

PILOTPROJEKT VINDKRAFT – VIND- OCH PRODUKTIONSANALYS FÖR SÖDRA SVERIGE



2012-03-30

SLUTRAPPORT – Arise Windpower AB

INNEHÅLL

1	Sammanfattning.....	5
1.1	Metod och utförande.....	5
1.2	Erfarenheter och Slutsatser	5
2	Bakgrund	6
3	Frågeställningar och Metodbeskrivning	7
4	Vindkraftparkerna, Mätssystem och mätplatserna.....	9
4.1	Mätssystem Brunsmo	11
4.2	Mätssystem Oxhult.....	12
4.3	<i>Mätssystem Sjöaryd</i>	13
4.4	<i>Mätssystem Idhult</i>	14
4.5	<i>Mätssystem Högländet</i>	16
5	Mätning till verksval.....	17
5.1	Vindmätarklasserna	17
5.2	Turbinklasserna.....	17
5.3	Turbulens	17
5.4	Observationsfrekvens	18
5.5	Vindgradientexponenten	21
5.6	Turbulens	23
6	Mätteknik.....	24
6.1	Mätteknik i skog.....	24
6.2	Sodar som mätteknik	24
6.3	Övergripande skillnader mellan mätplatserna	26
7	Mätdataanalys och diskussion	28
7.1	Vindgradienten	28
7.2	Variation över dygnet	28
7.3	Turbulensen	30
7.4	Vindriktningen.....	30
7.5	Temperaturen	31
8	Turbulens	32
8.1	Brunsmo sodar.....	33
8.2	<i>Oxhult 60 m</i>	34
8.3	<i>Sjöaryd 100m</i>	35

8.4	Idhult.....	36
8.5	Idhult sodardata SPH 541.....	37
9	Produktionsanalys.....	38
10	Erfarenheter och Slutsatser	41
10.1	Mätteknik.....	41
10.2	Turbinval	41
10.3	Vind och klimat	42
10.3.1	Vindgradientexponent	42
10.3.2	Dygnsvariationer	42
10.3.3	Turbulensen	42
10.4	Navhöjder & avstånd	43
10.5	Vakförluster och modellering	43
11	Figurer & Diagram i tematisk formatering.....	43
11.1	Vindrosor.....	43
11.1.1	Brunsmo 100m (sodar).....	44
11.1.2	Oxhult 60m (mast)	44
11.1.3	Sjöaryd 100m (mast).....	44
11.1.4	Idhult 100m (mast).....	44
11.1.5	Höglandet 100m (mast)	44
11.3	Dygnsvariation av vindhastigheten.....	45
11.3.1	Brunsmo 40 – 150m.....	45
11.3.2	Brunsmo. 40,60,80,100,120,140.....	45
11.3.3	Oxhult 60m.....	45
11.3.4	Sjöaryd 60, 100m	45
11.3.5	Idhult 60, 100m.....	46
11.3.6	Höglandet 60, 100m.....	46
11.4	Dygnsvariation av vindriktningen	47
11.4.1	Brunsmo 60, 100m.....	47
11.4.2	Oxhult 60m.....	47
11.4.3	Sjöaryd 60, 100m	47
11.4.4	Idhult 100m.....	47
11.4.5	Höglandet 100m.....	47
11.5	Dygnsvariation av temperaturen	48
11.5.1	Temp Oxhult.....	48

11.5.2	Temp Sjöaryd	48
11.5.3	Temp Idhult	48
11.5.4	Temp Höglandet.....	48
11.6	Dygnsfördelningen av lufttrycket.....	49
11.6.1	Oxhult Möh=103m	49
11.6.2	Sjöaryd Möh=116m.....	49
11.6.3	Idhult Möh=69m	49
11.6.4	Höglandet Möh=335m	49
11.7	Dygnsfördelningen av turbulens.....	50
11.7.1	Turbulens Brunsmo (Sodardata)	50
11.7.2	Turbulens Oxhult.....	50
11.7.3	Turbulens Sjöaryd	50
11.7.4	Turbulens Idhult	50
11.7.5	Turbulens Höglandet.....	50
11.8	Dag/ natt variationer med vindgradient exponent.....	51
11.8.1	Brunsmo dag/natt 40/60m	51
11.8.2	Oxhult dag/natt 40/60m	52
11.8.3	Sjöaryd dag/natt 40/60m.....	53
11.8.4	Idhult dag/natt 40/60m	54
11.8.5	Brunsmo dag/natt 60/80/100m.....	55
11.8.6	Sjöaryd 60/80/100	56
11.8.7	Idhult dag/natt 60/80/100m.....	57
11.9	Dygnsvariationer från långtids serier.....	58
11.9.1	Medelvind mesodata 40 – 120m	58
11.9.2	Medelvind (50m) 3-tier Stjernarp 1980-01-01...2010-12-31	58
11.9.3	Vind 3-tier Idhult (50m) 1980-01-01 .. 2011-10-30.....	58
11.9.4	Riktning 3-tier Stjernarp.....	58
11.9.5	Riktning 3-tier Idhult	58

1 SAMMANFATTNING

1.1 Metod och utförande

Projektet och den genererade kunskapen som redovisas i detta dokument är i huvudsak inte i form av akademiska utredningar. Arbetet fokuserar istället på vad man som vindkraftsprojektör kan ha praktisk nytta av i projekteringsarbetet, exempelvis vilka styrkor och svagheter som finns med olika utrustning, modeller och metoder som använts och utvärderats inom projektet samt övriga erfarenheter som har framkommit.

De arbeten som är av akademisk karaktär, exempelvis Professor Lars Bååths analys av sodars, finns publika och hänvisningar till dessa finns i rapporten. Sammansfattande punkter som illustrerar angreppssätt och frågeställningar är:

- Vindmätningarna har i huvudsak gjorts i egen regi.
- Vissa analyser har gjorts av externa experter som Hans Bergström och Lars Bååth, deras arbeten finns till stor del tillgängliga offentligt.
- Val av verk har gjorts i samråd med tillverkaren i respektive projekt.
- Arise har följt upp vilka data som legat till grund för lämplighetsbedömning.
- Innebörd av tillverkarnas lämplighetsbedömning i skogsmiljö.
- Hur har de olika mätningarna varit till hjälp för den tekniska/ekonomiska analysen.
- Om mätningarna med större höjd intervall har bidragit till den tekniska/ekonomiska analysen.
- Vilken den lämpligaste mättekniken är i projekt av den undersökta typen.
- Viktiga skillnader som finns mellan de undersökta projektplatserna.

1.2 Erfarenheter och Slutsatser

1. Vindkraftverken bör ha den maximala tillåtna höjden enligt tillstånd för att minimera påverkan från skog och marknivå. Avstånden mellan turbinerna bör avgöras av vindhastighet, turbulens och lönsamheten, vilket ger att turbiner i skog ofta bör placeras längre isär än i öppet landskap.
2. Vindmätningarna bör absolut göras med en mast som har sina huvudmätare i navhöjd och med instrumenteringen placerad enligt IEC 61400-12-1 (Power performance measurements of electricity producing windturbines). En signal som identifierats som ett viktigt komplement för både ljud- och produktionsanalys är temperaturgradienten, det vill säga, hur temperaturen varierar med höjden.

Som komplement och för att få en bild av vindgradientexponenten över hela rotorytan bör mätning med sodar utföras i parken. Att göra mätning med sodar och nå hög kvalitet kräver noggrann val av plats, uppställning, driftskontroll, service och mätdatakontroll. Trots alla insatser är det inte lämpligt att, utan en mast, verifiera kvaliteten vid en sodarmätning. Sodarmätning ger dock en god bild av hur vindhastigheten ser ut över hela rotorytan.

2 BAKGRUND

För att främja utvecklingen av nya vindkraftsetableringar beslutade Riksdagen 2006 att utöka och förlänga det tidigare stödet. Syftet är att genom samverkan med näringslivet underlätta för olika vindkraftsetableringar och vinna kunskap inför kommande projekt. Stöd utgår till storskaliga vindkraftsetableringar med goda vindförhållanden till havs och land. För sådana projekt har 350 Mkr avsatts under en 5- års period med start 2008. Arise Windpower AB (Arise) har sökt och beviljats bidrag för tre investeringsprojekt samt ett antal utvecklingsprojekt.

Investeringsprojekten omfattade uppförande av totalt 3 vindkraftparker, belägna på väst-, öst- och sydkusten i södra Sverige. Projekten är intressanta då värdefulla erfarenheter kan dras från etableringar i skogsmiljö och komplex terräng, samt för att få en uppfattning om vindkraftpotential i geografiskt åtskilda områden.

En jämförelse av produktion och vind på de tre platserna är av intresse dels för att utröna skillnader i elproduktion över dygnet och dels för att kartera hur skogen påverkar vindpotentialen i de tre områdena. Skillnader i elproduktion över dygnet områden emellan kan innebära en totalt sett jämnare elproduktion över dygnet jämfört med att installera samma effekt i ett och samma område. Skogen har dessutom olika karaktär i områdena med hög bonnitet och höga träd på västkusten samt lägre dito på näringsfattiga marker vid ostkusten. Karaktäristiken i Karlskrona området får anses vara ett mellanting mellan dessa båda. Skillnader i elproduktion över dygnets timmar, månader och år är av särskilt intresse för att bedöma respektive områdes totala potential för större vindkraftsetableringar liksom bedömning om kostnadseffektivitet räknat som elproduktion per investerad krona.

Arise har fått medel enligt en ansökan om investeringsstöd för byggnation av vindkraft, teknikutveckling och marknadsintroduktion i samverkan. Projekten som berörs är

- Oxhult, Laholm i Halland 12 stycken V90 2,0 MW Vestas
- Brunsmo, Karlskrona i Skåne 5 stycken 2,5 XL GE
- Idhult, Mönsterås i Kalmar 8 stycken V90 2,0 MW Vestas

Vindmätning, kunskapsinsamling, samt hopkoppling av vindmätning och produktionsanalys är en del av projektet där Arise delger de erfarenheter och de perspektiv pilotstudien givit.

3 FRÅGESTÄLLNINGAR OCH METODBESKRIVNING

De huvudsakliga frågeställningarna som studerats i detta projekt är:

1. Hur vindkraftverk i skogsterräng skall utformas med avseende på tornhöjd samt rotorns avstånd till underliggande skog?
2. Hur vindmätningar i skogsterräng kan ske effektivt och med god kvalitet?
3. Hur vindförhållandena ter sig över hela rotorytan?
4. Hur ser skillnaderna i produktion ut mellan väst- och östkust i södra Sverige?

Arise har använt både 60 meters och 100 meters master, samt sodar för insamling av vinddata som underlag för slutsatserna kring frågeställningarna. Den generella tillförlitligheten på sodardatan har analyserats genom att Professor Lars Bååth på Högskolan i Halmstad erhållit och analyserat samtidiga data inom ett avstånd som överensstämmer med vad IEC 61400-12-1 anger som lämpligt avstånd mellan mätmast och vindturbin.

För analysen av projekt och platsförhållanden som används vid bedömningar av projektplatsens lämplighet och intjänandeförmåga har data samlats in från mätsystemen och från externa källor. Datan har behandlats i branschverket WindPRO, version 2.7 vilket använts som hjälpmedel vid filtrering och analys samt för att ta ut de flesta diagram som redovisas i denna rapport.

Arise erfarenhet har utvecklats under arbetets gång, men för att vara konsekventa har projektgruppen valt att behålla samma filtreringsmetod genom hela arbetet. För sodarsystemen har man endast filterat bort data som markerats som felaktiga (9999), men övriga har behållits. För masterna har data som identifierats som frysning uteslutits. För samtliga mätsystem har riktningen kalibrerats genom okulär kontroll av installation och rådande vindriktning vid besiktningen. Osäkerheterna i dessa metoder har inte kvantifierats.

De inom projektet existerande turbinplatsernas mätningar är inte samtidiga. Detta ses inte som ett problem eftersom arbetet i första hand avser undersöka hur bedömningarna görs och på vilken data de grundas, samt vilka slutsatser man kan dra då man har flera projekts data. Däremot är produktionsanalysen baserad på samtidiga data. Figurerna (diagrammen) finns delvis i texten, men även i slutet och är där uppdelade tematiskt, det vill säga data av samma typ från olika platser visas under gemensam rubrik. Figurerna har även kapitelnummer efter denna sortering. Eftersom arbetet avser att belysa skillnaderna mellan platserna ligger figurerna tillsammans och texten ligger separat.

Projektet omfattar i huvudsak 3 platser, samt några kompletterande mätplatser som använts för validering av driftssäkerhet av utrustning eller som referens då utrustningen konstaterats vara otillräcklig. Ett av randvillkoren för en plats lämplighet för vindturbinetablering är vindgradienten över rotorarean. Sammanställning av mätdata från samtliga mätinstrument med längre mätserier har därför genomförts. Syftet är att belysa skillnader och likheter i vindgradient och dygnsvariation.

Mätresultaten har sedan jämförts med de gränsvärden som tillverkarna anger i enklare klassificeringstabeller samt på vilken datavolym denna jämförelse baseras. Arise har även utvärderat huruvida tillverkarnas interna analys ansett att platserna varit lämpade för den angivna maskintypen, samt på vilken datavolym som denna analys baserats.

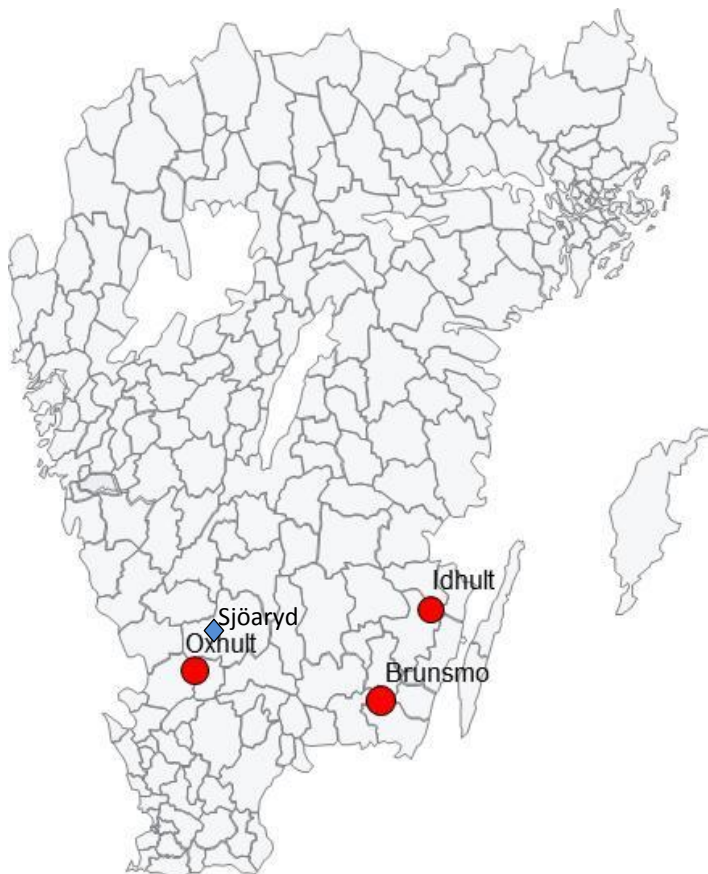
Vid kontakt med tillverkare och andra intressenter har det noterats att standarderna som kommer från IEC är de man refererar till och Arise har inte sett någon anledning att frångå det förhållningssättet.

Mätdata från mätsystem och långtidsserier har analyserats för att få en bild av dygnsvariationen vid de olika platserna. Beräknade data från långtidsserier är inkluderade som kompletterande diagram. Skillnad i vindriktning som medelfördelning över dygnet finns också.

Samtliga långtidsmätningar är 12 månader eller längre, men de är inte i huvudsak under samma 12 månaders period och arbetets mål är inte att visa på samtidigt skillnader utan att visa på projekt skillnader oavsett när data samlades in. Mätsystemen och mätintervallen finns kort beskrivna i kapitel 4. Mätperiodernas vindriktningsfördelning finns redovisad i figurerna 14.1.1 – 14.1.5, men deras fördelningar har inte använts i några resonemang i detta arbete. Insamlade data har filtrerats med avseende på felaktigheter eller stopp orsakade exempelvis på grund av kall väderlek (frysning). För sodardata har endast den inbyggda signal/brus filtreringen använts. Förutom i Professor Lars Bååths material, vilket finns i en separat rapport.

4 VINDKRAFTPARKERNA, MÄTSYSTEM OCH MÄTPLATSERNA

I Figur 1 visas en översiktskarta över de ingående vindkraftsprojekten, samt en mätmast i Sjöaryd vilken har använts som kontrollplats för sodars.



Figur 1 Karta över studerade parker samt mätplatsen i Sjöaryd (kontrollplats för sodars).

Arise har sedan 2008 uppfört 65 turbiner i storlekarna 1,8 – 3,0 MW. 5 av dem har en navhöjd om 80 meter och är placerade på slättlandskap, en med en navhöjd om 119 meter i skogslandskap. Resterande turbiner har en navhöjd om 95-105m och är placerade i skog. Inom de 3 aktuella projekten finns det totalt 25 turbiner installerade, där samtliga är placerade i skog.

Oxhultsparken är Arise första vindkraftspark som ligger i Laholms kommun i Halland. Parken togs i drift i mars 2009 och producerade därmed bolagets allra första kilowattimme. Oxhultsprojektet innebar vägbyggnation och förstärkning av befintliga vägar, samt ett el- och fibernät om ca 35 km. Oxhultsparken består av 12 stycken vindkraftverk från leverantören Vestas och är av typen V90. Varje turbin har en maximal effekt om 2,0 MW och den beräknade årliga produktionen är 62 GWh per år.

Oxhultsparken

- Installerad effekt: 2 MW (och totalt 24 MW)
- Tornhöjd: 105 meter
- Rotordiameter: 90 meter
- Sveparea: 6 362 m²
- Rotorhastighet: 9-16 varv per minut
- Förväntad livslängd >20 år
- Förväntad livslängd infrastruktur >50 år
- Prisområde IV
- El- och fibernät: ca 35 km
- Beräknad medelvind: 6,7 m/s (vid 105 m)
- Produktionskaraktistik (vid 105 m)
 - o Vind vid produktionsstart 4 m/s
 - o Vind vid maximal effekt 12 m/s
 - o Vind vid nedstängning >25 m/s
- Drifttemperatur är -20°C till 40°C
- Variabel pitchreglering



Figur 2: Fakta om Oxhultsparken samt bild på ett av verken.

Arise vindkraftspark Brunsmo ligger ca 25 kilometer nordost om Karlskrona i Blekinge län. Parken togs i drift i mars 2010. Brunsmoparken består av 5 stycken vindkraftverk från leverantören General Electric och är av typen 2,5XL.

Brunsmoparken

- Installerad effekt: 2,5 MW (och totalt 12,5 MW)
- Tornhöjd: 100 meter
- Rotordiameter: 100 meter
- Sveparea: 7 854 m²
- Rotorhastighet: 5-14 varv per minut
- Förväntad livslängd >20 år
- Förväntad livslängd infrastruktur >50 år
- Prisområde IV
- Beräknad medelvind: ca 6,5 m/s (vid 100 m)
- Produktionskaraktistik (vid 100 m)
 - o Vind vid produktionsstart 3 m/s
 - o Vind vid maximal effekt 12 m/s
 - o Vind vid nedstängning >25 m/s
- Drifttemperatur är -15°C till 40°C
- Variabel pitchreglering



Arise vindkraftspark Idhult ligger några kilometer sydväst om Blomstermåla som i sin tur ligger ca 9 kilometer sydväst om Mönsterås i Kalmar län. Parken driftsattes i januari 2011. Idhultsparken består av 8 stycken vindkraftverk från den danska tillverkaren Vestas och är av typen V90.

<p>Idhultsparken</p> <ul style="list-style-type: none">- Installerad effekt: 2 MW (och totalt 16 MW)- Tornhöjd: 105 meter- Rotordiameter: 90 meter- Sveparea: 6 362 m²- Rotorhastighet: 9-16 varv per minut- Förväntad livslängd >20 år- Förväntad livslängd infrastruktur >50 år- Prisområde IV- Beräknad medelvind: ca 6,4 m/s (vid 100 m)- Produktionskaraktistik (vid 80 m)<ul style="list-style-type: none">o Vind vid produktionsstart 4 m/so Vind vid maximal effekt 12 m/so Vind vid nedstängning >25 m/s- Drifttemperatur är -20°C till 40°C- Variabel pitchreglering



Figur 3: Fakta om Idhultsparken som en bild på ett av verken.

4.1 Mätssystem Brunsmo

Mätbärare: AQS 500 windfinder

Mätssystem: AQS sodar

Huvudgivare: sodar, 100m

Tid: UTC

Mäthöjder: 20 -150

Fundament Möh: 95m

Mätperiod: 2008-07-19.2009-07-19
(12mån)



Figur 4: AQS 500 sodar.

I Brunsmo har Arise gjort en mätning i 12 månader med sodar 20-150m. I detta projekt har sodarn varit huvudmätinstrument. Tillgänglighet varierar från 98 % vid 40 meter till 92,3% vid 150 meter. Detta bedöms motsvara en god tillgänglighet på data för mätperioden.



Figur 5: Karta över Brunsmo med placering av verk och sodar

4.2 Mätssystem Oxhult

Mätbärare: 3-kants (380mm) alumast 60 m

Mätssystem: Campbell CR 200

Huvudgivare: Vaisala WAA150, 60 m

Tid: UTC +1

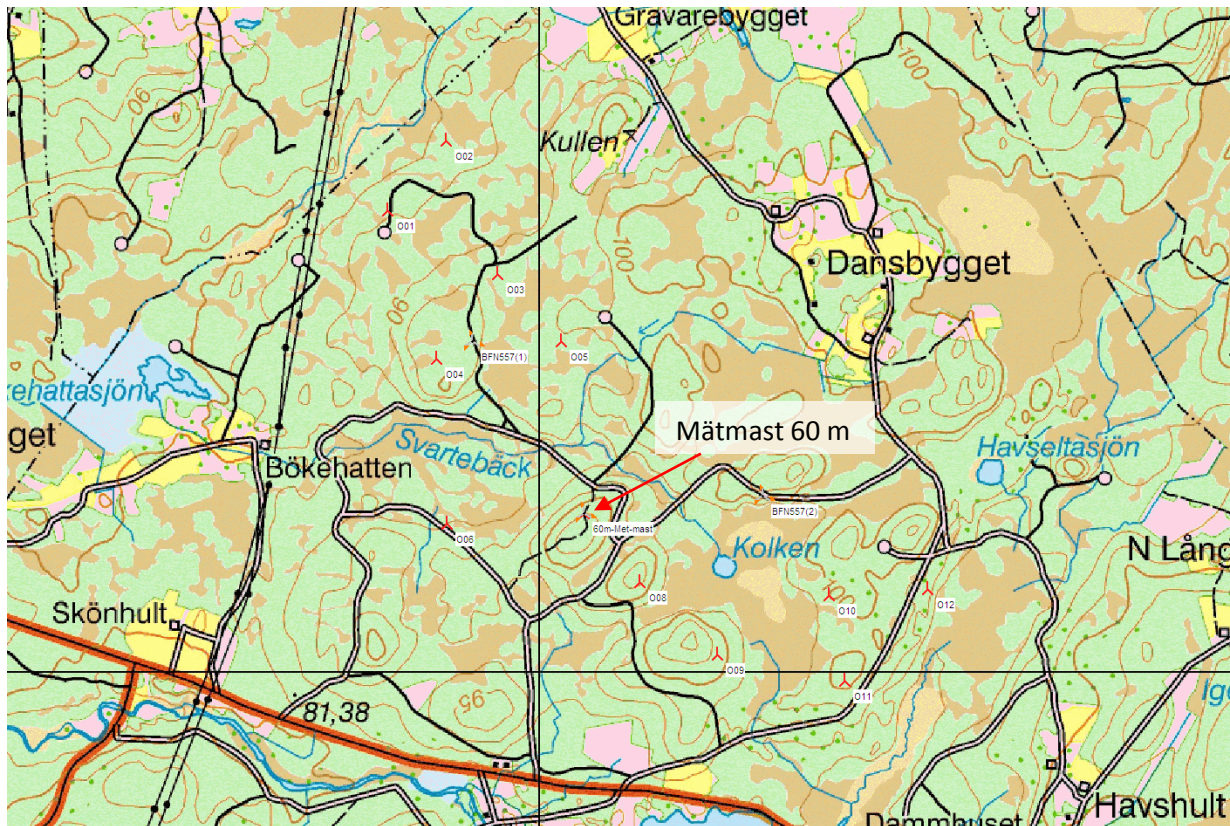
Mäthöjder: 40, 60 m

Fundament Möh: 103 m

Mätperiod: 2007-07 – 2008-08 (12mån)

Data tillgänglighet: God

I Figur 6 visas en översikt över placering av den 60 meters mast som var det huvudsakliga mätinstrument som användes i Oxhultsprojektet.



Figur 6: Karta över Oxhultverk samt placering av mätmast.

4.3 Mätsystem Sjöaryd

Mätbärare: K600, 4-kants mast, 100m

Mätsystem: Campbell CR 800

Huvudgivare: Vaisala WAA150, 100m

Tid: UTC

Mäthöjder: 40,60,80,100m

Fundament Möh: 116m

Mätperiod: 2008-04 – 2010-05 (>24 mån)

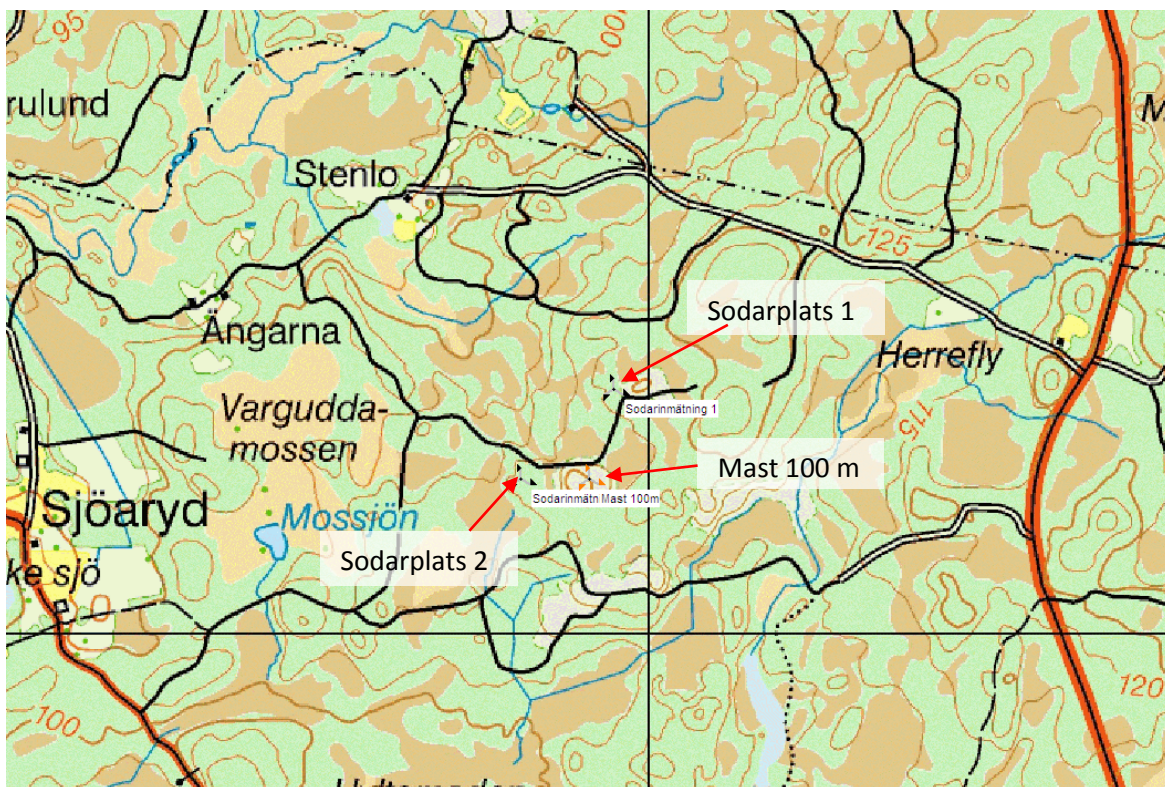
Data tillgänglighet: God



Figur 7: 100m, k600 mast med 4 mäthöjder.

Förutom de 3 projektplatserna har Arise använt en 100 meters mast i Sjöaryd där det fanns lämpliga sodarmätplatser nära masten för att göra jämförande mätningar mellan mast och sodar. Denna mast har även använts för att illustrera skillnaderna mellan 60 meter som huvudmätning och 100 meter som huvudmätning genom jämförelse med Oxhult. Figur 7 visar en sådan 100 meters mätmast med staglinor.

I Figur 8 visas en karta över placeringen av mast och sodars i Sjöaryd. Avståndet mellan sodarplats 2 och masten är ca 220 meter. Mellan sodarplats 1 och masten ca 290 meter. Mellan sodarplatserna är avståndet ca 420 meter.



Figur 8: Karta över placeringen av mast och sodars i Sjöaryd.

4.4 Mätssystem Oxhult

Mätbärare: K600, 4-kants mast, 100 m

Mätssystem: Campbell CR 1000

Huvudgivare: Thies firstclass, 100 m

Tid: UTC

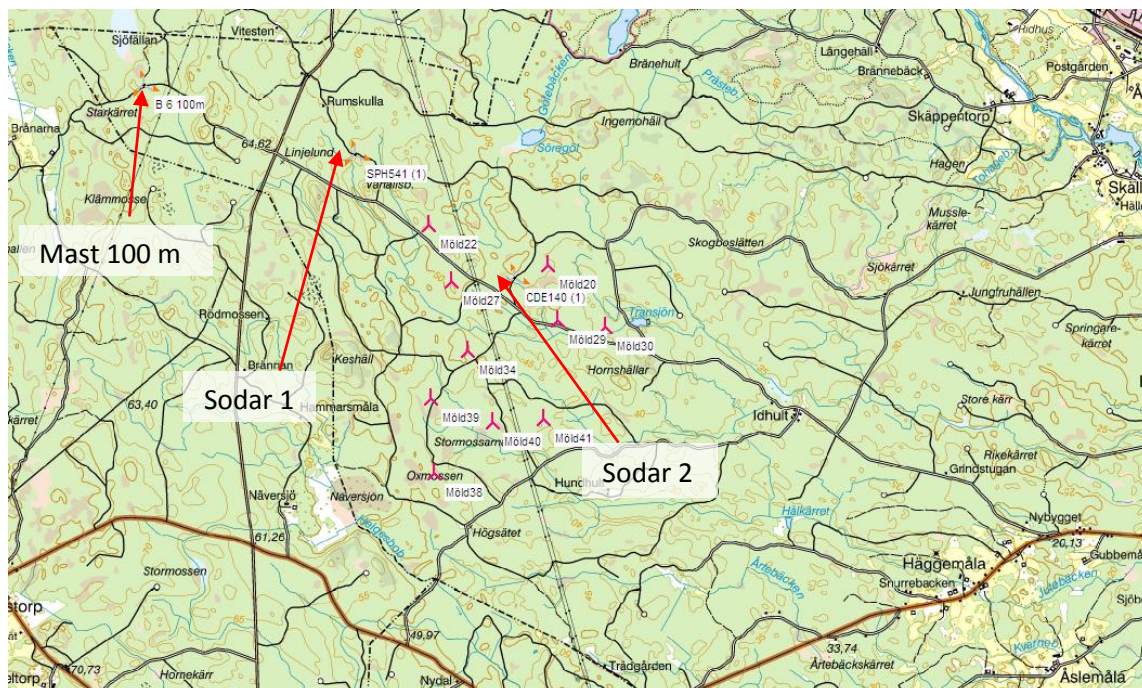
Mäthöjder: 40, 60, 80, 100 m

Fundament Möh: 69 m

Mätperiod: 2009-05 – 2011-11 (30 mån)

Data tillgänglighet: God

I Idhult har Arise gjort en huvudmätning i 24 månader med en 100 meters mätmast samt flera kortare sodarmätningar på 20-150 m. Sodarn har även använts för att verifiera den horisontella beräkningsmodellen. I Figur 9 visas en karta över placeringen av mast och sodars.



Figur 9: Karta över placeringen av mast och sodars i Idhult.

Idhult Sodar 2

Mätbärare: AQS 500 windfinder

Mätsystem: AQS sodar

Huvudgivare: sodar, 100 m

Tid: UTC

Mäthöjder: 50 -200 m

Fundament Möh: 95 m

Mätperiod: 2009-09-25 – 2010-01-21 (3,9 mån)

Tillgängligheten varierar från 93,2 % på 60 m till 87,3 % på 140 m och 60,3 % på 200 m Vilket motsvarar en god tillgänglighet på de lägre höjderna, men bristfällig över 150 m.

4.5 Mätssystem Högländet

Mätbärare: 3-kantsmast, Alu, 100 m

Mätssystem: Wilmers NDL 485

Huvudgivare: Thies firstclass, 100 m

Tid: UTC +2

Mäthöjder: 60, 80 och 100 m

Fundament Möh: 335 m

Mätperiod: 2010-10 – 2011-11 (12mån)

Datatillgänglighet: God, utom februari 2011

Ingen kartbild visas över platsen eftersom den inte ingår direkt i projektet, utan tagits med på grund av intresset för dygnsvariationens samband med höjden över marken och över havet.

5 MÄTNING TILL VERKSVAL

5.1 VINDMÄTARKLASSERNA

Anemometrarna delas in i klasser. Lämplighet och prestanda hos olika fabrikat kan jämföras på ett vetenskapligt vis med hjälp av en vindtunnel. Anemometrarna klassas enligt IEC 61400-12-1. En rapport på olika anemometrarnas prestanda är ACCUWIND Study "5 Anemometers (1556)"¹. Någon motsvarande klassningsrapport av sodarer har Arise inte identifierat.

5.2 TURBINKLASSERNA

En enkel översikt över randvillkoren för en turbinplats enligt IEC visas i Tabell 1. Turbinplatsen klassas enligt de randvillkor som anges och en första bedömning av platsens lämplighet samt turbinval görs. Detta ger att undersökning av vindförhållandena är ett kritiskt moment som är beroende av instrumentens kvalitet och hur mycket mätdata som genereras under insamlingsperioden.

Tabell 1: Översikt över randvillkor enligt IEC.

Wind turbine class	I	II	III	S
V_{ref} (m/s)	50	42,5	37,5	Values
A I_{ref}	0,16			specified
B I_{ref}	0,14			by the
C I_{ref}	0,12			designer

5.3 TURBULENS

För normal turbulensen skall 90 percentilen av standardavvikelsen ligga till grund för turbulensbedömningen. Värdet ska vara $< I_{ref}$ i Tabell 1 för klassning och värdet som skall användas är turbulensen vid 15 m/s i medelvind.

En svaghet i att jämföra mätdata med randvillkor är antalet observationer som ligger till grund för turbulensbestämningen från mätdata. Enligt IEC 61400-12-1 som beskriver hur turbinens prestanda verifieras finns det angivet ett minimiantal observationer och hur dessa fördelas. Antalet observationer för så kallad "site kalibrering", Annex C, Kapitel C.3 anger antalet observationer motsvarande 24 timmar, vilket ger 144 stycken 10 minuters observationer. Detta skulle ge att alla rutor med ett värde över 144, har tillfredställande mängd data. Arise slutsats är att en god kvalitativ bedömning bör innehålla fler värden kring 15 m/s än vad de 3 undersökta platserna har. Förhållandet med antalet observationer är sannolikt likvärdigt vid andra projekt i Sverige. Som alternativ till bedömning baserad på observationer kan turbulensen beräknas från markförhållanden och vid detta förfarande bör mätdata verifiera beräkningens rimlighet.

I samtliga tabeller avseende observationsfrekvens kan det konstateras att vid vindhastigheten 15 m/s, som anges som I_{ref} har väldigt få observationer.

¹ http://www.ammonit.com/images/stories/download-pdfs/TestReports/en_riso_accuwind_5anemometers_1556.pdf

5.4 OBSERVATIONSFREKVENNS

Som Tabell 2 visar så fanns det totalt 31 observationer vid 15 m/s. Den riktning som innehåller mest data är sydsydväst (SSV), vilken innehåller 22 observationer.

Tabell 2: Brunsmo sodar 100m

Intervall	Totalt	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSV	VSV	V	VNV	NNV
0	286	26	19	23	27	23	26	23	31	26	26	16	20
1	1318	70	78	128	133	155	140	107	106	124	110	103	64
2	2037	91	155	245	185	201	156	199	165	136	165	215	124
3	3952	162	380	290	473	245	311	285	540	281	399	294	292
4	5618	280	476	401	752	449	506	306	623	551	565	360	349
5	6235	376	413	576	633	480	398	438	640	717	640	520	404
6	7852	503	697	886	615	621	376	417	725	1285	822	509	396
7	8325	394	852	767	638	386	399	236	927	1578	1299	397	452
8	6364	402	435	693	331	186	98	139	631	1450	1000	642	357
9	4936	204	329	407	186	128	23	147	413	1491	630	712	266
10	2258	85	97	100	74	44	10	35	431	532	441	234	175
11	1157	49	30	61	23	23	2	20	240	317	244	74	74
12	623	7	8	34	6	4	0	2	212	145	132	27	46
13	278	0	0	2	1	1	0	2	146	58	33	12	23
14	111	0	0	0	0	0	0	0	79	11	7	6	8
15	31	1	0	0	0	0	0	0	22	2	3	0	3
16	6	0	0	0	0	0	0	1	4	1	0	0	0
17	3	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0
18	2	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Av Tabell 3 och 5 framgår det att masten i Oxhult har fler observationer än Brunsmo och Idhult vid 15 m/s, trots att Oxhults mätningen var 40m lägre än både Brunsmo och Idhult. Oxhult har på 60 m 119 observationer totalt vid 15 m/s, varav 74 stycken inträffar i den vanligaste riktningen som är västlig (V).

Tabell 3: Oxhult mast 60 meter

Intervall	Totalt	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSV	VSV	V	VNV	NNV
Medel	5,59	4,06	4,99	5,31	5,98	5,82	5,19	5,5	5,53	6,12	6,23	4,87	4,32
0	145	10	13	15	6	10	8	8	0	10	34	18	13
1	1159	79	85	102	88	60	91	57	67	113	160	144	113
2	3435	210	155	164	196	207	300	283	286	381	493	463	297
3	5902	291	226	298	346	397	434	608	556	591	999	788	368
4	8043	360	285	333	511	557	611	918	863	864	1566	779	396
5	9302	304	262	368	580	825	734	1035	1107	1058	1832	755	442
6	8735	174	248	459	684	1013	733	972	1124	949	1490	589	300
7	6160	101	157	337	679	749	473	748	686	771	923	399	137
8	3663	24	97	168	365	370	221	439	452	566	678	225	58
9	2317	10	51	106	198	202	116	290	287	406	533	86	32
10	1422	0	59	46	99	76	56	131	139	267	449	73	27
11	943	0	37	33	77	45	27	44	39	211	366	59	5
12	716	0	5	19	53	44	19	18	16	132	364	43	3
13	494	0	1	5	59	45	16	7	8	86	227	40	0
14	282	0	0	0	28	33	5	3	2	66	131	14	0
15	119	0	0	0	14	6	0	0	1	23	74	1	0
16	35	0	0	0	0	0	0	0	1	12	22	0	0
17	16	0	0	0	0	0	0	0	0	4	12	0	0
18	6	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	0	0
19	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabell 4: Sjöaryd mast 100 meter

Intervall	Totalt	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSV	VSV	V	VNV	NNV
0	5204	185	240	364	251	2882	160	102	77	262	278	246	157
1	1793	161	126	119	103	110	152	147	118	168	181	230	178
2	5252	397	404	440	358	404	410	405	427	563	643	459	342
3	9252	552	627	737	630	693	901	699	726	990	1426	778	493
4	12924	649	945	899	1012	1106	1347	1051	1253	1221	1975	946	520
5	16291	714	1114	1133	1216	1501	1682	1219	1691	1670	2485	1168	698
6	17594	821	878	1412	1421	1914	1624	1044	1962	1937	2972	984	625
7	15358	694	780	1296	1485	1943	1108	762	1935	1712	2640	611	392
8	11570	405	743	1057	1408	1633	603	541	1405	1304	1863	353	255
9	6721	184	434	699	697	938	363	282	743	740	1238	238	165
10	3558	80	206	344	405	360	133	124	411	447	857	139	52
11	2091	21	62	163	140	200	48	117	190	355	687	100	8
12	1179	1	29	91	37	136	22	58	74	179	514	35	3
13	604	0	3	14	29	84	7	15	37	88	305	20	2
14	308	0	0	0	4	39	4	10	10	49	183	8	1
15	161	0	0	0	0	6	1	6	4	31	107	5	1
16	65	0	0	0	0	3	4	0	2	15	39	2	0
17	24	0	0	0	0	1	0	0	0	1	20	1	1
18	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	2	0
19	12	0	0	0	0	0	0	0	0	1	11	0	0
20	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Idhultsmasten har data från en lång period, >30 månader, men antalet observationer är trots det endast 111 stycken, se Tabell 5.

Tabell 5: Idhult mast 100m

Intervall	Totalt	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSV	VSV	V	VNV	NNV
0	971	188	103	133	103	119	105	39	27	46	30	37	41
1	2183	231	201	193	165	181	222	154	187	175	168	135	171
2	5787	602	539	493	498	612	501	426	405	357	405	433	516
3	10458	907	942	802	935	1178	915	779	757	680	802	809	952
4	15522	1453	1246	1230	1237	1548	1466	1113	1215	1173	1330	1161	1350
5	20307	1695	1535	1424	1373	1695	1930	1534	1858	1993	1993	1637	1640
6	23251	1914	1614	1238	1152	1392	1780	2078	2713	2607	3051	1956	1756
7	22538	1510	1467	1034	785	917	1203	1726	3142	3382	3835	2085	1452
8	17702	828	1066	604	431	421	711	965	2328	3427	3646	1962	1313
9	9870	417	730	417	168	209	449	542	1044	2064	2255	923	652
10	4565	297	450	296	49	80	174	270	462	862	1166	313	146
11	2288	131	218	156	19	31	94	103	228	365	705	149	89
12	1080	35	141	69	1	7	17	33	78	182	359	102	56
13	544	11	91	21	0	0	2	14	9	137	179	56	24
14	271	1	40	5	0	0	1	15	0	83	96	25	5
15	111	0	11	0	0	0	0	2	0	36	49	7	6
16	42	0	1	0	0	0	0	0	0	8	27	2	4
17	15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10	2	2
18	6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	1	1
19	5	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Notera att masten har data under 31,4 månader, medan sodarn (6.4.6 - 6.4.7) endast har data från 4 månader. Sodarn var placerad på mätplatsen 2009-09-25 - 2010-01-21. Tillgängligheten var 90 % på 100m och vid 15 m/s finns bara 5 observationer totalt, se Tabell 6.

Tabell 6: Idhult sodar 100m

Intervall	Totalt	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSV	VSV	V	VNV	NNV
0	103	2	12	6	6	10	15	11	10	6	14	4	7
1	217	23	12	18	11	25	28	19	18	18	7	17	21
2	366	25	17	46	22	17	26	40	18	17	33	64	41
3	830	49	128	59	100	55	78	52	57	24	66	54	108
4	1626	120	220	113	182	143	182	64	167	58	85	62	230
5	2118	244	187	167	140	231	202	164	220	102	119	73	269
6	3085	503	183	253	170	321	191	308	279	212	165	168	332
7	2637	217	88	77	103	176	196	129	474	338	384	105	350
8	1694	197	44	77	82	92	39	68	251	204	301	107	232
9	1404	243	41	91	102	107	18	55	127	234	149	114	123
10	752	119	80	60	65	66	15	28	87	70	92	40	30
11	366	64	88	46	28	21	4	13	30	17	30	19	6
12	191	22	73	9	16	10	0	8	14	17	17	4	1
13	44	1	13	3	2	0	0	1	9	8	6	0	1
14	21	0	7	1	0	0	0	0	2	8	3	0	0
15	5	0	1	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Vid en höjd om 140 meter finns 70 observation, vilket förklaras av vindökningen med höjden (vindgradienten)

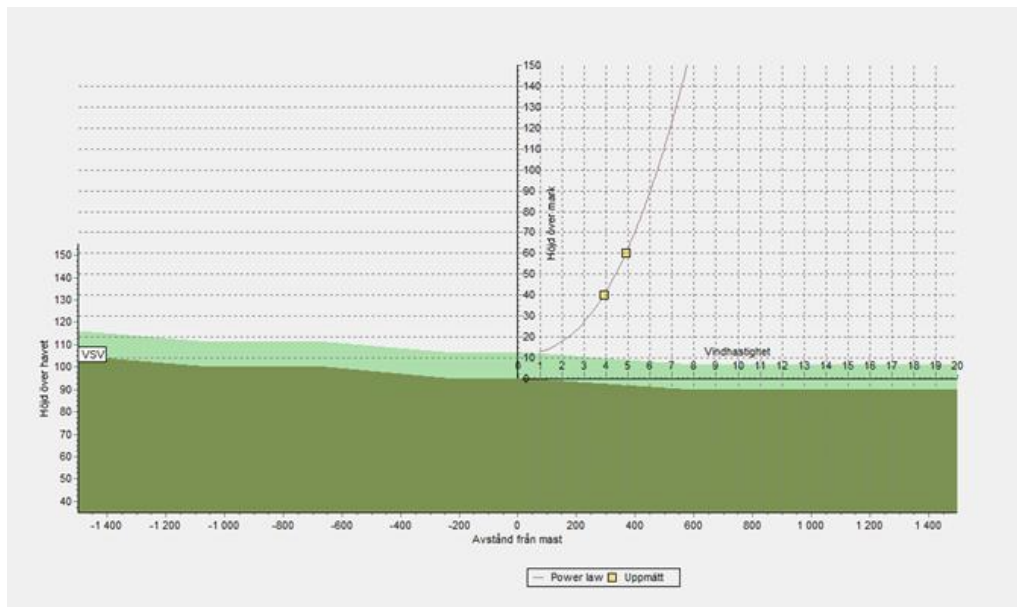
Tabell 7: Idhult sodar 140 m

Intervall	Totalt	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSV	VSV	V	VNV	NNV
0	79	3	6	7	4	8	10	13	4	8	7	7	2
1	130	7	7	14	10	15	19	11	4	7	12	15	9
2	217	14	14	35	14	19	18	27	6	13	18	24	15
3	413	30	51	43	53	35	48	27	29	7	21	26	43
4	772	46	120	70	67	70	116	47	62	22	31	40	81
5	1171	86	110	177	118	195	93	54	73	47	63	75	80
6	1891	242	164	208	173	279	151	152	145	88	66	71	152
7	2650	330	195	197	273	245	273	169	305	177	181	65	240
8	2048	291	52	133	183	169	125	166	244	216	214	122	133
9	2014	303	54	92	104	161	75	131	225	331	230	122	186
10	1478	110	37	49	68	95	39	43	257	256	250	82	192
11	949	136	32	60	87	60	11	23	129	69	163	91	88
12	621	114	85	52	68	45	13	21	58	36	50	37	42
13	277	39	87	20	18	15	3	6	27	22	23	10	7
14	151	15	51	9	12	11	2	7	17	12	9	4	2
15	70	26	24	3	2	3	0	0	5	2	4	1	0
16	20	3	7	1	0	1	0	0	0	7	0	0	1
17	4	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
19	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5.5 VINDGRADIENTEXPONENTEN

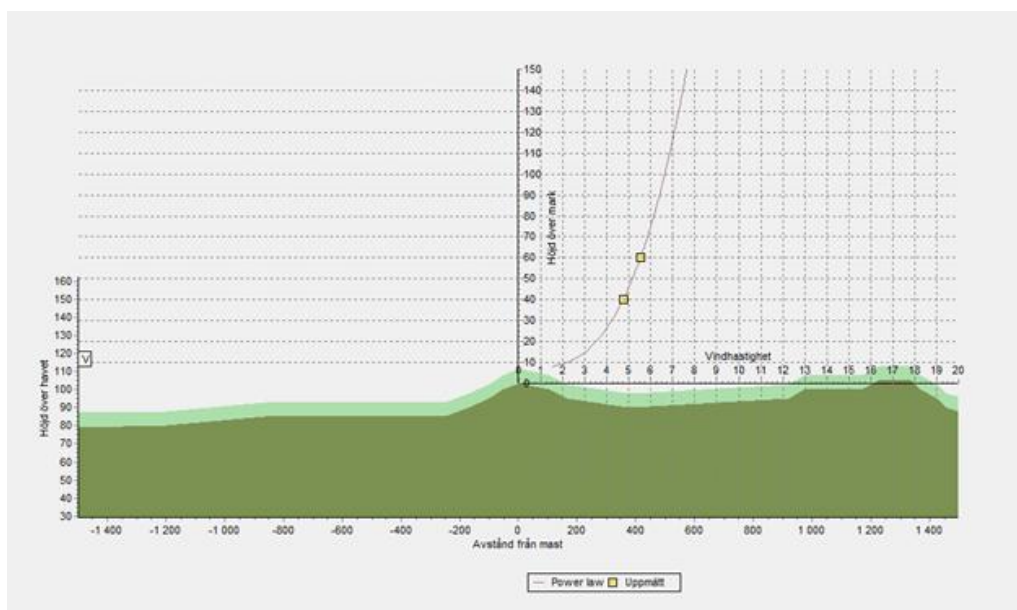
Standardvärdet för vindgradientexponenten som tillverkarna anger för en standard plats är 0,2. Från mätningarna har Arise konstaterat att det inte har observerat ett så lågt värde vid någon av de platser man projekterat.

För Brunsmo så var vindgradienten under mätperioden 0,428, vilket är den högsta uppmätta av de tre parkerna, se Figur 10.



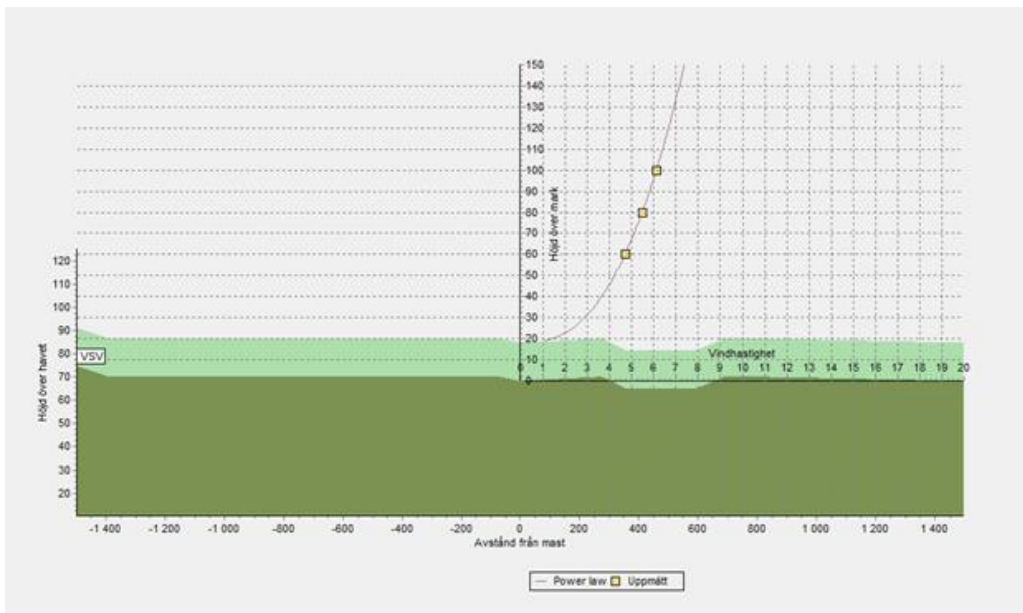
Figur 10: Vindgradient för Brunsmo.

I Oxhult var vindgradienten 0,325 under den mätperioden, vilket var den lägsta gradienten av de tre parkerna, se Figur 11.



Figur 11: Vindgradient för Oxhult.

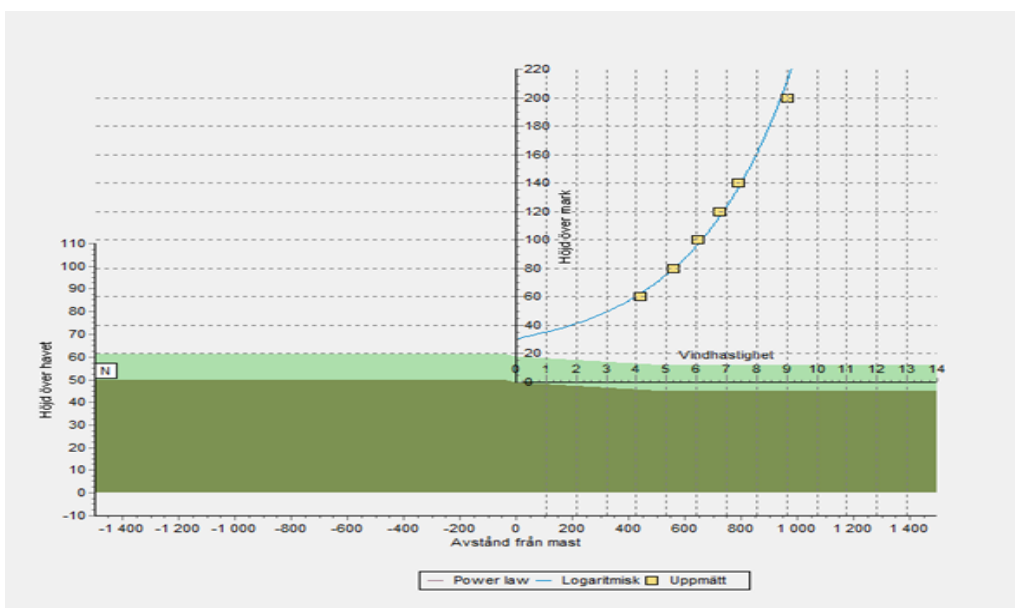
Vid Idhult uppmättes vindgradienten till 0,410 under mätperioden, vilket var nästan i paritet med Brunsmo.



Figur 12: Vindgradient för Idhult.

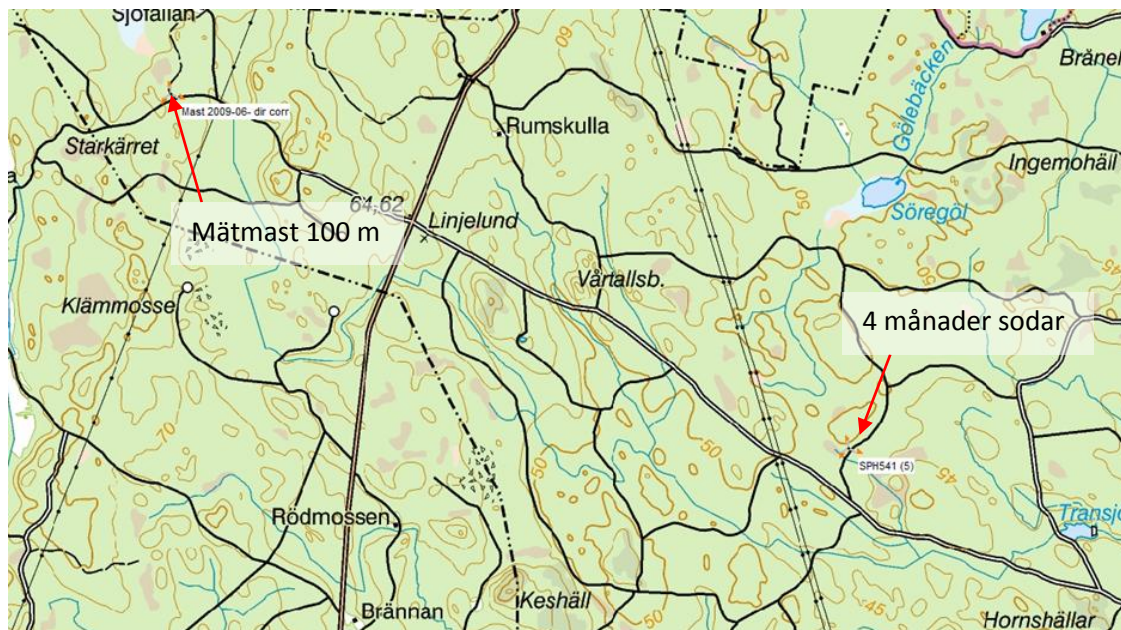
De högsta uppmätta vindgradienterna var i parkerna på östkusten och med tanke på att vinden i huvudsakligen är västlig, kanske detta inte helt oväntat med tanke på skogsterrängen.

Vindgradientexponenten från masten för Idhultsprojektet visas i Figur 12. Det finns även en 4 månaders mätning med sodar för att utvärdera vindgradientexponenten över hela rotorytan (Figur 13) och för att ge data för en korsprediktering i produktionsberäkningsmodellen. Sodarn var i drift under 4 månader, 2009-09-25 – 2010-01-21.



Figur 13: Vindgradient för Idhult uppmätt med sodar.

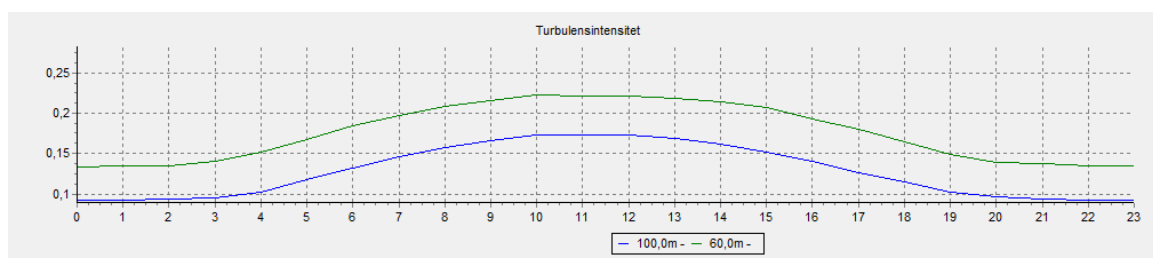
Sodarn i Idhult placerades 4 kilometer öster om masten, se Figur 14.



Figur 14: Karta som visar placering av mätningen med sodar.

5.6 TURBULENS

Av turbulensens fördelning över dygnet, gör Arise bedömningen att ett fåtal observationer kan ge en felaktig bild av förhållandena, och att den högre turbulensen inträffar vid lägre vind under dagen, vilket troligen visar områdestypens stabilitetsfördelning. Figur 15 visar hur turbulensintensiteten varierar över dygnet.



Figur 15: Variation av turbulensintensitet över dygnet.

6 MÄTTEKNIK

6.1 MÄTTEKNIK I SKOG

När Arise inledde detta projektet 2008 var flertalet av bolagets master 60 meter höga, vilket kan tänkas vara godtagbart på slättmark eller i jordbrukslandskap. Masterna uppfördes 2007 i samarbete med Uppsala universitet, Hans Bergström. Master som byggs idag (2011) har en höjd motsvarande navhöjd eller högre. Detaljerna kring instrumenteringen av en mätning finns i IEC-standarden, samt framgår i samarbete med turbinleverantören. Den IEC-standard² som vi finner mest lämplig att känna till är IEC 61400-1 och 61400-12-1. Både Arise tidiga och senare mastmätsystem är byggda av In Situ Instrument AB³ i Ockelbo, vilka är väl förtrogna med kvalitetskraven för mätsystem av denna typ.

6.2 SODAR SOM MÄTTEKNIK

Arise har inom projekten använt sig av sina AQS 500 system⁴ och allt undersökande arbete kommentarer och slutsatser gäller därför dessa system. Arise initierade genom Högskolan i Halmstad, Professor Lars Bååth⁵ jämförande mätningar mellan sodar och mast på samtliga system (7 stycken). Systemen placerades enligt kartan, Figur 8, kap 4.3 Sjöaryd och protokollen finns publika hos AQS⁶ eller Arise.

Metodikerna har varit att jämföra data som filtrerats efter indikatorer på att mätningen kan ha varit störd eller om systemet inte fungerat optimalt. Mätperioderna har varit korta, men bedöms tillräckliga för att jämföra teknikerna. Tillgängligheten i Tabell 8 är efter filtrering.

Tabell 8: Tillgänglighet i mätdata för olika sodarsystem.

	Antal dagar	Korrelation	Diff. i m/s	Medelvind	Diff %	Godkänd data
SPH 541	24	0,86	-0,41	5,89	-7,0%	< 60%
CDE 140	14					< 15%
BHG 970	10	0,95	-0,10	5,94	-1,7%	< 60%
ASD 802	8	0,96	0,10	7	1,4%	< 60%
BFN 557	14	0,93	-0,12	5,68	-2,1%	< 60%
EDY 706	10	0,94	0,13	5,84	2,2%	< 60%

² <http://www.iec.ch/>

³ <http://www.insitu.se/>

⁴ <http://www.aqs.se/>

⁵ <http://www.hh.se/set/forskning/mtek/forskargrupper/fotonik.278.html>

⁶ <http://www.aqs.se/downloads/>

Dessa 6 tester varav 5 med godkänd kvalitet, visar en korrelation mellan sodar och mast efter filtrering på 0,86 – 0,96.

Standaravvikelsen på differensen är 0,19 m/s. Om man bortser från SPH 541, vars avvikelse är större än de övriga, ligger spridningen inom $\pm 0,13$ m/s. Slutsatsen är att med en utökad kvalitetsfiltrering visar de olika teknikerna en symmetrisk skillnad och inget system visar mer eller mindre. När jämförelsen gjordes var systemen i gott skick och hade mätprogram för 20-150 meter installerade.

För att få användbara data för vindkraftsberäkningar behöver man ha en volym av data som representerar områdets potential. En filtrering utifrån kvalitetskrav på mättekniska förhållanden riskerar att skapa en bias i mätdata så att man inte visar rätt förutsättningar giltiga för platsen. Vår slutsats är därför att man i sodar fallet skall använda den inbyggda kvalitetsfiltrering i AQS 500 som enligt vår erfarenhet kan ge en tillgänglighet på högre än 90 % om driftsförhållanden och servicenivå är gynnsamma. Mätplatserna ses figur 8.

Högskolan i Halmstad byggde även ett eget sodarssystem som examensarbete och forskningsprojekt⁷. Arise slutsatser kring utvecklingsprojektet är att konceptet kan utvecklas, men att det finns fördelar med det integrerade systemet av den typen som AQS 500 representerar och praktiska nackdelar med komponenter som placeras mer än 50 meter från varandra i skogsterräng.

Arise har även vid ett flertal tillfällen diskuterat frågan med Kjeller vindteknikk AS⁸ som har lång erfarenhet av sodarer. Arise har bedömt att systemen är lämpliga för kompletterande mätningar före, under och efter mastmätning av en plats där vindkrafts etablering undersöks. Arise har regelbundet använt sodardata från AQS500 system i interna vind-/produktionsanalyser och även delgivit data till 3:e part för verifiering. Syftet är dels att få maximal kunskap om vinden och att systemen får ett "track record" hos de etablerade konsulterna.

En av konsulterna som verkat länge i branschen och som har utgivit dokumentation i ämnet, sodarmätning är GL-GH⁹. AQS arbetar på att få AQ500 systemet "godkänt" för vindmätning och sedan januari 2011 finns en statusbeskrivning och rekommendation av användande av AQ500 skrivet av GL-GH. Detta material finns att få från AQS¹⁰.

Under 2011 genomförde Arise 2 stycken jämförelser på plats i ett projekt för att validera att sodardata gav ett användbart informationstillskott. Undersökningen visar en korrelation på 97 %. Ingen filtrering utöver AQS inbyggda har gjorts. Sodarerna visade på en liten överskattning av vindhastigheten. Resultaten styrker de tidigare slutsatserna kring användande av sodarsystemen förutom att dessa båda visade något högre medelvind.

⁷ Examensarbete, Utveckling av Wind energy analysing System, av Kalle Svensson och Eric Gustafsson, HH

⁸ <http://www.vindteknikk.no/>

⁹ <http://www.gl-garradhassan.com/en/OnshoreWind.php>

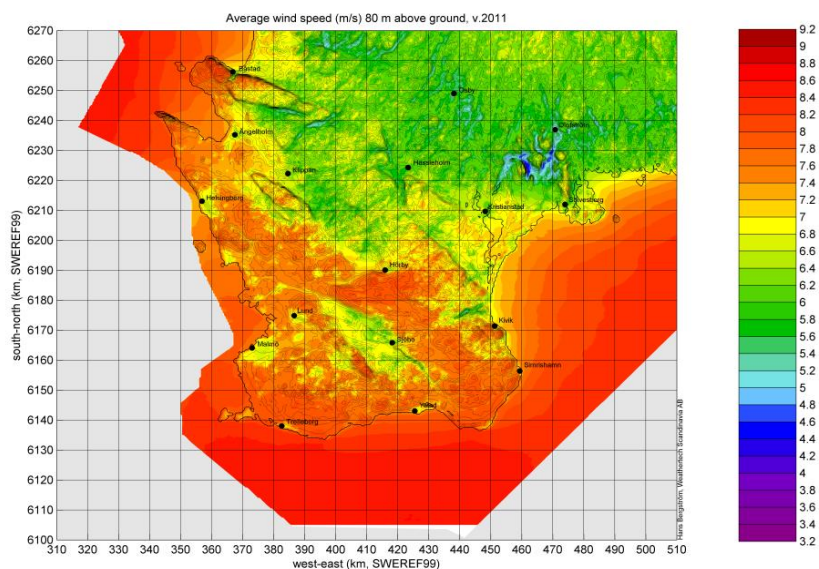
¹⁰ <http://www.aqs.se/downloads/>

6.3 ÖVERGRIPANDE SKILLNADER MELLAN MÄTPLATSERNA

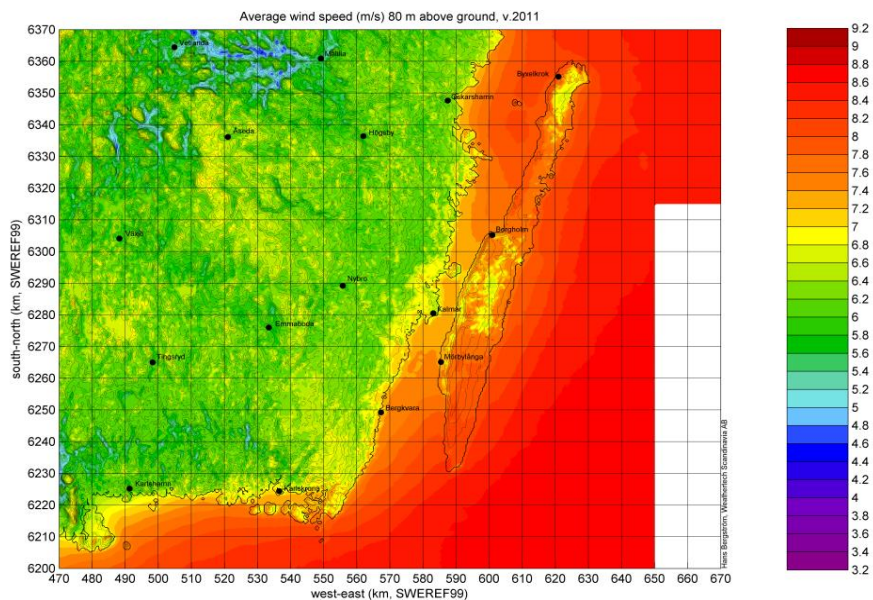
Mätplatserna ligger spridda i södra Sverige. En på västkusten (Oxhult), en på östkusten (Idhult) och en på syd-östkusten (Brunsmo), se karta i Figur 1.

En översiktlig vindkartering med MIUU finns och har uppdaterats av Weathertech AB¹¹ 2011. Figurerna 16 och 17 visar vindfördelningen över hela den undersökta regionen.

<http://www.s1106835.crystone.net/?q=sv/node/53>



Figur 16: Karta över område 1.



Figur 17: Karta över område 2.

¹¹ <http://www.weathertech.se/>

Enligt MIUU (se Figur 16 och Figur 17) har Arise bedömt de 3 platsernas potential på höjden angiven som 80 meter över mark rimliga för en uppskattning av navhöjdsvärden om bedömningen görs okulärt från kartan.

- Oxhult 6,7 m/s
- Brunsmo 6,4 m/s
- Idhult 6,4 m/s

Dessa karteringsvärden ger en indikation som är lik mätningarna, och visar på en något lägre medelvind på de östliga projekt platserna. Som absoluta värden är de dock inte relevanta eftersom de är avläsningar från en bild och att ingen hänsyn tagits till verkliga förhållanden på platserna.

Mätperioderna för de 3 platserna är inte samtidigt, de har inte likvärdig utrustning, vilket alltså innebär att man inte kan jämföra dem i samma tid eller på samma höjd. En jämförelse av de 3 mätningarna och respektive långtidskorrigerade värde omräknad till 100 meter ger dock en indikation på spridningarna som man får när man jämför olika platser och dessutom delvis olika tekniker.

7 MÄTDATAANALYS OCH DISKUSSION

7.1 VINDGRADIENTEN

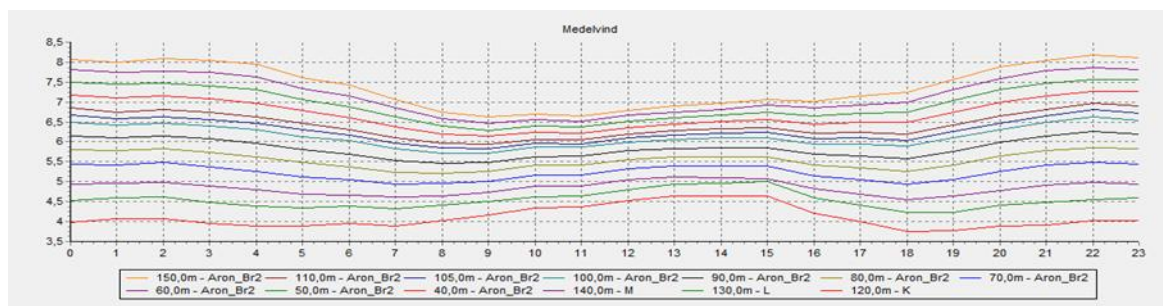
Det första intresseområdet är hur vindökningen förändras med höjden, dels för att det från tillverkare av vindturbiner finns ett värde som betecknar max ökning av vinden med höjden och dels för att den tidigaste mätningen i Oxhult hade en mast med huvudmätaren på 60 meter över marken. Medelvinden i navhöjd (105 m) är då beräknad från den insamlade datan på 60 meter och har en viss osäkerhet. Projektet Brunsmo är mätt med en sodar och har data i navhöjd (100 m). Projektet Idhult har en mast på 100 meter och är mätt nära navhöjd (105 m). För att belysa skillnaden i vindgradient analyserar vi vindgradientexponenten. Projekten har följande vindgradientexponenter beräknade mellan de gemensamma mät höjderna 40 och 60 meter.

- Brunsmo	(11.8.1.1)	0,428
- Oxhult	(11.8.2.1)	0,325
- Idhult	(11.8.4.1 & 11.8.7.1)	0,410

Oxhult ligger på västra sidan av Sverige, medan Brunsmo och Idhult ligger på östra sidan (se figur 1) medelvärde i vindgradientexponenten i de östliga projekten är 0,419 vilket är 29 % högre än Oxhults 0,325. Samtliga 3 projekt har ca 33 % lägre vindprofilexponenter på natten än på dagen, se skillnaden enligt Figur 11.3.1-11.3.6 under 11.3. Dessa observationer indikerar att vindgradientexponenten är högre på natten än på dagen samt att de är högre på östkusten än på västkusten. Skillnaden mellan Oxhult (väst) och Brunsmo, Idhult (öst) stöds av att skillnaden är av samma storleksordning mellan Sjöaryd (väst) och Brunsmo, Idhult (öst). Tendensen är liknande om jämförelsen görs mellan Sjöaryd (60, 80, 100 m) och Brunsmo, Idhult (60, 80, 100 m) vilket även det stödjer resonemanget att det finns en observerad signifikant skillnad i vindgradientexponent mellan väst- och östkust.

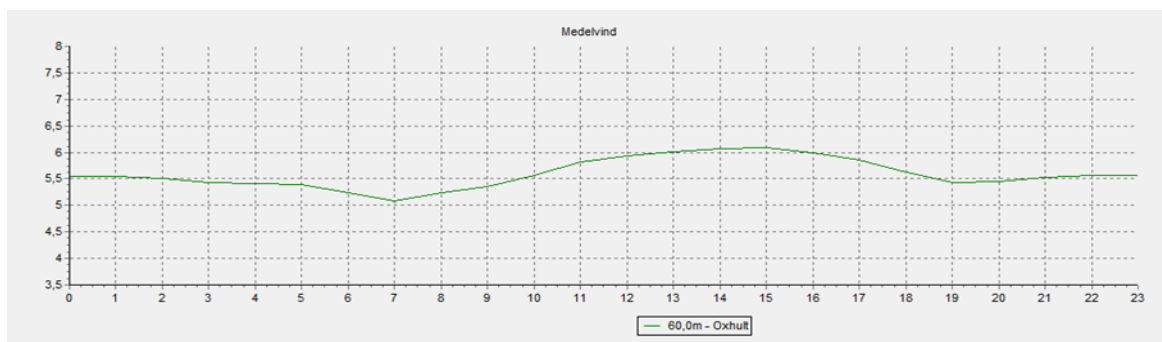
7.2 VARIATION ÖVER DYGNET

Det andra intresseområdet är vindens variation över dygnet. Dygnsvariationen på 150 m i Brunsmo figur 18 (11.3.1) visar samma tendenser som 100 meter på Höglandet (11.3.6) I båda fallen förändras profilen på lägre höjd. Vid 50-60 meter har Höglandet likheter med Idhult och Sjöaryds 100 m variationer.



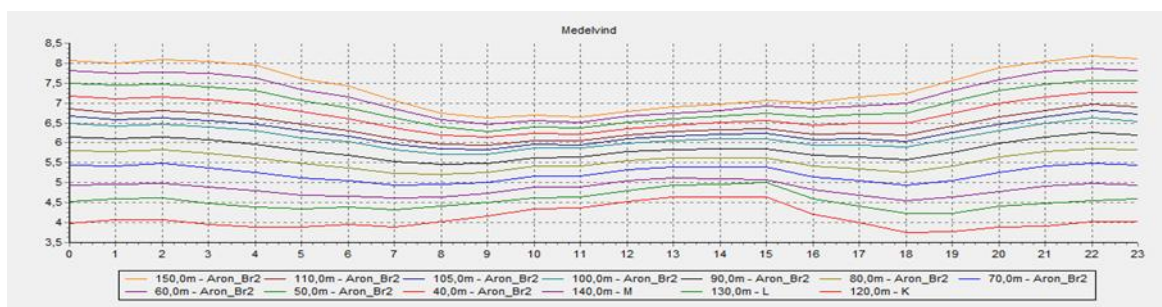
Figur 18: Brunsmo 11.3.1

Dygnsvariationen i Oxhult (figur 19, 11.3.3) som först såg avvikande ut, men är väldigt lik Sjöaryds 60 m (11.3.4) och även de lägre höjderna i Brunsmo.



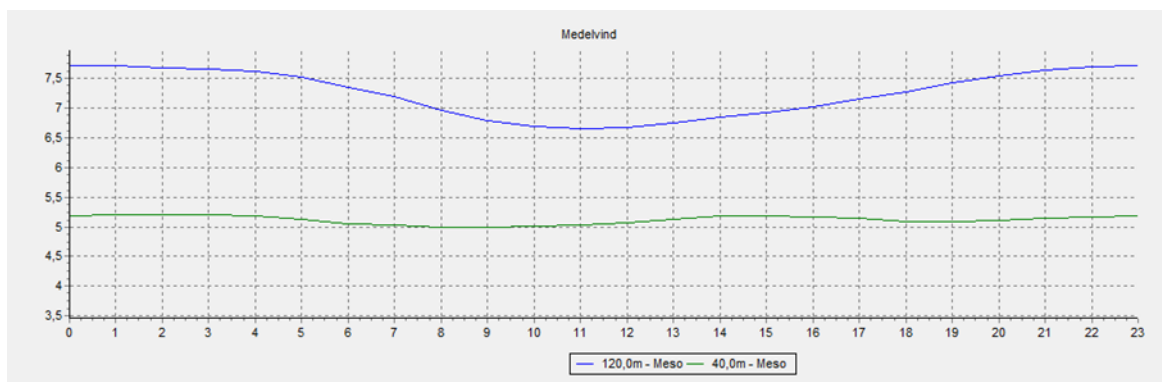
Figur 19: Oxhult 11.3.3

Om slutsats skulle dras av enbart en 60 metersmast, skulle bedömningen av dygnsvariationen troligen skilja sig från en gjord med en 100 metersmast på samma plats. Systemet på Högländet ligger på ca 350 Möh, medan de övriga ligger kring 100 Möh. Dygnsvariationerna ser alltså i de jämförda fallen olika ut beroende på dels höjden över havet och dels höjden över marken. Man kan i figurerna 11.3.1 – 11.3.5 se vindgradientens utveckling under dygnet genom skillnaden mellan min-max. Tydligast syns detta i Figur 20 (11.3.1).



Figur 20: Brunsmo 11.3.1

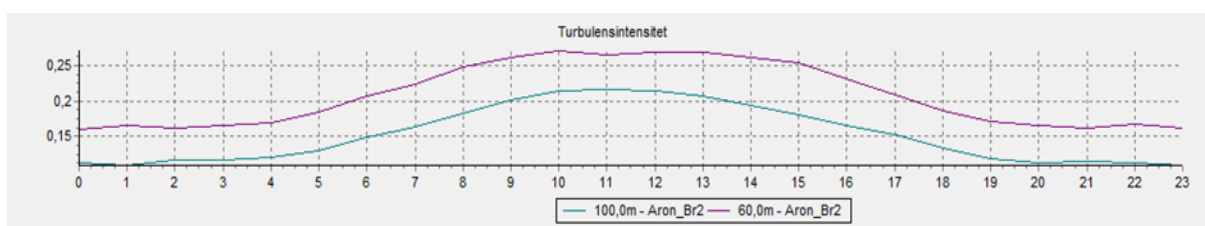
Eftersom dygnets maxvärdesläge varierar med höjden som Figur 20 (11.3.1) visar, kan man ana att det finns en höjd, där vinden som redovisas i dessa figurer är nära konstant över dygnet. En liknande tendens i dygnsfördelningen av medelvind och vindgradienten med avseende på höjden finns i beräknade långtidsserier som här representeras av Figur 21 (11.9.1).



Figur 21: Mesodata 11.9.1

7.3 TURBULENSEN

Ett tredje intresseområde är turbulensen och dess variation över dygnet. I Figur 14.6.1 - 14.6.5 visas de 5 mätplatsernas dygnsvariation av turbulens. Man kan konstatera att de inte uppvisar några signifikanta skillnader i dygnsvariation eller i nivå. Man kan dock notera att sodarsystemet visar en nivå och fördelning som liknar de andra trots skillnaden i teknik. Det finns inga simultana data i närheten som styrker kvaliteten av den insamlade mätdata avseende turbulens mätt med sodar, men om man gör en bedömning från Figur 22 (11.7.1) och jämför den med de övriga 11.7 figurerna, ser den rimlig ut.

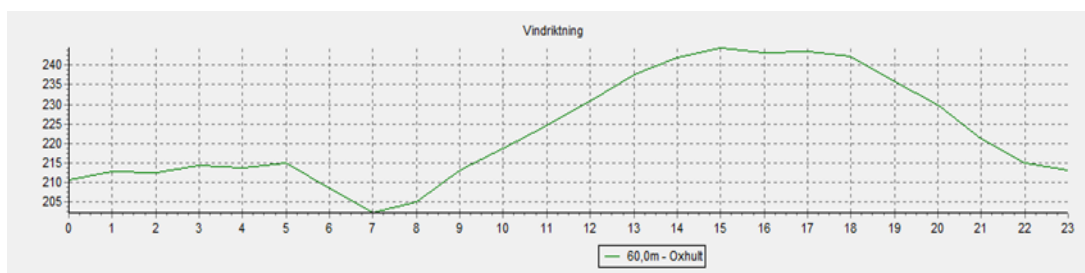


Figur 22: Brunsmo 11.7.1

På platserna Brunsmo, Oxhult och Idhult finns det vindturbiner i drift. Driftförhållanden och lastberäkningarna som gjort för platsernas lämplighet är gjorda från samma mätdata som använts i detta arbete.

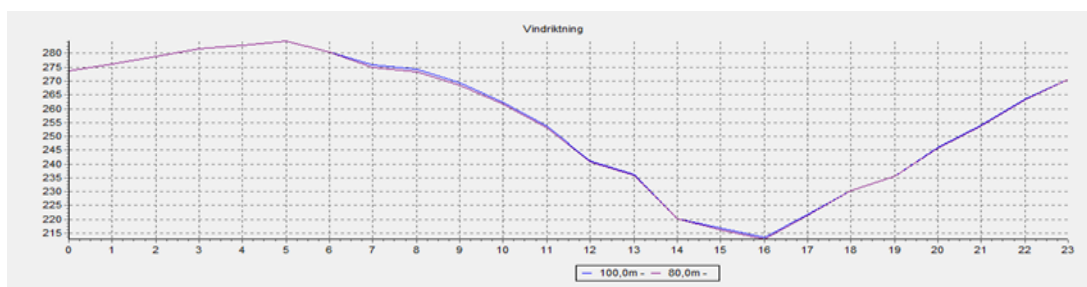
7.4 VINDRIKTNINGEN

Vindriktningen över dygnet ser ut att vara olika på Väst (Oxhult), Figur 23 (11.4.2) och Öst (Idhult, Figur 24).



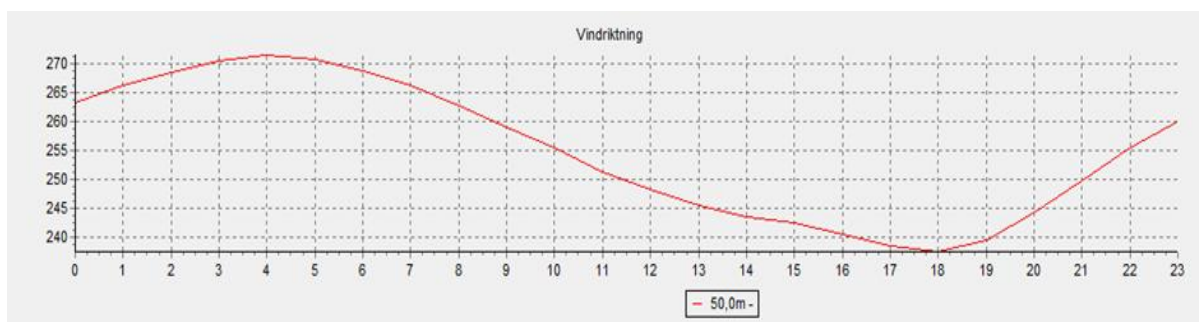
Figur 23: Oxhult 11.4.2

Den Sydliga vinden ser ut att komma under natten och morgonen i Oxhult, för att vrida sig och komma ifrån Syd-Väst under eftermiddagen. I Idhult (Figur 24) kommer vinden från väst på natten och morgonen för att vrida och komma från Söder under eftermiddagen.



Figur 24: Idhult 11.4.4

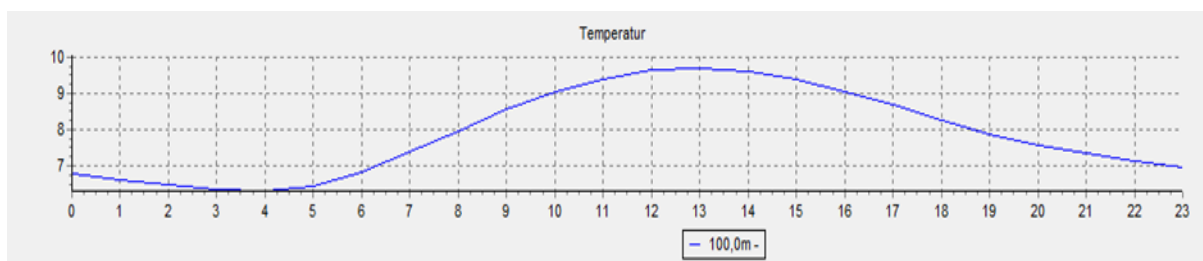
I Brunsmo (11.4.1) är vindriktningsvariationen lik den i Idhult. Höglandssystemet uppvisar kvalitetsbrister med avseende på riktningen och vindriktningsvariationen är långsammare än de andra systemen. Skillnaden i vindriktningens variation mellan väst- och östkust, stöds av långtidsserierna, 11.9.4 (västkust) och 11.9.5 (östkust), som är data serier med 1-tim upplösning, beräknade av 3-tier.



Figur 25: 3-tier 11.9.5

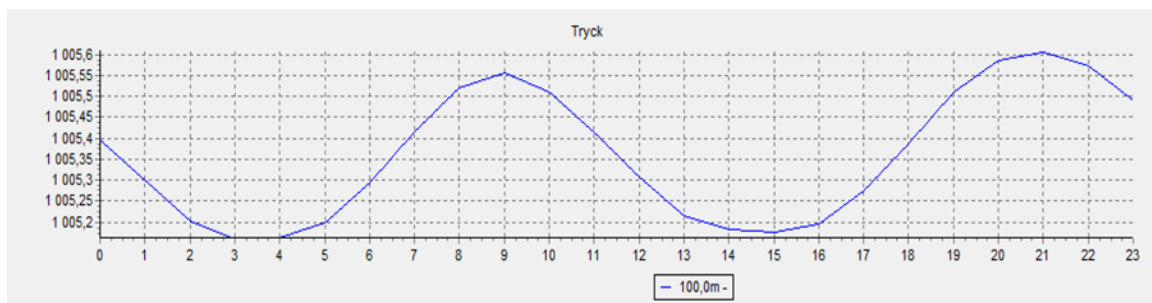
7.5 TEMPERATUREN

Temperaturvariationen (11.5.1-11.5.4) har inga signifikanta olikheter.



Figur 26: Temperatur Idhult 11.5.3

Eftersom Arise observerat en viss skillnad i vindhastighetens dygnsvariation och observerat att det kan finnas ett samband med platsens geografiska höjd, har även lufttryckets dygnsvariation tagits med. Oxhult (11.6.1) ser ut att ha haft en defekt eller bristfällig givare, därför dras inga slutsatser av dess avvikande form. Arise bedömer dock att det inte föreligger någon signifikant skillnad mellan de 3 återstående mätplatsernas tryckvariationer (11.6.2-11.6.4).



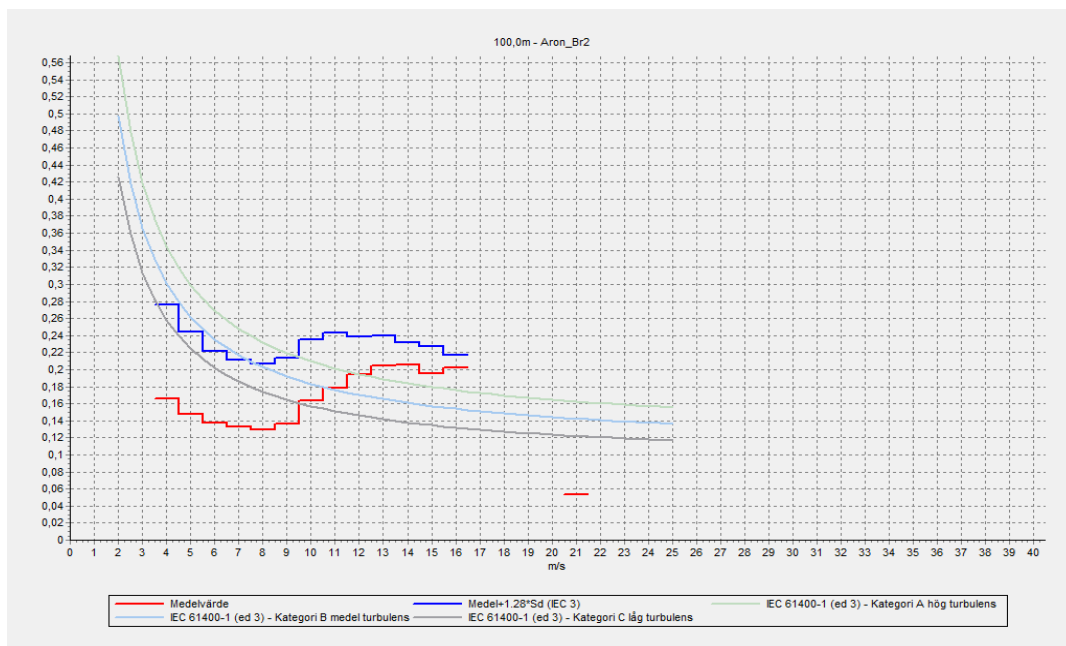
Figur 27: Tryck Idhult 11.6.3

8 TURBULENS

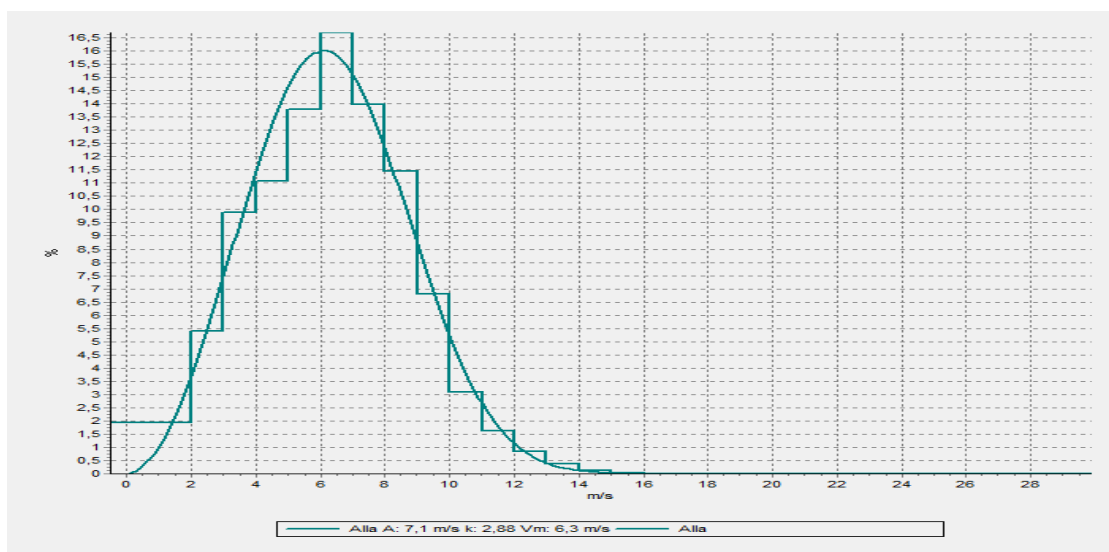
För turbulensvisningen har Arise valt att visa observerad data jämfört med IEC gränsvärden. Turbulensen som redovisas är Turbulensintensiteten vilken beräknas enligt följande, $Standardavvikelsen \div medelvinden = Turbulensintensitet$. Man kan ha synpunkter på om det är relevant att visa turbulensen som uppmäts med AQS500 (sodar), men Arise har valt att visa och kommentera uppmätta turbulensvärden även från AQS500. Figurerna är de som genereras i WindPRO 2.7, för att jämföra platsen med IEC kraven.

Arise har utifrån insamlad data gjort bedömningen att samtliga platser klarar kraven för IEC III A, se Tabell 1.

8.1 BRUNSMO SODAR



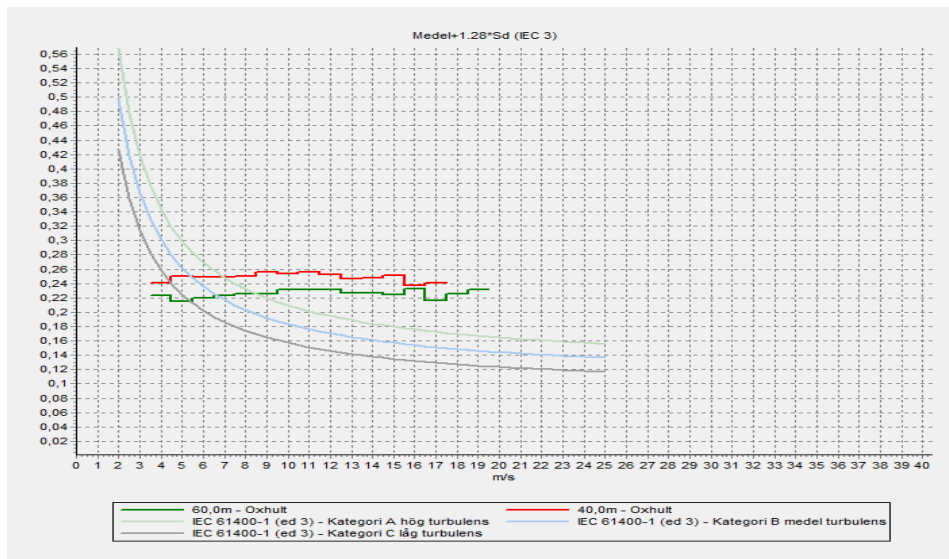
Figur 28: Turbulens Brunsmo



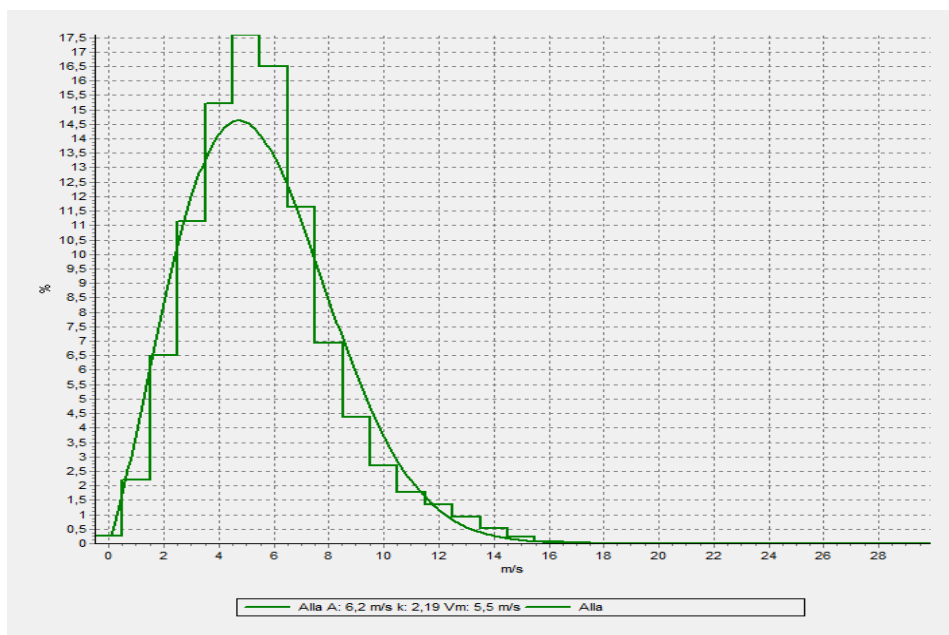
Figur 29: Brunsmo weibull data

Brunsmo mätningen är genomförd med enbart sodar. De insamlade värdena har därför inte samma status som de insamlade med masterna. I Figur 28 går turbulensen över IEC gränsvärdet för A (hög turbulens), kring 12 m/s. Observationer i Tabell 2 visar att det finns väldigt få värden över 12 m/s och antalet är klart under gränsen för acceptabelt antal observationer. Figur 29 visar även den på observations frekvens, men i ett annat format. Även i Figur 29 är det observerbart att antalet exponeringar för vind över 12 m/s är väldigt få under 1 år.

8.2 Oxhult 60 m



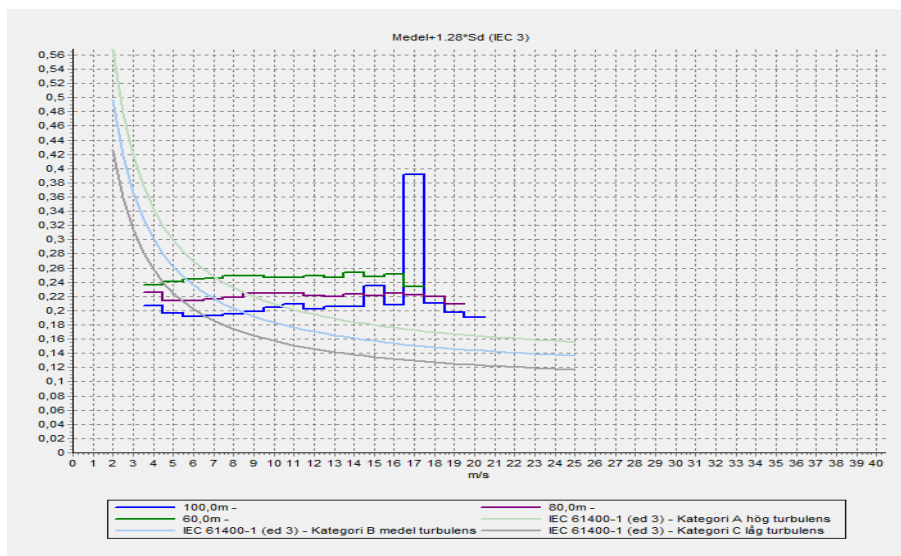
Figur 30: Turbulens i Oxhult



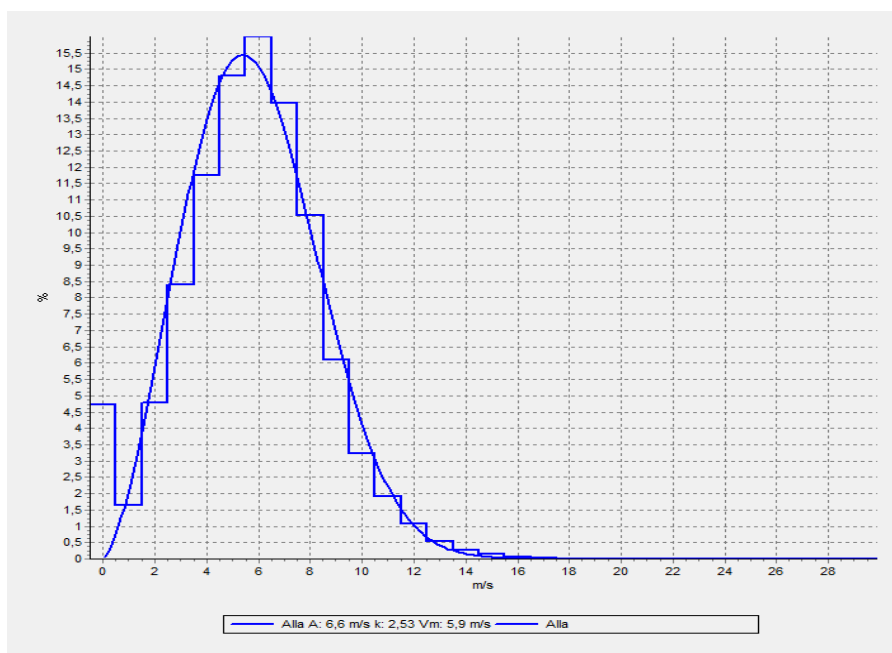
Figur 31: Weibull data Oxhult

I Figur 30 går turbulensen över IEC gränsvärdet för A (hög turbulens), kring 8,5 m/s, men i Oxhult är data insamlad på 60 m höjd. Detta leder till att turbulensen på 100 m eller navhöjd kommer att vara lägre. Observationer i Tabell 3 visar att man där närmar sig gränsen för acceptabelt antal observationer. Figur 31 visar även den observationsfrekvens, men i ett annat format. Även i Figur 31 är det observerbart att antalet exponeringar för vind över 10 m/s är få under 1 år.

8.3 SJÖARYD 100M



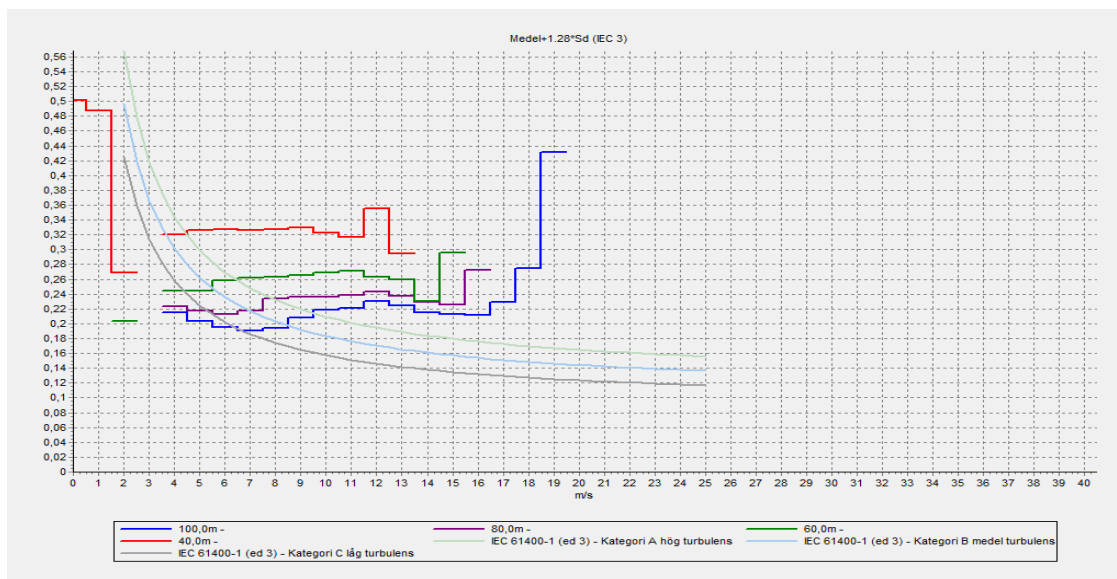
Figur 32: Turbulens vid 100 meter i Sjöaryd



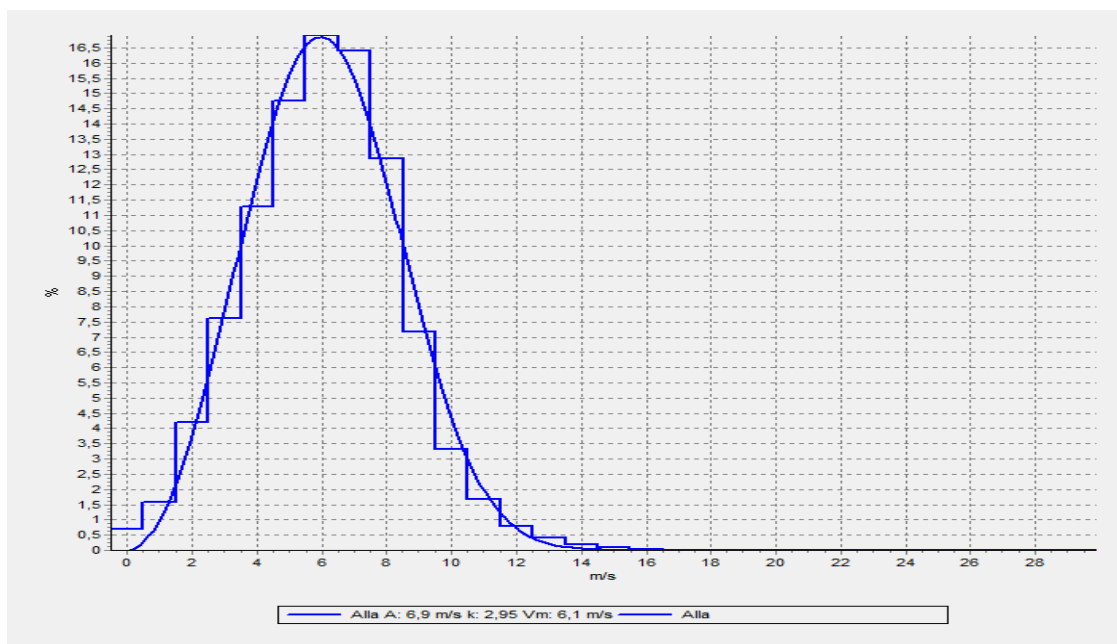
Figur 33: Weibull fördelning i Sjöaryd

I Figur 32 går turbulensen över IEC gränsvärdet för A (hög turbulens), kring 10 m/s. Observationer i Tabell 5 visar att antalet är nära gränsen för acceptabelt antal observationer. Figur 33 visar även den på observations frekvens, men i ett annat format. Även i Figur 33 är det observerbart att antalet exponeringar för vind över 10 m/s är få under 1 år. De utstickande värdena i Figur 32 är inte relevanta, då de baseras på enstaka observationer.

8.4 IDHULT



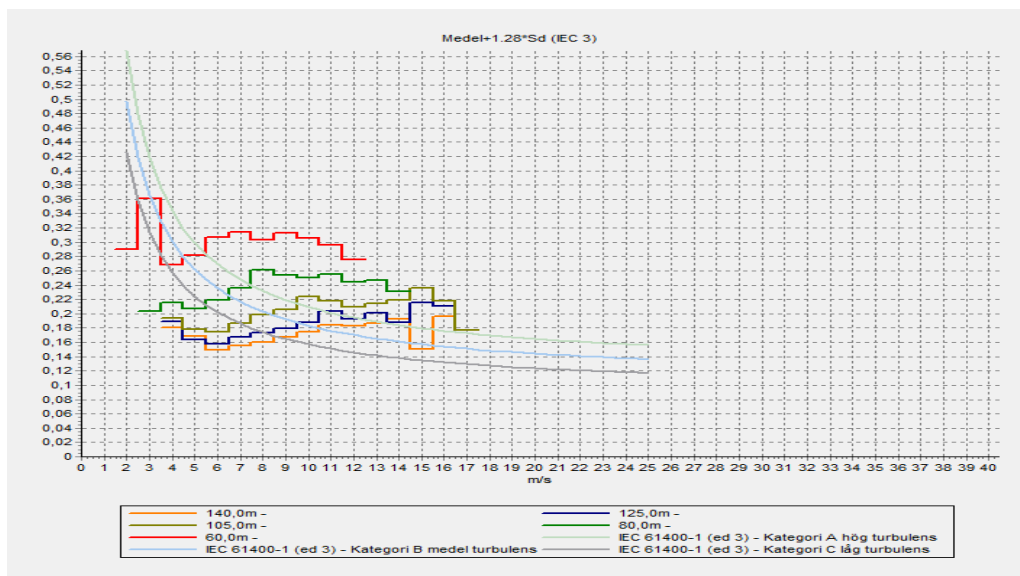
Figur 34: Turbulens i Idhult



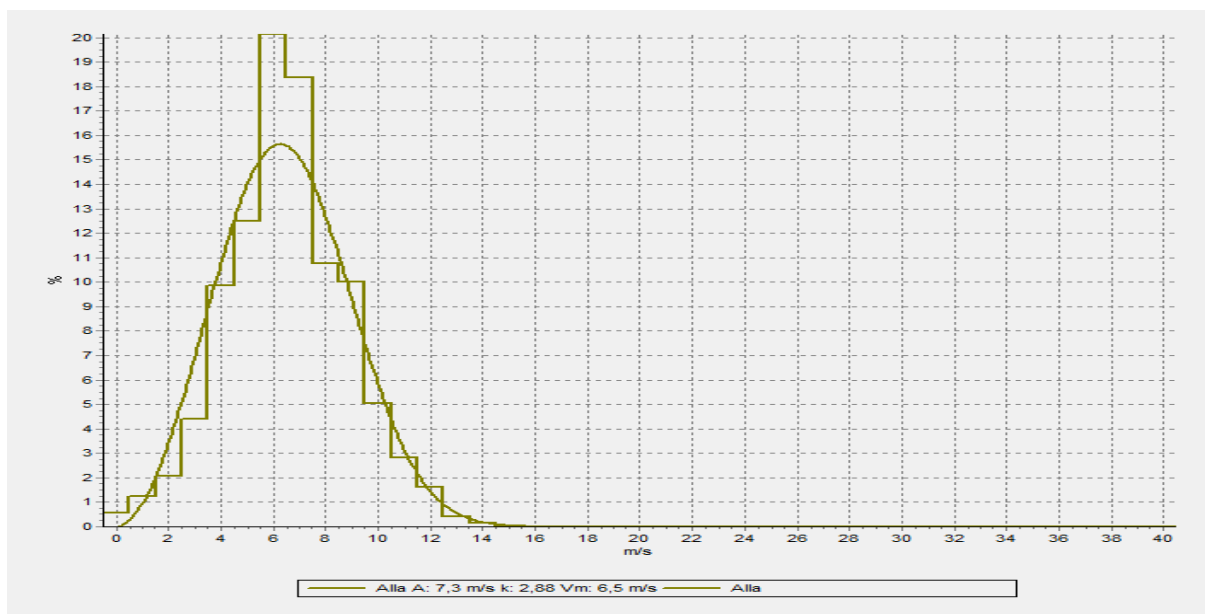
Figur 35: Weibull fördelning i Idhult

I Figur 34 går turbulensen över IEC gränsvärdet för A (hög turbulens), kring 9,5 m/s. Observationer i Tabell 5 visar att det närmar oss gränsen för acceptabelt antal observationer. Figur 35 visar även den på observationsfrekvens, men i ett annat format. Även i Figur 35 är det observerbart att antalet exponeringar för vind över 9,5 m/s är få under 1 år. De utstickande värdena i Figur 34 är inte relevanta, då de baseras på enstaka observationer.

8.5 IDHULT SODARDATA SPH 541



Figur 36: Turbulens Idhult

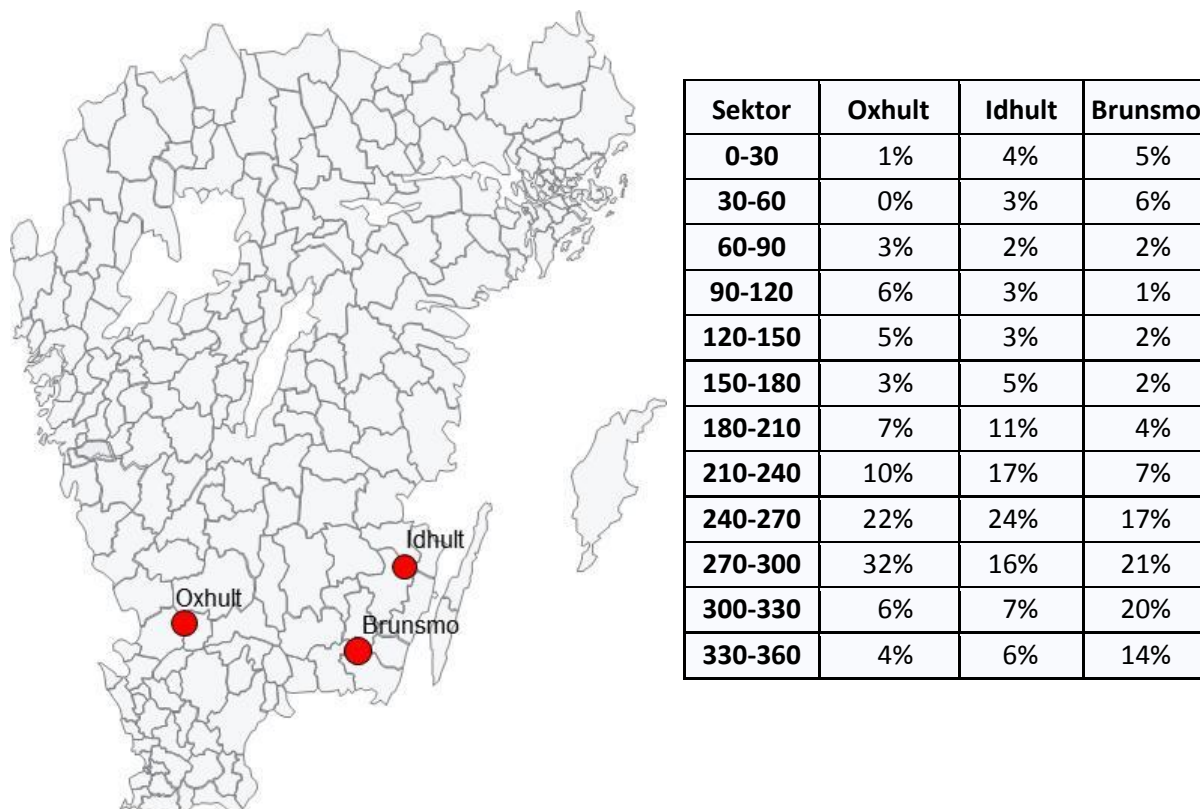


Figur 37: Weibull fördelning Idhult.

I Figur 36 som baseras på 4 månaders sodardata går turbulensen över IEC gränsvärdet för A (hög turbulens), kring 9,5 m/s. Observations tabell 6 säger att det redan efter 7 m/s är under gränsen för acceptabelt antal observationer. Figur 37 visar även den på observations frekvens, men i ett annat format. Från Figur 36 gör Arise samma bedömning som från mastdata. Det är dock oklart om mätteknikernas inbördes status.

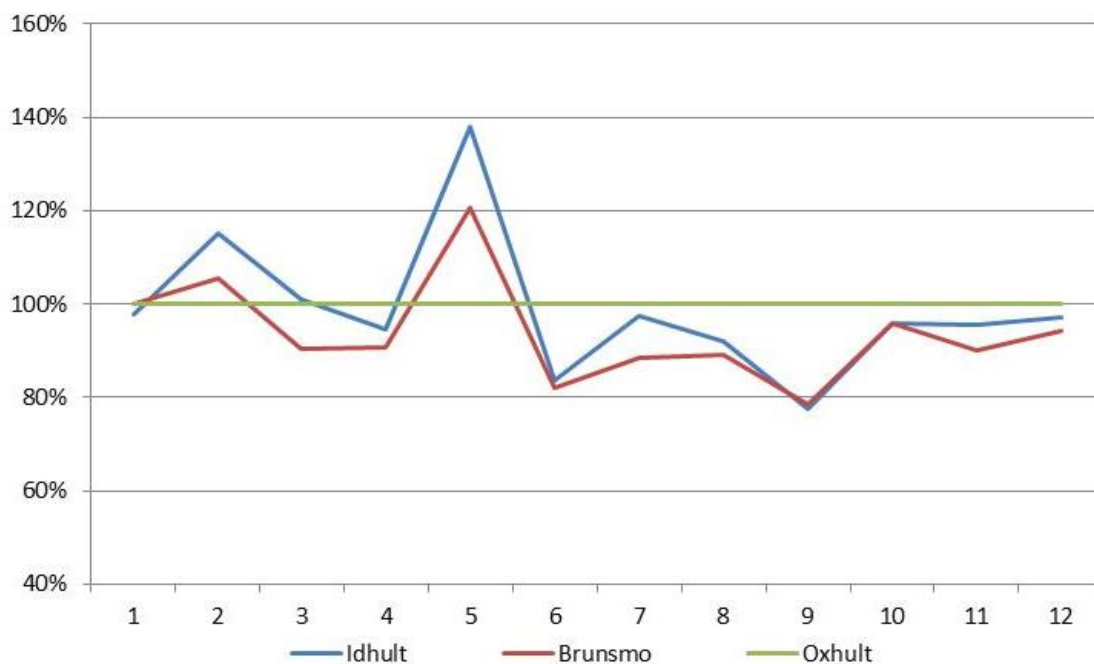
9 PRODUKTIONSANALYS

De parker som varit en del i projektet är Oxhult, Brunsmo och Idhult som är placerade på väst- och östkusten i södra Sverige enligt Figur 38. Perioden som studerat är från 1 mars 2012 till och med 31 mars 2012, dvs. samtidig för samtliga parker. Som synes så är produktionsvindarna framförallt västliga för samtliga parker under den studerade perioden.



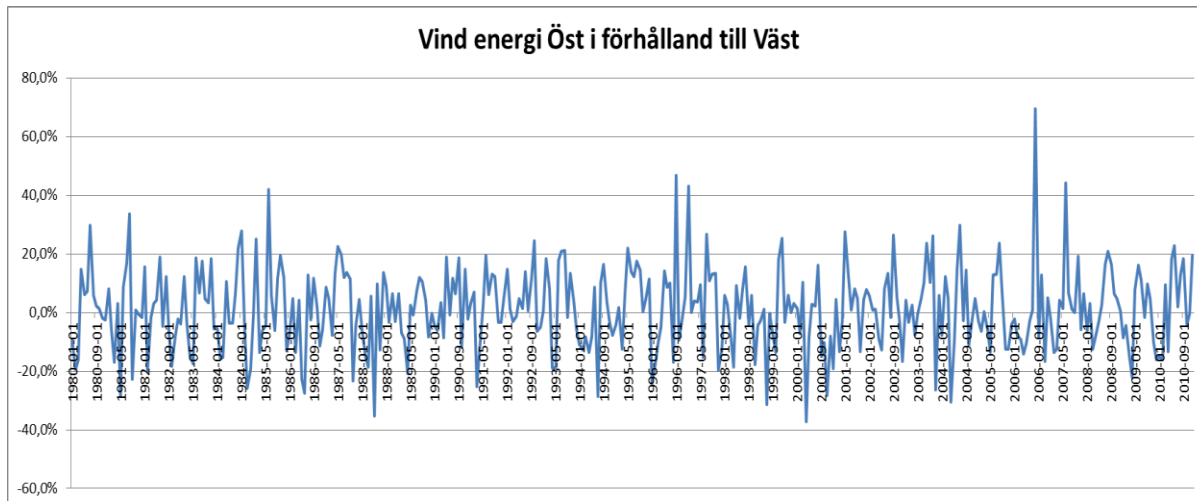
Figur 38: Karta över studerade parker samt tabell över andel produktion i respektive sektor

Vid undersökning av skillnader i produktion mellan olika månader kan man konstatera att dessa är stora, speciellt mellan Oxhult och de andra två parkerna som ses i Figur 39. Detta tyder på att det skulle vara skillnader mellan främst väst- och östkust. Fokus har härefter legat på att jämföra Oxhult och Idhult så de är av samma turbintyp och därmed blir bättre jämförbara.



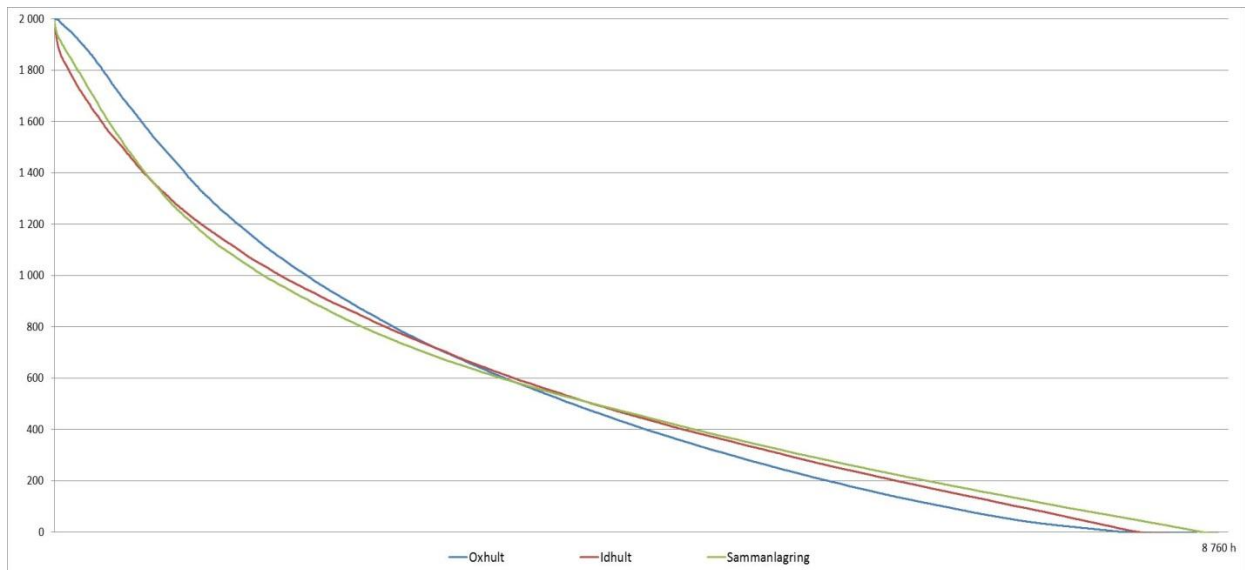
Figur 39: Skillnader i produktion för respektive månad under den studerade tidsperioden.

Vid en jämförelse av energiinnehåll i vinden på månadsbasis, baserat på 3-Tier, under en period av 30 år kan det konstateras att skillnader mellan väst- och östkust är stor. Som ses av Figur 40 uppkommer skillnader om ca 40 %, och det är relativt vanligt med skillnader om ca 20 %.



Figur 40: Skillnad i energiinnehåll på månadsbasis mellan väst- och östkust.

Under den studerade perioden så hade Oxhult fler timmar med hög produktion medan Idhult hade fler timmar med produktion som helhet. Som ses i Figur 41 så går brytgränsen vid ca 800 kW. Förhållandet stöds också av vindanalysen, se Tabell 3 och 5. Den sammanlagrade effekten av de två parkerna visar att parkerna haft produktion vid olika tillfällen, vilket också leder till många timmar med produktion. För den studerade perioden var det sammanlagrat en nettoproduktion om under 97,8 % av den totala tiden.



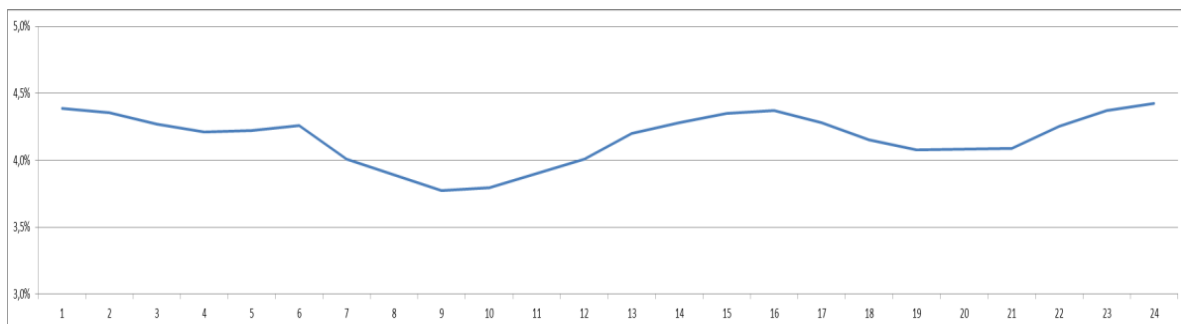
Figur 41: Varaktighetsdiagram avseende produktion för Oxhult och Idhult samt deras sammanlagrade produktion.

Tabell 9 visar att det skiljer sig när produktion sker mellan väst- och östkust, vilket ger en sammanlagringseffekt.

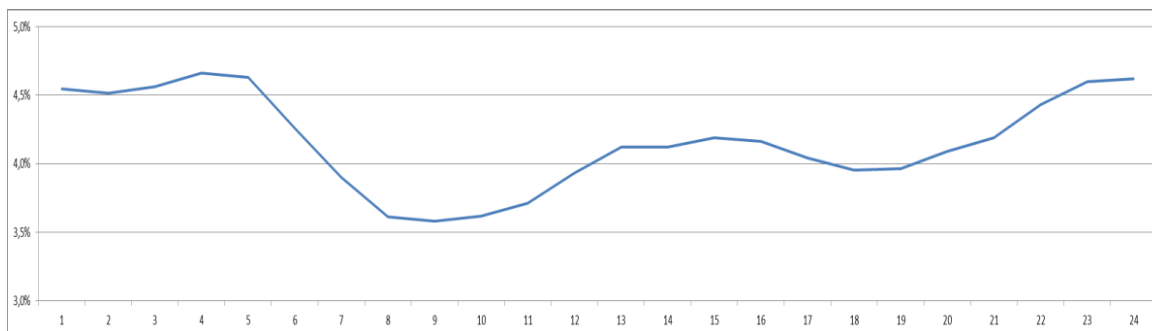
Tabell 9: Antal timmar produktion över vissa nivåer.

	Oxhult (h)	Idhult (h)	Total (h)
Produktion >0	1 089	818	77
Produktion >10%	5 664	6 136	6 430

Figur 42 och 43 visar att produktion fördelningen över dygnet är något jämnare i Oxhult jämfört med Idhult, men att formen är relativt lika varandra.



Figur 42: Oxhults produktionsfördelning över dygnet.



Figur 43: Idhult produktionsfördelning över dygnet.

10 ERFARENHETER OCH SLUTSATSER

10.1 MÄTTEKNIK

De olika teknikerna är lämpliga för olika ändamål. För en mätning av vindklimatet som årsmedelvind, temperaturgradient, vindriktningsfördelning är en mast ett i princip oersättligt hjälpmedel och under rådande förutsättningar inte utbytbar mot en sodar. Lidar har inte utvärderats i detta projekt.

10.2 TURBINVAL

Av de 3 platserna, Brunsmo (150 m sodar), Oxhult (60m mast + div sodars), Idhult (100 m mast + div sodars), kan vi se flera saker. Den data som fanns tillgänglig vid investeringstillfället är den mängd Arise bedömer som rimlig och även en mängd som anses tillräcklig i tid för att göra ett utlåtande om platsens beskaffenhet med avseende på belastningsmässig lämplighet och intjänande förmåga. Turbinval har gjorts från tillgänglig data både av leverantören och av Arise. Sodardatan har bidragit med information om förhållanden på högre höjd och stärkt övertygelsen om att högre navhöjder har få nackdelar, men många fördelar ur belastnings och intjänande perspektiv. Arise uppfattar det inte som optimalt att göra turbinlämplighets bedömning på enbart ett instrument, i synnerhet enbart sodar. En längre tids mätning bör göras med mätmast för att kompletteras med sodar. I de fall man gör eftermätningar av prestanda på ljud eller effekt är metoderna anpassade till IEC standarderna, vilka inte helt överensstämmer med de förhållanden som i allmänhet råder i Sverige, vilket inte är optimalt.

10.3 VIND OCH KLIMAT

10.3.1 VINDGRADIENTEXPONENT

Projekten har följande vindprofil exponenter beräknade mellan de gemensamma mät höjderna 40 och 60 m.

- Brunsmo (11.8.1.1) 0,428
- Oxhult (11.8.2.1) 0,325
- Idhult (11.8.4 .1& 11.8.7.1) 0,410

Medelvärde i vindprofil exponent i öst projekten är 0,419 vilket är 29 % högre än Oxhults 0,325. Samtliga 3 projekt har 33 % lägre vindprofil exponenter på natten än på dagen.

10.3.2 DYGNVARIATIONER

Dygnsvariationerna ser olika ut beroende på höjden över havet och över marken. Att mäta över navhöjden har då ett visst mervärde, förutom att man får fram vindgradientexponenten över hela rotorytan.

Vindriktningen som observerats ser ut att som dygnsvariation ha en förskjutning på ca 10 timmar mellan väst- och östkust. De dominerande vindriktningarna är dock relativt lika.

Av de använda systemen är det endast Idhult som har temperaturgradientmätning. Därför har inte temperaturgradienten analyserats i detta arbete. Det är också en mycket stor nackdel med sodartekniken är att den inte kan bära instrument som ger temperaturgradienten.

10.3.3 TURBULENSEN

Arise har bedömt att samtliga 3 projektplatser har data som visar att de ligger inom eller så nära IEC III A, och att de utifrån de material som samlats in är lämpliga för vindturbinetablering.

10.4 NAVHÖJDER & AVSTÅND

Arise har inte hittat något i dessa projekt som begränsar navhöjden på grund av vindförhållanden. Det man har kunnat observera är att i de fall det finns mätningar över 100 meter, exempelvis Brunsmo, så visar dessa på en med ökande höjd avtagande turbulens. Slutsatsen är därför att högre navhöjd är bättre. Avståndet mellan turbinerna har 2 komponenter vi utvärderat.

1. Belastningar och driftsstörningar
2. Vakförluster som ger minskad produktion

Belastningar som genereras från kringliggande turbiner har i alla 3 projekten av tillverkarna bedömts ligga inom ramen för det som fungerar utan inställningar som begränsar turbinernas prestanda. Tillverkarnas bedömningar har grundat sig på de vinddata som samlats in på mätinstrumenten och som redovisats i denna rapport samt de placeringar som planerats för turbinerna.

10.5 VAKFÖRLUSTER OCH MODELLERING

Arise har inte kunnat kvantifiera eller verifiera vakförlusterna eller parametrarna i de modeller som normalt används exempelvis den som rekommenderas i WindPRO (N.O. Jensen). En utvärdering av vakförluster som observeras i driftsdata ger inget definitivt resultat mer än att de beräkningar som gjorts inte överskattar förlusterna på grund av avstånd mellan turbinerna. Vår slutsats är att man trots att modellerna verkar underskatta vakförlusterna bör hålla sig till enkla modeller och inställningar. En beskrivning på vakmodeller som är vanliga är "Turbine Wake Modell for Wind Resource Software"¹². En annan slutsats är att man inte bör underskatta de potentiella prestandabortfall som för korta avstånd mellan turbinerna kan orsaka.

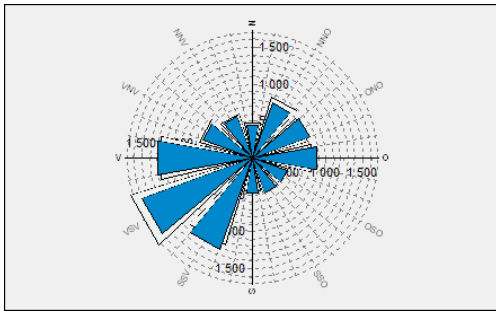
11 FIGURER & DIAGRAM I TEMATISK FORMATERING

11.1 VINDROSOR

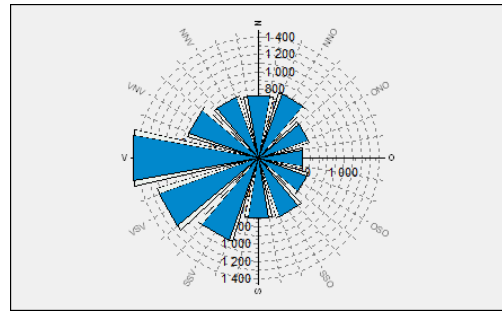
För att visa hur vinden fördelat sig under tiden Arise samlat in data visas antalet observationer i varje sektor som diagram. Diagrammen visar den data som är närmast navhöjd med avseende på tillgänglig data.

¹² http://130.226.56.153/rispubl/art/2007_179_paper.pdf

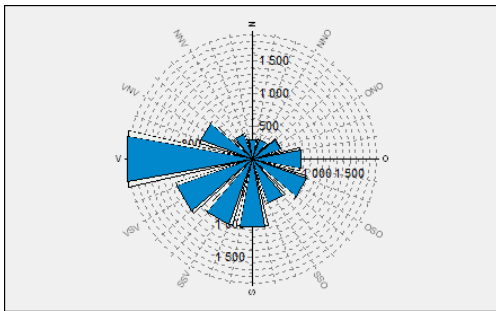
11.1.1 BRUNSMO 100M (SODAR)



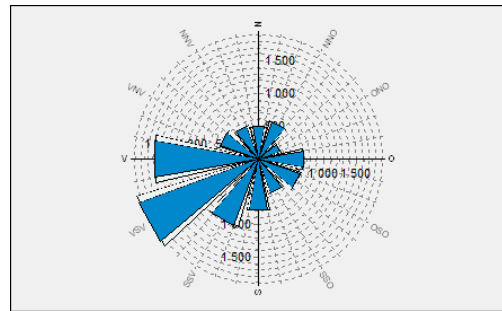
11.1.4 IDHULT 100M (MAST)



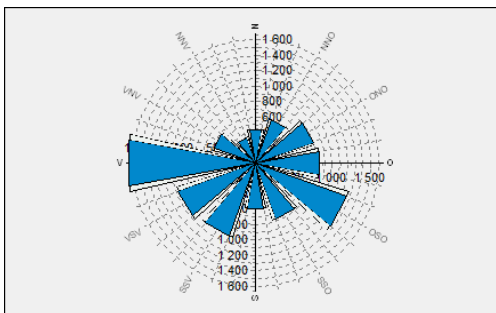
11.1.2 OXHULT 60M (MAST)



11.1.5 HÖGLANDET 100M (MAST)

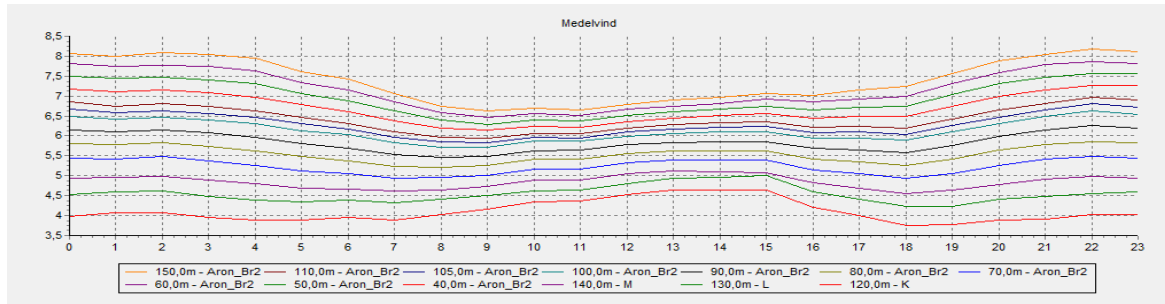


11.1.3 SJÖARYD 100M (MAST)

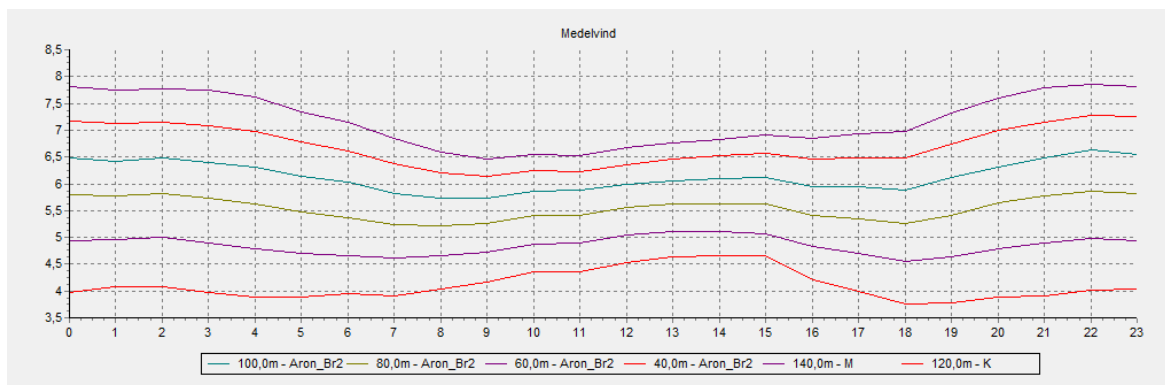


11.3 DYGNSVARIATION AV VINDHASTIGHETEN

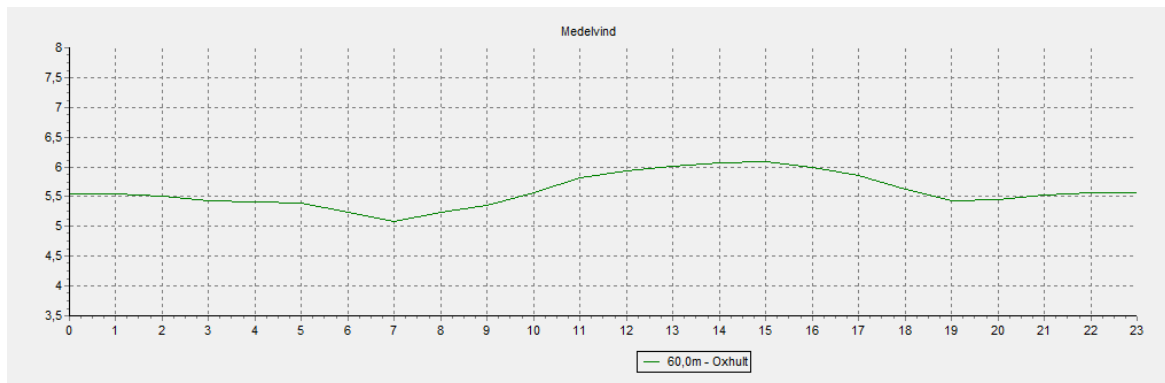
11.3.1 Brunsmo 40 – 150m



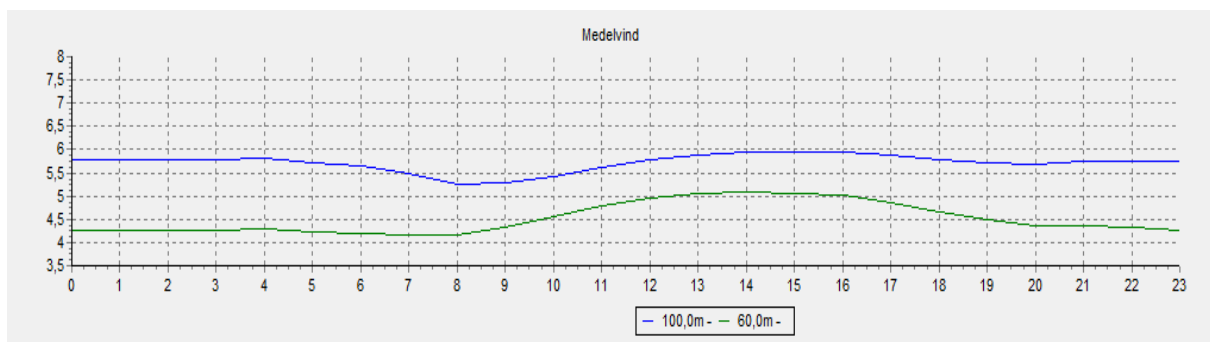
11.3.2 BRUNSMO. 40,60,80,100,120,140



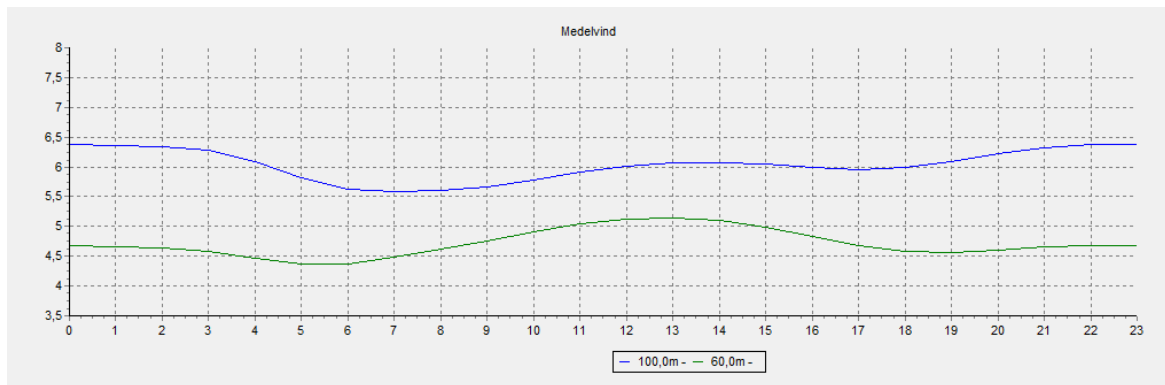
11.3.3 Oxhult 60m



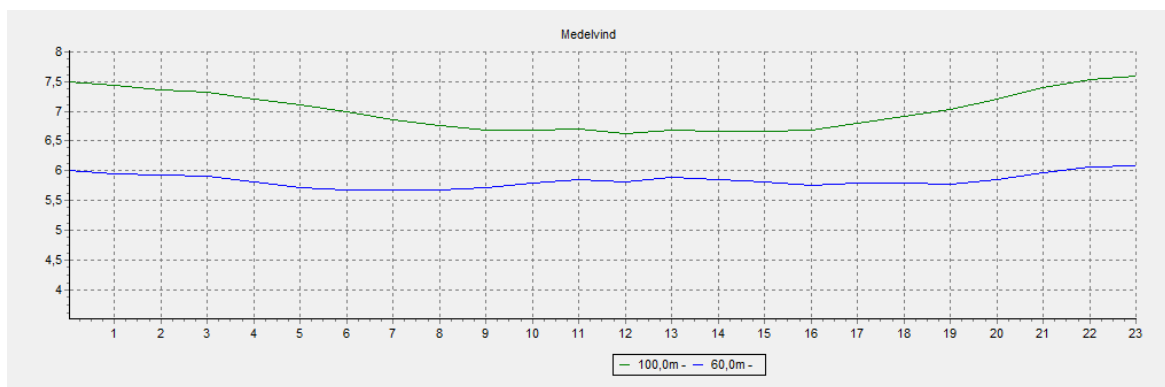
11.3.4 Sjöaryd 60, 100m



11.3.5 IDHULT 60, 100M



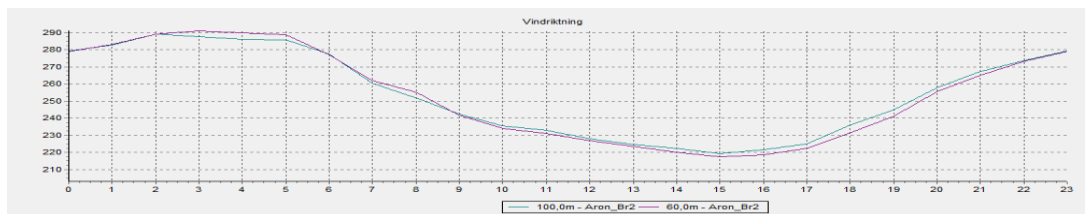
11.3.6 Höglandet 60, 100m



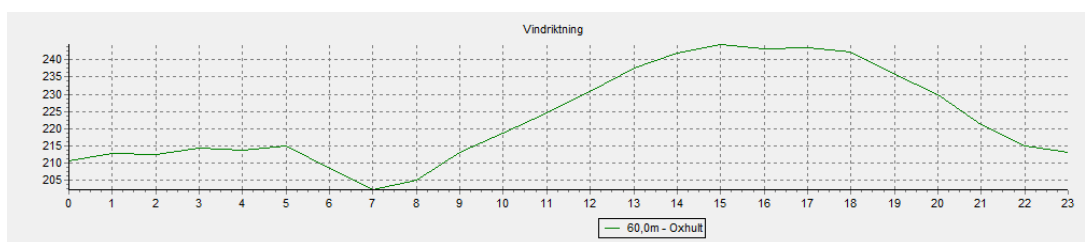
11.4 DYGNSVARIATION AV VINDRIKTNINGEN

Notera att riktningsskala till vänster i diagrammet skiljer sig mellan platserna. Om de visas med samma intervall blir skillnaden mellan "min-max" svår att se som dygns variation.

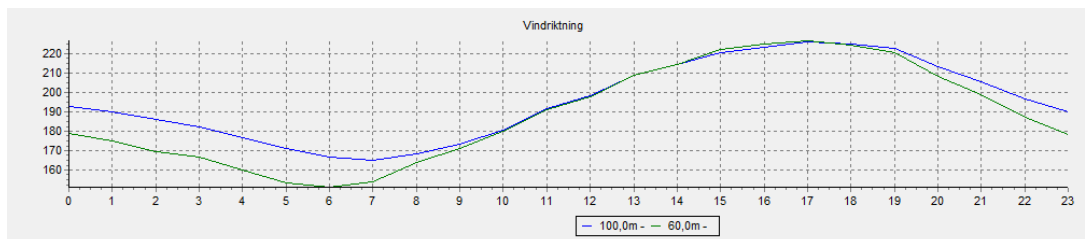
11.4.1 BRUNSMO 60, 100M



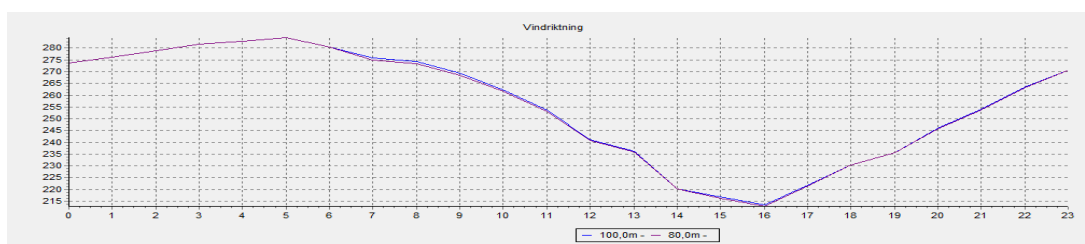
11.4.2 Oxhult 60m



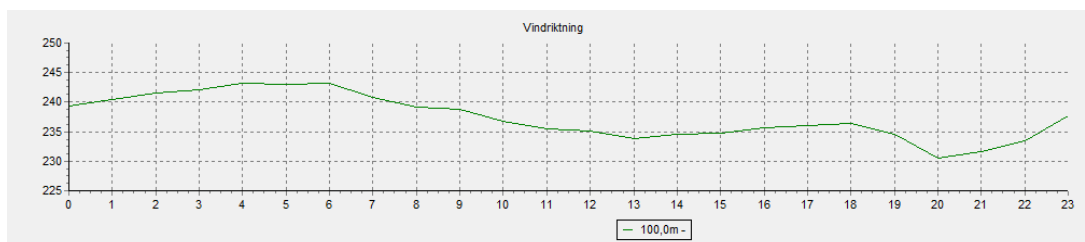
11.4.3 SJÖARYD 60, 100M



11.4.4 Idhult 100m



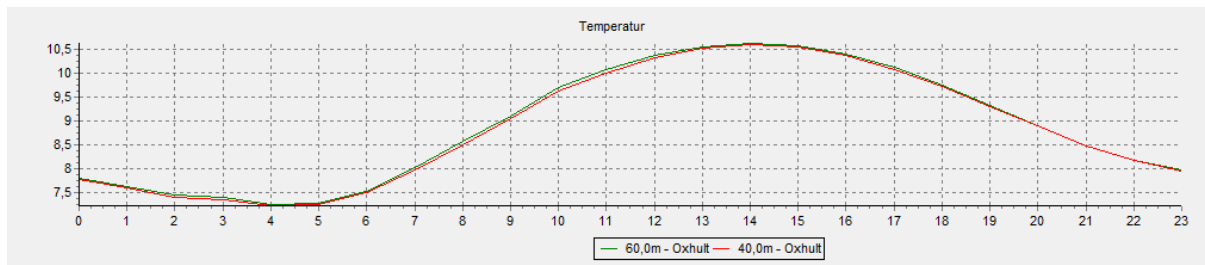
11.4.5 Höglandet 100m



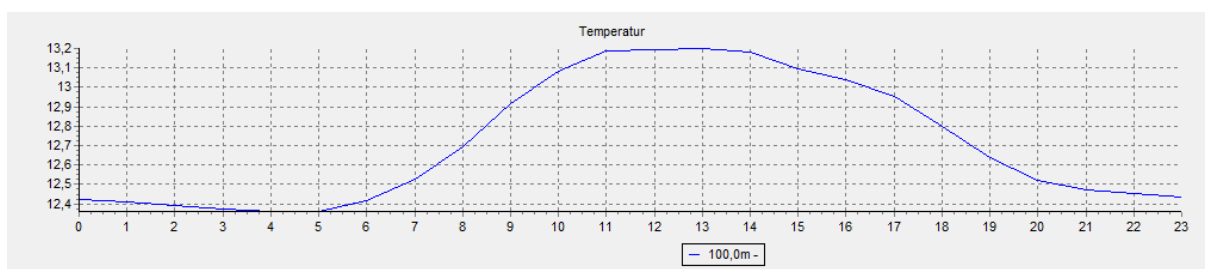
11.5 DYGNVARIATION AV TEMPERATUREN

Temp Brunsmo finns inte, eftersom detta sodarsystemet inte mäter temperatur.

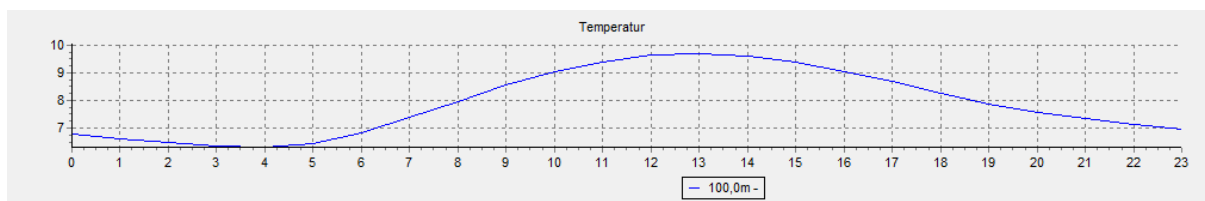
11.5.1 TEMP OXHULT



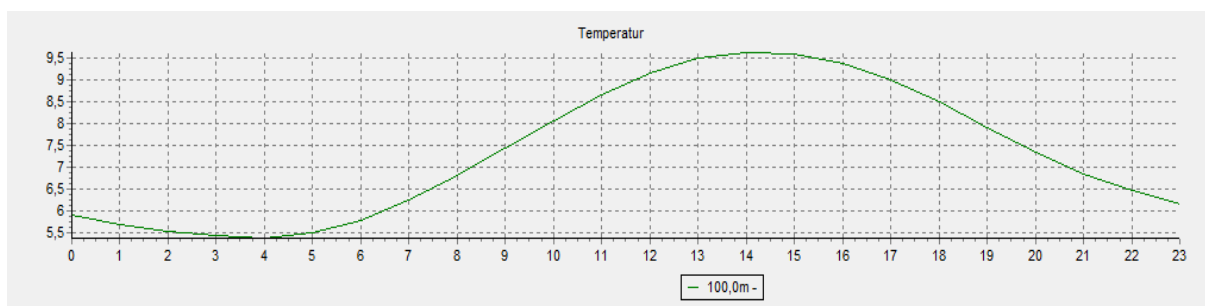
11.5.2 TEMP SJÖARYD



11.5.3 TEMP IDHULT

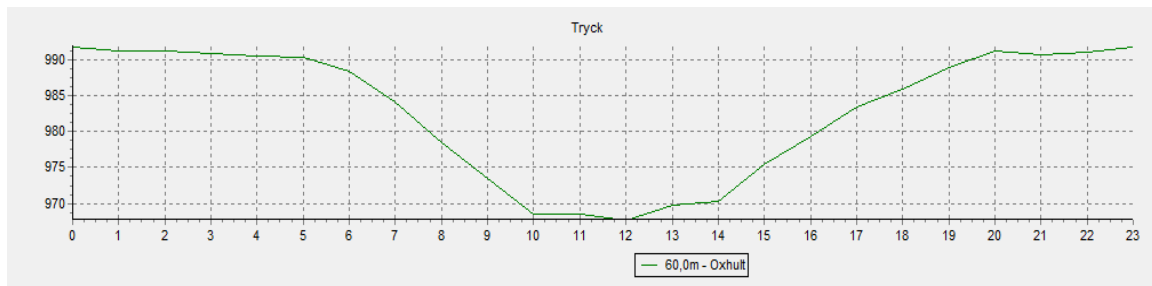


11.5.4 TEMP HÖGLANDET

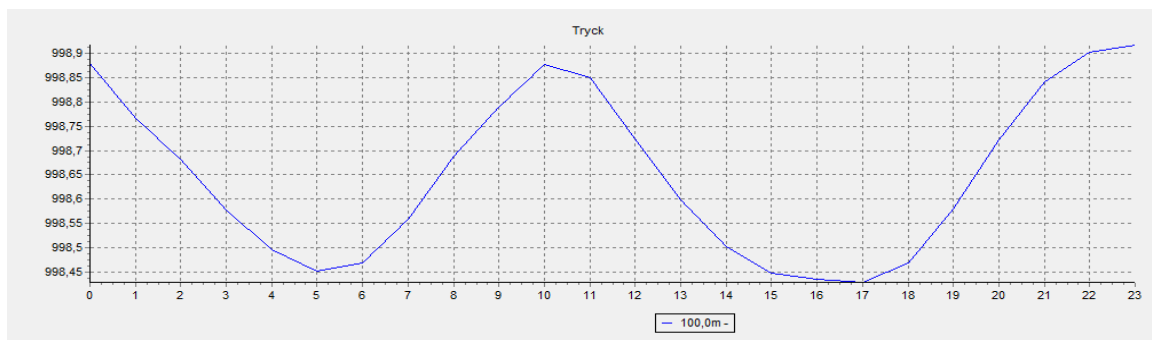


11.6 DYGNSFÖRDELNINGEN AV LUFTRYCKET

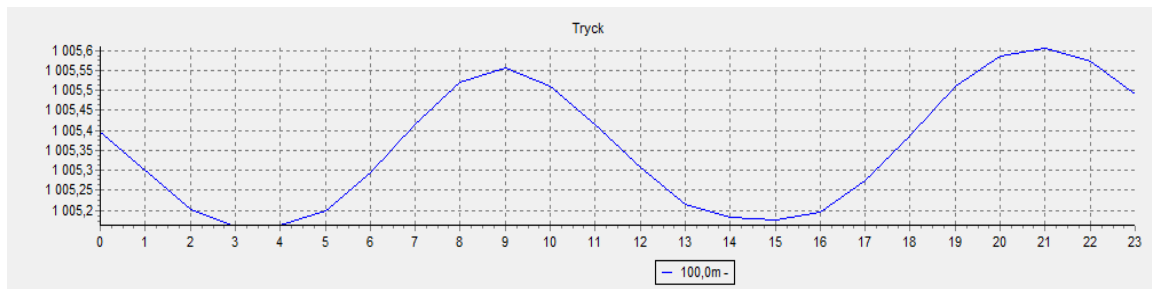
11.6.1 OXHULT MÖH=103M



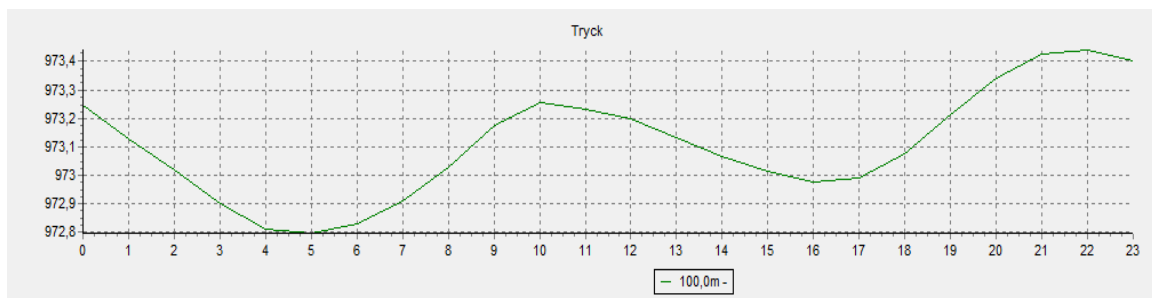
11.6.2 SJÖARYD MÖH=116M



11.6.3 IDHULT MÖH=69M

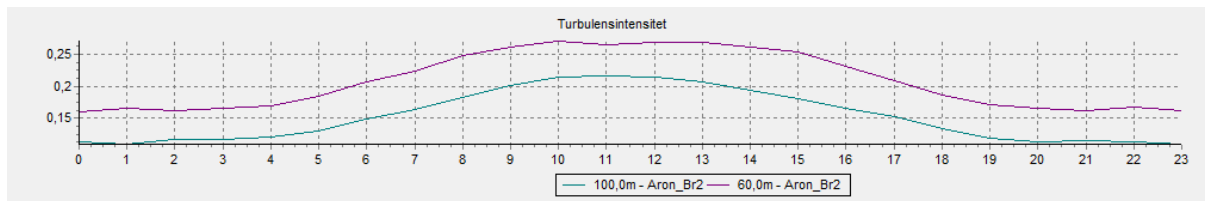


11.6.4 HÖGLANDET MÖH=335M

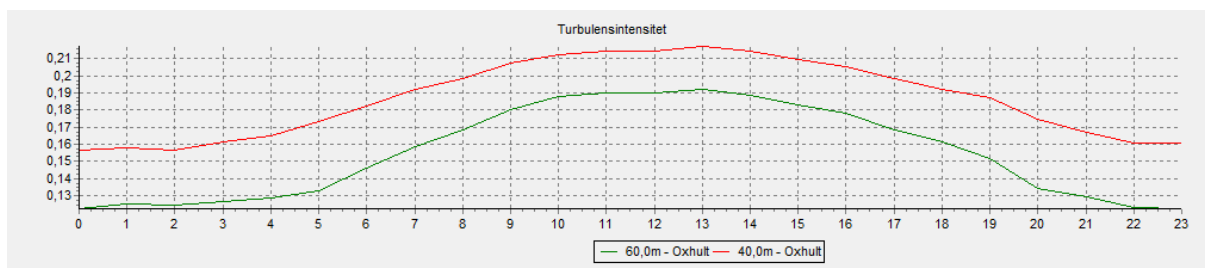


11.7 DYGNSFÖRDELNINGEN AV TURBULENS

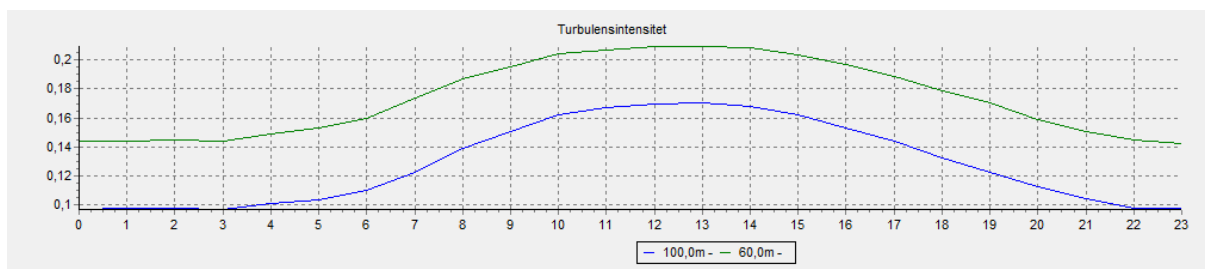
11.7.1 TURBULENS BRUNSMO (SODAR DATA)



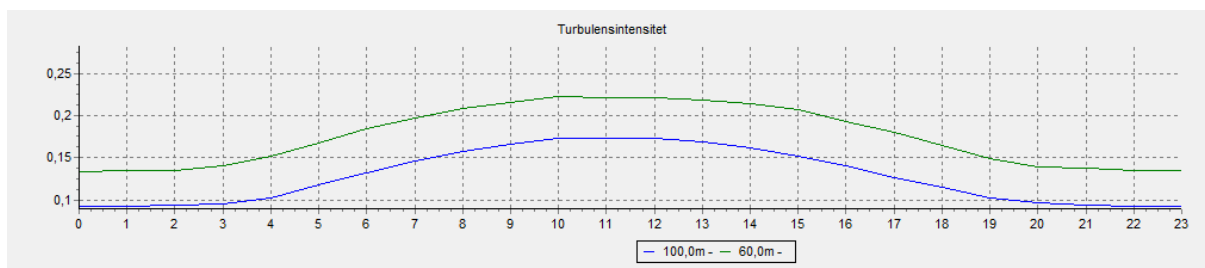
11.7.2 TURBULENS OXHULT



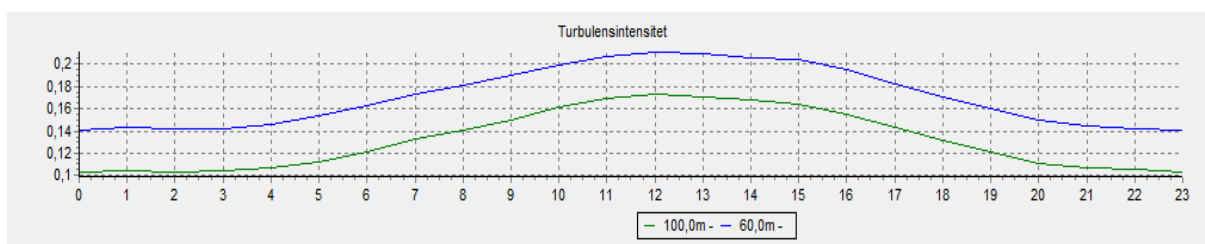
11.7.3 TURBULENS SJÖARYD



11.7.4 TURBULENS IDHULT



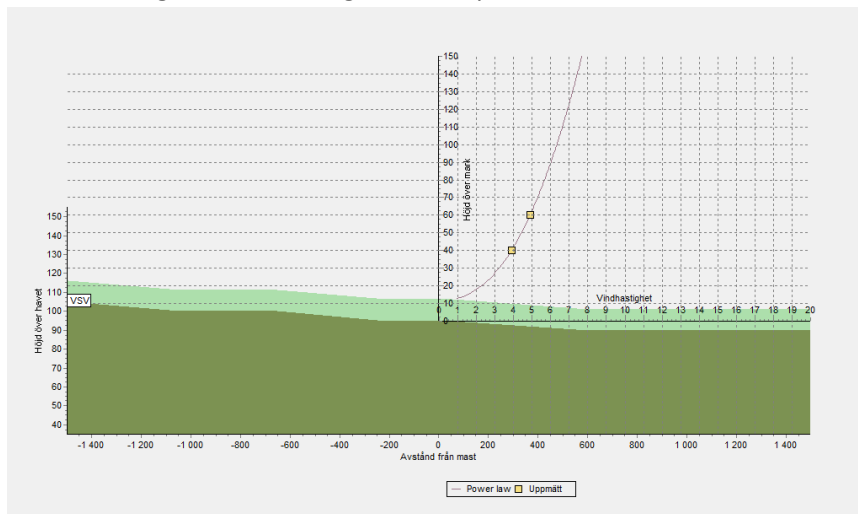
11.7.5 TURBULENS HÖGLANDET



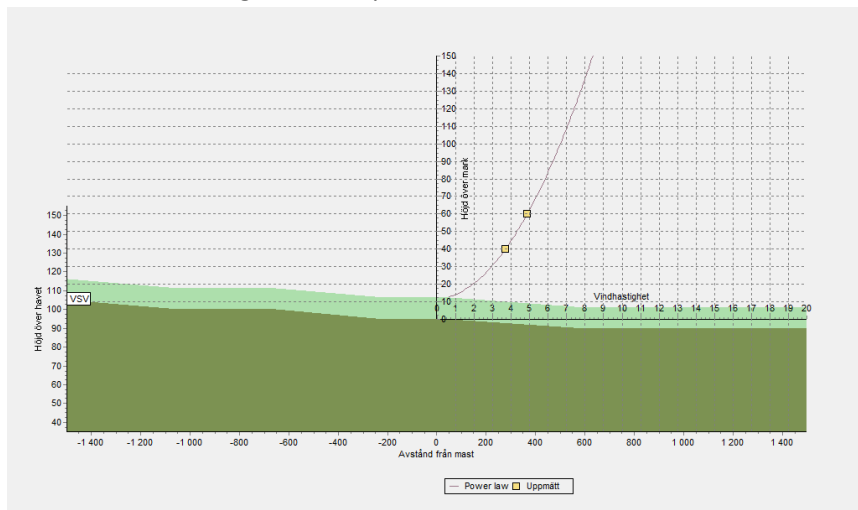
11.8 Dag/ natt variationer med VINDGRADIENT EXPONENT

11.8.1 BRUNSMO DAG/NATT 40/60M

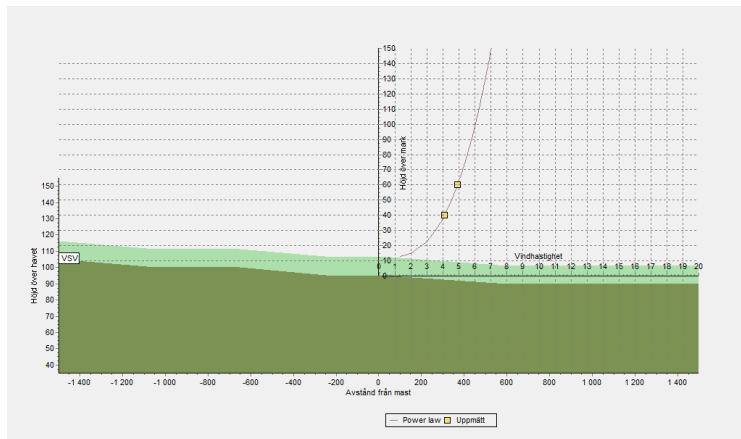
11.8.1.1 Dag och natt vindgradientexponent: 0,428



11.8.1.2 Natt vindgradientexponent: 0,517



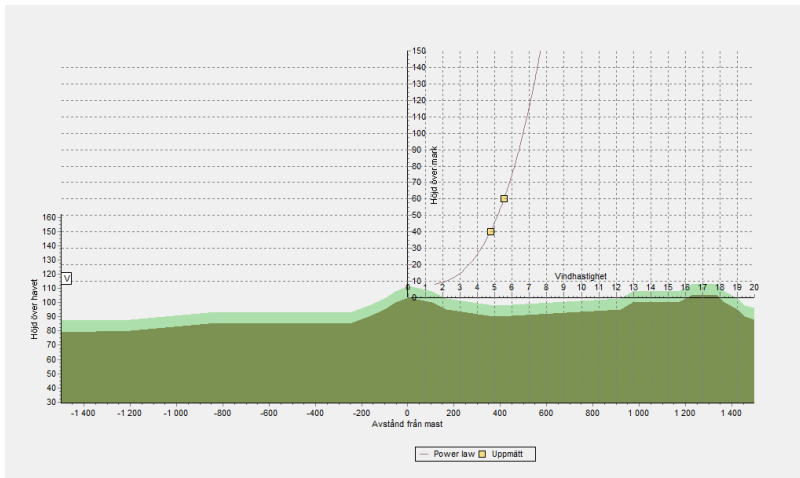
11.8.1.3 Dag vindgradientexponent: 0,338



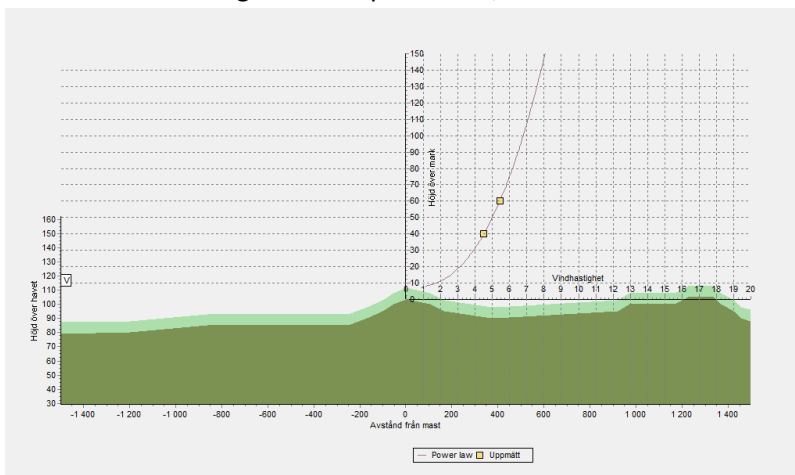
11.8.2 OXHULT DAG/NATT 40/60M

Samma värde på 60m

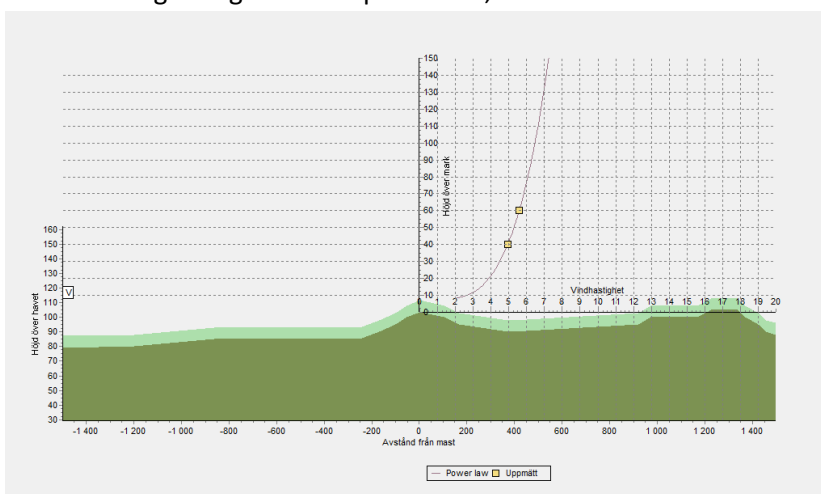
11.8.2.1 Dag och natt vindgradientexponent: 0,325



11.8.2.2 Natt vindgradientexponent: 0,397

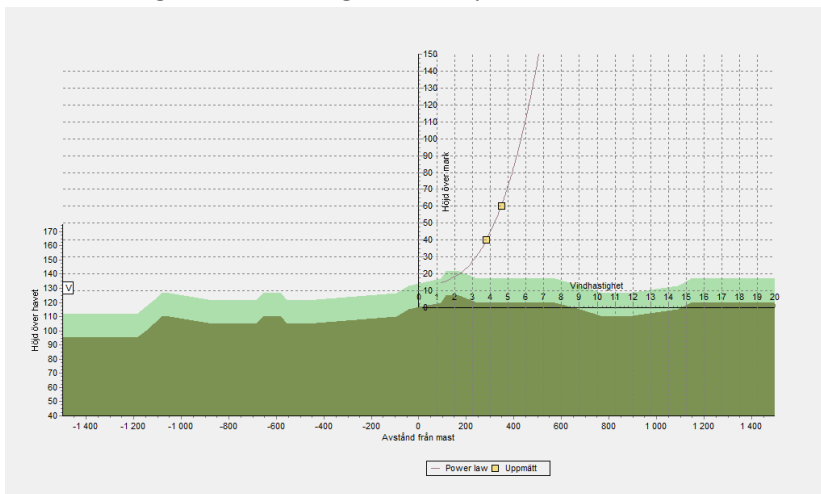


11.8.2.3 Dag vindgradientexponent: 0,26

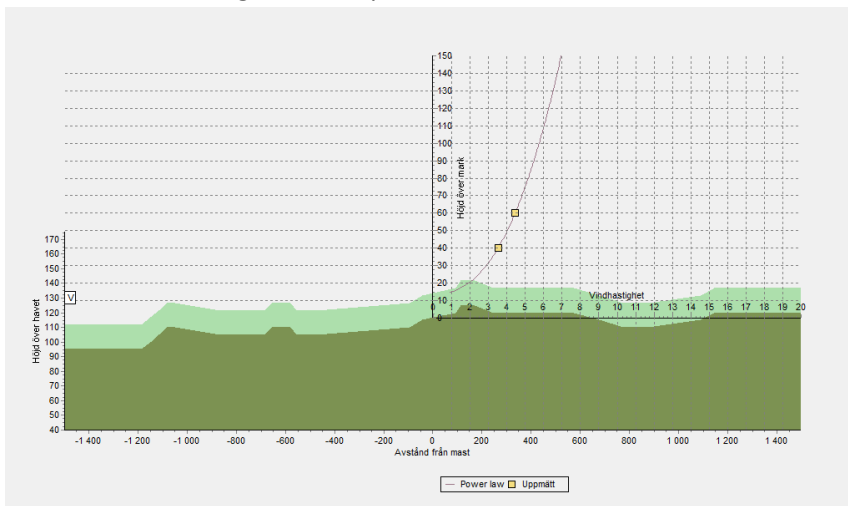


11.8.3 SJÖARYD DAG/NATT 40/60M

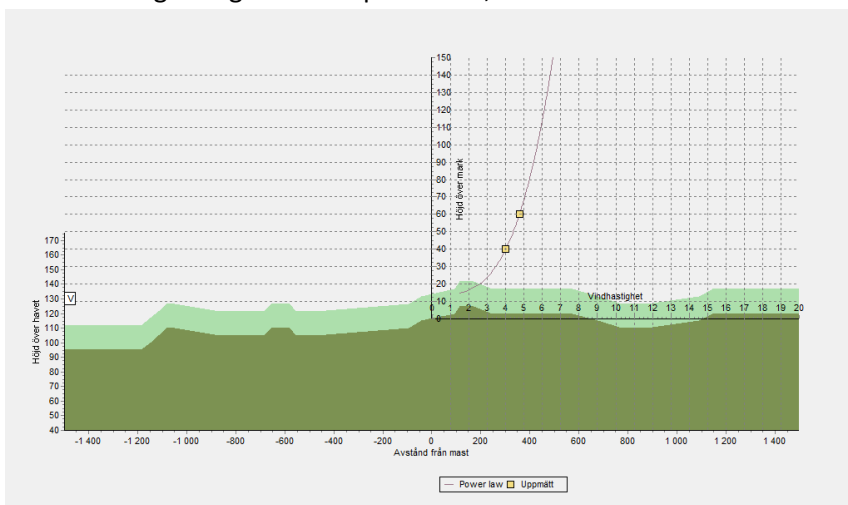
11.8.3.1 Dag och natt vindgradientexponent: 0,349



11.8.3.2 Natt vindgradientexponent: 0,412



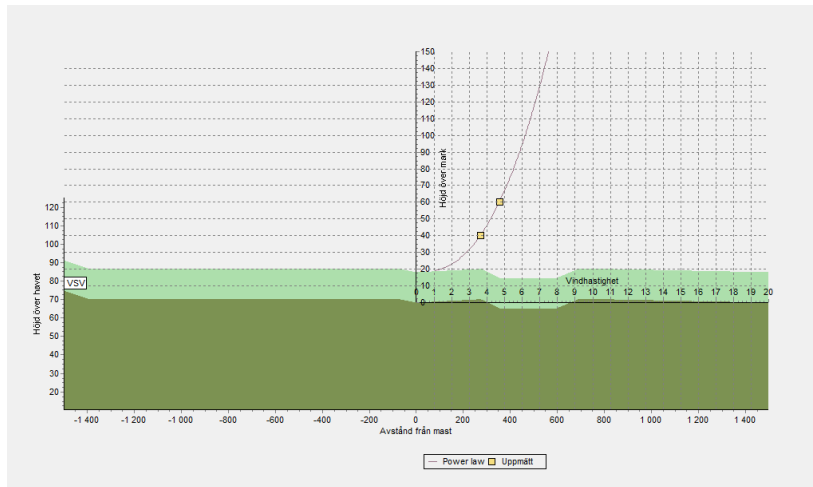
11.8.3.3 Dag vindgradientexponent: 0,30



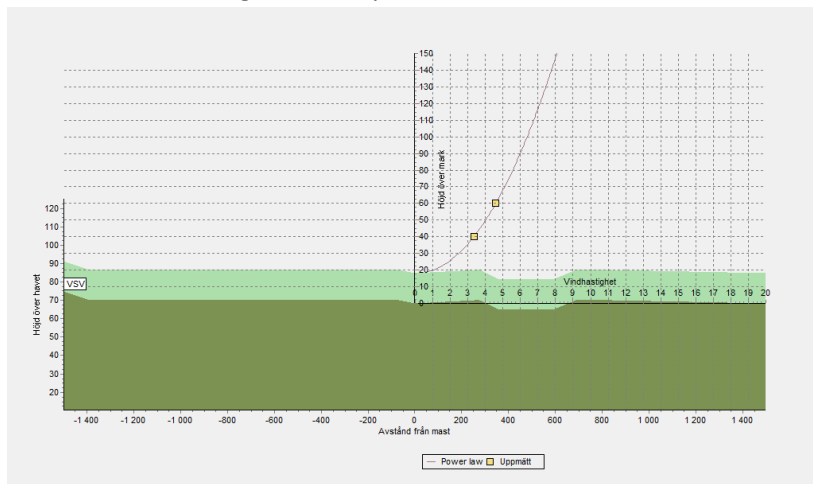
11.8.4 IDHULT DAG/NATT 40/60M

Samma observation som Oxhult, 60m tycks stabil, men 40 varierar

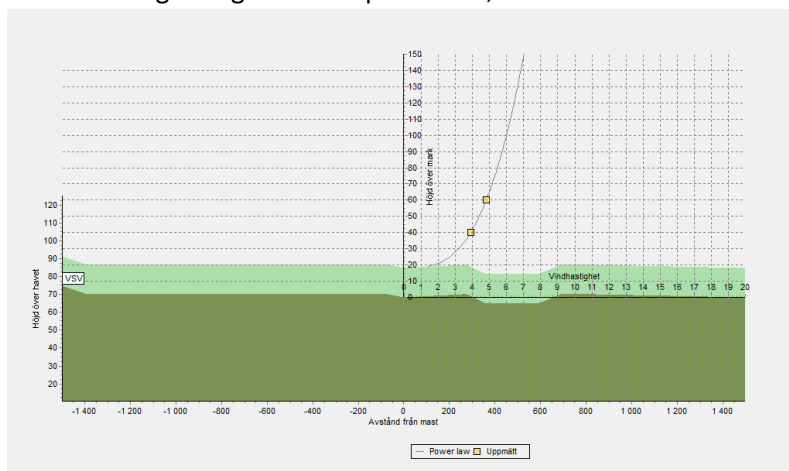
11.8.4.1 Dag och natt vindgradientexponent: 0,41



11.8.4.2 Natt vindgradientexponent: 0,494

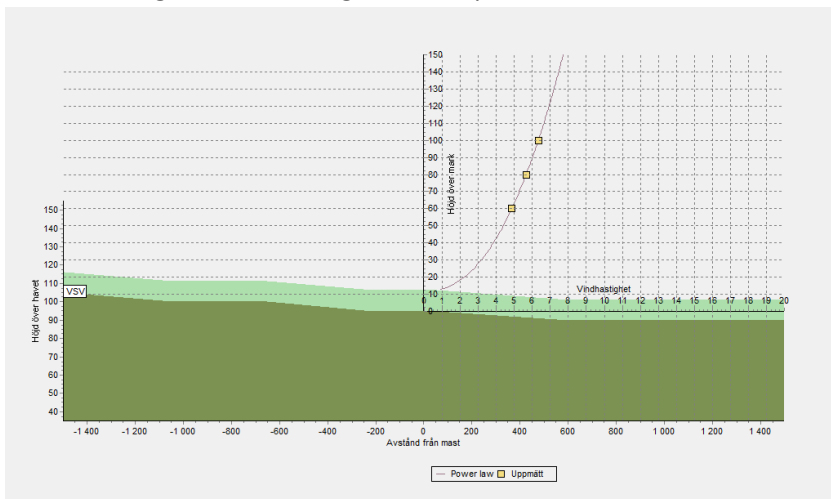


11.8.4.3 Dag vindgradientexponent: 0,33

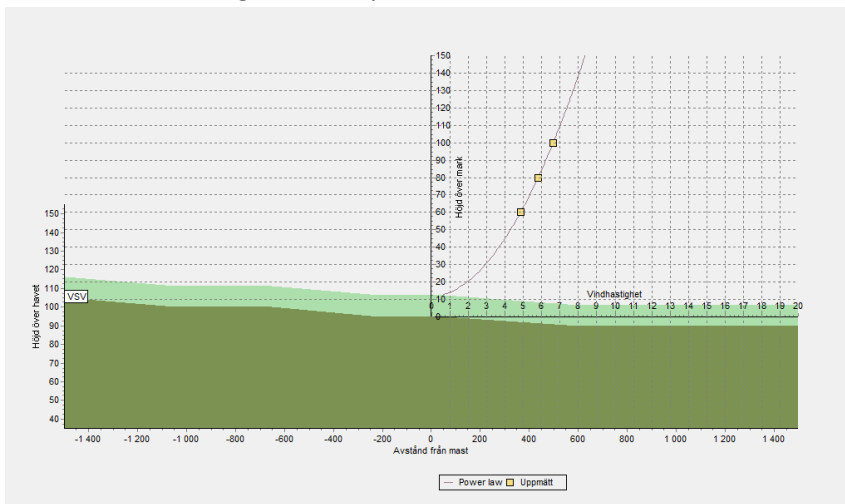


11.8.5 BRUNSMO DAG/NATT 60/80/100M

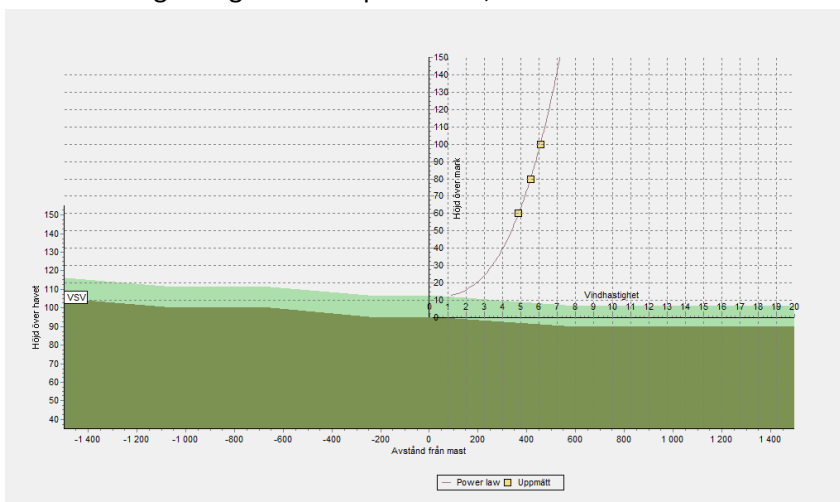
11.8.5.1 Dag och natt vindgradientexponent: 0,437



11.8.5.2 Natt vindgradientexponent: 0,516

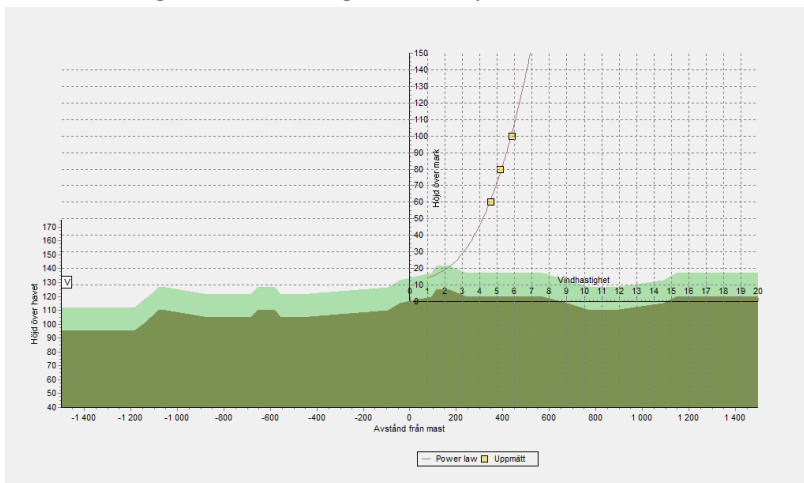


11.8.5.3 Dag vindgradientexponent: 0,362

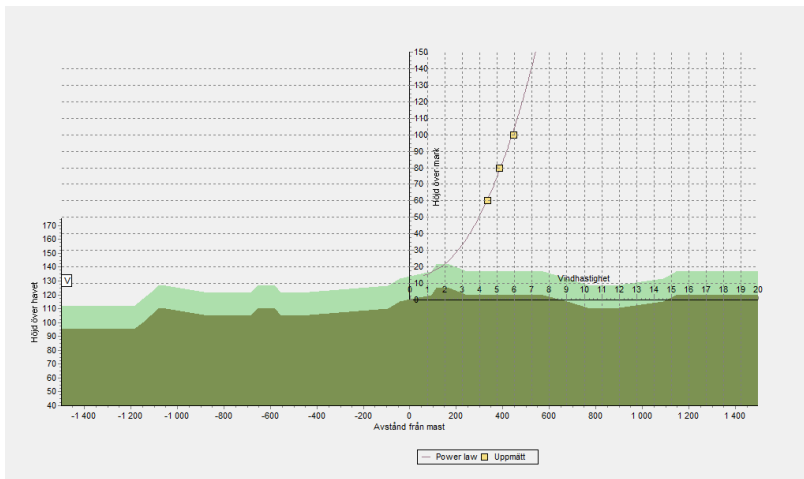


11.8.6 SJÖARYD 60/80/100

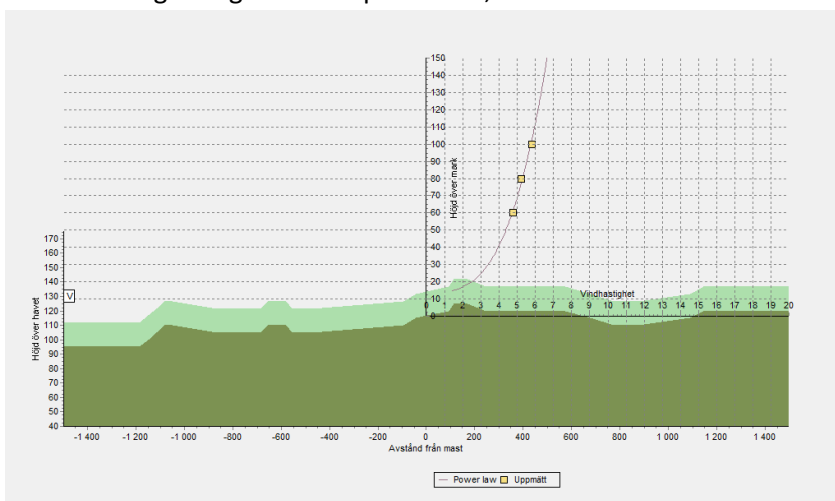
11.8.6.1 Dag och natt vindgradientexponent: 0,379



11.8.6.2 Natt vindgradientexponent: 0,452



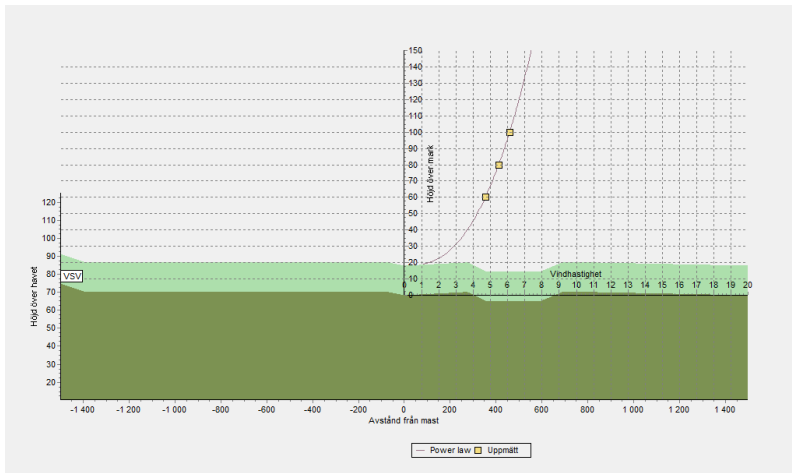
11.8.6.3 Dag vindgradientexponent: 0,315



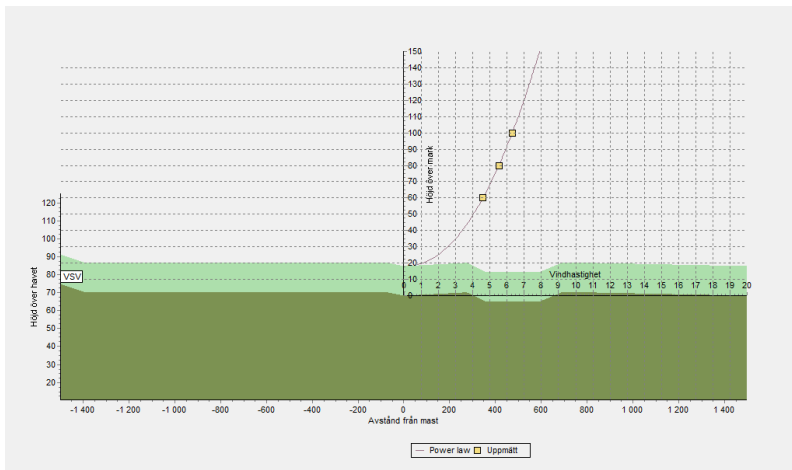
11.8.7 IDHULT DAG/NATT 60/80/100M

Vind medel på 80m är samma, dag och natt, men vinden varierar på de andra höjderna !

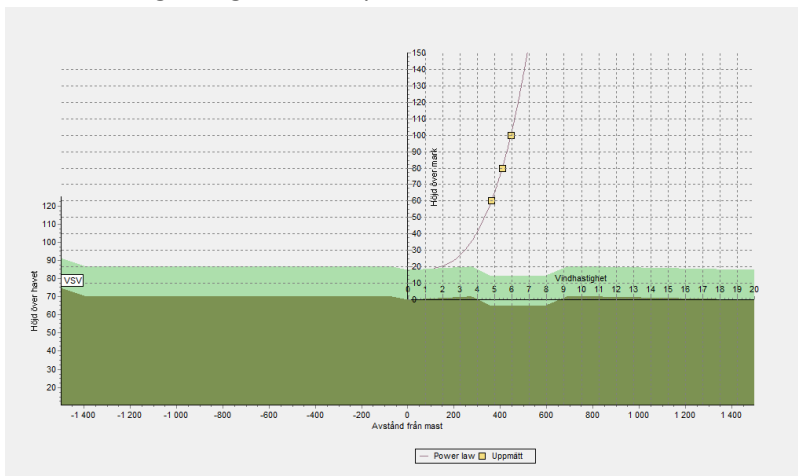
11.8.7.1 Dag och natt vindgradientexponent: 0,39



11.8.7.2 Natt vindgradientexponent: 0,47

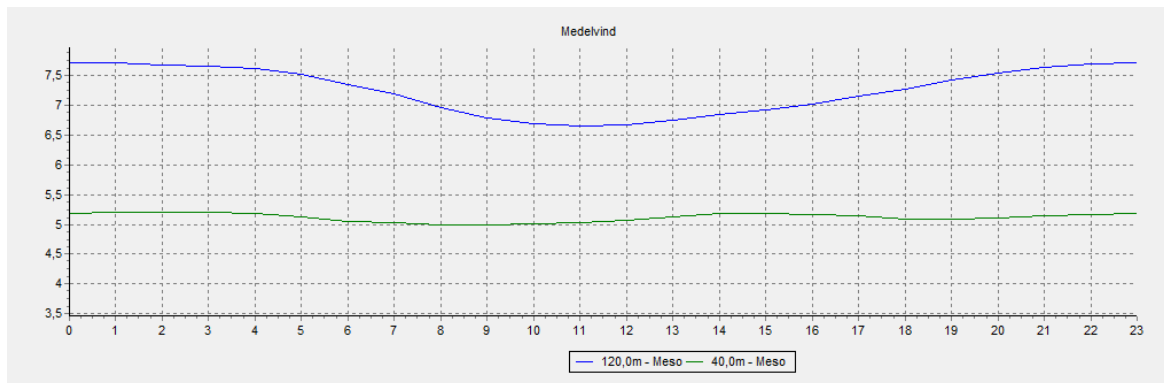


11.8.7.3 Dag vindgradientexponent: 0,31

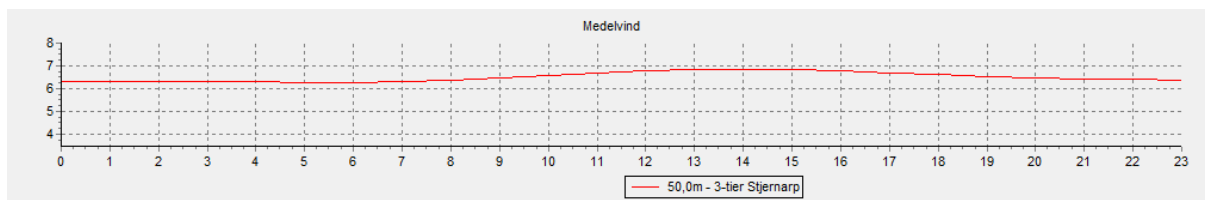


11.9 DYGNSVARIATIONER FRÅN LÅNGTIDS SERIER

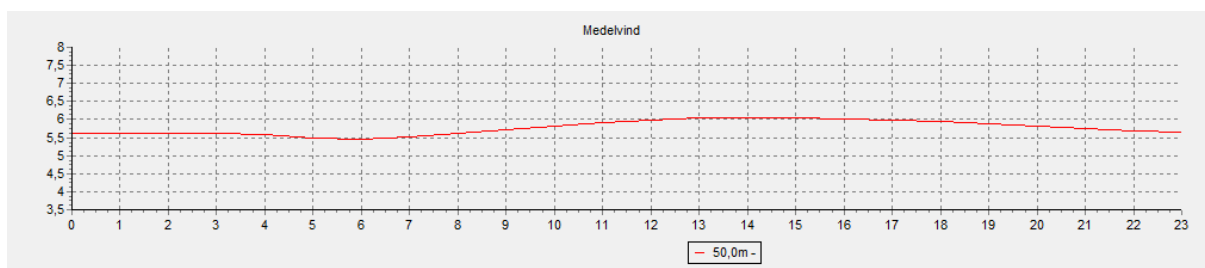
11.9.1 MEDELVIND MESODATA 40 – 120M



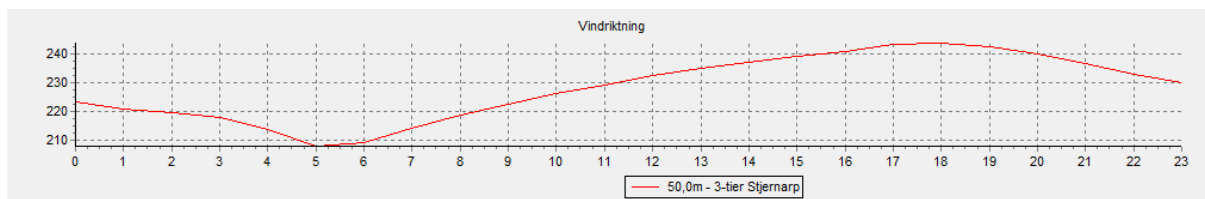
11.9.2 MEDELVIND (50M) 3-TIER STJERNARP 1980-01-01...2010-12-31



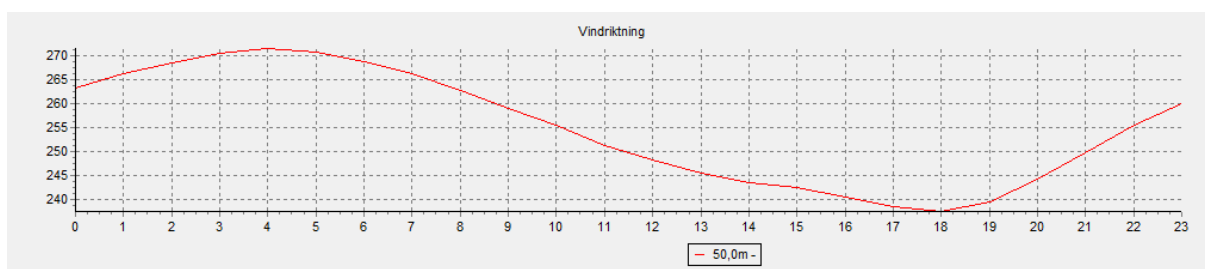
11.9.3 VIND 3-TIER IDHULT (50M) 1980-01-01 .. 2011-10-30



11.9.4 RIKTNING 3-TIER STJERNARP



11.9.5 RIKTNING 3-TIER IDHULT





Arise Windpower AB

Home

info@arisewindpower.se

Fax +46 (0)35 22 78 00

Besöksadress

Box 808

www.arisewindpower.se

Tel/Fax

Kristian IV's väg 3

E-mail

Phone +46 (0)35 2020900

301 18 HALMSTAD