BYGGFORSK
Norges byggforskningsinstitutt

Magne Andersen Drage

Atmosfærisk ising – forstudie

Delprosjekt 8 i FoU-programmet «Klima 2000 – Klimatilpasning av bygningskonstruksjoner»

302 Prosjektrapport 2001

BYGGFORSK
Norges byggforskningsinstitutt

Magne Andersen Drage

Atmosfærisk ising – forstudie

Delprosjekt 8 i FoU-programmet «Klima 2000 – Klimatilpasning av bygningskonstruksjoner»

Prosjektrapport 302 – 2001

Prosjektrapport 302
Magne Andersen Drage
Atmosfærisk ising – forstudie
Delprosjekt 8 i Fou-programmet «Klima 2000 - Klimatilpasning av bygningskonstruksjoner»

Emneord: klimapåkjenninger, konstruksjoner, installasjoner, ising, snø, vind, topografi, klimadata, varslingsverktøy

ISSN 0801-6461
ISBN 82-536-0729-6

100 eks. trykt av
S.E. Thoresen as
Innmat:100 g Kymultra
Omslag: 200 g Cyclus

© Norges byggforskningsinstitutt 2001

Adr.: Forskningsveien 3 B
Postboks 123 Blindern
0314 OSLO
Tlf.: 22 96 55 55
Faks: 22 69 94 38 og 22 96 55 08

Forord

Denne prosjektrapporten utgjør sluttrapporten fra delprosjekt 8 *Atmosfærisk ising*, som er en del av FoU-programmet *Klima 2000 – Klimatilpasning av bygningskonstruksjoner*. Programmets hovedmål er gjennom forskning å fremskaffe nødvendig grunnlag for å utvikle prinsippløsninger for konstruksjoner som både gir økt bestandighet mot og økt pålitelighet ved klimapåkjenninger fra nedbør, vind, solstråling og temperatur. Hensikten er å definere klarere kriterier og anvisninger for prosjektering og utførelse av kritiske konstruksjonsdetaljer, hovedsakelig knyttet til bygningers ytre klimaskjerm. Programmet ledes av Norges byggforskningsinstitutt og gjennomføres i samarbeid med Forsvarets bygningstjeneste (FBT), Husbanken og Statens bygningstekniske etat (BE), samt andre fagmiljøer og sentrale aktører i BAE-sektoren. Programmet ble igangsatt i august 2000, og vil pågå frem til utgangen av år 2003. Programmet består av tolv ulike delprosjekter.

Rapporten belyser problemer knyttet til atmosfærisk ising ved planlegging og utforming av værutsatte konstruksjoner, og er en forstudie i forbindelse med Magne Andersen Drages dr. scient-studium, med atmosfærisk ising som hovedtema.

En stor takk rettes til professor Yngvar Gjessing (Universitetet i Bergen/ Universitetsstudiene på Svalbard), meteorolog Svein Magnus Fikke (Statnett), førsteamanuensis Jan Asle Olseth (Universitetet i Bergen), dr. ing. Stefan Jacobsen (NBI), overingeniør Øyvind Smedsrød (FBT), overingeniør Egil J. Nilsson (FBT), sjefingeniør Carl Oscar Pedersen (FBT) og rådgiver Arnfinn Jenssen (FBT), som alle har bidratt med faglige kommentarer underveis.

Oslo, mars 2001

Kim Robert Lisø
Programleder
Norges byggforskningsinstitutt

Magne Andersen Drage
Delprosjektleder
Forsvarets bygningstjeneste

Sammendrag

Forsvaret, telesektoren og norsk elforsyning bruker årlig store økonomiske ressurser i forbindelse med utbygging, drift og vedlikehold av landets forsvarsinstallasjoner, elektriske luftledninger på alle spenningsnivåer, og sendere for radio, fjernsyn og alminnelig telekommunikasjon. FBT står i denne sammenheng ovenfor betydelige klimautfordringer (snødrift, fonndannnelse og atmosfærisk ising) ved planlegging og bygging av Forsvarets sambands- og varslingsstasjoner.

Rapporten presenterer grunnleggende teoretisk kunnskap om atmosfærisk ising, meteorologiske variable, samt eksisterende beregningsmodeller for isingsdannelse. Forsvarets problemer innen området, tilgjengelige klimadata, samt nye målemetoder for atmosfærisk ising, er også belyst.

Atmosfærisk ising inndeles vanligvis i to kategorier, etter prosessene som styrer isingsdannelsen:

- nedbøris (sludd/ våtsnø eller underkjølt regn).
- skyis (underkjølte skydråper, lufttemperatur lavere enn 0 °C).

Atmosfærisk ising inntreffer som regel i subarktisk eller arktisk klima, eller i utsatte områder med en viss høyde over havet. I slike områder vil det til tider inntreffe ising på bakke, vegetasjon og ikke minst konstruksjoner og anlegg. Isens hardhet og utforming varierer betydelig med endringer i temperatur, fuktighet og vind, og innebærer ofte betydelige tilleggsbelastninger på konstruksjoner på værutsatte steder.

Det eksisterer i dag ingen gode varslingsverktøy for å varsle geografisk eller topografisk ising i terrenget. Usikkerheten ved å forutsi ising på FBT, Norkring og Telenor sine stasjoner er derfor stor, dette gjelder spesielt isingsforekomster på nye anleggsteder rundt omkring i landet. Denne rapporten danner grunnlag for videre arbeider i forbindelse med gjennomføring av et dr. scient-studium innen atmosfærisk ising og meteorologiske variabler (fullskala eksperiment og testing av modeller), hvor et varslingsverktøy for ising og geografisk kartlegging av isingsrisiko vil bli videreutviklet.

Rapporten presenterer også FBTs utfordringer knyttet til snødrift og fonndannelse ved planlegging, prosjektering, utførelse, drift og vedlikehold av Forsvarets sambands-varslingsstasjoner. Snøfonner som legger seg rundt bygninger skaper ofte store problemer med hensyn til tilgjengelighet og bruk. Utforming og plassering av bygninger på steder med ekstremt klima, krever detaljert kunnskap om vindens strømningsmønster og snøens lagringsmønster på stedet, i tillegg til kunnskap om atmosfærisk ising. I et eget delprosjekt i forskningsprogrammet (DP 3 *Snødrift og fonndannelse omkring bygninger og i terreng*) vil både fonndannelse i terrenget og snøakkumulasjon omkring bygninger bli studert. Målsetningen er å utarbeide enkle anvisninger for utforming og plassering av bygninger, samt retningslinjer for snøskjermingstiltak der dette er hensiktsmessig.

Innholdsfortegnelse

FORORD **3**

SAMMENDRAG **4**

INNHOLDSFORTEGNELSE **5**

1 INNLEDNING **6**

1.1 FORMÅL OG OMFANG 6
1.2 BAKGRUNN 6
1.3 DR. SCIENT-STUDIUM 7

2 ATMOSFÆRISK ISING **8**

2.1 HVA ER ATMOSFÆRISK ISING? 8
2.2 METEOROLOGISKE VARIABLE, TOPOGRAFISKE VARIASJONER OG LUFTKVALITET 10
2.3 DESIGN FOR ISING OG BEHOVET FOR FELTERFARING 11
2.4 BEREGNINGSMODELLER FOR ISINGSDANNELSE 16

3 TYPISKE PROBLEMOMRÅDER VED PLANLEGGING OG UTFORMING AV BYGNINGER OG KONSTRUKSJONER **20**

3.1 PROBLEMBESKRIVELSE 20
3.2 STANDARDISERING AV STASJONER 22

4 TILGJENGELIGE KLIMADATA **23**

4.1 VARSLINGSVERKTØY 23
4.2 VEI OG SAMFERDSEL 23
4.3 FLYVÆRTJENESTEN 23

5 INNLEDENDE PLANLEGGING AV MÅLEMETODER OG FELTFORSØK **24**

5.1 FELTDATA 24
5.2 LOKALISERING AV MÅLESTASJONER 24
5.3 HVILKE PARAMETERE BØR MÅLES? 24

REFERANSER **27**

1 Innledning

1.1 Formål og omfang

Siktemålet til dette forstudiet er å belyse og kartlegge problemer knyttet til atmosfærisk ising. Prosjektet er delt inn i fire hoveddeler:

A innledende litteraturstudie innen atmosfærisk ising (*state of the art*-analyse), se kapittel 2.

B kartlegging av typiske problemområder ved planlegging og utforming av spesielle forsvarsinstallasjoner, se kapittel 3.

C kartlegging av formålstjenlige målemetoder, se kapittel 4 og 5.

D lokalisering av målestasjoner, se kapittel 5.2.

Delprosjektet er gjennomført av Forsvarets bygningstjeneste (FBT) og Norges byggforskningsinstitutt i samarbeid med Universitetet i Bergen/ Geofysisk institutt, Universitetsstudiene på Svalbard (UNIS), Statnett SF, Norkring AS og Telenor AS.

1.2 Bakgrunn

Forsvaret, telesektoren og norsk elforsyning bruker årlig store økonomiske ressurser i forbindelse med utbygging, drift og vedlikehold av landets forsvarsinstallasjoner, elektriske luftledninger på alle spenningsnivåer og sendere for radio, fjernsyn og alminnelig telekommunikasjon. Dagens samfunn krever også at økonomiske, sikkerhetsmessige og miljømessige forhold vektlegges mer enn tidligere. Følgeskader kan for elektrisitetsforsyningen kan beløpe seg til i størrelsesorden 135 mill. kroner for et enkeltår (1993). FBT står i denne sammenheng ovenfor betydelige klimautfordringer (snødrift, fonndannnelse og atmosfærisk ising) ved planlegging og bygging av Forsvarets sambands- og varslingsstasjoner.

Forsvarets tele- og datatjeneste (FTD) og FBT forsøker å redusere klimaproblemene for Radio/Linje – stasjonene (R/L –stasjoner) ved å plassere nye stasjoner så lavt i landskapet at ising neppe vil forekomme. Men, FBT er ikke dermed kvitt fremtidige isingsproblemer. Mere moderne og avanserte overvåkningskonsepter er stadig under utvikling innenfor NATO – alliansen, og ingen vet i dag hvor slike systemer skal plasseres. Usikkerheten ved å forutsi isingsproblemer på FBT, Norkring og Telenor sine stasjoner er stor, dette gjelder spesielt isingsforekomster på nye anleggsteder rundt omkring i landet. Kart med angivelse av områder med særlig fare for atmosfærisk ising vil derfor være til stor nytte. FBT mangler også erfaring med høye sylindriske plastradomer i forbindelse med ising (i dag varmes radomene opp).

Et av de mest sentrale spørsmål som ønskes besvart er om standardisering av stasjonenes utforming er forenlig med kravene til en best mulig ivaretakelse av de lokalklimatiske forhold. For norsk elforsyning er det tilsvarende viktig å optimalisere den mekaniske dimensjoneringen av kraftledninger ved både nybygg og oppgraderinger av nettet. Likeledes er det av stor betydning at nye modeller for isingsvarsling i forbindelse med drift og vedlikehold utvikles.

Figur 1.1
Ising på en av Forsvarets Radio/Linje – stasjoner (foto: Egil J. Nilsson, Forsvarets bygningstjeneste)

1.3 Dr. scient-studium

Et dr. scient-studium innen atmosfærisk ising (*Atmosfærisk ising og meteorologiske variable – fullskala eksperiment og testing av modeller*) planlegges gjennomført i perioden august 2001 til juli 2004. Hovedmålet for studiet er å erverve ny kunnskap om variasjon i tid og rom av atmosfærisk ising i et kupert landskap. Dette vil bli gjort ved å kombinere feltmålinger på noen få utvalgte lokaliteter med modellert vindfelt fra en finskala numerisk atmosfæremodell (gridavstand ned til ca. 100 meter). Ved Universitetet i Bergen/ Geofysisk institutt har en også erfaring med en annen finskala modell, *MM5* (Dudhia, 1992). Denne har en langt mer avansert parameterisering av mikrofysikken, med blant annet prognostiske ligninger for vanndamp, skyvann, regn, snø, is, hagl, og antallet iskrystaller, snøflak og hagl. Denne modellen er under utvikling, og har i dag en begrensning på minimum gridstørrelse (ca. 1 kilometer). Modellen vil på sikt bli et nyttig verktøy. I tillegg vil innsamlede feltdata bli benyttet til å utvikle et forbedret varslingsverktøy for ising og til geografisk kartlegging av isingsrisiko. Dette vil bli gjort i samarbeid med Det norske meteorologiske institutt (DNMI).

2 Atmosfærisk ising

2.1 Hva er atmosfærisk ising?

Atmosfærisk ising inndeles vanligvis i to kategorier, etter prosessene som styrer isingsdannelsen (ref. forslag til ny laststandard for beregning av atmosfærisk ising på konstruksjoner, ISO/CD 12494, 2000):

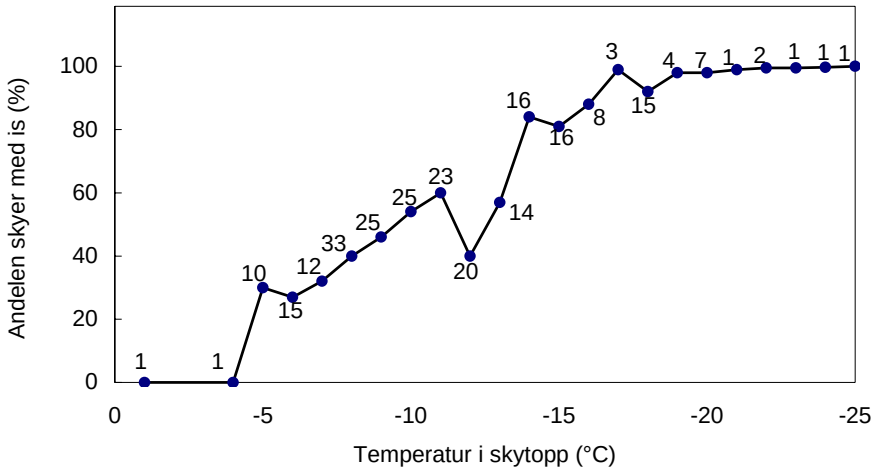
- nedbøris (sludd/ våtsnø eller underkjølt regn).
- skyis (underkjølte skydråper, lufttemperatur lavere enn 0 °C).

Atmosfærisk ising inntreffer som regel i subarktisk eller arktisk klima [1], eller i utsatte områder med en viss høyde over havet. I slike områder vil det til tider inntreffe ising på bakke, vegetasjon og ikke minst konstruksjoner og anlegg. Det er observert 50 tonn isdannelse på en 323 meter høy antennekonstruksjon i løpet av et døgn (Fahleson, 1995). Isens hardhet og utforming varierer betydelig med endringer i temperatur, fuktighet og vind.

I atmosfæren foregår det kontinuerlig prosesser som kondensasjon, fordamping, dråpe-dannelse og ising. Når luft avkjøles og blir mettet på vanndamp, kondenserer luften og små dråper dannes. For at dette skal skje, må det eksistere kondensasjonskjerner i luftmassen som vannet kan kondensere på. Den naturlige tilgangen på slike kjerner er som regel tilstrekkelig til at all vanndamp i luften kondenserer ved metning, og det vil derfor dannes dråper når den relative fuktigheten overstiger 100 %. Mengden slike kondensasjonskjerner er likevel i stor grad med på å bestemme dråpestørrelsen og antallet dråper per volumenhet luft. Mange partikler vil gi mange ”små” dråper, mens få partikler vil gi færre og større dråper. I følge Brock (1972), kommer 75 % av den totale massen aerosoler (partikler/fast stoff i luft) i atmosfæren direkte fra naturlige eller menneskeskapte (antropogene) kilder. Hovedkildene er vindgenerert støv (20 %), sjøsprøyt (40 %), skogbranner (10 %), og forbrenning eller andre industrielle prosesser (5 %). De resterende 25 % er i hovedsak omdannelse av gassbestanddeler til små partikler ved fotokjemiske/kjemiske prosesser. De viktigste gassene som reagerer og danner partikler er SO_2, NO_3, NH_3 og alkener (også kalt olefiner).

Når en luftmasse med metning i relativ fuktighet avkjøles videre under frysepunktet, skjer en tilsvarende prosess for dannelse av ispartikler, som ved dannelse av dråper ved kondensasjon. Det er to typer transformasjon som kan finne sted; frysing av vanndråper eller direkte overgang fra damp til fast form/is (sublimasjon). I en luftmasse med nøytral sjiktning (godt blandet), vil temperaturen avta med høyden, på grunn av avtagende lufttrykk. De første ispartiklene eller aktive frysekjernene vil derfor opptre i toppen av en sky, enten ved spontanfrysing av vanndråper eller ved sublimering på frysekjerner. Målinger av isinnholdet i toppen av en sky, viser at sannsynligheten for dannelse av issky øker nært logaritmisk med avtagende temperatur i skytopp (se figur 2.1).

[1] Ordet *klima* er gresk og betyr skråning eller helning. Denne helningen er solstrålenes innfallsvinkel, som bestemmes av solens høyde over horisonten. Innfallsvinkelen er avgjørende for hvor mye varme solen tilfører luften, og gjør breddegraden til den viktigste klimabestemmende faktor.



Figur 2.1
Andelen skyer med is som en funksjon av temperatur i skytopp, fra observasjoner av 258 skyer, utført av forskjellige forskere i ulike regioner. Tallet over hvert punkt er antallet observasjoner ved den gitte temperaturen (etter Hobbs et al., 1974)

Fra fysikken vet vi at rent vann kan være underkjølt ned mot –40 °C. For at vannet skal fryse til is ved temperaturer nær 0 °C, må det eksistere frysekjerner eller urenheter i vannet. For at vanndamp skal sublimere til iskrystaller må det eksistere tilsvarende frysekjerner i luften, slik tilfellet var med kondensasjonskjerner. Enkelte aerosoler er aktive som frysekjerner allerede ved -2 til -4 °C, mens andre blir aktive ved lavere temperaturer (se tabell 2.1). Atmosfærisk ising opptrer derfor når det er mangel på frysekjerner, eller at disse fortsatt ikke er aktivert, se tabell 2.1. På våre breddegrader er det som regel ”tilstrekkelig” med frysekjerner i luften, men disse er inaktive. Vanndråpene i luften blir da avkjølt under 0 °C uten at det dannes ispartikler i skyen. Disse underkjølte vanndråpene fryser derimot umiddelbart til is når de treffer en hindring, og fenomenet atmosfærisk ising på bygninger, kraftledninger, antenne-konstruksjoner og lignende er dermed et faktum.

En annen viktig faktor for vannsyklusen i en sky er forskjellene i vanndampens likevektstrykk over henholdsvis vann og is. Skyer nydannes ofte med vanndråper (”vannsky”), men etter hvert som den avkjøles, for eksempel ved heving, vil frysekjernene aktiveres og skyen vil dermed bestå av en blanding av vanndråper og iskrystaller. Vanndampens likevektstrykk e(T), med temperatur over vann og is, kan skrives som;

- Vann: $e_s(T) = Ae^{-B/T}$, der ($A=2.53 \times 10^8$ kPa og $B = 5.42 \times 10^3$ K).
- Is: $e_i(T) = Ae^{-B/T}$, der ($A=3.41 \times 10^9$ kPa og B 6.13×10^3 K).

Da vanndampens likevektstrykk er lavere over is enn over vann, vil iskrystallene vokse og vanndamptrykket i luften avta. Dermed vil vanndråpene fordampe på grunn av avtagende vanndamptrykk mens iskrystallene til samme tid vil fortsette å vokse. Vi antar derfor at ”unge” skyer er vannskyer (”isingsskyer”), mens ”gamle” skyer består av iskrystaller og dermed er ”ufarlige”.

Dersom vanndråpene fryser til is i luften, eller frysekjernene aktiveres slik at det dannes iskrystaller, vil det ikke oppstå problemer med ising på konstruksjoner, luftledninger e.l. Ispartiklene vil ikke feste seg og vil dermed ikke medføre økt belastning på konstruksjonen.

Tabell 2.1
Temperaturer der partikler blir aktive som frysekjerner (fra Houghton, 1985)

Substance	*Crystal lattice dimension*		*Temperature to nucleate ice (°C)*	*Comments*
	a axis (Å)	*c axis (Å)*		
Pure substances				
Ice	4.52	7.36	0	----
AgI	4.58	7.49	-4	Insoluble
PbI_2	4.54	6.86	-6	Sligthly soluble
CuS	3.80	16.43	-7	Insoluble
CuO	4.65	5.11	-7	Insoluble
HgI	4.36	12.34	-8	Insoluble
Ag_2S	4.20	9.50	-8	Insoluble
CdI_2	4.24	6.84	-12	Soluble
I_2	4.78	9.77	-12	Soluble
Minerals				
Vaterite	4.12	8.56	-7	
Kaoilinite	5.16	7.38	-9	(Silicate)
Volcanic ash	---	---	-13	
Halloysite	5.16	10.1	-13	
Vermiculite	5.34	28.9	-15	
Cinnabar	4.14	9.49	-16	
Organic materials				
Testosterone	14.73	11.01	-2	
Cholesterol	14.0	37.8	-2	
Metadehyde	---	---	-5	
β-Naphtol	8.09	17.8	-8.5	
Phloroglucinol	---	---	-9.4	
Bacterium *Pseudomonas Syringae*	---	---	-2.6	(Bacteria in leaf mold)

2.2 Meteorologiske variable, topografiske variasjoner og luftkvalitet

Været blir generelt beskrevet av de meteorologiske elementene lufttemperatur, lufttrykk, nedbør, vind, solstråling, skyer osv. Disse beskrives ved hjelp av parametere som øyeblikks- eller middelvindhastighet og retning, maksimums-, minimums- elle middeltemperatur, relativ eller absolutt fuktighet, nedbørsintensitet eller (akkumulert) nedbørsmengde. Vår oppfatning av *godt vær*, vil derfor være basert på den ”rette” sammensetningen av disse elementene. På samme måte må atmosfæren være sammensatt ut i fra visse forutsetninger, for at forholdene skal være lagt til rette for atmosfærisk ising.

De viktigste forutsetningene er at luften er mettet med vanndamp, at temperaturen lavere enn 0 °C, og at det er en generell mangel på aktive frysekjerner. Vanndampen vil kondensere dersom luften avkjøles, noe som vil skje når den blir løftet eller presset over landformasjoner. Dersom denne luften i tillegg har en høy relativ fuktighet før den treffer landmassene, vil til dels store mengder vanndamp kondensere. Når luftmassen har passert fjellformasjoner og synker ned på lesiden, vil prosessen bli reversert. Lufttemperaturen øker og den kondenserte vanndampen vil nå fordampe. Totalinnholdet av vann i luften vil være konstant under hele prosessen. Her er det forutsatt at kondensasjonsprosessen ikke resulterer i nedbør.

Det er disse prosessene som gjør at topografien er av stor betydning for hvor utsatt et område vil være for ising av denne typen. Ved å plassere konstruksjoner og lignende i le av fjellene, kan det være mulig å unngå ising fullstendig. Erfaring har vist at det å gå ned i høyde med ca. 50 meter, i tillegg til å plassere konstruksjonen i le av fjellet, kan være tilstrekkelig for å løse problemene knyttet til skyising (Raastad, 1958). Dette vil imidlertid ofte være uforenlig med tilstrekkelig sikt- og sendeforhold for kommunikasjonsinstallasjoner. Samtidig kan det

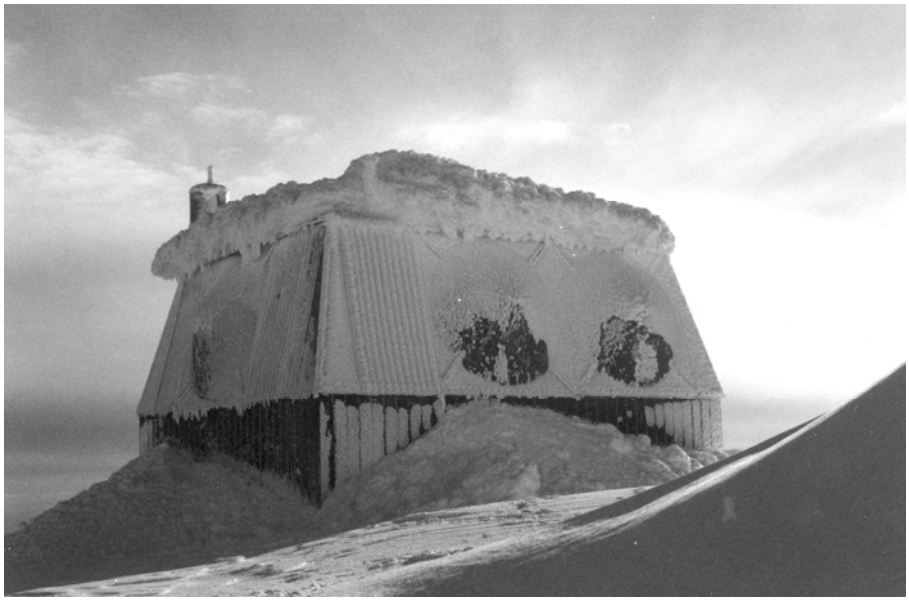
derimot dannes mer våt snø her dersom hindringen eller høyden har en aerodynamisk ”ugunstig” form, der vindhastigheten forsterkes.

Luftens opprinnelse og historie er også av betydning for isingen. Ved ”ren”, kald og fuktig luft, dvs. høy relativ fuktighet og/eller lite innhold av aktive frysekjerner, vil sannsynligheten for skyising og isingsintensiteten øke. I et fuktig subarktisk kystklima, slik som i Norge, vil disse kriteriene fra tid til annen være oppfylt, og det kan derfor være årsaken til at det er her de største islastene forårsaket av skyis på verdensbasis har blitt observert (Raastad, 1958). Luftens *kvalitet*, dvs. hvilke forurensningspartikler den inneholder, er dermed med på å bestemme sannsynligheten for ising. Dersom luften er sterkt forurenset vil antallet frysekjerner øke, og sannsynligheten for ising vil avta.

2.3 Design for ising og behovet for felterfaring

2.3.1 Generelt

For å kunne designe konstruksjoner og anlegg slik at de er best mulig tilpasset værforholdene og omgivelsene, er det viktig å vurdere og ikke minst kjenne til de ulike problemene knyttet til ising. Erfaringsmessig blir ekspertisen rådført først etter at problemene har oppstått, ofte med de følger at store inngrep er nødvendig for å begrense eller løse disse. Det er derfor viktig at det tas hensyn til risikoen for ising allerede under planlegging og prosjektering av nye anlegg på spesielt isingsutsatte steder, slik at det blir mulig å forebygge problemene.



Figur 2.2
Ising på en av Forsvarets Radio/Linje – stasjoner (foto: Egil J. Nilsson, Forsvarets bygningstjeneste)

I dagens moderne samfunn stilles det store krav til overføring av informasjon med antenner som krever fri sikt mellom avsender og mottaker. Her kan det nevnes TV- og radio sendere (kortbølget) samt Radio/Linje (R/L) - stasjoner i Forsvaret (se figur 2.2). Restriksjoner om tillatt høyde og økonomiske vurderinger, samt kravet om fri sikt, fører til at antennekonstruksjonene blir plassert høyt i terrenget og dermed lett blir eksponert for isingsdannelse.

2.3.2 Usikkerhet i måledata

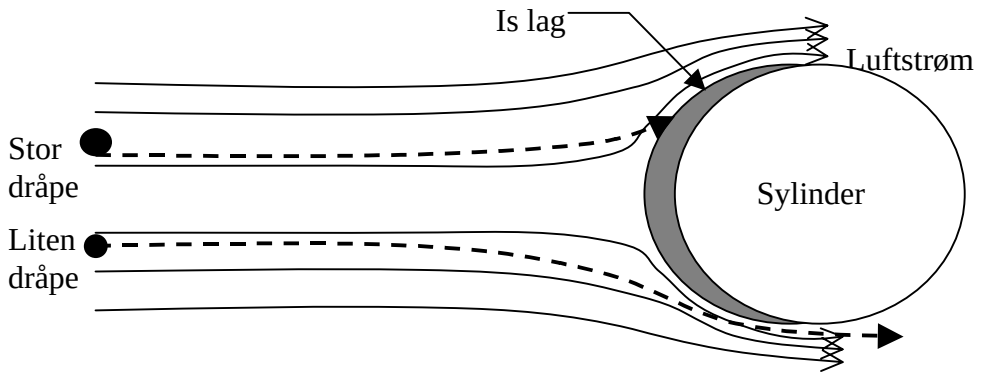
Det stilles strenge krav til rådgiverne ved planlegging og prosjektering av nye anlegg. For å kunne beregne de opptredende lastene, er det nødvendig med inngående kjennskap til de lokalmeteorologiske forholdene. Konstruksjonene dimensjoneres for å motstå laster som har forventede returperioder fra 50 til 500 år (ISO/CD 12494, 2000). Nødvendige dimensjoner fastsettes på grunnlag av konstruksjonens utforming, samt vindlast og islast i kombinasjon. I dag eksisterer det et forholdsvis bredt grunnlag av vinddata, mens det nesten ikke finnes måledata for ising. Dette skyldes i hovedsak at det kreves avansert utstyr for å måle islaster, istykkelse, istype, utforming og lignende, i tillegg til at slik måling er tidkrevende. Mangelen på slike data for islaster fører til at det blir stor usikkerhet i maksimallaster, og det er derfor ikke uvanlig å regne med en usikkerhet i islast på ca. 40 % (Fikke et al., 1982).

2.3.3 Kollisjonseffektivitet

Det er mange utfordringer knyttet til dimensjonering av konstruksjoner for vind og islast. Kollisjonseffektiviteten blir beskrevet som antall dråper som treffer et objekt, relatert til det totalt innkommende antall dråper. Ved økt vindhastighet vil dråpene ha en høyere kollisjonseffektivitet og dermed vil også isingen øke.

Vindhastigheten øker vanligvis logaritmisk med høyden over bakken, noe som vil føre til en økning i istykkelse med høyden. I tillegg vil dråpenes kollisjonseffektivitet øke med avtagende dimensjon på konstruksjonen. Dette kan enkelt forklares med at ved store hindringer vil dråpene følge luftstrømmen rundt hindringen, mens små hindringer representerer en brå endring i luftens strømlinjer, slik at dråpene på grunn av sin treghet treffer hindringen og fryser. Det faktum at antennekontruksjoners dimensjon ofte avtar med høyden, vil i mange tilfeller medføre en skjev fordeling av islasten. Økt islast med økende høyde, sammen med økt vindhastighet og avtagende dimensjon på konstruksjonen, fører lett til økt sannsynlighet for sammenbrudd og kommunikasjonssvikt.

Dråpespekteret, dvs. fordelingen av dråpestørrelser, har også stor betydning for kollisjonseffektiviteten. Store dråper vil ha større bevegelsesmengde, og vil dermed lettere treffe en hindring enn små dråper. En luftmasse med store dråper vil derfor gi høy kollisjonseffektivitet (se figur 2.3).



Figur 2.3
Luftstrøm og dråpetrajektorier rundt en sylinderformet hindring

2.3.4 Istyper

Atmosfærisk ising blir tradisjonelt klassifisert etter følgende to dannelsesprosesser (se kapittel 2.1):

1. Nedbøris (sludd/ våtsnø eller underkjølt regn).

2. Skyis (underkjølte skydråper, lufttemperatur lavere enn 0 °C).

Det er hovedsakelig tre typer atmosfærisk is som fryser på konstruksjoner, og som er av betydning ved planlegging og prosjektering av nye bygg og anlegg; Glatt is (glaze ice), snø is (rime ice) og våtsnø (freezing wet snow). I tillegg finnes rimfrost (sublimering av vanndamp), men denne er ikke av betydning ved planlegging og prosjektering. For en designingeniør, kan disse istypene bli beskrevet ved hjelp av masse, tetthet, utforming, ruhet etc. Det er betydelige forskjeller mellom hver istype.

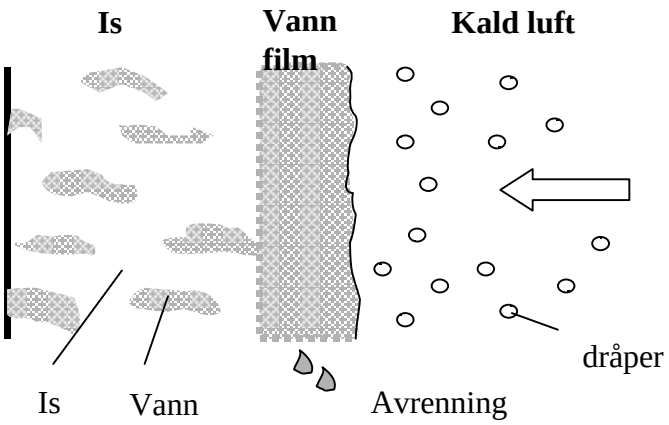
Glatt is dannes på to forskjellige måter:

A Frysende regn eller yr.

B Våt skyis der lufttemperatur og frigjort frysevarme gjør at fryseprosessen/overflaten er våt (figur 2.4).

Glatt is er den typen nedbøris og skyis som har høyest tetthet. Den er gjennomsiktig og har en tetthet på nærmere 900 kg/m^3. Form og overflatestruktur varierer med flere faktorer, men avhenger først og fremst av nedbørrate, lufttemperatur og vindhastighet.

Overflatetemperaturen ved ising er nær 0 °C, og derfor kan flytende vann strømme rundt hindringen og fryse på lesiden. Det er observert alt fra glatt halvmåneformet islagring, til ujevn taggete is (Makkonen, 1984, 1996).



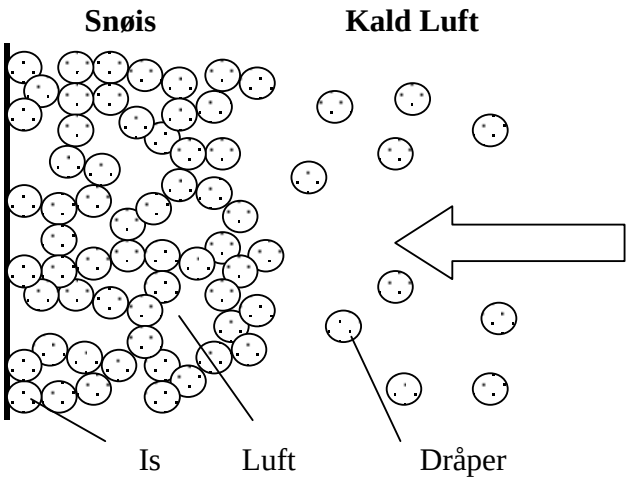
Figur 2.4
Vekst av glatt is (etter ISO/CD 12494, 2000)

Frysende regn eller yr oppstår når varm luft smelter snøkrystallene til regndråper, som videre faller gjennom kald luft (temperaturer under frysepunktet) nær bakken. Slike temperaturinversjoner (temperaturen stiger med høyden, se figur 2.5) vil oppstå når for eksempel en varmfront kommer inn over en dal, og kaldluften blir ”fanget” av den varme luften som passerer over de omkringliggende fjellene.

Figur 2.5
Temperaturinversjon (foto: Nils Ivar Nilsen, Forsvarets bygningstjeneste)

Snøis er den vanligste typen skyis, og dannes når underkjølte skydråper treffer en hindring og fryser spontant (se figur 2.6). Snøis dannes som regel som en fane mot vinden på lineære faste konstruksjoner (med faste konstruksjoner menes her at de ikke vil rotere rundt sin egen lengdeakse). Snøis gjenkjennes som melkeaktig og ugjennomsiktig is, som inneholder en del luftbobler. Tettheten varierer fra 300 til 900 kg/m^3.

På faste objekter dannes en ujevn isflate, mens det for dynamiske objekter som kraftledninger vil dannes sylindriske islagringer.



Figur 2.6
Vekst av snøis (etter ISO/CD 12494, 2000)

Den mest ekstreme snøisingen skjer på fjelltopper som er fritt eksponert (kyst eller innland), eller der hvor daler/ topografi tvinger fuktig luft gjennom fjellpass, noe som resulterer i høyere vindhastighet og løft av luftmasser slik at det dannes skyer. Isingsraten for snøis varierer hovedsakelig med:

- dimensjonen til objektet som er eksponert
- vindhastigheten
- vanninnholdet i luften
- dråpestørrelsesfordelingen
- lufttemperaturen.

Dersom lufttemperaturen er under -20 °C, vil vanninnholdet være så lite at det praktisk talt ikke vil oppstå skyising.

Våtsnø har den egenskapen at den fester seg til overflaten til objekter på grunn av at det finnes fritt vann i de delvis smeltede snøkrystallene. Våtsnø gjenkjennes på objekter som hvit is med en tetthet varierende fra 500 til 900 kg/m^3. På runde objekter vil det formes et sylindrisk islag, mens formen på islaget for irregulære objekter vil variere.

2.3.5 Dynamiske effekter

Isnedfall fra master og konstruksjoner vil være en naturlig følge dersom området er utsatt for atmosfærisk ising. Risikoen for personskader er derfor overhengende, og setter strenge restriksjoner for ferdsel i nærområdet av en slik konstruksjon. De vanligste følgene er som regel skader på hus, biler og lignende (jfr. isstormen i Canada i 1995 og i 1998). Ved høye konstruksjoner vil det også være en viss risiko for at isnedfall fra toppen (høyt oppe) av konstruksjonen kan forårsake skader på selve konstruksjonen på veien mot bakken. Isnedfall vil også sette i gang svingninger/ vibrasjoner og/ eller føre til skjev fordeling av islast på konstruksjonen, noe som gir store belastninger og som kan medføre sammenbrudd. I enkelte tilfeller vil det være nødvendig å lage et dempningssystem som kan forhindre slike vibrasjoner.

Figur 2.7
Atmosfærisk ising på høyspentmast (foto: R. Stenseth, AstraGuard)

Atmosfærisk ising gir fra tid til annen dynamiske effekter som spesielt fører til sammenbrudd av bardunerte master, og andre anlegg som er punktfestet til grunnen. Egensvingningene til en konstruksjon er som regel i utgangspunktet for høye til at de vil utløse resonans ved vindpåkjenninger. Dersom en slik konstruksjon iser ned, vil egenfrekvensen avta betydelig. Dette er viktig når de dynamiske kreftene som virker på en konstruksjon skal utredes, siden lave frekvenser vanligvis er de mest ødeleggende. Resonans (egensvingninger) og vibrasjoner over lang tid kan gi tretthetsbrudd. Lave temperaturer vil også føre til at materialet benyttet i konstruksjonen blir sprøere, noe som kan være en medvirkende faktor til sammenbrudd.

Galoppering er et annet fenomen som oppstår i sterk vind på kraftledninger med islagring. Isens utforming kan i enkelte tilfeller gi aerodynamiske løft/ ustabilitet, som setter i gang svingninger som kan føre til overslag og/ eller sammenbrudd av konstruksjoner.

2.4 Beregningsmodeller for isingsdannelse

2.4.1 Grunnleggende teori

Ising dannes når partikler i luften kolliderer med et objekt. Disse partiklene kan enten være væske (underkjølt vann), is (fast stoff), eller en blanding av vann og is. I et hvilket som helst gitt tilfelle, bestemmes maksimum ising per enhet areal på objektet ved fluks tettheten til disse partiklene. Flukstettheten, F, er et produkt av partiklenes massekonsentrasjon i luften, w, og hastigheten, v, til partiklene i forhold til objektet. Isingsraten kan dermed beskrives ved ligningen (ISO/CD 12494, 2000):

$$\frac{dM}{dt} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \cdot w \cdot A \cdot v \qquad [1]$$

hvor A er tverrsnittet på objektet orientert mot partikkelretning.

Korreksjonsfaktorene α_1, α_2 og α_3 representerer forskjellige prosesser som kan redusere isingsraten (dM/dt) fra maksimumsverdien (w·A·v). Disse korreksjonsfaktorene varierer mellom 0 og 1, og er beskrevet som;

α_1 = kollisjonseffektivitet
α_2 = feste-/ klebringseffektiviteten
α_3 = isingseffektiviteten

Kollisjonseffektiviteten, α_1, representerer andelen dråper som treffer objektet, relatert til det totalt innkommende antall dråper. Kollisjonseffektiviteten blir redusert ved økende objektstørrelse og avtagende vindhastighet og dråpestørrelse. Dersom en antar at hindringen er sylindrisk, eksisterer det en analytisk løsning for luftstrømmen rundt objektet, og kollisjonseffektiviteten kan parametriseres ved to *dimensjonsløse parametere* (ligning [2] og [3]):

$$K = \rho_w d^2 / 9\mu D \qquad [2]$$

og

$$\phi = \mathrm{Re}^2 / K \qquad [3]$$

der Reynoldstallet, Re, for dråper er basert på fristrømshastigheten v;

$$\mathrm{Re} = \rho_a d v / \mu \qquad [4]$$

Her er d dråpediameteren, D sylinderdiameteren, ρ_w tettheten til vann, μ absolutt viskositet for luften, og ρ_a luftens tetthet. Finstad et al., (1988a) har utviklet følgende empiriske tilnærming til de numerisk beregnede dataene;

$$\alpha_1 = A - 0{,}028 - C(B - 0{,}4545) \qquad [5]$$

der

$$A = 1{,}066K^{-0.00616} \exp(-1{,}103K^{-0.688})$$

$$B = 3{,}641K^{-0.498} \exp(-1{,}497K^{-0.694})$$

$$C = 0{,}00637(\phi - 100)^{0.381}.$$

Videre har det vist seg at median volum dråpediameter (MVD) for luftmassen kan benyttes i beregningene med god nøyaktighet (Finstad et al., 1988b). Det er dermed ikke nødvendig å kalkulere α_1 for alle dråpekategoriene.

Korreksjonsfaktoren α_2 representerer feste-/ klebringseffektiviteten til de partiklene som treffer objektet, dvs. forholdet mellom de partiklene som fester seg til objektet relatert til det totale antallet som treffer. Partiklene regnes som festet til objektet når de samles opp permanent, eller dersom oppholdet er tilstrekkelig til å gi betydning for isingsraten på grunn av termodynamiske effekter (varmeutveksling etc.).

Korreksjonsfaktoren α_3, isingseffektiviteten, representerer forholdet mellom isingsraten og flukstettheten til partiklene som festes til objektet. Denne faktoren avtar dersom varmefluksen fra isen er for liten til å opprettholde frysing av alle partiklene som fester seg, noe som resulterer i avrenning og tap av masse (se figur 2.4).

2.4.2 Meteorologiske isingsmodeller

Meteorologiske isingsmodeller slik som for eksempel *MM5* (ref. kapittel 1.3) tar utgangspunkt i meteorologiske elementer for å beregne ising. Disse elementene vil i hovedsak være temperatur, fuktighet, vindhastighet, vindretning, dråpespekter, vannmengde, skybase, skytopp, temperatursjiktning i skyen samt type og mengde nedbør (ref. kapittel 2.2). Disse elementene beskrives ved hjelp av (klima)parametere som:

- øyeblikks- eller middelvindhastighet og retning
- øyeblikks-, maksimums-, minimums- eller middeltemperatur
- relativ eller absolutt fuktighet
- nedbørsintensitet eller (akkumulert) nedbørsmengde.

Parametrene brukes i modellene til å beregne isingsintensiteten og islasten, generere geografiske isingskart, og til å forutsi isingsrisiko på kort og lang sikt (dager og år). Evaluering og sammenlikning av historiske meteorologiske data og observasjon av ising, er vanlig når en skal utvikle nye og verifisere eksisterende modeller for ising.

Metoder for estimering av islaster på kraftledninger kan i hovedsak deles inn i tre kategorier (Sakamoto, Y., Miura, A., (1996));

1. Metoder basert på observasjoner av årlig maksimum ising i løpet av en periode på minst 10 år.
2. Metoder basert på maksimal verdi for islast i løpet av et gitt antall år.
3. Evaluering av årlig maksimal islast ved analyse av meteorologiske klimadata.

Metodene i kategori 1 og 2 krever observasjoner av maksimal islast for det bestemte området, i tillegg til meteorologiske observasjoner. Slike data eksisterer sjelden og er tidkrevende å fremskaffe. Det er derfor metoder i kategori 3 som oftest benyttes for å estimere islaster samt å utvikle og verifisere isingsmodellene.

Ved analyse av de meteorologiske dataene, må disse ofte tilpasses det aktuelle området hvor isingen oppstår, da det sjelden blir foretatt gode meteorologiske målinger i perioder med ising på det bestemte stedet. Et vanlig problem ved planlegging og prosjektering av nye kraftledninger, er behovet for verdier av eksakte laster av skyis i et fjellandskap. Selv om det eksisterer gode fysiske modeller, mangler nødvendige inngangsdata, spesielt skyens vanninnhold og dråpespekteret.

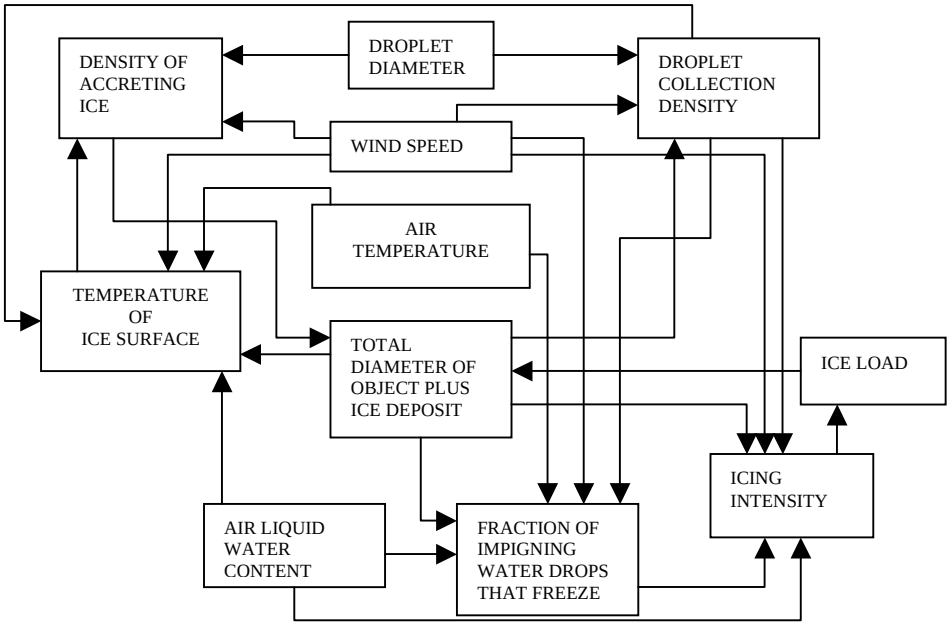
Det har også vist seg vanskelig å estimere disse parametrene ved bruk av observerte standard meteorologiske parametere som temperatur, fuktighet og nedbør. Lokaltopografien har stor betydning for ising, og den må derfor tas hensyn til i beregningsmodellene.

2.4.3 Numeriske/ fysiske isingsmodeller

I løpet av de siste tiårene har det vært en enorm utvikling innen bruk av datakraft for å løse problemer som krever stor regnekapasitet. Ved å løse vitenskapelige problem numerisk, i stedet for analytisk, er målet å unngå empiriske formler og konstanter som er årsak til stor usikkerhet, og ofte vanskelig å bestemme. Innsamling av gode feltdata vil alltid være grunnlaget for verifikasjon av numeriske modeller, i tillegg til at resultatene fra simuleringene må sammenlignes og verifiseres mot analytiske og empiriske formler.

Dersom start- og randverdibetingelsene er bestemt, vil det være mulig å simulere et bredt spekter av fysiske egenskaper til f.eks. luftstrømmer rundt hindringer. En mulig tilnærming til dette problemet, er å dele opp det simulerte forsøksområdet i et nett av celler med variabel størrelse. For hver celle bestemmes strømningsstørrelser som hastighet, trykk og tetthet. Endelig-forskjell (eller endelig-volum) approksimasjoner for bevegelsesligningene blir så benyttet for å beregne rom- og tidsutvikling for disse størrelsene.

Analytiske løsninger av isingsstørrelser som isingsrate, kollisjonseffektivitet og feste-/klebringseffektiviteten lar seg vanskelig løse i praksis, fordi empiriske ligninger for sammenhengen mellom vanndampens metningstrykk, spesifikk varmekapasitet og temperatur er involvert. På samme måte finnes det prosedyrer for å bestemme den konvektive koeffisienten for varmeutvekslingen mellom isflaten og luften (ISO/CD 12494). Numeriske modeller må også benyttes siden ising er en tidsavhengig prosess. Alle disse faktorene samlet gjør ising til en komplisert prosess (se figur 2.8). Det er knyttet stor usikkerhet til resultatene som kommer ut av de forskjellige beregningsmodellene, og en verifisering mot målte feltdata er derfor nødvendig.



Figur 2.8
Avhengigheten mellom de forskjellige faktorene i isingsprosessen forårsaket av vanndråper (ISO/CD 12494)

3 Typiske problemområder ved planlegging og utforming av bygninger og konstruksjoner

3.1 Problembeskrivelse

3.1.1 Bakgrunn

Forsvaret har i mange år vært nødt til å ”trosse naturen” ved å legge sine stasjoner på steder som er svært værutsatt. Ekstreme klimapåkjenninger er en betydelig utfordring for Forsvaret. Dette gjelder i første rekke sambands- og overvåkingsstasjoner, som av operative hensyn blir plassert for å få fri sikt over store områder. Forsvaret forsøker så langt det er mulig å ta hensyn til de naturgitte byggebetingelser ved planlegging av stasjonene, men det er nødvendig at planlegging og dimensjonering av nye anlegg utføres på grunnlag av mer pålitelige analyser av ytre klimapåkjenninger (optimalisere design med hensyn til motstandsevne mot ytre klimapåvirkninger). Alt tyder på at Forsvaret vil fortsette å bygge på værutsatte steder. Forsvaret opplever i *driftsfasen* følgende typiske problemer i forbindelse med ising, snødrift og fonndannelse:

- problemer med adkomst til bygninger
- problemer i forhold til ventilasjon og kjøling for utstyr og reservekraftanlegg
- sikt for radiolinjeantennespeil (R/L-speil)
- bygninger og beskyttelseskonstruksjoner får høyere og uforutsett belastningsbilde
- adkomst til stasjoner via bakke- eller lufttransport
- nedising av luftinntak
- tilleggsbelastning på konstruksjoner.

Forsvarets tele- og datatjeneste (FTD) forvalter ca. 300 store og små radiolinjestasjoner med tilhørende antenner for formidling av Forsvarets informasjon. Ising, snødrift og fonndannelse er et stort problem ved mange av disse stasjonene. I tillegg er enkelte av stasjonene samlokalisert med høye Norkring-antenner hvor nedfall av ising på vaiere og antenner kan skade konstruksjoner og antenner på FTDs anlegg. Dette kan være spesielt kritisk i en krise-/krigsoppbyggingsfase hvor det er helt nødvendig at systemet fungerer tilfredsstillende.

Sjøforsvarets forsyningskommando (SFK) forvalter en rekke kystradarstasjoner langs ytre, nordlige kyst. På disse stasjonene er det ikke registrert problemer med ising, men de nordligste stasjonene opplever hver vinter problemer med fonndannelse som fyller ”hulrom” i bygningene. Stasjonene defineres som svært krigsviktige anlegg og må sikres høy funksjonalitet i beredskapssituasjoner.

Luftforsvarets forsyningskommando (LFK) har en del bakke-luft-skip kommunikasjons-antenner (Ship-shore-ship-buffer SSSB) langs ytre kyst og luftradarer (SINDRE) plassert et stykke innenfor kysten i Nord-Norge og en rekke bakke-luft radioantenner over hele landet. Det er også planlagt bygget nye luftradarstasjoner (ACCS) i Midt- og Øst-Norge. Enkelte av disse stasjonene er ekstremt utsatt for ising og fonndannelse. Generelt kan sies at der konstruksjoner etableres i et jomfruelig terreng har det hittil vært vanskelig å forutse konsekvensene med hensyn til fonndannelse og ising.

3.1.2 Gjenising og av adkomst til bygninger

Selv om mange års erfaring er tilgjengelig, mener FBT det er nødvendig med større kompetanse innen snødrift og fonndannelse ved planlegging av nye bygninger, anlegg og installasjoner. Ikke sjelden opplever en at adkomsten til autonome stasjoner som er ment for sporadiske kontroller må graves frem av snøen.

3.1.3 Problemer i forhold til ventilasjon og kjøling for utstyr og reservekraftanlegg

Enkelte skjulte og beskyttede militære anlegg (fjellanlegg, nedgravde anlegg) inneholder mye elektronisk utstyr som avgir varme og forutsetter nedkjøling. Den eneste kilde til kjøling i slike tilfeller er uteluft. Uteluft for kjøling hentes via egne luftekanaler av type ”svanehalser” eller ”trålerhetter” av stålrør, og brukes til direkte kjøling eller som nedkjøling av et flytende kjølemedie. Disse luftinntakene har hatt en tendens til å innsnevres av is og snø. Når rørdiameteren reduseres, vil også lufthastigheten øke og fuktighetspartikler vil i større grad trekkes inn i kjøleanlegget og avsettes i bygningen med påfølgende fuktskader. Dessuten risikerer luftinntakene å snevres helt igjen, og forårsake funksjonssvikt.

Problemene kan unngås ved å sette på varme initiert av fukt-/temperaturdetektorer, ”snøostat” eller tilsvarende, som starter elektrisk opptining av problemområder.

3.1.4 Sikt for radiolinjeantennespeil (R/L-speil)

Radiolinjeantennespeil benyttet av FTD er konstruert og levert av NERA AS. Disse er konstruert som parabolantenner, 1 – 3 meter i diameter. Parabolen er spesielt forsterket og overdekket i forkant av en teflonbehandlet duk som vibrerer naturlig i vind slik at snø og is ristes av. Underkanten av antennen står vanligvis mellom 2 og 3 meter over bakken.
FTD og NERA AS er i ferd med å utvikle et nytt stativ for montering av antenner.

Om snøen dekker deler av, eller hele speilet, vil dette forårsake kommunikasjonsproblemer. Om antennene plasseres for høyt over bakken, krever dette til gjengjeld en kraftigere konstruksjon for å opprettholde stabiliteten. En kraftigere mast vil medføre større fundament og dermed dårligere kamuflasje. Det er derfor gunstig av flere grunner å forsøke å optimalisere høyden på antennene.

3.1.5 Tilleggsbelastninger fra snø og is

Avsetting av is på en konstruksjon vil kunne forårsake at den dynamiske profilen endres (i form av endret egensvingefrekvens, etc.) og at det økte omfanget på konstruksjonen vil medføre økt vindbelastning. Dette kan føre til at konstruksjonen skades eller, i verste fall, bryter sammen.

3.1.6 Adkomst til stasjoner via bakke- eller lufttransport.

Ikke alle stasjoner har adkomstvei helt frem. Tilgjengeligheten er ofte basert på at en må gå den siste biten. På enkelte stasjoner kan gangavstanden være lang og vanskelig tilgjengelig, og sikringshytter er enkelte steder bygget som sikkerhet mot vind og vær. Andre stasjoner ligger så avsides til, og i så værutsatte områder, at en må basere seg på helikoptertransport av personell, forsyninger og utstyr.

Det finnes stasjoner lengst nord i Finnmark som har radarnavigasjonssystemer montert i beltevogn og spesielle navigasjonspinner langs traseen for navigasjon gjennom tåke og tett snødrev. Stasjoner som baserer seg på disse typene av adkomst er mer sårbare for dårlig vær enn andre. Her kan snødrift og fonndannelse også være et problem med hensyn til rasfare og dårlig sikt.

3.2 Standardisering av stasjoner

Det må tas hensyn til følgende ved planlegging og prosjektering av nye bygninger, anlegg eller installasjoner:

- snødrift og fonndannelse/ gjenising av inngangsparti.
- gjenising av luftinntak.
- fri sikt for antenner.
- tilleggsbelastninger fra is og snø.
- adkomst/ transport.

Dette *kan* løses ved å konstruere standardløsninger for:

- beliggenhet av bygninger og andre konstruksjoner og funksjoner
- inngangspartiets beliggenhet
- tilleggskonstruksjoner for å lede vekk snødrift
- avisingssystemer (for eksempel med kjemikalier eller påsatt varme)
- antennebeliggenhet og/ eller høyde (tilpasses lokale forhold)
- utforming av bygninger og andre konstruksjoner.

Angivelse av slike standardløsninger bør bli en sentral del av standardanvisninger for prosjektering av Forsvarets spesielle anlegg.

4 Tilgjengelige klimadata

4.1 Varslingsverktøy

Det eksisterer i dag ingen varslingsverktøy som kan forutsi geografisk eller topografisk ising i terrenget i Norge, og det har heller ikke vært mulig å identifisere slike tjenester på verdensbasis. Årsaken til dette er først og fremst at dette er en meget komplisert oppgave, i tillegg til at det først i den senere tid har blitt satt fokus på problemet. Isstormer kan ha store følger, som for eksempel i Canada i 1998, der ca. 4 millioner innbyggere var uten elektrisitetstilførsel i flere uker etter en kraftig isstorm.

4.2 Vei og samferdsel

DNMI leverer værprognoser som gjør det mulig å varsle faren for ising på veibanen, antatt nedbør i form av snø, snøfokk, og lignende. Et meteogram er en grafisk fremstilling av været slik det er ventet å bli de neste 48, 120 eller 168 timene. Disse meteogrammene gir prognoser for temperatur, fuktighet, vindhastighet, vindretning, nedbør og skydekke. Ved å tolke et meteogram er det dermed mulig å forutsi hvordan for eksempel kjøreforholdene sannsynligvis vil bli i området meteogrammet er utgitt for. Flere av landets kommuner, og alle fylkeskontorer i Statens vegvesen, mottar meteogram opptil 4 ganger i døgnet.

For å beskrive værsituasjonen til enhver tid, finnes det i dag værradarer som oppdateres hvert kvarter hele døgnet. En slik værradar gir informasjon om nedbørsområder og nedbørsintensitet og deres bevegelser til enhver tid. I dag er det kun to værradarer i drift i Norge. Disse befinner seg i Asker utenfor Oslo og i Hægebostad i Vest-Agder. Radarene har en rekkevidde på ca. 240 km. Det foreligger planer om videre utbygging av slike radarer.

Andre tilgjengelige værtjenester fra DNMI er bl.a. spesialvarsler, værkart, SMS-meldinger til mobiltelefon, observasjoner, satellittbilder og klimaoversikter.

4.3 Flyværtjenesten

Fly er ekstremt utsatt for ising i form av underkjølte skydråper i atmosfæren. Når disse treffer flyet fryser de umiddelbart. Dette endrer de aerodynamiske egenskapene og manøvreringsdyktigheten til et fly betydelig, og er derfor et fryktet problem innen luftfarten. Denne typen ising kan skje svært raskt, og noen minutter med ising kan være nok til å forårsake et totalhavari. Flyværtjenesten spiller derfor en viktig rolle for sikkerhet, regularitet og økonomi i luftfarten. Internasjonalt samarbeid og utveksling av flymeteorologisk informasjon bidrar til å sikre kvaliteten på denne varslingstjenesten.

5 Innledende planlegging av målemetoder og feltforsøk

5.1 Feltdata

Atmosfærisk ising må regnes som en ”uværsvitenskap”, og det stilles derfor store krav til den som vil forsøke å utføre gode målinger i felt. Det er under forhold når været er på sitt mest ekstreme at målingene skal gjøres, og det finnes derfor generelt lite gode feltdata innen området atmosfærisk ising. Et stadig tilbakevendende problem er at utstyret bryter sammen under feltmålingene, og at nødvendige data ikke blir registrert.

5.2 Lokalisering av målestasjoner

Før arbeidet med å lokalisere målestasjoner startet, ble det utarbeidet noen kriterier for hva som kunne karakteriseres som en egnet målestasjon. Tidligere studier der målinger av ising på lokaliteter utsatt for hyppig ising har blitt utført, har vist at behovet for oppfølging og service på feltstasjonen er nødvendig. Dette setter krav til infrastrukturen i området, og det var derfor ønskelig under dette forstudiet å finne en lokalitet som var relativt lett tilgjengelig. Dersom instrumentene skal gi kontinuerlige og pålitelige data, er det nødvendig med eksterne strømkilder med større kapasitet enn det som normalt er innebygd i et instrument. Dette fordi strøm blir benyttet til å avise/ oppvarme instrumentene slik at de registrerer data under ekstreme isingsepisoder.

5.3 Hvilke parametere bør måles?

5.3.1 Generelle betraktninger

Det finnes i dag flere metoder og modeller for beregning av atmosfærisk ising, isingens utforming og oppbygging på konstruksjonsdeler, samt strømningsfeltet rundt konstruksjoner, først og fremst sylindere (Chaine and Skeates (1974), Meteorological Research Inc. (1977), Makkonen (1984), Makkonen (1996) og Haldar et al. (1996)). Det er utført en rekke eksperimenter for å utvikle modeller og etablere sammenhenger mellom atmosfærisk ising og meteorologiske variable (f.eks. Makkonen and Ahti (1994) og Lott and Jones (1998)).

Begrensningen til slike modeller for beregning av ising er at standard meteorologiske parametere (parametere som observeres på rutinebasis) er nødvendige, men ikke tilstrekkelige for å beskrive isingsprosessen. I felt vil det derfor bli målt isingsintensitet, dråpespekter og turbulens, i tillegg til standard meteorologiske data. Det vil også bli tatt enkelte prøver av luftkvalitet, som vil bli sendt til analyse for å bestemme innholdet av kondensasjonskjerner og frysekjerner.

Ising er ikke bare en funksjon av meteorologiske parametere, men avhenger også av egenskapene til objektet som er eksponert for ising, dvs;

- størrelse (diameter, bredde etc.)
- form (flat, skarpe kanter, sylindrisk, sirkulær etc.)
- fleksibilitet (fast/ fleksible deler/ torsjon etc.)
- orientering relativt til vindretning (innfallsvinkel)

Og til en viss grad:

- overflatestruktur (maling, stål, betong etc.)
- materiale (tre, stål, plast etc.).

Målinger av ising må derfor spesifiseres med hensyn til utstyr, prosedyrer, arrangement på feltlokalitet etc. Dette må i tillegg arrangeres på en slik måte at det har minst mulig innflytelse på selve isingsprosessen.

5.3.2 Standard meteorologiske data

Hovedutfordringen ved målinger i felt på lokaliteter utsatt for ekstrem ising, er å finne utstyr som er beregnet for slike forhold. For å registrere standard meteorologiske data som temperatur, relativ fuktighet, vindhastighet og vindretning, vil det derfor bli benyttet automatiske værstasjoner. På høyeste punkt i terrenget vil det bli montert en oppvarmet 2-dimensjonal akustisk vindsensor, som er designet og utprøvd under ekstreme isingsforhold. Her vil det også bli montert en temperatur- og fuktighetssensor. Denne sensoren vil bli plassert i beskyttede omgivelser, som blant annet vil være en instrumenthytte (standard DNMI hytte). Instrumentene vil være tilkoblet modem for kontinuerlig overvåkning.
I tillegg vil det bli montert 2-3 konvensjonelle automatiske værstasjoner i avtagende terrenghøyde. Dette utstyret er ikke konstruert for ising, og vil derfor bare registrere vinddata i tidsrommet fram til en isingshendelse. Instrumentene krever oppfølging, og jevnlig ettersyn er derfor nødvendig.

5.3.3 Ising, istykkelse og istetthet

Videokamera vil bli benyttet til å overvåke isingen. Kameraet vil bli plassert i et oppvarmet kamerahus, og vil være tilkoblet modem for kontinuerlig varsling av aktiviteten. Bildene fra kameraet vil bli analysert i et program beregnet for overvåkning (*Astraguard*). Programmet registrerer endringer til et digitalisert objekt i bildet. I dette tilfellet vil objektet være en vertikal sylinder med diameter 3/5/8 centimeter, og høyde 1 meter. Sylinderen vil i tillegg være tilkoblet en elektronisk vekt. Sylinderen vil videoovervåkes fra to vinkler og det vil derfor være mulig å registrere tykkelse og vekt på islaget, i tillegg til enhver endring i isens fasong eller overflatestruktur (isnedfall, istype o.l.). Eksempel på feltoppsett er vist i figur. 5.1.

Figur 5.1
Feltoppsett for videokamera (til venstre) og roterende multisylinder (til høyre i bildet)

5.3.4 Dråpespekter

For å utføre beregninger og simuleringer av ising, er det viktig å kjenne til skyens vanninnhold, fordelingen av dråpestørrelser (dråpespekteret) samt median dråpe diameter. Macklin (1962) utviklet en metode for å finne disse parametrene ved atmosfærisk ising. Dette ble gjort ved å la det ise på sylindere med varierende dimensjon, for så å beregne den effektive median dråpediameter for hver sylinder (Jones, 1988). Sylinderens kollisjonseffektivitet avtar med sylinderdiameter og øker med økende vindhastighet og dråpestørrelse.

Under de samme eksperimentelle forholdene vil derfor en større sylinder ha en større effektiv dråpediameter enn en mindre sylinder (Jones, 1988). Disse beregningene ble utført ved å bruke en multisylinder laget av seks seksjoner med diameter 1, 5, 10, 20, 50 og 80 mm som roterte med ca. 0,3 Hz. En slik multisylinder (se figur 5.1) vil derfor bli benyttet ved opphold i felt, for å beregne disse parametrene

5.3.5 Målinger av skyhøyde

Et av de meteorologiske kriteriene for at ising skal forekomme, er at luften er mettet med vanndamp. Den enkleste måten å identifiserer dette på, er observasjoner av skyer og skyhøyder. I Norge er det ca. 50 flyplasser som observerer skydata i et såkalt Metar-telegram den tiden flyplassen er åpen, noe som varierer fra noen timer til over 20 timer i døgnet. Et slikt Metar-telegram inneholder detaljerte opplysninger om skyhøyder og skymengder. En rekke av disse flyplassene ligger ute ved kysten og fanger opp lave skydekker som gir ising på nærliggende fjelltopper. En del av disse har også halvtimesmetar.

Alle måledata blir lagret elektronisk ved DNMI, en registrering som har pågått siden oktober 1995. På ca. 20 hovedflyplasser er det også ordinære SYNOP - program med dataserier på mer enn 30 år med elektroniske lagrede data 3 til 4 ganger pr. døgn, og i de siste årene inntil 8 ganger pr. døgn. En kort serie på en sesong eller mer med isingsregistreringer kan dermed sammenstilles mot skyobservasjonene i Metar-telegrammet, samt overordnede værparametere som temperatur, vindforhold, sirkulasjonstyper og eventuelt også nedbørsmengder.

Hovedhensikten vil derfor være å se hva skyhøyde og skymengde betyr for isingen, gitt forskjellige intervaller av temperatur, vind, nedbør og luftkvalitet. Ved å sammenligne disse observasjonene med registrert ising på et utvalg feltlokaliteter, vil det bli utviklet en metode for antatt ising basert på disse opplysningene. Hovedmålet videre blir så å produsere generelle langtidsserier for ising på forskjellige geografiske steder.

Referanser

Brock, J. R. (1972):
Condensational growth of atmospheric aerosols. Aerosols and Atmospheric Chemistry (G.M. Hidy, Ed), Academic Press, New York, 149- 153

Chaine, P. M., Skeates P. (1974):
Ice Accretion Handbook (Freezing Precipitation), Industrial Meteorology Study VI, Environment Canada, Toronto, Canada

Dudhia, J. (1992):
A Nonhydrostatic Version of the Penn state – NCAR Mesoscale Model: Validation Tests and Simulation of an Atlantic Cyclone and Cold Front, Mon. Weather Rev., Vol. 121, pp. 1493 - 1513

Fahleson, C. (1995*):*
Ice and Wind Loads on Guyed Masts, Doctoral Thesis, Lulea University of Technology, Sweden

Fikke, S. M., et al. (1982):
Ice Load Measurements and Design Practice, First Workshop on Atmospheric Icing on Structures, Hanover, N. H.

Finstad, et al. (1988a):
A Computational Investigation of Water Droplet Trajectories, J. Atmos. Oceanic Technol., 5, pp.160-170.

Finstad, et al. (1988b)*:*
On the Median Volume Droplet Diameter Approximation for Droplet Collision Efficiency, J. Atmos., Sci. 45, pp. 4008-4012.

Haldar, A., Pon, McComber, P., Marshall, M. A., Ichac, M., Goel, A., Katselein, M. (1996*)*:
Validation of Ice Accretion Models for Freezing Precipitation Using Field Data, IWAIS 1996, pp. 189-194

Hobbs, et al. (1974):
Ice Physics, Clarendon Press, Oxford

Houghton (1985):
Physical Meteorology, MIT Press, Cambridge, Mass., 442 pp.

International Organization for Standardization (ISO) (2000):
ICO/CD 12494 *Atmospheric Icing of Structures*, Draft (ISO/TC 98/SC 3)

Jones, K. F. (1988):
The density of natural ice accretions. IWAIS 1988, pp. 114-118.

Lott, J. N., Jones K.F., (1998*)*:
Using U.S. Weather Data for Modelling Ice Loads from Freezing Rain, IWAIS 1998, pp. 157-162.

Macklin, W. C. (1962):
The density and structure of ice formed by accretion. Quart. J. of the Royal Met. Soc., 88, pp. 30-50

Makkonen, L. (1984):
Modelling of ice accretion on wires, Journal of Climate and Applied Meteorology

Makkonen, L., Ahti K. (1994*):*
Climatic mapping of ice loads based on airport weather observations, Atmospheric Research 36 (1995). pp. 185-193

Makkonen, L. (1996):
Modelling Power Line Icing in Freezing Precipitation, Proceeding 7th International Workshop on Atmospheric Icing of Structures, 195-200.

Meteorological Research Inc. (MRI) (1977):
Ontario Hydro Wind an Ice Loading Model, MR177 FR-1496, 1997

Raastad, H. (1958):
Probes Icing On Overhead Lines

Sakamoto, Y., Miura, A. (1996):
Procedure for Estimating Ice Load on Overhead Wires Based on Short-Term Observation, Proceeding 7th International Workshop on Atmospheric Icing of Structures, 201-206