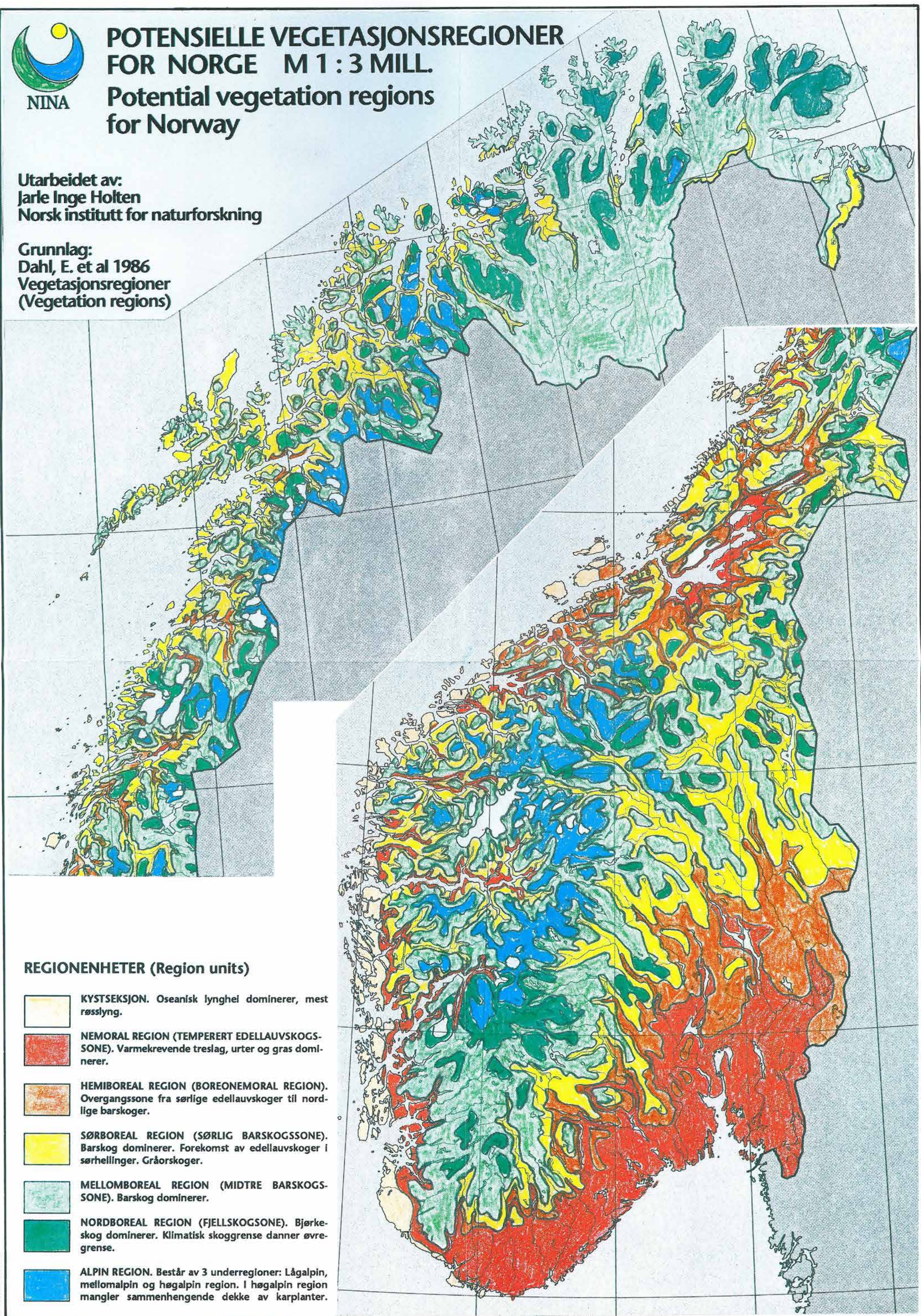


POTENSIELLE VEGETASJONSREGIONER FOR NORGE M 1 : 3 MILL.

Potential vegetation regions for Norway

Utarbeidet av:
Jarle Inge Holten
Norsk institutt for naturforskning

Grunnlag:
Dahl, E. et al 1986
Vegetasjonsregioner
(Vegetation regions)



REGIONENHETER (Region units)

-  **KYSTSEKSJON.** Oseanisk lynchel dominerer, mest røsslyng.
-  **NEMORAL REGION (TEMPERERT EDELLAUVSKOGSSONE).** Varmekrevende treslag, urter og gras dominerer.
-  **HEMIBOREAL REGION (BOREONEMORAL REGION).** Overgangssone fra sørlige edellauvskoger til nordlige barskoger.
-  **SØRBOREAL REGION (SØRLIG BARSKOGSSONE).** Barskog dominerer. Forekomst av edellauvskoger i sørhellingene. Gråorskoger.
-  **MELLOMBOREAL REGION (MIDTRE BARSKOGSSONE).** Barskog dominerer.
-  **NORDBOREAL REGION (FJELLSKOGSSONE).** Bjørkeskog dominerer. Klimatisk skoggrense danner øvre-grense.
-  **ALPIN REGION.** Består av 3 underregioner: Lågalpin, mellomalpin og høgalpin region. I høgalpin region mangler sammenhengende dekke av karplanter.

0 11

nina
utredning

ISSN 0802-3107
ISBN 82-426-0060-0

Norsk institutt for
naturforskning
Tungasletta 2
7004 Trondheim
Tel. (07) 913020