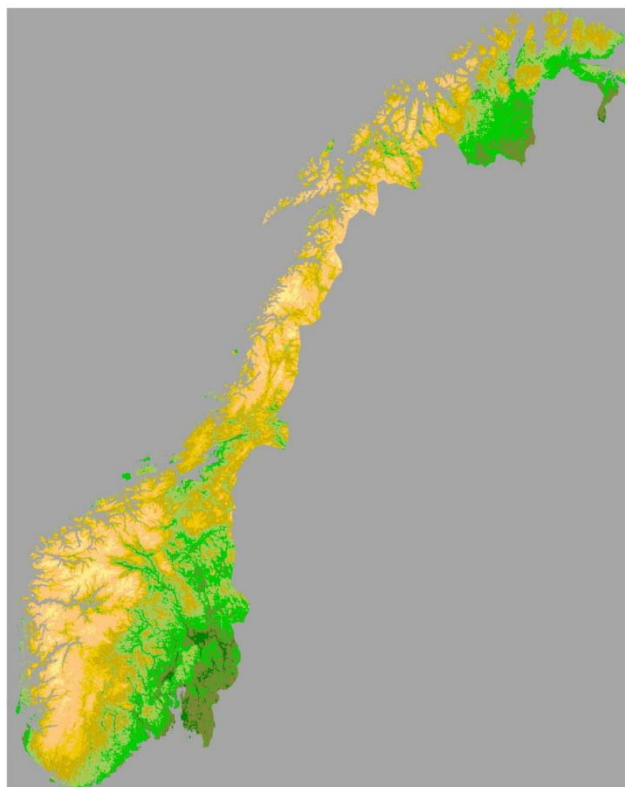


Klimaendringer og Norges vegetasjon

Hvordan påvirkes vegetasjonsmodeller av ulike klimascenarier?

Vegar Bakkestuen
Lars Erikstad
Rune Halvorsen



NINAs publikasjoner

NINA Rapport

Dette er en ny, elektronisk serie fra 2005 som erstatter de tidligere seriene NINA Fagrapport, NINA Oppdragsmelding og NINA Project Report. Normalt er dette NINAs rapportering til oppdragsgiver etter gjennomført forsknings-, overvåkings- eller utredningsarbeid. I tillegg vil serien favne mye av instituttets øvrige rapportering, for eksempel fra seminarer og konferanser, resultater av eget forsknings- og utredningsarbeid og litteraturstudier. NINA Rapport kan også utgis på annet språk når det er hensiktsmessig.

NINA Temahefte

Som navnet angir behandler temaheftene spesielle emner. Heftene utarbeides etter behov og serien favner svært vidt; fra systematiske bestemmelsesnøkler til informasjon om viktige problemstillinger i samfunnet. NINA Temahefte gis vanligvis en populærvitenskapelig form med mer vekt på illustrasjoner enn NINA Rapport.

NINA Fakta

Faktaarkene har som mål å gjøre NINAs forskningsresultater raskt og enkelt tilgjengelig for et større publikum. De sendes til presse, ideelle organisasjoner, naturforvaltningen på ulike nivå, politikere og andre spesielt interesserte. Faktaarkene gir en kort framstilling av noen av våre viktigste forskningstema.

Annen publisering

I tillegg til rapporteringen i NINAs egne serier publiserer instituttets ansatte en stor del av sine vitenskapelige resultater i internasjonale journaler, populærfaglige bøker og tidsskrifter.

Norsk institutt for naturforskning

Klimaendringer og Norges vegetasjon

Hvordan påvirkes vegetasjonsmodeller av ulike klimascenarier?

Vegar Bakkestuen
Lars Erikstad
Rune Halvorsen

Bakkestuen, V., Erikstad, L., & Halvorsen, R . 2009. Klimaendringer og Norges vegetasjon. Hvordan påvirkes vegetasjonsmodeller av ulike klimascenarier?– NINA Rapport 524. 24 s.

Oslo, november 2009

ISSN: 1504-3312

ISBN: 978-82-426-2097-2

RETTIGHETSHAVER

© Norsk institutt for naturforskning

© Universitetet i Oslo

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

REDAKSJON

KVALITETSSIKRET AV

Marianne Evju

ANSVARLIG SIGNATUR

Erik Framstad (sign.)

OPPDRAAGSGIVER(E)

Direktoratet for Naturforvaltning

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER

Linda Dalen

FORSIDEBILDE

Modellerte vegetasjonssoner i Norge © V. Bakkestuen

NØKKEWORD

Norge, vegetasjon, soner, seksjoner, klimaendringer, PCA, GIS

KEY WORDS

Norway, vegetation, zones, sections, climate change, PCA, GIS

KONTAKTOPPLYSNINGER

NINA hovedkontor

7485 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00

Telefaks: 73 80 14 01

NINA Oslo

Gaustadalléen 21

0349 Oslo

Telefon: 73 80 14 00

Telefaks: 22 60 04 24

NINA Tromsø

Polarmiljøsentret

9296 Tromsø

Telefon: 77 75 04 00

Telefaks: 77 75 04 01

NINA Lillehammer

Fakkeltgården

2624 Lillehammer

Telefon: 73 80 14 00

Telefaks: 61 22 22 15

www.nina.no

Sammendrag

Bakkestuen, V., Erikstad, L., & Halvorsen, R. 2009. Klimaendringer og Norges vegetasjon. Hvordan påvirkes vegetasjonsmodeller av ulike klimascenarier?– NINA Rapport 524. 24 s.

Klima er en avgjørende faktor for variasjonen vi finner i naturen. I Norge er det identifisert to bioklimatiske hovedgradienter, én hovedsakelig knyttet til temperatur og høyde over havet og én i hovedsak knyttet til nedbør (klimatisk fuktighet) og avstand fra havet. Denne rapporten beskriver et modellsystem for vegetasjonsregioner (bioklimatiske regioner) som er arealdekkende for hele fastlands-Norge med en oppløsning på 1 km. Dette modellsystemet er en videreutvikling av tidligere arbeider hvor bare et utvalg av kilometerrutene i Norge ble analysert med samme metode.

For å illustrere konsekvensen av gitte klimascenarier for perioden 2071-2100, er det på grunnlag av modellarbeid laget kart som viser utbredelsen av vegetasjonsregioner i Norge. En sammenligning mellom vegetasjonsmodellene for normalperioden 1961-1990 og klimascenariemodellene for 2071-2100 viser endringer opp til 2,5 seksjonsenheter (fuktigere klima) og opp til 3,5 soneenheter (varmere klima).

Vegar Bakkestuen (vegar.bakkestuen@nina.no), Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo
Postboks 1172 Blindern, NO-0318 Oslo; og NINA, Gaustadalléen 21, NO-0349 Oslo
Lars Erikstad, NINA, Gaustadalléen 21, NO-0349 Oslo
Rune Halvorsen, Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo, Postboks 1172 Blindern, NO-0318 Oslo.

Abstract

Bakkestuen, V., Erikstad, L & Halvorsen, R. 2009. Climate change and Norwegian vegetation. How are Norwegian vegetation models affected by climatic change? – NINA Rapport 524. 24 s.

Climate is a main determinant of variation in nature. Two main regional gradients are identified in Norway, one related mainly to temperature and elevation and one to precipitation (climatic humidity) and distance from the sea. This report describes a model system for bioclimatic variation (vegetation regions) in Norway with a spatial resolution of 1 km.

To illustrate the effects of given climate change scenarios (2071-2100), models are developed as basis for maps of predicted distributions of vegetation regions. Comparisons of these maps with the existing models for the period 1961–1990 reveal changes up to 2.5 vegetation section units and 3,5 vegetation zone units (i.e. change in direction of regions characterised by a warmer and a wetter climate).

Vegar Bakkestuen (vegar.bakkestuen@nhm.uio.no), Department of Botany, Natural History Museum, University of Oslo, PO Box 1172 Blindern, NO-0318 Oslo, Norway, and
(vegar.bakkestuen@nina.no), NINA, Gaustadalléen 21, NO-0349 Oslo
Lars Erikstad, NINA, Gaustadalléen 21, NO-0349 Oslo
Rune Halvorsen, Department of Botany, Natural History Museum, University of Oslo, PO Box 1172 Blindern, NO-0318 Oslo, Norway.

Innhold

Sammendrag	3
Abstract	4
Innhold.....	5
Forord	6
1 Innledning.....	7
1.1 Bakgrunn.....	7
2 Materiale og metode	10
2.1 Bakgrunnsdata	10
2.2 Klima scenarie data.....	10
2.3 Statistisk analyse for normalperioden 1961-1990	11
2.4 Modellering av vegetasjonsscenarier	11
3 Resultater	14
3.1 Normalperioden 1961-1990	14
3.2 Scenarier.....	17
4 Diskusjon og konklusjon	20
4.1 Ny 'PCA Norge'	20
4.2 Potensielle endringer for vegetasjonsregionene	20
4.3 Forutseneringer og forbehold	23
5 Referanser	24

Forord

Klimaet har stor betydning for arters utbredelse i Norge og dermed også for de store trekkene i vegetasjonens fordeling over landet og den bioklimatiske inndelingen av landet. Endringer i klimaet vil medføre endringer i artenes fordelingsmønstre, og medføre behov for justering av bioklimatiske regioninndelinger. I 2008 fikk Naturhistorisk museum (UiO) og Norsk institutt for naturforskning (NINA) i oppdrag å utføre en analyse for hvordan vegetasjonssonene og -seksjonene (vegetasjonsregioninndelingen i nasjonalatlas for Norge) vil kunne endre seg under ulike klimascenarier.

Analysene er basert på eksisterende kartmateriale fra diverse institusjoner, tilgjengeliggjort gjennom Norge digitalt. Scenariedataene er hentet fra Meteorologisk institutt sine nedskalerte modeller med romlig oppløsning 1 km.

Prosjektet har vært utført i samarbeid med Meteorologisk institutt og Norsk institutt for skog og landskap.

Overingeniør Svein Erik Storeid ved Norges institutt for naturforskning (NINA) har bidradd ved GIS-analysene. Kontaktperson ved Direktoratet for naturforvaltning har vært Linda Dalen, som takkes for godt samarbeid og betydelig tålmodighet.

Oslo, 2009-11-15

Vegar Bakkestuen
Prosjektleder

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Klima er en avgjørende faktor for variasjonen vi finner i naturen. I Norge er det identifisert to bioklimatiske hovedgradienter, én hovedsakelig knyttet til temperatur og høyde over havet (vegetasjonssoner) og én i hovedsak knyttet til nedbør (klimatisk fuktighet) og avstand fra havet (vegetasjonsseksjoner). En samlet kartframstilling av fordeling av disse to hovedgradientene i Norge basert på ekspertvurderinger, med utgangspunkt i en lang rekke biogeografiske og klimatiske kriterier, er gitt av Moen (1998) og Elvebakk (2005).

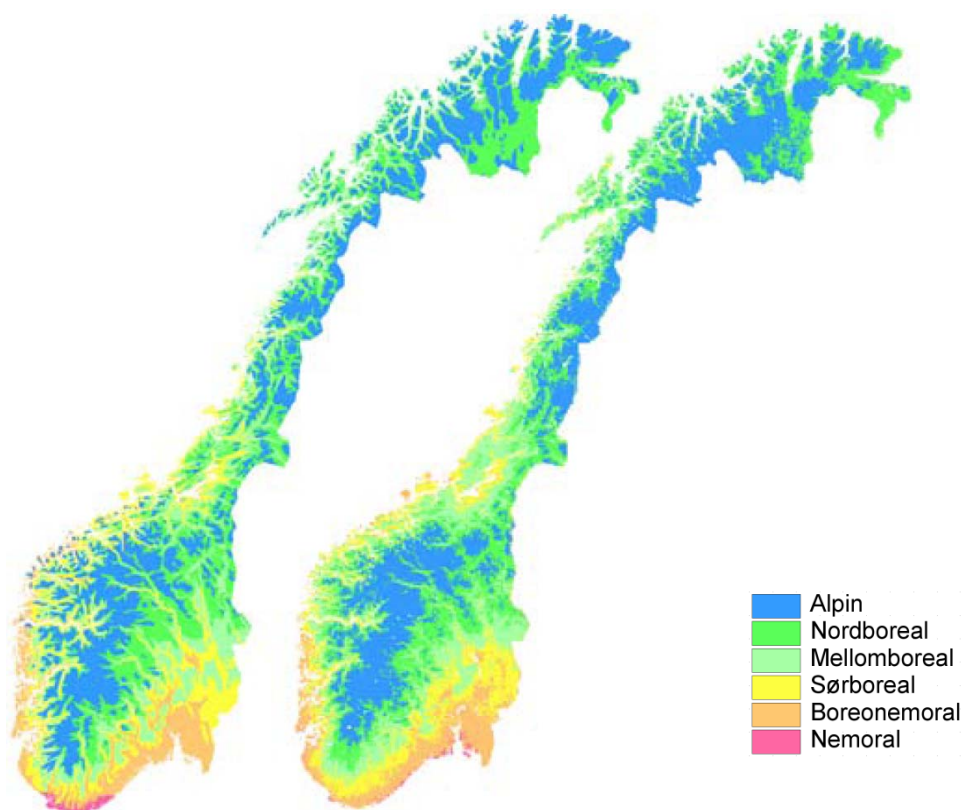
Uten faste kriterier for hvordan en sone eller en seksjon skal defineres, er det ikke mulig å foreta en objektiv avgrensning av disse. Som et bidrag til en mer objektivisert beskrivelse av naturvariasjon på regional skala, foretok Bakkestuen et al. (2008) en analyse av 54 kartfestete variabler (for det meste 'rasterdata' eller punktobservasjoner) som til sammen beskriver biogeoklimatisk variasjon i Norge ('PCA-Norge'); temperatur, nedbør, humiditet og innstråling (beregnet på grunnlag av terrengvariabler). 'PCA-Norge' er en ordinasjonsanalyse som viser hvordan disse variablene samvarierer, det vil si hvilke regionale kompleksgradienter de danner, og graden av sammenfall mellom komplekse miljøgradienter identifisert ved ordinasjonsanalyse og den ekspertbaserte inndelingen i vegetasjonssoner og seksjoner (Moen 1998).

I store trekk blir sone- og seksjonsinndelingen til Moen (1998) blir bekreftet av 'PCA-Norge'. Analysene viser også at inndelingen er gyldig over flere romlige skalanivåer. 'PCA-Norge' representerer på denne måte en parametrisering (vi vil referere til denne som 'trinnløse sone- og seksjonsmodeller') av den aksepterte bioklimatiske hovedinndelingen av Norge (Figur 1 og 2). Avvikene mellom analyseresultatene og ekspertvurdering har bidratt konstruktivt til en diskusjon om naturvariasjonen i Norge på et detaljert nivå (Halvorsen et al. 2009).

På tre punkter avviker analyseresultatene til Bakkestuen et al. (2008) fra sone- og seksjonsinndelingen i Moen (1998):

- Moens nemorale sone representerer ikke et trinn langs samme bioklimatiske økoklin som øvrige soner, men danner i et diagram med trinnløse seksjons- og sonemodeller en kile inn i boreonemorale sone. Den klimatiske variasjonen innenfor den samlede boreonemorale/nemorale sonen er imidlertid mye større enn innenfor hver av de tre boreale sonene, slik at det fra økoklininndelingssynspunkt kan synes å være gode grunner for å dele denne variasjonsbredden i to soner slik som Moen (1998) gjør. Bakkestuen et al. (2008) foreslår at den nemorale sonen omfatter de sommervarme kystnære områdene omkring ytre Oslofjord og et stykke nedover sørlandskysten, i hvert fall til Aust-Agder. Videre utredningsarbeid er påkrevet for å justere grensene mellom den boreonemorale og den nemorale sonen, eventuelt finne andre løsninger på denne utfordringen. I Naturtyper i Norge versjon 1.0 (Halvorsen et al. 2009) foreslås boreonemorale sone i Norge uoppdelt.
- Moens todeling av den sterkt oseaniske seksjonen (O3) i en termisk, ytre, og en hygisk, indre, del, gjenspeiles ikke langs den trinnløse oseanitetsøkoklinen. Det viser at denne delingen hos Moen (1998), som også Moen sjøl påpeker, er basert på andre kriterier enn den øvrige seksjonsinndelingen. I NiN-sammenheng blir delingen av den sterkt oseaniske seksjonen ikke benyttet (Halvorsen et al. 2009).
- Moens svakt kontinentale seksjon (C1) er i grenselandet til å utspenne større variasjon langs den trinnløse seksjonsmodellen enn øvrige soner. Det faktum at steppe i egentlig ikke anses å forekomme på det norske fastlandet (Halvorsen et al. 2009) taler imidlertid imot at den klart kontinentale sonen (C2) finnes der. Det bør imidlertid vurderes om også C2 skal angis for det norske fastlandet.

En mer detaljert beskrivelse av "PCA-Norge" finnes i Bakkestuen et al. (2008) og Halvorsen et al. (2009).



Figur 1. Sammenlikning mellom vegetasjonssoneinndelingen basert på ekspertklassifisering (Moen 1998), til venstre, og den nye trinnløse sonemodellen basert på PCA-ordinasjon av 54 biogeoklimatiske variabler (til høyre).

Trinnløse sone- og seksjonsmodeller vil kunne være et svært nyttig hjelpemiddel i mange sammenhenger, blant annet som arealdekkende grunnlagsdata for modellering av naturtyper og arters utbredelsesmønstre (prediksjonsmodellering; Stokland et al. 2008). Slike modeller vil kunne brukes sammen med klimascenarie-data til å produsere geografiske oversikter over hvordan dagens naturvariasjon vil kunne endre seg over tid, og de kan brukes i fremtidig prediksjonsmodellering av arters respons på klimaendringer.

Trinnløs bioklimatisk modellering kan brukes sammen med nye kartfestete klimascenarier til å belyse hvordan utstrekningen av bioklimatiske regioner i Norge vil kunne bli i fremtiden. Ved å erstatte de eksisterende klimavariablene i 'PCA-Norge', som er basert på siste normalperiode (1961-90), med klimascenariedata for henholdsvis 2021–2050 og 2071–2100 (scenarieperioder brukt av Meteorologisk institutt) vil man kunne modellere framtidig potensiell utbredelse av vegetasjonssoner og vegetasjonsseksjoner. Hensikten med denne rapporten er:

- å tilrettelegge resultatene fra 'PCA-Norge' slik at disse kan brukes som grunnlag for analyse av effekter av scenarier fra klimamodellering
- å gjennomføre modellering for aktuelle klimascenarier basert på rasterkart fra Meteorologisk institutt
- på grunnlag av disse modellene å produsere kart og nye datasett som kan brukes i forvaltningen og som basis for videre forskning på effekter av klimaendringer.



Figur 2. Sammenlikning mellom vegetasjonsseksjoneinndelingen basert på ekspertklassifisering (Moen 1998), til venstre, og den nye trinnløse seksjonsmodellen basert på PCA-ordinasjon av 54 biogeoklimatiske variabler (til høyre).

Arbeidet har bestått i følgende arbeidsoppgaver:

- Gjennomføring av 'PCA-Norge'-analysen for hele Norge, basert på total dekning av observasjonsenheter ('ruter') som er 1 km². Dette representerer en stor forbedring av 'PCA-Norge', som tidligere bare har omfattet 1/5 disse rutene (på grunn av problemer med analyse av så store datasett).
- Gjennomføring av nye analyser basert på klimascenarier fra Meteorologisk institutt
- Tilrettelegging av modelleringsresultatene i form av kart (for internettpresentasjon) og som datasett for videre bruk i vitenskapelige undersøkelser, for eksempel i forbindelse med modellering av arters respons på klimaendringer.

2 Materiale og metode

Alle romlige analyser av kartmateriale er gjort i ArcView 3.3 og ArcGIS 9.3. Alle henvisninger i teksten og tabeller viser til standard prosedyre i ArcView 3.3 med Spatial Analyst 2.0 (ESRI 1996a og 1996b) og ArcGIS 9.3 (ESRI 2008).

2.1 Bakgrunnsdata

Det er lagt vekt på å bruke eksisterende kartmateriale i analysene. Det finnes kartmateriale i ulike målestokker, og det har vært nødvendig å gjøre noen valg og prioriteringer med hensyn på hvilke kartkilder som er brukt. Mer enn 80 (kanskje 100) forskjellige kartlag er nå tilgjengelig for modellering. Disse omfatter for eksempel:

- klimadata (for eksempel månedsmiddel, gjennomsnittelig temperatur og nedbør, med 1 km oppløsning)
- topografiske data (terrengdata og ulike avledninger og indekser med oppløsning ned til 25 m)
- hydrologiske data (for eksempel avrenning og evapotranspirasjon ned til 1 km oppløsning)
- geologiske (jordart og bergart, målestokk 1: 250 000)

Variablene som er valgt ut for denne analysen er i hovedsak de samme som brukt i Bakkestuen et al. 2008 (se tabell 1).

Vi har valgt å gjøre hele analysen innenfor rammen av raster-GIS. Det betyr at vektoriserte kartdata er omgjort til rasterdata før analysen startet. Kartdatagrunnlaget kommer i hovedsak fra tre ulike kilder, i hver sin målestokk:

- N250 data, målestokk 1:250 000
- Statens kartverks digitale høydemodell (DEM), oppløsning 100 m, generert fra data i målestokk 1:50 000
- klimadata fra Meteorologisk institutt og NVE, rastret til 1 km oppløsning

Vi har også benyttet geologiske kart fra NGUs kartserie i målestokk 250 000 (Dons & Jorde 1978) til å lage en enkel 'geologisk rikhetsindeks' fra 1 til 3 som uttrykker hvor berggrunnens innhold av næringsstoffer som er tilgjengelig for vegetasjonen (se Bakkestuen et al. 2008).

2.2 Klimascenariedata

Scenariene (framskrivningene) tilgjengelig for denne rapporten er basert på data fra den regionale klimamodellen HIRHAM (se Haugen & Iversen 2008), som i utgangspunktet har en romlig oppløsning på ca. 25 x 25 km. Scenariedatene er nedskalert til 1 km oppløsning, som er oppløsningen for klimavariablene som er brukt i 'PCA-Norge' (normalperioden 1961-1990); for metodikk se Engen-Skaugen et al. (2008). Scenariene er kalt IS92a (gjelder for normalperioden 2021-2050) og Hadley B2 (gjelder for perioden 2071-2100). Månedsmidler for temperatur, nedbør og vekstsesongslengde fra begge scenarier var tilgjengelig for modelleringen.

IS92a har ofte blitt omtalt som det mest sannsynlige scenariet med hensyn til enkelte antagelser (som befolkningsvekst og økonomisk vekst) og CO₂-utslipp. Hadley B2, som er en nedskalering fra en modell utviklet ved Hadley-senteret i England, er også et 'lavutslippsscenario'. Mer ekstreme nedskalerte utslippsscenarioer i en original oppløsning på ca. 25 x 25 km er foreløpig ikke tilgjengelig på en form som er kompatibel med 'PCA-Norge'-dataene.

2.3 Statistisk analyse for normalperioden 1961-1990

For å analysere og tolke biogeoklimatisk variasjon, det vil si likheter og ulikheter mellom kilometerruter over hele fastlands-Norge, ble den innsamlede miljøinformasjonen fra alle rutene gjort gjenstand for ordinasjonsanalyse. Ordinasjon er en matematisk metode for å trekke ut hovedtrender (les: gradienter) i et materiale bestående av mange variabler (her: miljøinformasjon) registrert eller interpolert for mange stasjoner (her: kilometerruter).

Det finnes ulike typer ordinasjonsmetoder, men i denne analysen har vi valgt å bruke PCA (Principal Component Analysis; Pearson 1901), som forutsetter lineære sammenhenger mellom variablene. Metoden er basert på multipl lineær regresjon, og søker å finne et sett av optimale ('hypotetiske') variabler (så få som mulig) som forklarer så mye som mulig av variasjonen i datasettet. Den første av disse optimale variablene (første PCA-akse) skal forklare så mye variasjon som det er mulig å forklare av én variable (den gir høyest R^2 -verdi, best regresjonstilpassing, til dataene). Den første PCA-aksen finnes ved bruk av en iterativ algoritme med alternerende multiple regresjon- og kalibreringstrinn. I denne prosessen ordnes stasjonene og miljøvariablene slik at R^2 -verdien blir høyest mulig. PCA-akse 1 er et uttrykk for hovedvariasjonen i datasettet. Flere PCA-akser trekkes ut slik at hver akse 'forklarer' mest mulig av den restvariasjonen som til enhver tid er igjen i datasettet vårt etter at variasjonen forklart av allerede uttrukne akser er 'korrigert for'. Den kanskje viktigste oppgaven i en ordinasjonsanalyse, er å tolke ordinasjonsaksene, dvs. å finne ut om de hypotetiske forklaringsvariablene som ordinasjonsaksene er og som best forklarer hovedstrukturen i materialet, kan kjennes igjen som økologisk (klimatisk, geografisk) meningsfulle gradienter i naturen.

Siden nye akser trekkes ut slik at de 'forklarer' variasjon i dataene som ikke allerede er 'forklart' av tidligere uttrukne akser, er PCA-aksene uavhengige gradienter i datamaterialet som er ordnet i en rekkefølge hvor den første har størst betydning, dvs. forklarer den største andelen av variasjonen, den andre forklarer nest mest, etc. Ordinasjonsaksenes egenverdier forteller hvor mye variasjon som 'forklares' av hver akse.

Før ordinasjon ble alle variable transformert til null skjevhet ('zero-skewness transformation'; R. Økland et al. 2001) og standardisert ('rangert') til verdier mellom 0 og 1 slik at de har innbyrdes lik vekt i PCA-analysene. PCA ble kjørt i R software, versjon 2.8.0 (R Development Core Team 2009) ved hjelp av vegan-pakken (Oksanen et al. 2006). ArcView ble benyttet for plotting av variablene i et ordinasjonsdiagram. Akseverdiene for rutescorene langs hver av de viktigste PCA-aksene ble koblet opp mot originalrutenes geografiske posisjoner ved bruk av for å visualisere det geografiske mønsteret som PCA-aksene representerer.

Kun de 'naturlige' miljøvariabler er benyttet i denne analysen, fordi hensikten med analysen er å skaffe et overblikk over hovedvariasjonen i naturgitte forhold i Norge, som blant annet skal kunne brukes som grunnlag for en uavhengig vurdering av menneskeskapte forhold.

2.4 Modellering av vegetasjonsscenarier

Vegetasjonsscenariene ble laget ved passiv ordinasjon, det vil si at ordinasjonsaksene ble funnet på grunnlag av eksisterende klimavariabler for normalperioden 1961–1990, mens observasjonsheter som representerer henholdsvis Is92A- og Hadley B2-scenariene ble plassert i samme ordinasjonsdiagram (uten å influere på aksene) på grunnlag av framskrevne verdier for de samme variablene i klimascenariene. Variabler som er uavhengig av dagens klima (topografi etc.) ble holdt konstante. Enkelte avledete variabler (Conrads indeks, avrenning, snødekke) lot seg ikke beregne for klimascenariene og noen få variabler lot seg ikke transformere til null skjevhet. Disse ble utelatt fra analysene. Dette hadde en helt minimal effekt på PCA-aksene. Effekter av klimaendringer på rutenes plassering langs bioklimatiske gradienter ble studert ved å sammenlikne rutenes forflytning langs PCA-aksene.

Tabell 1. Variabler brukt i modelleringen: forkortelse, fullt navn, dataopprinnelse og romlig oppløsning, forklaring og statistiske egenskaper (fra Bakkestuen et al. 2008). * disse variablene er ikke brukt scenariemodelleringen da de bare foreligger for normalperioden 1961-90.

Forkortelse	Fullt navn	Dataopprinnelse og -oppløsning	Forklaring og statistikk
Elev	Elevation (høyde over havet)	Based on the '100 metre resolution digital elevation model' (DEM) from Statens kartverk (National Mapping Authorities, Norway). Resolution: 100 x 100 metre. (Basert på 100 x 100 m høydemodell fra Statens kartverk)	The DEM is interpolated from contour lines of 20 m resolution from the national map series N50 (National Mapping Authorities). Zonal statistic: mean. (Høydemodellen er interpolert fra 20 m kort i N50 kartbasen)
ElevRelRef	Elevation relative relief (relativt relief)	Som over	Defined as the difference between maximum and minimum elevation in each grid square. Zonal statistic: range.
Slope	Slope (helning)	Som over	Calculated in ArcView Spatial Analyst 2.0 as the maximum elevation difference from a target cell to any of its neighbouring cells. Zonal statistic: mean.
SlopeTerrVar	Slope terrain variation (terrengvariasjon)	Som over	Defined as the standard deviation of observed slopes for the grid cell. Calculated in ArcView Spatial Analyst. Zonal statistic: standard deviation.
PlanCurv	Plan curvature (plankurvatur)	Som over	First derivative of aspect, shows the magnitude of aspect change. Calculated in ArcView Spatial Analyst. Zonal statistic: mean.
ProfCurv	Profile curvature (profilkurvatur)	Som over	First derivative of slope, shows the magnitude of slope change. Calculated in ArcView Spatial Analyst. Zonal statistic: mean.
Curv	Curvature (kurvatur)	Som over	Calculated by a standard option in ArcView Spatial Analyst 2.0. Positive curvature indicates that the surface in the cell is convex (a negative curvature indicates that the surface is concave and value of zero indicates that the surface is planar). Zonal statistic: mean.
RadHeatIndex	Radiation heat index (innstrålingsindeks)	Som over	Calculated by the following formulae: $\tan(\text{slope}) \times \cos(\text{aspect})$ (Økland 1996). Calculated in ArcView Spatial Analyst 2.0. Zonal statistic: mean.
AspUnFav	Aspect unfavourability (eksposisjon indeks)	Som over	Expressed as deviation from SSW (225 gons/202.5 grades) (Økland 1996). Calculated in ArcView Spatial Analyst 2.0. Zonal statistic: mean.
TerrRugg	Terrain ruggedness (terreng ujevnhet)	Som over	Expresses the amount of elevational difference between adjacent cells (Riley <i>et al.</i> , 1999). Calculated by the standard procedure TRI in ArcView GIS 9.1. Zonal statistic: mean.
PAnn, PJan, PFeb, PMar, PApr, PMay, PJun, PJul, PAug, PSep, POct, PNov, PDes	Annual precipitation, January precipitation, etc. (Månedlig nedbør)	Maps of annual and monthly mean values for precipitation, based on the 1961-90 normal, were estimated applying a residual kriging approach, including topographical information in the interpolation procedure, on data from meteorological stations (Tveito <i>et al.</i> , 1997). Resolution: 1x1 km.	Zonal statistic: mean. (statistikk gjennomsnitt)
TAnn, TJan, TFeb, TMar, TApr, TMay, TJun, TJul, TAug	Annual temperature, January temperature, etc. (Månedlig temperatur)	Maps of annual and monthly mean values for temperature, based on the 1961-90 normal, were estimated by applying a residual kriging approach, including topographical information in the interpolation	Som over

TSep, TOct, TNov, TDec			procedure, on data from meteorological stations (Tveito <i>et al.</i> , 2000). Resolution: 1 x 1 km.	
Evap and Runoff*		Evapotranspiration, hydrological run-off (Evapotranspirasjon og avrenning)	Based on the 1961-90 normal, estimated by applying a residual kriging approach, including topographical information in the interpolation procedure, on data from meteorological stations (Beldring <i>et al.</i> , 2002). Resolution: 1 x 1 km.	Som over
GS, GDD		Growing season and growing-degree days (veksts sesong og graddager)	A map of the growing season, defined as number of days with average temperature above 5°C, and a growing-degree days map, defined as accumulated degree sum above a defined reference temperature, here 5°C, based on the 1961-90 normal, were estimated applying a residual kriging approach, including topographical information in the interpolation procedure, on data from meteorological stations (Skaugen & Tveito, 2002). Resolution: 1 x 1 km.	Som over
Rdd100, Rdd001	Rdd010,	No. of days with precipitation threshold above 10 mm, 1 mm and 0.1 mm (antall dager med nedbør over diverse terskelverdier)	Maps of number of days with precipitation, based on the 1961-90 normal, above certain thresholds, were interpolated from data from 355 meteorological stations all over Norway (Tveito <i>et al.</i> , 2001). Resolution: 1 x 1 km.	Som over
GeoRich		Geological richness (geologisk rikhetsskala)	Calculated from a geology map (Sigmond 1985) scale 1:1000000, classified as a 3-state ordinal variable expressing increasing importance of nutrient availability to biota. Rasterized to 1 x 1 km resolution.	Som over
Snowdays, LastSnow*	LastS-	Number of days with snow cover and last day with snow cover (antall snødager og siste dag med snødekke)	Rasterized from vector format maps (Bjørnbæk 1993) scale 1:7000000. Rasterized to 1 x 1 km resolution.	Som over
RadJan, RadJul, RadOct	RadApr,	January radiation, April radiation, etc. (solinnstråling)	Maps of estimated potential solar irradiance in months January, April, July and October (Aune, 1993b) were rasterized from vector format maps scale 1:7000000. Rasterized to 1 x 1 km resolution.	Som over
DistCoast, DistOcean		Distance to coast line, distance to open ocean (avstand til kyst og åpent hav)	Based on the digital map series N250 (1:250 000) from Statens kartverk (National Mapping Authorities). Resolution: 1 x 1 km.	Calculated by standard option in ArcView Spatial Analyst 2.0. Zonal statistic: mean.
Conrad		The continentality index of Conrad, <i>k</i> . (Conrad continental indeks)	Calculated according to following formula: $k = \frac{1.7A}{\sin(\phi + 10^\circ)} - 14,$ where A is the difference between the mean temperatures (°C) of the warmest and coldest months and ϕ is the latitude of the locality in question (Conrad, 1946). Resolution: 1 x 1 km.	Zonal statistic: mean.

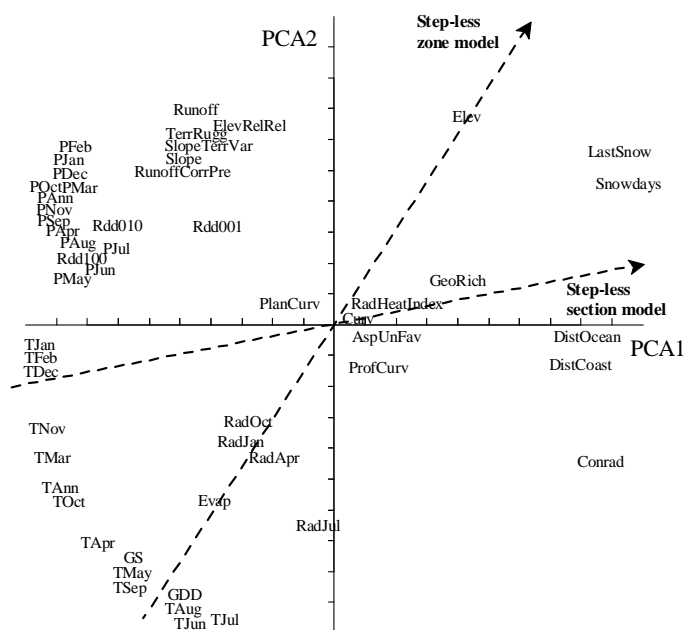
3 Resultater

3.1 Normalperioden 1961-1990

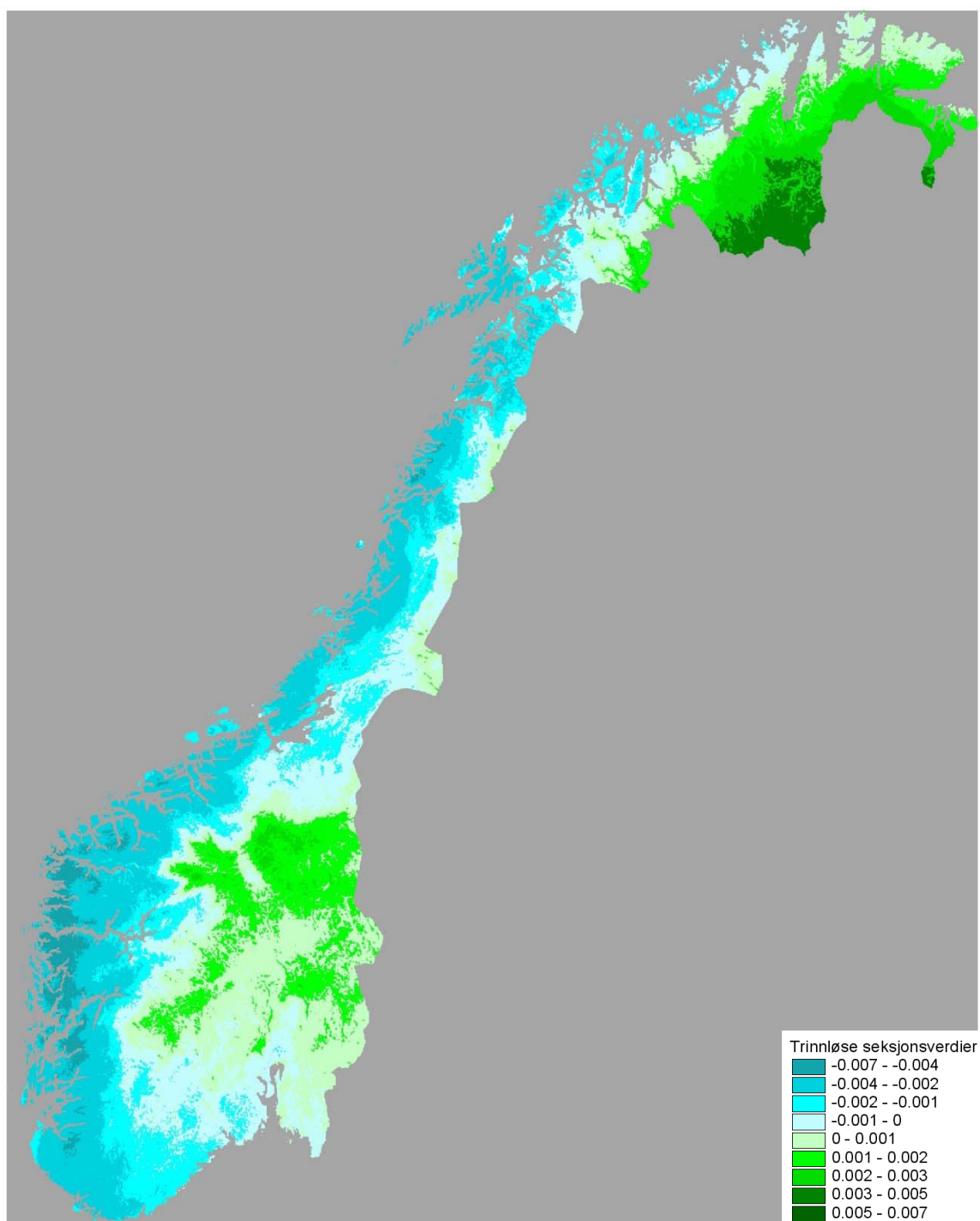
De nye analyseresultatene for alle kilometerruter på det norske fastlandet (317 176 ruter) var konsistente med resultatene til Bakkestuen et al. (2008); de samme hovedgradientene (PCA-aksene) ble funnet ved ordinasjonen. Dette bekrefter at hovedgradientene i naturforhold på denne grove romlige skalaen (regionale gradienter) i Norge er svært sterke og at de, gitt representativ datainnsamling, er uavhengige av hvor mange kilometerruter som inngår i analysen.

For å eliminere en mulig effekt av mange sterkt korrelerte variabler (særlig blant klimavariablene), ble analysene repetert på et utvalg bestående av 35 variabler. Dette endret ikke resultatene. Alle ordinasjoner hadde en første akse som fanget opp variasjon langs den bioklimatiske seksjonsøkoklinen, mens den andre akse fanget opp variasjon langs soneøkoklinen (**Figur 3**). Dette indikerer at metoden er robust også overfor hvilke og hvor mange klimavariabler som blir inkludert. **Figur 3** viser også at for det norske fastlandet er de to ekspertklassifiserte regionale økoklinene, vegetasjonssoner og vegetasjonsseksjoner, svakt korrelert med hverandre.

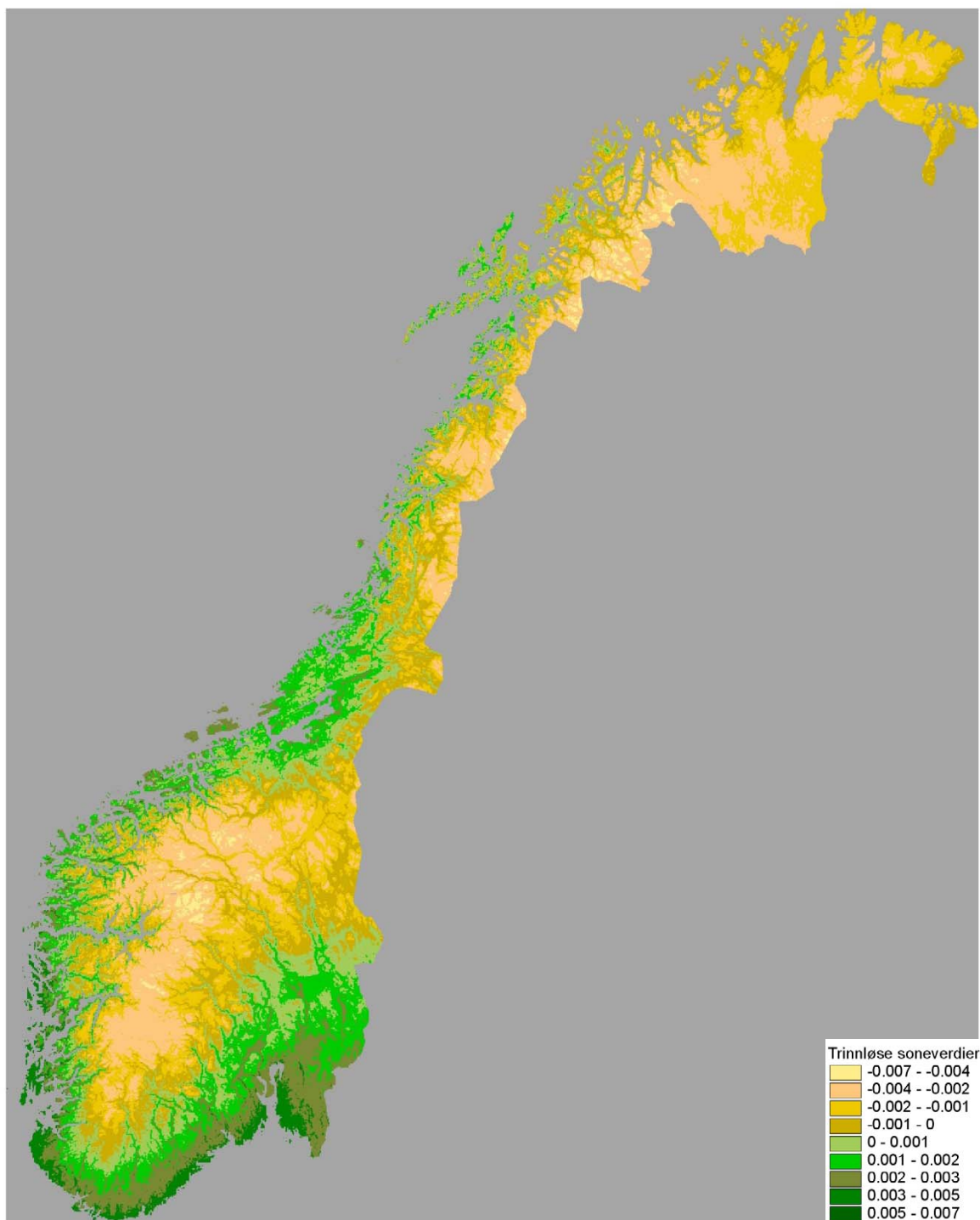
Visualisering av PCA-akse 1 og 2 for et landsdekkende rutenett med rutestørrelse 1 km² for normalperioden 1961-1990 er vist i henholdsvis **figur 4** (PCA 1) og **figur 5** (PCA 2). Fra nå av vil disse erstatte vegetasjonsmodellene vist i figurene 1 og 2, som kun var basert på et utvalg av ruter.



Figur 3. PCA-ordinasjon av 54 miljøvariabler, registrert i 317 176 1-km² ruter på det norske fastlandet, aksene 1 (horisontal) og 2. Merkelappene på figuren viser retningen fra origo der man finner den største økningen i verdi for hver enkelt variabel, og avstanden fra origo indikerer hvor godt variasjonen for variabelen fanges opp i ordinasjonen. T er temperaturvariabler, P er nedbørvariabler, GS er vekstsesonglengde og GDD er varmesum (forkortelser er forklart i tabell 1). Vektorpiler angitt med stiple linjer er de to retningene som gir best mulig overensstemmelse med klassifiseringen av ruter til vegetasjonssone og vegetasjonsseksjon etter Moen (1998); se Bakkestuen et al. (2008). Prosjeksjonene av rutene på disse vektorene er estimater for rutenes plassering langs trinnløse seksjons- og soneøkoklinen.



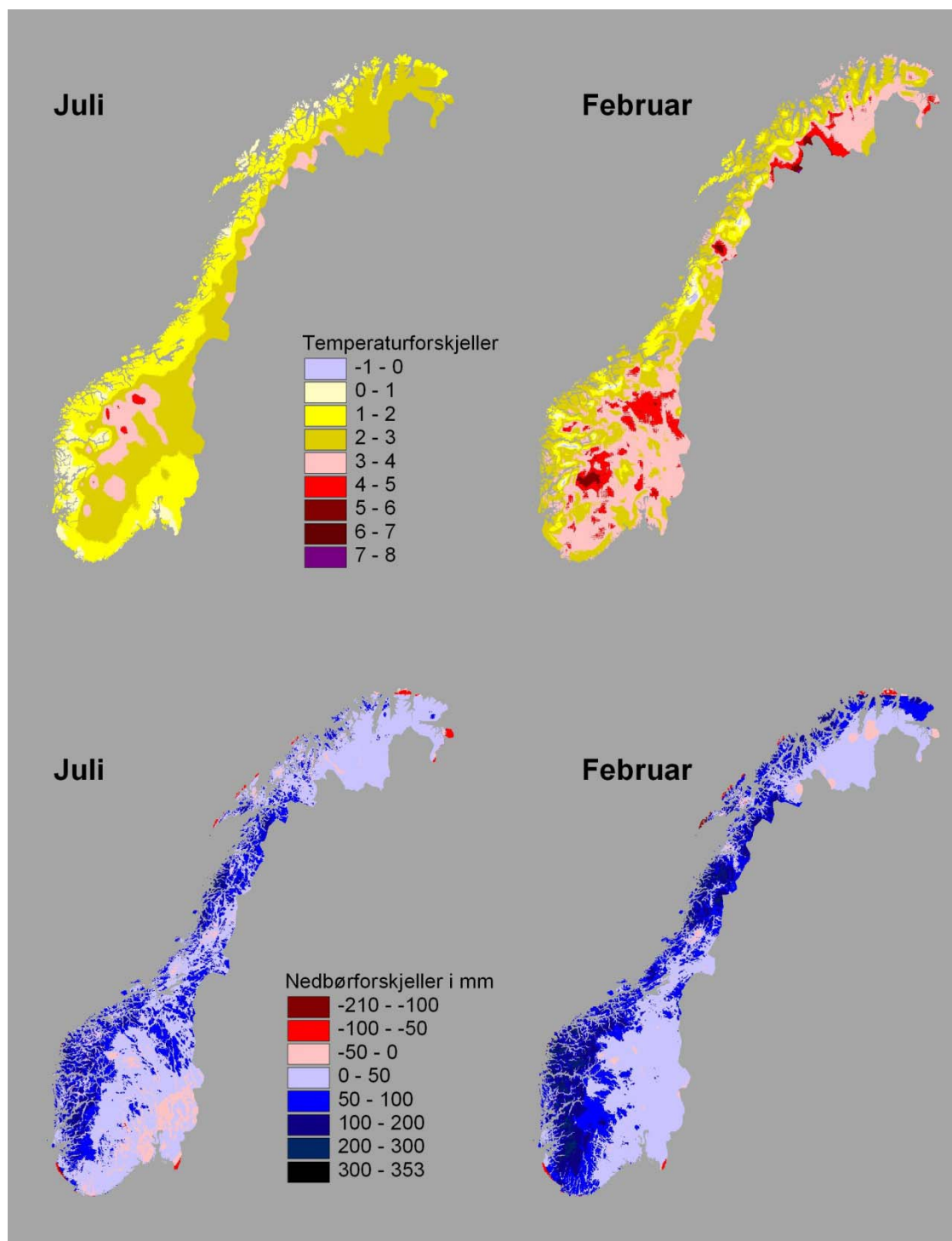
Figur 4. PCA-akse 1 for normalperioden 1961-1990 basert på ordinasjon av 54 biogeoklimatiske variabler i alle kilometerruter på det norske fastlandet. Verdiene øker mot øst, for eksempel fra Sogn og Fjordane til de indre Østlandsdalene, og representerer plassering langs en trinnløs bioklimatisk seksjonsgradient (se **figur 2 og 3**). Blå fargenyanser viser osaniske forhold, mens grønne fargenyanser viser kontinentale forhold.



Figur 5. PCA-akse 2 for normalperioden 1961-1990 basert på ordinasjon av 54 biogeoklimatiske variabler i alle kilometerruter på det norske fastlandet. Verdiene avtar mot nord og med økende høyde over havet, og representerer plassering langs en trinnløs bioklimatiske sonegradient (se **figur 1 og 3**). Grønne farger representerer de varmeste bioklimatiske sonene mens graderingen i gult viser tiltagende alpine forhold.

3.2 Scenarier

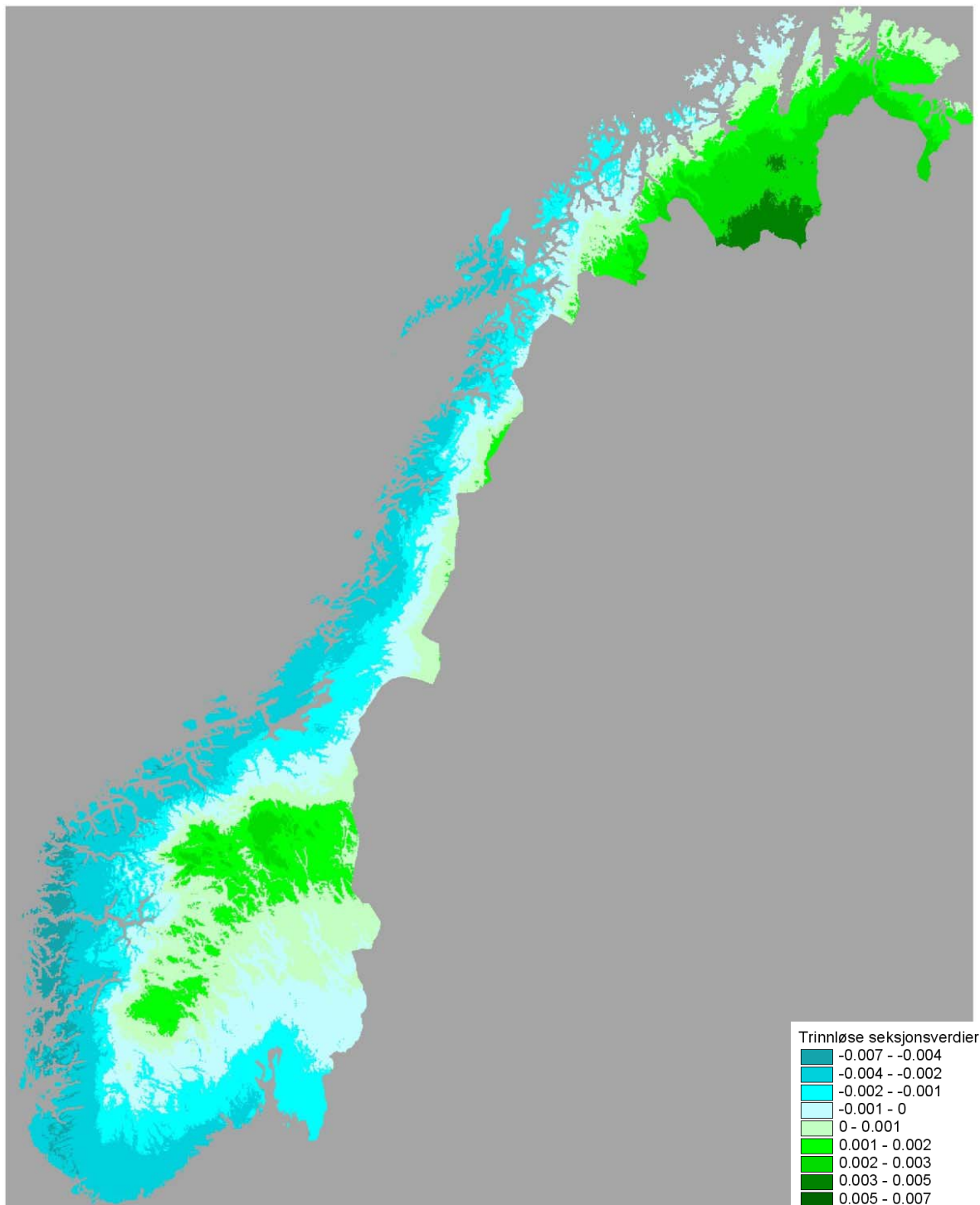
Figur 6 viser forskjellene i temperatur og nedbør mellom normalperioden 1960-1991 og Hadley-B2 scenariets framskrivning for henholdsvis juli og februar. Vi fant ubetydelige variasjoner mellom vegetasjonsmodellene basert på Is92a og Hadley B2 klimascenariene, og har derfor valgt bare å vise figurer for Hadley B2.



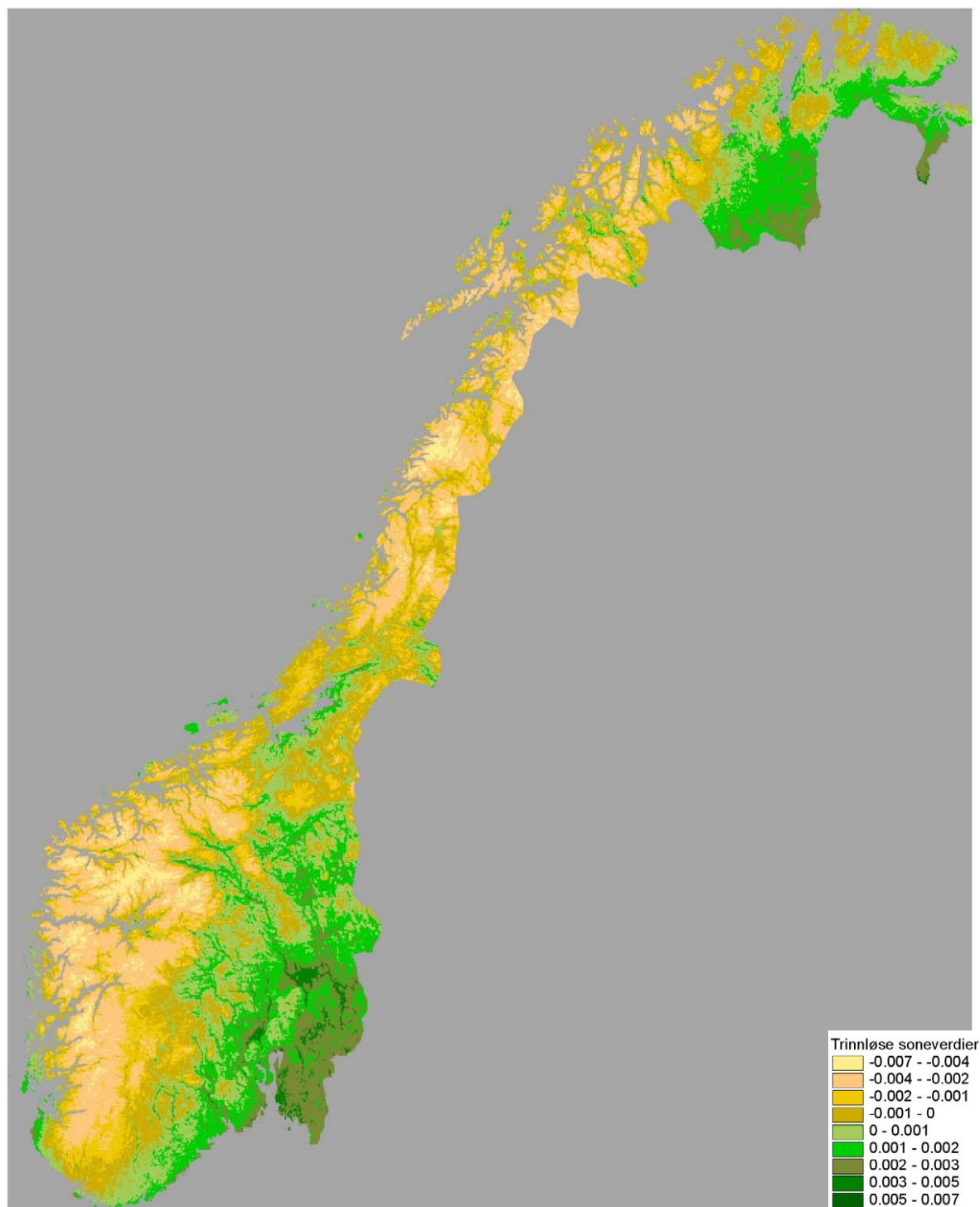
Figur 6. Forskjeller mellom normalperioden 1960-1991 og Hadley B2 framskrevne temperaturer og nedbør for februar og juli for perioden 2071–2100.

Den trinnløse modellen for vegetasjonsseksjoner basert på Hadley B2 er vist i **figur 7**. Det er brukt samme fargeskala som for normalperioden 1961–90, vist i **figur 4**. Disse figurene er i så måte direkte sammenlignbare.

Den nye vegetasjonmodellen for vegetasjonssoner basert på Hadley B2 er vist i **figur 8**. Det er brukt samme fargeskala som for normalperioden 1961–90 vist i **figur 5**. Disse er i så måte også direkte sammenlignbare.



Figur 7. PCA-akse 1 (trinnløs seksjonsmodell – se **figur 3**) for perioden 2071–2100 (Hadley B2). Fargeskalaen er den samme som i **figur 4**.



Figur 8. PCA-akse 2 (trinnløs sonemodell – se **figur 3**) for perioden For 2071-2100 (Hadley B2). Fargeskalaen er den samme som i **figur 5**.

4 Diskusjon og konklusjon

4.1 Ny 'PCA Norge'

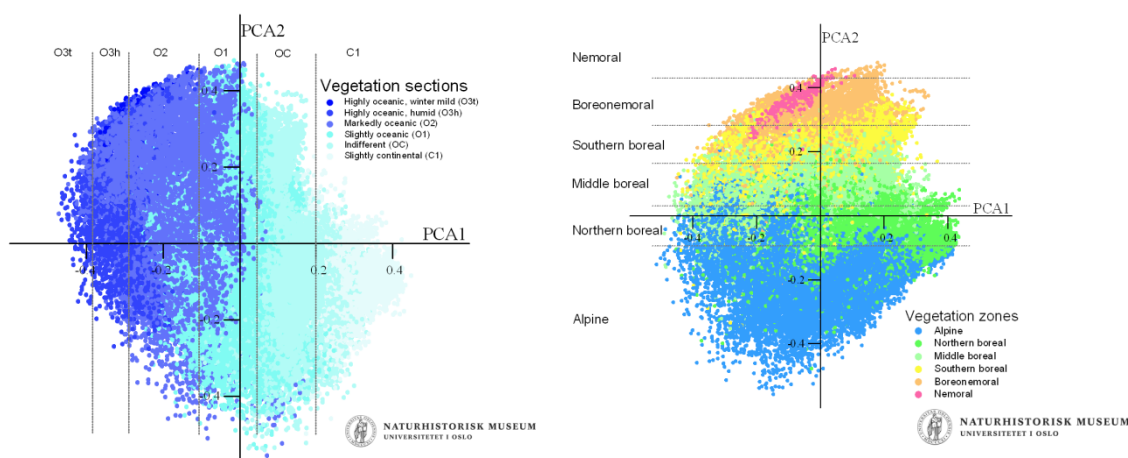
I og med dette studiet er det utviklet og etablert et modellsystem for bioklimatisk variasjon i Norge som omfatter alle kilometerruter på hele fastlands-Norge. Dette er en videreutvikling av arbeidet presentert av Bakkestuen et al. (2008) som bare inkluderte et utvalg av kilometerrutene i Norge. Modellsystemet er kalibrert mot vegetasjonsatlasen for Norge (av Moen 1998) og viser at modellen som er utregnet for normalperioden 1961–1990 faller nøyaktig sammen med dagens etablerte inndeling vegetasjonsregioner (seksjoner og soner).

4.2 Potensielle endringer for vegetasjonsregionene

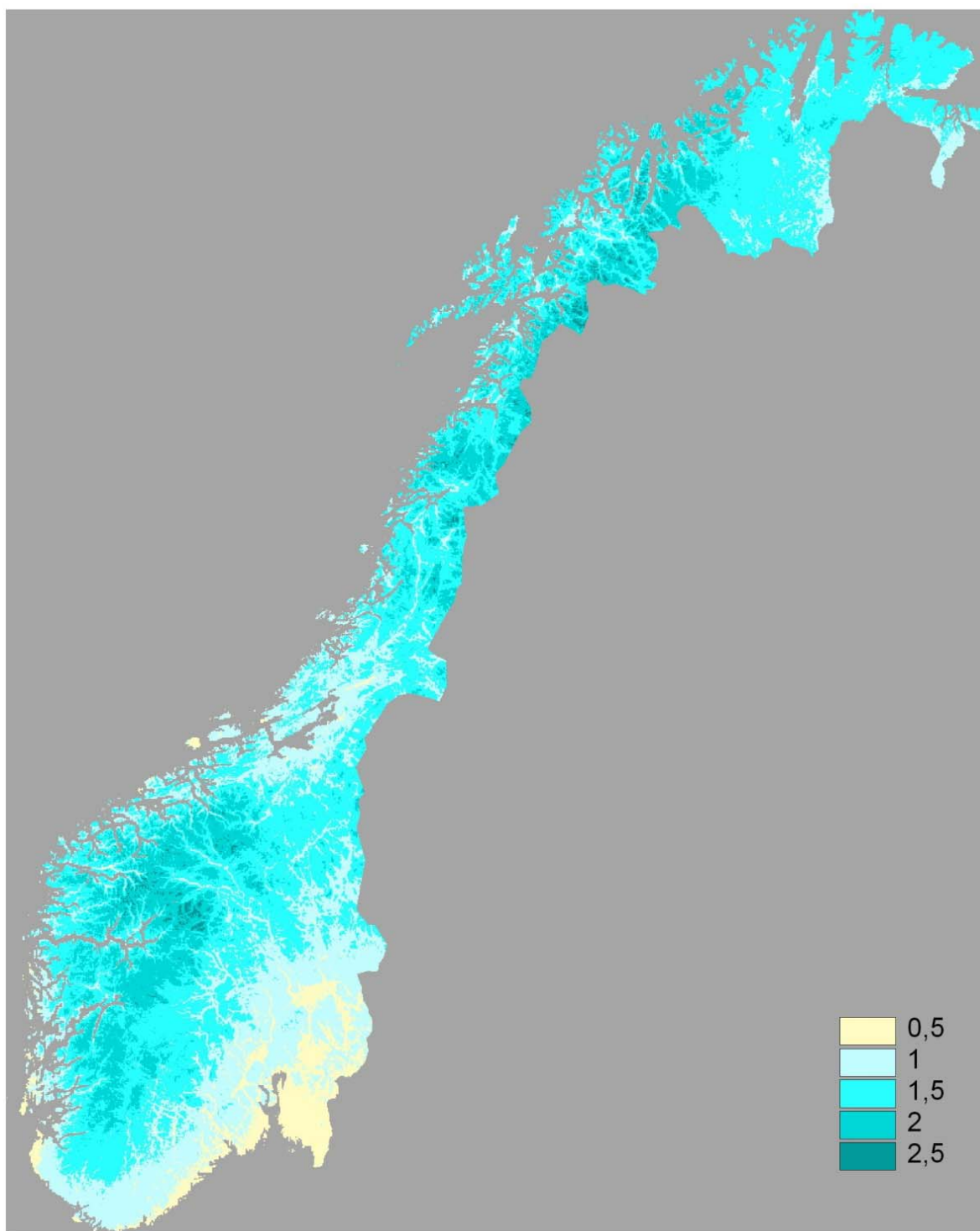
For å illustrere mulige effekter av klimaendringer, slik de er modellert i klimascenariene, har vi beregnet forskjellen mellom de ulike PCA-gridene. Forskjellene mellom modellerte vegetasjonsseksjoner og -soner og dagens sone- og seksjonsplassering, målt i halve sone- og seksjonsenheter, gir en omtrentlig antydning av hvor store bioklimatiske endringer som kan komme til å finne sted (**figur 9**). En sammenligning mellom vegetasjonsmodellene for normalperioden 1961–1990 og klimascenariomodellene viser endringer opp til 2,5 seksjonsenheter (mer oseanisk klima; **figur 10**) og opp til 3,5 soneenheter (varmere klima; **figur 11**) enn det dagens vegetasjon og klima tilsier.

De områdene som ser ut til å få sterkest endring i oseanisk retning er høyereliggende områder i Sør-Norge og i Nordland/Troms. Minst endring langs seksjonsgradienten ser ut til å finne sted på Østlandet, spesielt i Østfold og langs Sørlandskysten.

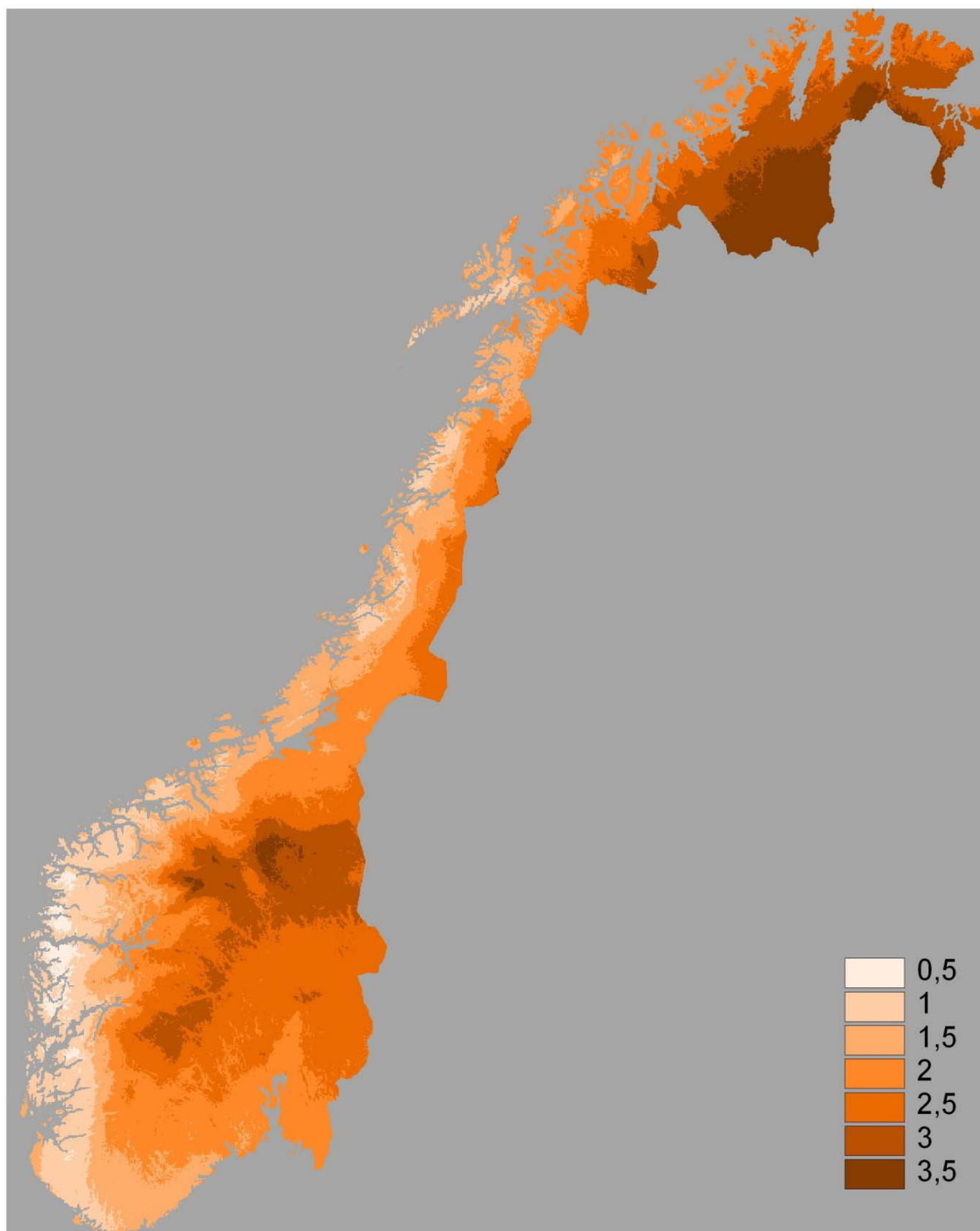
De områdene som ser ut til å få sterkest endring i retning av et varmere klima er indre strøk av Finnmark (med en forskyvning på opptil vegetasjonssoner opp til 3.5 enheter), Utslaget langs denne gradienten ser ut til å være størst i kontinentale områder, minst langs vestkysten av Sør-Norge og Nordlandskysten inkludert deler av Lofoten.



Figur 9. Sammenligning av forskjellene i PCA-griddene (akse 1 og 2) med Moens Vegetasjonsseksjoner og vegetasjonssoner..



Figur 10. Forskjell mellom plassering langs PCA-akse 1 for normalperioden 1961–1990 og plassering av samme rute langs PCA-akse 1 i klimascenariet Hadley B2 (2071–2100). Figuren viser at deler av Norge kan få en vegetasjonsseksjonsforskyvning mot mer oseanisk (vått) klima som lokalt kan svare til 2,5 seksjonsenheter.



Figur 11. Forskjell mellom plassering langs PCA-akse 2 for normalperioden 1961–1990 og plassering av samme rute langs PCA-akse 2 i klimascenariet Hadley B2 (2071–2100). Figuren viser at deler av Norge kan få en vegetasjonssoneforskyvning mot varmere klima som lokalt kan svare til 3,5 soneenheter.

4.3 Forutsener og forbehold

Parallelt med arbeidet med dette prosjektet har det skjedd en stor utvikling både med hensyn til tilgjengelighet av kartfestet miljøvariabelinformasjon og klimascenarieframskrivninger. I noen tilfeller har vi måttet velge mellom mange tilgjengelige datakilder og kart. Samtidig er det på andre områder fortsatt mangel på ønskelige data. Vi har for eksempel ikke hatt tilgang til nye avrenningsdata eller snødata tilpasset scenariene.

Det vil alltid hefte en viss usikkerhet ved alle kartdata og modeller. I denne analysen har vi valgt å bruke noen kartfestete miljøvariabler som er laget i grovere skala (eksempel innstråling). Også klimascenariedataene er nedskalert fra modeller med oppløsning 25 x 25 km; de beste tilgjengelige modeller for Norge i dag (se Engen-Skaugen et al. 2008). Disse forholdene representerer en usikkerhetsfaktor ved beregningene, hvis betydning ikke kan tallfestes.

Tilrettelegging, transformering og analyse av den store mengden data representerer en stor utfordring fordi det fortsatt finnes betydelige begrensninger i standard analyseverktøy når det gjelder så tunge regneoppgaver som det her er tale om. Størrelsen på datamatrisa [over 317000 observasjonsenheter (kilometerruter) x hver med registrering av 54 miljøvariabler] er nær grensa for hva disse systemene kan håndtere i dag. Det har derfor ikke i denne omgang vært mulig å kjøre mange supplerende analyser, for eksempel for å finne betydningen av enkeltvariabler. Det har også vært problemer med transformering av enkelte variabler, som er en grunnleggende forutsetning for analysene. Variablene dette gjelder ble utelatt fra analysene.

Temperatur og nedbør er grunnleggende miljøegenskaper som vi vet er avgjørende for dagens fordeling av vegetasjonsregioner. Gitt at scenariene for klimaendringer med såvidt store endringer som angitt (**figur 8**), viser seg å slå til, må det forventes store endringer i artenes utbredelse og dermed også i fordelingen av vegetasjonsregioner i Norge. Vi vet imidlertid ikke hvor raskt vegetasjonen vil respondere på klimaendringene. Noen arter har stor migrasjonsevne (spredningsevne), mens andre vil respondere langsommere. Noen økosystemer har stor motstand mot endringer, andre er mer åpen for invasjon av arter som sprer seg. Vi vet heller ikke hvordan andre viktige miljøvariabler vil endre seg med endret klima. Arealbruksendringer, som også antas å være en viktig årsak til vegetasjonsendringer (se Bryn 2009), representerer også en stor kilde til usikkerhet som ikke er inkludert i dette arbeidet.

Modellene som er presentert i dette arbeidet er i sin helhet avhengig av mange forutsetninger og bør brukes skjønnsmessig i forhold til dette. Dette gjelder i særdeleshet scenariemodellene som ikke er kalibrert mot andre uavhengige datasett.

5 Referanser

- Bakkestuen, V., Erikstad, L. & Halvorsen, R. 2008. Step-less models for regional biogeoclimatic variation in Norway. *J. Biogeogr.* 35: 1906-1922.
- Beldring, S., Roald, L.A. & Voksø, A. 2002. Avrenningskart for Norge. Årsmiddelverdier for avrenning 1961–1990. NVE-Dokument, 2: 1–49
- Bjørnbæk, G. 1993. Snø 1:7 mill. Det norske meteorologiske institutt. Nasjonalatlas for Norge. Kartblad 3.1.4. Statens kartverk, Hønefoss.
- Bryn A. 2009. Vegetation mapping and landscape changes. GIS-modelling and analysis of vegetation transitions, forest limits and expected future forest expansion. Ph. D. avhandling, Institutt for geografi, Universitetet i Bergen, Bergen.
- Conrad, V. 1946. *Methods in climatology*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Dons, J.A. & Jorde, K. 1978. Geologisk kart over Norge, berggrunnskart Skien 1 : 250000. – Norges geol. unders. (NGU), Trondheim.
- Elvebakk, A. 2005. A vegetation map of Svalbard on the scale 1:3.5 mill. *Phytocoenologia* 35: 951-967.
- Engen-Skaugen, T., Haugen, J.E. & Hanssen-Bauer, I. 2008. Dynamically downscaled climate scenarios available at the Norwegian Meteorological Institute per December 2008. DNMI-Report Klima 24: 1–15.
- Halvorsen, R., Andersen, T., Blom, H.H., Elvebakk, A., Elven, R., Erikstad, L., Gaarder, G., Moen, A., Mortensen, P.B., Norderhaug, A., Nygaard, K., Thorsnes, T., Ødegaard, F., Mjelde, M. & Norderhaug, K.M. 2009. *Naturtyper i Norge (NiN) versjon 1.0.0.* – www.artsdatabanken.no
- Haugen, J. E. & Iversen, T. 2008. Response in extremes of daily precipitation and wind from a downscaled multimodel ensemble of anthropogenic global climate change scenarios. *Tellus* 60A.
- Moen, A. 1998. Nasjonalatlas for Norge. Vegetasjon. – Statens kartverk, Hønefoss.
- Oksanen, J., Kindt, R., Legendre, P. & O'Hara, R.B. 2006. *vegan: Community Ecology Package*, ver. 1.8-3. <http://cran.r-project.org>
- Pearson, K. 1901. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. *Philosophical Magazine* 2: 559–572
- R Development Core Team 2006. *R: a language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>.
- Riley, S.J., DeGloria, S.D. & Elliot, R.A. 1999. A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity. *Intermountain Journal of Sciences* 5: 23–27.
- Skaugen, T.E. & Tveito, O.E. 2002. Growing degree-days – present conditions and scenario for the period 2021–2050. DNMI-rapport Klima 2: 1–54.
- Sigmond, E.M.O. 1985. Brukerveiledning til Berggrunnskart over Norge. Nasjonalatlas for Norge. Statens kartverk, Hønefoss.
- Stokland, J.N., Bakkestuen, V., Bekkby, T., Rinde, E., Skarpaas, O., Sverdrup-Thygeson, A., Yoccoz, N.G. & Halvorsen, R. 2008. Prediksjonsmodellering av arters og naturtypers utbredelse og forekomst: utfordringer og potensiell bruksverdi i Norge. *NatHist. Mus. Univ. Oslo Publ.* 1: 1-72.
- Tveito, O.E., Førland, E.J., Dahlström, B., Elomaa, E., Frich, P., Hanssen-Bauer, I., Jónsson, T., Madsen, H., Perälä, J., Rissanen, P. & Vedin, H. 1997. Nordic precipitation maps. DNMI-Report 22: 1–22.
- Tveito, O.E., Førland, E.J., Heino, R., Hanssen-Bauer, I., Alexandersson, H., Dahlström, B., Dreß, A., Kern-Hansen, C., Jónsson, T., Vaarby Laursen, E. & Westman, Y. 2000. Nordic temperature maps. DNMI Report Klima 9: 1–55.
- Tveito, O.E., Førland, E.J., Alexandersson, H., Dreß, A., Jónsson, T. & Vaarby Laursen, E. 2001. Nordic climate maps. DNMI-Report Klima 6: 1–29.
- Økland, R. H. 1990. Vegetation ecology: theory, methods and applications with reference to Fennoscandia. *Sommerfeltia Suppl.* 1: 1-233.
- Økland, R.H., Økland, T. & Rydgren, K. 2001. Vegetation-environment relationships of south boreal spruce swamp forests in Østmarka nature reserve, SE Norway. *Sommerfeltia* 29: 1-190.
- Økland, T. 1996. Vegetation-environment relationships of boreal spruce forest in ten monitoring reference areas in Norway. *Sommerfeltia* 22: 1-349.

NINA Rapport 524

ISSN:1504-3312

ISBN: 978-82-426-2097-2



Norsk institutt for naturforskning

NINA hovedkontor

Postadresse: 7485 Trondheim

Besøks/leveringsadresse: Tungasletta 2, 7047 Trondheim

Telefon: 73 80 14 00

Telefaks: 73 80 14 01

Organisasjonsnummer: NO 950 037 687 MVA

www.nina.no