



Norwegian
Meteorological
Institute

METreport

No. 27-2015
ISSN 2387-4201
Climate

Klimaendringenes betydning for Statnett sine overføringsanlegg

Studie på grunnlag av klimafremskrivninger utført i forbindelse med IPCC sin femte hovedrapport

Harold Mc Innes ¹, Geir Bruun ², Hervé Colleuille ³, Andreas Dobler ¹, Hilde Haakenstad ¹, Hege Hisdal ³, Christian Jaedicke ⁴, Øyvind Welgaard ²

¹ Meteorologisk institutt, ² Statnett, ³ Norges vassdrags- og energidirektorat, ⁴ Norges Geotekniske Institutt



Title Klimaendringenes betydning for Statnett sine overføringsanlegg	Date 2016-03-01
Section Avdeling for klimatjenester	Report no. No. 27/2015
Author(s) Harold Mc Innes, Geir Bruun, Hervé Colleuille, Andreas Dobler, Hilde Haakenstad, Hege Hisdal, Christian Jaedicke, Øyvind Welgaard	Classification <input checked="" type="radio"/> Free <input type="radio"/> Restricted
Client(s) Statnett	Client's reference [Client's reference]
Abstract <p>Høsten 2013 og våren 2014 ble Intergovernmental Panel on Climate Change sin 5. hovedrapport publisert. Den bygger på nye beregninger med en rekke klimamodeller, og i den forbindelse ønsker Statnett at det utarbeides en rapport om betydningen klimaendringene frem mot slutten av dette århundret vil få for overføringsanleggene. Rapporten omfatter atmosfærisk ising, saltavsetning på isolatorer, snømengde, snøskred og løsmasseskred i tillegg til parametere som temperatur, nedbør og vind. Den bygger på samme datagrunnlag som 5. hovedrapport.</p> <p>Høyere temperaturer gir mindre snødybder og dermed redusert risiko for snøskred, mens mer nedbør øker risikoen for løsmasseskred. For atmosfærisk ising indikerer dataene at risikoen for ising vil øke noe i innlandet, men reduseres i kystnære strøk. De mest utsatte strekningene i høyfjellet kan bli enda mer belastet, men her er det sprik mellom utslippsscenarioene for klimagasser. De største vindlastene kan bli enda sterkere om vinteren, men det er stor usikkerhet knyttet til vind.</p> <p>Denne rapporten er utarbeidet av Meteorologisk institutt i samarbeid med Norges Geotekniske Institutt, Norges vassdrags- og energidirektorat og Statnett.</p>	
Keywords Klimaendringer, Klimalaster, Kraftledninger, Snøskred, Løsmasseskred, Ising	

Abstract

Høsten 2013 og våren 2014 ble Intergovernmental Panel on Climate Change sin 5. hovedrapport publisert. Den bygger på nye beregninger med en rekke klimamodeller, og i den forbindelse ønsker Statnett at det utarbeides en rapport om betydningen klimaendringene frem mot slutten av dette århundret vil få for overføringsanleggene. Rapporten omfatter atmosfærisk ising, saltavsetning på isolatorer, snømengde, snøskred og løsmasseskred i tillegg til parametere som temperatur, nedbør og vind. Den bygger på samme datagrunnlag som 5. hovedrapport.

Høyere temperaturer gir mindre snødybder og dermed redusert risiko for snøskred, mens mer nedbør øker risikoen for løsmasseskred. For atmosfærisk ising indikerer dataene at risikoen for ising vil øke noe i innlandet, men reduseres i kystnære strøk. De mest utsatte strekningene i høyfjellet kan bli enda mer belastet, men her er det sprik mellom utslippsscenarioene for klimagasser. De største vindlastene kan bli enda sterkere om vinteren, men det er stor usikkerhet knyttet til vind.

Denne rapporten er utarbeidet av Meteorologisk institutt i samarbeid med Norges Geotekniske Institutt, Norges vassdrags- og energidirektorat og Statnett.

Table of contents

1 Innledning	7
1.1 Bakgrunn	8
1.2 Om rapporten Klimaendringenes betydning for Statnett sine overføringsanlegg og arbeidet bak den	8
2 Utviklingen i vind, temperatur og nedbør i Norge	10
2.1 Temperaturutvikling	12
2.2 Utvikling i nedbør	16
2.2.1 Nedbørmengde	16
2.2.2 Dager med høy nedbør	18
2.3 Utvikling i vindforhold	21
3 Endring i atmosfærisk ising og forurensning	23
3.1.1 Endring i ising fra våt snø	24
3.1.2 Endring i ising fra underkjølte skydråper (skyis)	27
3.1.3 Samlet vurdering av atmosfærisk ising	28
3.2 Endring av avsetning av salt på isolatorer	28
4 Snøforhold (snømengde, snøskred, snøsig)	30
4.1 Snømengde	30
4.1.1 Snømengde og snøsesongens lengde	30
4.2 Snøskred	32
4.2.1 Snøskred mot master og linjer	32
4.2.2 Klimaelementer som påvirker snøskred	36
4.2.3 Værelementenes betydning i ulike deler av landet	37
4.2.4 Kraftledningsnett og snøskred	38
4.2.5 Klimaendringers konsekvens for snøskredfaren mot kraftlinjenettet.	41
4.2.6 Konklusjon snøskredfare	44
4.3 Snøsig	45
4.3.1 Snøsigforhold i høyfjellet i Norge	45
4.3.2 Konklusjon snøsig	46

5	Løsmasseskred	48
5.1	Ulike typer løsmasseskred	48
5.2	Utløsning av løsmasseskred i dag og i fremtiden	49
5.3	Betydning for Statnetts sine overføringsanlegg	51
6	Belastninger på master, ledninger og fundamenter i fremtidig klima	52
6.1	Klimalaster, dimensjonering og anvendelsesdokumenter	52
6.1.1	Forskrifter for elektriske anlegg	52
6.1.2	Norske Normer for mekanisk dimensjonering og utførelse av elektriske ledninger (NEN1965)	54
6.1.3	Normene av 1996 (NEK609) og senere EN 50341-1 "Overhead Electrical lines exceeding AC 45kV"	56
6.1.4	Oppsummering "Klimalaster og anvendelsesdokumenter"	58
6.2	Lastnivå og ønsket sikkerhet på ledningsanleggene	58
6.3	Mekaniske forhold/slitasje på master, fundamenter og liner/armatur/isolatorer	59
6.3.1	Klimalaster og mekanisk belastning på master	59
6.3.2	Korrosjon stålmaster	59
6.3.3	Klimalaster og mekanisk belastning på mastefundamenter	62
6.3.4	Forvitring av fundamenter for stålmaster	62
6.3.5	Tremaster - Råteskader i kreosotstolper	65
6.3.6	Klimalaster og mekanisk belastning på liner, isolatorer og armatur.	67
6.3.7	Klimalaster og mekanisk slitasje på liner, isolatorer og armatur.	68
6.4	Elektriske forhold	68
6.4.1	Forurensing i is og snø	68
6.4.2	Lyn	69
6.5	Påvirkning på stasjonsanlegg	69
6.5.1	Bygg	69
6.5.2	Skred/flom	70
6.5.3	Sikring mot adkomst og berøring	70
6.6	Vurdering av endret tilgjengelighet til ledningene	70
6.6.1	Tilgjengelighet for eksisterende ledninger	70
6.6.2	Endringer i vekstrater på skog i ledningstraseer	71

7 Sammendrag	73
7.1 Endringer av klima og klimalaster frem mot slutten av århundret	73
7.2 Belastninger på Statnett sine anlegg i fremtidig klima	75
8 Referanser	76
Acknowledgements	79

1 Innledning

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) publiserte høsten 2013 og våren 2014 sin 5. hovedrapport (<https://www.ipcc.ch/report/ar5/>), som består av tre delrapporter der delrapport 1 presenterer det naturvitenskapelige grunnlaget for klimaendringene, mens delrapport 2 handler om henholdsvis virkninger og tilpasning og delrapport 3 handler om virkemidler for å redusere utslipp av klimagasser. Rapporten bygger på beregninger med en rekke globale klimamodeller fra forskjellige institusjoner og forskjellige utslippsscenarier for klimagasser.

Data fra globale klimamodeller har en typisk horisontal oppløsning på 100 km, noe som er for grovt dersom man skal studere klimautviklingen på regionalt nivå. Derfor er slike data blitt nedskalert videre til ca 12 km oppløsning, og noe data er deretter justert videre ned til 1 km oppløsning. De nedskalerte dataene danner grunnlaget for rapporten Klima i Norge 2100 (Hanssen-Bauer med flere, 2015) der klimautviklingen i Norge vurderes. I denne rapporten er meteorologiske parametere som temperatur, nedbør og vind vurdert i tillegg til snøforhold, frost og is, flom og havnivå.

Klimaendringene som er beskrevet i IPCC sin 5. hovedrapport og Klima i Norge 2100 vil kunne påvirke Statnett sine ledninger og stasjoner. I 2008 utarbeidet Meteorologisk institutt i samarbeid med Statnett og Norges Geotekniske Institutt rapporten «Klimaendringenes betydning for de fysiske påkjenningene på overføringsanleggene». På oppdrag fra Statnett er det utarbeidet en ny rapport om samme tema basert på datagrunnlaget for Klima i Norge 2100. Rapporten er et samarbeid mellom Meteorologisk Institutt (MET), Norges Geotekniske Institutt (NGI), Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) og Statnett.

1.1 Bakgrunn

Statnett har ledninger og stasjoner over hele landet og fra tid til annen skjer det skader på disse som kan relateres til meteorologiske eller hydrologiske forhold. Ising på ledninger, kraftige vindkast og snøskred har ved flere anledninger ført til havari av høyspentmaster. Det foregår for tiden omfattende arbeid med oppgradering av sentralnettet, og anlegg som påbegynnes er planlagt å ha en levetid som strekker seg over flere tiår. Statnett ønsker av den grunn at det utarbeides en rapport om klimaendringenes betydning for overføringsanleggene.

Flere utslippsscenarioer og globale klimamodeller er benyttet for å beregne de globale klimafremskrivningene. I det europeiske programmet EURO-CORDEX er de globale klimafremskrivningene nedskalert til et 55 km og et 12 km grid for Europa med ulike regionale klimamodeller. Resultatene i rapporten Klima i Norge 2100 er basert på alle tilgjengelige fremskrivninger på 12 km og omfatter 3 forskjellige utslippsscenarioer der scenariene RCP2.6 og RCP8.5 representerer hver sin ytterlighet. Fordi det bare var tilgjengelig én fremskrivning med utslippsscenarioet RCP2.6, er det primært scenariene RCP4.5 og RCP8.5 som behandles. RCP4.5 representerer en betydelig reduksjon av klimagassutslipp mens RCP8.5 er basert på fortsatt stor økningen i utslippene. For RCP4.5 og RCP8.5 er det produsert 10 datasett som er kombinasjoner av ulike globale og regionale klimamodeller.

Norge er i Klima i Norge 2100 delt i forskjellige temperatur- og nedbørregioner som er vurdert hver for seg. Når betydningen av klimaendringene for Statnett sine anlegg skal vurderes er dette et godt utgangspunkt, men man vil i tillegg måtte skille mellom høyfjellet og lavlandet. Dette er særlig viktig med tanke på atmosfærisk ising, som ikke behandles i Klima i Norge 2100. En kombinert vurdering av temperatur og nedbør vil imidlertid kunne gi en indikator på utviklingen i isingsproblematikk.

1.2 Om rapporten Klimaendringenes betydning for Statnett sine overføringsanlegg og arbeidet bak den

Denne studien er en videreføring av arbeidet bak Klima i Norge 2100 med fokus på hvordan Statnett sine ledninger og stasjoner vil bli påvirket av klimaendringer. Rapporten spenner faglig vidt og er derfor resultatet av et samarbeid mellom flere institusjoner. Temaene er som følger med bidragsytere i parentes:

- Temperatur, nedbør og vind (Meteorologisk institutt)
- Atmosfærisk ising (Meteorologisk institutt)
- Sjøsalter på isolatorer (Meteorologisk institutt)

- Snømengde (Meteorologisk institutt og Norges vassdrags- og energidirektorat)
- Snøskred (Norges Geotekniske Institutt)
- Snøsig (Norges Geotekniske Institutt)
- Løsmasseskred (Norges vassdrags- og energidirektorat)
- Belastning på master og fundamenter (Statnett)

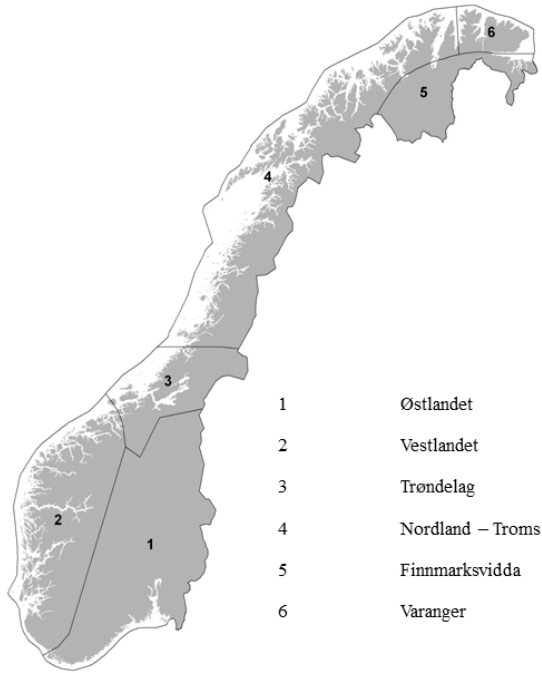
I rapporten vurderes utviklingen fra referanseperioden, som er årene 1971 – 2000 til perioden 2071 – 2100. Det er først og fremst endringene mellom disse to periodene som er i fokus, men mellomperioden 2031 – 2060 blir også berørt.

Usikkerhetsmomenter i rapporten vil stort sett være sammenfallende med usikkerheten beskrevet i kapittel 6 i rapporten Klima i Norge 2100. I korte trekk dreier dette seg om usikkerhet i fremtidige utslipp av klimagasser, usikkerhet knyttet til interne variasjoner i klimasystemet og usikkerhet knyttet til klimamodellene. Når det gjelder usikkerheten knyttet til utslipp håndteres denne ved at man behandler to ytterpunkter blant utslippsscenariene, mens modellusikkerhet kvantifiseres ved at man behandler flere forskjellige kombinasjoner av globale og regionale klimamodeller. Dette bidrar også til å beskrive usikkerheten knyttet til interne variasjoner i klimasystemet.

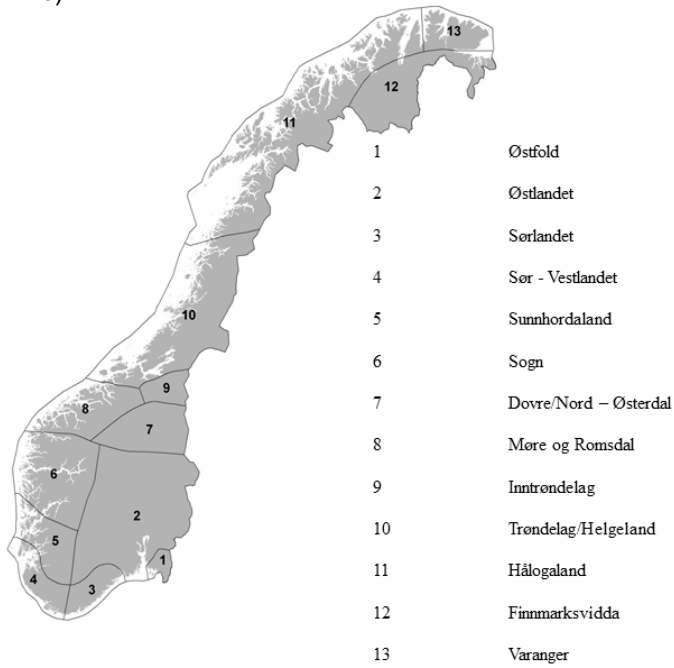
2 Utviklingen i vind, temperatur og nedbør i Norge

I dette kapitlet vurderes utviklingen av temperatur, nedbør og vindforhold mellom 30 års periodene 1971 – 2000 og 2071 – 2100. I Klima i Norge 2100 er landet delt inn i regioner for temperatur og nedbør, og man har valgt forskjellig regioninndeling for disse to parameterne (Figur 1). Et viktig kriterium for regioninndelingen er korrelasjon, det vil si at det er størst mulig samvariasjon mellom observasjoner av den aktuelle parameteren innenfor en region. Fordi nedbør varierer mer enn temperatur er det flere nedbørregioner enn temperaturregioner. En nærmere beskrivelse av denne inndelingen finnes i Hanssen-Bauer og Førland (1998) og Hanssen-Bauer og Nordli (1998).

a)



b)



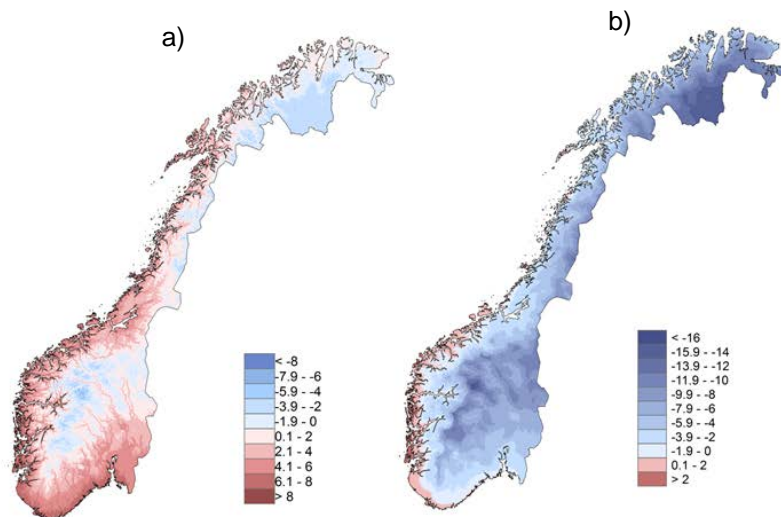
Figur 1: Regioner for temperatur er vist i a) og nedbør i b)

2.1 Temperaturutvikling

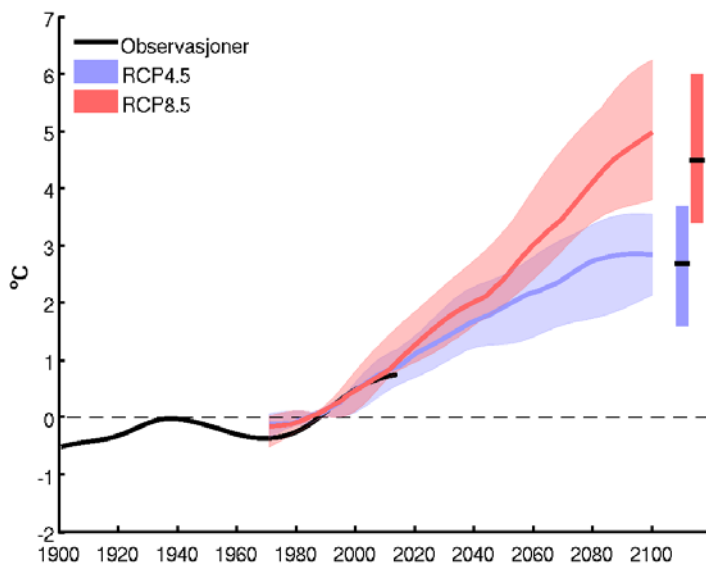
Ved presentasjon av temperaturendringer er det tatt utgangspunkt i referanseperioden 1971 – 2000. Figur 2 viser gjennomsnittlig årsmiddeltemperatur og vintertemperatur for denne perioden, og beregnet endring i årsmiddeltemperatur frem mot år 2100 er vist i Figur 3. Vintersesongen er her definert som månedene desember, januar og februar. Det er tatt utgangspunkt i scenariene RCP4.5 og RCP8.5, og ut fra de 10 datasettene som er generert for hvert scenario er det estimert median, høy og lav temperaturutvikling. Høyt utvikling er representert ved 90 prosentilen og lav ved 10 prosentilen av datasettene. Begge utslippsscenarioer vil gi en stigning av middeltemperaturen i Norge, med en median økning i årlig middeltemperatur på 1.8 °C og 2.4 °C mellom periodene 1971 – 2000 og 2031 – 2060 for henholdsvis RCP4.5 og RCP8.5. Økningen mellom 1971 – 2000 og 2071 – 2100 er henholdsvis 2.7 °C og 4.5 °C for de samme scenariene.

Temperaturøkningen er imidlertid ikke lik over hele landet og det er forskjeller mellom årstidene. Tabellene 1 og 2 viser beregnet temperaturøkning mellom periodene 1971 – 2000 og 2071 - 2100 for henholdsvis hele året og vintersesongen. I rapporten Klima i Norge 2100 er det også vist tilsvarende data for høst, vår og sommer, og det kommer tydelig frem at sommermånedene har den laveste økningen i temperatur, mens høsten og vinteren har størst økning. Temperaturøkningen er lavest i den sørlige delen av Norge, det vil si Østlandet og Vestlandet, og øker nordover. Aller størst er den på Finnmarksvidda om vinteren, der RCP4.5 gir økning på 4.4 °C og RCP8.5 gir 7.2 °C. Den betydelige temperaturøkningen i vintermånedene for begge scenarioer vil medføre at deler av landet vil få gjennomsnittstemperaturer høyere enn 0 ° om vinteren. En slik økning i temperatur vil ha betydning for atmosfærisk ising på ledninger og snøforhold, noe som vil bli beskrevet nærmere i kapitlene 3 og 4.

Denne utviklingen får også betydning for maksimums og minimumstemperaturene gjennom året. I Tabell 3 vises forskjell i maksimumstemperatur mellom periodene 1971 – 2000 og 2071 – 2100, mens tilsvarende endring i minimumstemperatur vises i Tabell 4. Det er de nordligste delene av landet som får de største endringene, og særlig Finnmarksvidda vil få mindre av de ekstremt lave vintertemperaturene. Endringen i maksimumstemperaturer er ikke publisert i Klima i Norge 2100, og har ikke gjennomgått samme kvalitetskontroll som års og sesongmidlene beskrevet i tabellene 1 og 2.



Figur 2: Årsmiddeltemperatur for perioden 1971 – 2000 er vist i a), mens b) viser middeltemperaturen for vintermånedene for samme periode. Temperaturer under 0 °C er markert i blått. Figuren er fra rapporten Klima i Norge 2100.



Figur 3: Utvikling av årsmiddeltemperatur i Norge der stiplet horisontal linje representerer temperaturen for referanseperioden 1971 – 2000. Figuren er fra rapporten Klima i Norge 2100.

	RCP4.5			RCP8.5		
	median	lav	høy	median	lav	høy
Norge	2,7	1,6	3,7	4,5	3,4	6,0
Østlandet	2,5	1,4	3,5	4,2	3,0	5,6
Vestlandet	2,3	1,3	3,2	3,9	2,9	5,2
Trøndelag	2,6	1,4	3,5	4,2	3,1	5,5
Nordland – Troms	3,0	1,9	4,1	5,0	3,8	6,6
Finnmarksvidda	3,6	2,3	5,0	6,0	4,4	7,9
Varanger	3,7	2,4	5,2	6,1	4,5	7,9

Tabell 1: Endring i årsmiddeltemperatur (°C) fra 1971 - 2000 til 2071 - 2100

	RCP4.5			RCP8.5		
	median	lav	høy	median	lav	høy
Norge	2,9	1,3	5,0	5,1	3,2	7,1
Østlandet	2,7	0,8	4,8	4,8	2,8	7,0
Vestlandet	2,4	0,5	4,1	4,1	2,2	5,9
Trøndelag	2,6	0,8	4,5	4,6	2,7	6,5
Nordland – Troms	3,3	1,4	5,6	5,6	3,4	7,7
Finnmarksvidda	4,4	2,2	7,4	7,2	4,6	10,4
Varanger	4,2	2,4	6,9	6,7	4,7	9,5

Tabell 2: Endring i vintertemperatur (°C) fra 1971 - 2000 til 2071 - 2100

	RCP4.5			RCP8.5		
	median	lav	høy	median	lav	høy
Østlandet	2,0	0,7	3,6	3,3	2,0	5,2
Vestlandet	2,3	0,8	4,0	3,6	2,1	5,7
Trøndelag	2,2	0,5	3,8	3,2	1,6	5,2
Nordland – Troms	2,8	1,1	4,5	4,4	2,6	6,5
Finnmarksvidda	2,8	1,2	4,2	4,3	2,8	6,3
Varanger	3,5	1,6	5,0	5,1	3,2	7,2

Tabell 3: Endring i maksimumstemperatur (°C) i sommersesongen fra 1971 - 2000 til 2071 – 2100

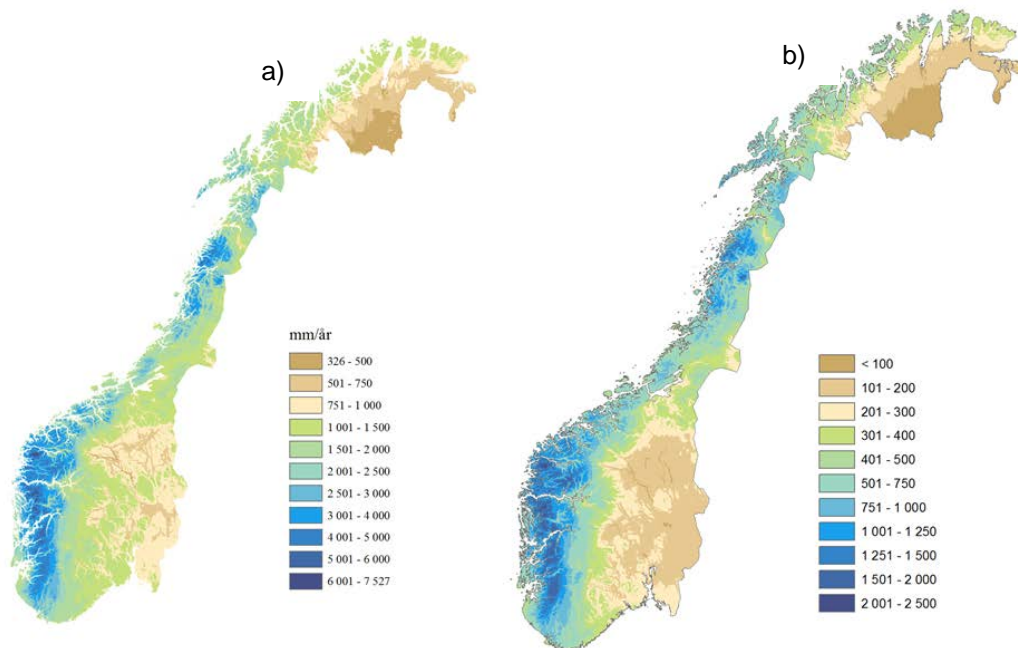
	RCP4.5			RCP8.5		
	median	lav	høy	median	lav	høy
Østlandet	3,0	1,0	5,3	5,2	3,2	7,9
Vestlandet	2,6	0,6	4,5	4,5	2,4	6,7
Trøndelag	2,9	0,9	4,9	5,1	3,0	7,2
Nordland – Troms	3,5	1,6	6,0	6,1	3,7	8,6
Finnmarksvidda	4,6	2,4	7,8	7,8	5,0	11,4
Varanger	4,4	2,5	7,4	7,1	5,0	10,5

Tabell 4: Endring i minimumstemperatur (°C) i vintersesongen fra 1971 - 2000 til 2071 – 2100

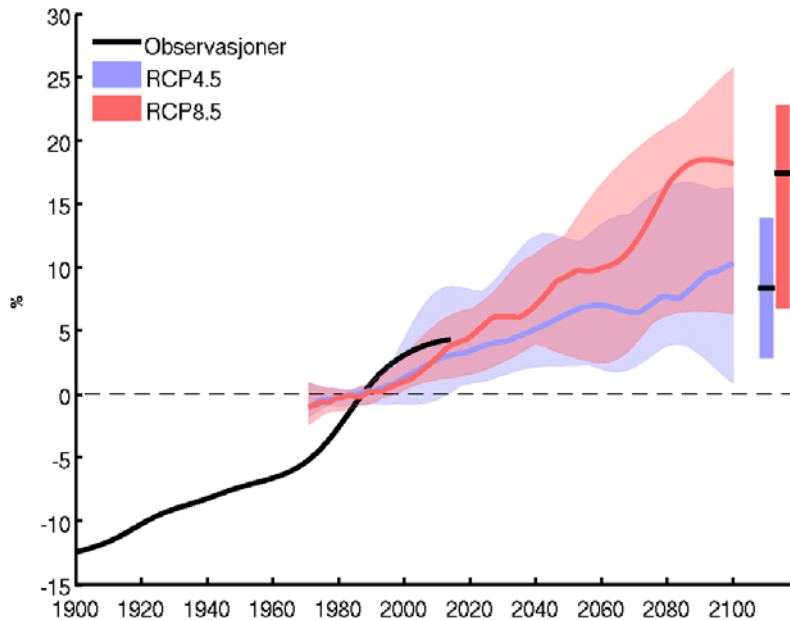
2.2 Utvikling i nedbør

2.2.1 Nedbørmengde

Det er også for nedbør tatt utgangspunkt i referanseperioden 1971 - 2000, og den gjennomsnittlige årsnedbøren for denne perioden er vist i figuren 4 a) mens b) viser vinternedbør, det vil si gjennomsnittlig nedbør for månedene desember, januar og februar. Figur 5 viser prosentvis endring av årsnedbør fremover mot år 2100 for scenariene RCP4.5 og RCP8.5 der høy verdi for scenariet er representert ved 90 prosentilen og lav ved 10 prosentilen. For Norge som helhet vil begge utslippsscenariene gi en økning av nedbøren gjennom århundret med en medianverdi på henholdsvis 8 % og 18 % for scenariene RCP4.5 og RCP8.5. Det er imidlertid stor avstand mellom høy og lav klimasimulering, noe som viser at usikkerheten for nedbør er adskillig større enn for temperatur. En økning i lufttemperatur vil gjøre at atmosfæren vil kunne holde på mer vanddamp, og temperaturøkningen under scenariene RCP4.5 og RCP8.5 skulle ut fra dette gi større nedbørsøkning enn klimamodellene gir. Nedbør avhenger imidlertid ikke bare av temperatur, men også av sirkulasjonsmønster i atmosfæren. Det betyr at mengde og fordeling av nedbør ikke bare påvirkes av endring i temperatur, men også en eventuell endring i lavtrykksbaner i et fremtidig klima.



Figur 4: Gjennomsnittlig årsnedbør (mm) er vist i a), mens b) viser gjennomsnittlig vinternedbør for perioden 1971 – 2000. Figuren er fra rapporten Klima i Norge 2100.



Figur 5: Utvikling i årsnedbør i Norge fremover mot år 2100 for scenariene RCP4.5 og RCP8.5. Stiplet horisontal linje representerer nedbøren for referanseperioden 1971 – 2000. Figuren er fra rapporten Klima i Norge 2100.

Figur 4 viser at det er betydelige forskjeller i nedbørmengde mellom de forskjellige landsdelene. De kystnære delene av Vestlandet har mest nedbør, mens indre deler av Østlandet og Finnmarksvidda har minst. Prosentvis endring i årsnedbør for de forskjellige landsdelene fra perioden 1971 – 2000 til 2071 - 2100 er vist i Tabell 5. Tabellen viser median, lav og høy fremskrivning for RCP4.5 og RCP8.5. Det er store forskjeller både mellom landsdeler, men medianen indikerer at hele landet vil få mer nedbør frem mot år 2100. Den største prosentvise økningen er i Dovre/Nord Østerdal og på Finnmarksvidda, men dette er områder som i utgangspunktet er svært nedbørfattige. Ettersom spredningen i estimatene for nedbør er så stor, og det heller ikke er samsvar mellom de forskjellige modellene og scenariene for årstidene, er det vanskelig å vurdere hvilke årstider som vi har størst økning i nedbør. Samlet sett tyder imidlertid beregningene på at nedbøren jevnt over vil øke gjennom dette århundret.

	RCP4.5			RCP8.5		
	median	lav	høy	median	lav	høy
Østfold	6	4	15	11	7	24
Østlandet	8	3	18	15	8	29
Sørlandet	5	1	16	10	7	18
Sørvestlandet	6	1	12	11	3	20
Sunnhordaland	6	0	12	12	2	20
Sogn og Fjordane/Nord Hordaland	8	0	14	17	4	20
Dovre/Nord Østerdal	13	3	20	22	7	36
Møre og Romsdal	6	-2	10	14	2	18
Inntrøndelag	11	1	15	21	7	25
Trøndelag/Helgeland	11	2	14	21	5	25
Hålogaland	11	6	17	17	7	25
Finnmarksvidda	13	3	27	22	5	38
Varanger	11	-5	33	17	-7	40

Tabell 5: Endring i årsnedbør (%) fra 1971 - 2000 til 2071 – 2100

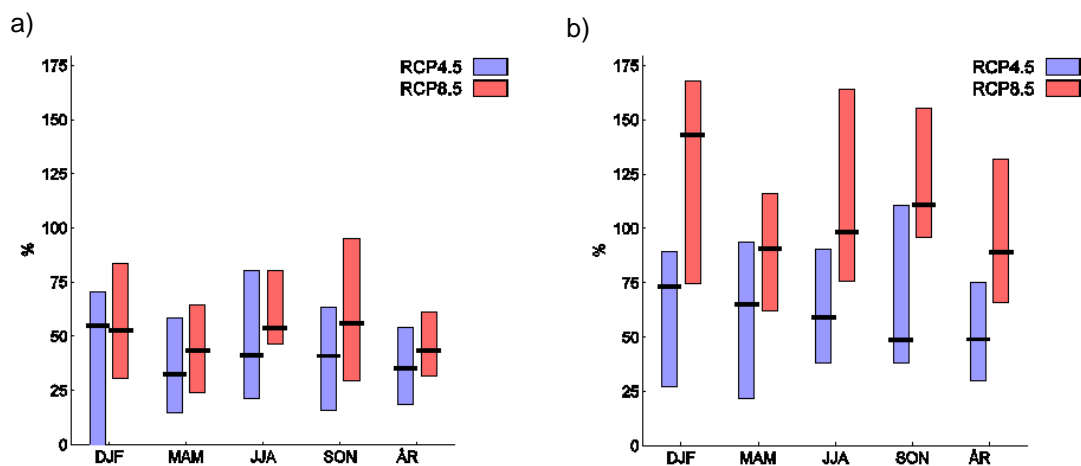
2.2.2 Dager med høy nedbør

Når skadepotensialet fra økt nedbør skal vurderes er det viktig å studere nedbørens fordeling over tid. Dersom en stor mengde nedbør kommer over et kort tidsrom vil den kunne forårsake mer skade enn om samme mengde kommer jevnt over flere dager. Blant annet er dette sentralt i vurdering av risiko for ising fra våt snø på kraftledninger, da døgnnedbøren må være over 10 mm for at våt snø skal kunne gi islaster av betydning

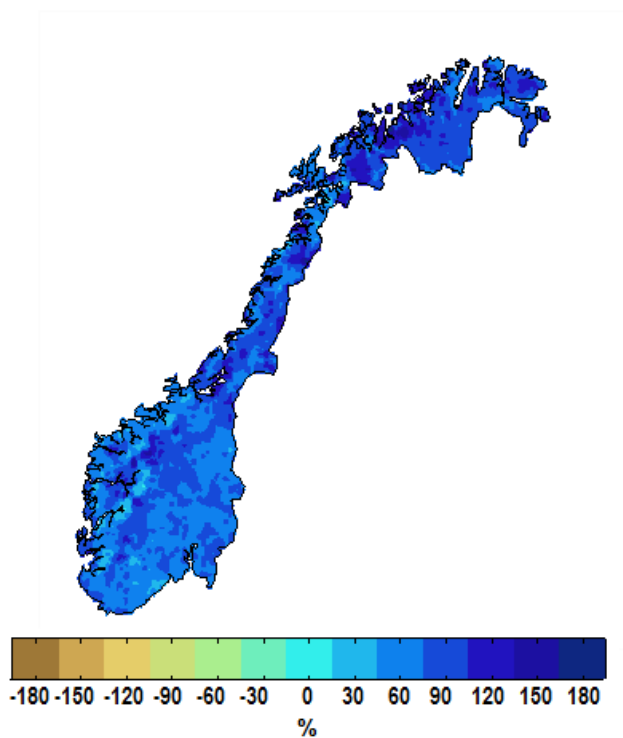
(Bonelli med fler, 2011). I forbindelse med Klima i Norge 2100 er det beregnet endringer i antall dager med høy nedbør under scenariene RCP4.5 og RCP 8.5. Grensen for høy døgnetnedbør er satt ut fra referanseperioden 1971 - 2000, og svarer til den nedbørmengden som ble overskredet 0.5 % av dagene i denne perioden.

Figur 6 viser prosentvis endring i antall dager med høy nedbør fra referanseperioden frem til 2031 – 2060 og 2071 – 2100 for hele landet. Figuren viser en betydelig økning for samtlige årstider, noe som gjelder for begge scenarier. Det er imidlertid stor spredning innenfor hvert scenario, noe som indikerer at det er en usikkerhet knyttet til resultatene slik det også er for nedbørmengde. For RCP8.5 scenariet indikerer tallene en økning på rundt 50 % frem mot midten av århundret og 100 % mot slutten, og at vintersesongen får den største økningen. Figur 7 viser prosentvis endring av antall dager med kraftig nedbør frem mot slutten av århundret for scenario RCP8.5. Det forventes en økning i antall dager med kraftig nedbør over hele landet, men at økningen ser ut til å bli størst lengst nord.

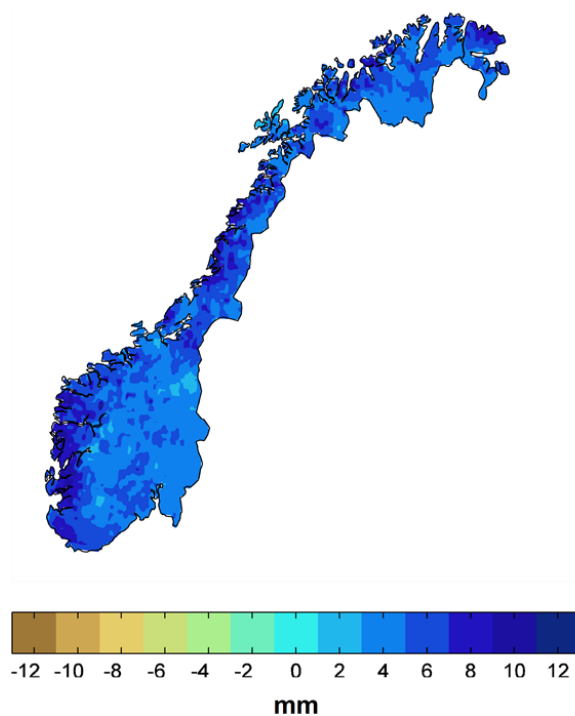
I tillegg til at antall dager med sterk nedbør øker, indikerer også beregningene at mengden nedbør på slike dager vil øke fremover mot århundreskiftet. For årsbasis gir scenariene RCP4.5 og RCP8.5 økning på henholdsvis 12 % og 19 % for hele landet. Endringen i antall mm nedbør vil for slike dager være størst i kystnære strøk, spesielt på Vestlandet (Figur 8). Økningen i antall dager med kraftig nedbør og intensitetsøkningen på disse dagene vil ha betydning for atmosfærisk ising. Dette vil bli nærmere vurdert i neste kapittel.



Figur 6: Prosentvis endring i antall dager med kraftig nedbør fra 1971 – 2000 til 2031 – 2060 (a) og 2071 – 2100 (b) for scenariene RCP4.5 og RCP8.5. Medianverdi er svart strek, mens høy og lav verdi er henholdsvis øvre og nedre del av boks. Endringer er vist for hele året samt de forskjellige årstidene. Figuren er fra rapporten Klima i Norge 2100.



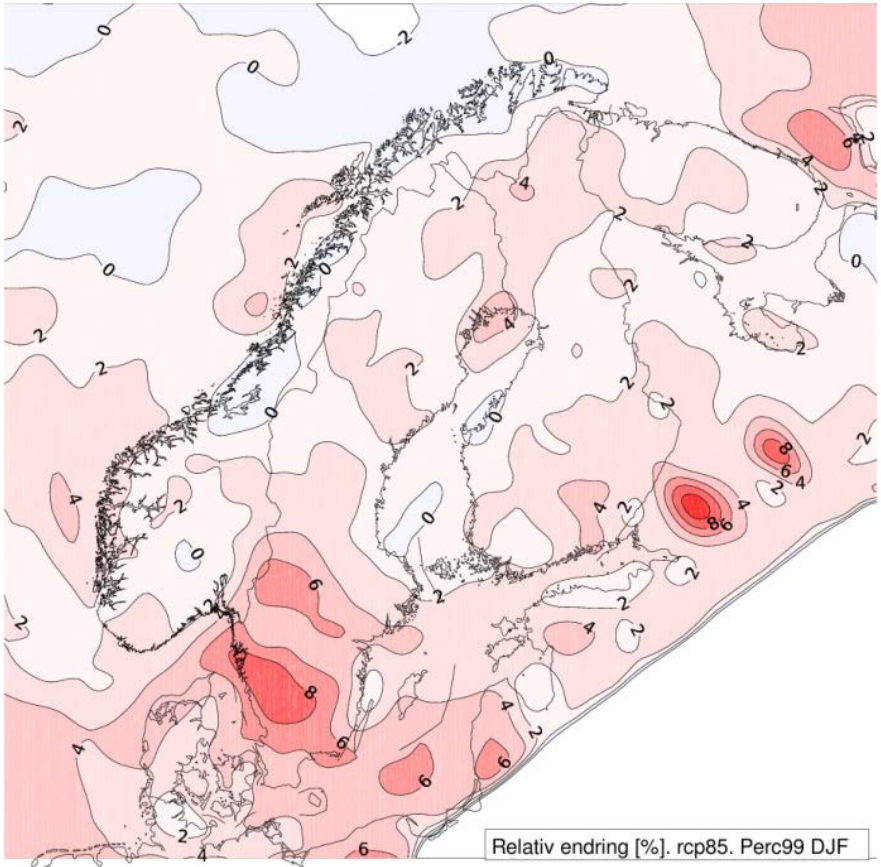
Figur 7: Prosentvis endring i antall dager med kraftig nedbør fra 1971 – 2000 til 2071 – 2100 for hele året. Scenario RCP8.5. Figuren er fra rapporten Klima i Norge 2100.



Figur 8: Endring i nedbørintensitet (mm/døgn) på dager med kraftig nedbør fra 1971 – 2000 til 2071 – 2100. Scenario RCP8.5. Figuren er fra rapporten Klima i Norge 2100.

2.3 Utvikling i vindforhold

Endringer i vindforhold vil være sterkt knyttet til hvordan lavtrykksmønsteret eventuelt vil endre seg i et fremtidig klima, noe som gjør at det er store usikkerheter i vinddata fra klimamodellene. Topografiske forhold påvirker både retningen og styrken av vinden lokalt i forhold til dominerende vindretning og i ekstremværsituasjoner. Modellert vind fra scenariene RCP4.5 og RCP8.5 er imidlertid blitt undersøkt, og resultatene indikerer at de sterkeste vindene vil øke om vinteren. Ser man på 99 prosentilverdien for vindhastighet tyder modelldata på at denne øker med 0 til 2 % om vinteren (Figur 9), mens det er ingen signaler om en slik økning om sommeren. Modellene indikerer også at økningen for maksimalverdiene av vind kan bli større enn dette.



Figur 9: Endring i prosent for 99 prosentilverdien for vindhastighet fra 1971 – 2000 til 2071 – 2100 for scenariet RCP8.5. Figuren er fra rapporten Klima i Norge 2100.

3 Endring i atmosfærisk ising og forurensning

I Norge vil islaster av betydning enten kunne tilskrives underkjølte skydråper som fryser på den aktuelle gjenstanden (skyising) eller at snøflak som inneholder flytende vann fester seg på gjenstanden (ising fra våt snø). Ising fra våt snø kan forekomme over hele landet og skjer i temperaturintervallet mellom 0.5 og 2 °C, mens skyising forutsetter at skybasen når helt ned til ledningen og er dermed mest vanlig i fjellet, der det i enkelte tilfeller har gitt islaster på ledninger av en størrelsesorden 100 kg/m. Det er vanlig å vurdere disse to prosessene separat da forekomst av underkjølte skydråper forutsetter temperaturer under frysepunktet i motsetning til våt snø. Disse isingsprosessene er nærmere beskrevet i en egen rapport (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2012). Nedenfor vil vi på grunnlag av de beregnede endringene i temperatur og nedbør frem mot år 2100 vurdere utvikling i disse to formene for atmosfærisk ising.

Forurensning i luften i form av partikler kan legge seg på isolatorer slik at de kan lede strøm fra ledningen over til mastene. Mens denne forurensningen tidligere kunne stamme fra industriutslipp, er den i dag hovedsakelig sjøsalt. Utviklingen i denne problematikken fremover mot år 2100 vil her bli vurdert.

Vi har i dette kapitlet vurdert endringene fra perioden 1971 – 2000 til 2071 – 2100 for scenariene RCP4.5 og RCP8.5. For RCP4.5 er det brukt 9 kombinasjoner av globale og regionale klimamodeller, mens vi for RCP8.5 hadde 4 slike kombinasjoner tilgjengelig. En vurdering av RCP4.5 med 4 kombinasjoner er utført for å finne om dette ga betydelige forskjeller i forhold til å bruke 9 kombinasjoner. Resultatet indikerer at forskjellene er marginale, og at man ikke øker usikkerheten ved å bruke kun 4 kombinasjoner for RCP8.5 i denne sammenhengen. For at datasettene fra modellene i størst mulig grad skal samsvare med observert mønster er de justert mot et observasjonsdatasett (Gudmundsson med flere, 2012).

3.1.1 Endring i ising fra våt snø

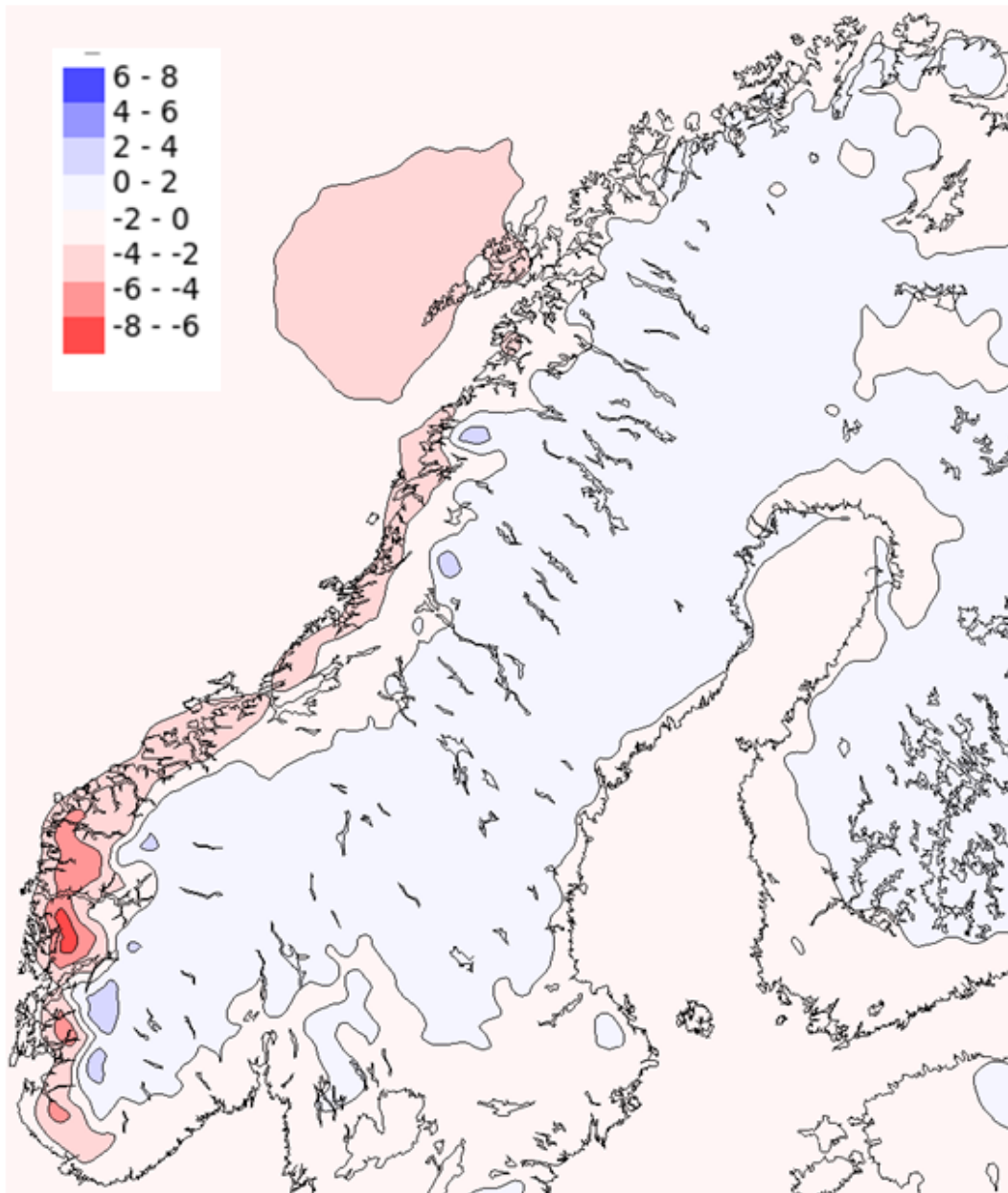
For at våt snø skal kunne gi ising av betydning må døggnedbøren være minst 10 mm (Bonelli med flere, 2011) og i tillegg til må temperaturen ligge i intervallet mellom 0.5 og 2 °C. Denne formen for ising kan i utgangspunktet forekomme over hele landet, og i områder med mye nedbør kan den gi betydelige laster. I desember 2012 ble det på Island målt en last på 16 kg/m is fra våt snø (Eliasson med flere, 2013), og det er ikke uvanlig å estimere 50 års islast på 12 -13 kg/m fra våt snø i utsatte områder i Norge.

Økningen i nedbørsmengde beskrevet i forrige kapittel tilsier i seg selv at ising fra våt snø kan bli et større problem i fremtidens klima, samtidig som temperaturøkningen kan ha motsatt virkning når dette medfører at nedbør kommer som regn i stedet for våt snø. Den samme temperaturøkningen kan imidlertid andre steder føre til at nedbør som i dagens klima kommer som tørr snø i stedet vil bli våt snø som kan feste seg til ledninger. I slike tilfeller vil ising fra våt snø øke, og utviklingen mot flere dager med kraftig nedbør vil kunne forsterke dette ytterligere. Dette betyr at flere steder i lavlandet og nær kysten kan problematikken knyttet til våt snø bli kraftig redusert eller forsvinne rett og slett fordi nedbøren vil komme som regn, mens lengere inne i landet kan problemet øke.

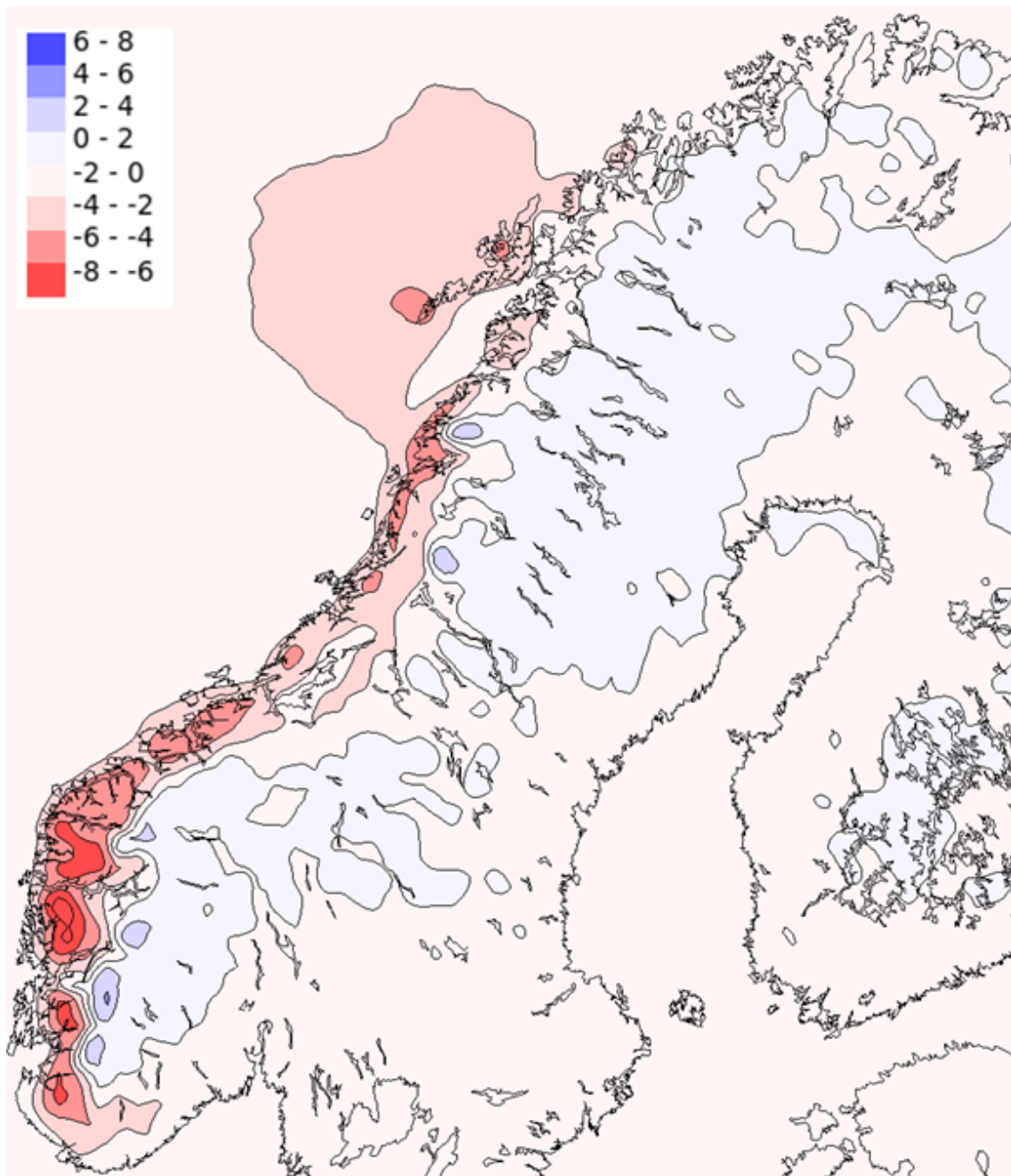
Ut fra eksisterende data er det vanskelig å kvantifisere utviklingen i våt snø problematikk, men ved å sammenstille temperatur og nedbør kan vi finne en indikator. Dette er gjort ved å telle antall dager med temperaturen i intervallet 0.5 til 2 °C og minst 10 mm nedbør for periodene 1971 – 2000 og 2071 – 2100 og beregne årlig gjennomsnitt. Selv om dette ikke vil gi mengde av våt snø, vil denne indikatoren si noe om antall dager ising fra våt snø kan forekomme. Sammenligner vi indikatoren i dagens og fremtidig klima gir det oss informasjon om endring i risikoen for ising fra våt snø. Figur 10 viser differansen mellom perioden 2071 – 2100 modellert ut fra scenario RCP4.5 og referanseperioden 1971 - 2000, mens Figur 11 viser det samme for scenario RCP8.5. Figurene indikerer at antall dager med våt snø vil bli noe redusert på Vestlandet, og dette signalet er litt sterkere for RCP8.5 enn RCP4.5. Helt ute ved kysten er reduksjonen liten, men i dette området er det i utgangspunktet relativt få dager med våt snø. Litt lenger inni landet er reduksjonen større, noe som er mest tydelig i de nordlige delene av Hordaland og sørlige deler av Sogn og Fjordane. I innlandet indikerer figuren en svak økning av hyppigheten av våt snø, men den er relativt liten og avhengig av scenario. For RCP 8.5 er det kun høyereliggende strøk som vil få økt hyppighet.

Det er usikkerheter knyttet til disse tallene blant annet på grunn av usikkerhet i fremtidige nedbørsdata, og man kan ikke uten videre trekke konklusjoner om dimensjonerende islast ut fra figuren. Det ser imidlertid ut til at våt snø områdene vil flytte seg innover i landet og oppover i høyden, noe som er logisk ut fra økning i temperatur. Når dimensjonerende islast vurderes har det vært vanlig å ta utgangspunkt i 50 års døggnedbør, noe som blant annet er beskrevet i Mc Innes med

flere (2015). I områder med økt frekvens av våt snø er derfor naturlig å anta at de høyeste verdiene av slike laster vil øke noe på grunn av økningen i nedbørmengde på dager med kraftig nedbør. Det er forskjeller mellom modellene i endring i nedbørmengde på slike dager, men et meget grovt estimat tilsier at den kan utgjøre en økning i 150 års islast på 1 til 2 kg/m.



Figur 10: Endring i antall dager med mer enn 10 mm nedbør og temperatur mellom 0.5 og 2° C fra perioden 1971-2000 til 2071-2100. Scenario er RCP4.5



Figur 11: Endring i antall dager med mer enn 10 mm nedbør og temperatur mellom 0.5 og 2° C fra perioden 1971-2000 til 2071-2100. Scenario er RCP8.5

3.1.2 Endring i ising fra underkjølte skydråper (skyis)

Det er først og fremst i høyfjellet at skyising er den dominerende isingsprosessen, og der har den i enkelte tilfeller medført ekstreme islaster. Den høyeste observerte lasten fra skyis på en kraftledning var rundt 300 kg/m på Lønarhorgi ved Voss i 1961 (Fikke, 2005). Ettersom temperaturen må være under frysepunktet for at underkjølte skydråper skal kunne forekomme, vil økning i temperaturen direkte kunne påvirke skyising. Det er imidlertid flere andre faktorer som påvirker skyising, som tilgang til fuktighet og vindforhold. Økning i nedbør er en indikator på at det er mer vann i atmosfæren, noe som vil kunne øke skyisingen. Isingen på en ledning som er eksponert for underkjølte skydråper vil øke betydelig med vindstyrke ettersom vinden vil transportere skydråper mot ledningen samtidig som at kollisjonseffektiviteten til skydråpene øker med vindhastighet (Yang med flere, 2012). I tillegg er skyisingsprosessen meget følsom for topografien rundt en ledning. For å gi en god beskrivelse av denne isingsprosessen er man avhengig av høyoppløselige data for vind, temperatur og skyvann, noe som ikke er tilgjengelig fra dagens klimamodeller. Vi kan imidlertid gjøre noen kvalitative vurderinger ut fra temperatur og nedbørsforhold.

En nødvendig betingelse for skyising er temperatur under 0 °C og skydekke som når ned til ledningen. Det er gjort en opptelling av antall der temperaturen er mellom -5 og 0 °C og det samtidig er nedbør for periodene 1971 – 2000 og 2071 – 2100. Grunnen til at det er satt en nedre grense på temperatur er at det blir mindre vann tilgjengelig i luften når temperaturen blir lavere samtidig som en større andel av skydråpene vil være frosset. Nedbør brukes her som indikator på skydekke, og derfor er dette tatt med som betingelse. Denne opptellingen viser en reduksjon i antall slike dager for det meste av landet, bortsett fra de stedene som ligger høyest til fjells. Disse tendensene er de samme for begge utslippsscenarioer, men for RCP8.5 er reduksjonen i antall slike dager større, og de få stedene høyt til fjells som har en økning er færre. Dette skulle tyde på at hyppigheten av denne formen for ising vil bli redusert, men oppløsingen på dataene er ikke tilstrekkelig til å gi en fullgod beskrivelse av temperaturfordelingen. For de høyestliggende delene av Statnett sine traseer er det sannsynlig at temperaturen de fleste av disse dagene fortsatt vil ligge under 0° til tross for temperaturøkningen, slik at skyising vil kunne forekomme like ofte som før. Her er det imidlertid forskjeller mellom scenariene RCP4.5 og RCP 8.5. Økt tilgang på fuktighet vil for disse stedene kunne medføre høyere islaster knyttet til skyising, men dersom utviklingen blir nærmere RCP8.5 blir temperaturøkningen så stor at dette vil gjelde en minimal del av ledningsnett. På de litt lavereliggende ledningene vil temperaturøkningen sannsynligvis medføre at skyising vil forekomme sjeldnere. Dette kan bety enkelte punkter på traseer som i dag er svært utsatte for skyising kan bli enda mer utsatte, mens lengre strekninger som i dag har moderate mengder skyis vil få mindre av dette i fremtiden. Det er imidlertid en betydelig usikkerhet knyttet til denne vurderingen, blant annet på fordi det er uklart hvordan vindforholdene vil endre seg.

3.1.3 Samlet vurdering av atmosfærisk ising

Det er vanskelig å tallfeste utviklingen av atmosfærisk ising fremover ettersom det er knyttet store usikkerheter til de meteorologiske parametere som maksimal døggnedbør og vind. I tillegg krever nøyaktig modellering av atmosfærisk ising høyere romlig oppløsning samt parametere som dråpefordeling og innhold av underkjølt vann i skyer. De dataene vi har tilgjengelige indikerer imidlertid av hyppigheten av ising fra våt snø på ledninger vil reduseres ved kysten og i kystnære strøk. Dette kan bety at mange steder langs kysten vil ikke dette lenger forekomme, og det blir sjeldnere også innenfor kysten. Lengere inn i landet vil hyppigheten av våt snø ising øke noe, særlig på Vestlandet. Man kan gjøre en grov antagelse om at dimensjonerende last fra denne formen for ising vil øke med 1 til 2 kg/m i disse områdene. Samtidig indikerer dataene at skyising i de samme områdene vil bli mindre hyppig, og det er sannsynlig at islastene vil bli redusert noe der skyis er den dominerende prosessen. Ledninger i høyfjellet som i dag er sterkt eksponert for skyising vil kunne få enda høyere belastning fra skyis i fremtiden, men det vil være avhengig av hvilket scenario som blir gjeldende. Øker temperaturen tilstrekkelig er det sannsynlig at denne formen for ising også på de fleste slike steder reduseres.

En mer kvantitativ beskrivelse av atmosfærisk ising i fremtidens klima krever en forbedring av modellverktøyet slik at det kan beskrive vindforhold og skyprosesser med høy oppløsning. Det arbeides med å forbedre det aktuelle modellverktøyet og produsere datasett for vind og atmosfærisk ising i forskningsprosjektet «Wind Ice and Snow Load Impacts on Infrastructure and the Natural Environment» (Mc Innes med flere, 2015). Resultater fra dette prosjektet forventes å foreligge i 2017/2018.

3.2 Endring av avsetning av salt på isolatorer

Tidligere kunne langtransportert forurensning fra industrien legge seg på isolatorer slik at de kunne lede strøm, men ettersom industriutslipp er betydelig redusert er problemer med forurensning på isolatorer nå begrenset til sjøsalt. Dette forekommer i kystnære strøk, og oppstår gjerne i forbindelse med lange perioder uten nedbør. Så fort det kommer regn vaskes saltet vekk fra isolatorene. Sjøsalt kan også avsettes på isolatorer på høyfjellet i forbindelse med kraftig ising, noe som primært forekommer på Vestlandet.

Det er ikke mulig å vurdere endring i saltavsetning på isolatorer direkte ut fra data fra klimamodellene, men ved å se på endring i antall dager uten nedbør kan man vurdere hvordan risikoen for dette vil endre seg. En slik sammenligning mellom periodene 1971-2000 og 2071 – 2100 for scenariet RCP4.5 tyder på en liten reduksjon i antall tørre dager langs kysten, men endringene er så små at det ikke lar seg gjøre å trekke noen klare konklusjoner fra dem. Scenariet RCP8.5 gir et litt tydeligere bilde, med en reduksjon i antall tørre dager over mesteparten av landet. Det ser ut til at den økende

mengden nedbør beskrevet i kapittel 2 ikke medfører at antall dager med nedbør øker i særlig grad dersom RCP4.5 blir gjeldende, men at den økte nedbørsmengden kommer som mer intens nedbør. Dersom utviklingen skulle gå i retning RCP8.5 vil også antall dager med nedbør øke noe, og dette indikerer kortere perioder med tørrvær og dermed at problemet med sjøsalt på isolatorer kan bli redusert.

Det er også vanskelig å trekke noen konklusjoner om endring i sjøsaltproblematikken ut fra utviklingen i atmosfærisk ising som er beskrevet ovenfor. Forbindelsen mellom episoder med kraftig ising og avsetning av sjøsalt kan imidlertid bety at de høyestliggende ledningene på Vestlandet kan bli noe mer utsatt for avsetning av sjøsalt enn de er i dag hvis utviklingen ligger nærmere scenario RCP4.5. For RCP8.5 kan de fleste slike ledninger ende opp med mindre skyis på grunn av den kraftige temperaturøkningen, og da er det også sannsynlig at sjøsaltproblematikken reduseres.

4 Snøforhold (snømengde, snøskred, snøsig)

4.1 Snømengde

4.1.1 Snømengde og snøsesongens lengde

Snøforholdene er svært viktige for dimensjonering av nye ledninger og vedlikehold av eksisterende ledninger. Snødybden er avgjørende både for beregning av bakkeklaring, for fremkommeligheten og tilgjengeligheten til ledningene vinterstid. Intense snøfall er også viktige for fremkommelighet og sikt, men kan også ha stor betydning for den fysiske påkjenningen på systemet dersom snøen er våt og fester seg til linjer og master. Ising fra våtsnø er omtalt i kapittel 3.1.1.

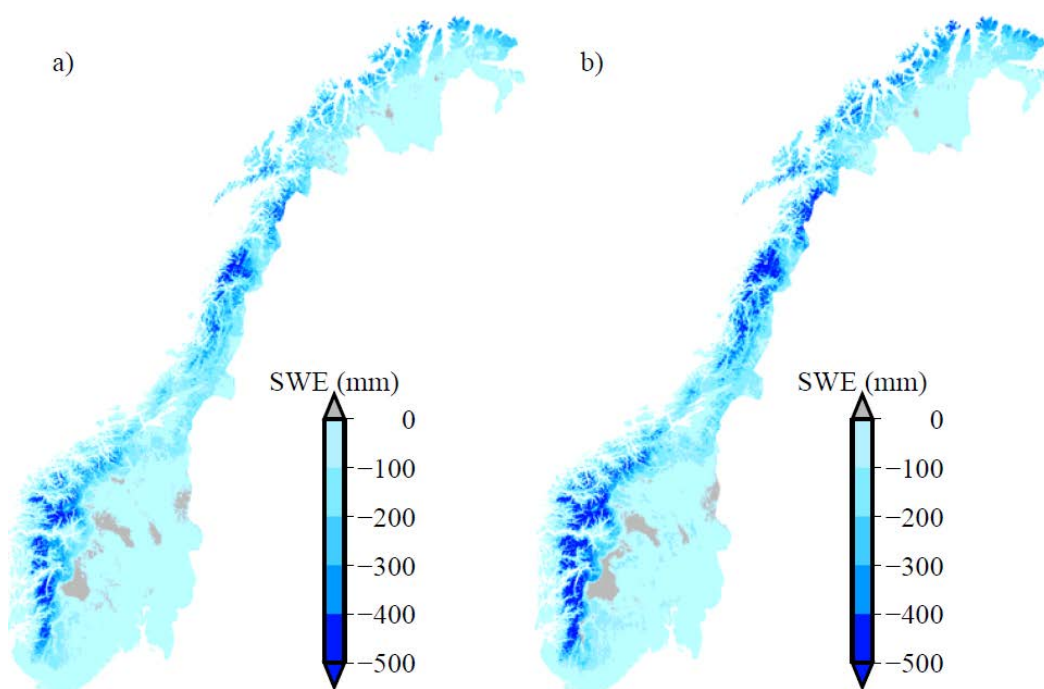
Observerte endringer

I perioden 1971-2000 har nesten hele Norge snødekket hele eller i deler av vinteren. Unntaket er mindre områder ytterst på kysten, der snødekket er ustabil og i flere år mangler helt. Varigheten av snødekket varierer mye, fra bare noen få dager i kystnære områder, til over 200 dager i året i fjellet (over 800 moh. i sør og over 500 moh. i Nord-Norge).

Både temperaturen og nedbøren i Norge har økt de siste 100 årene, og dette har ført til endringer i snømengdene. En analyse av over 1300 målesteder for perioden 1931-2009 (Skaugen et al., 2012), viser at snømengdene har økt over 850 moh. i Sør-Norge. Ser vi bare på de to siste tiårene av analyseperioden, må vi over ca. 1350 moh. for å finne en økning, men snømengdene under dette høydenivået generelt har blitt mindre. Et liknende mønster finner en også i Midt- og Nord-Norge, men ikke så markert. Analyser av snødybder fra 926 målesteder for perioden 1961-2010 viser generelt økt snødybde i innlandet i perioden, og liten endring langs kysten (Dyrrdal et al., 2013). En analyse av 41 målesteder de siste 100 år viser kortere snøsesong de fleste steder (Dyrrdal & Vikhamar-Schuler, 2009). Dette skyldes økt temperatur som gjør at snøsesongen starter senere og slutter tidligere. Også for maksimal årlig snødybde var det en overvekt av negative trender.

Fremtidige endringer

Snøakkumulasjon er sterkt påvirket av høyde over havet og avstand fra kysten. Dette gjør også at endringene i snøforhold som følger med en økning i temperatur og nedbør vil arte seg forskjellig. Vinternedbøren vil øke, noe som gir økt snøfall i de høyestliggende områdene helt frem til temperaturen har steget så mye at reduksjonen i snøleggingsperioden kompenserer for den økte nedbøren. I Klima i Norge 2100 (Hanssen-Bauer et al. 2015), har en særlig sett på endringen i maksimal årlig snømengde og antall dager med snødekke fra perioden 1971-2000 til perioden 2071-2100.

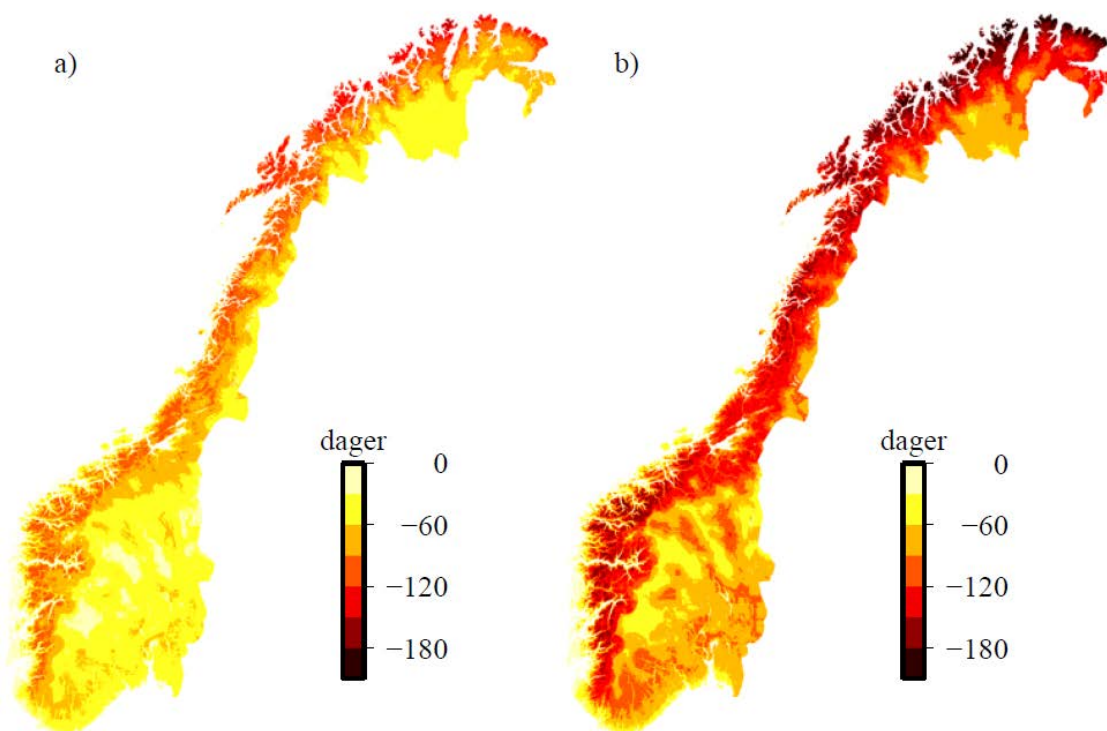


Figur 12: Endring i snømagasinets maksimale årlig vannekvivalent (mm) fra perioden 1971-2000 til 2071-2100 for a) RCP4.5 og b) RCP8.5. Figuren viser median endring for 10 framskrivninger i hvert utslippsscenario (Fra: Hanssen-Bauer et al., 2015))

Mot slutten av århundret er reduksjonen i snømengde størst i høyereliggende strøk på Vestlandet og i Nordland, samt kysten av Troms og Finnmark (Figur 12). Det høye utslippsscenariet (RCP8.5) gir en stor reduksjon i maksimal snømengde for et større område enn RCP4.5. Begge utslippsscenariene gir en liten økning i maksimal snømengde for enkelte høytliggende områder.

Temperaturøkningen gir kortere snøsesong i hele landet (Figur 13) med senere snølegging og tidligere snøsmelting. I tillegg gir høyere temperatur flere smelteperioder om vinteren. Reduksjonen i antall dager med snødekke er sterkt avhengig av hvilket utslippsscenario som legges til grunn. Med middels utslipp (Fig. 13a), reduseres snøsesongens lengde med ca. 1 – 4 måneder og med høye utslipp (Fig. 13b) kan

snøsesongen bli fra ca. 1-6 måneder kortere. For begge utslippsscenarioene betyr dette at lavereliggende, kystnære områder kan bli snøfrie de fleste år. Utstrekningen av de snøfrie områdene blir størst for RCP8.5. I enkelte år vil det fortsatt kunne komme snø også i kystnære lavlandsområder.



Figur 13: Endring i antall dager med snødekke fra perioden 1971-2000 til 2071-2100 for a) RCP4.5 og b) RCP8.5. Figuren viser median endring for 10 framskrivninger i hvert utslippsscenario (Fra: Hanssen-Bauer et al., 2015))

4.2 Snøskred

4.2.1 Snøskred mot master og linjer

Kraftledningsnettene i Norge er mange steder utsatt for snøskred og de fleste vintre blir det registrert hendelser der master blir ødelagt eller får skader på grunn av snøskred. Vinteren 2014/2015 ble for eksempel en mast på linjen Narvik – Skjombotn tatt av et tørt snøskred (Figur 14). Master blir skadet både av treff av de tette snømassene og av luftrykket i støvskyen som ofte følger tørre snøskred.



Figur 14: Mast på 132 kV Narvik – Skjombotn, skadet februar 2015 (Bilde Arni Jonsson, NGI)

Tradisjonelt har man forsøkt å plassere mastene så trygt som mulig i terrenget. Ofte kan mindre topografi som små rygger eller topper være mindre utsatt for snøskred enn forsenkninger eller daler. Bevisst valg av mastepunkter med hensyn til skredfare kan derfor redusere skadepotensiale. Siden etableringen av snøskredkompetansen på NGI på 1970 tallet er det fleste kraftlinjene med masteplassing vurdert for snøskredfare før endelig prosjektering.

Skredfarevurderingen må gjøres med hensyn til en akseptert nominell returperiode for at skred kan gjøre skade på masten eller linjen. For bygninger er dette beskrevet i Plan- og Bygningsloven og tilhørende teknisk forskrift (TEK10) som definerer tre sikkerhetsklasser (100, 1000 og 5000 år) etter bruken av bygninger. Jo større risiko for liv og helse (antall mennesker som kan oppholde seg i bygningen), desto høyere krav til sikkerheten mot skred.

For kraftlinjer anså man på 1970 og 80-tallet at en returperiode på 30 år per mast var akseptabelt for høyspentlinjer over 132 kV. Dette har endret seg vesentlig de siste årene hvor høyere krav til personsikkerhet og HMS-regler gjør det mindre aktuelt å gå inn i områder der master er tatt av skred for å reparere. Også den teknologiske utviklingen har gjort samfunnet langt mer sårbart for utfall av elektrisk kraft i et område.

Kravet i dag ligger på en gjennomsnittlig returperiode på 150 år på utsatte mastepunkt. Men for spesielle linjer, som for eksempel en dobbeltlinje på Island som fører kraft til et aluminiumsmelteverk som bare har en tilførselslinje, kan sikkerhetskravene økes som i dette tilfelle til en årlig sannsynlighet på mindre enn 1/2000 for utfall av linja på grunn av skred.

Planlegging av kraftlinjer i dag bør derfor både se på hvilke sikkerhetsendringer et endret klima kan føre til og hvilken regularitet samfunnet kan komme til å kreve i framtida. Det kan også gjøres en analyse av hva klimaendringer kan ha å si for de eksisterende anleggene for å vurdere om det kan være nødvendig å revurdere eksisterende linjer.



Figur 15: Mast revet ned av skred nord for Helvetestinden ved Risbrekka der 16 master havarerte i 1987 .

For å kunne evaluere hva kommende klimaendringer kan føre til av problemer på det eksisterende og planlagte nettet, er det viktig å kjenne til tidligere hendelser med skredskader på kraftmaster. NGI har studert mange havarier, og har dannet seg et inntrykk av hvilke vær- og snøforhold som har ført til skader.

Den største hendelsen av mastehavarier skjedde på Risbrekka på linja Aura – Giskemo der 16 stålmaster havarerte i februar 1987 etter et svært kraftig snøfall. Det blei registrert 100 mm nedbør på den nærmeste meteorologiske stasjonen de siste tre dagene forut for skredene, og denne nedbøren kom som snø i fjellet. I nærheten, i Venjedalen og i Romsdalen, har det også forekommet skred mot master og flere ble skadet. I Romsdalen har også enkelte master blitt truffet av skredvind og knekt overende. Det har vært hendelser i fjellområdene på Vestlandet helt fra Sirdalsheiene og opp mot Nordmøre. Det har vært sjelden treff mot master nede i dalbunnen (se eksempel fra Tverrdalen rett sør for Odda, Figur 16).



Figur 16: Skadet mast M36, Aasen-Røldal ca. 8. mars 2015.

I Nordland og Troms har det også vært mange skader på master, de fleste på fjellet og i ubebodde områder. Vinteren 2006/2007 var det en skade på høyspentlinja fra Glomfjord til Beiarn nord for Arstaddalsvatnet. Dette skredet hadde et svært langt utløp, kanskje lengre enn man normalt tar hensyn til i planleggingen av mastepunkt. Dette skredet gikk også i en uværssituasjon med store snømengder på kort tid.

4.2.2 Klimaelementer som påvirker snøskred

Nedbør

For at naturlige snøskred skal utløses må belastningen av snødekket overgå snødekkets styrke. Dette kan skje ved at styrken reduseres (skjer relativt sjeldent) eller ved at belastningen øker. Økt belastning kommer i de fleste tilfellene fra regn på snø, nysnø eller drivsnø som samles i utløsningsområdene for snøskred. Hvis et svakt lag, som ikke kan ta opp kreftene fra den nye snøen, ligger i snødekket vil et skred utløses. Erfaringen viser at 30 mm nedbør i løpet av et døgn og 50 mm i løpet av tre døgn utgjør en kritisk mengde som kan føre til naturlige skred. Også nedbørintensiteten spiller en stor rolle. Høyere intensitet fører til at det gamle snødekket ikke kan tilpasse seg den nye belastningen og går til brudd.

Lufttemperatur

Lufttemperaturen påvirker i første rekke om nedbøren kommer som regn eller som snø. Det meste av nedbøren i store deler av Norge kommer med varm og fuktig luft fra sørvest. Når denne luften løftes opp mot fjellene kjøles den ned og lufttemperaturen vil etter hvert synke lavt nok til at nedbøren kommer som snø. Dette skjer nær nullgraderspunktet og små temperaturendringer bestemmer om nedbøren kommer som snø eller regn. Når snøen har nådd bakken påvirker lufttemperaturen hvordan snøkrystallene utvikler seg til et stabilt eller ustabil snødekke. Om våren eller i laveliggende områder er lufttemperaturen avgjørende for begynnelsen og intensiteten av snøsmeltingen.

Vind

Vinden fører til at snøen fordeles ujevnt i terrenget. Det samles mye snø i forsenkninger og bak rygger i le for vinden og snøen blåses bort fra utsatte steder som rygger og plataer. Vinden alene kan føre til at nok snø for utløsning av snøskred blir blåst inn i et utløsningsområde. Drivsnø består av små, ødelagte snøkrystaller som fort danner harde flak som kan føre til flakskred. Snønedbør ledsaget av sterk vind kan føre til akkumulasjonsmengder i leområder som er flere ganger høyere enn de målte nedbørmengdene.

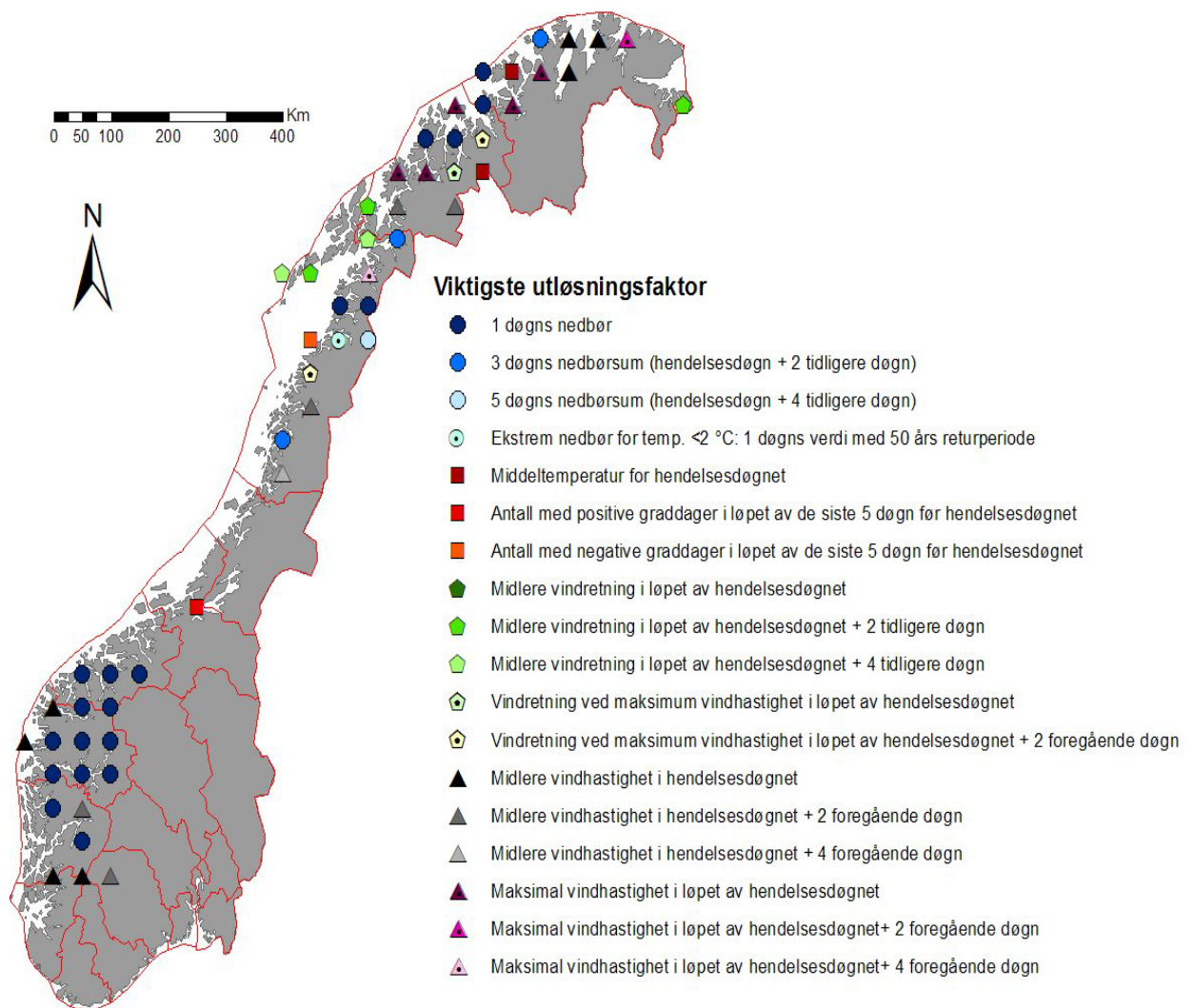
Snødybde

Snødybden i seg selv er ikke avgjørende for at snøskred skal løsne eller ikke. Men mer snø i terrenget, spesielt tørr snø, fører til at ruheten i terrenget avtar og skred vil kunne gå betydelig lengre enn på et ruglete terreng uten, eller med lite snø.

4.2.3 Værelementenes betydning i ulike deler av landet

Resultater fra forskningsprosjekt GeoExtreme (Jaedicke et al., 2008) viser de viktigste værparametere som utløser snøskred forskjellige steder i landet. Figur 17 viser et Norgeskart som samler resultatet på et gitter med 50x50 km-ruter. På Vestlandet er det stort sett nedbøren siste døgn før skredet som er viktigst for skredutløsning. Vi ser også at vindhastigheten betyr mye lengre sør i Langfjella. I Lofoten og kystnære deler av Nordland og Troms er vindretning og hastighet avgjørende, men også nedbør spiller en viktig rolle i Nord-Troms. Jo lengre nordover man kommer, ser det ut til at vindhastigheten betyr mer, og i Finnmark ser det ut til at vindhastigheten siste døgn har størst betydning.

Dette mønsteret forklares med at Vestlandet, Nordland og Troms har store mengder snønedbør. I Finnmark er det mindre nedbør, og derfor vil vindtransportert snø (snøfokk) spille en større rolle som utløsningsparameter for snøskred. Kartet viser ingen resultater fra Østlandet og Sørlandet, og bare et sporadisk tilfelle fra Trøndelag. Her foreligger det for få skredhendelser til å gjennomføre analysen. Selv om det finns en del skredtilfelle på Øst- og Sørlandet, blir de fleste utløst av skiløpere og snøskutere. I Trøndelag er det forholdsvis liten snøskredaktivitet. Men også her finnes steder der man absolutt må ta hensyn til skred (Oppdal, Trollheimen osv.).



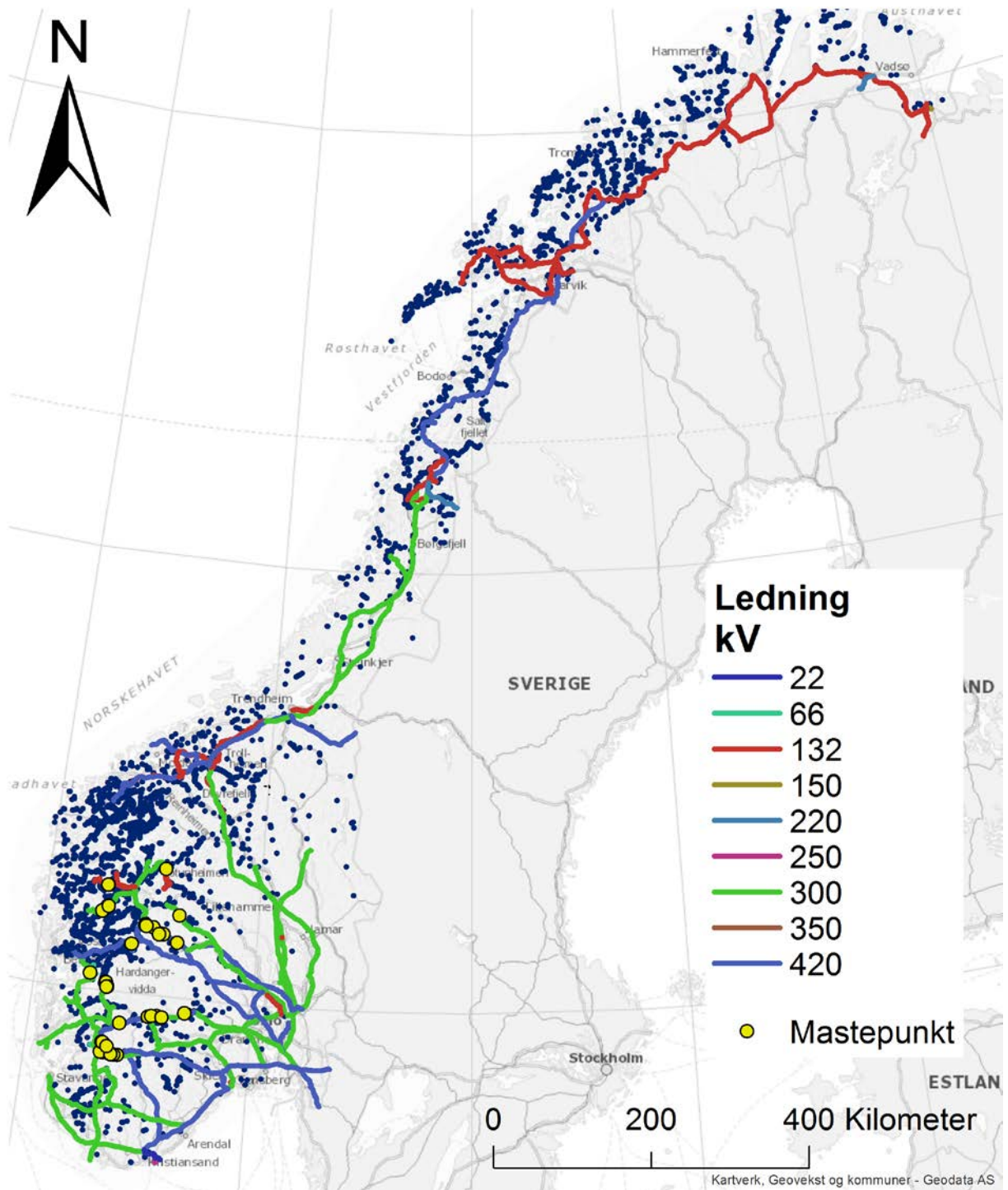
Figur 17 Oppstilling av de viktigste værparametere som fører til snøskred i et grid på 50 x 50 km.

4.2.4 Kraftledningsnett og snøskred

Det finnes dessverre ingen samlet oversikt over havarier som skyldes snøskred. Ved en kombinasjon av mastepunkter, linjenett, den nasjonale skreddatabasen og topografisk informasjon kan det likevel gjøres en analyse av relasjonen mellom skredhendelser, skredterreng og kraftledningsnett.

Statnett har totalt 36 250 master. For denne analysen er verdier fra landsdekkende kart for topografi og klima trukket ut for hver mast (topografiske kart foreligger på 10 x 10m raster, snøkart på 1x1 km raster og klimadata på 16x16 km raster).

Fem prosent (1800) av mastene ligger over 1000 moh, dvs. i høyfjellet. Totalt 885 master ligger direkte i snøskredterreng som er brattere enn 30 grader, 38 av disse ligger i høyfjellet over 1000 moh. Skreddatabasen kan brukes for å finne ut avstanden fra mastepunkter til skredhendelser. Rundt 1850 master ligger nærmere enn 1000 m fra en registrert snøskredhendelse og bare 26 ligger nærmere enn 100 m. Her må man huske at skreddatabasen stort sett registrerer hendelser langs med veiene og der folk bor. På fjellet er svært få registreringer til tross for at mange snøskred går nettopp her. Figur 18 viser ledningsnettet og alle registrerte snøskredhendelser fra skreddatabasen.



Figur 18: Kartet som viser alle Statnett linjer og snøskredhendelser fra den nasjonale skred databasen. Master som ligger i skredterreng over 30 grader og høyere enn 1000 moh. er markert som gule punkter.

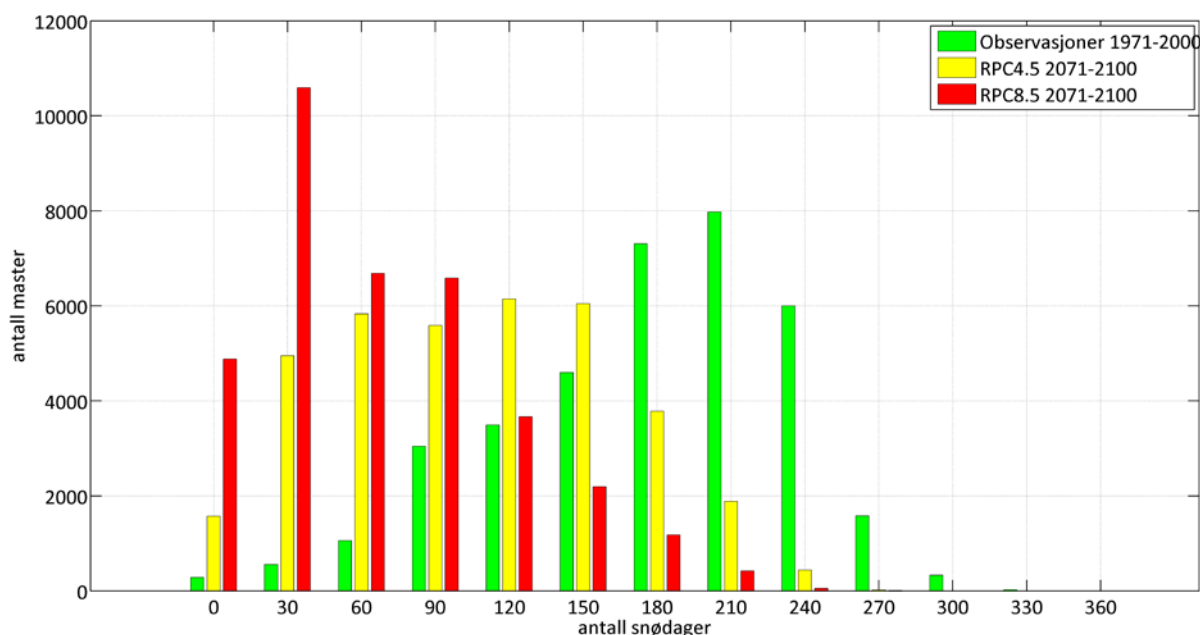
4.2.5 Klimaendringers konsekvens for snøskredfaren mot kraftlinjenettet.

Temperatur, nedbør, snødekke og snømengde

Rapporten klima 2100 slår fast at endringene i sterkest vind er små, men at en kan forvente en liten økning i hele landet i vinterhalvåret.

Reduksjonen i snømengden er størst i høyereliggende områder på Vestlandet og i Nordland samt kystnært i Troms og Finnmark. Dette er påvirket både av høyere lufttemperaturer og av kortere periode med snø på bakken. Antall dager med snødekke reduseres delvis kraftig mot slutten av århundret. Størst er endringene på kysten av Troms og Finnmark, men hele strekningen på vestsiden av fjellene ser en reduksjon.

I dagens klima opplever Statnetts master i snitt 177 dager med snødekke. Dette vil reduseres betydelig mot slutten av århundret der tallet er 66 (106 for 4.5 scenariet). For master over 1000 moh er reduksjonen i snitt fra 254 til 156 dager (195 dager for 4.5 scenariet). Alle deler av landet vil oppleve en reduksjon i antall dager med snødekke (Figur 19).



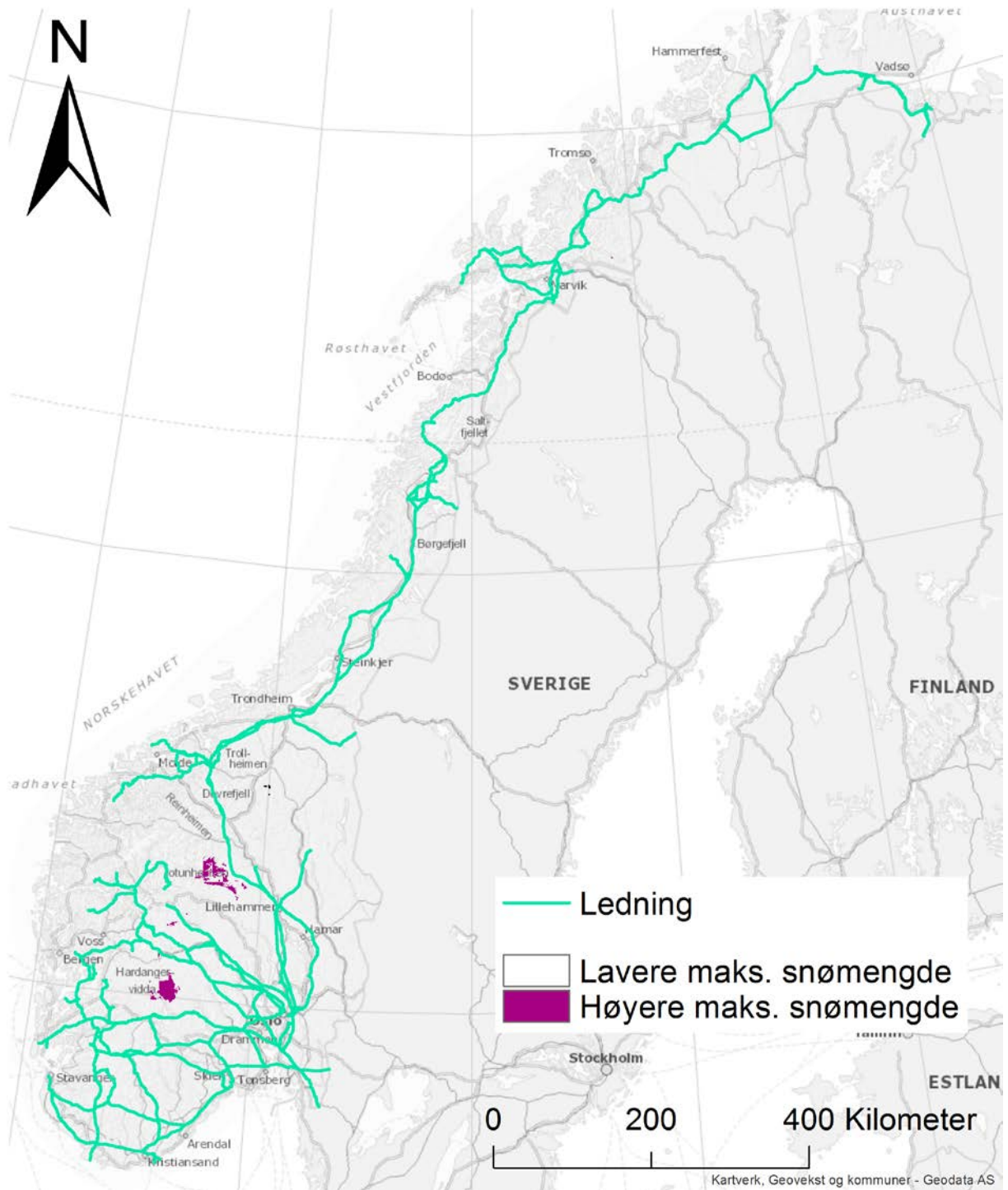
Figur 19 Utviklingen av antall dager med snødekke ved Statnetts master

De største endringene i årsmiddeltemperatur beregnes for nordlige deler av Norge (Varanger og Finnmarksvidda). En generell trend er at det beregnes større økning i temperaturen om

vinteren enn om sommeren og dette er tydeligere i innlandet sammenlignet med kysten. Ved Statnetts master vil økningen være 2,9 °C for RCP4.5 scenariet og 5.1 °C for RPC8.5 scenariet. For mastene i høyfjellet er temperaturøkningen litt lavere og ligger på 2.4 °C (4.5 °C i RPC8.5 scenariet).

Årsnedbøren som helhet øker mellom 8 og 18%. De relative endringene er størst i nordlige deler av landet mens absolutte verdier øker mest på Vestlandet og i Midt-Norge. Fremskrivningen av vinternedbøren varierer sterkt i de ulike scenariene. Medianen for RCP4.5 gir størst økning i nedbøren om våren og sommeren, mens RCP8.5 viser sterkest økning høst og vinter. Den relative økningen i vinternedbøren er størst øst for vannskillet.

Ved Statnetts linjer vil vinternedbøren øke med ca. 10 % (26% for RPC8.5). Økningen i vinternedbør kan føre til at det vil komme mer snø i de områdene hvor det fremdeles er kaldt nok til at nedbøren kommer som snø. I noen få områder vil maksimumsmengden for snø øke. Statnett har per i dag ingen linjer i disse områdene (Figur 20).



Figur 20: Kart med områder der maksimal snømengde kommer til å øke i RCP 8.5 scenariet i perioden 2071-2100

Antall dager med kraftig nedbør (0,5% av dagene) beregnes til å øke betydelig mot slutten av århundret. Det kan ikke utelukkes at antall dager dobles mot 2100. Det største utslaget ses om vinteren. Også mengden nedbør som kommer på disse 0,5% av dagene vil øke med mellom 12 og 19%. Økningen ses i alle årstider og alle regioner i landet, men noe høyere verdier om sommeren. Om vinteren er de relative endringene størst på Østlandet og i Nord-Norge.

Andre effekter av klimaendringer på snøskredfare

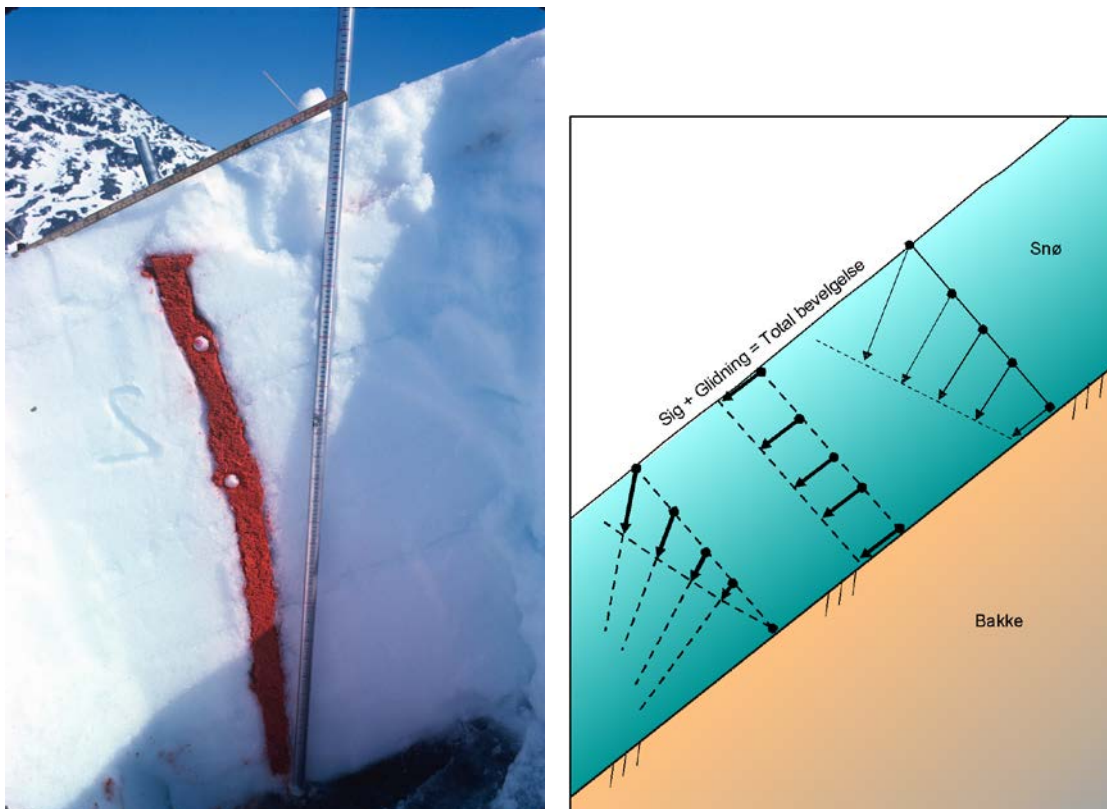
Utbredelse av skog i utløsningsområdene for snøskred er avgjørende for sannsynligheten for at naturlige snøskred utløses. Økning i årsmiddeltemperatur og lengre vekstsesong vil også føre til at skoggrensen øker oppover fjellsiden. Mange av dagens aktive utløsningsområder vil i et fremtidig klima akkumulere mindre snømengder og gro til med skog. Dersom temperaturen stiger 2 °C kan det medføre at skoggrensa kan stige mellom 200-300 m. Utviklingen av fjellskogen er en kompleks prosess der ikke bare temperaturen men også vind, tilgang til vann, fysiske skader som for eksempel snøbrekk etter våt snø og skadedyr og sykdom påvirker skogens utvikling.

4.2.6 Konklusjon snøskredfare

Antall dager med snødekke og maksimal snømengde reduseres i begge scenariene 4.5 og 8.5 ved alle mastepunktene. Dette vil redusere sannsynligheten for skred mot mastepunkter. I enkelte områder i fjellet (Hardangervidda og Jostedalbreen) vil maksimal snødybde øke. Statnett har per i dag ingen linjer i disse områdene og vil derfor ikke oppleve en økning i antall skred.

Økende temperaturer vil kunne føre til endring fra tørre til våte snøskred og fra våte snøskred til sørpeskred. Normalt vil rekkevidden for våte snøskred være kortere enn for tørrsnøskred. Det forekommer sjeldent at høyspentmaster blir skadet av sørpeskred. Selv om man forventer en økning av sørpeskredaktiviteten framover, spesielt områdene hvor det forekommer hyppigere nullpasseringer, følger disse skredene stort sett forsenkninger i terrenget. Det er ikke vanlig å plassere master slike steder og sørpeskred vil derfor etter vår vurdering ikke utgjøre en økende fare for kraftledningsnett.

4.3 Snøsig



Figur 21: Snøsig oppstår når snøen setter seg. Sidebevegelsen oppstår i skrått terreng og setter seg sammen av sig og glidning (Figurer fra Lied og Kristensen 2004).

4.3.1 Snøsigforhold i høfjellet i Norge

Snøsig er den vertikale bevegelsen som oppstår når snøen setter seg. Når snønedbør kommer ned til bakken vil snøkrystallene raskt deformeres fra store stjerneformede nedbørkrystaller til rundere snøformer. Dette fører til at snødybden reduseres og densiteten øker. Denne prosessen foregår raskest ved temperaturer rundt null ° C. I tillegg til sig kan også glidning av hele snødekket på glatte underlag som gress eller sva føre til å øke bevegelsen (Figur 21).

Foregår dette i skrått terreng vil deler av bevegelsen gå nedover skråningen. Bevegelsen er størst i overflaten og avtar nedover til bakken. Den er avhengig av bakkens helning og den totale snødybden, der både brattere bakke og dypere snø fører til større sigebevegelse.

Den typiske situasjonen for master i skråterreng er illustrert i Figur 22, der et 8 m tjukt snødekke i bratt terreng førte til store snøsigskader på masten. NGI har i samarbeid med

Statnett over en periode på nær 20 år studert snøsig mot objekter i Grasdalen på Strynefjellet. Det ble målt belastning på den nedre delen av en mastkonstruksjon, en stålsylinder perpendikulært på underlaget og en støtteforbygning. Resultatene viser at de største kreftene oppstår om våren når snødekket blir isotermt 0 °C og både sig og glidning bidrar maksimalt til bevegelsen.

Slik forholdene er i dagens situasjon, er de årlige variasjonene i snømengdene store. Dette må man fortsatt regne med under endrede klimaforhold også slik at enkelte vintre fortsatt kan føre til skader til tross for at det totale antallet dager med snødekke og det maksimale snødekket reduseres.



Figur 22: Mast ved Øvre Storvatnet, Bykle, med sigskader på bruene, snødybde ca 8 m.

4.3.2 Konklusjon snøsig

Antall dager med snødekke og maksimal snømengde reduseres i begge scenariene 4.5 og 8.5 ved alle mastepunktene. Dette vil redusere sannsynligheten for snøsig mot mastepunkter. I enkelte områder i fjellet (Hardangervidda og Jostedalsbreen) vil

maksimal snødybde øke. Statnett har per i dag ingen linjer i disse områdene og vil derfor ikke oppleve en økning i antall master som er utsatt for snøsig.

Enkelte master der snøsig er et mindre problem i dag kan få økte belastninger fordi økende temperaturer vil føre til mindre tele og varmere snø og dermed til raskere bevegelser i snødekket.

5 Løsmasseskred

5.1 Ulike typer løsmasseskred

Løsmasseskred er fellesbetegnelsen for alle skred i løsmasser og deles i Norge i jordskred, flomskred og kvikkleireskred (NVE, 2013; Kristensen et al., 2015).

Jordskred er raske utglidninger og bevegelse av vannmettede løsmasser i bratte skråningsgradienter (oftest $> 25^\circ$), utenfor definerte vannveier. Jordskred forekommer vanligvis i tidligere avsatte skredmasser, forvittringsmateriale og marin leire. Et jordskred i første nevnte sedimenttyper fjerner vanligvis alle løse steiner, jord og vegetasjon. Det tar derfor vanligvis mange år før nok jord akkumuleres til at nytt skred kan gå på samme sted. Et jordskred i marin avsetning vil derimot kunne gå flere ganger på samme sted. Utglidning brukes for å benevne mindre og grunne jordskred med en liten utstrekning. De forekommer ofte i marin avsetning eller terreng med finkornet materialer inkludert menneskeskapte fyllinger.

Flomskred er hurtige, flomlignende skred, i vannmettede løsmasser, som opptrer langs elve- og bekkeløp, også der det vanligvis ikke er permanent vannføring. Vannmassene kan rive løs og transportere store mengder løsmasser, steinblokker og trær i og langs løpet. Bekker og små elver kan plutselig gå over sine bredder og ta nye løp, noe som kan føre til store ødeleggelser.

Kvikkleireskred er et flomlignende skred av omrørt marin leire og/eller kvikkleire. Kvikkleire er marin leire som er blitt hevet over havnivå og har mistet sitt opprinnelige saltinnhold ved utvasking. Ved tilstrekkelig mekanisk påvirkning blir leira flytende.

Jordskred, flomskred og til en viss grad kvikkleireskred er vannrelaterte skred. Utløsningsårsaken er hovedsakelig vann, i form av regn, snøsmelting, poretrykk (grunnvannsstand) og erosjon i elver og bekker. Kvikkleireskred kan også være utløst av menneskelig aktivitet som sprengning, graving, og deponering. Vurderingen av effekten av klimaendringer på fremtidig hyppighet og intensitet av vannrelaterte skred er overveiende basert på kvalitative vurderinger. Den er basert på kunnskap om utløsningsårsak og såkalte terskelstudier utarbeidet i forbindelse med utviklingen og

driften av den nasjonale operative varslings-tjenesten for jord-, sørpe og flomskredfare (Boje og al. 2014). Tidligere arbeid i Norge (GEOExtreme, 2009; InfraRisk, 2013; Klima og Transport, 2013; Klima i Norge 2100, 2015) og i utlandet (litteraturstudier) er også anvendt i analysen.

5.2 Utløsning av løsmasseskred i dag og i fremtiden

Betingelse for at løsmasseskred skal utløses er tredelt:

- Det må være bratt nok ($> 25^\circ$, med unntak av kvikkleirskred som kan forekomme i relative flate områder);
- Det må finnes tilgjengelig løst materiale som kan skli ut;
- Det må være en utløsende årsak tilstede.

Den første betingelsen (terrenghelningen) er statisk og vil ikke endre seg i fremtiden med unntak av direkte menneskelig påvirkning (f.eks. skogsbilveier). Den andre betingelsen (tilgang til løsmasser) vil kunne endre seg over lang tid (flere hundre år) som følge av endring i arealbruk, vegetasjon og intensitet i forvitring av berggrunnen (erosjon, tining av permafrost, kjemisk og mekanisk forvitring etc.). Den siste betingelsen er en utløsende faktor som er direkte påvirket av værelementer (regn, temperatur, vind) og hydrologiske elementer (snøsmelting, grunnvannsstand, jordas vannmetningsgrad, tining/frysing, vannføring/erosjon). Terrenget har tilpasset seg til de eksisterende langvarige klimatiske forholdene. Det er kun ekstreme hydrometeorologiske forhold i form av langvarig regn, snøsmelting eller store nedbørmengder på kort tid som utløser jordskred og flomskred i områder med bratt terreng og løsmasser. Erosjon og rask senkning av vannstand etter flom i elver og bekker i områder med marine avsetninger kan også utløse utglidninger og dermed potensielle kvikkleireskred (hvis en kvikkleirelomme blir truffet). Endringer i nedbørmengde, nedbørintensitet og snøsmelting har derfor stor betydning for hyppigheten av flomskred og jordskred i fremtiden, men i mindre grad for kvikkleireskred.

Analysen av terskelverdier i Norge (Boje og al. 2014) viser at vanntilførsel (regn og snøsmelting) og tilstand i bakken (vannmetning, grunnvannsstand, frost) er de viktigste faktorene som kontrollerer utløsning av flomskred og jordskred. Langvarig vanntilførselen i form av regn og snøsmelting fører til økt vannmetningsgrad i jorda og økt grunnvannsstand, noe som reduserer friksjonen mellom jordas partikler, samtidig som jordas tetthet øker. Dette reduserer stabiliteten av løsmassene som vil kunne utløse jordskred og utglidninger i skrånende terreng. Dyp tele i bakken gjennom vinteren vil derimot kunne stabilisere skråningen. Flomskred er i større grad relatert til intens nedbør og snøsmelting, overflateavrenning som medfører erosjon og undergraving av løsmasser. Naturlig utløste kvikkleireskred kan både være relatert til høy grunnvannsstand (høyt poretrykk) og erosjon langs elver og bekker (Sokalska et al. 2015).

Terskelverdiene viser også at dess våtere området er (f.eks. kysten av Vestlandet), jo høyere er terskelverdiene for nedbørmengder og nedbørintensitet. Denne relasjonen reflekterer tilpasningen av terrenget til nåværende klima. Terskelverdiene viser også at nedbørmengden som trengs for å utløse skred minsker når varighet av akkumulert nedbørmengde øker.

Vanntilførselen i Norge er generelt lav i innlandet om vinteren pga. snø og kulde, og har ofte et maksimum under smelteperioden. Store nedbørmengder om våren, sommeren og høsten kan også føre til stor vanntilførsel. De største verdiene per i dag forekommer ofte om sommeren og tidlig om høsten som følge av intens nedbør. Langvarig nedbør med påfølgende høy grunnvannsstand opptrer oftest i løpet av høsten og tidlig på vinteren (f.eks. år 2000 på Østlandet).

Det er pr. i dag ikke tilgjengelig kvantitativ informasjon om forventede endringer i vanntilførsel (regn og snøsmelting) og vannmetningsgrad i ulike regioner/sesonger i Norge. Man kan imidlertid bruke eksisterende kunnskap om sannsynlige endringer i nedbørsregimer, snøforhold og markvannsunderskudd, tilgjengelig på klimatilpasning.no, for å danne seg et bilde av betydningen av klimaendringer for vannrelaterte skred. Konklusjonene publisert i Klimarapport for Norge (2015) er i samsvar med tidligere resultater fra bl.a. forskningsprosjektet GeoExtreme (2009) som viser at de forventede klimaendringene vil føre til økt hyppighet av jordskred og flomskred i store deler av Norge.

Klimafremskrivninger viser at andelen regn av total nedbør øker kraftig i store deler av Norge. De viser også at vi får mer nedbør og hyppigere lokale intense nedbørsepisoder i alle årstider. Dette fører til økt vanntilførsel gjennom en større del av året (høsten/vinteren), men også økt hyppighet av kraftig og kortvarig vanntilførsel i sommerhalvåret. Fordampningen vil øke om sommeren og dermed lokalt og periodevis redusere grunnvannstanden og vannmetningsgraden. Økt temperatur vil redusere perioden der jorda er frosset og vil lokalt kunne øke antall tine/fryseepisoder.

Med både store og langvarige nedbørhendelser i bratt terreng, vil faren for jord- og flomskred øke. Jordskred og utglidninger vil øke i perioder med høy grunnvannstand (tidlig vår og i høyereliggende områder) og etter langvarige perioder med regn og lite fordampning (sen høst – tidlig vinter). Flomskred forventes derimot å øke fra sen vår til tidlig høst som følge av korte og intense regnskyll. De vil også kunne øke i perioder med brå snøsmelting, og som følge av flere sørpeskred i høyereliggende områder. Flere regnflommer i bekker og elver øker faren for erosjon og flytting av løsmasser. Det øker faren for flomskred men også for utglidning langs vassdrag og dermed risikoen for utløsning av kvikkleireskred i lavlandsområder under marin grense. Intense nedbørsepisoder etter langvarig regn vil øke risikoen for alle vannrelaterte skredtyper.

Analyser av klimafremskrivninger i Alpene (Stoffer et al. 2014) viser at det ventes mindre flomskred om sommeren (tørre sommer), men en moderat økning i hyppigheten tidligere om våren og sent om høsten. Det kan også forventes en økt

størrelse på flomskred på grunn at større volum av sedimenter som blir tilgjengelig gjennom tining av permafrost og økt erosjon.

5.3 Betydning for Statnetts sine overføringsanlegg

Jordskred, flomskred og kvikkleireskred kan skade infrastruktur og mennesker på grunn av høy hastighet og stor rekkevidde. Klimautviklingen vil gi økt hyppighet av flomskred og jordskred, i store deler av Norge. Disse to skredtypene i bratt terreng vil også kunne ramme andre steder enn tidligere.

Vanlig utløpsdistanse for jordskred er under 500 m, og mindre enn ca. 50 m for utglidninger. Flomskred beveger seg raskt, opp mot 45-50 km/t og kan ha en utløpsdistanse mellom en halv km til 3-5 km. I tillegg til å øke hyppigheten av vannrelaterte skred, vil økt nedbør teoretisk sett kunne gi større rekkevidde for noen skredtyper. Det er derfor særlig grunn til forhøyet aktsomhet mot flomskred. Sørpeskred og flomskred vil kunne løses ut høyere opp i terrenget (over 1000-1500 m o.h.) enn i dag, men konsekvensen vil fortsatt kunne berøre samme områder (f.eks. bebygde områder langs fjordene på vestkysten), men også nye steder (bekkeløpsendringer).

Noen faktorer vil også kunne bidra til å redusere skredfaren, som heving av skoggrensen. Samtidig kan inngrep i terrenget også øke faren for skred: Skogdrift, urbanisering, tetting av flater, utbygging med utilstrekkelig drenering, endring av arealbruk i sideterreng etc.

Det anbefales at Statnett kartlegger risiko og sårbarheten av sine viktigste infrastrukturer mht. eksisterende og fremtidig flom og skredfare, og vurderer behovet for etablering av sikringstiltak eller flytting av anlegg. Det henvises til NVEs fakta-ark «Hvordan ta hensyn til klimaendringer i arealplanlegging» (mars 2014), NVEs kartverktøy og skrednett.no.

6 Belastninger på master, ledninger og fundamenter i fremtidig klima

6.1 Klimalaster, dimensjonering og anvendelsesdokumenter

Statnetts ledninger er mekanisk dimensjonert etter forskjellige normer og standarder avhengig av når de ble prosjektert. Klimaendringer som fører til endringer i laster/lastbilde på ledningene vil derfor påvirke det enkelte anlegg noe forskjellig avhengig av hvilke normer/standarder som er lagt til grunn for prosjektering av den enkelte ledning. Det vil i det følgende bli redegjort for de tre forskjellige anvendelsesdokumenter som har vært brukt opp gjennom årene og hva som grovt karakteriserer det enkelte anvendelsesdokument.

6.1.1 Forskrifter for elektriske anlegg

Disse har vært gitt ut og blitt revidert en rekke ganger og ble for kraftledninger med høyere spenning anvendt frem til ca. 1965. De gir for beregning av master og fundamenter dimensjonerende islaster som en funksjon av linediameter, slik at tynne liner blir dimensjonert for mindre islaster enn tykkere liner. Videre er for vindlast dimensjonerende vindtrykk på liner satt til $0,61 \text{ kN/m}^2$ ($62,5 \text{ kp/m}^2$). Det finnes sikkert unntak fra dette, men generelt ble dette vindtrykket brukt.

Som strekk i liner for dimensjonering av vinkelmaster og forankringsmaster er angitt 40 % av liners bruddlast. Som ensidig strekk ved dimensjonering av forankringsmaster og endemaster er angitt brukt 40 % av liners bruddlast med brudd i 2/3 av de strømførende liner. Det er for bæremaster ikke angitt krav til styrke ved krefter i lineretning på disse.

Kraftledninger dimensjonert etter Forskriftene

Disse er dimensjonert for beskjedne vindlaster da et relativt lavt vindtrykk på liner generelt er brukt uten variasjon på hele ledningen. De er dimensjonert for beskjedne islaster som generelt er brukt uten variasjon over ledningen. Særlig tynne ledninger er sårbare da de er dimensjonert for mindre islaster enn tykke ledninger. I virkeligheten får ofte tynne ledninger høyere islaster da de lettere kan rotere og mer effektivt samle opp snø og is fra atmosfæren. Det er ikke regnet med krefter i linjeretning for bæremaster. Mastene er dermed utsatt ved usymmetriske islaster på liner som fører til belastninger i ledningens lengderetning. Det er ikke regnet med kombinasjonslaster vind/is.

Forskriftene krevde at ledningers høyde over bakken ble dimensjonert med en linetemperatur på +40 °C i linene (50 °C på nyere utgaver). Det er dette som i stor grad er brukt som kriterium ved kurvelegging på profilene. Islaster er generelt ikke tatt hensyn til ved pålegging av dimensjonerende kurver på lengdeprofilene. Det skal bemerkes at det finnes unntak fra dette. Generelt henger disse ledningene med et minimum av bakkeklaring.

Som en oppsummering av ledninger dimensjonert etter forskriftene kan sies at disse generelt er svakt dimensjonert, dette gjelder spesielt bæremastene.

Antatte konsekvenser av klimaendringer

Som nevnt i kapittel 2 er utviklingen av vind svært usikker, og det er forskjell fra modell til modell. I gjennomsnitt er det allikevel indikasjoner på at de kraftigste vindene øker i styrke. I så fall vil sannsynligheten for skader øke da disse ledningene generelt er dimensjonert for 0,61 kN/m² (62,5 kp/m²), noe som må regnes for lite i en del områder.

Analysen av scenarier for våtsnø indikerer en økning i forekomst i fjellet og i store deler av innlandet. Økt nedbørintensitet på dager med mye nedbør i disse områdene vil gi en økning av akkumulert last. Dette vil være avhengig av utslippsscenario, og dersom utviklingen ligger nærmere RCP8.5 vil det først og fremst være på Finnmarksvidda og fjellområder som vil få denne økningen. Dette kan også for seksjoner av disse ledningene være kritisk. Det forventes imidlertid færre tilfeller og lavere makslast langs kysten og i kystnære strøk.

Ledningene i de områdene der våt snø ising forventes å øke vil være sårbare i forhold til økninger i ekstremverdier av is og vindlaster og særlig for kombinasjoner av disse.

I forhold til bakkeklaring vil en økning i snødybde og snø/is på ledningene være en kritisk faktor for disse ledningene da det ofte er snau bakkeklaring i utgangspunktet. I begge utslippsscenariene er det gjennomgående en reduksjon i maksimal årlig snødybde

der Statnett har sine ledninger, noe som betyr at problemer knyttet til snau bakkeklaring vil bli redusert i fremtiden.

Endring i tilvekstrate er spesielt kritisk for disse ledningene og vil føre til nødvendig økt innsats med skogrydding og tilhørende økte vedlikeholdskostnader.

6.1.2 Norske Normer for mekanisk dimensjonering og utførelse av elektriske ledninger (NEN1965)

Disse er utarbeidet av Normkomiteen NK11 i NEK (Norges Elektrotekniske Komité). Denne ble gitt ut og har vært brukt til dimensjonering av Statnetts kraftledninger fra 1965 og frem til 1996. Det var mye nytt ved NEN1965 i forhold til Forskriftene, men noe som er vesentlig er at disse normene krever bruk av EDB-verktøyer for å anvendes. Daværende NVE-Statskraftverkene var tidlig ute i denne sammenheng og utviklet regnemaskinprogrammer til dette, noe som var et pionerarbeid i forhold til de fleste andre land det er naturlig å sammenligne med.

For ”viktige” ledninger krever Normene av 1965 at klimalaster blir vurdert av meteorolog. Det ble vanlig å vurdere klimalaster (islaster og vindlaster) spenn for spenn og å ta hensyn til topografi, lengde av spennet, høyde over havet, retning på traseen osv. Dette førte til at en fikk skreddersydd klimalastene over hele ledningen i tråd med de lokalt forventede klimalaster.

NEN1965 har klare krav til dimensjonering av master for krefter i traseens lengderetning (longitudinale laster). Det er for bæremastene angitt at disse ved islast skal kontrolleres for en tilleggs last på 50 % av maksimal antatt islast i spennet før masten. Alle andre spenn i seksjonen fra forankringsmast til forankringsmast skal da være uten islast. På samme måte skal det kontrolleres ved tilsvarende islast i spennet etter masten og alle øvrige spenn innenfor seksjonen uten islast. Lasttilfellet er mye omtalt som ”skjev islast”.

Vertikallaster (ved ren islast) er angitt som vertikallast på oppheng ved en vertikalt virkende islast på 50 % av full islast lagt i hvert enkelt spenn over hele seksjonen fra forankringsmast til forankringsmast.

Tverrlaster for vinkelmaster skal beregnes ut fra 60 % av linestrekket ved full islast i alle spenn.

Forankringsmaster er sikret for longitudinale krefter gjennom et krav om at de skal tåle brudd i en vilkårlig fase eller en vilkårlig toppline ved 60 % av strekket i linene ved full islast.

Det er også et krav om at kombinasjonslaster (samtidig is og vind) skal vurderes av meteorolog i NEN1965.

Ledninger dimensjonert etter Normene av 1965

Kraftledninger dimensjonert etter NEN1965 er generelt sterkere dimensjonert enn ledninger dimensjonert etter Forskriftene. De enkelte spenn er individuelt vurdert med hensyn på klimalaster, vind og is. Kombinasjonslaster (vind og is samtidig) er vurdert.

Longitudinal styrke er ivaretatt som angitt over.

I tillegg skal nevnes at det for bæremastene i hele perioden fra 1965 til 1996 er satt et minimumskrav til styrke i lengderetning for hver enkelt bæremast. Dette er ikke et krav i NEN1965, men var praksis i NVE-Statskraftverkene, Statkraft og i Statnett fremover til 1996.

Når det gjelder bakkeklaring er kravet i henhold til NEN1965 at det mest ugunstige av høyde over marken ved linetemperatur +50 °C eller høyde over marken ved "skjev islast" skal legges til grunn for dimensjonering av denne. Etter 1984 har en sjekket for +80 °C i stedet for +50 °C. Ledninger dimensjonert etter NEN1965 har ofte "god bakkeklaring" i forhold til maksimal linetemperatur. Dette fordi det ofte er islast-tilfellet (skjev islast) som dimensjonerer bakkehøyden, spesielt for ledninger med islaster av noe størrelse.

I tillegg ble det nå på en ordentlig måte tatt hensyn til ledningenes totale forlengelse (sig) over tid. Dette er regnet ut som summen av to bidrag, det ene fremkommer ved pålasting og avlasting ved full islast på linene med tilhørende initiell og permanent elastisitetsmodul og dermed forlengelse av linen, det andre ble satt som et fast bidrag (sig over lang tid).

Antatte konsekvenser av klimaendringer

Disse ledningene er generelt "sterkere" dimensjonert enn de ledningene som er dimensjonert etter "Forskriftene". Det er kun større endringer i makslast for is og vind og kombinasjon av disse som vil gjøre disse ledningene utsatt.

Det må antas at ledninger dimensjonert etter NEN1965 er "godt" rustet i forhold til bakkeklaring ut fra det som er sagt over.

6.1.3 Normene av 1996 (NEK609) og senere EN 50341-1 "Overhead Electrical lines exceeding AC 45kV

Disse er i utgangspunktet basert på probabilistiske metoder. Det vil ved enhver type belastning alltid være en viss risiko for at det kan oppstå brudd i en konstruksjon. Ved dimensjoneringen må det derfor velges lastnivå i forhold til den ønskede sikkerhet. Styrken må tilpasses virkningen av klimalastene på statistisk grunnlag. Dette kan uttrykkes med ligningen:

$$Q_t = R_e$$

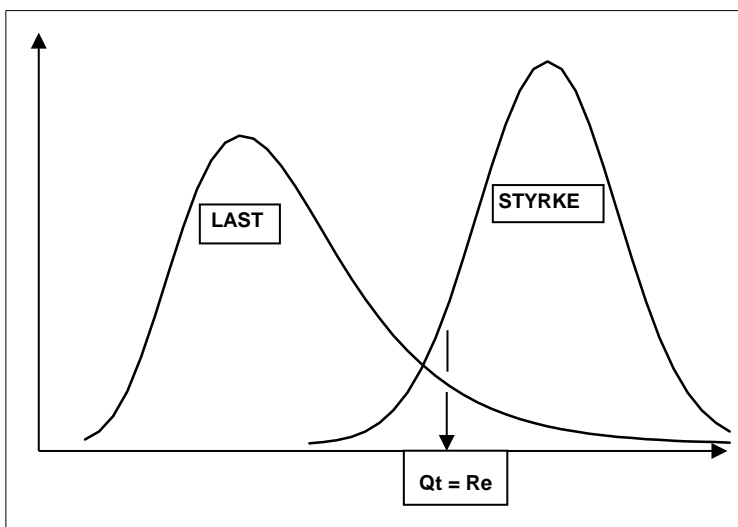
Dette er hovedligningen for dimensjonering.

Definisjonen av Q_t er:

Det er en risiko $1/T$ for at lasta Q_t eller ei større last opptrer et vilkårlig år. Den inverse verdien T av denne risikoen kalles returtiden (i år) for denne lasten.

Definisjonen av R_e er:

Det er en risiko e (ofte oppgitt i %) for at styrken av en komponent eller et system er mindre enn R_e . Med den spredning fordelingsfunksjonene for last og styrke normalt har kan risikoen for svikt pr. år settes til $P = 1/(2 \times T)$.



Figur 23 Fordelingsfunksjoner for last og styrke.

I praksis har is og vindlaster med ønsket returtid blitt gitt av meteorolog ut fra data som er tilgjengelige og i forhold til de vurderinger meteorologen gjør. Ved hjelp av omregningstabeller kan så lastene forenklet regnes om til laster med andre returtider ved hjelp av et tabellverk. Omregningsfaktorene i tabellene forutsetter at lastdataenes standardavvik og antall observasjonsår for målinger er av en viss verdi, og at det ikke er noen gjennomgående trend eller endring i datasettet.

Med det lastnivå en har funnet det fornuftig å bruke for større og viktige kraftledninger viser det seg at dimensjonering etter disse Normene totalt sett gir resultater ikke mye forskjellig enn for master beregnet etter NEN1965. Det er imidlertid et par forhold som skal nevnes.

Det første er at det i disse normene er krav om at kombinerte klimalaster skal anvendes for alle spenn.

Det andre er at ”skjev islast” blir definert på en annen måte enn i NEN1965. Enkelt sagt blir linjeseksjonene fra forankringsmast til forankringsmast sjekket for et ”lasttog” bestående av 3 påfølgende spenn med 70 % av full islast som vandrer gjennom seksjonen. Alle øvrige spenn er belastet med 30 % av full islast.

Ut fra dette blir ”skjev islast” kreftene for mastene beregnet og kurver for bestemmelse av mastehøyder blir definert for islast-tilfellet. Generelt gir denne normen lavere master enn NEN1965 da det ofte er temperaturkurvene som dimensjonerer mastehøydene.

Ledninger dimensjonert etter NEK609

Som nevnt over er det ikke vesentlige endringer i den styrke mastene får med det lastnivået som er lagt til grunn i forhold til master dimensjonert etter NEN1965 slik det ble gjort bortsett fra at alle mastene generelt skal sjekkes for kombinasjonslaster i tillegg til rene is og vindlasttilfeller.

Som nevnt over blir ”skjev islast” definert på en annen måte enn etter NEN1965. Se 5.3. Bakgrunnen for dette er at en mente modellen lagt til grunn for ”skjev islast” etter NEN1965 var for ugunstig og generelt ga ”for høye” master.

Resultatet er nå særlig i områder med små og moderate islaster at det er linetemperatur ved +80 °C som dimensjonerer høyde over marken.

Antatte konsekvenser av klimaendringer

Disse ledningene er generelt ”sterkere” dimensjonert enn de ledningene som er dimensjonert etter ”Forskriftene”, men i forhold til større ekstremverdier for is, vindlaster og øvrige forventede klimaendringer kan også disse være utsatt.

For ledninger som allerede er bygd etter NEK609 antas bakkeklaring å være et lite problem, bortsett fra ved store endringer i forventet snødybde. Fordi høyde over marken ofte er dimensjonert ved +80 °C i linene, er det viktig at man vurderer snødybden godt ved prosjektering av nye ledninger og tar hensyn til dette når mastehøyder bestemmes.

6.1.4 Oppsummering "Klimalaster og anvendelsesdokumenter"

Ved vurdering av eksisterende kraftledningers mekaniske styrke i forhold til en revurdering av klimalastene vil ledninger dimensjonert etter "Forskriftene for elektriske anlegg" trolig være mest sårbare. Dette er også de eldste ledningene i nettet. Man har etter hvert opparbeidet seg en viss erfaring om hvilke områder som er utsatt og hvilke ledninger som er sårbare i dagens klima.

6.2 Lastnivå og ønsket sikkerhet på ledningsanleggene

Foreliggende målinger av islaster fra målestasjoner på forskjellige steder rundt om i landet samt meteorologenes erfaringer er de parametere som blir brukt ved fastsetting av laster for nye kraftledninger. I forbindelse med havariet på Sima-Samnanger i 2013 ble det etablert en målestasjon på Ålvikfjellet. Videre ble det opprettet en ny stasjon på Rjukan og en på Stølsheimen i 2015 i forbindelse med FoU prosjektet Frontlines (Nygaard med flere, 2015).

For å nytte den statistiske metodikk som er angitt i de nye normene, må det etableres tilstrekkelige data. Erfaring viser at lange observasjonsrekker er nødvendig for å få rimelig sikre konklusjoner.

I forbindelse med klimaendringer kan mye av de data man allerede har være lite relevante eller ufullstendige i forhold til å vurdere nye kraftledninger eller til å vurdere eksisterende kraftledningers pålitelighet. Dette vet man pr. i dag lite om og det må vurderes hva Statnett skal gjøre med dette.

Dagens "Feil og Avbruddsstatistikk", FAS, er utilstrekkelig for å identifisere grunnleggende årsaker til feil i nettet som skyldes store værpåkjenninger. Spesielt gir denne statistikken ingen holdepunkter for å sammenligne faktiske laster på ledningene med de som lå til grunn for dimensjoneringen. Dermed er det heller ingen mulighet for

å følge med på mulige trender i slike væravhengige påkjenninger. Seksjon for plan og analyse har startet et arbeid med å bygge en statistisk modell for hvordan feilsannsynlighet er avhengig av været.

6.3 Mekaniske forhold/slitasje på master, fundamenter og liner/armatur/isolatorer

Dette må vurderes både i forhold til eksisterende kraftledninger og planlegging av nye. Det at klimaet endrer seg nå med en hastighet som er mye raskere enn tidligere, gjør at planlegging av ledninger som forventes å holde lang tid i fremtiden blir ekstra krevende. Dette må i den grad det er mulig tas med i vurderingen i valg av traseer for nye kraftledninger som planlegges.

6.3.1 Klimalaster og mekanisk belastning på master

Som nevnt i kapittel 6.1 må påvirkning på eksisterende master sees i lys av de anvendelsesdokumenter som har vært brukt. I tillegg til revurderte vind og islaster må også områder der det forventes endringer i forhold for snøsig og skredfare vurderes.

For å få en skikkelig oversikt over forventede endringer i klimalaster og betydning av disse for eksisterende ledninger må hver enkelt ledning vurderes i forhold til de endringer en forventer lokalt.

6.3.2 Korrosjon stålmaster

Den globale oppvarmingen ventes å gi varmere og våtere klima også i Norge. Temperatur og fuktighet påvirker korrosjonshastigheten hos en rekke metaller. Kraftledningsmaster av stål i Norge er generelt korrosjonsbeskyttet med varmgalvanisering.

Utvikling av korrosjonsnivået

Utemiljø er ikke en enhetlig størrelse i forhold til korrosjonspåvirkning. Korrosiviteten i utemiljøet påvirkes av industriell og marin forurensning, fuktighet, temperatur (fremfor alt temperatursvingninger som fremkaller dugg) og nedbør. NS-EN ISO 14713 graderer korrosjonsmiljøet i 5 kategorier (Tabell 6).

I relativt tørr luft reagerer sink med oksygen og danner sinkoksid. I nærvær av fuktighet omdannes sinkoksid til sinkhydroksid. Disse oksidene har en liten beskyttende effekt. Dersom den forblir på overflaten vil sinkhydroksid reagere med CO₂ i luften og danne

sinkkarbonat, $ZnCO_3$ som er gir god beskyttelse mot videre korrosjon. På overflater som stadig blir utsatt for fuktighet, eller der fuktigheten blir stående over lengre tid vil oksidene skylles vekk og aldri få tid til å danne $ZnCO_3$. Regnskyll har mindre effekt såfremt flaten tørker relativt raskt opp igjen. Unntaket er regn i områder der luften inneholder SO_2 . Syrereaksjonen når SO_2 avsettes på overflaten løser opp sinkkarbonatet slik at det passive sjiktet aldri blir stabilt.

Kategori i følge ISO 14713	Typiske omgivelser	Korrosjonsrate i atmosfære $\mu\text{m} / \text{år}$
C1	Innendørs Utendørs: Tørre alpine omgivelser	< 0,1
C2	Innendørs: kondensering forekommer Utendørs: landlig innlandsklima	0,1 – 0,7
C3	Innendørs: høy fuktighet, noe forurensning Utendørs: byområde i innland eller kystklima	0,7 – 2
C4	Innendørs: svømmebasseng, kjemiske fabrikker Utendørs: Industri i innland eller byområde i kystklima	2 – 4
C5	Industriemiljø med høy fuktighet eller i strandkanten / offshore	4 - 8

Tabell 6: Korrosjonsmiljøer

Mye av den industrialiserte verden har blitt renere de seneste 20 årene, spesielt har utslippene av svoveldioksid til atmosfæren blitt redusert. Svoveldioksidinnholdet i Oslo luften var på begynnelsen av 60 – tallet $400 \mu\text{g} / \text{m}^3$, mens det i 2000 typisk lå på $5 \mu\text{g} / \text{m}^3$.

Maksimalgrense etter forurensningsloven etter 1.1 2005 er $200 \mu\text{g} / \text{m}^3$. Tilsvarende tall for Stockholm viser en nedgang fra ca. $80 \mu\text{g} / \text{m}^3$ i 1977 til $5 \mu\text{g} / \text{m}^3$ i 1992. Ettersom korrosjonsraten er direkte proporsjonal med luftens innhold av SO_2 betyr reduksjonen

en vesentlig nedgang i korrosjonsrate. Dette ble bekreftet i en studie utført på oppdrag fra International Lead Zinc Research Organization i 2001. Studien er også benyttet til å utarbeide modelleringsverktøy for estimering av sinkbeleggs levetid ut i fra faktorene årsnedbør, årsmiddeltemperatur, relativ fuktighet, luftens saltinnhold, SO₂ konsentrasjon og skjermingsgrad.

Tabell 7 og Tabell 8 viser dagens og forventet klima på steder som representerer de 4 hovedregionene, sammen med estimert korrosjonshastighet. Data for årsmiddeltemperatur, nedbør og fuktighet er hentet fra Meteorologisk Institutt database. Svoveldioksidinnholdet er skjønnsmessig vurdert. Saltinnhold i luften representerer typiske verdier for stedenes beliggenhet. Saltinnholdet i luften kan imidlertid variere mye innenfor en strekning på 1 km fra vannkanten. For scenariene er det forutsatt at utslippet av SO₂ holder seg på dagens nivå og at saltholdigheten ikke påvirkes av endringene. Resultatet tilsier at reduksjonen i svoveldioksidinnhold i luften fra 1960 og -70 tallet til i dag oppveier virkningen av økt korrosjon som følge av våtere og varmere klima.

Sted	Årsnedbør mm/år	Årsmiddel- temperatur °C	SO ₂ – innhold µg /m ³	Relativ luftfuktighet %	Saltinnhold mg/m ² /dag	Korrosjons- rate µm / år
Oslo	763	6,1	60	72,9	55	1,3 ⁽¹⁾
Bergen	2250	7,8	60	75,8	70	1,8
Tromsø	1031	3,0	50	77,2	60	1,2
Karasjok	366	-2,0	40	80,5	5	(1,2) ⁽²⁾

Tabell 7: Klimaprofil og korrosjonsrate for perioden 1971-2000.

- (1) Overensstemmer med faktisk verdi fra måling utført av Kirk og Lawson (1990).
 (2) Estimert usikkert da modellen ikke tar hensyn til temperaturer under 0 °C.

Sted	Årsnedbør mm/år	Årsmiddel - temperatur °C	SO ₂ – innhold µg /m ³	Relativ luftfuktighet %	Saltinnhold mg/m ² /dag	Korrosjons- rate µm / år
Oslo	824 / 877	8,6 / 10,3	5	72,9	65	1,1
Bergen	2385 / 2520	10,1 / 11,7	5	75,8	70	1,8
Tromsø	1144 / 1206	6,0 / 8,0	5	77,2	60	1,1
Karasjøk	414 / 447	1,6 / 4,0	5	80,5	5	0,9

Tabell 8: Forventet klimaprofil og korrosjonsrate 2071 - 2100. For temperatur og nedbør er verdien man får fra RCP4.5 til venstre og RCP8.5 til høyre.

Korrosjonshastighet - konklusjon

De forventede klimaendringene vil ikke føre til vesentlige endringer i korrosjonshastigheten for varmgalvaniserte kraftledningsmaster. I de fleste tilfeller vil korrosjonshastigheten være lavere enn på 1960 og – 70 tallet på grunn av redusert SO₂ innhold i luften (Teknologisk institutt, 2008).

6.3.3 Klimalaster og mekanisk belastning på mastefundamenter

Påvirkning på eksisterende fundamenter må sees i lys av de anvendelsesdokumentene som har vært brukt. I tillegg til revurderte vind og islaster må også vurderes områder der det forventes mer snøsig og skredfare enn i dag. Videre vil fundamenteres stabilitet bli endret der det ”våtere” klimaet hever vannstanden og endrer forutsetning for bæreevnen av disse. For å få en skikkelig oversikt over forventede endringer i klimalaster og betydning av disse for eksisterende ledninger må hver enkelt ledning vurderes i forhold til de endringer en forventer lokalt. Fundamenter er dimensjonert i henhold til de samme anvendelsesdokumenter som master. Erfaringer med mastefundamenter i betong er at de havarier som har skjedd så langt stort sett har vært relatert til feil og mangler ved utførelse. Det har også vært avdekket store svekkelser av fundamenteres styrke som skyldes forvitring. Dette antas å være det største problemet for fundamenter fremover, se 6.3.4.

6.3.4 Forvitring av fundamenter for stålmaster

Bakgrunn

SINTEF deltok i perioden 1998-2001 i et FoU-prosjekt i regi av Statnett SF, Vedlikeholdsdivisjonen med tittel ”Vedlikehold av mastefundamenter i betong”. En av konklusjonene fra prosjektet var at det eneste sikre rehabiliteringsalternativet er hel eller delvis utskifting av dårlige fundamenter. I prosjektet ble det også utarbeidet et estimat

over framtidige kostnader for fundamentvedlikehold - se dokument 1.1-3 i vedleggspermen til sluttrapporten fra 2001. Usikkerhetene i dette estimatet økte desto lengre ut i tid en kommer. Spesielt var usikkerhetene knyttet til forløp av videre nedbrytning av fundamenter på grunn av alkalireaksjoner og forvitringsskader (fryse-/tineskader) påpekt.

På bakgrunn av erfaringer høstet i det omtalte FOU-prosjektet og SINTEFs generelle kunnskap om nedbrytning av betong har Teknologi og Prosjektdivisjonen bedt SINTEF om å gi noen innspill vedrørende effekter av økte klimabelastninger på mastefundamentene. Dette er gjengitt i det følgende:

Nedbryting av betong

Betong vil kunne brytes ned av ulike årsaker. Følgende klimabelastninger vil kunne virke inn på den materialtekniske nedbrytingshastigheten av mastefundamentene:

- armeringskorrosjon forårsaket av klorider eller karbonatisering
- alkalireaksjoner
- fryse-/tinedebrytning (forvitring)
- utlekking
- sulfatangrep.

Av disse er det primært alkalireaksjoner og forvitring (fryse-/tinedebrytning) som ble funnet å påvirke mastefundamentene i signifikant grad. Mulige påvirkninger på disse to nedbrytingsmekanismene på grunn av økte klimabelastninger er nærmere omtalt i det etterfølgende.

Forvitring (fryse-/tinedebrytning)

Utvikling av forvitringsskader på mastefundamentene forutsetter at disse har tilgang til fritt vann på overflaten, enten i form av nedbør eller i form av kapillært vannopptak fra grunnen. Et våtere klima vil mest sannsynlig føre til at vanninnholdet i fundamentene vil kunne øke noe over tid. Dette er generelt negativt med tanke på utvikling av forvitringsskader. For fundamenter som ikke er støpt med frostbestandig betong vil dette også øke faren for at en forvitringsprosess kan starte opp på i dag uskadde fundamenter, forutsatt at vanninnholdet i fundamentene stiger til over kritisk vannmetningsgrad. Kombinasjonen mye nedbør og påfølgende hurtig frostbelastning anses å være spesielt ugunstig.

Hastigheten av en forvitringsprosess pga fryse-/tinebelastning vil øke med økende antall fryse-tine sykler (nullgjennomganger). Det er foreløpig ikke gjort noen estimering av fryse-tine sykler i forbindelse med den siste Klima i Norge 2100 rapporten. I forbindelse med forrige Klima i Norge 2100 rapport (Hanssen-Bauer med flere, 2009)

ble nullgjennomganger estimert. Disse estimatene indikerer en betydelig reduksjon av nullgjennomganger nær kysten, men ellers i landet er det ingen klar trend.

Alkalireaksjoner

Flere av Statnetts mastefundamenter er støpt med betongsammensetninger som må anses å være alkalireaktive. Dette betyr at alkalireaksjoner kan utvikles over tid. Hvor fort dette går, vil variere avhengig av flere forhold, blant annet hvor alkalireaktivt tilslaget er, hvor mye sement som er benyttet i betongen, temperatur, samt vanninnhold i betongen.

En antatt økt vannbelastning og økt temperatur forventes å være negativt med tanke på utvikling av alkalireaksjoner. Erfaringer fra andre betongkonstruksjoner, som bruer og dammer, har vist at skadeomfanget er størst på de delene av konstruksjonene hvor vannbelastningen er størst og der temperaturen er høyest.

Sluttkommentar forvitring av fundamenter

Selv om det ovenfor er påpekt at økte klimabelastninger mest sannsynlig øker faren for alkalireaksjoner, er det ikke gjort forsøk på å kvantifisere dette nærmere. Dette er det imidlertid mulig å gjøre ved videre FOU-aktiviteter på området, noe som også ble påpekt i sluttrapporten fra FOU-prosjektet som ble avsluttet i 2001. Som et ledd i et evt. slikt prosjekt er det naturlig å inkludere nærmere oppfølging av utvalgte fundamenter over tid (SINTEF, 2001). Langs kysten vil skader som følge av fryse-/tine belastninger reduseres.



Figur 24: Frostnedbrytning av fundament.

6.3.5 Tremaster - Råteskader i kreosotstolper

Utvikling av råte

For at råtesopp skal starte og utvikle seg i stolpene kreves det fuktighet av en viss størrelse. Fuktighetskravene ved råteutvikling er fritt vann (fuktinnhold > 30 %) ved spiring og en trefuktighet over 20 % for at soppen skal utvikle seg.

De fleste sopper vokser fra +5 °C og varmere og har best vekst ved ca. 24 °C. Ved lavere temperatur enn +5 °C utvikler ikke soppen seg. Dette betyr at både et fuktigere og varmere klima gjennom året vil påvirke hastigheten på utvikling av råtesopp. Høyere temperatur over året betyr at råtesoppene får kortere hvileperioder (i den kalde årstiden) og får altså lenger "vekstsesong".

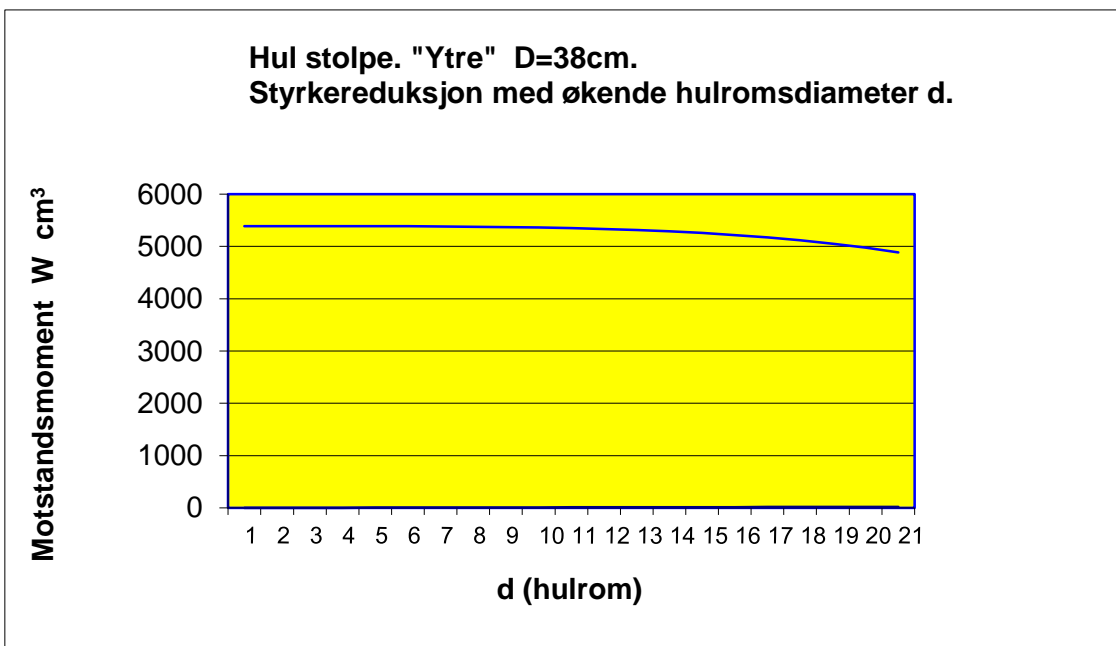
Innvirkning fra marken stolpen står i

Råteskader og den hastighet som råten sprer seg med er mye avhengig av stolpenes plassering i terrenget. Dyrket mark er ugunstig med stor nedbrytningshastighet. I skogsområder er risikoen generelt mindre enn i dyrket mark. Stolper som står i mose/myrområder der stolpene står kontinuerlig i vann er lite utsatt for råteangrep. Om

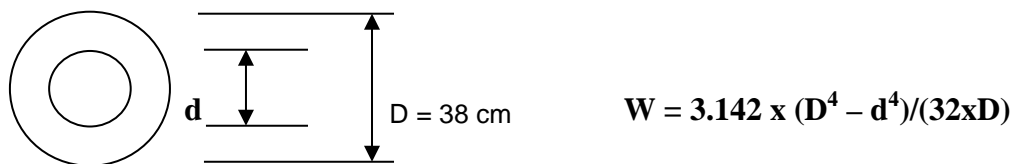
angrep skjer vil dette utvikle seg ca. 30-50cm over vannspeilet. Stolper på fjell er lite utsatt for råteskader.

Råtens angrepsområde

Det er vanlig at kreosotstoper angripes av råte fra litt under jordbåndet og et par meter over jordbånds nivå. I kreosotimpregnerte stolper angripes først uimpregnert yteved (skal egentlig ikke finnes), deretter kjerneved og stolpen blir hul. På denne måten mister den deler av sin styrke. Dette er imidlertid ikke dramatisk for mindre angrep, se Figur 25.



Figur 25: Beregnet styrkereduksjon som resultat av råteskade



Konklusjon trestolper

I et varmere og fuktigere klima må en påregne at råteangrep på kreosotimpregnerte stolper går noe raskere enn før. Det vil imidlertid ikke bli store endringer fordi:

- Høy nok fuktighet for utvikling av råte (>20 %) finnes allerede på mange av stolpene i en kraftledning.
- En temperatur på noen grader vil gi lengre vekstsesong og bedre vekstforhold for utvikling av råtesopper, men effekten av dette på impregnerte stolper vil være marginal.

En må også regne med hyppigere kontroller for å følge med i utviklingen av råteangrep. Ved dimensjonering av stolpene er det normalt ikke tatt høyde for soppangrep (Evans, 2000).

6.3.6 Klimalaster og mekanisk belastning på liner, isolatorer og armatur.

En økning av klimalastene vil til en viss grad kunne påvirke den mekaniske dimensjoneringen av liner, isolatorer og armatur. Hvis klimalastene (våtsnø) blir høyere innover i landet, vil det bety at deler av eksisterende ledninger kan utsettes for høyere klimalaster enn det de er dimensjonert for.

Økte islaster vil redusere linenes bakkeavstand, og i tilfeller med økt snødybde kan det bli behov for å øke linens bakkeavstand for å oppnå tilstrekkelig sikkerhetsavstand i henhold til elektriske forskrifter (EN 50341-1). Det er imidlertid ikke forventet noen økning i snødybde der Statnett har sine ledninger. Linene i Norge utnyttes relativt hardt, opptil 80 % av maksimal belastning, og det er derfor ikke ønskelig med høyere mekaniske utnyttelse av linene.

Klimamodellen indikerer at de sterkeste vindene vil kunne bli enda sterkere i vintersesongen, men det er knyttet store usikkerheter til disse estimatene. Sterkere vind vil føre til økt utsving av isolatorkjeder, spesielt for hengekjeder. Ved maksimal utsving vil dermed isolasjonsavstanden fra line til mast bli redusert, og det blir større risiko for elektrisk overslag inne i masta. Dette gjelder spesielt gamle ledninger som er bygget med I-kjeder som er mer bevegelige enn nåtidens V-kjeder. Ved spenningsoppgradering av gamle 300 kV ledninger med I-kjeder bør dette vurderes.

Linearmatur og isolatorarmatur som benyttes av Statnett er utviklet og utprøvd for å fungere under norske klimalaster. Grunnet de høye islastene i Norge stilles det større krav til armaturens bevegelighet og mekaniske styrke, enn for tilsvarende materiell brukt av andre europeiske nettselskap. Erfaringene fra ledninger med høy mekanisk belastning, slik som ledningen Salten-Svartisen-Rana, er at levetiden på enkelte

armaturtyper er vesentlig kortere enn det man normalt forventer. Større klimalaster vil kunne innebære behov for utskiftning til grovere dimensjonert materiell, f. eks. større behov for forsterkede avstandsholdere.

6.3.7 Klimalaster og mekanisk slitasje på liner, isolatorer og armatur.

Økt mekanisk belastning vil resultere i større slitasje i kontaktpunkter. Det gjelder i kontaktområdet mellom liner og klemmer (hengeklemmer, avstandsholdere, loopklemmer), hvor både line og klemme vil være utsatt for slitasjeskader. I andre sammenkoplingspunkter som sjakler og bolter vil større bevegelse av kjedene kunne føre til mer og raskere slitasje. Det vil gjøre det nødvendig med høyere frekvens på ledningsinspeksjoner, og den forventede levetiden på komponentene reduseres.

Mer våtsnø i innlandet kan føre til at ledningene blir oftere eksponert for forhold som skaper galopperende liner. Galoppering er et fenomen som er vanskelig å forutsi, men mer vind og mer våtsnø skulle tilsi økt risiko for galoppering i relativt flatt og nakent terreng. Galoppering vil i hovedsak føre til mekaniske feil forårsaket av slitasjeskader på armatur, isolatorer og liner, men kan også gi kortvarige elektriske feil ved fasesammenslag. I den senere tid har vi også erfart at galoppering har forårsaket løse dempelopper som har kortsluttet ledninger.

Mulige tiltak kan være å bruke materiell som er kraftigere dimensjonert og som tåler mer slitasje, eller å sørge for at looper, isolatorkjeder eller liner får mindre bevegelighet under høye klimalaster.

6.4 Elektriske forhold

6.4.1 Forurensing i is og snø

Forurensing fra sjøsalt, landbruk eller veisaltning påvirker normalt ikke ledningsisolasjonen på Statnetts ledninger, fordi fluksen av slik forurensing er liten og hyppig nedbør gir effektiv vasking av isolatorene. Problemer kan oppstå på isolasjonen når forurensingen akkumuleres i form av forurenset skyis eller våtsnø. Dette var årsaken til nettsammenbrudd på Vestlandet i januar 1993 og et ”nære på”-tilfelle i Oslo-området i november 1998. Kanskje den viktigste årsaken i begge tilfellene var tilførsel av industriell forurensing og forbrenningsprodukter i form av sulfater og nitrater fra Storbritannia (1993) og Øst-Europa (1998). Oppløst i vann gir disse H^+ -ioner som bidrar mer effektivt til ledningsevnen enn Na^+ og Cl^- -ioner fra sjøsalt.

Utviklingen i Storbritannia har vært at de renser industriutslipp langt mer effektivt for SO₂ nå enn tidligere og på grunn av sammenbrudd i den tidligere Østeuropeiske industrien gjelder det samme der. Derimot er utslippene av nitrater (NO_x) fortsatt høy, særlig fra biltrafikken. Innholdet av sjøsalt i atmosfæren avhenger av stormfrekvensen som ikke ser ut til å endres signifikant. Dermed kan vi konkludere at risikoen for tilsvarende hendelser som i 1993 og 1998 ikke blir høyere enn tidligere.

6.4.2 Lyn

Det er ikke funnet noen relevante studier av endring i frekvens av lyn i Norge som følge av endringer i klimaet. Problemstillingen vil imidlertid antakeligvis bli drøftet i forskningsprosjekter de kommende årene. En konsekvensutredning av dette kan bli aktuelt ved et senere tidspunkt.

6.5 Påvirkning på stasjonsanlegg

6.5.1 Bygg

Stasjonsbygningene er bygget etter retningslinjer fra NVE - Beredskapsavdelingen. Det ventes ikke at klimaendringer vil få noen innvirkning på disse.

Vindpåkjenninger

Høyspentapparater er dimensjonert for maksimalt vindtrykk på 2 kN/m² vinkelrett på vertikal flate. For sylindriske deler er estimert vindtrykk redusert med 50 %. Det regnes med at dette også vil være tilstrekkelig i framtida.

Det har imidlertid vært rapportert om havari av skillebrytere for 420 kV i åpen stilling i sterk vind (åpen bryter gir stort vindfang og stort moment på isolatorer). Disse må derfor holdes under observasjon

For samleskinner har det enkelte steder vært registrert store svingninger ved spesielle vindstyrker og vindretninger, og disse må derfor holdes under observasjon.

Mulige større vindpåkjenninger vil ha betydning for aldring og utmatting av porselen, noe som kan føre til mer hyppig utskifting.

Temperatur

Statnett forlanger at høyspentapparater skal fungere i temperaturområdet fra -40°C til +40°C. Den nedre grensen er noe som enkelte leverandører av effektbrytere fylt med SF₆ gass har vanskeligheter med å oppfylle. Overgang til mildere klima kan derfor gi muligheten til å heve nedre temperaturgrense og dermed få bedre konkurranse med et større utvalg av leverandører.

6.5.2 Skred/flom

De fleste stasjoner ligger i områder med liten fare for skred/flom. Bygging av stasjoner kan imidlertid medføre en betydelig endring av naturlig terreng. Det ferdige stasjonsområdet kan bestå av varierende masser og dreneringen av jordfyllingene kan være av varierende kvalitet. Store nedbørmengder eller stor snøsmelting kan få innvirkning på massenes stabilitet, og det forventes økt hyppighet av flomskred og jordskred i store deler av Norge. Kontroll og vedlikehold av drenering vil i denne sammenheng være et viktig tiltak.

6.5.3 Sikring mot adkomst og berøring

Høyden på gjerder og apparatstativer er dimensjonert ut fra Forskrifter for Elektriske anlegg og det er også tatt hensyn til en viss snødybde ved denne dimensjoneringen. Det forventes en reduksjon av maksimal snødybde over hele landet, med unntak av områder som ligger over 1200 til 1400 moh. Der er med andre ord lite som tyder på noen vesentlig økning i snødybdene i de aktuelle områdene, og gjerder og apparatstativer ansees derfor å være tilstrekkelig høye slik de er bygget i dag.

6.6 Vurdering av endret tilgjengelighet til ledningene

6.6.1 Tilgjengelighet for eksisterende ledninger

Kystnære ledninger

Nær kysten er ofte skybasis svært lav, noe som gir tåkeforhold oppe på åser og i fjellet. Dersom vinden blåser fra havet vil det nesten uten unntak dannes skyer over land som er til hindring for inspisering av ledninger med helikopter i forbindelse med hendelser. Det er ikke noe tydelig signal i klimascenariene på økt frekvens av vind fra havet, men tallene for nedbør tyder økning over hele landet. Dette er særlig tydelig på Øst og Vestlandet i vintermånedene og Vestlandet, Trøndelag og Nord Norge om høsten. Dette

tyder på at tilgjengelighet kan bli redusert som følge av hyppigere skydekke og dårligere flyforhold.

Motorisert ferdsel med snøskuter er avhengig av tilstrekkelig snødekke. For ledninger i lavtliggende kystnære områder kan tilgjengeligheten vinterstid reduseres som følge av mindre snø og dårligere forhold for adkomst med snøskuter. Hendelser på kraftledningene skjer også i størst utstrekning også i vinterhalvåret. I lavereliggende områder under skoggrensa, vil man få større hyppighet av flomskred og våt snøskred. Dette vil neppe føre til vesentlig endret tilgjengelighet til linjene.

Høgfjellsledninger

Endringer i høgfjellet med mildere vær, økt nedbør vil påvirke fremkommeligheten. Økte nedbørsmengder om høsten og vinteren tyder på mere tåke og dårlig sikt, noe som gjør fremkommeligheten både på bakken og i lufta svært dårlig.

På grunn av reduksjon i antall dager med snødekke og maksimal snømengde vil sannsynligheten for snøskred i områder der Statnett har sine ledninger reduseres. Dette kan bidra til å øke tilgjengeligheten til ledningene.

Endrede vindforhold

Som tidligere diskutert er det ikke tydelige signaler på noen økning i gjennomsnittlig vindstyrke i noen region. Sterk vind (ekstremsituasjoner) kan bli litt kraftigere i enkelte områder i enkelte måneder, men det vil trolig gi lite utslag på den totale tiden med adkomstmuligheter til ledningene. Vind i kombinasjon med tørr snø på bakken gir snøfokk, som også gjør fremkommeligheten vanskelig. Dette kan i enkelte områder forekomme sjeldnere da snøen oftere er mer fuktig og har høyere massetetthet, altså en forbedring.

6.6.2 Endringer i vekstrater på skog i ledningstraseer

Felles for landets fremste ekspertise på området er at det ikke kan konkluderes skråsikkert om dette tema. Årsaken ligger i at det er først de siste 30 åra at klimaendring har vært påviselig, og virkninger på vegetasjon mener man først er målbart etter kanskje ytterligere 30 år. Men alle kan bekrefte at det ser ut til at klimaendringen gir øket vekstrate (dvs. høyere bonitet). Det er temperatur og CO₂-innhold i atmosfæren som er de mest betydningsfulle faktorene. Andre lokale forhold vedr ledningstraseer er gjødslings effekt av gjennliggende virke, høyere temperatur i traseen og gjødslingseffekten av at elektriske og magnetiske felt tiltrekker forurensing/nedfall.

Vekstmodeller med forventet økt gjennomsnittstemperatur på 3 °C, gir en forventet heving av bonitet med en klasse.

Det er imidlertid allerede tegn som tyder på en endring. Eksempelvis er det registrert bonitet G20 over 1000 meter og det observeres at tregrensen i nord og sør stiger. Registreringer fra Tokkelinja I Morgedal, viser at en taksert G11 (fra skjønnet i 1960) nå er en klar G17.

Det er andre faktorer som også påvirker og endrer vekstraten på skog og vegetasjon. Den viktigste faktoren er trolig nedgangen i antall beitende husdyr.

7 Sammendrag

Studien Klima i Norge 2100 (Hanssen-Bauer med flere, 2015) beskriver utviklingen i klimatiske forhold i Norge frem mot slutten av århundret på grunnlag av klimafremskrivninger utført i forbindelse med Intergovernmental Panel on Climate Change sin 5. hovedrapport. Man har hovedsakelig behandlet to forskjellige utslippsscenarier der RCP4.5 representerer en betydelig reduksjon av klimagassutslipp og RCP8.5 representerer en fortsatt stor økning. Med utgangspunkt i Klima i Norge 2100 er klimaendringenes betydning for Statnett sine overføringsanlegg blitt vurdert. Vurderingen omfatter følgende:

- Temperatur, nedbør og vind
- Atmosfærisk ising
- Saltavsetning på isolatorer
- Snømengde, snøskred og snøsig
- Løsmasseskred
- Belastninger på master og fundamenter

Dette er gjort i samarbeid mellom Meteorologisk institutt, Norges vassdrags- og energidirektorat, Norges Geotekniske Institutt og Statnett.

7.1 Endringer av klima og klimalaster frem mot slutten av århundret

Temperatur, nedbør og vind

Begge scenarier vil gi en økning i temperaturen frem mot slutten av århundret, og temperaturøkningen blir størst om vinteren. Den er også størst i Nord Norge. Mens

endringen i årsmiddeltemperaturen for landet som helhet estimeres til 1.8 °C for RCP4.5 og 4.5 °C for RCP8.5, estimeres den til henholdsvis 4.4 °C og 7.2 °C for Finnmarksvidda i vintersesongen. Det estimeres også en betydelig økning i årsnedbør, henholdsvis 8% og 18 % for RCP4.5 og RCP8.5. I tillegg forventes det at nedbøren vil bli mer intens, det vil si at antall dager med mye nedbør vil øke, og nedbørsmengden på slike dager blir større. Det er knyttet stor usikkerhet til vind, men klimamodellene indikerer at maksimalvinden vil bli noe sterkere i vintersesongen.

Atmosfærisk ising og saltavsetning på isolatorer

Kombinasjonen av høyere temperaturer og økt nedbørintensitet har betydning for atmosfærisk ising. Temperaturøkningen gjør at atmosfærisk ising knyttet til våt snø vil forekomme mindre hyppig langs hele kysten og i kystnære strøk. Lenger inni landet er det sannsynlig med en liten økning i hyppigheten, og i slike områder vil lastene sannsynligvis øke noe på grunn av mer intens nedbør. Tar man utgangspunkt i RCP4.5 vil dette gjelde størsteparten av Østlandet, indre deler av Trøndelag, Nordland og Troms samt det meste av Finnmark. For RCP8.5 antas en slik økning å være begrenset til høyere liggende strøk i det meste av landet, bortsett fra Finnmark.

Vurderingene av skyis er mer usikre, blant annet på grunn av følsomhet for vind. Utviklingen er sterkt avhengig av hvilket utslippsscenario som blir gjeldende. RCP 4.5 vurderes å gi en økning i skyising for de høyestliggende ledningene til Statnett, mens de øvrige forventes å få en reduksjon. For RCP8.5 blir temperaturøkningen så stor at det er sannsynlig at de fleste av de høyestliggende ledningene også får en reduksjon.

Hvordan avsetning av sjøsalt på isolatorer vil utvikle seg er avhengig av hvilket scenario som blir gjeldende. For scenario RCP4.5 er det vanskelig å påvise endring, men de høyestliggende ledningene på Vestlandet vil muligens bli mer utsatt på grunn av økende atmosfærisk ising. For RCP8.5 forventes en reduksjon i avsetning av sjøsalt på grunn av færre og kortere perioder med tørrvær.

Snøforhold

Det forventes en betydelig reduksjon i både antall dager med snødekke og maksimal snømengde i alle områder der Statnett har ledninger. Lavereliggende, kystnære områder vil kunne bli snøfrie, og utbredelsen av slike snøfrie områder vil være avhengig av hvilket scenario som blir gjeldende. Som følge av denne reduksjonen i antall dager med snødekke og maksimal snømengde vil sannsynligheten for skred mot mastepunkter reduseres for begge utslippsscenarioer. Belastningen fra snøsig kan øke noe som følge av at varmere snø kan føre til raskere bevegelse i snødekke.

Løsmasseskred

I store deler av Norge forventes økt hyppighet av flomskred og jordskred på grunn av økende nedbør. Rekkevidden for slike skred vil kunne øke, og sørpeskred og flomskred

vil kunne løses ut høyere i terrenget enn de gjør i dag. Nye steder vil dermed kunne være utsatt for slike skred.

7.2 Belastninger på Statnett sine anlegg i fremtidig klima

Endringer i belastninger på Statnett sine anlegg er presentert i tabellen nedenfor. Her vurderes Sør Norge (inkludert Trøndelag) og Nord Norge. Både kystnære strøk og innland vurderes, og det skilles mellom lavland og fjell. I Sør Norge vil kategorien lavland i innland være sentrale deler av Østlandet. Tabellen er basert på subjektive vurderinger som i seg selv har en usikkerhet, og der usikkerheten er særlig stor er dette angitt. Både scenario RCP4.5 og RCP8.5 er presentert i tabellen.

		Sør Norge				Nord Norge			
		Kyst		Innland		Kyst		Innland	
		Lavland	Fjell	Lavland	Fjell	Lavland	Fjell	Lavland	Fjell
Master	Islast	RR	ØR*	ØR	ØR*	RR	U*U*	ØØ*	ØØ*
	Vindlast	Ø*Ø*	Ø*Ø*	Ø*Ø*	Ø*Ø*	Ø*Ø*	Ø*Ø*	Ø*Ø*	Ø*Ø*
	Snøskred	RR	RR	RR	RR	RR	RR	RR	RR
	Snøsig	RR	U*U*	RR	U*U*	RR	U*U*	RR	U*U*
	Korrosjon stålmaster	UU	UU	UU	UU	UU	UU	UU	UU
	Råte i tremaster	UU	UU	UU	UU	UU	UU	UU	UU
Fundamenter	Islast	RR	ØR*	ØR	ØR*	RR	U*U*	ØØ*	ØØ*
	Vindlast	Ø*Ø*	Ø*Ø*	Ø*Ø*	Ø*Ø*	Ø*Ø*	Ø*Ø*	Ø*Ø*	Ø*Ø*
	Vann/Høyere GV	ØØ	ØØ	ØØ	ØØ	ØØ	ØØ	ØØ	ØØ
	Forvitring	R*R*	Ø*Ø*	Ø*Ø*	Ø*Ø*	R*R*	Ø*Ø*	Ø*Ø*	Ø*Ø*
Liner, isolatorer og armatur	Islast	RR	ØR*	ØR	ØR*	RR	U*U*	ØØ*	ØØ*
	Vindlast	Ø*Ø*	Ø*Ø*	Ø*Ø*	Ø*Ø*	Ø*Ø*	Ø*Ø*	Ø*Ø*	Ø*Ø*
Adkomstproblemer	Vinter	**	**	**	**	**	**	**	**
	Sommer	**	**	**	**	**		**	**
Trase	Skogtilvekst	ØØ	ØØ	ØØ	ØØ	ØØ	ØØ	ØØ	ØØ

Tabell 9: Vurdering av klimaendringenes betydning. R=Reduksjon, U=Uendret, Ø=Økning. Bokstav til venstre representerer utslippsscenario RCP4.5 mens den til høyre representerer RCP8.5.

* Svært usikkert

** Ikke mulig å trekke noen samlet konklusjon fordi flere faktorer påvirker adkomst

8 Referanser

Boje S., H. Colleuille, G. Devoli (2014) Terskelstudie for utløsning av jordskred i Norge. Oppsummering av hydrometeorologiske terskelstudier ved NVE i perioden 2009 til 2013. NVE og NIFS rapport 43-2014

Bonelli P, M. Lacavalla, P. Marcacci, G. Mariani and G. Stella (2011), Wet snow hazard for power lines: a forecast and alert system applied in Italy, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., no. 11, pp. 2419-2431.

Dyrrdal, A.V., T. Saloranta, T. Skaugen, H.B. Strandén (2013) Changes in snow depth in Norway during the period 1961-2010. Hydrology Research, 44(1), doi:10.2166/nh.2012.064

Dyrrdal, A.V., D. Vikhamar-Schuler (2009) Analysis of long term snow series at selected stations in Norway. MET report 5/2009 Climate, Meteorologisk institutt

Eliasson, A. J., Agustsson, H., Hanneson, G.M., Thorsteins,E., (2013) Modelling wet-snow accretion. Comparison of cylindrical model to field measurements. Atmospheric Icing of Structures , IWAIS 2013 Proceedings

Evans, F (2000) Håndbok Stolpebesiktelse, Oslo

Fikke, S. M. (2005), Modern Meteorology and Atmospheric Icing, IWAIS XI, Montreal

Hanssen-Bauer, I., E.J. Førland, I. Haddeland, H. Hisdal, S. Mayer, A. Nesje, J.E.Ø. Nilsen, S. Sandven, A.B. Sandø, A. Sorteberg og B. Ådlandsvik (redaktører) (2015), Klima i Norge 2100. NCCR rapport 2/2015, ISSN 2387-3027, Norsk klimaservicesenter, Oslo

Hanssen-Bauer, I., H. Drange, E.J. Førland, L.A. Roald, K.Y. Børsheim, H. Hisdal, D. Lawrence, A. Nesje, S. Sandven, A. Sorteberg, S. Sundby, K. Vasskog og B.

Ådlandsvik (2009): Klima i Norge 2100. Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilplassing, Norsk klimasenter, september 2009, Oslo

Hanssen-Bauer, I. and Førland, E. J., (1998), Annual and Seasonal precipitation variations in Norway 1896 – 1997. Report 27, 1998. Norwegian Meteorological Institute, Oslo

Hanssen-Bauer, I. og Nordli, P. Ø. (1998), Annual and seasonal temperature variations in Norway 1876 – 1997. Report 25, 1998. Norwegian Meteorological Institute, Oslo

InfraRisk (2013) Sluttrapport - Impacts of extreme weather events on infrastructure in Norway (InfraRisk). NGI rapport 20091808-01-R, 2013

Kirk, W. W. and H. H. Lawson (1990), Atmospheric Corrosion, STP1239, ASTM

Kristensen, L., O.A. Jensen, G. Devoli, B.K.Rustad, A.Verhage, M. Viklund, J.O. Larsen (2015) Terminologi for naturfare. Naturfareprosjektet: delprosjekt 1 Naturskadestrategi. NVE og NIFS rapport 90-2015

Kronholm, K., K. Stalsberg (2009) Klimaendringer gir endringer i skredhyppigheten. KLIMA 2009 – 3, 34-36 (www.geoextreme.no.)

Mc Innes, H., Haugen, J. E., Kristjánsson, J. E., Nygaard, B. E. K., Rasmussen, R., Solberg S., Blennow, K., Tveito, O. E. (2015), Wind Ice and Snow Load Impacts on Infrastructure and the Natural Environment (WISLINE), Proceedings IW AIS 2015, Uppsala, Sweden

Norges vassdrags- og energidirektorat (2012), Isstorm, Ising på kraftforsyningsnettet, NVE rapport 44 2012.

Norges vassdrags- og energidirektorat (2015) Hvordan ta hensyn til klimaendringer i arealplanlegging". Fakta-ark 3-2015 NVE

Norges vassdrags- og energidirektorat (2013) Jordskred og flomskred. Fakta-ark NVE. www.varsom.no

Nygaard, B. E., L. A. Moen, F. Nyhammer, R. Bredesen, Ø. Byrkjedal, Ø. Welgaard (2015). Monitoring and forecasting ice loads on a 420 kV transmission line in extreme climatic conditions. Presentation at IW AIS, Uppsala

Petcovic, G. (2013) Klima og Transport. Sluttrapport for FoU prosjekt. Statens vegvesens rapporter Nr 210

Skaugen, T., H.B. Stranden, T. Saloranta (2012) Trends in snow water equivalent in Norway (1931-2009) *Hydrology Research*, 43(4), doi:10.2166/nh2012.109

Sokalska, E., G. Devoli, I.L. Solberg, L. Hansen og V. Thakur (2015) Kvalitetskontroll, analyse og forslag til oppdatering av historiske kvikkleireskred og andre leirskred registrert i Nasjonal skredhendelsesdatabase (NSDB). NVE og NIFS rapport 65-2015

Stoffer, M., D. Tiranti and C. Huggel (2014) Climate change impacts on mass movements – case studies from the European Alps. *Science of the total environment*. 493, 1211-1221

Teknologisk institutt (2008), Vurdering av effektene av endrede klimatiske forhold på sinkbeleggs levetid, TI 3420-08-0121

Yang, J., K. F. Jones, W. Yu, and R. Morris (2012), Simulation of in-cloud icing events on Mount Washington with the GEM-LAM, *J. Geophys. Res.*, 117, D17204, doi:10.1029/2012JD017520.

Acknowledgements

Eirik J. Førland, Inger Hanssen-Bauer og Helga Therese Tilley Tajet (Meteorologisk institutt) har vært til stor hjelp som diskusjonspartnere og rådgivere i arbeidet som ledet frem til denne rapporten.

Bjørn Egil Nygaard (Kjeller Vindteknikk), Kjell Åge Halsan (Statnett) og Stephanie Mayer (Uni Research) har bidratt med innspill og rådgivning i forbindelse med arbeidet.

Graziella Devoli, Monica Sund og Søren Boje (NVE) har bidratt med kvalitetssikring og innspill til kapitlet om løsmasseskred.