



Lynstudien

Klimaendringenes betydning for forekomsten
av lyn og tilpasningsbehov i kraftforsyningen

6
2011

R
A
P
P
O
R
T



Lynstudien

Klimaendringenes betydning forekomsten av lyn og tilpassningsbehov i kraftforsyningen

Norges vassdrags- og energidirektorat

2011

Lynstudien - Klimaendringenes betydning for forekomsten av lyn tilpassingsbehov i kraftforsyningen

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør:

Meteorologisk institutt (met.no) v/Knut Helge Midtbø, Jan Erik

Forfatter:

Haugen og Morten Andreas Ødegaard Køltzow

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 300

Forsidefoto:

ISBN 978-82-410-0741-5

ISSN 1501-2832

Sammendrag: Denne rapporten er en utredning NVE har bestilt fra Meteorologisk institutt (Met.no) for å vurdere om klimaendringer vil kunne påvirke lynaktiviteten i årene fremover.

Denne rapporten er en oppfølging av tidligere klimastudier som er publisert som NVE rapport 6:2010, ISBN, 978-82-410-070-4. Videre bygger den på anbefalinger fra NOU 2010:10 "Tilpassing til eit klima i endring" og FoU målene forankret i NVEs klimatilpasningsstrategi 2010-2014

Emneord: Klimatilpasning, klimaendringer, lyn og torden, kraftforsyning, risikoanalyser, sårbarhet, forebygging, reparasjonsberedskap, beredskap, Forskrift for beredskap i kraftforsyningen (beredskapsforskriften)

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

April 2011

Innhold

Forord	4
NVEs sammendrag	5
1 Innledning.	6
2 Observasjoner av lyn.	7
3 Benyttede klimafremskrivninger.	10
4 Indikatorer for lyn.	11
5 Resultater.	13
6 Oppsummering.	16
7 Referanser:.....	18

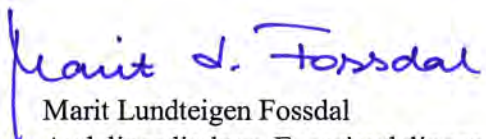
Forord

Lyn er en hyppig årsak til feil i kraftforsyningen. Av den grunn er det viktig for kraftbransjen å ha god kunnskap om lynaktivitet, herunder forventede endringer i lynaktiviteten. I NVE rapport 5:2010 ble det fremsatt en hypotese om at klimaendringer vil influere på fremtidig lynfrekvens. Hypotesen var at klimaendringenes bidrag til økt global temperatur, økt fuktighet og økt uværshfrekvens i så fall også kan lede til økning av forekomsten av lyn i Norge. NOU 2010: 10 "Tilpassing til eit klima i endring" anbefalte å undersøke fenomenet nærmere.

For å teste hypotesen har NVE innhentet faglig ekspertise fra Meteorologisk institutt (Met.no). Met.no er ansvarlig for den forskningen som ligger til grunn for denne rapporten fra kapittel 1-7. Met.no har stilt med følgende forskere i dette arbeidet: Knut Helge Midtbø, Jan Erik Haugen og Morten Andreas Ødegaard Køltzow. Bestillingen og koordineringen av dette FoU-arbeidet har vært forankret i NVEs beredskapsseksjon, Energiavdelingen.

Som man kan lese ut av rapportens konklusjoner, så vil man se at det er sannsynlig med økt lynfrekvens fram mot år 2050 og ytterligere økning frem mot slutten av inneværende århundre som følge av endringer i klimaet. De ulike klimamodelleringene indikerer også hyppigere forekomst av lyn på andre tider av året og i andre regioner enn det vi har vært vant til fra tidligere. Som tilsyns- og beredskapsmyndighet for kraftforsyningen forventer NVE at selskapene innarbeider hensyn til klimapåkjenninger - som lyn - kontinuerlig i sine analyser, planer og tiltak. Herunder er selskapene pålagt å ta hensyn til forventet utvikling gjennom forebyggende tiltak i planlegging, bygging og drift av anlegg

Oslo, april 2011



Marit Lundteigen Fossdal
Avdelingsdirektør, Energiavdelingen

NVEs sammendrag og vurdering

Krav

Netteiere er pålagt etter energiloven å holde nettanlegg i forskriftsmessig stand. Formålet med beredskapsarbeidet i kraftforsyningen er å forebygge og håndtere hendelser med hensyn til teknisk svikt, naturgitt skade og bevisst skadeverk. Dette skal bidra til god forsyningssikkerhet. Forskrift for beredskap i kraftforsyningen (Beredskapsforskriften) gir det enkelte selskap plikt til å identifisere risiko og sårbarhet ved ekstraordinære hendelser knyttet til teknisk svikt, naturgitt skade og bevisst skadeverk. Videre skal analysen også favne de ulike beredskapstiltak forskriften krever skal kunne iverksettes. Dette betyr at det enkelte selskap skal vurdere egen risiko og sårbarhet opp mot alle naturgitte fenomen, deriblant lyn. Dette gjelder ikke bare ut fra dagens klima, men også på bakgrunn av hva som må anslås som påregnelig risiko i anleggets tekniske levetid. Videre gir forskriften en plikt til å kartlegge behovet for reparasjonsberedskap for å håndtere utfall som følge av ekstraordinære hendelser og analysere hvorvidt denne reparasjonsberedskapen er robust nok til å oppfylle forskriftens krav.

Større utfordringer

Som man vil se ut fra rapportens konklusjoner, viser Met.no sin analyse en sannsynlig økning i lynfrekvens på 25% frem mot år 2050 for landet sett under ett. Frem mot år 2100 kan man forventet en ytterligere økning av lynfrekvens i takt med økning temperatur og nedbør.

Lyn er en betydelig årsak til feil i kraftforsyningen. Spesielt er transformatorer på høyspent distribusjonsnett med luftledninger hvor det ikke er gjennomgående jordledere, eksponert for dette. Når en transformator blir utsatt for lynoverspenninger kan dette resultere i overslag i isolasjon med etterfølgende kortslutning eller havari i transformatoren. Dette kan raskt lede til avbrudd av kortere eller lengre varighet i elektrisitetsleveransen til kundene. Slike avbrudd er uønsket ikke bare fra kundenes perspektiv, men også for netteieren, siden de koster penger og krever reparasjonstid. I resultatene fra Met.no er det ikke bare en økning i lynfrekvens som fremheves, i tillegg må vi også ta høyde for større variasjoner for ulike årstider og geografiske områder. Områder som til nå har vært lite plaget med lyn kan bli mer eksponert, og ikke minst kan allerede kjente ”problemområder” få flere utfordringer å hankses med.

Planlegging under usikkerhet

Det er vanskelig med dagens kunnskap å konkludere med en lineær sammenheng mellom økt lynfrekvens og økning i fremtidige avbrudd, men at det vil være en sammenheng kan ikke utelukkes. Økning i lynfrekvens vil avstedkomme behov for å legge dette fenomenet inn som en viktigere faktor i planlegging av forebyggende tiltak for eksisterende og fremtidige anlegg. Den enkelte virksomhet må derfor vurdere behovet for konkrete tiltak som grunnlag for forebygging, og for dimensjonering av nødvendig reparasjonsberedskap. Gjennom beredskapsforskriftens krav om å gjennomføre risiko- og sårbarhetsanalyser for den enkelte virksomhet, vil det være naturlig fra NVEs side å forvente at selskapene legger denne eller tilsvarende studier til grunn for slike vurderinger av egne utfordringer. NVEs tilsynsaktivitet på beredskapsområdet har økt og vil øke i de kommende år.

1 Innledning.

Lyn- og tordenvær innvirker på strømmettet i Norge. Årsaker til driftsforstyrrelser i det norske strømmettet har ett betydelig bidrag fra ytre faktorer, som står for 35-45 % av alle driftsforstyrrelser i høyspenningsdistribusjonsnettet (1-22kV) og 30-40 % i regional og sentralnettet (33-420kV). I perioden 1996 til 2005 var tordenvær årsak til 15-25 % av disse “omgivelsesforklarte” avbrudd i høyspenningsdistribusjonsnettet (1-22kV) (Kjølle m. flere, 2008). Periodevis økninger i feilfrekvensen for fordelingstransformatorer forklares også med relativt høy tordenværsaktivitet (Kjølle m. flere, 2006). Den relative betydningen av tordenvær for antall driftsforstyrrelser avtar med økt spenning på grunn av bedre sikringssystemer. Tordenvær medfører relativt sett større problemer i Sørøst-Norge enn i andre landsdeler hvor vind og vegetasjon er dominerende årsak til feil (Kjølle m. flere, 2008).

Ulike klimaframskrivinger for Norge gir økt temperatur, fuktighet og uværsfrekvens og dermed også en mulig effekt på lynaktiviteten (NVE, 2010). Anslagsvis vil middeltemperaturen øke med mellom 2.3 og 4.6 grader og nedbørsmengden øke med 5-30%. Det er imidlertid store regionale forskjeller mellom årstidene (NOU2010:10). Det er hittil gjort få eller ingen studier av eventuelle endringer i frekvens av lyn- og tordenvær under et endret klima i Norge (Innbjør og Jære, 2009). Oppsummert i siste IPCC-rapport er det (basert på ett fåtall studier) generelt forventet en økning i tordenvær i et varmere klima og/eller et skifte i hyppighet fra tropene til midlere bredder. Blant annet fant Price og Rind (1994) en 30 % økning av lynaktiviteten globalt, med en dobling av CO₂ i atmosfæren. Basert på observasjoner er det imidlertid ikke mulig å bestemme eventuelle eksisterende trender i lyn-aktiviteten (IPCC, 2007). I Norge er det forventet en økt frekvens i dager med store nedbørsmengder og kraftige regnbyger. Mer intensiv nedbør kan gi mer tordenvær og lynnedslag (NOU2010:10).

Selv om utvalget av publisert litteratur med omtale av lyn i forbindelse med klimaendringer er begrenset, eksisterer det betydelig litteratur som omhandler observasjoner og varsling av lyn. I en sammenfatningsartikkel konkluderer Williams (2005) at lyn er sterkt knyttet til kraftig oppdrift i atmosfæren og skyer med en stor andel is er viktig fordi prosessen med å bygge opp de elektriske spenningene i skyene er knyttet til skyens is-fase. Soriano m. flere (2002) fant at lyn-aktiviteten i Spania har et maksimum om sommeren. Flere steder knyttes også lyn-aktiviteten til årlig nedbør (Liou,

2010) og konvektiv nedbør (Schmeits m. flere, 2004). Videre er det i flere studier poengtert at lyn-aktivitet er knyttet til landmasser (Antonescu og Burcea, 2009, Burrows m. flere, 2005) og (helning av) topografi, (Soriano m.flere, 2002, Bourscheidt m. flere, 2009, Antonescu og Burcea, 2009).

I skyer som gir tordenvær observeres det ofte en elektrisk struktur som er bipolar eller tripolar. I skyens øvre del er det et område med positiv ladning, i midtre del et område med negativ ladning og i nedre del kan det forekomme et positivt ladet område. Denne strukturen oppstår på grunn av oppdriften i skyene og hvordan elektrisk ladete partikler av ulike størrelser blir transportert vertikalt. Kraftigere vertikalbevegelse gir økt avstand mellom de ulike regionene. Sannsynligvis gir økt avstand mellom de elektrisk ladete regionene i skyen flere sky-til-bakke lynnedslag og færre sky-til-sky lyn (Zheng m.fler, 2010).

I værvarslingssammenheng blir tordenvær gjerne varslet ved hjelp statistisk regresjon av ulike indikatorer (prediktorer). En del vanlig anvendte prediktorer er presentert i Schmeits m. flere (2004) og Burrows m. flere (2005). Hovedsakelig sier disse indikatorene noe om den vertikale stabiliteten til atmosfæren. I forholdsvis flatt terreng er det en god sammenheng mellom disse indikatorene og lyn-aktiviteten. I brattere terreng er vertikal forflytning trigget av andre mekanismer i tillegg til vertikal instabilitet. Vi baserer arbeidet i denne rapporten på flere slike indikatorer og tar forsøksvis også hensyn til vertikal forflytning trigget ved andre mekanismer ved å vurdere endringer i nedbøren i seg selv.

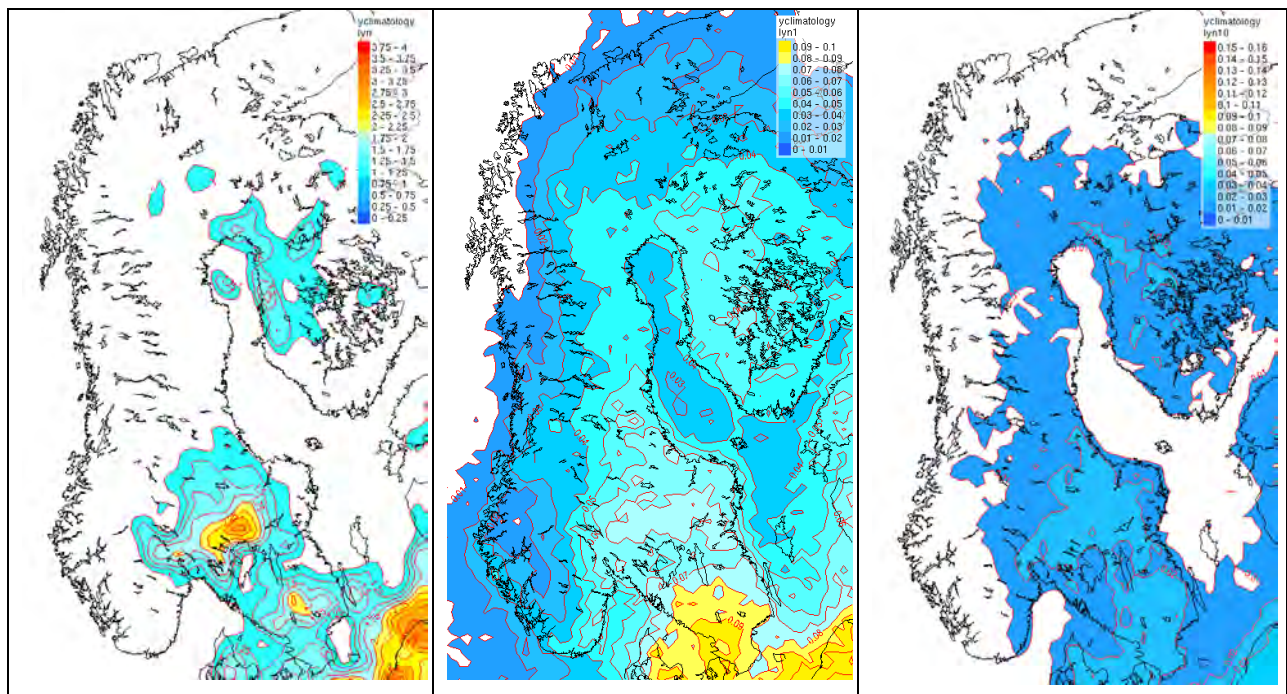
Denne rapporten er satt sammen på følgende måte; I kapittel 2 gjør vi en gjennomgang av lynobservasjoner fra 2003 til 2010, før vi i kapittel 3 beskriver de ulike klimafremskrivningene som er benyttet. I kapittel 4 definerer vi tordenværs-indikatorene som er brukt og i kapittel 5 er disse indikatorene benyttet på data fra klimafremskrivningene. Avslutningsvis gjør vi en oppsummering i kapittel 6.

2 Observasjoner av lyn.

Lyn-registrering i Norge gjøres av SINTEF (se for eksempel: <http://www.sintef.no/SINTEF-Energi-AS/Lyn-i-dag/>) og de siste 10 årene er det i snitt registrert ca 116 000 lynnedslag fra sky til bakke i Norge. Registrerte lynnedslag i

tidsperioden september 2003 til august 2010 er griddet i 25x25km gitterruter (tilsvarende klimafremskrivningene benyttet i denne rapporten). Innenfor hver gitterrute er det beregnet månedsmidler og årsmiddel av antall lynnedslag per dag og andel dager med lynnedslag over ulike terskelverdier.

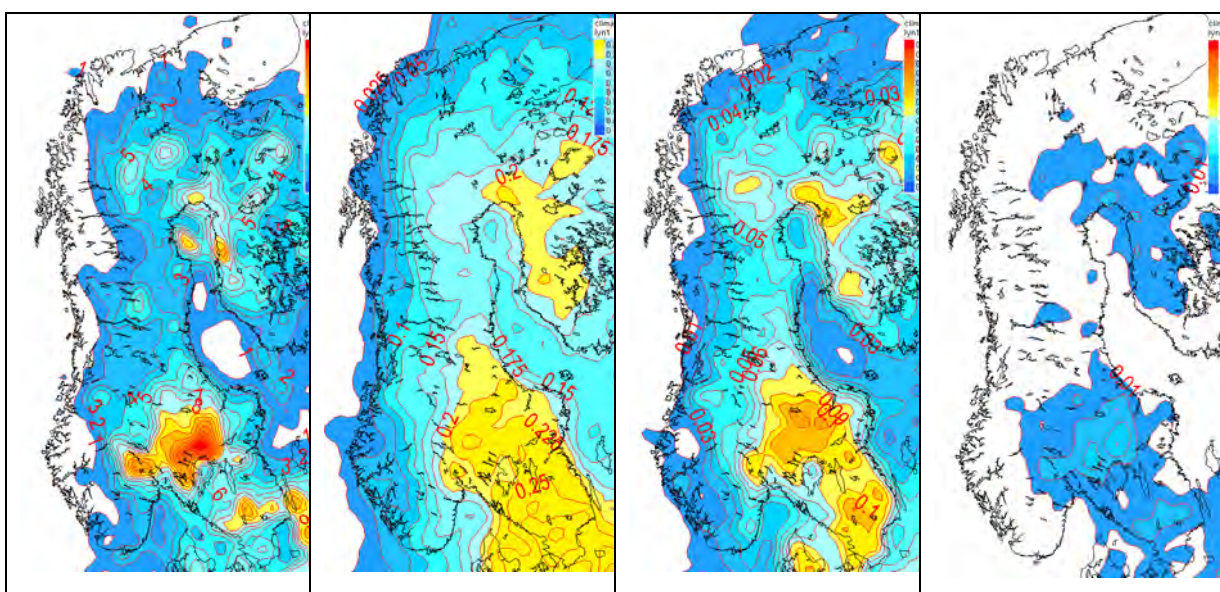
Årsmiddelet viser i figur 1a at hoveddelen av antall lynnedslag i Norge skjer på Østlandet med et maksimum rett nord for Oslo (snitt ca 2 lynnedslag/dag). På deler av Østlandet er det observert lynnedslag i overkant av 5 % av dagene (figur 1b), mens det på Vestlandet er registrert lynnedslag i ca 2 % av dagene. Langs kysten av Troms og Finnmark er det i mindre enn 1% av dagene observert lynnedslag. Andel av dager med flere enn 10 lynnedslag per gitterrute er om lag 1-2 % på Østlandet og mindre enn 1 % andre steder (figur 1c).



Figur 1. a) Gjennomsnittlig lynnedslag per dag i en gitterrute (venstre), b) andel av dager per år med minimum 1 lynnedslag i en gitterrute (midt) og c) andel av dager per år med minimum 10 lynnedslag i en gitterrute (høyre). En gitterrute er ca 25x25km. Andel er tall fra 0 til 1.

Maksimalt antall lynnedslag registreres i juli måned. I denne måneden er lynnedslag hovedsakelig registrert på Sørlandet, Østlandet og i indre strøk (figur 2a). Maksimum antall registreringer er i overkant av 10 lynnedslag/dag og er observert nord for Oslo og langs grensa mot Sverige i Østfold/Hedmark. Andel dager med registrerte lynnedslag er

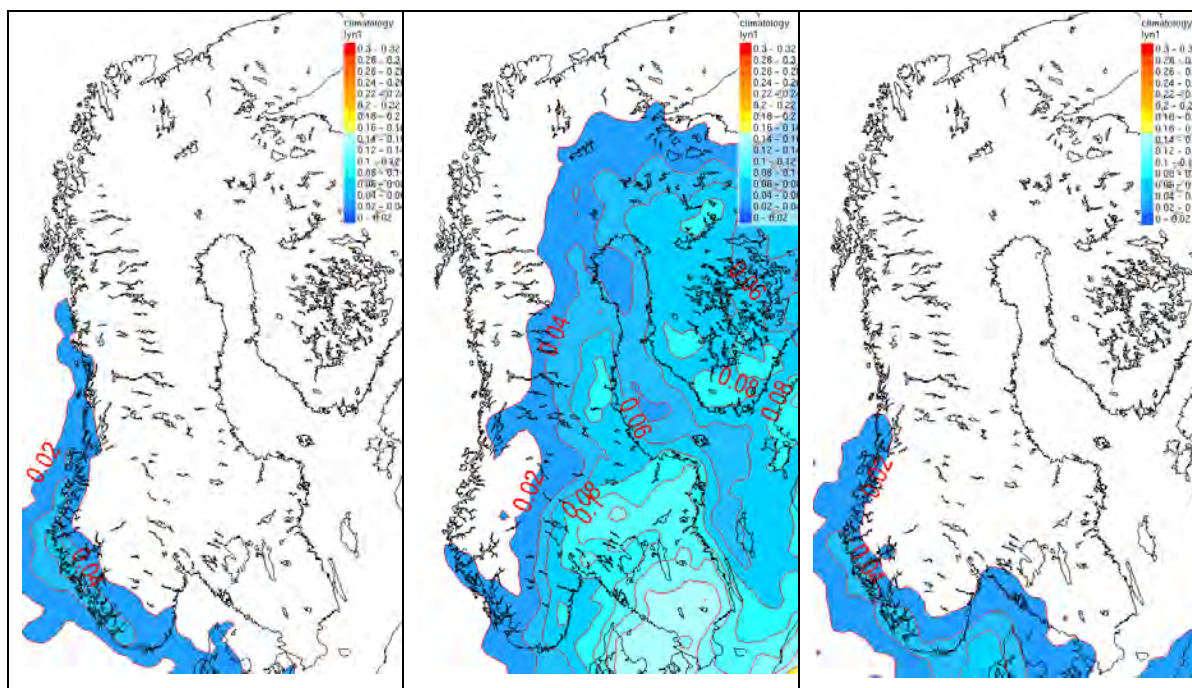
høyest i området Oslo, Østfold, Hedmark med 15-20% av dagene i juli (figur 2b). I andel dager med lynnedslag går det et skille langs fjellene, på vestsiden/kysten er det færre dager med lynnedslag, allikevel er det kun enkelte kyststeder i Troms og Nordland hvor det er registrert færre dager med lynnedslag enn 2.5 % av dagene. På Østlandet har opp mot 8% av dagene mer enn 10 lynnedslag i en gitterrute (figur 2c), mens 1-2 % av dagene har mer enn 100 lynnedslag innenfor en gitterrute (figur 2d).



Figur 2. a) Gjennomsnittlig lynnedslag per dag i juli i en gitterrute (venstre), b) andel av dager i juli med minimum 1 lynnedslag i en gitterrute (midt venstre), c) andel av dager i juli med minimum 10 lynnedslag i en gitterrute (midt høyre) og d) andel av dager i juli med minimum 100 lynnedslag i en gitterrute (høyre). Legg merke til at figur 2b har en annen fargeskala enn figur c) og d). En gitterrute er ca 25x25km. Andel er tall fra 0 til 1.

Selv om antall lynnedslag og antall dager med lynnedslag domineres av Østlandet og indre områder i Sør Norge på sommeren er bildet noe annerledes høst og vinter. I figur 3 er andel av dager med lynnedslag for januar, mai og november gitt. De tre utvalgte månedene er de månedene med størst aktivitet i vinter-, vår- og høstsesongen. Tilsvarende for juli (sommer) er gitt i figur 2. Spesielt høst og vinter er dominert av aktivitet langs Vestlands- og Trøndelagskysten.

Det er altså en betydelig variasjon i lyn og tordenværsaktivitet mellom regioner og årstider. Tilsvarende variasjoner i perioden før resultatene vi har presentert er tilgjengelig fra <http://www.sintef.no/SINTEF-Energi-AS/Lyn-i-dag/Produkter-og-tjenester/Lyntetthet/>.



Figur 3. Andel av dager i a) januar (venstre), b) mai (midt) og c) november (høyre) med minimum et lynnedslag innenfor på gitterrute med 25x25km.

3 Benyttede klimafremskrivninger.

Regionaliserte atmosfæredata i dette studiet ble produsert i de nasjonale prosjektene NorClim (2007-2010, Forskningsrådets NORKLIMA-program) og NorACIA (2005-2009, Miljøverndepartementet / Norsk Polarinstitutt). Den regionale klimamodellen (HIRHAM) er beskrevet i Haugen og Iversen (2007) og resultater fra noen av dataseriene inngikk i NoU-rapporten "Klima i Norge 2100" (Hanssen-Bauer med flere, 2009) og NorACIA Delutredning 1 "Climate development in North Norway and the Svalbard region during 1900-2100" (Førland et al., 2009). I perioden 2007-2010 produserte met.no 6 scenarier med samme oppsett av HIRHAM, dvs i et 25x25km² rutenett for et område som dekker nordisk Arktis (inkl. Norge og Svalbard). Langs yttergrensene av området fores modellen med data for trykk, temperatur, vind og fuktighet fra globale simuleringer. Hele hensikten med regionaliseringen er å kvantifisere klimaet og dets endringer lokalt, gitt at de globale modellene er gode nok på en større skala. Bl.a. er terrenget og kystlinjer beskrevet mer detaljert i HIRHAM, noe som gir en mer realistisk fordeling av nedbørmønster og temperaturkontraster. I IPCC sine hovedrapporter inngår analyse av flere titalls globale fremskrivninger, og disse dekker flere utslippsscenarier og en rekke

muligheter for utviklinger av klimaet. Dette inkluderer også naturlige variasjoner, som vil påvirke dominerende lavtrykksbaner inn mot Norge på tiårs tidsskala. I analysen inngår data fra 2 sentere for global modellering (Max-Planck-instituttet og Hadley-senteret) og 4 utslippsscenarioer (IS92a, SRES A2, B2 og A1B). Seriene dekker litt ulike tidsvinduer, se Tabell 1, og for å gjøre en felles analyse er endringene eller responsen skalert til å dekke utviklingen frem til en periode rundt 2050.

Kortnavn	Utslipp-scenarie (IPCC)	Kontroll periode	Scenarie periode	Global modell
M92	IS92a	1981-2010	2021-2050	Max-Planck Inst. ECHAM4
MB2	SRES B2	1961-1990	2071-2100	
HA2	SRES A2	1961-1990	2071-2100	Hadley Centre HadAM3H
HB2	SRES B2		2071-2100	
HA1b	SRES A1B	1961-1990	2021-2050	Hadley Centre HadCM3
HA1c	SRES A1B		2071-2099	

Tabell 1. De 6 regionaliserte dataseriene som er brukt for å beregne indikatorer for lyn og forventede endringer i lynfrekvens. Kortnavnene er brukt for identifisere dataene i figurene. Parene HA2/HB2 og HA1b/HA1c har felles datagrunnlag i kontrollperiodene. I analysen er endringene (responsen) fra kontroll- til scenario-periodene skalert slik at de skal gjelde frem til rundt år 2050 (2036-2065).

4 Indikatorer for lyn.

Lynnedslag (frekvens/styrke) er ingen variabel i atmosfæremodeller. Lyn kan derfor kun varsles ved hjelp avledede variable fra vær- og klimamodeller. I denne studien er det brukt 4 ulike indekser for tordenvær som er i daglig bruk i operativ værvarsling ved met.no. Dette er "Lifted index" (funksjon av bakketrykk, 2m lufttemperatur og relative fuktighet og 500hPa temperature), "K-index" (funksjon av temperatur i 500, 700 og 850hPa og duggpunktstemperatur i 700 og 850hPa), "Total-totals-index" (funksjon av temperatur i 500 og 850hPa og duggpunktstemperatur i 850hPa) og "Showalter-index" (funksjon av temperatur i 500 og 850hPa og relativ fuktighet i 850hPa). Disse fire indeksene indikerer på litt ulike måter atmosfærens vertikale stabilitet og fuktighetstilgang.

I definisjonene står T_p and D_p for temperatur og duggpunkt i trykkflater gitt ved trykk p . De mest brukte er disse:

☐ Showalter stabilitetsindeks:

En indeks gitt ved $S = (T_{500} - T_L)$, hvor T_L er temperaturen ($^{\circ}\text{C}$) av en luftpartikkel løftet fra 850 to 500 hPa, tørradiabatisk til metning og fuktigadiabatisk over det. Ettersom indeksen minker til null og under det, øker sannsynligheten for byger og tordenvær (Showalter 1947).

☐ K-indeks:

Denne indeksen er innført av George (1960) og er definert ved: $K = (T_{850} - T_{500}) + D_{850} - (T_{700} - D_{700})$.

Det første leddet er et temperaturgradient -ledd, mens det andre er relatert til fuktighetsinnholdet (gitt ved duggpunktet) mellom 850 and 700 hPa, og er sterkt og er sterkt influert av differansen mellom temperatur og duggpunkt i 700 hPa. Når denne indeksen øker fra en verdi på om lag 20, ventes sannsynligheten for byger og torden og øke.

☐ "Total Totals Index":

"The Total Totals index" er gitt av Miller (1972). Den er gitt som summen av indekser:

$TT = VT + CT$ hvor VT er en vertikal indeks definert ved

$$VT = T_{850} - T_{500},$$

En verdi over 40 er knyttet til en tørradiabatisk temperaturgradient. For en fuktigadiabatisk er tilsvarende verdi omtrent 20 for $T_{850} = 0^{\circ}\text{C}$. "The Cross Totals index", CT , er definert ved $CT = D_{850} - T_{500}$, slik at denne er sterkt influert av duggpunktet i 850 hPa. Økt sannsynlighet for byger og torden er knyttet til verdier av TT på omtrent 30. Alvorlige tordenvær er antatt sannsynlig for verdier på 50 eller mer.

☐ "Lifted index":

Denne indeksen, utviklet av Galway (1956), er $L = (T_L - T_{500})$, og er lik Showalter indeksen, med unntak av at luftpartikkelen som løftes (tørradiabatisk til metning og fuktigadiabatisk til 500hPa) er definert på en annen måte. Vi har her brukt tørradiabatan som er definert av bakketemperaturen og fuktighetsinnholdet nære bakken. Dette siste er en liten endring i forhold til den originale indeksen forslått av Galway, som brukte den maksimale bakketemperaturen i løpet av ettermiddagen. Dette har ikke vi kunnet gjøre, siden dette er data vi ikke har hatt tilgjengelig fra klimascenariene.

I mange sammenhenger er det rapportert om korrelasjon mellom lyn og (årlig) nedbør (se for eksempel Liou, 2010). I diskusjonen rundt mulige endringer i frekvens og antall lynnedslag benytter vi derfor også eventuelle endringer i nedbør fra de ulike fremskrivningene.

5 Resultater.

De 4 indikatorene ble beregnet fra de 6 regionaliserte dataseriene fra HIRHAM-modellen (trykk, temperatur og fuktighet nær bakken samt temperatur og fuktighet på utvalgte trykkflater), tilgjengelige hver 6. time for hver av 25x25km² rutene. For å gjøre datamengden håndterlig i videre analyse, ble både lynobservasjonene og indikatorene samlet opp i tabellform som døgnverdier midlet for 13 norske regioner, se Figur 4. Regionene er de samme som bl.a. ble brukt i NOU-rapporten "Klima i Norge 2100", ut i fra noenlunde lik langtidsutvikling for nedbør. Fordelingen av lynobservasjoner og indikatorer ble analysert for hver region og for de 4 sesongene samt for hele året. Som beskrevet i avsnitt 2 om lynobservasjonene er det tildels store variasjoner over landsdeler og årstider, og vi har derfor koblet observasjoner og indekser på to litt ulike måter. I begge analysene er dataene sortert i stigende rekkefølge, fra null til maksimum antall registreringer per døgn midlet over en region, og tilsvarende for indeksene sortert som økende sannsynlighet for lyn (for noen av indeksene tilsvarer dette den laveste verdien, men dette er tatt hensyn til). Fra de sorterte dataene er det valgt en terskelverdi i seriene for dagens klima, og deretter undersøkt hvor mye oftere (eller sjeldnere) denne terskelverdien vil bli overskredet i scenarieperioden. Ut fra dette er det beregnet et retur faktor som sier noe om gjentakintervallet, der 1 betyr like ofte, 2 dobbelt så ofte og 0.5 halvparten så ofte. Tidligere analyse har vist at indikatorene har litt ulik score for hvordan de treffer og bommer, men vi har valgt å anta at man kan bruke samme terskel, dvs hvor stor prosentandel av dataene som overskrider en viss verdi, for både observasjonene og indikatorene, f.eks at de 5% høyeste verdiene av observasjonene kan kobles med de tilsvarende 5% mest ekstreme verdiene av indikatorene. De 2 analysene er beregnet slik:

- 1) Ved å velge en fast terskel ut i fra observasjonene (>1 lyn per dag i snitt over en region). Dette gir en viss prosentil i observasjonene som varierer over årstider og regioner. Deretter velges den samme prosentilen for indikatoren og det undersøkes hvor mye oftere eller sjeldne denne verdien av indikatoren overskrides i scenarioperioden. For

noen områder gir dette ingen mening pga. for få observasjoner, og disse verdiene vil ikke være med i den grafiske fremstillingen.

2) Ved å velge en fast prosentil for indikatoren (95 prosentilen, dvs de 5% mest ekstreme verdiene). Dette gir tilsvarende en viss verdi av antall lyn-registreringer som varierer over årstider og regioner. På samme måte undersøkes det hvor mye oftere (eller sjeldnere) verdien av dagens 95 prosentil overskrides i scenarieperioden.

Returfaktoren for 1) og 2) beregnet fra Lifted index (LI) er fremstilt i Figur 5a og 5b, mens resultatene for andre indikatorer er gjengitt som de påfølgende figurene. Resultatene for Lifted index (LI), K-index (KI) og Showalter index (SI) peker i samme retning, men resultatene for Total totals-index (TTI) ga motsatt resultat og er derfor utelatt siden det må antas å være en feil i beregningene. Vi har valgt å gjøre dette siden tre indekser ser ut til å være tilstrekkelig til å gi robuste resultater.

Resultatene viser både årstidsvariasjon og regionale forskjeller, men oppsummert for LI og KI gir de stort sett en økning i antall tilfeller som indikerer sannsynlighet for lyn. Landet og hele året sett under ett gir en returfaktor på rundt 1.25 dvs. omtrent 25% flere tilfeller der terskelverdien overskrides. Returfaktoren for TTI er generelt mindre enn de 2 andre, og gir kun en svak økning i forekomst året sett under ett. Resultatene fra metode 1 gjenspeiler analysen av observasjonene i avsnitt 2: Tallene under de grå boksene, som viser hvor stor prosentandel av lyn-observasjonen som overstiger terskelverdien (>1 lyn per dag i snitt over regionen), gir den største andelen på 23% for Østlandet som sommeren og få forekomster i nordlige landsdeler i andre sesonger enn sommer.

Som bakgrunnsmateriale viser Figur 8 og 9 tilsvarende region- og årstidsanalyse av endringer i 2m middeltemperatur og 95 prosentil av døgngnedbør for de 6 regionaliserte klimascenariene.

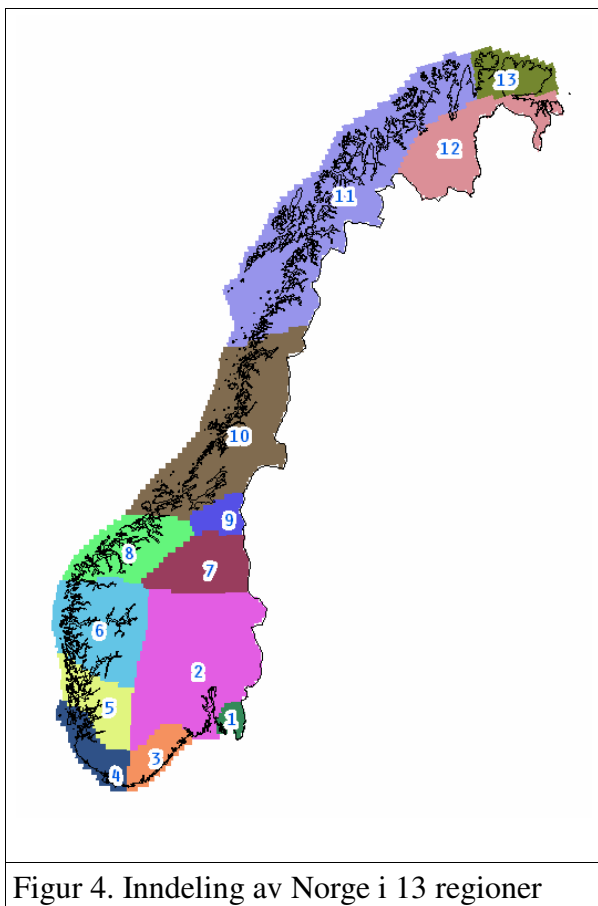
De viser i snitt ca 2-2.5 graders økning i temperaturen (regionale forskjeller og spredning av resultatene, men økning for alle årstider og regioner) og i snitt rundt 10% økning i 95 prosentilen for døgngnedbør (med stor regional spredning), bortsett fra sørøst-Norge om sommeren, der 95 prosentilen avtar.

Vi har også vurdert i hvilken grad dataene fra de seks scenariene gir grunnlag for å beregne endringer i lynfrekvens i scenariene i det 25x25km² rutenettet scenariedataene foreligger i. På denne måten forsøker vi å nærme oss spørsmålet i anbudsokumentet om

eventuelle forskjeller på henholdsvis kyst og innland og på lavland og fjellområder. For å se nærmere på dette har vi tatt utgangspunkt i nedbørøkningen i scenariedataene. Dette har vi gjort fordi signalet i nedbøren er antatt å være veldig likt signalet i lynfrekvens. For å sjekke denne hypotesen har vi sammenlignet trenden i indeksene med trendene i temperatur (figur 8) og i nedbør (figur 9). Selv om det er forskjeller mellom de 13 regionene så er det likhetene som er det dominerende trekket. Ved å sammenligne nederste panel i figurene 8 og 9 med tilsvarende for lynfrekvens for Lifted index (LI) (se 95 prosentilen figur 5b) ser vi at vi har et bilde med middel for landet på 1.25 ganger økt hyppighet av lyn, 2 grader økning i temperatur og 10% økning i nedbørmengder. Variasjonene i disse tre størrelsene (endring i henholdsvis lynfrekvens, temperatur og nedbørmengde) viser mye det samme bildet regionene i mellom.

Ser vi på observasjonene av lyn (se lynregistreringen i figur 1 a) ser vi at et grovt bilde i region 1 er lyn 3-6 prosent av dagene, Vest-Norge og Trøndelag 2-4 prosent. Nordland 1-2 prosent og Troms og Finnmark mindre enn 2 prosent.

For å belyse variasjoner innenfor hver region har vi inkludert prosentvis endring av total årsnedbør for de seks aktuelle scenariene (figur 10). Oppsummert gir scenariene en økning i årsnedbør på mellom 0 og 20 %, dvs omtrent like stor endring som i analysen av 95 prosentilen i figur 9. Imidlertid viser også figurene at det er tildels stor spredning mellom scenariene, noe som bl.a uttrykker den usikkerheten som skyldes naturlige klimavariasjoner og ulike dominerende strømningsmønstre innenfor 30-års tidsperioder. Det vi er mest interessert i denne sammenhengen er regionale forskjeller i de griddete dataene ($25 \times 25 \text{ km}^2$) og spesielt om det er gradienter mellom kyst og innland samt mellom lavland og høyfjell. Gradientene ser ut til å falle innenfor $\pm 10\%$ for hver av de 12 regionene. Dette gjelder for alle seks scenariene, og viser at datamaterialet ikke gir grunnlag for å konkludere rundt lokale forhold innenfor hver region. Vi vil derfor hevde at det er fornuftig å begrense seg til endringstall for lynfrekvens oppsummert for de 13 regionene, slik de er vist spesielt for Lifted index (LI) i figur 5b. Høyden av de grå boksene, dvs spredningen i returperiode mellom de ulike scenariene er et uttrykk for usikkerheten i datamaterialet.



Figur 4. Inndeling av Norge i 13 regioner

6 Oppsummering.

I denne rapporten er det påvist store regionale variasjoner og variasjoner gjennom året i observert lyn og tordenværsaktivitet. Det er videre sannsynliggjort at aktiviteten i lyn og tordenvær generelt vil øke i fremtidens norske klima. Det er imidlertid ikke gitt at hyppigheten vil øke likt alle steder og anslagene for trender fra de ulike regionene (definert i figur 4) varierer. Imidlertid er det sannsynlig at de områdene som i dag er påvirket av lyn vil bli ytterligere påvirket, samt at områder som tidligere sjeldent var påvirket kan få hyppigere hendelser. Innenfor hver region øker usikkerheten ytterligere for hvordan hyppigheten av lyn vil endre seg.

Andre usikkerhetsmomenter ligger i valg av scenario (det er en betydelig spredning i resultatene avhengig av scenario) og kvaliteten på de benyttede indikatorene. Vi har tatt hensyn til dette ved å benytte oss av flere scenarier (fremtidsfremskrivninger) og flere ulike indikatorer for lyn.

I tillegg ligger det en generell usikkerhet i beskrivelsen av nedbørsprosesser i atmosfæremodeller, inklusiv riktig simulering av intense nedbørepisoder. De scenariene vi har tilgjengelig har et rutenett på 25x25 km² og i dette beskrives konveksjonen bare som en funksjon av dataene i dette nettet. I dette settet analyseres lynfrekvens best ved bruk av indekser. Når oppløsningene i scenariene bedres i fremtiden ned mot 1 km, vil beskrivelsen av konveksjonen kunne gjøres eksplisitt. Siden konveksjon er en nødvendig forutsetning for lyn, vil dette åpne muligheter for en forbedret analyse av lynforekomst på en mer direkte måte enn ved bruk av indekser. Økt kunnskap på dette feltet og mer realistiske klimamodeller vil redusere denne usikkerheten og gi oss det største bidraget til sikrere anslag på lynfrekvens og klimaendringer.

Denne utredningen sier noe om lynfrekvensen i fremtiden. Vi er bedt om å gi forslag til strategi og tiltak fra NVE for å møte utfordringene på dette feltet. Vi anser dette for å dreie seg om tekniske installasjoner først og fremst. Met.no har ikke direkte kompetanse på tiltak som kan redusere samfunnets sårbarhet på dette feltet. Slik sett har vi lite grunnlag for å gi direkte råd på dette feltet. Vi mener det imidlertid vil være fornuftig å forberede seg på økt lyn og tordenværsaktivitet i framtiden. Dessuten antar vi at det i dagens klima også er aktuelt å gjøre en del tiltak og at kravene knyttet til endringene i lynfrekvens kommer i tillegg til dette.

Avslutningsvis kan vi oppsummere funnene i dette studier i følgende punkter:

- Det er store forskjeller regionalt i observerte lynnedslag.
- Flest lynnedslag og dager med lynnedslag observeres på Østlandet med et maksimum i juli.
- Høst og vinter har Vestlandet og Trøndelagskysten flere dager med observerte lynnedslag enn andre regioner.
- På årsbasis ga vår anvendelse av de 3 indeksene større sannsynlighet for forekomst av lyn i scenarioperiodene,.
- For landet sett under ett gir analysen en sannsynlig økning i lynfrekvens på 25% frem mot 2050, med et usikkerhetsintervall fra 0 til 50 % økning
- Økningen er gradvis videre frem mot 2100 i takt med forventet økning i temperatur og nedbør.
- Større variasjoner for ulike årstider og regioner pga spredning i resultatene mellom individuelle scenarier
- Fornuftig tiltak å forberede seg på hyppigere lyn-aktivitet, spesielt i allerede utsatte områder.

7 Referanser:

Antonescu, B. og S. Burcea, 2010, A cloud-to-Ground Lightning Climatology for Romania, *Monthly Weather Review*, vol 138, 579-591.

Bourscheidt, V., O. Pinto jr, K. P. Naccarato og I.R.C.A Pinto, 2009, The influence of topography on the cloud-to-ground lightning density in South Brazil, *Atmospheric Research*, 91, 508-513.

Burrows, W. R., C. Price og L. J. Wilson, 2005, Warm Season Lightning Probability prediction for Canada and the Northern United States, *Weather and Forecasting*, vol 20, 971-988.

Førland, E. J. (ed), R. E. Benestad, F. Flatøy, I. Hanssen-Bauer, J. E. Haugen , K. Isaksen, A. Sorteberg and B. Ådlandsvik, 2009: Climate development in North Norway and the Svalbard region during 1900-2100. The Norwegian Polar Institute Report Series no. 128.

Galway, J. G., 1956: The lifted index as a predictor of latent instability. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 528–529.

George, J. J., 1960: *Weather Forecasting for Aeronautics*, Academic Press, 673 pp.

Hanssen-Bauer, I. (ed) m.fl., 2009: Klima i Norge 2100. Bakgrunnsmateriale til NoU Klimatilpassing. Utgitt av Norsk klimasenter.

Haugen, J. E. , Iversen, T., 2008: Response in extremes of daily precipitation and wind from a downscaled multi-model ensemble of anthropogenic global climate change scenarios. *Tellus*, 60A, 411-426. DOI 10.1111/j.1600-0870.2008.00315.x.

Innbjør, L. og L. Jære, 2009, Forventede klimaendringer og effekter i Norge med mulig betydning for kraftforsyningen, CICERO Rapport 2009:09.

IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996s.

Kjølle, G. H., O. Mogstad og K. Samdal, 2006, Analyser av feil og avbrudd i kraftnettet 1989-2005, SINTEF Energiforskning AS

Kjølle, G. H., A. Nybø, O. Gjerde, M. Catrinu, 2008, Kraftledninger, værtpåkjenninger og forsyningsikkerhet, SINTEF Energiforsikring AS.

Liou, Y.-A. og S. K. Kar, 2010, Study of cloud-to-ground lightning and precipitation and their seasonal and geographical characteristics over Taiwan, Atmospheric Research, 95, 115-222.

Miller, R. C., 1972: Notes on analysis and severe storm forecasting procedures of the Air Force Global Weather Central. *Tech. Rept. 200(R)*, Headquarters, Air Weather Service, USAF, 190pp.

NOU2010:10 Tilpassing til eit klima i endring. Norsk offentlig utredning lagt fram for Miljøverndepartementet november 2010 (<http://www.regjeringen.no/nb/dep/md/dok/nouer/2010>).

NVE, 2010, Klimautfordringer i kraftsektoren frem mot 2100, Utredning utarbeidet for Regjeringens klimatilpassningsutvalg av NVE, ISSN-1503-0318.

Price, C. og D. Rind, 1994, Possible implications of global climate change on global lightning distributions and frequencies, Journal of Geophysical Research, 99, 10823-10831.

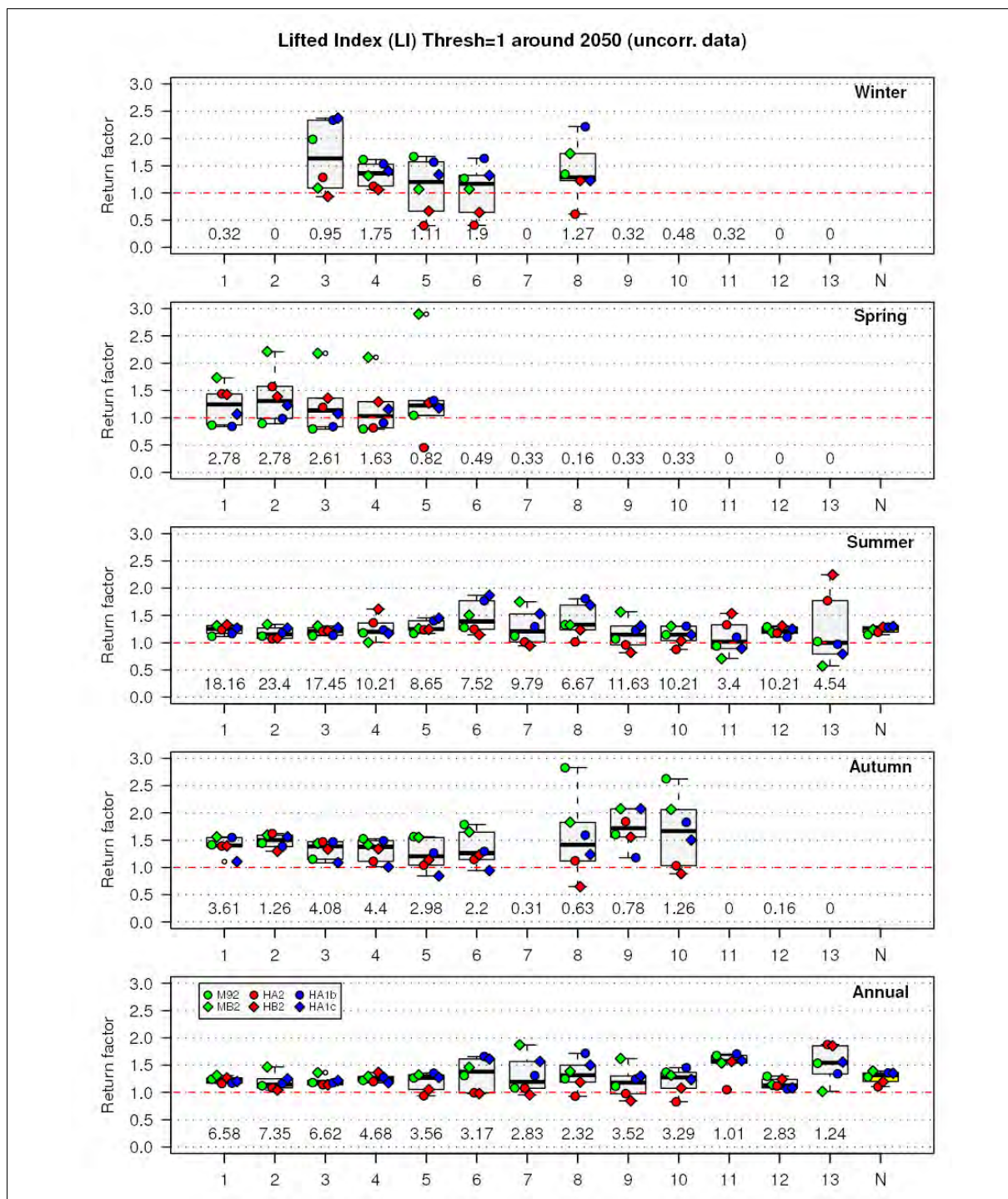
Schmeidts, M. J., K. J. Kok og D.H.P. Vogelesang, Probabilistic Forecasting of (Severe) Thunderstorms in the Netherlands Using Model Output Statistics, Weather and Forecasting, vol 20, 134-148.

Showalter, A. K., 1947: A stability index for forecasting thunderstorms. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **34**, 250–252.

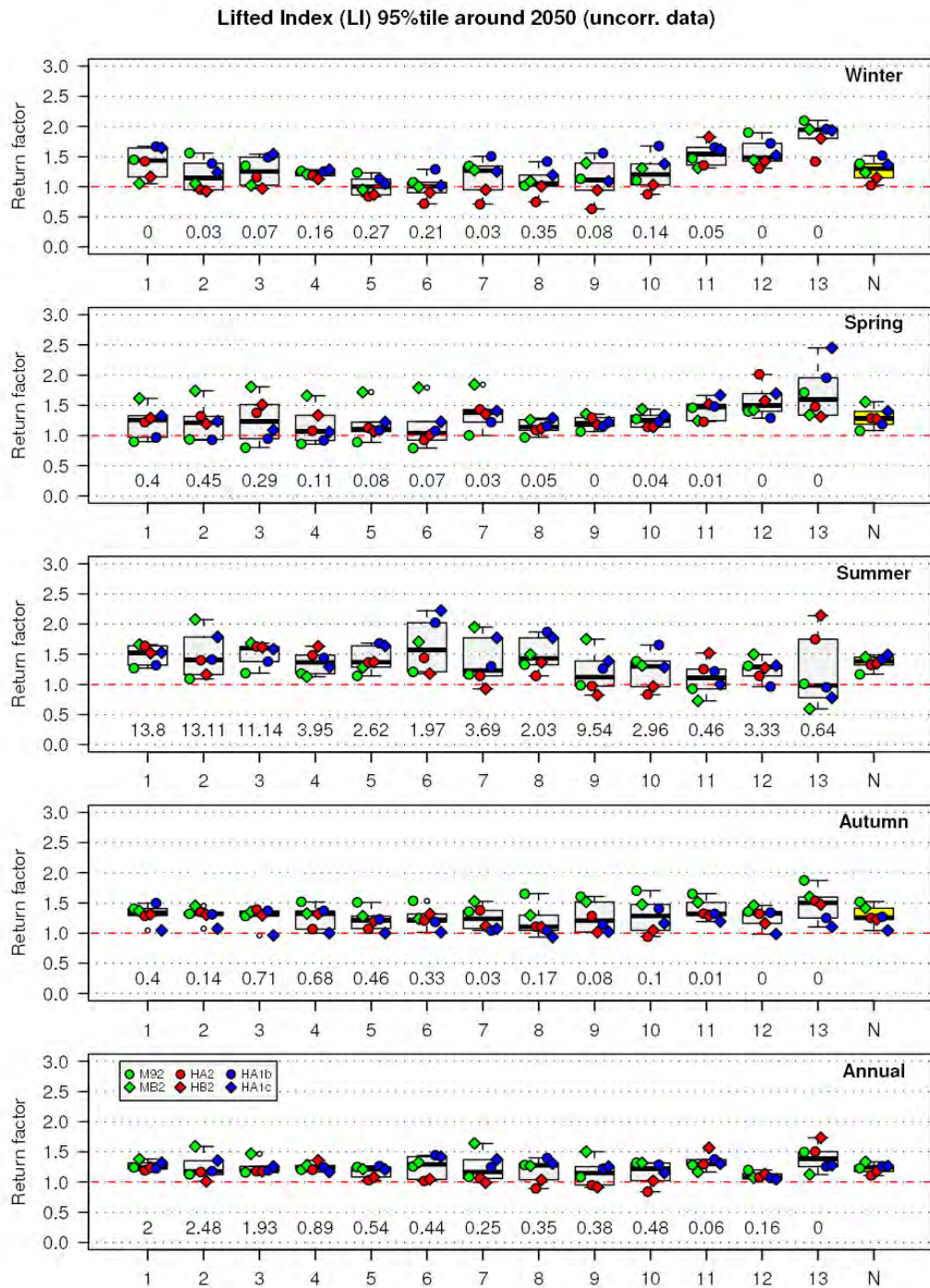
Soriano, L. R. og F. de Pablo, 2002, Study of lightning event duration and flash rate in the Iberian Peninsula using cloud-to-ground lightning data, *Atmospheric Research*, 61, 189-201.

Zheng, D. , Y. Zhang, Q. Meng, W. Lu og M. Zhong, Lightning activity and electrical structure in a thunderstorm that continued for more than 24h, *Atmospheric Research* 97, 241-256.

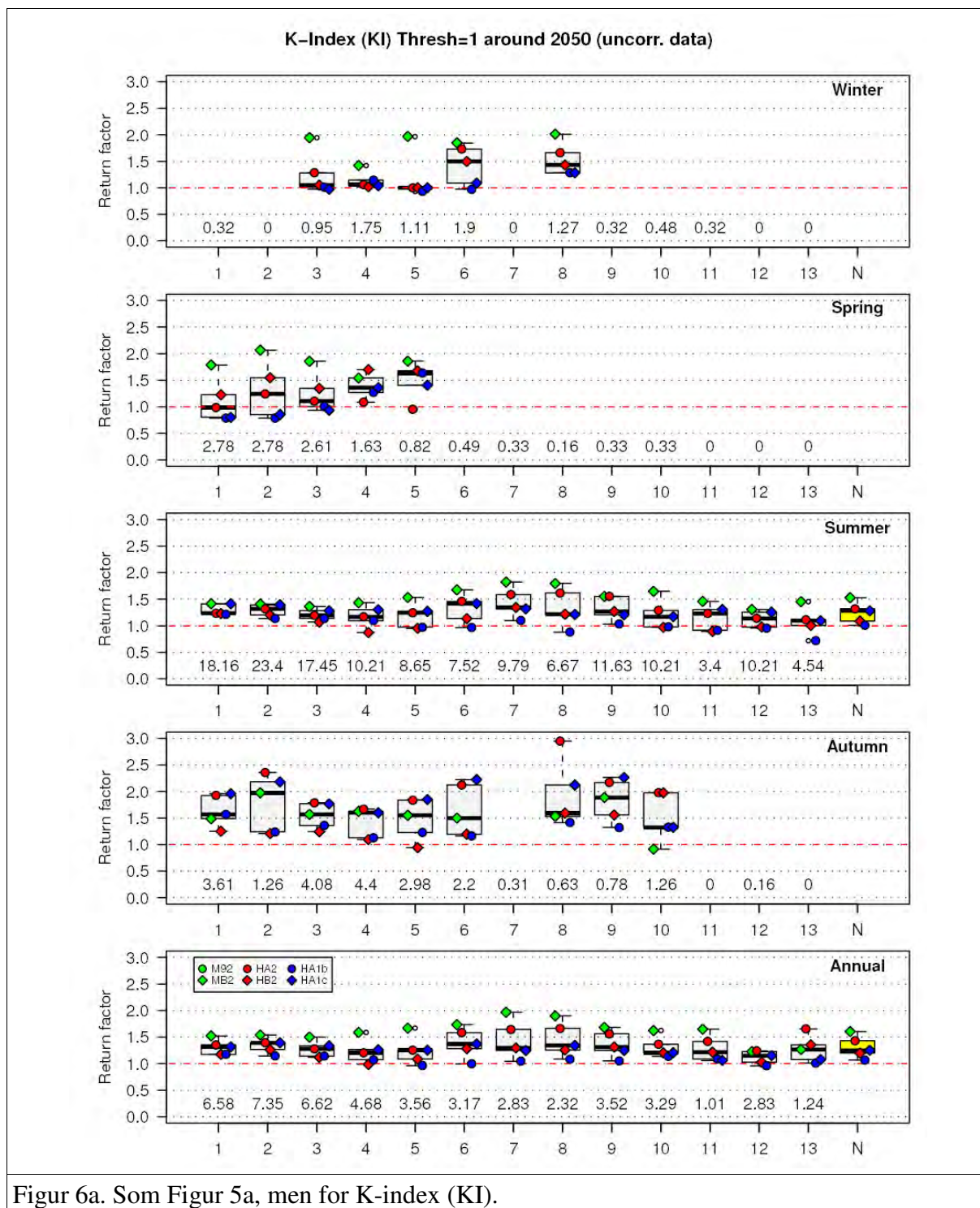
Williams, E. R., 2005, Lightning and Climate: A review, *Atmospheric Research*, vol 76, 272-287.



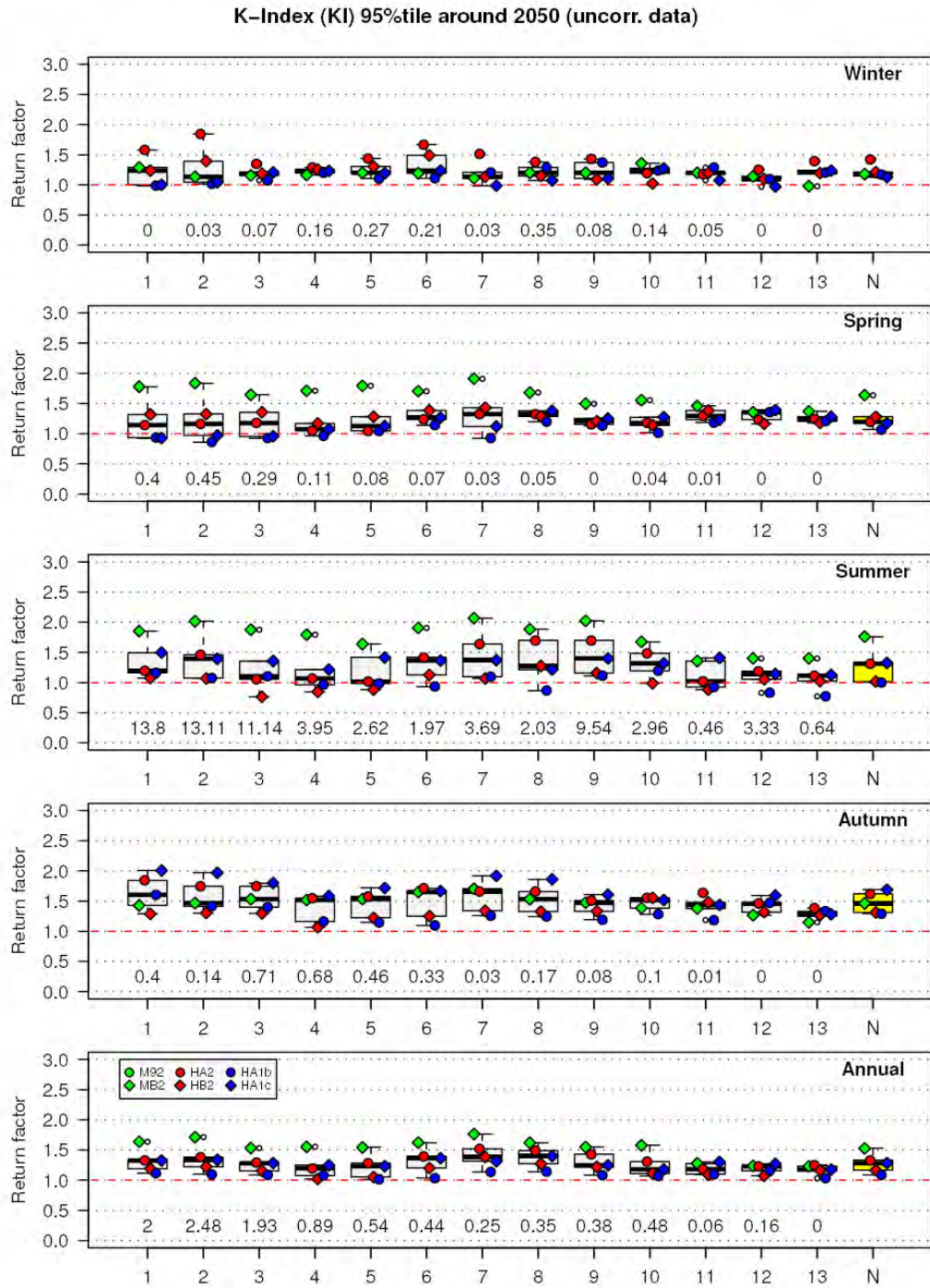
Figur 5a. Retur faktoren for lyn beregnet fra Lifted Index (LI) og metode 1 (>1 lyn per døgn i snitt over en region). Horisontal akse angir de ulike regionene i Figur 4 (nummerert fra 1-13) og til høyre landet sett under ett (N). De 5 delfigurene viser resultatene for ulike sesonger og for hele året. Vertikal akse angir returfaktoren rundt 2050 (1=like ofte, 2=dobbelst så ofte, 0.5=halvparten så ofte). De grå boksene viser spredningen i resultatene fra de 6 scenariene, og de fargede symbolene returfaktoren for individuelle scenarier. Tallene under hver boks angir hvor stor prosentandel av observasjonene der terskelen (>1 lyn per døgn) ble overskredet.



Figur 5b. Retur faktoren for lyn beregnet fra Lifted Index (LI) og metode 2 (95 prosentilen av indikatoren). Horisontal akse angir de ulike regionene i Figur 4 (nummerert fra 1-13) og til høyre landet sett under ett (N). De 5 delfigurene angir resultatene for ulike sesonger og for hele året. Vertikal akse er returfaktoren rundt 2050 (1=like ofte, 2=dobbelt så ofte, 0.5=halvparten så ofte). De grå boksene viser spredningen i resultatene fra de 6 scenariene, og de fargede symbolene returfaktoren for individuelle scenarier. Tallene under hver boks angir verdien X for 95 prosentilen i observasjonene (X = antall lyn per døgn i snitt over en region).



Figur 6a. Som Figur 5a, men for K-index (KI).



Figur 6b. Som Figur 5b, men for K-index (KI).

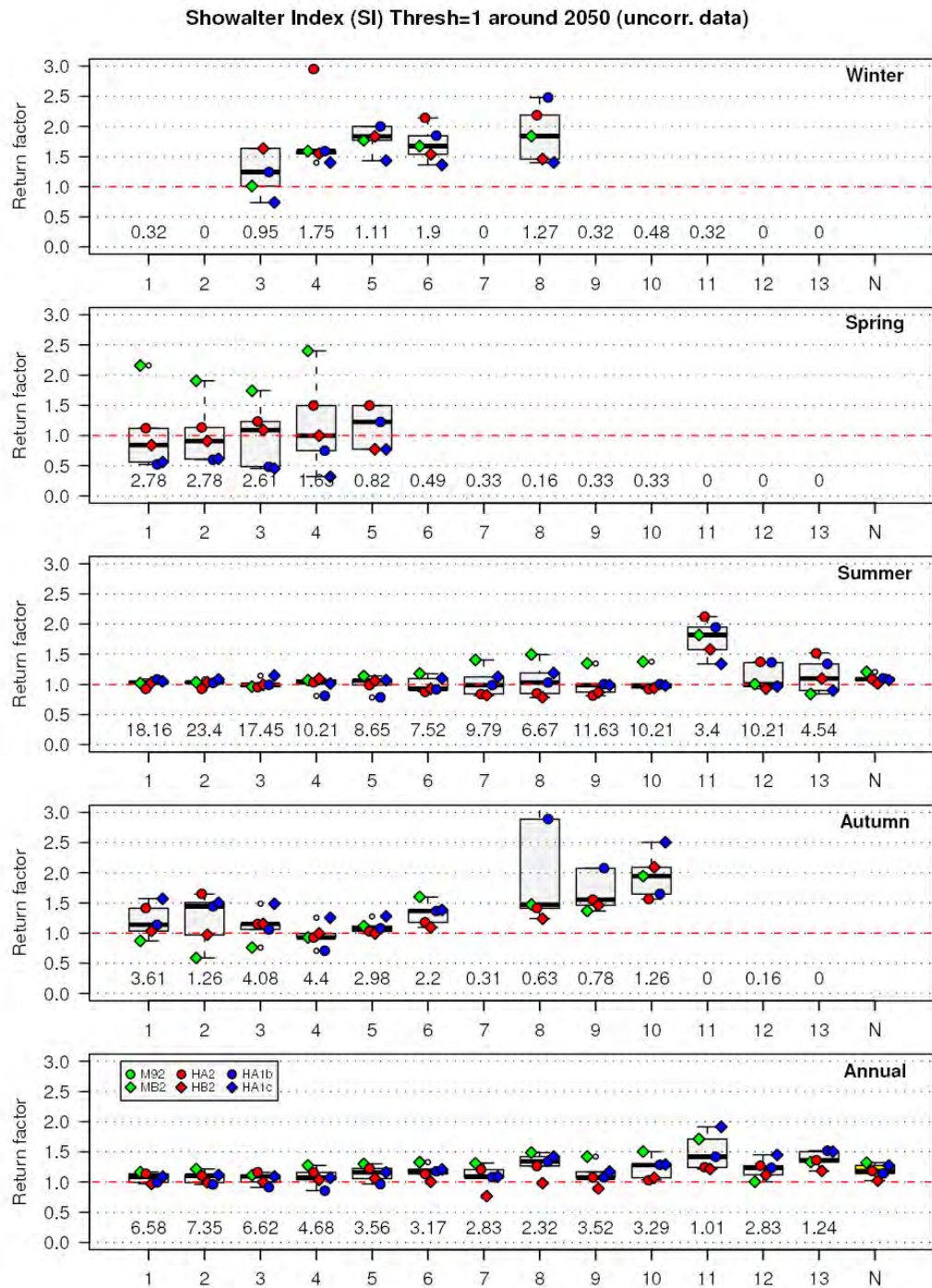
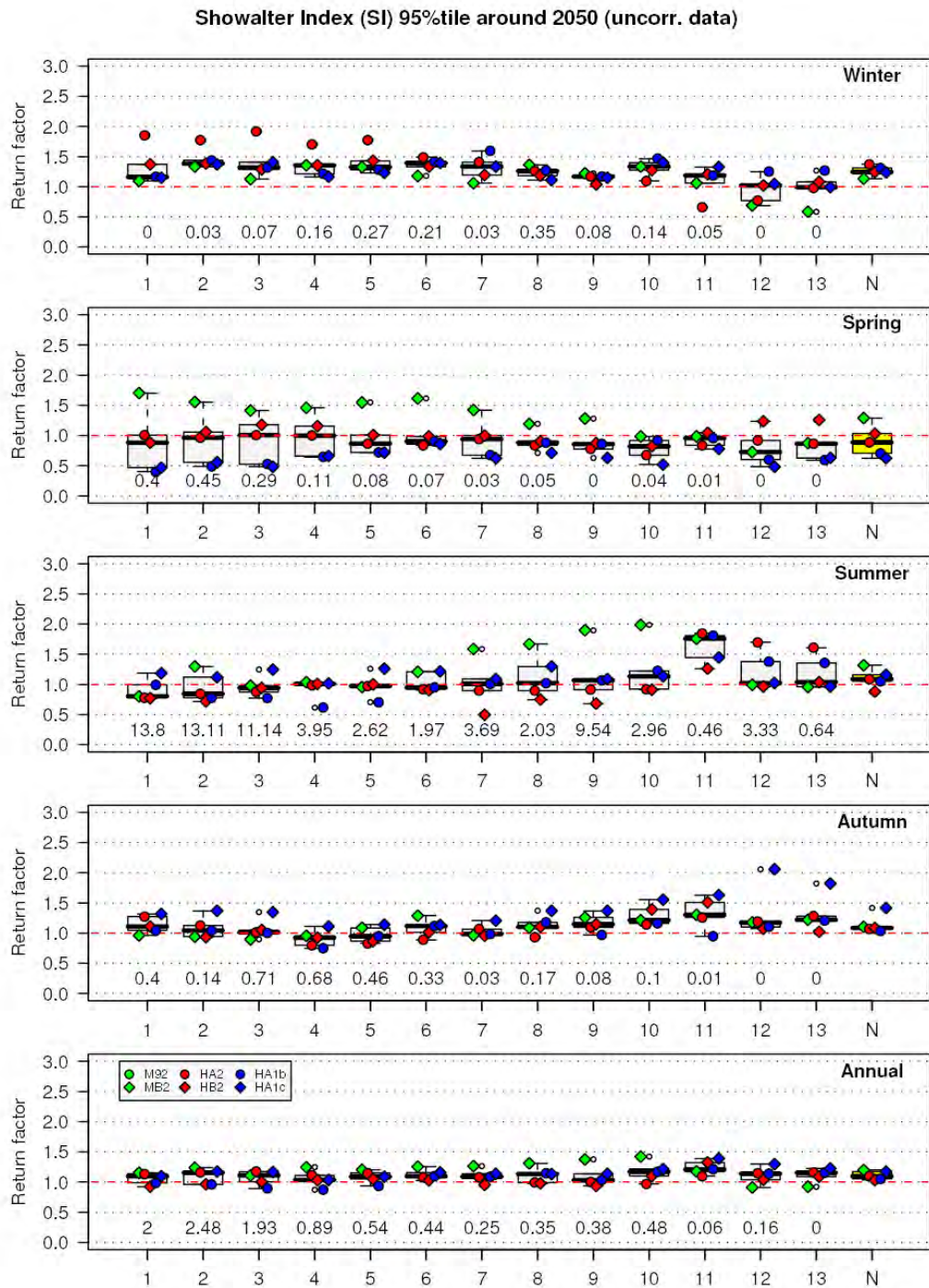
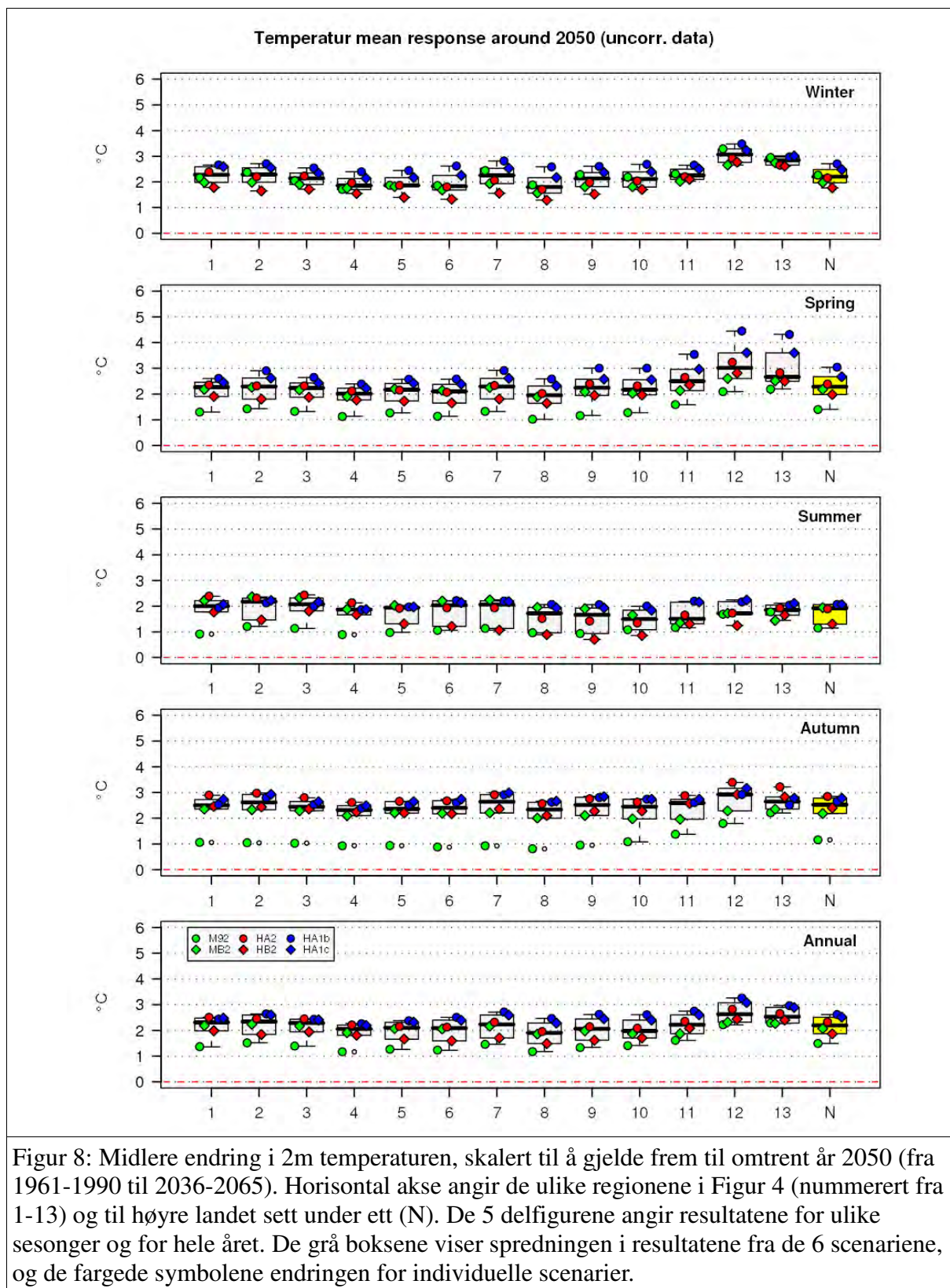
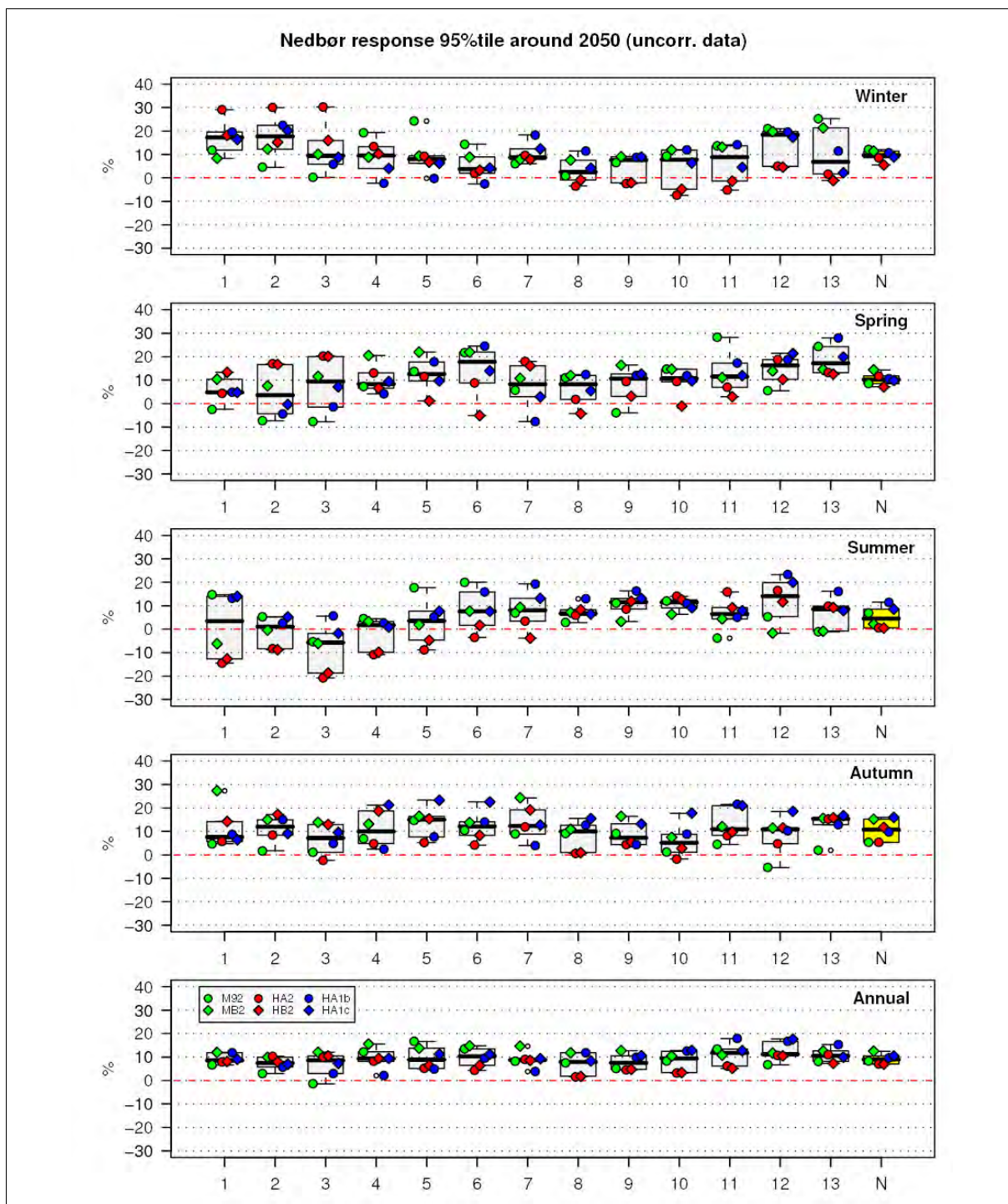


Figure 7a. Som Figure 5a, men for Showalter Index (SI).

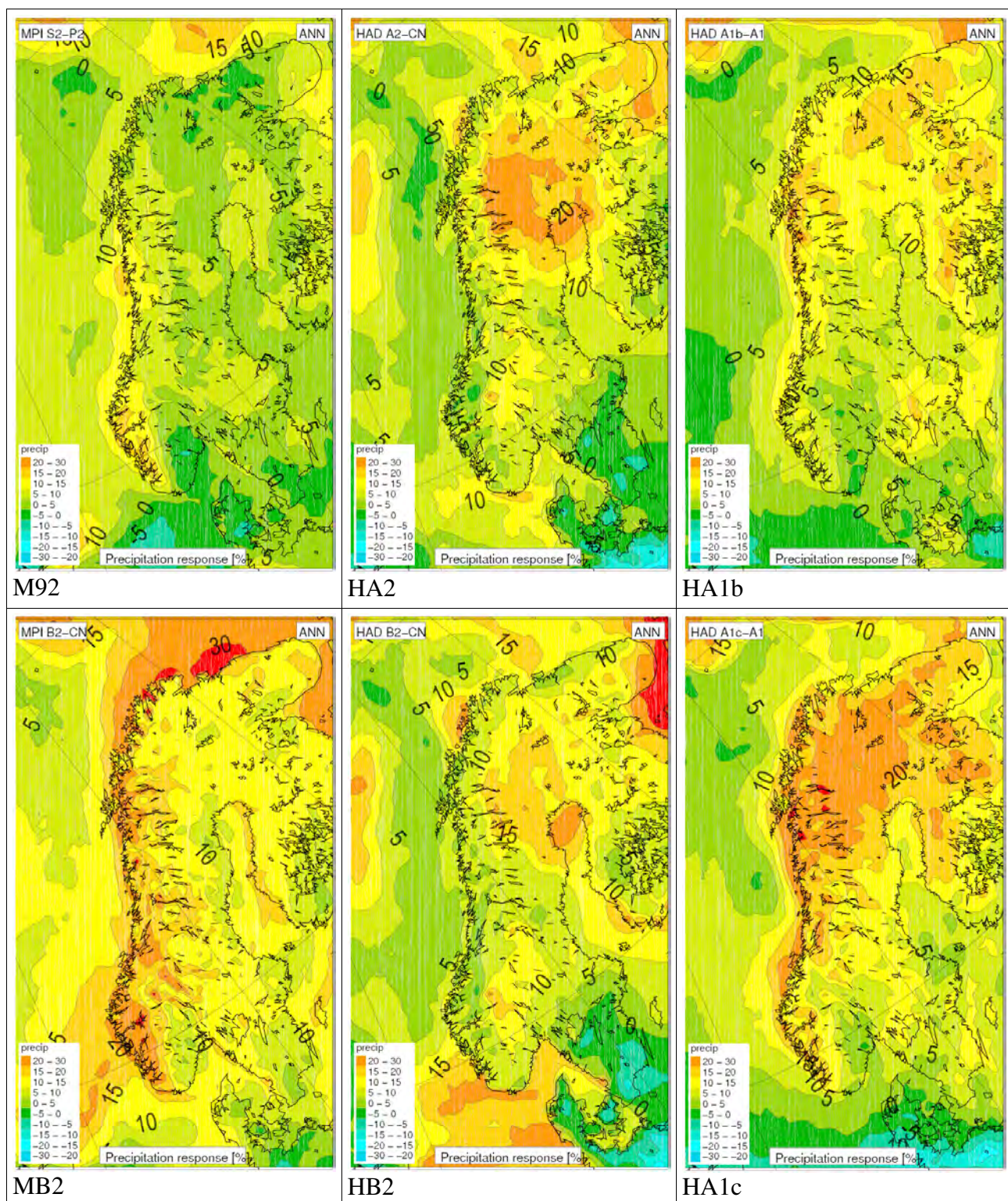


Figur 7b. Som Figur 5b, men for Showalter Index (SI).





Figur 9: Som Figur 8, men prosentvis endring i de største verdiene av døgnnedbør, skalert til å gjelde frem til ca år 2050 (fra 1961-1990 til 2036-2065). Tallene er fremkommet ved å finne terskelverdiene for de 5% høyeste verdiene av døgnnedbør i dagens klima (95 prosentilen), og deretter undersøke hvor mange % høyere (eller lavere) denne verdien er i scenarieperioden. Horisontal akse angir de ulike regionene i Figur 4 (nummerert fra 1-13) og til høyre landet sett under ett (N). De 5 delfigurene angir resultatene for ulike sesonger og for hele året. De grå boksene viser spredningen i resultatene fra de 6 scenariene, og de fargede symbolene endringen for individuelle scenarier.



Figur 10. Prosentvis endring i midlere årsnedbør for de seks scenariene, se Tabell 1 for beskrivelse.

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

Utgitt i Rapportserien i 2011

- Nr. 1 Samkøying av vind- og vasskraft. Betre utnytting av nett og plass til meir vindkraft (42 s.)
- Nr. 2 Årsrapport for tilsyn 2010. Svein Olav Arnesen, Jan Henning L'Abée-Lund, Anne Rogstad (36 s.)
- Nr. 3 Kvartalsrapport for kraftmarknaden. 4. kvartal 2010. Tor Arnt Johnsen (red.)
- Nr. 4 Evaluering av NVE sitt snøstasjonsnettverk. Bjørg Lirhus Ree, Hilde Landrø, Elise Trondsen, Knut Møen (105 s.)
- Nr. 5 Landsomfattende mark- og grunnvannsnett. Drift og formidling 2010. Jonatan Haga, Hervé Colleuille (41 s.)
- Nr. 6 Lynstudien. Klimaendringenes betydning for forekomsten av lyn og tilpasningsbehov i kraftforsyningen. (29 s.)



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen,
0301 Oslo

Telefon: 22 95 95 95
Internett: www.nve.no