Isstorm

Ising på kraftforsyningsnettet

Roger Steen (red.)

44
2012

RAPPORT

Isstorm

Ising på kraftforsyningsnettet

Norges vassdrags- og energidirektorat
2012

Rapport nr 44

Isstorm – Ising på kraftforsyningsnettet

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør: Roger Steen, NVE

Forfatter: Bjørn Egil Nygaard Met.no og Svein Fikke.

ISSN 1501-2832

ISBN 978-82-410-0833-7

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 350

Forsidefoto: Illustrasjon: Ola H. Hegdal, NVE alle rettigheter

Sammendrag: Ising på nettet er en av de enkeltfaktorer som har størst økonomiske konsekvenser for investeringskostnadene med nye kraftledninger, uansett spenningsnivå. I tillegg har ising, gjerne sammen med vind, betydelige konsekvenser for driften av hele det elektriske nettet i Norge. Denne rapporten er ment å gi leseren en grunnleggende innføring i isens betydning for kraftledninger.

Emneord: Isstorm, ising, nett, underkjølt regn, skyising, atmosfærisk ising, historiske islaster, snølaster, klimaendringer effekt på ising, dimensjonering av nettet, kraftforsyningsberedskap, forsyningssikkerhet

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

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

November 2012

Innhold

NVEs forord **4**

Sammendrag **5**

1. Ising og kraftledninger **7**

2. Isingsprosesser **9**

3. Akkumulasjon på liner **10**

3.1 Parametere som styrer akkumulasjon av is på liner 10
3.2 Effekt av linediameter 10

4. Virkning av topografi og klima **13**

4.1 Storskala forhold 13
4.2 Lokale forhold 14

5. Regionale isingsforhold i Norge **16**

5.1 Østlandet 16
5.2 Sørlandet 16
5.3 Vestlandet 16
5.4 Møre og Sør-Trøndelag 17
5.5 Nord-Trøndelag og Nordland 17
5.6 Troms og Finnmark 17

6. Systemer for måling og overvåkning **18**

6.1 Isstativ 18
6.2 Prøvespenn 19
6.3 ISO 12494-måleren 21

7. Klimaendringer og ising **24**

7.1 Generelt 24
7.2 Ising 24

8. Muligheter med Meteorologiske modeller **25**

8.1 Muligheter for daglige isingsprognoser 29

9. Anbefalinger om registrering og modellering **30**

10. Referanser **32**

11. Tillegg I **34**

Observasjoner av ising på Lønahorgi nedskrevet av Svein M. Fikke 34

NVEs forord

Denne rapporten er bestilt av NVE fra Meteorologisk institutt. Hovedhensikten med rapporten er å bidra med kunnskap og bevissthet i planlegging, drift og beredskap innen kraftforsyningen om snø- og islaster på kraftledninger, hvordan det oppstår og ikke minst hva klimaendringer kan medføre av endringer i fremtiden.

Denne rapporten gir ulike eksempler på store isingstilfeller med påfølgende store samfunnsmessige konsekvenser, både her til lands og i utlandet.

Ising oppstår ikke ofte med ødeleggende kraft, men når den oppstår over større områder vil den kunne representere en betydelig risiko i forhold til forsyningssikkerheten. Det er et mål at kunnskap om ising tas med i selskapenes videre arbeid med å forebygge og begrense skadevirkningene av slike hendelser i fremtiden.

NVE vil takke Bjørn Egil K. Nygaard, Meteorologisk Institutt og Svein Fikke, Meteorologisk konsulent for arbeidet med denne rapporten.

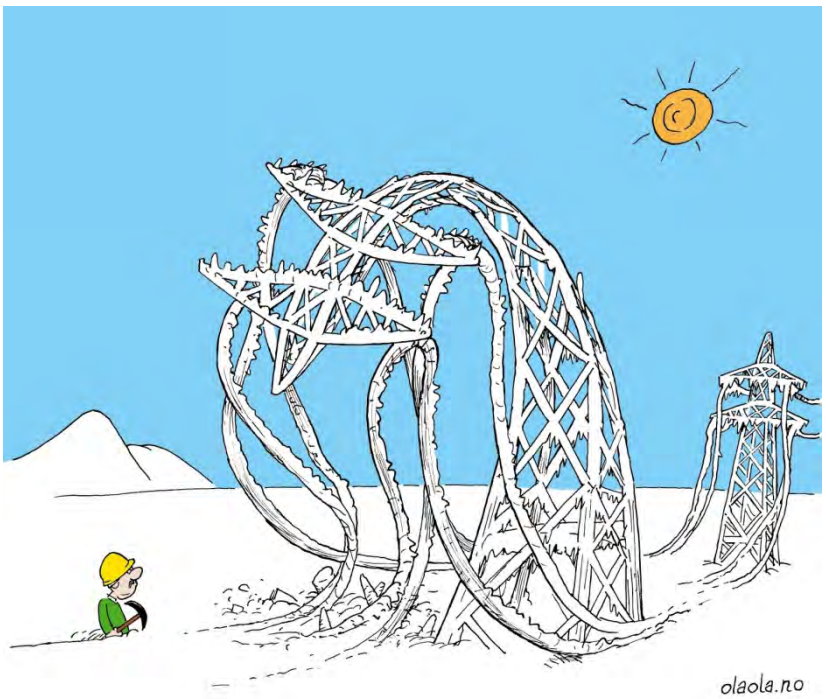
Oslo, november 2012

Arthur Gjengstø
seksjonssjef
beredskapsseksjonen

Roger Steen
teamleder øvelse og beredskap
beredskapsseksjonen

Ising på kraftnett

- *I dag og i et klimaperspektiv*



Illustrasjon: Ola H. Hegdal, NVE alle rettigheter

Forfattere: **Bjørn Egil K. Nygaard**, Meteorologisk Institutt og **Svein Fikke**, Meteorologisk konsulent. Denne rapporten bygger på forfatternes erfaring, forskning, anbefalinger og konklusjoner.

Sammendrag

Atmosfærisk ising er en av de enkeltfaktorer som har størst økonomiske konsekvenser for investeringskostnadene med nye kraftledninger, uansett spenningsnivå. I tillegg har ising, gjerne sammen med vind, betydelige konsekvenser for driften av hele det elektriske nettet i Norge.

Denne rapporten oppsummerer en del momenter om islaster på kraftledninger. Til innledning er det er det gitt en del eksempler på større isingstilfeller med store samfunnsmessige konsekvenser, både i Norge og utlandet. Dernest er de forskjellige fysiske prosessene i atmosfæren som fører til ising på kraftledninger omtalt. I Norge er ising fra våt snø og underkjølte vanndråper i skyluft viktigst for kraftledningsnettet. Underkjølt regn forekommer også i Norge, men har mindre betydning i denne sammenhengen. De viktigste

mekanismene som bestemmer isakkumulasjonen på fleksible liner er også omtalt, og hvordan normer og forskrifter har behandlet dette.

Atmosfærisk ising på kraftledninger er sterkt avhengig av topografi og lokal eksponering i terrenget. I tillegg er det store variasjoner i Norges geografi og klima som medfører store forskjeller fra landsdel til landsdel. Disse er omtalt generelt.

Atmosfærisk ising er ikke et værelement som inngår i generelle meteorologiske varslingsmodeller og rutiner. Det finnes derfor ingen måledata utenom det brukerne selv har skaffet til veie gjennom egne måleprogrammer. I Norge finnes slike data dessverre i svært begrenset omfang. Rapporten omtaler kort hvordan atmosfærisk ising er blitt målt både i Norge og utlandet.

Det globale klimaet er i endring på grunn av antropogene utslipp av drivhusgasser. Dette har også konsekvenser for atmosfærisk ising. Det er foreløpig ikke mulig å kvantifisere dette, spesielt på grunn av store usikkerheter i klimaprognosene. Vi har likevel oppsummert en del mulige kvalitative endringer i isingsforholdene med den generelle kunnskapen vi har i dag.

I de siste årene er det blitt mulig å inkludere modeller for akkumulasjon av ising, i form av både våt snø og ising i skyluft, i numeriske værvarslingsmodeller. Rapporten oppsummerer kort noe av det arbeidet som er gjort, og fortsatt pågår, ved Meteorologisk Institutt (met.no). Det er etter hvert mange eksempler som viser at slike modeller vil ha et stort bruksområde i framtiden. Spesielt er det verdt å framheve at met.no har utviklet helt nye kart for ising i form av både våtsnø og skyis, for Storbritannia til bruk i deres nye dimensjoneringsstandard for kraftledninger.

Rapporten gir til slutt noen anbefalinger for tiltak som kan bedre kunnskapen om atmosfærisk ising og dimensjonerende islaster i Norge betydelig, både ved hjelp av målinger, observasjoner og modellering.

1. Ising og kraftledninger

Islasten på kraftledningsliner er den enkeltfaktoren som påvirker investeringskostnadene mest, både ved nybygging og oppgraderinger av eldre ledninger. Samtidig er islastene den miljøfaktoren som er minst kjent, usikkerhetene er ofte stipulert til +/- 40%, som igjen betyr en "usikkerhet" i investeringskostnadene på inntil 10% (verdier bekreftet fra Statnett). Tilsvarende er også ising, gjerne sammen med sterk vind årsak til statiske og dynamiske påkjenninger på ledninger i driftsfasen, og dermed også en vesentlig faktor for drifts- og vedlikeholdskostnadene i både sentralnettet, regionalnettet og fordelingsnettet. Noen eksempler på islaster og havarier i det norske nettet er vist i Figur 1.

a)

Foto: Olav Wist

b)

Foto: Svein M. Fikke

c)

Foto: Eidsiva Energi

d)

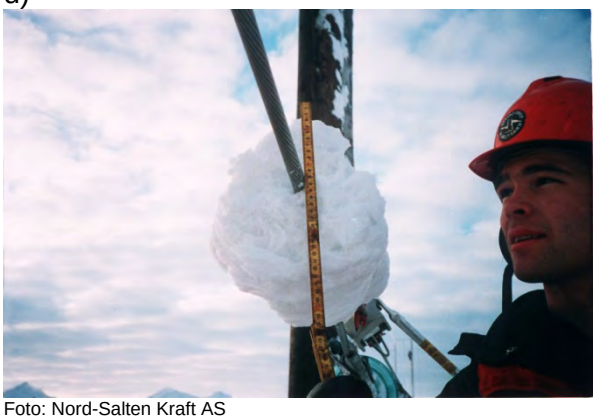


Foto: Nord-Salten Kraft AS

Figur 1. Eksempler på islaster på kraftledninger i Norge.
a) viser et klassisk eksempel fra Lønahorgi (1400 m over havet) ved Voss i april 1961. Islasten ble i dette tilfellet målt til 305 kg/m (se Tillegg 1. for nærmere beskrivelse).
b) Havarert mast på 300 kV ledningen Aurland - Fardal etter brudd 30.12.1975.
c) Våt snø på 22 kV ledning.
d) Skyising på 66 kV ledning i Steigen februar 1994.

I Norge har vi store variasjoner i klima fra landsdel til landsdel, og fra lavlandet til høyfjellet. Dette medfører også store variasjoner i hvilke typer islaster vi har og ikke minst hvor store lastene kan bli i forskjellige deler av landet.

Ising er et kjent fenomen også i andre land. De største hendelsene er beskrevet i Cigre TR 344 “Big Storm Events. What we have learned”, utgitt av WG B2.06 i 2008. I Figur 2 er det vist bilder fra noen hendelser i Europa og Canada. Den “store isstormen” som rammet Quebec og Ontario i Canada, og flere delstater i det nordøstlige USA i januar 1998 skyldtes underkjølt regn som vedvarte nesten en uke, Figur 2 d). De samfunnsmessige skadene ble vurdert til drøyt 4 milliarder CAD bare for provinsen Quebec.

a)

Foto: Deutschländer, and Wichura (2005)

b)

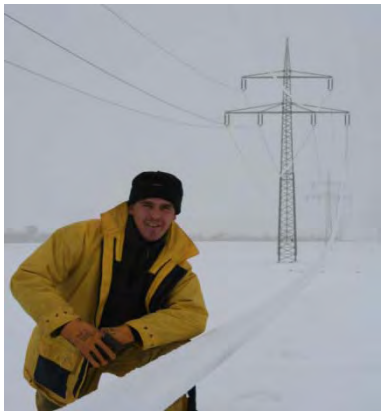


Foto: Kießling and, Wichura (2009)

c)

Foto: Iberdrola, Spania

d)

Foto: Michel Lacroix (http://www.darkroastedblend.com/2007/10/ice-storms.html)

Figur 2. Eksempler på islaster på kraftledninger i utlandet.
a) og b) Eksempler på våtsnø i Tyskland, Nederland og Belgia i november 2005.
c) Ising på kraftledning til en vindmøllepark i Spania
d) Viser et eksempel fra "The great ice storm” Canada 1998.

I tillegg er det gjennom mange år rapportert mange alvorlige tilfeller med våt snø som har påført store skader på ledningsnettet i Storbritannia, bl.a. i “The Midlands” 8. desember 1990 da om lag 250 000 kunder mistet strømmen etter utfall av rundt 700 enkeltkurser.

Det framgår av dette at det har stor samfunnsøkonomisk betydning at vi kjenner hvilke isingsprosesser som gjelder for de ulike delene av landet, hvor ofte alvorlige isingstilfeller opptrer, hvor store islastene kan bli, og ikke minst hva aktuelle scenarier for utviklingen i vårt klima kan medføre for slike forhold.

Denne rapporten forsøker å beskrive den kunnskapen vi har i dag på disse temaene og gi anbefalinger om hvilke tiltak elforsyningen kan treffe for å sikre sine eiendeler og samtidig ivareta samfunnsøkonomiske forhold på best mulig måte, særlig med tanke på bruk av meteorologisk kunnskap, informasjon og moderne teknikker for bruk av meteorologiske modeller for både analyser av historiske forhold og spesialvarsling av værforhold som påvirker den daglige driften av nettet.

2. Isingsprosesser

Atmosfærisk ising er et fellesbegrep for prosesser i atmosfæren som fører til at vann i forskjellige stadier fester seg (fryser) til kraftledninger og andre objekter som befinner seg i luftlaget nær bakken. Til tross for at alle prosessene opptrer ved lufttemperaturer nær frysepunktet for vann, så er det store forskjeller mellom dem. For å forstå lokale forhold er det derfor viktig å forstå noen fysiske grunnprinsipper i disse prosessene.

Vi skiller vanligvis mellom hovedtypene *skyis* og *nedbøris*. Nedbøris deles igjen i to typer: 1) våt snø og 2) underkjølt regn.

- ***Skyis*** inntreffer i tåke (som er en sky som er i kontakt med jordoverflaten) som inneholder flytende vanndråper som er underkjølt ved at lufttemperaturen er under 0 °C. De små skydråpene fryser umiddelbart når de treffer objekter i luftstrømmen. Belegget blir som regel porøst (tørr vekst), men i noen tilfeller kan det bli hardt og nesten gjennomsiktig (våt vekst). Skyising kan foregå over lang tid, gjerne uker, så lenge det er tilførsel av fuktig luft som danner skyer med basis under den aktuelle høyden over havet. Skyis forekommer derfor gjerne mest i eksponerte kystfjell, men kan også forekomme i innlandet der det ikke er høyere fjell som gir skjerming mot vindretninger som transporterer fuktig luft inn over området.

- ***Våt snø*** forutsetter at fallende snøflak er delvis smeltet og at flakene inneholder en blanding av iskrystaller og vann. Det er de indre kapillarkreftene i den våte snøen som gjør at den blir klabbete. Er vannfraksjonen for høy blir snøen så våt at den ikke kan feste seg til noe. Samtidig må den ikke være for tørr. Det er alminnelig antatt at våt snø er klebrig innenfor et ganske snevert temperaturintervall, sannsynligvis ikke mer enn ca 1,5 grad. Det forekommer da oftest mellom +0,5 °C og + 2 °C (ca). På grunn av dette snevre temperaturintervallet vil våt snø opptre innenfor et snevert høydeintervall (100 – 200 m), eller et smalt belte innenfor kysten, fra gang til gang. Da vil også høyden det opptrer i, eller avstanden fra kysten, variere fra gang til gang. Våt snø er den mest vanlige isingsformen på kraftledninger i Norge.

- ***Underkjølt regn*** forutsetter nedbør kombinert med en temperatur*inversjon* nær bakken. Det vil si at temperaturen nær bakken er under frysepunktet og stiger med høyden (inversjon) til et maksimum over frysepunktet noen titalls eller noen få hundre meter over bakken. Vi får da et *smeltelag* over bakken og et *fryselag* nær bakken. Snø som faller ned i smeltelaget kan da smelte helt til regndråper som i sin tur blir underkjølt i fryselaget og kan dermed gi et belegg av klar is som er vanskelig å

fjerne. Underkjølt regn har liten betydning for kraftledninger i Norge fordi mengdene blir svært små hos oss.

Som det framgår av dette er *våt snø* den viktigste isingsformen for det norske kraftledningsnettet fordi den kan ramme alle deler av landet og i alle høyder. Spesielt gjelder dette fordelingsnettet. *Skyis* opptrer i fjellet og bare der som ledningen er eksponert mot lavt skydekke. *Underkjølt regn* har mange opplevd nesten over hele landet, men bare i relativt små mengder. De største mengdene forekommer gjerne i et belte langs kysten fra Telemark omtrent til Boknafjorden, men selv her er mengdene for små til at de har betydning for kraftledningsdimensjonering.

3. Akkumulasjon på liner og isolatorer

Intensiteten til isingen avhenger av flere meteorologiske faktorer i tillegg til egenskapene til objektene (linene) som akkumulerer isen.

3.1 Parametere som styrer akkumulasjon av is på liner

Det er utenfor rammen av denne rapporten å beskrive alle prosessene som påvirker isakkumulasjonen på liner. Men de viktigste parameterne som avgjør veksten av is på linene er:

- Vanninnhold i skyluft eller snøkrystaller
- Dråpestørrelsen (skyis)
- Nedbørintensitet (våt snø og underkjølt regn)
- Lufttemperatur
- Vindhastighet på tvers av lina

De viktigste egenskapene til objektet er:

- Dimensjoner (diameter) av tverrsnitt
- Torsjonsstivhet
- Overflate

Den mest utfyllende beskrivelsen av atmosfærisk ising på kraftledninger, isolatorer og stasjoner finnes i boka:

M. Farzaneh (red): Atmospheric Icing of Power Line Networks. Springer 2008, VI. ISBN 978-1-4020-8530-7.

Det er likevel relevant å se litt på effekten av linediameteren (torsjonsstivheten) siden den har vært brukt på en fysisk uriktig måte i eldre norske normer og forskrifter.

3.2 Effekt av linediameter

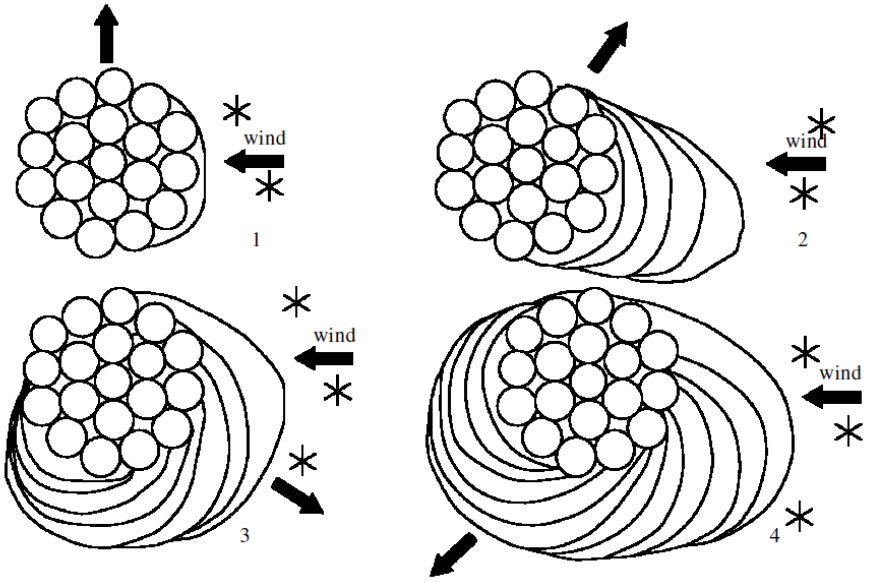
Generelt er det slik at isen vokser raskest på små tverrsnitt. Små liner har liten torsjonsstivhet og roterer lett. Dermed bygger det seg opp et mer eller mindre sirkulært

belegg etter hvert. Dette kan observeres lett hver vinter. Vi ser også ofte at det er mer is eller snø midt i spennet enn det er nær mastene. Nær mastene har ikke lina samme mulighet for å vri seg rundt, mens midt i spennet er det lett å vri lina rundt mange ganger for hånd.

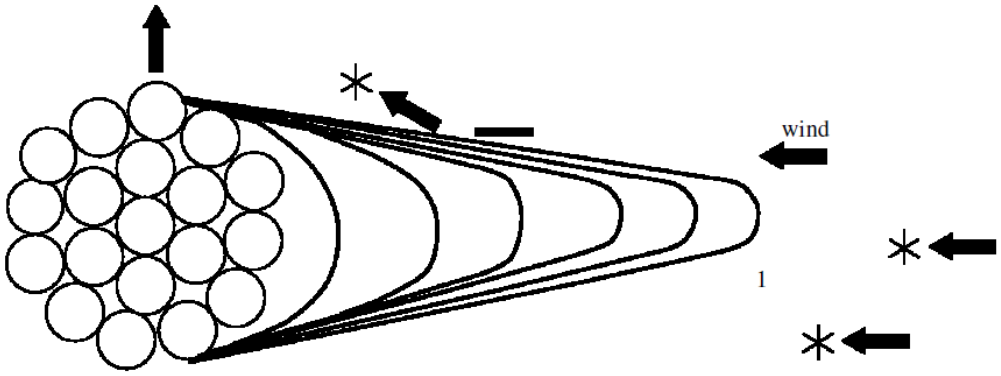
På store linetverrsnitt eller staver i fagverk og lignende bygger isen seg bare opp mot vinden hele tiden til et trekantet tverrsnitt. I spissen av trekanten blir isen tynn og brekker av, så danner det seg en ny spiss som igjen brekker av, og så videre. Figurene 3 og 4 illustrerer hvordan våt snø og skyis akkumuleres på fleksible og stive liner (Sakamoto 2000).

Det følger av dette at de største islastene forekommer på liner som er fleksible nok til å rotere flere ganger.

Det samme prinsippet gjelder også enkeltledere og flerledere, men dette er ikke relevant for fordelingsnettet (20 kV).



Figur 3. Oppbygging av våt snø på en fleksibel line (Sakamoto 2000).



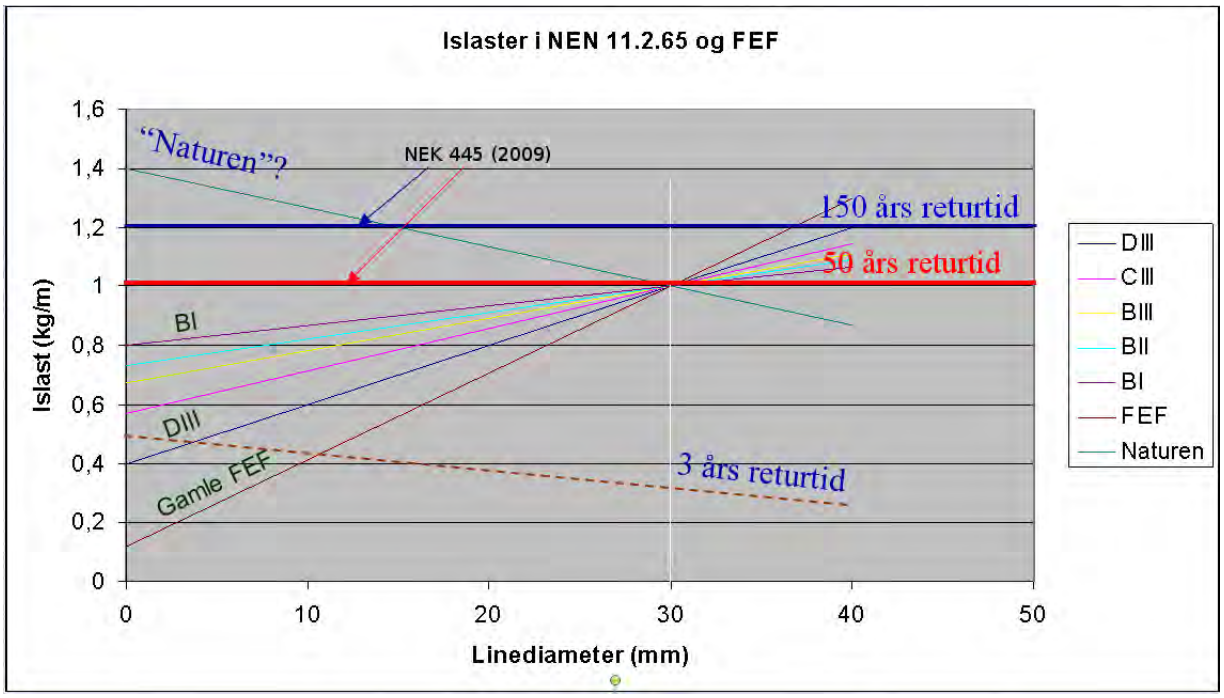
Figur 4. Oppbygging av våt snø på en stiv line (Sakamoto 2000).

Etter dette er det åpenbart at gamle normer og forskrifter bygger på et feilaktig prinsipp når de har hatt angitt islaster som er økende lineært med linediameteren. Figur 5 viser en

sammenligning med islastene i NEN 11.2.65 (soner B-D og ledningsklasser I-III) og gamle FEF. Slik akkumulasjonsteorien er beskrevet ovenfor skulle vi derfor heller hatt en funksjon med avtakende islast med diameteren, slik som linjen merket ”Naturen”. Islastene i Figur 5 er normert til 30 mm linediameter og returtid lik 50 år.

Siden denne funksjonen fortsatt er lite kjent, har den norske normen av 1996 (NEK 609), og senere NEK 445:2009 “Luftledninger over 1 kV” innført konstant islast som funksjon av linediameteren. Figur 5 sammenligner også effekten av returtider. Dersom vi går ut fra kurven for ”Naturen” med returtid 50 år, så vil liner med diameter nær 10 mm og som er dimensjonert etter gamle FEF i praksis være dimensjonert for returtider for last i området 3 – 5 år.

Det er derfor viktig at netteierne følger med på hvordan slike ledninger oppfører seg, ikke bare med hensyn til skader og brudd, men også med hensyn til sig og klaringer til bakken og underliggende objekter.



Figur 5. Islaster som funksjon av linediameter. Eksempler fra gamle (NEN 11.2.65), eldre forskrifter (FEF) og nyere normer (NEK 609 og NEK 445:2009) (Skisse: Svein M. Fikke)

3.3 Forurenset is på isolatorer

Forurensing fra sjøsalt på isolatorkjeder er normalt ikke et problem i Norge fordi stor frekvens av regn langs kysten vanligvis vasker bort saltbelegg før det får elektriske konsekvenser. Men forurensing, både i form av sjøsalt og antropogene komponenter som nitrater og sulfater, følger ofte med små vanndråper i skyluft. Dersom temperaturen er under frysepunktet kan disse dråpene fryse på isolatorkjeder som skyis, og isingen vil derfor akkumulere slik forurensing på isolatorene. I løpet av 1980- og 1990 årene var det en rekke utfall i sentralnettet av denne grunn, særlig på Vestlandet. 15. januar 1993 førte dette til sannsynligvis det største sammenbruddet i sentralnettet i Sør-Norge noen gang, der store

deler av Vestlandet ble mørklagt. På grunn av påfølgende temperaturøkning som førte til at isen smeltet av utover morgenen den 16.11. ble mørkleggingen denne gangen relativt kortvarig.

Fenomenet og prosessene er nærmere omtalt i (Fikke, S.M., Hanssen, J.E. og Rolfseng, L. 1993) og (Fikke, S.M. og medarbeidere, 1994). Det er grunn til å legge merke til at antropogene komponenter som nitrater og sulfater bidrar mer effektivt til økt ledningsevne i smeltevann enn sjøsalt. Grunnen til dette er at hvert sulfat- eller nitratmolekyl gir 2 H^+-ioner som beveger seg raskere i en elektrolytt enn tyngre Na^+ og Cl^- ioner.

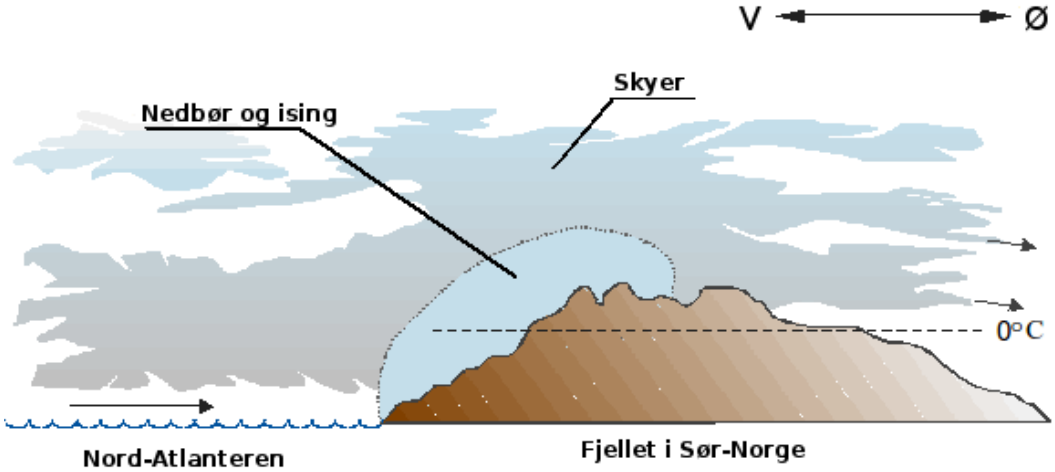
I de siste 15-20 årene har langtransportert forurensing avtatt fra Storbritannia og det kontinentale Europa, men det kan være fortsatt grunn til å vurdere dette fenomenet i forbindelse med mulig planlegging av HVDC ledninger i norsk fjellterreng.

4. Virkning av topografi og klima

Beliggenheten og den generelle topografien preger klimaet i Norge. Dette gjelder alle værelementene som temperatur, vind, nedbør og skyer. Dermed blir også isingsforholdene sterkt preget av topografien, både på stor skala mellom forskjellige landsdeler og på mindre skala som funksjon av avstanden til kysten, høyde over havet, skjerming fra fjerntliggende og nærliggende fjell, osv. Det vil føre for langt å beskrive alle faktorer i detalj, men det er viktig å ha oppmerksomhet på noen av de viktigste i forbindelse med planlegging og dimensjonering av kraftledninger i Norge.

4.1 Storskala forhold

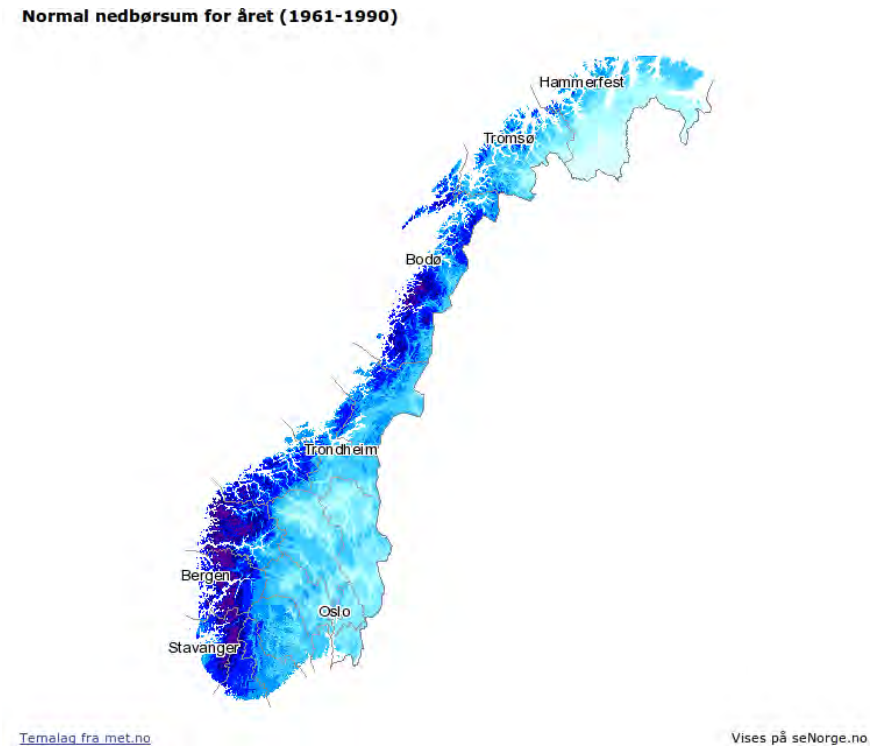
Figur 6 viser et tverrsnitt av Sør-Norge fra Vestlandet til Østlandet.



Figur 6. Tverrsnitt V-Ø over Sør-Norge. Figuren viser hvordan nedbør og ising (særlig skyising) er sterkest på Vestlandet og på vestsiden av Langfjella. (Skisse: Svein M. Fikke)

Norge ligger med hovedakse fra sørvest til nordøst. Samtidig ligger er det et kystland eksponert for vestavindsbeltet som fører fuktig luft fra Nordsjøen, Atlanterhavet og Norskehavet. Langfjella og andre kystfjell lenger nord medfører at disse fuktige luftmassene blir hevet og dermed avkjølt innover i landet. Dette medfører i sin tur at mer fuktighet utløses

til nedbør. Videre innover i landet avtar nedbøren igjen fordi det blir mindre fuktighet tilgjengelig. Figur 7 viser hvordan den normale nedbørfordelingen er for Norge.



Figur 7. Normalkart (1961-90) for årsnedbør i Norge. (Kilde www.seNorge.no)

Figur 7 er hentet fra www.seNorge.no. Dette er en nettside som inneholder svært mange og gode kartframstillinger av et stort utvalg meteorologiske og hydrologiske parametere for Norge. Det er også mulig å hente fram slike framstillinger for lokale og avgrensete områder i landet. Alle underlagsdata, i form av daglige observasjonsdata for værparametere for alle værstasjoner og nedbørstasjoner som drives, eller har vært drevet, av Det norske meteorologiske institutt (met.no), er tilgjengelige på Meteorologisk institutts hjemmeside (www.met.no) eller www.yr.no. Dette er derfor en utmerket kilde for værdata også for spesifikke hendelser i kraftledningsnettet (aktuelle eller historiske).

4.2 Lokale forhold

I forbindelse med prosjektering av en kraftledning i områder der det er sannsynlig at det gjør seg gjeldende spesielle forhold er det viktig å tolke terrenget for å undersøke hvordan disse kan påvirke både islaster og vind.

Det er ikke mulig å gi en fullverdig og generell omtale av alle slike effekter, men det er noen punkter som kan være verdt å huske på:

- Det blåser sterkere på langs enn på tvers av daler og fjorder.
- Et viktig unntak fra punktet ovenfor kan være rotordannelse i daler i forbindelse med sterk vind i høyden som blåser litt skrått over en langsgående fjellkam.
- Ledninger som ligger inntil dalsider eller fjellvegger har mindre vindkomponent på tvers enn ledninger ute på flatere områder

- Ledninger som er eksponert mot ising og vind fra havet kan være godt skjermet hvis den ligger tett inntil en bakenforliggende fjellside
- Høyde over havet betyr lite dersom det er god dekning fra høyere fjell mot fuktig luft
- Risiko for våtsnø øker med økende ekstremer for 24 timers nedbør i vinterhalvåret
- Vinden er ofte sterk over frittliggende fjelltopper og markerte høyder i terrenget. Dette øker også isingsfaren
- Pass på hvis du kan skimte havet fra traseen og du nærmer deg kote 300 på Vestlandet, kote 200 i Trøndelag og Nordland og kote 100 i Troms og Finnmark
- En markant fjellrygg som ligger mer enn 50 m over linehøyde kan være tilstrekkelig dekning mot skyis
- På et (fjell)platå er det kraftigst ising på kystsiden. Lengre inn på platået, og bort fra den eksponerte kanten, vil isingsrisikoen avta
- Våtsnø kan være mer alvorlig på lesiden av en avrundet fjellrygg enn på losiden i samme høyde! Dette skyldes a) en tilnærmet laminær (ikke turbulent) vindstrøm over slike rygger og b) oppvarming av luften som følger terrenget nedover på lesiden.

5. Regionale isingsforhold i Norge

5.1 Østlandet

Nedbøren over Østlandet kommer som regel med vind fra sektoren NØ – Ø – SØ – S. Regnbyger kan også forekomme med overliggende vind (høydevind) omkring NV, men denne nedbøren har sjelden effekt på akkumulasjon av våtsnø på Østlandet.

Figur 7 viser at det er relativt lite nedbør over Østlandet. Særlig er det lite nedbør nordover i Hedmark og Oppland. Disse områdene ligger ganske høyt, for eksempel ligger Femunden på 662 m oh og Savalen på drøyt 700. Sammen med lite vinternedbør fører de lave temperaturene til at risikoen er liten for betydelig mengder nedbør omkring 0 °C i de områdene der storparten av bebyggelsen ligger. Dermed blir islastene lave her selv om områdene ligger høyt. Men over 800 – 900 m nivået kan man fort bli eksponert mot ising i skyluft fra østlig kant.

5.2 Sørlandet

Agderfylkene er mest utsatt for nedbør fra sektoren NØ – Ø – SØ. Nedbør fra denne sektoren kan vedvare i flere dager og store nedbørmengder kan gi store laster av våtsnø, særlig i et belte som ligger anslagsvis 20 – 30 km parallelt med kystlinjen (maksimumssone for nedbør). På grunn av stor risiko for at slike situasjoner kan vare lenge, er det også stor risiko for at beltet med våtsnø pendler fram og tilbake (mot kysten og mot innlandet), eller i høydenivå, slik at større områder kan rammes i en gitt situasjon. Siden det om vinteren ofte kommer nedbør som regn ved kysten og tørr snø i innlandet, vil det svært ofte være et belte (eller høydenivå) der det forekommer våtsnø i de fleste nedbørsituasjoner om vinteren. Langs kysten kan det også komme nedbør fra S, men vinden avtar gjerne raskt innover i landet. Vind fra SV og V kan også gi nedbør, men temperaturen er gjerne for høy til å gi våtsnø langs kysten. Bygevær fra NV kan gi våtsnø, men varigheten er kort.

I de sørlige og sentrale delene av Agder er det liten sannsynlighet for skyis under kote 400. I de nordre delene av Aust-Agder, særlig Valle og Bykle, er det økende fare for skyis over kote 500.

5.3 Vestlandet

Våtsnø forekommer ofte på Vestlandet på grunn av at det ofte forekommer store nedbørmengder. I enkelte tilfeller kan det komme relativt store våtsnømengder i løpet av kort tid i forbindelse med nordvestlig vind også ute ved kysten. Vind fra SV er mild og kommer som regn langs kysten og i lavlandet i et bredt belte innenfor kysten, slik at våtsnø forekommer helst lenger innover i landet med denne vindretningen.

Store mengder våt snø kan forekomme alle steder innenfor kysten, men på grunn av svært varierende topografi vil denne snøen bare påvirke ledningsnettet innenfor relativt små områder, eller høydenivåer, hver gang.

Skyis kan forekomme over kote 400 der det ikke er skjerming mot kysten. Isingen øker stort sett med høyden over havet. Innenfor kystfjellene kan det mange steder regnes for moderate islaster i mye større høyder der det er god skjerming.

5.4 Møre og Sør-Trøndelag

Kystlinjen fra Stadlandet og nordover til Trondheimsfjorden har hovedretning SV – NØ, altså parallelt med den mest framherskende vindretningen. Dette betyr at det ofte er oppholdsvær i dette området når det regner kraftig lenger sør. Omvendt er denne strekningen mer utsatt for vind og bygenedbør fra NV. Slike byger kan bli kraftige i dette området og gi store snømengder på kort tid. Også her er det gjerne et belte med våtsnø i overgangen mellom regn og tørr snø i innlandet. Som på Vestlandet er det gjerne små områder som blir rammet i hvert tilfelle.
Skyis kan forekomme over kote 300 i områder som er utsatt mot NV.

5.5 Nord-Trøndelag og Nordland

Figur 7 viser at det er relativt store nedbørmengder langs hele kysten til Salten. Nord for Bodø er det mest nedbør i innlandet. Selv om vind fra SV fortsatt er mild, øker risikoen for våtsnø også fra denne vindretningen i kystnære områder.

Risikoen for skyis øker over ca kote 300 langs kysten og kanskje fra kote 200 i innlandet. På grunn av synkende temperaturer i atmosfæren nordover vil det også være mindre tilgjengelig vann i skyluften slik at islastene ikke blir like ekstreme som de kan bli på Vestlandet.

5.6 Troms og Finnmark

Lofoten og fjellene i Vesterålen og Ofoten virker som en betydelig skjerm mot nedbør og lavt skydekke med vind omkring SV. Vind fra V og NV er betydelig kaldere og dermed blir det også mindre tilgjengelig vann i atmosfæren. Dette fører til mindre islaster på grunn av både våtsnø og skyis totalt, men faren for skyis øker raskt over kote 200 langs kysten. I innlandet, spesielt på Finnmarksvidda, er nedbørmengdene svært lave og det er også sjeldnere at nedbøren kommer som våtsnø. I indre Troms og på Finnmarksvidda er det viktig å være oppmerksom på skyis i forbindelse med vind fra Ø – SØ, siden det er lite fjell som skjermer mot denne sektoren i Nord-Sverige. Våtsnø kan forekomme med vind omkring NV hele året.

I Øst-Finnmark er det viktig å være oppmerksom på vind fra NØ – Ø som kan være kald og føre med seg lavt skydekke (ishavsskodde) hele året.

6. Systemer for måling og overvåkning

6.1 Isstativ

I forbindelse med den store vannkraftutbyggingen i Norge i 1970 og 1980 årene ble det på initiativ fra Kratfledningsavdelingen i Statkraft utviklet et stativ for å måle islaster, og de første stasjonene ble satt i drift i 1979. Stativet som vist i Figur 8. består av en 10 meter lang sylindrisk stålstang hengt opp i to 5 meter høye fagverksmaster, med dynamometer i det ene opphenget for å måle lasten. Stanga er festet med kulelager slik at det kan rotere under isakkumulasjonen, omtrent på samme måte som en ledning roterer i et virkelig spenn.

Figur 8. Isstativ i drift ved Skibotndalen i Troms (2009). Foto: Bjørn Egil Nygaard.

I perioden fra 1983 til 1998 ble det satt opp 23 stasjoner, alle utstyrt med dynamometre med visere for maksimum last siden forrige nullstilling. I hovedsak ble stativene ettersett og avlest en gang i året, noen ganger var det også en vinterinspeksjon, fram til sommeren år 2000. Stasjonene ble opprinnelig plassert i mulige traseer for planlagte kraftledninger.

I årene 1998-2000 ble driften og tilsynet til stasjonene avsluttet, slik at de lengste dataseriene stoppet på 20 år. De siste få årene ble noen utvalgte stasjoner utstyrt med digitale loggere som lagret lasten hver tredje time. I forbindelse med utbygging av ny 420 kV Balsfjord Hammerfest ble driften av stasjonen ved Skibotn gjenopptatt i 2008. Nye dynamometere med digitale loggere ble installert og laster ble logget hvert 10 minutt de påfølgende vintersesongene.

Erfaringene med disse isstativene har relativt tilfredsstillende, men måleseriene med kun årlig maksimum har også inneholdt noen inkonsistente verdier. Visuell inspeksjon av stativene under isingsforhold har vært umulig de fleste plasser, så det eksisterer lite dokumentasjon på hvor representative målingene er for en virkelig kraftledning. Innføring av digitale loggere har imidlertid økt verdien av denne typen målinger betraktelig, særlig med

tanke på å datere ulike isingsepisoder, og knytte disse til de rådende meteorologiske forholdene.

Sent på 1970-tallet ble det gjort et forsøk med å feste to aluminiumsrør i 90 graders vinkel på en meteorologisk instrumenthytte på Kristiansand lufthavn Kjevik. Det var flyplassens eget personell som avleste snøbelegg eller underkjølt regn på disse rørene. Det var dessverre ingen finansiering til å fortsette dette utover en prøvesesong.

6.2 Prøvespenn

Prinsippet med prøvespenn er enkelt, og metoden ansees kanskje for å være den mest robuste og representative måten å måle islaster på. Det finnes noen forskjellige typer oppsett, enten to stolper med lastsensor i enden av ledningen, bæremast med lastsensor i midten av spennet, eller en vinkelkonfigurasjon der to spenn står 90 grader på hverandre og lasten måles på hver av spennene i en felles vinkelmast. Lasten måles med et dynamometer, ofte med en digital logger som kan lagre data med valgt tidsintervall.

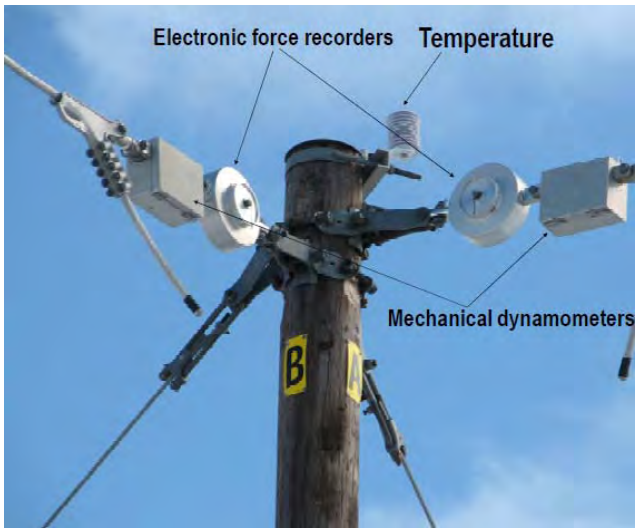
Det er i prinsippet mulig å overføre data på mobiltelefon eller internett, men dette krever bedre strømtilgang enn til bare batterier for å logge data lokalt.

På 1980- og 1990- tallet ble det satt opp noen prøvespenn i samarbeid mellom SEfAS, NGI og enkelte nettselskap, bl.a. NTE, BKK og Vest-Agder Energi (nå Agder Energi). Disse besto av to spenn, med dynamometre og vinkelmålere slik at kreftene kunne dekomponeres i 1) vertikallast, 2) utsving horisontalt på grunn av (kombinert is og) vind og 3) i lineretningen for å måle ubalanserte laster (skjevlaster på grunn av forskjellig islast i de to nabospennene). En ide med denne typen spenn var også at man skulle beholde en standard line (for alle spenn av denne typen) som var i vanlig bruk i 22 kV nettet i den ene fasen, og hvert nettselskap kunne velge andre linetyper som var aktuelle i sine nett for de to andre fasene.

Dessverre registrerte ikke disse spennene særlige islaster av betydning før de ble nedlagt eller ikke lenger vedlikeholdt.

NTE solgte sitt spenn til et kraftledningsprosjekt i Grønland (Ilulissat) og dette er nå i drift der. Bildet i Figur 9 er fra dette prøvespennet og viser midtmasta med sensorer.

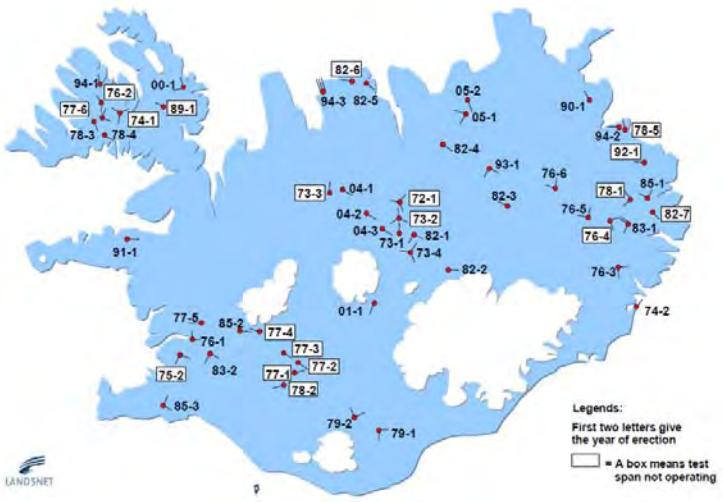
Figur 9. Bæremast med lastsensorer som måler krefter i tre dimensjoner (vertikalt, transversalt og longitudinalt). Foto: Bjørn Egil Nygaard.



Figur 10. To prøvespenn i 90 graders vinkel. Foto: Árni Jón Elíasson, Landsnet (kilde: www.iwais2009.ch)

På Island har Landsnett svært lang og god erfaring med denne måten å måle islaster på. Siden 1972 har Landsnett hatt i drift i alt 84 prøvespenn på 54 ulike plasser. Drøyt 50 er fremdeles i drift, og alle måledataene er samlet i en database som er unik i verdenssammenheng. Siden 2005 har alle spennene vært utstyrt med digitale loggere som lagrer minimum, maksimum og gjennomsnittslast for hvert 10. minutt. De digitale loggerne er batteridrevne og lagrer dataene lokalt. Avlesning og bytte av batterier gjøres med 1-2 års mellomrom.

Som resultat av flere tiår med erfaringer fra blant annet Island ansees prøvespenn er per i dag som den best fungerende og mest veldokumenterte metoden.



Figur 11. Kart over alle prøvespenn på Island. Kilde: Elíasson 2009; www.iwais2009.ch.

6.3 ISO 12494-måleren

I ISO standarden 12494 “Atmospheric icing” (2000) er det gitt universelle retningslinjer for hvordan islaster bør måles for å bestemme isingsklimaet på et bestemt sted. Akkumulert is skal måles på en vertikalt orientert sylinder (3 cm i diameter) som kan rotere under isoppbyggingen.

Det svenske firmaet Combitech har produsert et instrument, IceMonitor, bygget etter retningslinjene gitt i ISO12494. IceMonitor består av en 0,5 meter lang vertikalt orientert fritt roterende sylinder, montert på en veiecelle som registrerer ismassen hvert tiende minutt. Instrumentet ble testet på flere teststasjoner i Europa i regi av COST 727, og ble vurdert som det best fungerende instrumentet for isingsmålinger, tross noen problemer med konstruksjonen, og stedvis støy i signalet (Heimo 2008).

I forbindelse med Statnetts utredning av et trasealternativ øst for Ålfotbreen på ny 420 kV mellom Ørskog og Sogndal ble det installert en IceMonitor i den mest isingsutsatte delen av den foreslåtte traséen. Instrumentet ble montert på toppen av en fem meter høy fagverksmast sammen med en temperatur og fuktighetssensor (Figur 12). Data kunne lastes ned hver morgen via gsm tilkopling.

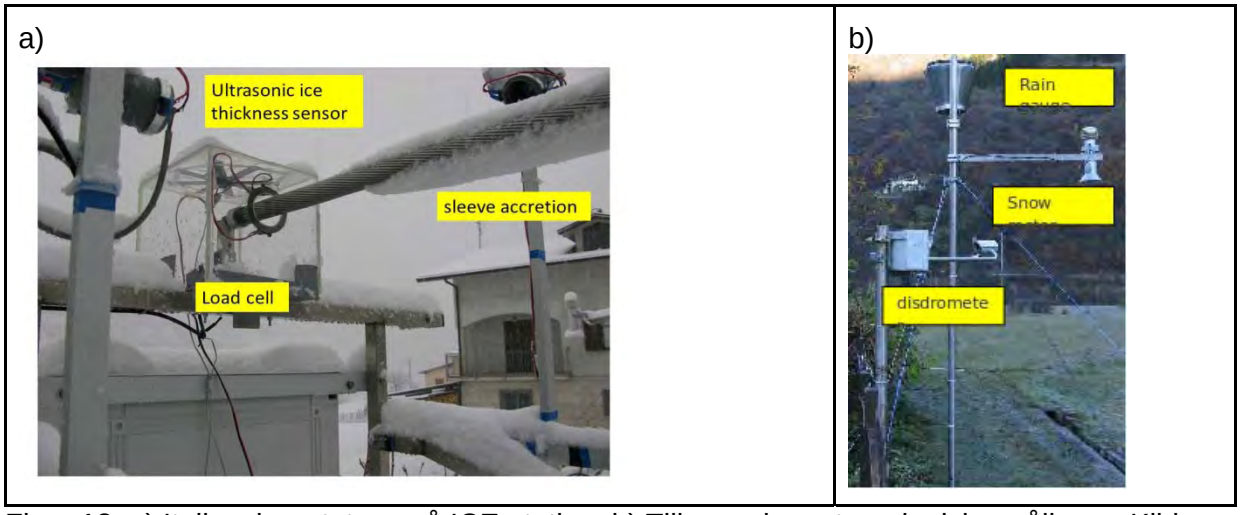
Etter noen oppstartsproblemer første vinter virket instrumentet å fungere relativt godt den påfølgende vinteren. De ekstreme isingsforholdene i dette område førte imidlertid til en rekke uforutsette problemer, og stasjonen krevde hyppig tilsyn for å fungere optimalt. Erfaringene fra dette prosjektet tyder på at instrumentet fremdeles trenger testing og utvikling under kontrollerte forhold, før det er driftssikkert nok til å brukes under ekstreme isingsforhold slik vi finner mange steder i Norge. Kontinuerlige målinger gjennom en hel vinter gav allikevel svært verdifulle data for Statnett i vurderingen av dette trasealternativet.

Figur 12. IceMonitor installert på 1100 meters høyde øst for Ålfotbreen. Foto: Bjørn Egil Nygaard.

6.4 Måling av våt snø i Italia

Italia opplever ofte store snøfall vinterstid og flere utfall og mastehavarier de seneste årene har vært forårsaket av våtsnø på ledningene. På bakgrunn av dette er det iverksatt prosjekter for å måle samt å varsle våtsnø-ising på kraftnettet.

Et spesialdesignet instrument vist i figur 13, er utviklet for å gjøre automatiske målinger av akkumulert våtsnø. Instrumentet består hovedsakelig av to ledningsstumper (ASCR) på 1.5 m og diameter 31.5 mm montert i et stativ, med lager i festene slik at ledningene roterer om sin egen akse ettersom snøen legger seg på. Vekten av ledningen registreres kontinuerlig, og fire ultrasoniske avstandsmålere brukes for å måle istykkelsen. Med måling av både vekt og tykkelse kan istettheten enkelt avledes. I tillegg utstyres stasjonene med webkamera samt instrumenter for måling av værparametere som vind, nedbør og temperatur.

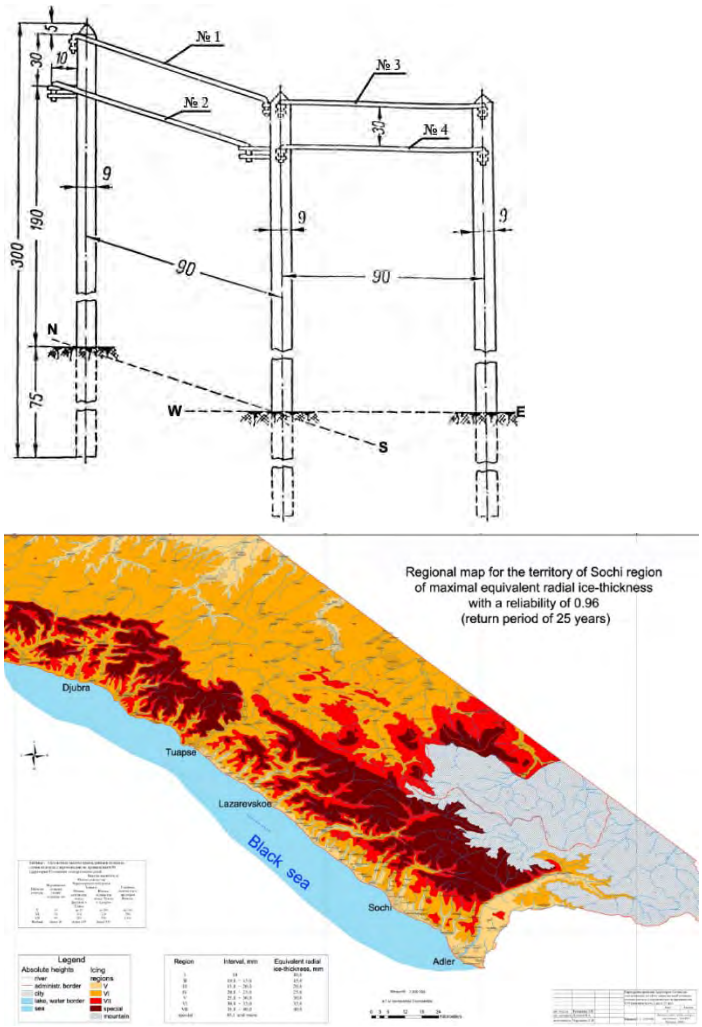


Figur 13. a) Italiensk prototype på ICE-station. b) Tilhørende meteorologiske målinger. Kilde: Matteo Lacavalla, RSE, www.rse-web.it.

Målestasjonen er fremdeles å regne for en prototype, og basert på én vinters erfaring er det planlagt noen utbedringer før vinteren 2012/2013. Vindmåleren erstattes med en et ultrasonisk anemometer egnet for ekstreme værforhold. Det monteres en liten motor slik at ledningen hele tiden roterer sakte, samt at lengden på prøvespennet økes fra 1.5 til ca 10 meter.

6.5 Måling av islast i Russland

Så mange som 1250 værstasjoner i Russland er utstyrt med et spesialdesignet instrument for å måle islaster. En skisse av instrumentet er vist i figur 14, bestående av to deler, en orientert i nord-sør retning og en i øst-vest retning hvor akkumulert islast måles på ca 90 cm lange stålrør i to ulike høyder over bakken. Instrumentet betjenes manuelt og målingene startet allerede på 1950 tallet . For hvert isingstilfelle noteres isingstype, vekt og diameter i tillegg til standard meteorologiske data som temperatur, vind, nedbør, etc. Den enorme databasen av isingsmålinger har gjort det mulig å bruke et GIS system og lage kartløsninger direkte avledet fra målingene (Figur 14).



Figur 14. Skisse av det Russiske malestativet (til venstre). Eksempel på dimensjoneringskart avledet fra målingene (til høyre). (Kilde: Lugovoi et al. 2009, www.iwais2009.ch)

7. Klimaendringer og ising

7.1 Generelt

Kunnskap om endringer i jordens klima sammenstilles av FNs klimapanel (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC). Formålet er å gi beslutningstakere og andre interesserte objektiv informasjon om klimaendringer. IPCC har til nå kommet med fire evalueringsrapporter i 1990, 1995, 2001 og 2007. Panelet søker å sammenfatte det som foreligger av vitenskapelig, teknologisk og samfunnsøkonomisk informasjon om klimaendringer, hvilke virkninger disse vil ha og hvilke muligheter verdenssamfunnet har til å motvirke eller tilpasse seg endringene.

IPCCs femte hovedrapport er under utarbeidelse av FNs klimapanel og er planlagt publisert i 2014. Studier av klimaendringer på regional og lokal skala, for eksempel hvordan endringene vil utarte seg i Norge, og hvilke effekter disse vil ha i ulike landsdeler gjøres gjerne i de påfølgende årene etter IPCC sin hovedrapport. Hovedtyngden av nye studier av endringer i Norges klima ventes derfor i de påfølgende årene etter 2014.

Resultater basert på forrige IPCC rapport samt etterfølgende studier av lokalklima i Norge viser tydelige endringer både i temperatur og nedbør. I hele landet kan forventes en økning i temperaturen, og det dreier seg trolig om 2-3 ºC fram mot 2045. Varmere klima fører også til en økning i nedbør de fleste steder. Mest markant endring forventes i høst og vintermånedene, særlig langs Vestlandskysten i Sør-Norge med en økning på ca 20 % (Haugen og Iversen 2008).

7.2 Ising

Ising er som kjent et fenomen som avhenger av flere værparametere i kombinasjon, både vind, nedbør fuktighet og temperatur. En kvantifisering av endrede isingsforhold er derfor avhengig av gode projeksjoner for hver enkelt parameter, samtidig som usikkerheten øker betraktelig når projeksjoner for ulike parametere kombineres. Av den grunn er det ikke mulig med dagens klimaprojeksjoner å beregne forventede endringer i isingsforhold. Vi kan allikevel gjøre noen generelle, kvalitative betraktninger basert på forventede endringer i temperatur og nedbør:

- Reduksjon i dimensjonerende islaster i lavlandet langs hele kysten. Dette er en direkte konsekvens av økt vintertemperatur, med reduserte snømengder og hyppigere regn.

- I høyfjellet, indre områder av Østlandet og på Finnmarksvidda kan det bli en svak økning i hyppigheten av ising pga våtsnø. Dette som følge av at hyppigheten av store snøfall rundt 0 grader øker som følge av høyere vintertemperatur, samt mulighet for økt nedbørsmengde.

- Dimensjonerende islast (skyising) vil kunne øke i høyfjellet, som følge av høyere temperatur men fremdeles under 0 grader. Endringen er trolig ikke av betydelig grad sammenliknet med usikkerhetsnivået på eksisterende lastnivå.

Disse konklusjonene kom fram av et arbeid som ble gjort i forbindelse med Statnetts rapport om “Klimaendringenes betydning for de fysiske påkjenningene på overføringsanleggene, 2008”. Tabell 1. er hentet fra denne rapporten og viser beregnet gjentagelsesfrekvens av høye islaster i et fremtidig klima, basert på syv ulike klimamodeller. Dette studiet er det eneste av sitt slag og usikkerhetene er betydelige. Tilsvarende studier av skyising har ikke vært mulig da parameterne som inngår i beregning av skyising foreløpig ikke er tilgjengelig i klimamodellene.

Modell/scenario	Oslo	Trysil	Sognefjell	Bergen	Tromsø	Karasjok
MPIB2_71-00	1,2	0,2	0,9	0,1	0,4	1,0
HADB2_71-00	0,5	0,8	1,0	0,5	0,3	1,2
HADA2_71-00	0,7	0,6	0,9	0,3	0,4	0,8
BCME77_41-70	1,3	2,0	1,6	0,3	0,0	1,6
BCME78_41-70	0,4	0,9	1,6	0,2	0,2	0,8
BCMSRESA1B_71-99	1,6	0,6	1,7	0,4	0,3	1,8
CAMCO2_41-70	0,7	0,7	0,9	0,0	0,1	1,0

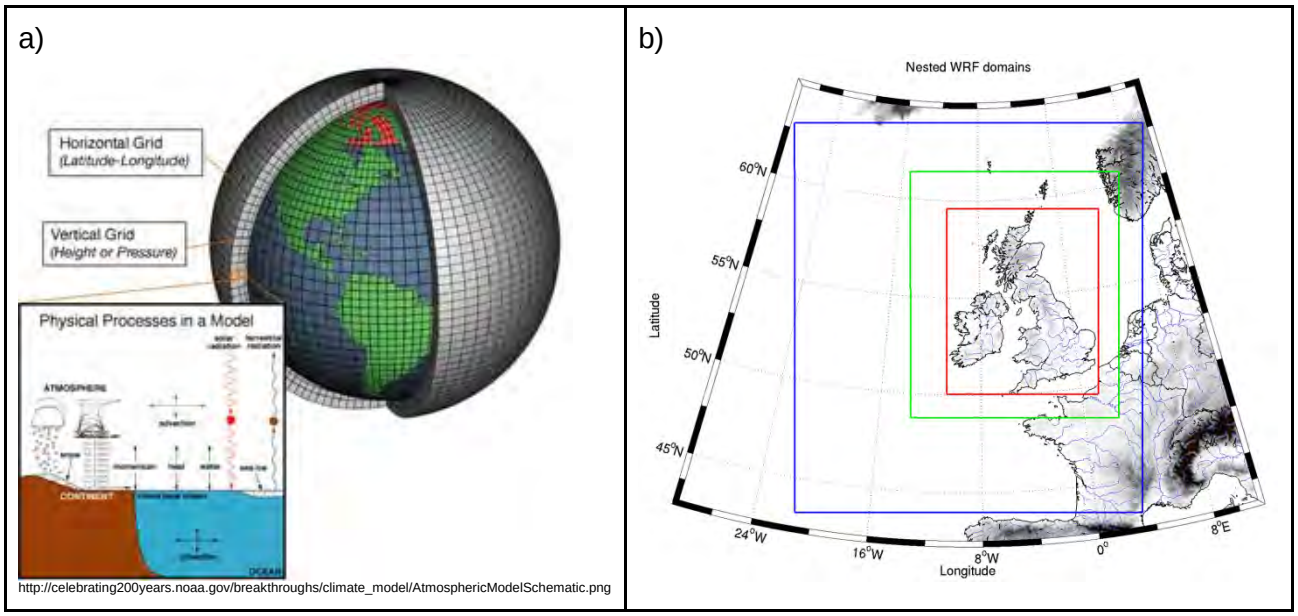
Tabell 1. Returfaktor for ekstrem våtsnø-last (5% høyeste lastene). Røde tall betyr at ekstreme laster forventes å øke i frekvens i fremtidig klima, mens grønne tall er forventet reduksjon. (Kilde: Statnett Rapport: “Klimaendringenes betydning for de fysiske påkjenningene på overføringsanleggene, 2008”)

Kombinasjonen av manglende kunnskap om kvantitative islaster i Norge og usikkerheten rundt graden av endring i is og vindlaster og deres betydning gjør at vi neppe kan beregne endringer i isingsforholdene ennå i lang tid framover. Siden vi ikke har et system for objektiv registrering av islaster i Norge er det heller ikke mulig å kvantifisere slike endringer ut fra modeller. Alle modeller, uansett hvor gode de er, trenger kalibrerings- og kontrolldata for å kunne utvikles til nyttige verktøy for kraftledningsbransjen, Det er derfor gode grunner til å etablere et slikt system dersom bransjen ønsker mer konkret kunnskap på dette området.

8. Muligheter med Meteorologiske modeller

Numeriske værvarslingsmodeller er datamodeller som benytter de grunnleggende likningene for dynamiske og fysiske prosesser i atmosfæren til å beregne mest sannsynlig utvikling av atmosfærens tilstand timer, dager eller opp til 2 uker frem i tid. Slike beregninger er ekstremt regnekrevende og kjøres oftest på tungregningsanlegg eller maskinklynger hvor et stort antall prosessorer er koblet sammen og utfører beregninger parallelt. I tråd med en rask utvikling av kapasiteten til disse superdatamaskinene har de meteorologiske modellene stadig kunnet kjøres med høyere oppløsning, og med mer avanserte og nøyaktige beregninger av de fysiske prosessene. Modellene deler opp atmosfæren i et tredimensjonalt rutenett og gjør beregner utviklingen av været som et gjennomsnitt innenfor hver gitterboks. Figur 15a viser hvordan denne inndelingen gjøres i en global modell. Regionale modeller benyttes for å gjøre simuleringer med høyere oppløsning innenfor et mindre område. En slik gradvis økning i oppløsning innenfor mindre områder kalles for “nesting”. Eksempel på et oppsett med nesting er vist i figur 15b.

Resultatet av slike modellberegninger ser man vanligvis i form av daglige værvarsler, f.eks. alle dataene som visualiseres på yr.no, eller omsatt til et værvarsel som presenteres i media som varsler av temperatur, nedbør, vind, skydekke etc.



Figur 15. a) Skjematisk figur av hvordan atmosfæren er delt inn i gitterbokser i en global numerisk værvarslingsmodell (Kilde: National Oceanic and Atmospheric Administration). b) Oppsett av en regional værvarslingsmodell, hvor oppløsningen øker trinnvis innenfor hver av rektanglene. Innenfor den røde firkanten er modelloppløsningen 1.5 km. (Kilde: Bjørn Egil Nygaard, met.no).

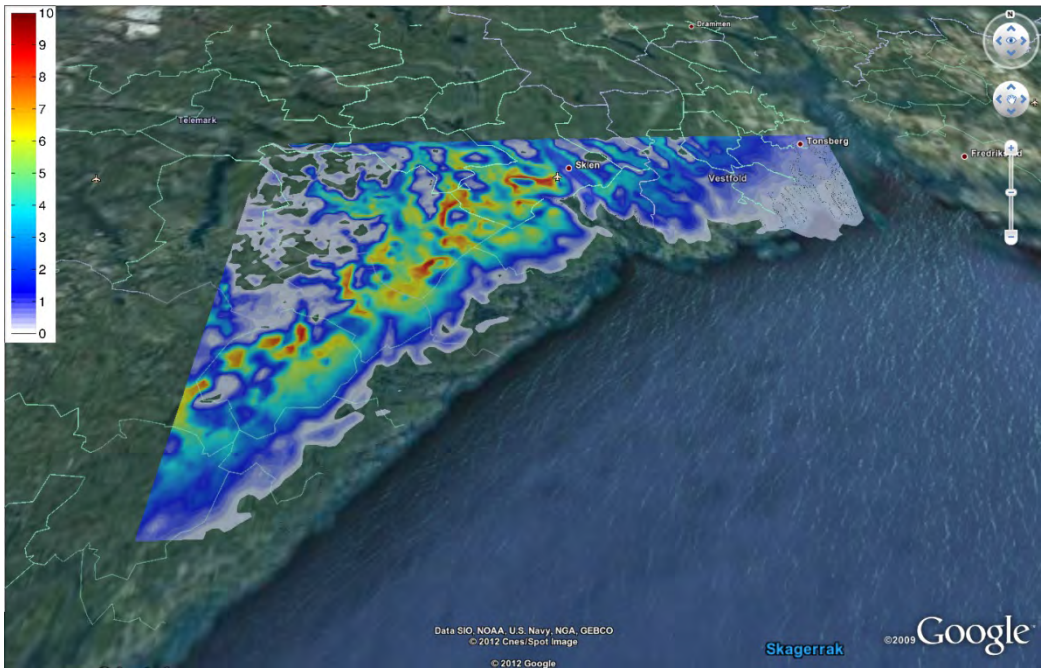
Nyere forskning viser imidlertid at det også er et stort potensiale for å simulere atmosfærisk ising med slike moderne værvarslingsmodeller. Meteorologisk Institutt i Norge har vært toneangivende i denne forskningen gjennom deltakelse i internasjonale forskningsfora og konferanser, samt et doktorgradsprosjekt dedikert til modellering av ising på bakkekonstruksjoner ved bruk av moderne værvarslingsmodeller.

Bruksområdet til slike modeller er langt større enn kun varsling av været fremover i tid. De kan også konfigureres til å simulere historiske værhendelser flere tiår bakover i tid. F.eks. i studier av enkelte ekstremværhendelser, eller simuleringer over lengre perioder (flere år) med formål å beskrive klima for et bestemt område (hindcast). Fordelen med simuleringer av historisk vær er at det ikke er like strenge krav til regnetid slik som for værvarsling hvor varselet hele tiden må være så ferskt som mulig. En kan derfor tillate svært regnekrevende simuleringer med høy oppløsning og avansert sky- og nedbørsfysikk når historisk vær skal simuleres.

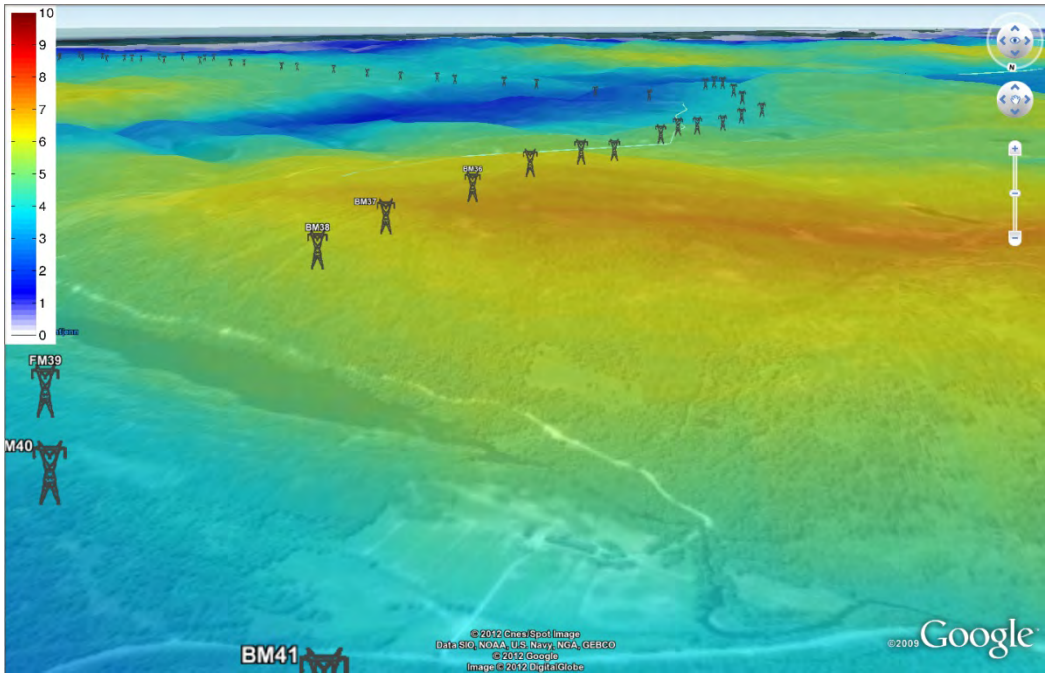
Meteorologisk Institutt har allerede tatt i bruk denne metodikken i konkrete ledningsprosjekter både i Norge og i utlandet. Figur 16 og 17 viser et eksempel fra en våtsnø hendelse som førte til mastehavarier i Bamblemarka på Statnetts 132kV Holtane - Knardalstrand i januar 1995. Her er værsituasjonen simulert med en horisontal oppløsning på 0.8 x 0.8 km innenfor et område som vist i Figur 16. De modellgenererte værdataene er videre prosessert gjennom en modell som estimerer akkumulert islast på en horisontal

sylinder (kraftledning), og isingskartet er plottet i et 3D terreng og visualisert i Google Earth. Figur 17 viser et utsnitt over åsen der mastene havarerte. I samme figur er det lagt inn master for Statnetts planlagte 420 kV ledning Bamble - Rød.

Selv om denne simuleringen beskriver islastene kun for en enkelt hendelse gir den nyttig informasjon om hvilke områder som potensielt er utsatt for høye laster, og er et viktig supplement til annen bakgrunnsinformasjon når nye ledninger skal prosjekteres og dimensjoneres i dette området.



Figur 16. Simulert snølast (kg/m) 20. Januar 1995 (Kilde: Bjørn Egil Nygaard, met.no)

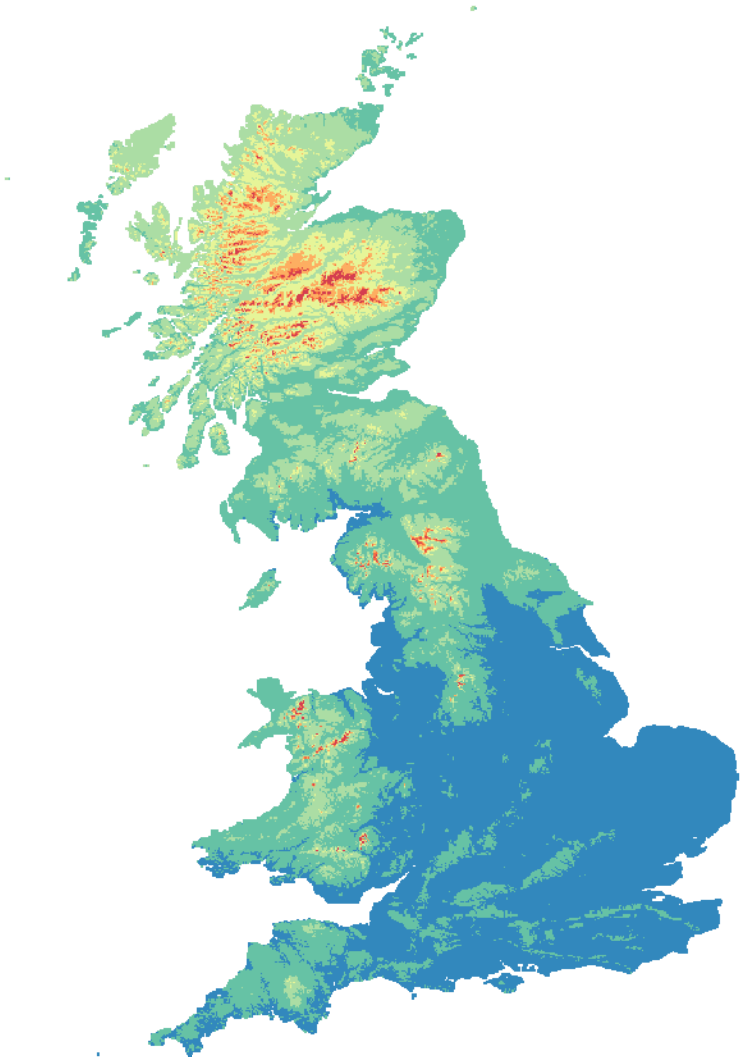


Figur 17. Simulert snølast (kg/m) 20. Januar 1995, utsnitt over åsen med mastehavari. (Kilde: Bjørn Egil Nygaard, met.no)

Som nevnt er simuleringen for havariet i Bamblemarka kun for en enkelt våtsnø-storm, men i prinsippet er det mulig å simulere mange slike værhendelser for et gitt område. Forutsetningen er at det finnes rapporter eller målinger som kan brukes for å identifisere tilsvarende værhendelser. Ved å gjøre en rekke slike simuleringer kan en utvide datagrunnlaget betydelig, og det vil være mulig å estimere ekstremverdier for islast med en gitt returperiode. Samtidig er det viktig å poengtere at det er en betydelig usikkerhet knyttet til den estimerte islasten for slike enkelthendelser. Målinger av ising enten på prøvespenn, isstativer eller på ledninger i drift er avgjørende for å verifisere og eventuelt kalibrere de numeriske modellene. Samtidig vil målinger i ett punkt øke enormt i verdi når de kan kombineres med simuleringer i tre dimensjoner slik at den romlige variasjonen kan studeres.

Et annet prosjekt som illustrerer potensialet av moderne numeriske modeller er et samarbeidsprosjekt der Meteorologisk Institutt har bistått i å generere et nytt dimensjoneringskart for islaster for de Britiske Øyer. Prosjektet ble initiert av netteierne i Storbritania med utgangspunkt i at det var misnøye med den eksisterende standarden som gav svært urealistiske islaster i mange områder, særlig i høytliggende partier.

Kartet i Figur 18 viser estimert islast med returtid på 50 år. Beregningene som ligger til grunn er en kombinasjon av finskala simuleringer av skyis for en hel vintersesong, samt lange tidsserier av værdata fra totalt 141 meteorologiske stasjoner.



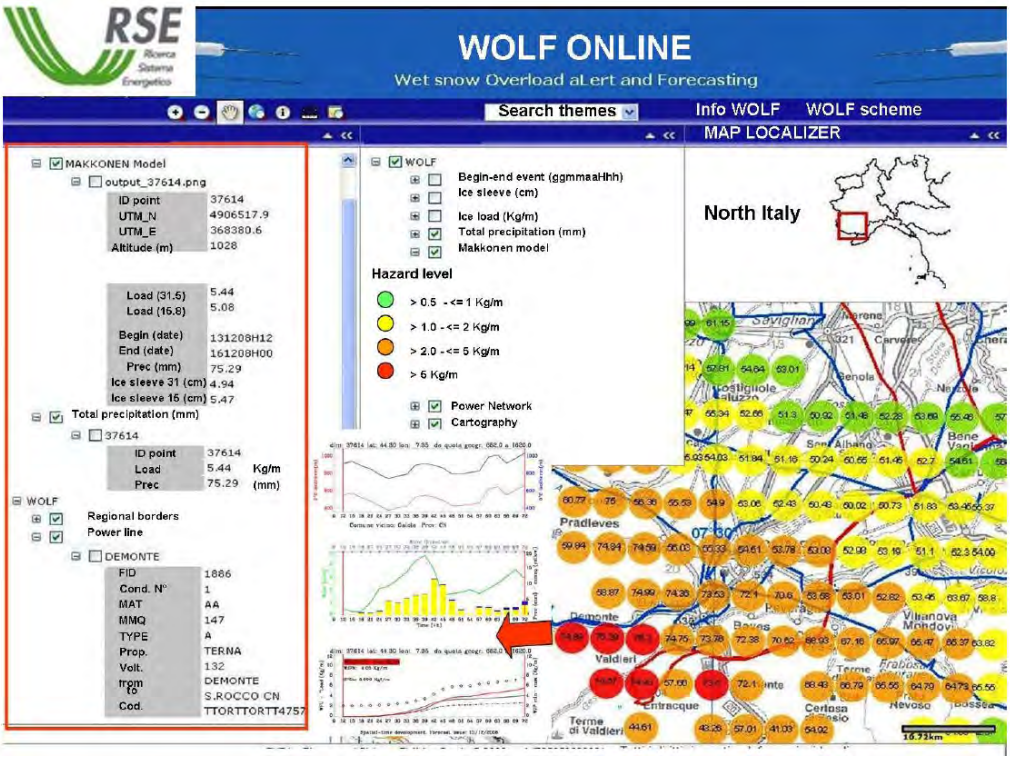
Figur 18. Dimensjonerende islast (kg/m) med 50 års returperiode. Blå farge er islaster på 1-2 kg/m mens rød farge indikerer laster på over 12 kg/m. (Kilde: Bjørn Egil Nygaard, met.no)

8.1 Muligheter for daglige isingsprognoser

I Norge inngår ikke atmosfærisk ising som en del av et standard værvarsel. Men slik de meteorologiske har utviklet seg, har mulighetene for slik varsling blitt radikalt forbedret de siste årene. Det kan derfor være mulig nå å diskutere med elforsyningen om slike varsler kan være aktuelle.

I flere Europeiske land har bransjen engasjert seg for å initiere prøveprosjekt for å varsle sannsynlighet for ising, enten med hensyn på produksjonstap for isingsutsatte vindparker, eller for drift, vedlikehold og eventuelt beredskapsøkning i forbindelse med forventet ising på kraftledninger. Et av landene som har kommet lengst i å nyttegjøre seg av disse mulighetene er Italia. Her har bransjen sammen med et forskningssenter (RSE) utviklet et varslingssystem for våtsnø på kraftledninger. WOLF (**W**et snow **O**verload a**L**ert and **F**orecast) er basert på operasjonelle værprognoser for de neste tre døgnene, og har en

Web-GIS basert kartløsning hvor man kan klikke i kartet og få opp tidsserier med forventet akkumulasjon av våtsnø på ledninger med forskjellig diameter (Figur 19).



Figur 19. “WOLF ONLINE” system for daglige operasjonelle prognoser for våtsnø på kraftledninger i Italia (Kilde: Bonelli 2011).

Liknende varslingssystemer både for skyising og våtsnø er under utvikling og vil testes gjennom vinteren 2012/2013 både på Island og i Ungarn.

9. Anbefalinger om registrering og modellering av islaster i Norge

Selv om det ligger store potensialer for kraftledningsbransjen i meteorologiske analyser og varslingsrutiner for atmosfærisk ising, er det likevel nødvendig for sikkerheten i slike analyser og varsler at bransjen selv er aktive rapportører av slike hendelser. Det er bare på denne måten vi kan utvikle denne typen tjenester videre. Det er fortsatt betydelige investeringer hvert år i forbindelse med nye kraftledningsprosjekter. I tillegg til nødvendige utvidelser i nettet vil det også etter hvert bli en økende utskifting i eldre ledninger som nærmer seg teknisk levealder. Særlig i forbindelse med oppgraderinger og utskiftinger av eldre ledninger er det avgjørende å kjenne detaljer i større væravhengige hendelser for disse ledningene. Bare på denne måten er det mulig å kunne kvalitetssikre modellanalyser og lastberegninger for økonomisk optimalisering av investeringskostnadene i denne typen prosjekter.

Det vil være særlig viktig etablere et registrerings- og rapporteringssystem som følger:

1. Rapportering av enkelthendelser i nettet. Dette bør omfatte så detaljerte beskrivelser av isakkumulasjoner som mulig, helst også med gode bilder Et slikt system ble forsøksvis prøvd i Statnett på 1990-tallet. Et tilsvarende system har større muligheter for å bli vellykket i dag når alle har mobiltelefoner med kamera slik at opplysningene kan suppleres med detaljerte bilder. For ca 10 år siden inviterte SINTEF Energi AS bransjen til en abonnentsordning for denne tjenesten, men interessen var da ikke stor nok til at dette ble videreført.

Feil- og avbruddstatistikken (FASIT) som bransjen selv bidrar til gjennom samarbeid med SINTEF og NVE, har etter rapportforfatternes syn, basert på erfaringer fra 1990-tallet, vist seg ikke å være tilstrekkelig for denne typen informasjon. Spesielt med tanke på at mekaniske feil (masteskader, vær-relaterte effekter som galoppering, overslag over isolatorer med forurenset is, osv.) ofte blir registrert lite eksakt. Det vil ha stor nytteverdi for både framtidig dimensjoneringsarbeid og mulig varsling av sikkerhets- og driftsrisiki i nettet å få mer detaljert informasjon om slike mekaniske forhold..

2. Målestativer. Statnett SF drev i mange år et eget nettverk av målestativer som vist i Figur 8. Data fra disse stasjonene ble viktige i forbindelse med utbyggingen av sentralnettet på 1980- og 1990- tallet. Det ville være svært verdifullt å videreføre et mindre antall av slike målestasjoner for å kunne overvåke frekvenser og størrelser av islaster over tid, ikke minst med tanke på nye utbygginger og oppgraderinger av eldre ledninger i fjellterreng.

Fra kapittel 6 er det verd å legge merke til at elforsyningen i mange land som ikke nødvendigvis har like store klimatiske utfordringer i nettet sitt som Norge, satser relativt store summer nettopp på slik overvåkning i sine nett.

3. Isingskart for Norge. I tillegg bør bransjen vurdere å gjennomføre et prosjekt av samme type som vist ovenfor for Storbritannia (og sannsynligvis etter hvert også Irland). Et første forsøk kan være å beregne islaster fra våt snø ut fra alle værstasjoner som har lange tidsserier av både temperatur, nedbør og vind i Meteorologisk Institutts dataarkiv som dekker tidsserier for mange stasjoner tilbake til 1951. En slik studie kan suppleres og kombineres med modellstudier, som illustrert i kapittel 8. Modellgenererte værdata med høy oppløsning over en lengre periode danner sammen med isingsmålinger på utvalgte punkter et godt utgangspunkt for et nasjonalt kart over ekstreme islaster, som vil bidra til å innskrenke usikkerheten i dagens lastnivå, og sikre rasjonell og sikker dimensjonering av nye ledninger.

10. Referanser

Bonelli, P et al. "Wet snow hazard for power lines: a forecast and alert system applied in Italy." *Nat. Hazards Earth Syst. Sci* 11 (2011): 2419-2431.

CIGRE, TB. "No 344–WG B2. 06, 2008." *Big Storm Events–What we have learned*.

Deutschländer, T, and B Wichura. "Das Münsterländer Schneechaos am 1. Adventswochenende 2005." Klimastatusbericht (2005): 163-168.

Haugen J. E. og T. Iversen (2008) Response in extremes of daily precipitation and wind from a downscaled multi-model ensemble of anthropogenic global climate change scenarios
Tellus A 60 (3), 411–426.

Kießling F., Wichura B.
Ice loads on overhead lines, meteorological evaluations and observations at overhead lines ew — Energiewirtschaft, 108 (9) (2009), pp. 54–60 (in German)

Farzaneh, M. (red): Atmospheric Icing of Power Line Networks. Springer 2008, VI. ISBN 978-1-4020-8530-7.

Fikke, S.M., Hanssen, J.E., Rolfseng, L. Long range transported pollutants and conductivity of atmospheric ice on insulators. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, No 3, July 1993, pp 1311-1321.

Fikke, S.M., Ohnstad, T., Förster, H., Rolfseng, L., Telstad, T. Effect of long range airborne pollution on outdoor insulation. Proc. Nordic Insulation Symposium NORD-IS 94, Vaasa (FI), June 1994, pp 103-112.

Heimo, A. "COST 727 Action Measuring and forecasting atmospheric icing on structures." Proceedings of the Winterwind conference, Norrköping (SE) Dec. 2008.

Sakamoto, Y.. "Snow accretion on overhead wires." Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences 358.1776 (2000): 2941-2970.

Lugovoi, V.; Chereshniuk, S., Timashova L.
Modern techniques of ice-load assessment and icing maps creation for the design of overhead transmission lines used in the Russian Federation. Proceedings of the 13th International Workshop on Atmospheric Icing of Structures, Andermatt Sveits, 2009. www.iwais2009.ch

11. Tillegg I

Observasjoner av ising på Lønahorgi

Nedskrevet av Svein M. Fikke, oktober 2012.

Først etter egen hukommelse:
Radio- og fjernsynssenderen på Lønahorgi (1 410 m oh) ved Voss ble satt i drift på slutten av 1950-tallet. På den tiden hadde NRK en (daglig?) meldingstjeneste på radio med kortfattet informasjon om hendelser av betydning for samfunnet. En melding som ofte ble gjentatt i vinterhalvåret i årene etterpå lød omtrent slik: ”Radio- og fjernsynssenderen på Lønahorgi ved Voss er for tiden ute av drift på grunn av svikt i krafttilførselen.”

Etter at jeg selv kom inn i kraftledningsbransjen som meteorolog forsto jeg hva årsaken var. Historien starter med beretningen til ingeniør Olav Wist som på den tiden var ansatt hos Tron Horn AS. Senere var vi kolleger i NVE – Statkraftverkene:

22 kV ledningen som førte strømmen opp til Lønahorgi gikk fra et koblingspunkt nord for Voss og fulgte en fjellrygg opp til Lønahorgi. De hadde ingen erfaringer med kraftledninger i slikt fjellterreng og den ble derfor dimensjonert etter daværende normer og forskrifter. Det var jo også et fint sted å jobbe for dem som bygde ledningen – på fine dager så de jo ut mot Norskehavet! Men i vestavær var det ikke fullt så praktfullt her. Ledningen lå helt åpent mot været og isen grodde raskt på linene.

Det viste seg jo raskt at ledningen ikke var tilstrekkelig dimensjonert for slike islaster, og den ble derfor forsterket av Voss Kommunale Elektrisitetsverk med innsatte master, doble master osv. for å få stabil drift, uten at det hjalp synderlig. Selv etter mange slike forsterkninger gjennom flere sesonger, var det fortsatt store driftsproblemer for kringkasteren på Lønahorgi.

I april 1961 dro et lag med representanter fra Voss Everk og konsulentfirmaet Tron Horn AS opp for å inspisere ledningen, etter nok en vinter med mange og lange utfall. Meteorologisk institutt var også representert ved statsmeteorolog Håkon Råstad. Der kunne de konstatere at mange master var gått overende og linene lå på bakken over en lengre strekning. Men noen få master sto fortsatt rimelig intakt, men linene mellom dem bar de største islastene noen hadde sett noen gang!

Islasten var delvis falt av i biter slik at de lett kunne måle det elliptiske tverrsnittet til største diameter (2a) ltil 1,4 m og minste diameter (2b) til 0,95 m. De hakket de ned en 1 m lang ”isbit” som de samlet i sekkene sine og tok med ned til bygda der bitene til sammen ble veid til 305 kg!

Arealet av det elliptiske tverrsnittet blir da:

$$A = \pi \cdot a \cdot b = \pi \cdot 0{,}7m \cdot 0{,}475\ m \approx 1m^2$$

Og dermed blir tettheten omlag 300 kg/m^3, som er en svært realistisk verdi i dette tilfellet.

Det hører med til historien at islasten på 305 kg/m tilsvarer vekten av datidens ”folkevogn-bobler” tredd inn – støtfanger mot støtfanger – på hver enkelt line!

Det var etter hvert åpenbart at strømforsyningen til denne stasjonen måtte legges helt om. Ledningen går nå i en sikker trase opp fra østsiden av fjellet og i et langt og bratt spenn fram til kanten av fjelltoppen, og i jordkabel det siste stykket inn til TV-masten.

I løpet av alle mine år som ”isingsekspert” på kraftledninger har jeg vist de legendariske bildene på konferanser, ”workshoper” og i møter utallige ganger. Alle som ser dem for første gang blir målløse og imponerte. Ennå har ingen kunnet melde om større islaster på en kraftledning noe sted i verden noen gang!

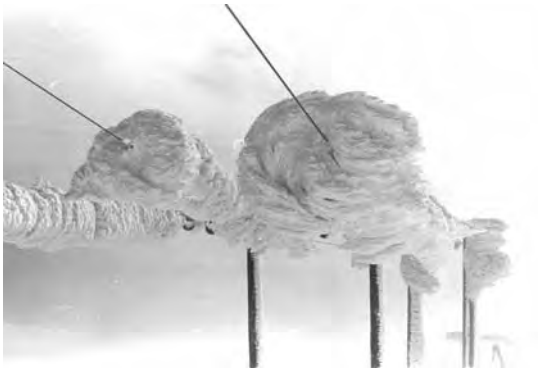
Figur 1 viser noen bilder fra denne situasjonen. Bildet i a) ble brukt av Televerket til deres offisielle julekort i 1961 (opplyst av lederen for ”Kringkastingskontoret”, Alexander Valen).

Referanse:
Fikke, S.M.: ”Ising og vind på kraftledninger og tårn”. Været Nr 4, 1980, Årgang 4. s 126-132.

a)

b)

c)



d)

Figur 1. Islaster på 22 kV kraftledning til radio og TV senderen på Lønahorgi (1 410 m oh) ved Voss. Foto: Olav Wist, Tron Horn AS, april 1961.

a) Radio og TV senderen på toppen av fjellet i bakgrunnen.
b) Dimensjonene illustreres med skistaven til meteorolog Håkon Råstad..
c) Et par spenn av ledningen hang fortsatt rimelig intakt til tross for de store islastene.
d) Legg merke til hvordan isen har rotert med klokken på de fleksible linene under oppbyggingen (som i b)).

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

Utgitt i Rapportserien i 2012

Nr. 1 Kvikkleireskred ved Esp, Byneset i Trondheim. Kari Øvrelid (20 s.)

Nr. 2 Årsrapport for tilsyn 2011 (40 s.)

Nr. 3 Første inntrykk etter ekstremværet Dagmar, julen 2011 (28 s.)

Nr. 4 Energy consumption. Energy consumption in mainland Norway (59 s.)

Nr. 5 Climate change impacts and uncertainties in flood risk management: Examples from the North Sea Region (62 s.)

Nr. 6 Kvartalsrapport for kraftmarknaden. 4. kvartal 2011. Finn Erik Ljåstad Pettersen (red.) (86 s.)

Nr. 7 Statistikk over nettleie i regional- og distribusjonsnettet 2012. Inger Sætrang (53 s.)

Nr. 8 Flomrisikoplan for Gaula ved Melhus. Et eksempel på en flomrisikoplan etter EUs flomdirektiv (78 s.)

Nr. 9 Inntak Viddal – FoU-prosjekt på tilbakespyling. Sluttrapport. Jan Slapgård (31 s.)

Nr. 10 Oversikt over vedtak og utvalgte saker. Tariffer og vilkår for overføring av kraft 2011 (15 s.)

Nr. 11 Flomsonekart: Delprosjekt Ålen: Kjartan Orvedal, Julio Pereira

Nr. 12 NVEs årsmelding 2011

Nr. 13 Vannet vårt. Hydrologi i Norge 2011

Nr. 14 Capacity building in Hydrological Services Course in Water Level recording and Data Processing at Ministry of Water and Energy 13th – 16th February 2012. Documentation (23 s.)

Nr. 15 Landsomfattende mark- og grunnvannsnett. Drift og formidling 2011. Jonatan Haga og Per Alve Glad (40 s.)

Nr. 16 Challenges in Flood Risk Management Planning. An example of a Flood Risk Management Plan for the Finnish-Norwegian River Tana. Eirin Annamo (59 s.)

Nr. 17 Kvartalsrapport for kraftmarknaden. 1. kvartal 2012. Finn Erik Ljåstad Pettersen (red.)

Nr. 18 Eksempelsamling. Risiko- og sårbarhetsanalyser for kraftforsyningen

Nr. 19 Annual Report 2011 The Norwegian Energy Regulator

Nr. 20 Flomberegning for Levangselva. Lars-Evan Pettersson

Nr. 21 Driften av kraftsystemet 2011. Karstein Brekke (red.)

Nr. 22 Annual report 2009 The cooperation between the Norwegian Agency for Development Cooperation (Norad), the Ministry of Foreign Affairs (MFA) and the Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE)

Nr. 23 Flaumsonekart. Delprosjekt Naustdal Siss-May Edvardsen, Camilla Meidell Roald

Nr. 24 Årsrapport for utførte sikrings- og miljøtiltak 2011

Nr. 25 Kvartalsrapport for kraftmarknaden. 2. kvartal 2012. Finn Erik Ljåstad Pettersen (red.)

Nr. 26 Glimt fra NVEs historie. Per Einar Faugli

Nr. 27 Glimses form the history of NVE. Per Einar Faugli

Nr. 28 Regiontjenesten 100 år. Per Einar Faugli

Nr. 29 Flomsonekart. Delprosjekt Vigeland. Per Ludvig Bjerke og Julio Pereira

Nr. 30 Energibruksrapporten 2012. Energibruk i husholdningene.

Nr. 31 Flom og stor vannføring forårsaket av ekstremværet Frida august 2012

Nr. 32 Bioressurser i skog – kartlegging av økonomisk potensial. Even Bergseng, Tron Eid, Per Kristian Rørstad og Erik Trømborg, UMB

Nr. 33 Naturfareprosjektet: Kvikkleireworkshop. En nasjonal satsing på sikkerhet i kvikkleireområde. Teknologidagene, Trondheim, 2012

Nr. 34 Naturfareprosjektet: Delprosjekt Kvikkleire. Datarapport for Kvikkleireskred ved Esp i Byneset i januar 2012

Nr. 35 Naturfareprosjektet: Delprosjekt Kvikkleire. Datarapport for Kvikkleireskred ved Esp i Byneset i januar 2012 Naturfareprosjektet: Skredvarsling, beredskap og sikring Erfaringer fra studietur til Ministry of Transportation (British Columbia) og Canadian Avalanche Center Teknologidagene, Trondheim, 2012

Nr. 36 Tid for ny markedsdesign? Finn Erik Ljåstad Pettersen, Anne Sofie Ravndal Risnes

Nr. 37 Flomberegning for Fagernes (012.LZ). Ingeborg Kleivane

Nr. 38 Inventory of Norwegian glaciers. Liss M. Andreassen and Solveig H. Winsvold (Eds.)

Nr. 39 Totalavløpet fra Norges vassdrag 1900-2010. Lars-Evan Pettersson

Nr. 40 Naturfareprosjektet: Programplan 2012-2015 for etatsprogrammet "NATURFARE – infrastruktur, flom og skred (NIFS)"

Nr. 41 Vinden som blåste i fjor. Hvor sterk var Dagmar?

Nr. 42 Kartlegging av grunnvannsressurser. Dimakis Panagotis

Nr. 43 Kvartalsrapport for kraftmarknaden 3. kvartal 2012. Finn Erik Ljåstad Pettersen (red.)

Nr. 44 Isstorm. Ising på kraftforsyningsnettet. Roger Steen (red.)

Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no