

# Beregningsopfølgning for 4 husstandsvindmøller på Djursland 6 kW Thy møller, 7,1 m rotor diameter og 21,4 m navhøjde

Af Per Nilesen

v.0 1-8-2013

EMD International A/S  
www.emd.dk



## Indholdsfortegnelse:

Resultat/opsummering: .....	1
Baggrund .....	2
Datagrundlaget .....	2
Kalibrering af lokal lægiver modellering .....	5
Lægivere ved mølle 12-057 .....	5
Lægivere ved mølle 12-042 .....	7
Lægivere ved mølle 11-024 .....	8
Lægivere ved mølle 11-024 .....	10
Kalibrerings resultater .....	11
Beregningsopfølgning på månedsniveau .....	13
Fra opfølgnings værdier til langtidsforventninger .....	15
Langtids forventninger og variationer – hvad er sandheden? .....	16
Yderligere erfaringer opnået gennem analysen .....	17
Effektkurven .....	19
Sammenligning WASP 9 -11 .....	21

### Resultat/opsummering:

For 4 husstandsvindmøller er energiproduktion beregnet og sammenlignet med faktisk produktion. Beregninger baseret på EMD\_ConWx meso scale vind data time for time passer rimeligt godt med faktisk produktion (indenfor ca. 10% set over hele perioden hvor der er produktionsdata for de enkelte møller). Men det er af stor betydning lokale lægivere lægges fornuftigt ind i beregning. Med tilgang til faktiske produktioner, for to af møllerne på minut basis, har det været muligt at analysere hvorledes lokale lægivere bør indlægges og der gives en illustration af hvordan det er gjort til inspiration for nye beregninger.

En noget overraskende opdagelse i de beskrevne analyser er hvor meget vindindekset (mellemlasse møllernes gns. produktion) falder fra 2009-12 i forhold til tidligere år, relativt til beregninger baseret på Meso scala data. Vi er meget usikre på hvilken "metode" der giver mest korrekt langtidsforventning, og må indtil yderligere analyser er foretaget ty til at anvende gennemsnit fra de to metoder som det vi tror mest på.

Det skal afslutningsvist nævnes at effektkurven anvendt må betragtes som "noget usikker" og synes forskellig for de to møller der har været detaljere-

de data for.

	Faktisk indeks korrigeret	Bestimate	Beregnete værdier		Check
			Gns. af nabo kolonner	20 år EMDConWx	
4 Thy møller	VKP reg.4				
12-057	14,2	13,4	12,6	13,9	96%
12-042	18,5	17,6	16,6	17,7	99%
11-024	15,2	14,8	14,3	15,5	95%
11-003	20,7	19,8	18,9	19,8	100%

Opsummeret resultat tabel. "Bestimate" er det vi tror på som langtidsproduktion. Usikkerhed vurderes i størrelsesordenen 10%.



## Baggrund

Grunden til at netop møller på Djursland er valgt, er at der forud for denne opfølgning er udført et meget omfattende beregnings model validerings eksperiment på Djursland, hvor ca. 137 møller fra 150 – 1500 kW, hvor hovedparten er 600-750 kW, er detailvurderet. Her er Djursland valgt grundet det meget forskelligartede terræn; skove, høje bakker, dale, kystnærhed osv. Her er dels testet:

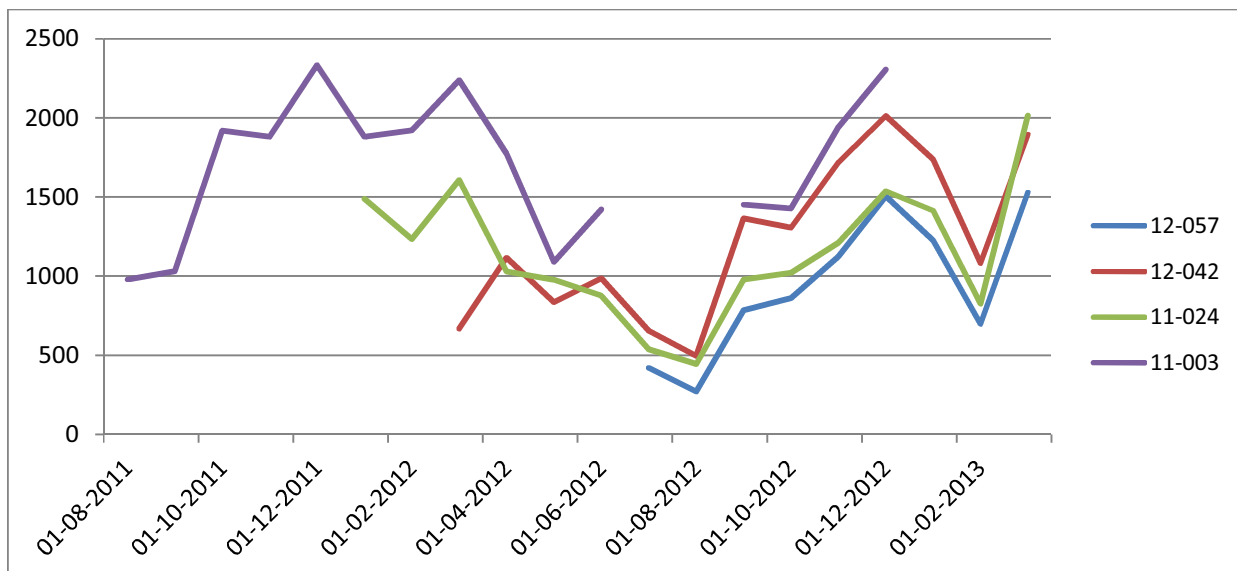
- Forskellige WAsP versioner, herunder WAsP CFD (flow model)
- Forskelligt vinddata grundlag, herunder det nye EMD\_ConWx meso scala model data sæt.

Resultater forventes publiceret på et senere tidspunkt – men det der er godt ved dette forudgående eksperiment er, at modelberegninger og datagrundlag er gennemtestet for området og fundet at fungere rimelig fornuftigt, hvorfor det er interessant at se om dette også gælder for de mindre husstandsvindmøller.

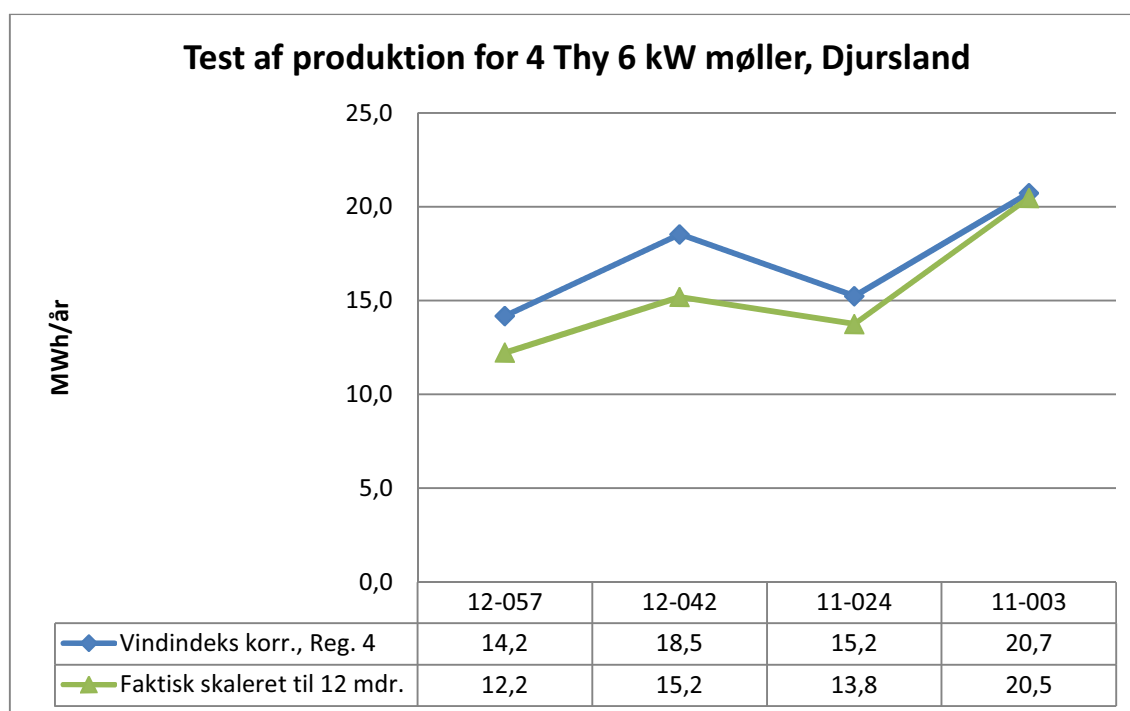
## Datagrundlaget

Thy møllen har velvilligt stillet produktionsdata til rådighed, dels som månedsproduktioner, dels som minut værdier (for 2 af de 4 møller), der kan trækkes fra Thy møllens centrale overvågningssystem.





Grafen viser de månedlige produktioner for de 4 møller, der er startet op på forskellige tidspunkter. Det ses at produktioner nogenlunde følges ad måned for måned, men med store afvigelser måned for måned som følge af vindvariationer.



Her ses produktioner omregnet til årsværdier, dels som simpelt gennemsnit, dels med vindindeks korrektion. Den mølle der har kørt længst tid har stort set identisk faktisk og indeks korrigeret produktion, mens dem der har kørt korteste perioder har væsentlig højere indeks korrigeret produktion (grundet ringere vindforhold det seneste års tid). Det viser styrken ved vindindeks korrektion – at man baseret på relativt korte produktionsperioder, kan forudsige forventet langtidsproduktion. MEN, og det vendes der tilbage til senere; vindindekskorrektionen er ikke nødvendigvis korrekt – især når det handler om så små møller. Måneder med produktioner der ligger <60% af det forventede er ikke medtaget i de viste data, da disse



meget ringe måneder antages at skyldes reduceret drift som følge af tekniske eller andre problemer.

Bemærk at forskellen mellem møllernes produktion er stor. Vindindeks korrigeret, producerer den bedste 6,5 MWh mere end den ringeste, det er hele 46% mere, trods det at de to møller kun er placeret med 3,5 km afstand – det skyldes lokale terrænforhold, hvor både forskel i ruhed og terrænhøjde, men frem for alt lokal lævirkning spiller ind. Det er derfor det er så væsentligt at kunne beregne en produktion rimeligt præcist før man beslutter at opstille en husstandsvindmølle.



Placeringen af de 4 møller, 3 nord for Grenå og én tæt ved Randers Fjord.

Terræn input til beregningsmodellen er:

Højdedata – her anvendes KMS 5 m konturlinjer

Ruhedsdata – her anvendes EMD's digitale ruhedskort

Lokale lægiver – er specifikt digitaliseret omkring de 4 møller, mere herom senere.

Vinddata:

Her anvendes dels

Den normalt anvendte Vindstatistik DK'07 fra EMD

EMD\_ConWx Meso scala data

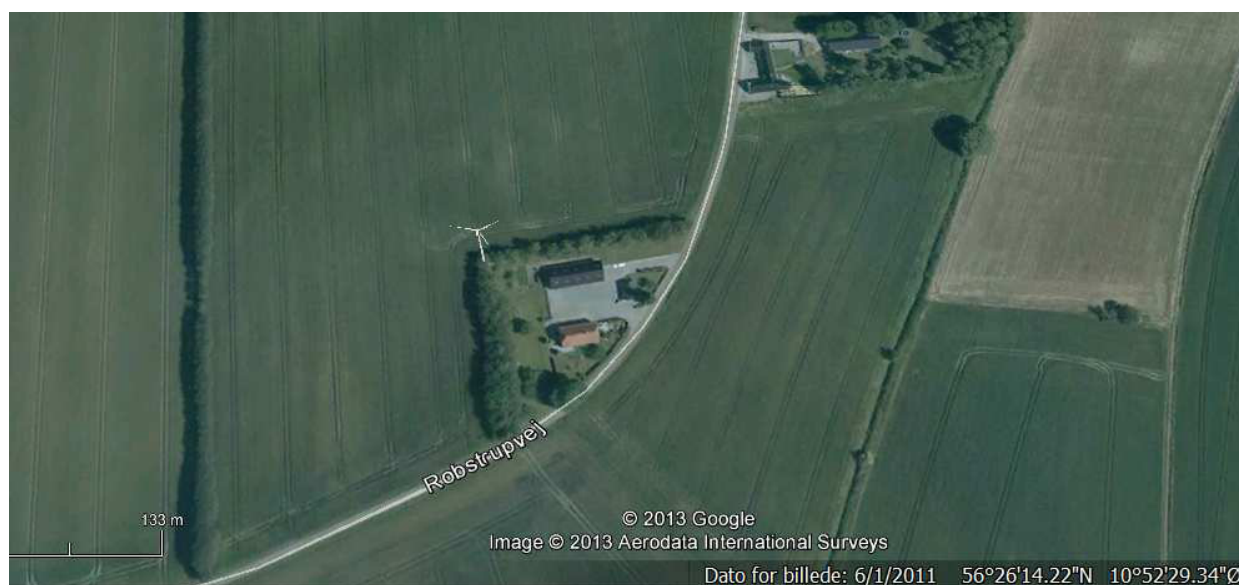


## Kalibrering af lokal lægiver modellering

Med tilgang til minutbaserede produktionsdata (som aggregeres til time værdier), og beregninger baseret på EMD\_ConWx time vinddata, er det muligt meget detaljeret at analysere virkningerne af de lokale lægivere og derved at prøve sig frem med hvor langt ud man skal have lægivere med, samt hvilken højde og porøsitet man bør vælge. Dette kan gøres via det nye Performance Check modul i WindPRO programmet. Her kan man se effekten af ændringer retningsopdelt, og dermed fintune de enkelte lægivere ud fra forholdet mellem beregnet og faktisk produktion, retningsopdelt.

Der er skrevet mange "papers" gennem årene omkring emnet, og det man er nogenlunde enige om er at de lokale lægivere skal lægges ind med en højde mellem 2/3'dele og 1/1 højde i forhold til lægiverens fysiske højde. Det er dog ikke altid let at fastlægge den fysiske højde af fx et læhegn eller et mindre skovområde, da træhøjden er varierende. Det er heller ikke altid let at lægge områdernes udstrækning ind præcist, da man er begrænset til at lægge rektangler ind – og nogle bevoksninger er langt fra rektangler.

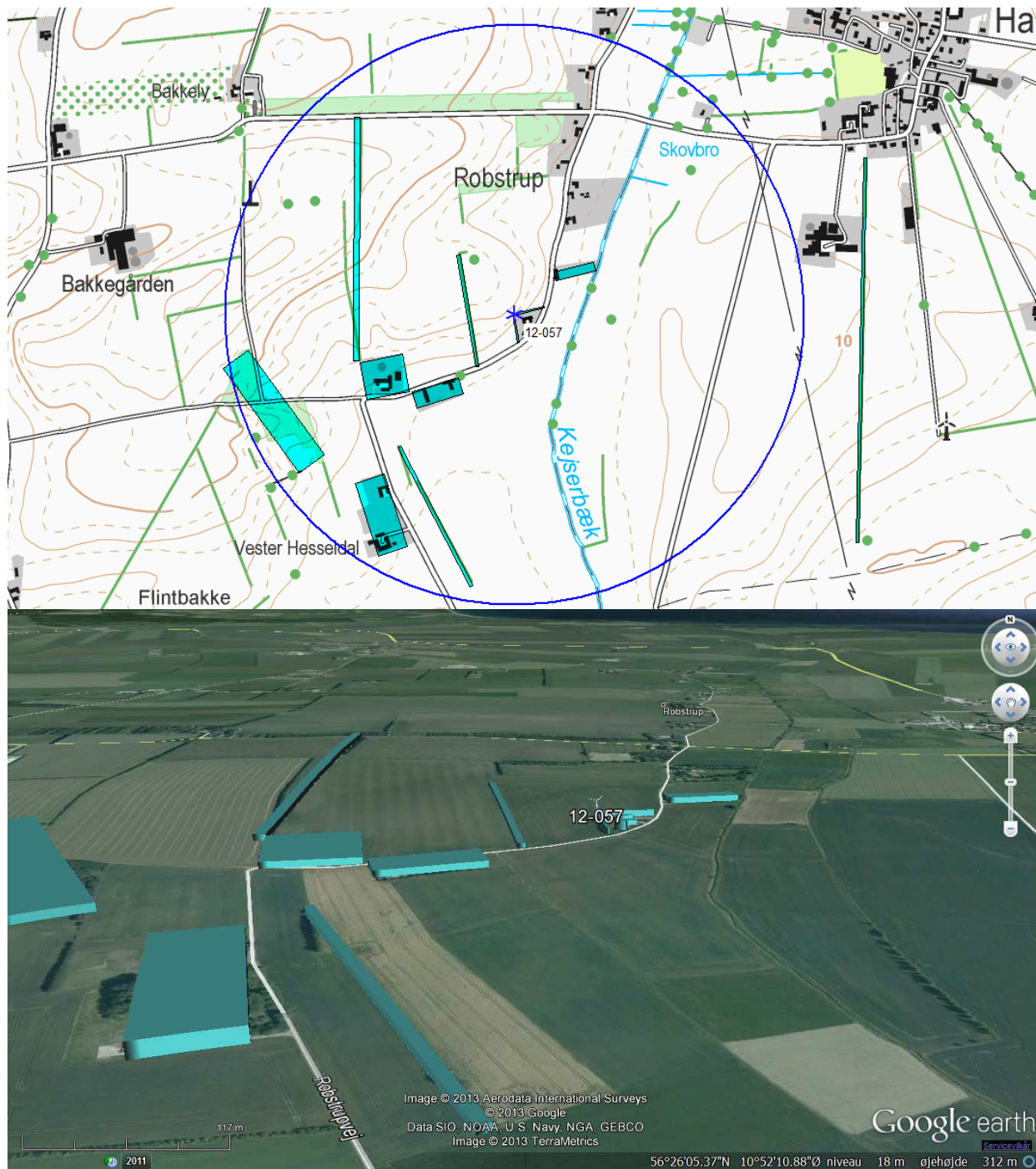
### **Lægivere ved mølle 12-057**



Her ses mølleplacering – der er kraftige læhegn tæt ved mølle. Disse er lagt ind med 8m højde og 0,2 i porøsitet.





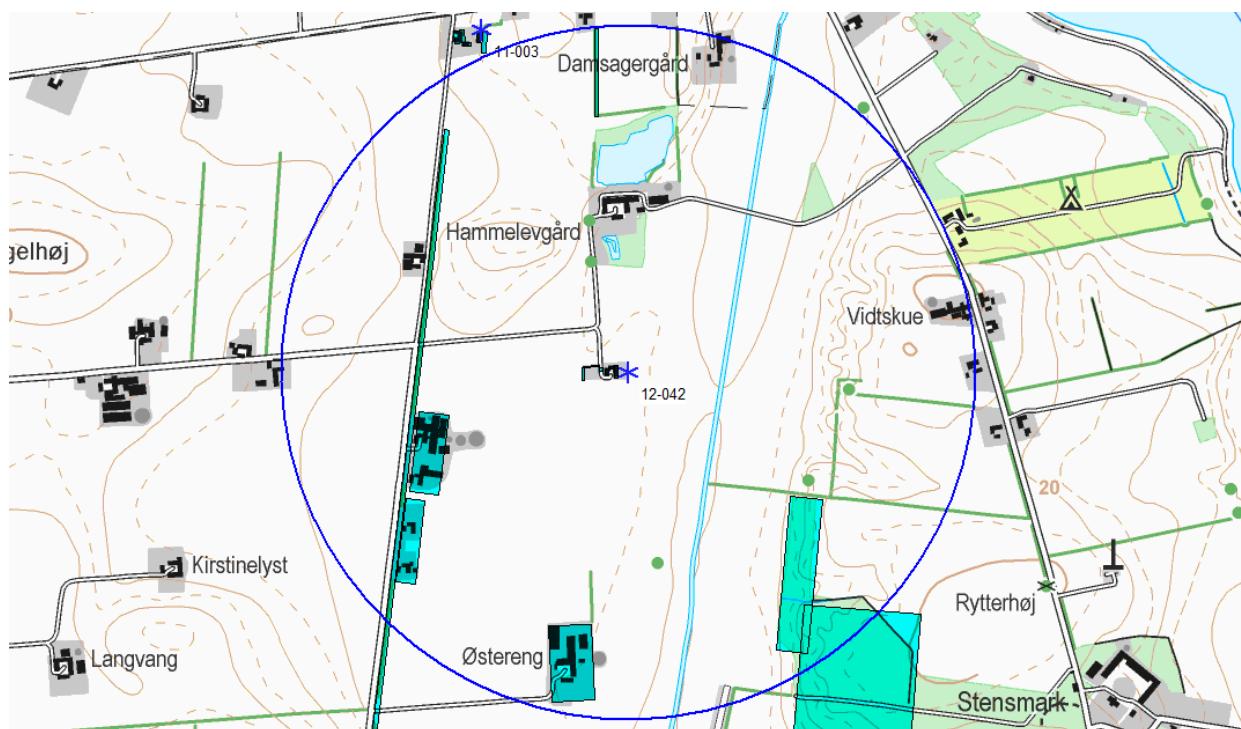


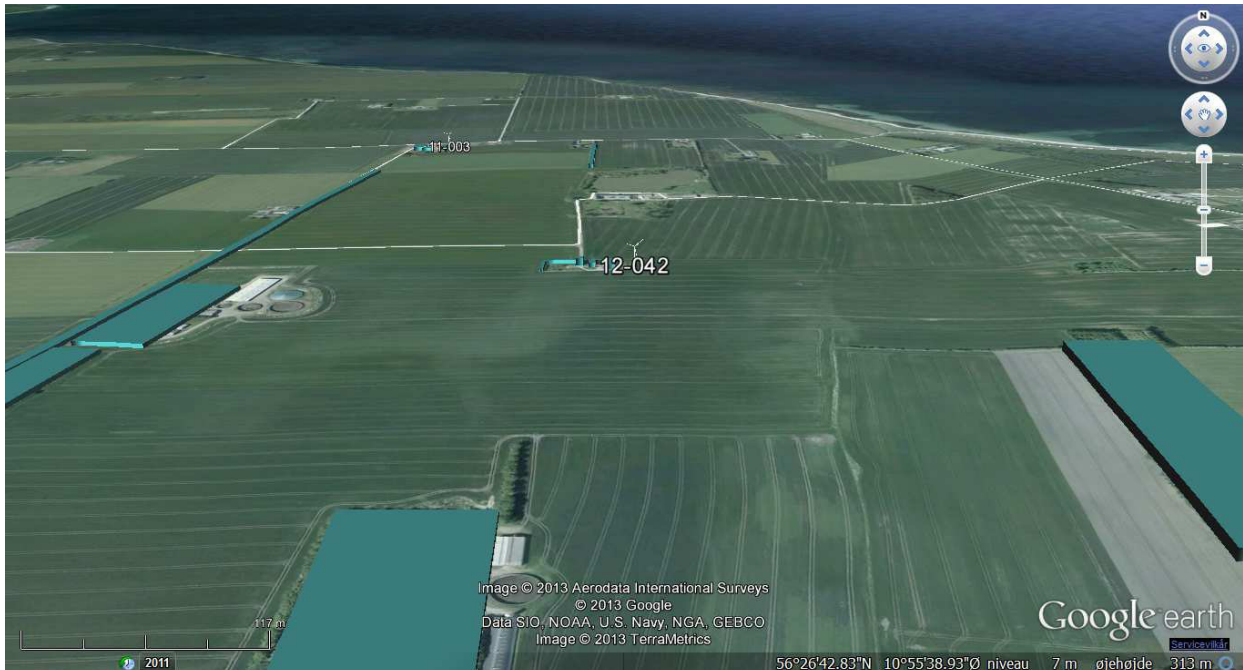
De øvrige lægiverne, ud til 750m afstand er lagt ind. Højden er generelt ca. som antaget højde af elementet. Enkelte lægiverne mon nord er ikke lagt ind da det er en meget sjælden vindretning (men det bør de reelt for fuldstændighedens skyld).

## Lægivere ved mølle 12-042



Denne mølle har et markant højt træ mod vest, men ellers generelt lave læhegn nær bygninger. Disse er lagt ind med 4 m. Det høje træ med 8m højde og 8 x 8 m i udstrækning, porøsitet 0,3. Desuden er bygninger lagt ind med 5 m højde, porøsitet 0.





De fjerne lægiverer har også stor betydning, typisk højde for skovområder 8m, porøsitet 0, og for blandet bebyggelse med lidt træer, 4 m og porøsitet 0,3.

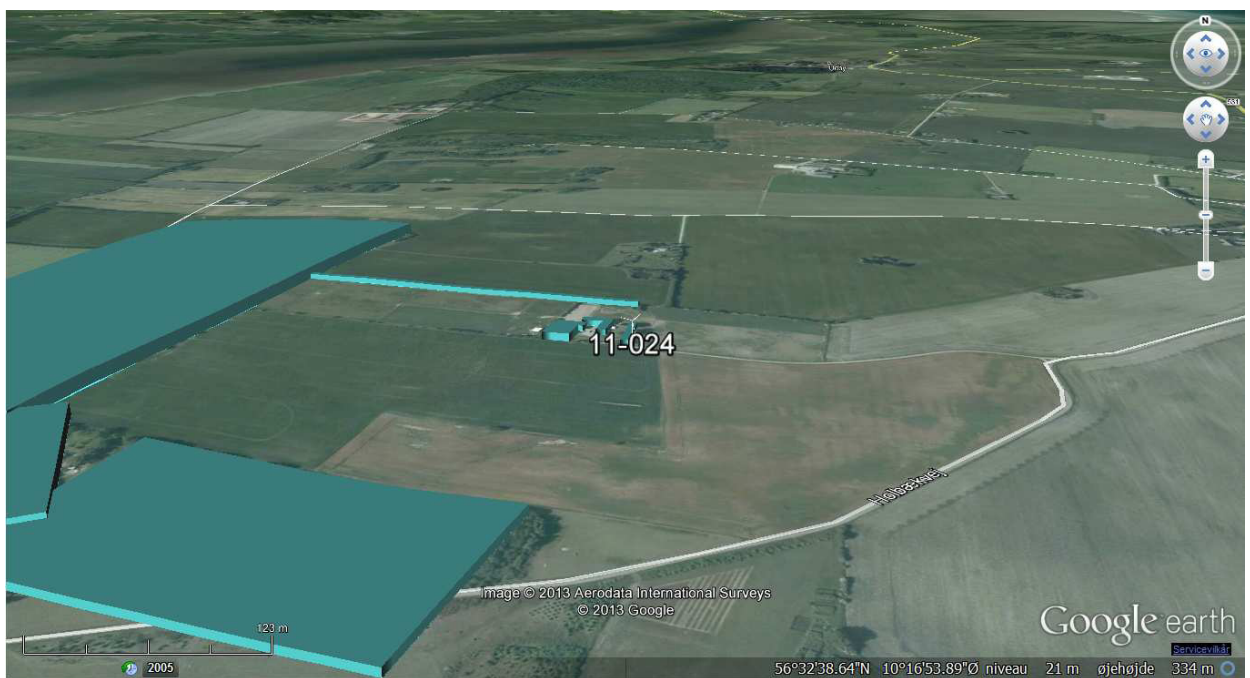
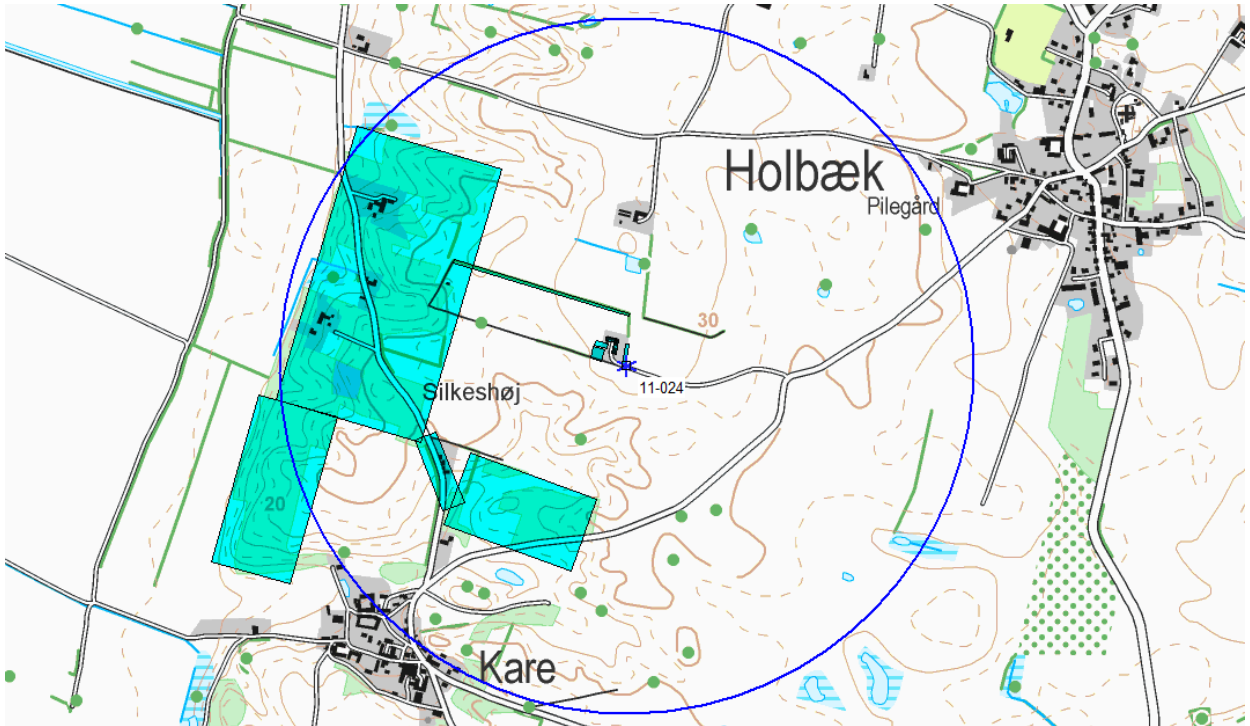
### **Lægiverer ved mølle 11-024**



Her er noget blandet bevoksning nær mølle. De store træer mod vest er lagt ind med 7 m højde, porøsitet 0. Træer lige nord for mølle højde 5 m porøsitet 0,5. Bygninger er ligeledes lagt ind.







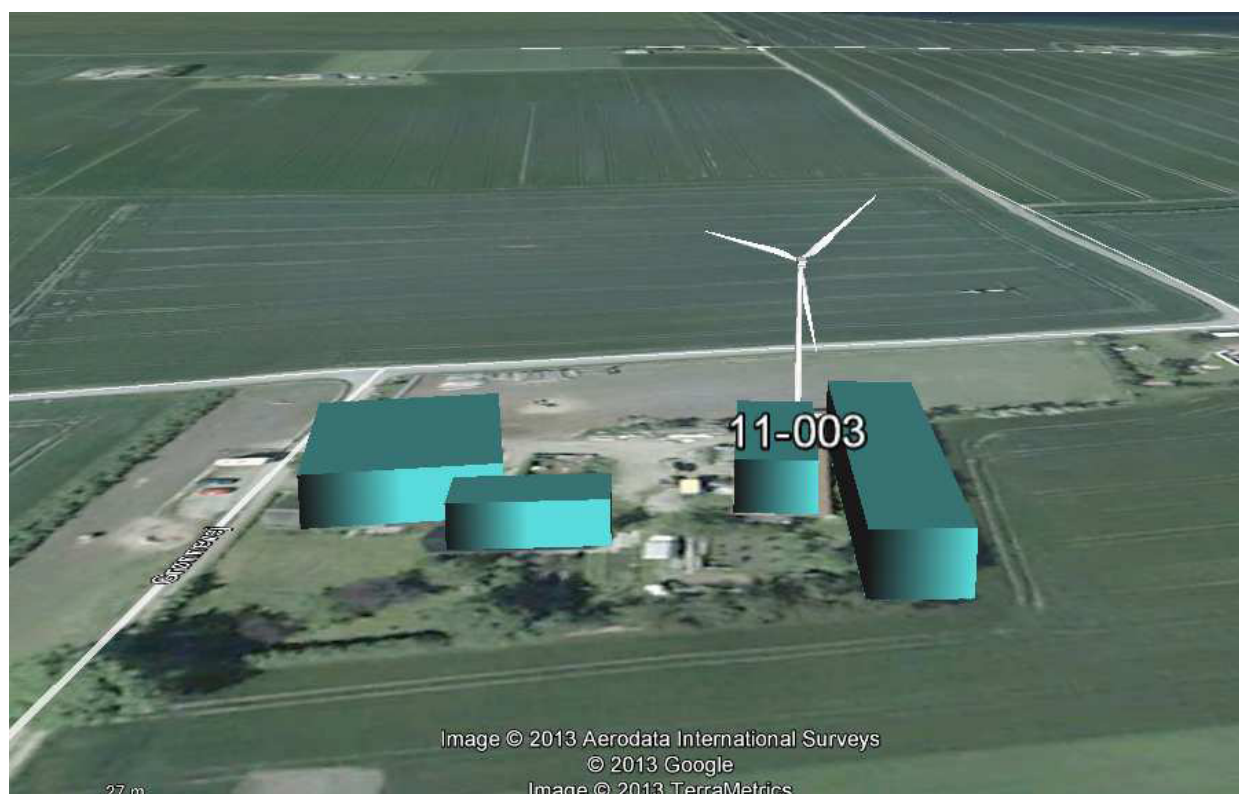
De fjerne lægiverne synes her ret markante – dækker store områder med kraftig bevoksning. Er lagt ind med 10-12 m højde.



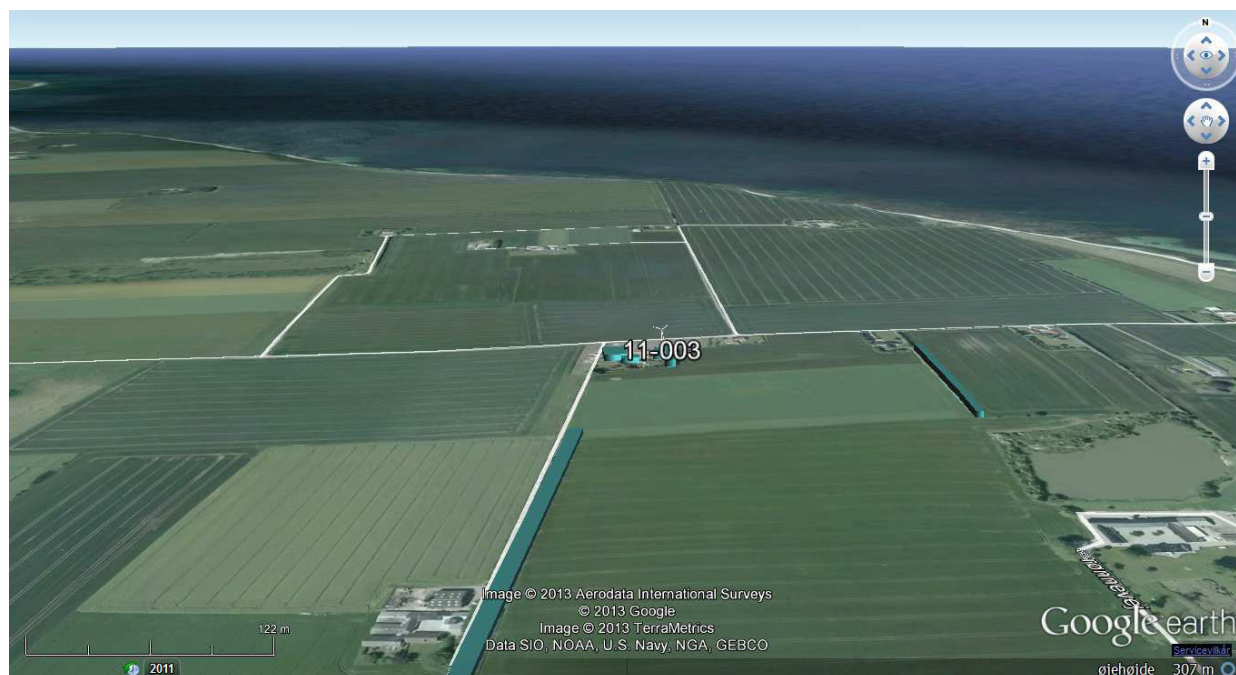
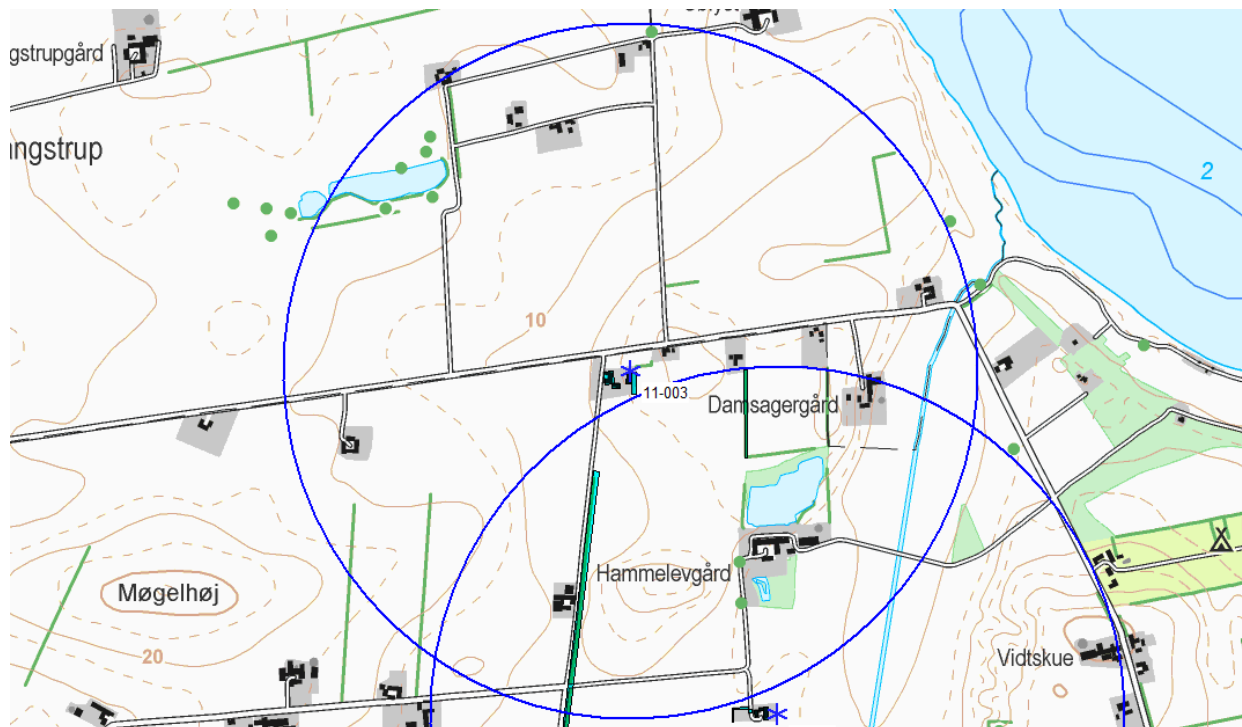
## Lægivere ved mølle 11-024



Nogen bevoksning syd for møllen, men ellers få træer i nærområdet.



Her et nærbillede af hvordan lægivere er lagt ind. Træer syd for 7m por. 0,2. Bygningerne 5-6 m.



Den klart mest åbne af de 4 placeringer, men meget lidt læbeplantning, og nærhed til kyst.

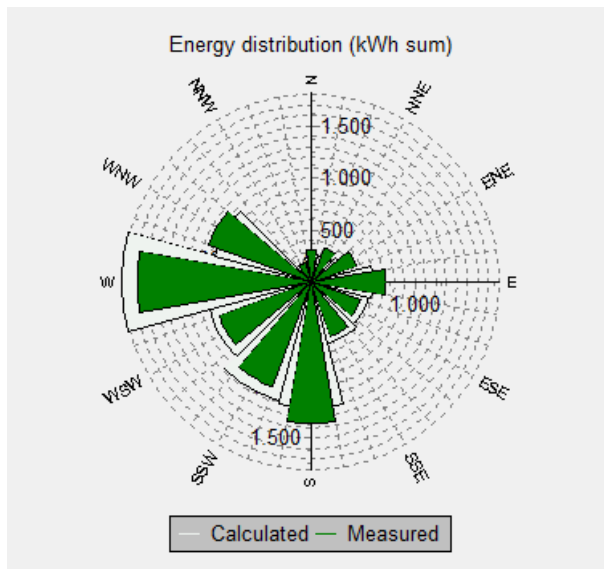
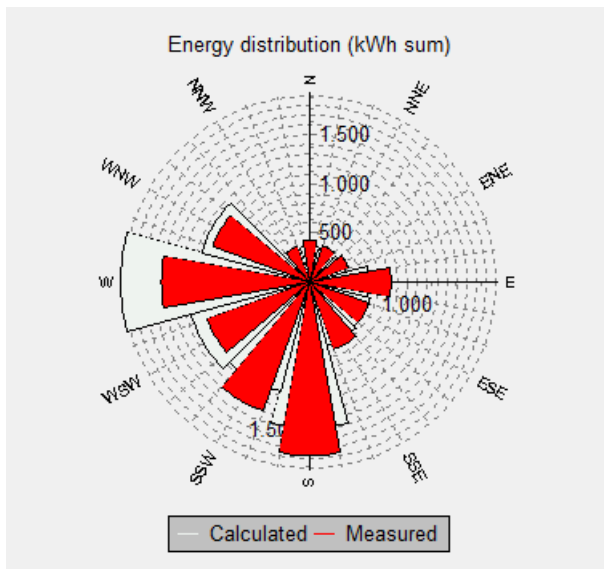
### **Kalibrerings resultater**

Lægiverne er justeret flere gange undervejs i beregningen. De viste skal således ses som et "kalibreringsresultat", der kan bruges til inspiration for andre nye placeringer.

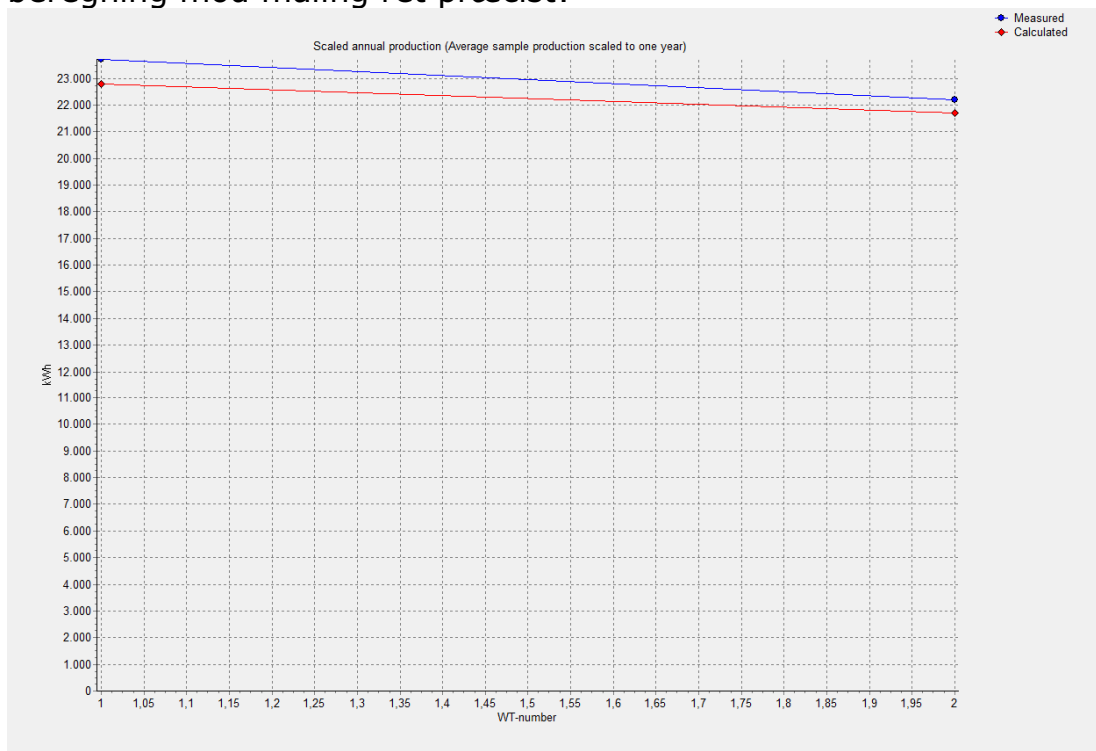
Det er kun for de to møller med minut data, detail kalibrering kan foretages – erfaring herfra er anvendt for de to andre.







12-042 med rød og 11-024 med grøn. Der er langt fra perfekt overensstemmelse mellem faktisk og beregnet retning for retning. Det har imidlertid andre årsager end manglende præcision i lægiver modellering. De anvendte meso scala vind data er taget for eet punkt midt på Djursland, og "renset" med det terræn, der "tilfældigt" er lige omkring modelpunktet. Det giver noget skævvridning i forhold til retninger, som vi i næste software version arbejder på at kunne eliminere (downscaling). Som det ses overvurderes konsekvent i vest og der undervurderes konsekvent i øst og syd sektor – dette skyldes dette fænomen. Som gennemsnit passer beregning mod måling ret præcist:

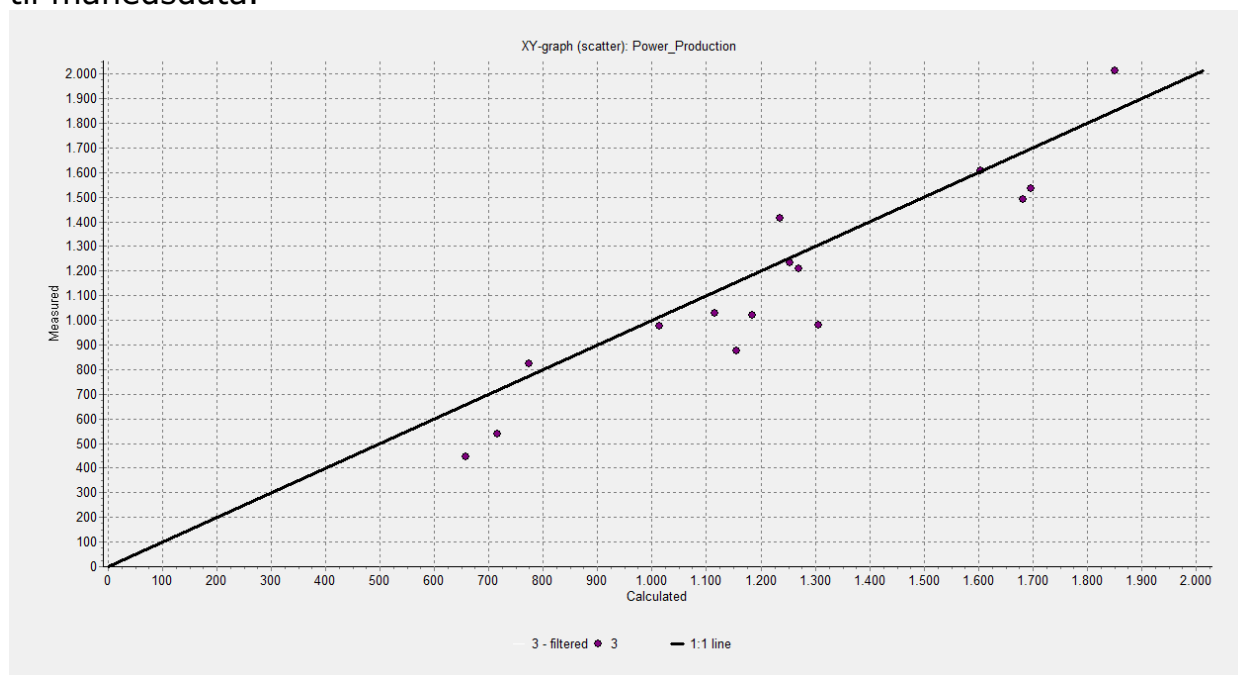


Punkter tv. er mølle 1 (12-042) og til højre mølle 2 (11-024) – som det ses beregnes næsten præcist som målt for alle de timer, hvor der er samtidige målinger og beregninger på time niveau.

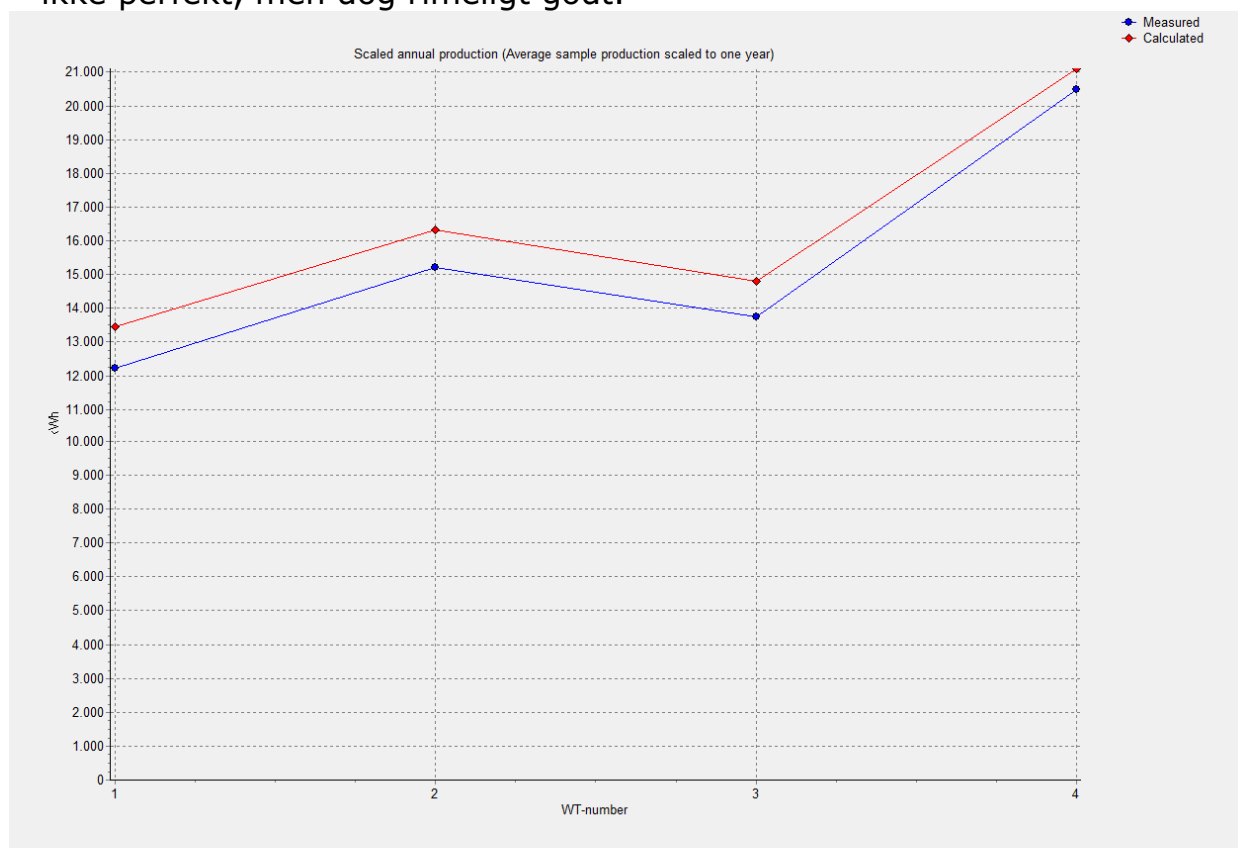


## Beregningsopfølgning på månedsniveau

Nu da vi har kalibreret beregningsopsætning (lagt lægiverne "fornuftigt" ind), for alle 4 møller, beregnes time for time for en 2 årig periode, og programmet aggregerer selv beregninger på månedsniveau, så vi kan sammenligne til månedsdata.



Her ses et eksempel på hvordan beregnet og målt passer måned for måned – ikke perfekt, men dog rimeligt godt.

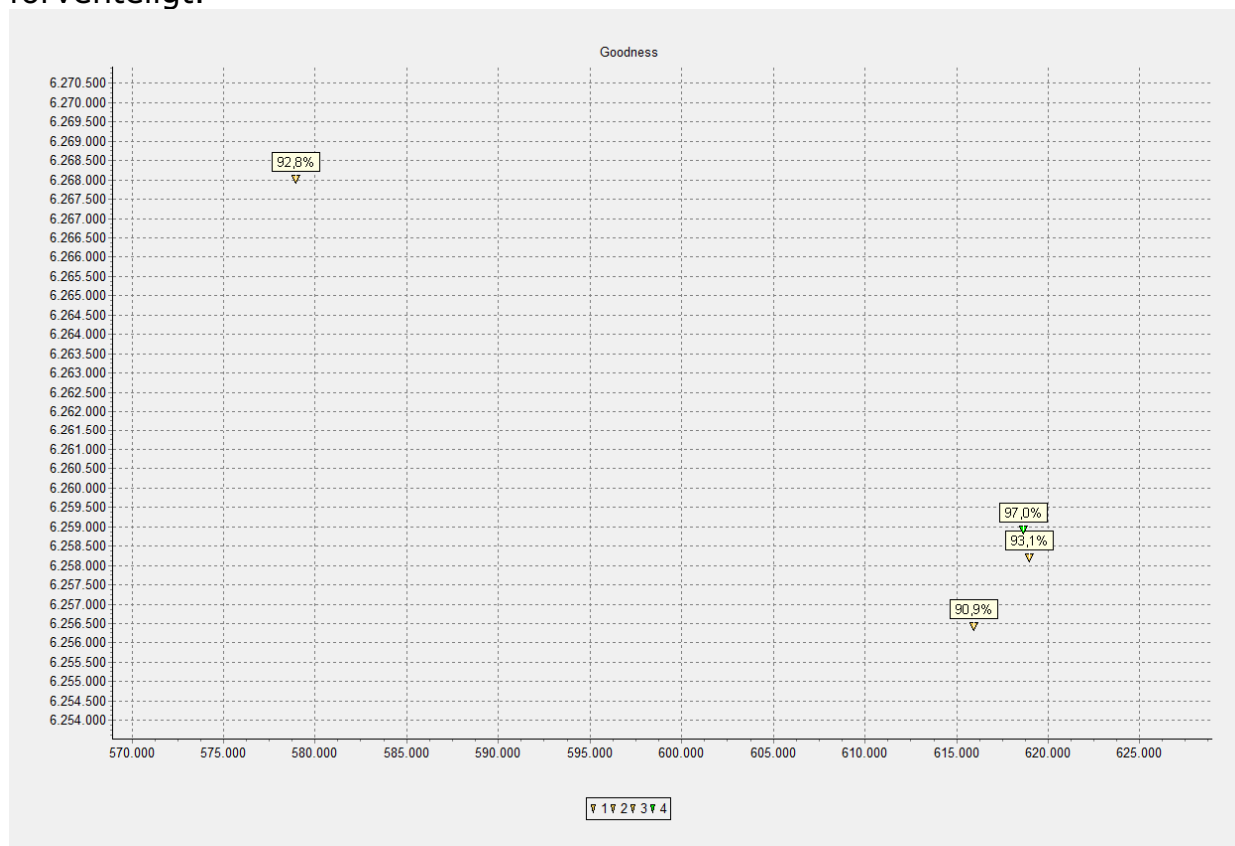


Ser man på de summerede værdier for hver af de 4 møller ses at model





fanger forskelle fra mølle til mølle ganske pænt. Der beregnes dog konsekvent lidt højere end der er målt, hvilket er forventeligt, da der er udetider der reducerer produktionen. I gennemsnit ca. 6% hvilket er forventeligt.



En anden præsentation fra performance Check modulet viser godhed (faktisk/beregnet, for de 4 mølleplaceringer – fra 91% til 97%. Det må siges at være en acceptabel beregningsnøjagtighed. Generelt anbefales fradrag på 10% fra beregning for økonomisk vurdering til at dække udetider andre tab og beregningsusikkerhed. Dvs. alle 4 møller holder sig over beregningsværdi med dette fradrag. Det er ganske tilfredsstillende. Det er naturligvis påfaldende at den mølle der står mest frit klarer sig bedst – det kunne indikere at lægiverene generelt er lagt ind med lidt for små højder. Da der er anvendt mellem 2/3 og 1/1 højde, bør anbefalingen være at lægge lægivere ind med 1/1 højde, hvilket må vurderes at give det mest præcise resultat.

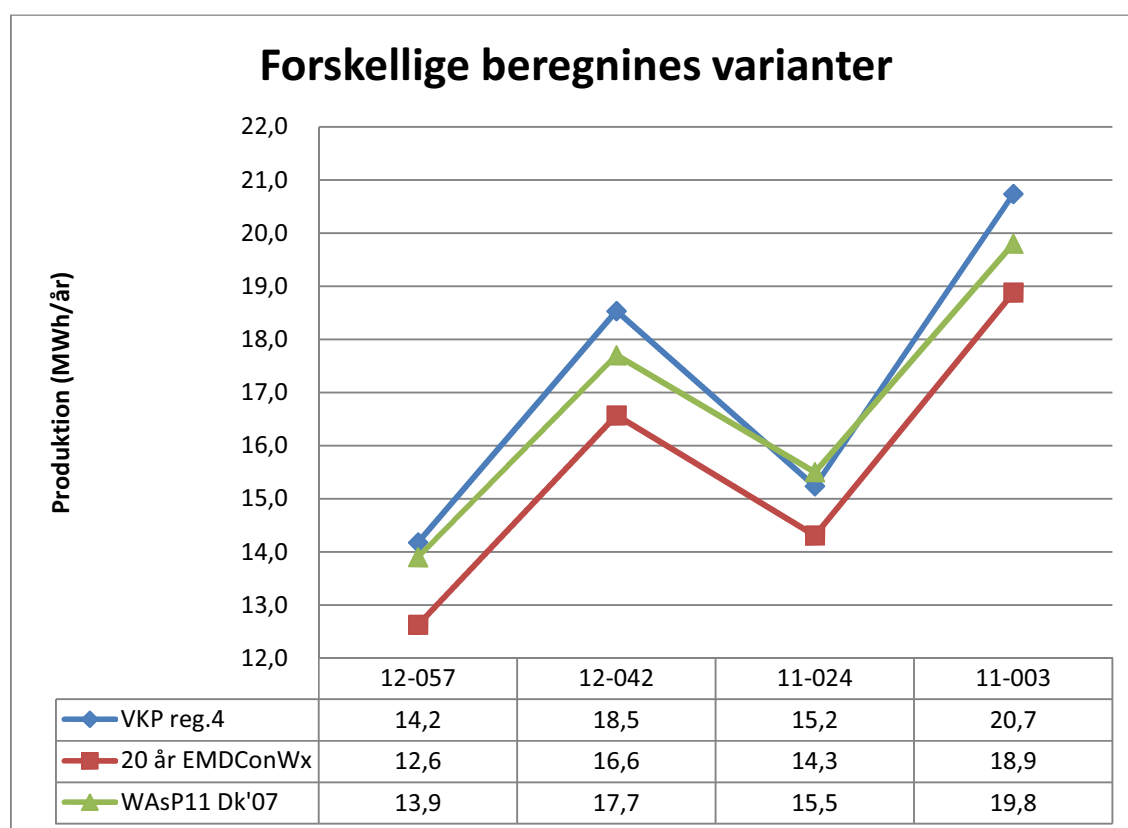
Hvis man undrer sig over at time beregningsopfølgning gav lidt højere faktisk end beregnet produktion, og omvendt ved månedsopfølgning, vurderes dette at skyldes at der i timedata dels er en mindre præcis måler (kalibreringsproblem), dels at timeværdier typisk "falder ud" når møllen "falder ud" og der derfor i timeværdiopfølgning ikke er rådighedstab til at reducere produktion.



## Fra opfølgnings værdier til langtidsforventninger

De værdier der er vist i beregningsopfølgning, repræsenterer "tilfældige" måneder (de måneder, der er data for). Skal man ud fra opfølgningen nå frem til forventet langtidsproduktion, skal man anvende det beregnings setup, som har vist at reproducere de måneder med data "fornuftigt". Herefter regner man på alle 20 år (1993-2012) hvor der foreligger EMD\_ConWx data og får dermed en 20 års prognose – bagud. Om der så vil være den samme vind de kommende 20 år som de forudgående, kan ingen vide, men det vil nok være det bedste bud.

En anden metode, som dog nok er mindre sikker, er at vindindeks korrigerer, hvor resultater blev vist indledningsvist. Grunden til at denne metode må forventes mindre sikker er, at vindindekset er tilpasset mellemklasse møller, typisk 30-50m høje møller. At anvende dette på husstandsvindmøller omkring 20m kan give en skævvridning, hvis der har været enten en høj eller lavvindsperiode.



Her ses beregningsresultater, hhv. den simple vindindeks korrektion af faktiske månedsproduktioner, beregnet time for time i 20 år med EMD\_ConWx data og endelig beregning med "standard" vindstatistik, DK'07.

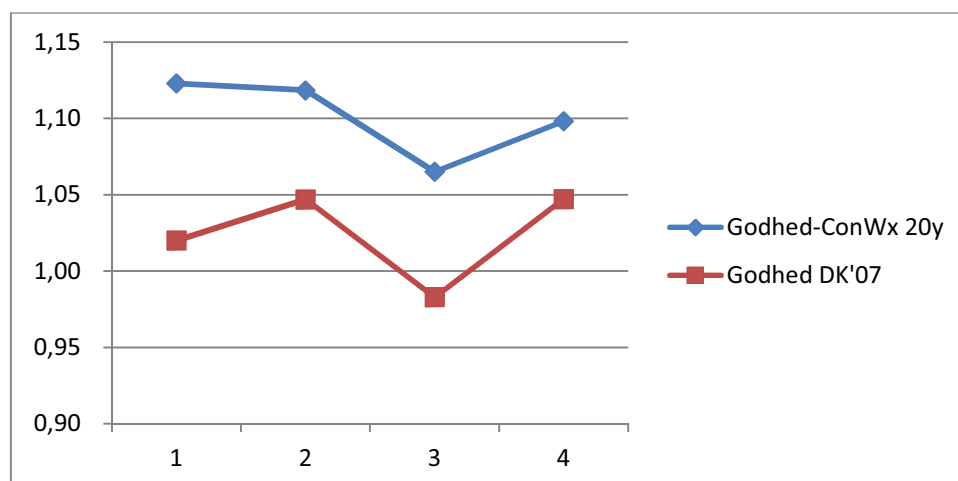
Lidt overraskende, ligger 20 års EMD\_ConWx beregninger noget lavt! At forklare dette er ikke helt ukompliseret, hvorfor dette beskrives i separat kapitel.



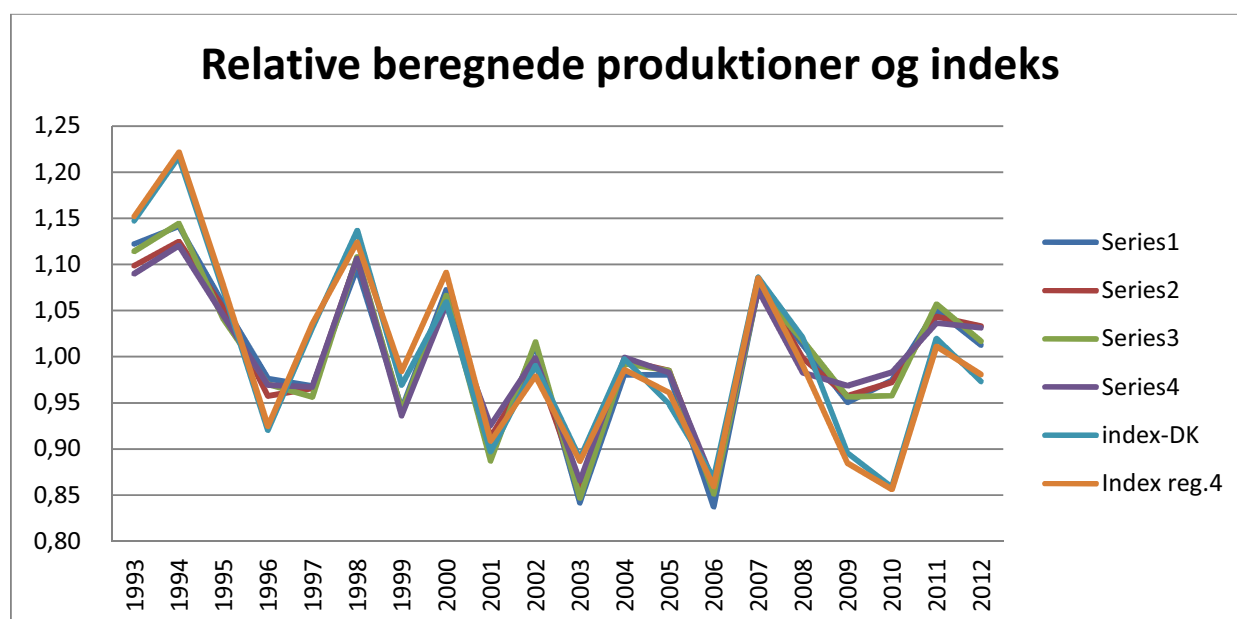
## Langtids forventninger og variationer – hvad er sandheden?

Som det fremgik af forudgående beregninger, kom der noget forskellige resultater ud af hhv. vindindeks korrektion, WASP standard beregning og den mere avancerede time for time beregning i 20 år.

Sammenfattende kan resultater for de 4 møller ses nedenfor:



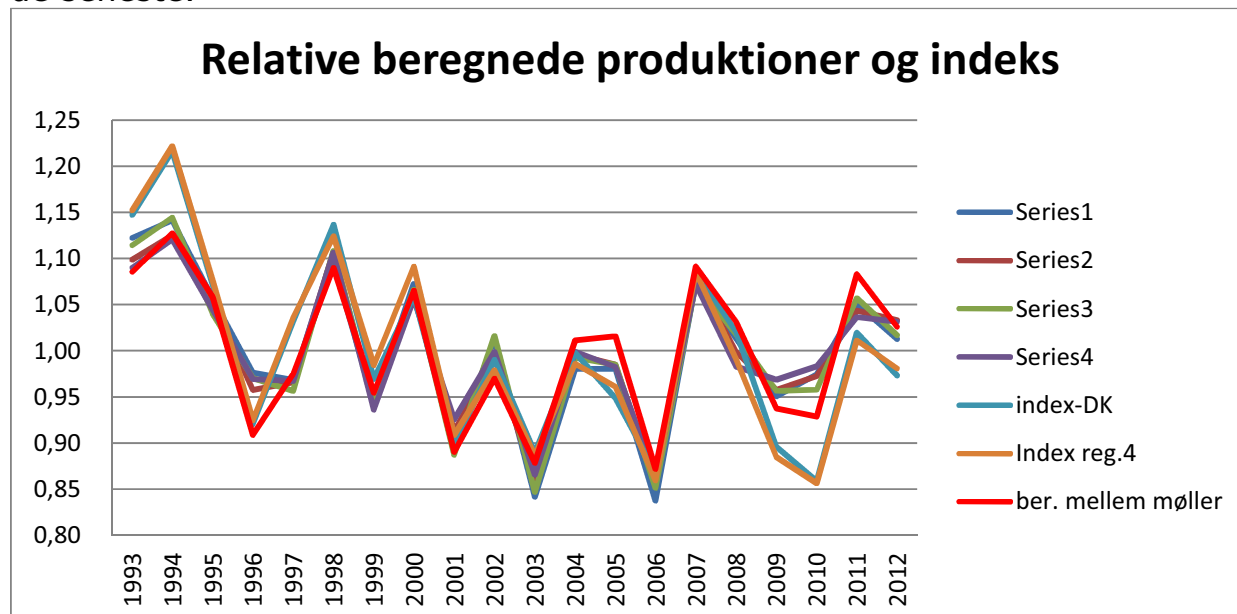
Hvis den vindindekskorrigerede produktion betragtes som "sandheden", vil godheder baseret på DK'07 vindstatistik være omkring 1,02 i snit – ganske fornuftigt, og i god overensstemmelse med hvad de større møller i området viser (godhederne for de kystnære er generelt højere end dem længere inde i landet, præcist som der ses her – mølle 3 er "indlandsmøllen"). Men med 20 års EMD ConWx data er godheden i gns. 1,10 (1,08 hvis man medtager at vindindeks seneste 20 år er 98% og korrigerer herfor), altså tyder det på noget undervurdering af produktionen – eller gør det?



Ser man på de 20 års beregnede produktioner for de 4 møller sammenholdt med 20 år vindindeks, så sker der noget markant de senere år, 2009-12.



Mens indeks og beregnet produktion følges fint de forudgående år, afviges de seneste.



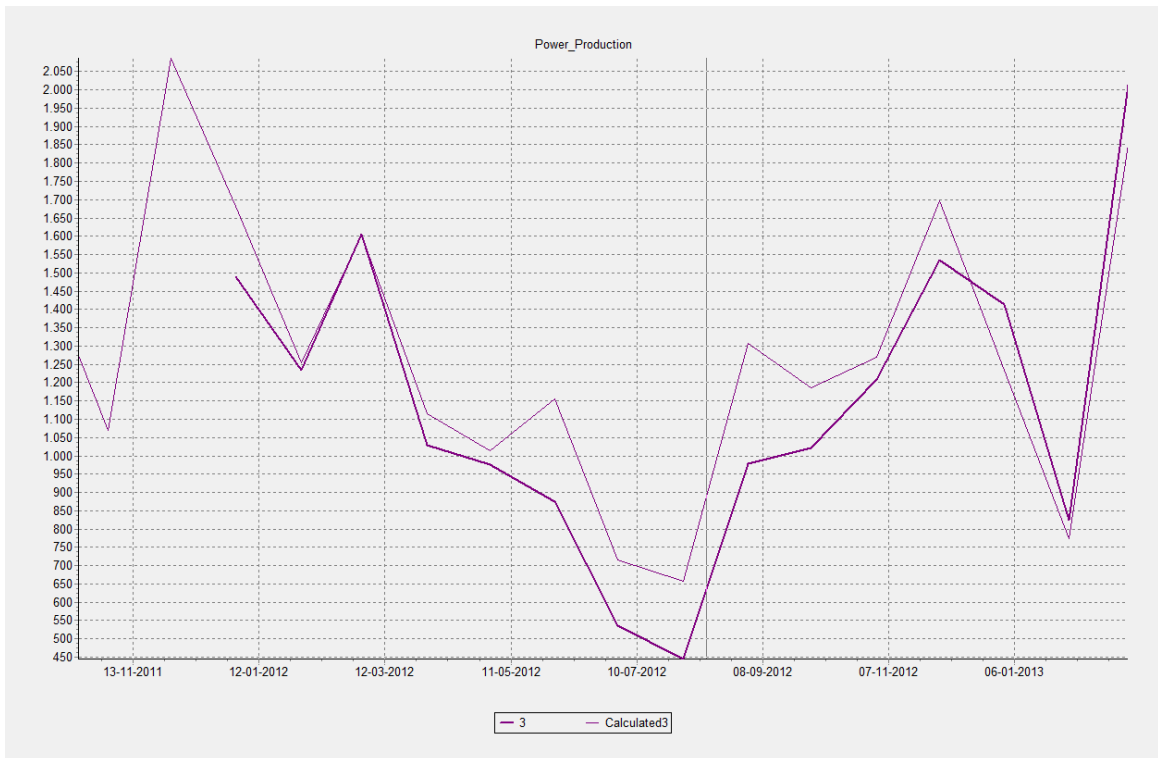
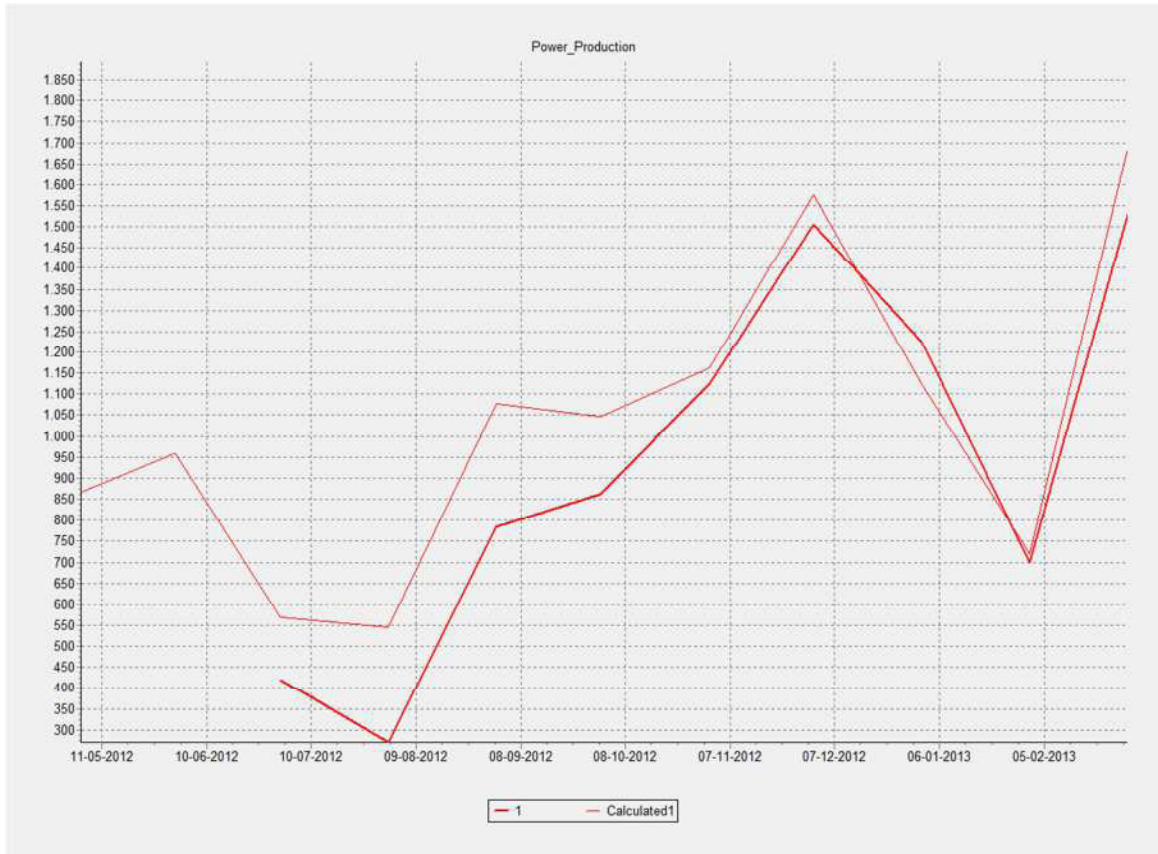
Her er medtaget tidsvariende beregning for mellem størrelses møller på Djursland. Som det fremgår passer denne beregning (baseret på EMD\_ConWx) ikke så godt med indeksvariationer. Det store spørgsmål er så om det er mølleproduktioner og dermed indeks, der er faldet op mod 5% i gns. de senere år grundet ælde (+ evt. voksende ruhed), eller det er EDM\_ConWx data der er skredet i opadgående retning grundet model problemer/ændringer i data? Det har vi udført mange analyser til belysning af, men vi kan endnu ikke konkludere entydigt. Fornemmelsen er at det er lidt begge dele. Det betyder indtil videre, at vi som bedste bud må antage et gns. af EMD\_ConWx metode og vindindeks korrektion er det vi med størst sikkerhed kan stå inde for.

## Yderligere erfaringer opnået gennem analysen

En interessant detalje, der blev erfaret gennem beregningsøvelserne var at anvendelse af EMD\_ConWx 75m data, som var anvendt til de store møller, gav en klar dag/nat bias, da der blev set på timeværdier. Dette skyldes stabilitetsforhold, som er meget forskellige dag/nat. Ved at skifte til EMD\_ConWx 25 m data forsvandt denne bias. Dette viser en klar styrke ved meso scala data, at man her har et datasæt, der også håndterer stabilitetsforhold ret præcist.

Den mølle, der klarede sig dårligst i beregning (12-057), er præsenteret nedenfor med månedlige faktiske (tyk linje) og beregnede (tynd linje) værdier. Det ses at møllen de første 4 måneder markant underperformer i forhold til beregning, hvorefter målt og beregnet passer meget fint overens. Det indikerer at der har været indkøringsproblemer, som er blevet løst undervejs, og at møllen fremover kan forventes at leve op til beregnet produktion ud fra det beregnings setup, der her er opstillet.





Ser man imidlertid på en af de andre møller, men længere driftsperiode, kunne man fristes til at antage det er et vinddata eller model problem. Her ses at det markant er i lavvindsmånederne (sommer), der beregnes for højt, mens høJVindsmåneder generelt passer meget bedre. Her er således noget at udforske nærmere. En tanke kunne være at det er de højere

