



Meteorologisk
institutt

Notat nr. 2017/645

Dato: 09.06.2017

Til: NVE

Fra: Meteorologisk institutt

Kopi: Arkivet

Sak: Innspill til metodikk for nasjonal ramme for landbasert vindkraft.

Innledning

Meteorologisk institutt har i sitt formål at vi skal arbeide for at myndigheter, næringslivet, institusjoner og allmennheten best mulig kan sikre liv og verdier, planlegge og verne miljøet.

Herunder kommer varsling av potensielt farlig vær for allmennheten og for mer spesialiserte brukere som forsvar og andre offentlige myndigheter, luftfart og ulike værsensitive næringer. Dette oppdraget har også en lenke inn mot å kjenne landets klima og sannsynlig klimautvikling.

For å kunne varsle vær og kjenne klimaet i Norge er vi avhengige av observasjoner. Det finnes mange typer observasjoner, og i denne sammenheng vil vi fokusere på værradar og de utfordringene værradarmålinger opplever ved nærhet til vindturbiner. Vi vil

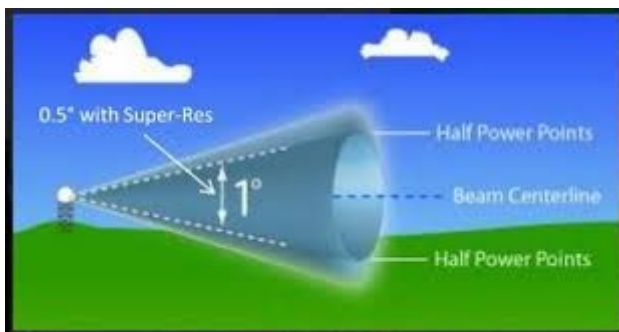
- beskrive problemet
- drøfte resultatet av en storstilt vindkraftutbygging nær værradarene.
- gi vårt innspill til hva en metodikk for utvelgelse av arealer bør inneholde.

- beskrive områder der værradar og vindturbiner vanskelig lar seg forene.
- gi forslag til utbyggingsområder som ikke vil være i konflikt med meteorologisk institutt sin infrastruktur.

Hvordan værradar påvirkes av vindturbiner

En værradar sender ut elektromagnetiske signaler. Når signalene møter en hindring som f.eks vanndråper, master eller fjell reflekteres signalet og returnerer tilbake mot radaren. Digital etterbehandling av det returnerte radar signalet gjør at man kan skille mellom meteorologiske hindringer, nedbør, og ikke-meteorologiske hindringer. Signalet som reflekteres fra nedbør vil bestandig inneholde bevegelse, i motsetning til stillestående hindringer som fjell og bygninger. Returnerte signaler fra vindparker vil også være i bevegelse, og siden det returnerte signalet vil endres med vindretningen vil det returnerte signalet variere i styrke.

Et værradarsignal (se figur 1), vil ha en kjegleform, der signalet har minst diameter nær radaren og en langt større diameter ved 240km, som våre værradarer er satt opp til å ha som dekningsområde. Radar signalet er sterkest i midten av kjeglen, og avtar med 3 dB ut mot kanten av kjeglen.



Figur 1: Viser radarsignalets kjegleform, med sterkest signal mot midten og svakere signal ut mot kantene. (figuren er hentet fra

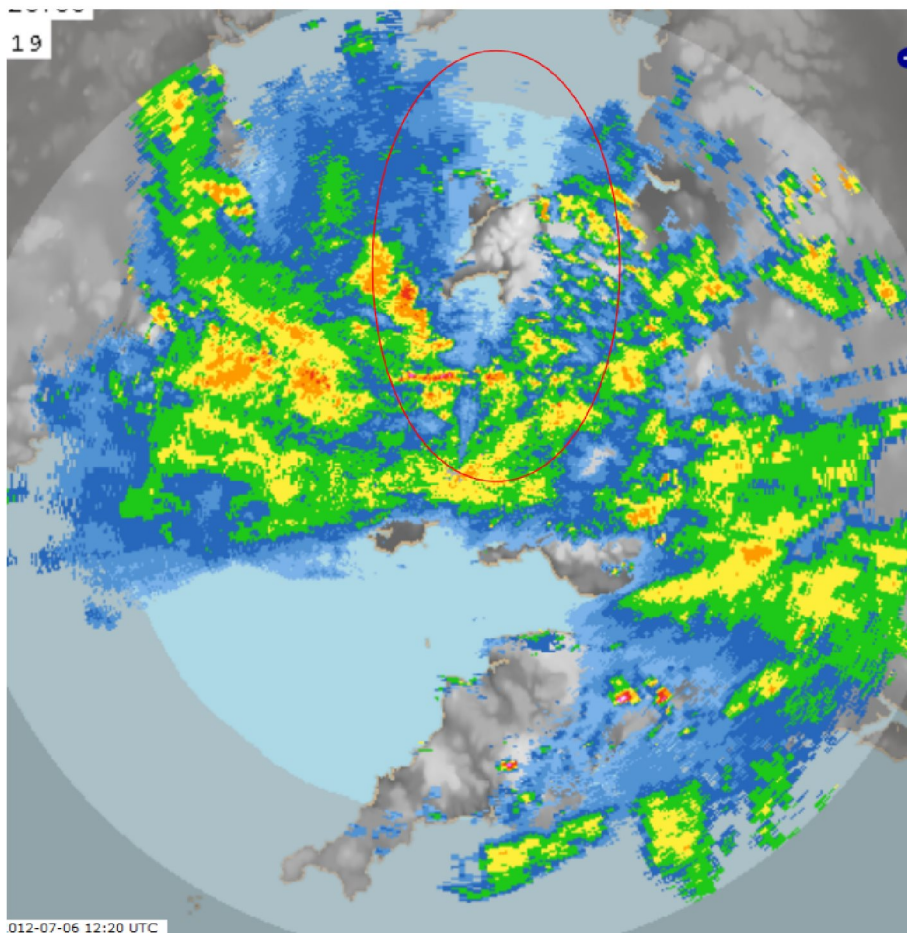
<https://www.masterresource.org/windpower-vs-radar/tornado-alerts-wind-turbines/>)

Konflikten mellom vindturbiner og værradar består dermed av tre typer forstyrrelser. Dette er blokkeringer i radardataene, forstyrrelser i nedbørdata og forstyrrelser i vinddata.

Hvis rotorbladene kommer innenfor radar signalet vil dette medføre en delvis blokkering, og dermed en svekkelse av radar signalet bak de aktuelle vindturbinene.

Resultatene av dette er generelt svakere returnerte signaler fra nedbør, og dermed en indikasjon om svakere nedbør enn hva som reelt sett er tilstede. I enkelte tilfeller vil de returnerte signalene være så svake at det ikke vurderes til å være nedbør.

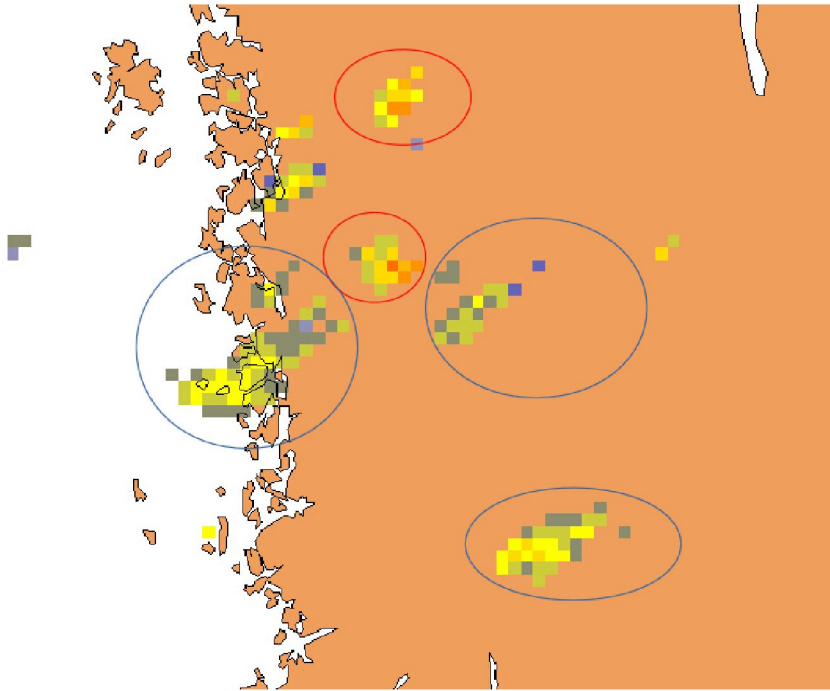
Blokkering/demping av radar signalet som gjør at radar signalet svekkes, og i alvorlige tilfeller blokkeres. Et eksempel på dette kan vi se i figur 2, hvor tre turbiner tydelig gir en kraftig dempning av radar signalet.



Figur 2 viser radar data fra radaren Crug-Y- Gorllwyn. Den røde ellipsen viser området med manglende nedbørdata.

Årsaken til de manglende radardataene er de tre vindturbinene i beliggende ved landsbyen Blaen Bowi.

Den andre typen forstyrrelser skapt av vindturbiner er urealistisk radarreflektivitet for området der turbinene befinner seg. Slike områder ser vi i figur 3. Nedbørsignaler er markert med blå ringer mens vindparker er markert med røde ringer. Denne typen forstyrrelser kan visuelt korrigeres slik at signaler for områder med vindturbiner blankes ut og erstattes med verdier fra radar pixler i nærområdet, eventuelt med verdier hentet fra en nabo radar. Hvis det er få vindparker innenfor en radars dekningsområde, vil dette i de fleste tilfeller være uproblematisk. Det kan imidlertid inntreffe ekstrem nedbør/vind innenfor et vindparkområde som vi på denne måten ikke vil oppdage. Hvis det derimot er mange vindparker innenfor radarens dekningsområde, og det i tillegg er liten høydeforskjell mellom høyden av radar signalet og den totale turbinhøyden, får vi raskt en situasjon der store deler av radardatasettet må markeres som lite egnet for bruk inn i meteorologiske værvarslingsmodeller. I Norge har det til nå ikke vært så stor vindkraftutbygging rundt værradarene. Det har vært størst aktivitet i området rundt Hægebostad værradar, og figur 4 viser de største planlagte og eksisterende vindkraftprosjektene nær Hægebostad værradar.



Figur 3 viser et øyeblikksbilde fra Hurum værradar der nedbør er markert med blå ringer mens vindparker er markert med røde ringer.



Figur 4 Nærområdet til Hægebostad værradar er markert rødt. Områder der radardata fra Hægebostad værradar vil påvirkes av vindkraftverk, og dermed ikke kan brukes i værvarslingsmodeller er skravert grå.

Fra en værradar får vi to ulike typer grunnlagsobservasjoner; reflektivtetsobservasjoner og observasjoner av doppler skift.

Reflektivtetsobservasjoner er bestemt ved styrken på det signalet radaren mottar, og dette gir oss nedbørintensitet. Observasjoner av doppler skift brukes til å finne vindretning og styrke i områder der det er nedbør.

Den tredje typen forstyrrelser, er forstyrrelser i vinddata. Vinddata er spesielt utsatt for forstyrrelser fra vindturbiner. Bevegelsen av vindturbinene vil gi feilaktige vindobservasjoner i området der vindparken ligger, både når det gjelder retning og hastighet. Vinddata fra radar brukes av en del land i automatiske varslingsrutiner for å finne svært ustabile luftmasser. Det er i disse områdene værphenomener som tornado eller superceller kan utvikle seg. Dette er værphenomener som potensielt kan gi stort skadeomfang, og vi opplever denne typen værphenomener stadig hyppigere i Norge. Det er iverksatt et prosjekt for å vurdere bruk av denne typen teknologi også i Norge.

Det er velkjent fra land som i dag bruker automatiske rutiner på værradardata for tidlig å fange opp kraftige bygeutviklinger, at vindparker er med på å generere falske alarmer for alvorlig bygeaktivitet.

Effekten av en storstilt vindkraftutbygging nær værradarene

Vi har tidligere i dette dokumentet vist flere uønskede effekter i værradardata som stammer fra vindkraftutbygging nær værradaren. Av disse effektene er blokkering av radardata klart alvorligst.

Et vesentlig spørsmål her vil dreie seg om effekten av degraderte radardata innen produktleveranser fra Meteorologisk institutt, og da spesielt innen produkter for sikring av liv og verdier.

Vi vil skissere tre ulike situasjonsbilder. Først tar vi for oss situasjon der alle kan bygge turbiner akkurat hvor de har lyst. Deretter ser vi på et scenario der man ikke tillater turbiner innenfor radarens signal kjegle, men der man forøvrig får bygge turbiner inntil en radius på 5 km fra værradaren. I det siste scenariet tilrådes en utbyggingsgrad på inntil 10% av arealet innenfor 100 km fra værradaren, men samtidig skal alle deler av vindturbinen være under laveste radarsignal.

Situasjon 1: Fri vindkraftutbygging

I et scenario med fri vindkraftutbygging må vi ta høyde for utbygging også tett på værradarene. Dette vil i de fleste tilfeller føre til blokkeringer i radardata, men vi kan også vente næreffekter av refleksjoner fra turbinene, samt generelt clutter i et ukjent omfang. Blokkeringene vil strekke seg ut bak turbinene og størrelsen av de blokkerte sektorene vil avhenge av tetthet av vindturbiner og rotorvinkel i forhold til værradar. I et tenkt tilfelle der værradaren er helt omgitt av vindturbiner vil radardata ved storskala stabil vind blokkeres i stor grad i to retninger og i varierende grad i de andre retningene. Hvilke retninger som blokkeres mye og mindre vil variere med vindretning. I tillegg vil turbinene i seg selv reflektere radar signaler, og når turbinene er plassert nær en værradar vil også radar signaler på utsiden av hovedsignalet (sidelober) reflekteres.

En situasjon som dette vil gjøre værradar data ubrukelige for meteorologiske formål, både som et visuelt produkt til bruk for meteorologer og hydrologer og som inngangsdata i meteorologiske modeller eller som observasjoner som selvstendig kan benyttes av brukere. En slik situasjon vil svekke overvåkning av ekstreme værhendelser betraktelig, og eliminere mulighetene til å utvikle effektive overvåkningsrutiner for alvorlige værhendelser ut fra værradar data.

Hvis vi har en situasjon der en sektor bygges ut med blokkerende vindturbiner vil vi få de aktuelle blokkerings problemene i den utbygde sektoren. Hvis turbinene i tillegg ligger nær værradaren vil næreffekter gi forstyrrelser også i andre retninger, men da hovedsakelig nær værradaren. I tillegg vil vi også få forstyrrelser fra eventuelle turbiner som i høyde ligger under radarens laveste hovedsignal. Resultatet er at radardata vanskelig kan brukes i den blokkerte sektoren, verken til værvarsling eller som dataleveranser til andre. For den sektoren som ikke er blokkert vil vi ved næreffekter måtte fjerne informasjon fra områdene nærmest radaren. Forøvrig vil alle radar pixler som er påvirket av vindturbiner bli markert. Disse kan ikke brukes som observasjoner verken visuelt eller innenfor beregninger av været framover. Størrelsen av vindkraftutbyggingen vil her avgjøre mengden radardata som kan brukes videre til andre formål.

Resultatet av en delvis radar blokkering er at vi vil miste muligheten til å overvåke ekstreme værhendelser i den blokkerte sektoren. Hvor effektivt ekstremvær kan overvåkes for de resterende områdene avhenger av mengden av forstyrrelser. Dette er også begrensende for videre bruk av radardataene som inngangsverdier til andre beregningsmodeller.

Situasjon 2: Ingen turbiner innenfor de nærmeste 5 km fra de og ingen del av turbinene når inn i radar signalene

Vi vil her ha en situasjon uten blokkeringer av radardata, og heller ingen problemer med næreffekter grunnet turbin plassering nær værradaren. Vi vil imidlertid kunne oppleve forstyrrelser både i reflektivitets- og vinddata. Det er hovedsakelig to grunner til dette. I enkelte temperatur- og fuktighetsforhold bøyer elektromagnetiske signaler mer av i retning bakken, og vil da treffe turbinene. Den andre grunnen til forstyrrelser er at alle antenner, også radarantennen, sender ut signaler i litt bredere enn ønskelig. Dette er svake signaler, og i normale tilfeller vil dette filtreres vekk, men når disse signalene treffer vindturbiner, vil refleksjonene være så sterke at vi ser dem i radar dataene som nedbør eller vind.

Hvis vi nå går ut fra en situasjon der det fritt tillates vindkraftutbygging under de gitte begrensningene vil vi fortsatt ha forstyrrelser i radardata, avhengig av høydeforskjellen mellom rotor topphøyde og laveste del av laveste radarsignal. Jo større høydeforskjellen blir, jo mindre forstyrrelser vil vi forvente. Jordkrumningen gjør uansett at det meste av forstyrrelsene generert av vindturbiner vil være innenfor 10 km fra værradaren.

Ved å tillate situasjon 2 vil man ha et radar datasett som stort sett greit kan brukes fra 100 tom 240km. For områdene fra 5 til 100 km fra radar vil arealer som er påvirket av vindturbiner merkes, og disse kan ikke brukes videre inn i værvarslingsmodeller eller produkter basert på radarobservasjoner. Data fra områder som ikke er påvirket av vindturbiner kan brukes både i varslingsmodeller og produkter basert på radarobservasjoner. Ved store mengder vindparkinduserte forstyrrelser må det visuelle produktet fra værradaren i en større grad bearbeides før bruk. Ved en moderat mengde områder som ikke er for store, kan det visuelle radar produktet korrigeres ved å erstatte påvirkede pixler med verdier fra nærliggende områder som ikke er påvirket vindturbiner. Dette går ikke hvis store områder er påvirket av vindturbiner. Da vil mulighetene for å få et visuelt godt produkt enten være å erstatte de påvirkede pixelene med verdier fra en annen radar i nærheten, eventuelt med verdier fra en gapfiller radar, altså en nyutsatt radar som har til hensikt å fylle hull i værradarnettverket. Hvis vi gjør visuelle korreksjoner i radar produktet, vil vi som tidligere nevnt risikere å dekke over alvorlig vær som utvikler seg på stedet. Hvis vi erstatter verdier med verdier fra en annen radar så vil disse målingene ofte være tatt 2-4 kilometer høyere enn den originale radarmålingen.

I forhold til ekstreme værhendelser vil resultatet her avhenge av mengden forstyrrelser i værradardataene. Hvis forstyrrelsene dekker store deler av arealet nærmest en radar vil radar observasjonene degraderes vesentlig siden det er i dette området radar observasjonene er nærmest bakkenivå. Lenger unna radaren vil observasjonene stamme fra lag som ligger mye høyere opp. I en slik situasjon vil det også være vanskelig å gi gode leveranser av værradardata. Med en lavere mengde interferens vil større datamengder kunne gis ut uten korreksjoner, og mulighet til å fange ekstreme værhendelser vil være større.

Situasjon 3: Ingen turbiner innenfor de nærmeste 5 km fra radar og ingen del av turbinene når inn i radar lobe, samt områder med vindturbin generert interferens begrenses til 10% av arealet innenfor de nærmeste 10 km fra værradaren

Vi har her en situasjon uten radar blokkeringer fra vindturbiner, og der effekten av vindturbingenerert interferens er begrenset. Vi kan da se for oss to ulike situasjoner: 1. det bygges en stor vindpark som gir clutter i et samlet areal på 10% av radar arealet innenfor 10km fra en værradar eller 2: det bygges flere mindre vindparker der avstanden mellom vindparkene minst er det dobbelte av vindparkens arealutstrekning.

I tilfellet med en stor vindpark, vet alle hvor denne befinner seg. Data fra området merkes som vindturbinpåvirket og går ikke inn som observasjoner til andre meteorologiske eller ikke-meteorologiske systemer. For visuell korreksjon vil området som her er påvirket være av en størrelsesorden at det dekke en 30 graders sektor. Ut fra områdets fasong må det vurderes om man, for visuelt bruk, kan korrigere for disse forstyrrelsene ved å bruke verdier fra nabopunkter, eller om man skal ta i bruk data fra andre værradarer for å gjøre disse korreksjonene. Hvis det derimot dreier seg om flere mindre vindparker vil det være uproblematisk å gjøre en visuell korrigerings ut fra nabo punkter.

I forhold til å oppdage ekstreme værhendelser er situasjon 3 håndterbar for oss. Det kan jo forekomme celleoppbygging i området rundt vindparken/vindparkene, som vil maskeres av interferens fra vindturbiner, men ved små områder vil disse cellene relativt raskt bevege seg over i upåvirkede omgivelser der de kan oppdages. I en situasjon med en vindpark som dekker 10% av arealet nærmest en vindturbin vil dette kunne kamuflere deler av en celleoppbygging. Dette er jo ingen ønsket situasjon, men siden er et veldefinert område med upåvirkede data rundt, vil man til en viss grad visuelt kunne overvåke dette område basert på andre datakilder som f.eks satellittdata.

Forslag til metodikk for å definere egnede områder for vindkraftutbygging:

Meteorologisk institutt ønsker her å komme med et forslag til metodikk for å definere områder som er egnet for vindkraftutbygging. Vi vil her kun legge vekt på det vi mener er nødvendig for å opprettholde kvaliteten i vår infrastruktur, og dermed kvaliteten på produkter som baserer seg på radardata til brukerne. Som vi tidligere har nevnt, vil kvaliteten på værradardata påvirke vår evne til å forutsi utvikling og plassering av enkelte ekstreme værhendelser.

- Vindkraftutbygging må ikke skje innenfor 5 km fra en værradar så sant det er fri sikt mellom radar og vindturbin.
- Vindturbinenes maksimale høyde må ikke nå opp i laveste radar signal ved normal signal avbøyning. Meteorologisk institutt vil bidra med kartgrunnlag som viser radar signalets høyde over terrenget.
- Vindkraftutbygging bør ikke planlegges på en slik måte at mer enn 10% av arealet innenfor en radius på 10 km fra værradaren opplever interferens. Ved tilstrekkelig avstand mellom laveste radar signal og høyeste del av vindturbin, vil interferens begrenses.

Områder der værradar og vindturbiner vanskelig lar seg forene:

Som tidligere nevnt vil værradaren oppleve interferens i flere retninger hvis vindturbinene står for nær værradaren. For å unngå disse næreffektene må det, ved fri sikt, være minimum 5 km mellom værradar og vindturbiner. I figur 5 vises områder der det pga nærhet til eksisterende værradar er uhensiktsmessig å anlegge vindparker som rødt. For planlagte værradarer er tilsvarende område tegnet som lilla. Plasseringen på Finnmarksvidda er i stor grad fastlagt. Plasseringen på Hardangervidda er enda ikke fastlagt, og dette er indikert ved å angi to ulike posisjoner, Ustetind og Monsbunuten.

Forøvrig må ingen del av vindturbinene bygges så høy at de kommer inn i radarstrålen. Sannsynligheten for at dette kan opptre er størst nærmest værradaren.



Figur 5: Røde soner er områder der det ikke kan være visuell sikt mellom eksisterende værradar og vindturbiner. Lilla soner er posisjoner for planlagt radar utbygging. På Hardangervidda er radar plassering usikker, og derfor er det tatt inn to posisjoner.

Områder for vindkraftutbygging som ikke vil være i konflikt med meteorologisk institutt sin infrastruktur.

Vi har et langstrakt land og svært mange steder med gode vindressurser vil ikke være i konflikt med Meteorologisk institutt sin infrastruktur. Vi tillater oss derfor å vise noen områder med gode vindressurser der det vil være uproblematisk i forhold til vår infrastruktur å bygge ut vindkraft.

Vi har her sett på områder der det i gjennomsnitt er endel vind. Dette er vurdert opp mot nærhet til nåværende og framtidig radarinfrastruktur, samt antennehøyde for de radarene vi har i dag. Vi går her ut fra at maksimal turbinhøyde, inklusive rotor, er 200m. Grunnlaget for vindvurderingene er hentet fra vindresurskartet hentet fra siden <https://www.nve.no/energiforsyning-og-konsesjon/vindkraft/vindressurser/>

De angitte områdene er ment som eksempler, og det finnes langt flere områder, både store og små, som ikke vil være i konflikt med Meteorologisk institutt sin infrastruktur. I tillegg til værradar har Meteorologisk institutt mange bakkebaserte målestasjoner. Anbefalt avstand fra vindturbiner til målestasjon varierer med hvilken værparameter stasjonen måler.

Områdene er vist i figur 6 og 7.



Figur 6: Eksempler på utbyggingsområder i Sør-Norge der vi ikke vil oppleve konflikter mellom værradar og vindkraftutbygging.

Område 1(orange):

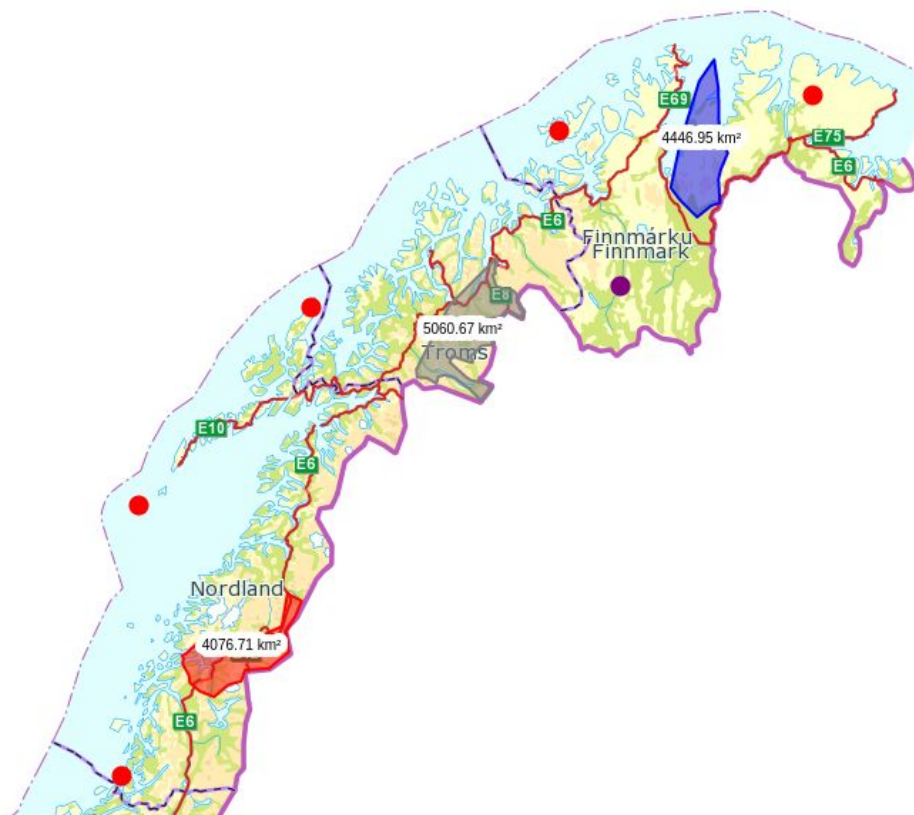
Bykleheiane og Suldalsheiane. Sør grensen for dette området er lagt i overkant av 120 km avstand fra Hægebostad værradar fordi terrenget fra Hægebostad og opp hit

generelt er stigende fra 630 moh til opp mot 1400 til 1500 moh. Ved å sette en lavere høydebegrensning på vindturbinene kan området utvides. I nord begrenses området av hensynet til den planlagte radaren på Hardangervidda. I nordøst er det radaren i Hurum som setter begrensningene, mens i vest kan vi stedvis gå noe nærmere Bømlo radaren i den sektoren der data er blokkert.

Område 2 (gult): Dette er et område med kystvind i Nordhordland og Sunnfjord. I sørlige del av området er det tatt hensyn til at radaren i Bømlo kun ligger 104 moh. Stad radaren i nord ligger mye høyere og dette gjenspeiler seg også i grensene.

Område 3 (Grønt) Sogn: I dette området utnytter vi naturgitte blokkeringer fra Hallingskarvet for den planlagte værradaren på Hardangervidda. Dermed kan grensen for dette området legges langt nærmere denne radaren enn hva som normalt ville være tilfelle. Dette området vil komme i konflikt med NVE-flomvarslingstjenestes ønske om værradar dekning i Sogn.

Område 4 (Mørkegrått): Nord-Østerdalen og østlige deler av Sør- Trøndelag. Området størrelse avgrenses av avstand til Hafjell værradar i sør og Rissa værradar i nord, samt nasjonalparker. På de høyeste toppene i nord vil turbiner med total høyde over 200m være i konflikt med vår værradar i Rissa. Det er ikke undersøkt om området vil komme i konflikt med interesser for svenske værradarer.



Figur 7: Eksempler på utbyggingsområder i Nord-Norge der vi ikke vil oppleve konflikter mellom værradar og vindkraftutbygging.

Område 5 (Rødt) Rana, Junkerfjellet, Lønsdalen: Området avgrenses av Røst værradar i nord og Sømna værradar i sør. Vi må her ta hensyn til at Røst værradar kun ligger 17 moh, og avstanden fra et større utbyggingsområde til denne radaren må derfor være lengre.

Område 6(Grått) Indre Troms: Området begrenses av værradarene på Andøya og i Hasvik samt den planlagte værradaren på Finnmarksvidda. Det er sistnevnte som gir de største begrensningene mot nord. Kåfjord fjellene er ikke med i området fordi høye turbiner i dette området vil gi interferens for den planlagte radaren på Finnmarksvidda.

Område 7(Blått) Sværholthavøya samt fjellområder i sør: Området er begrenset av værradarene på Berlevåg, Hasvik og den planlagte værradaren på Finnmarksvidda. Fjellene i øst er nokså høye, og området er derfor beskåret litt i denne retningen.

Referanser:

Radar measurements (2014). *Guide to Meteorological instruments and Methods of Observation* Hentet fra https://library.wmo.int/opac/doc_num.php?explnum_id=3121

Site protection (wind turbines) (2010).

http://eumetnet.eu/wp-content/uploads/2017/01/OPERA_2010_05_Wind_turbines-1.pdf

Teschel, R., Paulitsch, H., Teschl, F., Stephan, K.(2016). *Effects of wind turbines on the operational products of the German weather radar network*. Extended abstract ERAD conference 2016.

Med vennlig hilsen

Vegar Kristiansen,

Avdelingsleder for observasjonskvalitet og databehandling