

# DNMI-RAPPORT

DET NORSKE METEOROLOGISKE INSTITUTT  
POSTBOKS 43 BLINDERN 0313 OSLO 3  
TELEFON: 22 96 30 00

ISBN 0805-9918

RAPPORT NR.

27/02 KLIMA

DATO

30.12.02

TITTEL

**Jetta FM/TV - mast  
Klimalaster.**

UTARBEIDET AV

**Knut Harstveit**

OPPDRAKSGIVER

**Telenor Plus, Norkring**

OPPDRAGSNR.

SAMMENDRAG

For Jetta FM/TV – sender, 1617 moh er vindverdier angitt ved bruk av Norsk standard for vindlaster og en generell høydefordelingsformel. 50 års verdien av 10 minutters middelvind er satt til 49 m/s og 3 sek. vindkast til 60 m/s i topp av masten, 74 m over bakken.

En generell ismodell er kjørt for flyplassene Fagernes, Dagali og Røros med høydekurver for skyis som resultat. Ut fra Fagerens - dataene er skyisen på anlegget vurdert. 50 års islast er funnet til 215 kg/m på et standard objekt i toppen av masten, mens 155 kg/m er verdien funnet i 10 m nivå. Modellkjøringene fra Fagernes og Dagali er sammenlignet med måledata fra Gaustatoppen. Det er påvist god konsistens med resultatet fra en ekstremverdianalyse for disse dataene.

UNDERSKRIFT

*Knut Harstveit*

Knut Harstveit  
SAKSBEHANDLER

*Eirik J. Førland*

Eirik Førland  
FUNG.AVDELINGSLEDER

## SAMMENDRAG

Vind og islaster på Jetta FM/TV – sender i Gudbrandsdalen er beregnet. 50 års verdier av 10 min middelvind og 3 sek. vindkast, samt tilhørende turbulensintensitet er gitt som følger:

Jetta	Um [m/s]	Ug [m/s]	Iu
Mastetopp	49	60	0.08
10 m høyde	45	55	0.09

10 persentilen av longitudinal turbulensintensitet er vurdert til 0.05 og 5 persentilen til 0.04. For vind over 10 m/s faller sannsynligheten for lav turbulens raskt.

En isingsmodell med data fra Fagernes lufthavn gir en 50 års islast på 150 kg/m på toppen av Blåhø, Jetta (1617 moh) og 210 kg/m i toppen av masten (74 m over bakken). Nedbøris kan legges til dette som en vekt på 5 kg/m i begge nivåer. Tettheten er vurdert til 500 kg/m<sup>3</sup>. Samlet 50 års isvekt blir da:

Jetta	50 års Isvekt
Mastetopp	215 kg/m
10 m høyde	155 kg/m

På ryggen opp mot Gaustatoppen i nivå 1750 moh, foreligger det en måleserie på 16 år og en ekstremverdianalyse gav 400 kg/m som den mest sannsynlige 50 – års verdi. Modellen er også kjørt med data for Dagali lufthavn, der det i 1750 m nivå er beregnet 325 kg/m skyis, mens Fagernesdata gav 235 kg/m i samme nivå. Beliggenheten i forhold til de storstilte fjellene tilsier en økning fra Fagernes mot Dagali og videre mot Gaustatoppen. Dette gir en god indikasjon på at modellen gir pålitelige resultater.

Det må påregnes at ising på faste konstruksjonsdeler fordeles opp mot vinden. Det kan antas at fordelingen følger av følgende tabell, hvor det antas elliptisk avtagning mellom sektorgrensen for maksimum og retningen for minimum istykkelse. Forholdet kan finnes ved ca. (8:1:2:1).

Jetta	Sektor	Tykkelse
Sektor for max. isvekst	120 – 180°	8X
Retning for min. isvekst	045°	X
Sektor for sekundær max. isvekst	300 – 330°	2X
Retning for min. isvekst	240°	X

Det kan forventes at 3 – års vindhastighet er 75% av 50 – års vinden, mens isvekten er tilsvarende redusert til 30 %. Det foretas ingen ytterligere reduksjon av vindlasten ved kombinasjonslaster.

## 1 INNLEDNING

Rapporten er laget på bestilling av Norkring, Telenor. Isingsbetraktningen er nå gjort ved å kjøre den nye isingsmodellen utviklet i 2002 for beregning av skyis for utsatte steder.

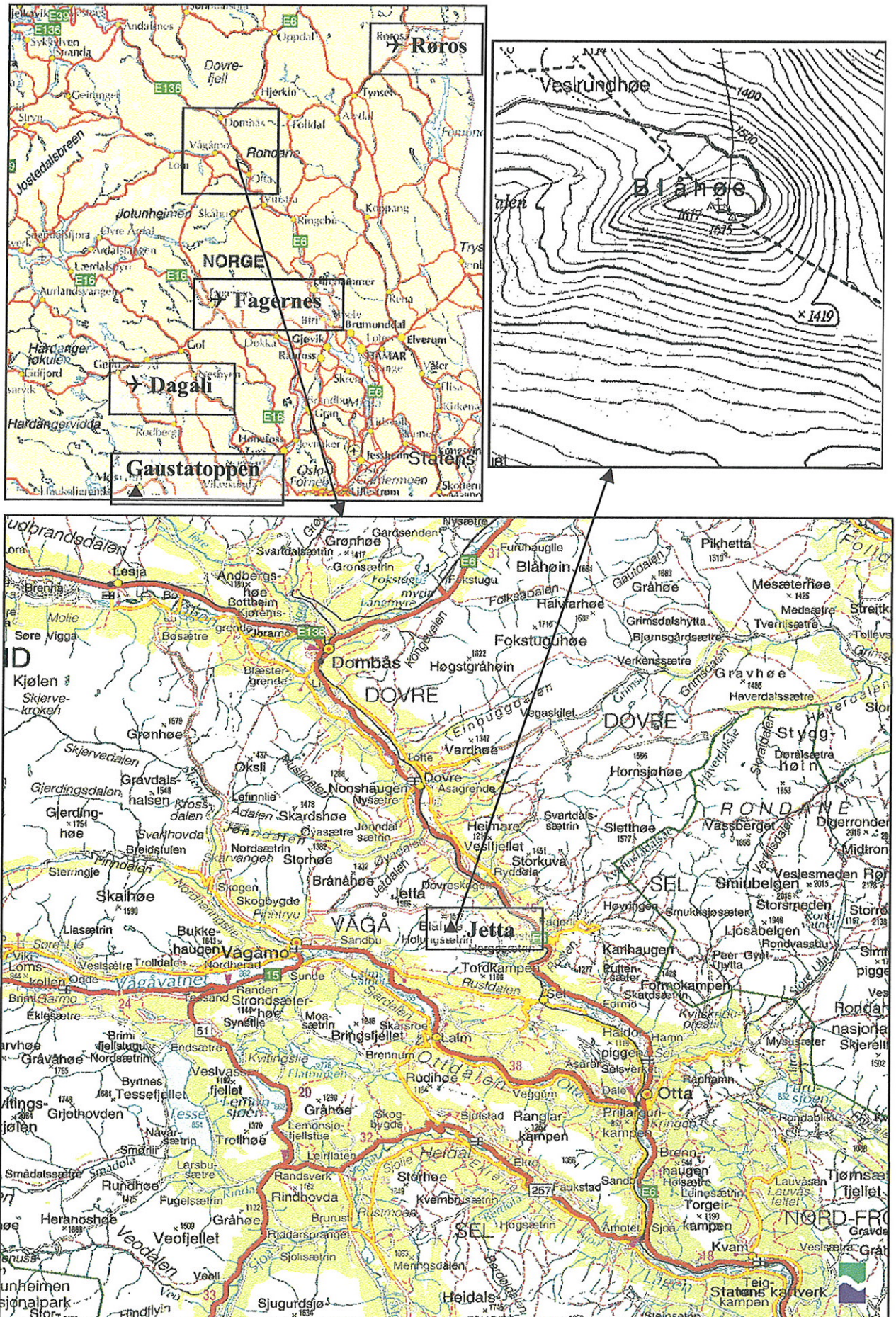
## 2 STED OG TOPOGRAFI

Senderen ligger i Gudbrandsdalen, på grensen mellom Vågå og Dovre kommune i Oppland, 10 km øst for Vågåmo, se Fig. 1. Området er omkranset av store fjellmassiver, Jotunheimen i sørvest, Breheimen i vest, Dovre i nord og Rondane i øst. Fjellmassivene når opp i over 1500 moh, med topper på over 2000 moh. Jetta ligger på grensen av tre dalfører mellom disse fjellmassivene, der Gudbrandsdalens åpning mot sørøst er særlig dominerende. Mot nordvest er det også en mindre åpning mellom fjellmassivene.

Jetta består av et fjellmassiv som deler Gudbrandsdalen ved Sel. Fjelltoppene i nærheten går opp i ca. 1200 moh., mens dalbunnen bare er 300 moh. Det er bratte fjellsider ned mot dalbunnen. Skoggrensen er typisk 900 moh i dette området. Jetta – senderen ligger på toppen av Blåhø, på kote 1617. Senderen er 74 m høy.

Fagernes flyplass ligger 100 km sør for senderen. Begge stedene ligger på sørøstsiden av fjellene, men Jetta fanger nok noe mindre skyer fra 180 – 190°, mens Fagernes ikke har noen gjennomgang av skyer fra nordvest. Røros flyplass ligger 130 km mot nordøst og Dagali 170 km mot sørsørvest.





Figur 1. Kart over Jetta og plassering i forhold til Fagernes flyplass.



### 3 METODIKK, DATAGRUNNLAG OG RESULTATER

#### 3.1 Vind

##### Metodikk

Fra Norsk Standard 3491- 4 (1) kan vi lese av ekstremvind med 50 års returperiode, 10 m over en referanseflate for alle kommuner i Norge. Både analyserte værkart over havområdene for 50 år og ekstremanalyser for flyplasser og fyrstasjoner inngår i datagrunnlaget for denne kommunelista.

Med en referanseflate mener vi et åpent, flatt område med overflateruhet 0.05 m, dvs. en typisk flyplassflate. I standarden er det også gitt ligninger for overgang til andre flatetyper, slik som hav, villastrøk, skog og storbyer. Det er også gitt høydefordelinger for høyder på 0 til 200 m, og regler for strømningsforsterkning over åser. For fjellområdene kan vi avlese økningen av referensevinden over tregrensen.

For anvendelser i et område med bratte fjell på 500 til over 1000 m høyder er det imidlertid ikke ferdige regler. I denne rapporten bruker vi derfor noe utvidet filosofi. For små høyder benyttes potensformelen,

$$\frac{U(z)}{U(10)} = \left( \frac{z}{10} \right)^n \quad \text{lign (1),}$$

og for store høyder

$$U(z) = 0.285 \cdot V_G \cdot \left( \frac{V_G}{f \cdot z_0} \right)^{0.065} \cdot \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) \quad \left[ \frac{m}{s} \right] \quad \text{lign (2)}$$

Potensformelen gir omtrent samme resultater som i Norsk Standard, i det n kan gies for hver ruhetsklasse. For transformasjon til store høyder (200 – 1000 moh) har Swinbank (1963) og senere Davenport (1974) (2) foreslått lign.2. Her er f coriolisparameteren ( $0.00012s^{-1}$ ), og  $z_0$  overflateruheten. Ligningen kobler bakkevinden,  $U(10m)$  eller vinden i høyde z,  $U(z)$ , til gradientvinden  $V_G$  (vind over friksjonslaget). Dersom  $U(10)$  er kjent kan  $V_G$  bestemmes, og  $U(z)$  beregnes for ønsket z.

Kastfaktoren i 10 m høyde kan settes til 1.35 for en sjøflate, og reduseres ved z m høyde over havet etter lign. (3):

$$\frac{gf_{3sek}(z) - 1}{gf(10) - 1} = \left( \frac{z}{10} \right)^{-n} \quad \text{lign (3).}$$

Forventet turbulensintensitet ved sterk vind kan beregnes fra lign. (3), se (3):

$$I(z) = \frac{gf_{3sek}(z) - 1}{2.6} \quad \text{lign (4)}$$

For overføring til andre returtider kan data fra nærliggende stasjoner benyttes, evt. kan følgende koeffisient, hentet fra (1), for transformasjon til returtider til 2 – 100 år:

$$C_{SAN} = \left( \frac{1 - 0.2 \ln[-\ln(1-p)]}{1 - 0.2 \ln[-\ln(0.98)]} \right)^{0.5} \quad \text{lign (5)}$$

der eksponenten 0.5 passer ved Rayleigh – fordelt vindhastighet. Ligningen er hentet fra internasjonale koder, men er testet og funnet å passe for eksponerte vindstasjoner i Norge.

## Resultater

Jetta ligger på kommunegrensen mellom Dovre og Skjåk. Dovre har størst referanseverdi, iflg. (1) ligger denne på 24 m/s. Referanseverdien benyttes opp til 900 m over havet i Sør-Norge. For høyere verdier benyttes A.4 i (1), hvor lign. (A.1) gir økningen fra 900 opp til 1500 m over havet.

Toppen av anlegget på Jetta ligger 1691 moh. Fjellet ligger i et område omkranset av andre fjell, flere nærliggende topper ligger omtrent 1200 moh. Det kan derfor være naturlig å lage en "nullpunktsflate" i 1200 m nivået, og så beregne vinden 490 m over denne flaten. Lign. (A.4) i (1) gir da  $C_{HOH} = 1.125$ , dvs. at referansevinden har økt fra 24 til 27 m/s. De glatte, snødekkede (i sen høst og vintersesong) toppene omkring Jetta tilsier en ruhet som på kysten, dvs. 0.01m. Bruk av lign. (2) med "treff" på  $27 * 1.17$  m/s i 10 m nivå, gir da 49.4 m/s som 50 års verdi av 10 min middelvind i 490 m nivå, dvs. i nivå med mastetopp. 1.17 er omregningsfaktor fra referanseflate til en flate med ruhet 0.01m, funnet fra (1).

Vinden i 10 m høyde er anslått ved å benytte 0.05 som profilmfaktor i lign. (1), her er antatt at økt overstrømming motvirker bakkefriksjonen, dog med en liten netto reduksjon nær bakken som resultat. Dette gir 44.7 m/s.

Med 1.35 som akseptert kastfaktor i 10 m nivå over flatt terreng med ruhet 0.01 m, gir lign. (3) 1.21 som kastfaktor i 490 m nivå, dvs. at 50 års verdien av 3 sek. vindkast i mastetopp blir  $1.21 * 49.4 = 59.8$  m/s. Tilsvarende profilmfaktor for kastfaktorprofilen gir 1.23 som kastfaktor i 10 m nivå og 55.2 m/s som 50 års vindkast i 10 m nivå.

For den mest sannsynlige turbulensintensiteten kan lign. (4) benyttes, der inngangsdata er data for vindkast og middelvind.

### Tabell 1

50 års verdier av 10 min middelvind og 3 sek. vindkast, samt turbulensintensitet.

	Um [m/s]	Ug [m/s]	Iu
Mastetopp	49	60	0.08
10 m høyde	45	55	0.09

Diskusjonen vedrørende lav turbulensintensitet gitt i (4) antas gyldig også her og vi kan anslå 10 persentilen av longitudinal turbulensintensitet til 0.05 og 5 persentilen til 0.04. For vind over 10 m/s faller sannsynligheten for lav turbulens raskt.

## 3.2 Is

### Generelt

En modell for skyis for eksponerte områder er beskrevet i IWAIS 2002 (5) og i en artikkel oversendt til J.of Appl. Met. (6). En kort gjennomgang er gitt i (4).

I (5) er det vist at ekstremverdien av skyis på et standardlegeme, slik dette defineres i ISO 12494 (7), kan beregnes ut fra timesdata for temperatur, vindhastighet og skyhøyde på eksponerte flyplasser. Kravet om timesoppløsning er ikke absolutt, men nøyaktigheten vil bli noe mindre for de plassen som har færrest observasjoner (6 – 12 pr. døgn). Dataene fra flyplassene omregnes til ulike høyder ved hjelp av standardformler som er kalibrert ved bruk av data fra fjelltopper (temperatur) og radiosonedata (vind). Den fuktige luften som kommer inn fra sjøen forutsettes løftet av kystnære fjell, og vanddampen mettes i skybasis. Da er skyvannet på et eksponert sted proporsjonalt med kondensert vann beregnet fra metningskurven. Midlere dråpestørrelse finnes fra teoretiske antagelser og siktmålinger fra en ås nær Oslo (Hurum) og skyhøyde målt på Rygge flyplass under forskjellige skyhøyder under åshøyde. Dersom dråper felles ut gjennom nedbør eller ved frysing, kan dette angis ved en utvaskingskoeffisient,  $\alpha < 1$  og vannmengden og dråpestørrelsen reduseres.

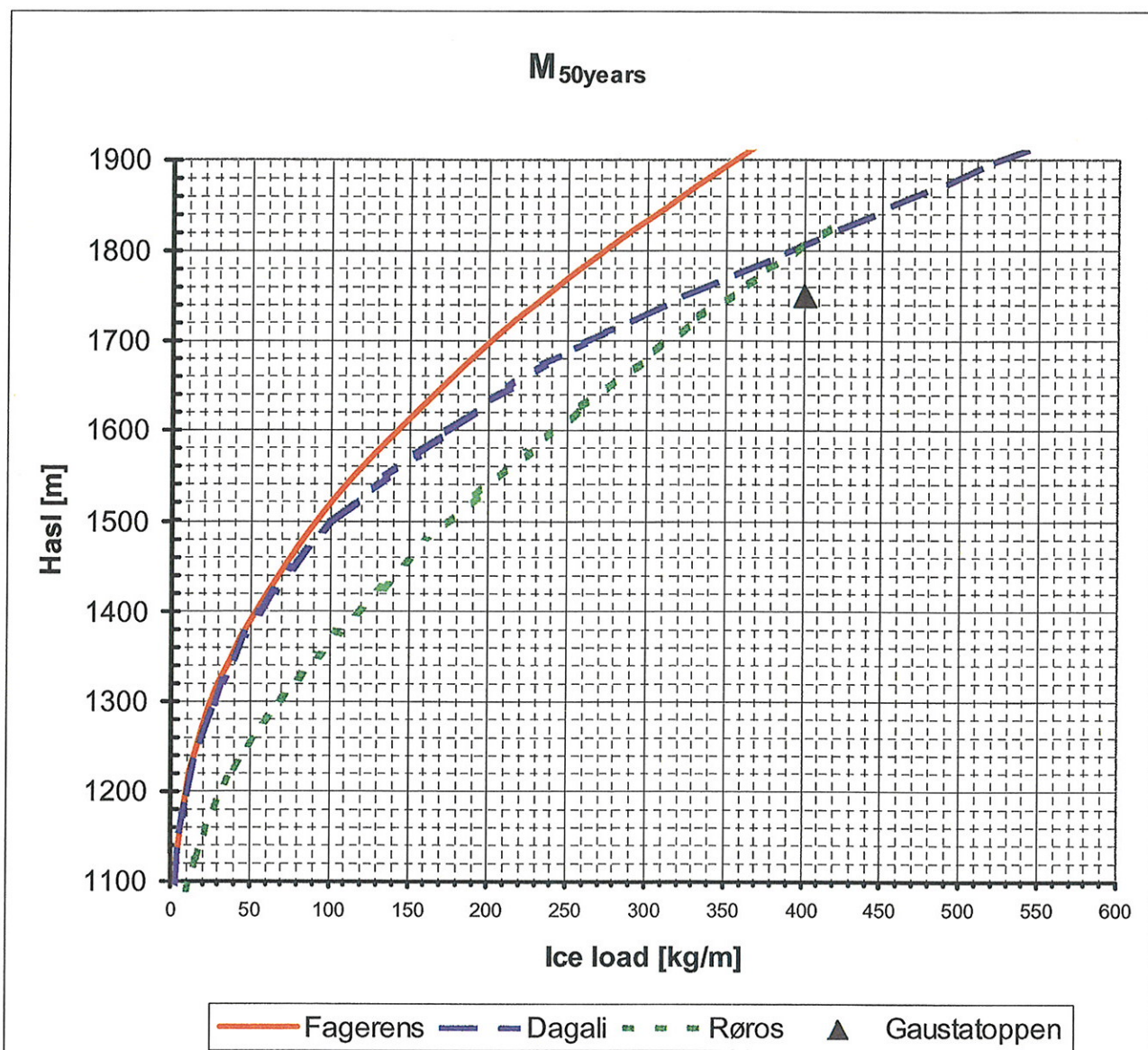
Behandling av kollisjonskoeffisienten ved store ismengder er angitt i (4). Metodikken fra (5) og (6) gir islast i 10 m høyde over bakken. I (4) beskrives hvorledes en kommer fram til isøkning med økende høyde over bakken.

### Jetta

Jetta ligger i et område der modellen egentlig ikke er forutsatt å gjelde. Men da det er meget vanskelig å skaffe til veie relevante data vil vi likevel gjøre et forsøk. Metoden kan bare gjøres for eksponert terreng, dvs. fjellhøyder som kun har lavere terreng mot viktige innstrømningsretninger.

Jetta ligger utsatt til for fuktig luft som kommer inn fra sørøst fordi denne vinden går over lavere terreng før den når anlegget. Under denne lufttransporten skjer det en gradvis heving og kontinuerlig kondensering av vanddamp til dråper, som igjen vaskes ut ved nedbør. Resultatet blir en heving av skybasis innover mot stedet. Nærmeste flyplass med Metardata er Fagernes flyplass, 100 km mot sør. Denne ligger 822 moh. Fuktig luft kommer også dit fra sørøst og har vært utsatt for tilsvarende prosesser som ved Jetta. Flyplassens nivå kan nå grovt sett oppfattes som en ny "nullpunktsflate", og alle vurderinger skjer i forhold til denne flaten i stedet for havflaten beskrevet i (4). Med denne høyde som ny referanse høyde antas all utvasking ivaretatt og modellen kjøres med  $\alpha = 1.0$ . Det antas at vindflaten i 1200 moh heves til 1800 moh i dette området, og vindprofilene beregnes ut fra denne antagelsen etter metodikken beskrevet i (5), også gitt (4), Appendiks 1.

130 km SSW for Fagernes finner vi Gaustatoppen, 1883 moh. Dette stedet tas med i diskusjonen fordi det er data herfra. Selve toppen har form som en rygg som faller litt i høyde mot sør. I 1750 m nivået på denne ryggen har Statnett hatt stående teststasjoner, der det fra 1983 – 1998 er observert årlige maksimalvekt av is, og en ekstremanalyse viser at forventet 50 – års isvekt ligger på 400 kg/m på den meste eksponerte av disse (8). Nå ligger Gaustatoppen også noe utsatt for fuktige luftmasser fra sørsørvest, slik at det kan påregnes mer is enn Fagernesdataene vil antyde. Bruk av disse med høyde 1750-825=925 m gir beregnet islast på 235 kg/m. Dagali flyplass, 798 moh, midt mellom Fagernes og Gaustatoppen, er også benyttet for å se om isen øker mot Gaustatoppen. Resultatet er 325 kg/m, hvilket gir god konsistens mellom ismålinger og modellberegninger til tross for reservasjonen over (Fig. 2).



**Figur 1.** Skyiskurver for flyplassene Fagernes, Dagali og Røros og ekstremverdiberegning av observert is på Gaustatoppen, 1750 m nivå.

Jetta får trolig også noe is fra nordvest, mens stedet har noe redusert is fra søsørøst i forhold til Fagernes. Dersom disse forhold har omtrent lik størrelse, kan vi finne isen på Jetta direkte fra Fagernes ved bruk av høyden  $1617 - 825 = 792$  m med resultat  $150$  kg/m. Til sammenligning ville bruk av Dagali flyplass gi  $188$  kg/m og Røros flyplass  $253$  kg/m Begge disse ligger imidlertid mindre skjermet enn Fagernes og Jetta, og gir naturlig nok noe mer is.

Ved kjøring med vindfunksjon uten 0.8 reduksjon (se (4)) og avlest verdi  $200$  m over toppen, får vi en eksponentfaktor på  $0.0053$  i eksponensialfunksjonen

$$K_h = e^{kz} \quad \text{linn (6)}$$

og en koeffisient  $K_h(74\text{m})=1.40$ . Dvs., isvekten i mastetoppen øker fra  $150$  til  $210$  kg/m, referert til et standard legeme.



Vi gjør ingen spesiell undersøkelse av nedbøris, men benytter 5 kg/m som tillegg til disse tall, slik det ble beregnet for anleggene i (4). Dvs. vi vår samlet 50 – års isvekt på 155 og 215 kg/m på et standard legeme 10 m og 74 m over bakken.

## Skjev islastfordeling

Tabell 2

*Oversikt over sektorer med maksimal og minimal isvekst.*

	Sektor	Tykkelse
Sektor for max. isvekst	120 – 180°	8X
Retning for min. isvekst	045°	X
Sektor for sekundær max. isvekst	300 – 330°	2X
Retning for min. isvekst	240°	X

Det må påregnes at ising på faste konstruksjonsdeler fordeles opp mot vinden. Det kan antas at fordelingen følger av tabell 2, hvor det antas elliptisk avtagning mellom sektorgrensen for maksimum og retningen for minimum istykkelse. Forholdet kan finnes ved ca. (8:1:2:1) og is i sektor for maksimal og sekundær maksimal vekst forutsettes forekomme samtidig. Tettheten anslåes til  $500 \text{ kg m}^{-3}$ , hvilket er noe lavere enn antatt ved tidligere anslag. Dette skyldes at en er kommet fram til denne erkjennelsen gjennom arbeidet med ismodellene.

## Kombinasjonslaster

Jetta - masten ligger i isrisikosone 10, og med omtrent all 50 – års isvekt knyttet til skyis. Dataene viser at det er skyis i alle mastene hvert år, og det er derfor ikke grunn til å redusere sjansene for sterk vind når det er is i mast. Vi benytter derfor kap. 9 i ISO 12494 (7), med 0.75 som overgangsfaktor til 3 års vind og 0.3 til 3 års is. Men k-verdien i tabell 26 settes til 1.0 for alle mastene.

## 4 REFERANSER

- (1) Norsk Standard NS 3491- 4, 2002: Prosjektering av konstruksjoner – Dimensjonerende laster – Del 4 Vindlaster. Norges Byggstandardiseringsråd, NBR, Oslo.
- (2) Plate, E. (editor), 1982: *Engineering Meteorology*. Chpt. 12. The interaction of Wind and Structures, by Davenport, A. G. Elsevier, Amsterdam, the Netherlands.
- (3) Harstveit, K., 1996: Full scale measurements of gust factors and turbulence intensity, and their relations in hilly terrain. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 61, 1996, pp 195-205
- (4) Harstveit, K., 2002: Hadsel, Kistefjell, Trolltind, Alta og Nordkapp FM/TV master. Klimalaster og dokumentasjon av isingsmodell. DNMI KLIMA 22/02. Oppdragsrapport for Norkring, Oslo 2002.
- (5) Harstveit, K., 2002: Using routine meteorological data from airfields to produce a map of ice risk zones in Norway. *Proc. 10<sup>th</sup> Int. Workshop on Atmos. Icing of Structures*, Brno, Czech Republic.
- (6) Harstveit, K., 2002: In-cloud ice loads at exposed sites calculated from routine meteorological observations at airfields. Submitted to the *Journal of Applied Meteorology*, nov. 2002.
- (7) International Standard, ISO 12494, 1. edition, 2001-08-15. Atmospheric icing of structures.
- (8) Savadjiev, K. and S.M. Fikke, 2001: Extreme value analysis of ice accretion data from Norwegian measurement rack network. *Proc. of the Eleventh Int. Offshore and Polar Eng. Conf.*, Stavanger, Norway. (ISBN 1-880653-52-4 (Vol. I))
- (9) Krishnasamy, S, Fikke, S. M. og O. E. Tveito, 2000: Estimation of extreme wet-snow loads in Southern Norway. *Proc. 9<sup>th</sup> Int. Workshop on Atmos. Icing of Structures*, Chester, United Kingdom