

**DANMARKS METEOROLOGISKE INSTITUT**  
TRAFIKMINISTERIET

— **TEKNISK RAPPORT** —  
**03-17**

**Nedskalering af vindhastighed målt ved  
06159 Røsnæs Fyr**

Ellen Vaarby Laursen



**KØBENHAVN 2003**



ISSN 0906-897X (trykt udgave)

ISSN 1399-1388 (on-line version, kan hentes på [www.dmi.dk](http://www.dmi.dk))

© Danmarks Meteorologiske Institut 2003.

Kortene figur 2-1 side 4 og figur 2-6 side 9: © Kort & Matrikelstyrelsen (A. 154-99).

## Indhold

1.	Indledning .....	3
2.	Vindklimaet ved 06159 Røsnæs Fyr .....	4
	2.1 06159 Røsnæs Fyr sammenlignet med 06169 Gniben .....	7
3.	WASP .....	10
	3.1 Røsnæs' lokale vindklima set af WASP .....	10
	3.2 'Regionalt Røsnæsvindklima' dannet af WASP .....	14
4.	Transformation mellem observeret og modelleret vindklima .....	16
5.	Skaleringsfaktor $\alpha$ .....	22
	5.1 To $\alpha$ -værdier afhængigt af vindretning .....	22
	5.2 Tre $\alpha$ -værdier afhængigt af vindretning .....	23
6.	WASP-modellering af 06169 Gniben .....	26
7.	Sensitivitetsstudie .....	29
	7.1 Fyrets placering .....	29
	7.2 Orografi .....	29
8.	Konklusion .....	30
9.	Referencer .....	31

## 1. Indledning

Denne DMI rapport viser hvordan vindhastigheden målt ved station 06159 Røsnæs Fyr *simpelt* kan tilnærmes til den vindhastighed der ville være målt 10 m over et homogent havområde. Ved 'simpelt' forstås en simpel sammenhæng mellem en observeret vindhastighed,  $u_{\text{obs}}$  og en transformeret hav-hastighed,  $u_{\text{model}}$ , af typen  $u_{\text{model}} = \alpha u_{\text{obs}}$ , hvor  $\alpha$  er en konstant.

Station 06159 Røsnæs Fyr ligger yderst på Røsnæs; på en smal landtange med 12 m høje skrænter ned mod havet. For at nå op over fyret er vindmåleren endvidere placeret 16 m over stationsniveau. Blandt brugere af vinddata vides det generelt at 'Røsnæs måler for høj vindhastighed' i forhold til hvad 10 m middelvinden ellers må formodes at være i området. Nu foretager DMI ikke andre vindmålinger tæt på Røsnæs, men til eksempel viser 17 års vinddata, 1983-1999, at vindhastigheden fra 06159 Røsnæs Fyr typisk lå 33% over den samtidige vind der blev målt ved 06071 Fornæs Fyr og 23% over den samtidige vindhastighed målt ved 06169 Gniben (se afsnit 2).

Indtil 2002 var målingerne, herunder vindhastigheden, fra 06159 Røsnæs Fyr tilgængelige på kortet over 'Vejrobservationer fra Kyststationer' på DMIs Internethjemmeside. Men grundet 'den høje vind' blev 06159 Røsnæs Fyr i foråret 2002 på Internettet erstattet af 06169 Gniben. Dette fik imidlertid en stor brugergruppe til at rette henvendelse til DMI om ikke 'Røsnæs kunne komme på igen' da brugerne gerne ville have en vindhastighed for området.

For at imødekomme ønsket om vindhastighed fra Røsnæs på DMIs Internethjemmeside blev det derfor i en intern DMI rapport (Laursen 2002) undersøgt om vindhastigheden fra 06159 Røsnæs Fyr simpelt kunne omregnes til en for havområdet mere repræsentativ værdi. Det er arbejdet og resultaterne fra denne interne rapport der nu foreligger her som en DMI Teknisk Rapport.

I arbejdet er anvendt PC-programmet WA<sup>SP</sup>; "The Wind Atlas Analysis and Application Program" udviklet af Forskningscenter Risø (Troen et Petersen. 1989, Mortensen et al. 1993a, 1993b, Mortensen et al. 2001). I WA<sup>SP</sup> 'renses' et observeret vindklima for lokal indflydelse til dannelse af et atlas over et 'regionalt vindklima' hvorefter det regionale atlas kan anvendes til at regne tilbage til et 'lokalt vindklima' på en kendt placering hvor der ikke haves vindobservationer.

I det følgende beskrives det lokale vindklima ved Røsnæs i afsnit 2. I afsnit 3 anvendes WA<sup>SP</sup> på de observerede 06159 Røsnæs Fyr data. I afsnit 4 gennemgås antagelserne der må gøres for at omsætte WA<sup>SP</sup>-resultaterne til den ønskede simple sammenhæng. I afsnit 5 præsenteres de resulterende bud på en simpel omregning mellem 'observeret Røsnæsvind' og 'modelleret 10 m hav-Røsnæsvind'. Undersøgelsens resultater opsummeres i afsnit 8.

1. april 2003.

Ellen Vaarby Laursen

Sektion for Vejr- og Klimainformation.

## 2. Vindklimaet ved 06159 Røsnæs Fyr

Oplysninger om Station 06159 Røsnæs Fyr ( Stationskatalog, Cappelen og Jørgensen 1999, Stationsfortegnelse):

**Position:** 55° 45' N, 10° 52' E

**UTM-koordinater:** 32U 6179.320N 617.410E

**Stationsbasis (m.o.h.):** 12

**Vindmastbasis (m.o.h.):** 12

**Vindmålehøjde:** 16 m

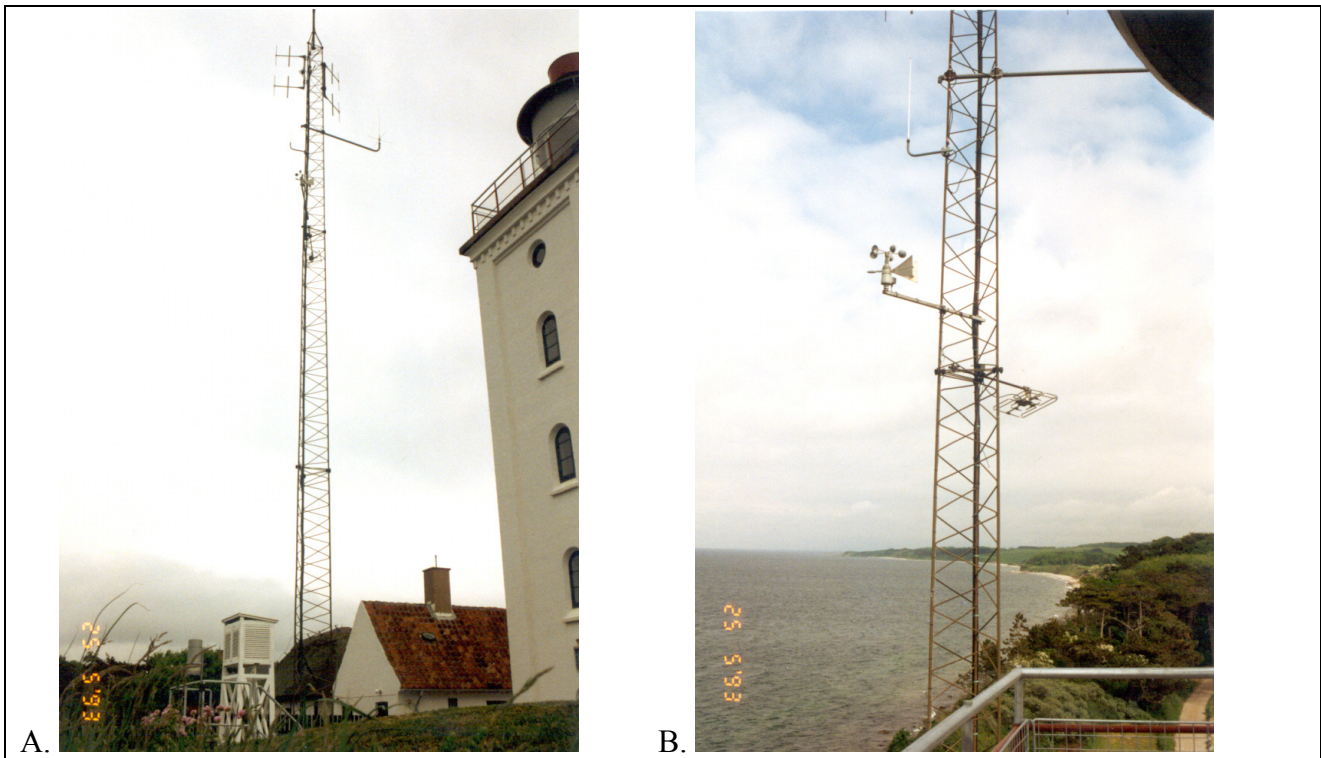
**Registreringsfrekvens:** Indtil 15/11-2001: hver 3. time, herefter hvert 10. minut.

**Vindstød:** nej



**Baggrundskort:** © Kort & Matrikelstyrelsen (A. 154-99).

**Figur 2-1** Kortet viser spidsen af Røsnæs med station 06159 Røsnæs Fyrs vindmasts placering markeret med rød pil. De rette linier danner et 1 km x 1 km-gitter. Der er 2.5 m mellem stiplede og fuldt optrukne højdekurve.

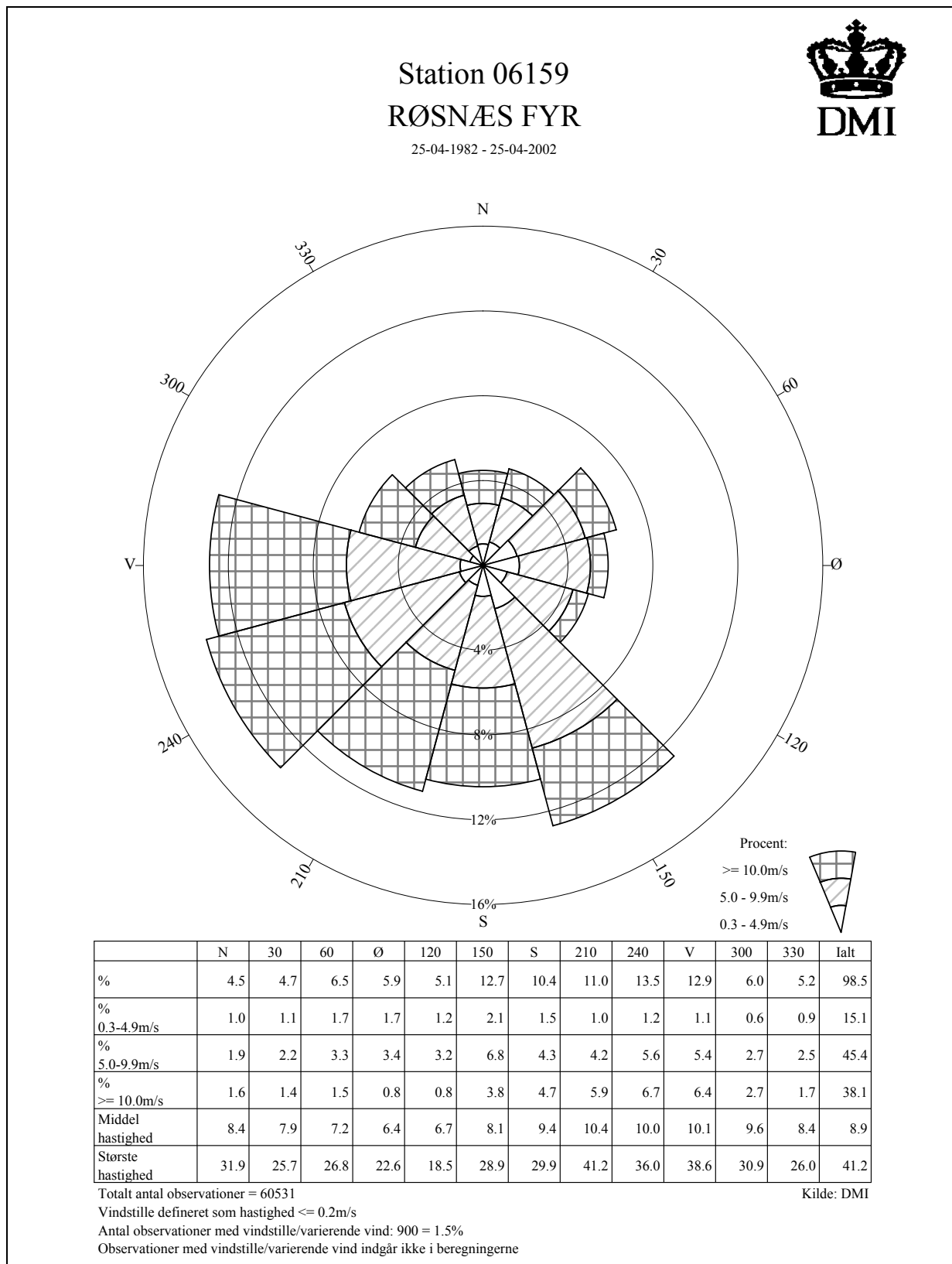


**Figur 2-2. Station 06159 Røsnæs Fyr. A: Vindmast og Fyrtårn set fra jorden. B: Vindmåler set oppe fra Fyrtårnet. Fotos fra DMIs stationskatalog.**

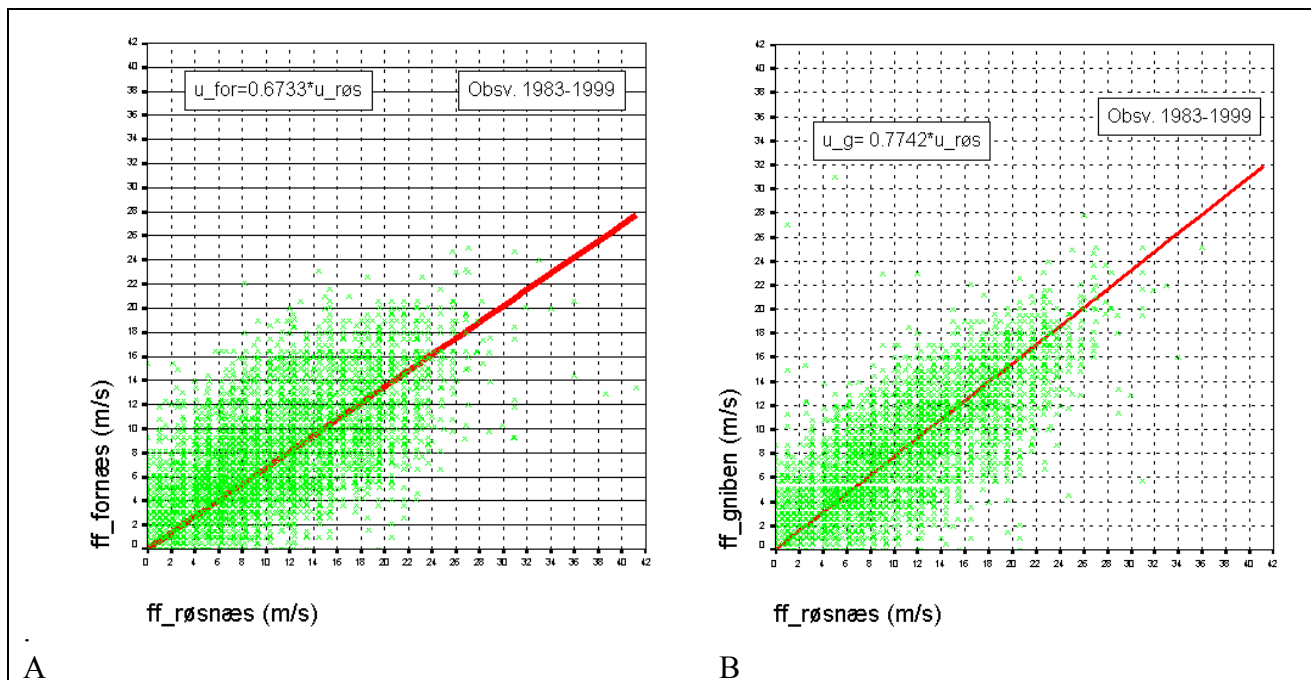
Ude ved Røsnæs Fyr er Røsnæslandtangen smal med 12 m høje skrænter ned til stranden, se kortet figur 2-1. For at nå fri af fyret er vindmåleren placeret i 16 meters højde på vindmasten, se figur 2-2. Det må således forventes at den målte vindhastighed er højere, end hvis vindmåleren havde været placeret i 10 meters højde og Røsnæs havde været flad.

Til at illustrere station 06159 Røsnæs Fyrs høje vindhastighedsniveau sammenlignes i figur 2-4 den målte vindhastighed ved 06159 Røsnæs Fyr med 17 års samtidige målinger af vind ved hhv. 06071 Fornæs Fyr og 06169 Gniben. Det ses at vindhastigheden ved 06159 Røsnæs Fyr som en til formålet god tilnærmelse lå 33% over den samtidige vindhastighed ved 06071 Fornæs Fyr og 23% over den samtidige vindhastighed ved 06169 Gniben.

Til den videre undersøgelse anvendes vindobservationer fra 06159 Røsnæs Fyr hver tredje time de seneste 20 år: 25. april 1982 21 UTC – 25. april 2002 9 UTC. Heri indgår altså også data fra 'Orkanen 3. december 1999' hvor 06159 Røsnæs Fyr observerede en 10 minutters middelvind på 41.2 m/s. Statistik og vindrose over de anvendte observationer ses i figur 2-3. Det ses at sektorerne centreret omkring øst og 120° har de laveste middelvindhastigheder og laveste hyppighed af vind  $\geq 10$  m/s. Sektorerne øst og 120° (Sektor 4 og 5 når der tælles med uret fra N=1) er netop sektorerne hvor vinden kommer fra landsiden af tangen ud mod fyret og vindmåleren. John Cappelen (Cappelen 2001) fandt netop at 06159 Røsnæs Fyr i perioden 1991-2001 målte langt højere vindhastigheder end 06169 Gniben for alle retninger undtagen Ø- og 120°-sektorerne.



Figur 2-3. Statistik og vindrose over de observationer fra 06159 Røsnæs Fyr der indgår i denne rapport's undersøgelse: Observationer udelukkende hver tredje time ved station 06159 Røsnæs Fyr i 20 års perioden 25. april 1982 21 UTC – 25. april 2002 9 UTC.



Figur 2-4. Sammenligning af observeret vindhastighed hver tredje time 1983-1999 ved 06159 Røsnæs Fyr med hhv. 06071 Fornæs Fyr og 06169 Griben. A: Plot af observeret vindhastighed i m/s 'ff\_røsnæs' mod samtidige observationer af vindhastighed 'ff\_fornæs' i m/s ved 06071 Fornæs Fyr. Lineær regression tvunget gennem 0,0 finder (indtegnet med rød kraftig streg) vindhastighed ved 06071 Fornæs Fyr (m/s) = 0.6733\* vindhastighed ved 06159 Røsnæs Fyr (m/s). B: Plot af observeret vindhastighed i m/s 'ff\_røsnæs' mod samtidige observationer af vindhastighed 'ff\_griben' i m/s ved 06169 Griben. Lineær regression tvunget gennem 0,0 finder (indtegnet med rød kraftig streg) vindhastighed ved 06169 Griben (m/s) = 0.7742\* vindhastighed ved 06159 Røsnæs Fyr (m/s).

## 2.1 06159 Røsnæs Fyr sammenlignet med 06169 Griben

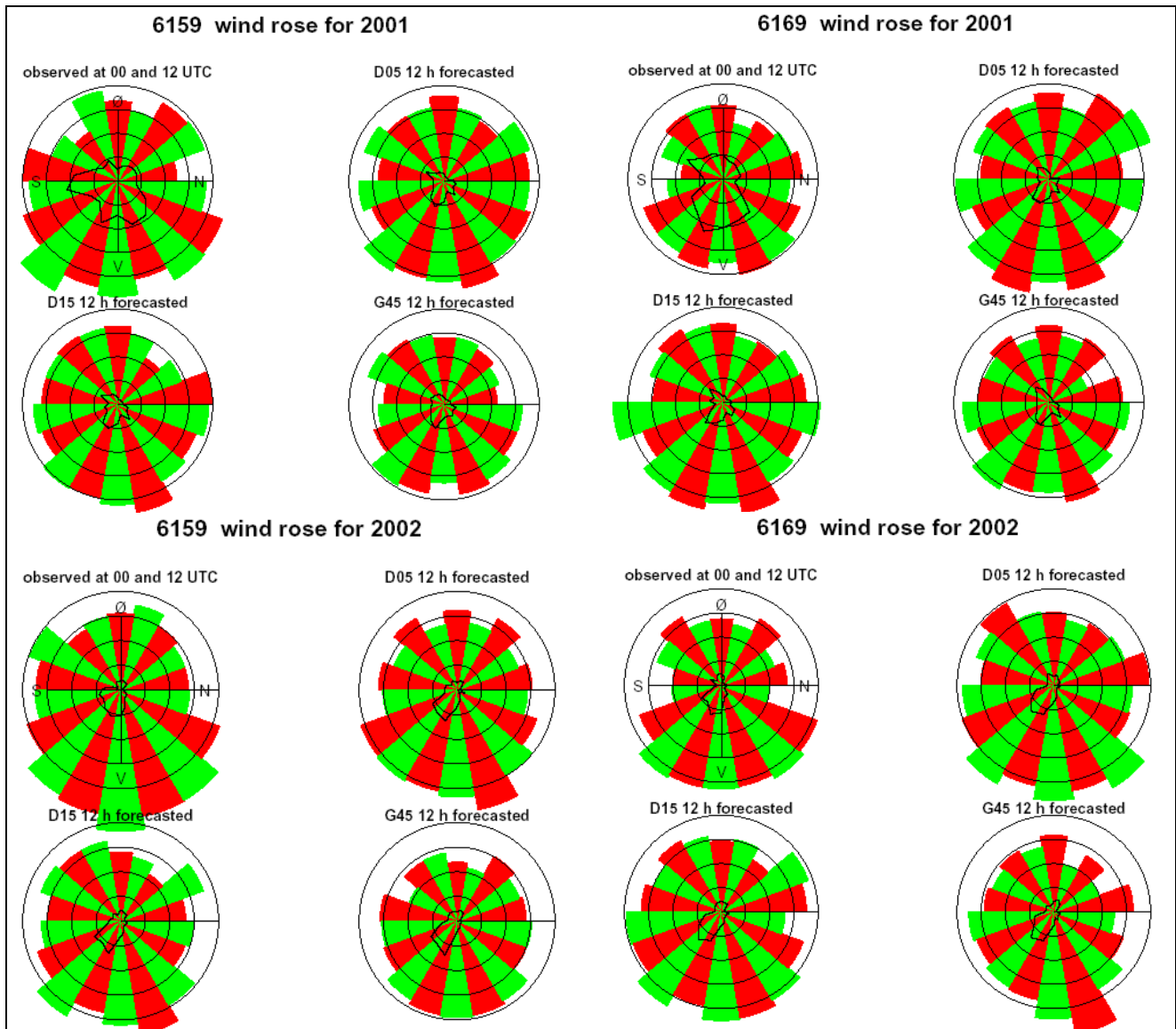
Det blæser meget ved begge stationer. På en 'top 10' over de mest blæsende stationer fra DMI TR 99-13 (Cappelen og Jørgensen 1999) ligger 06159 Røsnæs Fyr nr. 1 og 06169 Griben nr. 10 (ud af 63 stationer).

HIRLAM prognosedata har dog højest middelvindhastighed for 06169 Griben: I figur 2-5 vises HIRLAM middelvind beregnet og observeret for station 06159 og 06169 for 2001 og 2002. Af figuren ses at **D05** (5 km gitter, 12 timers prognose) viser ca. samme fordeling på retning for de to stationer for 2001. Middelvinden er *højere* eller den samme på Griben end for Røsnæs på alle retninger (20 grader interval) undtagen 140-160 grader og 320-340 grader for år 2001.

**D15 og G45** viser ca. det samme. Når **D05** sammenlignes med observationerne kl 00 og 12 UTC er **D05** for høj for Griben for stort set alle retninger og for lav for Røsnæs for ca. halvdelen af retningerne (flest syd og vest); *Både* Griben og Røsnæs er altså svære at modellere.

Forklaringen på at det blæser mere ved 06159 Røsnæs Fyr end ved 06169 Griben skal altså søges i forhold der ikke modelleres af HIRLAM. Røsnæs og Griben er begge smalle landtanger orienteret vest/nordvest ud i Storebælt/Kattegat tæt ved Storebælt, men der *er* forskel på de to landtangers spids og disse forskelle er for fine til at være opløst i HIRLAMs 5 km gitter.

For det første er Røsnæs smallere end Griben. Ved vindmålerens placering er Røsnæs ca. 100m bred mens Griben er ca. 200m bred. Se kortet figur 2-6. Dette betyder at 06159 sandsynligvis i højere grad end 06169 mærker en øgning af vindhastighed som følge af 'baketopseffekt' fra alle



Figur 2-5. HIRLAM vindroser for station 06159 Røsnæs Fyr og station 06169 Griben. Bemærk at vindroserne, som bliver konstrueret som arbejdsredskaber internt på DMI, har verdenshjørnerne gående fra N i højre side over Ø, S og V mod uret. Vindroserne angiver størrelsen af middelvinden for 18 retningsintervaller i det hver ring har værdien 2 m/s. Den optrukne figur inderst i vindroserne viser hyppigheden af vinden fordelt på retning.

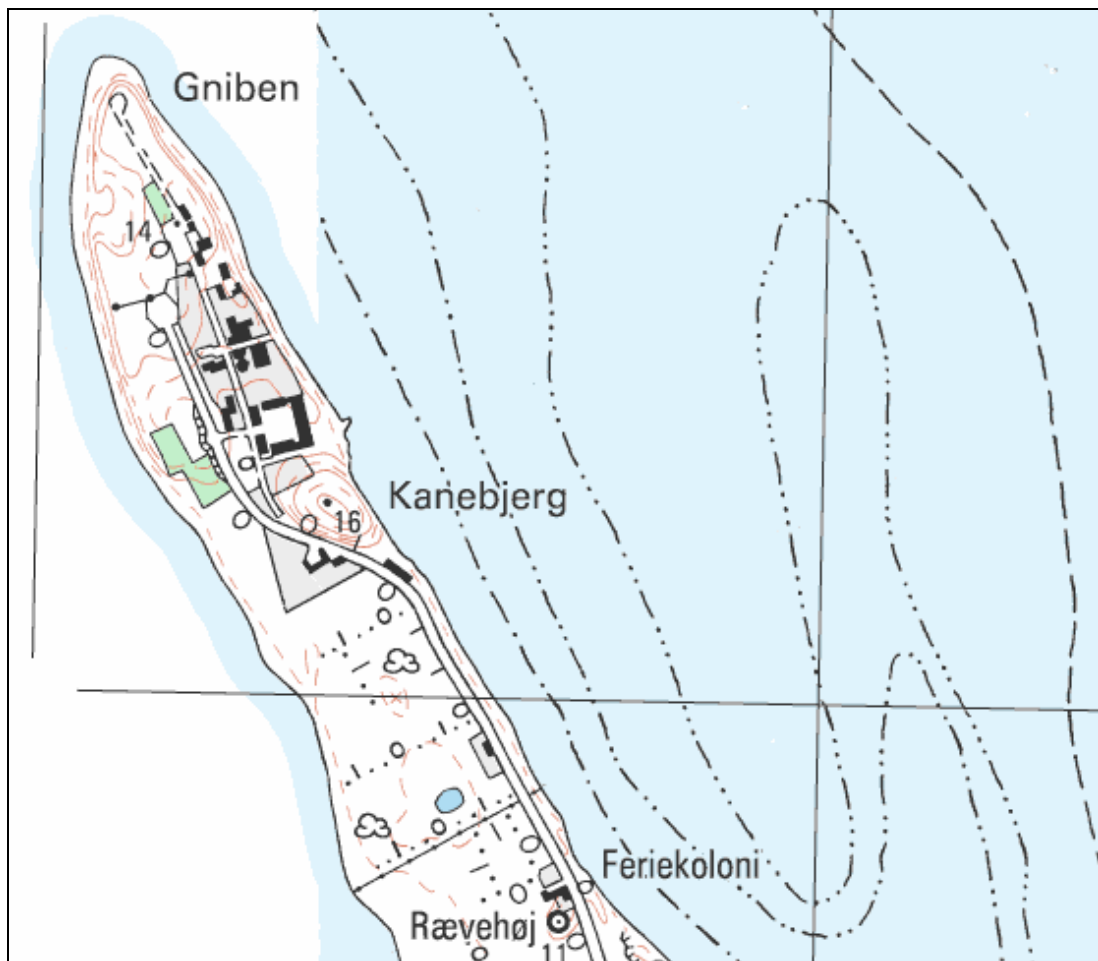
retninger undtagen 90°-120°, hvor vinden ved Røsnæs kommer fra land. Ifølge en 'tommelfingerregel' fra (Troen og Petersen, 1989, side 62) vil øgningen af 10 m vindhastigheden gå som  $\sim 2h/L$ , hvor  $h$  er højden af bakken og  $L$  er den halve bredde i højden  $\frac{1}{2}h$ . Ud fra en sådan løs (læs: usikker) 'baketopseffekt'-betragtning kan Røsnæs, som halvt så bred som Griben, forvente dobbelt så stor øgning (størrelse  $\sim 48\%$  ( $=2 \cdot 12/50$ ) mod  $\sim 26\%$  ( $=2 \cdot 13/100$ )).

For det andet er 06159 Røsnæs Fyr påvirket af fyrets placering umiddelbart ved siden af mod syd og sydsydvest mens 06169 Griben har vindmasten placeret frit i terrænet. Dette betyder at 06159 kan være påvirket af en øgning af vindhastigheden over fyret.

For det tredje er vindmåleren ved 06159 placeret 16m over terræn mod 10m over terræn ved 06169. Dette betyder (logaritmisk vindprofil giver forskellen i % som  $100 \cdot (1 - \ln(16m/z_0) / \ln(10m/z_0))$ ) en forventet øgning på 10% for vind fra land ( $z_0=0.1m$  for 'landbrugslandskab'). For øvrige retninger



ville den logaritmiske vindprofil have givet en øgning på 8% ( $z_0 = 0.03\text{m}$  for 'åbent land') uden 'bakketopseffekten'<sup>1</sup>.



Figur 2-6 Kortet viser Gniben på spidsen af Sjællands Odde. Station 06169 Gniben hører under Forsvaret og er derfor ikke markeret på kortet. De rette linier danner et 1 km x 1 km-gitter. Der er 2.5 m mellem stiplede og fuldt optrukne højdekurve. (Baggrundskort: © Kort & Matrikelstyrelsen (A. 154-99).

<sup>1</sup> På toppen forventes, i stedet for den logaritmiske vindprofil, en 'knæk-profil' med maksimum  $\sim 0.5-5\text{ m}$  ( $0.3 * z_0 * (1/z_0)^{0.67}\text{ m}$ ) over niveau og med konstant faldende hastighed med højden indtil 50-100 m ( $2L$ ) over niveau.

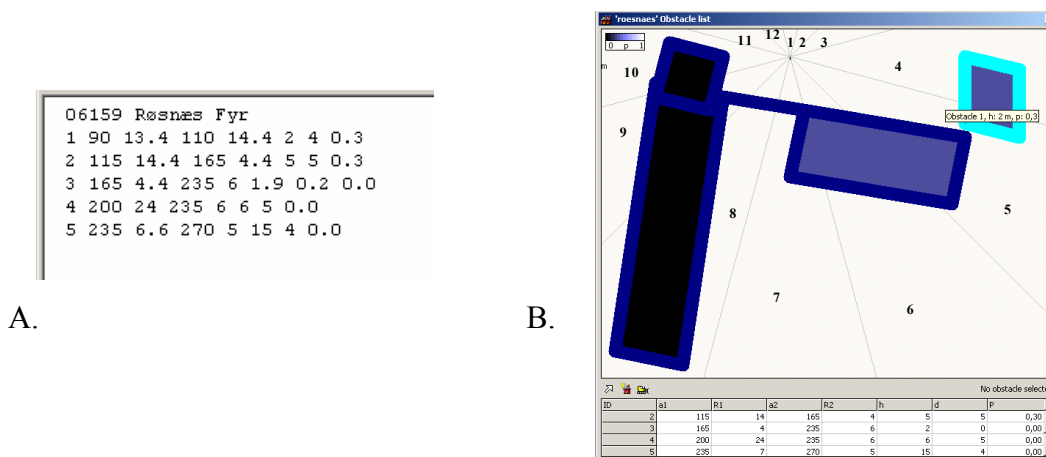
### 3. WA<sup>S</sup>P

En serie af observerede vinddata får i WA<sup>S</sup>P tilpasset en Weibull-fordelingsfunktion, givet ved skalaparameter A og formparameter k. Ud fra A og k kan der beregnes forskellige størrelser af interesse for estimering af vindenergipotentialt; middelværdien af vindhastigheden i tredje, vindhastigheden der giver den højeste energitæthed m.v. Vindatlasanalysemodellen i WA<sup>S</sup>P kan ud fra Weibullfordelingen tilpasset til observationerne samt oplysninger om målestedet beregne et regionalt vindatlas givet ved Weibullfordelingerne for et sæt af standardbetingelser. 10m vinden for ruhedsklasse R0, som denne undersøgelse er interesseret i, er inkluderet i vindatlassættet af standardbetingelser. WA<sup>S</sup>P antager som udgangspunkt at vindhastigheden følger den logaritmiske vindprofil med von Kármán konstant  $\kappa=0.40$ . De tilpassede fordelinger er beregnet til brug for frekvenser på mindst 0.01 og middelvind større end 3m/s. Tilpasningen foregår under hensyntagen til at vindenergipotentialt i den tilpassede Weibullfordeling skal være det samme som i den observerede fordeling. For en gennemgang af teorien bag WA<sup>S</sup>P henvises til (Troen et Petersen, 1989).

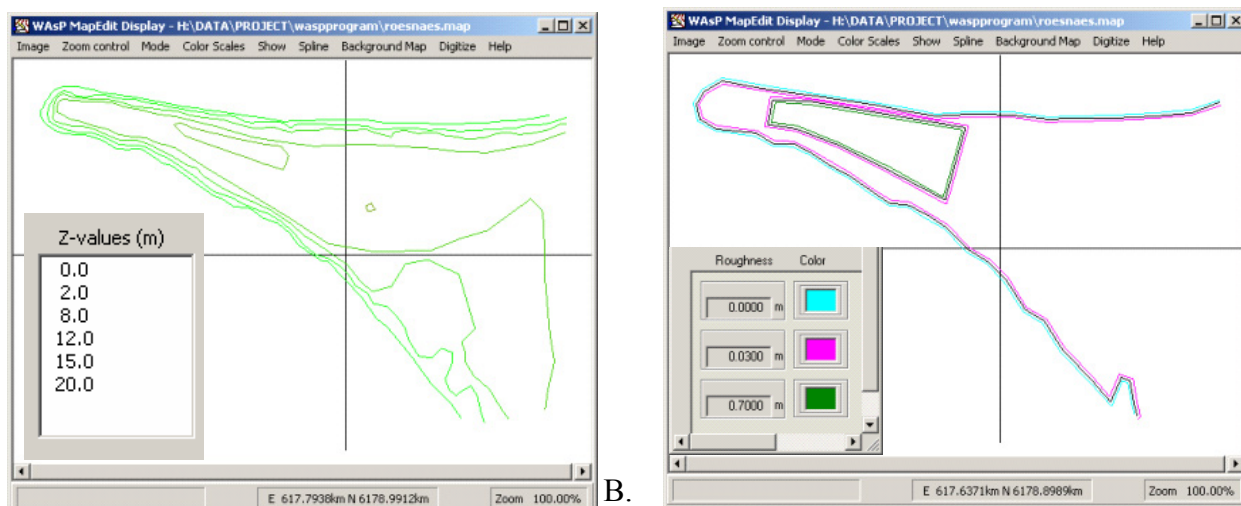
#### 3.1 Røsnæs' lokale vindklima set af WA<sup>S</sup>P.

I WA<sup>S</sup>Ps beregningsgrundlag for denne undersøgelse af det lokale vindklima indgår:

1. Placering af vindmåler (se afsnit 2)
2. Liste over placering, størrelse og karakter af vindlæ (se Figur 3-1).
3. Kort over områdets orografi. (se Figur 3-2).
4. Kort over områdets inddeling i ruhedsklasser (se Figur 3-2).
5. 20 års samhørende målinger af vindretning og vindhastighed (se afsnit 2).



Figur 3-1. WA<sup>S</sup>Ps information om vindlæ ved 06159 Røsnæs Fyr vindmåleren. A: Indputfil 'roesnaes.obs' med indhold: Linie 1: Tekst information. Linie 2-n: # vindlæ, vinkel 1 (°) til vindlæhjørne 1, afstand til vindlæhjørne 1 (m), vinkel 2 (°) til vindlæhjørne 2, afstand til vindlæhjørne 2 (m), højde (m), dybde (m), porositet (0-1). Indholdet i filen er vurderet ud fra fotos fra stationskataloget. B: Kort over WA<sup>S</sup>Ps opfattelse af de angivne vindlæ. Vindsektorer 1-12 er markeret ud fra vindmålerpositionen (1= nord).



Figur 3-2. A: Orografen ved Røsnæs digitaliseret manuelt i WAsP ud fra kortet vist i figur 2-1. B: Isolinier for ruhedsklasse digitaliseret manuelt i WAsP ud fra kortet vist i figur 2-1 således at havet har  $z_0 = 0\text{m}$ , og tangen generelt har  $z_0 = 0.03\text{m}$  for åbent land bortset fra skovområdet der har  $z_0 = 0.7\text{m}$ .

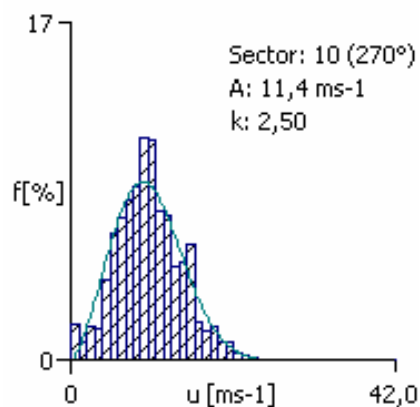
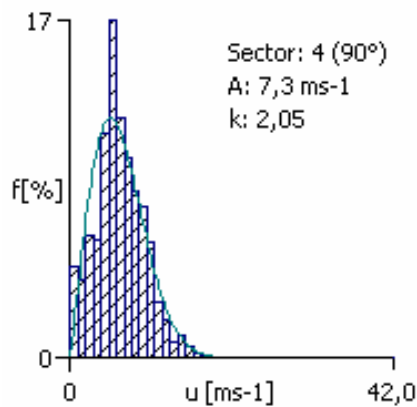
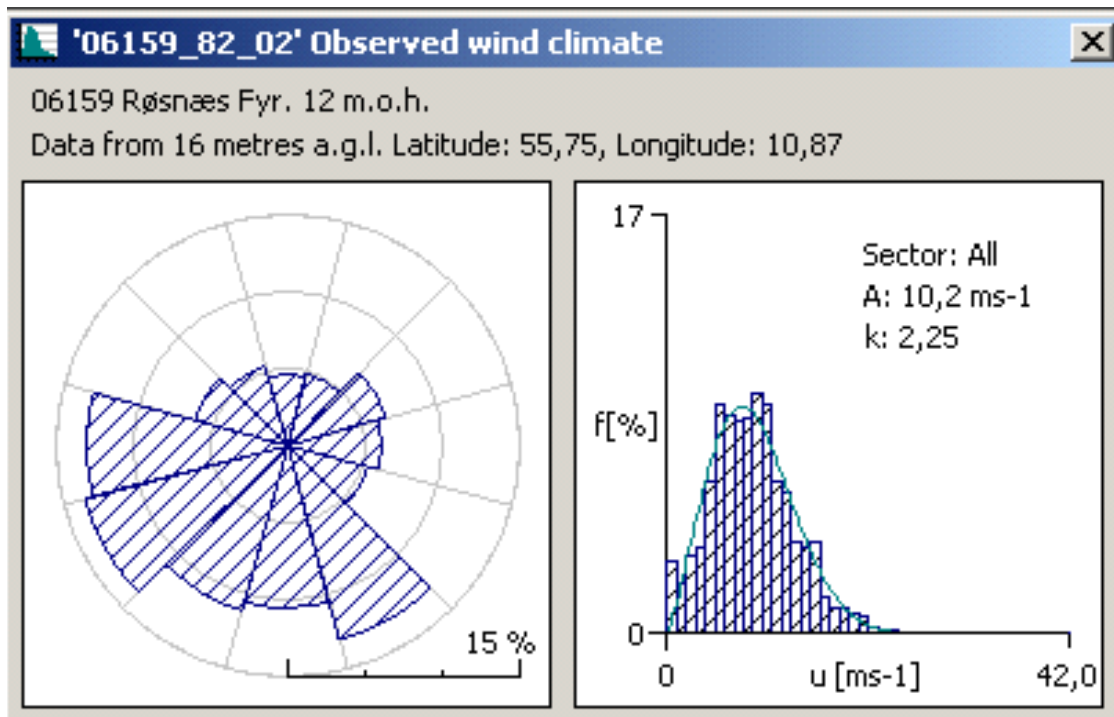
WAsP undersøger hvor godt den tilpassede Weibullfordeling passer til den observerede fordeling ved at sammenligne middelvindhastigheden beregnet for hver af de to. Middelvindhastigheden for de 20 års observerede data var 8.78 m/s (værdien er mindre end i vindrosen Figur 2-3 fordi WAsP også har værdier  $< 0.2$  m/s med). Middelværdien for den tilpassede Weibullfordeling var 9.07 m/s altså en afvigelse på 3%. WAsPs præsentation af de observerede data og tilpassede Weibullfordelinger ses i figur 3.3 for de samlede data og udvalgte vindretningssektorer.

For at få mere viden fra WAsP om de høje vindhastigheder ved Røsnæs undersøges yderligere to 'observerede datasæt' fra 06159 Røsnæs Fyr: De højeste 10% af vindhastighederne fra 20 års datasættet samt de højeste 4% af 20 års datasættet.

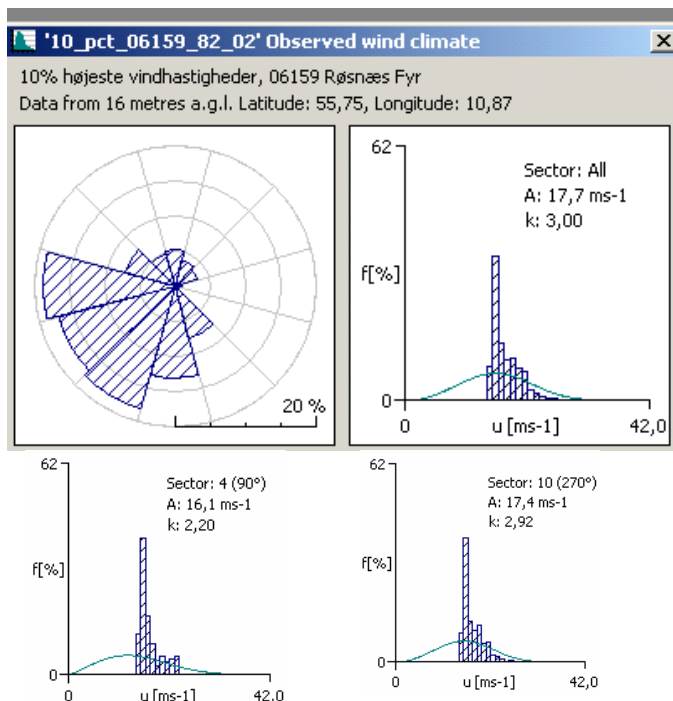
De højeste 10% af vindhastighederne fra 20 års datasættet blev udgjort af 6038 datapar med vindhastighed  $\geq 14.5$  m/s. Middelvindhastigheden af disse data var 17.31 m/s og af den tilpassede Weibullfordeling 15.82 m/s, altså en afvigelse på 8.6%. WAsPs præsentation af data ses i Figur 3-4. Sektorerne 2, 3, 4 og 5 indeholder kun få data: hhv. 3.8%, 3.3%, 0.9% og for sektor 5: 0.4% af de 6038 datapar.

De højeste 4% af vindhastighederne fra 20 års datasættet blev udgjort af 2516 datapar med vindhastighed  $\geq 17.5$  m/s. Middelvindhastigheden af disse data var 19.74 m/s og af den tilpassede Weibullfordeling 18.22 m/s, altså en afvigelse på næsten 8%. WAsPs præsentation af data ses i Figur 3-5. Sektorerne 2, 3, 4, 5 og 12 indeholder kun få data: hhv. 4.4 %, 2.7%, 0.6%, 0.04% og for sektor 12: 4.5% af de 2516 datapar.

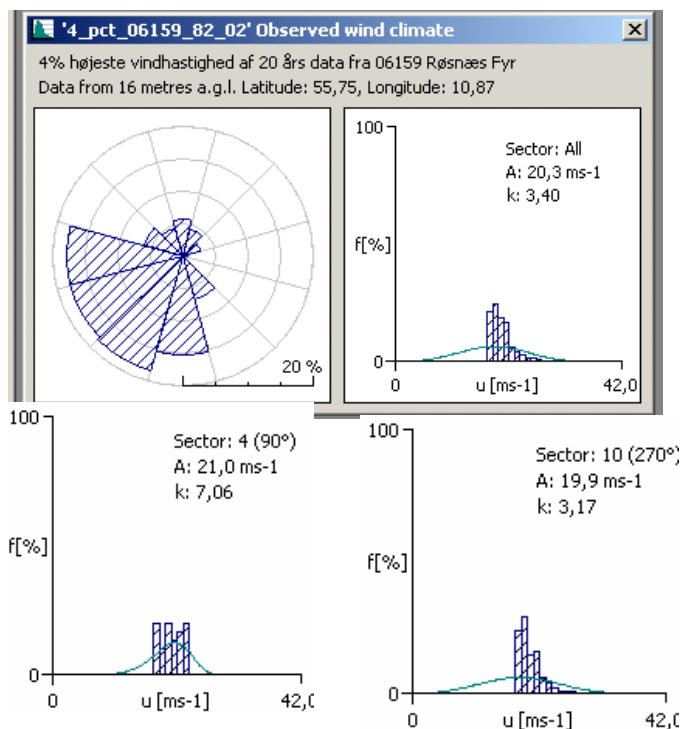
Som det kunne forventes passer Weibullfordelingen ikke så godt til '10%-datasættet' og '4%-datasættet' som til det fulde datasæt af 20 års observerede data. Det vurderes imidlertid alligevel at være en fordel for denne undersøgelse at have disse to 'ekstra datasæt' med. Hvis der sættes som betingelse at en vindretningssektor skal indeholde mindst 50 vinddata udelukker det dog sektor 5 (øso) fra 'højeste 10%' -datasættet og sektor 4 og 5 (ø og øso) fra 'højeste 4%-datasættet'.



Figur 3-3. Observerede data i WA<sup>3</sup>P. Observeret 20 års vinddata fra 06159 Røsnæs Fyr præsenteret i vindrose med 12 sektorer. Plot af tilpassede Weibull-frekvensfordelinger (tætheder), defineret ved skalaparameter A og formparameter k, for alle retninger, samt for sektor 4 og 10.



Figur 3-4. 'Observeret datasæt' bestående af de højeste 10% af 20 års datasættet fra 06159 Røsnæs Fyr. Vindrose med 12 vindretningssektorer samt plot af tilpassede Weibull-frekvensfordelinger (tætheder), defineret ved skalaparameter A og formlparameter k, for alle retninger, samt for sektor 4 og 10.



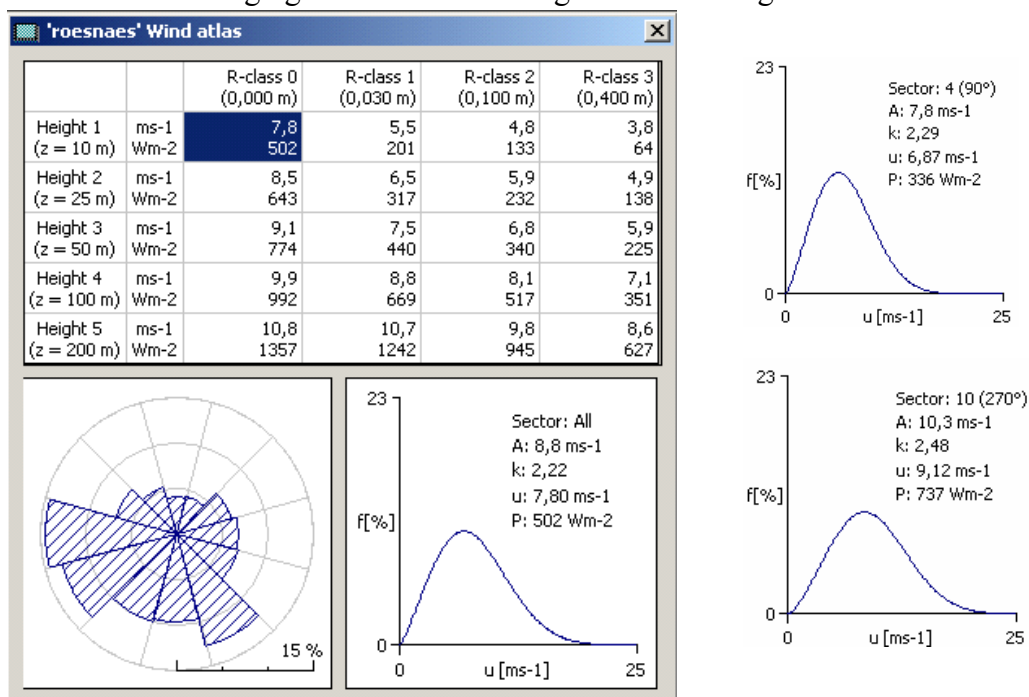
Figur 3-5. 'Observeret datasæt' bestående af de højeste 4% af 20 års datasættet fra 06159 Røsnæs Fyr. Vindrose med 12 vindretningssektorer samt plot af tilpassede Weibull-frekvensfordelinger (tætheder), defineret ved skalaparameter A og formlparameter k, for alle retninger, samt for sektor 4 og 10.

### 3.2 'Regionalt Røsnæsvindklima' dannet af WA<sup>S</sup>P

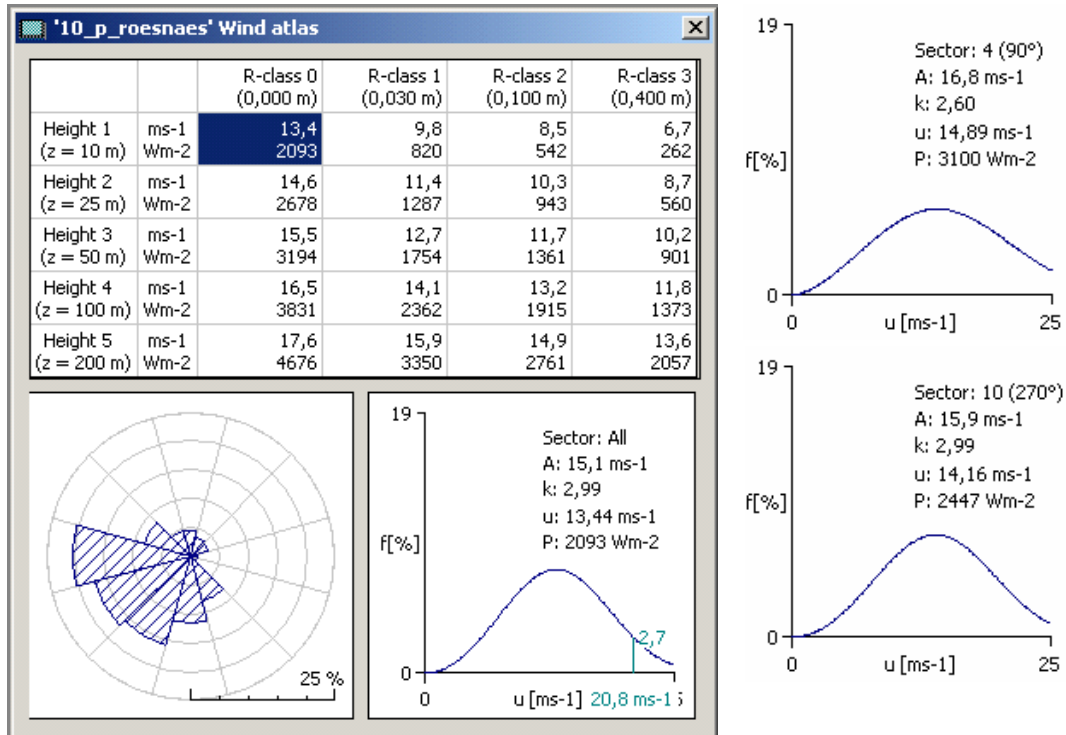
Her ses på standardregionalklimaet med målehøjde  $z=10\text{m}$  for at se på standardhøjden for vindmåling og ruhedsklasse R0,  $z_0=0\text{m}$  for at se på forholdene for hav. Resultaterne for de tre 'datasæt' (20 års data, de 10% højeste vindhastigheder fra dette datasæt hhv de 4% højeste) ses i figur 3-6, figur 3-7 og figur 3-8. Som forventet er middelværdien for den regionale R0-10m vindhastighed lavere end middelværdien af den observerede 06159 vindhastighed for alle retninger undtagen retningssektor 4 og 5 (vindretning fra land). Dog har sektor 11 sammenlignelige middelværdier for ruhedsklasse R0.

WA<sup>S</sup>P leverer således ikke direkte tidsserier af vinddata for de forskellige højder og ruhedsklasser. Tidsserierne af regionale vinddata, hvis sådanne ønskes af brugeren, må beregnes efterfølgende med en generator af tilfældige tal der vægter med netop frekvensfordelingen (tætheden) angivet for det pågældende regionale vindklima.

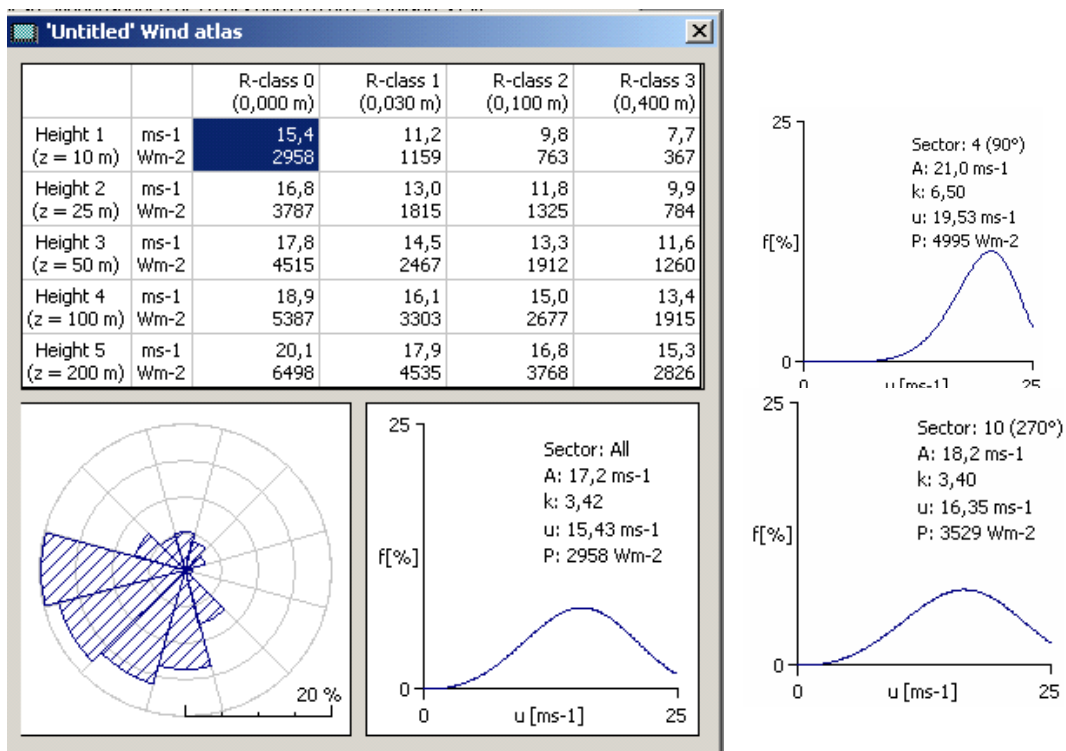
Til denne undersøgelse ønskes besvaret spørgsmålet: Hvordan transformeres den enkelte observerede vind over i den enkelte modellerede regionale vind? Sådant som WA<sup>S</sup>P er bygget op bliver den enkelte vindmåling slet ikke transformeret; Beregningerne udføres udelukkende på fordelingsfunktionerne. Næste afsnit ser derfor på transformationen mellem den (modellerede) observerede fordeling og den modellerede regionale fordeling.



Figur 3-6. Regionalt klima-atlas fra WA<sup>S</sup>P beregnet på baggrund af 20 års vinddata fra 06159 Røsnæs Fyr. Tabellen viser beregnet middelvindhastighed (m/s) og middelvindenergitæthed ( $\text{W/m}^2$ ) for hver af målehøjderne 1-5 (10m – 200m) og ruhedsklasserne R0 –R3 ( $z_0=0\text{m}$  –  $z_0=0.4\text{m}$ ). Vindrosen viser fordelingen på vindretning for ruhedsklasse R0 ved siden af Weibull-frekvensfordelingen (tætheden) for alle sektorer, ligeledes for R0. Endvidere vises Weibull-frekvensfordelingerne for sektor 4 og sektor 10 for R0. Ved Weibull-frekvensfordelingerne er angivet skalaparameter A og formparameter k, sektorens middelvindhastighed, u, og sektorens middelvindenergitæthed, P.



Figur 3-7. De 10% højeste vindhastigheder fra 20 års vinddata fra 06159 Røsnæs Fyr er grundlag for dette regionale klimaatlas fra WA<sup>3</sup>P. Se forklarende tekst til figur 3-6.



Figur 3-8. De 4% højeste vindhastigheder fra 20 års vinddata fra 06159 Røsnæs Fyr er grundlag for dette regionale klimaatlas fra WA<sup>3</sup>P. Se forklarende tekst til figur 3-6.

## 4. Transformation mellem observeret og modelleret vindklima

I denne undersøgelse ønskes, som beskrevet i indledningen, en *simpel* sammenhæng mellem en observeret vindhastighed,  $u_{\text{obs}}$  og en transformeret hav-hastighed  $u_{\text{model}}$  ved Røsnæs. Gerne blot en skalering, altså en sammenhæng af typen:

$u_{\text{model}} = \alpha u_{\text{obs}}$ , hvor  $\alpha$  er en konstant.

WA<sup>S</sup>P beskriver vindklimaet for både  $u_{\text{obs}}$  og  $u_{\text{model}}$  ved deres fordeling. Begge antages af WA<sup>S</sup>P at være Weibullfordelt.

For en Weibullfordelt stokastisk variabel  $u$  (læs: vindhastighed  $u$ ) med skalaparameter  $A$  og formparameter  $k$ , gælder (Troen og Petersen 1989 eller Conradsen 1984):

Hvis  $u$  er Weibullfordelt så er:

Fordelingsfunktionen  $F(u) = P\{U \leq u\}$ ,  
 $F(u) = \exp(-(u/A)^k)$

Frekvensfunktionen (tætheden)  $f(u) = F'(u)$ :  
 $f(u) = (k/A) * (u/A)^{(k-1)} * \exp(-(u/A)^k)$

Middelværdi:  $A * \Gamma(1+1/k)$ .

Varians:  $A^2 * (\Gamma(1+2/k) - \Gamma^2(1+1/k))$ .

Generelt gælder at hvis en stokastisk variabel  $U_{\text{obs}}$  har fordelingsfunktionen  $F(u_{\text{obs}})$  og en anden stokastisk variabel  $U_{\text{model}} = \alpha U_{\text{obs}}$  har fordelingsfunktionen  $G(u_{\text{model}})$  så (da fordelingsfunktionen  $F$  for en stokastisk variabel  $U_{\text{obs}}$  er defineret ved  $F(u_{\text{obs}}) = P\{U_{\text{obs}} \leq u_{\text{obs}}\}$ ):

$$\begin{aligned} G(u_{\text{model}}) &= P\{U_{\text{model}} \leq u_{\text{model}}\} \\ &= P\{\alpha U_{\text{obs}} \leq u_{\text{model}}\} \\ &= P\{U_{\text{obs}} \leq u_{\text{model}}/\alpha\} \\ &= F(u_{\text{model}}/\alpha) \end{aligned}$$

Og for vores Weibullfordelte tilfælde ((skalaparameter,formparameter) hhv.  $(A_{\text{obs}}, k_{\text{obs}})$  og  $(A_{\text{model}}, k_{\text{model}})$ )

$$G(u_{\text{model}}) = \exp(-(u_{\text{model}}/\alpha A_{\text{obs}})^{k_{\text{obs}}}) = \exp(-(u_{\text{model}}/A_{\text{model}})^{k_{\text{model}}}).$$

Givet at både fordelingen for  $u_{\text{obs}}$  og fordelingen for  $u_{\text{model}}$  er Weibullfordelinger da kræver sammenhængen  $u_{\text{model}} = \alpha u_{\text{obs}}$  altså at:



$$k_{\text{model}} = k_{\text{obs}} \quad \text{og}$$

$$\alpha = A_{\text{model}} / A_{\text{obs}}$$

Følgelig vil (jf. indsættelse i de respektive udtryk)

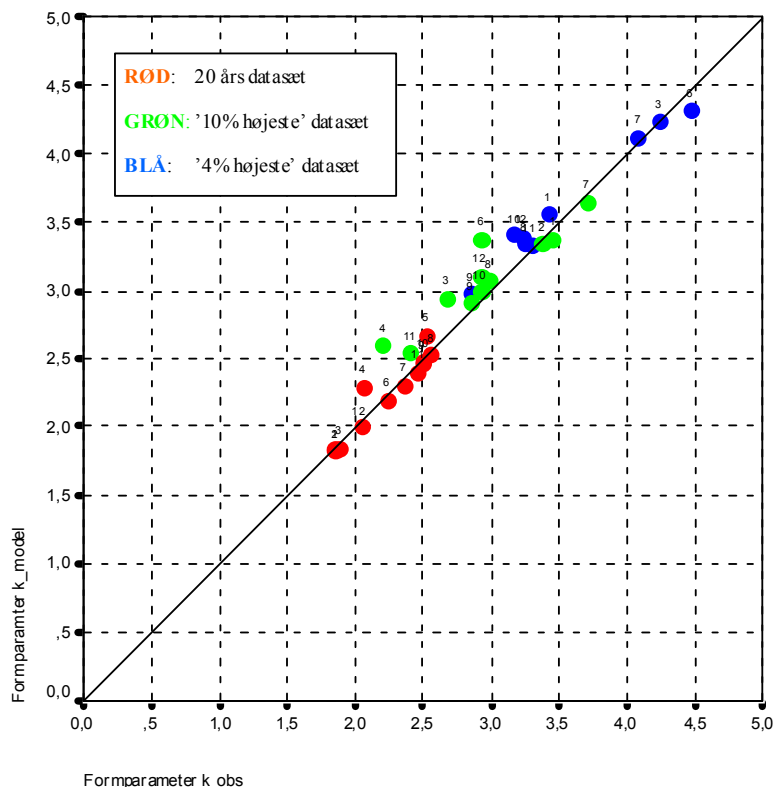
$$\text{Middelværdi}_{\text{model}} = \alpha \text{Middelværdi}_{\text{obs}}$$

$$\text{Spredning}_{\text{model}} = \alpha \text{spredning}_{\text{obs}}$$

(Dette pæne resultat gælder kun for antagelsen om at  $u_{\text{model}} = \alpha u_{\text{obs}}$ . Ved en antagelse bare om at  $u_{\text{model}} = \alpha u_{\text{obs}} + \beta$ ,  $\beta$  konstant, bliver  $u_{\text{model}}$  ikke nødvendigvis Weibull-fordelt.)

De beregnede  $k_{\text{model}}$  kan med en god tilnærmelse siges at være lig med  $k_{\text{obs}}$  for de 12 vindretningssektorer for hver af de tre datasæt: Hvis der ses bort fra sektorerne med under 50 observerede datasæt (sektor 5 fra 'højeste 10%' -datasættet og sektor 4 og 5 fra 'højeste 4%' -datasættet) afviger  $k_{\text{model}}$  kun lidt fra  $k_{\text{obs}}$  set i forhold til spredningen i  $k$ -værdierne selv. Se afbildning af  $k_{\text{obs}}$  mod  $k_{\text{model}}$  i figur 4-1.

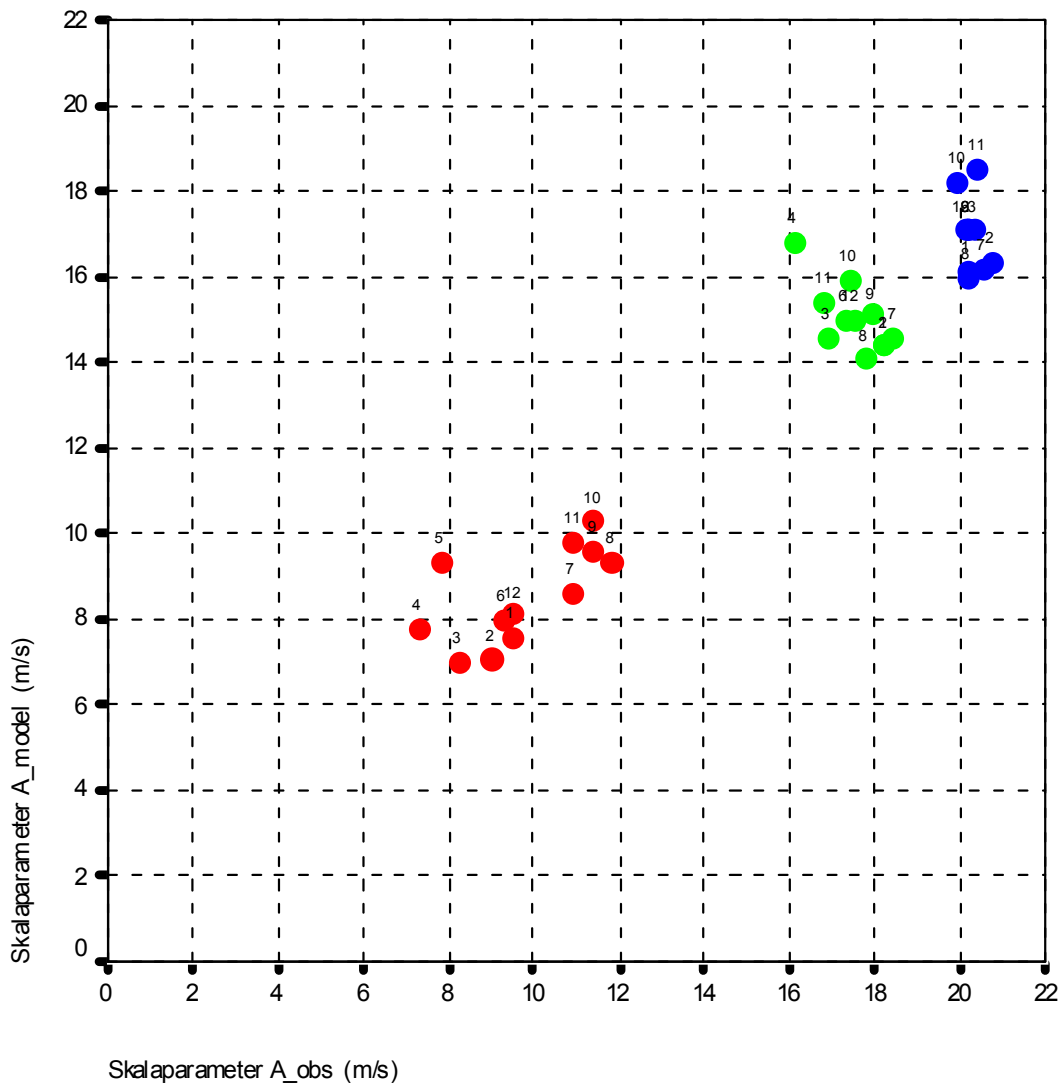
Selve værdierne af Weibullparametrene ( $A, k$ ) givet af WA<sup>SP</sup> samt forholdene  $A_{\text{model}}/A_{\text{obs}}$  og  $k_{\text{model}}/k_{\text{obs}}$  er opført i tabel 4-1 for alle vindretningssektorer for hvert af de tre 'datasæt'.



Figur 4-1. Formparameter  $k_{\text{obs}}$  fra Weibullfordelingerne tilpasset de observerede vinddata fra 12 retningssektorer afbildet mod formparameter  $k_{\text{model}}$  fra 12 retningssektorer Weibullfordelte regionale vinddata modelleret for vinden i 10m højde og ruhedsklasse R0. Følgende sektorer er *ikke* med i afbildningen som følge af for få vinddata: sektor 5 fra 'højeste 10%' -datasættet og sektor 4 og 5 fra 'højeste 4%' -datasættet. Datapunkterne er mærket med nummeret for vindretningssektoren (1-12, begyndende med Nord=1 og med uret rundt). Farven angiver hvilket 'datasæt' punktet stammer fra. Linien  $k_{\text{model}} = k_{\text{obs}}$  er optegnet med sort.

Vindretnings - sektor	Datasæt	A_obs	k_obs	A_model	k_model	k_model/ k_obs	$\alpha =$ A_model/ A_obs
1	20 års data	9,50	1,85	7,60	1,83	0,99	0,80
2	20 års data	9,00	1,85	7,10	1,84	0,99	0,79
3	20 års data	8,20	1,88	7,00	1,85	0,98	0,85
4	20 års data	7,30	2,05	7,80	2,29	1,12	1,07
5	20 års data	7,80	2,53	9,30	2,68	1,06	1,19
6	20 års data	9,30	2,24	8,00	2,20	0,98	0,86
7	20 års data	10,9	2,36	8,60	2,31	0,98	0,79
8	20 års data	11,8	2,55	9,30	2,53	0,99	0,79
9	20 års data	11,4	2,49	9,60	2,47	0,99	0,84
10	20 års data	11,4	2,50	10,3	2,48	0,99	0,90
11	20 års data	10,9	2,46	9,80	2,40	0,98	0,90
12	20 års data	9,50	2,04	8,10	2,00	0,98	0,85
1	'højeste 10%'	18,2	3,45	14,4	3,37	0,98	0,79
2	'højeste 10%'	18,2	3,38	14,4	3,35	0,99	0,79
3	'højeste 10%'	16,9	2,67	14,6	2,94	1,10	0,86
4	'højeste 10%'	16,1	2,20	16,8	2,60	1,18	1,04
5	'højeste 10%'	16,2	4,81	18,0	2,49	0,52	1,11
6	'højeste 10%'	17,3	2,92	15,0	3,37	1,15	0,87
7	'højeste 10%'	18,4	3,72	14,6	3,65	0,98	0,79
8	'højeste 10%'	17,8	2,99	14,1	3,08	1,03	0,79
9	'højeste 10%'	17,9	2,85	15,1	2,92	1,02	0,84
10	'højeste 10%'	17,4	2,92	15,9	2,99	1,02	0,91
11	'højeste 10%'	16,8	2,40	15,4	2,55	1,06	0,92
12	'højeste 10%'	17,5	2,92	15,0	3,10	1,06	0,86
1	'højeste 4%'	20,2	3,42	16,1	3,56	1,04	0,80
2	'højeste 4%'	20,7	5,31	16,3	4,88	0,92	0,79
3	'højeste 4%'	20,3	4,25	17,1	4,24	1,00	0,84
4	'højeste 4%'	21,0	7,06	21,0	6,50	0,92	1,00
5	'højeste 4%'	19,2	10,3	22,5	4,57	0,44	1,17
6	'højeste 4%'	20,2	4,47	17,1	4,31	0,96	0,85
7	'højeste 4%'	20,5	4,08	16,2	4,13	1,01	0,79
8	'højeste 4%'	20,2	3,25	16,0	3,35	1,03	0,79
9	'højeste 4%'	20,2	2,84	17,1	2,98	1,05	0,85
10	'højeste 4%'	19,9	3,17	18,2	3,40	1,07	0,91
11	'højeste 4%'	20,4	3,29	18,5	3,33	1,01	0,91
12	'højeste 4%'	20,1	3,23	17,1	3,39	1,05	0,85

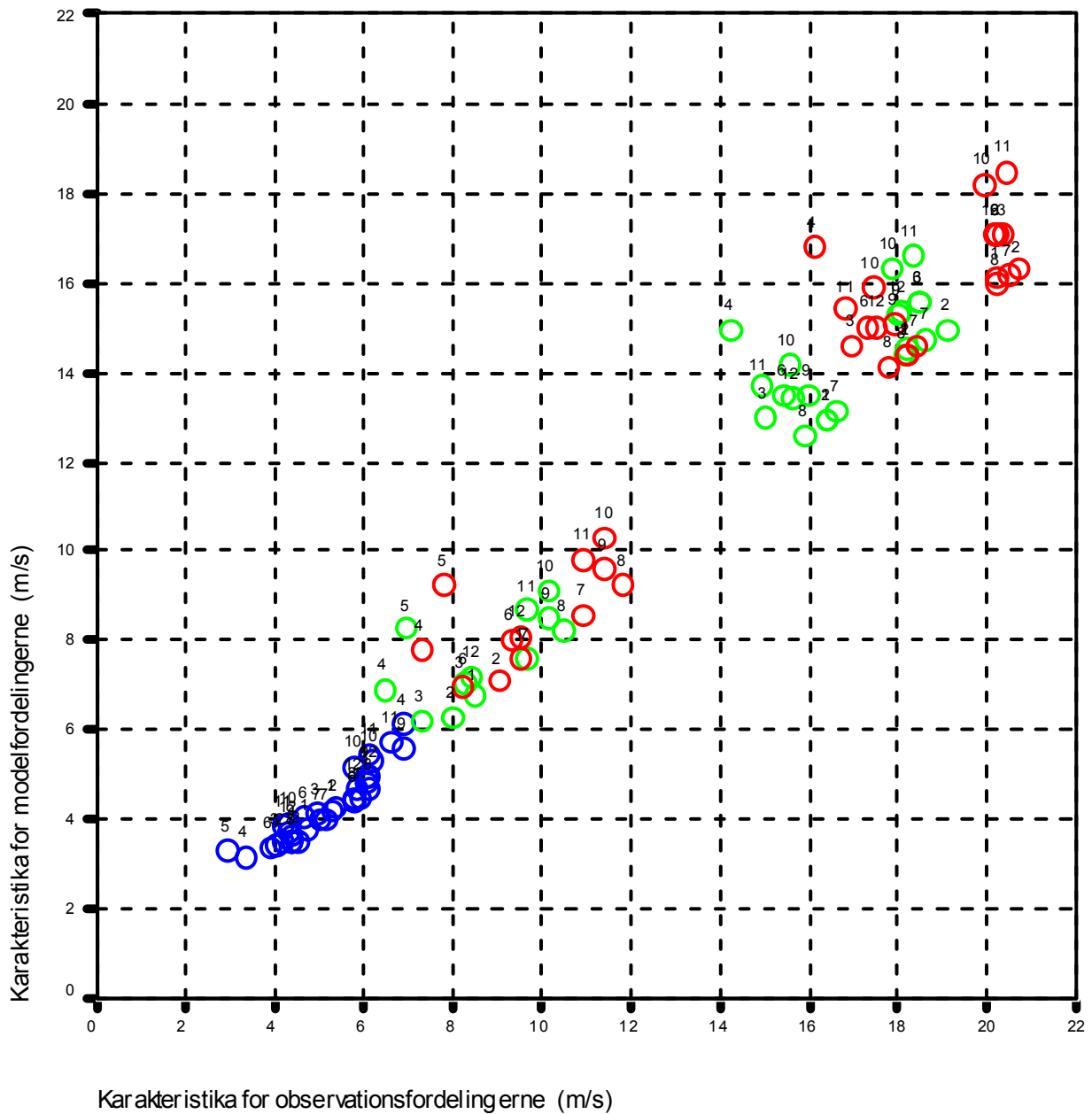
Tabel 4-1. Liste over Weibullparametrene A, k for de forskellige vindretningssektorer for hver af de tre datasæt. '20 års data' er de 20 års observerede vinddata fra 06159 Røsnæs Fyr. 'højeste 10%' er datasættet bestående af de højeste 10% vindhastigheder fra 20 års datasættet. 'højeste 4%' er datasættet bestående af de højeste 4% vindhastigheder fra 20 års datasættet. Sektorerne 1-12 betegner vindretningssektorerne (begyndende med Nord=1 og med uret rundt) hvor vindhastigheden er beregnet for ruhedsklasse R0 (z0=0m). Sektor 5 fra 'højeste 10%' indeholder kun 24 datasæt, sektor 4 og sektor 5 fra 'højeste 4%' indeholder kun hhv. 15 og 1 datasæt. Disse tre sektorer indgår derfor ikke i de videre beregninger.



Figur 4-2. Skalaparameter  $A_{obs}$  fra Weibullfordelingerne tilpasset de observerede vinddata fra 12 retningssektorer afbildet mod skalaparameter  $A_{model}$  fra 12 retningssektorer Weibullfordelte regionale vinddata modelleret for vinden i 10m højde og ruhedsklasse R0. Der indgår data fra de samme sektorer som i figur 4-1. Datapunkterne er mærket med nummeret for vindretningssektoren (1-12, begyndende med Nord=1 og med uret rundt). Farven angiver hvilket 'datasæt' punktet stammer fra: '20 års data': Rød, 'højeste 10%': grøn og 'højeste 4%': blå.

Da  $k_{model}$  antages at være lig med  $k_{obs}$  kan den ønskede skaleringsfaktor  $\alpha$  for vindhastigheden ved 06159 Røsnæs Fyr altså direkte findes som  $\alpha = A_{model} / A_{obs}$  eller som hældningskoefficienten i en afbildning af  $A_{model}$  mod  $A_{obs}$  som i figur 4-2. Ved betragtning af figur 4-2 ses datapunkterne for sektor 4 og 5 at ligge for sig selv. Sektor 10 og 11 ligger også på en linie med stejlere hældning end de øvrige datapunkter.

For at tydeliggøre et eventuelt sammenfald af  $\alpha$ -værdier for de forskellige sektorer ønskes flere datapunkter. Under antagelserne om at  $u_{model} = \alpha \cdot u_{obs}$  og  $k_{model} = k_{obs}$  vil afbildninger af "model"-middelværdi, og -spredning mod de tilsvarende 'observerede' alle have hældningskoefficient  $\alpha$ . Alle disse karakteristika for de modellerede fordelinger afbildes derfor, i samme afbildning, i figur 4-3 mod de samme karakteristika for fordelingerne tilpasset de observerede data.



Figur 4-3. 'A, middelværdi, spredning': Tre karakteristika for Weibullfordelingerne tilpasset de observerede vinddata fra 12 retningssektorer afbildet mod de samme karakteristika fra 12 retningssektorer Weibullfordelte regionale vinddata modelleret for vinden i 10m højde og ruhedsklasse R0. Data stammer fra alle tre datasæt, dog indgår følgende sektorer *ikke* i afbildningen som følge af for få vinddata: sektor 5 fra 'højeste 10%' -datasættet og sektor 4 og 5 fra 'højeste 4%' -datasættet. Datapunkterne er mærket med nummeret for vindretningssektoren (1-12, begyndende med Nord=1 og med uret rundt). Farven angiver karakteristikatypen: Skalaparameter A: Rød, middelværdi: Grøn og spredning: Blå.

Figur 4-3 indbyder til forskellige muligheder med hensyn til at lade forskellige vindretningssektorer have samme  $\alpha$ :

1. To  $\alpha$ -værdier: Samme  $\alpha$  for sektor 4 og 5. Samme  $\alpha$  for øvrige sektorer
2. Tre  $\alpha$ -værdier: Samme  $\alpha$  for sektor 4 og 5. Samme  $\alpha$  for sektor 10 og 11. Samme  $\alpha$  for øvrige sektorer (1,2,3,6,7,8,9,12)
3. Fem  $\alpha$ -værdier: En  $\alpha$  for sektor 4, en  $\alpha$  for sektor 5, samme  $\alpha$  for sektor 10 og 11, samme  $\alpha$  for sektor 3,6,9,12. Samme  $\alpha$  for sektor 1,2,7,8

Ad 1). Det virker rimeligt at sektor 4 og 5, altså der hvor vinden kommer inde fra land, får en  $\alpha$  tæt på 1, i det vinden bremses af land og skov i forhold til den modellerede 'hav-vind' der har ruhedsklasse R0. For de øvrige sektorer kommer vinden fra havet med lige en tur op over skrænten mod fyret og disse øvrige sektorer ses at ligge rimeligt godt på linie. Måske er modelleringen i WA<sup>S</sup>P ikke god nok til at der bør foretages yderligere opsplnitning end denne ene åbenlyse og velbegrundede.

Ad 2) Samme argument for sektor 4 og 5 som i 1). Sektor 10 og 11 ligger tydeligt på linie og tydeligt over de øvrige sektorer (undtagen 4 og 5) for alle karakteristika og alle datasæt. For sektor 10 og 11 har vinden kun haft en kort tur op ad skrænten ind over land til vindmåleren som næsten er fri af fyret. Det samme kan imidlertid siges for sektor 12, 1, 2 og 3 og disse ligger blandet sammen med de øvrige sektorer. Jeg har derfor ikke en god forklaring på at sektor 10 og 11 ligger for sig selv og det stærkeste argumentet for at beregne en  $\alpha$ -værdi specielt for sektor 10 og 11 er derfor at stole på at WA<sup>S</sup>P har en fysisk grund til at placere punkterne så tydeligt for sig selv.

Ad 3) Opsplnitningen ser entydig ud, men understøttes kun af afbildningen selv; Jeg har ikke yderligere fysiske argumenter end de der er anført i 1) og 2).

Ud fra ovenstående overvejelser foretages der i næste afsnit lineær regression for at finde bedste bud på  $\alpha$ -værdierne fra mulighed 1) og 2).

## 5. Skaleringsfaktor $\alpha$

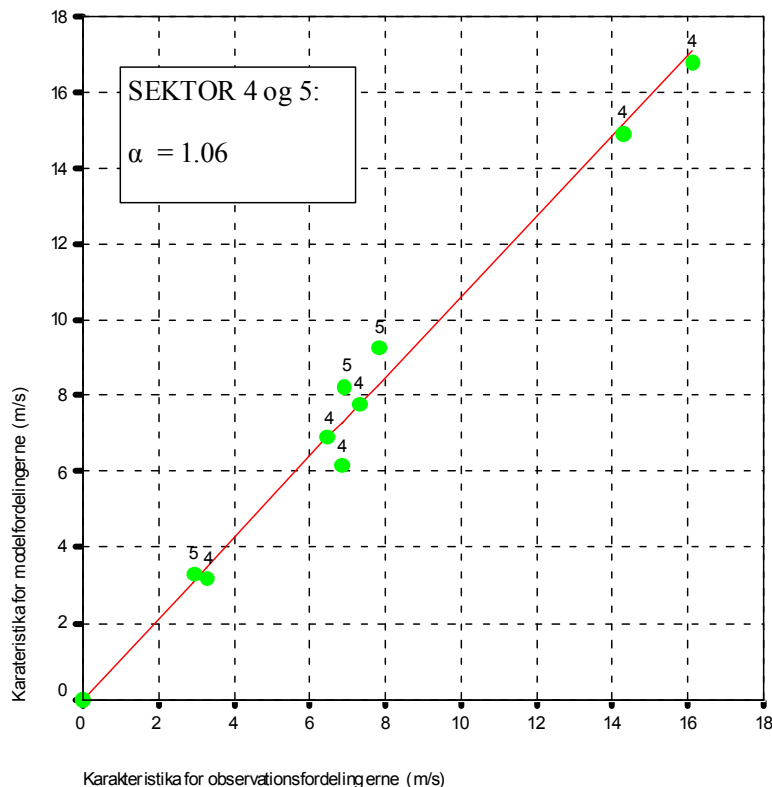
I sidste afsnit blev det fundet at WA<sup>SP</sup> modelleringen af et regionalt vindklima omkring Røsnæs med ruhedsklasse R0 som en god tilnærmelse kunne give den ønskede simple skalering af en observeret vindhastighed,  $u_{\text{obs}}$  til en transformeret hav-hastighed  $u_{\text{model}}$  ved Røsnæs:

$u_{\text{model}} = \alpha u_{\text{obs}}$ , hvor  $\alpha$  er skaleringsfaktoren.

Dette afsnit udregner forskellige bud på  $\alpha$  ved hjælp af lineær regression af data præsenteret i figur 4-3 og efter opsplitting på vindretningssektorer sådan som der blev argumenteret for til slut i afsnit 4. Vindretningssektorerne er, som overalt i denne rapport, nummereret med uret rundt 1-12, begyndende med Nord=1.

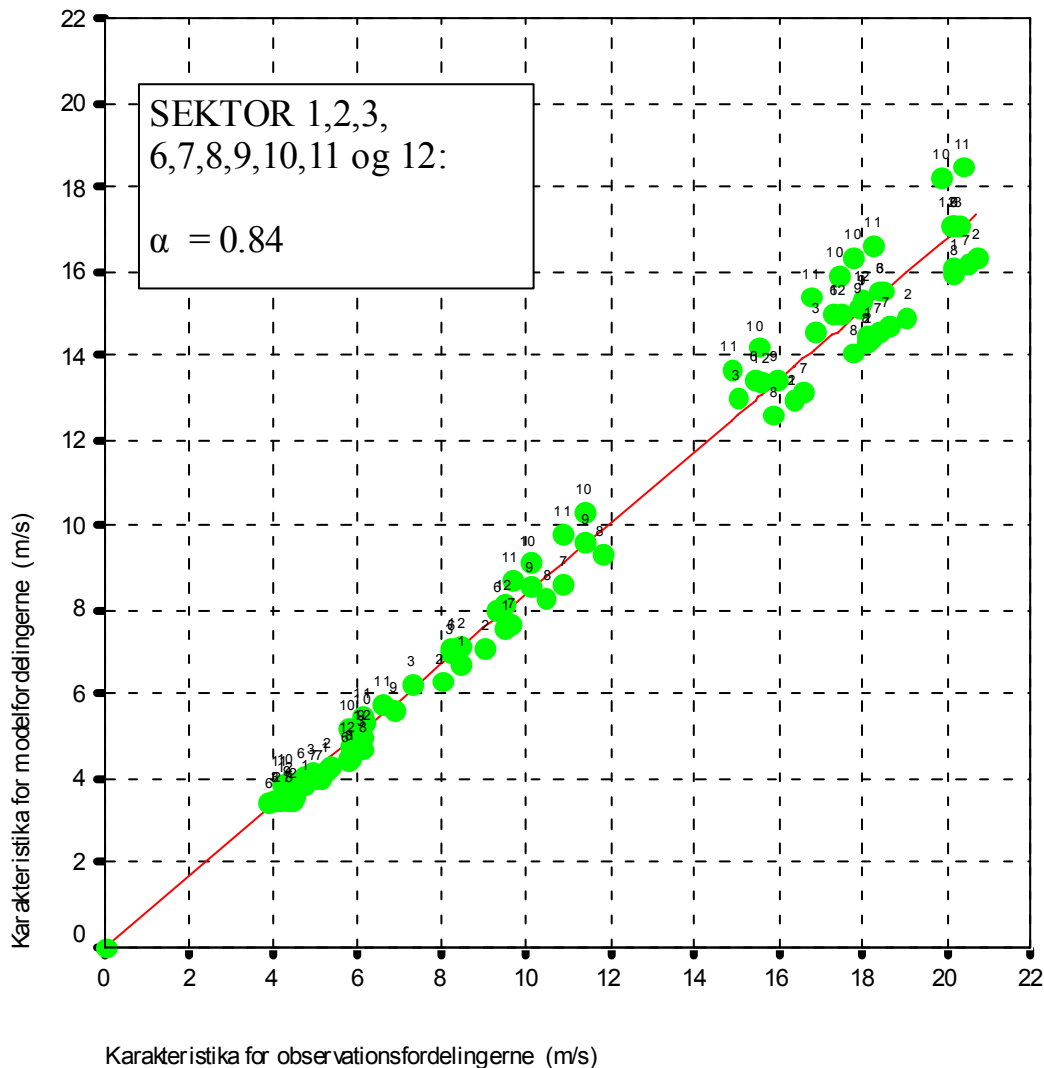
### 5.1 To $\alpha$ -værdier afhængigt af vindretning

Bedste bud på en skaleringsfaktor  $\alpha$  for vindretningssektor 4 og 5 (ø og øsø) findes som hældningen af den bedste rette linie gennem punkterne ( $A_{\text{obs}}, A_{\text{model}}$ ), ( $\text{middelværdi}_{\text{obs}}$ ,  $\text{middelværdi}_{\text{model}}$ ), ( $\text{spredning}_{\text{obs}}, \text{spredning}_{\text{model}}$ ) for '20 års data'-datasættet samt sektor 4 fra '10% datasættet'. Linien tvinges gennem (0,0) da der kun var tale om en skalering af  $u_{\text{obs}}$ . Resultatet ses i figur 5-1.



Figur 5-1. Bedste bud på skaleringskonstant  $\alpha$  for vindretningssektor 4 og 5 (ø og øsø).  $\alpha$  findes som hældningen af den bedste rette linie gennem punkterne ( $A_{\text{obs}}, A_{\text{model}}$ ), ( $\text{middelværdi}_{\text{obs}}, \text{middelværdi}_{\text{model}}$ ), ( $\text{spredning}_{\text{obs}}, \text{spredning}_{\text{model}}$ ) for '20 års data'-datasættet samt sektor 4 fra '10% datasættet' og tvunget gennem (0,0). Datapunkterne er mærket med det tilhørende vindretningssektornummer. Den fundne linie er tegnet med rødt og har hældning  $\alpha = 1.0606$ .

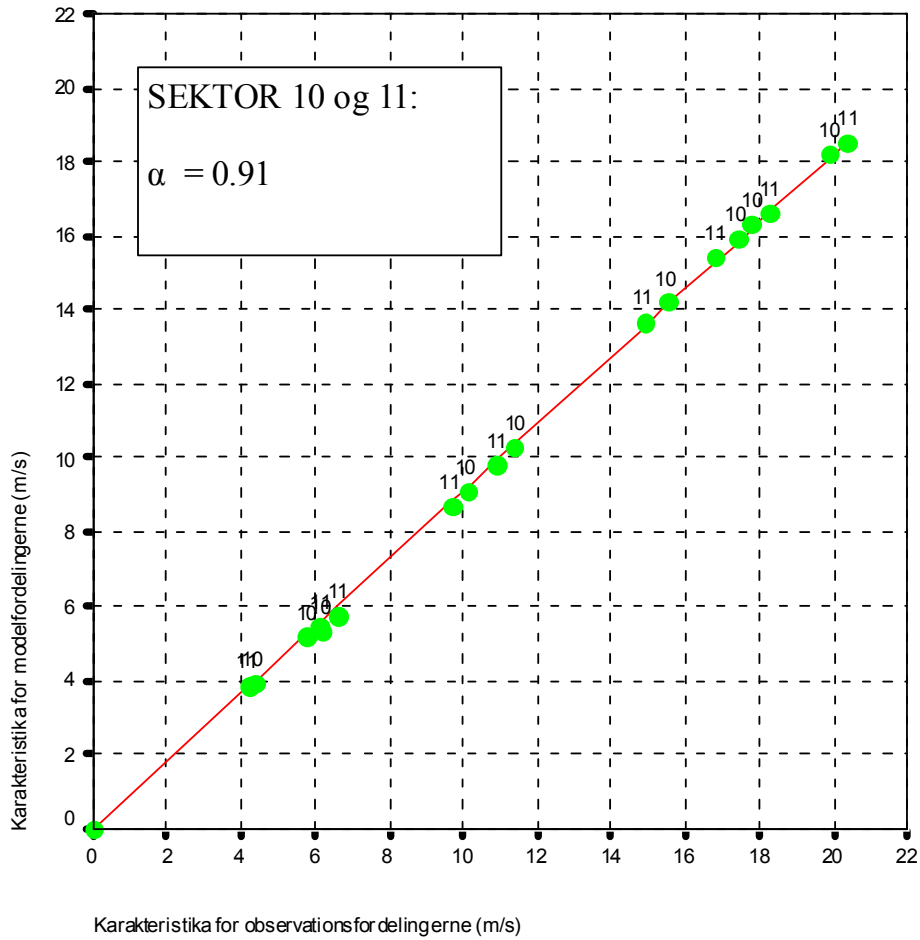
Bedste bud på en skaleringskonstant  $\alpha$  for øvrige vindretningssektorer findes på tilsvarende vis og fremgår af figur 5-2.



Figur 5-2. Bedste bud på skaleringskonstant  $\alpha$  for alle vindretningssektorer, undtagen 4 og 5.  $\alpha$  findes som hældningen af den bedste rette linie gennem punkterne ( $A_{obs}, A_{model}$ ), ( $middelværdi_{obs}$ ,  $middelværdi_{model}$ ), ( $spredning_{obs}, spredning_{model}$ ) for alle tre 'datasæt'. Linien er tvunget gennem (0,0). Datapunkterne er mærket med det tilhørende vindretningssektornummer. Den fundne linie er tegnet med rødt og har hældning  $\alpha = 0.8380$ .

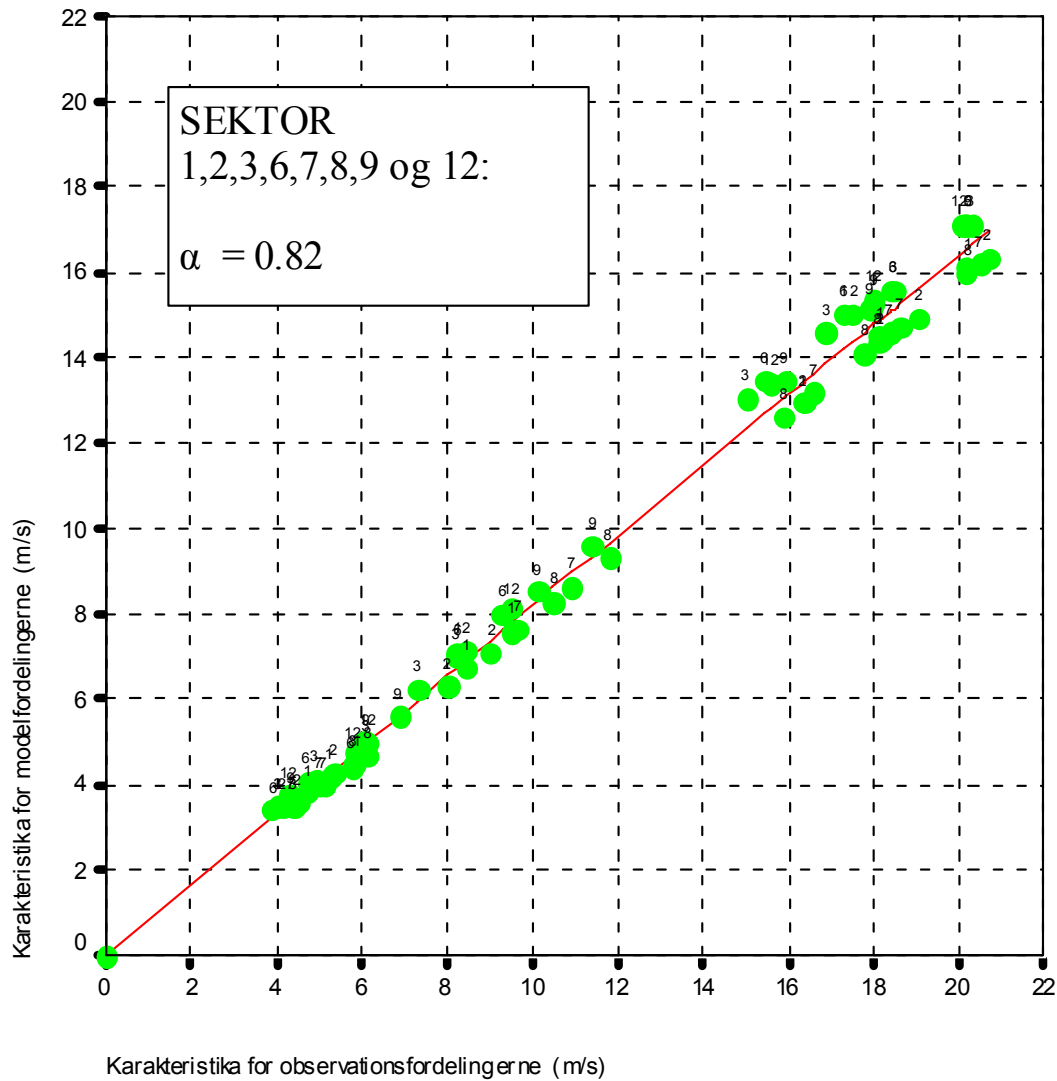
## 5.2 Tre $\alpha$ -værdier afhængigt af vindretning

Bedste bud på en skaleringsfaktor  $\alpha$  for vindretningssektor 4 og 5 (ø og øsø) blev vist i figur 5-1. Dertil vises bedste bud på en skaleringsfaktor  $\alpha$  for vindretningssektor 10 og 11 (v og vnv) i figur 5-3 og for de øvrige vindretningssektorer (1,2,3,6,7,8,9,12: nnv, n, nnø, ønø, ssø, s, ssv og vsv) i figur 5-4.



Figur 5-3. Bedste bud på skaleringsfaktor  $\alpha$  for vindretningssektor 10 og 11 (v og vnv).  $\alpha$  findes som hældningen af den bedste rette linie gennem punkterne ( $A_{obs}, A_{model}$ ), ( $middelværdi_{obs}, middelværdi_{model}$ ), ( $spredning_{obs}, spredning_{model}$ ) for alle tre datasæt og tvunget gennem (0,0). Datapunkterne er mærket med det tilhørende vindretningssektornummer. Den fundne linie er tegnet med rødt og har hældning  $\alpha = 0.9099$ .

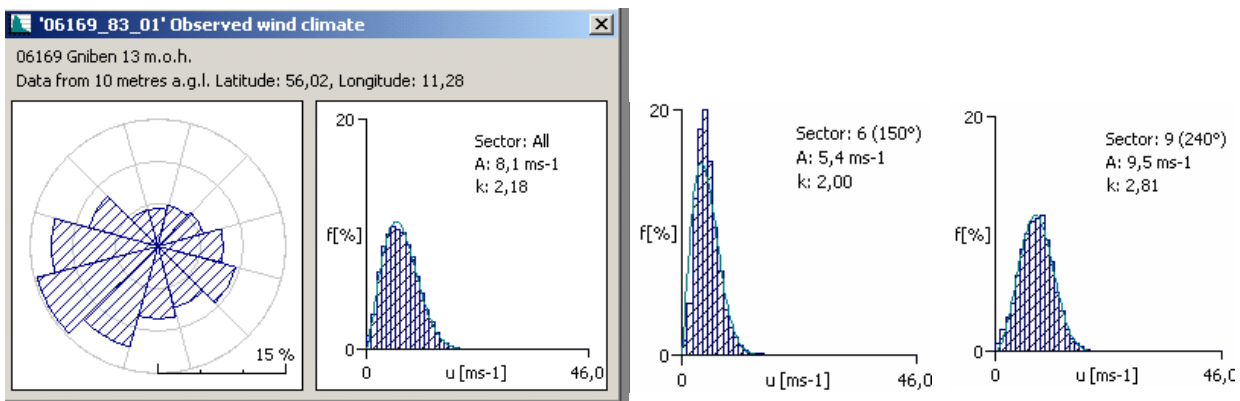




Figur 5-4. Bedste bud på skaleringskonstant  $\alpha$  for vindretningssektorerne 1,2,3,6,7,8,9 og 12.  $\alpha$  findes som hældningen af den bedste rette linie gennem punkterne ( $A_{obs}, A_{model}$ ), ( $middelværdi_{obs}, middelværdi_{model}$ ), ( $spredning_{obs}, spredning_{model}$ ) for alle tre 'datasæt'. Linien er tvunget gennem (0,0). Datapunkterne er mærket med det tilhørende vindretningssektornummer. Den fundne linie er tegnet med rødt og har hældning  $\alpha = 0.8201$ .

## 6. WA<sup>s</sup>P-modellering af 06169 Gniben

19 års vinddata hver tredje time 1983-2001 fra 06169 Gniben (samt de højeste 10% og de højeste 4% fra dette datasæt) blev brugt til en WA<sup>s</sup>P-beregning af vinden ved 06169 Gniben modelleret til 10 m over et homogent havområde (ruhedsklasse R0,  $z_0 = 0\text{m}$ ) tilsvarende den der i det foregående er beskrevet i detaljer for 06159 Røsnæs Fyr.



Figur 6-1. Observerede Gniben data i WA<sup>s</sup>P, 19 års vinddata, 1983-2001. Frekvensfordelinger for vindhastigheden ses for alle retninger og for sektor 6 (ssø, dvs. vind 'fra land') og sektor 9 (vsv). Søjlerne er de observerede data og kurverne er de til de dertil tilpassede Weibull-frekvensfordelinger givet ved skalaparameter A og formparameter k.

19 års-datasættet fra 06169 Gniben vist i figur 6-1 var tættere på en Weibull-fordeling end 20 års-datasættet fra 06159 Røsnæs Fyr, vist i figur 3-3. 19 års-datasættet fra 06169 Gniben havde en middelvindhastighed på 7.12 m/s og den tilpassede Weibull-fordeling havde en middelvindhastighed på 7.18 m/s altså en forskel på under 1% (mod 3% forskel for 20 års Røsnæs-datasættet), ligesom de tre viste vindretningssektorer i figur 6-1 tydeligt viser en bedre tilpasning af de observerede frekvenser til Weibull-fordelingen end tilfældet var for Røsnæs.

Undersøgelsen for 06169 Gniben viste (se figur 6-2):

For retninger fra land (ssø, vindretnings-sektor 6, ved 12 sektorer med uret fra 1=Nord):

$$u_{\text{havmodel}} = 1.18 * u_{\text{observeret}}$$

For retninger fra hav (øvrige retninger):

$$u_{\text{havmodel}} = 0.92 * u_{\text{obs}}$$

Tabel 6-1 viser de af WA<sup>s</sup>P benyttede og beregnede data.

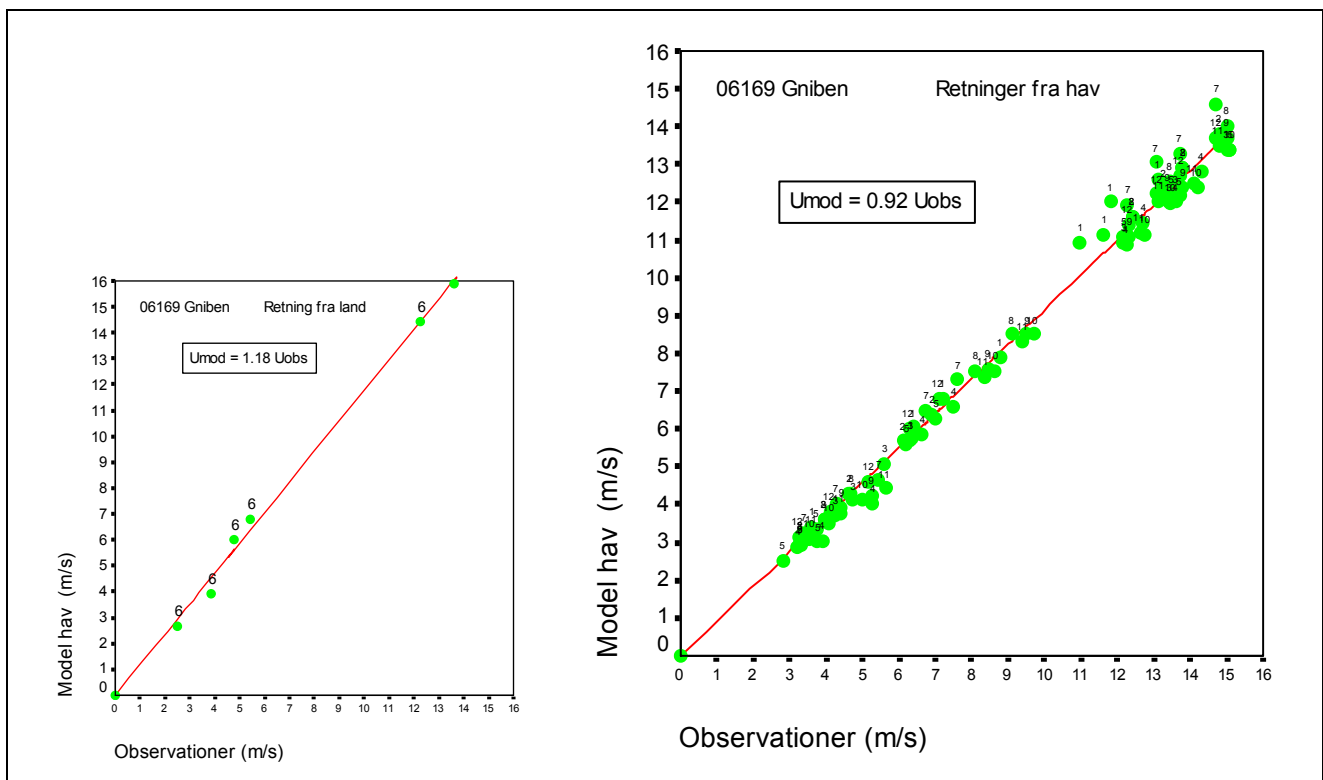
For 17 års observationer, 1983-1999 var forholdet mellem vindhastighederne ved Røsnæs (Ro) og Griben (Go) ca.:  $Go / Ro = 0.77$  (figur 2-4 B).

Hvis hav-model sammenlignes med hav-model (retninger fra hav) ligger 'hav-model-Griben'-vindhastighed, Gh, ud fra dette, stadig under 'hav-model-Røsnæs'-vindhastighed, Rh:

$$Gh / Rh = 0.92 Go / 0.84 Ro = (0.92/0.84) * 0.77 = 0.84$$

Ud fra HIRLAM var det forventet at de to hav-model-vindhastigheder var nærmere hinanden, altså  $Gh / Rh \sim 1$

WA<sup>S</sup>P modellerer altså ikke vindforholdene på (mindst én af) de to lokaliteter perfekt.



**Figur 6-2. Skalering af (modellerede) observationer fra 06169 Griben til 10 m over hav-modeldata. I figurene er skalaparameter A, middelværdi og spredning for Weibull-fordelingerne modelleret for hhv observationer og '10 m over hav' (ruhedsklasse 0) plottet mod hinanden. Punkterne er mærket med tilhørende retningssektor. Bedste rette linie tvunget gennem (0,0) er indtegnet og formlen angivet.**

06169 Gniben. Data 1983-2001							
Vindretnings - sektor	Datasæt	A obs.	k obs.	A model	k model	k model/ k obs.	alfa = Amodel/ Aobs.
1	19 års data	7,20	1,84	6,80	1,84	1,00	,94
2	19 års data	6,90	1,94	6,40	1,93	,99	,93
3	19 års data	6,30	1,76	5,70	1,78	1,01	,90
4	19 års data	7,50	2,17	6,60	2,15	,99	,88
5	19 års data	7,00	2,35	6,30	2,34	1,00	,90
6	19 års data	5,40	2,00	6,80	2,41	1,21	1,26
7	19 års data	7,60	2,09	7,30	2,08	1,00	,96
8	19 års data	9,10	2,65	8,50	2,66	1,00	,93
9	19 års data	9,50	2,81	8,50	2,78	,99	,89
10	19 års data	9,70	2,61	8,50	2,61	1,00	,88
11	19 års data	9,40	2,46	8,30	2,46	1,00	,88
12	19 års data	7,10	2,03	6,80	2,02	1,00	,96
1	10% højeste	13,1	1,91	12,6	2,04	1,07	,96
2	10% højeste	13,8	3,47	12,9	3,59	1,03	,93
3	10% højeste	13,6	3,13	12,2	3,25	1,04	,90
4	10% højeste	13,6	3,47	12,0	3,99	1,15	,88
5	10% højeste	13,5	3,59	12,2	4,15	1,16	,90
6	10% højeste	13,6	3,52	15,9	4,13	1,17	1,17
7	10% højeste	13,7	3,15	13,3	3,25	1,03	,97
8	10% højeste	13,8	3,47	12,9	3,57	1,03	,93
9	10% højeste	13,8	3,06	12,4	3,08	1,01	,90
10	10% højeste	14,2	3,47	12,4	3,52	1,01	,87
11	10% højeste	14,1	3,15	12,5	3,25	1,03	,89
12	10% højeste	13,7	3,29	12,7	3,29	1,00	,93
1	4% højeste	11,8	1,26	12,0	1,40	1,11	1,02
2	4% højeste	14,8	3,13	13,8	3,15	1,01	,93
3	4% højeste	15,0	3,11	13,4	3,21	1,03	,89
4	4% højeste	14,3	2,59	12,8	3,09	1,19	,90
5	4% højeste	15,1	4,15	13,4	4,08	,98	,89
6	4% højeste	15,4	5,15	17,9	6,28	1,22	1,16
7	4% højeste	14,7	2,57	14,6	3,06	1,19	,99
8	4% højeste	15,0	3,15	14,0	3,21	1,02	,93
9	4% højeste	15,0	2,75	13,7	3,17	1,15	,91
10	4% højeste	15,1	2,92	13,4	3,17	1,09	,89
11	4% højeste	14,8	2,49	13,5	2,97	1,19	,91
12	4% højeste	14,7	2,73	13,7	2,87	1,05	,93

**Tabel 6-1. Weibullparametrene A, k fra WA<sup>P</sup>-analysen lavet på 19 års vinddata fra 06169 Gniben. Retningssektor 6 (ssø) fra '4% højeste'-datasættet havde, som den eneste, færre end 50 data og indgik derfor ikke i bestemmelsen af skaleringsfaktoren for Gniben.**

## 7. Sensitivitetsstudie

### 7.1 Fyrets placering

WA<sup>s</sup>P-analysen blev også foretaget på '20 års datasættet' fra 06159 Røsnæs Fyr uden at give WA<sup>s</sup>P oplysning om vindlæ, herunder placering og størrelse af Røsnæs Fyr. Dette ændrede imidlertid ikke på resultatet.

Den eneste forskel på de to kørslers vindklima for 10 m vind 'over hav' (ruhedsklasse 0) var at middelvindhastigheden for sektor 9 (retning vsv, med størst læ fra fyret) var 8.49 m/s når der blev taget hensyn til vindlæ (som i det foregående) og 8.48 m/s når der ikke blev givet oplysning om vindlæ. Weibull-skalaparameter A bliver af WA<sup>s</sup>P oplyst med 1 decimal og formparameter k med 2 decimaler og med denne opløsning kunne der ikke på A og k ses forskel på om de beskrevne vindlæ indgik i WA<sup>s</sup>P-modelleringen eller ej. For vindklima 10 m 'over åbent land' (ruhedsklasse 1) var middelvindhastigheden 0.01 m/s højere for både vindsektor 8 og 9 ved kørslen med oplysning om vindlæene. Vindklimaet i 25 meters højde viste ingen forskel.

Forsøget viste altså at fyrets placering sammen med de øvrige vindlæ af WA<sup>s</sup>P beregnes til at give en reduktion af vind fra vsv (10 m vind 'over hav' skulle øges) der er uden betydning. Dette blev set i resultaterne i det foregående ved at sektor 9 ikke skilte sig ud fra de øvrige 'fra hav' sektorer.

Ved kørsler med oplysning om vindlæ hvor dimensionerne af fyret forstørres betragteligt (højde 30 m), øges middelvind-hastigheden i det modellerede 10 m vind 'over hav'-vindklima også voldsomt, svarende til at WA<sup>s</sup>P regner med en tydelig læeffekt fra det kunstigt forstørrede fyr.

Vindlæ-modellen i WA<sup>s</sup>P regner i det hele taget med at vindlæ *reducerer* vindhastigheden bag sig og tager ikke hensyn til en eventuel øgning af vindhastigheden tæt på og over vindlæ da dette ville kræve kendskab til vindlæets *præcise* geometri og givetvis komplicere modelleringen betragteligt (Troen og Petersen, 1989. s. 59). Dersom vind-måleren ved 06159 Røsnæs Fyr mærker en sådan øgning på grund af fyrets nærhed er det altså ikke noget WA<sup>s</sup>P-analysen kan gengive.

### 7.2 Orografi

Der blev lavet en kørsel for 20 års 06159 Røsnæs Fyr datasættet med anvendelse af det digitaliserede kort for *Gniben*. Dette gav en sammenhæng mellem 'observeret vind fra hav' og 'modelleret 10 m hav-vind' på  $u_{\text{model}} = 0.88 * u_{\text{obs}}$  (skal sammenlignes med  $u_{\text{model}} = 0.84 * u_{\text{obs}}$ , ved anvendelse af det digitaliserede kort for Røsnæs).

Der blev også lavet en kørsel for 19 års 06169 Gniben datasættet med anvendelse af det digitaliserede kort for *Røsnæs*. Dette gav en sammenhæng mellem 'observeret vind fra hav' og 'modelleret 10 m hav-vind' på  $u_{\text{model}} = 0.84 * u_{\text{obs}}$  (skal sammenlignes med  $u_{\text{model}} = 0.92 * u_{\text{obs}}$  ved anvendelse af det digitaliserede kort for Gniben, se afsnit 6).

WA<sup>s</sup>P beregner altså en forskellig vindhastighed for de to typer landtanger og specielt en større nedskalering af vind for Røsnæs end for Gniben.

## 8. Konklusion

Ud fra denne undersøgelse vil jeg anbefale følgende bud på en skalering til '10 m over hav' af vindhastigheden der observeres ved 06159 Røsnæs Fyr:

**u\_obs:** Observeret vindhastighed (m/s) ved 06159 Røsnæs Fyr

**u\_model:** Modelleret værdi (m/s) gældende 10 m over et (hav-) område med ruhedsklasse R0

**u\_model = u\_obs,** gældende for vindretning fra land (sektor 4 og 5: Øst og østsydøst)

**u\_model = 0.8\*u\_obs,** gældende for vindretning fra hav (alle andre end øst og østsydøst)

Begrundelsen for netop disse skaleringsfaktorer er at det er dem der fremkommer ved benyttelse af softwaren WA<sup>S</sup>P's modeller for vindens påvirkning af højde, læforhold og orografi.

Jeg har intet kvantitativt bud på usikkerheden i den foreslåede skalering, men minder om følgende:

- Der findes ingen observerede '10 m over ruhedsklasse R0'-Røsnæs data at teste skaleringen mod.
- Skaleringsfaktoren  $\alpha$  fremkom ikke ved direkte afbildning af observerede data mod modellerede data, men ved undersøgelse af den teoretiske fordeling der blev *tilpasset* de observerede data mod modelfordelingen. Der ligger altså en usikkerhed i at den virkelige vind (ligesom den modellerede) ikke nødvendigvis er Weibull-fordelt.
- Givet at den observerede vind og den modellerede vind var Weibull-fordelte med formparameter hhv.  $k_{obs}$  og  $k_{model}$ , så krævede antagelsen om at  $u_{model} = \alpha * u_{obs}$  at  $k_{model}/k_{obs} = 1$ . Forholdet mellem de anvendte formparametre  $k$  lå imidlertid mellem 1.18 og 0.92.
- Denne undersøgelse har kun set på nedskalering af en observeret vindhastighed; ikke på en eventuel drejning af den til observationen hørende vindretning.
- De fysiske modeller i det anvendte WA<sup>S</sup>P-software forklarer ikke hele forskellen i vindhastighed mellem f.eks. 06159 Røsnæs Fyr og 06169 Gniben.

Af usikkerhedsbetragtningerne ovenfor følger at den anbefalede nedskalering ikke egner sig til erstatning som sådan af den observerede vind ved 06159 Røsnæs Fyr. Eventuelle brugere af en nedskaleret vindhastighed,  $u_{model}$ , skal holde sig for øje at  $u_{model}$  er et beregnet produkt med dertil hørende mulighed for afvigelse fra 'den virkelige verden'.

## 9. Referencer

Cappelen John og Bent Jørgensen. Observeret vindhastighed og -retning i Danmark – med klimanormaler 1961-90. DMI Technical Report 99-13. København 1999.

Cappelen John. Angående vindmålinger på Røsnæs. Internt DMI notat dateret 6.12.2001.

Conradsen Knut. En Introduktion til Statistik. Bind 1A. 5. udgave. IMSOR 1984.

Mortensen, Niels G., Lars Landberg, Ib Troen og Erik L. Petersen. Wind Atlas Analysis and Application Program (WA<sup>SP</sup>). Vol. 1: Getting Started. Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark. Januar 1993a.

Mortensen, Niels G., Lars Landberg, Ib Troen og Erik L. Petersen. Wind Atlas Analysis and Application Program (WA<sup>SP</sup>). Vol. 2: User's Guide. Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark. Januar 1993b.

Mortensen, Niels G., Duncan N. Heathfield, Lars Landberg, Ole Rathmann, Ib Troen og Erik L. Petersen. Getting Started with WA<sup>SP</sup> 7. Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark. September 2001.

Laursen, Ellen Vaarby. Nedskalering af vindhastighed målt ved 06159 Røsnæs Fyr. DMI Intern Rapport 02-04. København 2002.

Stationsfortegnelse og Observationsplan gyldig fra 1. august 1997 for Vejrobservationsposter i Danmark, Grønland og på Færøerne. Danmarks Meteorologiske Institut. Observationsafdelingen.

Stationskatalog. Tabellen 's\_obstype\_stam\_pos' i DMI's klimadatabase Klimadb der opdateres med stationskatalogets oplysninger angående stationsnummer, -navn, -type, -position, -start- samt -slutdato.

Troen, I. og E. L. Petersen. 1989. European Wind Atlas. ISBN 87-550-1482-8. Risø National Laboratory, Roskilde. 656 s.

