



Karsholm, Kristianstad kommun

Mätning av ljudemission från vindkraftverk Vkv1 enligt IEC61400-11, ed. 2.1

Vindkraftverkstyp: REpower MM92 [2050 KW]



ÅF Ljud och vibrationer är ackrediterat av SWEDAC för metoden "Wind turbine generator systems – part 11: Acoustic noise measurement techniques" **IEC 61400-11**. Provningsresultatet avser endast de provade objekten.

ÅF-Infrastructure AB
2013-09-17

ÅF-Infrastructure AB, Frösundaleden 2 (goods 2E), SE-169 99 Stockholm
+46 10 505 00 00. Certifierat enligt SS-EN ISO 9001 och ISO 14001 +46 10 505 00 10. www.afconsult.com
VAT nr 556185-2103. VAT nr SE556185210301.



Handläggare
Jens Fredriksson

Uppdragsnr
584685

Tel +46 10-505 60 97
Mobil +46 70-184 57 97
Fax +46 10 505 00 10
jens.fredriksson@afconsult.com

Titel:	584685 Rapport HS Kraft Karsholm ljudemissionsmätning verk Vkv1 130902
Rapport nr:	584685-130911-rapport_A
Rapporttyp:	Ljudemissionsrapport
Författare:	Jens Fredriksson
Kvalitetsansvarig:	Paul Appelqvist
Mätpersonal:	Jens Fredriksson och Carl Pilman
Mätplats:	Karsholm, Kristianstad kommun
Mätdatum:	2013-09-02
Kund:	HS Kraft AB

Sammanfattning

Ljudeffekten från vindkraftverket Vkv1, av typen REpower MM92 [2050 KW], utan reglerinställning, dvs full drift, mättes 2013-09-02. Mätningen har genomförts IEC 61400-11 (1). Resultatet redovisas i tabellen nedan.

BIN-klass	[m/s]	4	5	6	7	8
Verkets medeleffekt	[kW]	353	681	1153	1659	2039
Rotorhastighet	[min ⁻¹]	10,4	12,7	14,6	15,1	15,1
Bladvinkel	[°]	1,3	0,0	0,0	0,4	4,0
Ljudeffektnivå, L _{WA,k}	[dB re 1pW (A-vägd)]	93,4	99,1	103,1	103,9	103,3*
Mätosäkerhet, U _c	[dB]	1,0	0,9	0,9	0,9	1,2

* Uppmätt totalnivå har bakgrundskorrigerats mot bakgrundsljudet vid 7 m/s. Ljudeffektnivån har beräknats utifrån denna bakgrundskorrigerade ljudnivå.

ÅF-Infrastructure AB
Ort: Stockholm
Datum: 2013-09-17
Reviderad: -

HANDLÄGGARE, Jens Fredriksson

GRANSKARE, Paul Appelqvist



Innehållsförteckning

1	BAKGRUND	4
2	MÄTMETOD LUDEMISSION	4
3	MÄTNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR	4
3.1	Vindkraftverk	4
3.2	Mätutrustning	4
3.2.1	Synkronisering av data	5
3.3	Mätpunkt	5
3.4	Drifts- och väderförhållanden	6
4	MÄTRESULTAT	6
4.1	Bestämning av direktivitet	6
4.2	Bestämning av vindhastighet	6
4.3	Uppmätt ljudtrycksnivå	7
4.4	Tonanalys	8
4.5	Bestämning av ljudeffekten	8
5	MÄTOSÄKERHET	9
6	AVSTEG FRÅN MÄTSTANDARDEN	10
7	SLUTSATS	10
8	REFERENSER	11
BILAGA 1.	FIGURER OCH DIAGRAM	12
A.	Verkets effektkurva	12
B.	Vindhastighet från producerad effekt mot nacellanemometer	13
C.	Totalljud och bakgrundsljud över vindhastighet	14
D.	Ljudeffektnivån över frekvens (tersband) för olika vindhastigheter	15
BILAGA 2.	TEKNISKA DATA	16
BILAGA 3.	FOTOGRAFIER FRÅN MÄTNINGEN	17



1 Bakgrund

HS Kraft AB har byggt fem vindkraftverk av typen REpower MM92 [2050 KW] vid Karsholm i Kristianstad kommun. ÅF har genomfört ljudemissionsmätning på två verk (2013-09-02) för att bestämma källljudet från respektive verk. Resultaten från ljudemissionsmätningen av vkv1 behandlas i denna rapport.

2 Mätmetod ljudemission

Ljudmätningen har utförts enligt IEC 61400-11: *Wind turbine generator systems – Part 11: Acoustic noise measurement techniques, Ed. 2, 2006-11*, referens (2). Ljudsignalen har spelats in så att det är möjligt att lyssna på ljudet i efterhand. Mätinstrumentet har placerats på en reflekterande platta på marken. Mikrofonen har försetts med primärt och sekundärt vindskydd. Efter att mätningen har genomförts har data analyserats med hänsyn till väderförhållanden, producerad elektrisk effekt och bakgrundsbuller. Vindhastigheten har beräknats utifrån verkets producerade elektriska effekt samt genom anemometern på turbinhuset och sedan räknats om till 10 m höjd över marken under antagande av plan mark och en logaritmisk hastighetsprofil.

Kommentar

En garanterad "power curve" har erhållits av tillverkaren REpower för aktuell vindkraftsmodell och finns angiven i Bilaga 1A. Utifrån denna har den standardiserade vindhastigheten beräknats från verkets producerade elektriska effekt.

3 Mätningförutsättningar

3.1 Vindkraftverk

I tabell 1 redovisas information om vindkraftverket. Mer information redovisas i Bilaga 2 tekniska data.

Tabell 1. Information om vindkraftverket.

Benämning	Vkv1
Tillverkare:	REpower Systems
Modell:	REpower MM92 [2050 KW]
Reglerinställning:	Normal operation (full drift, utan ljudreducerande inställningar)
Serienummer:	
Navhöjd ovan mark:	100 m
Rotordiameter	92,5 m
X-koordinat (RT90 2,5 gon V 0:-15)	6 223 441
Y-koordinat (RT90 2,5 gon V 0:-15)	1 401 452

Verket har en rotor med tre blad och har bladvinkel- och varvtalsreglering. Vindkraftverket är placerat i lätt kuperad terräng med tät skog. Fotografier från mätningen finns i bilaga 3.

3.2 Mätutrustning

I tabell 2 nedan listas utrustningen som användes under mätningen. Instrumenten är kalibrerade med spårbarhet till nationella och internationella referenser enligt vår kvalitetsstandard som uppfyller kraven i SS-EN ISO/IEC 17025, se referens (3). Datum för senaste systemkalibrering finns angiven i vår kalibreringslogg.

**Tabell 2. Använd mätutrustning.**

Benämning	Fabrikat, Modell	Intern beteckning
Ljudnivåmätare	Norsonic, 140	AL 169
Mikrofon, klass 1	Norsonic, Nor1225	AL 169
Kalibrator, klass 1	B&K, Type 4231	KU78
Vind- och temperaturlogger	Sagitta Pedagog, WM918	Ö163
Avståndsmätare	Bushnell, Compact 600	Ö139

Vid mätningarna har två vindskydd använts, ett primärt och ett sekundärt. Det primära är gjort av skumplast och har en diameter på ca 90 mm. Detta sitter närmast mikrofonen men har liten ljudpåverkan. Det sekundära vindskyddet (även kallat vindskärmen) har en diameter på ca 440 mm. En vindskärm kan påverka ljudbilden vid mikrofonen. Det halvsfäriska vindskyddets ljudpåverkan har mätts i laboratorium och påverkan är mindre än 1 dBA. Vid utvärderingen har en korrektion för vindskyddens inverkan på ljudtrycksnivån skett inom varje tersband.

3.2.1 Synkronisering av data

Vid en analys av ljudnivå och vindhastigheter i enminutsintervall är det viktigt att klockan för data från vindkraftverket, vindmasten och ljudnivåmätaren är synkroniserade. I detta fall har ÅF synkroniserat ljudnivåmätare och vindmast mot svensk standardiserad tid (med en osäkerhet på ca ± 1 s). ÅF har därefter kontrollerat med REpower, som ansvarat för loggningen av data från verket, att denna tid stämmer överrens med tiden för den loggade datan från verket. Datan från verket var exakt en timme efter vilket korrigerats för i analysen. En kontroll av datasynkroniseringen, mellan mätutrustning och data från vindkraftverket, har även genomförts där händelser såsom avstängning och uppstart av verk har jämförts. Data bedöms utifrån detta korrelera mycket väl.

3.3 Mätpunkt

Mikrofonen var enligt mätstandardens nedströms verket inom en vinkel på $\pm 15^\circ$. Mikrofonen placerades nord-ost om verket och de geometriska förutsättningarna för mikrofonen redovisas i tabell 3 nedan. Beteckningarna definieras i standarden.

Tabell 3. Geometriska förutsättningar för mikrofon.

X-koordinat	6 223 327	
Y-koordinat	1 401 536	
R ₀	142	[m]
R ₁	183	[m]
ϕ	38	[grader]

Enligt standard, se referens (2) ska ljudemissionsmätningen genomföras på ett horisontellt avstånd från tornet som är lika med totalhöjden av vindkraftverket, en tolerans på $\pm 20\%$ av avståndet är tillåten. Ljudmätningen genomfördes på det horisontella avståndet 142 m och 183 m till nav, vilket är inom den tillåtna toleransen. Totalhöjden av Vkv1 är 146 m.

Allmän topografi: Skogsterräng, lätt kuperad
Typ av mark vid mikrofon: Skogsglänta, mjuk mark
Reflekterande ytor: Mätskiva
Skärmande objekt: Träd
Andra ljudkällor: Vindinducerat brus från träd, närliggande vindkraftverk stängdes av under mätningen

Fotografier över vindkraftverk, mikrofon och vindmast finns i bilaga 3.



På grund av den täta skogen uppströms verket har ingen vindmast placerats uppströms vindkraftverket. Detta är ett avsteg från standarden.

3.4 Drifts- och väderförhållanden

Under mätdagen 2013-09-02 förekom dessa drifts- och väderförhållanden. Verket stängdes av och på för att mäta total- och bakgrundsbuller. Under mätning av verkets totalnivå samt bakgrundsnivå var övriga vindkraftverk i drift enligt tabell nedan.

Tabell 4. Driftschema för vindkraftverk Vkv1.

Tidpunkt	Mätaktivitet	Drift		
		Vkv1	Vkv2-vkv4	Vkv5
15:01-17:03	Totalljud	I drift	Avstängda	I drift
17:04-17:45	Bakgrundsljud	Avstängt	Avstängda	Avstängt

Verk 1 och verk 5 är belägna långt ifrån varandra och bedöms inte påverka mätningen vid respektive verk.

Mätningen genomfördes under väderförhållanden som redovisas i tabell 5 nedan.

Tabell 5. Väderförhållanden vid mättillfälle.

Lufttemperatur 2 m ovan mark	17-18	[°C]
Förhärskande vindriktning	NV (308°)	
Molnighet	Övervägande klart (1/8)	
Lufttryck 10m ovan mark	989	[hPa]
Relativ fuktighet	46-61	[%]

4 Mätresultat

4.1 Bestämning av direktivitet

Då ingen tydlig direktivitet från vindkraftverket kunde urskiljas valdes mätpunkten i medvindsriktningen. Genom att välja mätpunkten i medvindsriktningen erhålls det värsta fallet med avseende på ljudutbredningen.

4.2 Bestämning av vindhastighet

Vindhastigheten har i huvudsak bestämts genom den elektriska uteffekten från verket och verkets effektkurva. Effektkurvan ger relationen mellan elektrisk uteffekt och vindhastighet vid navhöjd. I det aktuella fallet har elektriskt producerad effekt räknats om till vindhastighet vid navhöjd med hjälp av effektkurvan för aktuell vindkraftsmodell, för de tidsintervaller när producerad eleffekt har legat lägre än 95 % av verkets märkeffekt. Se effektkurvan i bilaga 1A.

Den så beräknade vindhastigheten har korrigerats för aktuella väderförhållanden med hjälp av Ekvation 1.

Ekvation 1 i dokument [1], p_{ref} är 101,3 kPa och T_{ref} är 288 K

$$V_H = V_D \left(\frac{p_{ref} T_k}{p T_{ref}} \right)^{1/3} \quad (\text{ekvation 1})$$

där

V_H är den korrigerade vindhastigheten vid navhöjd i m/s



V_D är vindhastigheten i m/s läst från diagrammet för vindhastighet som funktion av elektrisk uteffekt.

Därefter har vindhastigheten vid navhöjd skalats om till vindhastigheten vid 10 m höjd, V_{10} , under antagande om logaritmisk vindprofil. Ekvation (7) i [1] har använts för skalningen (se ekvation 2 nedan). Alla vindhastigheter som är angivna i denna rapport är värden på 10 m höjd.

$$V_s = V_H \left[\frac{\ln\left(\frac{z_{ref}}{z_{oref}}\right) * \ln\left(\frac{H}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{H}{z_{oref}}\right) * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \right] \quad (\text{ekvation 2})$$

Vindhastigheten vid 10 m höjd är ett referensvärde som vanligtvis används i rapporter för utstrålning av ljud från vindkraftverk. I fall att vindhastighetsprofilen inte är logaritmisk är detta ett teoretiskt värde.

Då den elektriskt producerade effekten är mer än 95 % är det otillräckligt att bestämma vindhastigheten genom effektkurvan. Vid dessa tidpunkter används den s.k. "Nacelle anemometer method" för att bestämma vindhastigheten vid navhöjd, enligt referens (2) kap 7.3.1.1.1. För alla datapunkter mellan 5 % och 95 % av verkets märkeffekt kan ett samband ställas upp mellan vindhastigheten uppmätt vid navhöjd och vindhastigheten vid navhöjd framräknad genom effektkurvan. Sambandet uttrycks genom en regressionslinje. Ekvationen för regressionslinjen finns i Bilaga 1B tillsammans med en figur med respektive vindhastighets datapunkter.

Kommentar

Enligt regressionslinjen angiven i Bilaga 1B stämmer nacellaneometers uppmätta vindhastigheter väl med de vindhastigheter beräknade ur elektrisk effekt.

4.3 Uppmätt ljudtrycksnivå

Den totala A-vägda ljudtrycksnivån är beräknad från det uppmätta tersbandsspektrumet korrigerat för det sekundära vindskyddets inverkan. Resultatet redovisas i tabeller nedan samt figurer i bilaga 1C. Alla redovisade ljudnivåer i rapporten är A-vägda. Med BIN avses spannet av angiven vindhastighet $\pm 0,5$ m/s (t.ex. BIN 6 motsvarar vindhastigheter från 5,5 till 6,5 m/s).

Tabell 6 Mätresultat med vindkraftverket i produktion.

BIN-klass	[m/s]	4	5	6	7	8
Antal mätningar		16	42	37	23	3
Medelvindhastighet	[m/s]	4,1	5,0	5,9	6,8	7,9
Verkets medeleffekt	[kW]	353	681	1153	1659	2039
Rotorhastighet	[min ⁻¹]	10,4	12,7	14,6	15,1	15,1
Bladvinkel	[°]	1,3	0,0	0,0	0,4	4,0

Tabell 7. Mätresultat med vindkraftverket avstängt.

BIN-klass	[m/s]	4	5	6	7	8
Antal mätningar		9	10	14	4	0
Medelvindhastighet	[m/s]	3,9	5,0	6,0	6,9	-

Genom regressionsanalys har ett polynom tagits fram för totalljudet, det vill säga uppmätta värden med vindkraftverket i drift, samt bakgrundsljudet som använts för att korrigera totalljudet. Angivna nivåer i tabell 8 är beräknade för respektive BIN ur polynomet presenterat i ekvation 3 med koefficienter enligt tabell 9.

**Tabell 8. Uppmätt ljud: Totalljud ($L_{Aeq,t,k}$), bakgrundsljud ($L_{Aeq,b,k}$) och totalljud korrigerat för bakgrundsljud ($L_{Aeq,c,k}$) för reglerinställningen.**

BIN-klass	[m/s]	4	5	6	7	8
$L_{Aeq,t,k}$	[dB re 20 μ Pa]	43,7	49,2	53,1	54,1	53,6
$L_{Aeq,b,k}$	[dB re 20 μ Pa]	33,9	37,3	40,8	44,1	44,1*
$L_{Aeq,c,k}$	[dB re 20 μ Pa]	43,2	48,9	52,8	53,6	53,0

*För få erhållna värden av bakgrundsljud för aktuell vindhastighet. Bakgrundsljudet har antagits varit samma som vid 7 m/s.

$$L_{Aeq,k} = a \cdot V_k^4 + b \cdot V_k^3 + c \cdot V_k^2 + d \cdot V_k + e \quad (\text{ekvation 3})$$

V_k = är respektive BIN:s mittvindhastighet (4, 5, 6, 7, 8, 9 och 10 m/s)

Tabell 9. Regressionskurvornas koefficienter för totalnivån under respektive reglerinställning samt för bakgrundsljudet.

Ordning	4:e (a)	3:e (b)	2:a (c)	1:a (d)	Konstant (e)	Kommentar
$L_{Aeq,t,k}$	0,1133	-2,7173	22,866	-76,349	128,11	Totalljud
$L_{Aeq,b,k}$	0,0457	-1,0685	9,2111	-31,221	68,086	Bakgrundsljud

4.4 Tonanalys

Vid mätningen 2013-09-02 uppmärksammades ett svagt högfrekvent visslande ljud i närheten av verket som bedöms härröra från bladen, sannolikt bladspetsen. Ljudet uppmärksammades från samtliga blad och var tydligast då bladen bröt ner genom luftlagren. Ingen objektiv tonanalys i enlighet med standard har utförts.

Kommentar

En förenklad objektiv tonanalys enligt Annex E i ISO 1996-2:2007 (2007-03-15) har utförts. Utifrån denna metod bedöms ljudet ej som tonalt i mätpunkten.

4.5 Bestämning av ljudeffekten

Ljudeffektsnivån, $L_{WA,k}$, beräknas med hjälp av ljudtrycksnivån $L_{Aeq,c,k}$, (som är den uppmätta nivån, korrigerat för inverkan av bakgrundsbullret) vid heltalsvindhastigheter (i överensstämmelse med [1]):

$$L_{WA,k} = L_{Aeq,c,k} - 6 + 10 \cdot \log\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot R_1^2}{S_0}\right) \quad (\text{ekvation 4})$$

där, bidraget 6 dB finns på grund av att den koherenta additionen av ljudet som reflekteras från den hårda plattan under mikrofonen. Enligt ekvation 1 beskriver

$$10 \cdot \log\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot R_1^2}{S_0}\right) \quad (\text{ekvation 5})$$

hur arean på en sfär ökar då radien på sfären ökar, dvs. ljudtrycket sprids ut på en större area desto längre ifrån källan ljudet kommer.



S_0 är en referensyta med värdet $S_0 = 1 \text{ m}^2$

R_1 är direktavståndet mellan rotorns centrum vid navhöjd och ljudmätningplatsen, se uppmätt värde i Tabell 3, som även kan beräknas enligt

Beräknade ljudeffektnivåer presenteras i Tabell 10.

Tabell 10. A-vägd ljudeffektnivå ($L_{WA,k}$) för olika reglerinställningar vid olika vindhastigheter.

	BIN-klass					Enhet
	4	5	6	7	8	[m/s]
Ljudeffektnivå	93,4	99,1	103,1	103,9	103,3*	[dB re 1pW] (A-vägd)

* Uppmätt totalnivå har bakgrundskorrigerats mot bakgrundsljudet vid 7 m/s. Ljudeffektnivån har beräknats utifrån denna bakgrundskorrigerade ljudnivå.

5 Mätosäkerhet

Resultatet av mätningarna är belagd med osäkerheter som har sitt ursprung i osäkerheter och variationer i omgivningen, väderförhållanden, mättiden och mätsystemet. Som föreslaget i referens (2) redovisas osäkerheterna i tabell 11.

Mätosäkerheten hos typ A beräknas enligt följande formel:

$$U_A = \sqrt{\frac{\sum (y - y_{est})^2}{N - 2}} \quad (\text{ekvation 7})$$

Där y = uppmätt ljudtrycksnivå för totalljudet, y_{est} = ljudtrycksnivå för totalljudet uppskattad enligt regressionskurva, för respektive vindhastighet. N = antalet mätningar för totalljudet, för respektive vindhastighet

$$U_B = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (\text{ekvation 8})$$

Tabell 11. Osäkerhetsanalys.

Komponent		Typiskt spann på "±a" [dB]	Motsvarande spann på U [dB]	Använt spann på U [dB]
Kalibrering	U_{B1}	±0,3	0,2	0,2
Kedja av alla mätinstrument	U_{B2}	±0,3	0,2	0,2
Mätskiva	U_{B3}	±0,5	0,3	0,3
Avståndsmätning	U_{B4}	±0,1	0,1	0,1
Akustisk impedans för luft	U_{B5}	±0,2	0,1	0,1
Meteorologiska variationer (inklusive turbulens)	U_{B6}	±0,7	0,4	0,4
Vindhastighet	U_{B7}	±0,3	0,2	0,2
Vindriktning	U_{B8}	±0,5	0,3	0,3
Bakgrundsljud	U_{B9}	Se ekvation 9	Se ekvation 9	Se ekvation 9

Osäkerheten hos bakgrundsljudet har bestämts enligt formeln nedan:

$$U_{B9} = L_{Aeq,k} - \left[10 \cdot \log \left(10^{0,1 \cdot L_{Aeq,k}} - 10^{0,1(L_n)} \right) \right] \quad (\text{ekvation 9})$$



$L_{Aeq,k}$ är ljudtrycksnivån för totalljudet
 L_n är ljudtrycksnivån för bakgrundsljudet

Därefter kombineras de systematiska osäkerheterna enligt:

$$U_B = \sqrt{U_{B1}^2 + U_{B2}^2 + \dots} \quad (\text{ekvation 11})$$

Och sist erhålls den kombinerade standardosäkerheten för alla delar, enligt:

$$U_C = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} \quad (\text{ekvation 12})$$

Tabell 11 ger en indikation på vilka storheter som inverkar på bestämningen av ljudeffektnivå. Mätinstrumenten i sig har mycket god precision. Osäkerheten för ljudnivå mätt med precisionsljudnivåmätaren är mindre än 0,2 dB. Spridningen av ljudnivå i förhållande till regressionslinje vid olika vindhastigheter framgår av diagrammet i Bilaga 1C.

För mätningen erhålls följande osäkerhet:

Tabell 12. Standardosäkerhet för olika vindhastigheter.

Reglerinställning	BIN-klass					Enhet
	4	5	6	7	8	
Osäkerhet	1,0	0,9	0,9	0,9	1,2	[dB]

Enligt mätmetoden ska standardosäkerheten anges. Konfidensintervall med olika konfidensgrad kan beräknas på sedvanligt sätt under antagande av normalfördelade mätvärden.

6 Avsteg från mätstandarden

Dessa avsteg från mätstandarden har gjorts:

- Vid mätning av bakgrundsljudet har ingen vindmast använts, då den täta skogen gör det svårt att mäta vind på 10 m höjd. Istället har bakgrundsljudet relaterats till vindhastigheten uppmätt av nacellanemometern på verket, som korrigerats enligt "nacelle anemometer method".
- Totalnivån vid 8 m/s har bakgrunds-korrigerats mot bakgrundsnivån vid 7 m/s (se tabell 8). Vanligtvis ökar bakgrundsnivån med ökad vindhastighet och bakgrundsljudet vid 8 m/s kan således ha underskattats. En underskattning av bakgrundsnivån medför en överskattning av ljudeffektnivån. Den faktiska ljudeffektnivån kan således vara lägre vid denna vindhastighet.

7 Slutsats

Ljudemissionsmätning har genomförts för vindkraftverket Vkv1 i Karsholm, Kristianstad kommun. Vindkraftverket är av typen REpower MM92 [2050 KW]. Den totalt A-vägda ljudeffektsnivån har bestämts vid olika vindhastigheter och resultaten presenteras i tabell 13.

**Tabell 13. Resultat från ljudemissionsmätning.**

BIN-klass	[m/s]	4	5	6	7	8
Verkets medeleffekt	[kW]	353	681	1153	1659	2039
Rotorhastighet	[min ⁻¹]	10,4	12,7	14,6	15,1	15,1
Bladvinkel	[°]	1,3	0,0	0,0	0,4	4,0
Ljudeffektnivå, L _{WA,k}	[dB re 1pW] (A-vägd)	93,4	99,1	103,1	103,9	103,3*
Mätosäkerhet, U _c	[dB]	1,0	0,9	0,9	0,9	1,2

* Uppmätt totalnivå har bakgrundskorrigerats mot bakgrundsljudet vid 7 m/s. Ljudeffektnivån har beräknats utifrån denna bakgrundskorrigerade ljudnivå.

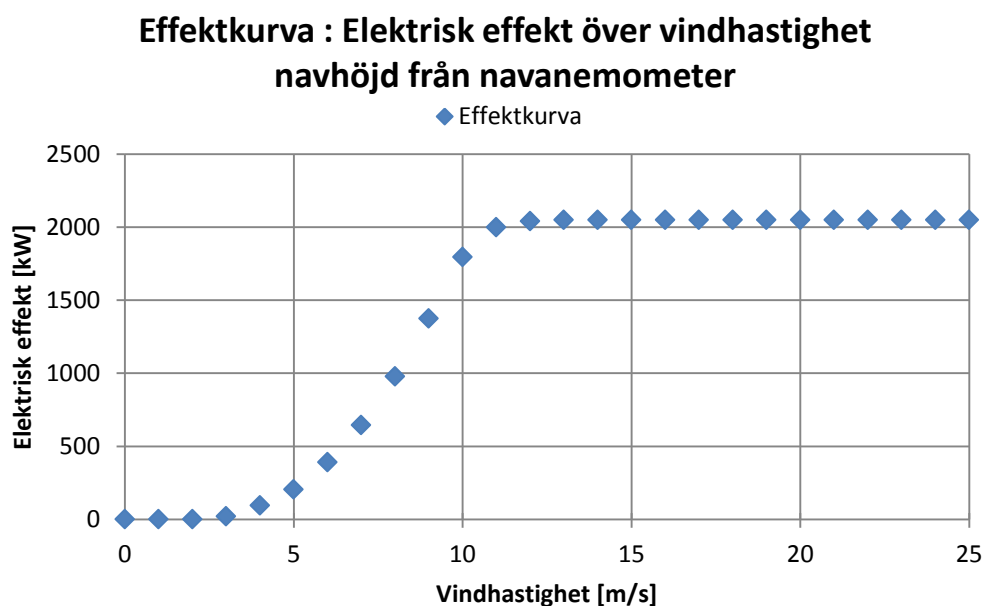
8 Referenser

1. **IEC.** IEC 61400-11 Edition 2.1 "Wind turbine generator systems - Part 11: Acoustic noise measurement techniques". Geneve : International Electrotechnical Commission, 2006-11.
3. —. IEC 17025:2005/Cor 1:2006 Allmänna kompetenskrav för provnings- och kalibreringslaboratorier . 2007.

Bilaga 1. Figurer och diagram

A. Verkets effektkurva

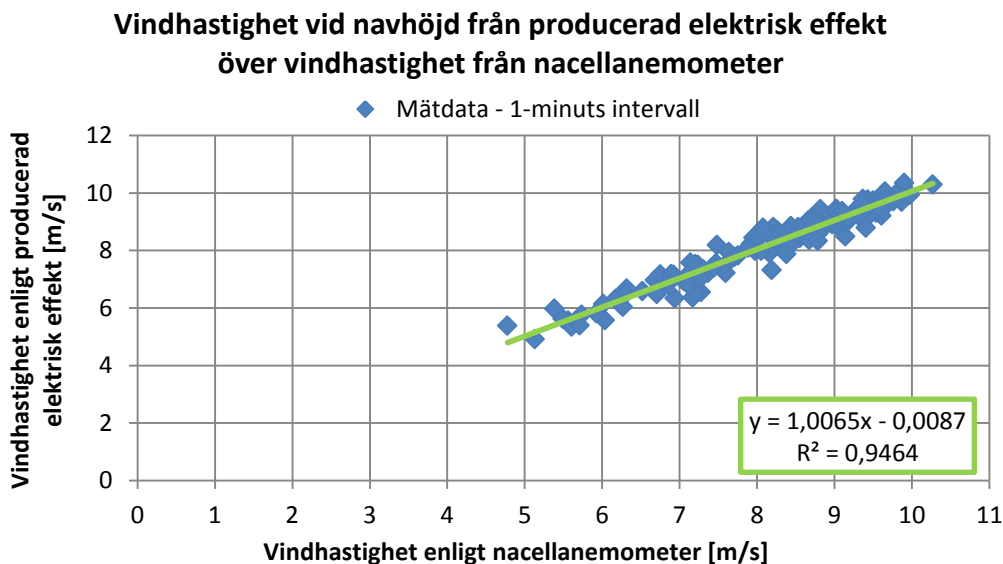
Effektkurvan för REpower MM92 [2050 KW] enligt dokumentet "Appendix 2.1.4.1 Power Curve and Sound Power Level" Document-No: SD-2-9-WT.PC.03-B-C-EN (2010-10-19).



Effektkurva från tillverkare 15°C och 101,3 kPa (1.225 kg/m ³):	
Vindhastighet vid navhöjd [m/s]	Effekt [kW]
0	0
1	0
2	0
3	20
4	94
5	205
6	391
7	645
8	979
9	1375
10	1795
11	2000
12	2040
13-24	2050

B. Vindhastighet från producerad effekt mot nacellanemometer

Följande data är då verket ligger mellan 5 och 95 % av maxeffekt (103-1948 kW). Detta används vid korrektion av vindhastigheter enligt "Nacelle anemometer method" för att beräkna vindhastigheten utifrån navanemometern då den producerade effekten överskrider 95 % av märkeffekten. Även vindhastighet för bakgrunds ljud har korrigerats på detta sätt.



Kommentar

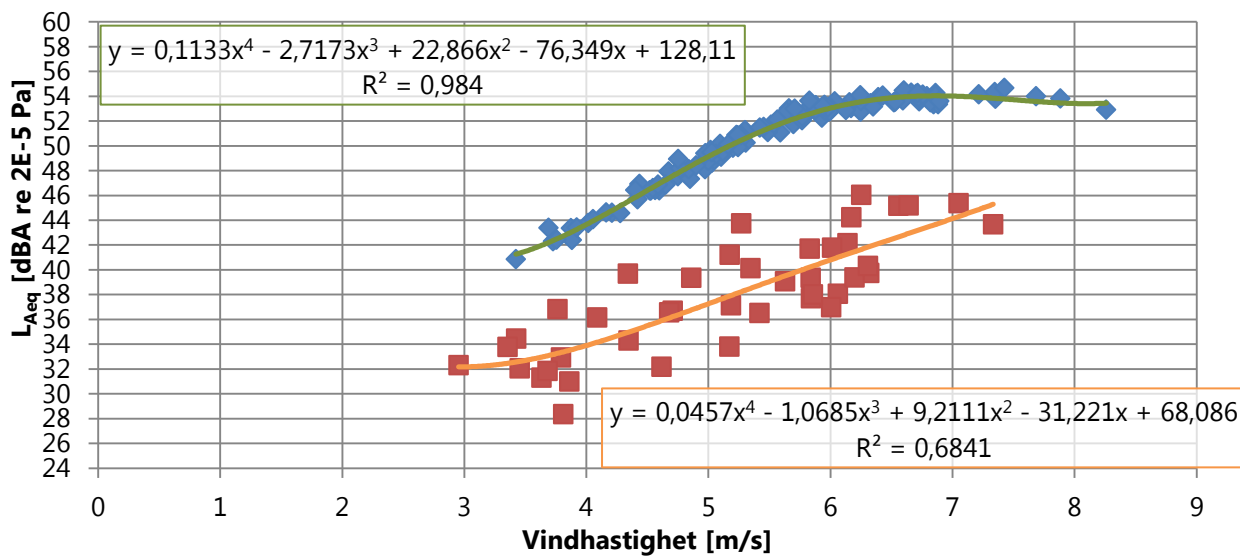
Vindhastigheten enligt verkets producerade elektriska effekt är beräknad med effektkurva enligt Bilaga 1 A. Utifrån den regressionslinje som anges i grafen ovan har uppmätt vindhastighet av nacellanemometern "kalibrerats" enligt den så kallade "nacelle anemometer method". Grafen visar att den beräknade vindhastigheten från producerad effekt stämmer mycket väl överens med den av nacellanemometer uppmätta vindhastigheten.

C. Totalljud och bakgrundsljud över vindhastighet

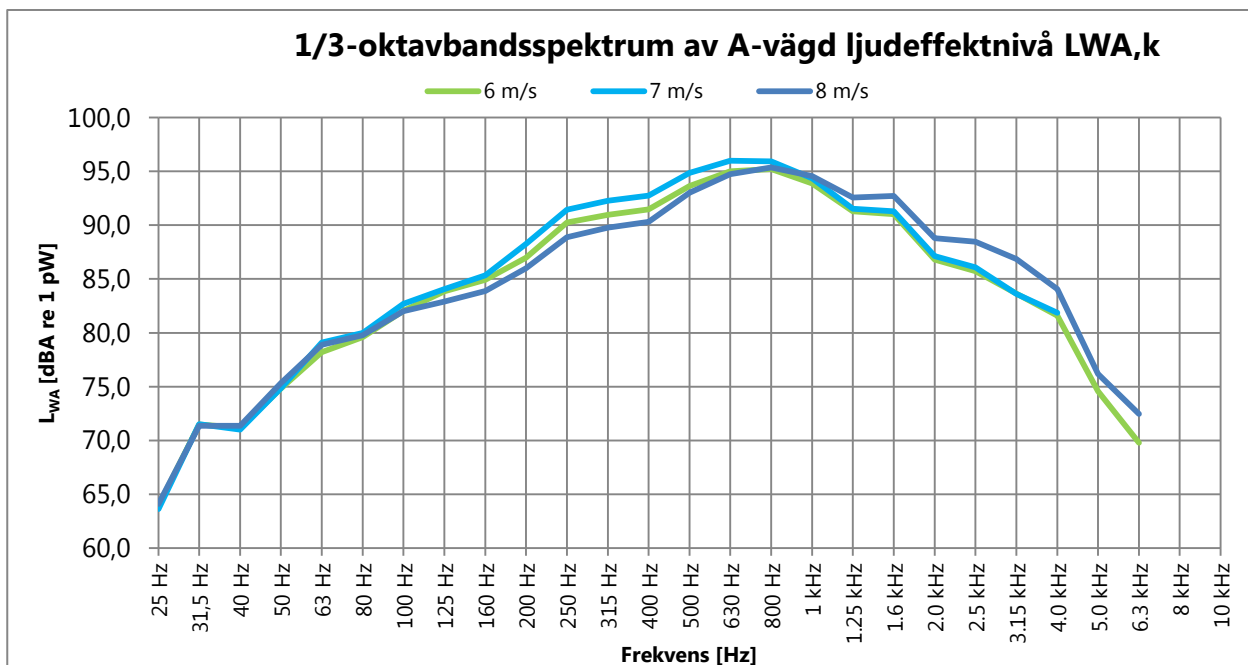
Vindhastighet i nedan angivna figurer är vindhastighet på 10 m höjd nedräknat med en logaritmisk vindprofil under referensförhållanden. För mer information se avsnitt 4.2.

Total ljudtrycksnivå och bakgrundsnivå

- ◆ Totalnivå (Verk på) - LAeq,t
- Bakgrundsnivå (Verk av) LAeq,b
- Poly. (Totalnivå (Verk på) - LAeq,t)
- Poly. (Bakgrundsnivå (Verk av) LAeq,b)



D. Ljudeffektnivån över frekvens (tersband) för olika vindhastigheter



	25 Hz	31,5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz
LWA,6	64,0	71,5	71,2	74,8	78,2	79,6	82,0	83,8	84,9
LWA,7	63,6	71,5	71,0	74,8	79,1	80,0	82,7	84,1	85,3
LWA,8***	64,1	71,3	71,3	75,3	78,9	79,8	82,0	82,9	83,9
	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	800 Hz	1 kHz	1.25 kHz
LWA,6	87,0	90,2	91,0	91,5	93,6	95,0	95,2	93,9	91,3
LWA,7	88,3	91,5	92,3	92,7	94,9	96,0	95,9	94,4	91,5
LWA,8***	86,0	88,9	89,8	90,3	93,0	94,7	95,4	94,6	92,6
	1.6 kHz	2.0 kHz	2.5 kHz	3.15 kHz	4.0 kHz	5.0 kHz	6.3 kHz	8 kHz	10 kHz
LWA,6	91,0	86,8	85,7	83,6	81,6	74,6*	69,8*	**	**
LWA,7	91,3*	87,1*	86,1*	83,6*	81,9*	**	**	**	**
LWA,8***	92,7	88,8	88,5	86,9	84,1	76,2*	72,5*	**	**

Angivna tersbandsnivåer är justerade för att motsvara uppmätt total ljudeffektnivå i tabell 13.

* Uppmätt ljudnivå med verket i drift är endast 3-6 dB högre än bakgrundsnivån. Angiven nivå är den uppmätta ljudnivån med verket i drift subtraherat med 1,3 dB.

** Uppmätt ljudnivå med verket i drift är mindre än 3 dB över bakgrundsnivån. Bakgrundsljudet är således högre än ljudet från vindkraftverket.

***Uppmätt total ljudnivå har korriigerats mot bakgrundsljud vid 7 m/s.



Bilaga 2. Tekniska data

Tillverkare	REpower Systems
Modellnummer	REpower MM92 [2050 kW]
Serienummer	
Axelriktning	Vertikal
Rotorplacering	Uppströms
Navhöjd	100 [m]
Horisontellt avstånd från rotorcentrum till tornaxel	[m]
Rotordiameter	92,5 [m]
Torntyp	Tube
Reglertyp	Bladvinkelreglering
Varvtalstyp	Variabel hastighet
Effektkurva	Se Bilaga 1A
Varvtal vid olika vindhastighet	Se avsnitt 4.3
Bladvinkel vid olika vindhastighet	Se avsnitt 4.3
Märkeffekt	2050 [kW] (Normal operation)
Programvara i tornet:	
Reglermod:	
Rotor, detaljer:	
Rotorregleranordningar	
Finns virvelalstrare, överstegringsremor eller tandad bakkant	
Bladtyp	
Antal blad	3 st
Växellåda:	
Tillverkare	
Modell	
Typ	
Generator:	
Tillverkare	
Modell	
Rotationshastighet vid märkeffekt	

Bilaga 3. Fotografier från mätningen



Bild 1. Från mätpunkt mot vkv.



Bild 2. Mikrofon på mätplatta med vindskydd över.



Bild 3. Från vindkraftverk mot mätposition.