



Nasjonal ramme for vindkraft

TEMARAPPORT OM NABOVIRKNINGER

Sissel B. Jakobsen

Jørgen K. Bølling

Erlend Bjerkestrand



Rapport nr 72-2018

Nasjonal ramme for vindkraft

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør: Sissel B. Jakobsen

Forfatter: Sissel B. Jakobsen
Jørgen K. Bølling
Erlend Bjerkestrand

Trykk: NVEs hustrykkeri

Forsidefoto: Lindesnes vindkraftverk. Foto: Jørgen Bølling

ISBN: 978-82-410-1730-8

Sammendrag: Vindkraftverk gir visuell eksponering og støy for de nære omgivelsene, og naboer til vindkraftverk kan bli påvirket av dette. Med nabovirkninger menes i denne rapporten virkninger for naboer knyttet til synlighet, støy, skyggekast og lysmerking for luftfart, og hvordan dette igjen kan påvirke eiendomspriser og folkehelse. I rapporten vurderes virkninger for både helårs- og fritidsboliger.

Emneord: Vindkraft, nasjonal ramme, nabovirkninger, støy, skyggekast, lysmerking, eiendomspriser, folkehelse, visuelle virkninger,

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Epost: nve@nve.no
Internett: www.nve.no

3. september 2018

Innhold

Forord	3
Sammendrag	4
1 Innledning	6
2 Metode og medvirkning	7
3 Subjektive faktorer	7
4 Støy	7
4.1 Hva er støy fra vindturbiner	9
4.1.1 Vindturbiner som støykilde	9
4.2 Norsk retningslinje og veiledning	12
4.2.1 Innledning	12
4.2.2 Myndighet for behandling av støy fra vindkraftverk	12
4.2.3 Beregning og måling av støy fra vindkraftverk.....	13
4.3 Praksis i andre land	14
4.4 Vindturbinestøy og helse	15
4.4.1 Vindturbinestøy og støyplage.....	15
4.4.2 Variasjon mellom områder: Forhold som påvirker støyplage	16
4.4.3 Støyplage fra vindkraftverk i Norge	17
4.4.4 Vindturbinestøy og mental helse og livskvalitet	17
4.4.5 Vindturbinestøy og hjerte-karsykdom	18
4.4.6 Vindturbinestøy og søvn	19
4.5 NVEs vurdering av støy	21
5 Skyggekast	22
5.1 NVEs anbefalte grenseverdier og metodikk for beregning	22
5.2 Praksis i andre land	23
5.3 Helsevirkninger av skyggekast	23
5.4 NVEs vurdering av skyggekast	23
6 Visuelle virkninger	24
6.1 Faktorer som påvirker eksponering og opplevelse	24
6.2 Lysmerking for luftfart	26
6.3 Refleksblink	28
6.4 NVEs vurdering av visuelle virkninger for naboer.....	28
7 Eiendomspriser	29
8 Positive virkninger	31
9 Nabovirkninger i konsesjonsbehandling og nasjonal ramme	32
9.1 Minsteavstand i konsesjonsbehandlingen	32
9.1.1 Fastsetting av minsteavstand.....	33
9.2 Konkrete vurderinger i konsesjonsbehandlingen	33
9.3 Identifisering av de mest egnede områdene for vindkraft	34
9.4 Kunnskapsbehov	35
Referanser	36

Forord

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) har fått i oppdrag av Olje- og energidepartementet (OED) å lage et forslag til en nasjonal ramme for vindkraft på land.

Den nasjonale rammen skal bestå av:

- Et oppdatert kunnskapsgrunnlag om virkninger for miljø og samfunn
- Kart over de mest egnede områdene for vindkraft

Det er utarbeidet tematiske rapporter for alle interesser som kan bli vesentlig påvirket av vindkraftutbygging. I denne temarapporten presenteres en gjennomgang av kunnskap om virkninger for naboer til vindkraftverk. En oversikt over alle temarapportene og annen informasjon om den nasjonale rammen finnes på www.nve.no.

Vi vil takke alle som har bidratt til gjennomføringen av prosjektet.

Oslo, 3. september 2018



direktør



prosjektleder

Sammendrag

Vindkraftverk gir visuell eksponering og støy for de nære omgivelsene, og naboer til vindkraftverk kan bli påvirket av dette. Med nabovirkninger menes i denne rapporten virkninger for naboer knyttet til synlighet, støy, skyggekast og lysmerking for luftfart, og hvordan dette igjen kan påvirke eiendomspriser og folkehelse. I rapporten vurderes virkninger for både helårs- og fritidsboliger.

Synlighet og lydstyrke er objektive størrelser, men opplevelsen av dem og graden av plage knyttet til dette vil i stor grad være subjektivt betinget. Det er mange forhold som kan påvirke den subjektive opplevelsen. Personlig syn på vindkraft som energikilde er én slik faktor. Ulike holdninger til dette kan påvirke graden av plage ved opplevd støy og visuell eksponering. Det individuelle forholdet til området og landskapet som blir berørt, spiller også en viktig rolle for opplevelsen av vindturbinene. Selv om det ikke er mulig å inkludere de subjektive faktorene i gjennomgangen av nabovirkninger, er det viktig å være oppmerksom på at subjektive forhold har stor innvirkning på hvordan det oppleves å være nabo til et vindkraftverk.

Støy fra vindkraftverk kan plage enkelte naboer på samme måte som støy fra andre tiltak. I Norge er det satt en anbefalt grenseverdi på L_{den} 45 dBA. Denne grenseverdien bygger på vurderinger av hvilken grad av plage som bør kunne tillates i samfunnet, og er harmonisert med grenseverdier for andre støykilder. Selv om det er satt en konkret grenseverdi, kan det være utfordrende å håndheve denne ved hjelp av beregninger og målinger. Støynivået påvirkes av en rekke forhold, som vindretning og -hastighet, avstand mellom vindturbinene og støymottaker, trykk- og temperaturforhold og markabsorpsjon. For å redusere usikkerhet om de ulike faktorene, mener NVE at «worst case»-beregninger bør legges til grunn i konsesjonsbehandlingen. Dette er i tråd med den oppdaterte støyveilederen fra Miljødirektoratet. Den anbefalte grenseverdien bør overholdes, men NVE tar høyde for at det i enkelte tilfeller kan være aktuelt å gi konsesjon også der støynivået er noe høyere enn grenseverdien.

Når det gjelder sammenhengen mellom vindturbinestøy og helse, finner Folkehelseinstituttet (FHI) at det er en sammenheng mellom plagegrad og lydnivået fra vindturbiner, der plage begynner ved nivåer under L_{den} 40 dB. FHI skriver videre at enkelte rapporter viser en sammenheng mellom støynivå og søvn. De vurderer også mulige virkninger knyttet til mental helse, livskvalitet og hjerte-/karsykdommer, og konkluderer med at det er lite støtte i forskningslitteraturen for slike årsakssammenhenger.

Kunnskapsgrunnlaget om plage ved vindturbinestøy er relativt lavt sammenliknet med for eksempel veitrafikkstøy. FHI mener at det er nødvendig å gjennomføre studier som inkluderer vindkraftverk i ulike områder av landet for å få bedre kunnskap om opplevelsen av støy fra vindkraftverk i Norge. De mener også at det er behov for mer kunnskap om hvordan vindturbinestøy påvirker søvn.

Skyggekast kan i de aller fleste tilfeller reduseres uten at det medfører vesentlige kostnader. Det er mest aktuelt å vurdere skyggekast ved detaljplanlegging av vindkraftverk.

Kapitlet om visuelle virkninger er basert på en rapport fra Norconsult, som har gjennomgått et utvalg av eksisterende kunnskap om visuelle virkninger for naboer til vindkraftverk. Omfanget av visuelle virkninger påvirkes av faktorer som avstand, antall vindturbiner, topografi og værforhold. I klarvær kan vindturbiner være synlige over avstander på 40-50 kilometer, og gi en signifikant visuell påvirkning på avstander opp til 15-20 kilometer. Begrepene «totaldominans» (innenfor en avstand på tre ganger vindturbinens høyde) og «ytre visuell dominanssone» (innenfor åtte-ti ganger objektets høyde) indikerer hvor dominerende vindturbinene fremstår for betrakteren. Dette er imidlertid en teoretisk vurdering, og forutsetter flatt, åpent terreng, noe som sjeldent er tilfelle i Norge. I mange typer landskap vil dominanssonen derfor i praksis være under én kilometer. Det er få muligheter for å gjennomføre tiltak som kan bidra til nevneverdig reduksjon av vindturbinenes synlighet og visuelle dominans. Det er derfor viktig å vurdere omfanget av visuelle virkninger for naboer ved planlegging av vindkraftverk og konsesjonsbehandling av enkeltsaker.

Vindturbiner defineres som luftartshindre og utløser krav til lysmerking. Dette er merking som kan medføre lysforurensning i mørket, særlig i områder som ellers er lite preget av lyssetting. Det er viktig å være oppmerksom på at lysene kan bidra til at vindkraftverket blir visuelt dominerende over langt større avstander enn det som er tilfelle i dagslys. Virkninger av lysmerking kan reduseres ved bruk av radarstyrte hinderlys. NVE mener at begrensning av lysmerking kan være et fornuftig avbøtende tiltak i enkelte tilfeller. Per i dag er det imidlertid bare ett radarsystem som har fått godkjenning i Norge. Dersom flere systemer blir godkjent og kostnadene reduseres, kan det bli mer aktuelt å sette krav om bruk av radarsystemer i konsesjoner.

Vindkraftverk kan gi innvirkning på eiendomspriser ved salg av boliger og hytter som er eksponert for støy, skyggekast og visuelle virkninger. NVE har engasjert Norconsult til å gå gjennom et utvalg internasjonale studier på dette feltet, og vurdert overførbarhet til norske forhold. Studiene har påvist en negativ sammenheng mellom synlige vindturbiner og salgspris på nærliggende boliger og fritidshus. Norconsult mener at dette sannsynligvis også gjelder i Norge.

NVE mener at hensynet til naboer tilsier at det bør innføres en anbefalt minsteavstand mellom vindkraftverk og bebyggelse. En minsteavstand kan gi forutsigbare rammer for myndigheter, naboer og utbyggere, og er innført i flere land. Fordi det mellom ulike steder er stor grad av variasjon knyttet til visuell eksponering, bør den generelle minsteavstanden likevel ikke være for streng. NVE mener at en minsteavstand på fire ganger vindturbinenes totalhøyde er en balansert grense. Denne grensen vil i mange tilfeller tilsvare avstander som følger av grenseverdien for støy, og samtidig sørge for at naboer ikke opplever visuell totaldominans eller mye skyggekast fra vindkraftverket. Til tross for innføring av minsteavstand, vil bebyggelse bli eksponert for støy og visuelle virkninger fra vindturbiner. Det kan være nødvendig å tillate denne type ulemper på samme måte som ved andre samfunnsnyttige tiltak som eksempelvis veier og flyplasser.

1 Innledning

Forslaget til en nasjonal ramme for vindkraft skal bestå av:

- Et oppdatert kunnskapsgrunnlag om virkninger for miljø og samfunn
- En oversikt over de mest egnede vindkraftområdene i Norge

I denne temarapporten presenteres nabovirkninger av vindkraftverk. Med nabovirkninger menes i denne sammenheng virkninger knyttet til synlighet, støy, skyggekast og lysmerking for luftfart, og hvordan dette igjen kan påvirke eiendomspriser og folkehelse. Det er utarbeidet egne temarapporter om friluftsliv og landskap.



Figur 1. Noen av temarapportene som skal brukes til å identifisere områder

Konklusjonene fra rapporten vil inngå i kunnskapsgrunnlaget NVE skal levere til OED som en del av forslaget til nasjonal ramme for vindkraft. Rapporten blir en del av grunnlaget for å identifisere de områdene i Norge som er mest egnet for vindkraft. Den blir også et grunnlag for fremtidig konsesjonsbehandling.

I rapporten vurderes virkninger for både helårs- og fritidsboliger. Selv om vindkraftverk kan påvirke beboere i helårsboliger større deler av året, er det ikke gitt at virkningene ved helårsboliger oppleves som større enn ved fritidsboliger. Bruksverdien til fritidsboliger er ofte knyttet til utsikt, ro og urørt natur.

2 Metode og medvirkning

Temarapporten om nabovirkninger er basert på en gjennomgang av norsk og internasjonal litteratur, søknader om konsesjon med konsekvensutredninger, NVEs erfaringer fra konsesjonsbehandling av vindkraftverk og erfaringer fra utbygde vindkraftverk.

Rapporten er utarbeidet i samråd med relevante etater og aktører. Kapitlene 4.4 og 5.3 om helsevirkninger av støy og skyggekast er skrevet av Folkehelseinstituttet, og rapporten er drøftet med Miljødirektoratet. Vurderingene av eiendomsverdier og visuelle virkninger av vindkraft baseres på underlagsrapporter utarbeidet av Norconsult AS.

I forbindelse med arbeidet har NVE innhentet erfaringer fra kraftverkseiere og vertskommuner for vindkraftverk gjennom enkle spørreundersøkelser.

3 Subjektive faktorer

Vindkraftverk medfører visuell eksponering og støy for de nære omgivelsene. Synlighet og lydstyrke er objektive størrelser, men opplevelsen av dem og graden av plage knyttet til dette vil i stor grad være subjektivt betinget. Det er mange forhold som kan påvirke den subjektive opplevelsen. Personlig syn på vindkraft som energikilde er én slik faktor. Noen ser først og fremst på vindkraftverk som naturødeleggelse, mens andre er mer opptatt av vindkraft som tilpasning til et økende behov for fornybar energi. Ulike holdninger kan påvirke graden av plage ved opplevd støy og visuelle virkninger. Økonomiske egeninteresser kan også påvirke opplevelsen av forstyrrelsene. En grunneier som tjener på å stille arealer til disposisjon for et vindkraftverk, kan oppleve støy og synlighet som mindre plagsomt enn vedkommende ville gjort dersom disse fordelene ikke var tilstede. Individuelle forhold til området og landskapet som blir berørt spiller også en viktig rolle for opplevelsen av tiltakene. Både kollektive og personlige minner har innvirkning på dette.

De subjektive faktorene som påvirker opplevelsen av eksponering, er ikke mulige å inkludere i gjennomgangen av nabovirkninger. I den påfølgende gjennomgangen av nabovirkninger er tilnærmingen derfor i stor grad å fokusere på eksponering fremfor respons. Det er likevel viktig å være oppmerksom på at subjektive forhold har stor innvirkning på graden av plage eller fravær av plage hos den enkelte nabo til et vindkraftverk.

4 Støy

Støy er definert som uønsket lyd. Opplevd støy vil være betinget av subjektive oppfatninger av et lydbilde. I det følgende presenteres begreper knyttet til lyd som er sentrale for å forstå grunnlaget for vurdering av støy fra vindkraftverk. Mye av faktakunnskapen i det følgende er hentet fra Miljødirektoratets veileder til retningslinje for behandling av støy i arealplanlegging (M-128).

Frekvens

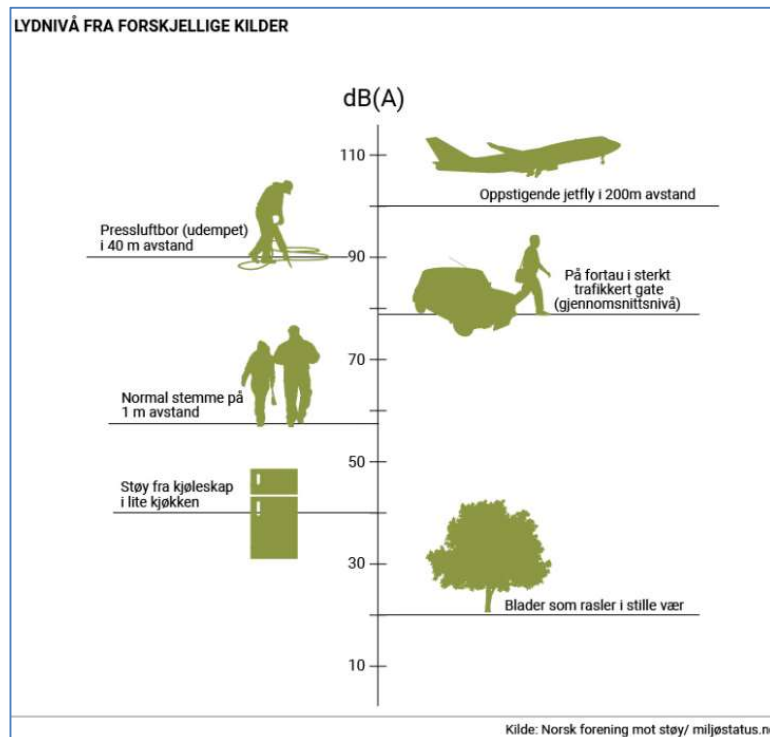
Lyd forekommer i en rekke frekvenser, fra veldig lave frekvenser som lyden fra torden på lang avstand, til veldig høye frekvenser som lyden fra en hundefløyte. For å beskrive

frekvensen benyttes måleenheten hertz (Hz), som angir svingninger per sekund. Litt avhengig av alder kan mennesket høre fra 20 Hz til 20 000 Hz. Lyd med frekvenser fra 20 til 160 Hz kalles ofte lavfrekvent lyd, og frekvenser under 20 Hz kalles infralyd.

Lydnivå og kildestøy/lydeffektnivå

Lydnivå måles vanligvis i desibel, med forkortelsen dB. Mennesket hører lyder med en styrke fra 0 dB til 120 dB+, og for de fleste vil 120-125 dB etter kort tid oppleves som smertefullt. Langvarige kraftige støbelastninger over 80-85 dB, eller veldig høye kortvarige lydimpulser med toppverdier over 130-140 dB, kan gi permanente hørselsskader. Et kjøleskap summer normalt på ca. 40 dB og en gressklipper gir lyd i størrelsesorden 85-90 dB.

Desibelskalaen kan oppleves forvirrende, fordi den teoretiske økningen av lydstyrken er annerledes enn den opplevde økningen. Skalaen er logaritmisk, ikke lineær, og en økning på 3 dB innebærer en dobling av lydstyrken. I praksis oppleves imidlertid en økning på 10 dB som en dobling av lydstyrken. Ofte vil en økning på 1-3 dB knapt merkes, mens en økning på 5 dB kan beskrives som en klart merkbar endring.



Figur 2. Lydnivå fra forskjellige kilder. Hentet fra miljostatus.no

Desibel vektet i vindkraftsammenheng normalt på to forskjellige måter, dBA eller dBC. dBA-skalaen legger vekt på de frekvensene som ørene våre oppfatter best, og er mest brukt. dBC-skalaen vektlegger alle hørbare frekvenser likt, med unntak av noe reduksjon for de høyeste og laveste frekvensene. Denne skalaen er mindre brukt i vindkraftsammenheng, men dBC blir av og til brukt for å beskrive lavfrekvent lyd.

Et lydnivå er sjelden konstant over tid. For å si noe om lyden man opplever, benyttes normalt gjennomsnittsverdier. Følgende begreper er vanlige å bruke i vindkraftsammenheng:

L_{Aeq} (L = lydnivå, A = a-vekting, eq = ekvivalentnivå. « $L_{pAeq, T}$ » brukes også): Det ekvivalente støynivået L_{Aeq} er et mål på det gjennomsnittlige (energimidlede) nivået for varierende støy over en bestemt tidsperiode T. Ekvivalentnivå gjelder for en viss tidsperiode T, f.eks. 10 sekunder, 1/2 time, 8 timer eller 24 timer.

L_{den} (L = lydnivå, den = day, evening, night): A-veiet ekvivalent støynivå for dag-kveld-natt med 5 dB/10 dB ekstra tillegg på henholdsvis natt og kveld. Tidspunktene for de ulike periodene er dag: 07-19, kveld: 19-23 og natt: 23-07. L_{den} er nærmere definert i EUs rammedirektiv for støy (Direktiv 2002/49/EF).

I den norske retningslinjen for støy (T-1442-2016) benyttes i hovedsak den årsmidlede L_{den} -formen. Forskjellen på L_{den} og L_{Aeq} er 6,4 dB hvis det antas et jevnt støynivå over året.

Lydnivået ved lydkilden kalles kildestøy eller lydeffektnivå. L_{WA} benyttes til å angi lydnivået på kildestøy.

4.1 Hva er støy fra vindturbiner

4.1.1 Vindturbiner som støykilde

En vindturbin består av tårn, maskinhus og vinger. Høyden på tårnet i moderne vindturbiner er 80 -140 meter, og lengden på vingene 40-70 meter. De fleste vindturbiner produserer kraft ved vindhastigheter mellom 3 og 25 m/s, og stenges ned ved vindhastighet over 25 m/s. Kildestøyen varierer med vindhastigheten, og den maksimale kildestøyen fra en moderne vindturbin er typisk 105-110 dB.

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

Av og til kan det høres såkalt rentonelyd/rentonestøy fra vindturbiner. Dette er tydelige toner, som normalt stammer fra gir, generator og vifter i vindturbinene, og mekaniske lyder fra nedbremsing. Slitte turbinvinger og feil pitch (turbinvingenes stilling mot vinden) kan også medføre rentonestøy. Rentonestøy oppleves ofte som mer forstyrrende enn annen støy fra vindkraftverket.

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 økte støyvirkninger.

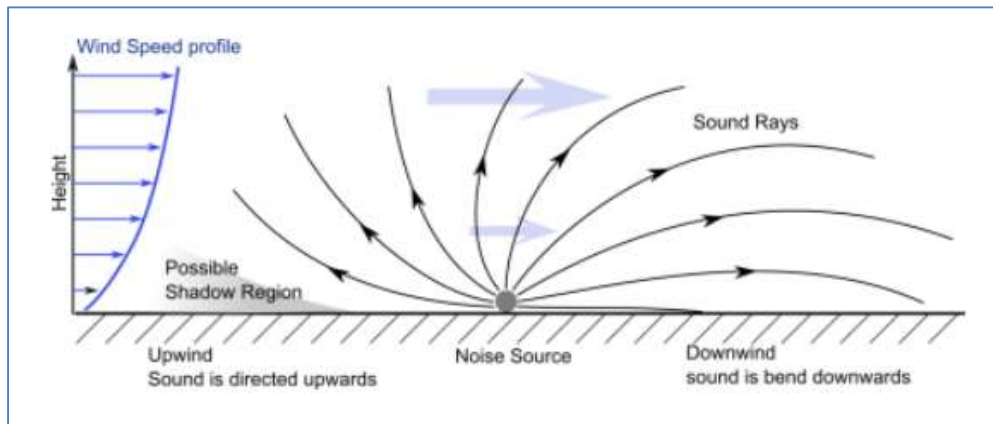


Figur 3. Lyd fra en vindturbin – kilde S. Oerlemans, 2009

Faktorer som påvirker støyutbredelse fra vindkraftverk

Støynivået fra en vindturbin bestemmes av en rekke faktorer, som avstand mellom vindturbin og støymottaker, vindretning og -hastighet, trykk- og temperaturforhold og markabsorpsjon. Når avstanden mellom vindturbin og mottaker øker, blir lyden spredt over et større område, og støynivået blir lavere.

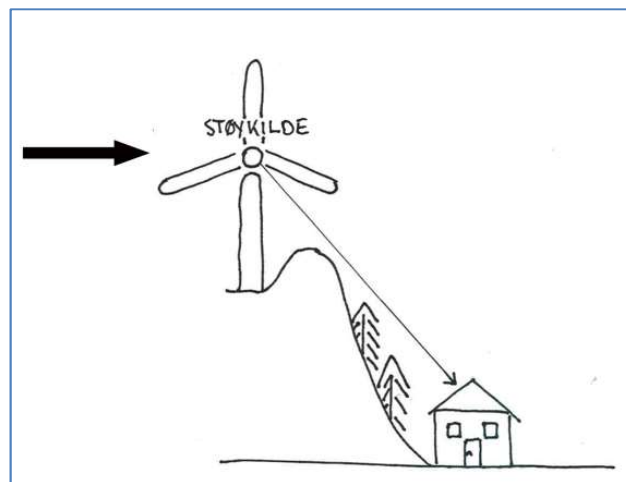
Lydbølger kan bøyes av vinden. Vanligvis øker vinden med høyden over bakken. Da bøyes lyden ned mot bakken i medvindssonen og opp fra bakken i motvindssonen. Dette kan medføre en lyddempning på 5-10 dB eller mer i motvindssonen sammenliknet med medvindssonen. Avstand til vindturbinen, vindretning og 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.



Figur 4. Lydutbredelse fra vindturbin med vindgradient. Lyden bøyes nedover i medvindssonen (til høyre i figuren) og oppover i motvindssonen (til venstre). Kilde; Recordings of nature

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 (inversjon) 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 betyr dette at vindturbinene ofte høres bedre.

Ulike typer bakgrunnsstøy kan maskere støy fra vindturbiner. 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. Hvis mottakeren er skjermet fra vinden kan imidlertid maskeringen fra vindsuset reduseres vesentlig. Mottakeren ligger da i *vindskygge*, som gjør at støyen fra vindturbinene kan være hørbar også ved vindstyrke over 8-10 m/s, og tiltar ved høyere vindhastighet.



Figur 5. Illustrasjon av hus i vindskygge. NVE

4.2 Norsk retningslinje og veiledning

4.2.1 Innledning

Klima- og miljødepartementet har i Retningslinje for behandling av støy i arealplanlegging (T-1442) anbefalt en grenseverdi for støy fra vindkraftverk. Formålet med retningslinjen er å legge til rette for en langsiktig arealdisponering som forebygger støyproblemer (herunder støyplage, søvnforstyrrelser etc.). Grenseverdien er ikke en juridisk fastsatt støygrense, men en anbefaling om maksimalt utendørs støynivå ved nabobebyggelse. Slike grenseverdier er satt for en rekke støykilder. I veilederen til retningslinjen (M-128) er det blant annet beskrevet hvordan støyen skal beregnes og måles. Miljødirektoratet er ansvarlig for å oppdatere veilederen, og den er senest endret i 2018.

Bebyggelse med støyfølsom bruk defineres i T-1442 som boliger, sykehus, pleieinstitusjoner, fritidsboliger, skoler, barnehager, kontorer og overnattingssteder. Retningslinjen definerer også rom med støyfølsomt bruksformål. Dette kan være rom for varig opphold, som stue/soverom eller undervisningsrom og lignende.

Anbefalt grenseverdi for støy fra vindkraftverk er fastsatt til L_{den} 45 dBA for bygg med støyfølsom bruk. Støynivået vil normalt ikke overstige grenseverdien ved avstander over 800 meter. Det er i tillegg satt en egen grenseverdi på L_{den} 40 dBA for «grønne soner». Dette er arealer som kommunene har definert som stille områder som er viktige for natur- og friluftsinnteresser. Arealene skal være markert med grønn farge i kommuneplanens arealdel.

Før 2005 ble støygrensene for vindkraft satt i tråd med retningslinjen for industristøy. Da brukte man ikke L_{den} , men hadde maksimalt ekvivalentnivå for dag (50 dBA), kveld (45 dBA) og natt (40 dBA). Grensen var i praksis 40 dBA, fordi det ikke er aktuelt å stoppe turbinene på natten. Retningslinjen T-1442, som trådte i kraft 2005, er harmonisert med EUs regler og metoder for støy og støyberegning. Dette medførte blant annet at utbygger skulle lage støysonekart med gule og røde soner. Grenseverdiene i T-1442 var i stor grad ment å skulle tilsvare de tidligere retningslinjene. Det ble lagt til grunn at et gjennomsnitt på L_{den} 45 dBA tilsvarer et ekvivalentnivå på omtrent 40 dBA. I 2005 ble det også introdusert en differensiering mellom boliger utenfor og innenfor vindskygge. Denne differensieringen ble fjernet i revideringen 2014, og det er ikke satt spesielle støykrav ved vindskygge i dagens retningslinje. Den norske retningslinjen har per i dag heller ikke anbefalt lavere grenseverdier for støy med tydelig rentonekarakter fra vindkraft, slik det gjøres for industristøy og havner/terminaler.

4.2.2 Myndighet for behandling av støy fra vindkraftverk

NVE behandler søknader om å bygge og drive vindkraftverk i medhold av energiloven. Små vindkraftverk (anlegg med inntil fem turbiner/1 MW) behandles av kommunene i medhold av plan- og bygningsloven. Vurdering av støy er en viktig del av denne behandlingen.

Fylkesmannen er høringsinstans ved behandling av alle vindkraftsaker, og har innsigelses- og klagerett i sakene. Fylkesmannen kan behandle søknader om utslippstillatelse etter forurensningsloven § 7, for de tilfeller at støyfølsom bebyggelse blir eksponert for vesentlig høyere støynivåer enn den anbefalte grenseverdien på L_{den} 45

dB(A). Støy fra vindkraftverk krever normalt ikke behandling i medhold av forurensningsloven, ettersom dette behandles som en viktig del av NVEs konsesjonsbehandling.

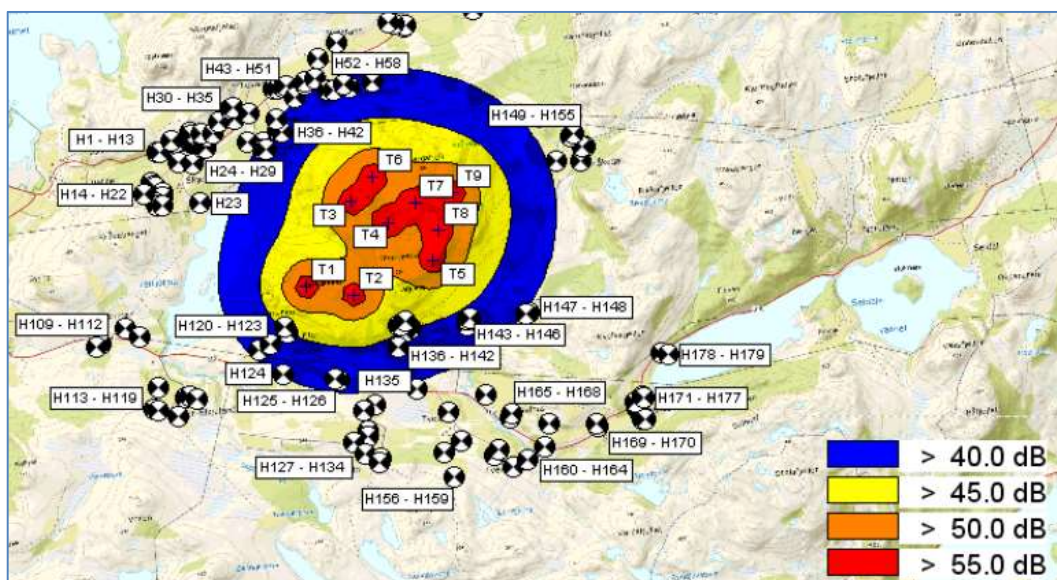
Stortinget har besluttet at myndighet for støy for blant annet vindkraftverk fra og med 1.1.2020 skal flyttes fra fylkesmennene til kommunene. Dette er nærmere beskrevet i Prop. 91 L (2016-17).

4.2.3 Beregning og måling av støy fra vindkraftverk

På grunn av alle faktorene som påvirker støyutbredelse fra vindturbiner, kan beregning av støyeksposering være utfordrende. Dette gjelder spesielt i terreng med store høydeforskjeller og reflekterende terrengformasjoner, og ved værforhold som kan gi rim/is på vinger (NVE, 2017).

Ved vindstyrke over 8-10 m/s vil vindturbinenes støynivå vanligvis overdøves av lyd fra naturlig vindsus, slik at støyen fra vindturbinene maskeres av bakgrunnsstøyen. Det er derfor vanlig å legge 8 m/s i 10 meters høyde til grunn i såkalte worst case støyberegninger. Utreder bør imidlertid være oppmerksom på bebyggelse som ligger i vindskygge, der maksimalt støynivå kan inntreffe ved vindhastigheter over 8 m/s. I slike tilfeller bør maksimalt kildestøynivå legges til grunn for støyberegninger.

I behandlingen av vindkraftsøknader skal støyutredninger baseres på worst case-beregninger. I detaljplanfasen kan det i tillegg fremlegges en kompletterende beregning som tar høyde for lokale vindforhold. Det er resultatene fra worst case-beregningen som skal brukes for å avklare om grenseverdien overskrides, men den kompletterende beregningen kan brukes som et grunnlag for skjønnsutøvelsen til myndigheten som gir tillatelse. Det er viktig å påpeke at grenseverdien er en anbefaling, og at det i noen tilfeller kan tillates at støynivået ved berørte boliger er over grenseverdien. En slik praksis tilsvare praksisen fra andre sektorer med anbefalte grenseverdier for støy, for eksempel vei- og jernbanesektoren.



Figur 6. Eksempel på kart med støyberegninger. Kilde: Konsesjonssøknaden for Vardafjellet vindkraftverk

Det finnes to ulike måter å måle støy fra vindkraftverk på. Ved *emisjonsmåling* måles kildestøy ved 8 m/s i 10 m høyde eller vindhastighet som tilsvarer maksimalt støynivå. Dette legges deretter til grunn for beregning av støynivå i mottakerpunkt.

Immisjonsmåling er måling av støy ved støymottaker. I veilederen for støy fra vindkraftverk anbefales det å benytte emisjonsmålinger fremfor immisjonsmålinger for etterprøving av støyberegninger. Dette skyldes både kostnader og usikkerhet tilknyttet resultatene fra immisjonsmålinger, der blant annet lyd fra andre kilder er en stor utfordring for å oppnå korrekt måling av lydnivå i mottakerpunktet.

NVE fikk i 2017 laget en utredning om støy fra vindkraftverk i kompleks topografi (NVE rapport 13, 2017). Her fremgår det at det med dagens verktøy for beregning av støy fra vindturbiner er vanskelig å ta høyde for alle mulige påvirkningsfaktorer, som ekkovirkninger og unaturlig amplitudemodulasjon..

4.3 Praksis i andre land

Praksisen i Norge med L_{den} som indikator er valgt fordi Norge også benytter L_{den} i de fleste andre støysammenhenger. Dette er gjort for å redusere støyutbredelse på kveld- og på nattetid, noe som kan være mer relevant for varierende støykilder, som industrianlegg og veitrafikk, enn for relativt konstante støykilder som vindturbiner. Valget av L_{den} som felles indikator for alle støykilder er gjort for å gjøre retningslinjen enklere og mer brukervennlig. I de fleste andre land brukes L_{Aeq} i regelverk og retningslinjer for støy fra vindkraftverk.

I Sverige sier retningslinjene for støy at lydnivået ikke skal være høyere enn L_{Aeq} 40 dBA utenfor støyfølsom bebyggelse. Etersom Norges retningslinje med L_{den} inneholder en skjerpelse for kveld/natt, er dette nivået relativt likt som det norske, dersom det tas utgangspunkt i worst case-verdier. For friluftsområder og områder med lav bakgrunnsstøy, bør ikke lyden overstige L_{Aeq} 35 dBA. Dersom vindturbinene avgir rentonelyd anbefales det at lydnivået er ytterligere 5 dB lavere (Naturvårdsverket - Sverige).

I det danske regelverket fremgår det at støy fra vindturbiner ikke skal overskride L_{Aeq} 44 dBA ved 8 m/s eller L_{Aeq} 42 dBA ved 6 m/s i det mest støybelastede punkt 15 m fra et berørt bygg. Områder som vurderes som spesielt sensitive, som småbyer eller rekreasjonsområder, skal ikke utsettes for et støynivå over L_{Aeq} 39 dBA ved 8 m/s eller L_{Aeq} 37 dBA ved 6 m/s. Danmark har også en grenseverdi for lavfrekvent støy. Innendørs lavfrekvent støynivå skal ikke overstige L_{Aeq} 20 dBA (Energistyrelsen – Danmark).

Ifølge det britiske regelverket skal ikke bygg med støyfølsom bruk i stille områder og rekreasjonsområder få støy over L_{Aeq} 35 dBA på dagtid, eller 5 dBA over bakgrunnsstøyen i respektive områder på kveldstid og mesteparten av tiden i helgen. På nattetid skal ikke bygg med støyfølsom bruk og rekreasjonsområder ha støy over L_{Aeq} 38 dBA eller 5 dBA over områdetets bakgrunnsstøy (Institute of Acoustics.- UK).

I tillegg til Norge er Nederland det eneste landet som bruker L_{den} i vurderingen av støy fra vindkraftverk. Grenseverdien er satt til L_{den} 47 dB (Business.gov.nl).

På bakgrunn av at Danmark innførte egne grenseverdier for lavfrekvent støy i 2011, ønsket Miljødirektoratet å undersøke om det var hensiktsmessig å innføre dette også i Norge. Det ble derfor utført et arbeid for å belyse problemstillingen i 2012. Utredningen

viste at den gjeldende anbefalte støygrensen utendørs (L_{den} 45 dBA) også sikrer at innendørsstøy i frekvensområdet 20-160/200 Hz ikke overskrider 20 dBA, som er grensen i Danmark. Miljødirektoratet konkluderte på bakgrunn av dette med at det ikke er behov for å innføre egne grenseverdier for lavfrekvent støy i Norge.

4.4 Vindturbinestøy og helse¹

Verdens helseorganisasjon (WHO) arbeider med nye retningslinjer for miljøstøy (WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region), som er en oppdatering av anbefalingene fra 1999 (WHO Community Noise Guidelines, 1999). I tillegg til støy fra de viktigste samferdselskildene er også støy fra vindkraftverk nå inkludert i den systematiske kunnskapsvurderingen. En gjennomgang av nyere kunnskap om støy og helse ligger til grunn for dette arbeidet (WHO, 2017). Helsevirkninger som er inkludert i vurderingen er søvnforstyrrelser, støyplage, kognitiv svekkelse, hjerte-karsykdom, psykisk helse og trivsel/velvære, hørselssvekkelse og tinnitus, samt mulige virkninger på foster som lav fødselsvekt og for tidlig fødsel som følge av støyeksponering under svangerskapet. De nye retningslinjene fra WHO vil ferdigstilles i løpet av 2018, og vil være et viktig bidrag til videre arbeid med støy og helse.

I gjennomgangen av kunnskap som er gjennomført av WHO, ble det inkludert studier som var publisert frem mot slutten av 2015. Folkehelseinstituttet har derfor gjort litteratursøk for årene fra 2015 til januar 2018, for å se om det er publisert nyere studier som kan være av betydning for vurdering av helsevirkninger av vindturbinestøy.

4.4.1 Vindturbinestøy og støyplage

Støy som helseutfordring tar utgangspunkt i WHO's utvidede helsebegrep: «Helse er ikke bare fravær av sykdom og svakhet, men en tilstand av fullstendig fysisk, psykisk og sosialt velvære.» Støyplage er ifølge denne definisjonen en helsevirkning, og er den virkningen av støy som generelt har vært mest studert. I begrepet «støyplage» ligger både aktivitetsforstyrrelse og en negativ vurdering, eller følelsesmessig reaksjon, i form av ergrelse, ubehag, eller en følelse av at støyen «går en på nervene». I tillegg kommer et kognitivt element i form av en situasjonsforståelse; for eksempel som noe man ikke kan gjøre noe med (Aasvang & Krog, 2004; Finegold & Finegold, 2002; Guski m.fl., 1999 og 2017). Det er viktig å understreke at støyplage som helsekonsekvens er noe langt mer enn «svak irritasjon». Vedvarende støyplage knyttet til en permanent støykilde der man bor vil kunne bidra til en markert reduksjon av livskvaliteten (Aasvang & Krog, 2004). Kunnskap om sammenhenger mellom støyeksponering og andel i en befolkning som kan forventes å være sterkt plaget av støy ved ulike støynivåer danner utgangspunktet for anbefalingene i støyregelverket. Kunnskapsgrunnlaget for vindturbinestøy er imidlertid svakt sammenlignet med kunnskap om for eksempel veitrafikkstøy.

WHO's systematiske gjennomgang av eksponerings – responsstudier fra 2000-2015 fant kun fire studier som oppfylte kriteriene for innlemmelse i analysen av kunnskapsgrunnlaget (Guski m.fl., 2017). Meta-analyse av rådataene fra disse undersøkelsene viste ganske entydig at det er en systematisk sammenheng mellom lydnivået fra vindturbiner og plagegrad som begynner ved nivåer under L_{den} 40 dBA.

¹ Skrevet av Folkehelseinstituttet

Resultatene fra de ulike studiene var imidlertid inkonsistente når det gjelder sammenheng mellom støynivåer og andel av befolkningen som er sterkt plaget.

4.4.2 Variasjon mellom områder: Forhold som påvirker støyplage

Det kan være flere årsaker til variasjon mellom områder når det gjelder andel av befolkningen som er sterkt plaget av støyen ved ulike nivåer. For alle typer støykilder er det generelt stor individuell variasjon i støyplage, og støyplagen betinges av både individuelle og kontekstuelle faktorer. De individuelle faktorene vil påvirke variasjonen innad i hvert studieområde, mens kontekstuelle forhold kan være forskjellige mellom områder (Guski m.fl., 2017). Kunnskapsoppsummeringen fra WHO nevner følgende kontekstuelle forhold av betydning for støyplagen i befolkningen (Guski m.fl., 2017):

- Hvor synlig støykilden er fra boligene
- Økonomiske fordeler knyttet til vindkraftverket
- Type område langs akse urbant – ruralt, og tilhørende forventninger til stillhet
- Stabilitet eller endring av bokvaliteter/støyforhold: er vindkraftverket nyetablert, eller har det vært der lenge

Det å se vindturbiner hjemmefra kan bidra til økt støyplage (Guski m.fl., 2017; Kuwano m.fl., 2014; van den Berg m.fl., 2008), mens økonomiske fordeler knyttet til vindkraftverket kan bidra til mindre støyplage (Guski m.fl., 2017; van den Berg m.fl., 2008). Vindkraftverk skiller seg fra andre sentrale støykilder ved at de gjerne bygges i mer rurale strøk, mens utfordringer med høye nivåer av transportstøy er størst i urbane områder. Forventninger til stillhet kan generelt være høyere i rurale enn i urbane strøk. Denne forskjellen i forventninger er foreslått som en årsak til at støy fra vindturbiner synes å oppfattes mer plagsom ved lavere nivåer enn for eksempel vegtrafikkstøy (Guski m.fl., 2017). En annen faktor som også har med befolkningens referanseramme og forventninger å gjøre, er den endringen i støyforhold og bokvaliteter som selve etableringen av en ny støyende virksomhet representerer. Det er vist for andre støykilder at støyplagen ved et gitt eksponeringsnivå vil være høyere i en slik endringssituasjon enn i en situasjon hvor støyen har vært stabilt til stede over lang tid (Brown & van Kamp, 2009; Guski m.fl., 2017). Tilleggsplagen knyttet til selve endringen er vist å vedvare over år etter at endringen har skjedd, med lite tegn på tilvenning (Brown & van Kamp, 2009). Forfatterne bak WHO sin kunnskaps-oppsummering påpeker at kunnskapsgrunnlaget om støyplage blant beboere nær vindkraftverk kommer fra situasjoner hvor støykilden er relativt ny (Guski m.fl., 2017). Man mangler kunnskap om eventuell tilvenning og hvordan støyplagen utvikler seg over tid, og i hvilken grad økt plage skyldes endringsfaktoren fremfor spesielle karakteristika ved lyd-kilden.

Betydningen av kontekstuelle faktorer kan i teorien tallfestes, og det er gjort i enkeltstudier (Sundfør & Klæboe, 2015), men kunnskapsgrunnlaget er altfor spinkelt til at slike tallfestinger kan generaliseres. En kvalitativ vurdering av slike faktorer sammen med beregnet støyeksponering vil antagelig likevel kunne gi en bedre pekepinn på mulige støyproblemer enn det de beregnede støynivåene alene kan gi.

4.4.3 Støyplage fra vindkraftverk i Norge

Det finnes lite vitenskapelig kunnskap om reaksjoner på støy fra vindkraftverk i Norge. Lokale forhold kan gjøre at resultatene fra internasjonale studier ikke nødvendigvis er representative for situasjonen i Norge; som topografi som kan prege lydbildet; forventninger til stillhet, byggeskikk, bruk av uteområder, og holdninger til vindkraftverk på bakgrunn av at Norge har vannkraft som en alternativ ren energikilde. Vi er kun kjent med en studie fra Lista, som ble gjennomført av Transportøkonomisk institutt (TØI) i 2015 på bakgrunn av befolkningsreaksjoner og kommuneoverlegens pålegg om en helsekonsekvensutredning (Sundfør & Klæboe, 2015).

De som ble invitert til å delta i undersøkelsen var beboere med adresse innenfor to kilometer fra nærmeste vindturbin (helårs- eller fritidsbolig) (Sundfør & Klæboe, 2015). Det endelige utvalget hadde noe skjevt frafall av de som bodde lengst unna vindkraftverket, og utvalget var relativt lite (n= 90, 38% deltakelse). Støyplagen var betydelig høyere enn hva man har funnet i internasjonale studier, og enn det som er forutsatt i retningslinjen T-1442. Ved et støynivå på L_{den} 45 dBA rapporterte 42% av utvalget å være mye eller voldsomt plaget av støyen. TØI konkluderer med at avstanden mellom vindturbiner og nærmeste bolig bør være minimum 1 kilometer, gitt resultatene i undersøkelsen. På spørsmål om hva ved lyden som var mest plagsomt, svarte nesten alle (96%) den pulserende/svisjende lyden, mens litt over halvparten (54%) oppgav at den lave motorduren var mest plagsom (det var mulig å gi flere svar). Det var sammenheng mellom holdninger til vindturbiner og fornybar energi generelt og støyplage. I likhet med hva som er funnet internasjonalt, viste studien sterk sammenheng mellom det å oppleve vindturbinene som visuelt skjemmende og ødeleggende for landskapet og graden av støyplage. Undersøkelsen er foretatt i en situasjon hvor det hadde vært mye uro, konflikt, og medieoppmerksomhet rundt vindkraftverket. Liknende studier av flystøy har funnet at slike situasjoner preget av endring og uro, og eventuelt medieomtale, gir systematisk mindre toleranse for støy og mere plage enn i en stabil situasjon (Gelderblom em.fl., 2016). Resultatene er derfor ikke nødvendigvis overførbare til andre steder og situasjoner. Forfatterne understreker at resultatene må tolkes med varsomhet. For å få bedre kunnskap om opplevelsen av støy fra vindkraftverk i Norge, er det nødvendig med studier som inkluderer vindkraftverk i flere ulike områder av landet.

4.4.4 Vindturbinestøy og mental helse og livskvalitet

Enkelte studier har undersøkt sammenheng mellom vindturbinestøy og mer generelle mål på mental helse og livskvalitet. Den systematiske litteraturgjennomgangen av virkninger av støy på mental helse og livskvalitet i regi av WHO var ikke publisert per 1. mai 2018. Schmidt og Klokke (Schmidt og Klokke, 2014) gjorde en grundig og systematisk gjennomgang av tilgjengelig forskning publisert frem til midten av 2014. Hensikten var å undersøke om det er støtte for en sammenheng mellom vindturbinestøy og negative virkninger på helse, inkludert mental helse. Ytterligere en oversiktsartikkel fra 2015 så spesielt på sammenheng mellom støy fra vindkraftverk og livskvalitet (Onakpoya m.fl., 2015). Vi har derfor valgt å ta utgangspunkt i disse to oversiktsartiklene. Det er også gjort tilleggsøk fra 2015 og frem til 30. april 2018.

Det er få studier som har undersøkt sammenhengen mellom støy fra vindturbiner og mental helse og livskvalitet, og undersøkelsene er ofte små med kun et lite utvalg respondenter. En sammenheng mellom avstand til vindkraftanlegg og redusert mental

helse og livskvalitet er rapportert i enkelte studier (Jalali m.fl., 2016; Nissenbaum m.fl., 2012; Shepard m.fl., 2011). I disse studiene ble det benyttet standardiserte spørsmål for å måle livskvalitet og mental helse. Resultatene fra studien til Shepard m.fl. (2011) viste en forskjell i total livskvalitet mellom dem som bodde nærmere enn to kilometer og dem som bodde mer enn åtte kilometer fra vindkraftverket, men det var ingen forskjeller med hensyn til mental helse. En canadisk studie målte mental helse og livskvalitet før og etter at nærliggende vindkraftverk ble satt i drift (Jalali m.fl., 2016). Denne studien viste at mental helse og livskvalitet ble statistisk signifikant redusert etter at vindkraftverket var satt i drift. Dette gjaldt hovedsakelig for dem som også rapporterte negative holdninger til vindkraft, var bekymret for reduserte eiendomspriser eller rapporterte visuell plage fra vindturbinene. Andre studier har ikke påvist noen sammenheng mellom støynivå (inntil L_{Aeq} 45 dB) og mental helse og livskvalitet (Kageyama m.fl., 2016; Feder m.fl., 2015), men fant at selvrappporterte helseproblemer var forbundet med støysensitivitet og visuell plage fra vindturbiner (Kageyama m.fl., 2016).

Siden studiene ofte er små og med lav svarprosent, er det vanskelig å fastslå hvor representative funnene er. Med unntak av én studie fra Canada (Jalali m.fl., 2016), er samtlige studier tverrsnittsundersøkelser. Dette innebærer at man ikke kan påvise årsakssammenhenger, for eksempel er det umulig å fastslå om støyplage fører til redusert mental helse eller om dårlig mental helse gir grunnlag for økt støyplage. De fleste studiene har utilstrekkelig kontroll for andre faktorer som kan påvirke sammenhengen mellom vindturbinestøy og mental helse, slik som annen sykdom, utdanning, livsstil etc. I tillegg benytter flere av studiene kun avstand til vindkraftverk som mål på eksponering. Det er avgjørende at det er gjort en god beregning eller måling av støyeksponering for å kunne benytte resultater til anbefalinger og retningslinjer. Funnene er heller ikke konsistente. Selv om symptomer på angst og stress, hukommelses- og konsentrasjonsproblemer, hodepine og svimmelhet er rapportert i kassustudier, ble det i de to oversiktsartiklene konkludert med at det foreligger utilstrekkelig støtte i forskningslitteraturen for en årsakssammenheng mellom støy fra vindturbiner og redusert mental helse og livskvalitet (Onakpoya m.fl., 2015; Schmidt og Klokke, 2014). Studier publisert etter 2015 endrer ikke dette bildet. Det er rimelig å anta at individuell sårbarhet kan ha stor betydning for opplevde plager nær vindkraftverk. Det er holdepunkter for at individuelle faktorer, som blant annet holdninger til vindkraftverk og støysensitivitet, spiller en viktigere rolle enn selve støynivået med hensyn til mental helse og livskvalitet for naboer til vindkraftanlegg (Schmidt og Klokke, 2014; Jalali m.fl., 2016).

4.4.5 Vindturbinestøy og hjerte-karsykdom

En rekke studier har rapportert sammenheng mellom vegtrafikkstøy og hjerte-karsykdom (Babisch m.fl., 2005; Sørensen m.fl., 2012; Vienneau m.fl., 2015), mens langt færre har undersøkt slike virkninger som følge av vindturbinestøy. I den ovennevnte gjennomgangen i regi av WHO, ble det konkludert at det er sterke holdepunkter for en sammenheng mellom vegtrafikkstøy og hjerteinfarkt (van Kempen m.fl., 2017). Dette er basert på data fra sju langtidstudier med støynivåer fra L_{den} 40 til 80 dB og registerdata på hjertekarsykdom. Ved å kombinere resultater fra disse studiene fant forskerne en statistisk signifikant forhøyet risiko for hjerteinfarkt på 8 % per 10 dB økning i vegtrafikkstøynivå (van Kempen m.fl., 2017).

For vindturbinstøy ble det konkludert med at kunnskapsgrunnlaget med hensyn til risiko for langtidsvirkninger er mangelfullt (van Kempen m.fl., 2017). Samtlige tre studier av vindturbinstøy, to fra Sverige og en fra Nederland (Bakker m.fl., 2012; Pedersen, 2011; Pedersen m.fl., 2009; Pedersen & Waye, 2004, 2007) var tverrsnittstudier og basert på selvrappert sykdom. Støynivåene varierte fra under 30 dB til 45 dB. Ingen av disse studiene viste statistisk signifikante sammenhenger mellom vindturbinstøy og risiko for hjertekarsykdom, forhøyet blodtrykk eller fedme.

Mekanismene som er foreslått for mulig sykdomsutvikling som følge av støy er basert på eksperimentelle funn hvor høye støynivåer er påvist å utløse fysiologiske responser som er typisk for stress, som økt hjertefrekvens, økt blodtrykk og utskillelse av stresshormoner (Basner m.fl., 2014; Münzel m.fl., 2017). Det er holdepunkter for at særlig støy om natten kan bidra til redusert helse (Münzel, Gori, Babisch, & Basner, 2014). Tilstrekkelig og uforstyrret søvn er avgjørende for god fysisk og psykisk helse, og søvmangel er forbundet med utvikling av en rekke sykdommer og helseplager (WHO, 2009).

Av nyere studier som ikke ble inkludert i WHO-gjennomgangen kan nevnes en helt nylig publisert landsdekkende dansk studie (Poulsen m.fl., 2018). Siden vindturbinstøy varierer med vindhastighet og retning, ble det undersøkt om en økning i støyeksponering for enkeltnetter var forbundet med økt risiko for slag og hjerteinfarkt. Alle personer over 18 år i Danmark som hadde minst en time med vindturbinstøy over 30 dB(A) i løpet av to netter for årene 1982-2013 ble inkludert i studien. Samtlige av disse ble fulgt opp i pasientregister og dødsårsaksregister, hvor henholdsvis diagnose og dødsårsak, i tillegg til dato, er registrert. I alt ble over 15 000 tilfeller av hjerteinfarkt og nesten like mange tilfeller (14 623) av slag identifisert i studiepopulasjonen i denne perioden.

I tillegg til detaljert modellering av vindturbinstøy utenfor bolig, ble også innendørs lavfrekvent støy (10-160Hz) beregnet på bakgrunn av vindturbinstøy utenfor bolig og data på type fasade. Resultatene indikerte en forhøyet risiko for hjerteinfarkt og slag i dagene etter netter med økt innendørs lavfrekvent støy (> 15 dB(A) i frekvensområdet 10-160Hz). Sammenhengene var svakere og mer inkonsistente for utendørs vindturbinstøy; en forhøyet risiko for slag, men en redusert risiko for hjerteinfarkt ved nivåer over 42 dB(A) utendørs. Selv om dette var en svært stor studie, var det likevel få tilfeller av hjerteinfarkt og slag blant dem som var utsatt for de høyeste støynivåene. Ingen av sammenhengene mellom støy og hjerte-karsykdom var statistisk signifikante, noe som innebærer at det er stor usikkerhet knyttet til resultatene.

Basert på gjennomgangen kan det konkluderes med at det er lite støtte i forskningslitteraturen for at vindturbinstøy øker risiko for hjerte-karsykdom. Det må presiseres at det foreligger svært få studier med god kvalitet. Flere store studier med god karakterisering av både støyeksponering og sykdom er derfor nødvendig for å få sikrere kunnskap om vindturbinstøy og sykdomsrisiko.

4.4.6 Vindturbinstøy og søvn

I den systematiske gjennomgangen i regi av WHO konkluderes det med at selv om enkelte studier viser en sammenheng mellom støy fra vindturbiner og søvn, er det fortsatt mangelfull kunnskap (Basner & McGuire, 2018). Studier av både selvrapperte og objektive mål på søvnkvalitet ble vurdert i kunnskapsoppsummeringen. I alt fem studier ble inkludert i en meta-analyse av selvrapperte søvnforstyrrelser. To av disse (Kuwano

m.fl., 2014; Michaud, 2015) benyttet generelle mål på søvnforstyrrelser, mens i de tre resterende studiene (Pedersen m.fl., 2009; Pedersen & Waye, 2004, 2007) ble det spurt spesielt om søvnforstyrrelser på grunn av vindturbinestøy. Samlet resultat viste 60 prosent økt risiko for å rapportere forstyrret søvn per 10 dB økning i vindturbinestøy (Basner & McGuire, 2018). Denne økningen var ikke statistisk signifikant, og usikkerhetsintervallet var stort. Resultatene spriker, og det er forskjell i metodikk mellom de studiene som ble inkludert, både med hensyn til måling av søvnkvalitet og selve støybelastningen.

Den til nå største studien av vindturbinestøy og søvn, ble gjennomført i Canada med i alt 1238 personer innenfor en avstand inntil ca. 10 kilometer fra nærmeste vindturbin (Michaud, 2015; Michaud m.fl., 2016; Michaud, Murray, m.fl., 2016). Beregning av støy fra vindturbiner ble gjort med standardisert beregningsmetode (Keith m.fl., 2016; Michaud, McGuire, m.fl., 2016). Resultatene viste ingen sammenheng mellom støy fra vindturbiner (LAeq,T) og rapportert søvnkvalitet målt med et standard søvnskjema (Pittsburg Sleep Quality Index) (Michaud m.fl., 2016). Denne studien inkluderte også objektive målinger av søvn, hvor i alt 781 av personene gikk med aktigraf i en uke. Det ble ikke funnet noen sammenheng mellom vindturbinestøy og søvnforstyrrelser basert på de objektive målingene (Michaud, Murray, m.fl., 2016). I denne studien var støyeksponering fra vindturbiner opp til 46 dB utendørs (årsmidlet LAeq). Analyser basert på C-veide støynivåer viste heller ingen sammenheng med søvn, trolig på grunn av høy korrelasjon mellom C-veid og A-veid støynivå (Michaud m.fl., 2016). En mindre studie med 23 personer, hvorav ti var eksponert for vindturbinestøy, viste noe dårligere søvn basert på aktigrafmålinger hos de eksponerte sammenlignet med de ikke-eksponerte, men forskjellene var ikke statistisk signifikante (Lane, 2013). Denne studien avdekket heller ingen sammenheng mellom vindturbinestøy og objektive målinger av søvn blant de eksponerte (Lane, 2013). I denne studien ble det kun gjort målinger av støy i soverommet og bidraget fra støy fra vindturbiner er dermed usikkert.

I en nyere studie fra Canada ble det gjort målinger av støy og søvn før og etter oppstart av et vindkraftverk (Jalali m.fl., 2016). Samtlige respondenter (N=37) bodde innen 2 kilometer fra vindkraftverket, og utendørsnivåene var fra 38-42 dB (LA,eq,T). Selvrapportert søvnkvalitet målt med standard spørreskjema avdekket at søvnkvaliteten var dårligere etter at vindturbinene ble satt i drift. Disse endringene var derimot ikke knyttet til avstand til vindkraftanlegget eller til støynivå, men var forbundet med holdninger til vindturbiner og om vindturbinene var synlige fra eiendommen. I den samme studien ble det også gjennomført fysiologiske målinger av søvn med polysomnografi (PSG). Det ble ikke påvist noen forskjeller i søvn (innsøvningstid, antall oppvåkninger, dyp søvn, REM-søvn etc.) mellom før og etter vindkraftanlegget kom i drift (Jalali, Bigelow, m.fl., 2016). Innendørs støymålinger (nattperioden), både A-veid og Z-veid (uten frekvensfilter) viste ingen forskjell i verken gjennomsnittlig eller maksimalt støynivå mellom før og etter vindturbinene ble igangsatt. Støynivåene var lave til moderate med et gjennomsnittlig innendørs støynivå på 31 dB (LA,eq,natt).

Det er enkelte studier som tyder på at støyplage i større grad enn støynivå predikerer selvrapporterte søvnforstyrrelser (Bakker m.fl., 2012; Pedersen & Waye, 2007). Det kan være vanskelig å skille selvrapporterte søvnforstyrrelser fra støyplage i slike studier. Det er flere mulige virkningsmekanismer: (1) støyplage på dagtid kan gi stress og således påvirke søvnkvaliteten, (2) støyen kan ha en direkte virkning på søvn, og (3) innsøvningsproblemer og redusert søvnkvalitet kan gi økt irritabilitet og lavere tålegrense

for støy på dagtid og dermed økt støyplage. Per i dag er det få holdepunkter for at støy fra vindturbiner opptil 40-45 dB (LAeq,T) har en direkte innvirkning på søvn. De tre studiene som har brukt objektive mål på søvn finner ingen sammenheng mellom vindturbinestøy og søvnforstyrrelser (Jalali, Bigelow, m.fl., 2016; Lane, 2013; Michaud Murray, m.fl., 2016). Ut i fra dagens kunnskap er det derfor rimelig å anta at rapporterte søvnproblemer knyttet til vindturbinestøy i stor grad er indirekte og «går via» støyplage.

De fleste studier har benyttet en eller annen form for tidsmidlet A-veid støynivå (LA,eq,T) utenfor bolig, enten basert på beregninger eller en kombinasjon av beregninger og kortidsmålinger. I de mindre studiene hvor søvn er målt fysiologisk, er støyeksponeringen ofte basert kun på målinger av støy i soverom. Målinger av kildestøy innendørs er beheftet med usikkerhet, da det er vanskelig å isolere kildestøyen fra annen støy. Resultater fra slike studier gir derfor begrenset grunnlag for å si noe om virkninger på søvn ved ulike nivåer av beregnet vindturbinestøy utenfor bolig. På den annen side vil årsmidlet støynivå utenfor fasade ikke fange opp variasjoner i støynivå fra vindturbinene som potensielt kan føre til forstyrrelser av søvn. For å få mer kunnskap om virkninger av vindturbinestøy på søvn trengs flere studier med objektive målinger av søvn kombinert med gode metoder for å fastsette eksponering for vindturbinestøy både utenfor og i soverommet.

4.5 NVEs vurdering av støy

Støy fra vindkraftverk har vært et viktig tema i mange konsesjonssaker. I meddelte konsesjoner er det som regel satt vilkår om maksimalt støynivå for bebyggelse med støyfølsom bruk. I Norge er det derfor få naboer til vindkraftverk som eksponeres for et støynivå over den anbefalte grenseverdien på $L_{den} 45$ dBA. NVE har likevel mottatt enkelte klager på støy fra vindkraftverk. Det har vært klaget på både høyt støynivå og irriterende støyvariasjoner. På bakgrunn av klagen har det blitt gjennomført langtidsmålinger ved Lista vindkraftverk, og korttidsmålinger ved Midtfjellet vindkraftverk og Høg-Jæren vindkraftverk. I tillegg til erfaringer fra klagesaker og målinger har NVE gjennomført mange befaringer ved vindkraftverk i drift og innhentet informasjon fra kommuner med vindkraftverk.

Klagesakene viser at støyen kan være et stort irritasjonsmoment for enkelte naboer. Samtidig er det flere vindkraftverk hvor støy ikke blir oppfattet som et vesentlig problem. Variasjonene kan være resultat av både varierende stedsspesifikke forhold og ulik opplevelse av støy. I retningslinjene om støy fra både vindkraft og andre støykilder er det lagt til grunn at en viss andel av befolkningen vil føle seg plaget av støy ved et støynivå tilsvarende grenseverdien. Mange har gitt uttrykk for at støy fra vindkraftverk er mer irriterende enn støy fra for eksempel biltrafikk. Dette er reflektert i grenseverdien for vindkraftverk, som i Norge er strengere enn for andre støykilder.

I konsesjonsbehandlingen skal støy alltid vurderes, og NVE vil normalt sette vilkår om at grenseverdien ikke skal overstiges. I støyvurderingene skal alle bygg med støyfølsom bruk som i støyberegningen er gitt støyverdier opp mot/over grenseverdien vurderes og vektlegges. Erfaringene fra norske vindkraftverk tilsier at støyen kan variere ganske mye, avhengig av blant annet værforhold og topografi. Støyvariasjonen kan være større enn i land med enklere topografi, som Danmark. Dette betyr at det i konsesjonssaker ofte vil være behov for skjønnsmessige vurderinger i tillegg til støyberegningene.

I noen saker kan det aksepteres at enkelte bygg får et støynivå som er over grenseverdien. Til sammenligning var det i 2014 1,9 millioner nordmenn som bodde i bygninger med støynivå over grenseverdien for trafikkstøy (L_{den} 55 dBA). Vi forutsetter at vindkraftverket detaljplanlegges med avbøtende tiltak for bygg med støynivå over grenseverdien (L_{den} 45 dBA). Eksempler på tiltak kan være:

- endringer i lokalisering av enkeltturbiner før etablering
- tiltak på bygninger, som nye vinduer og tak
- kompensierende tiltak, for eksempel etablering av støyskjermede utearealer
- økonomisk kompensasjon for støyulempen i vindkraftverkets driftstid
- installere støyreducerende teknologi på vindturbine, som «øyevipper» på vingene
- driftsregimer som reduserer støy ved støyfølsom bebyggelse

Ofta kan det være vanskelig å finne gode avbøtende tiltak. I tilfeller der det foreligger enighet mellom tiltakshaver og eiere av berørt bebyggelse med støyfølsom bruk, kan dette vektlegges i konsesjonsbehandlingen.

5 Skyggekast

Når sola står lavt på himmelen, kan de roterende bladene skape pulserende skygger som kan oppleves sjenerende ved opphold i vindkraftverkets nærrområde. Når avstanden til en vindturbine er over 1000 meter vil imidlertid skyggekasteffektene være små. Dette skyldes at arealet av bladene som dekker solskiven avtar, og at diffusjonseffekten av lysbrytning og dis tilar. Vindkraftverk bør på bakgrunn av dette planlegges slik at omfanget av skyggekast minimeres for fast bosetting og hyttebebyggelse. De fleste land har fastsatt grenseverdier for hva som er et akseptabelt omfang av skyggekast for berørt bebyggelse.

5.1 NVEs anbefalte grenseverdier og metodikk for beregning

I mangel av norske retningslinjer og grenseverdier for skyggekast, har NVE gitt ut en veileder for beregning av skyggekast og presentasjon av NVEs forvaltningspraksis. Her anbefales det at bygninger med skyggekastfølsom bruk ikke bør utsettes for faktisk skyggekast i mer enn åtte timer per år, eller teoretisk skyggekast i mer enn 30 timer per år eller 30 minutter per dag. Grenseverdiene kan fravikes i noen tilfeller, for eksempel dersom skyggekast stort sett inntreffer på vinteren ved en sommerhytte.

Bebyggelse med skyggekastfølsom bruk defineres i NVEs veileder for skyggekast (NVE veileder nr. 2/2014). Videre angis metodikk for beregning av skyggekast, inkludert krav til dokumentasjon.



Figur 7. NVEs veileder om skyggekast

5.2 Praksis i andre land

NVEs forvaltningspraksis er i tråd med retningslinjer for skyggekast i andre land. Mange land har vurdert skyggekast i retningslinjer, noen få har det som en del av lovverket, og noen har utformet dette som en del av nasjonal/delstatlig praksis. Det varierer noe hvordan skyggekast beregnes og hvilke bygg/deler av bygg som regnes som skyggekastfølsomme, men de fleste land som har retningslinjer for skyggekast, baserer disse på de tyske retningslinjene. De angir samme verdier for maksimal og faktisk skyggekast som det som ligger til grunn for NVEs praksis. Det gjelder også for de svenske retningslinjene, mens Danmark har grenseverdi på ti timer faktisk skyggekast pr år, og ikke grenseverdier for maksimal belastning.

5.3 Helsevirkninger av skyggekast ²

Skyggekast er ikke nevnt spesifikt i WHO-oppsummeringene av helsevirkninger, jf. kapittel 3.4. Folkehelseinstituttet har derfor gjort litteratursøk uten tidsavgrensning for å identifisere studier av skyggekast og virkninger på helse og trivsel. Skyggekast kan inngå under sekkebetegnelsen «visuelle virkninger» som er inkludert i studier av plagereaksjoner, men det er funnet svært få vitenskapelige studier av sammenheng mellom skyggekast spesielt og helsevirkninger.

En bekymring har vært om skyggekast og lysblink kan utløse anfall hos personer med fotosensitiv (lysfølsom) epilepsi. En oversiktsartikkel fra 2014 (Knopper m.fl., 2014) konkluderer med at skyggekast fra moderne vindturbiner ikke utgjør noen risiko for å utløse anfall, fordi omdreiningshastigheten er langt lavere enn det som er vist å kunne gi risiko. I tillegg er risikoen vist å være svært marginal selv ved langt høyere omdreiningshastigheter.

Virkningene man har funnet av skyggekast er på samme måte som for støy i første rekke plagereaksjoner. En relativt fersk studie fra Canada fant en eksponerings – responsammenheng mellom beregnede nivåer av skyggekast og andel svært plaget av skyggekast (Michaud m.fl., 2016). På samme måte som for støyplage, var graden av skyggekastplage også influert av andre eksponeringsfaktorer, så vel som støysensitivitet hos mottakeren. Funnene viser hvordan støyen og visuelle aspekter ved vindturbinene både kan betraktes som separate eksponeringer, med hver sine eksponerings – responsammenhenger, men som samtidig spiller sammen og bidrar til å forsterke hverandre. Denne mekanismen er også illustrert i en svensk studie (ikke av vindturbiner), som fant at plagen ved lave til moderate eksponeringsnivåer økte med antallet miljømessige stressorer man var plaget av, og ved stimulering av flere sanser (Pedersen, 2015).

5.4 NVEs vurdering av skyggekast

Skyggekast kan ved enkelte vindkraftverk være et viktig tema for de nærmeste naboene. Skyggekasteffektene vil være viktigst å vektlegge når avstanden fra en bolig til en vindturbin er på godt under 1000 meter. Med en slik avstand vil ofte støy være viktigere enn skyggekast, men skyggekast kan i enkelte tilfeller være en vesentlig tilleggsvirkning, særlig hvis skyggekastomfanget er større enn det som anbefales i NVEs veileder.

² Skrevet av Folkehelseinstituttet

Det finnes i dag gode løsninger for å minimere de faktiske virkningene av skyggekast. Nedstengning av vindturbiner kan gjøres relativt raskt, og automatiserte lyssensorer kan redusere produksjonstap ved at nedstengning av turbiner begrenses til perioder med klarvær. Dette gjør at de største skyggekasteffektene kan unngås uten at det har store økonomiske konsekvenser for vindkraftutbyggerne. Det er samtidig verdt å påpeke at de beregnede virkningene kan overvurderes når avstanden er relativt stor. I en skyggekastberegning kan det for eksempel fastslås at skyggekastomfanget er x timer, uten at det tas hensyn til at selve effekten er liten på grunn av at bladene ikke dekker hele solskiven.

I tillegg til beregninger og avstand er det også andre faktorer som bør vurderes i konsesjonssaker. Dette inkluderer blant annet type bebyggelse og hvilke årstider og tider på døgnet det kan forventes skyggekast. Som et eksempel er det antakelig ikke hensiktsmessig med avbøtende tiltak mot skyggekast på vinteren for en fritidsbolig som bare brukes på sommeren.

Som et enkeltstående vurderingstema er skyggekast mest aktuelt med tanke på detaljplanlegging av vindkraftverk. Skyggekast er et begrenset problem som oppstår nær vindturbiner, og som i de aller fleste tilfeller relativt enkelt kan reduseres uten at det medfører vesentlige kostnader. Sammen med andre virkninger for naboer kan imidlertid skyggekasteffekter være med på å bidra til at det kan være aktuelt å sette avstandskriterier. Dette gjelder særlig hvis det er mange boliger som blir påvirket av skyggekast.

6 Visuelle virkninger

Dette kapitlet er basert på en rapport fra Norconsult (Berg, 2017), som på oppdrag fra NVE har gjennomgått eksisterende kunnskap om visuelle virkninger for naboer til vindkraftverk. Visuelle virkninger forstås her som virkninger som følger av synlighet fra bebyggelse (fast bosetting og hyttebebyggelse) og oppholdsområder nær et vindkraftverk. Dette er virkninger som påvirkes av topografi og landskapstyper. Påvirkning på landskapsverdi er imidlertid ikke omfattet i denne rapporten, men behandles i en egen temarapport om landskap, utarbeidet av Miljødirektoratet. De visuelle virkningene omfatter eksponering og opplevelse av vindturbinene, i tillegg til lysmerking av turbiner og refleksjon av sollys fra turbinvingene. Skyggekast er vurdert i kapittel 5.

6.1 Faktorer som påvirker eksponering og opplevelse

Vindkraftverk består av store installasjoner som er synlige over lange avstander. Roterende turbinvinger gir en vedvarende, rytmisk bevegelse som kan oppleves visuelt forstyrrende og bidra til å forsterke det visuelle inntrykket av vindturbinene. Avstand til vindkraftverket, antall turbiner, topografi og værforhold er faktorer som påvirker omfanget av de visuelle virkningene.



Figur 8. Nabobebyggelse ved Utsira vindkraftverk. Foto: Einar Berg/Norconsult

Avstand

I klarvær kan vindturbiner være synlige over avstander på 40-50 kilometer. Ifølge Berg kan vindkraftverk gi vesentlig visuell påvirkning på avstander opp til 15-20 kilometer (Berg, 2017). Det er imidlertid stor variasjon i sikt lengden i Norge, både geografisk og med hensyn til årstid og værforhold. Begrepene «totaldominans» og «ytre visuell dominanssone» gir en indikasjon på hvor dominerende et objekt fremstår for en betrakter, ut fra objektets størrelse og avstand mellom objektet og betrakteren (Bergsjö m.fl. i Berg, 2017). Objektet gir en visuell totaldominans når avstanden er så liten at betrakteren ikke kan observere hele objektet, men må bevege blikket for å kunne se alle delene. Dette vurderes normalt til å være tre ganger objektets høyde. Eksempelvis vil en turbin med tårnhøyde på 80 meter og rotordiameter på 90 meter være visuelt dominerende innenfor en avstand på snaut 400 meter. Den ytre visuelle dominanssone er definert som området hvor turbinen ikke lenger er alene om å dominere det visuelle inntrykket, men hvor de øvrige omgivelsene også spiller inn. Sone er vurdert å gjelde ut til 8-10 ganger høyden på objektet, noe som tilsier en ytre visuell dominanssone på 1,2 - 1,3 kilometer for en vindturbin med dimensjonene nevnt over. Dette er imidlertid en teoretisk vurdering som ikke fanger opp topografisk skjerming. En dominanssone på en drøy kilometer med utgangspunkt i eksempelet over forutsetter et flatt og åpent landskap uten synshindre. I Norge vil dette sjeldent være tilfelle. I mange typer landskap vil dominanssone i praksis være under én kilometer, og vil ofte variere mellom ulike innsynsretninger.

Antall vindturbiner

Avstandsberging for visuell dominans er basert på objektenes størrelse, og fanger ikke opp betydningen av antall synlige vindturbiner. Ifølge rapporten fra Norconsult er antallet synlige turbiner av større betydning for det visuelle inntrykket enn størrelsen på den

enkelte turbin. På lang avstand er det vanskelig å skjelne mellom store og små objekter, med mindre det finnes referanseelementer i omgivelsene. Effekten av å se mange turbiner på samme tid kan videre forsterkes av vingenes roterende bevegelser fordi det perifere synsfeltet lett oppfatter bevegelse. Store turbiner med sakte rotasjon oppleves normalt som roligere enn mindre vindturbiner med rask rotasjon.

Landskapstyper og topografi

Norge har stor variasjon av landskapstyper. Ved etablering av vindkraftverk, vil topografien i området være av stor betydning for både synlighet og naboenes opplevelse av de turbinene som er synlige. Kupert landformer kan bidra til å redusere synlighet av store vindkraftverk.

Noen få områder i Norge kan karakteriseres som *flate landskap*, der det er utsyn uten skjerming fra terreng og vegetasjon over store avstander. I slike landskap kan de visuelle virkningene fra et stort antall turbiner bli store. I *småkuperte skjærgårdslandskap*, for eksempel langs vestkysten av Norge, kan det være større fjellrelieffer som kan begrense turbinenes synlighet nær et vindkraftverk. Samtidig kan platåer på slike fjellrelieffer være velegnet for plassering av turbiner. Det småkuperte landskapet kan bidra til større visuell dominans av enkeltturbiner, samtidig som det kan gi noe skjerming og begrense antall synlige turbiner i vindkraftverkets nærområder. I *kuperte landskap* kan topografien bidra til stor grad av innsynsskjerming, slik at vindturbinene knapt er synlige i vindkraftverkets nærområder og de visuelle virkningene for naboer blir beskjedne. I *skoglandskap* kan trærne gi god lokal skjermingseffekt. På lengre avstand kan imidlertid de visuelle virkningene bli store for de som ser vindturbinene røge over skogen. Vindkraftverk i skog bygges ofte med høyere tårn og lengre turbinvinger enn det som er vanlig i andre typer landskap.

Videre er betrakterens relative plassering i forhold til turbinene av stor betydning for det visuelle inntrykket. En turbin som står på et platå rett overfor eller omtrent på samme høyde som betrakteren kan bli oppfattet som mer visuelt dominerende enn en turbin som står på et lavere terrengnivå enn der turbinen betraktes fra.

Andre forhold

Andre forhold som har innvirkning på omfanget av de visuelle virkningene er plassering av vindturbiner i forhold til naturlig utsynsretning, eventuell bakgrunnsdekning, nærhet til andre inngrep (sumvirkninger), lys- og værforhold og farge på turbinene.

Turbiner i hvit/lys grå farge gir minst kontrast mot en himmelbakgrunn. Andre farger kan oppfattes som mer visuelt forstyrrende. Fargelegging av den nederste delen av tårnene kan i noen tilfeller bidra til å dempe kontrasten mot terrengbakgrunnen.

Det er for øvrig få muligheter for gjennomføring av tiltak som kan bidra til en nevneverdig reduksjon av synlighet og dominans. Derfor vil det sjelden være relevant å stille krav om avbøtende tiltak i denne sammenheng.

6.2 Lysmerking for luftfart

Vindturbiner defineres som luftfartshindre og utløser krav til lysmerking. Sterke og blinkende lys kan fremstå som forstyrrende elementer i landskap som ellers er lite preget

av lyssetting. Lysene kan også bidra til at vindkraftverket blir visuelt dominerende over langt større avstander enn det som er tilfelle i dagslys.

Det har blitt utført få studier av hvordan lyssetting påvirker naboer. Ifølge en undersøkelse om lysmerking utført i Danmark, opplevde de fleste at lysene var mest plagsomme under fritidsaktiviteter som gåturer og stjerneblikking (Rudolph m.fl., 2017). Faktorer som værforhold og lokalgeografi påvirker eksponering av lysmerkingen. Graden av plage vil videre være påvirket av faktorer som vindkraftverkets plassering i forhold til utsynsretning, soverommenes plassering, vegetasjon rundt huset og eventuell refleksjon fra vann. I Norge vil lyseksponeringen være utbredt om vinteren, og i økende grad jo lenger nord en kommer. Samtidig vil problemet være betydelig mindre om sommeren. Lysmerking i områder som ellers er preget av mørke kan redusere opplevelser av for eksempel nordlys slik at nordlysturisme kan bli mindre attraktivt i områder der det etableres vindkraftverk.

Regelverk og teknologiske løsninger

Lysmerking av luftfartshinder er regulert av Luftfartstilsynets forskrift BSL E 2-1. Luftfartshinder med høyde inntil 100 meter skal merkes med lavintensitets hinderlys type B. Vindturbiner med totalhøyde inntil 150 meter skal merkes med mellomintensitets hinderlys type B eller C (2000 candela, rødt fast eller blinkende hinderlys). Vindturbiner med høyde på 150 meter eller høyere, skal merkes med høyintensitets hinderlys type B (100 000 candela hvitt blinkende lys i dagslys, 2000 candela hvitt eller rødt blinkende lys i mørket). Hver merkepliktig turbin skal ha to hinderlys plassert på nacellen. Luftfartstilsynet kan godkjenne at kun vindturbiner som utgjør vindkraftverkets ytterpunkter merkes.

Virksomheter av lysmerking kan reduseres ved bruk av radarstyrte hinderlys. Med et slikt system brukes radarsignaler til å identifisere luftfartøy og slå på lys når luftfartøyet har en gitt avstand til vindkraftverket. En annen teknologi er registrering av luftfartøy via transpondere. Systemer med denne teknologien er imidlertid ikke godkjent av Luftfartstilsynet, siden det ikke er krav om aktivt transpondersystem i alle luftfartøy.

For å installere systemer for å begrense lysmerkingen kreves det en godkjenning fra Luftfartstilsynet. En eventuell godkjenning gis etter at merkingen er utført, og det er dokumentert at merkingen oppfyller kravene i jf. BSL E 2-1, § 7 *Merkeplikt*. Den vanlige prosedyren for godkjenning av systemer er slik:

1. Dialog mellom hindereier og Luftfartstilsynet før/under anleggsperioden
2. Kontrollflyging (hindereiers ansvar) for å sjekke at systemet fungerer
3. Rapport fra hindereier til Luftfartstilsynet med nødvendig dokumentasjon om systemet og rutiner
4. Godkjenning av system gjennom et enkeltvedtak fra Luftfartstilsynet

NVE mener at begrensning av lysmerking kan være et fornuftig avbøtende tiltak i enkelte tilfeller. Foreløpig er imidlertid radarsystemer så dyre at dette bare bør vurderes på steder der svært mange naboer vil kunne se lysene. Per i dag er det bare ett radarsystem som har fått godkjenning i Norge, og dette systemet er koblet til én turbinleverandør. Da det ikke er mulig med forhåndsgodkjenning, kan vindkraftutbyggere være skeptiske til å installere andre systemer. Dette betyr at eventuelle krav om installering av slike systemer kan virke

konkurranssevridende. Det er sannsynlig at flere systemer kan bli godkjent, noe som kan gi økt konkurranse og vesentlig lavere kostnad. Det kan da bli mer aktuelt å sette konsesjonsvilkår om bruk av radarsystemer.

6.3 Refleksblink

Refleksjonen av sollys fra de roterende turbinvingenes blanke overflate kan gi gjentakende lysblink for omgivelsene. Refleksblink vil være avhengig av værforhold, tid på døgnet og turbinvingens posisjon. For å redusere refleksjon anbefales bruk av matte turbinvinger. Ved bruk av blanke vinger, vil disse uansett mattes etter kort tid. Erfaringer fra norske vindkraftverk viser at refleksblink ikke er et vesentlig problem.

6.4 NVEs vurdering av visuelle virkninger for naboer

Det er få muligheter for avbøtende tiltak som reduserer vindturbinenes synlighet. Visuell eksponering for naboer vil være en nødvendig følge dersom det skal bygges vindkraft i Norge. NVEs erfaring fra konsesjonssaker er at naboer ofte er opptatt av visuelle virkninger av vindkraftverk, og at dette kan være blant de viktigste årsakene til lokal motstand mot enkeltprosjekter. Vurdering av visuelle virkninger for naboer er derfor viktig ved behandling av enkeltsaker. Følgende faktorer bidrar til å påvirke omfanget av de visuelle virkningene og bør vurderes i konsesjonsbehandlingen:

- Vindkraftverkets størrelse/antall synlige vindturbiner
- Avstand
- Landskapstype, topografi og vegetasjon (eventuelle skjermingseffekter)
- Vindkraftverkets plassering i forhold til naturlig utsynsretning
- Omfang av helårs- og fritidsboliger med nærhet og utsikt til vindkraftverket
- Sammenligning med 0-alternativet (andre inngrep, grad av eksisterende lysforurensning osv.)

En samlet vurdering av punktene over vil gi et bilde av hvor dominerende vindkraftverket vil kunne oppleves fra omkringliggende bebyggelse. I saksbehandlingen av enkeltprosjekter legger NVE mest vekt på visuelle virkninger for den nære bebyggelsen, det vil si bebyggelse som ligger innenfor den ytre visuelle dominanssonen (ca. 1-1,5 kilometer jf. kap. 6.1). Et vindkraftverk bestående av mange turbiner plassert i et flatt og vegetasjonsfattig terreng, med et stort antall boliger/hytter innenfor radius på én kilometer, vil sannsynligvis gi en betydelig visuell dominans for naboene. Dette gjelder særlig dersom turbinene står i bebyggelsens naturlige utsynsretning (for eksempel i retning havet) og/eller området for øvrig fremstår som urørt, og med liten grad av lyseksponering. I et slikt tilfelle bør visuelle virkninger vektlegges tyngre i konsesjonsbehandlingen enn i tilfeller der det for eksempel er stor grad av skjerming fra topografi og trær, der vindkraftverket er mindre og plassert i bebyggelsens baklandskap, der det er lang avstand til bebyggelse eller der området allerede er preget av inngrep. I enkelte tilfeller kan NVE også legge vekt på visuelle virkninger for bebyggelse som ligger utenfor den ytre visuelle dominanssonen, for eksempel hvis et større hytte- eller boligfelt har utsikt mot et stort vindkraftverk.



Figur 9. Visualisering av Kvitvola vindkraftverk fra et nærliggende hyttefelt. Foto: Austri Kvitvola

Synlighetskart og visualiseringer kan være nyttige verktøy for å vise hvor mange turbiner som kan sees fra forskjellige steder. Dette er vanlige verktøy ved utredning av visuelle virkninger. Norconsult foreslår i tillegg å benytte en digital analyse som graderer visuelle virkninger for naboer basert på antall synlige turbiner, avstand og fra hvilken vinkel de ses (Berg, 2017). Den foreslåtte metoden vil være en videreutvikling av «Visual Impact Level» utviklet ved Universitet i Aachen (Sunak og Madlener, 2016). Metoden gir et mål på de visuelle virkningene for berørt bebyggelse innenfor en skal fra 1 til 6. Dette kan være et aktuelt verktøy i fremtidige konsekvensutredninger.

Visuelle virkninger kan sammen med andre virkninger for naboer, som støy og skyggekast, bidra til at det kan være aktuelt å sette kriterier om avstand fra bebyggelse ved etablering av vindkraftverk. Dette vil bli drøftet i kapittel 9, der alle virkninger for naboer er oppsummert.

7 Eiendomspriser

Vindkraftverk kan gi innvirkning på eiendomspriser ved salg av boliger og hytter som er eksponert for støy, skyggekast og visuelle virkninger. Bekymring for reduksjon av eiendomsverdi i markedet er ofte spilt inn i forbindelse med høring av vindkraftsaker.

Det foreligger flere studier fra utlandet om virkninger på eiendomspriser i områder som ligger nær et vindkraftverk. NVE har engasjert Norconsult (Førde og Holmelin, 2017) til å gå gjennom et utvalg internasjonale studier, og å vurdere overførbarhet til norske forhold. I Norge er det ikke utført noen studier om eiendomspriser, men Statistisk sentralbyrå ser for tiden på dette som en del av prosjektet WINDLAND. Når prosjektet er ferdigstilt, kan det sammen med funn i rapporten utarbeidet av Norconsult være et bidrag som underlag for konsesjonsbehandling.

Norconsult har i samarbeid med Agenda Kaupang gått gjennom fem ulike studier som er utarbeidet i perioden 2010-2016 av forskningsmiljøer i Tyskland, Nederland, Danmark, USA og Storbritannia (Førde og Holmelin, 2017). De mener at utvalget av studier gir et godt bilde av nyere forskning på området, og viser til at metodene for å studere forholdet

mellom vindkraftverk og eiendomspriser har utviklet seg mye de seneste årene. Samtidig har studiene blitt mer omfattende med hensyn til datamateriale.

Metodene som er brukt for å kvantifisere vindturbinens innvirkning på verdien av nærliggende boliger, er tilnærmet like i alle de fem studiene, men hovedfokus og dataomfang varierer. I studien fra Danmark er virkningene av støy og visuell eksponering forsøkt separert. Noen studier fokuserer bare på visuell eksponering, mens andre baserer vurderingene på avstand i luftlinje mellom bolig og nærmeste vindturbin.

Fire av de fem studiene viser en statistisk signifikant negativ effekt på boligpriser tett opp mot vindturbiner, og at den negative effekten avtar med økende avstand til turbinen (Jensen m.fl., 2013) (Gibbons, 2015) (Sunak m.fl., 2016) (Droes m.fl., 2016). Den femte studien, Hoen m.fl. (2013) fra USA, fant ingen statistisk signifikant sammenheng mellom vindkraftverk og boligpriser. I tabell 1 presenteres resultatene fra studiene der det ble påvist sammenhenger.

Tabell 1. Resultater fra studier om eiendomspriser

Studie	Resultat
<i>Jensen m.fl., 2013 (Danmark)</i>	3,15 % redusert salgspris for boliger med utsikt til en vindturbin innenfor en avstand på 2,5 kilometer.
<i>Gibbons, 2015 (Storbritannia)</i>	6,5 % prisreduksjon for boliger med utsikt til en vindturbin innenfor en avstand på 1 kilometer, 2,5-3 % prisreduksjon innenfor en avstand på 4 kilometer.
<i>Sunak m.fl., 2016 (Tyskland)</i>	Prisreduksjon på opp mot 14,4 % ved «ekstrem visuell belastning»
<i>Droes og Koster, 2016 (Nederland)</i>	1,4 % prisreduksjon for boliger innenfor en avstand på 2 kilometer fra en vindturbin.

Den danske studien viser at støy kan være en viktig faktor for redusert eiendomspris for de aller nærmeste boligene, men at synligheten er viktigst når avstanden blir større. Studien fra Storbritannia viser at vindkraftverk med mer enn 20 vindturbiner kan gi signifikante virkninger også på avstander over fire kilometer, og studien fra Nederland viser at de negative effektene kan være størst i tettbygde strøk.

Norconsult og Agenda Kaupang peker på at en lignende studie i Norge vil være vanskelig å gjennomføre fordi studier som kan ventes å gi signifikante resultater krever et stort antall boligtransaksjoner i datamaterialet. Fordi vindkraftverk i Norge i hovedsak er plassert i grøntbelte strøk, vil det bare være tilgang til et fåtall transaksjoner i relevante områder. Det er dermed ikke tilgang til et tilstrekkelig datamateriale til å gjennomføre en liknende studie som de som er referert her.

Norconsult og Agenda Kaupang diskuterer studienes overføringsverdi til norske forhold, og skriver at studiene har påvist en negativ sammenheng mellom synlige vindturbiner og salgspris på nærliggende boliger. De mener at dette sannsynligvis også gjelder i Norge. Undersøkelsene har videre påvist at negativ effekt på boligpriser avtar med økende

avstand til synlige vindturbiner, og at effekten er klart størst innenfor en avstand på to kilometer.

Det finnes ingen studier som ser på hvordan hyttepriser påvirkes av nærliggende vindkraftverk. I konsesjonssaken om Kvitvola/Gråhøgda vindkraftverk i Engerdal kommune, ble det lagt frem tall fra hytteutbyggere for å dokumentere at prisene gikk ned de årene konsesjonsbehandlingen foregikk. Enkeltobservasjonene tilsier at hytteprisene ved det planlagte vindkraftverket kan ha blitt påvirket, men det er ikke grunnlag for å påvise en statistisk sammenheng ut fra dette materialet. Erfaringer fra konsesjonsbehandlingen gjennom årene har vist at hytteeiere har sett vindkraftutbygging som negativt, og at de er bekymret for at det vil gi en negativ virkning på hytteprisene. Etter NVEs vurdering kan hyttepriser, på samme måte som boligpriser, bli påvirket av synlighet og støy fra vindkraftverk.

Det er grunn til å forvente forskjeller i vindkraftverks påvirkning på eiendomspriser. Effekten vil henge sammen med eksponeringsfaktorer som er diskutert under delkapitlene om støy, skyggekast og visuelle virkninger. Effekten vil også være påvirket av i hvor stor grad de konkrete verdiene som forringes i det aktuelle området er av betydning for eiendommenes markedsverdi. For eksempel kan man tenke seg et hyttefelt hvor en viktig faktor for markedsverdien er lett tilgjengelige turområder. Dersom det bygges et vindkraftverk som berører store deler av disse områdene, kan man tenke seg en negativ effekt på eiendomsprisene selv om vindkraftverket ikke er synlig eller visuelt dominerende fra hyttene. Dersom utsikt er en avgjørende faktor for hyttefeltets eiendomsverdi, kan plassering av et vindkraftverk i utsynsretningen være tilsvarende avgjørende for effekten på eiendomsprisene.

8 Positive virkninger

I dette notatet har vi fokusert på negative nabovirkninger som følge av vindkraftutbygging, men vindkraft kan også gi positive nabovirkninger. Vindkraftverk i Norge ligger ofte i områder med urørt preg. Noen vurderer vindkraft i slike områder som naturødeleggelse, mens andre i større grad ser det som et nødvendig tiltak mot klimaendringer. Naboer kan da oppfatte vindkraftverket som et symbol på tilpasning til det grønne skiftet. Flere vindkraftkommuner har rapportert at vindkraftverk har blitt severdigheter, og at veiene i området gir god tilrettelegging for turaktivitet i naturområder for nye brukergrupper. I noen vindkraftverk er det anlagt naturstier som brukes til trim og naturopplevelser. Ifølge vertskommunene blir mange vindkraftområder vesentlig mer besøkt enn før utbygging, og det er rapportert at flere vindkraftverk brukes i pedagogisk sammenheng med besøk av for eksempel barnehager og skoler. Det er også eksempler på at vindkraftverk skaper ny aktivitet, som etablering av serveringssted på Havøygavlen, Norges nordligste vindkraftverk. Ved Midtfjellet vindkraftverk gjennomføres arrangementer som Midtfjellet-dagen og Møllesprinten.

Vindkraftverk skaper også nye arbeidsplasser. For lokalsamfunnene er dette i hovedsak knyttet til aktivitet i utbyggingsfasen, men omfanget kan i denne perioden være vesentlig. Videre kan tiltakene gi økonomiske inntekter til grunneiere og eiendomsskatt til kommunene.

Vindkraftverk kan bidra til å åpne skog- og fjellområder for ny aktivitet. Nye veier gir enklere tilgang til skog og andre naturressurser, som kanskje ellers ikke ville vært drivverdige. Dette kan skape økt økonomisk aktivitet.

Vi viser for øvrig til temarapporten om næringsutvikling, der vi gjør grundigere vurderinger av lokal og regional verdiskaping.

9 Nabovirkninger i konsesjonsbehandling og nasjonal ramme

Denne rapporten gir en gjennomgang av hvordan vindkraftverk kan eksponere naboer for støy, visuell forstyrrelse, skyggekast og belysning. Dette er faktorer som igjen kan ha innvirkning på eksempelvis friluftslivsmuligheter, folkehelse og eiendomspriser. Nabovirkningene vil påvirkes av subjektive forhold, der blant annet det generelle synet på vindkraft hos den enkelte spiller inn. I dette kapitlet diskuterer vi hvordan virkninger for naboer bør vektlegges i fremtidig konsesjonsbehandling, og vurdere om det er grunnlag for å anbefale en minimumsavstand til bebyggelse.

Fra et nabovirkningsperspektiv kan det argumenteres for at vindkraftverk bør lokaliseres langt fra bebygde strøk. Av hensyn til andre tema, som for eksempel landskap, store sammenhengende naturområder, fugl og annet dyreliv, kan det imidlertid være gode argumenter for å plassere vindkraftverk nær områder som allerede er berørt av inngrep. Det er mange samfunnsnyttige tiltak som gir ulemper for naboer. Gitt at det er ønsket med vindkraftutbygging i Norge, kan det være nødvendig å tillate denne type ulemper på samme måte som ved andre samfunnsnyttige tiltak. Grenseverdier og minsteavstander kan indikere hvilket nivå av eksponering som ansvarlige myndigheter mener bør kunne tillates ved bygging av viktig industri/infrastruktur, herunder vindkraftverk, veier og flyplasser.

9.1 Minsteavstand i konsesjonsbehandlingen

Fordi nabovirkninger avtar med økende avstand, mener NVE at det kan være hensiktsmessig å anbefale en minsteavstand mellom vindkraftverk og bebyggelse. En minsteavstand kan gi forutsigbare rammer for myndigheter, naboer og utbyggere, og er innført i flere land. NVE er kjent med fastsatte minsteavstander på mellom 500 meter (Irland) og ti ganger vindturbinens totalhøyde (Polen og Bayern i Tyskland). I Danmark er det fastsatt en minsteavstand fra nærmeste vindturbin på fire ganger totalhøyden.

Det er stor variasjon i nabovirkningenes rekkevidde, avhengig av blant annet antall turbiner og turbinenes høyde. På bakgrunn av dette vil NVE ikke anbefale en fast avstandsgrense, slik det blant annet er foreslått i TØIs rapport om støy fra Lista vindkraftverk. NVE mener at avstandskravet ikke bør være det samme for alle vindkraftverk, men at avstandskriteriet bør fastsettes med utgangspunkt i turbinenes høyde. Dette sikrer blant annet at minsteavstanden ikke blir urimelig stor for vindkraftverk med små, støysvake vindturbiner. Tilnærmingen tar også høyde for at vindturbiner kan bli større de neste årene.

9.1.1 Fastsetting av minsteavstand

NVE mener at vindturbiner bør planlegges plassert slik at støynivået ved bebyggelsen ikke overstiger den anbefalte grenseverdien på L_{den} 45 dBA. Erfaringsmessig vil dette gi en avstand på 600-800 meter, som i mange tilfeller vil tilsvare den danske minsteavstanden på fire ganger totalhøyde. En slik avstand vil samtidig sørge for at naboer ikke opplever visuell totaldominans (tre ganger totalhøyde, jf. kapittel 6) fra vindkraftverket. Skyggekastvirkinger er i hovedsak begrenset til områder helt nær turbinene, og vil også forhindres ved denne minsteavstanden.

Med den danske minsteavstanden vil vindturbiner med totalhøyde på 200 meter innebære en anbefalt minsteavstand til berørt bebyggelse på 800 meter. Selv om minsteavstanden ligger innenfor en teoretisk ytre visuell dominanssone (8-10 ganger turbinhøyde), vil mange av landskapsformene i Norge bidra til at den visuelle dominansen i praksis er mindre enn 8-10 ganger høyden på turbinene. Stedsspesifikke variasjoner tilsier derfor at den generelle minsteavstanden ikke bør være for streng.

NVE mener på bakgrunn av dette at konsesjonsbehandlingen bør ta utgangspunkt i en anbefalt minsteavstand på fire ganger vindturbinens totalhøyde. Utenfor den anbefalte minsteavstanden må det gjøres konkrete vurderinger av virkninger for naboer.

9.2 Konkrete vurderinger i konsesjonsbehandlingen

Vindkraftverk kan gi virkninger for naboer selv om avstanden til bebyggelse er større enn fire ganger vindturbinens totalhøyde. Nabovirkninger må derfor vurderes konkret i hver enkelt sak. I konsesjonsbehandlingen mener vi at det bør legges særlig vekt på nabovirkninger når boliger/hytter påvirkes av både støy, skyggekast og visuelle virkninger. Samtidig eksponering for støy og visuell forstyrrelse kan forsterke graden av plage. Turbinenes synlighet kan bidra til økt irritasjon over lyden fra dem, og omvendt. Det bør også legges vekt på hvor stort omfang av bebyggelse som blir berørt. Topografi og vegetasjon kan være viktige elementer i de konkrete vurderingene av nabovirkninger, blant annet jf. NVEs rapport om støyvirkninger i typisk norsk terreng (NVE, 2017) og gjennomgang av visuelle virkninger i kapittel 6 over.

Store deler av landet er preget av et spredt bosetningsmønster, med bebyggelse og enkelthus spredt over store arealer. Selv om vi mener det er hensiktsmessig med en generell minsteavstand, kan det i enkelte tilfeller være rasjonelt å tillate vindkraftverk der det ligger boliger/hytter innenfor den anbefalte avstanden. Dette kan for eksempel være tilfeller der boligen er skjermet fra vindkraftverket eller der det kan gjennomføres gode avbøtende tiltak.

NVE mener i utgangspunktet at det ikke bør skilles mellom virkninger for helårs- og fritidsboliger. Fastboende naboer vil ofte bli påvirket større deler av året, men bruksverdien til fritidsboliger kan på den annen side i større grad enn helårsboliger være basert på ro og urørt natur.

9.3 Identifisering av de mest egnede områdene for vindkraft

Vurderingene i denne rapporten skal sammen med vurderinger i andre temarapporter brukes til å identifisere de områdene i Norge som er mest egnet for vindkraftutbygging. Eksklusjon av uegnede/mindre egnede arealer er en viktig del av metoden for å finne frem til områdene, og vi har med utgangspunkt i nabovirkninger valgt å ekskludere både tettsteder (med buffersone) og områder med spredt bebyggelse. Metoden med eksklusjoner er beskrevet på NVEs nettsider.

På grunn av blant annet støy og byggerestriksjoner, er det ikke aktuelt å bygge vindkraftverk i tettsteder/byer. Områder som kommer inn under SSBs tettstedsdefinisjon blir dermed ekskludert fra videre analyse. Vi har også ekskludert en buffersone på én kilometer rundt tettsteder. Dette er basert på den foreslåtte avstandsgrensen i konsesjonsbehandlingen (fire ganger totalhøyde) og vår vurdering i kapitlet over om at omfang av bebyggelse bør vektlegges.

Spredt bebyggelse vil ikke kunne hensyntas fullt ut i nasjonal ramme for vindkraft ved hjelp av eksklusjon. Som det fremgår av vurderingen over, mener vi også at det i enkelte tilfeller kan være rasjonelt å tillate vindturbiner også der avstanden til bebyggelse er mindre enn den anbefalte minsteavstanden. Samtidig bør ikke dette gjelde for mange bygninger.

For å unngå at områder med relativt høy tetthet av bebyggelse videreføres i analyseområdene, har vi ekskludert arealer hvor det finnes tre eller flere bygninger med støyfølsom bruk per kvadratkilometer. Dette har vi gjort ved å dele opp Norgeskartet i ruter med størrelse på én kvadratkilometer, og ekskludert de rutene hvor bygningstettheten er tre eller mer. Vi mener at dette er et balansert nivå med tanke på hensynet til omfang av berørt bebyggelse og behovet for egnede analysearealer. Ved å ekskludere arealer med lavere tetthet enn tre bygninger per kvadratkilometer, mener vi at hensynet til naboer vil vektes urimelig tungt sammenliknet med andre viktige interesser. Ved lavere bygningstetthet er det også mulig å unngå store nabovirkninger ved detaljprosjektering av et vindkraftverk. For spredt bebyggelse er det ikke lagt inn buffersone som eksklusjonskriterium fordi vi mener at dette også vil fjerne urimelig mye areal fra videre analyse. Anbefalt minsteavstand og konkrete vurderinger i konsesjonsbehandlingen skal bidra til at all nabobebyggelse blir hensyntatt ved konkrete vindkraftutbygginger.

Etter eksklusjon av arealer vil sammenhengende områder med resterende arealer bli analysert for å finne frem til de områdene i Norge som er best egnet for vindkraft. Selv om det allerede er tatt høyde for nabovirkninger gjennom eksklusjoner, kan slike virkninger være relevante også i analysene av de resterende områdene blant annet på grunn av tilnærmingen til eksklusjon av spredt bebyggelse. Dette kan for eksempel gjelde km²-ruter med én eller to støyfølsomme bygninger, eller områder som grenser til store hyttefelt.

9.4 Kunnskapsbehov

Vurderinger av behovet for ny kunnskap er en viktig del av kunnskapsgrunnlaget som skal leveres som en del av den nasjonale rammen for vindkraft. Vi har vurdert behovet for ny kunnskap knyttet til de ulike nabovirkningstemaene.

Ifølge Folkehelseinstituttet er det gjort få studier av tilstrekkelig kvalitet om støy og helse. Dette skyldes hovedsakelig et lite antall respondenter i mange av studiene. Det kan derfor være grunn til å forske mer på dette, og NVE er kjent med at det for tiden gjøres et omfattende arbeid i regi av Kræftens Bekæmpelse i Danmark. Fordi vindkraftutbyggingen i Norge stort sett har skjedd i områder med svært spredt bebyggelse, er det usikkert om det er tilstrekkelig tilgang til respondenter. I norsk sammenheng kan det være mer relevant å studere støyutbredelse fra vindturbiner i typisk norsk terreng. NVE er kjent med at det forskes på støyutbredelse i lignende værforhold og topografi i Sverige. Dette vil være med på å styrke kunnskapsgrunnlaget om støy fra norske vindkraftverk.

Omfanget av virkninger ved skyggekast er begrenset, og det er lite uenighet knyttet til virkningene. NVE mener derfor at det ikke er behov for nye studier om skyggekast.

Det er gjort få undersøkelser knyttet til naboenes opplevelse av vindturbinenes synlighet, og hvordan teknologisk utvikling med stadig høyere turbiner virker inn på opplevelsen av vindkraftverk. NVE mener at det kan være behov for økt kunnskap om hvordan naboer med utsikt til vindkraftverk opplever den visuelle eksponeringen over tid. Siden det for få år siden ble innført strengere lysmerkingskrav, og radarsystemer har blitt mer aktuelle, kan det også være relevant med enkle studier om virkninger av belysning ved enkelte norske vindkraftverk.

NVE mener det kan være lite hensiktsmessig å bruke store ressurser på studier av eiendomspriser ved norske vindkraftverk. Dette skyldes blant annet at vindkraftverk i stor grad er lokalisert i områder med spredt bebyggelse, slik at det blir krevende å få et tilstrekkelig utvalg av eiendomstransaksjoner.

De forskjellige nabovirkningene henger sammen. Det kan derfor være hensiktsmessig å gjennomføre studier der for eksempel støy og visuelle virkninger ses i sammenheng med hverandre. NVE mener det kan være interessant å ta for seg ett eller flere eksisterende vindkraftverk og vurdere alle virkninger for naboer, inkludert virkninger for det lokale friluftslivet.

Referanser

- Aasvang, G. M., & Krog, N. H. (2004). Ikke-audiologiske helseeffekter av støy. *Norsk Epidemiologi*, 14(2), 167-175.
- Babisch, W., Beule, B., Schust, M., Kersten, N., & Ising, H. (2005). Traffic noise and risk of myocardial infarction. *Epidemiology*, 16(1), 33-40. doi:10.1097/01.ede.0000147104.84424.24
- Bakker, R. H., Pedersen, E., van den Berg, G. P., Stewart, R. E., Lok, W., & Bouma, J. (2012). Impact of wind turbine sound on annoyance, self-reported sleep disturbance and psychological distress. *Science of the Total Environment*, 425, 42-51. doi:10.1016/j.scitotenv.2012.03.005
- Basner, M., Babisch, W., Davis, A., Brink, M., Clark, C., Janssen, S., & Stansfeld, S. (2014). Auditory and non-auditory effects of noise on health. *The Lancet*, 383(9925), 1325-1332. doi:10.1016/S0140-6736(13)61613-X
- Basner, M. & McGuire, S. (2018). WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Effects on Sleep. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(3), 519.
- Berg, Einar, 2017. *Visuelle virkninger av vindkraft - Momenter til vurdering av vindkraftverks visuelle påvirkning på naboskap*. Norconsult
- Brown, A. L. & van Kamp, I. (2009). Response to a change in transport noise exposure: A review of evidence of a change effect. *Journal of the Acoustical Society of America*, 125(5), 3018-3029. doi:10.1121/1.3095802
- Droes, M. I. & Koster, H. R.A. Amsterdam Business School, Department of spatial Economics mfl. 2016. Renewable energy and negative externalities: *The effect of Wind turbines on house prices*. Artikkel i Journal of Urban Economics 96 (2016) side 121-141).
- Feder K, Michaud DS, Keith SE, Voicescu SA, Marro L, Than J, Guay M, Denning A, Bower TJ, Lavigne E m.fl.: An assessment of quality of life using the WHOQOL-BREF among participants living in the vicinity of wind turbines. *Environmental Research* 2015, 142:227-238.
- Finegold, L. S., & Finegold, M. S. (2002). Development of exposure-response relationships between transportation noise and community annoyance. *Aviat Environ Res*, 7, Supplement, 11-21.
- Førde, Elise og Holmelin, Erik, 2017. *Vindkraftverks påvirkning på eiendomspriser - Oppsummering av noen internasjonale studier*. Norconsult og Agenda Kaupang
- Gelderblom, F., Gjestland, T., & Granøien, I. L. N. (2016). *Undersøkelse av støyplage ved norske flyplasser* (SINTEF A27596).
- Gibbons, Stephen. Department of Geography and Environment, London School of Economics and spatial Economics Research Center, London. *Gone with the wind: Valuing the visual impacts of wind turbines through house prices*. Artikkel i Journal of Environmental Economics and Management 72 (2015). 177 - 196.
- Guski, R., Felscher-Suhr, U., & Schuemer, R. (1999). The concept of noise annoyance: How international experts see it. *Journal of Sound and Vibration*, 223(4), 513-527. doi:10.1006/jsvi.1998.2173
- Guski, R., Schreckenberg, D., & Schuemer, R. (2017). WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Annoyance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(1539). doi:10.3390/ijerph14121539
- Hoen, B., Brown, J. P., Jackson, T., Wiser, R., Thayer, M. and August, P. C. 2013. Environmental Energy, Technologies Division, Ernest Orlando Lawrence,

Berkely National Laboratory. *A Spatial Hedonic Analysis of the Effects of Wind Energy Facilities on Surrounding Property Values in the United States*

- Jalali L, Bigelow P, McColl S, Majowicz S, Gohari M, Waterhouse R: Changes in quality of life and perceptions of general health before and after operation of wind turbines. *Environmental Pollution* 2016, **216**:608-615.
- Jalali, L., Bigelow, P., Nezhad-Ahmadi, M. R., Gohari, M., Williams, D., & McColl, S. (2016). Before-after field study of effects of wind turbine noise on polysomnographic sleep parameters. *Noise and Health, 18*(83), 194-205. doi:10.4103/1463-1741.189242
- Jalali, L., Nezhad-Ahmadi, M. R., Gohari, M., Bigelow, P., & McColl, S. (2016). The impact of psychological factors on self-reported sleep disturbance among people living in the vicinity of wind turbines. *Environmental Research, 148*, 401-410. doi:10.1016/j.envres.2016.04.020
- Jensen, C. U., Panduro, T. E. og Lundhede, T. H. University of Copenhagen, department of food and resource economics 2013/13. IFRO working paper. The Vindication of Don
- Quijote: *The impact of noise and visual pollution from wind turbines on local residents in Denmark.*
- Kageyama T, Yano T, Kuwano S, Sueoka S, Tachibana H: Exposure-response relationships of wind turbine noise with self-reported symptoms of sleep and health problems: A nationwide socioacoustic survey in Japan. *Noise and Health* 2016, **18**(81):53-61.
- Keith, S. E., Feder, K., Voicescu, S. A., Soukhovtsev, V., Denning, A., Tsang, J., Broner, N., Leroux, T., Richarz, W., van den Berg, F. (2016). Wind turbine sound pressure level calculations at dwellings. *Journal of the Acoustical Society of America, 139*(3), 1436-1442. doi:10.1121/1.4942404
- Knopper, L. D., Ollson, C. A., McCallum, L. C., Whitfield Aslund, M. L., Berger, R. G., Souweine, K., & McDaniel, M. (2014). Wind turbines and human health. *Front Public Health, 2*, 63. doi:10.3389/fpubh.2014.00063
- Kuwano, S., Yano, T., Kageyama, T., Sueoka, S., & Tachibana, H. (2014). Social survey on wind turbine noise in Japan. *Noise Control Engineering Journal, 62*(6), 503-520.
- Lane, J. (2013). *Association Between Industrial Wind Turbine Noise and Sleep Quality in a Comparison Sample of Rural Ontarians. A thesis presented to the University of Waterloo in fulfillment of the thesis requirement for the degree of Master of Science in Health Studies and Gerontology.*
- Michaud, D. S. (2015). *Self-reported and objectively measured outcomes assessed in the health Canada wind turbine noise and health study: Results support an increase in community annoyance.* Paper presented at the INTER-NOISE 2015 - 44th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, San Francisco, United States.
- Michaud, D. S., Feder, K., Keith, S. E., Voicescu, S. A., Marro, L., Than, J., Guay, M., Denning, A., Mc Guire, D., Bower, T., Lavigne, E., Murray, B. J., van den Berg, F. (2016). Exposure to wind turbine noise: Perceptual responses and reported health effects. *Journal of the Acoustical Society of America, 139*(3), 1443-1454. doi:10.1121/1.4942391
- Michaud, D. S., Feder, K., Keith, S. E., Voicescu, S. A., Marro, L., Than, J., Guay, M., Denning, A., Murray, B. J., Weiss, S. K., Villeneuve, P. J., Den Berg, F. V. D., Bower, T. (2016). Effects of Wind Turbine Noise on Self-Reported and Objective Measures of Sleep. *Sleep, 39*(1), 97-109. doi:10.5665/sleep.5326

- Münzel, T., Gori, T., Babisch, W., & Basner, M. (2014). Cardiovascular effects of environmental noise exposure. *European Heart Journal*, 35(13), 829-836a. doi:10.1093/eurheartj/ehu030
- Münzel, T., Sørensen, M., Gori, T., Schmidt, F. P., Rao, X., Brook, F. R., Chen, L. C., Brook, R. D., Rajagopalan, S. (2017). Environmental stressors and cardio-metabolic disease: Part II-mechanistic insights. *European Heart Journal*, 38(8), 557-564. doi:10.1093/eurheartj/ehw294
- Nissenbaum MA, Aramini JJ, Hanning CD: Effects of industrial wind turbine noise on sleep and health. *Noise and Health* 2012, 14(60):237-243.
- Onakpoya IJ, O'Sullivan J, Thompson MJ, Heneghan CJ: The effect of wind turbine noise on sleep and quality of life: a systematic review and meta-analysis of observational studies. *Environ Int* 2015, 82:1-9.
- Pedersen, E. (2011). Health aspects associated with wind turbine noise-Results from three field studies. *Noise Control Engineering Journal*, 59(1), 47-53.
- Pedersen, E. (2015). City Dweller Responses to Multiple Stressors Intruding into Their Homes: Noise, Light, Odour, and Vibration. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(3), 3246-3263. doi:10.3390/ijerph120303246
- Pedersen, E., van den Berg, F., & Bakker, R. (2009). Response to noise from modern wind farms in The Netherlands. *Journal of the Acoustical Society of America*, 126(2), 634-643. doi:10.1121/1.3160293
- Pedersen, E., & Waye, K. P. (2004). Perception and annoyance due to wind turbine noise - a dose-response relationship. *Journal of the Acoustical Society of America*, 116(6), 3460-3470. doi:10.1121/1.1815091
- Pedersen, E., & Waye, K. P. (2007). Wind turbine noise, annoyance and self-reported health and well-being in different living environments. *Occupational and Environmental Medicine*, 64(7), 480-486. doi:10.1136/oem.2006.031039
- Poulsen, A. H., Raaschou-Nielsen, O., Pena, A., Hahmann, A. N., Nordsborg, R. B., Ketzler, M., . . . Sorensen, M. (2018). Short-term nighttime wind turbine noise and cardiovascular events: A nationwide case-crossover study from Denmark. *Environ Int*, 114, 160-166. doi:10.1016/j.envint.2018.02.030
- Rudolph, D. m.fl., 2017. *Spoiled darkness? Sense of place and annoyance over obstruction lights from the world's largest wind turbine test centre in Denmark*. Energy Research & Social Science, Volume 25, ss 80-90
- Schmidt JH, Klokke M: Health effects related to wind turbine noise exposure: A systematic review. *PLoS ONE* 2014, 9(12).
- Shepherd, D, McBride D, Welch D, Dirks KN, Hill EM: Evaluating the impact of wind turbine noise on health-related quality of life. *Noise and Health* 2011, 13(54):333-339.
- Sunak, Y. og Madlener, R. Aachen University, 2016. The impact of wind farm visibility on property values: *A spatial difference – in – difference analysis*. Artikel I Energy Economics 55 (2016) side 79-91.
- Sundfør, H. B. & Klæboe, R. (2015). *Befolkningsreaksjoner på vindmøllestøy. Vindmølleparken på Lista 2015*. (TØI rapport 1452/2015).
- Sørensen, M., Andersen, Z. J., Nordsborg, R. B., Jensen, S. S., Lillelund, K. G., Beelen, R., . . . Raaschou-Nielsen, O. (2012). Road traffic noise and incident myocardial infarction: A prospective cohort study. *Plos One*, 7(6). doi:10.1371/journal.pone.0039283
- van den Berg, F., Pedersen, E., Bouma, J., & Bakker, R. (2008). *WINDFARM perception. Visual and acoustic impact of wind turbine farms on residents. Final report*. . Retrieved from Groningen (NL):
- van Kempen, E., Casas, M., Pershagen, G., & Foraster, M. (2017). *Cardiovascular and metabolic effects of environmental noise : Systematic evidence review in the*

- framework of the development of the WHO environmental noise guidelines for the European Region. RIVM report 2017-0078. Retrieved from*
- Vienneau, D., Schindler, C., Perez, L., Probst-Hensch, N., & Rösli, M. (2015). The relationship between transportation noise exposure and ischemic heart disease: A meta-analysis. *Environmental Research*, 138, 372-380.
doi:10.1016/j.envres.2015.02.023
- Voicescu, S. A., Michaud, D. S., Feder, K., Marro, L., Than, J., Guay, M., . . . Lavigne, E. (2016). Estimating annoyance to calculated wind turbine shadow flicker is improved when variables associated with wind turbine noise exposure are considered. *Journal of the Acoustical Society of America*, 139(3), 1480-1492.
doi:10.1121/1.4942403
- WHO (2009). *Night noise guidelines for Europe*.
- WHO (2017). (http://www.mdpi.com/journal/ijerph/special_issues/WHO_reviews).
- YouGov (2010). *WindPower, Survey Conducted on Behalf of Scottish Power*, http://d25d2506sfb94s.cloudfront.net/cumulus_uploads/document/vj66wakgzm/YG-Scottish-Renewables-Archive-results-260213-renewable-energy.pdf Tilgang: Desember 2017

Norske veiledere/retningslinjer

- Miljødirektoratet. Veileder til retningslinje for behandling av støy i arealplanlegging - M-128/2014.
<http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M128/M128.pdf>
- Miljødirektoratet. Retningslinje for behandling av støy i arealplanlegging – T-1442/2016
https://www.regjeringen.no/contentassets/25867b21b2ad4780be3d959b626f8e12/t-1442_2016.pdf
- NVEs veileder for skyggekast (NVE veileder nr. 2/2014)
http://publikasjoner.nve.no/veileder/2014/veileder2014_02.pdf

Annet

- NVEs rapport 13.20017 - Støyutbredelse ved vindkraftverk med "typisk norsk" topografi
http://publikasjoner.nve.no/rapport/2017/rapport2017_13.pdf

Utenlandske retningslinjer/regelverk

- Sveriges retningslinjer for støy fra vindkraftverk. Naturvårdsverket Sverige
<https://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Buller/Buller-fran-vindkraft/>
- Danmarks regelverk for støy fra vindturbiner. Energistyrelsen Danmark.
<http://www.vindmoellegodkendelse.dk/om-ordningen/regler-standarder/>
- Britiske retningslinjer for støy fra vindkraftverk. Institute of Acoustics.
<https://www.ioa.org.uk/publications/wind-turbine-noise>
- Nederlandske retningslinjer for støy fra vindkraftverk. Business.gov.nl
<https://business.gov.nl/regulation/noise-regulations/>

EUs rammedirektiv for støy (Direktiv 2002/49/EF).

<https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2006/sep/utendørsstoydirektivet/id2430321/>

Erhvervsministeriet, Danmark, 2014. Bekendtgørelse om planlægning for og tilladelse til opstilling af vindmøller.

<https://www.retsinformation.dk/pdfPrint.aspx?id=161315&exp=1>. Lastet ned 11.5.2018.



NVE

Norges vassdrags- og energidirektorat

MIDDELTHUNSGATE 29
POSTBOKS 509 I MAJORSTUEN
0301 OSLO
TELEFON: (+47) 22 95 95 95

www.nve.no