

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	2
2	Valg av referansestasjon	3
3	Vinddata fra prosjektstasjon – 2301-Platåberget	5
3.1	Måleutstyr	5
3.2	Vinddata	5
4	Resultat	6
4.1	Årlig middelvindhastighet.....	6
4.2	Sektorieell fordeling	6
4.3	Månedsfordeling	7
4.4	Turbulensforhold.....	9
4.5	Ekstremvindforhold	9
5	Usikkerheter	11
6	Energi eksempel	12
6.1	Årlig energiproduksjon	12
6.2	Energi kostnader	13
7	Konklusjon	14
8	Referanser	15
Tillegg A.	Kart som viser plassering av målemasten på Platåberget	16
Tillegg B.	Regresjon vindhastighet	17
Tillegg C.	Regresjon vindretning	18

1 Innledning

På oppdrag fra Svalbard Samfunnsdrift (SSD) har Kjeller Vindteknikk AS (KVT) utført vindmålinger på Platåberget (Platåfjellet) like ved Longyearbyen på Spitsbergen. Vindmålingene er utført i tiden 30. januar 2003 til 26. Januar 2004. Hensikten med målingene har vært å gjøre en første kartlegging av vindforholdene, slik at dette kan brukes til å vurdere utnyttelse av vindressurser til vindkraftformål.

Etter det vi kjenner til er det ikke utført målinger før i dette området med spesiell tanke på vindkraft. Dette har medført en del nye erfaringer, med blant annet noe uventet resultat fra regresjonsanalysen og til dels noen utfordringer i forbindelse med sensorvalg.

Resultatene i denne rapporten gjelder for målepunktet. Det kan være store forskjeller i vindforholdene innenfor et lite område, men tall fra målepunktet vil gi et godt bilde av de generelle forholdene oppe på Platåberget.

For å finne forventet langtids årlig gjennomsnittsverdi for målepunktet er dataene på Platåberget sammenlignet med data fra Meteorologisk institutts stasjon på Platåberget.

Det er vist noen eksempler på energiproduksjon for ulike forhold. Disse beregningene er ment som foreløpige anslag, og de er derfor ikke på noen måte egnet til å ta investeringsbeslutninger.

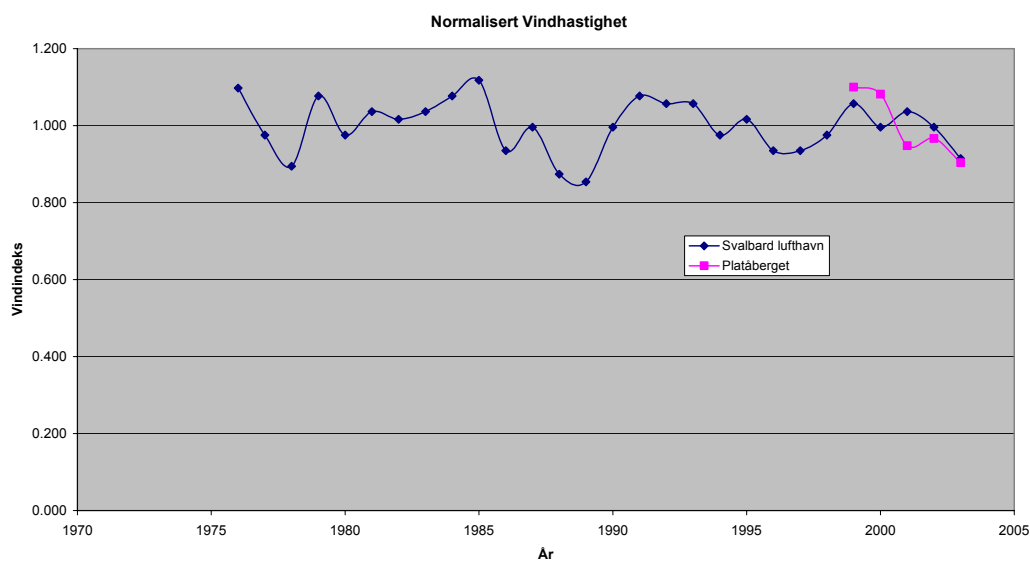
Et kart som viser plasseringen av mastene er gjengitt i Tillegg A.

2 Valg av referansestasjon

To stasjoner har vært vurdert som aktuelle referansestasjoner, 99840-Svalbard Lufthavn og 99841-Platåberget. Begge stasjonene er driftet av Meteorologisk institutt. Fra stasjonen på Svalbard Lufthavn har vi årsmiddeldata tilbake til 1976, mens det fra Platåberget finnes data tilbake til 1998. Begge stasjonene registrer timesdata, men på nåværende tidspunkt har det kun lyktes oss å skaffe timesdata fra stasjonen på Platåberget. For stasjonen på Svalbard Lufthavn har vi kun fått tilsendt data for hver 4. time.

Vi har sett på årlig middelvind for de to stasjonene, og funnet at stasjonene avviker relativt mye i forhold til hverandre. Klimatiske forhold kan medføre at man får store forskjeller i vindforhold selv med relativ korte avstander. En annen forklaring kan være instrumentfeil eller perioder med ising på instrumentene.

I Figur 2.1 har vi plottet normaliserte vindforhold for de to stasjonene. Siden vi kun har data fra de 5 siste årene på Platåberget er begge stasjonene normalisert i forhold til disse årene.



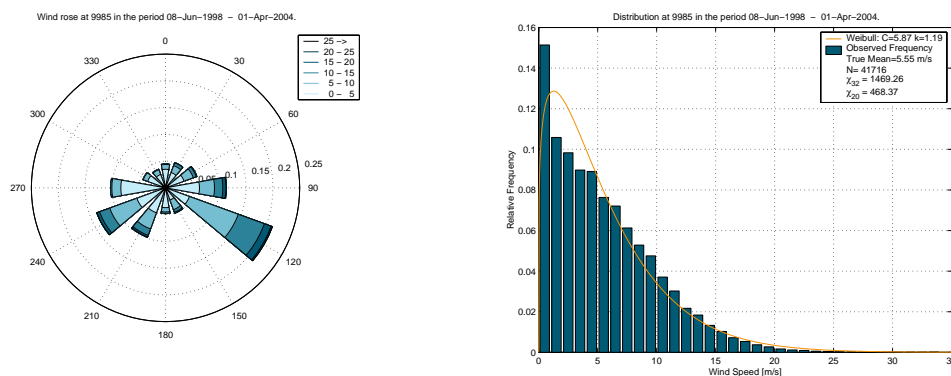
Figur 2.1 Vindindeks for de aktuelle referansestasjonene.

Langtidsmiddel for de to stasjonene er oppsummert i Tabell 2.1. Som vi ser av tabellen var middelet på Svalbard Lufthavn det samme i årene 1998-2003 som årene fra 1976-2003. Vi antar da at periode 1998-2003 kan representere langtids vindforhold i området.

Tabell 2.1 Sammenligning av langtidsmiddel for to ulike perioder.

Stasjon	1976-2003	1998-2003
99840 Svalbard Lufthavn	4.9 m/s	4.9 m/s
99841 Platåberget	-	5.5 m/s

I Figur 2.2 har vi gjengitt hastighet – og retningsfordelinger for 5 år på Meteorologisk institutts stasjon på Platåberget.



Figur 2.2 Vindfordeling på Meteorologisk institutts stasjon på Platåberget.

Med våre data fra Platåberget har vi utført en regresjonsanalyse både mot Svalbard Lufthavn og stasjonen på Platåberget. Analysene har vist oss at det er svært dårlig korrelasjon mot Svalbard Lufthavn, mens det er god korrelasjon mot Meteorologisk institutts stasjon på Platåberget. Dette er konsistent med de store forskjellene i årsmiddel for Svalbard lufthavn og Platåberget slik som vist i Figur 2.1.

På bakgrunn av dette har vi, selv med kun 5 år med data, valgt å bruke Meteorologisk institutts stasjon på Platåberget som referansestasjon.

3 Vinddata fra prosjektstasjon – 2301-Platåberget

3.1 Måleutstyr

Detaljert dokumentasjon av måleutstyr og konfigurasjon finnes i egen perm: *'Documentation of meteorological station – Platåberget Svalbard'*.

Vindmålingene er utført med koppanemometer i 40, 37, og 10 meter. Anemometeret og retningsgiveren i 37 meter er utstyrt med oppvarming, slik at de skal kunne gi korrekte vindmålinger selv under forhold med ising. Målingene er utført en 40 meter høy bardunert rørmast. Utstyret er levert av NRG systems. Sensorene i 40 og 10 meter er kalibrert i en MEASNET-akkreditert vindtunnel. Den oppvarmede sensoren er ikke kalibrert. Denne sensoren blir brukt relativt til den kalibrerte sensoren i toppen (40m). På grunn av dette vil eventuelle kalibreringsfeil i denne sensoren ikke ha påvirkning på det endelige resultatet.

Logger for innsamling av data er av typen NRG 9200+. Denne loggeren samler data hvert 2. sekund og lagrer 10-minuttsmiddel av vindhastighet og retning, samt standardavvik og gust for hastighet.

3.2 Vinddata

Målingene startet 30. januar 2003, og for analysen som er utført til denne rapporten er det brukt data fram til 26. januar 2004, som tilsvarer omtrent ett år med data. En del data for denne perioden mangler eller må filtreres bort. På grunn av lynnedslag og derpå påfølgende problemer med loggeren i juli 2003, mangler data for denne måneden. På grunn av at stasjonen mistet strømtilførselen i en periode på høsten 2003, må en periode i dette tidspunktet filtreres bort på grunn av ising på sensorene. Fra referansestasjonen mangler også en del data, spesielt gjelder dette våren 2003, der blant annet nesten hele Mars mangler og store deler av Februar og Mai.

På grunn av manglende perioder med data og på grunn av vanskelighet med å skille isingstilfeller fra tilfeller der det er vindstille er det vanskelig å si noe om middelvinden i måleperioden på 2301 Platåberget. Som et sammenligningsgrunnlag kan vi se på hva som er målt med samtidige data fra de to stasjonene på Platåberget. På vår prosjektstasjon har det blitt målt 5.2 m/s, mens det i samme periode ble målt 4.8 m/s på Meteorologisk institutts stasjon. Når vi ser på grafen i Figur 2.1. Ser vi at 2003 var et år med relativ lav vind. Vi må derfor forvente at dataanalysen skal gi oss en årsmiddelverdi som er noe høyere enn det som er målt i 2003.

4 Resultat

Det er benyttet to metoder til å beregne forventet langtids vindforhold i målepunktet, en Sektoriell regresjon på timesdata (MCP), og en enkel regresjon på månedsmiddel. Ved god sektoriell korrelasjon er MCP-metoden å foretrekke. Det er brukt ulike filtreringsmetoder, og det er brukt kombinasjoner av isfri sensor og vanlig sensor for å se om dette gir ulike resultat. For å komme fram til gjeldene resultat har vi brukt en metode der vi bruker de vanlige sensorene kombinert med et isfilter. Isfilteret er en algoritme i analyseverktøyet som kombinerer retningssensor og temperatursensor for å bestemme når det iser. Denne metoden reduserer mengden med data noe, men gir best korrelasjon. Kombinasjoner av andre sensorer, gir omtrent samme resultat, og avvikene er ikke signifikante.

En regresjon på månedsmidler gir også en veldig god korrelasjon, og gir samme resultat som MCP analysen.

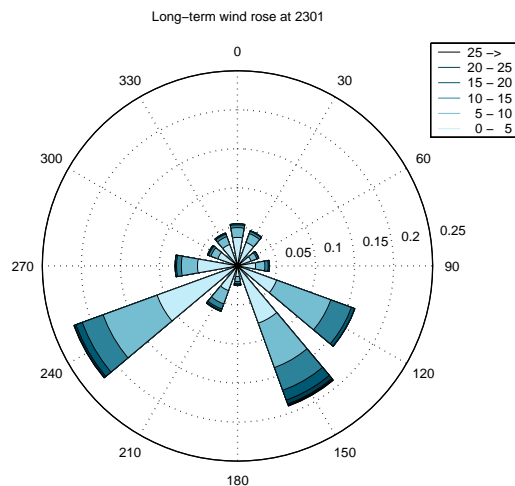
4.1 Årlig middelvindhastighet

Både MCP analysen og en analyse på månedlige midler, gir en forventet årlig middelvind i målepunktet på Platåberget på 5.8 m/s, 40 m.o.b.

4.2 Sektoriell fordeling

Som vi ser av vindrosen i Figur 4.1 har vi to framtrepende vindretninger, SV og SØ. Dette stemmer bra med det vi har sett av vindrosen fra Meteorologisk institutt sine målinger. Meteorologisk institutts målinger viser noe mer vind fra vestlig sektor og at vind fra SV er spredd noe utover flere sektorer. Forandringen i vindrosen mellom de to stedene forklares dersom man ser på regresjonsplottet i Tillegg C. Der kan man se at med vind fra V på Meteorologisk institutts stasjon er vinden dreiet noe mer mot SV på prosjektstasjonen.

For å finne sektorvise Weibull parametere har vi skalert Weibull skalafaktor med sektorvise faktorer funnet i regresjonsanalysen. Weibull formfaktorer funnet fra prosjektperioden er brukt direkte.



Figur 4.1 Forventet vindrose på 2301 Platåberget.

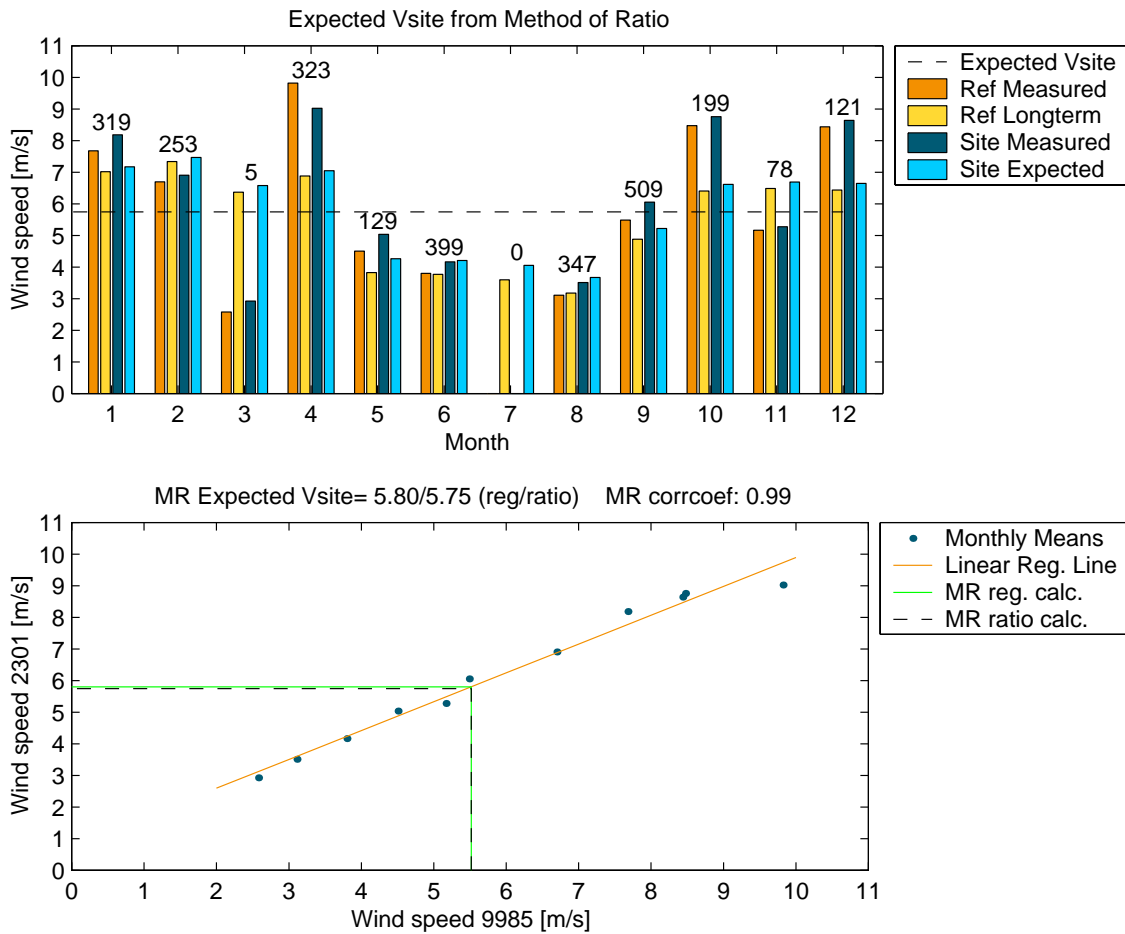
Tabell 4.1 Forventede vindforhold på 2301 Platåberget, 40 mob. Skala og formfaktor i Weibull-fordelingen.

Sektor	Tid [%]	Skalafaktor	Formfaktor	V [m/s]
N	5.4	4.46	1.81	4.0
2	4.8	4.61	1.32	4.2
3	2.9	4.93	1.11	4.7
Ø	4.1	5.80	1.24	5.4
5	16.0	7.91	1.71	7.1
6	19.1	8.20	1.79	7.3
S	2.5	6.31	1.20	5.9
8	6.2	6.12	1.12	5.9
9	22.3	6.68	1.56	6.0
V	8.0	4.91	1.23	4.6
11	4.1	4.70	1.08	4.6
12	4.5	4.77	1.14	4.6
Alle	100	6.31	1.32	5.8

4.3 Månedsfordeling

For å finne forventede månedsmidler i målepunktet er regresjonsanalysen utført på månedsmiddel til god hjelp. Sammenhengen mellom månedsmiddel på referansestasjonen og prosjektstasjonen er meget god, med en korrelasjonskoeffisient på 0.99. Dette vises

også godt i Figur 4.2. Vi ser også av figuren at det mangler en del data i enkelte måneder. Forventede månedsmidler i målepunktet er gitt i Tabell 4.2.



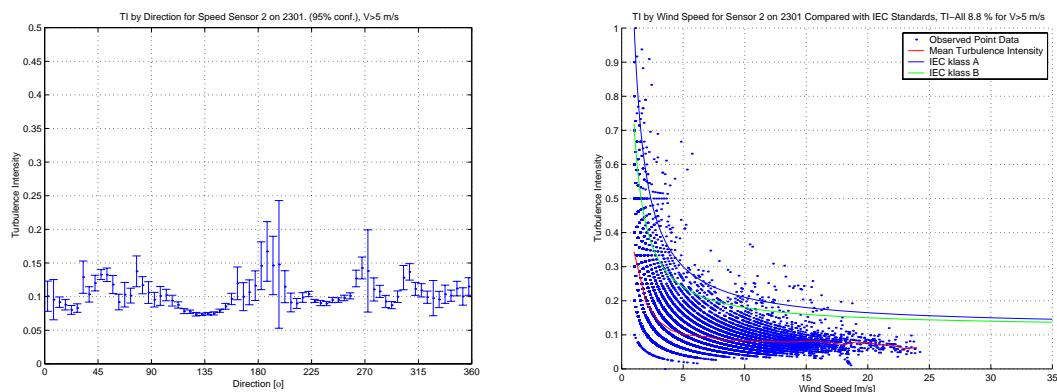
Figur 4.2 Målte månedsmidler og forventede langtidsmånedsmidler på 2301 Platåberget og 99841 Platåberget referansestasjon. Tallene over søylene indikerer antall timer i hver måned som er tatt med i denne analysen. Figuren viser også 'scatter-plot' av månedsmidlene.

Tabell 4.2 Forventede langtids månedsmidler på 2301 Platåberget, 40 m.o.b.

Måned	Vindhastighet [m/s]
Januar	7.4
Februar	7.7
Mars	6.7
April	7.2
Mai	4.0
Juni	4.0
Juli	3.8
August	3.3
September	5.1
Oktober	6.7
November	6.8
Desember	6.8
År	5.8

4.4 Turbulensforhold

Turbulensforholdene som vi har målt er meget lave. Det er svært sjelden å se så lave verdier. Dette viser blant annet at ruheten i området er lav. At ruheten er lav skyldes at det ikke finnes noe høy vegetasjon i området, og at bakken i tillegg er dekket med snø store deler av året.



Figur 4.3 Turbulensforhold fordelt på retning og hastighet, 40 m.o.b.

4.5 Ekstremvindforhold

Ved en ekstremvindsanalyse gjør man vanligvis en Gumbel-tilpassning av årlige maksimalverdier fra en referansestasjon med flere år med data. På denne måten kan man

beregne ekstremverdier, og overføre disse med regresjonsteknikker til et sted med kortidsmålinger. Når man bruker en Gumbel ekstremvindsanalyse bør man ha minimum halvparten så mange år som for ekstremverdiens returperioden. Det vil si at dersom man oppgir ekstremverdi med 50 års returperiode (vanlig verdi) bør man ha 25 år med data. Meteorologisk institutts stasjon på Platåberget har kun 5 år med data. Dette ekskluderer denne stasjonen til ekstremberegninger. Siden det er dårlig korrelasjon mellom målinger på Platåberget og Svalbard Lufthavn er det vanskelig også å bruke Lufthavndataene til en ekstremvindsanalyse. Derfor bør man i dette tilfelle først og fremst se til Norsk Standard. Fra K. Harstveit hos Meteorologisk institutt har vi fått opplyst at Longyearbyen er i såkalt kategori 2 for ekstremvindslaster. Dvs. at ekstremverdi, 50 års returperiode, vil for 10-minuttsmiddel være 30 m/s og 40 m/s for 3-sekunds kast. I følge K. Harstveit kan man ikke vente noe stor forskjell i forhold til dette oppe på Platåberget. K. Harstveits anslag er 35 m/s for 10-minuttsverdi, og 50 m/s for kast.

Ekstremvindforhold ved Longyearbyen er av en slik karakter at en turbin med en av de lavest designkriterier for ekstremvind, i følge IEC- standarden, kan brukes. Dette er forhold som må avklares nærmere sammen med en eventuell turbinleverandør.

5 Usikkerheter

Usikkerhet i beregningen er i hovedsak forbundet med:

1. Vindforholdene i perioden 1998-2003 kan avvike for vindforholdene i fremtiden.
2. Statistisk usikkerhet i regresjonen.
3. Avvik i målinger.
4. Endringer i måleoppsett på referansestasjon.

Tabell 5.1 Usikkerhet i beregnede vindforhold.

<i>Punkt</i>	<i>Kommentar</i>	<i>Usikkerhet</i>
1	Data fra 5 år og standardavvik på 0.34	3 %
2	God korrelasjon, korrelasjons koeffisient 0.91	1 %
3	Usikkerhet i målinger (mastekonfigurasjon, kalibrering)	2 %
4	Homogenitet, Flytting instrumentbytte DNMI Platåberget	3 %
Alle	Antar alle punkt uavhengige	4.8 %

Basert på datagrunnlaget fra Platåberget og gjennom en vurdering av de ulike metodene med tilhørende usikkerhet kan en i målepunktet anslå en forventet årlig middelvind på $5.8\text{m/s} \pm 0.3\text{ m/s}$

6 Energieksempel

6.1 Årlig energiproduksjon

Det er regnet energi for tre ulike turbintyper. Det er ofte vanlig å bruke weibull tilpasset vinddata, og weibull parametere i beregning av energiproduksjon. Det har vi også gjort i dette tilfelle. Dette kan gi små avvik fra beregninger i forhold til om man bruker en reel fordeling. På dette stadiet er dette en god tilpasning. For en mer detaljert studie av energiproduksjonen kan og bør det regnes energi med reelle fordelinger.

Vi har brukt enkle handregler for typiske tap. For en enkeltturbin vil en del av tapene være mindre enn for en stor park. Antatte virkningsgrader for en enkeltturbin på Svalbard er gjengitt i Tabell 6.1.

Tabell 6.1 Virkningsgrade for vindkraft på Svalbard.

<i>Faktor</i>	<i>Virkningsgrad</i>	<i>Kommentar</i>
Vindvariasjon i park	100.0%	Ikke relevant for 1 turbin
Vaketap	100.0%	Ikke relevant for 1 turbin
Elektrisk virkningsgrad	99.0%	Lav for 1 turbin
Tilgjengelighet	98.0%	KVT antagelser
Ising og bladslitasje	95.0%	KVT antagelser
Høy-vind hysteres	100.0%	Lite relevant ved lav vind
Trafo vedlikehold	99.8%	Typisk verdi
Nettutfall	100.0%	Ikke vurdert
Total virkningsgrad	92.0%	

Elektriske tap for en turbin er lave ca. 1%. Tap som følge av at turbinen ikke er tilgjengelig settes til 2%. Tap som følge av ising er vanskelig å anslå. Tammelin et al (1997) har kategorisert graden av ising i 5 kategorier. Disse kategoriene gjelder stort sett for ising som følge av tåkerim, en isingsform som kan føre til massiv ising på konstruksjoner og store energitap fra vindkraftverk dersom det forekommer ofte. Etter det vi har erfart fra vindmålingen på Svalbard er isingen her mer å regne som rim. Noe vi antar har mindre betydning for energiproduksjonen. Vi velger allikevel å anslå en faktor på 5%. På grunn av at vi har en lav middeltemperatur på Svalbard, vil luftens tetthet være noe høyere enn det som vindturbinenes effektkurve er beregnet under. (1.225 kg/m³ oppgitt for effektkurvene mot 1.257 på Platåberget.). Tettheten er tatt hensyn til under beregningene. I Tabell 6.2 har vi gjengitt tall fra beregninger.

Tabell 6.2 Netto energiproduksjon for en vindmølle. Dersom flere møller plasseres som en vindpark vil tapene øke og brukstiden gå noe ned. Tapene er da svært avhengig av antall møller og geometrisk utforming av parken.

<i>Turbintype</i>	<i>Energiproduksjon [MWh/år]</i>	<i>Brukstid [timer av fullast]</i>
Enercon E44 600kW	1180	1995
NEG-Micon 1000/60 1000kW	2005	2005
Vestas V80 2000kW	4215	2110

6.2 Energikostnader

En vanlig handregel for ett overslag av investeringskostnader, er å bruke 8000 NOK/kW installert effekt for et nøkkelferdig anlegg. Da er alt inkludert, planlegging, vei, fundament, kabling turbiner osv. Dette tallet er kun å regne som et erfaringstall. Ca. 75% av investeringskostnader er knyttet til vindturbinen. Den totale investeringskostnaden er derfor sterkt avhengig av hvilken teknologi turbinleverandøren kan tilby, og til hvilken pris. En ”Cold Climate Package” koster 1-4% av total investering. Dette vil være innenfor usikkerhetene i tallet 8000 NOK/kW.

Vanligvis brukes det 5øre/kWh til årlig drift og vedlikehold. Med en avskrivningstid på 20 år og med en rente på 8%, vil vi få en årlig nedbetalingsrate på 10%.

Med dagens tilgjengelige teknikk vil energikostnaden bli i størrelsesorden 45 øre/kWh.

7 Konklusjon

Vindmålingene på Platåberget er sammenlignet med data fra Svalbard lufthavn og meteorologisk institutts stasjon på Platåberget. På Svalbard lufthavn er vindforholdene registrert siden 1976, mens meteorologisk institutts stasjon på Platåberget har registrert vind siden 1998.

Prosjektmålinger sammenlignet med langtidsmålinger viser at den forventede årlige middelvinden på Platåberget er 5.8 +/- 0.3 m/s i 40 meters høyde.

Med 5.8 m/s som forventet årlig middelvind, må dette karakteriseres som et sted med noe lave vindforhold sett i forhold til de fleste kystnære steder på fastlands Norge. Sammenligner vi med for eksempel innlandet i Tyskland, kan forholdene på platåberget regnes som bra.

Energiproduksjonen fra en vindmølle er sterkt avhengig av hvilken type mølle man velger. På et sted som dette kan man trolig velge en såkalt lavvindsmølle. Det vil si en mølle som har stor rotordiameter i forhold til generatoreffekt.

Vi har utført en enkel energiberegning for tre ulike vindmøller. Dette viser oss at for en enkeltmølle plassert i målepunktet på Platåberget vil vi kunne få en fullast brukstid for de beste møllene på ca. 2100 timer. Tallene i energiproduksjon er noe usikre, da dette er sterkt avhengig av turbinteknologi. Før en treffer en eventuell investeringsbeslutning bør en utføre en noe mer detaljert produksjonsberegning.

Energikostnader fra vindkraft på Platåberget er beregnet til 45 øre/kWh.

Vindkraft vil kunne gi et bidrag i en framtidig energiforsyning på Svalbard. Dersom vindkraft skal vurderes som et bidrag i en framtidig energiforsyning, anbefales det å utføre detaljerte systemanalyser for hele energiforsyningen på Svalbard for å kartlegge hvilken fordeler og nytte et vindkraftbidrag kan ha.

8 Referanser

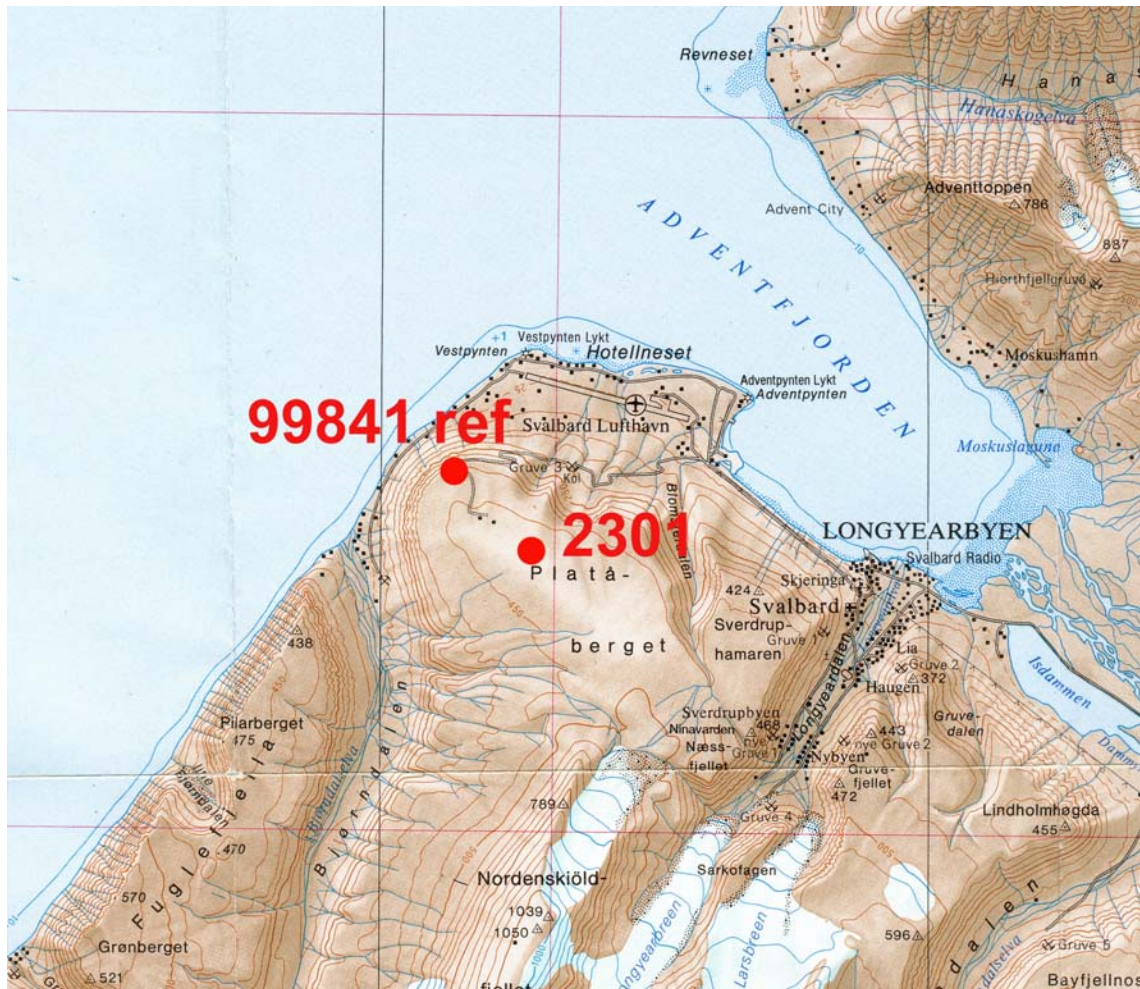
IEC 61400-1 (1999), Wind turbine generator systems- Part 1: Safety Requirements.

Harstveit, K., (2004) Personlig telefonsamtale mellom Knut Harstveit og Finn Nyhammer.

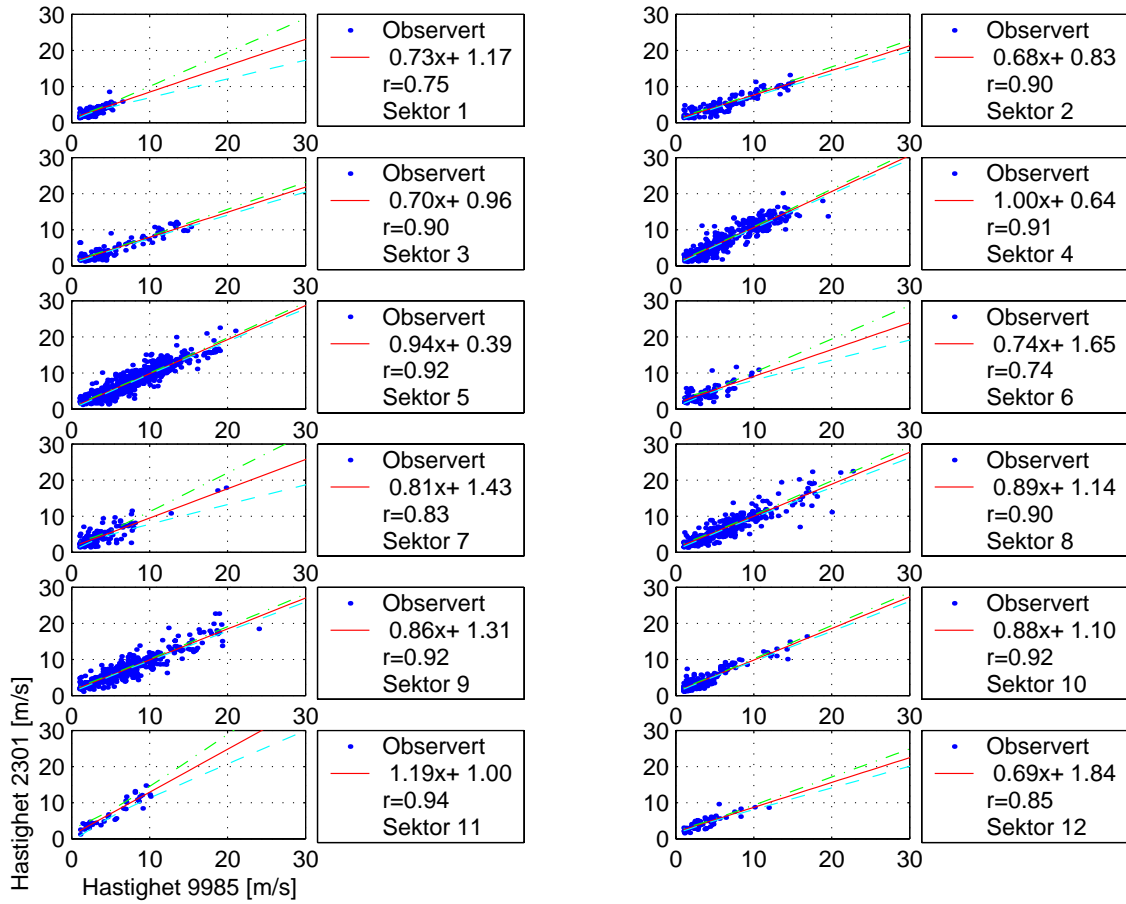
KVT, (2003), 'Documentation of meteorological station – Platåberget Svalbard'.

Tammelin, B. (1997), Icing in Europe, European wind energy conference 1997, Dublin.

Tillegg A. Kart som viser plassering av målemasten på Platåberget



Tillegg B. Regresjon vindhastighet



Tillegg C. Regresjon vindretning

