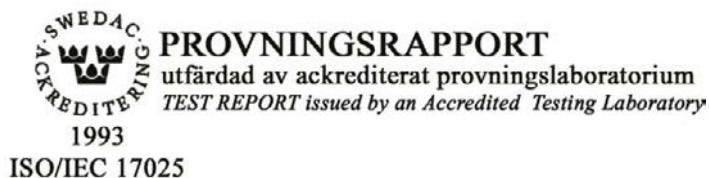




Björkhöjden vindpark, Sollefteå och Ragunda kommun

Mätning av ljudemission från vindkraftverk C18
enligt IEC61400-11, ed. 2.1

Vindkraftverkstyp: Siemens SWT-3.0-113



ÅF Ljud och vibrationer är ackrediterat av SWEDAC för metoden "Wind turbine generator systems – part 11: Acoustic noise measurement techniques" **IEC 61400-11** (1). Provningsresultatet avser endast de provade objekten.



ACKREDITERAD MÄTRAPPORT

Handläggare
Jens Fredriksson
Tel
+46 10 505 60 97

Mobil
+46 70 184 57 97

E-post
jens.fredriksson@afconsult.com

Datum
2015-11-26
Projekt-ID
701304

| | |
|---------------------------|---|
| Titel: | 701304 Rapport A ljudemissionsmätning Björkhöjden Verk C18 150930 |
| Rapport nr: | 701304-151126-Rapport_B |
| Rapporttyp: | Ljudemissionsrapport |
| Författare: | Jens Fredriksson |
| Kvalitetsansvarig: | Paul Appelqvist |
| Mätpersonal: | Jens Fredriksson |
| Mätplats: | Björkhöjden; Sollefteå och Ragunda kommun |
| Mätdatum: | 2015-09-30 |
| Kund: | Statkraft SCA Vind II AB |

Sammanfattning

Ljudeffekten från vindkraftverket C18, av typen Siemens SWT-3.0-113, utan reglerinställning ("Standard Setting"), dvs full drift, mättes 2015-09-30. Mätningen har genomförts enligt IEC 61400-11 (1). Resultaten redovisas sammanfattningsvis i tabellen nedan.

| BIN-klass | [m/s] | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------------------------|----------------------|-------|-------|-------|----------------|
| Verkets medeleffekt | [kW] | 1157 | 1856 | 2656 | 2974 |
| Rotorvarvtal | [varv/min] | 11,8 | 13,5 | 14,0 | 14,0 |
| Ljudeffektnivå, $L_{WA,k}$ | [dB re 1pW] (A-vägd) | 100,6 | 103,8 | 104,8 | 104,4* (104,2) |
| Mätosäkerhet, U_c | [dB] | 1,6 | 1,4 | 1,1 | 1,8 |

* Vindkraftsljudet har bakgrundskorrigerats med 1,3 dBA då skillnaden mellan totalnivå och bakgrundsnivå var mindre än 6 dBA men mer än 3 dBA. Inom parentes anges ljudeffektnivån beräknat från en totalnivå korrigerad mot faktisk bakgrundsnivå.

ÅF-Infrastructure AB
Ort: Stockholm
Datum: 2015-11-25
Reviderad: -

HANDLÄGGARE, Jens Fredriksson

GRANSKARE, Paul Appelqvist



ACKREDITERAD MÄTRAPPORT

Innehållsförteckning

| | | |
|-----------|--|----|
| 1 | Bakgrund | 4 |
| 2 | Mätmetod ljudemission | 4 |
| 3 | Mätningförutsättningar | 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..... | 11 |
| 7 | Slutsats..... | 11 |
| 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 |



ACKREDITERAD MÄTRAPPORT

1 Bakgrund

SCA Vind AB har byggt 90 vindkraftverk av typen Siemens SWT-3.0-113 vid Björkhöjden i Sollefteå och Ragunda kommun. ÅF har genomfört ljudemissionsmätning på två verk (2015-09-30) för att bestämma källjudet från verken. Resultaten från ljudemissionsmätningen av verk C18 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 (1)*. 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 av tillverkaren garanterad "power curve" har erhållits 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 | C18 |
| Tillverkare: | Siemens Wind Power A/S |
| Modell: | Siemens SWT-3.0-113 |
| Reglerinställning: | Standard Setting (full drift, utan ljudreducerande inställningar) |
| Serienummer: | 3000301 |
| Navhöjd ovan mark: | 115 m |
| Rotordiameter | 113 m |
| X-koordinat (RT90 2,5 gon V 0:-15) | 1 516 858 |
| Y-koordinat (RT90 2,5 gon V 0:-15) | 7 037 182 |

Verket har en rotor med tre blad och har bladvinkel- och varvtalsreglering. Vindkraftverket är placerat i kuperad terräng med mestadels skog, men även förnygringsyta, i närområdet. 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 (2). Datum för senaste systemkalibrering finns angiven i vår kalibreringslogg.



ACKREDITERAD MÄTRAPPORT

Tabell 2. Använd mätutrustning.

| Benämning | Fabrikat, Modell | Intern beteckning |
|----------------------------|------------------------------|-------------------|
| Ljudnivåmätare | Norsonic, 140 | AL 216 |
| Mikrofon, klass 1 | Norsonic, Nor1225 | AL 216 |
| Kalibrator, klass 1 | B&K, Type 4231 | KU102 |
| Vind- och temperaturlogger | GILL, Windsonic (vindmätare) | Ö218 |
| 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). Statkraft, som ansvarat för loggningen av data från verket, har angett tidsskillnaden mellan verklogg och standardiserad tid och utifrån det har uppmätt data korrelerats mot verkdata. 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 öst 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 | 1 517 029 | |
| Y-koordinat | 7 037 181 | |
| R ₀ | 172 | [m] |
| R ₁ | 207 | [m] |
| ϕ | 34 | [grader] |

Enligt standard, se referens (1) ska ljudemissionsmätningen genomföras på ett horisontellt avstånd från tornet som är lika med totalhöjden av vindkraftverket, en tolerans på ± 20 % av avståndet är tillåten. Ljudmätningen genomfördes på det horisontella avståndet 172 m samt 207 m till nav, vilket är inom den tillåtna toleransen. Totalhöjden av verk C18 är 171,5 m.

| | |
|---------------------------|---|
| Allmän topografi: | Skogsterräng, kuperad |
| Typ av mark vid mikrofon: | Föryngringsyta, mjuk mark |
| Reflekterande ytor: | Stenar, stubbar och träd |
| Skärmande objekt: | inga skärmande objekt |
| Andra ljudkällor: | Vindinducerat brus från träd samt vindkraftverk |



ACKREDITERAD MÄTRAPPORT

Ingen vindmast placerats uppströms vindkraftverket, vilket är ett avsteg från standarden. Detta eftersom det var tät skog uppströms verket. En vindmast var placerad ca 234 m uppströms från verk A04 (vilken användes för en annan mätning) där temperatur och lufttryck registrerats under hela mätperioden. Fotografier över vindkraftverk och mikrofon finns i bilaga 3.

3.4 Drifts- och väderförhållanden

Under mät dagen 2015-09-30 förekom dessa drifts- och väderförhållanden. Verket stängdes av och på för att mäta total- och bakgrunds nivå. Under mätning av verkets totalnivå samt bakgrunds nivå var vindkraftverken i drift enligt tabell nedan.

Tabell 4. Driftsschema för vindkraftverk C18.

| Tidpunkt | Mätaktivitet | Drift av aktuellt verk och övriga verk i parken | | |
|-------------|---------------|--|----------|-------------------------|
| | | C18 | C19 | Övriga närliggande verk |
| 12:03-12:30 | Totalljud | I drift | Avstängd | I drift* |
| 12:31-13:21 | Bakgrundsljud | Avstängd | Avstängd | I drift* |
| 13:22-14:43 | Totalljud | I drift | Avstängd | I drift* |

*Endast driftstatus för närliggande verk till verk C18 har kontrollerats genom produktionsloggar och observationer på plats.

Närliggande verk C19 var avstängt under hela mätningen för att inte orsaka störningar. Övriga verk bedömdes ej påverka mätningen nämnvärt.

Mätningen genomfördes under väderförhållanden som redovisas i tabell 5 nedan.

Tabell 5. Väderförhållanden vid mättillfälle.

| | | |
|------------------------------|-----------------------|-------|
| Lufttemperatur 2 m ovan mark | 12-15 | [°C] |
| Förhärskande vindriktning | V | |
| Molnighet | Mestadels klart (1/8) | |
| Lufttryck 10m ovan mark | 1008-1009 | [hPa] |
| Relativ fuktighet | 40-54 | [%] |

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.



ACKREDITERAD MÄTRAPPORT

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 (1) 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 nacellaneometerns 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 | 9 | 10 |
|---------------------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Antal mätningar | | 2 | 10 | 33 | 22 | 21 | 13 | 1 |
| Medelvindhastighet | [m/s] | 4,5 | 5,0 | 5,9 | 7,0 | 8,0 | 9,0 | 9,9 |
| Verkets medeleffekt | [kW] | 799 | 1157 | 1856 | 2656 | 2974 | 2987 | 2990 |
| Rotorvarvtal | [varv /min] | 10,4 | 11,8 | 13,5 | 14,0 | 14,0 | 14,0 | 13,9 |



ACKREDITERAD MÄTRAPPORT

Tabell 7. Mätresultat med vindkraftverket avstängt.

| BIN-klass | [m/s] | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Antal mätningar | | 3 | 16 | 16 | 7 | 3 | 1 | 2 |
| Medelvindhastighet | [m/s] | 4,4 | 4,9 | 5,9 | 6,9 | 8,1 | 9,2 | 9,9 |

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 ($L_{Aeq,c,k}$).

| BIN-klass | [m/s] | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------------|---------------|------|------|------|-------|------|
| $L_{Aeq,t,k}$ | [dB re 20μPa] | 50,5 | 53,2 | 54,2 | 54,3 | 55,0 |
| $L_{Aeq,b,k}$ | [dB re 20μPa] | 44,4 | 45,5 | 46,1 | 48,9 | - |
| $L_{Aeq,c,k}$ | [dB re 20μPa] | 49,3 | 52,4 | 53,5 | 53,0* | - |

*Skillnaden mellan totalnivå och bakgrundsnivå är mindre än 6 dB men större än 3 dB. Bakgrundskorrektionen görs därför som att det vore 6 dB skillnad vilket innebär en korrektion med 1,3 dB, i enlighet med standard. Inom parentes anges bakgrundskorrigerad ljudnivå då totalnivå korrigerats mot faktisk uppmätt nivå.

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

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

Tabell 9. Regressionskurvornas koefficienter för totalnivån samt för bakgrundsljudet.

| Ordning | 4:e (a) | 3:e (b) | 2:a (c) | 1:a (d) | Konstant (e) | Kommentar |
|---------------|---------|---------|---------|---------|--------------|-----------------------------------|
| $L_{Aeq,t,k}$ | 0,0234 | -0,4639 | 2,4037 | 2,7929 | 19,83 | Totalljud, 4:e ordningens polynom |
| $L_{Aeq,b,5}$ | 0 | 0 | 0 | -0,2287 | 45,541 | Bakgrundsljud, BIN-analys |
| $L_{Aeq,b,6}$ | 0 | 0 | 0 | 2,9266 | 27,973 | Bakgrundsljud, BIN-analys |
| $L_{Aeq,b,7}$ | 0 | 0 | 0 | 0,6026 | 41,846 | Bakgrundsljud, BIN-analys |
| $L_{Aeq,b,8}$ | 0 | 0 | 0 | 1,6126 | 36,025 | Bakgrundsljud, BIN-analys |

4.4 Tonanalys

Toner kunde subjektivt inte uppfattas när mätningen genomfördes. Enligt objektiv analys för förekomst av toner är hörbarheten under -3 dB och inga toner ska således rapporteras enligt standarden.

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



ACKREDITERAD MÄTRAPPORT

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

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.

Beräknade ljudeffektnivåer presenteras i Tabell 10.

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

| | BIN-klass | | | | Enhet |
|----------------|-----------|-------|-------|-------------------|-------------------------|
| | 5 | 6 | 7 | 8 | [m/s] |
| Ljudeffektnivå | 100,6 | 103,8 | 104,8 | 104,4* (104,2) | [dB re 1pW] (A-vägd) |

* Vindkraftsljudet har bakgrundskorrigerats med 1,3 dBA då skillnaden mellan totalnivå och bakgrundsnivå var mindre än 6 dBA men mer än 3 dBA. Inom parentes anges ljudeffektnivån beräknat från en totalnivå korrigerad mot faktisk bakgrundsnivå. För mer information, se notering under tabell 8.

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 (1) 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

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



ACKREDITERAD MÄTRAPPORT

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:

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

$L_{Aeq,t,k}$ är ljudtrycksnivån för total ljudet

$L_{Aeq,b,k}$ 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 ljudnivån 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 |
|-------------------|-----------|-----|-----|-----|-------|
| | 5 | 6 | 7 | 8 | [m/s] |
| Osäkerhet | 1,6 | 1,4 | 1,1 | 1,8 | [dB] |

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



ACKREDITERAD MÄTRAPPORT

6 Avsteg från mätstandarden

Dessa avsteg från mätstandarden har gjorts:

- Vid mätning har bakgrundsljudet relaterats till vindhastigheten uppmätt av nacellanemometern på verket, som korrigerats enligt "nacelle anemometer method". Ingen vindmast kunde placeras uppströms verket på grund av skog/terräng.

7 Slutsats

Ljudemissionsmätning har genomförts för vindkraftverket C18 i Björkhöjden, Sollefteå och Ragunda kommun. Vindkraftverket är av typen Siemens SWT-3.0-113. Den totalt A-vägd ljudeffektnivån har bestämts vid olika vindhastigheter och resultaten presenteras i tabell 13.

Tabell 13. Resultat från ljudemissionsmätning.

| BIN-klass | [m/s] | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------------------------|----------------------|-------|-------|-------|----------------|
| Verkets medeleffekt | [kW] | 1157 | 1856 | 2656 | 2974 |
| Rotorvarvtal | [varv/min] | 11,8 | 13,5 | 14,0 | 14,0 |
| Ljudeffektnivå, $L_{WA,k}$ | [dB re 1pW] (A-vägd) | 100,6 | 103,8 | 104,8 | 104,4* (104,2) |
| Mätosäkerhet, U_c | [dB] | 1,6 | 1,4 | 1,1 | 1,8 |

* Vindkraftsljudet har bakgrundskorrigerats med 1,3 dBA då skillnaden mellan totalnivå och bakgrundsnivå var mindre än 6 dBA men mer än 3 dBA. Inom parentes anges ljudeffektnivån beräknat från en totalnivå korrigerad mot faktisk bakgrundsnivå.

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.
2. —. IEC 17025:2005/Cor 1:2006 Allmänna kompetenskrav för provnings- och kalibreringslaboratorier. 2007.



ACKREDITERAD MÄTRAPPORT

Bilaga 1. Figurer och diagram

A. Verkets effektkurva

Effektkurvan för Siemens SWT-3.0-113 enligt dokumentet: "Contract Power Curve, Rev. 0, SWT-3.0-113", Document ID: E W CTO-40-0000-2678-00 (HST, NIBU / 2012.05.16)

Då effektkurvan är konfidentiell har den utelämnats från aktuell rapport.

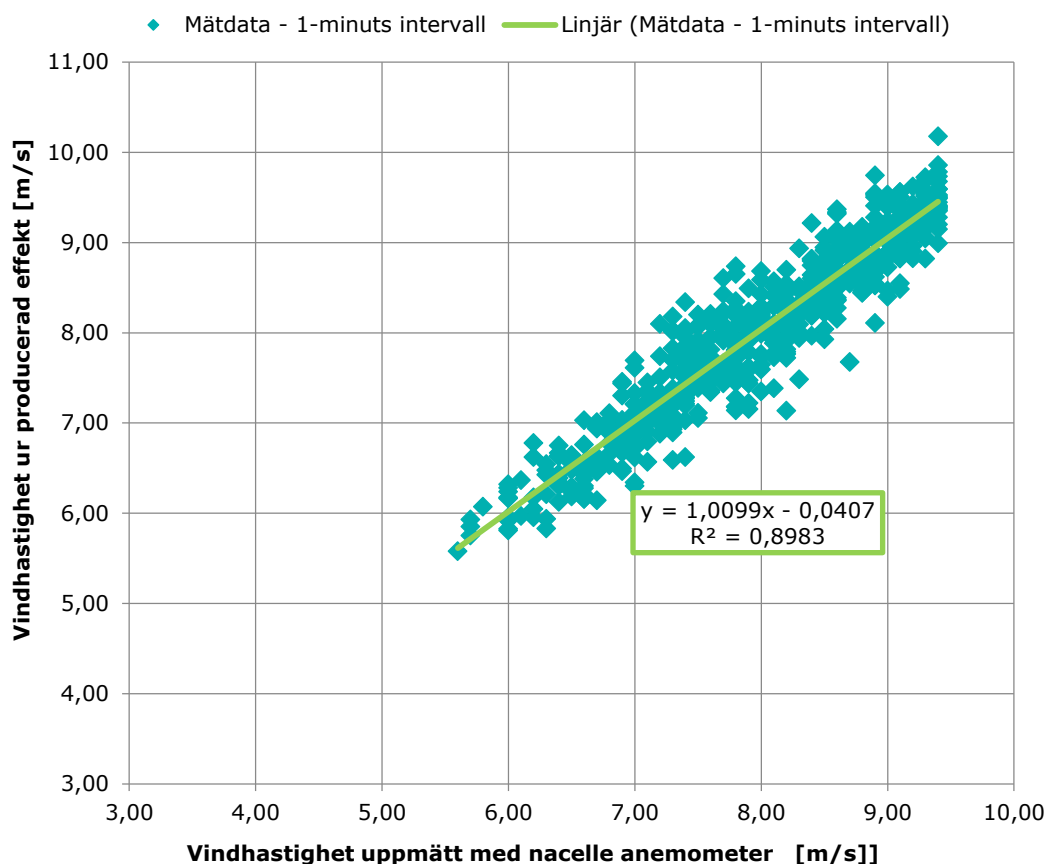


ACKREDITERAD MÄTRAPPORT

B. Vindhastighet från producerad effekt mot nacellanemometer

Följande data är då verket ligger mellan 5 och 95 % av maxeffekt (150-2850 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 bakgrundsljud har korrigerats på detta sätt.

Vindhastighet vid navhöjd från producerad elektrisk effekt över vindhastighet från nacellanemometer



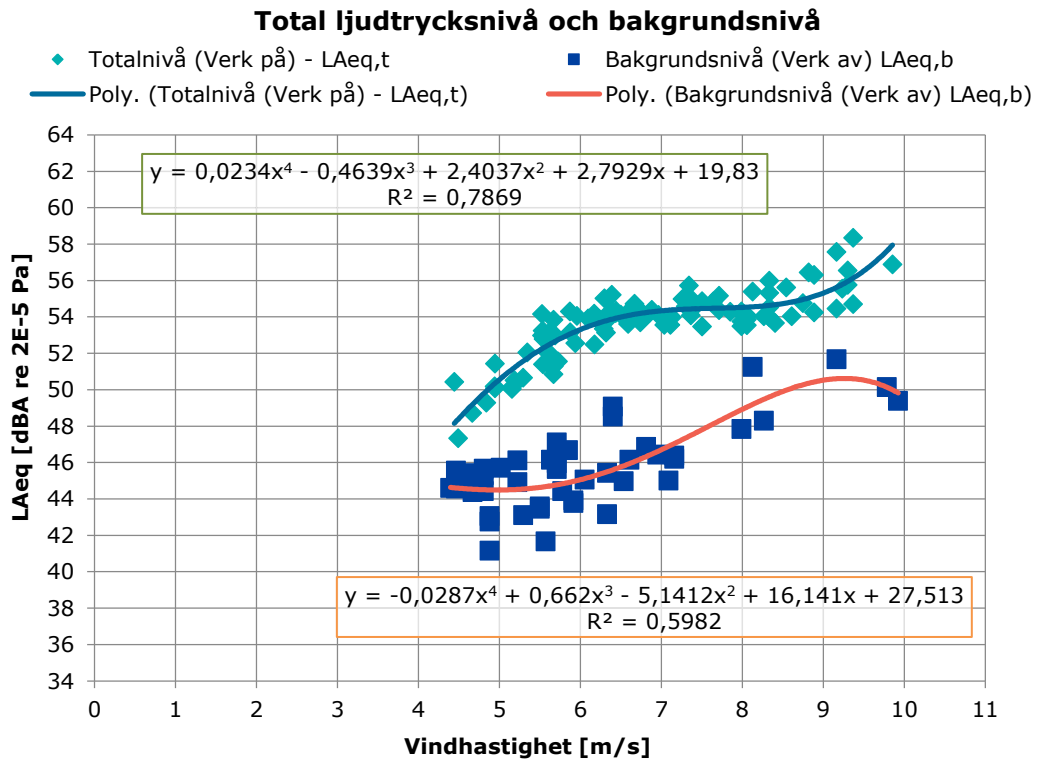
Kommentar

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

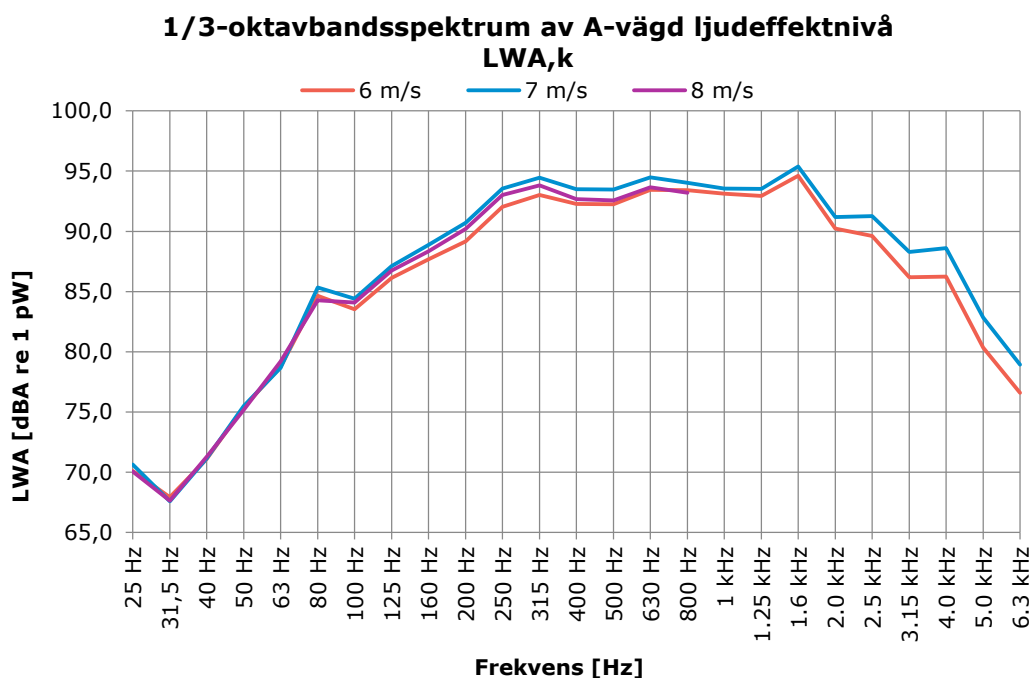
Vindhastighet i nedan angivna figurer är vindhastighet på 10 m höjd nedräknat med en logaritmisk vindprofil under referensförhållanden. För mer information se avsnitt 4.2.



ACKREDITERAD MÄTRAPPORT



D. Ljudeffektnivån över frekvens (tersband) för olika vindhastigheter



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

| | 25 Hz | 31,5 Hz | 40 Hz | 50 Hz | 63 Hz | 80 Hz | 100 Hz | 125 Hz | 160 Hz |
|----------------------------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|--------|----------|
| L_{WA,6} | 70,1 | 67,9 | 71,1* | 75,4 | 78,7 | 84,6 | 83,5 | 86,1 | 87,7 |
| L_{WA,7} | 70,6 | 67,6* | 71,1* | 75,5* | 78,7* | 85,3 | 84,4 | 87,1 | 88,9 |
| L_{WA,8}*** | 70,0 | 67,6* | 71,3* | 75,2* | 79,2 | 84,3 | 84,1 | 86,8 | 88,3 |
| | 200 Hz | 250 Hz | 315 Hz | 400 Hz | 500 Hz | 630 Hz | 800 Hz | 1 kHz | 1.25 kHz |
| L_{WA,6} | 89,2 | 92,0 | 93,0 | 92,3 | 92,3 | 93,4 | 93,4 | 93,1 | 92,9 |
| L_{WA,7} | 90,7 | 93,5 | 94,4 | 93,5 | 93,5 | 94,5 | 94,0 | 93,6 | 93,5 |
| L_{WA,8}*** | 90,2 | 93,0 | 93,8 | 92,7 | 92,6* | 93,6* | 93,2* | ** | ** |
| | 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 |
| L_{WA,6} | 94,6 | 90,2 | 89,6 | 86,2 | 86,2 | 80,3* | 76,6* | ** | ** |
| L_{WA,7} | 95,4 | 91,2 | 91,3 | 88,3 | 88,6 | 82,8* | 78,9* | ** | ** |
| L_{WA,8}*** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** |

* 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.

***Spektrum har ej korrigerats till uppmätt total ljudeffektnivå i tabell 13 pga för få värden.



ACKREDITERAD MÄTRAPPORT

Bilaga 2. Tekniska data

| | |
|--|-----------------------------------|
| Tillverkare | Siemens Wind Power A/S |
| Modellnummer | Siemens SWT-3.0-113 |
| Serienummer | 3000301 |
| Axelriktning | Vertikal |
| Rotorplacering | Uppströms |
| Navhöjd | 115 [m] |
| Horisontellt avstånd från rotorcentrum till tornaxel | - [m] |
| Rotordiameter | 113 [m] |
| Tornstyp | Tube |
| Reglertyp | Bladvinkelreglering |
| Varvtalstyp | Variabel hastighet |
| Effektkurva | Se Bilaga 1A |
| Varvtal vid olika vindhastighet | Se avsnitt 4.3 |
| Bladvinkel vid olika vindhastighet | - |
| Märkeffekt | 3000 [kW] |
| Programvara i tornet: | SICS |
| Reglerinställning: | Standard Setting |
| Rotor, detaljer: | |
| Rotorregleranordningar | Hydraulisk |
| Finns virvelalstrare, överstegringsremсор eller tandad bakkant | Virvelalstrare och tandad bakkant |
| Bladtyp | B55 De-icing |
| Antal blad | 3 st |
| Växellåda: | |
| Tillverkare | Ingen Växellåda |
| Modell | - |
| Typ | - |
| Generator: | |
| Tillverkare | Siemens Wind Power |
| Modell | DD22 (3,0 MW) |
| Rotationshastighet vid märkeffekt | 15,5 varv/min |

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.