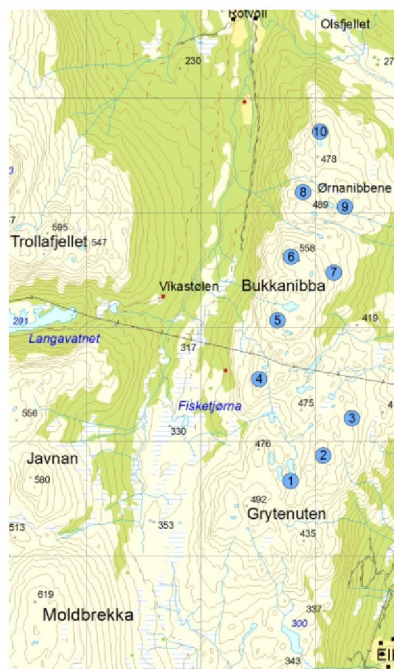


KJELLER
VINDTEKNIKK

Bukkanibba, Vindafjord kommune, Rogaland

Ising

Report: KVT/KHEN/2011/R082



Bildet er gjengitt med tillatelse fra Finsk Meteorologisk Institutt

Rapportnummer KVT/KHEN/2011/R082	Dato 16.12.2011
Bukkanibba, Vindafjord kommune, Rogaland Konsekvenser av atmosfærisk ising med tanke på sikkerhet	Klassifisering Begrenset til kunde
	Utgave nummer. 1
Kunde Lyse Energi AS	Antall sider 11
Kundens referanse Ånund Nerheim	Status Endelig
Sammendrag Det er utført analyser av hyppigheten av atmosfærisk ising i den planlagte vindparken på Bukkanibba i Vindafjord kommune i Rogaland. Hensikten er å kartlegge hvilke konsekvenser isingen vil få for alminnelig ferdsel i området. Det forventes at det danner seg is på vingene på vindturbinene ca. 4% av tiden på Bukkanibba. Dette karakteriseres som lett ising. Dette fører til at sannsynligheten er ca 1/100 for at is i løpet av et år skal falle på 1 m ² 120m fra tårnet på turbinen. Sannsynligheten synker med avstanden fra turbinen. Vi anbefaler at det settes opp skilt som varslers om fare for isnedfall og at det utarbeides egne sikkerhetsrutiner for de som arbeider i vindparken. Det er svært usannsynlig at isnedfall fra de planlagte vindturbinene på Bukkanibba skal treffe mennesker eller dyr. I revisjon 1 av rapporten er det tatt hensyn til endret planlagt navhøyde til 84m i forhold til 100m i opprinnelig versjon av rapporten.	
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
0	23.09.2011		Endelig	
1	16.12.2011		Endret navhøyde	

	Navn	Dato	Signatur
Utført av	Knut Harstveit og Erik Nordborg	16.12.2011	<i>Knut Harstveit</i>
Kontrollert av	Øyvind Byrkjedal	16.12.2011	<i>Øyvind Byrkjedal</i>
Godkjent av	Lars Tallhaug	16.12.2011	<i>Lars Tallhaug</i>

Innhold

1	INNLEDNING	3
2	HYPPIGHET AV ISING PÅ BUKKANIBBA.....	4
3	ERFARINGER FRA NORGE	7
	3.1 GENERELLE ERFARINGER	7
	3.2 ERFARINGER FRA KJØLLEFJORD	7
4	SIKKERHET	9
5	BIBLIOGRAFI	11

1 Innledning

Lyse Energi AS planlegger å bygge en vindpark på Bukkenibba, Vindafjord kommune i Rogaland. Vindparken er plassert 450-550m over havet med navhøyde på 550 til 650 moh. Avstanden til havet er ca 27km. Det regionale landskapet ligger på 0 til 700moh, med kratt, småskog, fjorder, myr og dyrket mark i lavlandet. Toppene er steinete og fri for trær og busker.

Kjeller Vindteknikk har utført en studie av isingsforholdene i området. Grunnlaget for analysen har vært observasjoner av ulike meteorologiske parametre på Sola Flyplass som ligger ca 78km sørvest for den planlagte vindparken og data fra det norske isingskartet som ble ferdigstilt høsten 2009 (Byrkjedal & Åkervik, 2009). Sola flyplass ble valgt framfor Haugesund lufthavn da sistnevnte hadd for mye mangler i datasettet for å gjøre en god analyse.

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 0 til 1°C medføre ising. I Rogaland 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 høyden over havet. En høy fjelltopp vil ofte befinne seg inne i skyene. Dersom temperaturen samtidig er under 0°C, 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 normalt 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 som 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).

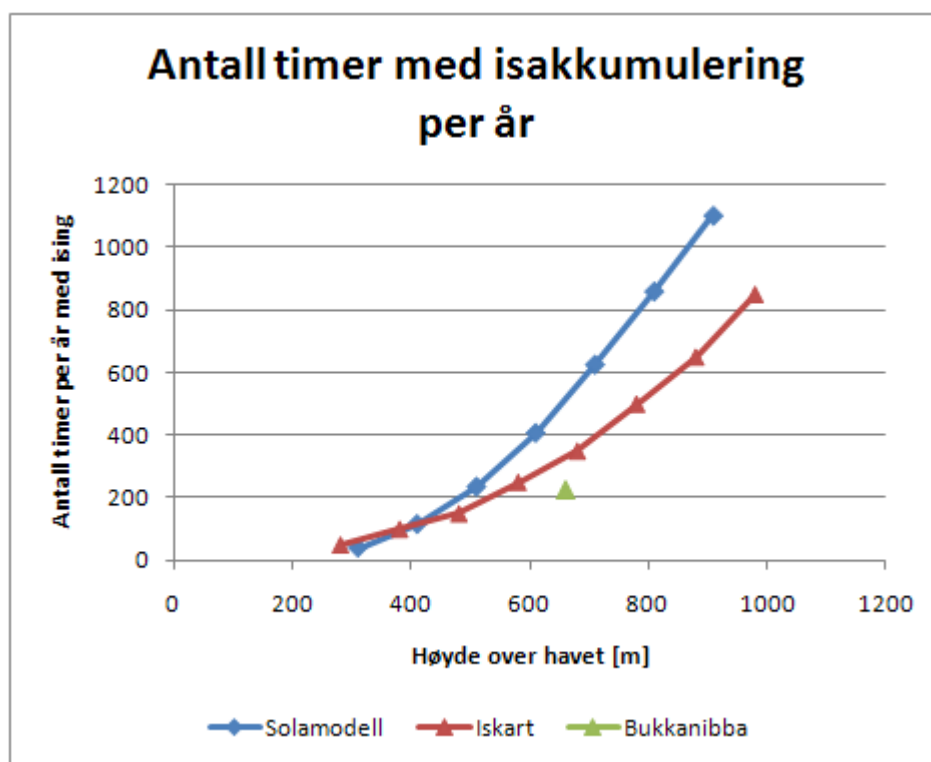
Hensikten med studien er å klarlegge hvor ofte det vil danne seg is på turbiner på Bukkanibba og hvilke konsekvenser det vil ha for allmennheten og for vindparkens energiproduksjon.

2 Hyppighet av ising på Bukkanibba

Forhåndsmeldingen gjelder et område på 450 - 550moh med uspesifiserte turbiner. Vi har i denne analysen benyttet navhøyde 84m, og navhøyde over havet på 550-650m. Fordi dette er en utredning av de sikkerhetsmessige forhold, er det valgt å være konservativ og benytte en høyere høyde enn gjennomsnittet av turbinene. Det er derfor benyttet 650moh som høyden vi har beregnet isingen for.

Det er utført en analyse basert på observasjoner på Sola 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).

I tillegg har vi benyttet data fra det norske isingskartet (Byrkjedal & Åkervik, 2009). Dette kartet er fremstilt basert på en meteorologisk modell, WRF (Weather Research and Forecast model). Disse verdiene er uavhengige av observasjonene på Sola.



Figur 2 Hyppighet av ising modellert fra Sola flyplassdata og ved WRF - som funksjon av høyde over havet på eksponerte topper i nordre Rogaland

Figur 2 viser sammenhengen mellom høyde over havet på eksponerte høydedrag og timer med ising per år. Figuren viser at isingen er nær null i ca 300m over havet og øker deretter kraftig. Figuren viser at WRF har ubetydelig høyere verdier enn funnet fra data fra Sola for de lavere nivåene som omfatter nivåer under 400 moh, og lavere verdier enn Sola fra 500 moh og oppover. Det er velkjent at WRF har en tendens til å produsere "kunstig" skyvann ved slike lave høyder, og derfor egentlig for mye is. Den røde kurven (WRF nordre Rogaland) skal derfor

egentlig gå mer parallelt med den blå (Solakurven). Dette tyder på at det er noe mindre is i nordre Rogaland enn det Solamodellen viser. Vi ser også at WRF - estimatet for Bukkanibba ligger enda litt lavere enn den eksponerte iskartkurven. Dette skyldes nok skjerming, det vil si at det er noen fjell som er høyere enn Bukkanibba og som reduserer fuktigheten i lufta som transporteres inn mot stedet.

I Tabell 1 er det vist hyppighet av ising i henholdsvis 400 til 600moh for eksponerte fjelltopper i nordre Rogaland. Det er data fra perioden 1995-2009 fra Sola som er benyttet. Røft sett kan vi da estimere antall isingstimer på Bukkanibba ved å forskyve Solakurven i Figur 2 100m til høyre.

Tabell 1 Forventet frekvens av ising på eksponerte topper i nordre Rogaland og for Bukkanibba.

Eksponert, Rogaland nord	400m	500m	600m
Bukkanibba	500m	600m	700m
Jan	3 %	6 %	11 %
Feb	5 %	10 %	16 %
Mar	3 %	6 %	11 %
Apr	1 %	3 %	5 %
Mai	0	0	0
Jun	0	0	0
Jul	0	0	0
Aug	0	0	0
Sep	0	0	0
Okt	0	0	0
Nov	1 %	3 %	5 %
Des	2 %	5 %	9 %
År	1.3 %	2.7 %	4.6 %

Med 84m høye turbiner er vi oppe i ca 550 - 650m høyde på Bukkanibba, hvilket gir en isingsfrekvens på 3 til 4%. Vi benytter da tallet for 650m høyde, det vil si en isingsfrekvens på 4% per år for vindparken.

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. Beregningene med data fra Sola viser en maksimalverdi i løpet av perioden 1995-2009 på 3.9kg/m i 400m nivå, 11.8 kg/m i 500m nivå og 20.0 kg/m i 600m nivå. Det tilsvarer istykkelse på ca 4 til 10 cm. På en vindturbinvinge vil ikke forholdene være de samme. For det første beveger vingen seg fortere enn vinden, for det andre er vingen mye tykkere og for det siste er vingen fleksibel. Om dette totalt sett fører til at maksimal istykkelse på vingene er større eller mindre enn tallene over er ikke avklart.

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. I følge denne skalaen har Bukkanibba lett ising.

Tabell 2 Klassifisering av ising i henhold til EUMETNET

Isings 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

3 Erfaringer fra Norge

3.1 Generelle erfaringer

Det er ikke gjennomført mange systematiske undersøkelser av isnedfall fra Norske vindparker. Men i Kjøllefjord har det blitt sett etter isfragmenter på bakken etter noen av isingsepisodene. Som vist i Figur 2, 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 for norske vindparker. 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.

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

	Høyde over havet [m]	Breddegrad	Installert effekt [MW]	Frekvens av ising fra det norske isingkartet [timer/år]
Kjøllefjord	300	70°	39	201-300
Havøygavlen	280	70°	40	201-300
Sandhaugen	410	69°	1.5	301-500
Nygaardsfjellet	430	68°	6.9	201-300
Hundhammerfjellet	200	64°	51	101-200
Bessaker	360	64°	58	101-200
Hitra	300	63°	55	201-300
Mehuken	410	62°	4.3	101-200

For Nygaardsfjellet er det rapportert om et produksjonstap på <1% på grunn av ising. Sandhaugen er en testturbin, men resultatene fra driften er ikke offentlig tilgjengelig. For de andre er ikke konsekvensene av ising offentlig kjent.

Fra isingskartet for Norge finner vi 101-200 timer i året med ising på Bukkanibba.

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 Kjøllefjord er langt nord er temperaturen allikevel lavere om vinteren i Kjøllefjord sammenlignet med på Bukkanibba. Høyden over havet er mest avgjørende for hvor ofte skydekke er lavere enn turbinene i vindparken. I Figur 2 ble det vist hvor stor betydning høyde over havet har for hyppigheten av ising.

Isingskartet viser at det skal være ising 201-300 timer i året i vindparken i Kjøllefjord. Dette tilsvarer 2-3% av tiden. Utifra isingskartet er det med andre ord noe mer ising i Kjøllefjord enn på Bukkanibba.

Erfaringene fra driften i Kjøllefjord så langt er at disse tallene stemmer. Det er rapportert noen få episoder med ising hver vinter. Ved å gjennomføre samme analyse av vindmålingene som vist for Bukkanibba, får vi at det er is på sensorene ca 3% av tiden. 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 4.

På bakgrunn av dette vil både hyppigheten av ising og mengden is være omtrent den samme eller litt lavere på Bukkanibba enn i Kjøllefjord.



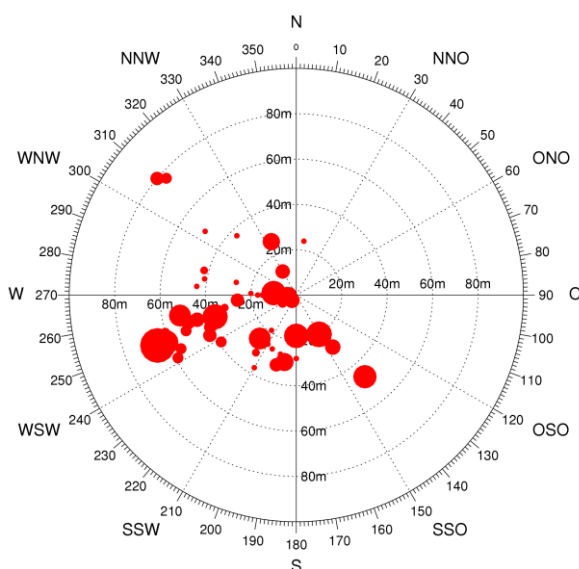
Figur 3 Episode fra Kjøllefjord 29.mars 2008. Det er også isdannelse på fremkanten (den runde delen) av vingen.



Figur 4 Isbit som ble funnet 25m fra tårnet i en vindturbin 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. Observasjoner har vist at is som faller fra en vindturbin har lett for å dele seg i mindre biter når de faller i bakken (Seifert, Westerhellweg, & Krönig, 2003). I (Morgan, 1997) 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. På Bukkanibba har turbinene D = 112m og h = 84m. Maksimal kasteavstand blir da 294m.



Figur 5 Resultater av kartlegging av isnedfall fra en vindturbin i Andermatt. (Horbaty, 2006).

En studie gjennomført i Sveits, (Cattin & al, 2007) bekrefter at reglen for maksimal kasteavstand er tilstrekkelig. I følge uttrykket over skal turbinen som ble brukt i studien ha en maks kasteavstand på 135m. Det baserer seg på en turbin med D = 50m og h = 40m. Det ble aldri funnet is mer enn 92m fra turbinen.

Et resultat av studien i Sveits er vist i Figur 5. Figuren er fra 2006, og største avstand var da 80m. Største isbit som er funnet er 200g.

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 till stor grad påvirker hvor isen havner. Størst fare for å bli truffet av is 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.

Sannsynligheten for at isen skal lande på en spesifikk flate lenger enn noen få meter vekk fra vindturbinen 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 m² 260 m fra vindturbinen i løpet av ett år er mindre enn 1/1000. Dette gjelder for en trebladet vindmølle med en antatt rotordiameter på 100m og på steder med isingsforhold lik de på Bukkanibba. Sannsynligheten er ca 1/100 for at is skal falle på en flate på 1 m² 120 m fra turbinen. Disse tallene må sees på som konservative. Som vist i første avsnitt blir teoretisk maksimal kasteavstand 366m. Ut i fra det blir sannsynligheten nær 0 for å treffe 1 m² på denne avstanden. Samtidig viser praksis at slike kastelengder ikke er oppnådd. De maksimale avstandene gjelder vindturbiner i drift og med sterk vind i retning mot den aktuelle flaten. I de beregnede sannsynlighetene er det ikke tatt hensyn til vindretningsfordeling. Dersom vinden ofte blåser mot en aktuell flate vil sannsynligheten være høyere for denne flaten. Dersom vinden ofte blåser fra en aktuell flate vil sannsynligheten være lavere. I en vindpark med veier på ulike sider av turbinene vil dette jevne seg ut.

Sannsynligheten kan eksemplifiseres 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 2.400 år. Dersom flere mennesker går samme turen vil sannsynligheten for at en av dem blir truffet øke. Dersom det var en trafikkert vei over Bukkanibba der 1000 mennesker gikk 2 timer hver dag, ville i middel ett menneske bli truffet hvert annet år. Dette viser at omgivelser til vindparken er avgjørende for om vi kan akseptere risikoen eller ikke.

Området der Bukkanibba vindpark planeres er i dag lite trafikkert. Det er heller ikke benyttet for beboelse i noen stor utstrekking. Risikoen kan derfor sies å være svært liten for at iskast skal treffe mennesker eller dyr. Det er også slik at isingsfaren oppstår når det er tåke om vinteren, noe som reduserer sannsynligheten for at det er mennesker til stede.

Det er svært usannsynlig at isnedfall fra de planlagte vindturbinene på Bukkanibba skal treffe mennesker eller dyr.

Forslag til avbøtende tiltak:

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

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

5 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*. Pyhäntunturi: VTT.
- Tallhaug, L., Harstveit, K., & Fidje, A. (2005). *Atmospheric icing on wind turbines*. Kjeller: Kjeller Vindteknikk AS.