



Roan vindkraftverk, Roan, Sør-Trøndelag

Konsekvenser av atmosfærisk ising på
ferdsel og produksjon

Rapport nummer: KVT/LT/2009/037



Rapportnummer KVT/LT/2009/037	Dato 04.08.2009
Roan vindkraftverk, Roan, Sør-Trøndelag	Klassifisering Begrenset til kunde
Konsekvenser av atmosfærisk ising på ferdsel og energiproduksjon	Utgave nummer. 1
Kunde Sarepta	Antall sider 11
Kundens referanse Helge Dalbu	Status Endelig rapport

Sammendrag

Det er utført analyser av hyppigheten av atmosfærisk ising i den planlagte vindparken i Roan kommune i Sør-Trøndelag. Hensikten er å klarlegge hvilke konsekvenser isingen vil få for alminnelig ferdsel i området.

Det må forventes at det danner seg is på vingene på vindturbinene ca 6% av tiden i Roan. Dette karakteriseres som moderat ising. Dette fører til at sannsynligheten for at is i løpet av et år skal falle på en m² 50m fra turbinen er ca 1/100. Sannsynligheten faller med avstanden fra turbinen.

Vi anbefaler at det settes opp skilt som varsler om fare for isnedfall og at det utarbeides egne sikkerhetsrutiner for de som arbeider i vindparken.

Det er ikke utført detaljerte beregninger av forventet produksjonstap på grunn av ising. Overslagsberegninger viser at produksjonstapet kan bli i størrelsesorden 1.0% - 2.5% for vindturbiner uten oppvarmede vinger.

Forbehold

Selv om det i arbeidet med denne rapporten, så langt vi kjenner til, er benyttet oppdaterte analysemetoder, og vi i vårt arbeid forsøker å gi et så godt resultat som mulig, kan Kjeller vindteknikk AS ikke holdes ansvarlig for resultatene i rapporten eller for framtidig bruk av denne, og heller ikke for eventuelle direkte eller indirekte tap som skyldes eventuelle feil i rapporten.

Revisjonshistorie				
Utgave	Dato	Antall eksemplar	Kommentar	Distribusjon
1	04.08.2009		DRAFT	
2	10.08.2009		Endelig	

	Navn	Dato	Signatur
Utført av	Lars Tallhaug	10/8-2009	Lars Tallhaug
Kontrollert av	Anja Saxebøl	10/8-2009	Anja Saxebøl
Godkjent av	Lars Tallhaug	10/8-2009	Lars Tallhaug

Innhold

1	INNLEDNING	3
2	HYPPIGHET AV ISING I ROAN VINDPARK	4
3	ERFARINGER FRA NORGE	8
	3.1 GENERELLE ERFARINGER	8
	3.2 ERFARINGER FRA KJØLLEFJORD	8
4	SIKKERHET	11
5	PRODUKSJONSTAP	13
6	BIBLIOGRAFI	14

1 Innledning

Sarepta planlegger å bygge en vindpark med navn Roan vindpark i Roan kommune i Sør-Trøndelag. Vindparken er plassert i et fjellområde som strekker seg opp til ca 460moh på det høyeste.

Kjeller Vindteknikk har utført en studie av isingsforholdene i Roan vindpark. Grunnlaget for analysen har vært vindmålinger fra 4 vintre og observasjoner av ulike meteorologiske parametre på Ørlandet Flyplass som ligger ca 70km fra Roan vindpark.

Gitte kombinasjoner av temperatur, fuktighet og vindhastighet vil kunne medføre isdannelse på vindturbiner. Ved temperaturer under null og samtidig tåke er det muligheter for ising. Den mest vanlige form for ising er underkjølte skydråper som fryser på kalde overflater de kommer i kontakt med. I tillegg kan underkjølt regn og kraftig snøfall ved temperaturer nær null medføre ising. I Trøndelag er det sjelden at ising oppstår som et resultat av underkjølt regn.



Figur 1 Ising på vindturbinvinge i Finland. Bildet er gjengitt med tillatelse fra Finsk Meteorologisk Institutt.

Hyppigheten og mengden ising er svært avhengig av hvor høyt over omgivelsene det aktuelle området befinner seg. En høy fjelltopp vil ofte befinne seg inne i skyene. Dersom temperaturen samtidig er under null, vil det kunne akkumuleres is på konstruksjoner.

På en vindturbin vil det også legge seg is under slike værforhold. Dersom turbinen roterer samtidig som isen akkumuleres, vil normal isen legge seg på fremkanten av vingen som vist i Figur 1. Denne isen vil kunne redusere produksjonen til turbinen, eller i verste fall stoppe den helt.

Is om har lagt seg på vingen vil normalt falle av i biter av ulik størrelse. Isen vil som oftest fragmenteres i mindre biter før den treffer bakken, (Seifert, Westerhellweg, & Krönig, 2003)

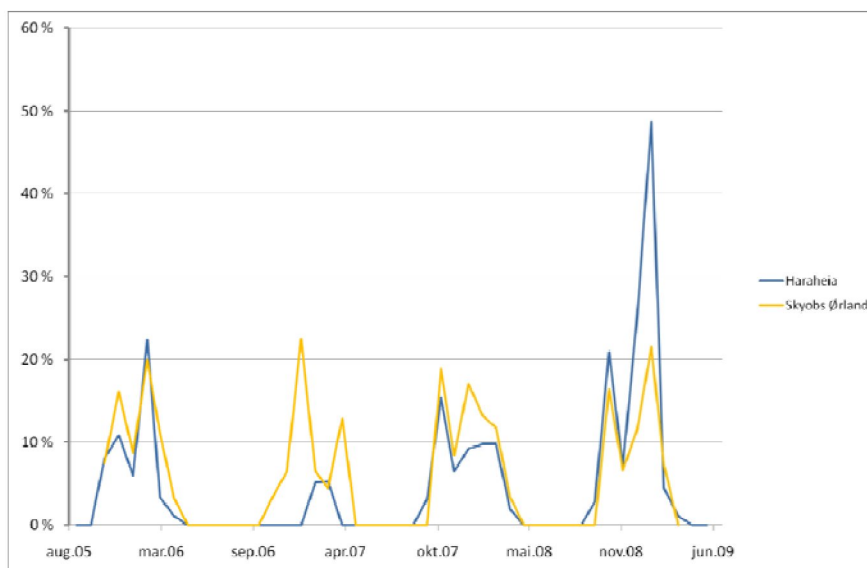
Hensikten med studien er å klarlegge hvor ofte det vil danne seg is på turbiner i Roan vindpark og hvilke konsekvenser det vil ha for allmennheten.

2 Hyppighet av ising i Roan Vindpark

Det er utført vindmålinger på Haraheia i Roan siden mai 2005. Vindmålestasjonen står 431 moh og er 50m høy. Det vil si at vindmålingene er utført 481moh. Vindturbinene er planlagt med en navhøyde på 80m og blir plassert mellom ca 460moh og 230moh. Det vil si at navhøyden blir mellom 540moh og 310moh. Fordi dette er en utredning av de sikkerhetsmessige forhold, er det valgt å være litt konservativ og benytte en høyere høyde enn gjennomsnittet av turbinene. Det er derfor benyttet 500moh. Det vil være stor variasjon mellom turbinene i vindparken, og de fleste vil få mindre ising.

Vindmålinger gir en god indikasjon på hyppigheten av ising. Den beste indikatoren er når vindretningen ikke endrer seg over et gitt tidsrom. Summen av denne tiden viser hvor ofte det er is på sensorer. Etter en periode der is akkumuleres vil isen kunne sitte på dersom temperaturen er under null og isen heller ikke faller av eller blåser av. Den tiden da is akkumuleres er kortere enn den tiden det er is på sensorene.

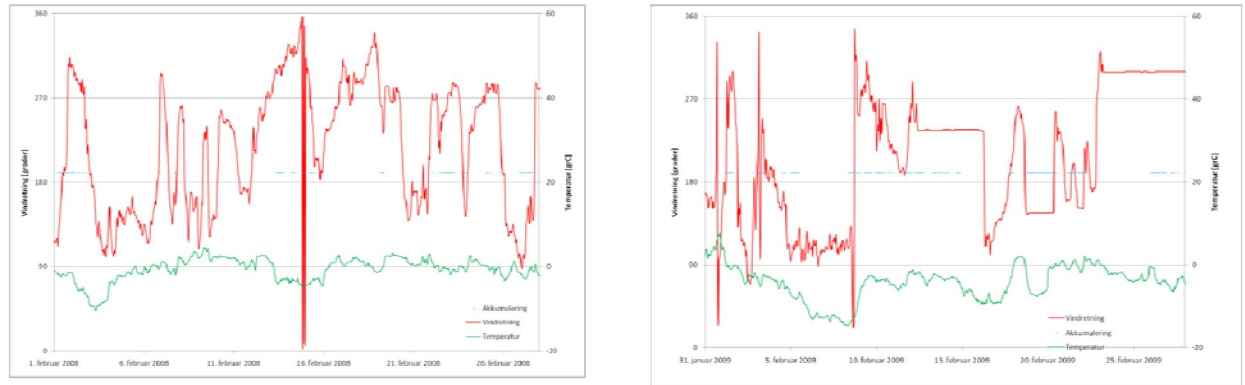
I tillegg er det utført en analyse basert på observasjoner på Ørland Flyplass. Her har vi benyttet data om skyhøyde, skydekke, temperatur og vindhastighet til å beregne mengde og hyppighet av ising. Denne metodikken ble utviklet i prosjektet "Atmosfærisk ising på vindkraftverk", (Tallhaug, Harstveit, & Fidje, 2005)



Figur 2 Frekvens av ising. Verdiene for Haraheia er basert på ising på vindsensorene på målemasten. Skyobs Ørland er frekvens av akkumulering beregnet fra observasjoner av skyer, vind og temperatur på Ørlandet.

I Figur 2 har vi vist frekvens av ising beregnet med to ulike metoder. Figuren viser at vinteren 08/09 hadde mye ising på vindsensorene på Haraheia. Om vi derimot ser på beregningene fra skyobservasjonene viser ikke de den samme variasjonen. Det er viktig å være klar over at kurven som heter Skyobs Ørland bare angir den delen av tiden der is akkumuleres. Den andre viser den delen av tiden som det er is på sensorene. Grunnen til at det er så mye ising på sensorer i februar 09 er at når isen først har lagt seg har det tatt lang tid til den har smeltet eller blåst av. I Figur 3 er februar 2008 sammenlignet med februar 2009. Middelttemperaturen i februar 2008 var -0.7°C og i februar 2009 -4.7°C . Det er en viktig grunn til at det tok tid før den

akkumulerte isen forsvant i februar 2009. Samtidig ser vi at noe av den isingen vi har beregnet med basis i Ørlandet ikke helt samsvarer med isingen på målestasjonen på Haraheia. Dette skyldes sannsynligvis at beregningene fra Ørland Flyplass ikke tar hensyn til den topografien som finnes i nærheten av målestasjonen.



Figur 3 Vindretning og temperatur for februar for Haraheia. 2008 til venstre og 2009 til høyre. I tillegg er det plottet perioder med akkumulering av is beregnet fra Ørlandet Flyplass.

For å komme fram til årlig midlere hyppighet av ising benytter vi middel for hver måned av hyppigheten med Ørland data for de tre første vintrene. For den siste vinteren har vi benyttet ising på sensorer. Det betyr at vi har benyttet de mest konservative verdiene. De månedlige verdiene som er lagt til grunn er vist i Tabell 1.

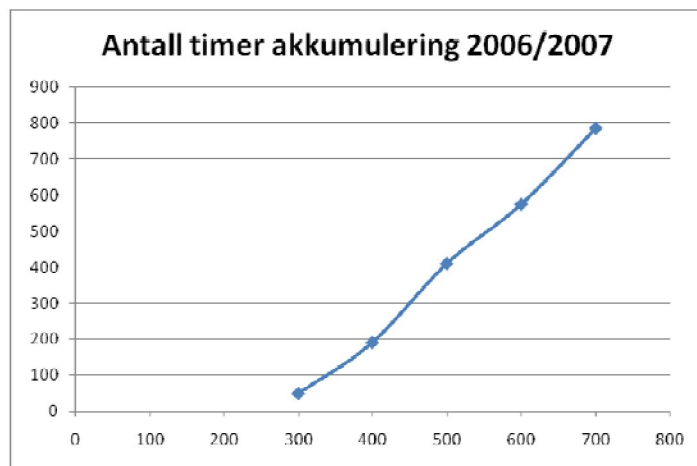
Ut i fra analysene som er utført kan vi forvente en årlig midlere hyppighet av ising i Roan vindpark på 6% 500moh. Dette er å betrakte som en middelvei for vindparken. Det vil være lokale variasjoner på grunn av at høyden over havet varierer for de ulike turbinene og at topografien i varierende grad vil skjerme ulike deler av parken.

Tabell 1 Forventet frekvens av ising i Roan vindpark 500moh. Gjennomsnittlig årlig frekvens blir da 6%.

Juli	0%
August	0%
September	0%
Oktober	0%
November	10%
Desember	10%
Januar	15%
Februar	20%
Mars	10%
April	5%
Mai	0%
Juni	0%

En klassifisering av graden av ising er gitt i (Fikke, et al., 2007). Denne kommer fra et arbeid i EU prosjektet EUMETNET fra 2004, og baserer seg på dager med ising, varighet av ising i % av tiden eller intensiteten. Klassifiseringen er gjengitt i Tabell 2.

Ved hjelp av dataene fra Ørlandet har vi også beregnet sammenhengen mellom høyde over havet og hyppighet av ising, se Figur 4. Figuren viser at frekvensen av ising øker sterkt med høyde over havet. I ca 300m høyde er det svært lite, men øker til 8 ganger så mye i 500m høyde.



Figur 4 Hyppighet av ising på Ørlandet som funksjon av høyde over havet.

Det er også utført beregninger av mengden is. Dette gjøres normalt på et "standardlegeme". Dette er et objekt som er minst 0.5m langt og har en diameter på 0.03m, står vertikalt og roterer fritt rundt. Beregningene med data fra Ørlandet viser at i løpet av perioden 2005-2009 ville det vært opp mot 10kg/m på et slikt "standardlegeme". Det tilsvarer en istykkelse på ca 15cm. På en vindturbinvinge vil ikke forholdene være de samme. For det første beveger vingen seg fortere enn vinden, for det andre er vingen mye større og for det siste er vingen fleksibel. Om dette totalt sett fører til at maksimal istykkelse på vingene er større eller mindre enn 15cm er ikke avklart.

Tabell 2 Klassifisering av ising i henhold til EUMETNET

Site icing index	Dager med meteorologisk ising per år	Varighet av meteorologisk ising %/år	Intensitet av ising g/100cm ² /time (typisk)	Grad av ising
S5	>60	>20%	>50	Svært sterk
S4	31-60	10%-20%	25	Sterk
S3	11-30	5%-10%	10	Middels
S2	3-10	<5%	5	Lett
S1	0-2	0-0.5%	0-5	Sporadisk

I følge denne skalaen har Roan vindpark i grenseland mellom middels og lett ising. Kjøllefjord har i følge denne tabellen lett ising.

3 Erfaringer fra Norge

3.1 Generelle erfaringer

Det er ikke gjennomført mye systematiske undersøkelser av isnedfall fra Norske vindparker. For Kjøllefjord har det blitt sett etter isfragmenter på bakken etter noen av isingsepisodene. Som vist i Figur 4, er ising sterkt knyttet til høyde over havet. Selv om det ikke er utført systematiske undersøkelser er det ikke kjent at det er vesentlige problemer med ising. I Tabell 3 er det listet opp de vindparkene i Norge som kan være influert av ising. Som vi ser er det ingen som er i en slik høyde at isingen kan være kraftig. Topografien i og rundt vindparken vil naturligvis også påvirke graden av ising. Normalt sett vil isingen være mindre enn den idealiserte kurven i Figur 4.

Tabell 3 Oversikt over vindparker i Norge som kan være noe utsatt for ising.

	Høyde over havet	Breddegrad	Installert effekt [MW]
Kjøllefjord	300	70°	39
Havøygavlen	280	70°	40
Sandhaugen	410	69°	1.5
Nygaardsfjellet	430	68°	6.9
Hundhammerfjellet	200	64°	51
Bessaker	360	64°	58
Hitra	300	63°	55
Mehuken	410	62°	4.3

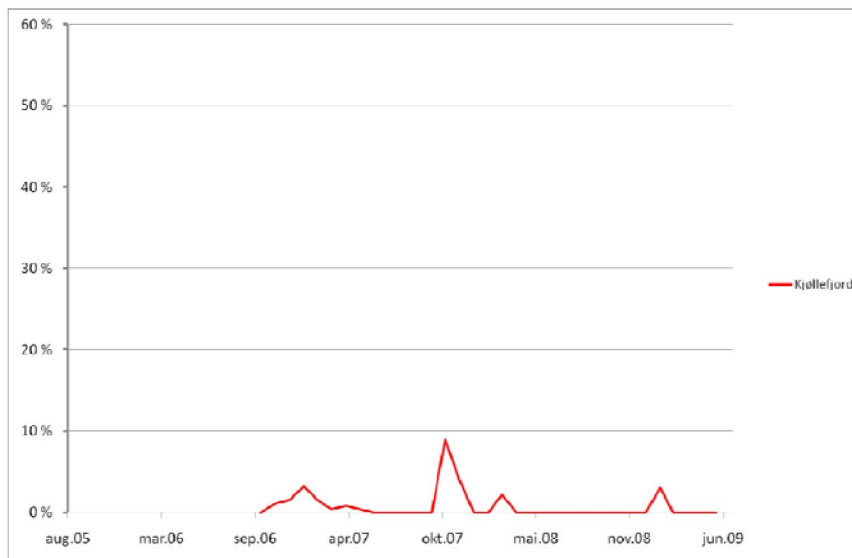
For Nygaardsfjellet er det rapportert om et produksjonstap på ca 3%. På Nygaardsfjellet er det også igangsatt et FoU prosjekt for å kunne beregne produksjonstapene mer nøyaktig. Det vil også bli testet og utviklet sensorer for ising i dette prosjektet. Sandhaugen er en testturbin, men resultatene fra driften er ikke offentlig tilgjengelig.

3.2 Erfaringer fra Kjøllefjord

I 2006 ble det installert 17 vindturbiner i Kjøllefjord i Finnmark. Disse vindturbinene står i en høyde på ca 300moh. På grunn av at det er langt nord er temperaturen allikevel lavere om vinteren. Høyden over havet er mest avgjørende for hvor ofte skydekke er lavere enn vindparken. I

Figur 4 ble det vist en figur fra Ørlandet som viser hvor stor betydning høyde over havet har for hyppigheten av ising.

Erfaringene fra driften så langt er at dette bildet stemmer. Det er rapportert noen få episoder av ising hver vinter. Ved å gjennomføre samme analyse av vindmålingene som vist for Haraheia får vi resultatet vist i Figur 5. Vindmålestasjonen i Kjøllefjord er plassert ca 50m lavere enn vindturbinene, og vil derfor ha noe mindre ising. 29.mars 2008 var det en isingsepisode som gav isavsetning på vingene. Deler av denne isen falt av og ble funnet 25m fra turbinens tårn. De største bitene var ca 20 cm i diameter. Et bilde av isbiten er vist i Figur 7.



Figur 5 Hyppighet av ising på vindsensorer i Kjøllefjord.



Figur 6 Episode fra Kjøllefjord 29.mars 2008. Det er også isdannelse på fremkanten (den runde) av vingen.

Både hyppigheten av ising og mengden is vil være større i Roan vindpark sammenlignet med Kjøllefjord.



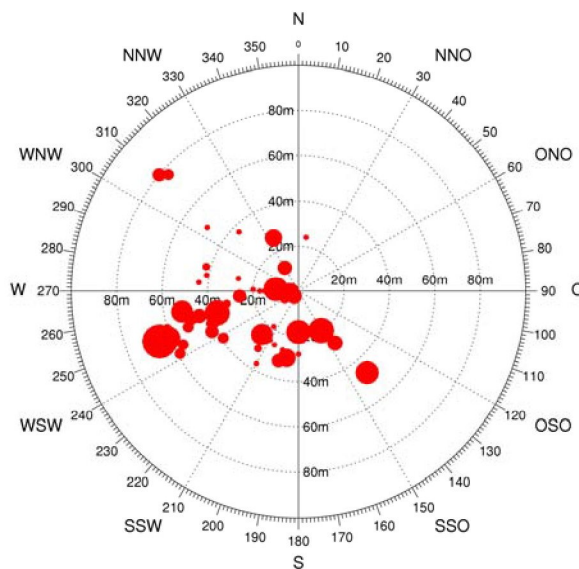
Figur 7 Isbit som ble funnet i Kjøllefjord 29.mars 2008.

4 Sikkerhet

I (Morgan, 1997) er det gjennomført en studie av is som faller ned fra en vindmølle eller kastes av vingene. De fleste isfragmenter som faller ned fra vindturbiner har en vekt på under 1 kg. I denne studien ble det laget et uttrykk for maksimal kasteavstand for isfragmenter. Maksimal kasteavstand = $1.5 \times (D + h)$. Der D er rotordiameteren og h er navhøyden. I Roan vindpark kan turbinene for eksempel ha $D = 80$ og $h = 80$. Maksimal kasteavstand blir da 240m.

En studie gjennomført i Sveits, (Cattin & al, 2007) bekrefter at reglen for maksimal kasteavstand er tilstrekkelig. I det forsøket som ble gjennomført der ble det aldri funnet is mer enn 92m fra turbinen. Et resultat av studien i Sveits er vist i Figur 8. Figuren er fra 2006, og største avstand var da 80m. Største isbit som er funnet er 200g. I følge uttrykket over skal turbinen i Sveits ha en maks kasteavstand på 135m.

Figuren viser hvor isfragmentene ble funnet og hvor store de var. Stor prikk indikerer en stor isbit. Vi ser at de fleste isbitene ble funnet nær vindturbinen og at vindretningen også påvirker hvor isen havner.



Figur 8 Resultater av kartlegging av isnedfall fra en vindturbin i Andermatt. (Horbaty, 2006).

Sannsynligheten for at isen skal lande på en spesifikk flate lenger vekk fra vindturbinen enn noen få meter avtar svært raskt med avstanden mellom vindturbinen og flaten. Beregninger (Morgan, Bossanyi, & Seifert, 1998) viser at sjansen for at is skal treffe en flate på 1 m^2 240 m fra vindturbinen i løpet av ett år er mindre enn $1/1000$. Dette gjelder for en trebladet vindmølle med en rotordiameter på 80 m på steder med moderate isingsforhold. Sannsynligheten for at is skal falle på en flate på 1 m^2 50 m fra turbinen er ca $1/100$. Disse tallene må sees på som konservative. Som vist i første avsnitt blir maksimal kasteavstand 240m. Ut i fra det blir sannsynligheten 0 for å treffe en m^2 på denne avstanden. Samtidig viser praksis at slike avstander ikke er oppnådd. De maksimale avstandene gjelder vindturbiner i drift og med sterk vind i retning mot den aktuelle m^2 . I de aktuelle sannsynlighetene er det ikke tatt hensyn til vindretningsfordeling. Dersom vinden ofte blåser mot en aktuell m^2 vil sannsynligheten være høyere. Dersom vinden ofte blåser fra en aktuell m^2 vil den være lavere. I en vindpark med veier på ulike sider av turbinene vil dette jevne seg ut.

Sannsynligheten eksemplifiseres bedre med en person som går på vegen forbi alle vindturbinene. Han bruker 2 timer fra han går inn i sonen med fare for isnedfall til han er ute av sonen. Han går denne turen hver dag hele vinteren. Vedkommende vil da i middel bli truffet av isnedfall en gang hvert 2000 år. Dersom flere mennesker går samme turen vil

sannsynligheten for at en av dem skal bli truffet øke. Dersom det var en trafikkert vei gjennom Roan vindpark der 1000 mennesker gikk 2 timer hver dag, ville i middel ett menneske bli truffet annet hvert år. Dette viser at det er helt avhengig av hvilke omgivelser det er til vindparken om vi kan akseptere risikoen eller ikke. Roan vindpark befinner seg langt fra trafikkert område og risikoen kan derfor sies å være liten. Det er også slik at isingsfaren oppstår når det er tåke om vinteren, noe som reduserer sannsynligheten for at det er mennesker til stede.

Størst fare utsetter man seg for dersom man stiller seg rett under rotoren når den har stoppet på grunn av nedising og blir stående der når turbinen starter opp.

Forslag til avbøtende tiltak:

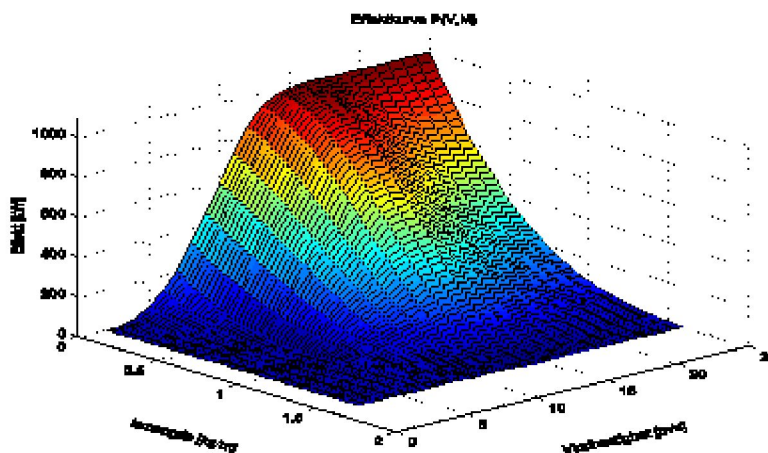
Det bør settes opp et skilt ved alle naturlige adkomstveier til vindparken om at det er fare for isnedfall. Dette gjelder både kjøreveier og skiløyper og eventuelle turstier.

Det bør lages egne sikkerhetsrutiner for dem som arbeider i vindparken.

5 Produksjonstap

Det er beregnet at det er fare for is på vingen i 6% av tiden. Dersom produksjonen gikk til null all tid det er is på vingene ville produksjonstapet komme opp i 6-8%. Grunnen til at det er mer enn 6% er at det er sterkere vind i den perioden det iser enn i middel over året. Vi skal også huske på at de beregningene vi har utført gjelder for 500moh. Gjennomsnittshøyden for vindturbinene er noe lavere. Dette gir mindre ising i middel for turbinene enn 6%.

Store vindturbiner håndterer lettere ising enn små. Det er to grunner til det. For det første vil et par cm is på vingene på en stor turbin bety mindre i % for en stor enn for en liten. For det andre vil de underkjølte vanndråpene i større grad bli ledet rundt store vinger enn små. Dette betyr at noe av den erfaringen som er oppnådd med små turbiner tidligere ikke uten videre kan overføres til dagens store turbiner. Kjeller Vindteknikk har laget et system med en 2 parameter effektkurve for å beregne produksjonstap på grunn av ising. De to parametrene er vindhastighet (som vanlig) og ismengde på et "standardlegeme". Figur 9 illustrer denne effektkurven.



Figur 9 To-parameter effektkurve.

Et standardlegeme er definert i ISO 12494 og er en fritt roterende sylinder med diameter 30mm og lengde minst 500mm. Det er ikke utført detaljerte beregninger av produksjonstapet for Roan Vindpark. Tidligere kjøring av dette programmet har vist at tapet på grunn av ising er i størrelsesorden 25%-50% av den tiden det iser. Dette er kun testet for steder med moderat med ising slik som for Roan Vindpark. Det vil si at dersom det er is 6% av tiden vil vi få et produksjonstap på 1.5%-3%. Ved å ta hensyn til at midlere høyde for turbinene er lavere enn det som det er beregnet isingstid for vil det forventede tapet være mindre. Vi anslår et produksjonstap på 1.0%-2.5% uten oppvarming i vingene.

Produksjonstapet vil være avhengig av typen turbiner. Størrelse, reguleringsalgoritmer, vingenes fleksibilitet, hvorvidt det er oppvarming i vingene vil være blant det som er av betydning. Vi anbefaler at det blir utført mer detaljerte beregninger før en investeringsbeslutning blir fattet.

6 Bibliografi

- Cattin, R., & al, e. (2007). Wind Turbine Ice Trough Studies in the Swiss Alps. *EWEC*. Brussels.
- Fikke, S., Ronsten, G., Heimo, A., Kunz, S., Ostrozlik, M., Persson, J., et al. (2007). *COST 727: Atmospheric Icing on Structures. Measurements and data collection on icing: State of the Art*. Zürich, Switzerland: MeteoSchweiz Nr. 75.
- Horbaty, R. (2006). Wind Energy in Cold Climate. *IEA Wind Energy in Cold Climate*.
- Morgan, C. (1997). Assessment of safety risks arising from wind turbine icing. *EWEC*. Dublin.
- Morgan, C., Bossanyi, E., & Seifert, H. (1998). Assessment of safety risks arising from wind turbine icing. *Boreas IV* (ss. 113-121). Hetta: VTT.
- Seifert, H., Westerhellweg, A., & Krönig, J. (2003). Risk Analysis of Ice throw from wind turbines. *Boreas IV*. Pyhäunturi: VTT.
- Tallhaug, L., Harstveit, K., & Fidje, A. (2005). *Atmospheric icing on wind turbines*. Kjeller: Kjeller Vindteknikk AS.