

Kunskapsinventering

Kring vindar och vindkraft i skog

ER 2008:21



Böcker och rapporter utgivna av Statens
energimyndighet kan beställas från
Energimyndighetens publikationsservice.
Orderfax: 016-544 22 59
e-post: publikationsservice@energimyndigheten.se

© Statens energimyndighet
Upplaga: 500 ex

ER 2008:21

ISSN 1403-1892

Förord

För att öka andel förnybar energi och bidra till klimatmålen utgör vindkraften en mycket viktig del. Sverige har goda förutsättningar för vindkraft. Det finns stora ytor att bygga på och vindarna är i många lägen goda. Den vindkarteringen som Uppsala universitet har genomfört på uppdrag av Energimyndigheten visar på att potentialen är förhållandevis stor i skogslandskap och lokalt på höjdområden norra Sverige. Omfattande projektering och utbyggnad pågår redan i dessa områden men erfarenheterna är ännu begränsade. Den som investerar och bygger måste kunna prognostisera produktionen. Det gäller att hitta rätt tornhöjd som ger rätt avvägning mellan kostnad och elproduktion. Vindkraftverken ska hålla för den turbulenta miljön i skogen men inte byggas onödigt kraftiga och därmed onödigt dyra. Som en inledning inför utökade forskningssatsningar har Energimyndigheten tagit fram denna rapport för att ge en tydlig bild över aktuellt kunskapsläge över vindkraft i skogsområden samt beskriva de områden där kunskapen behöver ökas för en omfattande utbyggnad av vindkraften.

I utformningen av rapporten har följande personer deltagit; Fredrik Dahlström, Christina Bergström, Anders Björck samt Maria Danestig från Energimyndigheten samt Staffan Engström, Ägir konsult AB, Jonathan Hjorth, VindStrategi och Hans Bergström, Uppsala Universitet.



Fredrik Dahlström
Verksamhetssamordnare för vindkraft

Innehåll

1	Sammanfattning	7
2	Hur de större aktörerna behandlar vindkraft i skog	9
2.1	Anders Rylin, Stena Renewable:	9
2.2	Magnus Mattson, RES Skandinavien	9
2.3	Staffan Niklasson, Vindkompaniet	10
2.4	Thomas Stalin, Vattenfall Vindkraft	10
2.5	Gert-Olof "Måns" Holst, Triventus	10
3	Sammanställning av mätningar av vind i svensk skogsterräng	11
4	Befintliga vindkraftverk i skogsterräng i Sverige	15
4.1	Skåne län	16
4.2	Kronobergs län	18
4.3	Hallands län	19
4.4	Västra Götalands län	20
4.5	Dalarnas län	25
4.6	Jämtlands län	30
4.7	Västerbottens län	32
4.8	Norrbottnens län	33
4.9	Jämförelser mellan uppnådd elproduktion och olika parametrar	34
4.10	Diskussion och slutsatser	38
5	Befintliga vindkraftverk i skogsterräng utomlands	41
5.1	Tyskland	41
5.2	Storbritannien	52
5.3	Finland	53
5.4	Diskussion	55
6	Sammanställning av litteraturuppgifter om vakeffekter i skogsterräng	57
7	Tillämpning av IEC-standarden	59
8	Tillgängliga metoder för fjärranalys av vind	61
8.1	Teknik	61
8.2	Mätmetod, skillnader och kvalitet	62
8.3	Yttäckande lidar	62
9	Sammanfattning av kunskapsläge och bedömt forskningsbehov	65
9.1	Vindar över skogsterräng	65
9.2	Vakeffekter	66
9.3	Produktionssamband	66
9.4	Lastsituation	67

10	Förslag till forskningsprojekt i anslutning till vindkraftverk byggda i skog	69
10.1	Pågående projekt.....	69
10.2	Förslag till projekt.....	69
11	Referenser	72

1 Sammanfattning

I rapporten redovisas kunskaps- och forskningsläget gällande vindar över skog och vindkraftverk påverkade av skog.

Intervjuer med de större vindkraftaktörerna i Sverige visar att skogen fortfarande upplevs som en osäkerhet vid projektering av vindkraftverk.

Vid verifieringen av Uppsala Universitets vindkartering av landet användes data från sextio mätmaster, med vilkas innehavare särskilda avtal hade tecknats. Dessa master har förtecknats i rapporten.

I rapporten redovisas produktion och övriga erfarenheter för omkring femtio svenska vindkraftverk uppförda i eller i anslutning till skog. Några av ”skogsverken” står på öppen mark men är påverkade av skog i omgivningen. De allra flesta står dock i renodlade skogsområden, oftast på kullar och andra höjdsträckningar. Som en sammanfattande slutsats av det här redovisade materialet kan konstateras att prognoserna beträffande produktionen är säkrare för verk i skog än vad som gäller för samtliga verk i landet. Möjligen är detta en följd av att skogsprojekten är större och därför har större budget för vindmätningar och annan verifiering än de mindre projekten i öppen terräng. Elproduktion är i stort samma som för övriga vindkraftverk av samma storlek, det varierar något beroende på hur jämförelsen görs.

För de flesta utländska vindkraftverk i skog saknas publicerade uppgifter om uppnådd produktion. Detta innebär att det ej är möjligt att se hur väl de uppfyller förväntningarna. Emellertid fortsätter tidigare projektörer att bygga i skog, varvid de uppenbarligen anser att de uppnådda resultaten är godtagbara.

Någon forskning har hittills inte genomförts beträffande vakeffekter i skog, d.v.s. hur verken vindmässigt skuggar varandra. Det är känt att den låga turbulensintensiteten över hav leder till att vakarna lever kvar längre än över land. Därför är det troligt att den ofta höga turbulensen över skog ska leda till motsatsen, alltså att upplösningen av vakarna går snabbare.

Vindförhållandena över skog uppfyller regelmässigt inte förutsättningarna enligt IEC-standardens vindturbinklasser beträffande i första hand vindgradient och turbulens. Det är därför lämpligt att definiera specialklasser för vindkraft i skog, på samma sätt som för vindkraftverk till havs.

Användandet av fjärranalys i samband med vindkraftsetableringar har ökat markant till följd av att den nya tekniken blivit tillgänglig och på grund av de höga kostnaderna för mätmaster. Största skillnaden gentemot konventionell mätning i mast är att systemen för fjärranalys mäter vindhastigheten i en volym

medan mastmätningen ger vinden i en punkt. Vid fjärranalys av vinden kan tekniken under vissa omständigheter tappa data eller registrera felaktiga värden. Fjärranalys är idag ett bra komplement till mastmätningar.

Trots att jämförelserna av vindkraftverk i skog visar att de, än så länge, har fungerat väl är ändå de grundläggande vindförhållande i skogen outredda. Höga turbulensintensiteter och vindgradienter borde kunna leda till såväl försämrad produktion som större laster och därmed kortare livslängd. Grundläggande och tillämpade forskningsinsatser är därför väl motiverade, både gällande hur vindarna uppträder över skog och hur de interagerar med vindkraftverken samt hur vakarna bakom turbinerna utbredds och upplöses. Det sker lämpligen genom att mätningar av såväl vind som produktion samt laster vid och på vindkraftverk genomförs. Ett sådant projekt kan genomföras vid något eller några av de stora vindkraftverk som nu byggs i skogsterräng i landet och skulle kunna bli ett bra exempel på hur gemensamt finansierad forskning kan komma alla till del.

2 Hur de större aktörerna behandlar vindkraft i skog

Intervjuerna är gjorda per telefon och e-post under maj 2008. De tillfrågade ombads svara på frågan hur de vanligtvis genomför en värdering av en vindkraftslokalisering, med särskild tonvikt på förhållanden i skogsterräng.

2.1 Anders Rylin, Stena Renewable:

”Vår enkla lokaliseringsprincip bygger på Hans Bergströms MIUU modell, därefter GIS verktyg för att leta efter områden med mycket få motstående intressen. Sedan är det bara vilken nivå som krävs av medelvinden, 6,5 eller 7 m/s. Och osäkerheten vad det ger i produktion.

Vi letar efter platser där det ryms lite fler vindkraftverk. Väldigt få platser som är tillgängliga i slättlandskap rymmer 15-20 vindkraftverk.

Mäter på platserna med 90 m master. Vi har fem mätutrustningar uppe nu varav två är inhyrda i telemaster. Vi mäter på fyra nivåer. Använder ingen sodar.

Skogen ger en stor osäkerhet beträffande vindhastighet, turbulens och gradient. Det är ännu för tidigt att kunna dra några bra slutsatser.”

2.2 Magnus Mattson, RES Skandinavien

”När vi studerar platser lägger vi ingen vikt vid skogsfaktorn överhuvudtaget. Vi analyserar den potentiella energiproduktionen. Platsens lämplighet bedöms utifrån flera faktorer som produktion, motstående intressen, planförhållande, elanslutningsmöjligheter och infrastrukturella förutsättningar. Allt detta vägs samman och skogen är i det fallet endast en indirekt faktor.

Vi mäter vinden noggrant och utifrån mätningarna gör vi analys av platsens lämplighet. Vanligtvis sätter vi upp en eller flera egna master. Vi mäter även i närbelägna telemaster. I t.ex. Havsnäs har vi mätt i fem master på platsen och en telemast i närheten. Våra egna master är 80 m höga och vi mäter på tre nivåer (80, 60/50, 30 m). Normalt använder vi inte fjärranalysutrustning i skogsterräng i Sverige. För energiproduktionsberäkningar har vi en egenutvecklad produkt.

Våra skogsprojekt har ofta hög vindgradient, men klarar utan problem turbulenskraven. Här gäller det att vara noggrann när man planerar utbyggnaden. Detta ger lite större avstånd mellan vindkraftverken.”

2.3 Staffan Niklasson, Vindkompaniet

”Kortfattat så försöker vi ta reda på vad det är för vindförhållanden på platsen så noga som möjligt, mäter minst 8 till 10 månader på platsen med adekvat teknik för att veta vad det är för turbulens, gradient och årsmedelvind. Tyngdpunkten är mer på turbulens och gradient än normalt. Framförallt tittar vi mer på dessa faktorer och hur de varierar i horisontalplanet

Vi försöker, enkelt uttryckt, förstå hur vindförhållandena avviker i den här miljön jämfört med vindförhållandena på mer traditionella platser.

Man behöver kanske mäta på fler platser och titta på olika temperatursituationer. Det finns helt enkelt mer att beakta, exempelvis absorberar skogen under dagen mer värmestrålning än åkermark.”

2.4 Thomas Stalin, Vattenfall Vindkraft

”Vi har idag en stor genuin osäkerhet om hur det fungerar i skogen (medelvind, produktion, turbulens och laster). För att erhålla kunskap mäter vi vinden i egna master på 97 m och även i befintliga telemaster (på 90 och 72 m höjd).

Vi kommer även att bygga två verk i Rynningsnäs, Hultsfred, som förses med töningsgivare i bladrotter, huvudaxel och torn. Mätningar kommer att bedrivas under 6 till 12 månader. Vi kommer jämföra resultatet med IEC:s standard för slättland.

Under våra pågående mätkampanjer har vi uppmärksammat större problematik med nedisning av instrument än vi förväntat oss. Vi tror på stora turbiner med tornhöjder på minst 100 eller 120 m.”

2.5 Gert-Olof ”Måns” Holst, Triventus

”Vår grund för att teckna markägaravtal och för den inledande tillståndsfasen är vindkarteringen enligt MIUU-modellen. Så snart vi har fått den första acceptansen från myndigheterna etablerar vi mätmaster med normalt hundra meters höjd.

Vi har lärt oss läxan i Finland, det blir vindmätning i nästan alla projekt.”

3 Sammanställning av mätningar av vind i svensk skogsterräng

Den senaste vindkarteringen av landet gjordes av Uppsala Universitets institution för geovetenskaper (tidigare meteorologiska institutionen, MIUU). Vid verifieringen av denna användes data från mätmaster, med vilkas innehavare särskilda avtal hade tecknats. Dessa totalt 61 master förtecknas nedan. Det skulle t.ex. vara intressant att om det är möjlighet lägga upp en offentligt tillgänglig forskningsdatabas baserad på data från dessa och andra master.

Plats	RT90	Period	Höjder	Utrustning	Tidsupplösning	Terräng	Ägare
'Hedemora'		1 år				skogsberg	Dala Vind
Högberget		?				skogsberg	Dala Vind/Vindkompaniet
Rossberget		?				skogsberg	Dala Vind

Pahtohavare	7528687 1680427	?	20, 50	Vaisala 252, NRG#40		fjällskog	Vindkompaniet
Aapua	7436470, 1835466	?	30			skogsberg	Vindkompaniet
Fjällberget	6664420 1450522	?	42, 60	Vaisala 251, NRG#40, NRGicefree		skogsberg	Vindkompaniet
Granberg	6789660 1394790	?	34, 60	Vaisala 252, Vaisala VMS301		skogsberg	Vindkompaniet
Röberg		?	60	Vaisala 252		skogsberg	Vindkompaniet
Beken		?	67			skogsberg	Vindkompaniet
Bliekevare	7170982 1488631	?	30, 40, 50	Vaisala 252, Vector		skogsberg	Vindkompaniet
Hedbodberget	6785408 1477156	?	40, 60	Vaisala 252, Vaisala VMS301		skogsberg	Vindkompaniet
Säliträberget	6744360 1423716	?	40, 60	Vaisala 252, Vector		skogsberg	Vindkompaniet
Tönsen	6775653 1541340	?				skogsberg	Vindkompaniet
Brickan		?	65, 80			skogsberg	Vindkompaniet
Högberget		?	40, 60	Vaisala 252, Vaisala VMS		skogsberg	Vindkompaniet/MIUU

Vindkompaniet har ytterligare master i skog!

Bondön	7247800 1775830	0106xx-?	30,40,55	NRG#40		kustö med skog	Nordanvind
--------	--------------------	----------	----------	--------	--	-------------------	------------

Nordanvind har ytterligare ett antal mätmaster i skog!

Tolvmanstegen	6539350 1247675	981106- 010920	10, 40	NRG#40	10 min	låg skog	Bohus Energi/MIUU
Mungseröd	6525790 1244762	991201- 021003	10, 40	NRG#40	10 min	skog	Bohus Energi/MIUU
Kårböle	6876500, 1471650	030213- 041002	60	Vaisala VMS301	10 min	skogsberg	Bohus Energi/MIUU
Munkedal	6502513 1269774	051005- 061230	62	Vaisala VMS301	10 min	skog	Bohus Energi/MIUU
Lianeåsen	6534625 1268858	070130-	35, 62	Vaisala VMS301	10 min	skog	Bohus Energi/MIUU
Särna	6850374 1377588	050114- 080315	20, 48	Vaisala VMS301	10 min	skog, myrar	Bohus Energi/MIUU
Grytan	7003050 1455100	070512-	35, 62	Vaisala VMS301	10 min	skog, myrar	Bohus Energi/MIUU

Skräppåsen	6845204 1399037	070709-	35, 62	Vaisala VMS301	10 min	skogsberg	Bohus Energi/Rabbalshede Kraft
Årjäng_SV	6588097 1286287	070816-	35, 62	Vaisala VMS301	10 min	skog	Bohus Energi/Rabbalshede Kraft

Rabbalshede kraft har ytterligare master!

Oxhult	6260623 1343185	070731-	40, 60	Vaisala 151	10 min	skog	Arise/MIUU
Brånalt	6262017 1353298	071021-	40, 60	Vaisala 151	10 min	skog	Arise
Kårarp	6272270 1341666	071020-	40, 60	Vaisala 151	10 min	skog	Arise
Mästocka	6277927 1344381	071020-	40, 60	Vaisala 151	10 min	skog	Arise
Putsered	6264926 1351198	071106-	40, 60	Vaisala 151	10 min	skog	Arise
Markaryd	6267489 1357638	080403-	40, 60, 80, 100	Vaisala 151	10 min	skog	Arise

Gullspång	6539560 1400545	040319- 050509	41, 92	Vaisala VMS301	10 min	skog	MIUU
Lunnekullen	6482014 1411040	040319-	64	Vaisala VMS301	10 min	skog	MIUU
Krokstorp	6476544 1380380	040319- 050228	35, 57	Vaisala VMS301	10 min	skog	MIUU

Vimmerby-Boda	6396050 1505750	061120-	56, 94	Vector	10 min	skog	Norra Smålands Energi/MIUU
Nässjö-Kullebo	6395092 1423539	071212-	45, 65, 95	Vector A100LM	10 min	skog	Norra Smålands Energi/MIUU
Nässjö-Ekesjö	6387554 1426538	071018-	45, 65, 95	Vaisala 151	10 min	skog	Norra Smålands Energi/MIUU
Ydre-Brostorp	6421150 1454256	071205-	45, 65, 95	Vector A100LM	10 min	skog	Norra Smålands Energi/MIUU

Linderödsåsen-Maltesholm	6196547 1382907	070215-	40, 60, 80	Vaisla 151	10 min	skog	HSK/MIUU
Vetlanda-Millestorp	6344450 1463200	071205-	50, 75, 100	Vaisla 151	10 min	skog	HSK/MIUU
Skuddarp	6219352 1357972	080309-	50, 75, 100	Vaisla 151	10 min	skog	HSK
Sandåkra	6217858 1374309	080401-	50, 75, 100	Vaisla 151	10 min	skog	HSK

Molkom-Tjrhöjden	6614421 1391587	060428- 070611	60/70, 90	Vaisala VMW	10 min	skog	Gunnar Bjurbäck/MIUU
------------------	--------------------	-------------------	-----------	-------------	--------	------	----------------------

Orsa-Tunturiberget	6807286 1447077	050514-	37, 70	Vaisala VMS+252, Vector	10 min	skogsberg	Orsa Besparingskog/MIUU
--------------------	--------------------	---------	--------	----------------------------	--------	-----------	-------------------------

Posseberg	6570577 1403203	070611-	84, 92	Vaisala VMS+151	10 min	skog/åker	Prevind
-----------	--------------------	---------	--------	-----------------	--------	-----------	---------

Ryningsnäs	6350057 1510940	071011-	25,40,60,80,97	Thies, Vaisala 151	10 min	skog	Vattenfall
------------	--------------------	---------	----------------	--------------------	--------	------	------------

Vattenfall har ytterligare mätmaster i skog!

Gabrielsberget	7049780 1673751	031001- 041031	50	Vaisala 252	10 min	skogsberg	Svevind/MIUU
Hörnefors	7067114 1705121	031001- 041031	33, 54	Vaisala 252	10 min	skog	Svevind/MIUU
Önusberget	7256604 1730005	031001- 061218	39	Vaisala 252	10 min	skogsberg	Svevind/MIUU
Norum	7102770 1738465	031001- 041031	39	Vaisala 252	10 min	skog	Svevind/MIUU
Långträsk	7262692 1712881	051102- 071029	76	Vaisala 252	10 min	skog	Svevind/MIUU
Stockbäcken	7261251 1747280	051103- 070131	77	Vaisala 252	10 min	skogsberg	Svevind

Vinliden	7174429 1585293	051101- 071031	49	Vaisala 252	10 min	skogsberg	Svevind
----------	--------------------	-------------------	----	-------------	--------	-----------	---------

Svevind kan ha ytterligare master!

Vårdkasberget	6946007 1610736	071230-	65, 79, 91	Vaisala 252	10 min	skogsberg	HEMAB
---------------	--------------------	---------	------------	-------------	--------	-----------	-------

Ljusne	6787617 1571434	080316-	60, 73	Vaisala 252+151	10 min	skog, kust	Gävle Kraftvärme
--------	--------------------	---------	--------	-----------------	--------	------------	------------------

Norunda	6664244 1593187	1995-	35, 70, 102	Solent ultrasonic	30 min	skog	UU/LU
---------	--------------------	-------	-------------	-------------------	--------	------	-------

Saxberget	6668019 1450747	061119- 08xxxx	40, 60	Vaisala 252, Vector, NRG#40		skogsberg	Stena Renewable
Sunnevrå	6292361 1354973	080311-	92	Risö	10 min	skog	Stena Renewable
Uddared	6271314 1343899	080425-	20,46,61,88,90	Risö, NRG#40, sonic	10 min	skog	Stena Renewable
Ljunghult	6287646 1353456	080515-	20,46,61,88,90	Risö, NRG#40	10 min	skog, myr	Stena Renewable
Kopeljung	6285251 1355367	080513-	20,46,61,88,90	Risö, NRG#40	10 min	skog	Stena Renewable
Högseryd	6315051 1342836	080422-	91	Risö	10 min	skog (öppning)	Stena Renewable

4 Befintliga vindkraftverk i skogsterräng i Sverige

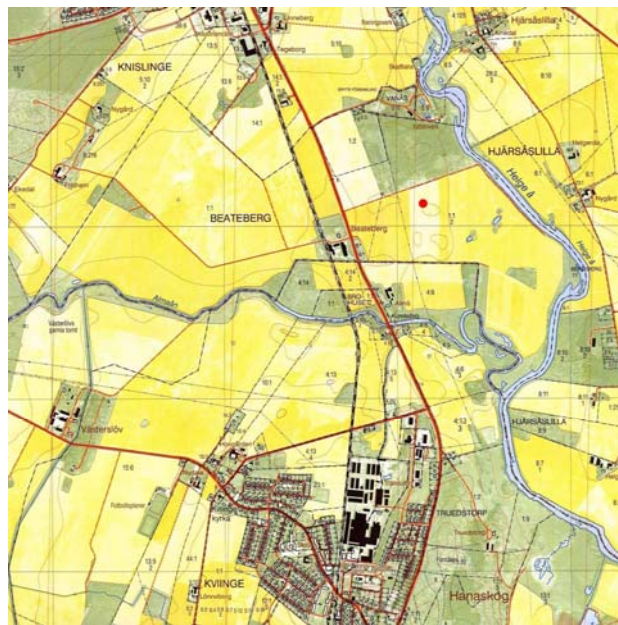
Förteckningen upptar vindkraftverk i eller påverkade av skog, i första hand baserat på Elforsks driftuppföljning. Eftersom belägenheten i skog eller öppen terräng inte direkt framgår i driftuppföljningen är det möjligt att några verk inte kommit med. Nummer och läge enligt Elforsks driftuppföljning. Verklig/beräknad anger förhållandet mellan produktion de senaste tolv månaderna (t o m mars 2008) dividerad med förhandsberäknad produktion samt med korrigering för vindindex (1,15) och tillgänglighet, bägge för senaste tolv månaderna. kWh/kW har samma korrigering. För att underlätta jämförelser har verken grupperats efter länstillhörighet, i ordning från söder till norr.

4.1 Skåne län

Knislinge



Foto Eolus vind



På öppen mark omgiven av skogspartier, i Östra Göinge kommun i nordöstra Skåne.

Innehavare/representant Timco i Lund AB. Projektör Eolus vind.

Nr	Läge	Typ	Effekt, kW	Rotordiam, m	Navhöjd, m
838	D3f	Enercon	800	48	65

I drift	Beräkn, MWh	12 mån, MWh	Tillgängl.12mån,%	Verklig/Beräkn, %	kWh / /kW
Dec-05	1 150	1 112	100	84	1 209

Lyngby



Foto Eolus vind



På slätt i Kristianstads kommun, med lågvuxen skog vid verk och skogklädd ås 5 km i väst. Står tillsammans med ett till lika verk, ännu ej i statistik.

Innehavare/representant Lyngby Enterprise AB. Projektör Eolus.

Nr	Läge	Typ	Effekt, kW	Rotordiam, m	Navhöjd, m
939	D2i	Vestas	2000	90	95

I drift	Beräkn, MWh	12 mån, MWh	Tillgängl.12mån,%	Verklig/Beräkn, %	kWh / /kW
Dec-07	5 200				

4.2 Kronobergs län

Målajord



Utsikt från plats för vindkraftverket.

Foto Eolus vind



På skogklädd kulle i Växjö kommun, 225 m ö h och 50 m över närliggande sjöyta. Enligt kartering 6,7 m/s medelvind på 72 m.

Innehavare/representant Peter Borg Naturbruk. Projektör Eolus Vind.

Nr	Läge	Typ	Effekt, kW	Rotordiam, m	Navhöjd, m
765	E5f	Enercon	600	44	65

I drift	Beräkn, MWh	12 mån, MWh	Tillgängl.12mån,%	Verklig/Beräkn, %	kWh / /kW
Jun-04	1 030	930	100	79	1 348

4.3 Hallands län

Dragabol, Sennan

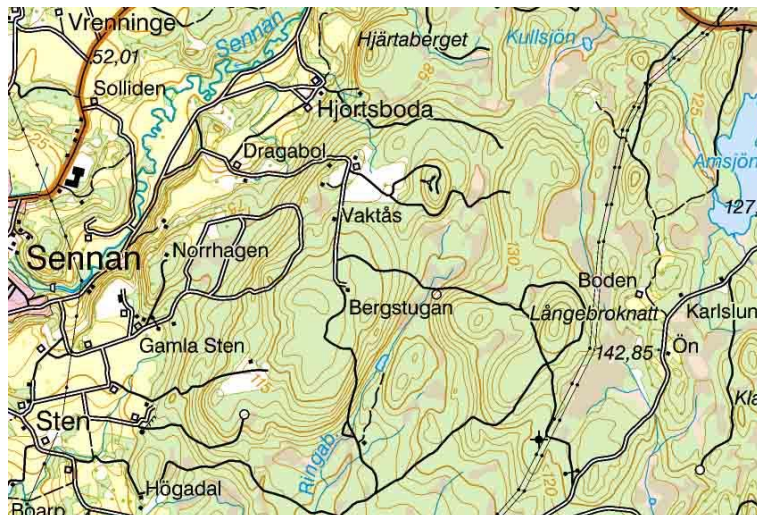


Foto Staffan Engström

På toppen av en kulle 135 m ö h i ett kulligt skogslandskap 15 km NO om Halmstad, på ett litet hygge i uppvuxen skog ca 20 m, 0-80 m över omgivningen. På platsen fanns tidigare en Zephyr 250 kW med dålig tillgänglighet som försvårat slutsatser om vindförhållanden. Ingen vindmätning.

Innehavare/representant Vindenergi Väst. Projektör Nordic Windpower.

Nr	Läge	Typ	Effekt, kW	Rotordiam, m	Navhöjd, m
681	C4h	Nordic	1000	59	70

I drift	Beräkn, MWh	12 mån, MWh	Tillgängl.12mån,%	Verklig/Beräkn, %	kWh / /kW
Jan-03	2 000	1 250	100	54	1 087

4.4 Västra Götalands län

Torseröd, Tanumshede

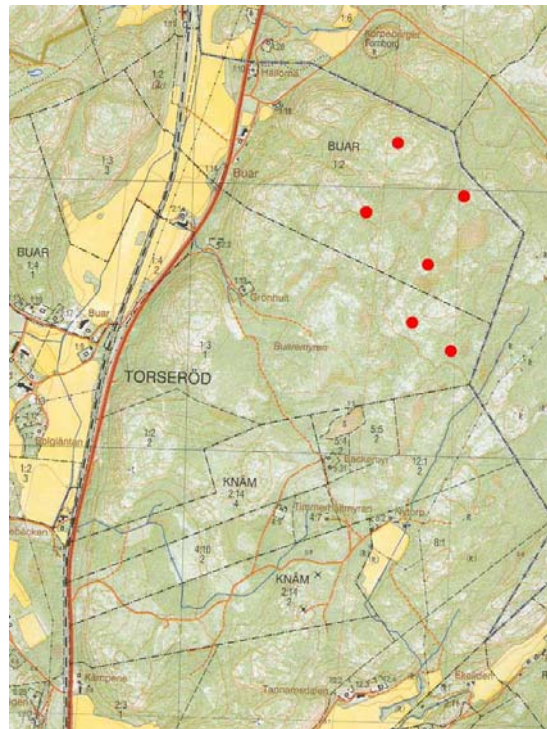


Foto Eolus Vind

På en skogklädd bergsplatå i Tanums kommun omkring 100 m över havet och över omgivande terräng.

Innehavare/representant Torseröds Vindkraftpark ek. för. Projektör Eolus.

Nr	Läge	Typ	Effekt, kW	Rotordiam, m	Navhöjd, m
860 till 865	A9f	Enercon	800	48	55

I drift	Beräkn, MWh	12 mån, MWh	Tillgängl.12mån,%	Verklig/Beräkn, %	kWh / /kW
Jan-07	1 550	1 883	100	106	2 047
Jan-07	1 550	1 391	100	78	1 512
Jan-07	1 550	1 528	100	86	1 661
Jan-07	1 550	1 499	100	84	1 629
Jan-07	1 550	1 548	100	87	1 683
Jan-07	1 550	1 456	100	82	1 583
Medel				87	1 686

Mungseröd, Tanum

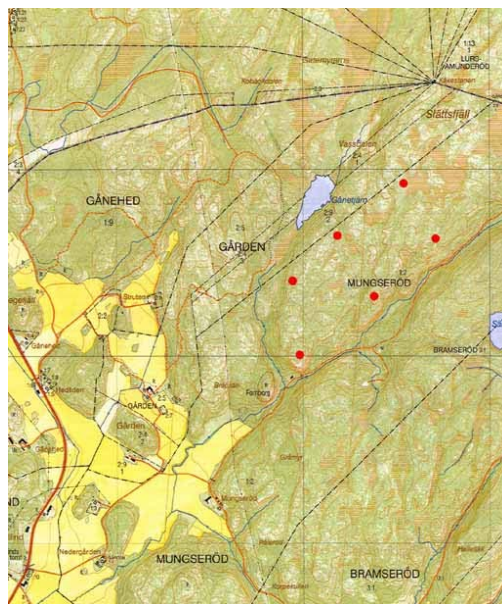


Foto Eolus Vind

På en skogklädd bergsplatå i Tanums kommun, ca 75 m över omgivande terräng.

Innehavare/representant Bengt Sernestrand. Projektör Eolus.

Nr	Läge	Typ	Effekt, kW	Rotordiam, m	Navhöjd, m
830 till 835	A9f	NEG Micon	1500	72	67

I drift	Beräkn, MWh	12 mån, MWh	Tillgängl.12mån,%	Verklig/Beräkn, %	kWh / /kW
Jan-06	2 800	3 237	100	101	1 877
Jan-06	2 800	3 114	100	97	1 805
Jan-06	2 800	3 145	100	98	1 823
Jan-06	2 800	2 767	100	86	1 604
Jan-06	2 800	3 278	100	102	1 900
Jan-06	2 800	3 092	100	96	1 792
Medel				96	1 800

Grebban, Tanumshede



Foto Eolus Vind

Två V44 och en V52 utplacerade i bohuslänsk klippterräng med låg skog.

Innehavare/representant Avanti Idékonsult AB m fl. Projektör Eolus.

Nr	Läge	Typ	Effekt, kW	Rotordiam, m	Navhöjd, m
315, 316	A9f	Vestas	600	44	45
724	A9f	Vestas	850	52	50

I drift	Beräkn, MWh	12 mån, MWh	Tillgängl.12mån,%	Verklig/Beräkn, %	kWh / /kW
Jun-98	1 100	1 117	100	88	1 619
Jun-98	1 100	1 033	100	82	1 497
Jul-03	1 600	1 807	100	98	1 849
Medel				89	1 655

Erikstorp, Lundsbrunn



På slätt mellan två parallella skogbeklädda mindre höjdryggar.

Innehavare/representant Agri-Vind AB.

Nr	Läge	Typ	Effekt, kW	Rotordiam, m	Navhöjd, m
723	D8h	Vestas	850	52	74

I drift	Beräkn, MWh	12 mån, MWh	Tillgängl.12mån,%	Verklig/Beräkn, %	kWh / /kW
Okt-03		1 376	100		1 408

Otterbäcken



Foto Staffan Engström

I 10-15 m hög skog 250 m nordost om Vänerns strand.

Innehavare/representant Otterbäckens Vind 1 ek. för.

Nr	Läge	Typ	Effekt, kW	Rotordiam, m	Navhöjd, m
404	D9i	Windworld	750	52	65

I drift	Beräkn, MWh	12 mån, MWh	Tillgängl.12mån,%	Verklig/Beräkn, %	kWh / /kW
Jul-99	1 700	1 273	100	65	1 476

Agnetorp, Leringen



På en skogklädd ås 5 km Ö Tidaholm, i utkanten av Hökensås. Höjd 185 m ö h, 30-40 m över terrängen i väster.

Innehavare/representant Leringens Lantbruk.

Nr	Läge	Typ	Effekt, kW	Rotordiam, m	Navhöjd, m
807	D8c	Enercon	800	48	76

I drift	Beräkn, MWh	12 mån, MWh	Tillgängl.12mån,%	Verklig/Beräkn, %	kWh / /kW
Sep-05	1 500	1 555	100	90	1 690

4.5 Dalarnas län

Hunnflen, Äppelbo

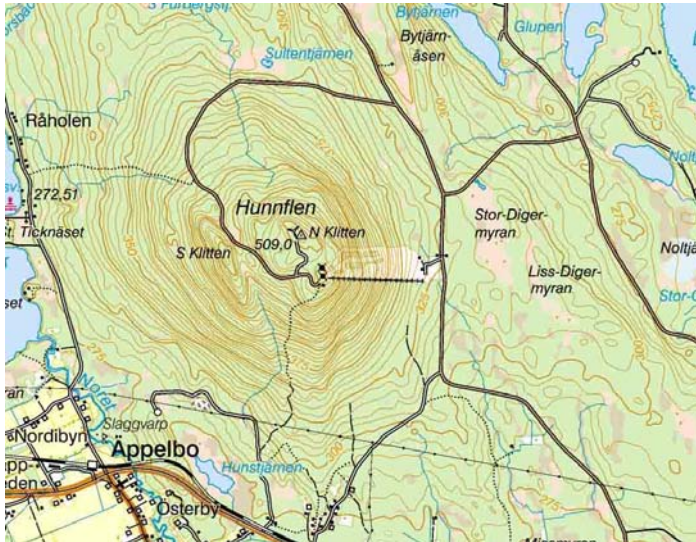


Foto Vindkompaniet

På markerad skogklädd bergkulle 509 m ö h, 200-250 m över omgivande terräng. Första vindvärdering grundad på mätning i 20 m mast olämpligt nära skogsbryn, vilket gav angiven beräknad produktion 1600 MWh. De två nyare verken bedömdes 1850 MWh per år med ledning av tidigare produktion samt vindmätningar vid Borlänge flygplats och lufttrycksdata från NCAR .

Anläggningen har varit utsatt för en betydande nedisning vid flera tillfällen, varav de värsta gav driftstopp i en respektive två månader. Verken saknar avisning. Produktionsbortfallet är svårt att kvantifiera men uppskattas till minst 5%.

Innehavare/representant Äppelbovind ek för m fl. Projektör Vindkompaniet.

Nr	Läge	Typ	Effekt, kW	Rotordiam, m	Navhöjd, m
482	E13a	NEG Micon	900	52	49
800, 801	E13a	Vestas	850	52	65

I drift	Beräkn, MWh	12 mån, MWh	Tillgängl.12mån,%	Verklig/Beräkn, %	kWh / /kW
Dec-00	1 600	2 365	99	130	2 308
Apr-05	1 800	2 443	98	120	2 550
Maj-05	1 800	2 071	94	106	2 254
Medel			97	119	2 371

Fjällberget



Foto Stena Renewable - Karl-Gunnar Boman

Anläggningen är placerad på en skogklädd höjdsträckning omkring 450 m ö h och 200 m över omgivande terräng 15 km väster om Ludvika. Utbyggnaden föregicks av vindmätningar i en 61 m mast samt med kompletterande beräkningar med MIUU-modellen och WindPro. Produktionen har korrigerats till normalår och med avdrag för vakförluster och is.

I februari 2007 var det kraftigt produktionsbortfall på grund av is, men under 2008 har det inte varit så påtagligt. Produktionsbortfallet uppskattas till 4-5%. Avisningsutrustning saknas.

Innehavare/representant Stena Renewable AB. Projektör Vindkompaniet.

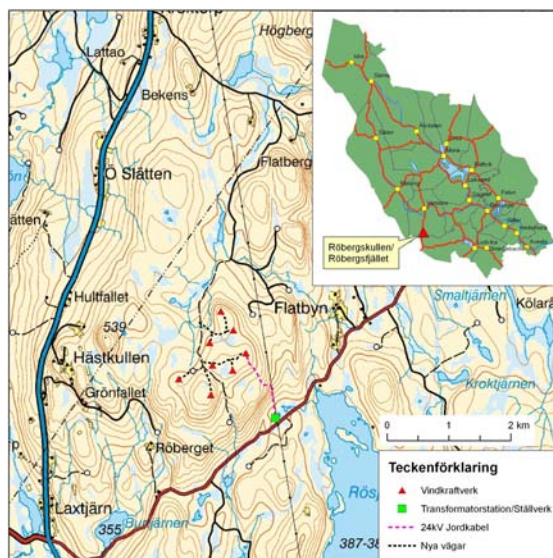
Nr	Läge	Typ	Effekt, kW	Rotordiam, m	Navhöjd, m
5 x	E12b	Vestas	2000	90	80

I drift	Beräkn, MWh	12 mån, MWh	Tillgängl.12mån,%	Verklig/Beräkn, %	kWh / /kW
nov-06	6 400	7 480	98	104	3 319
nov-06	5 800	6 420	97	99	2 878
nov-06	6 000	6 830	99	100	3 000
nov-06	6 200	7 140	99	101	3 136
nov-06	6 600	7 440	99	99	3 267
Medel			98	101	3 120

Röbergsfjället



Foto Vindkompaniet



De åtta vindkraftverken har byggts på den 530 m höga Röbergskullen/Röbergsfjället i södra delen av Vansbro kommun gränsande mot Ludvika kommun, omkring 150 m över omgivande terräng. Vindmätning på platsen i 60 m mast under mer än 12 månader och i 60 m referensmast i mer än 18 månader. Verken togs i drift i slutet av 2007 och ingår ännu inte i driftstatistiken. Hittillsvarande resultat tyder på att produktionsmål infrias.

Produktionsbortfall på grund av isbildning uppskattas till omkring 4%. Ingen utrustning för avisning.

Innehavare/representant O2 Produktion AB. Projektör Vindkompaniet.

Nr	Läge	Typ	Effekt, kW	Rotordiam, m	Navhöjd, m
8 x	E12b	Vestas	2000	90	80

I drift	Beräkn, MWh	12 mån, MWh	Tillgängl.12mån,%	Verklig/Beräkn, %	kWh / /kW
nov-07	5 875				
Medel					

4.6 Jämtlands län

Råshön, Offerdal



Befintliga verk samt planerat nytt (t v, bildmontage). Foto Vindkompaniet.



Översiktskarta. Notera även Almåsaberget (Jämtlands kraft) NNV om Råshön.

På skogsklädd höjdrygg 3,5 km nordost om Änge samhälle i Krokoms kommun. Verken är byggda på omkring 700 m ö h och 300 till 400 m över omkringliggande terräng. Tillgänglighetsrapporteringen uppenbart felaktig för 782, varför denna inte räknas med i medelvärdesbildningen.

Kraftigt utsatt för isbildning. Produktionsbortfall uppskattas till 5 – 10 %. Vindturbinerna är utförda för aktiv stall. Detta har medfört behov av styva rotorblad (laminerat trä) vilket i sin tur innebär att isen har svårt att lossna och stoppen därmed blir långvariga.

Innehavare/representant Offerdals Ek. För., Skara Vindkraft m fl. Projektör Vindkompaniet.

Nr	Läge	Typ	Effekt, kW	Rotordiam, m	Navhöjd, m
777 till 783	E12b	Vestas	2000	90	80

I drift	Beräkn, MWh	12 mån, MWh	Tillgängl.12mån,%	Verklig/Beräkn, %	kWh / /kW
dec-04	4 031	4 178	100	90	2 422
dec-04	4 319	4 725	100	95	2 739
dec-04	3 613	4 180	100	101	2 423
dec-04	4 023	4 114	100	89	2 385
dec-04	4 032	4 115	100	89	2 386
dec-04	4 054	1 170	100	25	678
dec-04	3 955	4 356	100	96	2 525
Medel (utan 782)			100	93	2 480

Almåsa



Foto Jämtkraft

På långsträckt skogklädd ås 700 m ö h och ca 350 m över omgivande terräng.
Karta, se Roshön. Isbildning förekommer, oklart i hur stor omfattning.

Innehavare/representant Jämtkraft.

Nr	Läge	Typ	Effekt, kW	Rotordiam, m	Navhöjd, m
693	E19g	Vestas	850	52	55

I drift	Beräkn, MWh	12 mån, MWh	Tillgängl.12mån,%	Verklig/Beräkn, %	kWh / /kW
okt-02	2 000	1 680	100	73	1 719

4.7 Västerbottens län

Hornberget

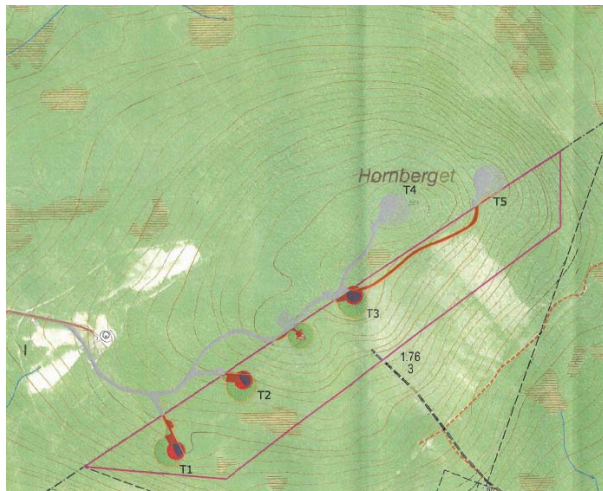


Foto Jämtkraft

På skogklätt berg 15 km sydväst om Malå, Malå kommun. Under senaste vinter har verken varit avställda åtminstone några veckor på grund av isbildning, varför uppgiven tillgänglighet inte stämmer.

Innehavare/representant Jämtkraft.

Nr	Läge	Typ	Effekt, kW	Rotordiam, m	Navhöjd, m
878 till 882	I23e	Vestas	2000	90	80

I drift	Beräkn, MWh	12 mån, MWh	Tillgängl.12mån,%	Verklig/Beräkn, %	kWh / /kW
dec-04	4 031	4 178	100	90	2 422
jan-07	6 000	6 107	100	89	2 655
jan-07	6 000	5 733	100	83	2 493
jan-07	6 000	6 493	100	94	2 823
jan-07	6 000	6 913	100	100	3 006
jan-07	6 000	6 222	100	90	2 705
Medel			100	87	2 567

4.8 Norrbottens län

Aapua

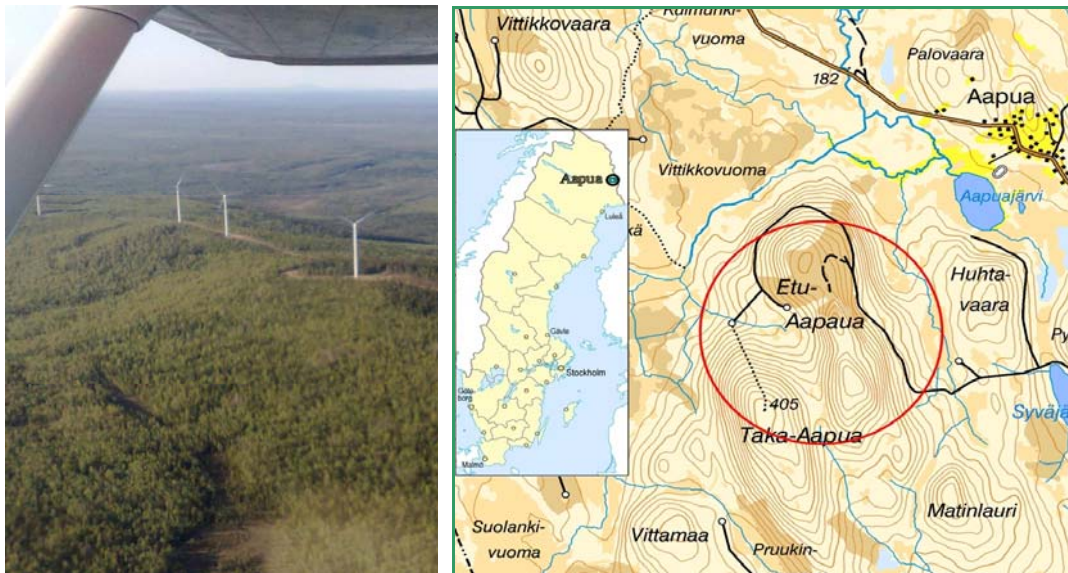


Foto Göran Ronsten

Etu-Aapua är en markerad höjdrygg väster om byn Aapua i Övertorneå kommun. Vindkraftsanläggningen ligger på 350 – 400 m ö h och omkring 300 m över omkringliggande terräng. Mätningar inleddes år 2000 med en 10 m mätmast som 2001 ersattes med 30 m mast. Vindberäkningar gjordes av Energi- och miljödata, Danmark, grundat på data från master, NCAR och en vindkarta framtagen av Risö, Danmark.

Platsen är kraftigt utsatt för nedisning, vilket förvärras av att turbin typen är av typ aktiv stall, med styva turbinblad. Produktionsbortfall uppskattas till ca 10%.

Innehavare/representant Sveriges Vindkraftkooperativ m fl. Projektör Vindkompaniet.

Nr	Läge	Typ	Effekt, kW	Rotordiam, m	Navhöjd, m
809 till 815	M27i	Vestas	1500	82	78

I drift	Beräkn, MWh	12 mån, MWh	Tillgängl.12mån,%	Verklig/Beräkn, %	kWh / /kW
okt-05	4 465	5 061	96	103	3 056
sep-05	4 232	4 558	93	101	2 841
sep-05	4 140	4 339	95	96	2 648
sep-05	4 344	4 669	94	99	2 879
sep-05	4 397	4 490	86	103	3 027
sep-05	4 500	4 678	95	95	2 855
sep-05	4 613	4 990	97	97	2 982
Medel			94	98	2 898

4.9 Jämförelser mellan uppnådd elproduktion och olika parametrar

I det följande har resultaten enligt föregående systematiserats i några diagram där förhållandet mellan verklig och beräknad elproduktion samt utnyttjningstid jämförts med olika parametrar som vindkraftverkets storlek, idrifttagningsår och navhöjd.

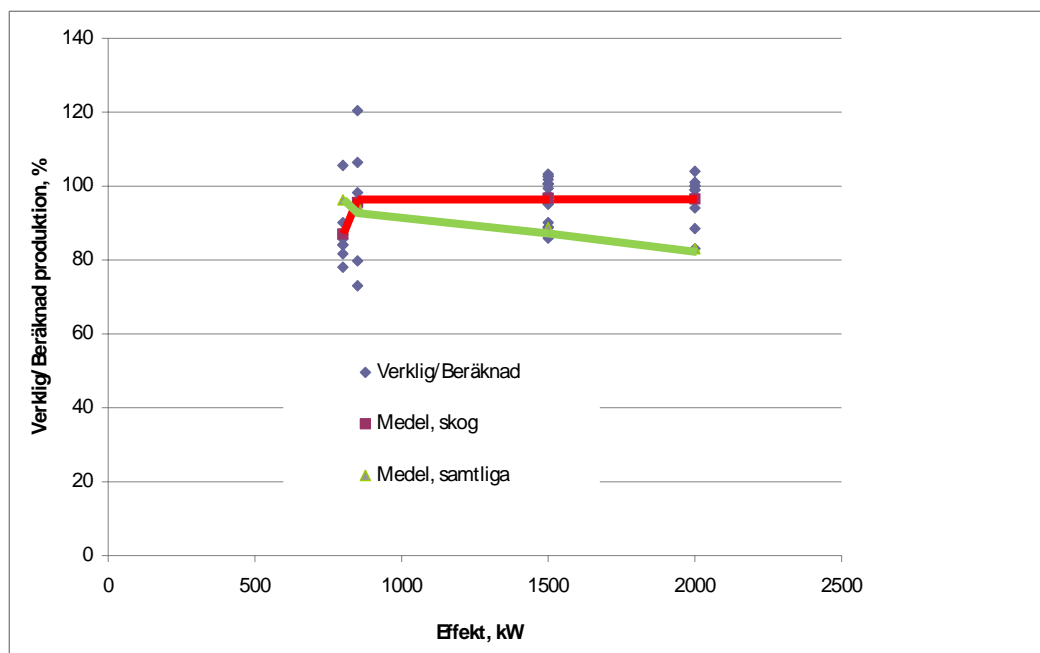


Diagram 1 Förhållandet mellan verklig och beräknad elproduktion som funktion av verksstorleken (effekten) i kilowatt. Diagrammet tar upp värden för enskilda vindkraftverk i skog och medelvärden för dessa samt som jämförelse medelvärden för samtliga vindkraftverk i landet av angiven storlek. För skogs-verken gäller tidsperioden april 2007-mars 2008, med korrigering för tillgänglighet och vindindex (1,15). För samtliga-kategorin är tidsperioden kalenderåret 2007, med korrigering för vindindex (1,10). Endast storlekar som finns i minst fem exemplar har tagits med. Grunddata från Elforsks Driftuppföljning.

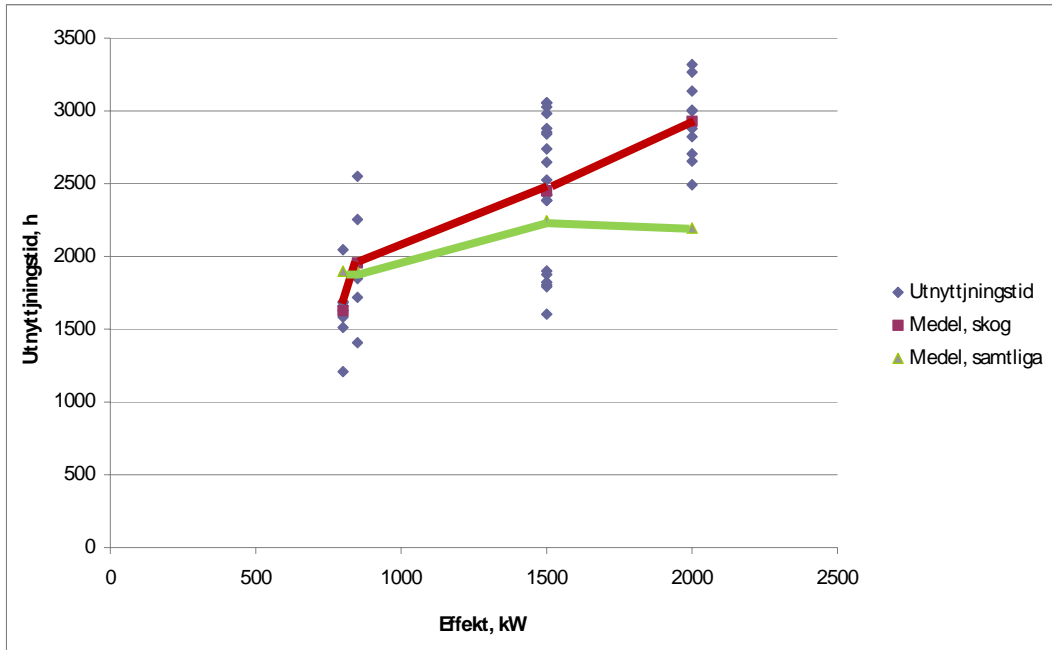


Diagram 2 Utnyttjningstid (årsproduktion/effekt) som funktion av effekt. Diagrammet tar upp värden för enskilda vindkraftverk i skog och medelvärden för dessa samt som jämförelse medelvärden för samtliga vindkraftverk i landet. I övrigt som föregående.

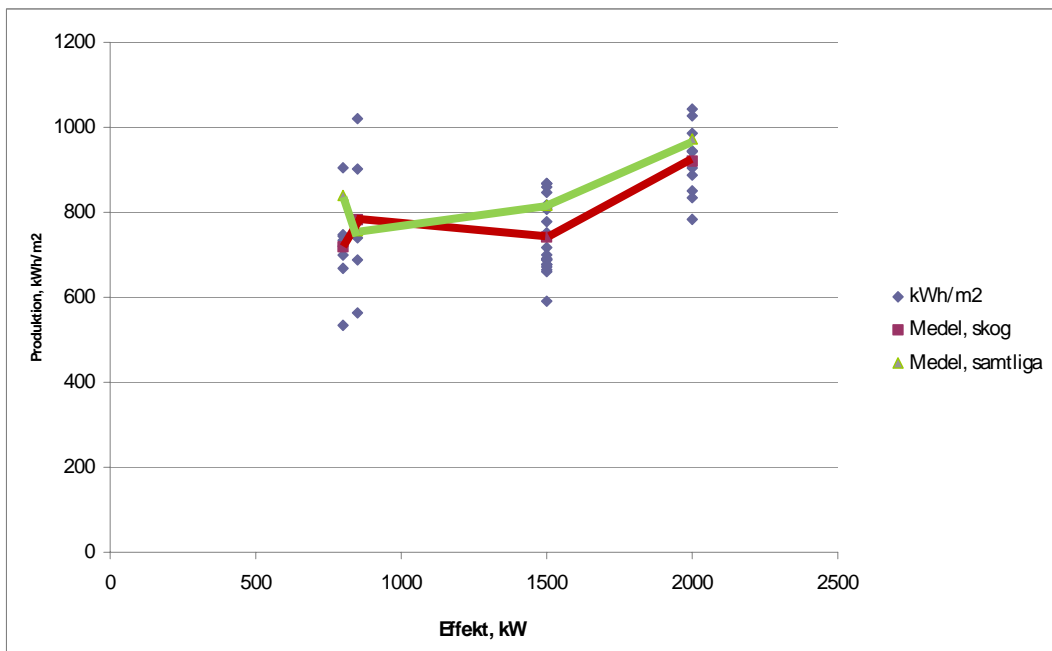


Diagram 3 Produktion per kvadratmeter turbinnya (kWh/m^2) som funktion av effekt. Diagrammet tar upp värden för enskilda vindkraftverk i skog och medelvärden för dessa samt som jämförelse medelvärden för samtliga vindkraftverk i landet. I övrigt som föregående.

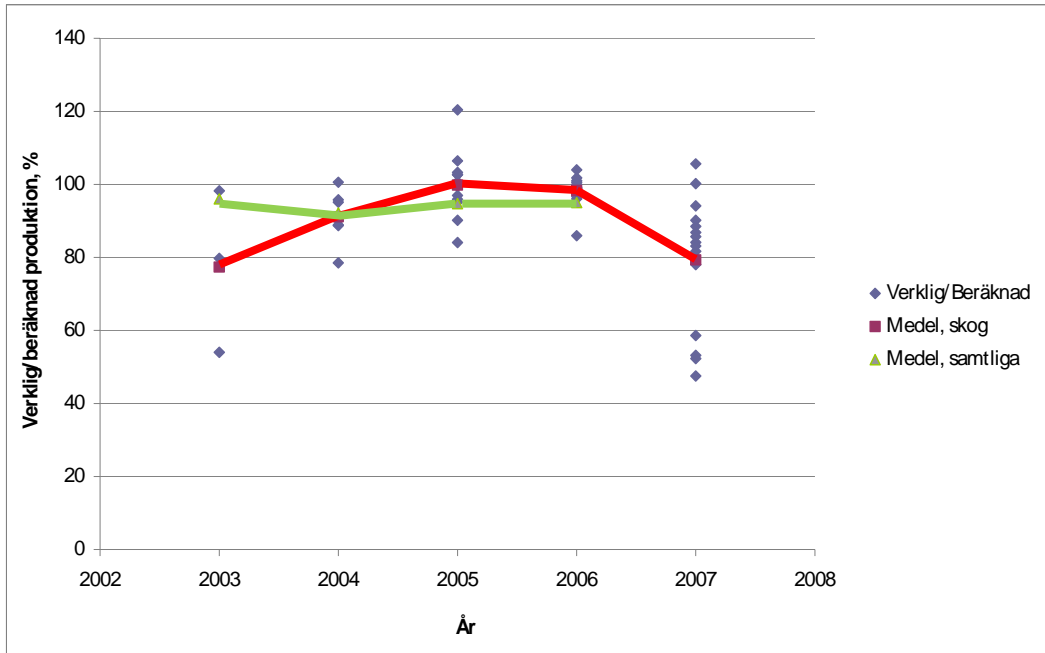


Diagram 4 Förhållandet mellan verklig och beräknad elproduktion som funktion av idrifttagningsåret. Diagrammet tar upp värden för enskilda vindkraftverk i skog och medelvärden för dessa samt som jämförelse medelvärden för samtliga vindkraftverk i landet. I övrigt som föregående.

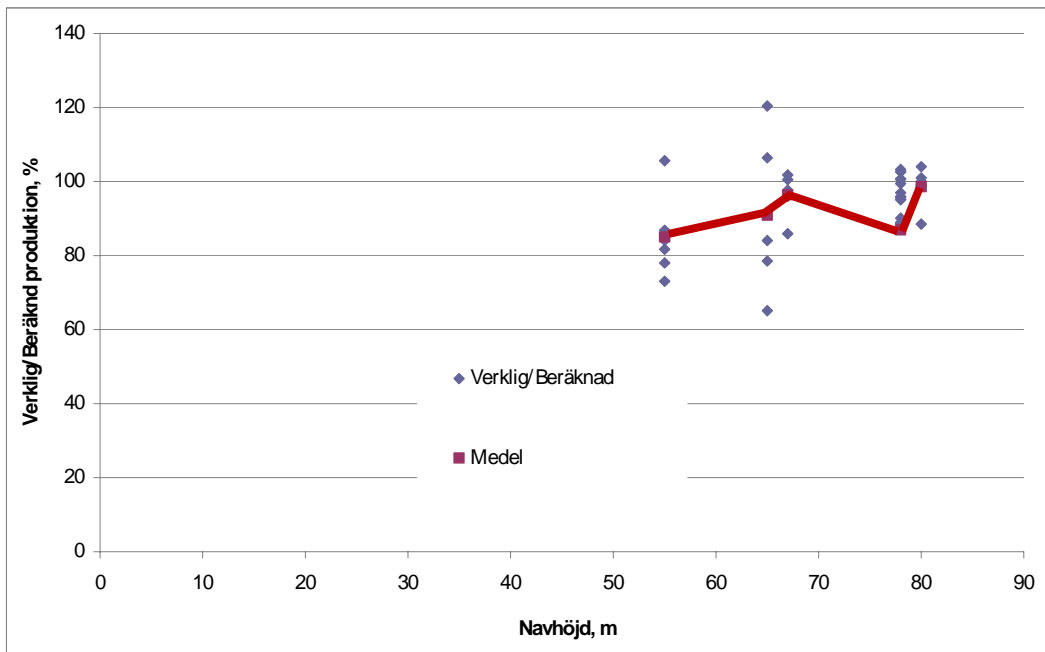


Diagram 5 Förhållandet mellan verklig och beräknad elproduktion som funktion av navhöjden i meter. Diagrammet visar värden för enskilda vindkraftverk i skog och medelvärden för dessa. I övrigt som föregående.

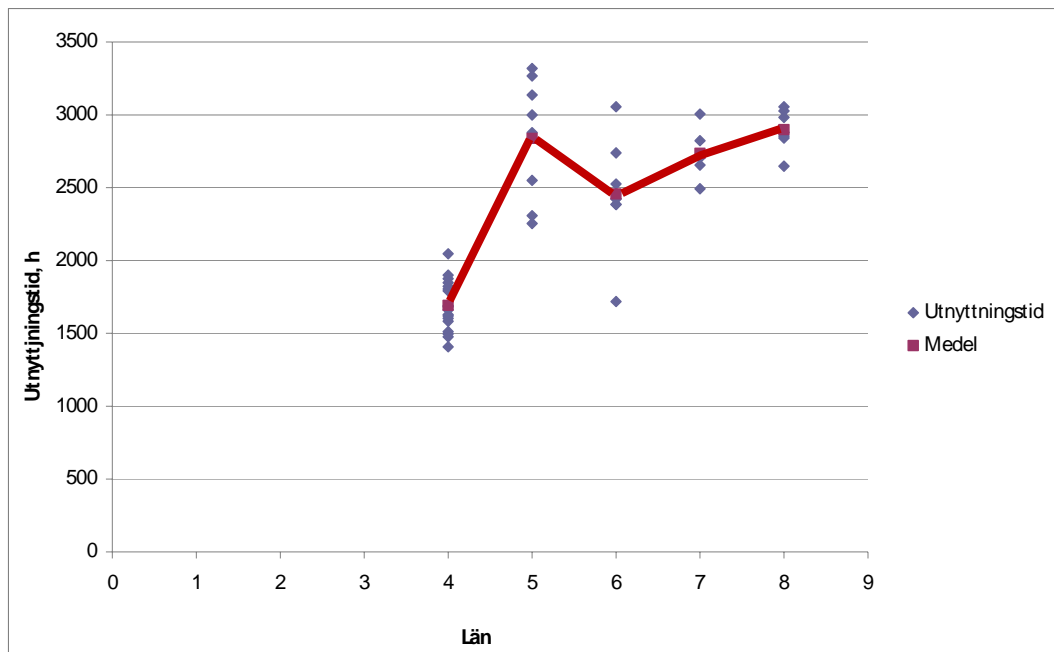


Diagram 6 Utnyttningstid (årsproduktion/effekt) som funktion av läget (län, enligt numreringen av delavsnitten). Diagrammet visar värden för enskilda vindkraftverk i skog och medelvärden för dessa. I övrigt som föregående.

4.10 Diskussion och slutsatser

I denna sammanställning har data för omkring femtio vindkraftverk uppförda i eller i anslutning till skog relateras till olika parametrar som storlek och ålder. Verken i skog är även jämförda med motsvarande data för samtliga vindkraftverk i Sverige, omkring 800 stycken. Några av ”skogsverken” står i öppen mark men är påverkade av skog i omgivningen. De allra flesta står dock i renodlade skogsområden, oftast på kullar och andra höjdsträckningar.

Som grundläggande parameter för jämförelsen har använts förhållandet mellan verklig elproduktion och den som beräknats på förhand. Det är känt att den beräknade elproduktionen inte alltid överensstämmer med den faktiska. För etableringar som fick investeringsbidrag kan storleken på statligt investeringsbidrag eventuellt ha påverkat beräkningarna av elproduktionen. Beräknad elproduktion tar ofta inte hänsyn till exempelvis vakeffekter och isbildning. I annat sammanhang framgår att den rapporterade tillgängligheten ofta kraftigt avviker från den verkliga. Emellertid finns det ingen anledning att tro att dessa möjliga felkällor skulle inverka på ett selektivt sätt på verk som lokaliseras i skogsmark i jämförelse med verk som står i öppen terräng. Därför bör jämförelsen kunna försvaras.

Diagram 1 visar förhållandet mellan verklig och beräknad elproduktion som funktion av verkets storlek mätt som dess generatoreffekt, för såväl verk i skog som samtliga vindkraftverk. Det kan noteras att värdena för de enstaka vindkraftverken i skog visar en ganska stor spridning, mellan ca 75 och 120%. Medelvärdena för respektive storleksklass visar ett mer samlat utfall, mellan 80 och 100%. Det är påtagligt att bortsett från den minsta behandlade storleksklassen är utfallet mycket jämnt och nära 100% för skogsprojekten, till skillnad från samtliga projekt. En förklaring kan vara att projekten i skogsterräng oftast är stora och därför kunnat genomgå en ambitiös projektering med avseende på exempelvis vindmätningar. Utfallet utgör också en effektiv argumentation mot påståendet att det inte skulle vara möjligt att beräkna utfallet i denna terrängtyp.

I Diagram 2 visas utnyttningstiden (årsproduktion i kilowattimmar dividerad med verkets generatoreffekt i kilowatt) som funktion av verkets storlek. Utnyttningstiden är ett mått på hur bra platser projektören lyckats hitta för sina verk. Diagrammet visar att för de största verken i skog har projektörerna lyckats hitta bättre platser än för genomsnittet, mätt med detta mått.

Produktionen per kvadratmeter turbinyta enligt Diagram 3 är ett annat mått på platsens lämplighet. Nu uppvisar medelvärdet för samtliga vindkraftverk att de bästa resultatet ges av de största turbindiametrarna. Uppenbarligen har projektörerna för verken i skog valt förhållandevis större turbindiameter i förhållande till effekten, vilket ökat utnyttningstiden men begränsat produktionen per kvadratmeter.

Med hypotesen att beräknad elproduktion med tiden och erfarenheten bli bättre har elproduktionen som funktion av idrifttagningsåret redovisats i Diagram 4. En sådan tendens kan för vindkraftverken i skog skönjas fram till år 2006. Från driftsuppföljningen erhöles inga värden för samtliga verk för år 2007, så detta år är ofullständigt behandlat.

Med högre navhöjder borde skogens påverkan på vindkraftverken minska. I Diagram 5 har därför utfallet redovisats som funktion av navhöjden. Emellertid går det knappast att dra några slutsatser från denna jämförelse.

Diagram 6 redovisar utnyttjningstiden som funktion av läget (länet). De nordliga lägena ger generell bättre produktion än det sydliga (4, Västra Götaland).

En sammanfattande slutsats är att det finns en tendens till att produktionsförutsägelserna för verk i skog är säkrare än för samtliga verk och att de dessutom producerar lika bra. I de enskilda fallen är det en fråga om hur ambitiösa projektörerna har varit i sitt arbete, där det för de skogslokaliserade projekten gäller att dessa till följd av sin större storlek kunnat ges en mer omsorgsfull projektering.

Vindarna över skog utmärks av högre turbulensgrad och större vindgradient än vindarna över öppen mark. Som framgår av avsnitt 8 är sambanden komplexa mellan turbulensgrad och vindgradient å ena sidan och produktion och laster å andra sidan. Det går inte med dagens kunskapsläge att dra några slutsatser om detta.

5 Befintliga vindkraftverk i skogsterräng utomlands

Sammanställningen fokuserar på norra Europa där förutsättningarna kan vara mer likartade. Uppgifterna är erhållna direkt från projektörerna, antingen via korrespondens eller publikationer. För Finland är uppgifterna hämtade från deras driftsstatistik.

5.1 Tyskland

Med det stora antal verk som är uppförda i Tyskland är det gott om referensverk. Av den anledningen genomförs vindmätningar ytterst sällan och uppgifter om vinden ovan skog saknas således.

Dickesbach



Foto © juwi

Mellan 0,7 till 1,1 km öster om samhället Mittelbollenbach i Rheinland-Pfalz, sydvästra Tyskland, drygt 30 mil från kusten. Beläget på höjd i nordlig del av skog. Cirka 470 m över havet.

Plats	Dickesbach
Verktyp	2 st Fuhrländer FL 1500 / MD 77
Rotor / tornhöjd	77 m / 100 m
Installerad effekt	3 MW
Beräknad produktion	6,3 GWh/år *
Beräknad kWh/kW	2 100 kWh/kW
Driftstart	Oktober 2006

* Erhållen siffra är den förväntade produktionen efter avdrag för osäkerhet. Den verkliga produktionen är sannolikt något högre.

Girkenroth



Foton © juwi

På en skogsbevädd höjd strax öster om samhället Girkenroth, nordost om Koblenz. Cirka 31 mil från kusten.

Plats	Girkenroth
Verktyp	2 st Enercon E-70-E4
Rotor / tornhöjd	71 m / 113,5 m
Installerad effekt	4 MW
Beräknad produktion	9,5 GWh/år *
Beräknad kWh/kW	2 375 kWh/kW
Driftstart	Juni 2007

* Erhållen siffra är den förväntade produktionen efter avdrag för osäkerhet. Den verkliga produktionen är sannolikt något högre.

Hartenfelser Kopf



Bilder © juwi



Fotomontage © juwi

I Westerwaldkreis på skogsbeklädda höjder mellan samhällena Hartenfels och Höchstebach i Rheinland-Pfalz. Cirka 29 mil till kusten.

Plats	Hartenfelser Kopf
Verktyp	12 st Enercon E70-E4
Rotor / tornhöjd	71 m / 113,5 m
Installerad effekt	24 MW
Beräknad produktion	43,5 GWh/år *
Beräknad kWh/kW	1 813 kWh/kW
Driftstart	Sommaren 2006

* Erhållen siffra är den förväntade produktionen efter avdrag för osäkerhet. Den verkliga produktionen är sannolikt något högre.

Haserich



Foto © juwi

Åtta mil väster om Frankfurt am Main, 2,5 km sydöst om samhället Blankenrath i Rheinland-Pfalz. På skogsbeklädd kulle, ca 480 m över havsytan. Ca 31 mil från kusten.

Plats	Haserich
Verktyp	2 st Fuhrländer FL 1500
Rotor / tornhöjd	77 m / 100 m
Installerad effekt	3 MW
Beräknad produktion	5,9 GWh/år *
Beräknad kWh/kW	1 967 kWh/kW
Driftstart	Dec 2006

* Erhållen siffra är den förväntade produktionen efter avdrag för osäkerhet. Den verkliga produktionen är sannolikt något högre.

Kisselbach



Foton © juwi

Tre mil söder om Koblenz öster om samhällena Kisselbach och Liebshausen i Rheinland-Pfalz. På skogsbeklädd höjd som når 475 m ovan havet. Ca 31 mil från kusten.

Plats	Kisselbach
Verktyp	8 st Enercon E70 (2300 kW) samt 2 st Enercon E82 (2000 kW)
Rotor / tornhöjd	71 m / 113,5 m samt 82 m / 108 m
Installerad effekt	22,4 MW
Beräknad produktion	40 GWh/år *
Beräknad kWh/kW	1 786 kWh/kW
Driftstart	Verk 1-7 juli till okt 2006 Verk 8-10 mars 2007

* Erhållen siffra är den förväntade produktionen efter avdrag för osäkerhet. Den verkliga produktionen är sannolikt något högre.

”Mehring Höhe”



Foton © juwi

Öster om Trier mellan Mehring, Bescheid och Naurath. Ca 30 mil från kusten.

Plats	Mehring
Verktyp	15 st Enercon E70 (2000 kW)
Rotor / tornhöjd	Verk 1-10: 71 m / 113,5 m Verk 11-15: 71 m / 85 m
Installerad effekt	30 MW
Beräknad produktion	60 GWh/år *
Beräknad kWh/kW	2 000 kWh/kW
Driftstart	Verk 1-3 juni 2005 Verk 4-10 augusti till september 2006

* Erhållen siffra är den förväntade produktionen efter avdrag för osäkerhet. Den verkliga produktionen är sannolikt något högre.

Morbach



Foton © juwi

Nordväst om samhället Morbach, 10 mil väster om Frankfurt am Main. Ca 32 mil från kusten.

Morbach var tidigare USA:s största ammunitionsdepå utomlands. Depåerna syns som vita rektanglar på kartan. På platsen är nu 14 st vindkraftverk resta varav flertalet står i skog.

Plats	Morbach
Verktyp	14 st Vestas V80 (2000 kW)
Rotor / tornhöjd	80 m / 100 m
Installerad effekt	28 MW
Beräknad produktion	43,7 GWh/år *
Beräknad kWh/kW	1 561 kWh/kW
Driftstart	Mars 2003

* Erhållen siffra är den förväntade produktionen efter avdrag för osäkerhet. Den verkliga produktionen är sannolikt något högre.

Ober Kostenz



Foto © juwi

Tre km väster om Kirchberg, strax öster om samhället Ober Kostenz. 33 mil från kusten.

Plats	Ober Kostenz
Verktyp	3 st Vestas V90 (2000 kW)
Rotor / tornhöjd	90 m / 105 m
Installerad effekt	6 MW
Beräknad produktion	12 GWh/år *
Beräknad kWh/kW	2 000 kWh/kW
Driftstart	Juli/Augusti 2007

* Erhållen siffra är den förväntade produktionen efter avdrag för osäkerhet. Den verkliga produktionen är sannolikt något högre.

Nordschwarzwald



Foto © wat/MFG

Drygt 4 mil västsydväst från Stuttgart i norra Schwarzwald mellan Pforzheim i nordost och Freudenstadt i syd. Platsen är belägen mellan 805 och 855 m ovan havsytan. Ca 47 mil från kusten.

Plats	Nordschwarzwald
Verktyp	10 st Vestas V90 (2000 kW) samt 4 st Vestas V80 (2000 kW)
Rotor / tornhöjd	90 m / 125 m 80 m / 100 m
Installerad effekt	28 MW
Beräknad produktion	61 GWh/år *
Beräknad kWh/kW	2 179 kWh/kW
Driftstart	Juli/Augusti 2007

Gebhardshain



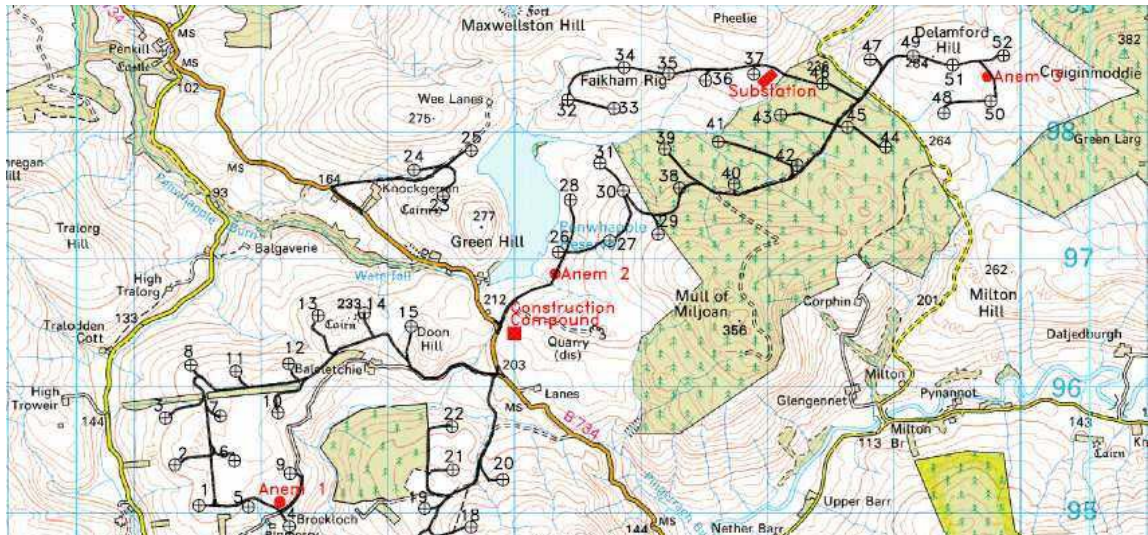
Foto © wat

I norra Westerwald mellan Altenkirchen i sydväst och Betzdorf i nordost. Platsen är belägen mellan 380 och 435 m ovan havsytan. Ca 28 mil från kusten.

Plats	Gebhardshain
Verktyp	7 st Nordex N90 (2300 kW)
Rotor / tornhöjd	90 m / 100 m
Installerad effekt	16,1 MW
Beräknad produktion	29,3 GWh/år *
Beräknad kWh/kW	1 820 kWh/kW
Driftstart	2006

5.2 Storbritannien

Crystal Rig



Karta © Natural Powers

I Skottland, 5 km nord nordväst om byn Cranshaw och ca 10 km från Dunbar, är en stor park uppförd där några av verken är mer eller mindre påverkade av eller placerade i skog. Mer underlag finns i Natural Powers presentation "Dealing with forested sites – a practical perspective" från Dansk Forskningskonsortium for Vindenergis forest workshop 2008.

De verk som är placerade i skogen har lägre produktion. Notera verkens låga torn på 60 m.

Plats	Crystal Rig / Lammermuir Hills
Verktyp	25 st Nordex (2500 kW)
Rotor / tornhöjd	80 m / 60 m
Installerad effekt	62,5 MW
Beräknad produktion	160 GWh/år
Beräknad kWh/kW	2 560 kWh/kW
Driftstart	Oktober 2003

5.3 Finland

Driftstatistiken från finska verk kommer från VTT:s driftsammanställning, Kuukausitilasto 2008/02.

Kemi



Foto Esko Jämsä, Comma Images Oy

I Finlands nordligaste kustremsa utanför Kemi står tre äldre verk i skog med 500 m till kusten.

Plats	Kemi
Verktyp	3 st Nordtank (400 kW)
Rotor / tornhöjd	31 m / 35 m
Installerad effekt	1,2 MW
Faktisk produktion 12 mån	790 MWh (ej normalårskorrigerad)
Faktisk kWh/kW 12 mån	658 kWh/kW (ej normalårskorrigerad)
Driftstart	Augusti 1993

Hanko



Foto © Triventus

Hanko, är en halvö i södra Finland där fyra verk är uppförda. Dessa ligger fågelvägen ca 1,5 till 2 km från kusten i ett område bestående av 15 till 20m tallskog.

Ingen vindmätning är gjord innan etableringen. Vindhastigheten bestämd utifrån vindatlas och beräknad till 6,3 m/s i navhöjd. Årlig produktion uppskattades till 4 000 MWh per verk.

Plats	Hanko
Verktyp	4 st Enercon E66 (2000 kW)
Rotor / tornhöjd	70 m / 65 m
Installerad effekt	8 MW
Beräknad produktion	16 GWh/år
Faktisk produktion 12 mån	8,1 GWh (ej normalårskorrigerad)
Faktisk kWh/kW 12 mån	1 013 kWh/kW (ej normalårskorrigerad)
Driftstart	September 2004

5.4 Diskussion

För de större utländska vindkraftverken i skog saknas faktisk produktionsdata. Därför kan ingen slutsats dras gällande hur bra de producerat.

De äldsta vindkraftverken på höga torn byggdes i mars 2003, samma projektör, juwi, har därefter byggt flertalet projekt i skog och fler är under projektering. Utifrån detta kan slutsatsen dras att de är nöjda med produktionen från verken.

Värt att notera är att, i stort sett, alla listade verken för Tyskland har navhöjder på minst 100 m och är placerade på kullar eller höjdryggar.

6 Sammanställning av litteraturuppgifter om vakeffekter i skogsterräng

I stort sett finns inget skrivet om vakeffekter i skogsterräng. Forskningsfronten har nyligen kommit till att studera luftströmning generellt över skog och till vakeffekterna har forskarna ännu inte hunnit.

I en än så länge opublicerad rapport [1] konstaterar Bergström att medan den låga turbulensintensiteten över havsområden konstaterats leda till att vakarna lever kvar längre än normalt över land, så kan det motsatta väntas ovan skog med de mycket höga turbulensintensiteterna. Det vill säga att vakupplösningen går snabbare ovan skog. Bergström påpekar också att nyare forskning visar att det är transporttiden snarare än sträckan som är avgörande för vakupplösningen. Det betyder att vakarna lever kvar längre vid högre vindhastighet. Detta skulle innebära att de tidigare ansatta att turbiner inbördes ska placeras på visst avstånd mätt som antal turbindiametrar inte skulle gälla, utan att större turbiner kan placeras tätare. Det skulle även innebära att den nuvarande trenden mot mindre effekt i förhållande till turbinyta också medger en tätare placering.

Forskning pågår, bland annat i Sverige, beträffande en detaljerad beskrivning av exempelvis bladspetsvirvlarna med hjälp av Navier-Stokes-ekvationer. Bergström markerar att det än så länge är osäkert om detta kan ge ett tillräckligt underlag för en korrekt statistisk bild av vakarnas utbredning och utfyllnad.

I mars i år arrangerades en workshop i Danmark om vindkraft i skog [2]. Inget av bidragen behandlar vakeffekter i skog.

Vid Risö forskningsinstitut finns det idag en doktorand som arbetar med CFD-modellering av vind över skog, men detta arbete inbegriper inte vakar [3].

7 Tillämpning av IEC-standarden

För att kunna konstruera och handla med vindkraftverk (och i princip alla andra produkter) är det av vitalt intresse att köpare och säljare internationellt kan komma överens om vilka miljömässiga och tekniska förutsättningar och krav som gäller för vindkraftverken. I någon utsträckning också påvisa hur beräkningar ska genomföras för att säkerställa att kraven uppfylls. På vindkraftsområdet var kravspecifikationerna för de svenska stora vindkraftverken i början av 1980-talet starten för standardiseringsarbetet som gått via nationella standarder och sådana utarbetade av klassningssällskapen till att det nu finns en standard 614 00 utgiven av IEC, International Electrotechnical Commission. Den är uppdelad i ett antal publikationer varav 614 00-1 upptar de mest grundläggande tekniska kraven, Design requirements. Den föreligger nu i en Edition 3.0 daterad 2005-08 och utgiven 2007.

Den främsta miljöfaktorn för ett vindkraftverk är givetvis vinden. Den ligger till grund för uppdelningen av vindkraftverk i tre olika vindturbinklasser, I-III, vilka numera karaktäriseras av en referensvind på navhöjd om 50, 42,5 respektive 37,5 m/s. Referensvinden är den medelvindsstyrka under 10 minuter som maximalt beräknas uppnås under 50 år. Vindturbinklasserna är i sin tur indelade i tre turbulensklasser, A-C, vilka innebär att medelvärdet för turbulensen vid vindstyrkan 15 m/s är 16, 14 respektive 12%. Definitionerna för dessa vindturbinklasser har förändrats mellan de olika utgåvorna, exempelvis var det tidigare medelvindstyrkan som definierade turbinklassen och de lägre turbulensklasserna har tillkommit under arbetets gång. Observera att referensvinden gäller för navhöjden, vilket innebär att kravet på turbinklass kan ändras vid val av ett högre torn. Användaren har även möjlighet att själv definiera en vindturbinklass S – special, med den karaktäristik för vinden som brukaren anser lämplig och grundat på den bevisning som förslagsställaren framför. I följande utgår vi från det i standarden definierade vindturbinklasserna.

Standarden gäller för vindkraftverk på land, även om tillämpningar till havs nämns. Begreppet ”skog” nämns inte, utan här får läsaren själv kontrollera mot de förutsättningar som gäller. En uppenbar faktor att uppmärksamma är turbulensen, som normalt är högre över skog. För vissa skogsområden som är aktuella för vindkraft i Sverige klaras gränsen 16% medan turbulens på andra platser kan vara betydligt högre. Skog utmärks även av en kraftig vindgradient, dvs att vindstyrkan tilltar snabbare med höjden än över öppen mark eller hav. Den brukar karaktäriseras med en exponent som appliceras på förhållandet mellan aktuella höjder och därvid ger en faktor som visar hur mycket högre vindstyrkan är i genomsnitt på den högre höjden. För öppen terräng med smärre hinder ligger den ofta vid 0,2 medan den i skogsterräng kan vara 0,3-0,4. I avsnittet 6.3.1.2 i standarden anges att exponenten ska antas ha värdet 0,2, vilket i sig innebär att ett vindkraftverk som certifierats enligt standarden inte kan förutsättas klara

förhållandena i skogsterräng. En kontroll bör göras, varvid det lämpligen kan definieras en särskild vindturbinklass S. Det är möjligt att det även finns andra parametrar för vilka standardens värden inte är tillämpliga över skog. Å andra sidan har köpare och säljare med till synes tillfredsställande resultat tidigare tillämpat standarden på vindkraftverk i starkt kuperad terräng där vindförhållandena sannolikt är betydligt mer svårberäknade än över skog. Svårigheterna ska därför inte överdrivas.

I en särskild del av standarden, 614 00-12, anges hur vind-effekt-kurvan ska mätas. Bl.a. föreskrivs att terrängen ska vara öppen, vilket innebär att det inte kan förutsätta att kurvan gäller över skogsmark. Exempelvis kan annorlunda vindgradient eller turbulensgrad göra att verket inte uppnår den produktion som verket skulle få för given vindfördelning i öppen terräng. Det finns än så länge obekräftade uppgifter om att sådana avvikelser förekommer för vindkraftverk i skog.

Sammanfattningsvis dras slutsatsen att vindturbinklasserna enligt gällande standard IEC 614 00 inte till alla delar kan tillämpas på lokaliseringar i skog. I det korta perspektivet är det lämpligt att det definieras speciella klasser för skog. En parallell är havsbasering av vindkraft, där det också tillämpas specialklasser.

8 Tillgängliga metoder för fjärranalys av vind

Att mäta vinden är särskilt viktigt i mindre känd terräng, både för att kunna beräkna produktionen och för säkra sig om att verken klarar lasterna från vinden. Med dagens stora vindkraftverk, med totalhöjder på 150 m och mer, är vindmätningar på högre höjd ett viktigt intresse. Kostnaden för konventionella mätmaster accelererar med höjden, vilket ökar intresset för utrustning för fjärranalys, som är flyttbar och betydligt enklare att hantera än höga master, inte minst i skog.

8.1 Teknik

Tekniken har använts i flera decennier av försvaret för att övervaka vindgradienten vid flygplatser. Det finns nu ett ökat intresse för att fjärranalysera vinden inom den meteorologiska forskningen och inte minst inom vindkraftsbranschen.

Tekniken finns idag kommersiellt tillgänglig i två olika utföranden, så kallad sodar (SONIC Detection And Ranging) och lidar (LIGHT Detection And Ranging). Sodarn sänder upp ljudpulser och lidarn ljuspulser (laser). Dessa reflekteras mot variationer i skiktningen respektive mot partiklar, vilka bägge antas följa med vinden. Frekvensen hos ekot påverkas av vindhastigheten till följd av dopplereffekten. Genom att skicka ut pulser i tre från varandra något skilda riktningar kan vindens styrka och riktning bestämmas.

Det finns två typer av lidar, som baseras på fokusering respektive pulser. Den fokuserande lidarn kan maximalt mäta upp till ett par hundra meters höjd, varefter strålens diffraktion blir för stor. Den pulsade lidarn begränsas i stället av sin uteffekt och av hur känslig mottagaren är. Fokussystemet är bättre än det pulsade på att mäta på lägre höjder och tvärtom [4].

Sodarns räckvidd är begränsad av ljudets absorption i atmosfären och bakgrundsnivån till typiskt 500 m. En god datatillgänglighet är normalt upp till mellan 100 och 200 m [5].

Både lidarn och sodarn genomgår konstanta förbättringar varvid resultat från äldre rapporter och tester kan skilja sig markant från nyare resultat. Även olika tillverkares produkter presterar olika.

8.2 Mätmetod, skillnader och kvalitet

För att kunna mäta både vindhastighet och vindriktning med hjälp av dopplereffekten behövs tre olika mätpulser som har något olika riktning. Med en upplösning i höjdded om ett antal meter innebär detta att sodar och lidar ger vindhastigheten i en volym jämfört med hastigheten i en punkt som fås vid konventionell mätning i mast. Detta är den främsta skillnaden mellan resultaten från en mastmätning och från fjärranalys. Principiellt bör denna skillnad vara till fördel vid vindkrafttillämpningar, eftersom också vindturbinen ser vinden i en volym.

Fjärranalystekniken tappar data eller registrerar felaktiga värden under vissa omständigheter. För lidar kan det ske i samband med molnreflektioner och nederbörd. Fokussystemen är även känsliga för stötar som påverkar kalibreringen av mekaniken till fiberoptiken som sköter fokusändringen. Sodar kan ha problem med fasta ekon, nederbörd eller så god omblandning i atmosfären att det inte går att få några reflektioner. Det sistnämnda är dock vanligast vid låga vindhastigheter som inte är av intresse för vindkraften [6].

Mätning i skog

Lidarn kan ställas i en glänta i skogen förutsatt att laserpulserna går fria från vegetationen.

Sodarn kan få problem med ekon från hårda, fasta föremål på marken, vilka trots att sodarn inte är riktad mot dem kan ge ekon som överröstar de svaga ekona från vinden. För att få bra mätdata ända ner till 20 m höjd bör den placeras på en öppen plats med 30 m radie (gäller för sodar med elevationsvinkel på 15°). I många fall kan en tät granridå stå hur nära som helst medan kala stammar, exempelvis tallar kan ge upphov till fasta ekon [7, 8].

Ingen vindkraftstillverkare eller finansiär godkänner idag användning av enbart fjärranalys för att bestämma vindtillgång och turbulensnivåer vid etablering av större vindkraftsparker i mindre känd terräng [9, 10, 11]. Däremot kan fjärranalys vara ett bra verktyg för att exempelvis utsträcka en mastmätning till högre höjd eller för att få en ytterligare mätpunkt ett stycke ifrån en mast. Detta visas bland annat av flera nyligen genomförda studier [12].

8.3 Yttäckande lidar

Vid vissa större flygplatser finns sedan drygt fem år en speciell typ av pulserande lidar som har kapacitet att mäta vinden i olika riktningar och på flera höjder på avstånd upp till 10 km. En undersökning som gjordes av dess möjligheter att kartlägga vinden presenterades på vindkraftskonferensen Ewec 2008 [13].

Tekniken är densamma som för vanlig pulserande lidar med skillnaden att effekten på pulserna är större kombinerat med mycket känslig detektering av reflekterad signal. Lidar är även monterad på datorstyrda axlar, så den kan rikta

om sig. Att läsa av vinden inom ett område tar 5 till 10 minuter beroende på storleken av området och de höjder som ska täckas.

Utrustningen placeras fritt. Eftersom den mottagande sensorn inte kan läsa av inkommande reflektioner under den tid då pulser skickas iväg kan den inte registrera vindarna i närområdet, inom 250 till 300 m, vilket måste beaktas vid placeringen av utrustningen.

Lidarns noggrannhet ligger i storleksordningen 0,1 till 0,5 m/s beroende på signalstyrkan hos den reflekterade strålen. Större avstånd ger svagare signal och större osäkerhet.

Lidarn har en horisontell upplösning på 50 till 100 m beroende på dess konfiguration. Resultatet från skanningen av vindarna justeras lämpligen för att täcka en yta med en viss höjd ovan markytan. Detta underlättar vid den slutliga utplaceringen av turbinerna i ett område.

Om den yttäckande lidarn jämförs med en mätmast är en uppenbar skillnad att mätmasten bara ger vindarna i en punkt medan lidarn täcker ett närmast oändligt antal punkter inom ett område. Å andra sidan levererar mätmasten kontinuerligt vindhastigheten med en god upplösning medan lidarn för en viss punkt ger några sekunders mätning var 5 till 10 minut.

Lidarn har förutsättningar att ge en detaljerad kartläggning av vindförhållandena inom ett område, vilket är särskilt viktigt i terräng som är komplex och tidigare okänd. Utfallet från den första provningen för vindkraftändamål är lovande. Givetvis måste den kompletteras med en konventionell mastmätning.

9 Sammanfattning av kunskapsläge och bedömt forskningsbehov

9.1 Vindar över skogsterräng

Intresset för vindenergiutbyggnad i skogsterräng har inneburit en ökad efterfrågan på meteorologiskt underlag i sådana områden. Det rör sig dels om att verifiera nivån hos de modellberäknade medelvindarna, dels om att få information om hur vindarna generellt sett ser ut över skog, hur de påverkas av olika klimatologiska förhållanden. Bland tillverkare och projektörer finns en stor oro för hög turbulensintensitet. För att förstå mer om vindarna ovan skogen bör de atmosfäriska förhållandena undersökas.

Över skog kan det atmosfäriska gränsskiktet inte beskrivas med samma enkla samband som över lägre vegetation. I ytskiktet, de lägst liggande delarna av gränsskiktet, varierar de turbulenta flödena i vertikal led i stort inte med höjden – de avtar endast långsamt uppåt. Över områden med lägre vegetation har det kunnat visas att den så kallade Monin-Obukhovs similaritetsteori i medeltal kan användas för att förutsäga exempelvis vindprofilens utseende från en nivå, marknivå. För att beskriva vindprofilen över skog räcker det inte med att karaktärisera markytan med en skrovlighetslängd, vilket är fallet för låg vegetation, utan en s.k. nollplansförskjutning måste införas. Enbart med kännedom om vindprofilen kan värdena på skrovlighetslängd och nollplansförskjutning väljas ganska fritt utan att anpassningen till en vindmätning försämrats. Skogens utseende, trädens höjd och avstånd utgör den fysikaliska grunden för nollplansförskjutningen, men stor osäkerhet råder avseende vilka värdena på nollplansförskjutning och skrovlighetslängd som bör användas. Osäkerheten är störst i skog med olika trädslag, trädålder och med inslag av myrmarker, hyggen och kanske åkrar.

Monin-Obukhovs similaritetsteori gäller inte över hög vegetation som skog. Här återfinns istället i de lägre delarna av gränsskiktet det så kallade ”roughness sublayer”, där similaritetsteorin ej är tillämpbar. Turbulensen påverkas här av koherenta rörelser med skalor av samma storleksordning som vegetationsskiktet. Strömningen kan förklaras med teorier som behandlar vad som sker längs skiljeytan mellan två fluider som rör sig med olika hastighet. I fallet med skog eller annan hög vegetation gäller detta alltså strömningen med låg hastighet i vegetationsskiktet och strömningen med hög hastighet ovanför trädens toppar.

I motsats till fallet med låg vegetation, då den största vindgradienten är närmast marken där den lokala turbulensens skalor är mindre, kommer turbulensens skalor att vara mycket större omedelbart ovanför vegetationen. Detta medför att similaritetsteorierna inte gäller, åtminstone inte i de lägre delarna av ytskiktet i ”roughness sublayer”.

Höjden på "roughness sublayer" är typiskt av samma storleksordning som vegetationens höjd, men beror på hur tät vegetationen är och avståndet mellan träden. Är vegetationen tät och/eller bladverket koncentrerat till de övre delarna av vegetationen minskar djupet på "roughness sublayer". Osäkerhet finns avseende hur mycket det påverkas av trädens höjd och inbördes avstånd.

En skrovligare markyta genererar mer turbulens än en slät. Det är alltså normalt att över skog förvänta sig hög turbulensintensitet. Den mekaniskt skapade turbulensen utgör dock endast en av källorna till turbulens. Turbulensintensiteten påverkas även av de termiska förhållandena i atmosfären. Instabil skiktning ger ytterliggare en källa som ökar turbulensen, medan stabil skiktning ger en sänka som sänker turbulensnivåerna. Dessutom begränsar en stabil skiktning gränsskiktets höjd så att turbulensintensiteten därmed avtar relativt sett snabbare med höjden jämfört med neutral eller instabil skiktning. Redan på 100 m höjd kan i många situationer turbulensen därför ha reducerats kraftigt jämfört med förhållandena närmare trädtopparna.

Det råder osäkerhet gällande hur turbulensprofilen egentligen ser ut ovan en skog då similaritetsteorin ej är giltig över hög vegetation, åtminstone inte närmast vegetationsskiktet.

De observationer som finns visar på stor spridning i turbulensintensiteten med stora skillnader mellan värdena under olika meteorologiska förhållanden.

9.2 Vakeffekter

Än så länge har praktiskt taget ingenting gjorts i världen beträffande vakeffekter i skogsterräng. Den högre turbulensnivån över skog bör generellt leda till att problemen blir mindre än över öppen mark och än mer hav. Numera förutses att en stor andel av fortsatt svensk vindkraftsutbyggnad sker i stora eller mycket stora grupper av vindkraftverk i skogsterräng. Motsvarande utveckling förutses inte i andra länder, varför det inte kan väntas att kunskaperna blir tillgängliga utifrån. En svensk kunskapsuppbyggnad inom området bör därför prioriteras högt. En sådan bör inledningsvis inriktas på en grundläggande förståelse av fenomenen, grundad bl.a. på mätningar av vakeffekter vid faktiska installationer.

9.3 Produktionssamband

Genomgången av befintliga vindkraftverk i skog i Sverige i avsnitt 3 visar att i genomsnitt har skogslokaliserade projekten lyckats bättre med att förutse produktionen än vad som gäller för vindkraftverk generellt i landet. Speciellt för de största verken har projektörerna lyckats hitta platser med mycket god produktion.

Principiellt finns dock skäl att misstänka att vind-effekt-sambanden för vindkraftverk i skog ser annorlunda ut än motsvarande i öppen terräng. Detta då vindarna över skog utmärks av högre turbulensgrad (mer kortvariga variationer)

och en större vindgradient (det blåser mer på högre höjd än på lägre). Speciellt en högre turbulensgrad ökar energitillgången över turbindiskens yta för en viss medelvind, jämfört med normala förhållanden. Detta hänger samman med effektens tredjepotensberoende, som medför att vindökningarnas positiva tillskott är större än den negativa verkan av vindminskningarna. Men å andra sidan medför en högre turbulensgrad också mer frekventa ändringar av vindriktningen (turbulens förekommer i tre riktningar x, y och z, varav y-komponenten just innebär en ändring av vindriktningen). En snedanblåsning av en vindturbin innebär generellt att produktionen minskar och att lastvariationerna ökar. Snedanblåsning uppstår eftersom verket ej hinner korrigera för snabba vindriktningsförändringar, t.ex. vid vindbyar som har en avvikande vindriktning eller snabba förändringar av den övergripande vindriktningen.

Den kraftiga vindgradienten innebär bl.a. att anfallsvinkeln mot bladen kommer att variera under turbinvarvet. Hur stor inverkan dessa faktorer har på vindkraftverkets prestanda beror av dess konstruktion. Känsligheten för vindriktningsändringar och vindgradient påverkas exempelvis av turbinens löptal (högre löptal ger mindre känslighet), profilval (en profil med flackare prestandakurva ger mindre känslighet) samt givetvis utformningen av girsystemet. Tillsammans innebär detta att turbulensgrad och vindgradient kan ha en både positiv och negativ inverkan på verkets prestanda, vilka dessutom påverkas av verkets konstruktion.

Fortfarande gäller dock att det inte finns tillgång till någon vind-effekt-utvärdering för något vindkraftverk i skog som gjorts med en godtagbar metodik (lämpligt placerad separat mätmast). Det finns inte någon föreslagen och än mindre godkänd standard för hur en sådan utvärdering ska göras (befintlig standard förutsätter öppen mark). Utvecklingen vad gäller att göra produktionsbedömningar för vindkraftverk i skog måste alltså sägas vara i ett mycket tidigt skede – resultaten av beräkningarna blir visserligen oftast ”rätt”, men vi vet inte varför. Som sagts ovan kan vi inte heller förutsätta att kunskapen blir tillgänglig utifrån. Egen verksamhet på området är därmed starkt motiverad.

9.4 Lastsituation

Som framgår av beskrivningen ovan kommer ändringar av turbulens och gradient föranledda av placeringen i skog att påverka de aerodynamiska krafterna, vilket inverkar både på prestanda och laster. I bägge fallen påverkas inverkan av verkets konstruktion. Vi vet att detta inverkar på verkens funktion och livslängd, men hur denna påverkan ser ut vet vi inte. Såsom sagts ovan kan vi inte heller förutsätta att kunskapen blir tillgänglig utifrån. Avvikelserna gör dock att IEC-standarden inte självklart kan tillämpas på vindkraftverk i skog. Därmed är verksamhet på området synnerligen starkt motiverad – prioriteringen bör vara den högsta bland de här nämnda områdena.

10 Förslag till forskningsprojekt i anslutning till vindkraftverk byggda i skog

10.1 Pågående projekt

Aapua

En vind-effekt-utvärdering håller på att genomföras vid ett av vindkraftverken vid Aapua. Den utförs med hjälp av verkets egen vindgivare placerad på maskinhuset. Syftet är främst att visa på skillnader i beteende då verket är nedisat respektive rent från is. Mätningen på maskinhuset är störd och kan endast ge en relativ bedömning. Den ger ingen information om vindgradient och knappast om turbulensen. Typen av vindkraftverk (aktiv stall) är mindre intressant för framtiden.

Rynningsnäs

Vid Rynningsnäs i Småland planerar Vattenfall att hösten 2008 sätta upp två stora verk med 80 respektive 100 m tornhöjd, effekt 2,5 MW och bladvinkelreglering. Sedan oktober 2007 finns det på platsen en 97 m mast instrumenterad på fem nivåer. Det är en mast av tele-typ som förses med 5,5 m långa bommar för instrumenteringen. Även befintliga 90 och 72 m höga telemaster i närheten har instrumenterats. Vindkraftverken förses med töjningsgivare i bladrotter, huvudaxel och torn. Mätningar kommer att bedrivas under 6-12 månader. Jämförelse kommer att ske med IEC-standard för slättland.

10.2 Förslag till projekt

Den kunskap som finns om vinden över en skog behöver fördjupas. Osäkerhet finns avseende hur trädens höjd och inbördes avstånd påverkar vindarna via nollplansförskjutning och skrovlighetslängd. Speciellt avseende hur en bedömning kan göras i skogsområden med olika trädslag, trädålder och med inslag av myrmarker, hyggen och kanske åkrar.

För möjligheter till studier avseende regional bedömning av nollplan och skrovlighetslängd krävs flera mätplatser med olika skogstyper/terräng. Alternativet kunde vara en lyckosam funnen placering där en mast är omgiven av olika skogstyper i olika riktningar. Därmed skulle sektorsvisa analyser kunna ge data för olika terrängförhållanden. Förutom profiler av vind och temperatur på flera nivåer behöver dessa studier även turbulensdata med minst 10 Hz helst 20 Hz data för vindens tre komponenter samt temperaturen.

Extrema vindhändelser utgör viktiga lastunderlag. Sannolikheter kan beräknas med teoretiska extremvärdesfördelningar, men resultaten är svåra att verifiera till följd av bristen på observationer med hög tidsupplösning under lång tid.

Förslag till forskningsprojekt för vindar i skog kan lämpligen ta sig formen av en deltidsforskartjänst kombinerat med doktorandtjänster. Områden som behöver fördjupas är atmosfärforskning med inriktning mot gränsskikt i skog. Vakrar och laster på vindkraftverk är två andra områden som är i behov av mer grundforskning.

För att erhålla information för forskning är det av stor vikt, även med hänsyn till den potentiella expansionen av vindkraft i skog, med projekt i full skala. För att forskningen ska kunna fokuseras på effekter av skogen bör fullskaleprojekten, åtminstone inledningsvis, vara koncentrerade till skogsområden med förhållandevis måttlig topografisk variabilitet. Detta för att lättare kunna särskilja effekter av skog från effekter av topografi. I förlängningen finns dock ett intresse för sådana kombinationseffekter, eftersom många skogsområden är lokaliserade i mer eller mindre bergiga områden.

Gällande vindkraft i skog bör ett mät- och utvärderingsprojekt, som täcker in de initiala behoven vad gäller meteorologiska mätningar i gränsskiktet, vakmätningar, produktionssamband och lastsituation, innehålla de komponenter som redovisas nedan. Det bör baseras på ett stort (2-3 MW) bladvinkelreglerat vindkraftverk i skogsterräng. Rynningsnäs ovan uppfyller de grundläggande kraven. Projektet skulle därmed kunna utgöras av detta projekt, för det fall att en överenskommelse kan träffas och samtliga krav enligt nedan kan uppfyllas. I ett möjligt alternativt projekt uppförs två 2 MW-verk i närheten av Nässjö tillsammans med mätningar i en telemast på upp till 95 m höjd sedan december 2007. Det finns även andra, liknande projekt.

Verket bör vara placerat på en förhållandevis plan mark, för att medge uppställning av en mätmast som ”ser” samma vindförhållanden som verket och vars höjd överensstämmer med verkets navhöjd (givare ”i topp” ger säkraste mätningen). Skogen bör vidare vara homogen (utan hyggen mm) i åtminstone någon karaktäristisk riktning som medger användning av masten.

För lastmätningar behöver verket förses med töjningsgivare på vitala delar som blad, nav och torn. Det kan även vara lämpligt att förse det med några accelerometrar för att mäta rörelser. Det behövs dessutom registreringsutrustning.

Mätningar för vakstudier bör kunna genomföras med det grundläggande arrangemanget med vindkraftverk och mätmast, eventuellt med någon kompletterande mast eller sodar. För möjligheten att studera multipla vakrar, vakrar bakom 2, 3 eller fler vindkraftverk på rad, är det dock önskvärt att mätningar kan genomföras i en vindpark med fler än en vindturbin och med minst två mätmaster.

Samma arrangemang kan användas för att registrera produktionssambandet. Därvid är det av vikt att även kunna mäta vindgradient och turbulens.

För att undersöka skogens inflytande på laster och livslängd görs mätningar av laster och rörelser vid några karaktäristiska situationer vid medelhög och hög vindstyrka (lasterna vid lågvindssituationer har normalt ingen betydelse för livslängden). Registreringar görs givetvis även av vinden och av övriga aggregatparametrar. Därefter simuleras uppträdandet med någon lämplig simuleringsmodell och med användning av samma vindsekvenser. Detta förutsätter att aggregatleverantören tillhandahåller data om grundläggande geometri, vikter, aerodynamiska profiler mm för verket – om nödvändigt på ett sådant sätt att endast den beräknande konsulten har tillgång till dessa data. Därefter kan jämförelser göras mellan registrerat och beräknat samt dra slutsatser om lastnivåer och därmed livslängd. I en förlängning kan detta utgöra underlag för en standard för vindkraftverk i skogsmiljö.

11 Referenser

Sammanställning av litteraturuppgifter om vakeffekter i skogsterräng

- [1] Hans Bergström. Syntesrapport – meteorologi – vindkraft, Elforsk, februari 2008. (Opublicerad.)
- [2] Bidrag tillgängliga på www.dffv.dk/forestworkshop_26.htm
- [3] E-brev från Stefan Ivanell, Högskolan Gotland, till Ägir konsult. 2008-05-28.

Tillgängliga metoder för fjärranalys av vind

- [4] Jaynes D W, 2007, "MTC Final Progress Report; LIDAR", Renewable Energy Research Laboratory
- [5] Antoniou I et al, 2003, "On the theory of Sodar Measurement techniques", Final report on WP1, EU WISE project NNE5-2001-297, Risø National Laboratory
- [6] Antoniou I et al, 2007, "Remote sensing the wind using Lidars and Sodars", Risø National Laboratory
- [7] Hurtig Mats, AQSystem, korrespondens, maj-juni 2008
- [8] Knudsen Jesper, Ownpower, korrespondens, maj 2008
- [9] Henriksson Michael, Nordex, korrespondens april 2008
- [10] Hagelin Johan, Vestas, korrespondens april 2008
- [11] Jonsson Leif, Dynawind, korrespondens april 2008
- [12] Clive P J M et al, 2008, "The Myres Hill remote sensing intercomparison study: preliminary results", ISARS 2008
- [13] Hannon Stephe et al, 2008, "Large scale wind resource mapping using a state-of-the-art 3D scanning lidar", EWEC 2008 paper



Vårt mål – en smartare energianvändning

Energimyndigheten är en statlig myndighet som arbetar för ett tryggt, miljövänligt och effektivt energisystem. Genom internationellt samarbete och engagemang kan vi bidra till att nå klimatmålen.

Myndigheten finansierar forskning och utveckling av ny energiteknik. Vi går aktivt in med stöd till affärsidéer och innovationer som kan leda till nya företag.

Vi visar också svenska hushåll och företag vägen till en smartare energianvändning.

Alla rapporter från Energimyndigheten finns tillgängliga på myndighetens webbplats

