

Udskriftsdato: 24. december 2025

BEK nr 135 af 07/02/2019 (Historisk)

Bekendtgørelse om støj fra vindmøller

Ministerium: Miljø- og Ligestillingsministeriet

Journalnummer: Miljø- og Fødevaremin., j.nr. 2018-5949

Senere ændringer til forskriften

BEK nr 995 af 26/08/2024

Bekendtgørelse om støj fra vindmøller

I medfør af § 7, stk. 1, nr. 1, 2 og 8, § 7 a, stk. 1, § 92 og § 110, stk. 3, i lov om miljøbeskyttelse, jf. lovbekendtgørelse nr. 1121 af 21. september 2018, og § 33, stk. 1 og 4, § 48, stk. 2, og § 61, stk. 1, i lov om beskyttelse af havmiljøet, jf. lovbekendtgørelse nr. 1033 af 4. september 2017, fastsættes:

Kapitel 1

Anvendelsesområde og definitioner

§ 1. Bekendtgørelsen finder anvendelse på etablering, ændring og drift af vindmøller.

§ 2. I denne bekendtgørelse forstås ved:

- 1) Små vindmøller: Enkeltstående vindmøller med et rotorareal på 200 m² eller derunder og med en totalhøjde på 25 meter eller derunder, herunder husstandsmøller.
- 2) Prototypemøller: Den første, ikke seriefremstillede vindmølle af en ny type.
- 3) Serie 0-møller: Første, mindre produktionsserie af en ny vindmølletype. Serie-0 møller kan have et midlertidigt typecertifikat (B-typecertifikat) med udestående punkter i henhold til bekendtgørelse om teknisk godkendelsesordning for konstruktion, fremstilling, opstilling, vedligeholdelse og service af vindmøller.
- 4) Forsøgsmøller: Serie 0-møller eller vindmøller, der er prototypecertificeret eller ombygget til brug for forsøg i henhold til bekendtgørelse om teknisk godkendelsesordning for konstruktion, fremstilling, opstilling, vedligeholdelse og service af vindmøller.
- 5) Vindmøllepark: En samling af 3 eller flere vindmøller.
- 6) Støjkonsekvensområde omkring forsøgsmøller: Den største udstrækning af området omkring forsøgsmøller, hvor den samlede støj fra vindmøller er højere end 37 dB(A) ved 6 m/s og 39 dB(A) ved 8 m/s, bestemt efter retningslinjerne i bilag 1 og 2.
- 7) Støjfølsom arealanvendelse: Områder, der anvendes til eller i lokalplan eller byplanvedtægt er udlagt til bolig-, institutions-, sommerhus-, camping- eller kolonihaveformål, eller områder, som er udlagt i lokalplan eller byplanvedtægt til støjfølsom rekreativ aktivitet.
- 8) Lavfrekvent støj: Støj i frekvensområdet fra 10 til 160 Hz. Lavfrekvent støj karakteriseres ved det A-vægtede niveau af støjen i 1/3-oktav frekvensbåndene fra 10 til og med 160 Hz, beregnet indendørs ved brug af metoden i bilag 1.

Kapitel 2

Krav til vindmøller

§ 3. Den, der ejer en vindmølle, er ansvarlig for, at den etableres, drives og vedligeholdes således, at bestemmelserne i denne bekendtgørelse er overholdt.

§ 4. Den samlede støjbelastning fra vindmøller må ikke overstige følgende grænseværdier:

- 1) I det mest støjbelastede punkt ved udendørs opholdsarealer højst 15 meter fra beboelse i det åbne land:
 - a) 44 dB(A) ved en vindhastighed på 8 m/s.
 - b) 42 dB(A) ved en vindhastighed på 6 m/s.
- 2) I det mest støjbelastede punkt i områder til støjfølsom arealanvendelse:
 - a) 39 dB(A) ved en vindhastighed på 8 m/s.
 - b) 37 dB(A) ved en vindhastighed på 6 m/s.

Stk. 2. Den samlede lavfrekvente støj fra vindmøller må indendørs i beboelse i det åbne land eller indendørs i områder til støjfølsom arealanvendelse ikke overstige 20 dB ved en vindhastighed på 8 m/s og 6 m/s.

Stk. 3. Grænseværdierne i stk. 1 og 2 gælder ikke for vindmøllejerens beboelse.

Stk. 4. Grænseværdierne i stk. 1 og 2 gælder ikke for et midlertidigt opholdssted for flygtninge, ligesom opholdsstedet i øvrigt er uden betydning for vurdering af støj fra vindmøller, hvis kommunalbestyrelsen har meddelt dispensation efter § 5 u, stk. 1, eller tilladelse efter § 5 u, stk. 1–3, i lov om planlægning, der muliggør etablering af et opholdssted på et støjbelastet areal.

§ 5. Støjbelastningen, jf. § 4, stk. 1 og 2, bestemmes efter retningslinjerne i bilag 1 og 2 og angives som det ækvivalente, korrigerede, A-vægtede støjniveau i 1,5 meters højde ved vindhastigheder, der korrigeret til 10 meters højde er på henholdsvis 6 m/s og 8 m/s ved en ruhedslængde på 0,05 meter.

§ 6. Måling af vindmøllers kildestyrke og af toneindhold i støjen udføres efter anvisningerne i bilag 1 og 2 som ”Miljømåling - ekstern støj”, jf. bekendtgørelse om kvalitetskrav til miljømålinger.

Stk. 2. Målinger på vindmøller, der er udstyret med flere generatorer, skal lægge støjudsendelsen fra vindmøllen under drift med den generator, der bevirker den højeste samlede støjudsendelse, til grund for støjmålingen.

Kapitel 3

Forsøgsmøller

§ 7. Beboelse m.v., der opføres eller indrettes i eksisterende bygninger inden for et støjkonsekvensområde omkring forsøgsmøller efter tidspunktet for offentliggørelse af forslag til lokalplan, der udlægger området til opstilling af forsøgsmøller, er uden betydning for vurderingen af støj fra forsøgsmøller, jf. dog stk. 2.

Stk. 2. Beboelse m.v., der opføres eller indrettes i eksisterende bygninger inden for et støjkonsekvensområde omkring forsøgsmøller på havet efter tidspunktet for offentliggørelse af miljøkonsekvensrapporten, er uden betydning for vurderingen af støj fra disse.

Stk. 3. Når vindmøller ønskes etableret eller ændret uden for et område udlagt til forsøgsmøller på land eller uden for et areal på havet, hvor Energistyrelsen har givet tilladelse til etablering af forsøgsmøller i henhold til § 25 i lov om fremme af vedvarende energi, skal det samlede støjbidrag fra forsøgsmøllerne, som er lagt til grund for forsøgsmøllernes støjkonsekvensområde, lægges til grund ved vurdering af, om støjgrænserne i § 4, stk. 1 og 2, er overholdt. Det samme gælder ved udførelse af tilsyn med disse vindmøller.

Kapitel 4

Anmeldelse m.v.

§ 8. Den, der ønsker at etablere en vindmølle eller ændre den på en måde, der kan medføre øget støjudsendelse, skal indgive anmeldelse herom til kommunalbestyrelsen. Dette gælder dog ikke for etablering eller ændring af vindmøller på havet.

Stk. 2. Anmeldelsen skal indeholde dokumentation for, at vindmøllerne kan overholde støjgrænserne i § 4.

Stk. 3. Dokumentation skal foreligge i form af følgende:

- 1) En rapport over målinger af støjudsendelsen fra et eller flere eksemplarer af den anmeldte vindmølle-type, jf. § 6.
- 2) Kortmateriale over det område, hvor den eller de anmeldte vindmøller ønskes etableret. Kortmaterialet skal være forsynet med målestok og nordpil samt nøje angive den eller de anmeldte vindmøllers placeringssteder, placering af eksisterende vindmøller samt beboelser og afstanden hertil og til anden støjfølsom arealanvendelse.
- 3) Beregning af støjbelastningen ved de i § 4 nævnte punkter efter retningslinjerne i bilag 1 og 2.

Stk. 4. For prototypemøller og serie 0-møller skal der foreligge sådanne målinger og beregninger efter stk. 3, nr. 1, at det kan sandsynliggøres, at vindmøllen vil kunne overholde støjgrænserne.

§ 9. Anmeldelsen anses for indgivet, når kommunalbestyrelsen har modtaget alle de i § 8, stk. 3, nævnte oplysninger. Anmeldelse kan tidligst ske, når der foreligger det nødvendige plangrundlag og eventuel landzonetilladelse og miljøvurderingstilladelse for vindmøllen, jf. lov om miljøvurdering af planer og programmer og af konkrete projekter (VVM).

Stk. 2. Har kommunalbestyrelsen ikke inden 4 uger fra det i stk. 1 angivne tidspunkt gjort indsigelse, kan vindmøllen etableres eller ændres, medmindre anden lovgivning er til hinder herfor.

Stk. 3. Bygge- og anlægsarbejderne må ikke påbegyndes før 4 ugers fristens udløb, medmindre kommunalbestyrelsen inden da meddeler, at den ikke vil gøre indsigelse mod anmeldelsen.

Stk. 4. I de områder, der ifølge kommune- eller lokalplanlægning er reserveret til opstilling af flere vindmøller eller udlagt til vindmøllepark, og hvor anmeldelse sker fortløbende af enkelte vindmøller, kan kommunalbestyrelsen for at sikre, at det samlede støjbidrag fra alle vindmøllerne i de nævnte områder overholder støjgrænserne i § 4, stille mere vidtgående krav til støjbidraget fra den enkelte vindmølle end støjgrænserne i § 4.

§ 10. Når en vindmølle efter etablering eller ændring sættes i drift, skal dette meddeles til tilsynsmyndigheden, jf. § 11.

Stk. 2. Er en anmeldt vindmølle eller ændring heraf ikke sat i drift inden 2 år efter udløbet af fristen i § 9, stk. 2, skal ny anmeldelse med de i § 8, stk. 3, angivne oplysninger indgives til kommunalbestyrelsen.

Kapitel 5

Tilsyn og påbud om støjmålinger

§ 11. Kommunalbestyrelsen fører tilsyn med overholdelsen af denne bekendtgørelse, jf. dog stk. 2.

Stk. 2. Miljøstyrelsen fører tilsyn med overholdelsen af denne bekendtgørelse for så vidt angår vindmøller på havet.

§ 12. Kommunalbestyrelsen kan påbyde, at ejeren af en vindmølle for egen regning udfører støjmålinger og -beregninger, jf. §§ 5 og 6,

- 1) når en anmeldt vindmølle eller ændring heraf sættes i drift,
- 2) i forbindelse med almindeligt tilsyn efter miljøbeskyttelsesloven, dog højst 1 gang årligt, eller
- 3) i forbindelse med behandlingen af naboklager over støj, når kommunalbestyrelsen anser dette for at være nødvendigt.

Stk. 2. Kommunalbestyrelsen kan i forbindelse med tilsyn med små vindmøller bestemme, at støjmålinger ikke skal udføres som "Miljømåling - ekstern støj", jf. § 6, stk. 1.

Stk. 3. For vindmøller på havet kan Miljøstyrelsen påbyde, at ejeren af en vindmølle for egen regning udfører støjmålinger og -beregninger, jf. §§ 5 og 6,

- 1) når en vindmølle eller ændring heraf sættes i drift,
- 2) i forbindelse med almindeligt tilsyn efter havmiljøloven, dog højst 1 gang årligt, eller
- 3) i forbindelse med behandlingen af naboklager over støj, når Miljøstyrelsen anser dette for at være nødvendigt.

Kapitel 6

Klage og straf

§ 13. Bortset fra afgørelser i henhold til § 12, stk. 1 og 2, og alle afgørelser vedrørende kommunalt ejede eller kommunalt drevne vindmøller kan kommunalbestyrelsens afgørelser ikke påklages til anden administrativ myndighed.

Stk. 2. Bortset fra afgørelser i henhold til § 12, stk. 3, kan Miljøstyrelsens afgørelser ikke påklages til anden administrativ myndighed.

§ 14. Medmindre højere straf er forskyldt efter den øvrige lovgivning, straffes med bøde den, der

- 1) etablerer en vindmølle eller ændrer den på en måde, der kan medføre øget støjudsendelse, uden anmeldelse og behørig dokumentation, jf. § 8,
- 2) påbegynder bygge- og anlægsarbejder eller etablerer en vindmølle uanset indsigelse fra kommunalbestyrelsen, jf. § 9, stk. 2 eller 4,
- 3) påbegynder bygge- og anlægsarbejder i strid med § 9, stk. 3,
- 4) sætter en vindmølle i drift i strid med § 10 eller
- 5) undlader at efterkomme et påbud efter § 12.

Stk. 2. Straffen kan stige til fængsel i indtil 2 år, hvis overtrædelsen er begået forsætligt eller ved grov uagtsomhed, og hvis der ved overtrædelsen er

- 1) voldt skade på miljøet eller fremkaldt fare derfor eller
- 2) opnået eller tilsigtet en økonomisk fordel for den pågældende selv eller andre, herunder ved besparelser.

Stk. 3. Der kan pålægges selskaber m.v. (juridiske personer) strafansvar efter reglerne i straffelovens 5. kapitel.

Kapitel 7

Ikrafttræden

§ 15. Bekendtgørelsen træder i kraft den 13. februar 2019.

Stk. 2. Bekendtgørelse nr. 1736 af 21. december 2015 om støj fra vindmøller ophæves.

Stk. 3. § 7 finder anvendelse for forsøgsmøller, hvor miljøkonsekvensrapporten for vindmøller på havet eller forslaget til lokalplan, der udlægger området til opstilling af forsøgsmøller, er offentliggjort den 1. januar 2012 eller senere.

Stk. 4. Er en vindmølle eller ændringen heraf anmeldt inden den 13. februar 2019, men ikke sat i drift inden 2 år efter udløbet af kommunalbestyrelsens indsigelsesfrist, skal ny anmeldelse indgives til kommunalbestyrelsen efter denne bekendtgørelse med de i § 8, stk. 3, angivne oplysninger. Det gælder dog ikke for vindmøller på havet.

Stk. 5. Bekendtgørelse nr. 304 af 14. maj 1991 om støj fra vindmøller finder fortsat anvendelse for vindmøller, der er anmeldt eller sat i drift før 1. januar 2007, jf. dog stk. 9.

Stk. 6. Bekendtgørelse nr. 1518 af 14. december 2006 om støj fra vindmøller finder fortsat anvendelse for vindmøller, der er anmeldt eller sat i drift før den 1. januar 2012, jf. dog stk. 9.

Stk. 7. Bekendtgørelse nr. 1736 af 21. december 2015 om støj fra vindmøller finder fortsat anvendelse for vindmøller på land, der er anmeldt eller sat i drift før den 13. februar 2019, jf. dog stk. 10.

Stk. 8. Bekendtgørelse nr. 1736 af 21. december 2015 om støj fra vindmøller finder fortsat anvendelse for vindmøller på havet, der har en gyldig etableringstilladelse efter lov om fremme af vedvarende energi eller er sat i drift før 13. februar 2019, jf. dog stk. 11.

Stk. 9. Uanset stk. 5 og 6 finder reglerne i denne bekendtgørelse anvendelse ved ændring af en vindmølle på land, der kan medføre øget støjudsendelse, eller som kræver fornyet certificering efter bekendtgørelse om teknisk certificeringsordning for vindmøller, jf. dog stk. 4.

Stk. 10. Uanset stk. 7 finder reglerne i denne bekendtgørelse anvendelse ved ændring af en vindmølle på land, der kan medføre øget støjudsendelse, jf. dog stk. 4.

Stk. 11. Uanset stk. 8 finder reglerne i denne bekendtgørelse anvendelse ved ændring af en vindmølle på havet, når ændringen kræver tilladelse efter reglerne om tilladelse til væsentlige ændringer i bestående anlæg i lov om fremme af vedvarende energi.

Miljø- og Fødevareministeriet, den 7. februar 2019

JAKOB ELLEMANN-JENSEN

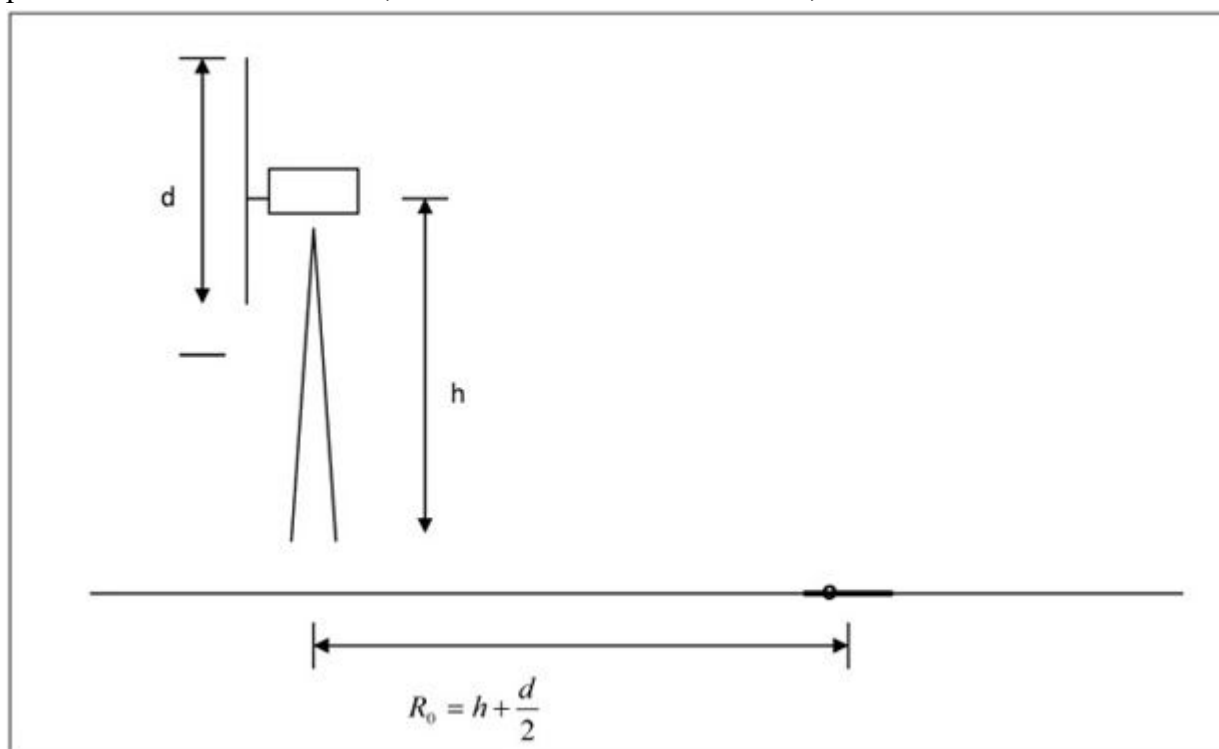
/ Mikkell Dam Schwartz

Afsnit 1

1.1. Generelle regler for måling af støjudsendelsen fra en vindmølle

Måleposition for landplacerede vindmøller

En vindmølles støjudsendelse (Lydeffektniveau L_{WA} i 1/3- eller 1/1-oktavbånd) måles i forskellige intervaller af vindmøllens producerede elektriske effekt i et punkt i læsiden af tårnet. Der skal måles i en afstand R fra centrum af vindmøllens fod, som højst må afvige $\pm 20\%$ fra afstanden R_0 (se figur 1), samtidig må afvigelsen fra R_0 ikke overstige ± 30 meter. Afstanden R_0 er vindmøllens navhøjde (h) plus rotorens radius ($\frac{1}{2}d$). For en vertikalakslet vindmølle er afstanden R_0 i stedet højden til midten af rotoren plus tværmålet af det element, der roterer om den lodrette akse; dette er ikke illustreret.



Figur 1.

Mikrofonen skal under målingen være placeret således, at retningen fra vindmøllens tårn til mikrofon højst afviger $\pm 15^\circ$ fra vindretningen.

På baggrund af lydmålingerne fastlægges A-vægtede referencespektre ved vindhastigheder på henholdsvis 6 m/s og 8 m/s.

Mikrofonen påsættes $\frac{1}{2}$ vindhætte og anbringes direkte oven på en reflekterende plade på jorden for at eliminere vindstøjen i mikrofonen mest muligt. Pladen må ikke på nogen led være mindre end 1 meter. Ved måling af støjudsendelsen ved lave frekvenser kan vinden give for kraftig baggrundsstøj. Det kan modvirkes ved at benytte en sekundær vindskærm, som er halvkugleformet, mellem 40 og 50 cm i diameter eller større, og placeret koncentrisk over mikrofon og vindhætte. Ved brug af sekundær vindskærm skal der korrigeres for den dæmpning af lyden, som skærmen forårsager. Korrektionen skal foretages i 1/3-oktavbånd.

Måling af lydspektre og vindhastighed

Støjen fra vindmøllen måles som A-vægtede lydspektre pr. 1/3-oktav i et frekvensområde, der mindst omfatter 1/3-oktavbåndene fra 20 til 10.000 Hz. Der måles et antal lydspektre i perioder, som skal være på 10 eller 60 sekunder, og hvor der i samme periode registreres både vindmøllens producerede elektriske middeleffekt, vindhastigheden målt med vindmøllens indbyggede vindmåler i navhøjde, og desuden med en vindmåler, der opstilles i mindst 10 meters højde i nærheden af vindmøllen på et sted, hvor hverken vindmøllen eller genstande i terrænet skønnes at påvirke vindmålingen.

Vindhastigheden v_h i møllens navhøjde beregnes ud fra møllens effektkurve. Ved beregningen anvendes alene segmenter af effektkurven, der inklusiv usikkerheden på effekten har en positiv hældning. Ved beregningen anvendes stykkevis lineær interpolation mellem punkterne i de angivne vindhastighedsbins på effektkurven. For segmenter af effektkurven, der ikke har en positiv hældning, bestemmes vindhastigheden ved brug af vindmøllens indbyggede vindmåler i navhøjde. Der anvendes i denne sammenhæng en usikkerhed på effekten på 2 % af møllens nominelle effekt.

Vindhastigheden V_{ref} i 10 meters højde under referenceforhold kan herefter bestemmes ved brug af ligning 1.1.1. Ved højere produceret effekt bestemmes vindhastigheden v_h i møllens navhøjde i stedet ved brug af vindmøllens indbyggede vindmåler i navhøjde, og vindhastigheden v_{ref} bestemmes ved brug af ligning 1.1.1. Hvis vindmøllens effektkurve undtagelsesvis ikke er kendt, eller når vindmøllen er standset, fordi der måles baggrundsstøj, bestemmes vindhastigheden ved brug af den opstillede vindmåler i mindst 10 meters højde. Vindhastigheden v_{ref} bestemmes så ved brug af ligning 1.1.2.

Ud fra alle målinger med vindmøllen i drift med produceret middeleffekt mindre end 0,95 gange nominal effekt, etableres sammenhængen mellem den vindhastighed, der aflæses fra møllens effektkurve og omregnes til v_{ref} , og henholdsvis vindhastigheden målt med vindmøllens indbyggede vindmåler i navhøjde og omregnet til v_{ref} , og vindhastigheden, målt med den opstillede vindmåler i mindst 10 meters højde og omregnet til v_{ref} , på følgende måde. For hver måleperiode på 10 eller 60 sekunder bestemmes forholdet mellem den vindhastighed, der aflæses fra møllens effektkurve og de to målte vindhastigheder hver for sig, og afslutningsvis bestemmes middelværdien af alle forholdene for hver af de to vindmålere. Disse middelværdier skal ganges på aflæsningerne fra henholdsvis vindmøllens indbyggede vindmåler i navhøjde, når den producerede middeleffekt findes på et sted på effektkurven, hvor hældningen inklusiv usikkerhed ikke er positiv, og på aflæsningen fra den opstillede vindmåler i mindst 10 meters højde, når vindmøllen er standset, og der måles baggrundsstøj. Herved udføres en *in situ* kalibrering af vindmøllens indbyggede vindmåler og af den opstillede vindmåler. Fordi vindmøllens effektkurve benyttes til at etablere sammenhængen mellem produceret effekt og vindhastighed, skal en kopi af effektkurven indgå i rapporten om kildestyrkemålingerne.

Ved brug af en midlingsperiode på 10 sekunder skal der måles mindst 30 spektre ved elektriske middeleffekter, svarende til at vindhastigheden v_{ref} i 10 meters højde under referenceforhold er beliggende i intervallet $5,5 \text{ m/s} \leq v_{ref} \leq 6,5 \text{ m/s}$ og mindst 30 spektre, hvor v_{ref} tilsvarende er beliggende i intervallet $7,5 \text{ m/s} \leq v_{ref} \leq 8,5 \text{ m/s}$. Ved en midlingsperiode på 60 sekunder kan der måles forholdsvis færre spektre i hvert af de to intervaller. Af de ovennævnte spektre skal der måles mindst 12 spektre (ved en midlingsperiode på 10 sekunder) i hvert af følgende fire intervaller for v_{ref} :

$$5,5 \text{ m/s} \leq v_{ref} < 6,0 \text{ m/s}$$

$$6,0 \text{ m/s} \leq v_{ref} \leq 6,5 \text{ m/s}$$

$$7,5 \text{ m/s} \leq v_{\text{ref}} < 8,0 \text{ m/s}$$

$$8,0 \text{ m/s} \leq v_{\text{ref}} \leq 8,5 \text{ m/s}$$

Det A-vægtede referencespektrum ved henholdsvis 6 m/s og 8 m/s for hvert 1/3-oktavbånd (eller 1/1-oktavbånd) fastlægges herefter som energimiddelværdien af de målte lydtrykspektre for v_{ref} beliggende i de nævnte intervaller omkring henholdsvis 6 m/s og 8 m/s.

$$v_{\text{ref}} = v_h \cdot \frac{\ln \frac{z_{\text{ref}}}{z_{0\text{ref}}}}{\ln \frac{h}{z_{0\text{ref}}}}$$

hvor:
 h = vindmøllens navhøjde (i meter)
 $z_{0\text{ref}}$ = referenceruheden 0,05 meter (fast værdi)
 z_{ref} = referencehøjden 10 meter (fast værdi)

Ligning 1.1.1. Korrektion af vindhastighed målt i vindmøllens navhøjde til 10 meters højde.

Hvis vindhastigheden måles i højden z , er sammenhængen mellem v_{ref} og v_z givet ved ligning 1.1.2.

$$v_{\text{ref}} = v_z \cdot \frac{\ln \frac{z_{\text{ref}}}{z_{0\text{ref}}} \cdot \ln \frac{h}{z_0}}{\ln \frac{h}{z_{0\text{ref}}} \cdot \ln \frac{z}{z_0}}$$

hvor:
 z = højden af den opstillede vindmåler (i meter)
 z_0 er ruheden af terrænet på det aktuelle målested. Terrænets ruhed z_0 estimeres ud fra tabel 1.1.

Ligning 1.1.2. Korrektion af vindhastighed målt med opstillet vindmåler i højden z til 10 meters højde.

Terræntype	Ruhed z_0 [meter]
Vand, sne, sand	0,0001
Åbent fladt landskab, bar jord, klippet græsplæne	0,01
Landbrugsareal med vegetation	0,05
Villakvarter, mindre by, område med tæt, høj bevoksning	0,3

Tabel 1.1: Ruhed for forskellige terræntyper

Korrektion for baggrundsstøj, bestemmelse af lydeffektniveau

Med vindmøllen stoppet måles baggrundsstøjen som et tilsvarende antal af lydspektre og ved de samme intervaller af vindhastigheder som ovenfor anført. Vindhastigheden måles ved brug af en opstillet vindmåler i mindst 10 meters højde, og vindhastigheden v_{ref} beregnes ved brug af ligning 1.1.2.

Energimiddelværdien af de målte baggrundsstøjspektre bestemmes ved henholdsvis 6 m/s og 8 m/s og benyttes til korrektion af vindmøllens referencespektrum, hvor lydtrykniveauerne $L_{A,\text{ref}}$ i hvert 1/3-oktavbånd (eller 1/1-oktavbånd) i referencespektret korrigeres i henhold til ligning 1.1.3. Hvis ikke

lydtrykniveauet i referencespektret er mindst 3 dB højere end lydtrykniveauet af baggrundsstøjen, skal korrektionen for baggrundsstøj begrænses til 3 dB.

Det totale niveau L_{Aeq} af den midlede baggrundsstøj skal være mindst 6 dB lavere end det totale niveau L_{Aeq} af vindmøllestøjen. Er dette ikke tilfældet, skal en ny måling gennemføres, når baggrundsstøjen er lavere. I forbindelse med kontrol af støjbelastningen kan der dog anvendes målinger, hvor forskellen mellem totalstøj og baggrundsstøj er mindre end 6 dB, såfremt det beregnede støjniveau efter en korrektion for baggrundsstøj på -1,3 dB ikke er højere end grænseværdierne.

$$L_{A,ref,k} = 10 \cdot \log(10^{\frac{L_{A,ref}}{10}} \div 10^{\frac{L_{A,b}}{10}})$$

hvor

$L_{A,ref,k}$ = det korrigerede referencelydtrykniveau i 1/3-oktavbånd (eller 1/1-oktavbånd)

$L_{A,b}$ = den midlede baggrundsstøjs lydtrykniveau i 1/3-oktavbånd (eller 1/1-oktavbånd)

Ligning 1.1.3. Korrektion for baggrundsstøj.

Møllens lydeffektniveau $L_{WA,ref}$ i 1/3-oktavbånd (eller 1/1-oktavbånd) findes herefter med ligning 1.1.4.

$$L_{WA,ref} = L_{A,ref,k} + 10 \cdot \log 4\pi(R^2 + h^2) \div 6dB$$

6 dB er en korrektion på grund af måling tæt ved en reflekterende plade på jorden

R = den aktuelle måleafstand mellem mikrofonen og vindmøllens fod.

Ligning 1.1.4. Vindmøllens lydeffektniveau.

Uanset ovenstående kan også målinger udført i henhold til standard IEC 61400-11 lægges til grund for bestemmelse af $L_{WA,ref}$.

1.2. Bestemmelse af lydtrykniveau L_{pA}

I et punkt, f.eks. ved nærmeste nabo, kan vindmøllens A-vægtede lydtrykniveau i 1/3-oktavbånd (eller 1/1-oktavbånd) i 1,5 meters højde bestemmes ved ligning 1.2.1.

$$L_{pA} = L_{WA,ref} - 10 \cdot \log(l^2 + h^2) - 11dB + \Delta L_g - \Delta L_a + \Delta L_m$$

hvor

l = afstanden fra vindmøllens fod til beregningspunktet

11 dB = korrektion for afstand $10 \times \log 4\pi$

ΔL_g = korrektion for terræn (1,5 dB for landplacerede vindmøller og 3 dB for havvindmøller)

ΔL_a = luftabsorption, $(\alpha_a \cdot \sqrt{l^2 + h^2})$, hvor dæmpningskoefficienten α_a fremgår af tabel 1.2 og 1.3.

ΔL_m = korrektion for multiple refleksioner (0 dB for landvindmøller, for havvindmøller se nedenfor)

Ligning 1.2.1. Beregning af lydtrykniveau i 1/3-oktavbånd (eller 1/1-oktavbånd)

Terrænkorrektionen for havvindmøller er gyldig ved beregning af lydtrykniveauet ved en bygning tæt ved kysten. Skal støjen beregnes ved en bygning, der set i retning mod vindmøllerne ligger mere end 200

meter inde fra kysten, benyttes i stedet terrænkorrektion for landplacerede vindmøller. For bygninger, der ligger mellem 0 og 200 meter fra kysten interpoleres lineært mellem de to værdier for terrænkorrektionen.

Beregningerne udføres for 1/3-oktavbåndene 50 Hz - 10.000 Hz eller 1/1-oktavbåndene 63 Hz - 8000 Hz.

Det kan vælges at tillægge en sikkerhedsmargin, således at der i beregningerne anvendes højere tal for kildestyrken $L_{WA,ref}$, end det fremgår af målrapporten.

Oktavbånds centerfrekvens i Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
α_a i dB/km	0,11	0,38	1,02	2,0	3,6	8,8	29,0	104,5

Tabel 1.2: Luftabsorptionskoefficienter pr. 1/1-oktav ved en relativ luftfugtighed på 80 % og en lufttemperatur på 10° C

1/3-oktav centerfrekvens i Hz	50	63	80	100	125	160	200	250	315
α_a i dB/km	0,07	0,11	0,17	0,26	0,38	0,55	0,77	1,02	1,3

1/3-oktav centerfrekvens i Hz	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
α_a i dB/km	1,6	2,0	2,4	2,9	3,6	4,6	6,3	8,8

1/3-oktav centerfrekvens i Hz	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
α_a i dB/km	12,6	18,8	29,0	43,7	67,2	105	157

Tabel 1.3: Luftabsorptionskoefficienter pr. 1/3-oktav ved en relativ luftfugtighed på 80 % og en lufttemperatur på 10° C

Korrektion for multiple refleksioner for vindmøller på havet

Tærskelafstanden, l_0 , for multiple refleksioner findes for $v_{ref} = 6$ m/s og $v_{ref} = 8$ m/s ved ligning 1.2.2.

$$l_0 = 2000 \cdot \frac{h}{30} \cdot \sqrt{\frac{6}{v_{ref}}}$$

Ligning 1.2.2. Tærskelafstand for multiple refleksioner

Den normerede afstand, l' , mellem vindmøllen og kysten i retning mod beregningspunktet bestemmes ved ligning 1.2.3.

$$l' = \frac{l_k}{l_0}$$

hvor l_k er afstanden mellem vindmøllen og kysten i retning mod beregningspunktet.

Ligning 1.2.3. Normeret afstand mellem vindmølle og kysten.

Korrektionen for multiple refleksioner, ΔL_m , beregnes herefter ved ligning 1.2.4.

$$\Delta L_m = \begin{cases} 0 & \text{for } l' \leq 1 \\ 10 \cdot \log l' & \text{for } 1 < l' < 2,512 \\ N \cdot \log \frac{l'}{2,512} + 4 & \text{for } 2,512 \leq l' \leq 5 \\ 10 \cdot \log l' + (N - 10) \cdot \log \frac{5}{2,512} & \text{for } l' > 5 \end{cases}$$

hvor N er en frekvensafhængig skaleringsfaktor, der fremgår af tabel 1.3.2.

Ligning 1.2.4. Beregning af korrektion for multiple refleksioner.

1/3-oktavbånd centerfrekvens i Hz	< 400	500	630	>800
N	20	16,8	13,4	10

Tabel 1.3.2. Skalleringsfaktor N til bestemmelse af korrektion for multiple refleksioner

Det totale A-vægtede lydtrykniveau $L_{pA, \text{tot}}$ i punktet findes derefter ved at addere lydtrykniveauerne $L_{pA, i}$ i de enkelte 1/3-oktavbånd (eller 1/1-oktavbånd), jf. ligning 1.2.5.

$$L_{pA, \text{tot}} = 10 \cdot \log \sum 10^{\frac{L_{pA, i}}{10}}$$

Ligning 1.2.5. Samlet lydtrykniveau.

Ubestemtheden på det beregnede lydtrykniveau $L_{pA, \text{tot}}$ ved brug af denne fremgangsmåde er ± 2 dB.

1.3. Bestemmelse af toner og støjbelastning L_r

For at kunne fastlægge støjbelastningen L_r i et givet punkt skal støjens indhold af tydeligt hørbare toner måles.

Hvis en frekvensanalyse, udført i henhold til bilag 2, af møllestøjen målt tæt ved vindmøllen som beskrevet i procedurerne for måling af det A-vægtede lydeffektniveau, viser, at der ikke skal gives tillæg for hørbare toner i nærheden af vindmøllen, vil der ikke være toner i støjen ved beboelse, og en særskilt analyse heraf er ikke nødvendig.

Hvis målingen tæt på vindmøllen indikerer et tillæg, foretages målinger ved den eller de boliger, hvor den samlede støjbelastning, med eller uden et evt. tonetillæg, er størst, og hvor overskridelse af en støjgrænse kan forekomme. Støjmålingen skal foretages i et repræsentativt punkt i nærheden af boligen/boligerne, 1,5 meter over terræn og valgt på en sådan måde, at vindstøjen får mindst muligt indvirkning på måleresultaterne¹⁾. Den eller de valgte målepositioner dokumenteres med foto.

Der skal være medvind + 45° fra vindmøllen hen mod målepunktet. Der er i denne sammenhæng ingen krav til temperaturgradient eller skydække. Vindhastigheden 10 meter over terræn, bestemt ud fra effektkurven for den vindmølle, der kan give anledning til toneindhold i støjen hos naboerne, skal være mellem

5 og 9 m/s. For små vindmøller, hvor der ikke foreligger en effektkurve, bestemmes vindhastigheden ved måling 10 meter over terræn.

Der måles i mindst en time under de driftsforhold, hvor tonen er tydeligst. Der foretages objektive analyser af toneindholdet efter retningslinjerne i afsnit 3 og således, at der foreligger mindst 5 spektre (midlingstid 60 sekunder) i hvert af vindhastighedsintervallerne 5,5 m/s – 7 m/s (mindst et spektrum ved en vindhastighed under 6,0 m/s) og 7 m/s – 8,5 m/s (mindst et spektrum ved en vindhastighed over 8,0 m/s). Tillægget K_T , i dB, fastlægges for hvert af de målte spektre som angivet i bilag 2, afsnit 2.4, ligning 2.4.2.

Støjbelastningen, L_r , for hhv. 6 og 8 m/s, fastsættes på basis af den højeste værdi af K_T for hvert af de tilhørende vindhastighedsintervaller som angivet i ligning 1.3.1.

$$L_r = L_{pA,tot} + K_T$$

Ligning 1.3.1. Bestemmelse af støjbelastning L_r med tillæg for tydeligt hørbare toner.

Ved behandling af en anmeldelse kan toneindholdet bestemmes ud fra en måling i medvindssiden af en tilsvarende vindmølle i en afstand svarende til den aktuelle afstand til nabopunktet.

1.4. Bestemmelse af lavfrekvent støj fra vindmøller

Niveauet af lavfrekvent støj, f.eks. i nærmeste bolig, bestemmes ved ligning 1.4.1.

$$L_{pALF} = L_{WA,ref} - 10 \cdot \log(l^2 + h^2) - 11dB + \Delta L_{gLF} - \Delta L_{\sigma} - \Delta L_a + \Delta L_m,$$

hvor

l = afstanden fra vindmøllens fod til beregningspunktet

11 dB = korrektion for afstand $10 \times \log 4\pi$

ΔL_{gLF} = korrektion for terræn ved lave frekvenser (tabel 1.4)

ΔL_{σ} = lydisolation ved lave frekvenser (tabel 1.4)

ΔL_a = luftabsorption, $(\alpha_a \cdot \sqrt{l^2 + h^2})$, hvor dæmpningskoefficienten α_a fremgår af tabel 1.4.

ΔL_m = korrektion for multiple refleksioner (0 dB for landvindmøller, for havvindmøller se ligning 1.2.4)

Ligning 1.4.1. Beregning af lavfrekvent støj fra vindmøller i 1/3-oktavbånd

1/3-oktavbånd centerfrekvens i Hz	10	12,5	16	20	25	31,5	40
ΔL_{gLF} : terrænkorrektion, landplaceret vindmølle (dB)	6,0	6,0	5,8	5,6	5,4	5,2	5,0
ΔL_{gLF} : terrænkorrektion, havvindmølle (dB)	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	5,9	5,9
ΔL_{σ} : lydisolation (niveaudifferens) (dB)	4,9	5,9	4,6	6,6	8,4	10,8	11,4
ΔL_{σ} : lydisolation, sommerhusområder (niveaudifferens) (dB)	6,8	3,9	0,4	-0,2	4,8	6,2	8,4
α_a i dB/km	0,0	0,0	0,0	0,0	0,02	0,03	0,05

1/3-oktavbånd centerfrekvens i Hz	50	63	80	100	125	160
ΔL_{gLF} : terrænkorrektion, landplaceret vindmølle (dB)	4,7	4,3	3,7	3,0	1,8	0,0
ΔL_{gLF} : terrænkorrektion, havvindmølle (dB)	5,8	5,7	5,5	5,2	4,7	4,0
ΔL_{σ} : lydisolation (niveaudifferens) (dB)	13,0	16,6	19,7	21,2	20,2	21,2
ΔL_{σ} : lydisolation, sommerhusområder (niveaudifferens) (dB)	10,5	11,9	11,9	16,0	17,5	17,9
α_a i dB/km	0,07	0,11	0,17	0,26	0,38	0,55

Tabel 1.4: Terrænkorrektion for lavfrekvent støj for vindmøller placeret henholdsvis på land og på havet, lydisolation (niveaudifferens), og luftabsorptionskoefficienter pr. 1/3-oktavbånd ved en relativ luftfugtighed på 80 % og en lufttemperatur på 10° C

Terrænkorrektionen for havvindmøller er gyldig ved beregning af lavfrekvent støj i en bygning tæt ved kysten. Skal støjen beregnes i en bygning, der set i retning mod vindmøllerne ligger mere end 200 meter inde fra kysten, benyttes i stedet terrænkorrektion for landplacerede vindmøller. For bygninger, der ligger mellem 0 og 200 meter fra kysten, interpoleres lineært mellem de to værdier for terrænkorrektionen.

Det totale lydtrykniveau af den lavfrekvente støj $L_{pALF, tot}$ i boligen findes derefter ved at addere lydtryk-niveauerne $L_{pALF, i}$ i de enkelte 1/3-oktavbånd, jf. ligning 1.4.2.

$$L_{pALF, tot} = 10 \cdot \log \sum 10^{\frac{L_{pALF, i}}{10}}$$

Ligning 1.4.2. Samlet lydtrykniveau.

Ubestemtheden på det beregnede lydtrykniveau $L_{pALF, tot}$ ved brug af denne fremgangsmåde er ± 2 dB.

Afsnit 2

Særlige regler

2.1. Bestemmelse af støj fra vindmølleparker

Ved en vindmøllepark forstås i denne bekendtgørelse en samling af tre eller flere vindmøller, uanset om disse er opstillet på land eller som havvindmøller.

Lydeffektniveauet $L_{WA, ref}$ i 1/3-oktavbånd eller 1/1-oktavbånd bestemmes ved målinger på mindst tre tilfældigt udvalgte vindmøller af samme type. For de øvrige vindmøller i parken af samme type anvendes energimiddelværdien af de tre (eller flere) målte lydeffektniveauer. Vindmøller med forskellige støjindstillinger betragtes i denne sammenhæng som vindmøller af forskellig type.

Den opstillede vindmåler skal, hvis den placeres i medvindssiden af en af de øvrige vindmøller, have en afstand til denne vindmølle, som er mindst ti gange vindmøllens rotordiameter (d), se figur 1.

Lydtrykniveauet i 1/3-oktavbånd eller 1/1-oktavbånd i et punkt findes ved at addere støjbidragene fra de enkelte vindmøller, beregnet efter ligning 1.2.1 som angivet i ligning 2.1.

$$L_{total} = 10 \cdot \log(10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + \dots)$$

Ligning 2.1. Samlet lydtrykniveau fra flere vindmøller

Samme formel benyttes, når bidraget fra en ny vindmølle skal lægges til det lydtrykniveau, som eksisterende vindmøller i nærheden af den pågældende bolig frembringer.

Det totale A-vægtede lydtrykniveau $L_{pA,tot}$ i punktet findes derefter ved ligning 1.2.5.

Korrektion for multiple refleksioner for vindmølleparker på havet

Beregning af ΔL_m gennemføres ved for hver enkelt vindmølle at fastlægge tærskelafstanden, l_0 , på baggrund af medvindskomponenten i retningen fra vindmølle til beregningspunkt i forhold til én fast vindretning, som er retningen fra den mølle, der er nærmest beregningspunktet, til beregningspunktet. Medvindskomponenten, $v_{ref,k,i}$, for den i 'te vindmølle i parken fastlægges ved ligning 2.2:

$$V_{ref,k,i} = v_{ref} \cdot \cos \theta_i$$

hvor θ_i er vinklen mellem retningen fra beregningspunkt til nærmeste vindmølle og retningen fra beregningspunkt til den i 'te vindmølle.

Ligning 2.2. Beregning af medvindskomponent.

$\cos \theta_i$ kan findes ved ligning 2.3:

$$\cos \theta_i = \frac{l_1^2 + l_i^2 - l_m^2}{2 \cdot l_1 \cdot l_i}$$

hvor

l_1 = afstanden fra beregningspunkt til nærmeste vindmølle i parken

l_i = afstanden fra beregningspunkt til den i 'te vindmølle i parken

l_m = afstanden mellem den i 'te vindmølle og vindmøllen nærmest beregningspunktet.

Ligning 2.3. Beregning af $\cos \theta_i$

Tærskelafstanden $l_{0,i}$ for den i 'te vindmølle i vindmølleparken findes herefter ved at indsætte $V_{ref,k,i}$ i ligning 1.2.2.

2.2. Måling af støjudsendelse fra havvindmøller

A. Mikrofonen monteret på en reflekterende plade på skibet

I forhold til målinger på landbaserede vindmøller ændres målemetoden således, at den reflekterende plade, som mikrofonen skal anbringes på, placeres på taget af styrehuset på målefartøjet eller på en anden tilsvarende stor flade med fri sigt fra mikrofonens placering til vindmøllen. Taget eller fladen må ikke på nogen led være mindre end 4 meter.

I øvrigt gælder anvisningerne i kapitel 1, afsnit 1.

B. Mikrofonen monteret ud for skibet

Hvis mikrofonen ikke kan placeres som nævnt under pkt. A, skal mikrofonen placeres 3-5 meter over havoverfladen, fri fra reflekterende flader og lignende og 1-2 meter ude over kanten af måleskibet med fri sigt til vindmøllen. Mikrofonen påsættes en vindhætte og mikrofonaksen skal pege i retningen over mod vindmøllens nav.

Støjen fra vindmøllen måles som A-vægtede spektre i et antal perioder efter samme retningslinjer som anført i afsnit 1 for landplacerede vindmøller, idet der samtidig sker registrering af vindmøllens producerede effekt, vindhastigheden i navhøjde, målt med vindmøllens indbyggede vindmåler, og vindhastigheden v_z i mindst 10 meters højde over havoverfladen med anemometeret placeret på samme fartøj som mikrofonen. På grund af havoverfladens lave ruhedsværdi er $v_z = v_{\text{ref}}$.

Er baggrundsstøjen for kraftig, kan dens indflydelse reduceres ved at øge mikrofonhøjden til 5 meter og reducere måleafstanden.

Møllens lydeffektniveau $L_{WA, \text{ref}}$ i 1/3-oktavbånd (eller 1/1-oktavbånd) findes herefter som angivet i ligning 2.4.

$$L_{WA, \text{ref}} = L_{A, \text{ref}, k} + 10 \cdot \log 4\pi(R^2 + h^2) \div 3 \text{ dB}$$

Ligning 2.4. Lydeffektniveau for en havvindmølle.

Ved måling af støjbelastningen fra vindmølleparker på havet gælder anvisningerne ovenfor om måling af støj fra vindmølleparker.

2.3. Måling af støjudsendelse fra små vindmøller

For små vindmøller, herunder husstandsmøller, bestemmes kildestyrken efter principperne i den metode, som er specificeret i 1.1. med mulighed for følgende afvigelse:

- Mikrofonen skal under målingen være placeret således, at retningen fra vindmøllens tårn til mikrofon højst afviger $\pm 45^\circ$ fra vindretningen.

Små vindmøller har sædvanligvis ikke mulighed for direkte udlæsning af den producerede effekt i korte tidsintervaller, og derfor bestemmes sammenhængen mellem vindmøllens støjudsendelse og vindhastigheden ud fra målinger med en vindmåler, der opstilles i mindst 10 meters højde i nærheden af vindmøllen på et sted, hvor hverken vindmøllen eller genstande i terrænet skønnes at påvirke vindmålingen.

- ¹⁾ Vejledning om dette kan findes i konklusionen i "Vurdering af toneindhold i vindmøllestøj hos naboer" Rapport nr. 28 fra Miljøstyrelsens Referencelaboratorium for Støjmålinger RL 17/15.

Objektiv metode til bestemmelse af tydeligheden af toner i støj**Afsnit 1**

Metoden²⁾ indeholder procedurer for stationære og for varierende toner, for smalbåndsstøj samt for lavfrekvente toner, og resultatet er et graderet tillæg på mellem 0 og 6 dB³⁾.

Afsnit 2 Objektiv metode**2.1. Generelt**

Metoden har tre trin:

1. Smalbåndsfrekvensanalyse (FFT-analyse).
2. Bestemmelse af midlede lydtrykniveauer for tone(r) og maskerende støj inden for et kritisk bånd omkring tonen/tonerne.
3. Beregning af tonernes tydelighed, ΔL_{ta} og tillægget, K_T .

2.2. Frekvensanalyse

Hvert A-vægtede smalbåndsspektrum fastlægges ved lineær midling i ét minut (langtidsmidling).

Den effektive analysebåndbredde skal være mindre end 5 % af bredden af det kritiske bånd med tonekomponenter. Bredden af de kritiske bånd er givet i Tabel 1. Det anbefales som udgangspunkt at benytte 3 Hz frekvensopløsning svarende til en effektiv analysebåndbredde på 4,5 Hz.

Frekvensanalysatoren skal kalibreres i dB re 20 μ Pa, og der anvendes Hanning-vægtning som vinduesfunktion.

Noter:

- 1) Med anvendelse af Hanning tidsvindue er den effektive analysebåndbredde 1,5 gange frekvensopløsningen. Frekvensopløsningen er afstanden mellem spektrets linjer.
- 2) Med en effektiv analysebåndbredde på 5 % af et kritisk bånd vil netop hørbare toner normalt ses som lokale maksima på mindst 8 dB over den omgivende støj i det midlede spektrum.
- 3) I sjældne tilfælde med kompleks af mange tætliggende toner kan en finere opløsning (mindre båndbredde) være nødvendig for at bestemme niveauet af den maskerende støj korrekt.
- 4) Hvis frekvensen af hørbare toner inden for midlingstiden varierer mere end 10 % af bredden af det aktuelle kritiske bånd, kan det være nødvendigt at underdele langtidsmidlingen i et antal midlinger med kortere varighed. I så fald beregnes den samlede L_{eq} for tonen efter samme princip som beskrevet i miljøstyrelsens vejledning nr. 6/1984 afsnit 8.

2.3. Bestemmelse af lydtrykniveauer**2.3.1. Lydtrykniveau af toner, L_{pt}**

Tonerne identificeres ved visuel inspektion af smalbåndsspektret, og lydtrykniveauet af tonerne fastlægges ud fra spektret.

Alle lokale maksima med en 3 dB-båndbredde, der er mindre end 10 % af båndbredden af det aktuelle kritiske bånd, betragtes som en tone.

Niveauerne, L_{pti} , af alle toner, nr. i , inden for det samme kritiske bånd skal adderes på energibasis for at give det totale toneniveau i dette bånd, L_{pt} :

$$L_{pt} = 10 \log \sum 10^{\frac{L_{pti}}{10}}$$

Ligning 2.3.1. Det totale toneniveau i et kritisk bånd

Noter:

- 1) Hvis en "tone" faktisk er smalbåndsstøj, eller hvis frekvensen af tonen varierer, vil tonen vise sig som et antal linjer i det midlede spektrum. I sådanne tilfælde er L_{pti} energisummen af alle linjer med niveauer inden for 6 dB af det lokale maksimum, korigeret for indflydelsen af den anvendte vinduesfunktion (for Hanning-vinduet er dette energisummen minus 1,8 dB).
- 2) I tilfælde, hvor toner optræder ved lave frekvenser, er det tilrådeligt at undersøge tonernes uvægtede niveau i forhold til høretærsklen (se DS/EN ISO 387-7). Toner med niveauer 10 dB eller mere under høretærsklen ses der bort fra.

2.3.2. Båndbredde og centerfrekvens for kritiske bånd

Båndbredderne af kritiske bånd er vist i Tabel 2.1.

Centerfrekvens, f_c [Hz]	50-500	Over 500
Båndbredde [Hz]	100	20 % af f_c

Tabel 2.1. Bredden af kritiske bånd.

Hvis der kun er én tone i et kritisk bånd, placeres det med centerfrekvens, f_c , lig med tonefrekvensen, dog således at f_c er større end 50 Hz.

Hvis spektret indeholder flere toner, placeres det kritiske bånd omkring de mest signifikante toner således, at

- 1) flest muligt af de mest signifikante toner er indeholdt i det kritiske bånd, og
- 2) på en sådan måde, at forskellen mellem det totale toneniveau, L_{pt} , og niveauet af den maskerende støj, L_{pn} , (se afsnit 2.3.3.) bliver størst muligt. Dette punkt er det afgørende i forhold til punkt 1.
- 3) Når de relevante toner er udvalgt, placeres det kritiske bånd symmetrisk omkring de udvalgte signifikante toner i det pågældende bånd.

Med henblik på fastsættelse af centerfrekvensen af det kritiske bånd, f_c , anses kun toner inden for 10 dB fra tonen med det højeste niveau som signifikante.

Note:

Centerfrekvensen af de kritiske bånd, f_c , kan variere kontinuert over det relevante frekvensområde. Det laveste kritiske bånd er 0 Hz - 100 Hz.

2.3.3. Lydtrykniveau af den maskerende støj i et kritisk bånd, L_{pn}

Middelstøjniveauet i et kritisk bånd, $L_{pn, avg}$, kan findes ved visuel midling af niveauerne af spektrets ”støjlinjer” inden for et område på mellem $\pm 0,5$ og ± 1 gange bredden af det kritiske bånd omkring centerfrekvensen, f_c . ”Støjlinjerne” findes ved at se bort fra alle maksima i spektret, som skyldes toner og deres eventuelle sidebånd i det pågældende område.

Det totale lydtrykniveau af den maskerende støj i et kritisk bånd, L_{pn} , beregnes ud fra middelstøjniveauet i samme kritiske bånd, $L_{pn, avg}$, som angivet i ligning 2.3.2. :

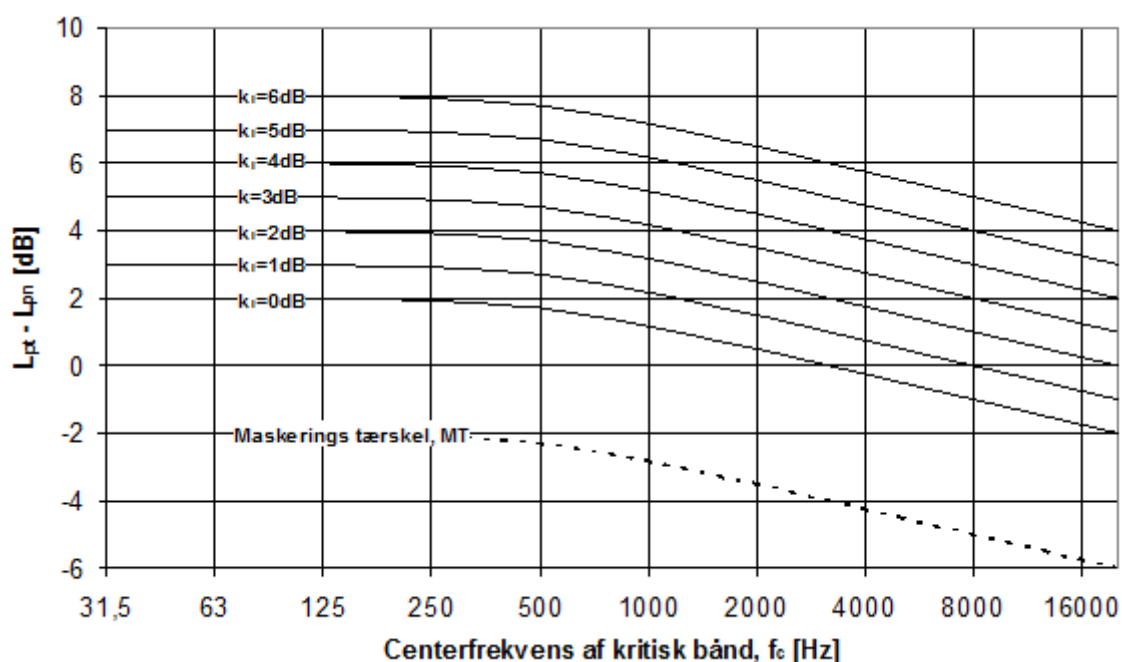
$$L_{pn} = L_{pn, avg} + 10 \log (\text{Båndbredde af kritisk bånd} / \text{Effektiv analysebåndbredde})$$

Ligning 2.3.2. Det totale lydtrykniveau af den maskerende støj i et kritisk bånd

2.4. Beregning af tonernes tydelighed, ΔL_{ta} , og tillægget, K_T

Tonernes tydelighed, ΔL_{ta} , udtrykkes i dB over maskeringstærsklen, MT, se Figur 2. Tillægget, K_T , er den størrelse, der adderes til L_{Aeq} for et tidsrum for at få den tonekorrigerede støjbelastning i dette tidsrum. Ud fra forskellen mellem niveauet af tone og støj i et kritisk bånd, $L_{pt} - L_{pn}$, kan både ΔL_{ta} og K_T bestemmes ved hjælp af Figur 2.

En given centerfrekvens, f_c , af det kritiske bånd og en given niveaudifferens $L_{pt} - L_{pn}$ fastlægger et punkt i Figur 2. ΔL_{ta} fastlægges som forskellen mellem $L_{pt} - L_{pn}$ og maskeringstærsklen, som er vist i figuren. K_T aflæses ved at interpolere mellem linjerne mærket med forskellige værdier af K_T i figuren. Alternativt kan ΔL_{ta} beregnes af ligning 2.4.1., og K_T kan beregnes af ligning 2.4.2.



Figur 2

Maskeringstærskel, MT, og kurver til bestemmelse af tillægget, K_T . L_{pt} er det totale lydtrykniveau af tonerne i et kritisk bånd, og L_{pn} er det totale lydtrykniveau af den maskerende støj i samme bånd.

Tydeligheden af tonerne i et kritisk bånd kan beregnes ved hjælp af ligning 2.4.1. :

$$\Delta L_{ta} = L_{pt} - L_{pn} + 2 + \log(1 + (f_c / 502)^{2,5}) \text{ dB re MT,}$$

hvor

L_{pt} er det totale lydtrykniveau af tonerne i det kritiske bånd,

L_{pn} er det totale lydtrykniveau af den maskerende støj i det kritiske bånd, og

f_c er centerfrekvensen i Hz af det kritiske bånd.

Ligning 2.4.1. Tydelighed af toner i et kritisk bånd.

Tillægget, K_T , i dB kan bestemmes ud fra ligning 2.4.2. :

$$10 \text{ dB} < \Delta L_{ta}:$$

$$K_T = 6 \text{ dB}$$

$$4 \text{ dB} \leq \Delta L_{ta} \leq 10 \text{ dB}:$$

$$K_T = \Delta L_{ta} - 4 \text{ dB}$$

$$\Delta L_{ta} < 4 \text{ dB}:$$

$$K_T = 0 \text{ dB}$$

Note: K_T er ikke begrænset til heltallige værdier.

Ligning 2.4.2 Tillægget K_T .

Hvis der i samme spektrum optræder flere toner (eller grupper af toner) i forskellige kritiske bånd, skal der foretages særskilte beregninger for hvert af disse bånd. Det kritiske bånd, der indeholder de(n) tydeligste tone(r) (dvs. det, der giver den højeste værdi af ΔL_{ta}), er afgørende for ΔL_{ta} og for tillægget, K_T , baseret på dette spektrum.

Afsnit 3 Dokumentation

Toneanalysen skal dokumenteres ved følgende:

3.1. Frekvensanalysen

- Måletidsrum, antal spektra/midlingstid og effektiv analysebåndbredde.
- Tidsvindue (f.eks. Hanning), tidsvægtning (Lin) og frekvensvægtning (A).
- Et typisk spektrum med indikation af beliggenheden af det afgørende kritiske bånd og middelstøjniveauet i det bånd.

3.2. Beregningerne i det afgørende kritiske bånd

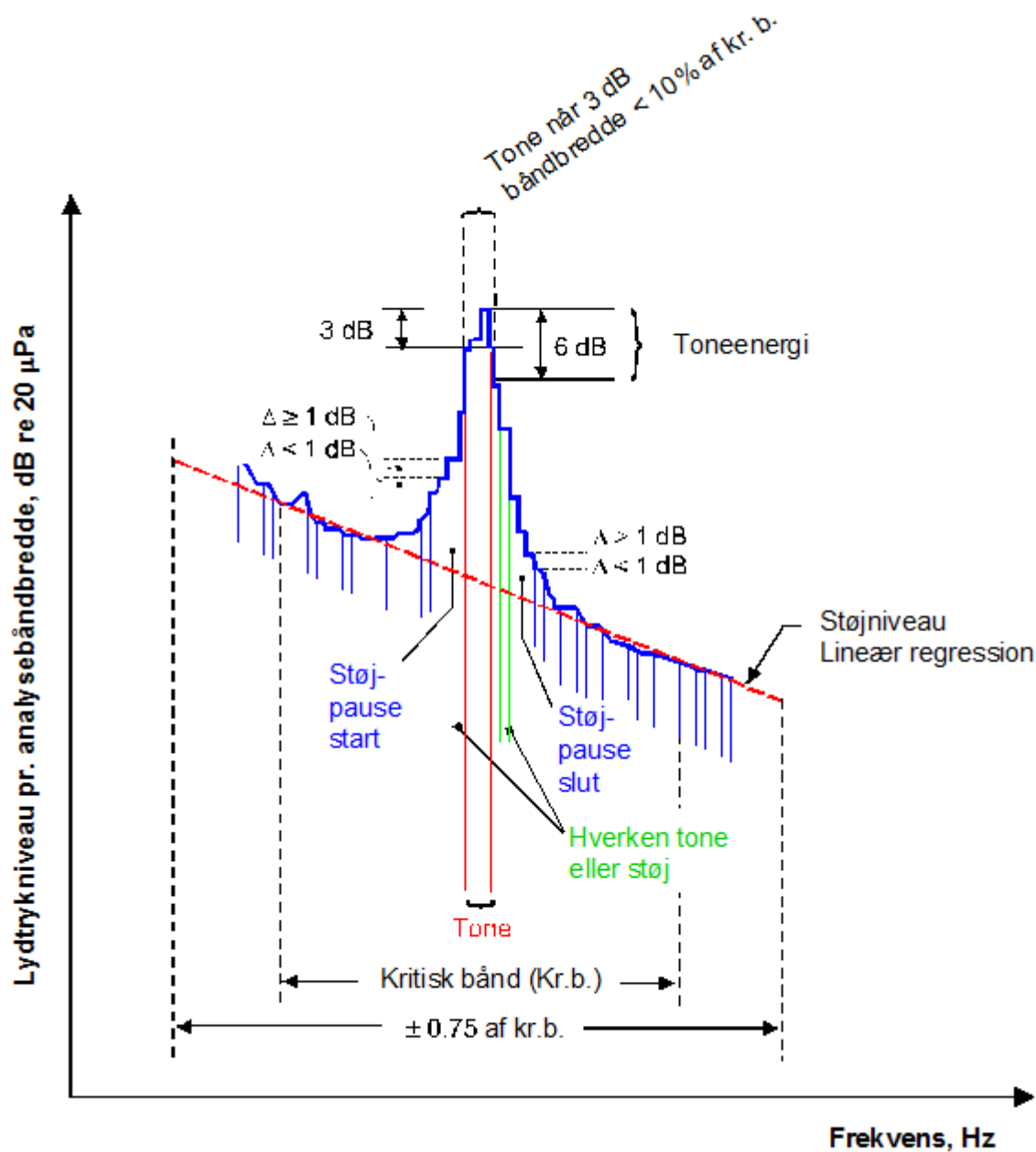
- Angiv, om resultaterne er opnået ved visuel midling eller ved automatisk beregning.
- Grænsefrekvenser for det kritiske bånd og området for visuel midling eller lineær regression (se Afsnit 4.4.).
- Frekvenser og niveauer af tonerne og det totale toneniveau, L_{pti} og L_{pt} , i dB re 20 μ Pa.
- Niveauet af den maskerende støj i det kritiske bånd, L_{pn} , i dB re 20 μ Pa.
- Tydeligheden af tone(r), ΔL_{ta} , i dB over medhørstærsklen.
- Størrelsen af tillægget, K_T , i dB.

Toner i andre kritiske bånd, der kan udløse et tillæg, skal i det mindste angives ved deres frekvens.

Afsnit 4 Uddybende definitioner af tone- og støjniveauer

Specielt med henblik på computerimplementering af metoden er der i dette afsnit givet mere uddybende definitioner af toner og støj.

4.1. Generelt



Figur 3

Definitioner af toner (røde linjer), støj (blå linjer) og støjpauser (hverken toner eller støj, grønne linjer). Δ er tonesøgekriteriet og vælges normalt til 1 dB.

Note:

Det er vigtigt, at softwareimplementeringer gør det muligt visuelt at inspicere resultaterne. Som det mindste behøves et spektrum, hvor det angives, hvilke linjer der er defineret som toner, sammen med en

markering af det omgivende kritiske bånd med tilhørende regressionslinje for støjen. Yderligere vil det være en hjælp med en angivelse af, hvilke linjer der er karakteriseret som støj, støjpause og toner. Dette kan f.eks. ske ved brug af forskellige farver af spektrets linjer som i Figur 3.

4.2. Støjpauser

Støjpauser er lokale maksima i spektret med mulighed for forekomst af toner. Støjpauserne defineres og findes ud fra følgende princip:

Starten af en støjpause findes på den positive (venstre) flanke af et lokalt maksimum som linjen, s , hvor følgende betingelser er opfyldt:

$$L_s - L_{s-1} \geq \Delta \text{ dB og}$$

$$L_{s-1} - L_{s-2} < \Delta \text{ dB,}$$

hvor L_s er niveauet af linje nr. s og L_{s-1} er niveauet af linje nr. $s-1$, osv. Δ er tonesøgekriteriet, som normalt vælges til 1 dB.

For normale og jævne spektre virker tonesøgekriteriet $\Delta = 1$ dB uden problemer. For uregelmæssige spektre (f.eks. spektre målt med kort midlingstid som omtalt i afsnit 4.3.) kan værdier op til 3 eller 4 dB give mere rigtige resultater. Det anbefales, at denne parameter er brugerdefineret i softwareimplementeringer af metoden.

Slutningen af støjpausen er fastsat på den negative (højre) flanke af det lokale maksimum som linjen, e , hvor følgende betingelser er opfyldt:

$$L_e - L_{e+1} \geq \Delta \text{ dB og}$$

$$L_{e+1} - L_{e+2} < \Delta \text{ dB.}$$

Alle linjerne fra og med s til og med e defineres som tilhørende en foreløbig støjpause.

Søgningen efter næste støjpause begynder med linje nr. $e+1$.

En støjpause kan kun indeholde én støjpause start og én støjpause slut. En procedure svarende til den ovenstående skal supplerende gennemføres ved at undersøge linjerne i spektret fra høje mod lave frekvenser (baglæns procedure).

Resulterende støjpauser er linjer, der er defineret som tilhørende foreløbige støjpauser ved begge de nævnte ”forlæns” og ”baglæns” procedurer.

4.3. Toner

Toner findes inden for støjpauserne. Der kan være tale om en tone, når niveauet af en linje inden for støjpausen er 6 dB eller mere over niveauet af linjerne nr. $s-1$ og $e+1$.

Toner er defineret i afsnit 2.3.1. Definitionen indbefatter både toner og smalle støjbånd. Båndbredden af det fundne lokale maksimum er defineret som 3 dB-båndbredden ud fra den højeste linje i støjpausen.

Når 3 dB-båndbredden er mindre end 10 % af den kritiske båndbredde, klassificeres alle linjer inden for 6 dB fra det lokale maksimum som tone. Tonefrekvensen fastlægges ud fra frekvensen af linjen med det højeste niveau inden for støjpausen.

Note:

Når 3 dB-båndbredden er større end 10 % af den kritiske båndbredde, betragtes linjerne hverken som toner eller smalbandsstøj. Der gives ikke tillæg for et sådant fænomen, medmindre det er forårsaget af en tone med varierende frekvens. I så fald er det nødvendigt at gennemføre analysen med en kortere midlingstid.

Toner med varierende frekvens kan vise sig i det langtidsmidlede spektrum som brede maksima. Bredden af disse afhænger af variationsområdet for tonefrekvensen og midlingstiden. Når frekvensen af en tone varierer mere end 10 % af bredden af det omgivende kritiske bånd inden for midlingstiden, skal der ses bort fra 10 % -båndbreddereglen (se afsnit 2.3.1.), og enten skal alle linjer inden for det brede maksimum klassificeres som toner, eller også skal der bruges delanalyser med kortere midlingstider, dog således at den samlede midlingstid bliver 60 sekunder.

4.4. Maskerende støj

Alle linjer, som ikke er karakteriseret som tilhørende støjpauser, defineres som maskerende støj og betegnes ”støjlinjer” i afsnit 2.3.3.

Niveauet af den maskerende støj inden for et kritisk bånd fastlægges ved 1. ordens lineær regression mellem niveauerne af alle linjer, der er defineret som støj, og frekvensen. Området for regressionen vælges sædvanligvis som $\pm 0,75$ kritisk båndbredde omkring centerfrekvensen af det kritiske bånd.

For uregelmæssige spektre eller for spektre med en bred støjpause kan området for den lineære regression udvides til ± 1 eller 2 kritiske bånd, hvis dette giver bedre overensstemmelse med det generelle støjguld. Det anbefales, at området for lineær regression gøres brugerdefineret i softwareimplementeringer af metoden.

Hver spektrallinje i det kritiske bånd tilskrives niveauet, L_n , af regressionslinjen. Det totale lydtrykniveau af den maskerende støj i det kritiske bånd, L_{pn} , bestemmes som energisummen af de tilskrevne niveauer, L_n , for alle spektrallinjer i det kritiske bånd, korregeret for indflydelsen af den anvendte vinduesfunktion:

$$L_{pn} = 10 \log \sum 10^{\frac{L_n}{10}} + 10 \log \frac{\text{Frekvensopløsning}}{\text{Effektiv analysebåndbredde}}$$

Ligning 4.4.1. Det totale lydtrykniveau af den maskerende støj.

- 2) Metoden er den samme, som er beskrevet i Orientering fra Referencelaboratoriet nr. 31, 2001: "Forslag til revideret objektiv metode til bestemmelse af tydeligheden af toner i støj" og er gengivet i DS/ISO 1996-2, 2. udgave 2007-06-20: "Akustik - Måling, beskrivelse og vurdering af ekstern støj - Del 2: Bestemmelse af eksterne støjniveauer" Annex C (informative) og i British Standard BS 4142:2014: "Methods for rating and assessing industrial and commercial sound" Annex D (normative) Objective method for assessing the audibility of tones in sound: Reference method.
- 3) Tydeligheden af toner, som lå på kriteriekurven for det faste tillæg 5 dB til det målte støjniveau i den tidligere anvendte metode, vil efter nærværende metode give anledning til et tillæg på 2,5 dB. Meget tydelige toner vil få et tillæg på 6 dB.