



Nasjonal ramme for vindkraft

.....
TEMARAPPORT OM ELEKTRONISK KOMMUNIKASJON

Lars Hagvaag Seim



Rapport, bokmål nr 94-2018

Nasjonal ramme for vindkraft

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat
Redaktør: Erlend Bjerkestrand
Forfatter: Lars Hagvaag Seim

Trykk: NVEs hustrykkeri
Forsidefoto: Lars Hagvaag Seim, NVE
ISBN: 978-82-410-1774-2
ISSN: 1501-2832

Sammendrag: I denne temarapporten i Nasjonal ramme for vindkraft går vi gjennom eksisterende kunnskap om virkninger av vindkraft for elektronisk kommunikasjon, med fokus på virkninger for radiolinjer og digitalt bakkenett for TV.

Emneord: Nasjonal ramme, vindkraft, elektronisk kommunikasjon, TV-signaler, radiolinjer, ekom

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

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

12.11.2018

Innhold

| | |
|--|-----------|
| Forord | 3 |
| Sammendrag | 4 |
| 1 Innledning | 6 |
| 2 Metode og medvirkning | 7 |
| 2.1 Aktører innen radiokommunikasjon..... | 7 |
| 2.1.1 Norges Televisjon | 7 |
| 2.1.2 Norkring AS | 8 |
| 2.1.3 Nasjonal kommunikasjonsmyndighet (Nkom)..... | 8 |
| 2.2 Innspill fra aktørene | 9 |
| 2.2.1 Innspill til metodebeskrivelsen..... | 9 |
| 2.2.2 Møter | 9 |
| 2.2.3 Tilbakemelding på rapportutkast | 9 |
| 2.3 Prosjektnotat fra SINTEF Digital | 9 |
| 3 Radiokommunikasjon | 10 |
| 3.1 Hva er radiobølger? | 10 |
| 3.2 Hvordan overføres radiobølger i radiokommunikasjon? | 11 |
| 3.3 Hvordan kan data overføres i en radiobølge? | 14 |
| 3.3.1 Modulasjon | 14 |
| 3.3.2 Digitalt bakkenett for TV (DVB-T)..... | 15 |
| 3.3.3 Krav til støynivå, interferens og feilrate..... | 16 |
| 3.4 Frekvensbånd og forvaltning av radiobølgespekteret..... | 17 |
| 4 Vindturbiner og radiokommunikasjon | 18 |
| 4.1 Nærfelteffekter | 19 |
| 4.2 Diffraksjon..... | 20 |
| 4.3 Spredning og refleksjon i radiolinjer | 22 |
| 4.3.1 Modellering av signalspredning i radiolinjer..... | 22 |
| 4.3.2 Virkninger av atmosfæriske forhold | 25 |
| 4.4 Spredning og refleksjon i digitalt bakkenett for TV | 25 |
| 4.4.1 Publikasjoner fra ITU..... | 26 |
| 4.4.2 Forward scattering – foroverrettet spredning av signalet | 27 |
| 4.4.3 Ikke fri sikt mellom sender og mottaker | 30 |
| 4.4.4 Backscattering – bakoverrettet spredning av signalet..... | 30 |
| 4.4.5 Dopplereffekt..... | 35 |
| 4.5 Programvareverktøy | 36 |
| 4.6 Avbøtende tiltak | 37 |
| 4.6.1 Radiolinjer | 37 |
| 4.6.2 Digitalt bakkenett for TV | 37 |
| 4.7 Kunnskapsbehov | 39 |
| 5 Radiokommunikasjon og NVEs konsesjonsbehandling | 40 |
| 5.1 Konsekvensutredning og konsesjonsvilkår..... | 40 |
| 5.2 Virkninger for radiolinjer | 41 |
| 5.3 Virkninger for digitalt bakkenett for TV | 41 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5.3.1 | NVEs vurdering av digitalt bakkenett for TV i konsesjonsbehandlingen | 41 |
| 5.3.2 | NTVs synspunkter på praktiseringen av vilkåret..... | 43 |
| 6 | Kriterier for utpeking av de mest egnede områdene for vindkraft | 44 |
| 7 | Konklusjon | 46 |
| 8 | Referanser | 48 |
| 9 | Appendiks..... | 49 |
| 9.1 | «Radiostøy fra vindmøller», prosjektnotat fra SINTEF Digital..... | 49 |
| 9.2 | Spørsmål fra NVE til NTV/Norkring angående prosjektnotatet | 49 |
| 9.3 | Kommentarer fra NTV/Norkring til prosjektnotatet «Radiostøy fra vindmøller» | 49 |
| 9.4 | Tilbakemelding fra NTV på rapportutkast (03.09.2018) | 49 |
| 9.5 | Innspill fra NTV til metodebeskrivelsen (09.06.2017) | 49 |
| 9.6 | Innspill fra Norkring til metodebeskrivelsen (09.06.2017) | 49 |
| 9.7 | Oppsummering av Nkoms innspill til metodebeskrivelsen (11.05.2017) | 49 |

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 elektronisk kommunikasjon. 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 rapporten.

Oslo, november 2018



Rune Flatby
direktør



Erlend Bjerkestrand
prosjektleder

Sammendrag

I denne temarapporten i *Nasjonal ramme for vindkraft* har vi gjennomgått eksisterende kunnskap om virkninger av vindkraft for elektronisk kommunikasjon, med en særlig vektlegging av virkninger for radiolinjer og digitalt bakkenett for TV.

Kunnskapsgjennomgangen viser at et radiosignal kan påvirkes av en eller flere vindturbiner gjennom hovedsakelig tre fysiske mekanismer: *nærfelteffekter*, *diffraksjon* og *refleksjon/spredning av radiosignalet*. Graden av forstyrrelser er avhengig av en rekke ulike faktorer, deriblant hvilken type kommunikasjonsteknologi som benyttes, frekvens og bølgelengde på radiosignalet, topografi, geografisk plassering og atmosfæriske forhold.

Virkinger for radiolinjer

I de tilfeller der vindkraftverket kan være til hinder for radiolinjeforbindelser, er det forholdsvis enkelt å beregne klareringssonene *før* utbyggingen. Dette gjør at tiltakshaver kan unngå vesentlige virkninger for radiolinjer ved å justere plassering av vindturbinene under prosjekteringen av anlegget og i samråd med berørt aktør. Det er NVEs erfaring at eventuelle negative virkninger for radiolinjer i de fleste tilfeller kan unngås ved at utbygger gjør nødvendige tilpasninger i prosjekteringen av vindkraftanleggene.

Virkninger for digitalt bakkenett for TV

Norges Televisjon (NTV) har konsesjon for utbygging og drift det digitale bakkenettet for TV i Norge. NTV leier ut sendekapasitet i nettet til NRK og RiksTV. Norkring er leverandør til NTV på sendernettjenester, dvs. at Norkring eier senderinfrastrukturen og er ansvarlig for drift og vedlikehold av senderne i bakkenettet på vegne av NTV.

I konsesjonssaker der virkninger for det digitale bakkenettet for TV har vært et tema, har det vært utfordrende å gjøre beregninger i forkant av utbyggingen som dokumenteter i hvilken grad vindkraftverket vil påvirke dekningsgraden. Dersom det under konsesjonsbehandlingen viser seg at vindkraftverket kan påvirke TV- og radiosignaler, har NVE i konsesjonsvedtaket inkludert et vilkår om «TV- og radiosignaler», som har til hensikt å ivareta hensynet til disse tjenestene. Vilkåret stiller krav til at konsesjonæren i samråd med de berørte aktørene skal iverksette nødvendige tiltak dersom kraftverket medfører redusert kvalitet på TV- og radiosignaler for mottakere i nærområdet.

I flere konsesjonssaker har det vært vanskelig å oppfylle konsesjonsvilkåret «TV- og radiosignaler» i praksis, og det har vært uenighet mellom NTV/Norkring og vindkraftutbyggere om hva som menes med «nødvendige tiltak». Uenigheten består blant annet i om nødvendige tiltak kan rette seg mot brukerne av TV-tjenestene, eller om tiltakene skal opprettholde samme dekningsgrad i bakkenettet som før vindkraftutbyggingen. Fordi det er vanskelig å fastslå med nøyaktighet hvor store virkningene kan bli for dekningsgraden, mener NTV/Norkring at et «føre var»-prinsipp må legges til grunn for hva som nødvendige, avbøtende tiltak. Utbyggerne mener på sin side dette taler for at eventuelle avbøtende tiltak må gjennomføres *etter* utbyggingen, når det er avklart om det blir virkninger og eventuelt hvilket omfang virkningene får.

Kunnskapsbehov

Det er høy konsentrasjon av ekomsendere i Norge, og det er sannsynlig at dette vil bli et tema i fremtidige vindkraftprosjekter. Et bedre kunnskapsgrunnlag om temaet kan gi NVE et bedre beslutningsgrunnlag i sin konsesjonsbehandling. Det kan også gi NVE bedre forutsetninger for å stille krav til og følge opp mulige avbøtende tiltak, noe som kan gi bedre forutsigbarhet for både tiltakshaver og de berørte interessentene.

Kunnskapsbehovet kan oppsummeres i følgende punkter:

- Behov for ytterligere vurdering av forskningslitteratur som er publisert internasjonalt om temaet
- Behov for gjennomføring av empiriske målinger av vindkraftverks påvirkning på ekom-tjenester, og da spesielt det digitale bakkenettet for TV. Slike målinger kan brukes til å verifisere/falsifisere de teoretiske modellene og beregningsmetodene som fremgår av litteraturen, samt gi et erfaringsgrunnlag som kan brukes i lignende vindkraftsaker
- Vurdere mulighetene for utvikling og bruk av GIS-baserte beregningsverktøy for modellering av virkninger av vindturbiner på ekom-signaler

Samarbeid med Nkom

NVE har ikke myndighet eller kompetanse til å gå inn på vilkårene i NTVs konsesjon og klargjøre innholdet i NTVs forpliktelser etter kringkastingsloven og ekomloven. Etter instruks fra Samferdselsdepartementet og Olje- og energidepartementet vil derfor NVE i løpet av høsten 2018 inngå et tettere samarbeid med Nasjonal kommunikasjonsmyndighet (Nkom) i konsesjonsbehandlingen for å vurdere problemstillingene og utarbeide retningslinjer for hvordan interessene til ekom-aktørene kan ivaretas.

Elektronisk kommunikasjon i Nasjonal ramme for vindkraft

Denne rapporten er en del av grunnlaget for identifiseringen av områdene som er mest egnet for vindkraftutbygging. Som en del av denne identifiseringen har NVE først ekskludert områder som sannsynligvis ikke er av de mest egnede for vindkraftutbygging. Dette er gjort gjennom såkalte harde og myke eksklusjoner. Virkninger for radiolinjer kan i stor grad unngås ved å gjøre tilpasninger i detaljplanlegging av vindkraftverket. Områder knyttet til radiolinjer er derfor ikke ekskludert. For det digitale bakkenettet for TV har NVE lagt inn en buffersone på 2 km rundt senderne i basisnettet som en myk eksklusjon. NVE mener det ikke er hensiktsmessig med en egen eksklusjonssone rundt satellittskyggenettsendere og mottakere i bakkenettet. Etter NVEs vurdering kan hensynet til disse ivaretas i en eventuell konsesjonsbehandling.

1 Innledning

Vindkraftverk kan medføre virkninger for en rekke ulike miljø- og samfunnsinteresser. Vindkraft er en arealkrevende næring, og i områder som kan være aktuelle for vindkraftverk vil det som oftest alltid være flere konkurrerende arealbruksinteresser. Mens noen aktiviteter og næringer kan sameksistere og ha positive synergieffekter med vindkraftverk, kan andre interesser bli fortrenget eller forringet.

I denne temarapporten presenteres en gjennomgang av eksisterende kunnskap om virkninger av vindkraft for elektronisk kommunikasjon (ekom). I det videre vil vi bruke begrepet radiokommunikasjon som en samlebetegnelse for digitale eller analoge radiosignaler som formidles i fritt rom (trådløst) i det elektromagnetiske spekteret mellom en senderantenne og én eller flere mottakerantenner.

Det er i dag en rekke private og offentlige aktører som benytter det elektromagnetiske spekteret til formidling av radiosignaler, slik som televisjon- og radiokringkasting, radiolinje, mobiltelefoni, bredbånd, telemetri og annen telekommunikasjon. Flere av aktørene ivaretar samfunnskritiske funksjoner som er regulert av norske myndigheter gjennom blant annet ekomloven og kringkastingsloven.

I flere av vindkraftsakene som NVE har hatt til konsesjonsbehandling har radiokommunikasjon vært en problemstilling. Vindturbiner kan i noen tilfeller påvirke og forstyrre radiosignaler mellom sendere og mottakere i nærheten av vindkraftverket. Det er imidlertid ikke alltid en enkel øvelse å beregne og forutse virkningen en eller flere vindturbiner kan ha på radiokommunikasjon. Graden av sårbarhet er avhengig av en rekke ulike faktorer, deriblant hvilken type kommunikasjonsteknologi som benyttes, frekvens og bølgelengde, topografi, geografisk plassering og atmosfæriske forhold.

På bakgrunn av NVEs erfaring fra tidligere konsesjonssaker og innspillene vi har mottatt til metodebeskrivelsen i Nasjonal ramme for vindkraft, fremstår kringkasting av digital-TV via det digitale bakkenettet for TV som mest utsatt for forstyrrelser fra vindturbiner. Radiolinjer, punkt til punkt-linjer mellom to eller flere direkte radioantenner, kan også i noen tilfeller påvirkes av vindturbiner. Andre trådløse kommunikasjonsteknologier, som mobiltelefoni, bredbånd og DAB-radio, synes å være mindre sårbar for påvirkning. Denne rapporten er derfor begrenset til å omhandle radiolinjer og digitalt bakkenett for TV.

Vi vil gjennom dette underprosjektet forsøke å besvare følgende problemstillinger:

- Hvordan påvirkes radiolinjer og digitalt bakkenett for TV av vindkraftverk?
- Hva sier forskningslitteraturen om hvordan radiokommunikasjon påvirkes av vindkraftverk?
- Hvordan kan den eventuelle påvirkningen beregnes og estimeres?
- Trengs det ny kunnskap om hvordan vindkraftverk påvirker radiokommunikasjon? Hva slags kunnskapsinnhenting bør prioriteres?
- Hvilke avbøtende tiltak kan være relevante?

- Hvordan kan NVEs konsesjonsbehandling sikre at konflikter mellom radiokommunikasjon og vindkraftverk ikke blir for store?

En viktig målsetning med kunnskapsgjennomgangen er om mulig å finne frem til kriterier for kartfesting av egnete områder for vindkraftutbygging i *Nasjonal ramme for vindkraft*.

På oppdrag fra NVE har SINTEF Digital laget prosjektnotatet «Radiostøy fra vindmøller» om virkninger av vindturbiner på radiokommunikasjon (appendiks 9.1). Prosjektnotatet er en kunnskapsgjennomgang av relevant faglitteratur på området. NVE har benyttet dette prosjektnotatet som utgangspunkt for denne temarapporten. På oppdrag fra NVE kvalitetssikret SINTEF Digital i april 2018 kapittel 3 og 4 i rapporten.

Rapporten er bygget opp på følgende måte:

I kapittel 2 beskriver vi de relevante aktørene innenfor elektronisk kommunikasjon, og vi beskriver metoden som er brukt i kunnskapsinnhenting. I tillegg sammenfattes innspillene som har kommet inn fra aktørene i forbindelse med utarbeidelse av metodebeskrivelsen for *Nasjonal ramme for vindkraft*.

Kapittel 3 er en teoretisk og teknisk gjennomgang av radiokommunikasjon med vektlegging av de kommunikasjonstjenestene som kan påvirkes av vindkraftutbygginger.

I kapittel 4 beskriver vi de fysiske mekanismene som gjør seg gjeldende når radiobølger påvirkes av vindturbiner. Vi tar utgangspunkt i publisert forskningslitteratur og rapporter fra den Internasjonale telekommunikasjonsunionen (ITU). I kapittelet ser vi også nærmere på aktuelle programvareverktøy for beregning av interferens fra vindturbiner, samt aktuelle avbøtende tiltak.

I kapittel 5 beskriver hvordan NVE vurderer virkninger for radiokommunikasjon i konsesjonsbehandling av vindkraftverk. I kapittelet gjengis også NTVs synspunkter på NVEs konsesjonsbehandling og deres forslag til endringer i NVEs praksis i slike saker.

I kapittel 6 foreslår vi kriterier som kan legges til grunn i kartfesting av egnete områder for vindkraftutbygging i *Nasjonal ramme for vindkraft*.

2 Metode og medvirkning

Kunnskapsgrunnlaget som presenteres i denne rapporten er basert på gjennomgang av publiserte forskningsartikler og litteratur på fagfeltet, rapporten «Radiostøy fra vindmøller» av SINTEF Digital, NVEs erfaringer fra konsesjonsbehandling av vindkraftverk, samt innspill fra aktører innen radiokommunikasjon.

2.1 Aktører innen radiokommunikasjon

2.1.1 Norges Televisjon

Norges Televisjon (NTV) er et norsk selskap som ble stiftet i 2002. Selskapet fikk i 2006 konsesjon for utbygging og drift av et kringkastingsnett for digital-TV, også kalt det digitale bakkenettet for TV, frem til 2021. Konsesjonen gir rett til kringkasting frekvensområdet 470–790 MHz. NTV er eid av NRK AS, TV 2 AS og Telenor Communication II. NTV leier ut sendekapasitet i nettet til NRK og RiksTV.

RiksTV tilbyr betal-TV-tjenester, mens NRK tilbyr fritt tilgjengelig innhold. Betal-TV-virkosheten i RiksTV finansierer størstedelen av plattformen. Norkring er leverandør til NTV på sendernettjenester. Det vil si at Norkring eier senderinfrastrukturen og er ansvarlig for drift og vedlikehold av senderne i bakkenettet på vegne av NTV. Bakkenettet ble ferdigstilt i 2010 og kostet ca. 1,5 milliarder kr å bygge ut.¹

NRK er gjennom kringkastingsloven pålagt å tilby sine radio- og TV-kanaler gratis til alle husstander. Det betyr at hele befolkningen skal kunne motta NRKs programtilbud uten å etablere et kundeforhold til en tredje part. Det digitale bakkenettet er den eneste distribusjonsplattformen som i dag oppfyller dette kravet.² Konesjonen inneholder også krav til dekningskrav og beredskap i krisesituasjoner.

Digitalt bakkenett for TV

Bakkenettet består av et basisnett og et satellittskyggenett. Basisnett består av totalt 430 sendestasjoner og er et hybridnett bestående av høy- og laveffektsendere. Et vilkår i konsesjonen er at basisnettet skal ha minst 95 % befolkningsdekning og 70 % dekning av fritidsboliger. Per i dag dekker basisnettet nær 98 % av alle husstander og om lag 87 % av alle fritidsboliger i Norge. I henhold til konsesjonen er NTV pålagt å sørge for at husstander som ikke har dekning fra basisnettet, eller ikke kan ta inn TV via satellitt (parabol), kabel-TV, eller andre former TV-mottak, skal få dekning fra et satellittskyggenett.

Satellittskyggenettet består av i overkant av 550 småsendere og dekker områder som ligger i satellittskygge. Topografien i Norge gjør at ca. 2,5 prosent av husstandene i landet befinner seg i satellittskygge, dvs. at TV-mottak med parabolantenne ikke er mulig. Basisnettet dekker nesten 90 % av de som bor i satellittskyggeområdene, mens satellittskyggenettet dekker de resterende 10 % av husstandene som hverken har dekning fra basisnettet, eller kan ta inn TV fra andre distribusjonsplattformer.³ Dette omfatter i dag ca. 6000 husstander.

Sendestasjonene i basisnettet mater flere sendere som ligger i kjede i basisnettet. Videre mates de fleste satellittskyggenettsenderne fra basisnettet. Senderinfrastrukturen består av både rundstrålende og direkte antenner, i tillegg til radiolinjer.

2.1.2 Norkring AS

Norkring AS er et norsk selskap som eies av Telenor. Norkring drifter det digitale bakkenettet for TV på vegne av NTV samt radiostandarden DAB. Mange av senderne til Norkring fungerer også som base for tjenestene til en rekke aktører, der flere ivaretar samfunnskritiske funksjoner. Eksempel på slike tjenester er det digitale nødnettet, samband for e-verk, styringsanlegg for sivilforvarets tyfonanlegg, mobil- og bredbåndsnett og Avinors kommunikasjonsutstyr for flytrafikk.

2.1.3 Nasjonal kommunikasjonsmyndighet (Nkom)

Nasjonal kommunikasjonsmyndighet (Nkom) er underlagt Samferdselsdepartementet og fører tilsyn med post- og teletjenester. Nkom regulerer blant annet bruken av

¹ Mobile tjenester i 700 MHz-båndet? Tekniske konsekvenser for det digitale bakkenettet for TV, rapport, Nkom, 2015

² ibid

³ ibid

radiobølgespekteret etter lov om elektronisk kommunikasjon (ekomloven). Frekvensforvaltningen innebærer planlegging, tildeling og tilsyn av statens frekvensressurser. Aktører som ønsker å ta i bruk et frekvensbånd må søke Nkom om tillatelse til dette. Nkom utsteder individuelle sender- og spektrumtillatelser og i noen tilfeller benyttes det auksjon der det er nødvendig.

2.2 Innspill fra aktørene

2.2.1 Innspill til metodebeskrivelsen

I forbindelse med utarbeidelse av metodebeskrivelsen til Nasjonal ramme for vindkraft våren 2017, ba NVE om innspill fra aktørene. NVE arrangerte også et innspillsmøte den 11. mai 2017 hvor blant annet NTV, Norkring (v/ Telenor Broadcast Holding) og Nkom deltok. De skriftlige innspillene fra aktørene finnes i appendiks 9.5–9.7.

2.2.2 Møter

I forbindelse med Nasjonal ramme for vindkraft hadde NVE et diskusjonsmøte den 12.12.2017 med NTV og Norkring. NTV hadde et nytt møte med NTV og Norkring den 27.04.2017 i forbindelse med utsending av rapportutkast for gjennomlesning.

2.2.3 Tilbakemelding på rapportutkast

I forbindelse med ferdigstilling av denne rapporten fikk NTV og Norkring anledning til å gi tilbakemelding på et utkast til rapporten. Rapportutkastet ble oversendt aktørene den 25.04.2018.

NTV ga en samlet tilbakemelding på rapportutkastet den 03.09.2018 som finnes i appendiks 9.4. Rapporten ble revidert på enkelte punkter etter tilbakemeldingen. Dette gjelder kapittel 4.4 der delkapittel 4.4.3 «*Ikke fri sikt mellom sender og mottaker*» er lagt til. Delkapittel 4.4.2 om forward scattering er også utdypet noe. Kapittel 4.6 om avbøtende tiltak er omskrevet på bakgrunn av tilbakemeldingen. Videre er kapittel 5 (tidligere kapittel 6) oppdatert. Et kapittel som oppsummerte konsesjonsbehandlingen av Brosviksåta vindkraftverk (tidligere kapittel 5) er fjernet på bakgrunn av tilbakemeldingen.

2.3 Prosjektnotat fra SINTEF Digital

I og med at NVE selv ikke sitter med spesialkompetanse på radiokommunikasjon, har SINTEF Digital utarbeidet prosjektnotatet «Radiostøy fra vindmøller» på oppdrag av NVE. Notatet ble ferdigstilt i oktober 2017. I oppdragsbeskrivelsen fikk SINTEF Digital følgende mandat:

- Beskriv de fysiske mekanismene som gjør seg gjeldende når vindturbiner påvirker og forstyrrer elektroniske kommunikasjonssignaler. Beskrivelsen bør være på et nivå som gjør det mulig å for lekfolk å få en oversikt og forståelse for de relevante mekanismene.
- Gjennomgå relevant publisert vitenskapelig litteratur samt kartlegging av gjeldende norske standarder og regelverk som angår vindkraftverks virkning på elektronisk kommunikasjon. I tillegg skal det gjøres en innledende studie av internasjonale standarder og regelverk. Det skal lages et resyme som

sammenfatter de vesentligste faktorene supplert med anbefaling om videre undersøkelser.

Oppdraget hadde en ramme på ca. 60 arbeidstimer.

Prosjektnotatet er vedlagt som Appendiks 9.1.

Den 09.11.2017 oversendte NVE prosjektnotatet til Norkring, NTV og Nkom for uttalelse. NVE stilte også noen spørsmål knyttet til notatet som fremgår av appendiks 9.2.

NVE mottok den 11.12.2018 en uttalelse fra NTV som var koordinert med Norkring (se appendiks 9.3).

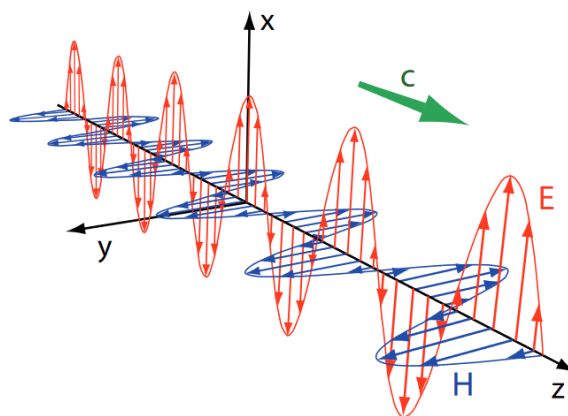
3 Radiokommunikasjon

3.1 Hva er radiobølger?

Radiobølger er elektromagnetisk bølger som består av et elektrisk felt og et magnetfelt som i synkroniserte svingninger forplanter seg med lysets hastighet i fritt rom. Langt fra strålingskilden og forstyrrende elementer står det magnetiske feltet 90° på det elektriske feltet, som vist i figur 1.

Bølgelengden (λ) er en funksjon av bølgens frekvens, f , (Hz) og lyshastigheten, c , (m/s), gitt som $\lambda = c/f$. Når en radiobølge beveger seg gjennom stoffer som f.eks. jordens atmosfære eller vann, vil bølgens hastighet ligge noe under lyshastigheten i vakuum ($c = 3,0 \times 10^8$ m/s).

Den Internasjonale telekommunikasjons-unionen (ITU) definerer radiobølger som elektromagnetiske bølger med frekvenser mellom 3 kHz til 3 THz og med bølgelengder mellom 100 km (3 kHz) til 0,1 mm (3 THz). ITU kategoriserer radiobølger i radiobånd nummerert fra 4 til 12, som vist i Tabell 1.



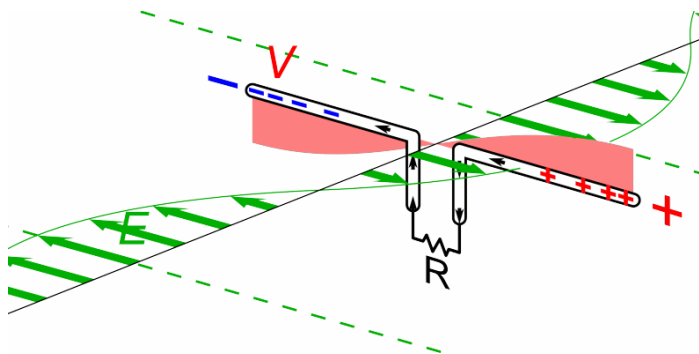
Figur 1: Øyeblikksbilde av en plan, elektromagnetisk bølge som beveger seg langs z-aksen. Det elektriske feltet svinger her om x-aksen mens det magnetfeltet står normalt på det elektriske feltet og svinger om y-aksen. ¹

| Band number | Symbols | Frequency range (lower limit exclusive, upper limit inclusive) | Corresponding metric subdivision |
|-------------|---------|--|----------------------------------|
| 4 | VLF | 3 to 30 kHz | Myriametric waves |
| 5 | LF | 30 to 300 kHz | Kilometric waves |
| 6 | MF | 300 to 3 000 kHz | Hectometric waves |
| 7 | HF | 3 to 30 MHz | Decametric waves |
| 8 | VHF | 30 to 300 MHz | Metric waves |
| 9 | UHF | 300 to 3 000 MHz | Decimetric waves |
| 10 | SHF | 3 to 30 GHz | Centimetric waves |
| 11 | EHF | 30 to 300 GHz | Millimetric waves |
| 12 | | 300 to 3 000 GHz | Decimillimetric waves |

Tabell 1: ITUs definisjon av radiobånd.⁴ VLF = very low frequency, VHF = very high frequency, EHF = extremely high frequency.

3.2 Hvordan overføres radiobølger i radiokommunikasjon?

Elektromagnetiske bølger kan lages ved hjelp av en antenne som påsettes en vekselspanning. En antenne er et system av metalliske ledere hvor energien i en høyfrekvent elektrisk vekselstrøm (elektriske ladninger i bevegelse) gir opphav til elektromagnetiske bølger. Vice versa kan en antenne også omforme en elektromagnetisk bølge til en elektrisk vekselstrøm. På denne måten kan en radiobølge overføres i fritt rom fra en senderantenne til en mottakerantenne.



Figur 2: En dipolantenne setter opp et varierende og sinusformet elektrisk felt som følge av at en sinusformet vekselstrøm går i de to elektriske ledningene. Vekselstrømmen gjør at polariteten (negativ eller positiv) til lederne kontinuerlig endres med en gitt frekvens. Et magnetisk felt vil også oppstå her og under ideell betingelser stå 90° på det elektriske feltet.⁵

⁴ Radio Regulations, Articles, International Telecommunication Union, utgave 2016

⁵ Bilde hentet fra [https://en.wikipedia.org/wiki/Antenna_\(radio\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Antenna_(radio)) (nedlastet: 12.01.2018)

Ut fra antennens strålingsegenskaper kan den karakteriseres som enten *isotropisk* eller *anisotropisk*. En isotropisk antenne er en teoretisk punktformet antenne som avgir samme bølgeeffekt i alle retninger, mens en anisotropisk antenne forsterker radiobølgene eller mottaket av radiobølger i en bestemt retning, og kalles derfor også en direktiv antenne.

Et viktig mål for å beskrive antennens direktivitet er antennens åpningsvinkel, også kalt strålebredde. Denne forsterkningen kalles *antenneforsterkningen*, *gain* eller *antennevinningen* og uttrykkes ofte i dBi.⁶

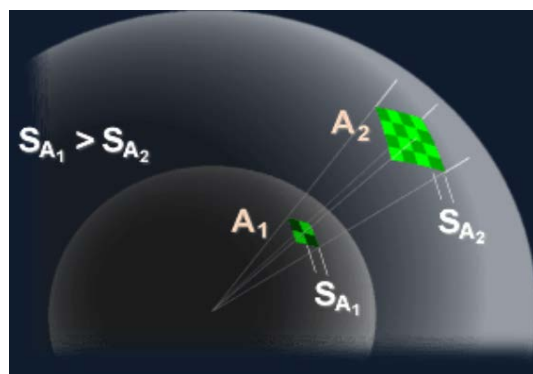
Bokstaven «i» står for isotropisk, slik at dBi betyr desibel i forhold til en tenkt, isotropisk antenne. En gitt antenne kan derfor karakteriseres ved hjelp av strålingsdiagrammer som angir avvik fra en isotropisk antenne, som vist i figur 3.⁷ Strålingsdiagrammet beskriver antennens strålmønster som kan deles inn i såkalte *hovedlober* og *sidelober*. Hovedloben er det området som gir den maksimale strålingsstyrken fra antennen. Sidelobene er områder med mindre styrke som peker i andre retninger enn hovedloben. Sidelobene er i utgangspunktet ikke ønsket, men de kan aldri elimineres helt.⁸

Antennevinningen betegner forholdet mellom effekten som sendes ut i en bestemt retning, og den effekten som ville blitt sendt ut i alle retninger dersom antennen var isotropisk. Antennevinningen kan uttrykkes ved følgende formel:

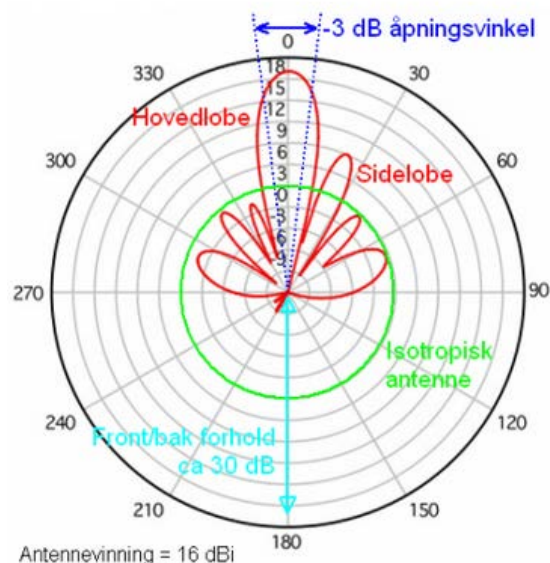
$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \text{ hvor } A_e = \eta_a A$$

hvor A_e er antennens effektive areal og λ er radiobølgens bølgelengde. Antennens effektive areal, også kalt aperturet, er et mål for antennens evne til å absorbere energien i de elektromagnetiske bølgeene som treffer antennen og overføre den til antennekabelen som elektrisk strøm. Det effektive arealet finnes ved å multiplisere arealet av antennens maksimale fysiske stråleåpning (A) med en gitt virkningsgrad η_a .⁹

La oss se nærmere på overføring av radiobølger fra en senderantenne til en mottakerantenne. En



Figur 3: Strålingseffekten fra en isotropisk senderantenne sprer seg uniformt ut rommet. Det gjør at strålingstettheten S_{A1} i arealet A_1 er større enn S_{A2} i arealet A_2 .



Figur 4: Eksempel på strålingsdiagram for en antenne med antennevinning lik 16 dBi. Åpningsvinkelen er markert med blått. Den grønne ringen representerer strålmønsteret for en isotropisk referanseantenne.

⁶ På engelsk kalt *gain*.

⁷ <https://ndla.no/nb/node/28085?fag=2600> (nedlastet: 17.01.2018)

⁸ <http://www.radartutorial.eu/06.antennas/Antenna%20Characteristics.en.html> (nedlastet 28.01.2018)

⁹ <https://ndla.no/nb/node/28085?fag=2600> (nedlastet: 17.01.2018)

rundtrålende, isotropisk antenne vil sende radiobølger med en effekt, P_T , like kraftig i alle retninger. Den utsendte effekten vil bre seg utover i rommet som en sfære med areal lik $4\pi r^2$, hvor r er den radielle avstanden fra senderantennen, som vist i Figur 4. Når sfærens radius øker, reduseres effekten per areal. Effekten per kvadratmeter, S , i en avstand $r = R$ fra senderantennen er dermed gitt som:

$$S = \frac{P_T}{4\pi R^2} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Dersom senderantennen er direktiv og har en gitt antennevinning, G_T , vil den effektive strålingseffekten per kvadratmeter, S_e , være gitt som:

$$S_e = \frac{P_T G_T}{4\pi R^2} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Strålingseffekten, som til slutt når frem til mottakerantenna, er avhengig av det effektive arealet til mottakerantenna, A_e :

$$A_e = \frac{\lambda^2 G_R}{4\pi} [m^2]$$

hvor G_R er antennevinningen til mottakerantenna og λ er bølgelengden.

Dermed kan mottakereffekten uttrykkes som:

$$P_R = S_e A_e = \frac{P_T G_T}{4\pi R^2} \cdot \frac{\lambda^2 G_R}{4\pi} = \frac{P_T G_T G_R}{(4\pi R)^2} = \frac{\text{Utsendt effekt} \cdot \text{Gain sender} \cdot \text{Gain mottaker}}{\text{Frittromsdemping}} [W]$$

Nevneren i brøken over kalles *frittromsdempingen*. Dette er et mål på reduksjonen i strålingseffekten som følge av at radiobølgen forplanter seg i fritt rom. Vi ser at frittromsdempingen øker med kvadratet av avstanden, men at den også er inverst proporsjonal med kvadratet av bølgelengden. Det vil si at jo kortere bølgelengde og høyere frekvens radiobølgen har, desto større blir frittromsdempingen. I tillegg observerer vi at høy antennevinning i sender- og/eller mottakerantennen bidrar til å øke den mottatte effekten, P_R . Jo høyere frekvens en radiobølge har, desto mer informasjon kan den potensielt formidle. En ulempe med høy frekvens er imidlertid at rekkevidden til radiobølgen blir mindre. Dette er fordi høyfrekvente bølger lettere interfererer med fysiske hindringer (f.eks. bygninger, landskapsformasjoner og vegetasjon) som kommer i veien for bølgefronten. Radiobølger med lavere frekvenser vil i større grad uhindret forplante seg forbi de fleste materialer, og har derfor lengre rekkevidde. Dette er fordi bølgelengden er relativt mye større enn hindringens størrelse.

I radiolinjer er både senderantenna og mottakerantenna direktiv, slik at



Bilde 1: Direktive antenner brukt til radiolinjer (Kilde: <https://no.wikipedia.org/wiki/Radiolinje> nedlastet: 26.02.2018)

radiosignalet som regel kan overføres direkte fra en stasjon til en annen. I bilde 1 ser vi eksempler på slike radiolinjeantenner.

I TV- og radiokringkasting benyttes det normalt en rundtstrålende (omni-directional) senderantenne som sender signalet i mange forskjellige retninger samtidig. Dette gjør at signalet kan nå et stort antall potensielle mottakere innenfor en gitt avstand fra senderantenna. Mottakerantennene hos den enkelte bruker er på sin side direktive, noe som gjør at antennene kan orienteres slik at de mottar det mest optimale TV- eller radiosignalet.¹⁰



Bilde 2: Montering av en rundtstrålende DVB-T senderantenne (til venstre) og en typisk direktiv mottakerantenne for DVB-T (til høyre) (Kilder: <http://www.kathrein.de/content/index.cfm/presse.view?id=1123&language=en> og <https://www.rikstv.no/produkter/utstyr/stor-antenne/> nedlastet: 27.02.2018).

3.3 Hvordan kan data overføres i en radiobølge?

3.3.1 Modulasjon

En bæreølge (på engelsk «carrier») er en radiobølge som ikke inneholder informasjon annet enn bølgens fysiske karakteristika. Ved hjelp av ulike modulasjonsteknikker kan et inputsignal «skrives inn» i denne bæreølgen og overføres mellom to eller flere antenner i radiofrekvensspekteret. En radiomottaker inneholder forsterkere, filtre og en demodulator som «henter ut» det opprinnelige inputsignalet fra bæreølgen.

Radiokringkasting i Norge foregikk frem til 2017 ved hjelp av en analog modulasjonsteknikk kalt frekvensmodulering (FM). Frekvensmodulasjon innebærer at en endring i inputsignalet oversettes til en endring i bæreølgens frekvens. Andre modulasjonsteknikker er amplitudemodulasjon og fasemodulasjon.

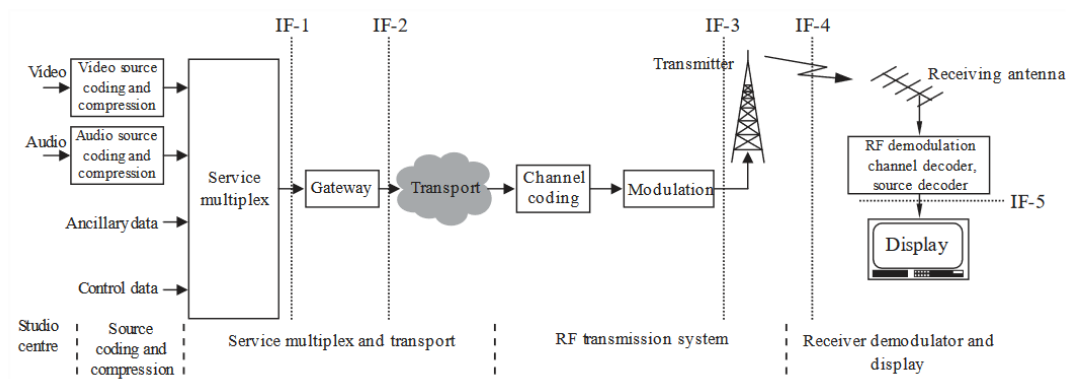
Modulasjon av digitale signaler foregår i prinsippet på samme måte. Bæreølgen er fremdeles analog og kontinuerlig, men digitale, diskontinuerlige data i form av diskrete bits (0 og 1) moduleres inn i bæreølgen gjennom en digital til analog-konverter (DAC). I mottakeren sitter det på sin side en konverter som modulerer signalet tilbake til den

¹⁰ <https://ndla.no/nb/node/58970?fag=2600>

opprinnelige digitale datastrømmen (ADC). Kringkastingssystemer som DAB-radio og DVB-T baseres på overføring og konvertering av digitale data via radiobølger.

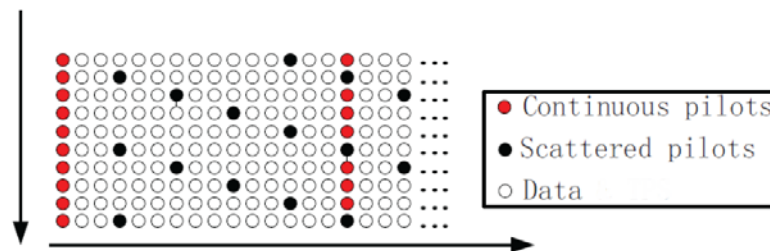
3.3.2 Digitalt bakkenett for TV (DVB-T)

DVB-T er en forkortelse for *Digital Video Broadcasting – Terrestrial* og er en av flere standarder for kringkasting av digital-TV. Ved overføring av TV-signaler med DVB-T-standard brukes i utgangspunktet den samme båndbredden som én analog TV-kanal til å overføre mange TV-kanaler samtidig. I den digitale dataoverføringen benyttes en teknikk kalt multipleksing og i DVB-T benyttes en multipleksing kalt COFDM¹¹.



Figur 5: Systemmodell over et digitalt bakkenett for TV.¹²

Når bæreølgen moduleres, deles båndbredden i flere tusen parallelle bæreølger og digitale data fordeles på hver av dem. I det norske bakkenettet brukes et 8k-system som består av 8000 bæreølger i en radiokanal. 6817 av disse bæreølgene inneholder lyd- og bildedata, mens de resterende bølgeene inneholder data som gjør det mulig for mottakeren å analysere og tilpasse seg radiokanalen. En DVB-T-mottaker benytter seg av såkalte piloter i signalet for å tilpasse seg kanalen flere hundre ganger per sekund. Piloter er små datapakker med kjente data som sendes ut i et forutbestemt mønster, som vist i figur 6.



Figur 6: Lyd- og bildedata og piloter sendes på forskjellige tider (vertikale akse) og på forskjellige frekvenser (horisontale akse).¹³

Disse pilotene gjør at mottakeren kan finne ut hvordan kanalen faktisk er ved gitte tider og frekvenser. I mellom pilotene kan mottakeren estimere kanalen ved hjelp av matematisk interpolasjon for dekodning av data til brukeren.¹⁴ Mottakeren kan slik i større grad utnytte både det direkte signalet og reflekterte signaler fra omgivelsen. I analog

¹¹ Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing

¹² Handbook on Digital Terrestrial Television Broadcasting Networks and Systems Implementation, ITU, 2016

¹³ Radiostøy fra vindmøller, SINTEF Digital, 2017

¹⁴ ibid

kringkasting vil derimot reflekterte signaler som når frem til mottakerantennen ofte føre til støy i mottakersignalet.

Ved hjelp av en modulasjonsteknikk kalt kvadraturamplitudemodulering (QAM) kan det også sendes flere bits i hvert symbol. I det norske bakkenettet benyttes 64 QAM.¹⁵ For å få plass til alle lyd- og bildedataene brukes det også ulike kompresjonsteknikker. I det norske bakkenettet for TV benyttes en kompresjonsteknikk kalt MPEG 4.¹⁶ Disse teknikkene gjør det mulig å få plass til mye mer informasjon i en frekvenskanal. Der det før kun var plass til en analog TV-kanal i en båndbredde på 8 MHz, er det nå plass til 6–8 digitale TV-kanaler. TV-signaler i det norske bakkenettet for TV kringkastes i dag i frekvensbåndet 470–790 MHz.

3.3.3 Krav til støynivå, interferens og feilrate

Det finnes mange kilder til støy, interferens og forvrenging i en digital radiokanal som kan føre til en svekkelse av radiosignalet mellom sender og mottaker. Radiobølgen kan forstyrres av andre radiosignaler, den kan reflekteres og spres fra vindturbiner, bygninger, vegetasjon og landskapsformasjoner, radiosignalet kan påvirkes av støy i mottakersystemet, samt av atmosfæriske og meteorologiske fenomener. Radiobølgen kan også interferere med seg selv pga. refleksjoner og spredning. Refleksjon og spredning av signalet gir opphav til en såkalt *multipath-kanal*.

For å beskrive og måle graden av støy i en radiokanal, er det vanlig å bruke forholdet mellom effekten i nyttesignalet og mengden støy i kanalen, kalt C/N-forholdet. C står for *carrier* og er et mål på bærebølgeeffekten, mens N står for *noise* og er et mål på den gjennomsnittlige støyeffekten i kanalen.¹⁷ C/N uttrykkes ofte i desibel. Dersom C/N-forholdet f.eks. er 20 dB, så er nyttesignalet 100 ganger sterkere enn støysignalet.

Det skiller mellom *interferens* og *støy*. Interferens kan betraktes som en spesiell form for kunstig støy forårsaket av f.eks. andre radiosignaler som samvirker direkte med radiosignalet og slik påvirker dataoverføringen. Radiosignalet kan også interferere med seg selv pga. at refleksjoner og spredning av signalet i kanalen. Det benyttes derfor også ofte et C/I-forhold for beskrive forholdet mellom nyttesignalet og interferensen i kanalen. Generelt kan man si at *interferens* forårsakes av kunstige støykilder, og at det dermed er mulig å redusere interferensen ved å fjerne eller dempe de kunstige støykildene. *Støy* omfatter også alle naturlig forekommende støykilder, som kosmisk og termisk stråling og atmosfæriske forhold.

Støy og interferens kan medføre feil i informasjonen som overføres. *Bit error rate* (BER) er et mål på hvor mye av informasjonen (antall bits) som går tapt i overføringen, og beskriver forholdet mellom antall bits som har feil og det totale antallet bits som mottas i overføringen innenfor et gitt tidsintervall. Ulike systemer har ulike krav til tolererbar feilrate. Kravene til overføringsbetingelser i en kanal uttrykkes ofte som BER som funksjon av C/N-forholdet.¹⁸

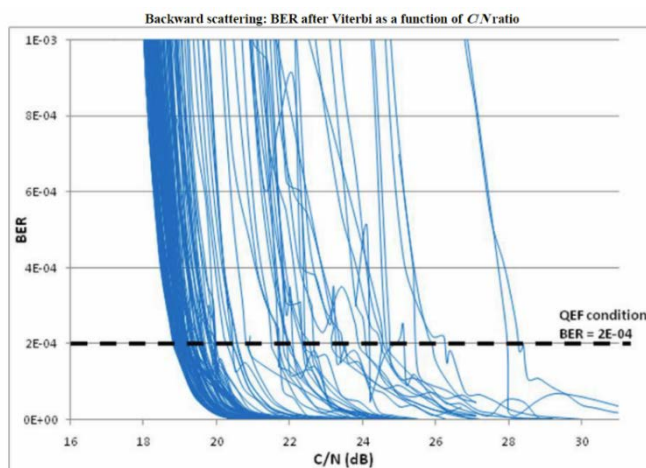
¹⁵ Understanding Digital Television, Lars-Ingemar Lundström, Elsevier Inc., 2006

¹⁶ <https://www.tu.no/artikler/slik-virker-bakkenettet/238324> nedlastet: 19.01.2018

¹⁷ Understanding Digital Television, Lars-Ingemar Lundström, Elsevier Inc., 2006

¹⁸ Understanding Digital Television, Lars-Ingemar Lundström, Elsevier Inc., 2006

I DVB-T-kringkasting er det et krav til en feilrate på $BER = 2 \times 10^{-4}$ for å oppnå et mottak som er såkalt *quasi error free* (QEF).¹⁹ Figur 7 viser målinger av C/N-forholdet mellom én DVB-T-sender og flere ulike mottakerpunkter.²⁰ I diagrammet er BER plottet som en funksjon av C/N-forholdet. Tangeringspunktet mellom de blå kurvene og $BER = 2 \times 10^{-4}$ (svart stiplet linje) viser kravet som stilles til C/N-forhold for hver enkelt kanal. Jo mer til venstre kurvene ligger, desto lavere er kravet til C/N-forhold for feilfri overføring. Kurvene helt til høyre indikerer at disse kanalene må ha et høyere C/N-forhold for å sikre feilfri overføring, dvs. at bærebølgeeffekten må være høy sammenlignet med støyeffekten.



Figur 7: Plott av BER som funksjon av C/N-forhold for en rekke mottakere under ulike situasjoner med såkalt backscattering fra vindturbiner. Kravet til quasi error free-betingelse er her gitt ved $BER = 2 \times 10^{-4}$.

3.4 Frekvensbånd og forvaltning av radiobølgespekteret

Radiobølgespekteret kan betraktes som en begrenset naturressurs og er derfor underlagt statlig regulering. I Norge er det *Nasjonal kommunikasjonsmyndighet* (Nkom) som regulerer bruken av radiobølgespekteret etter lov om elektronisk kommunikasjon (ekomloven). Frekvensforvaltningen innebærer planlegging, tildeling og tilsyn av statens frekvensressurser. Aktører som ønsker å ta i bruk et frekvensbånd må søke Nkom om tillatelse til dette. Nkom utsteder individuelle sender- og spektrumtillatelser og i noen tilfeller benyttes det auksjon der det er nødvendig. Nkom planlegger frekvensbruken slik at interferens ikke skal oppstå.²¹

Innen ekomsektoren finnes det flere tusen standarder. Harmoniserte standarder utvikles av europeiske standardiseringsorganisasjoner på mandat fra EU-kommisjonen, og sikrer at utstyr og nett er i samsvar med EUs lovgivning. Det europeiske arbeidet innen ekomstandardisering foregår i ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Nkom er medlem i ETSI og har i tillegg status som NSO (National Standards Organization), med administrativ oppfølging av høringer og voteringer som noen av de viktigste oppgavene. På globalt nivå deltar Nkom i ITU (International Telecommunication Union), som er et FN-organ der arbeidet er organisert i tre sektorer: regulering av radiospektrum, utvikling av tekniske standarder og bistandsarbeid på IKT-området.²²

¹⁹ Empirical Evaluation of the Impact of Wind Turbines on DVB-T Reception Quality, I. Angulo et.al., IEEE, 2011

²⁰ The effect of the scattering of digital television signals from wind turbines, Report ITU-R BT.2142-2, ITU, 2015

²¹ <https://www.nkom.no/> (nedlastet: 27.02.2018)

²² <https://www.nkom.no/> (nedlastet: 27.02.2018)

4 Vindturbiner og radiokommunikasjon

Når et radiosignal treffer en vindturbin, er det i hovedsak tre fysiske mekanismer som kan gi forstyrrelser av radiosignalet ved mottakerpunktet: *nærfelteffekter*, *diffraksjon* og *refleksjon/spredning av radiosignalet*. I det følgende går vi nærmere inn på disse fysiske mekanismene og hvordan disse kan påvirke radiolinjer og det digitale bakkenettet for TV.

Relevant litteratur

I gjennomgangen av mekanismene benytter vi oss av følgende litteratur når det gjelder virkninger for *radiolinjer*:

- «Description of methodologies to estimate the technical impact of wind turbines on Fixed Radio Links», ECC Report 260, 2017
- «Fixed link wind turbine exclusion zone method», Bacon DF, Ofcom report, 2002
- «RF Measurement Assessment of Potential Wind Farm Interference to Fixed Links and Scanning Telemetry Devices», ERA Technology Ltd, Ofcom report, 2008

ECC – Electronic Communications Committee er underlagt ECPT European Conference of Postal and Telecommunications Administrations og har en eget forum som arbeider med vindturbiners påvirkning på telekommunikasjonstjenester (Forum Group on Wind Turbines).²³ Rapporten som ECC publiserte i 2017 gjengir en svensk og en spansk studie der ulike metoder for estimering av påvirkning fra vindturbiner på radiolinjetjenester beskrives.

Ofcom er den britiske regulatormyndigheten for kommunikasjon, og har den samme rollen som Nasjonal kommunikasjonsmyndighet i Norge.

For *digitalt bakkenett for TV* benytter vi oss av følgende litteratur:

- «The effect of the scattering of digital television signals from wind turbines», Report ITU-R BT.2142-2, ITU, 2015
- «Assessment of impairment caused to digital television reception by a wind turbines», Recommendation ITU-R BT.1893-1, ITU, 2015
- «Impact analysis of wind farms on telecommunication services», I. Angulo et al., Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014
- «Empirical Evaluation of the Impact of Wind Turbines on DVB-T Reception Quality», I. Angulo et al., IEEE, 2011

²³ <https://cept.org/ecc/groups/ecc/wg-se/fg-on-wind-turbines/client/introduction/>

- «An Empirical Comparative Study of Prediction Methods for Estimating Multipath Due to Signal Scattering From Wind Turbines on Digital TV Services», I. Angulo et al., IEEE, 2011
- «Empirical Doppler Characterization of Signals Scattered by Wind Turbines in the UHF Band», I. Angulo, International Journal of Antennas and Propagation, 2013

ITU-R er radiokommunikasjonssektoren i ITU. ITU-R er organisert med studiegrupper for hvert fagfelt. Studiegruppene er igjen organisert i arbeidsgrupper. Nasjonal kommunikasjonsmyndighet deltar i enkelte av studiegruppene i ITU-R.

Ut fra litteraturgjennomgangen synes det som om ITU-anbefalingene i stor grad er basert på arbeidet til en forskergruppe ved University of Basque Country (Angulo et al). Det har derfor vært naturlig å se nærmere på publiserte tidsskriftartikler som ligger til grunn for ITUs anbefalinger. Den spanske studien i ECC-rapporten om radiolinjer er også gjennomført av den samme forskergruppen.

4.1 Nærfelteffekter

En sender- eller mottakerantenne har en nærfeltsone der lokale induktive felter kan være betydelige. Dersom store metalliske objekter som er gode reflektorer plasseres nær senderantennen, kan dette føre til at nærfeltet påvirkes, noe som videre virker inn på fjernfeltet og overføringen langt fra antennen. Siden nærfelteffekter er vanskelig å forutsi og karakterisere, er det vanlig å definere en klareringszone rundt senderantennen der større objekter ikke kan plasseres.²⁴

Ofcom (2002) foreslår å estimere en eksklusjonssone der avstanden mellom antenne og vindturbin, D_{nf} , er definert som:

$$D_{nf} = \frac{N_{nf}\eta D_a^2}{\lambda}$$

hvor

- N_{nf} : konstant mellom 1 og 2 som bestemmes ut av grad av konservatisme i anslaget
- η : antennens effektivitet (0–1), typisk verdi mellom 0,6 og 0,8.
- D_a : antennediameter
- λ : bølgelengden til radiobølgen

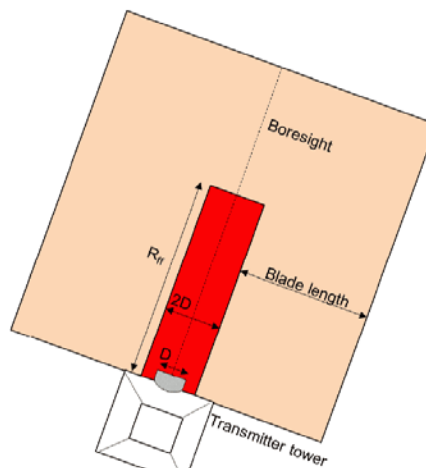
I det spanske arbeidet i ECC (2017) foreslås det en annen metodikk for beregning av eksklusjonssone for nærfelteffekter. Metodikken gir et mindre konservativt anslag av hensiktsmessig eksklusjonssone. Beregningsmåten begrenser seg til radiolinjer med frekvenser over 1 GHz. Metodikken er basert på betraktninger av variasjonen i

²⁴ Fixed link wind turbine exclusion zone method, Bacon DF, OFCOM report, 2002

effektettheten til radiobølgen i tre regioner: nærfeltregion, overgangsregion, og fjernfeltregion. Dette leder til følgende uttrykk:

$$R_{ff} = 0,6 \left(\frac{D^2}{\lambda} \right) [m]$$

hvor R_{ff} angir en sikkerhetsavstand fra antennen målt langs radiolinjen (on-axis), D er antennens diameter og λ er radiobølgens bølgelengde. I rapporten foreslås en sikkerhetssone som projiseres i form av et rektangel på bakken, med en bredde tilsvarende to ganger antennediameteren ($2D$) og lengde lik R_{ff} målt fra antennen. I tillegg legges det inn en eksklusjonssone («constraint mask») tilsvarende lengden på et turbinblad, som sikrer at turbinbladene ikke berører sikkerhetssonen, som vist i figur 8.²⁵



Figur 8: Eksklusjonssonen for nærfelteffekter som foreslått i den spanske studien. Antennen er skissert med grå farge, sikkerhetssonen i rødt og eksklusjonssonen i rosa.

Ut fra det som fremgår av ECC(2017) og Ofcom(2002) er nærfelteffekter noe som først og fremst kan være et problem ved plassering av vindturbiner nær radiolinjer.

4.2 Diffraksjon

Dersom vindturbiner står nær eller i signalveien mellom en sender- og mottakerantenne, kan turbinblader og –tårn utgjøre en fysisk hindring som endrer bølgefronten i radiobølgen pga. en fysisk mekanisme kjent som *diffraksjon*. Dette kan særlig være et problem dersom størrelsen på hindringen er relativt lik bølgelengden til den innkommende radiobølgen. Diffraksjon kan lage et skyggeområde bak hindringen og slik svekke signalet ved et mottakerpunkt som ligger bak vindturbinen i forhold til senderantennen. I ECC (2015) og Ofcom(2002) omtales dette også som «obstruction of path».

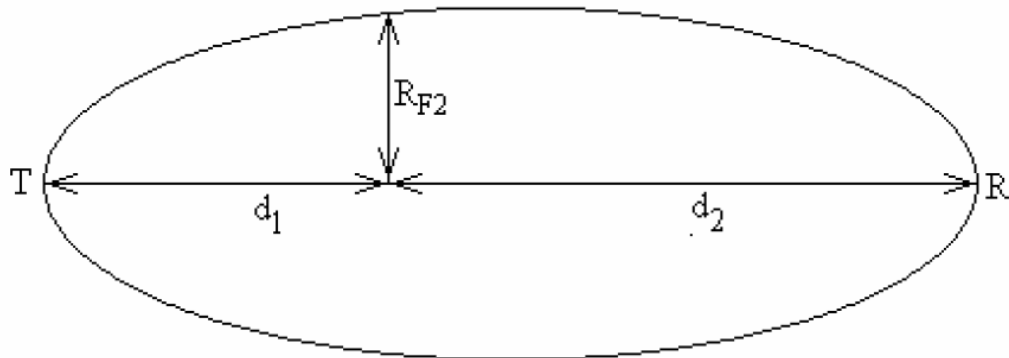
For å unngå diffraksjon kan det beregnes et eksklusjonsvolum rundt siktelinjen til radiolinjen ved bruk av såkalte *fresnelsoner*. Ved større statiske hindringer, f. eks. landskapsformasjoner, benyttes vanligvis et kriterium som sier at 0,6 av den første fresnelsonen (F_1) må være fri for hindringer. For hindringer med varierende geometri, som f. eks. vindturbiner, er det hensiktsmessig å benytte et mer konservativt kriterium. Ofcom (2002) foreslår at den *andre fresnelsonen* benyttes som eksklusjonskriterium i disse tilfellene. Sonens radius, R_{F_2} , rundt den direkte siktelinjen (line of sight) er gitt ved det approksimerte uttrykket:

$$R_{F_2} = \sqrt{\frac{2 \lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

²⁵ Description of methodologies to estimate the technical impact of wind turbines on Fixed Radio Links, ECC Report 260, 2017

Her er d_1 er distansen fra senderen (T) til et gitt punkt langs siktelinjen, og d_2 er distansen fra mottakeren (R) til det samme punktet på siktelinjen.

Figur 9 viser en prinsippskisse av den andre fresnelsonen beskrevet i ligningen over.

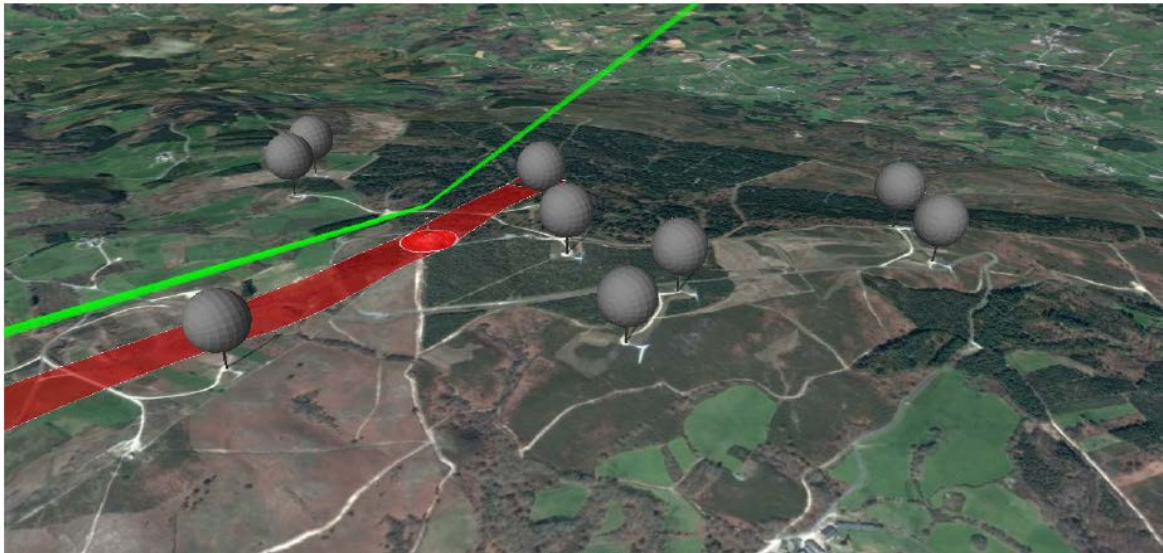


Figur 9: Approsimering av den andre fresnelsonen rundt en radiolinje (Kilde: Ofcom(2002)).

Metoden er kun avhengig av bølgelengden til radiobølgen og geometri, og er dermed uavhengig av sender- og mottakerantennes karakteristikk. Selv om metoden gjør at man kan finne eksklusjonssonen rundt en gitt radiolinje, understreker Ofcom at tilnærmingen ikke er tilstrekkelig dersom hindringen ligger nær enten sender eller mottaker. Da vil nærfelteffekter, beskrevet i kapittel 4.1, i større grad gjøre seg gjeldende.

ECC(2017) baserer seg på metoden og kriteriene beskrevet av Ofcom(2002). Ved modellering av vindturbinens mulige påvirkningssone, foreslås det i rapporten å benytte en sfære som omslutter alle mulige turbinbladposisjoner. Sfæren plasseres på toppen av et sylindrisk turbintårn. I figur 10 ser vi et eksempel på en slik metodisk tilnærming for plassering av et vindkraftverk i nærheten av en radiolinje.²⁶

²⁶ Description of methodologies to estimate the technical impact of wind turbines on Fixed Radio Links, ECC Report 260, 2017



Figur 10: Grønn ellipsoide angir den andre Fresnelsonen for radiolinjene (antenne lokalisert innenfor rød sirkel), mens det røde området markerer grensen for når vindturbinene vil berøre den andre Fresnelsonen.

Diffraksjon må først og fremst hensyntas ved planlegging av vindturbiner i nærheten av radiolinjer. For kringkastingssendere er det spredning og refleksjon av signalet som er den viktigste mekanismen å ta hensyn til.

4.3 Spredning og refleksjon i radiolinjer

Når radiobølger treffer et massivt objekt, vil de elektriske ladningene i objektet settes i bevegelse og svinge med den samme frekvensen som bølgen pga. av induksjonseffekter. Disse ladningene produserer i sin tur en elektromagnetisk bølge med et bestemt energinivå som spres i forskjellige retninger fra det massive objektet. Den romlige fordelingen av denne spredte bølgen avhenger av størrelsen, formen og materialsammensetningen til objektet, samt av frekvensen til den innkommende bølgen. Turbinblader og -tårn kan slik reflektere og spre et radiosignal. *Refleksjon* oppstår når refleksjonsoverflaten er stor sammenlignet med bølgelengden til den innkommende radiobølgen, mens *spredning* inntreffer når bølgelengden til radiobølgen er på størrelse med overflaten bølgen treffer. Dette reflekterte/spredte signalet danner en ny signalvei, en *multipath*, som kan interferere med hovedsignalet i mottakerpunktet.²⁷

4.3.1 Modellering av signalspredning i radiolinjer

Ifølge Ofcom(2002)²⁸ kan vanligvis refleksjon og spredning av radiobølger kvantifiseres ved hjelp av *radartverrsnittet* (RCS) til objektet som forårsaker refleksjonen eller spredningen. Radartverrsnittet er blant annet avhengig av retningen på den innkommende bølgen og den spredte radiobølgen, samt av den geometriske formen på objektet. Det kan være problematisk å beregne radartverrsnittet til en vindturbin pga. at turbinen har en kompleks geometri som varierer over tid. Ikke bare roterer turbinbladene, men

²⁷ Impact analysis of wind farms on telecommunication services, I. Angulo et al. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014

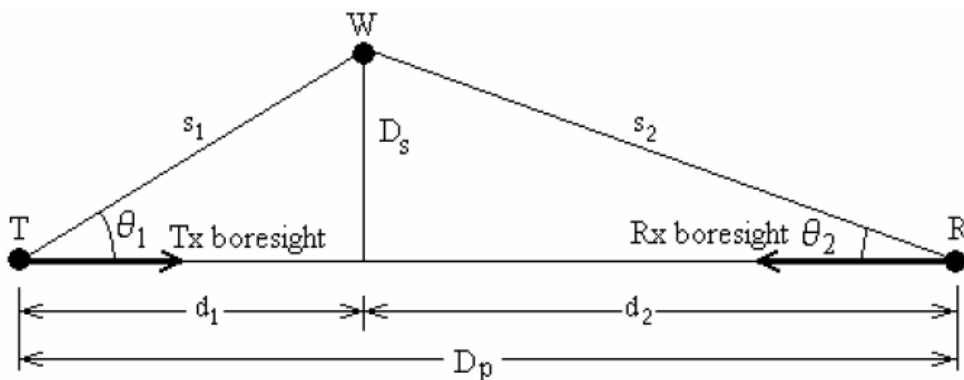
²⁸ Fixed link wind turbine exclusion zone method, Bacon DF, OFCOM report, 2002.

vindturbinen kan endre azimuth-vinkelen ved å orientere seg etter vindretningen (*yaw*), og samtidig endre bladvinkelen etter vindhastigheten (*pitch*).

Ofcom mener det er rimelig å anta en gitt kombinasjon av innkommende og spredte radiobølger sammen med en gitt *yaw* og *pitch*, vil produsere et maksimalt radartverrsnitt som kan betraktes som et *worst case-scenario*. Det er imidlertid vanskelig å vite med sikkerhet om man faktisk observerer det maksimale radartverrsnittet ved direkte målinger. Ofcom foreslår derfor følgende: «*In the absence of more reliable information it is provisionally proposed that the optical silhouette of the complete blade set of a wind turbine, as viewed parallel to the axis of blade rotation, is used as the RCS.*»²⁹

I Ofcom(2008)³⁰ problematiseres imidlertid denne antagelsen om radartverrsnittet til en vindturbin. Basert på konkrete målinger ved tre vindkraftverk i England fant de at radartverrsnittet for én vindturbin med en rotordiameter på 80 meter ved en radiofrekvens på 436 MHz, kunne være så høyt som 53 dBm² (ca. 200 000 m²). Rapporten viser også til at radartverrsnittet avhenger av hvilke sprednings- og refleksjonsfenomen som gjør seg gjeldende (forward scatter eller backscatter).

Ofcom foreslår å benytte en todimensjonal geometri i det horisontale planet i modelleringen, som vist i Figur 11.



Figur 11: Geometrisk modell som viser forholdet mellom sender (T), vindturbin (W) og mottaker (R). Boresight indikerer siktelinjen mellom sender og mottaker.

Ifølge Ofcom bør det ideelt sett benyttes en tredimensjonal geometri, men de argumenterer for at det normalt er tilstrekkelig med en todimensjonal betraktning for enklere beregning.

Videre antar Ofcom følgende:

- Sender (T) og mottaker (R) er retningsbestemte antenner som er rettet slik at signalstyrken er maksimal langs siktelinjen mellom T og R.
- Det er fri sikt (Line of Sight) mellom T og R. I worst case-scenariet er det også fri sikt mellom T og W samt mellom R og W.

²⁹ Fixed link wind turbine exclusion zone method, Bacon DF, OFCOM report, 2002.

³⁰ RF Measurement Assessment of Potential Wind Farm Interference to Fixed Links and Scanning Telemetry Devices, ERA Technology Ltd, OFCOM report, 2008.

- De reflekterte/spredte signalene ligger såpass nær siktelinjen ($T-R$) at man kan anta at enhver variasjon i bølgeforplantingen pga. atmosfæriske effekter vil være de samme for både det direkte signalet og de reflekterte/spredte signalene.

Frittromsdempningen mellom sender og mottaker ($T-R$) er gitt ved:

$$l_d = \frac{p_t}{p_r} = \frac{(4\pi D_p)^2}{\lambda^2 g_1(0) g_2(0)}$$

hvor:

- p_t = inngående effekt til antenne T [W]
- p_r = utgående effekt til antenne R [W]
- D_p = avstand mellom T og R [m]
- λ = bølgelengden til radiobølgen [m]
- $g_1(0)$ = relativ antenneforsterkning (gain) til antenne T (oppgitt som dimensjonsløst forholdstall)
- $g_2(0)$ = relativ antenneforsterkning til antenne R (oppgitt som dimensjonsløst forholdstall)

Frittromsdempningen mellom sender via vindturbin til mottaker ($T-W-R$) er gitt ved:

$$l_i = \frac{p_t}{p_r} = \frac{(4\pi)^3 s_1^2 s_2^2}{\sigma \cdot \lambda^2 g_1(\theta_1) g_2(\theta_2)}$$

- p_t = inngående effekt til antenne T [W]
- p_r = utgående effekt til antenne R [W]
- s_1, s_2 = avstand fra T til W og fra W til R [m]
- λ = bølgelengden til radiobølgen [m]
- σ = radartverrsnittet til vindturbinen (worst case) [m²]
- $g_1(\theta_1)$ = relativ antenneforsterkning (gain) til antenne T utenfor siktelinjen ved vinkel θ_1 (oppgitt som dimensjonsløst forholdstall)
- $g_2(\theta_2)$ = relativ antenneforsterkning til antenne R utenfor siktelinjen ved vinkel θ_2 (oppgitt som dimensjonsløst forholdstall)

Av forrige ligning kan vi observere at frittromsdempningen av det reflekterte/spredte signalet vil være størst når $s_1 = s_2$, dvs. når vindturbinen er plassert midt mellom sender og mottaker.

Ved å kombinere ligningene for frittromsdempningen får man C/I-forholdet:

$$r_{ci} = \frac{C}{I} = \frac{l_i}{l_d} = \frac{4\pi s_1^2 s_2^2 g_1(0) g_2(0)}{\sigma D_p^2 g_1(\theta_1) g_2(\theta_2)}$$

r_{ci} er et lineært forholdstall mellom bæresignalet, C , og interferensen, I , fra det spredte/reflekterte signalet. Vi legger merke til at C/I -forholdet ikke er avhengig av frekvens eller bølgelengde til radiobølgen, men av antenneforsterkningen til sender- og mottakerantennene.

C/I -forholdet kan omformuleres i dB på følgende måte:

$$\frac{C}{I} = 10 \log(4\pi) + 20 \log(s_1 s_2) + G_1(0) + G_2(0) - 20 \log(D_p) - 10 \log(\sigma) - G_1(\theta_1) - G_2(\theta_2) \text{ [dB]}$$

Med et gitt krav til C/I -forhold for radiolinjen, kan man ut fra dette uttrykket estimere den nødvendige avstanden mellom vindturbin og siktelinjen, D_s , som ivaretar kravet.

I den spanske studien i ECC (2017) benyttes den samme metodikken som beskrevet i Ofcom (2002/2008). Her vil eksklusjonssonen for å unngå signalspredning være gitt av C/I -forholdet. Kravet til C/I -forhold vil variere med frekvensbånd, modulasjons- og kodetype som benyttes i den aktuelle radiolinjen. Som i Ofcom (2002) baseres eksklusjonssonen på vindturbinenes maksimale radartverrsnitt (RCS).³¹

4.3.2 Virkninger av atmosfæriske forhold

Atmosfærisk fading kan oppstå ved en vekselvirkning mellom radiobølger som har forplantet seg langs jordoverflaten og bølger som har blitt reflektert fra ulike lag i atmosfæren. Den mest kjente form for fading oppstår ved refleksjon av radiobølger fra ionosfæren. Ionosfæren er i stadig forandring slik at forplantning av den ionosfæreflekterte bølgen vil variere. Fading kan føre til at signalstyrken svekkes i mottakerpunktet.³²

Den svenske studien i ECC (2017) beskriver flere feltundersøkelser der det er gjennomført målinger av interferens fra vindturbiner i radiolinjer. Studien beskriver også en metode for å modellere og dermed estimere virkningene. Målingene viser at interferens fra vindturbiner vanligvis er små under normale atmosfæriske forhold. *Atmosfærisk fading* kan imidlertid føre til en vesentlig svekkelse av signalstyrken, og slik gjøre radiolinjen mer sårbar for interferens fra vindturbiner.³³

4.4 Spredning og refleksjon i digitalt bakkenett for TV

Radiolinjer baseres som oftest på at det er fri sikt (LoS) mellom sender- og mottakerantenne. Fordi det benyttes direkte antenner, kan bærebølgene konsentreres innenfor et relativt lite område. Ved kringkasting er imidlertid senderantennen ofte rundtstrålende og utformet slik at TV-signalene kan nå frem til et stort antall potensielle mottakerpunkter innenfor en gitt avstand fra senderantennen. Som vi så i kapittel 3.3.2, er DVB-T designet for å utnytte refleksjoner av signalene konstruktivt. På denne måten kan selv mottakerpunkter som ikke har fri sikt til senderantennen, fremdeles motta et brukbart nyttesignal som er summen av flere refleksjoner av signalet, også kalt *multipathing*. Men

³¹ Description of methodologies to estimate the technical impact of wind turbines on Fixed Radio Links, ECC Report 260, 2017

³² https://snl.no/fading_-_variasjon_i_radiosignaler, nedlastet: 24.01.2018

³³ Description of methodologies to estimate the technical impact of wind turbines on Fixed Radio Links, ECC Report 260, 2017

i motsetning til DAB-kringkasting, er DVB-T mer sårbar for interferens og støy pga. av de relativt store datamengdene som overføres i kanalen.

4.4.1 Publikasjoner fra ITU

Den internasjonale telekommunikasjonsunionen (ITU) har de siste årene publisert flere rapporter og anbefalinger som tar for seg virkninger av vindturbiner på kringkasting av digital-TV. Disse fremgår av tabell 2.

| Kategori | Tittel | Publisert |
|-----------------------------------|---|------------------|
| Report ITU-R BT.2142-1 | The effect of the scattering of digital television signals from a wind turbine | 10.2010 |
| Recommendation ITU-R BT.1893-0 | Assessment of impairment caused to digital television reception by a wind turbine | 05.2011 |
| Report ITU-R BT.2142-2 | The effect of the scattering of digital television signals from wind turbines | 07.2015 |
| Recommendation ITU-R BT.1893-1 | Assessment of impairment caused to digital television reception by wind turbines | 10.2015 |

Tabell 2: Oversikt over et utvalg av rapporter og anbefalinger fra ITU vedrørende virkninger av vindturbiner på kringkasting av digital-TV.

Anbefalingene (recommendations) er i det hele basert på de foregående rapportene. Den første rapporten (ITU-R BT.2142-1) og den påfølgende anbefalingen (ITU-R BT.1893) tar for seg virkningen av spredning av TV-signaler fra rotorbladene til *én vindturbin* betraktet i et horisontalt todimensjonalt plan (xy-planet).

De påfølgende versjonene, ITU-R BT.2142 og ITU-R BT. 1893-1, tar også for seg sumvirkningen av *flere vindturbiner*. Versjonene tar i tillegg hensyn til at selve *turbintårnet* kan gi et større bidrag til signalspredningen enn turbinbladene. Til forskjell fra de foregående versjonene tas det hensyn til den tredimensjonale lokaliseringen av vindturbinene (xyz-planet) i forhold til sender- og mottakerantennene.

Rapport ITU-R 2142-2 består en australsk studie fra 2010 (Part A), en spansk studie fra 2010–2014 (Part B) og en italiensk studie fra 2014 (Part C). Den italienske studien er case-studie hvor metodikken beskrevet i Part B er benyttet. Disse studiene utgjør både det teoretiske og empiriske grunnlaget for ITUs anbefalinger gitt i ITU-R BT.1893-1.

Anbefaling ITU-R BT.1893-1 består av tre deler (Annex). I innledningen anbefaler ITU følgende:

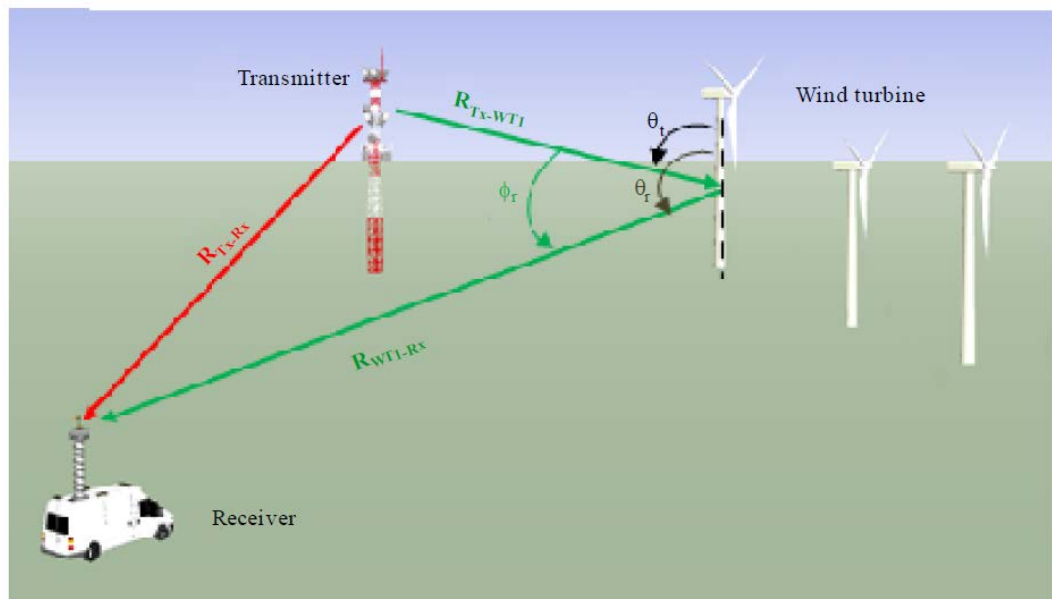
- *«that the method given in Annex 1 may be used to assess the potential interference from a single wind turbine to digital television reception;*
- *that the method given in Annex 2 may be used to obtain a channel model to characterize multipath propagation in the presence of multiple wind turbines in the UHF broadcasting band;*

- *that the method given in Annex 3 may be used to develop an assessment of the potential interference from a wind farm to digital television reception (DVB-T)»*

Annex 1 overensstemmer i det hele med beregningsmetodikken beskrevet i den australske studien gjengitt i Part A i rapport ITU-R 2142-2, mens Annex 2 og 3 i det hele er en oppsummering av beregningsmetodikken beskrevet i den spanske studien gjengitt i Part B i rapport ITU-R 2142-2.

Signalveier og tredimensjonal geometri

I ITU-R BT. 1893-1 Annex 2 presenteres et koordinatsystem i tre dimensjoner for å beskrive antallet mulige signalveier og den geometriske konfigurasjonen til henholdsvis senderantenne, vindturbin og mottakerantenne. For hvert mottakerpunkt må lengden på den direkte signalveien mellom sender og mottaker (R_{Tx-Rx}), signalveien mellom sender og vindturbin i (R_{Tx-WTi}), samt lengden på signalveien til det spredte signalet fra turbin i til mottakerpunktet (R_{WTi-Rx}) måles. På bakgrunn av disse avstandene kan man beregne den bistatiske³⁴ vinkelen i horisontalplanet, ϕ_r , den vertikale vinkelen mellom det innkommende signalet og vindturbinens vertikale plan målt ved halvparten av tårnhøyden θ_t , samt den vertikale vinkelen mellom det spredte signalet og turbinens vertikale plan målt ved halvparten av tårnhøyden θ_r . Avstander og vinkler fremgår av figur 12.



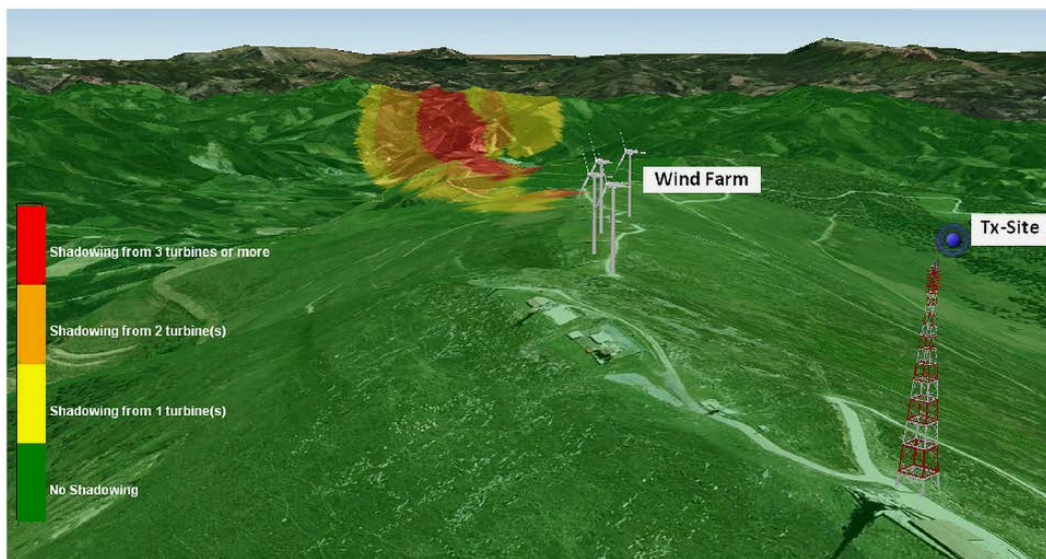
Figur 12: Prinsippskisse av geometrien i kanalmodellen i Annex 2 i ITU-R BT.1893-1.

4.4.2 Forward scattering – foroverrettet spredning av signalet

Forward scattering er et spredningsfenomen som kan oppstå mellom vindturbin og mottaker når senderantennen, vindturbinen og mottakerantennen er på tilnærmet på linje med hverandre. Forward scattering gir en skyggesone med redusert signalintensitet

³⁴ Begrepet *bistatisk* sikter til at radiobølgen går mellom to antenner, fra sender til mottaker. Dette i motsetning til *monostatisk*, hvor radiobølgen reflekteres tilbake til kilden, som i en *monostatisk* radar.

mellom vindturbinen og mottakeren pga. summeringen av det direkte signalet og det spredte signalet. Spredning fra roterende turbinblader kan også gi en hurtig variasjon i det spredte signalet. Ved beregning av forward scattering-sonen må man ta hensyn til rotorens orientering (yaw) og turbinbladenes vinkel i forhold til det innkommende signalet (pitch).³⁵ Figur 13 viser et eksempel på skyggesonen som oppstår pga. forward scattering når tre vindturbiner plasseres i nærheten av en senderantenne.



Figur 13: Eksempel på skyggeområder som dannes bak én eller flere vindturbiner pga. forward scattering.³⁶

ITU skriver følgende om forward scattering i ITU-R BT. 1893-1:

«in the forward scattering region of the wind turbines, where the transmit antenna, one or more turbines and the receive antenna are lined-up ($\pm 60^\circ$ behind the wind turbine), the DVB-T reception quality may not be affected though further work of analysis is needed in order to confirm this point, especially in the vicinity of 0° .»³⁷

Forward scattering-regionen er altså definert som en region $\pm 60^\circ$ bak vindturbinen. Ifølge ITU vil sannsynligvis ikke forward scattering påvirke DVB-T-mottaket, men det er en viss usikkerhet rundt hvorvidt forward scatter kan gi dårligere mottakerforhold i de tilfellene hvor senderantennen, vindturbinen og mottakerantennen står tilnærmet rett overfor hverandre på én og samme akse, «in the vicinity of 0° ». Dette tilsvarer $\phi_r \approx 180^\circ$ i henhold til figur 12.

I spanske studien i Part B i rapporten ITU-R 2142-2, som ligger til grunn for ITU-R BT. 1893-1, står følgende:

«The forward scattering region (the backscattering region is comprised within the interval $-120^\circ < \phi_r < 120^\circ$ so the forward scattering occurs in the region

³⁵ Impact analysis of wind farms on telecommunication services, I. Angulo et al. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014

³⁶ ibid

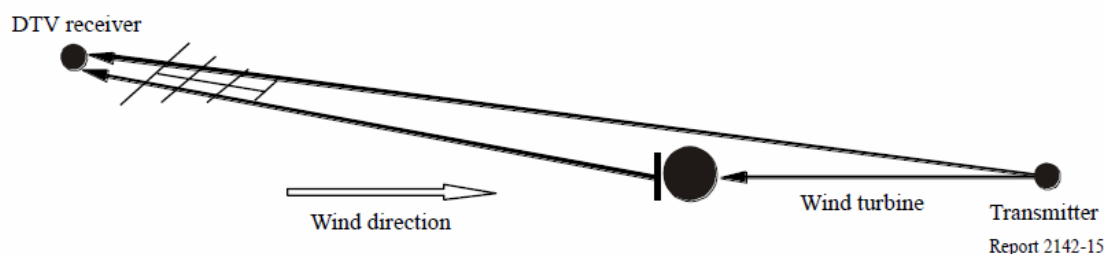
³⁷ Assessment of impairment caused to digital television reception by a wind turbines, Recommendation ITU-R BT.1893-1, ITU, s. 12, 2015

±60° behind the wind turbine) corresponds to locations where the transmit antenna one or more turbines and the receive antenna are lined-up. In these situations, the relative delays of the scattered signals tend to zero. In general, the forward scattering from a target is stronger than the backscattering, but is nearly out of phase with the incident field. Consequently, the forward scatter is generally subtracted from the incident field, thereby creating a shadow region of reduced intensity behind the target.»³⁸

Selv om forward scattering fra vindturbinene kan være sterkere enn backscattering, vil det spredte signalet være ute av fase med det direkte signalet (180° faseforskjøvet). Ifølge ITU gjør dette at signalet kanselleres rett bak vindturbinen hvor det dannes en skyggesone med lav signalstyrke. Interferensen fra flere signalveier, pga. av spredning fra flere vindturbiner (multipathing), er imidlertid liten, noe som ikke krever et høyere C/N-forhold for feilfritt mottak av TV-signalene:

«Therefore, for all the different situations measured, including several orientations of the wind turbines with respect to the wind direction (and therefore with respect to the transmit antenna-receive antenna path), the effect of the forward scattering seems to be negligible.»³⁹

Den australske studien i Part A i ITU-R BT.2142-2 påpeker at styrken mellom det direkte signalet og det spredte signalene ved et gitt mottakerpunkt vil være svært avhengig av direktiviteten til mottakerantennen, dvs. hvordan antennen er orientert i forhold til det direkte signalet og spredte signalveier fra vindturbinen(-e). Gitt en direktivitet på 12–20 dB i mottakerantennen, vil ikke TV-mottaket bli vesentlig forstyrret selv om vindturbinen står nær siktelinjen til det direkte signalet. Dette fordi et foroverrettet spredt signal er betydelig svakere enn det direkte signalet.⁴⁰ En slik situasjon er vist i figur 14.



Figur 14: Situasjon med forward scattering hvor det spredte, foroverrettede signalet i liten grad vil forstyrre TV-mottaket, gitt at direktiviteten på mottakerantennen er på 12–20 dB og det er fri sikt mellom sender og mottaker.⁴¹

³⁸ The effect of the scattering of digital television signals from wind turbines, Report ITU-R BT.2142-2, ITU, s. 86, 2015

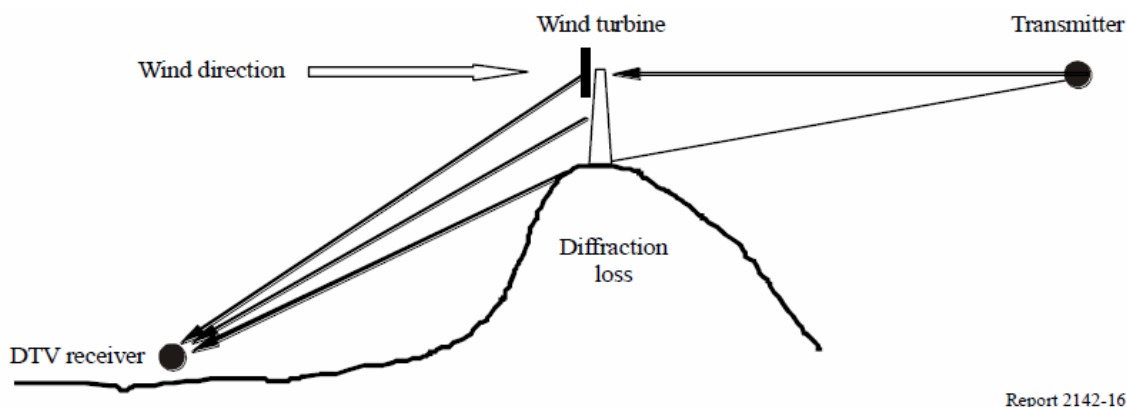
³⁹ The effect of the scattering of digital television signals from wind turbines, Report ITU-R BT.2142-2, ITU, s. 89, 2015

⁴⁰ *ibid*, s. 20

⁴¹ The effect of the scattering of digital television signals from wind turbines, Report ITU-R BT.2142-2, ITU, s. 21, 2015

4.4.3 Ikke fri sikt mellom sender og mottaker

En mer problematisk variant av forward scattering kan inntreffe dersom det ikke er fri sikt mellom sender og mottaker i utgangspunktet. Når det ikke er fri sikt, vil signalet som når frem til mottakerantennen være svakere enn tilfellet hadde vært ved fri sikt. Dersom en vindturbin plasseres mellom sender og mottaker slik at det er fri sikt mellom vindturbin og sender, vil signalstyrken kunne reduseres ytterligere. Ifølge den australske studien i Annex 1 i ITU-R BT.2142-2 kan ofte ikke direktiviteten til mottakerantennen bidra med noen beskyttelse mot eventuelle spredte signaler fra vindturbinen i slike tilfeller. Dette kan føre til en vesentlig forstyrrelse av TV-mottaket: «*In conclusion, in the backscatter region there is little effect from scattering from wind turbines on the performance of digital television, but in the forward scattering region, if there is significant blockage of the direct signal, significant interference to the reception of the digital television signal is possible.*»⁴²



Figur 15: Eksempel på situasjon hvor det ikke er fri sikt mellom sender og mottaker. Vindturbinen skygger for mulige direkte signalveier mellom sender og mottaker, og direktiviteten til mottakerantennen bidrar ikke med noen beskyttelse mot spredte signaler forårsaket av vindturbinen.⁴³

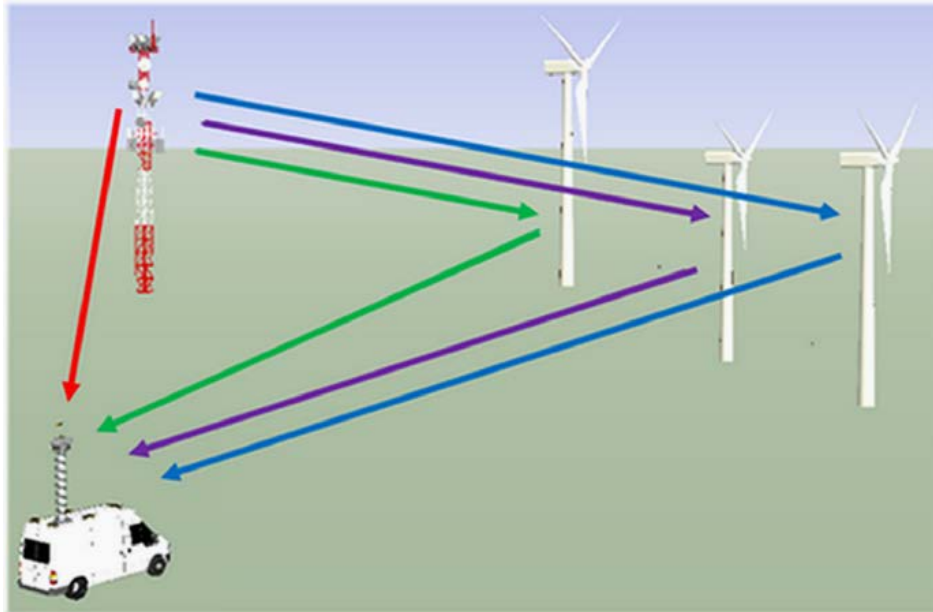
4.4.4 Backscattering – bakoverrettet spredning av signalet

Backscattering eller bakoverrettet spredning oppstår når vindturbinen sender signalet tilbake i retning senderantennen. Ifølge ITU kan backscattering-regionen defineres som området avgrenset av $-120^\circ < \varphi_r < 120^\circ$ i henhold til figur 12.

De spredte signalene gir opphav til en serie kopier av det opprinnelige signalet som er faseforskjøvet og dempet sammenlignet med det direkte signalet. Kanalen i et gitt mottakerpunkt kan karakteriseres som en såkalt tidsvariabel *multipath-kanal* pga. at de spredte signalene summeres med hovedsignalet. Figur 16 viser hvordan *multipathing* oppstår pga. backscattering.

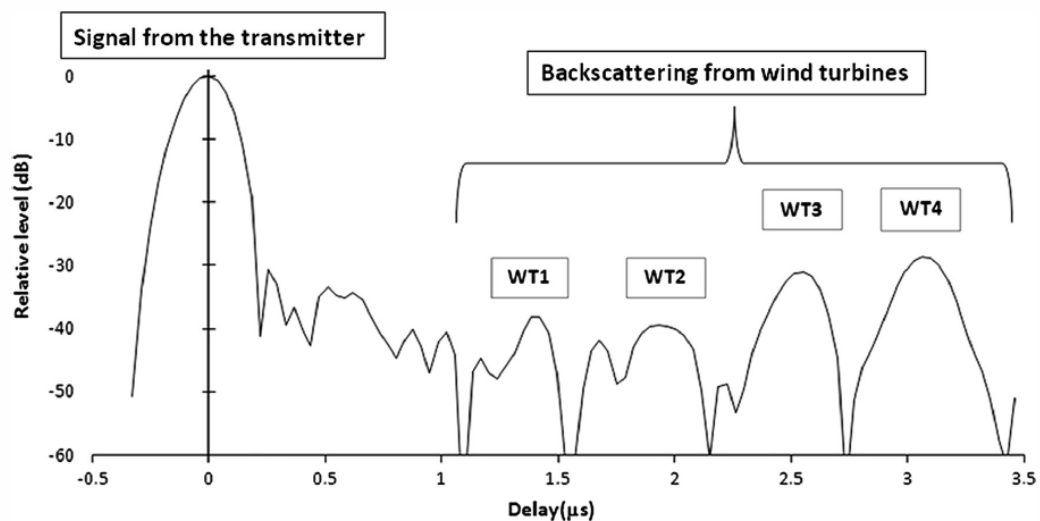
⁴² The effect of the scattering of digital television signals from wind turbines, Report ITU-R BT.2142-2, ITU, s. 49, 2015

⁴³ Ibid s. 21



Figur 16: Prinsippskisse av signalspredning i backscattering-sonen pga. tre vindturbiner. Refleksjonen gir tre ulike spredningssignaler (grønn, lilla og blå piler) som er tidsforskjøvet og dermed faseforskjøvet relativt til hovedsignalet (rød pil) i mottakerpunktet (bil med antenne).⁴⁴

De spredte signalene får en lengre vei frem til mottakerantennen enn det direkte signalet, og vil dermed nå frem til antennen på et litt senere tidspunkt avhengig av hvor vindturbinen står i forhold til senderantennen og mottakerantennen. Figur 17 viser et eksempel fra feltmålinger hvor vi kan se hvordan fire vindturbiner gir opphav til backscattering og tidsforskyvning av signalet i kanalen.



Figur 17: Eksempel på en såkalt Channel Impulse Response ved tilstedeværelse av et vindkraftverk nær en senderantenne. Den relative amplituden (styrken) til hver komponent i multipath-kanalen er plottet som en funksjon av den relative tidsforsinkelsen i signalforplantningen.⁴⁵

⁴⁴ Impact analysis of wind farms on telecommunication services», I. Angulo et al. Renewable and Sustainable Energy Reviews, fig. 15, 2014

⁴⁵ Impact analysis of wind farms on telecommunication services, I. Angulo et al. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014

Den relative tidsforsinkelsen, τ_i , mellom hovedsignalet og de spredte signalene fra en gitt vindturbin (i) kan beregnes med følgende formel:

$$\tau_i = \frac{R_{Tx-WTi} + R_{WTi-Rx} - R_{Tx-Rx}}{c} \text{ [sekund]}$$

hvor c er lyshastigheten.

Kanalmodellen

I ITU-R BT. 1893-1 beskrives en kanalmodell for modellering og estimering av interferens fra flere vindturbiner. Med kanal menes summen av signalveier mellom sender og mottakerpunktet. Kanalen har en gitt bølgelengde og arbeidsfrekvens innenfor UHF-båndet. Kanalmodellen er uavhengig av TV-standard, og kan benyttes for å estimere mulig interferens for både analog- og digital-TV som formidles i UHF-båndet. Modellen er utviklet av forskere ved University of Basque Country.

Kanalmodellen krever inputdataene som fremgår av tabell 3.

| | Type | Description |
|-----------------------|---------------------------------------|--|
| For each wind turbine | Position | Geographical coordinates, terrain height (m) |
| | Mast dimensions | Vertical dimension of the mast (m) Lower and upper diameters of the mast (m); uppermost diameter of the mast (just below the nacelle) and the diameter of the base of the mast (at ground level). |
| | Blades length l | Longitudinal dimension of the blades (m) |
| | Maximum rotation rate, ω_{max} | Maximum rotation rate of the blades (rpm) |
| Transmitter | Position | Geographical coordinates, including terrain height (m) |
| | Transmitter antenna pattern | Transmitter antenna radiation pattern |
| | Antenna height | Above ground level height of the geometric centre of the antenna within the telecommunication tower where it is allocated (m) |
| | Frequency, f | Working frequency within the UHF band (Hz) |
| | Power, P_t | Maximum transmitter power (W) |
| Receiver | Position | Geographical coordinates, including terrain height (m) |
| | Receiver antenna pattern | Receiver antenna pattern |
| | Receiving antenna height | Height above ground level (m) |

Tabell 3: Inputdata i kanalmodellen gitt i Annex 2 i ITU-R BT.1893-1.

Den direkte signalveien mellom sender og mottaker settes som referanse med gjennomsnittlig amplitude lik 0 dB. Den relative amplituden til hver signalvei, som varierer med tiden, er videre gitt som forholdet mellom effekten til det spredte signalet, $P_{Tx-WTi-Rx}$, og det direkte signalet, P_{Tx-Rx} . Sendereffekten til det direkte signalet er en funksjon av avstanden (R_{Tx-Rx}), den maksimale senderstyrken, antennevinningen til senderantennen i retning av mottakerantenne (G_{Tx-Rx}), antennevinningen til

mottakerantennen (G_{Rx-Tx}), bølgelengden til radiobølgen (λ), og bølgeførplantingstapene (L_{prop}):

$$P_{Tx-Rx} = \frac{P_t G_{Tx-Rx} G_{Rx-Tx} \lambda^2 L_{prop}}{(4\pi)^2 R_{Tx-Rx}^2}$$

For hver turbin beregnes så styrken til det spredte signalet ved mottakerpunktet, $P_{Tx-WTi-Rx}$:

$$P_{Tx-WTi-Rx} = \frac{P_t G_{Tx-WTi} G_{Rx-WTi} \lambda^2 \sigma_i}{(4\pi)^3 R_{Tx-WTi}^2 R_{WTi-Rx}^2}$$

Ifølge ITU er det turbintårnet som bidrar mest til eventuell signalspredning. Derfor benyttes *radartversnittet*, σ_i , til turbintårnet i ligningen over. Radartversnittet kan estimeres ved følgende ligning:

$$\sigma_i(\phi_r, \theta_t) = kr L_{nf}^2 \sqrt{\frac{1 + \cos \phi_r}{2}} \sin \theta_t$$

hvor k er bølgetallet ($k = 2\pi/\lambda$) og r er turbintårnets radius. L_{nf} er avstanden med hensyn til nær-felteffekter av det spredte signalet, og er definert som:

$$L_{nf} = \sqrt{\frac{\lambda R_{Tx-WTi}}{2}}$$

ITU presiserer at modellen kun er gyldig i tilfeller med backscattering, dvs. $-120^\circ < \phi_r < 120^\circ$.

Ut fra formelverket ovenfor kan man så finne den gjennomsnittlige amplituden, P_i , for hver signalvei, i . Denne er gitt i desibel som:

$$P_i = 10 \log \left(\frac{P_{Tx-WTi-Rx}}{P_{Tx-Rx}} \right)$$

Ifølge ITU kan signalveier som har lavere effektforhold enn -45 dB utelukkes fra analysen.

Multipath-energi og C/N-forhold

Den mulige påvirkningen kan uttrykkes i form av en terskelverdi for carrier-to-noise-forholdet (C/N) som kreves for å ha en såkalt *quasi error free*-betingelse i radiokanalen, også beskrevet i avsnitt 3.3.3.

For å kunne karakterisere multipath-kanalen i backscattering-regionen, definerer ITU to parametere: *multipath-energi* (P_{mult}) og *gjennomsnittlig standardavvik* (std_{mean}). Parameterne kan beregnes fra de estimerte verdiene utledet fra kanalmodellen.

Multipath-energien til en gitt kanal defineres som summen av de normaliserte gjennomsnittene av mottatt signaleffekt spredt fra hver enkelt vindturbin, og kan uttrykkes som:⁴⁶

$$P_{mult} = \sum_{i=1}^N \text{mean}(P(\tau_i, t))$$

hvor:

- $i = 1$ og $i = N$ er henholdsvis den første og siste signalveien som når frem til mottakerpunktet som har en signalstyrke høyere enn -45 dB sammenlignet med det direkte signalet
- $P(\tau_i, t)$ er den tidsvarierende signaleffekten til den i 'te signalveien

Det gjennomsnittlige standardavviket til kanalen beregnes på bakgrunn av det gjennomsnittlige standardavviket til samtlige tidsvarierende signaler som spres fra hver vindturbin.

Standardavviket gir et mål på tidsvariasjonen i kanalen og er gitt som:

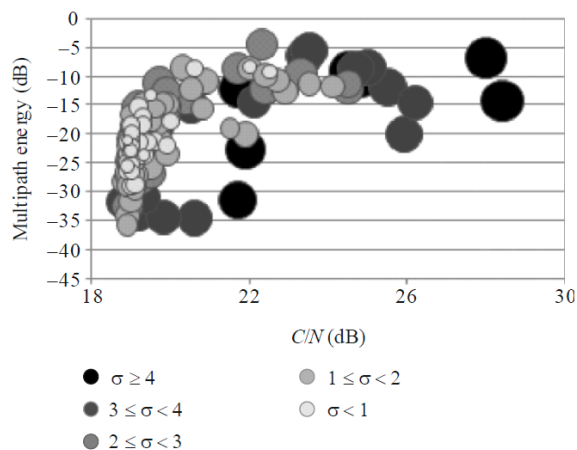
$$std_{mean} = \frac{\sum_{i=1}^N std_i}{N}$$

hvor

- $i = 1$ og $i = N$ er henholdsvis den første og siste signalveien som når frem til mottakerpunktet som har en signalstyrke høyere enn -45 dB sammenlignet med det direkte signalet
- std_i er standardavviket til den tidsvarierende normaliserte mottatte effekten fra signalvei i

Når multipath-energien og det tilhørende standardavviket er beregnet for kanalen, kan disse verdiene sammenstilles med terskelverdier for nødvendig C/N-forhold som fremgår av figur 18.⁴⁷ Størrelsen på sirklene er bestemt av verdien av standardavviket til

Backscattering region. Required C/N ratios as a function of the characteristics of the multipath channel



Figur 18: Minimum C/N-forhold for en rekke kanaler som funksjon multipath-energien til hver kanal. Standardavviket til hver kanal avgjør størrelsen og fargen på sirklene. Jo større standardavvik, desto større sirkel.

⁴⁶ Assessment of impairment caused to digital television reception by a wind turbines, Recommendation ITU-R BT.1893-1, ITU, 2015

⁴⁷ ITU oppgir at terskelverdiene er funnet ved empiriske målinger utført med følgende DVB-T konfigurasjon: 8k, 64-QAM-modulasjon og 2/3 FEC koderate.

kanalen. En statisk vindturbin, dvs. når turbinen ikke roterer, gir et lavt standardavvik, mens en roterende vindturbin bidrar til høyere standardavvik.

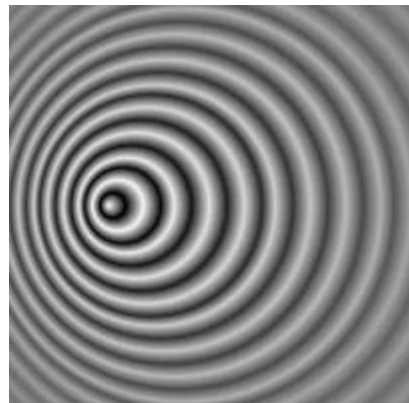
Et signifikant resultat fra disse målingene er at kanaler med multipath-energi over -15 dB må ha et C/N-forhold høyere enn 19,3 dB for å oppnå en *quasi error free*-betingelse, selv med små standardavvik, dvs. at turbinbladene *ikke* roterer.

ITU skriver at i de fleste situasjoner hvor man har analysert påvirkningen fra vindturbiner på DVB-T-mottak, så har C/N-forholdet vært likt det man kan forvente i omgivelser uten vindkraftverk i nærheten.

4.4.5 Dopplereffekt

Ved spredning av signalet mot turbinbladene kan det oppstå en dopplereffekt pga. at bladene roterer med en rotasjonsfrekvensen ω (radianer/sekund).

Dopplereffekt beskriver den tilsynelatende endringen i frekvens og bølgelengde av en bølge som registreres av en observatør som beveger seg relativt til bølgens kilde. Fenomenet kan ses i bilde 3.⁴⁸ Her beveger bølgekilden seg mot venstre. Dette gjør at bølgelengden blir kortere og frekvensen høyere for bølgene til venstre, mens bak bølgekilden blir bølgelengde lengre og frekvensen lavere.



Bilde 3: Eksempel på dopplereffekt.

Når en radiobølge treffer og reflekteres fra roterende turbinblad, kan dopplereffekten gjøre at frekvensen til radiobølgen endres noe sammenlignet med frekvensen til den innkommende radiobølgen.

For å beskrive dette fenomenet foreslår ITU å karakterisere dopplerspektrumet som kan oppstå i hvert enkelt mottakerpunkt. Dopplerspektrumet kan beregnes ved hjelp av den såkalte maksimale bistatiske dopplerfrekvensen f_{B_max} , som avhenger av den relative posisjonen til senderantennen, vindturbinen og mottakerantennen (ϕ_r), den maksimale rotasjonsfrekvensen til vindturbinen (ω_{max}), bølgelengden og lengden, l , til turbinbladene:

$$f_{B_max} = \frac{2\omega_{max}l}{\lambda} \cos(\phi_r / 2)$$

Av ligningen ser vi at f_{B_max} har en maksimumsverdi når $\cos(\phi_r/2) = 1$, dvs. når $\phi_r = 0$. Dette er når mottakerpunktet er lokalisert langs samme akse som det innkommende signalet.

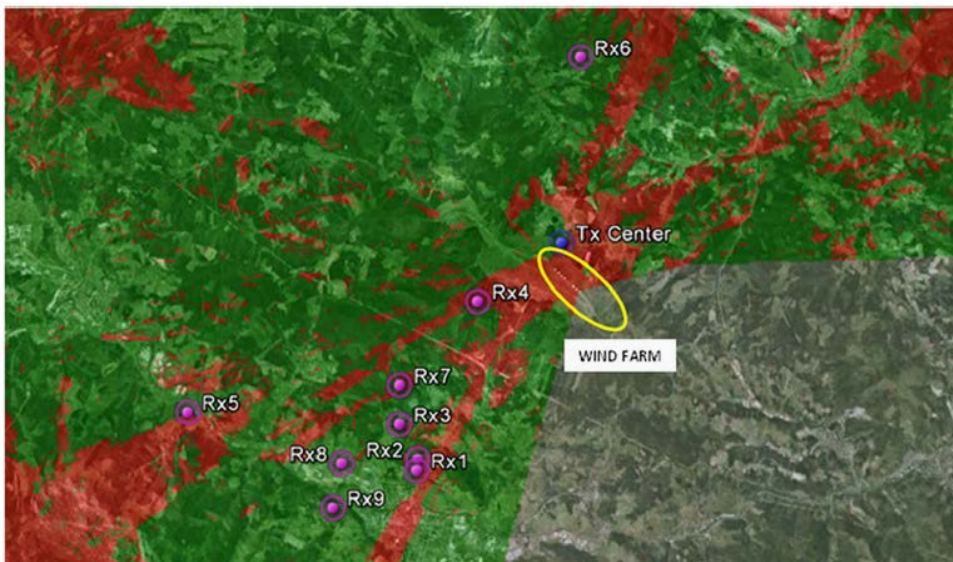
For å ta høyde for alle mulige vindforhold, dvs. alle mulige orienteringer av turbinen i forhold til et gitt mottakerpunkt, foreslår ITU å benytte tre ulike effektspektrum (Power Spectral Densities) for å karakterisere graden av dopplereffekt som kan gjøre seg

⁴⁸ <https://no.wikipedia.org/wiki/Dopplereffekt> (nedlastet: 22.02.2018)

gjeldende. Effektspektrene beskriver fordelingen av frekvenskomponentene i det spredte signalet som en funksjon dopplerfrekvensen.⁴⁹

Følsomhet for dopplereffekter er avhengig av hvilket modulasjonsformat som benyttes. DVB-T med 2k-system regnes som mer robust mot dopplereffekter enn DVB-T med 8k-system.⁵⁰

4.5 Programvareverktøy



Figur 19 Eksempel på dekningskart etter analyse i programvareverktøyet Wi^2 .⁵¹

Forskere ved *University of Basque Country* har utviklet et programvareverktøy kalt Wi^2 for analyse av mulig påvirkning fra vindturbiner på en rekke telekommunikasjonstjenester, deriblant radiolinjer, digitalt bakkenett for TV og radarsystemer. Verktøyet er beskrevet i en artikkel publisert i IEEE i 2011.⁵² Beregningene er basert på den spesifikke konfigurasjonen av et gitt vindkraftverk og sender- og mottakerantenner i en terrengdatabase som inneholder altimetridata med høy oppløsning. Brukergrensesnittet gjør det mulig å vise analyseresultanene i Google Earth som fargede områder og volumer ut i fra kriteriene som er satt.

I figur 19 ser vi et eksempel på hvordan Wi^2 er benyttet for å estimere dekningskartet til en DVB-T-sender i nærheten av et vindkraftverk. De røde sonene indikerer at C/N-forholdet beregnet i henhold til ITU-anbefalingen er under terskelverdien for feilfritt mottak, mens de grønne sonene indikerer at C/N-forholdet er akseptabelt.

⁴⁹ Assessment of impairment caused to digital television reception by a wind turbines, Recommendation ITU-R BT.1893-1, ITU, s. 11, 2015

⁵⁰ Radiostøy fra vindmøller, SINTEF Digital, 2017

⁵¹ Impact analysis of wind farms on telecommunication services, I. Angulo et al. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014

⁵² Software tool for the analysis of potential impact of wind farms on radiocommunication services, D. de la Vega et al., IEEE, 2011

Det engelske selskapet *Transfinite Systems Ltd* har utviklet en programvare for å estimere interferens fra vindturbiner på radiolinjer. Det teoretiske beregningsgrunnlaget for programvaren er metodikken beskrevet av Ofcom (2002) som ble gjennomgått ovenfor. Figur 20 viser eksempel på beregninger i programvaren av henholdsvis nærfeltsonen (blå sirkel), fresnelsonen (rødt område) og refleksjon/spredningssonen (gult område).⁵³



Figur 20: Eksempel på visualisering av eksklusjonssoner i programvaren til Transfinite Systems.

4.6 Avbøtende tiltak

4.6.1 Radiolinjer

For å unngå forstyrrelser fra vindturbiner på en radiolinje, bør beregningsmetodikken beskrevet i Ofcom (2002/2008) og ECC (2017) benyttes. På denne måten kan man estimere de nødvendige klareringssonene for å unngå nærfelteffekter, diffraksjon og refleksjon/spredning. Lokalisering av vindturbinene bør planlegges slik at de ikke berører noen av disse klareringssonene. Dersom dette ikke lar seg gjøre, er alternativet å justere siktelinjen til radiolinjen ved å flytte antennene.

4.6.2 Digitalt bakkenett for TV

Dersom det er grunnlag for å anta at planlagte vindturbiner vil forstyrre mottaket av TV-signaler, kan flere avbøtende tiltak være aktuelle.

Forbedring av direktivitet på mottakerantenner

Et rimelig og relativt enkelt avbøtende tiltak er å forbedre direktiviteten på antennen i mottakerpunktene som forstyrres av utbyggingen. På denne måten kan det direkte signalet fra senderantennen forsterkes og de spredte signalene reduseres. Dette kan gjøres ved å skifte ut eksisterende mottakerantenner med antenner med bedre direktivitet, eller ved å justere høyde og retningsorientering på eksisterende antenner.

Ifølge Angulo et al. (2014) er forbedring av antennedirektivitet et enkelt og billig tiltak i de tilfellene der backscattering er et problem.⁵⁴ Ved forward scattering er dette imidlertid ikke alltid en tilstrekkelig løsning:

«(...) this is not always enough to avoid reception problems, and in any case it is not valid in the forward scattering zone, where the wind turbines are aligned and positioned between the transmitter and the receiver. In case of affection to a broadcasting system, a possible solution will be the installation of a new television transmitter in a transmitter site that provides good coverage, and located far from the windfarm, in order to avoid scattered signals of high

⁵³ <https://tslstorage.blob.core.windows.net/papers/WindFarmsandPtPLinks.pdf> (nedlastet: 15.02.2018).

⁵⁴ Impact analysis of wind farms on telecommunication services», I. Angulo et al. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014

amplitude. The replacement of the off-air reception with an alternative such as satellite or cable can be also considered.»⁵⁵

Noen ganger, og spesielt ved vesentlig forward scattering, er det med andre ord ikke tilstrekkelig med en god antenne på mottakersiden.

NTV understreker at de mottakerne som ofte vil være mest utsatt for forstyrrelser, er mottakere som allerede har installert antenner med maksimal mottakerkapasitet fordi de er bosatt i et område med svak dekning i utgangspunktet.⁵⁶

Overføring av berørte mottakere til andre TV-plattformer

Et annet brukerrettet tiltak er å overføre de berørte mottakerne til andre TV-plattformer, som satellitt- eller kabel-TV. Overføring til kabelbaserte plattformer forutsetter imidlertid at den nødvendige tekniske infrastrukturen er tilgjengelig for de mottakerpunktene som berøres. For mottakere som befinner seg i satellittskygge er naturlig nok ikke overføring til satellitt-TV et alternativ.

NTV påpeker at et slikt tiltak ikke ivaretar hensynet til det digitale bakkenettet, beredskapshensyn, allmennkringkastingshensyn, eller de kommersielle interessene som finansierer det digitale bakkenettet. Dersom dette skal vurderes som et avbøtende tiltak, mener NTV at relevante myndigheter må samtykke til at beredskaps- og allmennkringkastingshensyn kan settes til side i disse tilfellene. NTV mener også at utbygger må kompensere NTV/Riks-TV økonomisk for bortfall av kunder. NTV understreker at dette uansett kun bør vurderes i de tilfellene hvor et svært begrenset antall potensielle mottakere berøres og hvor kostnadene ved å opprettholde dekningsgraden for disse blir uforholdsmessig stor sammenlignet med det økonomiske tapet som påføres NTV/Riks-TV.⁵⁷

Etablering av nye sendestasjoner

Etablering av nye sendere for å opprettholde samme dekningsgrad som før utbyggingen er det mest omfattende avbøtende tiltaket. En ny sender forutsetter tilgang til nødvendig grunn (enten gjennom kjøp, leie eller ekspropriasjon) og strømforsyning. Dersom det ikke er anleggsvei til den aktuelle lokaliteten, må senderutstyret fraktes ut på annen måte. Etablering av et nytt senderpunkt er både kostbart og en potensielt tidkrevende prosess som krever god planlegging.⁵⁸

Mobil beredskapssender

NTV har i flere nyere konsesjonssaker foreslått mobil beredskapssender som et midlertidig avbøtende tiltak i de tilfellene hvor det ikke er klart om et vindkraftverk vil påvirke dekningsgraden i et område. I de tilfellene hvor det er grunnlag for anta at vindkraftverket kan påvirke TV-signalene før utbyggingen, mener NTV at utbygger må anskaffe og bekoste en mobil beredskapssender som kan benyttes dersom det viser seg at TV-mottaket blir vesentlig påvirket pga. utbyggingen. Dette kan betraktes som et «føre

⁵⁵ Impact analysis of wind farms on telecommunication services», I. Angulo et al. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014

⁵⁶ Appendiks 9.4

⁵⁷ ibid

⁵⁸ ibid

var»-tiltak som kan benyttes der det oppstår forstyrrelser, men permanent løsning ikke er endelig avklart.

Vindturbiner med stealth-teknologi

Graden av refleksjon og spredning fra en vindturbin er også avhengig av materialene den er laget av. Turbinblader laget av glassfiber reflekterer radiobølger i vesentlig mindre grad enn hva metallblader gjør. Men fordi turbinbladene normalt er bygget med en metallisk lynavleder, kan bladene likevel reflektere radiobølger godt. Det er imidlertid utviklet turbinblad med stealth-teknologi som gjør bladene mindre synlige på radar. Noen vindturbinselskaper som danske Vestas, det franske EDF Energies Nouvelles og QinetiQ produserer vindturbiner med slik teknologi.⁵⁹ Det er imidlertid fremdeles usikkert i hvilken grad slike turbinblad vil kunne forebygge interferens mellom vindturbiner og digitale TV-signaler.

4.7 Kunnskapsbehov

Som vi har sett i dette kapitlet er det publisert en del forskning internasjonalt om virkninger av vindkraft på digitalt bakkenett for TV og radiolinjer. På bakgrunn av utvalgte forskningsresultater har den internasjonale telekommunikasjonsunionen (ITU) publisert anbefalinger til hvordan virkninger av vindturbiner på det digitale bakkenettet kan modelleres, beregnes og predikeres. Anbefalingene inneholder imidlertid relativt komplekse beregningsmetoder som kan være utfordrende å anvende i konkrete vindkraftprosjekter i Norge.

ITUs anbefalinger er ikke konsekvent anvendt i vurdering virkninger for digitalt bakkenett i norske vindkraftprosjekter. NTV og Norkring henviser generelt til ITUs anbefalinger i sine høringsuttalelser i vindkraftsaker, men etter hva NVE kan se er det ikke gjort konkrete beregninger iht. ITUs anbefalte beregningsmetoder i ITU-R BT.1893-1. Det er heller ikke eksempler på at tiltakshaver i har gjort slike beregninger i forbindelse med konsekvensutredninger.

Det er en høy konsentrasjon av ekomsendere i hele landet, og det er sannsynlig at dette vil bli et tema i fremtidige vindkraftprosjekter. Et bedre kunnskapsgrunnlag om temaet kan gi NVE et bedre beslutningsgrunnlag i sin konsesjonsbehandling. Det kan også gi NVE bedre forutsetninger for å stille krav til mulige avbøtende tiltak i konsesjonsvedtak, og gi økt forutsigbarhet for både tiltakshaver og de berørte interessentene.

Kunnskapsbehovet kan oppsummeres i følgende punkter:

- Behov for ytterligere vurdering av forskningslitteratur som er publisert internasjonalt om temaet
- Behov for gjennomføring av empiriske målinger i Norge av vindkraftverks påvirkning på ekom-tjenester, og da spesielt det digitale bakkenettet for TV. Slike målinger kan brukes til å verifisere/falsifisere de teoretiske modellene og beregningsmetodene som fremgår av litteraturen, samt gi et erfaringsgrunnlag som kan brukes i lignende vindkraftsaker

⁵⁹ Radiostøy fra vindmøller, SINTEF Digital, 2017

- Vurdere mulighetene for utvikling og bruk av GIS-baserte beregningsverktøy for modellering av virkninger av vindturbiner på ekom-signaler

Kunnskapsbehovet vi har identifisert bør ikke betraktes som uttømmende. Det kan også være andre problemstillinger som er relevante for NVEs konsesjonsbehandling.

5 Radiokommunikasjon og NVEs konsesjonsbehandling

5.1 Konsekvensutredning og konsesjonsvilkår

Alle vindkraftprosjekter der installert effekt vil overstige 10 MW skal meldes etter forskrift om konsekvensutredninger etter plan- og bygningsloven. En melding er en tidlig varsling av et planlagt prosjekt. Meldingen skal bidra til berørte parter informasjon om prosjektet, samtidig som disse får anledning til å komme med innspill. Etter at meldingen har vært på høring, fastsetter NVE et konsekvensutredningsprogram (KU-program). Tiltakshaver er ansvarlig for at de tekniske og faglige utredningene som er fastsatt i programmet blir gjennomført. I de sakene hvor meldingen eller høringen har avdekket mulige konsekvenser for radiokommunikasjon, har NVE inkludert følgende utredningskrav i KU-programmet:

«Det skal vurderes om tiltaket kan påvirke mottakerforhold for TV- og radiosignaler hos nærliggende bebyggelse. [Aktuelle aktører] skal kontaktes for innsamling av informasjon vedrørende mulige virkninger for mottaksforhold for radio- og TV-signaler».

Etter at konsekvensutredningen er gjennomført, må tiltakshaver utarbeide en søknad om konsesjon for vindkraftverket. Søknaden skal inneholde en nærmere beskrivelse av prosjektet og de resultatene konsekvensutredningen har avdekket. Søknaden sendes på høring til aktuelle hørings- og orienteringsinstanser.

Dersom NVE gir konsesjon til et vindkraftverk som kan påvirke TV- og radiosignaler, har NVE i konsesjonsvedtaket inkludert et vilkår om «TV- og radiosignaler», som har til hensikt å ivareta hensynet til disse tjenestene. Vilkåret i anleggskonsesjonen lyder som følger:

«Dersom vindkraftverket medfører redusert kvalitet på radio- og TV-signaler for mottakere i nærområdet skal konsesjonæren i samråd med [berørte aktører] iverksette nødvendige tiltak. Nødvendige tiltak skal dokumenteres og forelegges NVE innen [anleggsstart/idriftsettelse]. NVE kan kreve tredjeparts verifikasjon av hva som er nødvendige tiltak.»

Vilkåret er tydelig på at utbygger (konsesjonæren) er pliktig å til å iverksette nødvendige tiltak dersom mottakere i nærområdet blir berørt. Hvilke type tiltak som skal gjennomføres, bestemmes av utbygger i samråd med berørte aktører som f.eks. NTV eller Norkring. Som det fremgår av vilkåret, kan NVE kreve at en kvalifisert tredjepart verifiserer hva som er nødvendige, avbøtende tiltak. Det er utbygger som har ansvaret for å gjennomføre tiltakene. I noen konsesjonssaker har NVE benyttet «innen idriftsettelse» i stedet for «innen anleggsstart» i vilkåret.

5.2 Virkninger for radiolinjer

I de tilfellene hvor vindkraftverket kan være til hinder for radiolinjeforbindelser, er det relativt enkelt å beregne klareringssonene før utbyggingen i henhold til metoden beskrevet over i kapittel 4.1, 4.2 og 4.3. Dette gjør at tiltakshaver kan unngå vesentlige virkninger for radiolinjer ved å justere plassering av vindturbinene under prosjekteringen av anlegget og i samråd med berørt aktør. Det er NVEs erfaring at eventuelle negative virkninger for radiolinjer i de fleste tilfeller kan unngås ved at utbygger gjør nødvendige tilpasninger i prosjekteringen av vindkraftanleggene.

5.3 Virkninger for digitalt bakkenett for TV

Når det gjelder digitalt bakkenett for TV, har det i enkelte konsesjonssaker vært problemer med praktiseringen av konsesjonsvilkåret om «TV- og radiosignaler». I enkelte saker har det oppstått en uenighet mellom NTV/Norkring og vindkraftutbyggere om hva som menes med «nødvendige tiltak». Uenigheten består blant annet i om hvorvidt de avbøtende tiltakene skal rette seg mot brukerne av TV-tjenestene, eller om tiltakene skal ha som formål å opprettholde samme dekningsgrad i bakkenettet som før vindkraftutbyggingen. Dette er sist eksemplifisert i NTVs klage av 09.01.2018 på NVEs godkjenning av miljø-, transport- og anleggsplanen (MTA-plan) av 20.12.2017 for Bjerkreim vindkraftverk i Bjerkreim kommune i Rogaland fylke.⁶⁰

I det videre vil vi først redegjøre for hva NVE hittil har lagt til grunn i vår vurdering av virkninger for det digitale bakkenettet i vindkraftsaker. Deretter gjengis noen av NTVs synspunkter på NVEs praksis i slike saker. Dette er i hovedsak basert på tilbakemeldingen fra NTV av 03.09.2018 som finnes i appendiks 9.4.

5.3.1 NVEs vurdering av digitalt bakkenett for TV i konsesjonsbehandlingen

Beregning av virkninger for bakkenettet

I flere konsesjonssaker har det vært til dels stor usikkerhet rundt hvor store forstyrrelser vindkraftverket faktisk vil forårsake. Dette kommer til dels av at det er utfordrende å gjøre nøyaktige beregninger av forstyrrelsene før utbyggingen, samtidig som erfaringsgrunnlaget er mangelfullt. Dermed har det til nå vært vanskelig å dokumentere nødvendige tiltak i henhold til vilkåret. NVE har til nå ikke krevd tredjeparts verifikasjon av hva som er nødvendige tiltak.

Dersom det ikke lar seg gjøre å legge ITUs anbefalinger for beregningsmetode til grunn, mener NVE at konkrete målinger av dekningsgraden før og etter utbyggingen er den mest hensiktsmessige måten å dokumentere hvor store virkningene faktisk blir. Dette kan kombineres med informasjon til husstandene i nærområdet slik at TV-brukere som opplever dårligere mottakerforhold etter utbyggingen kan melde ifra om dette.

NVE mener det er viktig å videreutvikle beregningsverktøy som i større grad gjør det mulig å forutsi hvor store virkningene for TV-signalene blir. Beregningsmetoden som legges til grunn bør baseres på ITUs anbefalinger. Vi så et eksempel på et slikt beregningsverktøy i kapittel 4.5. En utfordring med beregningsmetoden er at den krever

⁶⁰ For flere detaljer om saken henvises det til NVEs oversendelse av klage til OED (NVE ref. 201603097-93), samt OEDs vedtak i klagesaken (201603097-105).

nøyaktig lokalisering av samtlige vindturbiner i kraftverket, noe som ofte ikke avklares før under detaljprosjektering av anlegget.

Avbøtende tiltak og forholdsmessighet

Etter NVEs vurdering må avbøtende tiltak tilpasses de faktiske virkningene av vindkraftverket. Så langt har det ikke vært grunnlag for å anvende et «føre var»-prinsipp i fastsettelsen av avbøtende tiltak for bakkenettet. NVE mener «føre var»-prinsippet kun skal anvendes i de tilfellene hvor det er risiko for at det skjer en uakseptabel, uopprettelig skade som følge av utbyggingen, og som kan unngås med avbøtende tiltak. Her må sannsynligheten for skade veies opp mot konsekvensene av skaden. NVE har til nå vurdert det slik at vindkraftutbygginger ikke innebærer en uopprettelig skade på dekningsgraden i bakkenettet. Dersom det viser seg at TV-signalene forstyrres etter utbygging av vindkraftverket, er det etter NVEs forståelse mulig å gjennomføre tiltak som kan gjenopprette dekningsgraden i et berørt område.

Videre legger NVE til grunn et forholdsmessighetsprinsipp i konsesjonsbehandling etter energiloven og forvaltningsloven. Dette innebærer at samfunnsnyttene ved et tiltak etter energiloven må vurderes opp mot omfanget av virkninger for allmenne og private interesser. Dersom energimyndighetene gir konsesjon til et vindkraftverk som innebærer negative virkninger for slike interesser, kan det settes konsesjonsvilkår om avbøtende tiltak som reduserer de negative virkningene. Omfanget og kostnadene ved de avbøtende tiltakene må imidlertid også vurderes ut fra forholdsmessighetsprinsippet. Det vil si at kostnadene ved aktuelle avbøtende tiltak skal stå i et rimelig forhold til virkningene de er ment å avbøte.

Etter NVEs vurdering må forholdsmessighetsprinsippet legges til grunn i vurderingen av hva som er nødvendige, avbøtende tiltak for bakkenettet. Dersom et vindkraftverk fører til at enkelte TV-mottakere i nærområdet mister TV-signalet fra bakkenettet, er det ikke nødvendigvis samfunnsmessig rasjonelt å gjennomføre kostbare oppgraderinger i bakkenettet som sikrer at dekningsgraden opprettholdes som i dag. I så tilfelle kan et hensiktsmessig avbøtende tiltak være at tiltakshaver bekoster overføring av de berørte TV-brukerne til andre teknologiplattformer, som satellitt-TV eller kabel-TV. Dette kan, hvis nødvendig, suppleres med at tiltakshaver kompenserer Riks-TV/NTV økonomisk for bortfall av TV-kunder i bakkenettet. Eventuelle spørsmål om kompensasjon må avtales særskilt mellom partene. Dersom vindkraftverket derimot medfører en vesentlig reduksjon av dekningsgraden som gjør at mange mottakere i nærområdet mister TV-signalet, og slik hindrer NTV i å drifte bakkenettet i henhold til sine konsesjonsforpliktelser, er det mer rasjonelt å gjennomføre tiltak som sikrer en tilstrekkelig dekningsgrad i det berørte området. Dette er også aktuelt dersom forstyrrelsene medfører at mottakere i satellittskygge mister TV-signalene fra bakkenettet.

Forholdet mellom konsesjoner

NVE har ikke myndighet eller kompetanse til å gå inn på vilkårene i NTVs konsesjon og klargjøre innholdet i NTVs forpliktelser. NVE mener det er behov for en tydeligere avklaring av forholdet mellom NTVs konsesjon og konsesjoner etter energiloven. Etter instruks fra Samferdselsdepartementet og Olje- og energidepartementet vil derfor NVE i løpet av høsten 2018 inngå et tettere samarbeid med Nasjonal kommunikasjonsmyndighet

(Nkom) i konsesjonsbehandlingen for å vurdere problemstillingene og utarbeide retningslinjer for hvordan interessene til ekom-aktørene ivaretas. Et viktig punkt som bør avklares er hvorvidt det er nødvendig å anvende et «føre var»-prinsipp i fastsettelsen av avbøtende tiltak for bakkenettet.

5.3.2 NTVs synspunkter på praktiseringen av vilkåret

NTV mener at NVEs vurdering av forholdsmessighetsprinsippet ikke er fullstendig. I en eventuell forholdsmessighetsvurdering kan ikke kostnadene ved å opprettholde TV-signalet utelukkende sammenlignes med kostnadene ved å flytte en mottaker over på en annen TV-plattform. NTV mener at vindkraftkonsesjonærens kommersielle interesser må avveies mot samfunnshensynene som bakkenettet ivaretar med hensyn til beredskap og allmennkringkasting, herunder at TV-seerne skal kunne ta inn NRK gratis over bakkenettet. Dette kan ikke oppfylles via andre TV-plattformer. Samtidig må NTVs og Riks TVs kommersielle interesser ivaretas.

Avbøtende tiltak må være knyttet til utsendelse og mottak av NTVs signaler. Noe annet, for eksempel at sluttbrukere ledes over på andre kringkastingsplattformer, vil innebære at NTVs rettigheter etter NTVs konsesjon begrenses, og det vil være til skade for NTVs kunder, NRK og RiksTV, samt de beredskapshensyn som det digitale bakkenettet ivaretar.

NTV er også opptatt av at avbøtende tiltak må være avklart lenge før idriftsettelse, siden det ikke bare er rotorbladene, men også turbintårnene som kan forstyrre TV-signalene. Dersom det oppstår avbrudd og driftsforstyrrelser, kan opprettholdelse av mottaket av TV-signalene være avhengig av at det bygges ny mast og sender. Dette kan ta flere måneder. NTV mener derfor at nødvendige tiltak må være avklart og avtalt innen anleggsstart, ikke innen eller etter idriftsettelse av anlegget.

NTV understreker at de ikke bare er avsender av TV-signaler, men også mottaker når en sender mater andre sendere med signal. NTV er opptatt av de potensielle konsekvensene en forstyrrelse av signalene kan få for andre sendere i basisnettet og satellittskyggenettet. Dersom senderne påvirkes, kan dette få konsekvenser for mottakere i satellittskygge som ikke kan overføres på en alternativ TV-plattform. Disse mottakerne vil da miste tilgangen til NRKs programtilbud, noe som gjør at NTV ikke lenger oppfyller dekningsforpliktelsene i henhold til sin konsesjon.

NTV mener det må legges til grunn et «føre var»-prinsipp i fastsettelsen av avbøtende tiltak. De mener at dette i det minste innebærer at utbygger før anleggsstart påtar seg å gjennomføre og dekke kostnadene ved:

- En forpliktende plan for måling av dekningsstyrken før, under og etter byggeperioden, samt gjennomføring av målingene
- En beredskap i form av tilgang til en mobil bakkenettsendestasjon som kan benyttes dersom dekningen faller bort og frem til permanente avbøtende tiltak er på plass
- En forpliktende plan for gjennomføring av eventuelt permanente tiltak

Videre mener NTV at konsesjonsvilkåret må endres og presiseres slik at det tydelig fremgår at:

- Det er mottaket av signalet fra det digitale bakkenettet som skal sikres
- At signalføring mellom sendestasjoner i bakkenettet skal ivaretas og sikres fortsatt fremføring
- At NTV som avsender, i tillegg til mottaker av signalet, er en beskyttet part i konsesjonsvilkåret
- At en forpliktende plan for måling av dekningsstyrke, beredskap samt midlertidige og permanente tiltak for å opprettholde mottak av bakkenettsignalet, må foreligge før MTA og detaljplan kan godkjennes

Vi viser for øvrig til NTVs tilbakemelding til NVE av 03.09.2018 i appendiks 9.4.

6 Kriterier for utpeking av de mest egnede områdene for vindkraft

Denne rapporten er en del av grunnlaget for utpekingen av områdene som er mest egnet for vindkraftutbygging. Som en del av denne utpekingen har NVE først ekskludert områder som sannsynligvis ikke er av de mest egnede for vindkraftutbygging.

Virkninger for radiolinjer kan i stor grad unngås ved å gjøre tilpasninger i detaljplanlegging av vindkraftverket, jf. kapittel 4.6. Områder knyttet til radiolinjer er derfor ikke ekskludert. Når det gjelder kommunikasjonsplattformer som nødnettet og andre viktige sambandstjenester, har NVE ikke mottatt konkrete forslag fra ekom-aktørene på hvordan områder med slik kommunikasjon bør ekskluderes. NVE legger derfor til grunn at eventuelle virkninger for disse tjenestene også kan unngås gjennom detaljplanlegging av vindkraftverket. På bakgrunn av litteraturgjennomgangen og innspillene fra ekom-aktørene, legger NVE til grunn at DAB-radio og mobilnettet i liten grad påvirkes av vindturbiner.

Det digitale bakkenettet for TV består av 430 sendestasjoner og i overkant av 550 satellittskyggenettsendere. Omtrent 50 av sendestasjonene er høyeffektsendere som fungerer som hovedsendere i sendernettet. NTV mener at det må etableres en buffersone med en radius på 2 km rundt sendere, satellittskyggenettsendere, og rundt alle potensielle mottakere. Videre mener de at det må etableres en buffersone på 4 km rundt hovedsenderne.

På grunnlag av vurderingene i kapittel 4 har NVE vurdert at det er hensiktsmessig med en såkalt myk eksklusjon⁶¹ for alle områder som er mindre enn 2 km fra en sendestasjon i basisnettet. Det er ikke sikkert alle områder innenfor disse sonene er lite egnet for vindkraft, men det er høyere sannsynlighet for at det kan oppstå forstyrrelser her. Dette har støtte i ITUs anbefalinger gitt i ITU-R BT-1893-1 Annex 3 om tilfeller med backscattering:

«In the case of the backscattering region (...) an increase in the threshold C/N ratio is more likely when the wind turbines are located near the receive antenna

⁶¹ Med «myk eksklusjon» menes eksklusjon av arealer der virkninger for én enkeltinteresse i mange tilfeller tilsier at det ikke bør bygges vindkraftverk.

or in the vicinity of the TV transmit antenna (less than 2 km). In those situations where the scattered signals from wind turbines are significant in amplitude and variability, the threshold C/N ratio necessary for QEF condition is higher. The threshold C/N ratio tends to increase with the amplitude and the time-variability of the multipath due to wind turbines.»⁶²

Som det fremgår av sitatet over, så øker sannsynligheten for forstyrrelser pga. backscattering også når avstanden mellom vindturbiner og mottakerantenner er mindre enn 2 km. NVE mener imidlertid at dette hensynet i tilstrekkelig grad ivaretas gjennom andre eksklusjonskriterier i Nasjonal ramme for vindkraft.⁶³

Videre står følgende i ITU-R BT-1893-1 Annex 3:

«In most of the situations where the impact of a wind farm to DVB-T reception quality was analyzed, the threshold C/N ratios obtained were similar to those expected in environments in the absence of wind farms.

More precisely, in the forward scattering region of the wind turbines, where the transmit antenna, one or more turbines and the receive antenna are lined-up ($\pm 60^\circ$ behind the wind turbine), the DVB-T reception quality may not be affected though further work of analysis is needed in order to confirm this point, especially in the vicinity of 0° .»⁶⁴

Slik NVE forstår dette, påvirkes normalt ikke områder som kan være utsatt for forward scattering. Det er imidlertid fremdeles noe usikkerhet knyttet til tilfeller der mottaker, vindturbin og sender er tilnærmet på linje med hverandre.

Sitatene fra ITU over beskriver ikke situasjoner der mottakere ikke har fri sikt til sendestasjoner, men fri sikt til én eller flere vindturbiner. Som beskrevet i kapittel 4.4.3 er dette tilfeller som ifølge ITU kan øke sannsynligheten for forstyrrelse av TV-signalet. NVE mener imidlertid at slike tilfeller krever detaljerte vurderinger som det ikke er hensiktsmessig å gjøre i Nasjonal ramme for vindkraft. Slike forhold bør derfor vurderes konkret fra sak til sak i konsesjonsbehandlingen.

ITU skiller ikke mellom høyeffektsendere og laveffektsendere. Etter hva NVE kan se, er det ikke holdepunkter i ITUs anbefalinger for at høyeffektsendere (hovedsendere) bør ha en større buffersone enn andre sendere i basisnettet. NVE merker seg imidlertid at dette er spesielt viktige sendestasjoner som krever særlig aktsomhet i vindkraftsaker.

Videre beskriver ikke ITU hvordan et satellittskyggenett kan påvirkes av vindkraftverk. Etter NVEs forståelse mates skyggenettsenderne hovedsakelig fra sendere i basisnettet. Dersom det oppstår vesentlige forstyrrelser i dette matesignalet, kan hele området som dekkes av skyggenettsenderen miste TV-signalet. NTV ønsker en buffersone på 2 km rundt samtlige satellittskyggenettsendere. Det er i overkant av 550 skyggenettsendere i landet som bidrar til at NTV kan ivareta sine dekningsforpliktelser. NVE mener

⁶² Assessment of impairment caused to digital television reception by a wind turbines, Recommendation ITU-R BT.1893-1, ITU, s. 12, 2015

⁶³ 1 km buffersone rundt tettsteder, og ekskludering av områder med minst tre bygninger (med støyfølsomt bruksformål) per km².

⁶⁴ Assessment of impairment caused to digital television reception by a wind turbines, Recommendation ITU-R BT.1893-1, ITU, s. 12, 2015

imidlertid at en slik generell buffersone sannsynligvis også vil ekskludere områder der et vindkraftverk ikke vil påvirke signalkvaliteten til skyggenettsenderen. Derfor er det mest hensiktsmessig at også forholdet til satellittskyggenettsendere vurderes konkret fra sak til sak i konsesjonsbehandlingen.

Etter ekskluderingen skal vi analysere de resterende områdene. Selv om vi ikke imøtekommer NTVs krav om 4 km buffersone rundt hovedsendere, kan nærhet til hovedsendere være et tema i disse overordnede analysene, der det teknisk-økonomiske potensialet skal vektas mot alle virkninger for miljø og samfunn. Vi mener at det er mest hensiktsmessig å overlate øvrige vurderinger til eventuell konsesjonsbehandling.

7 Konklusjon

I denne temarapporten i *Nasjonal ramme for vindkraft* har vi gjennomgått eksisterende kunnskap om virkninger av vindkraft for elektronisk kommunikasjon, med en særlig vektlegging av virkninger for radiolinjer og digitalt bakkenett for TV.

Kunnskapsgjennomgangen viser at et radiosignal kan påvirkes av en eller flere vindturbiner gjennom hovedsakelig tre fysiske mekanismer: *nærfeloeffekter*, *diffraksjon* og *refleksjon/spredning av radiosignalet*. Graden av forstyrrelser er avhengig av en rekke ulike faktorer, deriblant hvilken type kommunikasjonsteknologi som benyttes, frekvens og bølgelengde på radiosignalet, topografi, geografisk plassering og atmosfæriske forhold.

I de tilfeller der vindkraftverket kan være til hinder for radiolinjeforbindelser, er det forholdsvis enkelt å beregne klareringssonene *før* utbyggingen. Dette gjør at tiltakshaver kan unngå vesentlige virkninger for radiolinjer ved å justere plassering av vindturbinene under prosjekteringen av anlegget og i samråd med berørt aktør. Det er NVEs erfaring at eventuelle negative virkninger for radiolinjer i de fleste tilfeller kan unngås ved at utbygger gjør nødvendige tilpasninger i prosjekteringen av vindkraftanleggene.

I konsesjonssaker der virkninger for det digitale bakkenettet for TV har vært et tema, har det vært utfordrende å gjøre beregninger i forkant av utbyggingen som dokumenterer i hvilken grad vindkraftverket vil påvirke dekningsgraden. Dersom det under konsesjonsbehandlingen viser seg at vindkraftverket kan påvirke TV- og radiosignaler, har NVE i konsesjonsvedtaket inkludert et vilkår om «TV- og radiosignaler», som har til hensikt å ivareta hensynet til disse tjenestene. Vilkåret stiller krav til at konsesjonæren i samråd med de berørte aktørene skal iverksette nødvendige tiltak dersom kraftverket medfører redusert kvalitet på TV- og radiosignaler for mottakere i nærområdet.

I flere konsesjonssaker har det vært vanskelig å oppfylle konsesjonsvilkåret «TV- og radiosignaler» i praksis, og det har vært uenighet mellom NTV/Norkring og vindkraftutbyggere om hva som menes med «nødvendige tiltak». Uenigheten består blant annet i om nødvendige tiltak kan rette seg mot brukerne av TV-tjenestene, eller om tiltakene skal opprettholde samme dekningsgrad i bakkenettet som før vindkraftutbyggingen. Fordi det er vanskelig å fastslå med nøyaktighet hvor store virkningene kan bli for dekningsgraden, mener NTV/Norkring at et «føre var»-prinsipp på legges til grunn for hva som nødvendige, avbøtende tiltak. Utbyggerne mener på sin side dette taler for at eventuelle avbøtende tiltak må gjennomføres *etter* utbyggingen, når det er avklart om det blir virkninger og eventuelt hvilket omfang virkningene får.

Det er høy konsentrasjon av ekomsendere i Norge, og det er sannsynlig at dette vil bli et tema i fremtidige vindkraftprosjekter. Et bedre kunnskapsgrunnlag om temaet kan gi NVE et bedre beslutningsgrunnlag i sin konsesjonsbehandling. Det kan også gi NVE bedre forutsetninger for å stille krav til og følge opp mulige avbøtende tiltak, noe som kan gi bedre forutsigbarhet for både tiltakshaver og de berørte interessentene.

Kunnskapsbehovet kan oppsummeres i følgende punkter:

- Behov for ytterligere vurdering av forskningslitteratur som er publisert internasjonalt om temaet
- Behov for gjennomføring av empiriske målinger av vindkraftverks påvirkning på ekom-tjenester, og da spesielt det digitale bakkenettet for TV. Slike målinger kan brukes til å verifisere/falsifisere de teoretiske modellene og beregningsmetodene som fremgår av litteraturen, samt gi et erfaringsgrunnlag som kan brukes i lignende vindkraftsaker
- Vurdere mulighetene for utvikling og bruk av GIS-baserte beregningsverktøy for modellering av virkninger av vindturbiner på ekom-signaler

NVE har ikke myndighet eller kompetanse til å gå inn på vilkårene i NTVs konsesjon og klargjøre innholdet i NTVs forpliktelser etter kringkastingsloven og ekomloven. Etter instruks fra Samferdselsdepartementet og Olje- og energidepartementet vil derfor NVE i løpet av høsten 2018 inngå et tettere samarbeid med Nasjonal kommunikasjonsmyndighet (Nkom) i konsesjonsbehandlingen for å vurdere problemstillingene og utarbeide retningslinjer for hvordan interessene til ekom-aktørene kan ivaretas.

Denne rapporten er en del av grunnlaget for identifiseringen av områdene som er mest egnet for vindkraftutbygging. Som en del av denne identifiseringen har NVE først ekskludert områder som sannsynligvis ikke er av de mest egnede for vindkraftutbygging. Dette er gjort gjennom såkalte harde og myke eksklusjoner. Virkninger for radiolinjer kan i stor grad unngås ved å gjøre tilpasninger i detaljplanlegging av vindkraftverket. Områder knyttet til radiolinjer er derfor ikke ekskludert. For det digitale bakkenettet for TV har NVE lagt inn en buffersone på 2 km rundt senderne i basisnettet som en myk eksklusjon. NVE mener det ikke er hensiktsmessig med en egen eksklusjonssone rundt satellittskyggenettsendere og mottakere i bakkenettet. Etter NVEs vurdering kan hensynet til disse ivaretas i en eventuell konsesjonsbehandling.

8 Referanser

- [1] ITU-R, «Recommendation ITU-R BT.1893-1 Assessment of impairment caused to digital television reception by a wind turbines,» ITU, 2015.
- [2] ITU-R, «Report ITU-R BT.1893-1 The effect of the scattering digital television signals from wind turbines,» ITU, 2015.
- [3] I. Angulo et al., «An Empirical Comparative Study of Prediction Methods for Estimating Multipath Due to Signal Scattering From Wind Turbines on Digital TV Services,» *IEEE*, 2011.
- [4] I. Angulo et al., «Impact analysis of wind farms on telecommunication services,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015.
- [5] D. de la Vega et al., «Software tool for the analysis of potential impact of wind farms on radiocommunication services,» *IEEE*, 2011.
- [6] I. Angulo et al., «Empirical Evaluation of the Impact of Wind Turbines on DVB-T Reception Quality,» *IEEE*, 2011.
- [7] I. Angulo et al., «Empirical Doppler Characterization of Signals Scattered by Wind Turbines in the UHF Band,» *International Journal of Antennas and Propagation*, 2013.
- [8] ECC, «Description of methodologies to estimate the technical impact of wind turbines on Fixed Radio Links, ECC Report 260,» Electronic Communications Committee, 2017.
- [9] D. Bacon, «Fixed link wind turbine exclusion zone method,» Ofcom, 2002.
- [10] ITU-R, Handbook on Digital Terrestrial Television Broadcasting Networks and Systems Implementation, International Telecommunication Union, 2016.
- [11] L.-I. Lundström, Understanding Digital Television, Elsevier Inc., 2006.
- [12] SINTEF Digital, «Radiostøy fra vindmøller,» SINTEF, 2017.
- [13] ITU, «Radio regulations,» International Telecommunications Union, 2016.
- [14] ERA Technology Ltd, «RF Measurement Assessment of Potential Wind Farm Interference to Fixed Links and Scanning Telemetry Devices,» Ofcom, 2008.
- [15] N. kommunikasjonsmyndighet, «Mobile tjenester i 700 MHz-båndet? Tekniske konsekvenser for det digitale bakkenettet for TV,» Nkom, 2015.

9 Appendiks

- 9.1 «Radiostøy fra vindmøller», prosjektnotat fra SINTEF Digital**
- 9.2 Spørsmål fra NVE til NTV/Norkring angående prosjektnotatet**
- 9.3 Kommentarer fra NTV/Norkring til prosjektnotatet «Radiostøy fra vindmøller»**
- 9.4 Tilbakemelding fra NTV på rapportutkast (03.09.2018)**
- 9.5 Innspill fra NTV til metodebeskrivelsen (09.06.2017)**
- 9.6 Innspill fra Norkring til metodebeskrivelsen (09.06.2017)**
- 9.7 Oppsummering av Nkoms innspill til metodebeskrivelsen (11.05.2017)**

Prosjektnotat

Radiostøy fra vindmøller

VERSJON
2.0

DATO
2017-10-24

FORFATTER(E)
Karsten Husby

OPPDRAGSGIVER(E)
Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

GRADERING
Restricted

OPPDRAGSGIVERS REF.
Lars Hagvaag Seim

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:
11

ABSTRACT

Dette notat beskriver de fysiske mekanismene som gjør seg gjeldene når vindturbiner påvirker og forstyrrer elektroniske kommunikasjonssignaler. I tillegg er relevant publisert vitenskapelig litteratur kartlagt med støtte av NVE.



UTARBEIDET AV
Karsten Husby

GODKJENT AV
HANS SWENDGAARD

Dokumentet har gjennomgått SINTEFs godkjenningsprosedyre og er sikret digitalt

Historikk

| VERSJON | DATO | VERSJONSBESKRIVELSE |
|---------|------------|---------------------|
| 1.0 | 2017-10-24 | |

Innholdsfortegnelse

| | | |
|----------|--|----------|
| 1 | Innledning | 4 |
| 2 | Sammendrag | 4 |
| 3 | Fysiske mekanismer for interferens fra vindmøller | 4 |
| | 3.1 Forenklet verst tenkelig betraktning | 6 |
| 4 | Litteraturstudium | 7 |
| 5 | Referanser | 8 |
| 6 | Appendix: Interferens fra mange vindmøller | 9 |

BILAG/VEDLEGG

1 Innledning

Norge ønsker å satse på miljøvennlig energi og man ser behov for å ha kontroll over hvor det søkes om konsesjon for vindkraft ut ifra en helhetlig vurdering. NVE har fått i oppdrag å utarbeide planer for en nasjonal ramme for utbygging av vindkraft. Det er mange hensyn å ta. Dette dokument gir en oversikt over hva som gjør at vindmøller kan virke forstyrrende på radiokommunikasjon og hvordan dette potensielle problem kan håndteres.

2 Sammendrag

Vindmøllene kan forstyrre radiosamband enten de er nære senderen eller mottakeren.

Det er tydelig at bruk av direktive antenner avhjelper problemet i mange tilfeller både ut ifra teoretiske beregninger og gjennom empiriske målinger. Et spørsmål å avklare er å bruke sektoriserede antenner som avhjelpende tiltak, i den grad de ikke allerede er i bruk som for eksempel på basestasjoner.

Verktøy for planlegging av interferens fra vindparker er i ferd med å bli kommersielt tilgjengelig.

RiksTV godkjenner DVB-T mottakere for det Norske marked, men likevel vil det kunne være forskjellig hvordan mottakerne takler krevende forhold grunnet vindmøller. Selv om de beste mottakerne ikke vil eliminere problemet fullstendig vil en kvalitetsheving komme flere brukere til gode enn bare de som bor i nærheten av vindmøller.

Vindmølleblad kan produseres på en måte som gir lavere refleksjonsfaktor uten at det går ut over kraftproduksjon og levetid. Dette kan redusere interferens.

Basert på tilgjengelig informasjon og antagelser om verst tenkelig orientering av en gitt type møller er det i dette notat presentert enkle beregninger av minste avstand til sender og mottaker når antall møller, deres radartverrsnitt RCS og akseptabelt interferensnivå er kjent.

En verst tenkelig situasjon er der det er fri sikt til minst en og samme mølle både fra sender og mottaker og der det eksisterer et brukbart samband mellom sender og mottaker selv uten fri sikt mellom dem. Det må avklares hvordan og hvor mye slike situasjoner skal være dimensjonerende.

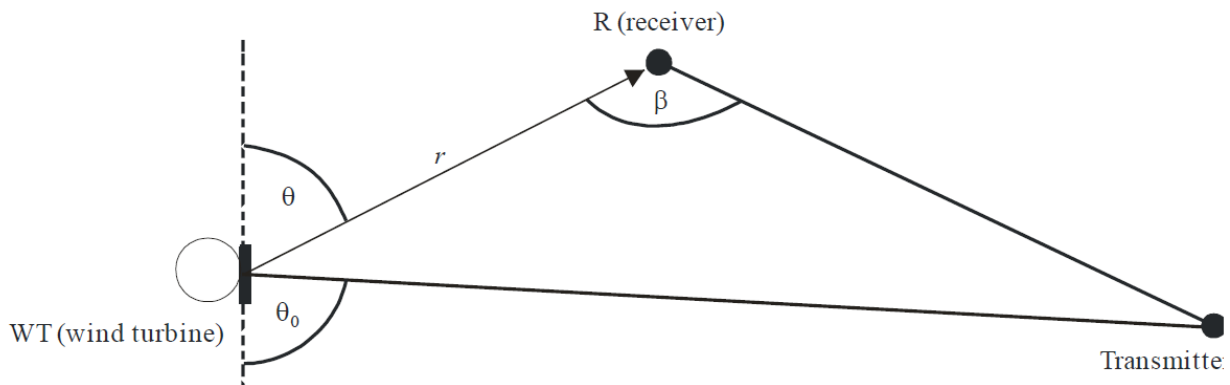
Radiopeiling i flate landskap i Tyskland er følsomt for vindmøller. Det er usikkert om tilsvarende problem gjelder for kupert norsk terreng.

3 Fysiske mekanismer for interferens fra vindmøller

Vindmøller kan påvirke radiokommunikasjonssystemer. Med radio menes alle systemer som sender ut og mottar elektromagnetiske bølger for å overføre analog eller digital informasjon. Det kan typisk være kringkasting, mobiltelefoni eller også radiolinje via parabler som er plassert i kommunikasjonsstårn. I tillegg viser studier utført av ITU [9] at peilesystemer for å finne retning til en radiosender er spesielt sårbare når terrenget i utgangspunktet er flatt og uten naturlige refleksjonspunkter.

Grunnen til at møllene kan påvirke er at alle objekter reflekterer radiobølger mer eller mindre. Man skiller ofte mellom speilende (specular) refleksjon eller diffus refleksjon. I tillegg kan radiobølgene absorberes av objektet. Metalloverflater er reflekterende og utgangspunktet for en del modeller presentert i ITU [5] [6] og [7] Her antas det også at vingene er plane slik at de kan generere kraftig spekulære refleksjoner når de innfallende og reflekterte vinklene er like eller nesten like som vist i Figur 1. For de fleste vindretninger er likevel θ_0 og θ forskjellige med redusert styrke på refleksjonen. Istedet viser da noen beregninger og

målinger at hvert blad på møllen genererer en relativt kort puls med støy for hver halve omdreining av rotoren. En treblads propell genererer derfor 6 pulser med økt interferens for hver omdreining av turbinakslingen. I tillegg, som beskrevet i [13], tillegges dopplerforskyvning av det reflekterte signal en del vekt i forhold til degraderingen som finner sted. Følsomhet for doppler påvirkes også av hvilket modulasjonsformat som benyttes. For eksempel så nevnes det at DVB-T (2k) er fire ganger mere robust mot doppler enn DVB-T (8k).



Figur 1 Innfallende vinkel θ_0 og reflektert vinkel θ mot et plant vindturbinblad

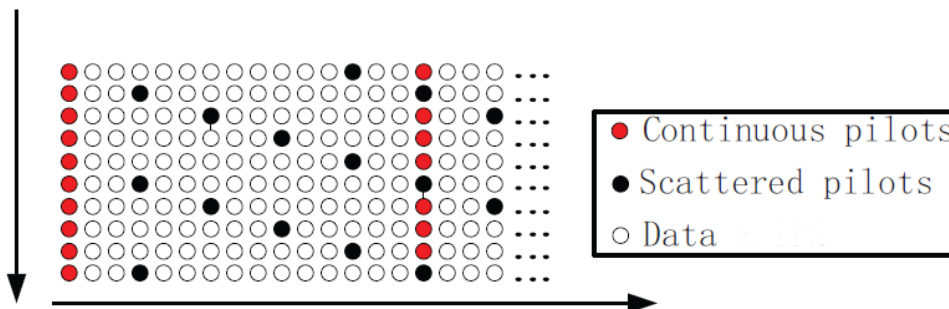
Glassfibervinger reflekterer kanskje bare 10% av hva metallvinger gjør, men de kan være utstyrt med en metallisk lynavleder. Om ingenting er gjort for å skjerme lynavlederen elektromagnetisk, kan rotoren selv om den er laget av ikke ledende materiale reflektere radiobølger godt. Karbonfiber er et annet komposittmateriale som også vil påvirke refleksjonen. Det kan ha sine fordeler at karbon i utgangspunktet er et ledende materiale. Svakt ledende materialer som Carbon Black kan også benyttes til å lage absorberende strukturer i komposittmaterialer. I [17] nevnes "stealth" turbinblad som er slik at de er mindre synlige på radar. Noen selskap som det danske Vestas, det franske EDF Energies Nouvelles og QinetiQ bygger vindturbiner som er mindre synlig på radar. Avhengig av frekvensområde som benyttes vil "stealth" turbiner være nyttige både i forhold til radar- og radiosystemer [14] [15] [16].

Alle radiosystem tilpasser seg radiokanalen for å overføre informasjon så stabilt og effektivt som mulig. En god radiokanal har tradisjonelt direkte sikt mellom en sender og en mottaker. Likevel vil man selv i slike tilfeller være utsatt for reflekser fra store objekter i nærheten. Det kan være fra hus, fjellsider og kjøretøy. Mange objekter er stasjonære eller beveger seg med moderat hastighet. De fleste radiosystem har ingen problemer med å tilpasse seg reflekser fra slike objekter fordi systemene i utgangspunktet er dimensjonert for denne type påvirkning. Til og med når direktesignalet mellom sender og mottaker er skjermet av en åskam eller et hus kan radiosystemet likevel fungere ved at refleksene utnyttes konstruktivt.

Radiosystemer har måttet tilpasse seg hurtig varierende kanaler lenge før utfordringen med vindmøller dukket opp. Et eksempel er mobiltelefoni og bilkjøring i høye hastigheter der sambandet blir påvirket av varierende refleksjoner fra store gjenstander. Den relative hastighet mellom hus og kjøretøy eller mellom to kjøretøy kan komme opp flere hundre kilometer i timen. Mobiltelefoni som GSM (2G, 3G og 4G) og LTE er selvfølgelig dimensjonert for å tåle slike høye hastigheter. Noen moderne radiosystemer benytter MIMO (Multiple Input Multiple Output) teknikker der sender og mottaker benytter multiple antenner. MIMO er spesielt fundert på å utnytte reflekser for å redusere interferens, øke stabilitet og øke dataraten i nettet [8]. Vingetippene på vindmøller vil bevege seg hurtigere og med mye større akselerasjon enn kjøretøy og representerer derfor en ny utfordring for de fleste radiosamband.

Radiokanalen kan likevel endre seg hurtigere enn hva radiomottakeren tolererer. Om dette skjer rekker ikke mottakeren å tilpasse seg. I stedet vil da hurtige reflekser summeres opp som et bakenforliggende teppe av ekstra støy som medfører at dataraten kan gå ned og feilraten opp. En DVB-T TV mottaker benytter såkalte

piloter sendt ut av senderen for å tilpasse seg kanalen flere hundre ganger per sekund. Piloter er små datapakker med kjente data som sendes ut i et forutbestemt mønster (se Figur 2). Disse pilotene setter mottakeren i stand til å finne ut hvordan kanalen faktisk er på gitte tider og frekvenser. Imellom disse tider og frekvenser estimeres kanalen ved hjelp av matematisk interpolasjon for dekodning av data til brukeren. Noen mottakere benytter enkleste type interpolasjon for å redusere kompleksitet og kostnader. Slike mottakere er derfor mere sårbare for hurtige endringer i kanalen [19] [20] .



Figur 2 Data og piloter for DVB-T sendes på forskjellige tider i den vertikale akse og på forskjellige frekvenser i den horisontale akse. Ved å benytte matematisk interpolasjon av piloter både langs tidsaksen og frekvensaksen vil avanserte mottakere tolerere hurtig variable reflekser.

Selv en DVB-T mottaker med rundstråelende antenne kan tåle at det kjører en bil forbi i nærheten så lenge bilen ikke sperrer for fri sikt til sender. Det er likevel forskjell på kvalitet. Enkle mottakere som benytter enkle interpolatorer trenger derfor en direktiv antenne plassert høyt over veien for å fungere stabilt. Slike mottakere vil på tilsvarende måte lettere bli forstyrret av vindmøller også. Selv om en mottaker følger standarden og som regel fungerer feilfritt er det ikke gitt at den benytter gode nok algoritmer for håndtering av pilotene om forholdene blir krevende.

3.1 Forenklet verst tenkelig betraktning

Det er mulig å gjøre en forenklet betraktning som tar utgangspunkt i at radiosystemet ikke lykkes med å tilpasse seg den varierende radiokanal grunnet hurtig roterende vindmøller. Under slike forhold kan det beregnes et interferensnivå som omtales som en "scattering coefficient" [6] . Denne verdi uttrykker forholdet i amplitude mellom interferens og nyttesignal ved radiomottakeren når en reflekterende vindmølle med metallblad befinner seg nære senderen eller mottakeren i en avstand r . Koeffisienten framkommer ved at turbinen modelleres som et flatt rektangulært areal som reflekterer radiosignalet. Koeffisienten er:

$$\rho = \frac{A}{\lambda r} g(\theta) \quad (1.1)$$

der A er arealet, λ er bølgelengden på radiosignalet og $g(\theta)$ er:

$$g(\theta) = \left(\frac{\sin\left(\frac{W}{\lambda}(\cos\theta - \cos\theta_0)\right)}{\left(\frac{W}{\lambda}(\cos\theta - \cos\theta_0)\right)} \right)^2 \sin\theta \quad (1.2)$$

der W er midlere bredde av bladene og θ_0 er innfallende vinkel på bladene og θ er reflektert vinkel fra bladene. Den verst tenkelige verdi på $g(\theta)$ blir 1 når vinden blåser langs aksene mellom sender og mottaker og mølla er plassert på forlengelsen av denne aksene. I dette tilfellet blir $\theta = \theta_0 = 90$ grader.

Et radiosystem trenger normalt et gitt signal til støyforhold eller C/I for å fungere bra. C/I kan beregnes til:

$$C/I = \frac{1}{\rho^2} \quad (1.3)$$

som fra ITU rekommendasjonen kan uttrykkes i dB skala på denne måten $C/I \text{ dB} = -20 \log(\rho)$.

Forskjellige radiosystem har forskjellige toleranser. I [6] er det tatt fram et numerisk eksempel der $C/I=10$ slik at 10 ganger mere energi ligger i nyttesignalet C enn i støysignalet I for en mølle på 160 kvadratmeter i en avstand på $r=1000\text{m}$.

Det er gjort en god del antagelser forut for disse beregninger. Overslagene er derfor ikke eksakte uttrykk for interferensnivået. Beregningene kan i stedet peke på hvordan gode estimater og analyser kan utføres forut for en konsesjonsbehandling.

Følgende momenter understrekes:

- Beregningene forutsetter at radiosystemet ikke utnytter noen teknikker for å eliminere eller utnytte refleksene. Siden de fleste radiosystemer faktisk benytter slike teknikker er overslagene derfor konservative. Det er nødvendig å vurdere detaljert hvilke standardiserte teknikker hvert enkelt radiosystem forventes å benytte og hvilket C/I nivå som dermed vil være dimensjonerende. Det er også nødvendig å se på de mest moderne teknikkene inkludert MIMO som nå er tatt i bruk.
- Antagelsen om rundtstrålende antenner er også konservativ. For en DVB-T sender eller mobil radioenhet kan dette være en grei første antagelse. Bruk av direktive antenner enten på sender eller på mottaker vil redusere interferensen.
- Vindmøllenes "scattering parameter" varierer mye med møllens størrelse, posisjon, vindretning, frekvens, materialbruk og som funksjon av tiden. Det er vanskelig å komme fram til gode estimater av denne parameter. Verst tenkelig betraktninger kan benyttes for en gitt geometri og vindretning, men dette vil kunne lede fram til et unødvendig konservativt overslag spesielt for parker med mange vindmøller der det er usannsynlig at alle møllene alltid orienteres i verst tenkelig retning. Det finnes noen målte empiriske data på dette området [4] [22]. Statistiske modeller kan også vurderes for å aggregere effekten fra mange møller.
- En forverret situasjon oppstår om det ikke er fri sikt mellom sender og mottaker men sikt til flere av vindmøllene fra både sender og mottaker. Bruk av kartdata og propagasjonsmodeller over terreng bør benyttes for å kontrollere dette. For å utføre slike beregninger er det en forutsetning å ha eller få tilgang til faktiske posisjoner av planlagt og eksisterende infrastruktur.

Noen flere talleksempler finnes i Appendix: Interferens fra mange vindmøller.

4 Litteraturstudium

Det finnes en del litteratur som direkte omtaler hvordan radiosignaler blir påvirket av vindmøller. ITU har laget en del rapporter på området. Det nevnes påvirkning på analog TV [5], digital TV [6] og [7] og radiopeiling [9]. En av disse tar for seg digital TV som DVB-T og refererer til annet arbeid som er utført i Australia og Spania [10]. Følgende konklusjoner kan trekkes fram fra disse arbeidene. Noen av konklusjonene er motstridende, men de empiriske målingene gir likevel tall som man kan forholde seg til.

- Den kraftigste interferensen oppstår i "backscatter" retning altså når vindmøllene ikke befinner seg mellom sender og mottaker, men bak en av dem. Likevel ved bruk av en direktiv antenne med gain 13 dB fikk man aldri problemer. Denne antenne må benyttes nærmest mølla for å ha best effekt.
- Vindmøllene reflekterer mindre energi framover, men om de er plassert for nære eller på siktelinjen mellom sender og mottaker kan påvirkningen bli tydelig.
- Det nevnes at ytelsen til DVB-T mottakere kan variere i forhold til hvordan de adapterer seg til kanalen.

- Geometrien inkludert høyde mellom sender, mottaker og vindmølle påvirker resultatene.
- Masta til vindmøllene kan også påvirke radioforholdene da den er større enn vingene.

I det spanske arbeidet er det fra 2013 tatt frem en forenklet empirisk beregningsmodell som omtales som bedre enn de tunge matematiske beregningene som er gjort tidligere [11].

I en publisering fra NASA fra 2001 [12] beregnes interferensen og det gjøres et poeng av hvordan interferensen fra flere vindmøller summeres. Dette kan gjøres enten på energibasis eller koherent på amplitudebasis der det siste faktisk medfører at 2 vindmøller i nærheten av hverandre kan fremstå som flere enn 2. Samtidig vil det være slik at med en felles vindretning vil det nesten ikke være mulig at alle møller har en verst tenkelig orientering mot sender og mottaker. I tillegg er det flere studier som viser at den kraftigste refleksjonen bare skjer innenfor et kort tidsrom (typisk 30 ms varighet) når ett av vindmøllas (tre) blad står vinkelrett på planet dannet av de tre punktene sender, mottaker og mølle. Dette skjer to ganger per omdreining for hvert blad. Om man antar at alle turbiner roterer asynkront vil disse kraftige refleksjonstoppene komme til litt variable tider og derfor vil de kunne summeres på energibasis.

Det er i ferd med å dukke opp selskaper som med kunnskap om radiopropagasjon kan tilby forskjellige tjenester. Det amerikanske BroadcastWind [18] og det engelske Transfinite [21] ser ut til å kunne beregne interferens fra vindmøller.

5 Referanser

- [1] Kaveh Pahlavan, Allen H. Levesque, "Wiley series in telecommunications and signal processing, Wireless Information Networks", 1995.
- [2] David K. Barton, "Modern radar system analysis", Artech house inc., 1988
- [3] CEPT ECC Report 260, "Description of methodologies to estimate the technical impact of wind turbines on Fixed Radio Links", January 2017.
- [4] I. Angulo et al, "Empirical Evaluation of the Impact of Wind Turbines on DVB-T Reception Quality", BTS-11-119.
- [5] ITU-R, Recommendation ITU-R BT.805 (03/1992) Assessment of impairment caused to analogue television reception by a wind turbine.
- [6] ITU-R, Recommendation ITU-R BT.1893-1 (10/2015) Assessment methods of impairment caused to digital television reception by wind turbines
- [7] Report ITU-R BT.2142-1 (10/2010) The effect of the scattering of digital television signals from a wind turbine
- [8] Stefania Sesia, Issam Toufik, Matthew Baker, "LTE The UMTS Long Term Evolution From Theory to Practice", Wiley, 2009.
- [9] Report ITU-R SM.2391-0 (06/2016) The effects of wind turbines on fixed radio direction finders
- [10] I. Angulo et al, "Methodology for the Empirical Analysis of the Scattering Signals from a Wind Turbine", 2009 Loughborough Antennas and Propagation Conference.
- [11] I. Angulo et al, "A Measurement-Based Multipath Channel Model for Signal Propagation in Presence of Wind Farms in the UHF Band", IEEE transactions on communications, vol. 61, no. 11, nov. 2013.
- [12] NASA, "Equations for Estimating the Strength of TV Signals Scattered by Wind Turbines", 2001
- [13] Ahmet Faruk Coskun et al, "Wind Farms' Interference Effects on the Error Performance of Wireless Line-of-Sight Communications Using Binary Digital Modulations", IEEE TRANSACTIONS ON AEROSPACE AND ELECTRONIC SYSTEMS VOL. 51, NO. 4 OCTOBER 2015
- [14] Kim J, Lim D., "Reduction of radar interference - Stealth wind blade structure with carbon nanocomposite sheets", Volume 17, Issue 3, March 2014, Pages 451-460

- [15] Li W., Chen M., Zeng Z., Jin H., Pei Y., "Broadband composite radar absorbing structures with resistive frequency selective surface: Optimal design, manufacturing and characterization", Volume 145, 16 June 2017, Pages 10-14, Composites Science and Technology
- [16] <http://www.telegraph.co.uk/business/2017/01/01/blown-qinetiq-baffles-radar-stealth-wind-turbines/>
- [17] <http://www.windpowermonthly.com/article/1311132/vestas-installs-first-radar-friendly-blade>
- [18] <http://broadcastwind.com/>
- [19] Ting-An Lin, Chen-Yi Lee, "Predictive equalizer design for DVB-T system", Department of Electronics Engineering, National Chiao Tung University.
- [20] Frank Eory, "Comparison of adaptive equalization methods for the ATSC and DVB-T digital television broadcast systems", Proceedings of the 2000 Third IEEE International Caracas Conference on Devices, Circuits and Systems (Cat. No.00TH8474).
- [21] <https://tslstorage.blob.core.windows.net/papers/WindFarmsandPtPLinks.pdf>
- [22] Brian M. Kent, Kueichien C. Hill, Alan Buterba ugh, Greg Zelinskil, Robert Hawley, Lisa Cravens. Tni-Van, .Christopher Vogee, and Thomas Coveyou, " Dynamic Radar Cross Section and Radar Doppler Measurements of Commercial General Electric Windmill Power Turbines Part 1: Predicted and Measured Radar Signatures", IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 50, No. 2, April 2008

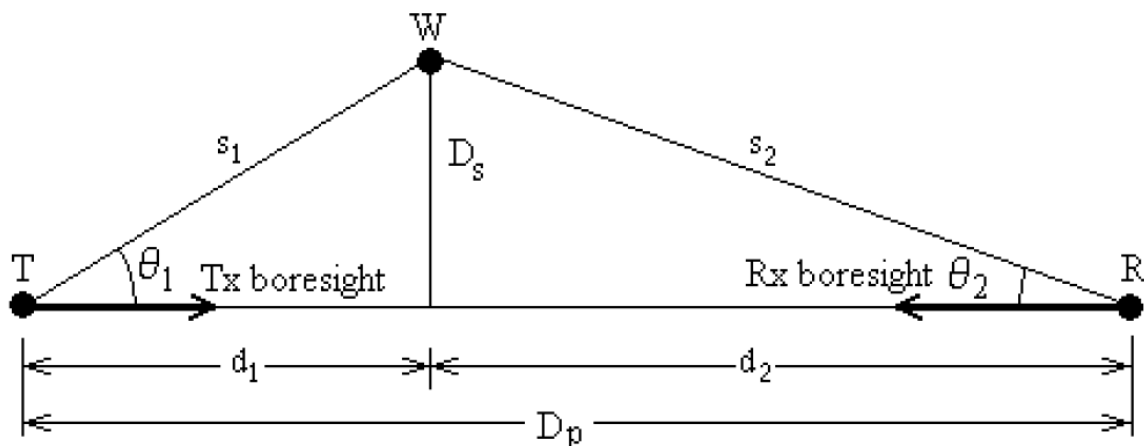
6 Appendix: Interferens fra mange vindmøller

I ITU's rekommandasjoner lanseres en "scattering parameter". I dette appendix beregnes faktisk støy ved mottakerne ved å gjøre noen forenklinger, og det fremgår at systemet med radiosendere og mottakere betraktes på samme måte som et bistatisk radarsystem som utilsiktet detekterer vindmøller.

Det antas fri sikt mellom sender og mottaker. Fra frittromsdempningen [1] kan mottakerens mottatte signalnivå eller nyttesignal beregnes til:

$$C = \frac{P G_T(0) G_R(0) \lambda^2}{(4\pi)^2 D_p^2} \quad (1.4)$$

der P er sendereffekten, G er antenneforsterkning på henholdsvis transmitter T og receiver R, λ er bølgelengden og D_p er avstand mellom sender og mottaker som vist i Figur 3 [3]. Her vises en radiosender T, en radiomottaker R og et antall turbiner W. Under denne antagelse må mottakeren operere med et carrier til interferensnivå C/I som skyldes reflekser fra W.



Figur 3 Forenklet beregning av støy fra vindmøller i avstand s_1 fra sender og s_2 fra motrtaker.

Det antas at de N møllene reflekterer radiosignalene og roterer hurtigere enn hva algoritmene til radiosystemets mottakere tåler. Rotorene vil derfor generere et signal som framstår som støy for mottakeren. Fra likningen for bistatisk radar [2] kan mottakerens mottatte støysignal eller interferens beregnes:

$$I = \frac{P G_T(\theta_1) G_R(\theta_2) \lambda^2 N \sigma}{(4\pi)^3 s_1^2 s_2^2} \quad (1.5)$$

der σ er midlere *radar cross section* RCS for hver vindmølle uttrykt i antall kvadratmeter.

Et forholdstall C/I kan nå beregnes [3]. Det uttrykker carrier-til-interferens nivået som er et måltall på hvor bra signalkvaliteten er på mottakeren. Det blir da tydelig at utsendt effekt ikke spiller noen rolle.

$$C/I = \frac{G_T(0) G_R(0) 4\pi s_1^2 s_2^2}{G_T(\theta_1) G_R(\theta_2) D_p^2 N \sigma} \quad (1.6)$$

Dersom rundstrålende antenner benyttes med samme antenneforsterkning i alle retninger spiller heller ikke antenneforsterkningen noen rolle og C/I kan forenkles til:

$$C/I = \frac{4\pi s_1^2 s_2^2}{D_p^2 N \sigma} \quad (1.7)$$

Videre, fra dette uttrykk ser en at de dårligste forhold med lavest C/I oppstår når møllene er nære senderen (s_1 er liten) og når møllene er nære mottakeren (s_2 er liten). Om man antar det verst tenkelige: at alle møller er plassert nære sender og/eller mottaker i en avstand $r \ll D_p$ spiller heller ikke avstanden mellom sender og mottaker D_p noen rolle. Et tilnærmet uttrykk for C/I blir da:

$$C/I \approx \frac{4\pi r^2}{N \sigma} \quad (1.8)$$

Om man sammenligner interferensnivået beregnet av ITU med denne likning, kan møllens maksimale RCS uttrykkes ved det verst tenkelige vinkelrette innfall.

$$\sigma = \frac{4\pi A^2}{\lambda^2} \quad (1.9)$$

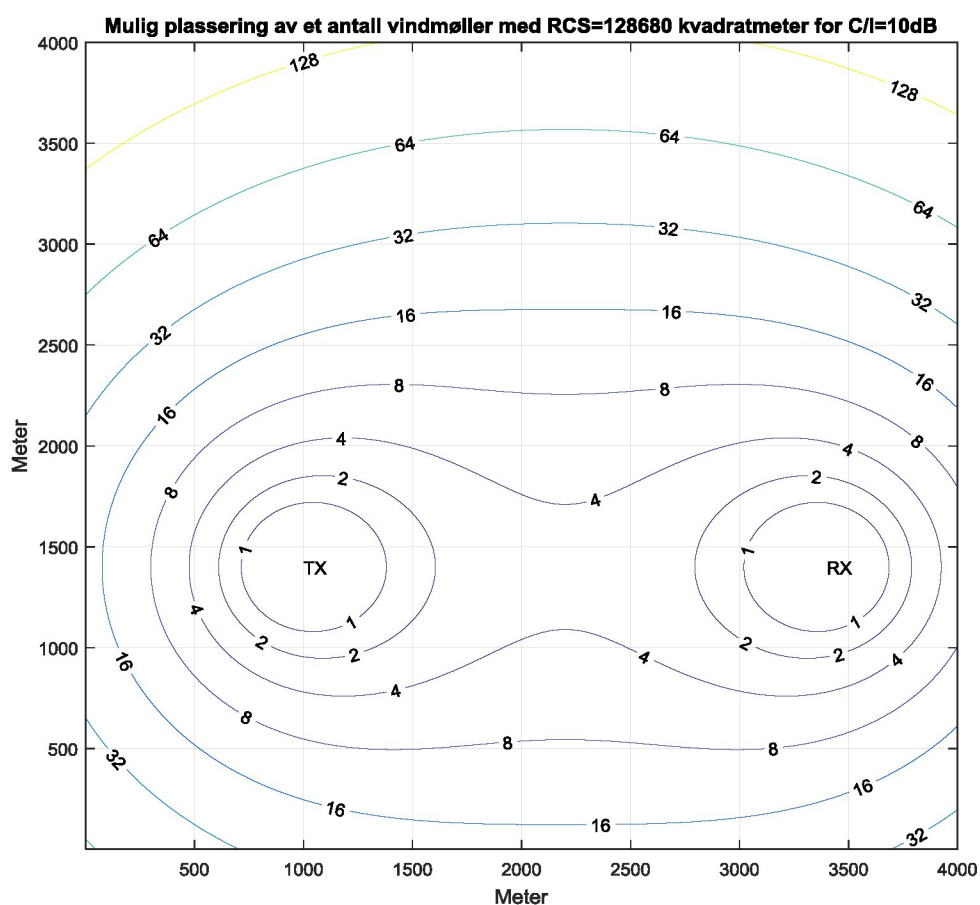
der A er vingeearealet. Dette uttrykk gjenkjennes som det teoretisk maksimale radartverrsnitt fra et flatt rektangel (se Tabell 1). Vingene er ikke flate men formet som en flyvinge med variabel innfallsvinkel. Derfor blir den faktiske maksimale RCS noe mindre og ikke konstant som i dette enkle overslag. I tillegg reduseres RCS mye når orienteringen endres. Det er bare kula som er uavhengig av orientering. Den er også uavhengig av bølgelengden så lenge bølgelengden er mindre enn omkretsen til kula.

Tabell 1 Noen kjente objekter og deres radartverrsnitt

| Objekt | Maksimal RCS i antall kvadratmeter | |
|------------|------------------------------------|---------------|
| Kule | πR^2 | R er radius |
| Sylinder | $\frac{2\pi R h^2}{\lambda}$ | h er høyde |
| Flat plate | $\frac{4\pi W^2 h^2}{\lambda^2}$ | W er bredde |

I ITU rekommandasjonen består mølla av 3 metallblad hver med lengde 33 meter som er 3.3 meter brede inne ved navet. A blir da 160m^2 og bølgelengden λ ved 600MHz blir 0.5m. σ kan beregnes av likning (1.9) til 1286800m^2 og C/I blir 10 ved $r=1\text{km}$ avstand. Samtidig nevnes det at RCS for et glassfiberblad kan være

10 ganger mindre enn et metallblad. Ved å anta at et statistisk mål på interferensen fra hver mølle kan summeres på energibasis på samme måte som i [11] kan 10 vindmøller være minst 1 km fra senderen. Færre vindmøller kan komme nærmere mens flere vindmøller enn 10 må plasseres lengre bort enn 1 km. Med disse tallverdier fra ITU og bruk av likning 1.7 kan Figur 4 presenteres der hver kote er navngitt med et tall som angir hvor mange møller som kan plasseres på denne kote for et gitt interferensnivå C/I . Her er det foreløpig ikke tatt hensyn til at møllene ikke kan befinne seg midt mellom sender og mottaker. Vindretningen kan spille en rolle i å redusere interferensen når antall møller øker fordi det må antas at vinden sørger for at alle vindmøller orienterer seg noenlunde parallelt og dermed ikke kan fokusere maksimal interferens fra en nær sender eller mot en nær mottaker.



Figur 4 Mulig plassering av et antall vindmøller i kartet i forhold til sender TX og mottaker RX for en gitt signalkvalitet i dB. For å oppnå den beregnede C/I må det totale antall vindmøller avbalanseres. Om det for eksempel plasseres 8 møller ved kote 8 er interferensnivået på kanten av det tolererbare. Om det bare plasseres 8 møller ved kote 16 er interferensnivået bare halvveis oppfylt.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no

Spesielle forhold som nevnes i notatet som vi ønsker at dere kommenterer (med avbøtende tiltak sikter jeg til tiltak som kan redusere forstyrrelser fra vindturbiner):

- Er beskrivelsen av de fysiske mekanismene utfyllende? Er det andre forhold som bør påpekes her?
- Hvilket modulasjonsformat benyttes i DVB-T (2k eller 8k)? (jf. følsomhet for dopplertforskyvning)
- Benyttes MIMO i dag? Hvis ikke, er det potensiale for å utnytte dette som avbøtende tiltak?
- Er direktive/sektoriserte antenner i bruk i norske sendestasjoner i dag og kan dette være et aktuelt avbøtende tiltak? Hvor kostbart er i så fall dette og har det vesentlige ulemper?
- Er direktive antenner på mottakersiden mye brukt i dag, og er det muligheter for å benytte dette som avbøtende tiltak?
- Notatet peker på interpolasjon i mottakere og mottakernes sårbarhet for hurtige endringer i kanalen. Er det muligheter for å benytte bedre/dyrere mottakere som gir en bedre interpolasjon/signalbehandling som avbøtende tiltak?
- Har dere erfaring med bruk av materialer med lavere refleksjonsfaktor for å forebygge interferens (jf. bruk av «stealth»-turbinblad)?
- Notatet nevner flere beregningsverktøy (Broadcast Wind/Transfinite) som kan brukes til å simulere interferens fra vindturbiner. Har dere erfaring med slike beregningsverktøy?

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

Att: Lars Hagvaag Seim

Oslo, 11. desember 2017

Tilbakemelding fra Norges televisjon AS (NTV)


NTV viser til prosjektnotat fra Sintef med tittel «Radiostøy fra vindmøller», datert 24. oktober 2017. Vi har gitt kommentarer til punktene (vedlagt) som NVE ønsket at vi skulle gjøre. Vi forbeholder oss retten til komme tilbake til prosjektnotat fra Sintef samt spørsmål/punkter fra NVE.

Vi viser for øvrig også til tidligere dialog, møter og skriftlig korrespondanse både inn mot NVE og ulike møter med og brev til tiltakshavere. NTV sendte bl.a. et brev til NVE av 27. juni 2016, som NVE ikke har besvart.

NVE arrangerte et innspillsmøte 11. mai 2017 hvor NTV var tilstede og holdt en presentasjon samt at vi ga pr. brev datert 9. juni 2017 innspill til metodebeskrivelse jf. nasjonal ramme for vindkraft på land.

NTV ser frem til en fortsatt god dialog med NVE og ulike tiltakshavere hvor formålet må være at utbygging av vindmølleparker ikke skal forstyrre eller påvirke signalene fra bakkenettet negativt. Alle sluttbrukere som bruker bakkenettet må også kunne ta imot TV signaler fra bakkenettet i fremtiden. Og hvis det er mulighet for at det kan oppstå forstyrrelser fra vindturbin utbygginger må en avtalebasert verifikasjonsmekanisme mellom NTV og tiltakshaver sikre, før anleggsstart, at TV signaler fra bakkenettet opprettholdes og at kostnadene for dette bæres av tiltakshaver.

Med vennlig hilsen
for Norges televisjon AS



Trude Malterud
Adm.dir.

Vedlegg: Notatet fra Sintef tar for seg fysiske mekanismer for interferens fra vindmøller, samt et litteraturstudium.

NVE har bedt oss om å kommentere spesielle forhold som nevnes i notatet jf. kulepunktene nedenfor (med avbøtende tiltak sikter NVE til tiltak som kan redusere forstyrrelser fra vindturbiner):

- ***Er beskrivelsen av de fysiske mekanismene utfyllende? Er det andre forhold som bør påpekes her?***

SVAR:

Vi er kjent med de fleste referansene under litteraturstudiet.

Spesielt de som er produsert av ITU, dvs. [5], [6] og [7].

De fleste dokumentene er svært teoretiske og generelle. Det er få konkrete retningslinjer for beregning av interferens, og beregninger blir teoretiske.

- ***Hvilket modulasjonsformat benyttes i DVB-T (2k eller 8k)? (jf. følsomhet for dopplerforskyvning)***

SVAR:

I Norge benyttes DVB-T standarden med 8k bærebølger. Det benyttes modulasjonstype 64 QAM og koderate 2/3.

- ***Benyttes MIMO i dag? Hvis ikke, er det potensiale for å utnytte dette som avbøtende tiltak?***

SVAR:

MIMO benyttes ikke i kringkastingsnett i dag. Det kan være mulig at dette kommer i fremtiden. Men det vil kreve både nye sendere og antenner på senderpunktene, i tillegg til at seerne må installere nye antenner for mottak. Dette er derfor ikke et reelt alternativ som avbøtende tiltak.

- ***Er direkte/sektoriserte antenner i bruk i norske sendestasjoner i dag og kan dette være et aktuelt avbøtende tiltak? Hvor kostbart er i så fall dette og har det vesentlige ulemper?***

SVAR:

Et kringkastingsnett for TV består av sektoriserte antenner på sendersiden og mottakersiden. En senderantenne har et antennediagram som er formet slik at det dekker der folk bor. På hovedsenderne er disse nesten alltid rundstrålende for å dekke flest mulig. Mens på mottakersiden vil seerne benytte direkte antenner som peker mot sendestasjonen, eller mot et reflekspunkt hvis det gir et bedre signal.

- ***Er direkte antenner på mottakersiden mye brukt i dag, og er det muligheter for å benytte dette som avbøtende tiltak?***

SVAR:

Mottak av TV-signaler er alltid med retningsantenne. Dette er med i vurderingen av potensielle forstyrrelser. Peger antennen vekk fra vindturbinene er det noe mindre sannsynlig at det blir interferens.

- ***Notatet peker på interpolasjon i mottakere og mottakernes sårbarhet for hurtige endringer i kanalen. Er det muligheter for å benytte bedre/dyrere mottakere som gir en bedre interpolasjon/signalbehandling som avbøtende tiltak?***

SVAR:

Vi kjenner ikke til slike mottakere. Men valg av systemvariant i DVB-T vil påvirke hvor robust signalet er for forstyrrelser. DVB-T kan benyttes både for fast mottak med retningsantenne, mobilt mottak og portabelt mottak. For fast mottak benyttes en systemvariant som har maksimal kapasitet i bit/s. Det gjør at dette signalet er mindre robust for forstyrrelser enn signaler for mobilt mottak. Bakkenettet er bygget ut for fast mottak.

- ***Har dere erfaring med bruk av materialer med lavere refleksjonsfaktor for å forebygge interferens (jf. bruk av «stealth»-turbindblad)?***

SVAR:

Vi har ikke kunnskap om hvilke materialer som blir valgt i turbinbladene på de enkelte prosjektene. Derfor vil det i utgangspunktet bli gjort vurderinger ut fra at turbinbladene er av ledende materiale (worst case).

- ***Notatet nevner flere beregningsverktøy (Broadcast Wind/Transfinite) som kan brukes til å simulere interferens fra vindturbiner. Har dere erfaring med slike beregningsverktøy?***

SVAR:

Vi har ikke erfaring med bruk av beregningsverktøy for simulering av interferens fra vindturbiner til mottak av TV-signaler. Men vi følger med i hva som er tilgjengelig av programvare, og vil undersøke nærmere i forbindelse med konkrete prosjekter. Det er viktig at disse programmene har mulighet til å legge inn de parameterne som vi benytter. Program som f.eks. Broadcast Wind er produsert i USA. De benytter et annet system enn oss (ATSC). Når det gjelder Transfinite ser det ut til at de fokuserer på radiolinjer [21].

GENERELL KOMMENTAR:

Som tidligere nevnt er det få konkrete retningslinjer når det gjelder vurdering av interferens fra vindturbiner til mottak av TV.

Men det er enkelte momenter som må vurderes.

- Forward scatter. Dvs. forstyrrelser som skapes når vindturbinen(e) kommer på en linje mellom sender og mottaker.
- Backscatter. Dette er tilfeller hvor vindturbinen(e) reflekterer signalene fra senderen. Dette kan skape forstyrrelser hvis vindturbinene kommer for nærme sendere og mottakere. NTV viser til vårt brev av 9. juni 2017 jf. avstand fra vindturbinen(e) til senderen og mottakerne.
- Ikke fri sikt. Dette er tilfeller hvor det ikke er fri sikt mellom sender og mottaker, men at det er sikt mellom en eller flere vindturbiner og mottaker. Dette er relevant i forbindelse med DVB-T der mottak via reflekser er vanlig, slik det er i bakkenettet.

NVE

Att: Erlend Bjerkestrand og Lars Hagvaag Seim

e-post: nve@nve.no, erbj@nve.no, lhs@nve.no

3. september 2018

Innspill – Nasjonal ramme for vindkraft på land

1. Innledning

NVE har bedt om innspill fra Norges televisjon AS (NTV) til et utkast til temarapporten «*Virkninger av vindkraft for elektronisk kommunikasjon*», som skal utgjøre et underlag for utarbeidelse av kunnskapsgrunnlag om virkninger av landbasert vindkraft. Bakgrunnen for rapporten er NVEs arbeid med å utarbeide et forslag til nasjonal ramme for vindkraft på land. Rammen skal definere større områder der det kan ligge til rette for utbygging av vindkraft på land. Hensikten er å bidra til større forutsigbarhet om hvor vindkraft kan realiseres og til en mer effektiv konsesjonsbehandling, jf. Olje- og energidepartementets bestillingsbrev av 9. februar 2017.¹

Vi vil innledningsvis i dette brev også komme med innspill knyttet til NVEs notat om myke eksklusjoner som allerede er publisert.² NTV mener at eksklusjonene må henge nært sammen med ovennevnte kunnskapsgrunnlag, at det er behov for en mer faglig tilnærming når det gjelder utvalget av sendere i det digitale bakkenettet som kvalifiserer for eksklusjon, samt at den forklarende teksten må ta opp i seg den risiko for interferens aktuell forskning viser at foreligger.

2. Kart og myke eksklusjoner

2.1 NVEs uttalelser

I forbindelse med arbeidet med nasjonal ramme har NVE publisert kart med myke eksklusjoner.³ Med «myk eksklusjon» menes eksklusjon av arealer der virkninger for én enkeltinteresse i mange tilfeller tilsier at det ikke bør bygges vindkraftverk. På side 3 fremkommer det av tabellen eksklusjon «*To km buffersone rundt sendemaster i det digitale bakkenettet*», og med dette forstår vi at det i denne sonen rundt sendemastene ikke skal bygges vindkraftverk.

I den forklarende teksten til eksklusjonskriteriet heter det videre at:

«Vindturbiner kan forstyrre kommunikasjonssignaler, og den største utfordringen er det digitale bakkenettet (TV og radio), som består av 430 sendemaster og 531 skyggesendere. NVE er enig med NTV og Norkring om at det kan være hensiktsmessig med en buffersone rundt sendemastene i basisnettet. NVE mener imidlertid at NTVs andre krav om eksklusjon (to km buffersone rundt skyggesendere, fire km buffersone rundt ca. 50 hovedsendere, to km buffersone rundt alle mottakere) ikke er hensiktsmessige. Det er etter NVEs vurdering lite sannsynlig at virkninger knyttet til disse

¹ <https://www.nve.no/Media/6596/bestilling-nasjonal-ramme-for-vindkraft.pdf>

² <https://www.nve.no/Media/6945/nasjonal-ramme-for-vindkraft-myke-eksklusjoner.pdf>

³ <https://www.nve.no/nasjonal-ramme-for-vindkraft-pa-land/kart/>

områdene vil være avgjørende i eventuelle konsesjonssaker. Les mer om det digitale bakkenettet her: http://www.ntv.no/hva_er_digitalovergangen

NVE legger i den forklarende teksten opp til et skille mellom hhv. sendere i basisnettet og i satellittskyggenettet. NTV vil i denne forbindelse minne om at både basis- og satellittskyggenettet utgjør del av bakkenettet. NVEs vurdering om virkninger er ikke begrunnet og kan etter NTVs oppfatning heller ikke begrunnes i eksisterende kunnskapsmateriale. Vi vil knytte noen utdypende kommentarer til dette nedenfor.

2.2 Forholdet til mottak av TV-signal i satellittskyggeområder

NTV finner det problematisk at eksklusjonskriteriet tilsynelatende bare gjelder sendere i basisnettet. Vi viser her til formuleringen «... buffersone rundt sendemastene i basisnettet», samt NVEs henvisning til at det *ikke* er hensiktsmessig med eksklusjon rundt skyggesender. Eksklusjonskriteriene synes ikke basert på best mulig kunnskapsgrunnlag, og disse formuleringene må endres.

NTV har et absolutt krav om å sikre dekning i satellittskyggeområdene i henhold til sin konsesjon.⁴

Satellittskyggenettet omfatter om lag 6000 husstander, eller 14 000 personer, som er helt avhengige av satellittskyggesendere for å se tv. Disse husstandene har ikke tilgang til noen andre TV-signaler. Slik NTV ser det er det derfor helt avgjørende at signalene fra satellittskyggenettet ikke forstyrres av vindkraftutbygging. NTV gjør også oppmerksom på at det vil være både kostbart og utfordrende å bygge om skyggenettet, og kanskje heller ikke mulig pga. kravet til faktisk dekning. Når det gjelder skyggenettet har NTV pr. i dag bygget ut 552 satellittskyggesendere som skal sørge for at det digitale TV-signalet kommer frem til husstander som befinner seg i satellittskygge.

NTV mener derfor at det må fremkomme at områder som er nærmere enn 2 kilometer fra en satellittskyggesender ikke er egnet for vindkraft. I motsatt fall vil vindkraftaktører kunne forledes til å tro at satellittskyggesendere ikke er egnet til å skape utfordringer for realiseringen av et vindkraftverk.

Det gjøres videre oppmerksom på at det rene satellittskyggenettet kun dekker 10 % av de som faktisk bor i satellittskygge. De resterende 90 % som bor i satellittskygge, dekkes av basisnettet. Ergo må ikke basisnettdekningen forringes slik at disse 90 % som bor i satellittskyggeområder og som har krav på TV dekning i henhold til NTVs konsesjon, mister den.

NTV mener derfor at det må fremkomme at det ikke kan bygges vindkraft i områder der det er risiko for interferens for husstander som ligger i satellittskyggeområder.

Det gjøres ytterligere oppmerksom på at sendestasjonene i basisnettet også mater flere sendere som ligger i kjede i basisnettet og sågar mater brorparten av senderne i skyggenettet. Det er følgelig viktig at slike signaler ikke forstyrres av vindturbiner fordi da vil intet TV signal bli videresendt til sendere i kjeder i så vel basis- som skyggenettet.

Dersom en vindkraftprosjekt skaper interferens i signalforbindelsen mellom en sender i basisnettet og en sender i et satellittskyggeområde (som da tar imot signal fra basisnettet), er NTV forpliktet til å utvide satellittskyggenettet. Dette er tiltak som eventuelt må planlegges i god tid og vil medføre kostnader som vindkraftutbygger må bære.

NTV mener derfor at det må fremkomme at det ikke kan bygges vindkraft i områder der det er risiko for at et vindkraftprosjekt kan skape interferens for matesignaler som mater andre sendere, hva enten de er i basisnettet eller satellittskyggenettet.

⁴ Jf. punkt 4.1 i konsesjonen, som ligger her: <https://www.regjeringen.no/no/dokument/dep/sd/anbud-konsesjoner-og-brev/konsesjoner/2006/konsesjon-for-opprettning-og-drift-av-dig/id417415/>

2.3 NVEs vurdering av virkninger

NTV har tidligere spilt inn at buffersonen rundt hovedsendere bør være 4 km og 2 km rundt øvrige sendere. NVEs vurdering om at det er «*lite sannsynlig at virkninger knyttet til disse områdene vil være avgjørende i eventuelle konsesjonssaker*» fremstår etter NTVs skjønn både som uheldig og uten faglig støtte. Ettersom virkningene av en vindkraftutbygging for TV-signaler vanskelig kan fastsettes på forhånd, er det avgjørende at buffersonene fastsettes basert på en identifisert risiko for interferens.

ITU (International Telecommunication Union), har publisert retningslinjer for å vurdere risikoen for interferens. Det kan skilles mellom 3 ulike typer interferenssituasjoner som kan være aktuelle i det enkelte tilfelle: forward scatter, backscatter og tilfeller hvor det ikke foreligger fri sikt mellom sender og mottaker. I ITU-R BT.1893-1 Annex 1 er det vist til prosedyrer for en forenklet vurdering for interferens.⁵ Der anbefales det at undersøkelsesområdet strekkes så langt som 10 km fra vindkraftturbinen, men også lengre dersom det foreligger særlige omstendigheter (se s. 4 i anbefalingen). NTV kan akseptere en tilnærming der buffersonen fastsettes til hhv. 4 km fra hovedsendere og 2 km fra øvrige sendere og har med dette strukket seg langt for å ivareta hensynet til vindkraftutbygging. NVEs vurdering derimot, tar ikke opp i seg ITUs anbefalinger. I tillegg må også hensynet til mating av andre sendere i bakkenettet ivaretas.

Når formålet med nasjonal ramme for vindkraft er å vise virkninger for miljø- og samfunnsinteresser, vil en buffersonen rundt alle bakkenettsendere bidra til å tydeliggjøre både beredskapsinteressene, allmennkringkasterinteressene og de kommersielle interessene i det digitale bakkenettet.

NTV mener videre det er sentralt at vindkraftaktører blir gjort kjent med at prosjekter ikke uten videre kan la se realisere nærmere enn 4 km fra hovedsender og 2 km fra andre sendere, uten at utbygger iverksetter tiltak for å opprettholde det digitale bakkenettets dekning og mating til andre sendere i bakkenettet (gjelder både i basis- og i skyggenettet).⁶ Både i og utenfor buffersonene må hensynet til TV-signaler håndteres gjennom vilkår (virkningene får dermed betydning i konsesjonssaken), og det sentrale i rammen blir da å få frem når disse samfunnsinteressene blir berørt, og derved når kostnadsrisikoen for vindkraftutbyggingen særlig øker.

NVEs utsagn om at det utenfor en 2 km sone for sendere i basisnettet ikke vil foreligge virkninger som er avgjørende i konsesjonssaker, er direkte feil. Formuleringen er for øvrig også uheldig, ettersom den gir inntrykk av TV-signalet ikke vil bli berørt. NTV mener derfor at setningen må strykes og det må i stedet komme frem at gjeldende metodebeskrivelse for å avdekke interferens anbefaler at undersøkelsesområdet strekkes så langt ut som 10 km og ikke gir brudd i mating til andre sendere i kjeden.

Videre er det viktig å få frem de særlige forhold som er knyttet til hovedsenderne. Vi viser her til saken gjeldende Dalsbotnfjellet vindkraftverk (saksnr. 201102476), som er til behandling nå. Selv om vindkraftanlegget som nå planlegges ligger på et nabofjell og de fleste turbinene vil få en lengre avstand enn 2 km, er det identifisert en klar risiko for interferens.

Som nevnt over i punkt 2.2, kan det heller ikke legges til rette for utbygging nærmere enn 2 km fra satellittskyggesenderne.

Når det gjelder buffersonen rundt *mottakere*, viser vi til at det *allerede* i dag er lagt inn en buffersonen rundt befolkede områder gjennom de harde eksklusjonene. I notatet vises det til at etablering hindres bl.a. av byggerestriksjoner knyttet til bygninger og infrastruktur. Vel så viktig her er hensyn til støy, iskast, skyggekast mv. Etter NTVs oppfatning må også hensynet til mottak av signaler fra det digitale bakkenettet fremheves som et hensyn som begrunner denne buffersonen. Det må fremkomme at det ved bygging i buffersoner rundt boliger, hytter m.v. kan oppstå interferens med TV-signalet og at det vil kunne påløpe kostnader ved utbedring.

⁵ Det understrekes av denne metoden gjelder én enkelt turbin. I en vindkraftpark kan de ulike turbinene i samvirke øke forstyrrelsene mer enn summen av de enkelte turbiner isolert sett. I Annex 3 er det beskrevet en metode som kan benyttes for å vurdere risikoen for interferens fra en vindkraftpark – denne vurderingen er langt mer krevende å foreta og fordrer bruk av programverktøyet Wi.

⁶ Dersom mating forstyrres, kan dette få ringvirkninger langt utover 10 km.

NTV mener det er helt sentralt at utbyggere av vindkraftverk blir tydelig oppmerksom på risikoen for interferens med de bakkebaserte TV-signalene slik at dette helst kan unngås eller adresseres tidlig i prosessen, slik at det ikke som i SAE Vind-saken på Brosviksåta brukes tid og penger på å utvikle et prosjekt som det først meget sent i prosessen viser seg er for kostbart å realisere.

3. Ad underlaget for utarbeidelse av kunnskapsgrunnlaget

3.1 Til sammendraget

I sammendraget (og rapporten for øvrig) synes det digitale bakkenettet for TV å være gitt forkortelsen DVB-T. Den rette engelskspråklige forkortelsen for et digitalt bakkenett for TV er imidlertid DTT (Digital Terrestrial Television). DVB-T er den teknologien som er valgt brukt i det norske (og øvrige europeiske) DTT-nett.

I fjerde avsnitt under overskriften «*Hvordan kan radiokommunikasjon påvirkes av vindturbiner*» skrives det at DVB-T (DTT) primært påvirkes gjennom to spredningsfenomener (forward- og backscattering). Som fremhevet flere ganger av NTV i tidligere korrespondanse med NVE er det tre typer årsak til interferens. I tillegg til de NVE nevner har man, som også påpekt i ITUs rekommandasjoner, interferens forårsaket av manglende fri sikt mellom sender og mottaker. Denne interferenssituasjonen synes heller ikke beskrevet nærmere i kapittel 4.

I sammendraget er det videre vist til at:

«NTV og Norkring henviser generelt til ITUs anbefalinger i sine høringsuttalelser i vindkraftsaker, men de har til nå ikke gjort konkrete beregninger iht. ITUs anbefalte beregningsmetoder. Det er heller ikke eksempler på at tiltakshaver har gjort slike beregninger i forbindelse med konsekvensutredninger.»

Denne fremstillingen er etter NTVs oppfatning ikke korrekt, ettersom NTV og Norkring blant annet i klagesaker gjeldende Bjerkreim og Måkaknuten har lagt frem beregninger som viser at det foreligger en risiko for forstyrrelser. I nevnte saker var ITUs forenklede metode for beregning av forstyrrelser (Annex 1) benyttet.

Det er imidlertid ikke foretatt analyser av totaleffekten av vindkraftparken som sådan eller av klyngen av vindkraftparker som skal realiseres i området etter den mer omfattende metoden som ITU anbefaler (Annex 3). For å foreta en slik beregning må man ha tilgang til relevant programvare og kunnskap om hvordan slik programvare benyttes. I tillegg krever en slik beregning eksakte koordinater for plassering av vindturbiner mv.⁷ Det må være konsesjonssøker/vindkraftkonsesjonær som må ha ansvar for å fremskaffe slike beregninger.

I tillegg til de teoretiske beregninger som det gjøres rede for både i ITU-rekommandasjonene og i Sintefs rapport, vil terrenget (topografien) i det aktuelle området påvirke risikoen for interferens mellom vindkraft og det digitale bakkenettet for TV.

NTV reagerer videre på innholdet under punktet «*Hvordan ivaretas ekom-tjenester i NVEs konsesjonsbehandling av vindkraftverk?*» Her viser NVE til at det har vært uenighet om hva som ligger i nødvendige tiltak, og om tiltakene skal rette seg mot bruker eller ha til formål å opprettholde dekningsgrad. Fremstillingen tar ikke opp i seg den siste presiseringen fra Olje- og energidepartementet, om at konsesjonær innen anleggsstart (evt. annet skjæringstidspunkt som er fastsatt i konsesjonen) må utarbeide en «... *plan for å kartlegge om det oppstår forstyrrelser, samt en utredning av aktuelle tiltak for å bøte på dette, slik at eventuelle forstyrrelser for mottakere i området kan avbøtes uten unødig opphold.*»⁸

I tråd med dette kan ikke NVE kun vise til at flere ekomaktører mener det bør anvendes et føre-var-prinsipp. OED har gitt uttrykk for gjeldene konsesjonsvilkår gir uttrykk for et føre-var prinsipp og gjort det klart at det er konsesjonærens ansvar at vilkåret er oppfylt før anleggsstart.

⁷ Programverktøyet er beskrevet under punkt 4.5 i utkastet til underlag til kunnskapsgrunnlaget

⁸ Det vises her til OEDs vedtak av 18. juni 2018 siste avsnitt på side 5.

3.2 Til punkt 1 Innledning

I sjette, jf. også første kulepunkt i syvende avsnitt, står det at rapporten omhandler radiolinjer og digitalt bakkenett for TV. Også i utkastet punkt 6.1 og 6.2 gjøres det et skille mellom radiolinjer og digitalt bakkenett for TV. NTV minner i denne forbindelse om at også det digitale bakkenettet for TV er basert på en lang rekke radiolinjer. Radiolinjene brukes til å mating av signaler primært til hovedsendere, men også til andre sendere i bakkenettet som ikke har mating direkte fra en annen sendestasjon i bakkenettet. Dersom et vindkraftprosjekt skaper interferens for en slik radiolinje vil det ha konsekvenser for alle de mottakere som baserer sitt mottak av det digitale TV-signalet fra den aktuelle sender som mister sitt signalmottak.

3.3 Til punkt 2.1 og 3.5 – Beskrivelse av NTVs virksomhet

Punkt 2.1 må oppdateres ettersom det er avklart at NTV vil bli tildelt konsesjon for videre drift av bakkenettet til 31.12.2030. Fornyelsen vil gjelde fra eksisterende konsesjon utløper i 2021, og den vil gjelde for frekvensbåndet 470 til 694 MHz.

NTV mener også det er nyttig at det under presentasjonen av NTV i punkt 2.1 (og eventuelt i punkt 3.5) tas inn en redegjørelse for hva som utgjør de sentrale funksjonene til bakkenettet, for eksempel på følgende måte:

NTV er gjennom sin konsesjon pålagt plikter som blant annet gjelder dekningskrav, beredskap og konkurransemessige vilkår.

Dekningskrav og beredskap henger nært sammen, ettersom bakkenettet spiller en viktig rolle i for eksempel krisesituasjoner, hvor kringkasterne skal kunne nå ut med informasjon og nyheter til befolkningen via bakkenettet. Ved en nasjonal krise er det krav om at NRK skal kunne nå ut fylkesvis med sitt innhold via bakkenettet.

Det digitale bakkenettet for TV er NRKs primære distribusjonsplattform og eneste TV plattform som dekker fastboende i satellittskyggeområder. NRK skal nå gratis ut til forbrukerne på minst en plattform og det er kun på bakkenettet at alle kan se NRK gratis. Ved forstyrrelser på bakkenettets TV signaler fra vindkraft minster forbrukerne muligheten til å ta inn NRKs TV- og radiosignaler gratis via bakkenettet.

Utbyggingen og driften av bakkenettet er forutsatt finansiert ved inntektene fra kommersiell TV-distribusjon. Nevnte inntekter faller bort når signalet ikke når frem til mottakerne. Dette medfører at også den kommersielle siden av NTVs virksomhet må tas hensyn til ved utbygging av vindkraft.

3.4 Til punkt 4 – Relevant litteratur

Innledningsvis i punkt 4, vises til relevant litteratur. Oppregningen mangler en rapport på som kan tyde på at radiolinjer er mer sårbare for forstyrrelser fra vindturbiner enn tidligere antatt. Publikasjonen er fra CEPT ECC (Electronic Communications Committee), ECC Report 260, *Description of methodologies to estimate the technical impact of wind turbines on Fixed Radio Links*, godkjent 27. januar 2017.

3.5 Til punkt 4.6.2 om avbøtende tiltak

I punkt 4.6.2 er det ingen beskrivelse av behovet for målinger (før, under og etter oppføring av vindturbinparker) og midlertidige tiltak (herunder behov for mobil sendestasjon som evt. flere tiltakshavere kan spleise på å leie) for å opprettholde tilgangen til det digitale bakkenettssignalet inntil varige avbøtende tiltak er på plass. Dette er etter NTVs oppfatning helt sentrale og avgjørende tiltak som en tiltakshaver må være ansvarlig for, og iverksette.

Når det gjelder varige tiltak, er det i rapporten vist til at ved backscattering er det enkleste og billigste tiltaket å forbedre direktiviteten til mottakerantennen. Dette er utgangspunktet riktig, selv om forskningen NVE selv viser

til (Angulo et al 2014) gir uttrykk for at dette ikke alltid vil være tilfelle. I tillegg er det særlig områder der signalet allerede er svakt slik at husstanden allerede har installert antenner med maksimal mottakerkapasitet, som vil være særlig utsatt for interferens fra vindkraftinstallasjoner. Det å bytte mottakerantennene vil dermed i praksis ofte ikke være et aktuelt tiltak selv om det eventuelt er tale om backscattering. Ny mottakerantenne er for øvrig ikke et egnet tiltak ved forward-scattering hvor det aktuelle tiltaket i stedet er at det installeres en ny TV-sender på et nytt sted slik NVE også påpeker i utkastet til rapport.⁹ Tilsvarende gjelder i manglende fri sikt- tilfellene.

I rapporten heter det videre at:

«Et annet brukerrettet alternativ er å overføre de berørte husstandene til andre plattformer, som satellitt- eller kabel-TV.»

Dette er imidlertid ikke noe alternativ som forhindrer eller begrenser interferens på det digitale, bakkebaserte TV-signalet og følgelig heller ikke ivaretar hensynet til det digitale bakkenettet, beredskapshensyn, allmennkringkastingshensyn eller de kommersielle interesser som er forutsatt å skulle finansiere det digitale bakkenettet. NTV som aktør, herunder de rettigheter og forpliktelser NTV har etter sin konsesjon, ivaretas ikke ved en slik løsning. Dersom dette skal være et aktuelt tiltak forutsetter det at relevante myndigheter samtykker til at beredskaps- og allmennkringkastingshensyn kan settes til side og at det ytes erstatning til NTV/RiksTV for kundebortfall. NVE må signalisere at dette ikke kan være en normalløsning, men noe som kun er aktuelt i helt spesielle unntakstilfeller der det dreier seg om svært få kunder og kostnadene ved å opprettholde signalmottaket fra det digitale bakkenettet er uforholdsmessig i lys av nevnte tre hensyn, samtidig som erstatning gis til NTV/RiksTV.

NTV vil videre peke på at dette kapittelet ikke adresserer de særlige problemstillinger som gjør seg gjeldende for mottakere som befinner seg i de såkalte satellittskyggeområder. Det ovenfor skisserte tiltak med overføring til en annen TV-plattform er eksempelvis ikke en mulighet for husstander som ligger i satellittskyggeområder. I slike situasjoner vil utbygging av nye sendere være den eneste løsningen. Det minnes her om at også basisnettet (og ikke bare satellittskyggenettet) dekker satellittskyggeområder, jf. punkt 2.2 over.

Vi ser også at det med fordel kan gis en beskrivelse av hvilke tiltak som er nødvendige ved etablering av nye sendere. Det er blant annet nødvendig å få tilgang til grunn (enten gjennom kjøp, leie eller ekspropriasjon). En sender vil dessuten være avhengig av strømforsyning, noe som også vil kunne kreve bygging av nye strømlinjer slik at dette må sikres. Dersom det ikke er anleggsvei, må sendere fraktes ut på annen måte.

3.6 Til punkt 4.7 Kunnskapsbehov

I dette punktet gjentar NVE formuleringen fra sammendraget om at NTV og Norkring ikke har gjort konkrete beregninger i henhold til ITUs beregningsmetoder. Som påpekt i punkt 3.1 er dette ikke riktig.

For øvrig er NTV enig i at det hadde vært ønskelig med mer kunnskap og da særlig i forhold til hvordan vindkraftparker påvirker digitale TV-sendere lokalisert i en topografi tilsvarende den norske med fjell og daler. Som følge av den norske topografien, er det norske DTT-nettet et av de mest komplekse DTT-nettene i verden med et stort antall sendere og radiolinjer. Som nevnt ovenfor, er det nå også fremlagt en rapport som tyder på at radiolinjer er mer sårbare for forstyrrelser fra vindturbiner enn tidligere antatt.

Det er også behov for mer kunnskap om hvordan teknologiutviklingen de senere år med høyere master, vindturbiner med større dimensjoner og nye materialvalg, påvirker interferensproblematikken. De to førstnevnte forhold skal ifølge foreliggende kunnskap øke risikoen for interferens, mens materialvalg potensielt også kan redusere risikoen for interferens med elektroniske signaler.

Inntil mer kunnskap foreligger som gjør det mulig på forhånd å beregne med større grad av sikkerhet om det blir interferens eller ikke, er tiltak i form av målinger ved konkrete utbyggingsprosjekter og beredskapstiltak som tilgang til mobil sendestasjon av avgjørende betydning.

⁹ Jf. sitatet fra Angulo et al (2014) gjengitt under punkt 4.6 2 i NVEs utkast til rapport

3.7 Til punkt 5.1

Punktet omtaler konsesjonssøknaden for utbygging på Brosviksåta. Selv om saken illustrerer at det er viktig med gode utredninger i forkant, er saken lite egnet til å belyse dagens utfordringer.

Teleplans utredning i denne saken ble utarbeidet i 2007. Ettersom det digitale bakkenettet først var ferdig utbygd ved årsskiftet 2008/2009, er konklusjonen og forslagene fra Teleplan lite treffende. I Teleplans rapport er det da også presisert at det ikke forelå rapporterte undersøkelser av digitale TV-signaler.

NTV kan ikke se relevansen av å ta med denne saken i kunnskapsgrunnlaget. Dersom den likevel gjengis, er det viktig at det innledningsvis kommer tydelig frem at utredningene i saken fra Teleplan ble foretatt før det digitale bakkenettet var utbygd, og at Teleplan anbefalte en føre-var holdning til problematikken.

NTV mener det er viktigere å omtale den senere tids utvikling. Vi ser at dette også kan plasseres under punkt 6.1.2, men i den grad det under punkt 5 skal redegjøres for konkrete saker, bør nyere saker nevnes her. Av konkrete saker som bør nevnes viser vi til Olje- og energidepartementets vedtak i Bjerkreim-saken, hvor det ble presisert at konsesjonsvilkåret knyttet til radio- og TV signaler skal være oppfylt på det skjæringstidspunkt som følger av konsesjonen. Når skjæringstidspunktet etter anleggskonsesjonen vanligvis er «*innen anleggsstart*», innebærer det at vindkraftkonsesjonæren før anleggsstart må sørge for at det:

«... foreligger plan for å kartlegge om det oppstår forstyrrelser, samt en utredning av aktuelle tiltak for å bøte på dette, slik at eventuelle forstyrrelser for mottakere i området kan avbøtes uten unødig opphold.»

Etter NTVs skjønn innebærer dette at konkret at tiltakshaver før anleggsstart i det minste må ha påtatt seg å gjennomføre og dekke kostnadene ved:

- en forpliktende plan for måling dekningsstyrken før, under og etter byggeperioden og gjennomføring av dette,
- en beredskap i form av tilgang til mobil bakkenettsendestasjon som kan benyttes dersom dekningen faller bort og inntil permanente tiltak er på plass, og
- en forpliktende plan for gjennomføring av eventuelle permanente tiltak.

En annen problemstilling som også kan løftes frem i dette punktet er forholdet mellom ulike aktører, når det bygges ut klynger med vindkraft. I slike utbyggingssaker kan det være hensiktsmessig at det etableres en felles plan for ivaretagelse av TV-signalet.

3.8 Til punkt 6

NVE viser under punkt 6 til at konsesjonær plikter å iverksette nødvendige tiltak dersom mottakere i nærområdene blir berørt. Etter NTVs syn må det her presiseres at det ikke bare er mottaket av signalet fra det digitale bakkenettet som skal sikres, men også at NTV som avsender er en part beskyttet av konsesjonsvilkåret. Der NTV også er mottaker av signal (dvs. der en sender mates fra andre sendestasjoner) må NTV være beskyttet både som mottaker og avsender av signalet.

NTV mener også at setningen «*Hvilke typer tiltak som skal gjennomføres, bestemmes av utbygger i samråd med berørte aktører som f.eks. NTV eller Norkring*» bør endres. Det må tydeliggjøres at det er signalet fra det digitale bakkenettet som er gjenstand for beskyttelse slik at det primære formål med tiltakene er at mottaket av dette signalet opprettholdes. I satellittskyggeområder må permanente tiltak – dvs. bygging av nye eller større sendere – gjennomføres.

Utenfor satellittskyggeområdene, kan et permanent tiltak også være (gitt at NTVs konsesjonsmyndigheter samtykker til at beredskapshensyn og allmennkringkastingsoppdraget kan vike i det aktuelle tilfellet), å kompensere NTV/RiksTV for fremtidig økonomisk tap knyttet til tapt kundegrunnlag for bakkenettets

kommersielle virksomhet. Dette er kun aktuelt det det bare er et meget lite antall potensielle mottakere som er berørt og kostnadene ved å opprettholde bakkenettsdekningen for disse er uforholdsmessig stort sammenlignet med nevnte tap. En forutsetning må også være at signalmatingen til andre sendestasjoner i bakkenettet ikke er berørt.

For å gi tilstrekkelig klarhet og forutberegnelighet er det viktig at det fremkommer klart hva vilkåret innebærer i praksis, da dette vil gjøre det enklere for vindkraftaktørene å innkalkulere kostnader knyttet til ivaretagelsen av TV-signalet.

3.9 Til punkt 6.1.2 – NVEs vurdering av vilkåret

Som NVE er kjent med, er NTV sterkt uenig i flere av de synspunkter NVE ga uttrykk i sitt oversendelsesbrev i Bjerkreimsaken gjengitt i punkt 6.1.2. Som kjent har OED truffet en avgjørelse i saken og har på noen punkter allerede korrigert NVEs standpunkter. Dette punktet må endres og oppdateres.

Vi peker også på at uenigheten som i dag foreligger mellom NTV og vindkraftkonsesjonærene, i stor grad skyldes brevet som gikk ut fra NVE i 2016 til flere vindkraftaktører. I dette brevet ga NVE uttrykk for at avbøtende tiltak kunne skje i ettertid, og at konsesjonær selv kunne velge hvilke avbøtende tiltak som skulle gjennomføres. Slik NTV oppfatter det, har vindkraftkonsesjonærene tatt dette brevet til inntekt for at konsesjonsvilkåret i realiteten er satt til side av NVE. Etter dette brevet, har vindkraftkonsesjonærer vært uvillige til å gå inn på realitetsdrøftelser av tiltak for å oppfylle konsesjonsvilkåret.

NVEs syn slik det kom til uttrykk i brevet 2016, er som nevnt forlatt gjennom OEDs avgjørelse i Bjerkreim-saken, hvor det fremkommer at vilkåret skal være oppfylt innen det skjæringstidspunkt som er angitt i konsesjonen.

Det er avgjørende at NVE kommer på banen og som konsesjonsmyndighet og sørger for at konsesjonsinnehaverne oppfyller sine konsesjonsforpliktelser. Det er ikke i samsvar verken med energiloven eller god forvaltningsskikk at NVE som antydnet i punkt 6.1.2, overlater til private parter å sørge for at konsesjonsvilkår blir oppfylt. Dersom NVE ønsker en avtalebasert løsning, må NVE i det minste sørge for at konsesjonsinnehaver har tilstrekkelig incentiv til å søke en avtaleløsning.

NVEs utlegning av forholdsmessighetsprinsippet i punkt 6.1.2, er etter NTVs oppfatning ikke fullstendig. I en eventuell forholdsmessighetsvurdering, kan det ikke bare tas hensyn til kostnadene ved å opprettholde TV-signalet sammenholdt med kostnadene ved å flytte en mottaker over på en annen TV-plattform. Tvert om må vindkraftkonsesjonærens kommersielle interesse i vindkraftutbygging avveies mot de samfunnshensyn som bakkenettet ivaretar med hensyn til beredskap og allmennkringkasting, herunder at TV seerne skal kunne ta inn NRK gratis på bakkenettet hvilket ikke kan oppfylles via andre TV plattformer, samt til NTV/RiksTVs kommersielle interesse i at dekningen opprettholdes. I en forholdsmessighetsvurdering må det også tas hensyn til mulighetene for å tilpasse vindkraftutbyggingen slik at risikoen for interferens om mulig reduseres. Aktuelle tiltak her kan være plassering av mastene innenfor konsesjonsområdet og tilpasning av særlig problematiske masters høyde.

Dersom utfallet av en slik forholdsmessighetsvurdering er at det digitale bakkenettssignalet må vike, må det videre være en absolutt forutsetning at NTV/RiksTV kompenseres for bortfall av kunder i bakkenettet. Den formulering som er inntatt i punkt 6.1.2 om at dersom kunder føres over til andre plattformer «*kan [dette], hvis nødvendig suppleres*» med en økonomisk kompensasjon bidrar til uklarhet. Dette må være en klar «skal-regel».

Dette punktet må følgelig gjøres til gjenstand for betydelig omarbeiding. NTV mottar gjerne et nytt utkast for kommentarer når dette punktet er oppdatert.

3.10 Til punkt 8 konklusjon

Punktet må oppdateres, jf. våre innspill over.

3.11 Nytt punkt – krav til saksbehandling og utredning

NTV ser behovet for at det inntas et punkt om saksbehandling i underlaget. NTVs erfaring er at det er flere mangler i saksbehandlingen av disse sakene.

NVE har bl.a. bygget på uttalelser som er avgitt før det digitale bakkenettet ble utbygd, og således ikke lenger er relevante. Det er også viktig at NVE går gjennom sin saksbehandling og sikrer at viktige samfunnsinteresser blir hørt, at fremtidige konsesjonsvilkår blir tydeligere og at NVE følger opp de vilkår som settes.

3.11.1 Utformingen av vilkår

I fremtidige konsesjonssaker må konsesjonsvilkåret presiseres slik at det tydelig fremgår at:

- det er mottaket av signalet fra det digitale bakkenettet som skal sikres,
- at signalmating mellom sendestasjoner i bakkenettet skal ivaretas og sikres fortsatt fremføring
- at NTV som avsender, i tillegg til mottaker av signalet, er en beskyttet part i konsesjonsvilkåret, og
- at en forpliktende plan for måling av dekningsstyrke, beredskap samt midlertidige og permanente tiltak for å opprettholde mottak av bakkenettsignalet, må foreligge før MTA og detaljplan kan godkjennes.

3.11.2 Konsesjonsbehandling ved effektutvidelser og endring av dimensjoner

Der NVE får inn søknader om effektutvidelser eller det gjennom behandlingen av MTA-plan viser seg at dimensjonen på mastene er endret sammenlignet med det som er oppgitt i konsesjonssøknaden, må det skje en ordinær konsesjonsbehandling av disse endringene, slik at NTV kan komme med innspill og eventuelle nye vilkår kan oppstilles. Dimensjoneringen av mastene og turbinene er av særlig betydning når det gjelder risikoen for interferens.

4. Avslutning

NTV vil avslutningsvis takke for anledningen til å kommentere utkastet til rapport. Etter NTVs oppfatning er det viktig at det er en god dialog mellom NVE og de aktører som kan bli påvirket av vindkraftutbygging. Det er viktig at beslutninger blir truffet på riktig faktisk grunnlag og at alle relevante interesser blir hørt og vurdert.

NTV står selvsagt til disposisjon dersom NVE har spørsmål til våre kommentarer ovenfor eller behov for andre innspill fra vår side.

Med vennlig hilsen
for **Norges televisjon AS**

Trude Malterud
Administrerende direktør

Norges vassdrags- og energidirektorat
v/ Erlend Bjerkestrand
Postboks 5091, Majorstuen
0301 Oslo

Epost: erbj@nve.no

Oslo, 09.06.2017

Nasjonal ramme for vindkraft på land – Innspill til metodebeskrivelse

1. Innledning

Vi viser til innspillmøte hos NVE torsdag 11. mai 2017 samt deres brev av 15. mai 2017 hvor det bes om innspill til metodebeskrivelse knyttet til nasjonal ramme for vindkraft på land. Norges televisjon AS ("NTV") har frekvenstillatelse og konsesjon på opprettelse og drift av et digitalt trådløst bakkebasert senderanlegg for kringkasting («bakkenettet»).

2. Bakgrunn og forutsetninger

I høringsbrevet ber NVE om metodiske innspill for utvelgelse av områder som er *egnet* eller *uegnet* til utbygging av vindkraftanlegg. Med hensyn til bakkenettet er det ikke mulig å forutsi med sikkerhet hvilke områder som er *egnet* til vindkraftutbygging i den forstand at TV-signalene i bakkenettet ikke vil bli forstyrret med en gitt plassering av vindkraftanlegg. Internasjonale anbefalinger og erfaring fra noen vurderinger som vi har gjort av tidligere vindkraftprosjekter gir noe veiledning for å identifisere hvilke områder det er sannsynlig at vindmølleutbygging vil føre til forstyrrelser på bakkenettet, og som av hensyn til bakkenettet derfor er *uegnet* for vindkraftutbygging. Imidlertid må det alltid skje en *konkret vurdering* av hvorvidt en gitt plassering av et vindkraftverk generelt, og plasseringen av vindmøller innen et gitt område spesielt, kan føre til forstyrrelser på bakkenettet. Dette har NTV kommunisert tydelig både under innspillmøte med NVE avholdt 11. mai 2017, og i tidligere korrespondanse.

At det er vanskelig å forutsi hvorvidt og i hvilken utstrekning vindkraftutbygging kan forstyrre TV-signalene i bakkenettet skyldes at dekningsberegninger og dekningsanalyser er svært komplekse operasjoner. Dekning genereres både basert på signaler mottatt direkte fra TV-sender, signaler mottatt via refleksjoner eller ofte en kombinasjon av disse. I tillegg kan signaler i enkelte områder mottas fra flere TV-sendere. Det at man med digital kringkasting *konstruktivt* kan utnytte refleksjoner til å generere et bedre signalmottak er ett av de viktigste fortrinnene med digital kringkasting sammenlignet med analog kringkasting hvor reflekser virket destruktivt på TV-mottaket. Det er vanlig at TV-signaler reflekteres fra eksempelvis terreng og/eller bygninger før de treffer mottakerantennen. Som regel er det ikke bare ett reflektert signal men mange, og dette utnyttes *konstruktivt* for å gi et best mulig signalmottak hos mottakeren. Store vindturbiner med roterende blad kan imidlertid virke forstyrrende og skape et ustabilt refleksjonsmønster. Resultatet kan være at TV-mottaket blir ødelagt i områder hvor det tidligere var god dekning fra bakkenettet. Det finnes ingen beregningsverktøy som kan direkte analysere situasjonen med vindparker og deres eventuelle påvirkning av bakkenettdekning.

På denne bakgrunn er våre innspill til metodebeskrivelser for å identifisere områder som er mer egnet for vindkraftutbygging enn andre kun overordnede betraktninger, som ikke kan erstattes en konkret vurdering

forankret i grundige analyser i forbindelse med detaljplanlegging og prosjektering av vindmølleparker. Det er således viktig at NTV i alle tilfeller konsulteres allerede i forkant av detaljplanlegging av vindkraftanlegg.

Videre er det en klar forutsetning fra NTV at det er tiltakshaver som bærer risikoen og kostnader forbundet med eventuelle forstyrrelser på bakkenettet. Der det oppstår forstyrrelser på bakkenettet må tiltakshaver treffe gjenopprettende tiltak som eliminerer signalforstyrrelsene på bakkenettet. Så vel allmenne interesser (kringkasting og beredskap) som hensynet til tiltakshaver og bakkenettet tilsier at det allerede i forkant av vindkraftverkutbygging etableres en avtalebasert verifiseringsmekanisme mellom NTV og tiltakshaver. Slike avtaler skal regulere hvilke tiltak som tiltakshaver må treffe hvis vindmølleparken skulle forstyrre signalene i bakkenettet. At det allerede i forkant av utbyggingen skal inngås avtale som regulerer avhjelpende tiltak der signalforstyrrelser oppstår, er økonomisk rasjonelt og potensielt kostnadsbesparende for tiltakshaver. Alternativet til en slik avtale er at tiltakshaver må bekoste nye sendere som sikrer fortsatt dekning i bakkenettet allerede forut for bygging og drift av vindmølleparker. Dette vil kunne påføre den enkelte vindkraftutbygger unødvendige kostnader hvis det i ettertid viser seg at den aktuelle vindmølleparken ikke forstyrrer bakkenettet på en måte som krever nye sendere.

Basert på ovenstående forutsetninger må NVE som konsesjonsmyndighet legge til rette for dialog og avtaleinngåelse mellom NTV og tiltakshaver, og dermed sikre at utbygging av vindkraftverk ikke er til skade eller ulempe for NTVs drift av det digitale bakkenettet i berørte områder.

3. Innspill til en innledende overordnet utvelgelsesmetode

Med bakgrunn i forutsetningene beskrevet under punkt 2 er vårt forslag i det følgende kun innspill til en innledende og overordnet metodebeskrivelse til å identifisere potensielle *kandidatområder*, dvs. områder som av hensyn til bakkenettet *kan* være egnet til utbygging av vindkraftverk. Etter at en total kartlegging har blitt gjennomført må det gjøres mer inngående analyser av de områder som har blitt identifisert som aktuelle og som NVE ønsker å vurdere nærmere.

Som en første utvelgelse forslår NTV å legge inn alle bakkenettets senderstasjoner (dvs. stasjonspunkter) i NVEs kart med en *interferenssone* rundt (360 grader). Basert på ITUs anbefalinger i *Recommendation ITU-R BT.1893-1 (10/2015): Assessment methods of impairment caused to digital television reception by wind turbines* bør avstanden til nærmeste vindturbin være minimum 2 km. Denne avstanden må være målt både fra senderstasjon og fra mottaker/sluttbruker. Siden høyeffektsendere er spesielt utsatt mener vi at avstanden her bør være minimum 4 km. NTV kan oversende NVE en liste med alle senderstasjoner inkl. GPS posisjon (WGS 84 format). Når det gjelder interferenssoner antar vi at det er noe dere kan legge inn i kartet direkte basert på de anbefalinger som vi har gitt ovenfor. Uansett er dette en teknisk detalj som vi kan diskutere og avklare senere.

NTV håper innspillet kan være til hjelp til å identifisere noen potensielle områder for videre analyser, og ser frem til videre dialog med NVE.

Vennlig hilsen,



Åge Gurvin

Plattformsjef

Norges televisjon AS

From: Haakon.Gjesdahl@telenor.com
Sent: 9. juni 2017 10:19
To: Lundsbakken Marte; Bjerkestrand Erlend
Cc: Terje.Nordtorp@telenor.com
Subject: Nasjonal ramme for vindkraft på land – innspill til første fase (metodikk)

Norkring viser til innspillmøtet som ble gjennomført den 11. mai hos NVE, og mottatt brev datert 15. mai 2017, med referanse 201604596-18. På innspillmøtet ble Norkrings syn gjennomgått, og vi ønsker at dette tas med videre i prosessen.

Når det gjelder tilgjengelig datasett ønsker Norkring å legge vekt på hovedsendere og sendere for TV. For Norkring er hovedsenderne spesielt viktig. Det er ca. 50 slike hovedsendere som er plassert på høytliggende fjelltopper rundt omkring i Norge. På disse er mange forskjellige tjenester innplassert, også samfunnskritiske tjenester. Hver av disse tjenestene må behandles særskilt. Vi sender ikke inn data i første omgang, men ønsker å få tilbakemelding på hvilket format/form det er ønskelig å motta slike data. Dette gjelder også bakkenett for TV med ca. 430 senderpunkter inkl. hovedsendere.

Når det gjelder evaluering av interferens fra vindturbiner til bakkenettet for TV, benyttes retningslinjer fra ITU (International Telecommunication Union), rekommandasjon ITU-R BT.1893. Norkring samarbeider med Norges televisjon AS (NTV) angående påvirkninger mellom vindturbiner og bakkenettet for TV. NTV vil sende inn et eget innspill til metodebeskrivelse angående denne tjenesten.

Vi er usikre på hva NVE ønsker i forbindelse med metode. Vi ønsker i første omgang å sende inn geografiske data for senderpunkter. Deretter blir det et spørsmål om hvor stor sirkel det blir rundt disse senderpunktene. I virkeligheten vil terrenget rundt senderen ha mye å si for hvor sterk interferensen blir. Men som et utgangspunkt kan man benytte 2 km. Dette er en avstand som er nevnt i rekommandasjonen, og som kan være et generelt utgangspunkt. Det vil også kunne oppstå interferens mellom vindturbiner og sluttbrukere. Dette kan være vanskelig å visualisere i et GIS verktøy. Problemer kan oppstå når det er kort avstand mellom vindturbiner og fast bebyggelse/fritidsboliger. Uansett må hvert enkelt prosjekt vurderes konkret.

Vennlig hilsen
Haakon Gjesdahl
Advokat/Attorney at law, MNA



Telenor Broadcast Holding AS
Mob: (+47) 934 33 426
Snarøyveien 30
1360 Fornebu, Norway
haakon.gjesdahl@telenor.com

From: Lundsbakken Marte [mailto:many@nve.no]
Sent: 15. mai 2017 14:17
To: 'bjorn.bergesen@forsvarsbygg.no'; 'Vegar.Walso@dirmin.no'; 'Heahтта, Sten Olav'; Oskal, Per Mathis; Strøm-Hågensen, Bjørnar; Terum, Torleif; 'Tostrup, Jostein'; Gjesdahl Haakon / Advokat; Nordtorp Terje; 'Åge Gurvin'; Trude Malterud; 'Svein Grotli Skogen'; 'pernille.lund.hoel@miljodir.no'; 'ingunn.holm@ra.no'; 'kristi.vindedal@ra.no'; 'aasmund.trydal@Nkom.no'; 'lailas@met.no'; 'vegark@met.no'
Cc: Bjerkestrand Erlend; Olsen Arne; Butt Bushra; Dalen Even Vegard; Haukeli Ingrid Endresen; Berg Anne Mathilde; Birkelund Henriette; Ramtvedt Ane Næsset; Eirum Astri Tale; Aass Hilde; Bølling Jørgen Kocbach; Flatby Rune
Subject: Presentasjoner fra innpsillsmøtet på torsdag og kopi av brev

Hei

Takk for et vellykket innpsillsmøtet om metodikk for nasjonal ramme for vindkraft på torsdag! Vi fikk mange gode spørsmål og kommentarer, og ser fram til å samarbeide med dere om dette prosjektet. Vi har i dag sendt ut brev der vi inviterer dere til å komme med skriftlige innspill til den første fasen av arbeidet innen 9.juni. Kopi av brevet er vedlagt, sammen med NVEs presentasjoner fra møtet.

Med vennlig hilsen

Marte Lundsbakken

rådgiver

seksjon for energikonsesjon | konsesjonsavdelingen

Tlf: 991 50 873 | E-post: many@nve.no

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

Tlf: 09575 | E-post: nve@nve.no | Web: www.nve.no



NVEs vindkraftseminar 2017

Vi gleder oss til årets seminar og håper å se deg i Drammen! Gå ikke glipp av muligheten til å delta på årets vindkraftseminar.

[Meld deg på her](#) - påmeldingsfrist **12. mai**.

Send gjerne linken til andre som kan være interessert i å delta på seminaret.

Det pågår en storstilt utbygging av vindkraft i Norge, og på seminaret vil vi ta opp aktuelle temaer som:

- Utbygging og drift av vindkraftverk
- Utvidelse av det svenske elsertifikatmarkedet til 2030
- EUs energipolitikk
- Nasjonal ramme for vindkraft.

Foruten å levere et godt faglig program med et blick mot fremtiden, henvender seminaret seg til utbyggere, leverandører, konsulenter, myndigheter, nettselskaper, vertskommuner og andre.

Vi tilbyr en viktig møteplass ispedd nødvendige doser med kultur og alminnelig hygge. Grip anledningen og hold deg oppdatert om hva som skjer.

Programmet finner du på seminarets [webside](#).

NVEs forhåndsbestilte rom på Comfort Hotel Union Brygge er fulltegnet, men det er fremdeles ledige rom på [Scandic Ambassadeur hotel](#). Rom bestilles via påmeldingsskjemaet.

Med vennlig hilsen

NVE - Norges vassdrags- og energidirektorat.

Innspill fra Nkom til metodebeskrivelsen

I sin presentasjon på innspillsmøtet den 11. mai 2017 understreket Nkom at påvirkningen av vindturbiner på radiobølger er vanskelig tema som ikke er lett å konkretisere. Radiosendere kan være plassert langt unna et planlagt vindkraftverk, men likevel kunne bli påvirket dersom vindturbinene er i nærheten av siktelinjen til radiolinjer. I de fleste tilfeller vil man ikke oppdage at radiobølger blir påvirket før etter at et vindkraftverk er idriftsatt. Det er også vanskelig å bevise at redusert kvalitet i kommunikasjonstjeneste er forårsaket av vindkraftverket. Det koster ca. 300 000–500 000 kr å etablere et radiolinjesystem og det er store kostnader knyttet til flytting av radiosystemer. Det bør derfor utarbeides retningslinjer for hvordan dette kan håndteres.

Når det gjelder virkninger for radiolinjer viste Nkom til ECC-rapporten «Description of methodologies to estimate the technical impact of wind turbines on Fixed Radio Links» publisert i 2017. ECC står for Electronic Communications Committee og underlagt ECPT European Conference of Postal and Telecommunications Administrations. ECC har en egen forumgruppe som arbeider med vindturbiners påvirkning på telekommunikasjonstjenester (Forum Group on Wind Turbines). Nkom understreket at rapporter for andre kommunikasjonstjenester er under utarbeidelse.



NVE

Norges vassdrags- og energidirektorat

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

www.nve.no