

7.8 Vindturbiner

7.8.1 Generelt om vindturbiner og støy

En vindturbin består av tårn, maskinhus og vinger. Høyde på tårnet er normalt 80-140 meter, og lengde på vingene 40-70 meter. Et vindkraftverk består normalt fra to til 100 turbiner. De fleste vindturbiner produserer kraft ved vindhastighet mellom 3 og 25 m/s, og stenges ned ved vindhastighet over 25 m/s.

Støy fra vindturbiner oppstår først og fremst ved at vingene skjærer gjennom luften. I tillegg avgir turbinen maskinstøy fra gir, vifter og generatorer. Støynivået bestemmes i hovedsak av vingespissens hastighet, vingenes form og turbulens. Lyd fra vindturbiner er bredspektret, fra ikke hørbare infralyd under 20 Hz, til hørbar lavfrekvent og høyfrekvent lyd.

Av og til kan det høres såkalt rentonelyd og rentonestøy fra vindturbiner. Dette er tydelige toner, som normalt stammer fra gir, generator og vifter i vindturbinene, og mekaniske lyder fra nedbremsing. Rentonestøy oppleves ofte som mer forstyrrende enn annen støy fra vindkraftverket. Den norske retningslinjen har per i dag ikke anbefalt skjerpelse av grenseverdiene for støy med tydelig rentonekarakter fra vindkraft, slik det gjøres for industristøy og havner/terminaler.

Lyden fra vindturbiner karakteriseres ofte som en «svisje»-lyd. Dette forårsakes av at lydnivået fra vingene er høyest når de skjærer ned mot bakken, som vist på figur under. Denne rytmiske endringen i lydbildet kalles amplitudemodulasjon (AM). AM brukes også som begrep for andre typer endringer i lydbildet, såkalt unaturlig amplitudemodulasjon (UAM). Dette kan være forårsaket av blant annet spesielle atmosfæriske betingelser som temperatur og vindskjær. Med vindskjær menes forskjellen på trykk, temperatur og vindhastighet mellom vingetuppens øverste og nederste punkt i en rotasjon. UAM kan av og til føre til vesentlig økte støyvirkninger.

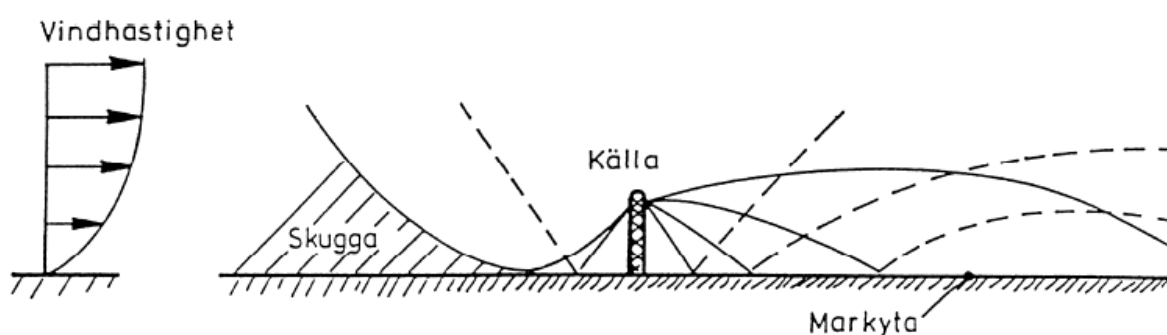


Figur 55: Lyd fra en vindturbin – kilde S. Oerlemans, 2009

Støyvirkninger skal alltid vurderes før etablering av et vindkraftverk. I dette kapittelet presenteres støy fra vindkraftverk med de faktorer som påvirker støyutbredelsen, og behandling av støy ved etablering av vindkraftverk. Metodikk for beregning og måling av støy er beskrevet i kapittel 9.8.

7.8.2 Faktorer som påvirker støyutbredelse fra vindkraftverk

Støynivå fra en vindturbin bestemmes av en rekke faktorer, herunder avstand mellom vindturbin og støymottaker, vindretning og -hastighet, trykk- og temperaturforhold og markabsorpsjon. Når avstanden mellom vindturbin og mottaker øker, blir lydenergien spredt over et større område, og støynivået blir lavere. Avstandsdempningen gjør at lydnivået reduseres med 6 dB hver gang avstanden fordobles. For lydutbredelse over vann kan dette reduseres ned mot 3 dB på grunn av sylindrisk utbredelse.



Figur 56: Lydutbredelse fra vindturbin med vindgradient. Lyden bøyes nedover i medvindssonen (til høyre i figuren) og oppover i motvindssonen (til venstre). Kilde: S. Ljunggren og G. Lundmark: Buller från vindkraftverk.

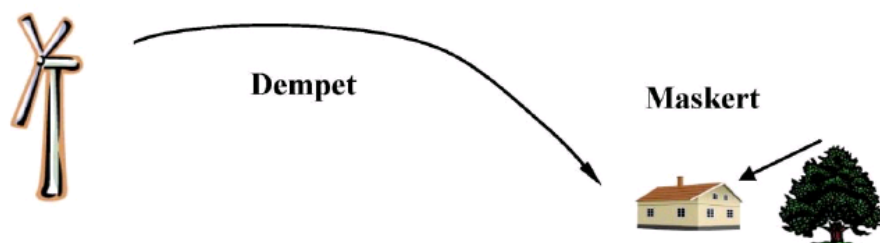
Lydbølger kan bøyes av vinden. Vanligvis øker vinden med høyden over bakken. Da bøyes lyden ned mot bakken i medvindssonen og opp fra bakken i motvindssonen. Dette kan medføre en lyddempning på 5-10 dB eller mer i motvindssonen, sammenliknet med medvindssonen. Avstand til vindturbinen, vindretning og marktype vil være avgjørende for hvor stor dempingen blir. Myk mark demper mer enn hard mark, spesielt i motvindssonen. For lydutbredelse over vann eller slett fjell blir det normalt liten markdempning. Dersom vinden øker med høyden vil det kunne oppstå skyggesonedempning.

Støyspredning påvirkes av trykk- og temperaturforskjeller mellom vindturbinenes øvre vingetipp og støymottakers plassering i terrenget. Når det er varmt på bakkenivå og kaldere over, vil lydbølgene normalt bøyes oppover. I motsatt tilfelle kan lydbølgene bøyes nedover. Det siste er ofte vanlig på kalde vinterkvelder og om natten. Støynivået på bakkenivå er derfor ofte høyere på kvelds- og nattestid. Samtidig som det da er lite annen bakgrunnsstøy medfører dette at vindturbinene ofte høres bedre.

7.8.3 Maskering av støy fra vindturbiner

Ulike typer bakgrunnsstøy kan maskere støy fra vindturbinen. Ved vindstyrke over 8-10 m/s er det naturlige vindsuset vanligvis høyere enn vindturbinenes støynivå. Da vil støyen fra vindturbinene normalt bli maskert av bakgrunnsstøyen. Det er på dette grunnlag vanlig å vurdere støy fra vindturbiner ved 8 m/s i 10 meters høyde i såkalte worst case støyberegninger.

Hvis en vindturbin er plassert høyt i terrenget og støymottaker ligger i le i dalformasjoner, kan maskeringen fra vindsuset reduseres vesentlig fordi mottaker er skjermet for vinden. Mottakeren ligger da i vindskygge, og vil høre støy fra vindturbinene bedre. Det finnes ikke spesielle støykrav ved vindskygge, men spesielt i detaljprosjekteringsfasen bør utreder være oppmerksom på støyfølsom bebyggelse som ligger i vindskygge. I slike tilfeller kan støy fra vindturbiner ofte høres best ved vindstyrker i 10 – 12 m/s. Dette bør da legges til grunn for støyberegninger.



Figur 57: Hørbarheten av vindturbinstøy bestemmes av kildestøy, demping av støyen underveis og maskering av annen lokal støy på mottakerstedet.

7.8.4 Helsevirkninger av støy fra vindkraftverk

Vindkraftverk plasseres ofte i områder med lite annen menneskeskapt støy. Støy kan da oppfattes som en tydelig forandring i omgivelsene, til tross for at støyen kan vurderes å være relativt lav. Studier viser at støy fra vindturbiner kan være mer sjenerende enn andre typer støy som for eksempel veistøy. Dette er lagt til grunn for at retningslinjen for støy fra vindkraftverk er strengere enn for veistøy. Støy fra vindkraftverk opptrer hele døgnet, og kan oppleves forskjellig på dagtid når det er annen aktivitet og annen støy i et område, sammenlignet med på natten, når det forventes ro.

Lavfrekvent støy bærer lenger enn støy med høyere frekvenser og kan måles i store avstander fra vindturbiner. Dette har medført at mange har vært engstelige for helsevirkninger av lavfrekvent støy fra vindturbiner. Blant annet har det vært hevdet at langtids påvirkning av støy fra vindturbiner kan gi såkalt «wind turbine syndrom», med virkninger som tinnitus, hodepine og hørselstap. Dette er imidlertid avvist av ledende støyforskningsmiljøer. Det er i dag relativt bred enighet i forskningsmiljøene om at det er summen av den hørbare støyen som medfører irritasjon, ikke den lavfrekvente støyen. Virkninger av all støy kan med andre ord gi irritasjon, som igjen kan føre til søvnproblemer. For noen kan dette gi helsevirkninger. De fleste forskerne er i dag enige i at støy fra vindkraftverk ikke gir andre helsevirkninger enn støy fra annen virksomhet, og at omfang av lavfrekvent støy fra vindturbiner ikke er så stort at det gir helsevirkninger for mennesker og dyr.

På oppdrag fra Klima- og miljødepartementet gjennomførte Miljødirektoratet i 2012 en utredning som vurderte verdien av å innføre egne grenseverdier for lavfrekvent støy innomhus. Resultatet av dette arbeidet viste at lavfrekvent støy innomhus ikke vil være et problem så lenge retningslinje på L_{den} 45 dBA overholdes.

7.8.5 Beregninger av støy fra vindturbiner

Støy fra en vindturbin oppgis som lydeffektnivå (L_{WA}). Dette kalles kildestøy, og maksimal kildestøy er typisk $L_{WA} = 105-110$ dB. Kildestøy varierer med vindhastigheten, og bestemmes ved måling etter internasjonal standard IEC 61400-11.

På grunn av alle faktorene som påvirker støyutbredelse fra vindturbiner, kan beregning av støyvirkninger være utfordrende. Dette gjelder spesielt i terreng med store høydeforskjeller, mye

reflekterende terrengformasjoner og ved værforhold som kan gi rim/is på vinger. Ulike turbinvinger kan også gi forskjellig støyvirkninger, spesielt i noe avstand fra turbinene, fordi lydeffekten fordeles ulikt over oktavbåndene. Det bør på dette grunnlag alltid legges inn sikkerhetsmarginer ved beregning av støy fra vindkraftverk, spesielt ved komplekst terreng, og der dominerende vindretning i stor grad føres mot støyfølsom bebyggelse.

Vindturbiner bør ikke planlegges plassert slik at støynivået ved støyfølsom bebyggelse overstiger grenseverdien. Dette kan tilsvare avstander opp mot 800 til 1000 meter, men hvis berørt bebyggelse ikke ligger i dominerende vindretninger kan dette ha betydning for avstanden.

I behandling av vindkraftsøknader skal støyvurderinger baseres på worst case-beregninger. I tillegg kan det fremlegges en beregning som tar hensyn til lokale vindforhold. Worst case-beregningen skal være grunnlaget for beslutning i vindkraftsaker, men myndighetene kan vurdere å tillate støynivåer over grenseverdien dersom kunnskap om lokale vindforhold tilsier at virkninger for berørt bebyggelse reduseres.

Metodikk for beregning av støy fra vindturbiner er nærmere beskrevet i kapittel 9.8.

7.8.6 Avbøtende tiltak

Vindkraftverk bør plasseres slik at støy ikke gir vesentlige virkninger for omkringliggende bebyggelse. Når et vindkraftverk først er etablert er det utfordrende å redusere støy fra tiltaket uten at dette medfører betydelige kostnader. Flytting av turbiner er vanligvis uaktuelt. Drift av vindturbiner i støymodus eller periodevis stans av driften kan redusere støyvirkninger, men dette kan gi store produksjonstap. Etterisolering av berørt bebyggelse, utskifting av vinduer, skjerming av uteplasser med mere kan redusere støyvirkninger for berørt bebyggelse, men effekten av slike tiltak vurderes i mange tilfeller å ha begrenset virkning. Kompensasjonsordninger kan vurderes i de tilfeller der støyfølsom bebyggelse er lokalisert i områder med store støyvirkninger. I tilfeller der det kan dokumenteres svært høye støynivå kan ekspropriasjon eller innløsning bli aktuelt.

De fleste turbintyper kan leveres med taggede vindbrytersystem (trailing/serrated edge technology) som kan redusere vindturbinenes kildestøy og støyvirkninger, uten at det medfører betydelige kostnader. Taggede vindbrytersystem med dokumenterte virkninger over tid kan være gode avbøtende tiltak. Dette kan også ettermonteres, men det kan medføre store kostnader. Ved beregning av støyvirkninger som baseres på støyreducerende teknologi skal det alltid oppgis hvor mye tiltaket reduserer vindturbinens kildestøy ved forskjellige vindforhold og om levetid på teknologien.

7.8.7 Konsesjonsbehandling av støy i vindkraftsaker

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) behandler søknader om å bygge og drive vindkraftverk i medhold av energiloven. Krav til utredning av støyvirkninger er fastsatt med hjemmel i plan- og bygningslovens forskrift om konsekvensutredning.

Vindkraftverk som består av inntil 5 vindturbiner med en samlet installert effekt inntil 1 MW er fritatt fra konsesjonsplikten og behandles av kommunene. Det samme gjelder vindkraftverk som ikke tilknyttes høyspenningsnett. Støyvirkninger fra vindturbiner vurderes på dette grunnlag enten som en del av NVEs konsesjonsbehandling eller som en del av kommunal bygge- og/eller plansak etter plan og bygningsloven.

Fylkesmannen er høringsinstans ved behandling av alle vindkraftsaker. Fylkesmannen har også innsigelsesrett og klagerett på NVEs vedtak.

Støy fra vindkraftverk blir håndtert av NVE som en del av konsesjonsbehandlingen etter energiloven. T-1442 med tilhørende veileder legges til grunn.

Kommunen har myndighet til å regulere støy fra vindkraftverk gjennom både forurensningsloven og gjennom folkehelseloven med forskrift om miljørettet helsevern. Dersom kommunen velger å behandle støy fra vindkraftverk gjennom disse lovverkene som et tillegg til NVEs konsesjon, bør det være tett dialog mellom NVE og kommunen. God dialog mellom berørte parter, kommunen og NVE er spesielt viktig i tilfeller der støyfølsom bebyggelse blir eksponert for høyere støyvirkning enn den anbefalte grenseverdien på L_{den} 45 dB.

Innhold i søknader

Følgende kulepunkt angir hovedelementene i det som skal fremlegges i søknader om etablering av vindkraftverk:

- Beskrivelse av utredet layout for vindkraftverket
- Omtale av årsak til støy (støy fra vinger, gir/generatorer, eventuell rentonestøy osv.)
- Kildestøy - utstrålt lydeffekt for de aktuelle vindturbinene
- Beregningsforutsetninger skal presenteres, herunder vindhastighet, - og retning, markabsorpsjonsfaktor, temperatur og trykk.
- Støysonekart for områdene rundt vindkraftverket. Rød sone er støy over L_{den} 55 dBA. Gul sone er støy over L_{den} 45 dBA.
- Nærliggende bebyggelse som får støyvirkninger over L_{den} 40 dBA skal kartfestes.
- Støyfølsom bebyggelse som får støyvirkninger over L_{den} 45 dBA skal presenteres med beregnet støynivå og avstanden mellom bygninger og nærmeste vindturbin skal oppgis. Dette bør også vurderes for støyfølsom bebyggelse som får støyvirkninger over L_{den} 40 dBA.
- Eventuelle avbøtende tiltak skal presenteres

I dagens verktøy for beregning av støy er det vanskelig å modellere alle parametere som kan påvirke støynivået. Støyrapporter bør derfor også omfatte en kortfattet omtale av parametere som:

- vindskygge / lav maskering
- sesongvariasjoner – eksempelvis bør det fremlegges en kortfattet kvalitativ beskrivelse av endring i markabsorpsjon vinter/sommer, myk snø/skare etc.
- amplitudemodulering.
- ekkovirkninger i form av lydreflekser fra terreng
- ising på rotorbladene
- spesielle meteorologiske forhold, bl.a. inversjon

7.8.8 Etablering og endring av vindkraftverk

I retningslinje for behandling av støy i arealplanlegging er den anbefalte grenseverdien for støy fra vindkraftverk fastsatt til L_{den} 45 dBA for støyfølsom bebyggelse. Støyfølsom bebyggelse er bygg som boliger, sykehus, pleieinstitusjoner, fritidsboliger, skoler og barnehager.

Ved beregnet støy over grenseverdiene må NVE, eller kommunen for mindre vindkraftverk, gjøre en konkret vurdering av den berørte bebyggelsen og mulige avbøtende tiltak.

7.8.9 Ny bebyggelse ved eksisterende vindkraftverk

Støy fra et etablert vindkraftverk vil legge begrensninger på ny arealbruk. Før kommunen vurderer ny bebyggelse rundt et eksisterende vindkraftverk må det undersøkes hvilke støykrav som gjelder for anlegget. Dersom et vindkraftanlegg har støykrav gjennom konsesjon, reguleringsplan eller

utslippstillatelse etter forurensingsloven, må kommunen vurdere hvordan ny bebyggelse kan plasseres i henhold til gjeldende støyvilkår for vindkraftverket. I plansaker som virker inn på etablerte elektriske anlegg, skal NVE og konsesjonær for anlegget høres før etablering av ny bebyggelse.

Nye vilkår og pålegg til anleggseieren kan vurderes ved fornyelse av konsesjon etter energiloven, dersom anlegget er konsesjonspliktig.

7.8.10 Oversikt over annet regelverk

- [Energiloven](#) av 20. juni 1990 nr. 50.
- Plan- og bygningslovens [forskrift om konsekvensutredning](#) av 26.juni 2009 nr. 855

7.8.11 Litteratur og lenker

1. S.Ljunggren og G.Lundmark: Buller från vindkraftverk, Bilag til Ref. 2.
2. Norges vassdrags-og energiverk: Formell behandling av vindkraftverk. NVE rapport 19/98.
3. Etablering av vindkraftverk på land. Allmänna råd 1995:1, Boverket, Karlskrona 1995.
4. J.Jakobsen, B.Andersen: Wind noise, Danish Acoust.Inst. rep.108, Lyngby, 1983.
5. A.J.Bullmore et al: Tonal noise immission from wind farms, Proc.Internoise 96, p453- 458.
6. Environmental noise from industrial plants, General prediction method, report nr. 32, Lydteknisk laboratorium, Lyngby, 1982.
7. Bekendtgørelse om støj fra vindturbiner, Miljøministeriets bekendtgørelse nr 304, 1991.
8. Draft IEC 61400-11, Ed.1: Wind turbine generator systems - Part 11: Acoustic noise measurement techniques, 1998.
9. S.Ljunggren: Mätning av bullerimmission från vindkraftverk. Elforsk rapport 98:24.
10. T.H.Pedersen, m.fl.:Genevirkninger av støj fra vindturbiner, DELTA Akustik &Vibration,rapport nr. 150, Lyngby,1996.
11. A.Schällibg: Emissionsmessungen bei Windenergieanlagen, Z.f.Lärmbekämpfung 46(1999), s 127-131.
12. Technische Richtlinie zur Bestimmung der Leitungskurve, der Schallemissionswerte und der elektrischen Eigenschaften von Windenergieanlagen, rev 11, stand 1.4.98. FGW Fördergesellschaft für Windenergie.
13. H.J.Albrecht, et.al: Geräuschemissionen von Windkraftanlagen und Mindestabstände zu den Nachbarn, Landesumweltamt Brandenburg, 1998.
14. M.D.Hayes: Noise Impact Assessment of Windfarms, Wind Engin. 16 (3), p141-157, 1992.
15. The Assessment & Rating of Noise from Wind Farms, ETSU-R-97, Harwell, 1996.
16. Miljødirektoratet/NVE: Støy fra vindkraft, TA-nummer 1700/2000 (Utførende inst.: Kilde Akustikk as)
17. Miljødirektoratet: Faktaark: Støy fra vindturbiner. TA-nummer 1768/2000
18. NVE: Vindkraft-en generell innføring Rapport 19 1998
19. Norges Naturvernforbund 1998: Hovedkrav til naturhensyn ved utbygging av vindkraft. Faktaark 2/98
20. Danmarks Vindmølleforening: Vindturbiner og regionplanen. Erfaringer og forslag.
21. Nordjyllands Amt 1997: Regionplan 97: Vindturbiner.
22. Delta rapport: T-203659/TC-100227. Lavfrekvent støy fra vindmøller. Udført for Klima- og forurensningsdirektoratet, Norge. 02.11.2012.
23. K.Bolin et.al: Projektrapport: Opplevd störning av vindkraftsbuller, en jämförande studie av ljud från olika turbiner, KTH 2012
24. M.E.Nilsson et.al: Kunskapssammanställning om infra- och lågfrekvent ljud från vindkraftsanläggningar: Exponering och hälsoeffekter. Revidert sluttrapport til Naturvårdsverket, 2011-11-28.

25. H.Møller, C.S.Pedersen & S.Pedersen: Lavfrekvent støj fra store vindmøller – opdateret 2011. Aalborg Universitet (2011).
26. Søndergaard, B. (Grontmij Acoustica), Low frequency noise from wind turbines: do the danish regulations have any impact? An analysis of noise measurements, 2013.