



Norwegian
Meteorological
Institute

No. 12/2024
ISSN 2387-4201
Radar

METreport

Strategisk konsekvensutredning for havvind, Fagutredning for virkninger på radar

Delrapport 1 – vurdering av Vestavind B, Vestavind F og Sørvest F
Laila Fodnes Sidselrud og Werner Eriksen
Classification: open



Title Strategisk konsekvensutredning for havvind, Fagutredning for virkninger på radar, Delrapport 1 – vurdering av Vestavind B, Vestavind F og Sørvest F	Date 12.09.2024
Section Avdeling for observasjonskvalitet og databehandling	Report no. No. 12/2024
Author(s) Laila Fodnes Sidselrud og Werner Eriksen	Classification ● Free ○ Restricted
Client(s) NVE	Client's reference
Abstract Energidepartementet har gitt NVE i oppdrag å gjennomføre strategisk konsekvensutredning for 20 foreslåtte områder for havvind. Disse er delt inn i to utredningsprogrammer, hvor det første er utredningsprogram for områdene Sørvest F, Vestavind B og Vestavind F. Frist for å levere del 1 av utredningen er utgangen av november 2024. MET har ansvar for å utføre vurderinger rundt konsekvensene av Havvind for værradar og havstrømradar (HF-radar), og dette er delrapport 1	
Keywords Havvind, værradar, havstrømradar	



Disiplinary signature



Responsible signature

2

Meteorologisk institutt
Meteorological Institute
Org.no 971274042
post@met.no

Oslo
P.O. Box 43
Blindern
0313 Oslo,
Norway
T. +47 22 96 30 00

Bergen
Allégaten 70
5007 Bergen,
Norway
T. +47 55 23 66 00

Tromsø
P.O. Box 6314,
Langnes
9293 Tromsø,
Norway
T. +47 77 62 13 00

www.met.no

Table of contents

Kunnskapsgrunnlag for værradar og havstrømningsradar	6
Referanseturbin	6
Slik fungerer en værradar	6
Utfordringer i sameksistens mellom værradar og vindturbiner.	7
Aktuelle avbøtende tiltak for værradar	11
Metode	12
Slik fungerer en havstrømradar	16
Utfordringer i sameksistens mellom HF-radar og vindturbiner	17
Aktuelle avbøtende tiltak for HF-radar	19
Kunnskapsmangler	20
Kilder	22
Vurdering av Vestavind B	23
Sammendrag	23
Værradar	24
Identifiserte verdier	24
Verdi og påvirkning	25
Konsekvenser	26
Kunnskapsmangler for Vestavind B	30
Havstrømradar	31
Identifiserte verdier	31
Verdi og påvirkning	32
Kunnskapsmangler for Vestavind B	41
Vurdering av Vestavind F	43
Sammendrag	43
Værradar	44
Identifiserte verdier	44
Værvarsling	44
Verdi og påvirkning	45
Konsekvenser	47
Kunnskapsmangler for Vestavind F	53
Havstrømradar	54
Identifiserte verdier	54
Verdi og påvirkning	55
Konsekvenser	57
Kunnskapsmangler for Vestavind F	58
Vurdering av Sørvest F	60

Sammendrag	60
Værradar	61
Identifiserte verdier	61
Verdi og påvirkning	62
Konsekvenser	62
Kunnskapsmangler for Sørvest F	63
Havstrømradar	64
Identifiserte verdier	64
Verdi og påvirkning	65
Konsekvenser	65
Kunnskapsmangler for Sørvest F	66
Havvindutbygging og påvirkning av lokalklima, sirkulasjon og værvarsling	67
Sammendrag	67
Vindturbiner og atmosfærisk sirkulasjon	67
Lynaktivitet i et område med havvind	67
Endringer i lokalklima	67
Værvarsling i områder med storstilt havvindutbygging	68

Kunnskapsgrunnlag for værradar og havstrømmningsradar

Referanseturbin

Felles for utredningene for alle områdene er referanseturbin på 22 MW gitt av NVE med en avstand mellom turbinene på 2500 m i hver retning. Det er brukt tupphøyde på 308 m og rotordiameter på 286 m.

Slik fungerer en værradar

En værradar sender ut et elektromagnetisk signal. Når signalet treffer noe (f.eks nedbør), blir det spredt ut og litt av signalet reflekteres tilbake til værradaren. Ut fra tiden det tar for signalet å komme tilbake, blir avstanden til nedbøren beregnet. Doppler-skift i retursignalet brukes til beregne vindhastigheten. Styrken på radarsignalet som kommer tilbake er et mål på nedbørintensiteten.

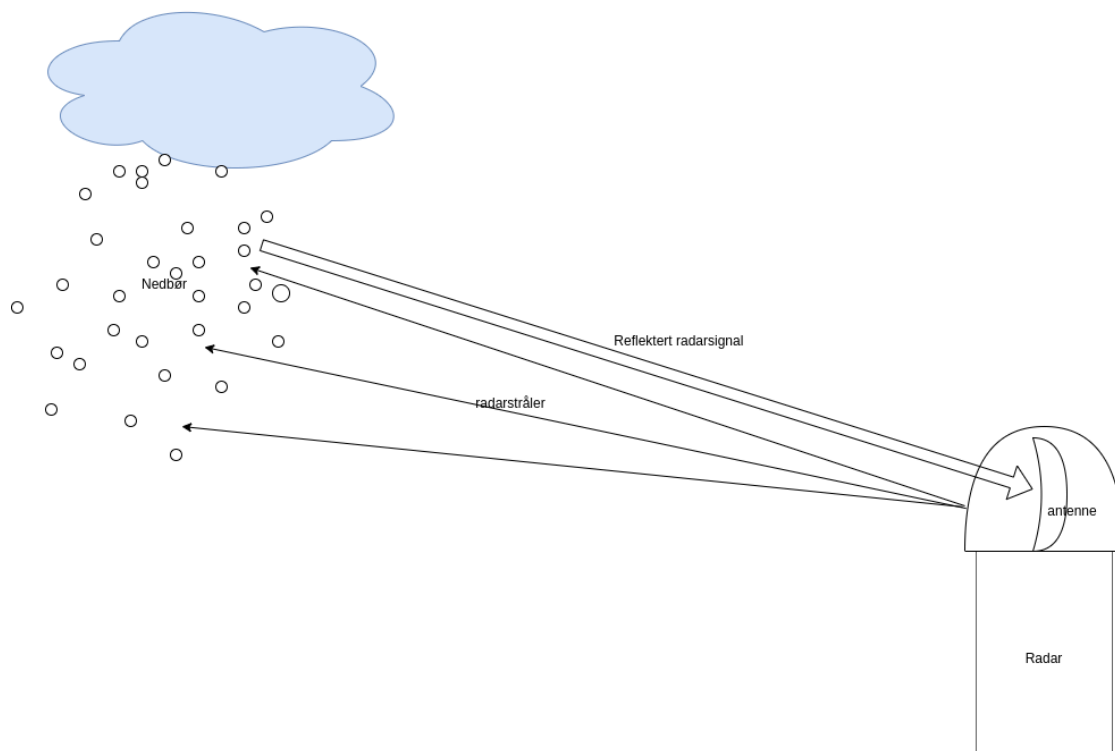
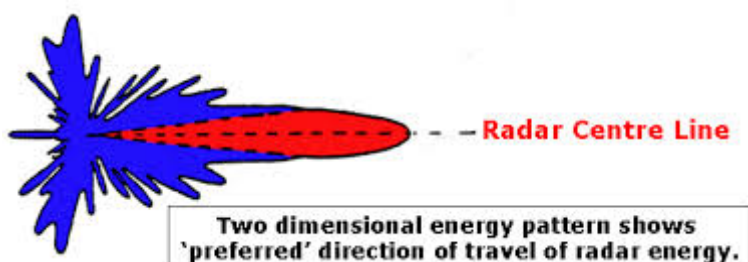


Fig 1. Skisse av hvordan en værradar fungerer

Alle radarsignaler som kommer tilbake til radaren blir registrert, men i behandlingen av signaler etterpå blir for eksempel signaler fra fjell fjernet. Dette kan greit gjøres siden det ikke er bevegelse i signalet.

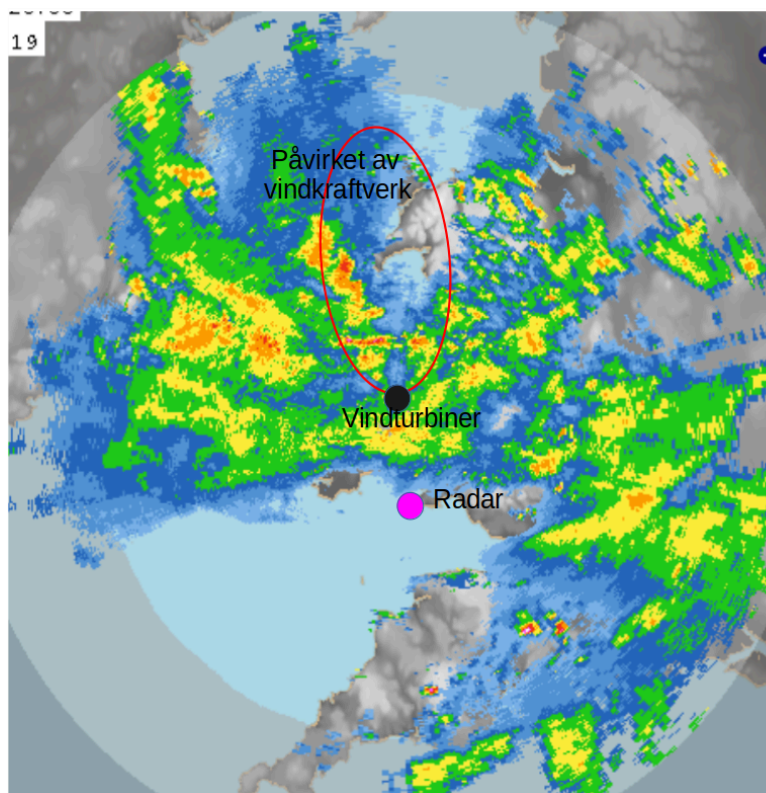
Radarsignalet kommer som korte pulser. Selve radarsignalet som slipper ut fra radarantenna er et volum. Radarantenna har en åpningsvinkel på 1° . Radarsignalet vil derfor være et lite volum nærmest radaren, men volumet vil øke med avstand til værradaren. Åpningsvinkelen på 1° er radarens hovedsignal, og signalstyrken i utkanten av strålen er -3dB. Radarantennen slipper ut signaler i et større område, men disse signalene er svakere. De kalles sidelober, og vil likevel få betydning for oss her.



Figur 2. Illustrerer radaresignalet. Den røde delen er hovedsignalet avgrenset av en signalstyrke på -3 dB. Den blå delen av signalet er sidelober. De er svake, men sterke nok til at radarmottakeren fanger opp vindturbin signaler som returneres fra sidelober. Figuren er hentet fra: https://courses.comet.ucar.edu/pluginfile.php/3704/mod_imsdp/content/1/sidelobes.html

Utfordringer i sameksistens mellom værradar og vindturbiner.

Vindturbinene beveger seg, og de vil derfor spre radarsignalet på en annen måte enn fjell vil gjøre. Hvis vindturbinvingene når opp i hoveddelen av radarsignalet, vil de være med å blokkere deler av radarsignalet.



Figur 3. Radarbilde av 6 timer akkumulert nedbør fra Storbritannia. Her er det tre turbiner i landsbyen Blaen-Bowi som blokkerer radarsignalet. Elipsen markerer området der nedbørsignalene er dempet. Vi kan i bildet se en kjegle med lite eller ingen nedbør nord for turbinene. Turbinene har svekket radarsignalene så de ikke kan registrere nedbøren som er tilstede.

Blokkering av radar signalet

Når vindturbinene når opp i radarsignalet, så vil de være med å spre det elektromagnetiske radarsignalet. Dette svekker radarsignalet som skal videre. Siden signalet har blitt svakere, klarer ikke værradaren å fange opp vær bak turbinene like godt.

I tilfeller der deler av vindturbinene når opp i radarens hovedsignal, vil vi få en blokkering i radarsignalet. Resultatet er at radarsignalet svekkes, og radaren kan få problemer med å se nedbør i områdene bak vindparken. Det vil også være forstyrrelser i radardataene i området der vindparken ligger. I de tilfellene vindturbinene er lavere enn radarens hovedsignal, vil forstyrrelser som oftest vises i værradardataene i området der vi finner vindparken.

Forstyrrelse av radarsignalet

Vindturbinene vil reflektere radarsignaler selv om de er lavere enn hovedsignalet til radaren. Som nevnt under funksjonsmåten for radar, sender radaren ut signaler også utenfor hovedsignalet, kalt sidelober. Det er disse signalene som kan reflekteres fra vindparken selv om vindturbinene ikke når opp i hovedloben. Vi vil da få et område rundt turbinene der det ser ut som vi har nedbør, men vi vil ikke få blokkeringer i selve radarsignalet.

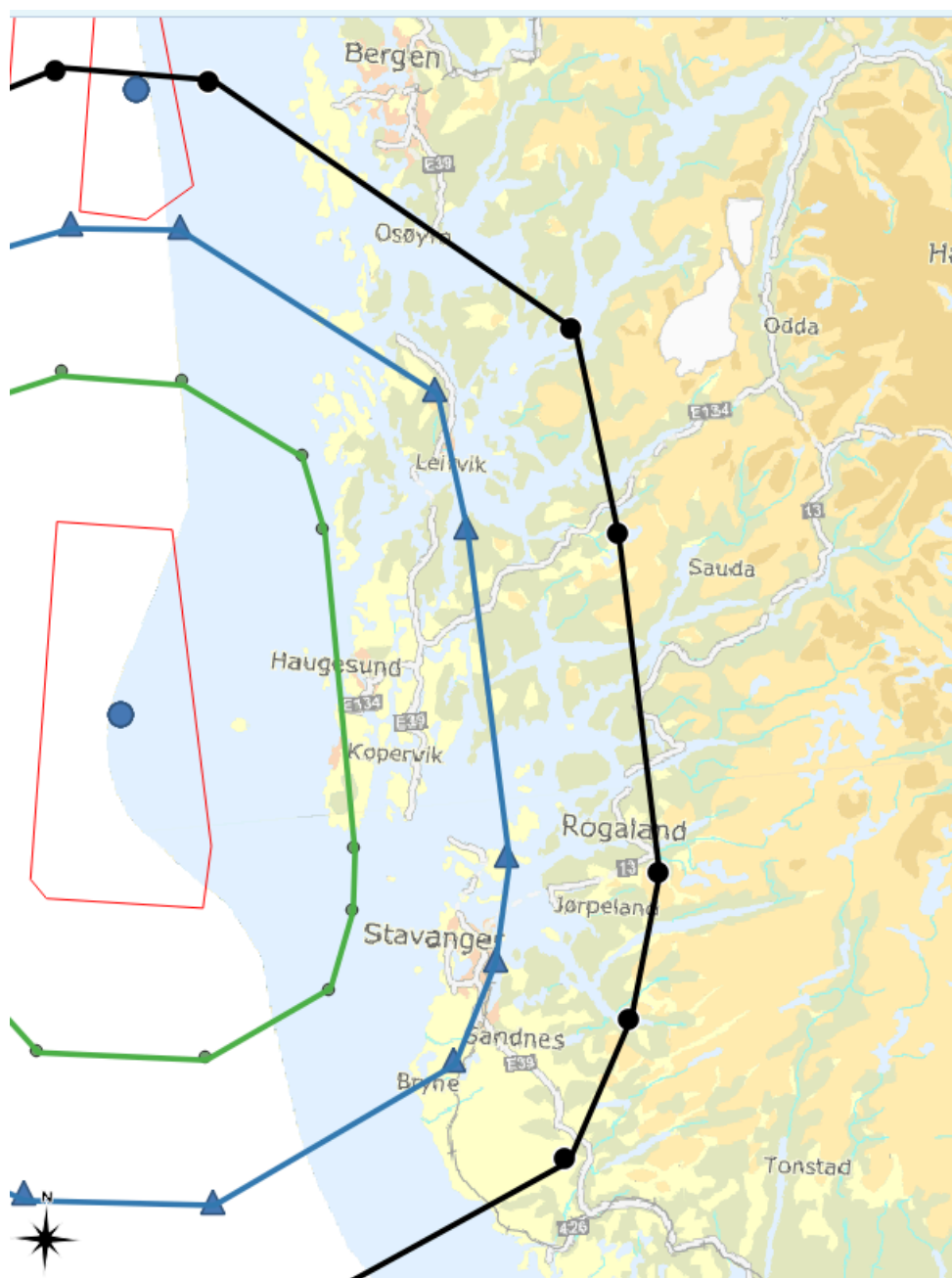
I figur 4 ser vi eksempler på forstyrrelser fra noen av vindparkene i Sverige og Finland. Figuren er hentet fra <https://www.yr.no/nb/kart/radar>



Figur 4. Kartet er hentet fra <https://www.yr.no/nb/kart/radar/> og skal vise nedbør registrert fra værradar. I dette tilfellet viser kartet en blanding av nedbør og noen av vindparkene i Sverige og Finland.

Forstyrrelsene i radar signalene vil være utfordrende for generering av automatiske radarprodukter. Dette er produkter som dagens 90 minutters varsel for nedbør som baserer seg på radardata. Data fra værradarene er også veldig viktige for lufttrafikken. En svekkelse av radardataene pga vindturbiner vil gi dårligere mulighet til å oppdage og følge bevegelsen til byer, og spesielt byer med torden, som lufttrafikken helst vil unngå. Vi viser et eksempel i figur 5. Her ser vi Vestavind F, samt linjer som indikere 30, 60 og 90 minutters varslingshorisont. Som vi ser av figuren vil en utbygging av Vestavind F gi Stavanger lufthavn, Sola, en varslingshorisont på ca 60 min, altså kan det være 60 minutter fra nedbør kan sees på innsiden av vindparken til nedbøren er på Stavanger lufthavn Sola. Det vil ikke være mulig å følge nedbøren gjennom

vindparken med værradar. Med en så kort varslingshorisont er vi avhengig av gode radardata.



Figur 5. Viser Vestavind F med linjer for varslingshorisont. Vi har tatt utgangspunkt i at raske vørelementer kan bevege seg med en hastighet på 30 knop (tilsvare 55.5 km/t). Grønn linje 30 minutter, blå linje 60 minutter og sort linje 90 minutter varslingshorisont.

Vindparker forstyrrer også vindmålingene som gjøres av værradar. Disse vindmålingene brukes av værvarslingsmodeller for å lage bedre værvarsler. Når vindparkene blir store, vil dette gi hull i observasjonsdatasettet.

Aktuelle avbøtende tiltak for værradar

Ny værradar med kostnad

Når en vindkraftutbygging er med på å svekke værradar signalene, kan det være aktuelt å sette opp en tilleggsradar eller en erstatningsradar. En C-bånd værradar koster i dag omkring 35 mill NOK. Her har vi også tatt med utgifter til radartårn og infrastruktur som strøm, aggregat osv. Driftsutgiftene i dag er omkring 80 000 kr årlig. Dette må også dekkes. Med en omfattende vindkraftutbygging offshore kan det bli utfordrende å finne en radar plassering som dekker de områdene vi ønsker.

En etablering av værradar til havs blir dyrere. For å etablere en C-bånd værradar til havs kreves en stabil plattform, strøm og nett tilgang. De som skal vedlikeholde radaren vil også ha behov for å komme seg ut til radaren, så det bør også etableres en mulighet for å lande med helikopter. Selve værradaren vil i dag koste omkring 17 mill kr, men vi antar etablering av infrastruktur vil bli langt dyrere til havs enn ved etablering på land.

Etablering av nedbørobservasjoner

Når vindkraftutbygginger dekker områder over 10 km², blir det vanskelig å korrigere for nedbørverdiene i radardataene. Vi trenger derfor ekstra informasjon om nedbørmengdene, og et aktuelt avbøtende tiltak er å introdusere flere nedbørmålere. De nedbørmålerene som her velges må ha en god kvalitet, og må kunne levere data hvert minutt. De må kunne takle nedbør både i fast og flytende form. Vi ser for oss et behov for en nedbørmåler for hver 9 km². Nedbørmålerene må kunne levere data i sanntid til Meteorologisk institutt. Et eksempel på en nedbørmåler til dette formålet kan være Lufft WS100 til ca 25000 NOK.

Vi ser utfordringer med å få et system med kombinasjonen nedbørobservasjoner og radar til å levere like godt som et system basert kun på værradardata. MET har enda ikke utviklet metoden som kreves for å få dette til. Dette kan også være et sårbart system hvis en eller flere av nedbørobservasjonene faller ut.

Anbefaler etablering av vind observasjoner

Et avbøtende tiltak for dårligere vindmålinger av radar pga en havvindpark, vil være å supplere med vindmålinger. Vindparken vil i seg selv redusere vindstyrken inne i vindparken. Informasjon om vindstyrke og retning inne i vindparkene er verdifull informasjon til MET sine værvarslingsmodeller. Det gjøres gjerne vindmålinger på hver turbin, og det vil være viktig for MET å få overført alle vindparkens egne vindmålinger i sanntid. Vi anbefaler at det utplasseres fire vindmålere for måling av høydevinder i

ytterkanten av hvert utbygd område, en i hver himmelretning, slik at vi alltid vil ha en høydevindmåler som ikke er påvirket av vindparken. Vi anbefaler å bruke teknologi som ikke påvirkes av skyene, for eksempel windprofiler. En windprofiler vil koste ca 50 000 Euro

Metode

Vi ønsker å legge dette til grunn når vi gjør våre vurderinger:

Referanseturbin

Vi har lagt til grunn for beregningene en referanseturbin. Total høyde av turbinen er 308 meter. Navhøyde er 165 meter og rotordiameter er 286 meter, med en avstand mellom turbinene på 2500 m. Vi går ut fra at vindturbinene vil gi påvirkning av radarsignalet i hele det angitte utbyggingsområdet.

Vi vil nå angi en metode for hvordan vi vurderer de ulike utbyggingsalternativene. Vi må først vurdere om det er fri sikt mellom værradar og vindturbiner. Dette gjøres ut fra følgende algoritme:

Fri sikt mellom værradar og vindturbiner

Fri sikt mellom værradar og vindturbiner har vi så lenge værradaren ser en del av turbinene. Hvis vi ikke har fysiske blokkeringer mellom værradar og turbiner vil vi se turbinene så lenge de stikker opp over horisonten. Vi kan beregne avstanden til det punktet hvor vindturbinene går under horisonten.

$$\text{Avstand til turbiner under horisont} = \sqrt{2 * \text{høyde av radarantenne} * (4 * \text{jordradius})/3} + \sqrt{2 * \text{totalhøyde av turbin} * (4 * \text{Jordradien})/3}$$

Vindturbiner som blokkerer værradar signalet.

Dette skjer hvis radarens hovedsignal treffer en del av vindturbinen. Vi vil undersøke om vindturbiner i det aktuelle utbyggingsområdet kommer inn i hovedsignalet til værradaren. Vi beregner da høyden av hoveddelen av radarsignalet over bakken, og vi tar hensyn til jordkrumningen og atmosfærisk avbøyning av radarsignalet.

Formelen for høyden av radar signalet er:

$$H_{\square} = \sqrt{(r^2 + R_e * r * \sin(0) + R_e^2)} - R_e + H$$

Hs er signalthøyden av hovedsignalet, r er avstanden fra radaren, R_e er 4/3 jordradius og H er høyden av radarantenna i forhold til havoverflata.

Hvis total turbinhøyde er høyere eller lik høyden av radarsignalet, vil turbinen gi en blokkering i værradardata.

Hvis hoveddelen av radarsignalet treffer hele eller deler av vindturbinen betraktes dette som en svært alvorlig påvirkning av værradardata.

Vindturbiner som ikke blokkerer værradar signalet.

I tilfeller der det skal bygges vindpark, og alle deler av vindturbinene er lavere enn hovedsignalet til radaren, vil vi fortsatt oppleve forstyrrelser fra vindturbinene i de områdene som er utbygd. Prosedyren vil her være:

1. Kartlegge hvor langt unna radaren vi vil oppleve forstyrrelser fra vindparker.

En værradar fanger opp svake signaler, og derfor klarer den også å fange opp de svake signalene som sendes ut utenfor radarens hovedsignal. Vi tar derfor med en større åpningsvinkel for radarsignalet når vi beregner utstrekning av forstyrrelser. Vi velger ut fra erfaring å bruke en åpningsvinkel på 4,0 grader.

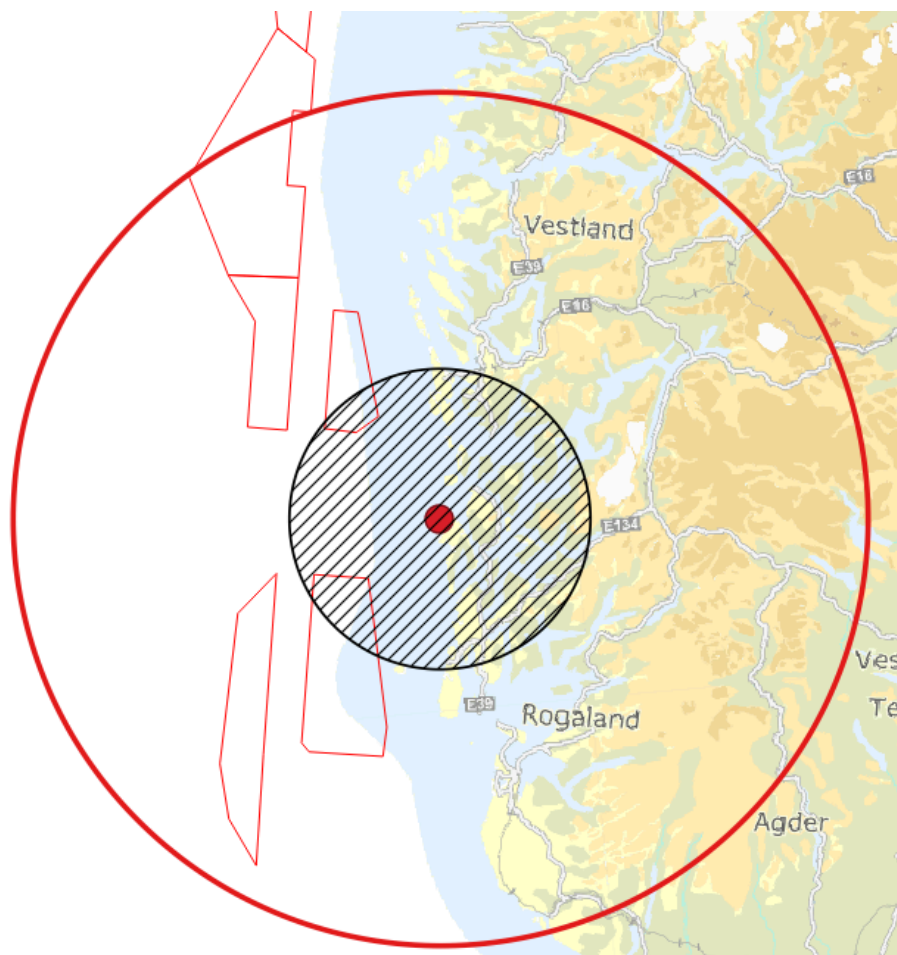
Vi vil få store forstyrrelser i værradar data i områder der radaren "ser turbinene", og avstanden fra værradaren til dit vi ikke lenger regner med store forstyrrelser kan beregnes slik:

$$f(s) = R_e \left(\frac{\cos(\theta)}{\cos(\theta + s/R_e)} - 1 \right) + h_r - h_v$$

Fikspunktiterasjon av $f(s) = 0$ gir buelengden s til turbinhøyden h_v i elevasjon θ , radarhøyde h_r og $R_e = \frac{4}{3}R$ hvor R er jordradien.

Når vi bruker dette kan arealet med forstyrrelser ved normal signalavbøyning beregnes.

I figuren nedenfor vises området rundt Bømlo værradar hvor vi forventer blokkeringer og forstyrrelser i værradardata. Beregningene er gjort med utgangspunkt i referanseturbin.



Figur 6: Det skraverte området indikerer hvor vi forventer blokkeringer i radardata fra Bømlo værradar. Den røde ringen indikerer grensen for hvor vi vil se forstyrrelser fra vindturbiner i værradar data. Vi har ved begge beregningene brukt 308m maksimalhøyde for vindturbinene.

Vi har her beregnet med standard signalavbøying. I perioder med stor signalavbøying vil vi oppleve forstyrrelser i de delene av de utbygde områdene som er innenfor værradarens dekkingsområde.

Størrelse av vindpark

Meteorologisk
institutt
Meteorological
Institute
Org.no 971274042
post@met.no

Oslo
P.O. Box 43
Blindern
0313 Oslo,
Norway
T. +47 22 96 30
00

Bergen
Allégaten 70
5007 Bergen,
Norway
T. +47 55 23 66
00

Tromsø
P.O. Box 6314,
Langnes
9293 Tromsø,
Norway
T. +47 77 62 13
00

www.met.no

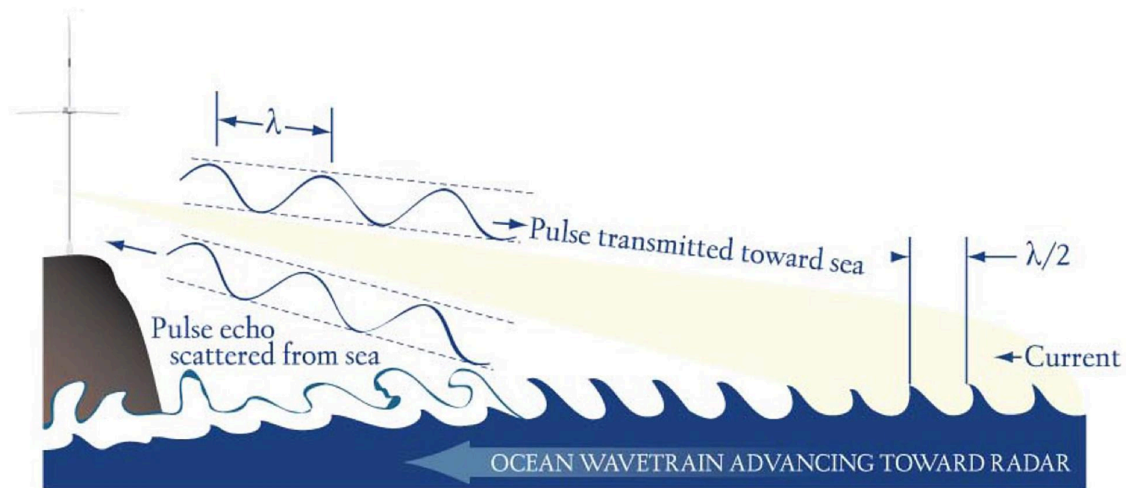
Der vi forventer at en vindpark vil forstyrre, er det anbefalt at utbyggingsområdene ikke skal overstige 10 km², og at det minst skal være 10 km mellom de utbygde områdene. Dette er for å kunne bruke registreringene mellom områdene til å erstatte de verdiene som ikke lenger er brukbare. Dette er begrensninger i størrelsen på vindparker som brukes av flere land, og som også er anbefalt fra EUMETNET. Vi må også nevne at rapporten "On the coexistence of weather radars and wind turbines" overveiende forholder seg til vindkraftutbygging på land. Vi har ikke funnet litteratur om sameksistens mellom værradar og vindturbiner med en totalhøyde høyere enn 300 m.

Slik fungerer en havstrømradar

High-frequency (HF) radar bruker frekvensbåndet mellom 3 og 30 MHz (bølgelengder mellom 10 meter og 100 meter) til å måle overflate havstrømmer. Dette er små radarsystemer med en til tre enkle antenner, ca 8 m høye antennepisker, som sender med lav effekt (størrelsesorden 50-200 watt). Disse er plassert nært vannkanten, og med så fri sikt mot havet som mulig (ytterst på en odde eller tilsvarende). Data fra disse brukes i havmodellene, og dette gir bedre plassering av virvlene i havstrømmene. Strømningsdata fra havmodellene brukes blant annet i beredskapsmodellene for oljesøl og flytende gjenstander.

Radaren sender et pulset signal fra senderantennen ut over havet, og dette kan gå langt forbi synsvidden, opp mot 250 km. Havet er en ujevn overflate med bølger med mange forskjellige perioder og retninger. Denne overflaten sprer radarsignalet i mange retninger, men når radarsignalet treffer et område hvor bølgene har retning til eller fra radaren og bølgelengden er halve bølgelengden til det utsendte signalet vil det som kalles Bragg-effekten (Bragg scattering) gjøre at mer energi reflekteres koherent direkte tilbake til radaren. Siden havet har strømninger, og disse påvirker bølgehastigheten, vil det reflekterte signalet ha en litt annen bølgelengde enn det utsendte signalet. Dette kjenner vi som Doppler-effekten, og fra dette kan radiell strømningshastighet (hastighet mot eller fra radaren) beregnes. Fra en HF-radar får vi da radielle strømhastigheter i en halvsirkel med radius gitt av rekkevidden til radarsignalet (80-220 km). Hvis to eller flere radarer dekker samme havområde kan disse radielle dataene settes sammen til en vektoriell hastighet, altså havstrømmens totale hastighet og retning.

MET assimilerer i dag de radielle hastighetsvektorene fra HF-radar inn i sine havmodeller. Dette gir oss en mye større utnyttelse av HF-radarene da all data fra en enkel HF-radar kan brukes, i motsetning til å måtte ha overlappende dekning fra to eller flere HF-radarer for å kunne produsere en totalvektor.

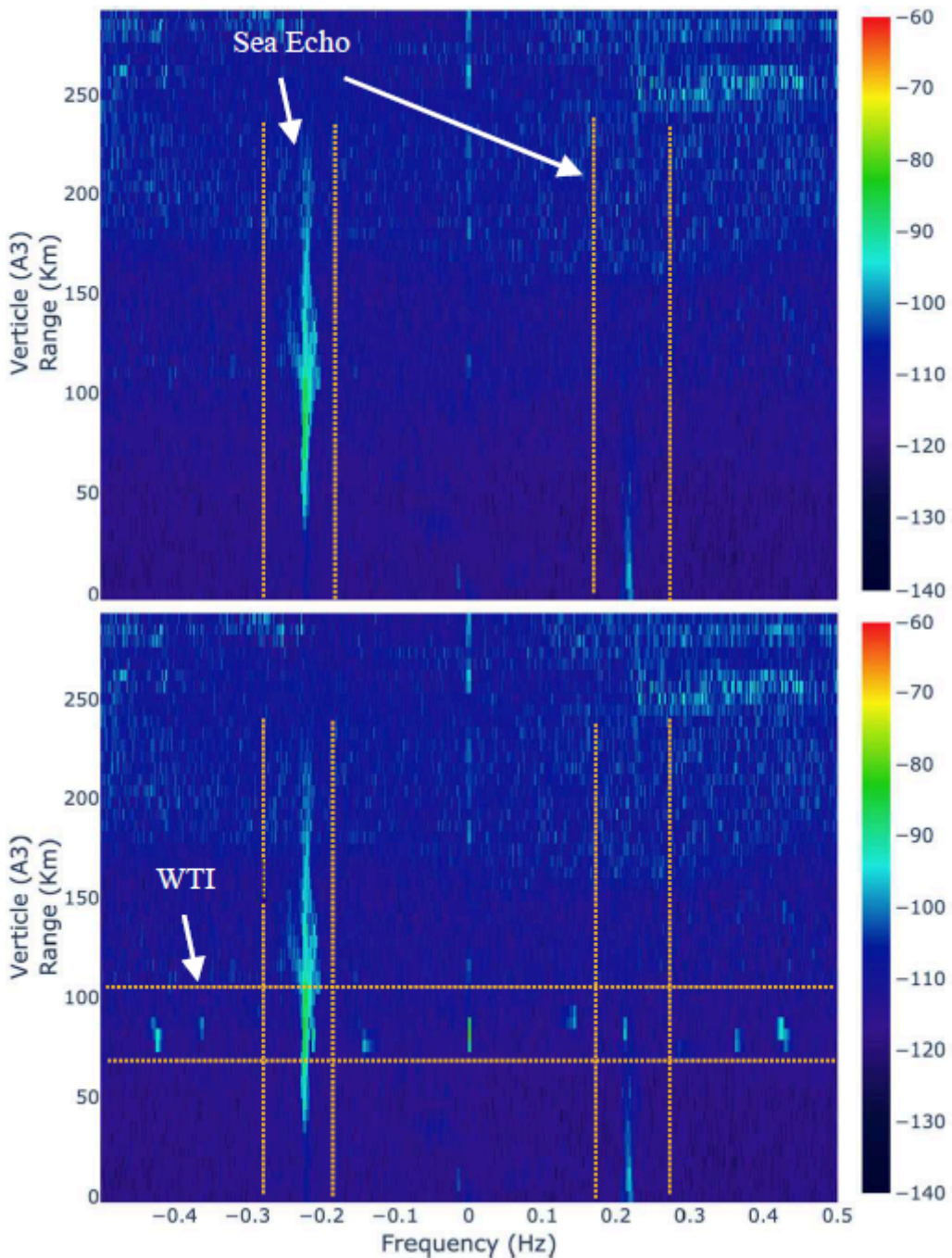


Figur 7, Prinsipp for HF havstrømradar hentet fra Sec. Ocean Observation, Volume 6 - 2019
<https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00164>

Utfordringer i sameksistens mellom HF-radar og vindturbiner

Utfordringene mellom havstrømradar og vindparker til havs er at vingebledene vil reflektere energi tilbake til radaren. Siden disse beveger seg vil det reflekterte signalet også ha et Dopplerskift som kan falle innenfor det område som havstrømmene genererer, se figur 8. Refleksjoner fra vingebledene vil variere med avstanden, vinkelen til vingene, og rotasjonshastigheten.

Disse forstyrrelsene i radardataene vil ødelegge de radielle dataene for den gitte avstanden til vindturbinen for alle horisontale radialer siden radaren ikke kan bestemme retningen til forstyrrelsen. Det blir dermed en halvsirkel, med radius gitt av distansen til vindturbinen og bredde gitt av størrelsen til vindparken, hvor de radielle dataene blir ødelagt. Siden disse dataene assimileres inn i havmodellene vil kvaliteten på havmodellen reduseres. Dette kan ha betydning for havvarslene og driftsmodellene.



Figur 8: WTI is simulated into a cross spectra at the fifteenth range bin. The original cross spectra is shown in the top figure, the bottom shows the WTI addition. The sea echo and WTI are labeled and highlighted in dotted lines. Two turbines are simulated here have rotation rates of 11.3-11.5 and 4.4-4.3 rpm and yaw angles of 44 degrees. Fra OCEANS 2023 paper

“Strategies for Operating HF Radars in Field of View of Offshore Wind Turbines” by Joshua Trockel, et al.

Aktuelle avbøtende tiltak for HF-radar

Forstyrrelser på HF-radar og vindturbiner til havs er en forholdsvis ny problemstilling, og det foregår internasjonal forskning på hvordan man kan løse dette. Det er fortsatt mye uavklart, og det er lite erfaringsdata, spesielt fra vindparker i den størrelsen og plassering offshore som vi vurderer nå.

Det er foreslått flere tiltak som kan redusere påvirkningen fra vindturbiner på HF-radar, men det er viktig å merke at der hvor det er interferens mellom en HF-radar og en vindturbin er radardataene tapt. Ett enkelt tiltak vil sannsynligvis ikke være tilstrekkelig.

Et tiltak kan være å øke frekvens sweep rate på radaren. Dette øker den spektrale båndbredden for radaren, og kan gjøre at forstyrrelsen fra en vindturbin bare havner i en avstandscelle (range bin) fra radaren i motsetning til 3-5 avstandsceller. Ulempen med dette er at HF-radar har et begrenset frekvensspektrum hvor de har tillatelse til å sende. Når flere HF-radarer skal opereres i samme geografiske område blir det utfordrende å sette opp tidsstyringen mellom radarene.

Flagging av forstyrrelsene fra vindturbiner er et annet tiltak. Hvis rotasjonshastigheten til vindturbinene er kjent, kan man beregne hvor i spektrumet forstyrrelsene vil komme, og fjerne data i dette området. Dette krever utvikling av ny programvare for HF-radarene, og at rotasjonshastigheten til vindturbinene er tilgjengelig i sanntid. Dette kan brukes til å fjerne data med feil, men det blir et havområde formet som en halvsirkel med bredde gitt av vindparkes utstrekning og radius gitt av avstanden mellom HF-radaren og vindparken uten data, altså ødelegges data utenfor selve vindparken.

Siden forstyrrelser fra vindturbiner er avhengig av avstanden mellom HF-radar og vindturbinene så kan det å installere flere (minst 3) HF-radarer med overlappende dekningsområde i forskjellig avstand til vindturbinene være et tiltak. Siden forstyrrelsene fra vindturbinene vil påvirke forskjellige havområder for hver HF-radar ut fra avstanden vil dette kunne gi en samlet god radardekning. Dette vil gi mulighet til å produsere totale strømvektorer ved å kombinere data fra flere HF-radarer, og dermed unngå at hele halvsirkelen med påvirkede radialer blir uten data. Det kan også være aktuelt å plassere HF-radarer offshore i vindparkene for å få tilfredsstillende dekning. Det kan også være en mulighet å plassere en HF-radar på Shetland for å dekke området vest for de foreslåtte vindparkene. Kostnaden for en HF-radar er ca 3,5 MNOK.

Strømningsmålere (Acoustic Doppler Velocity Profiler, ADCP) plassert i havvind-parkene er også et avbøtende tiltak. Disse kan måle vertikalprofiler til havstrømmer i parken og overføre dataene i sanntid. Avhengig av montering og

sendefrekvens har ADCPer også kapasitet til å måle overflatebølger og vannstand, samt turbulensnivå. Strategisk utplasserte ADCPer som gir informasjon om variasjon i strøm, bølger og turbulens over parkens utstrekning samt i utkanten vil gi god informasjon om vindkraftparkens påvirkning på sirkulasjonen. Det bør være minst 6 målepunkter: senter, på fire kanter, samt et stykke utenfor parken nedstrøms for dominerende vindretning. Det er avgjørende at slikt utstyr monteres i samråd med ekspertise på koblet hav-atmosfæreinteraksjon samt havmodellering for maksimal nytteverdi.

Kunnskapsmangler

Behov for observasjoner

Vindturbinene blir stadig større med en rotorhøyde som nå stikker langt opp i det atmosfæriske grensesjiktet. Ettersom turbinene er designet nettopp for å hente ut mest mulig energi fra vindfeltet kan de ha stor påvirkning på luftstrømningen i grensesjiktet, og derigjennom ha indirekte effekter på bakke- eller havnivå. Det er derfor viktig å ha gode observasjoner der det er høy tetthet av turbiner for å overvåke direkte og sekundære effekter av vindparkene. Denne overvåkingen er hovedsakelig for å fange opp endringer i luft og havsirkulasjon som kan påvirke værvarsler og strømningsforhold. Som beskrevet nedenfor vil turbinene i tillegg ha direkte negativ påvirkning på viktige vær- og havobservasjonssystemer. Avbøtende tiltak er derfor av stor betydning ettersom vi faktisk behøver styrket observasjonsgrunnlag.

Værradar

Det er lite erfaring med å håndtere vindparker av denne størrelsen i radardata. Dette knytter seg for eksempel til hvordan vi skal korrigere for de radardataene som opplever interferens fra vindparken. Kjent litteratur tar ikke høyde for så høye turbiner og så store vindparker. Det er heller ingen kjente metoder for å bruke observasjonsdata til å lage et korrigert datasett områdene der vindparken påvirker radarmålingene

Havstrømradar

Forstyrrelser på HF-radar og vindturbiner til havs er en forholdsvis ny problemstilling, og det foregår internasjonal forskning på hvordan man skal løse dette. Det er fortsatt mye uavklart, og det er lite erfaringsdata, spesielt fra vindparker i den størrelsen og plassering offshore som vi vurderer nå.

Det er foreslått flere tiltak som kan redusere påvirkningen fra vindturbiner på HF-radar, men det er viktig å merke at der hvor det er interferens mellom en HF-radar og en vindturbin er radardataene tapt. Ett enkelt tiltak vil sannsynligvis ikke være tilstrekkelig. Flere av de foreslåtte tiltakene krever utvikling og testing av ny programvare for HF-radarene, og det er i dag ukjent hva kostnadene for dette blir for MET som kunde og når slik programvare vil være tilgjengelig.

Kilder

Hidde Leijnse et. al. 2022. On the coexistence of weather radars and wind turbines. OPERA-4 report.

https://www.eumetnet.eu/wp-content/uploads/2022/08/OPERA_wind_turbine_report_20220225.pdf

Roland E Rienhart 1999. Radar for Meteorologists, Third edition.

Hugh Roarty et.al 2019 The Global High Frequency Radar Network.

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2019.00164/full>

Joshua Trockel et al., 2023. Strategies for Operating HF Radars in Field of View of Offshore Wind Turbines. OCEANS 2023 conference.

Doviak, R., & Zrnich, D. S. (1993). Doppler Radar and Weather Observations (2nd ed.). San Diego: Academic Press.

Vurdering av Vestavind B

Sammendrag

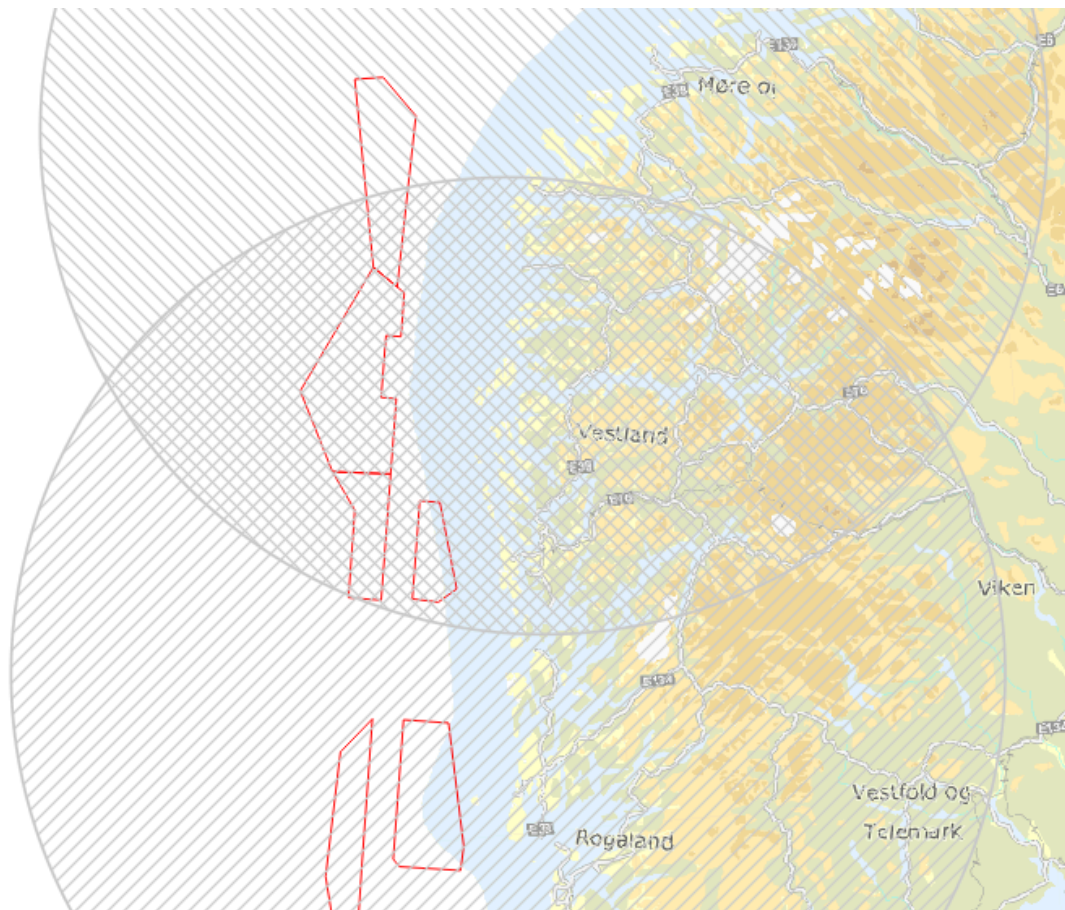
Utbygging av havind i feltet Vestavind B vil ha konsekvenser for kvaliteten på værradardata og havstrømraddardata. For værradar er konsekvensene identifisert til å påvirke 90-minutters nåvarsling for noen områder, og for utstedelse av fjernTREND-varsler for Bergen lufthavn, Flesland. Innføring av ekstra observasjoner i Vestavind B er beskrevet som et avbøtende tiltak, og programvare for å utnytte observasjonene må utvikles.

For Havstrømsradarene (HF-radar) er konsekvensene at HF-radarene på Kråkenes, Fedje og Slåtterøy vil miste data for store områder. Et kompensierende tiltak er at det er bevilget midler til to nye HF-radarer på sørvestlandet som vil gi økt dekning sør for Vestavind B. Flere kompensierende tiltak er identifisert, og bør implementeres for å redusere konsekvensene .

Værradar

Identifiserte verdier

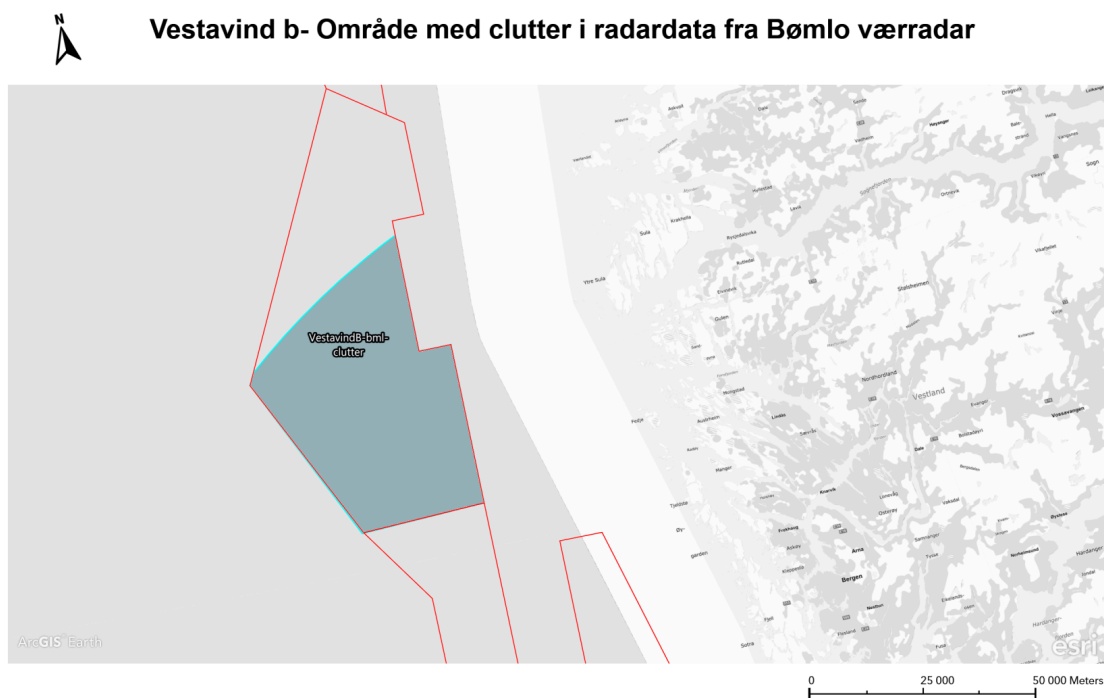
Hele området dekkes av værradarene på Bømlo, og Stad Se oversikt i figur 9



Figur 9: Viser dekningsområdene til Bømlo værradar og Stad værradar.

Verdi og påvirkning

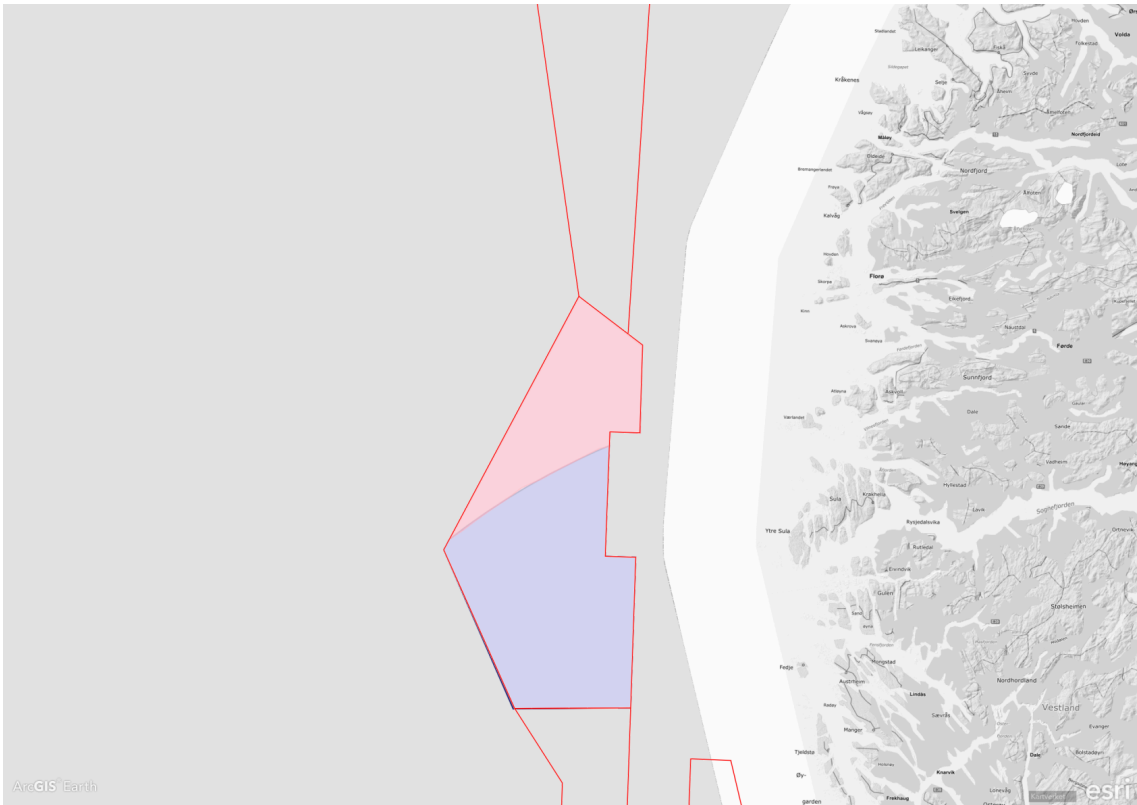
Vindturbinene i Vestavind B, vil gi forstyrrelser i værradardata.



Figur 10: Figuren avgrensar områder med forstyrrelser ved normal signalavbøyning.

Selv om deler av en vindpark kun gir forstyrrelser i værradardata, og ikke blokkeringer, ser vi at en utbygging vil påvirke værradar dataene negativt. Værradar er en viktig del av publikumsprodukter og flyværsvarsling. Vi ser at en utbygging av Vestavind B vil føre til at værsystemer i gitte situasjoner kan bruke mindre enn to timer inn til Bergen lufthavn, Flesland. Dette vil gå ut over sanntidsvarslet (TREND) ved Bergen lufthavn, Flesland. Selv om ikke hele vindparken forstyrrer ved normal signalavbøyning, vil den gi forstyrrelser ved avbøyning som er større enn normalt. Dette skjer relativt ofte.

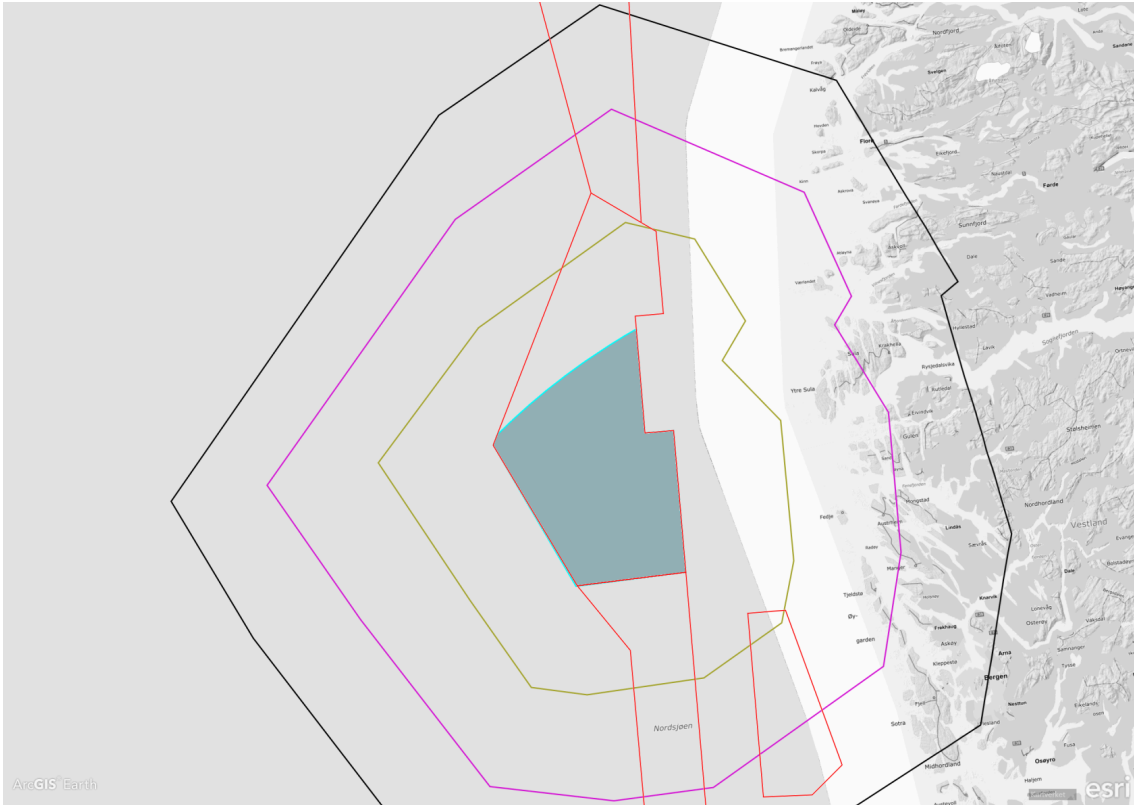
Verdi for forstyrrelser fra Vestavind B ved normal signalavbøyning settes derfor til -4, mens verdien for området som har forstyrrelser ved større signalavbøyning settes til -2.



Figur 11: viser Verdi tilordnet Vestavind B. Blå viser området med verdi -4. Rød viser området med påvirkning -2.

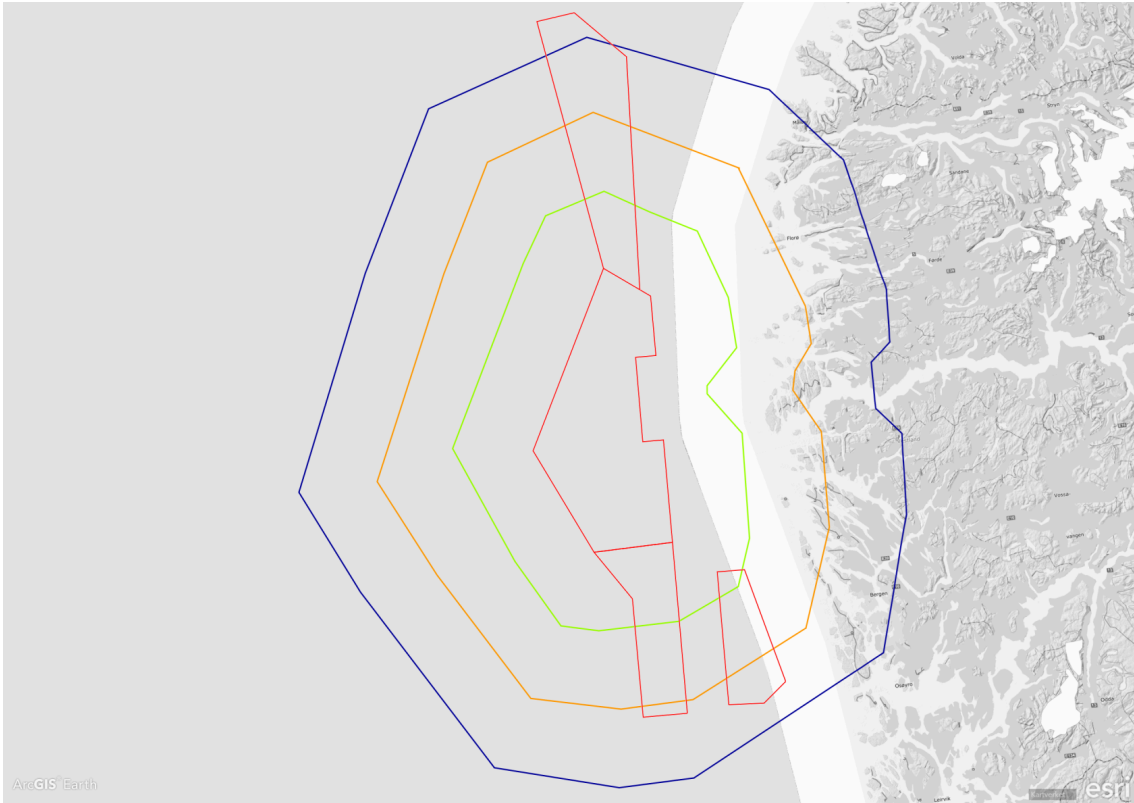
Konsekvenser

En utbygging av Vestavind B vil gi forstyrrelser i værradar data. I det sørligste området vet vi forstyrrelsene vil være konstante, mens i det nordlige området er vi mer usikre på hvor ofte vi vil ha forstyrrelser. Forstyrrelsene vil påvirke hvor et 90-min varsel kan utstedes. Figur 10 viser hvilke områder vi er sikre på vil få en endret lengde av 90 min varsløt.



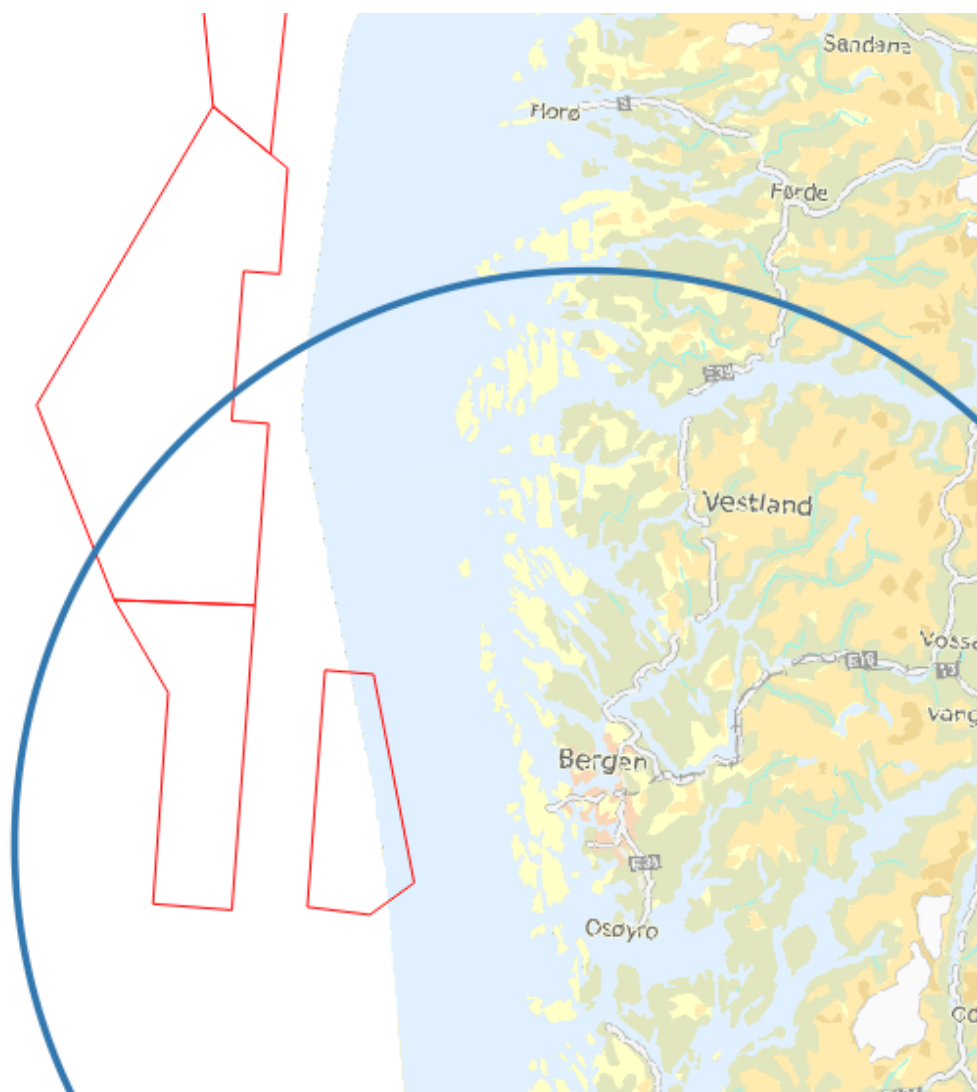
Figur 12: viser hvor lang tid vær bruker fra områder i vestavind B hvor vi vet vi har forstyrrelser. Vi har her brukt 30 kt (= 55.6 km/t) som hastighet på raske værsystemer. Gul linje gir 30 min, lilla linje gir 60 min og sort linje gir 90 min. Utenfor avgrensningen gitt av den svarte linjen vil ikke brukerne oppleve noen endring.

Hvis det viser seg at forstyrrelser opptrer ofte i hele Vestavind B, så må hele Vestavind B legges til grunn for avgrensninger. Figur 11 viser da hvor hvilke reduksjoner i 90 minuttersvarslet de nærmeste områdene kan forvente seg.



Figur 13: viser hvor lang tid vær bruker fra Vestavind B. Vi har her brukt 30 kt(= 55.6km/t) som hastighet på raske værsystemer. Grønn gir 30 min, orange gir 60 min og blå gir 90 min. Utenfor avgrensningen gitt av den blå linja, vil ikke bruker oppleve noen endring.

TREND er et værvarsel for de neste to timene som utstedes for enkelte flyplasser. Som vi ser av figur 14 ligger deler av Vestavind B innenfor to timers avstand fra Bergen lufthavn, Flesland. Denne flyplassen har værvarslet TREND.



Figur 14: Viser områder innenfor 2 timers avstand fra Bergen lufthavn Flesland. Vi kan se at Vestavind B ligger innenfor området som brukes for å utstede TREND.

Værradardekkning er påkrevet for å utstede fjertrend. Uten værradar kan TREND utstedes når man bemanner en tjeneste på selve flyplassen.

Kunnskapsmangler for Vestavind B

MET har ikke erfaring med så høye vindturbiner og en vindpark på størrelse med Vestavind B. Vi antar at estimatet av området med forstyrrelser ved normal signalavbøying er konservativt. Vi vet ikke hvor stor del av tiden vi vil få forstyrrelser i hele den utbygde delen av Vestavind B. Innføring av ekstra observasjoner er beskrevet som et avbøtende tiltak, men programvare for å utnytte observasjonene er ikke utviklet enda.

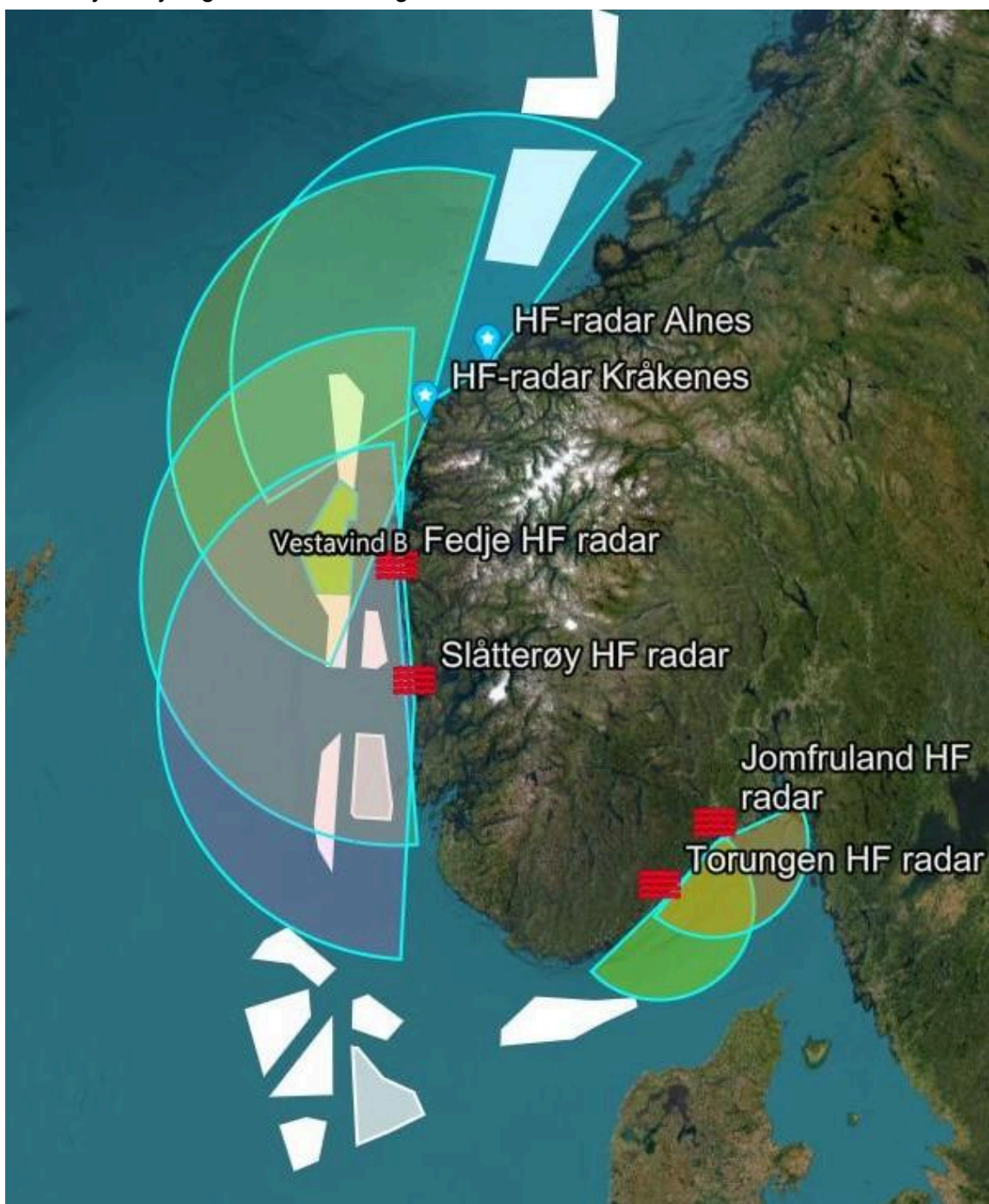
Værsystemer og værvarsling

Vestavind B er en stor vindpark med høye turbiner. Vi vet i dag ikke hvordan vindparken vil påvirke lokalt vær i vindparken, men også nedstrøms for vindparken. Vi vet ikke om høye vindturbiner vil øke antallet lyn i området.

Havstrømradar

Identifiserte verdier

Hele det foreslåtte området Vestavind B ligger i dekningsområdet til HF-radarene på Slåtterøy, Fedje og Kråkenes. Se figur 15 for oversikt.



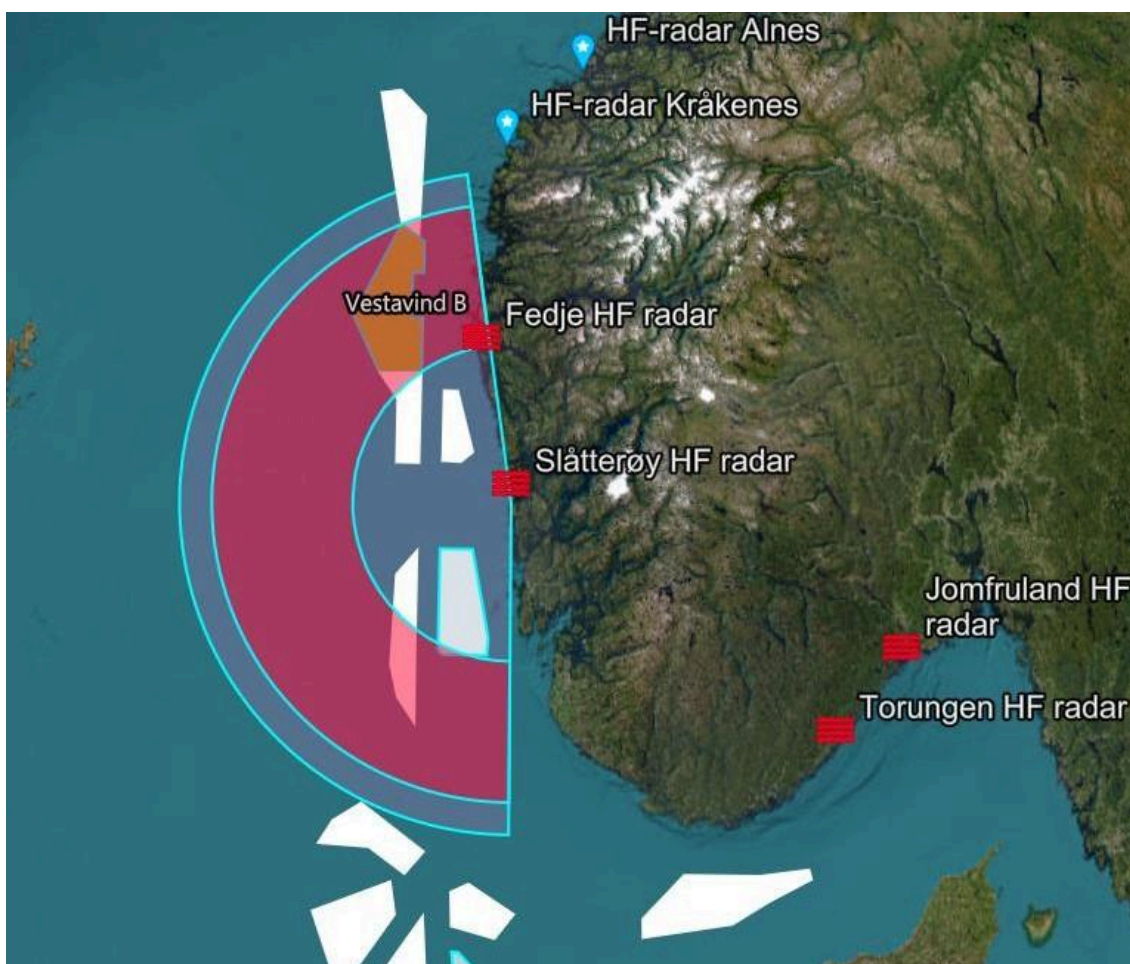
Figur 15: Plassering av Vestavind B i HF-radarenes dekningsområde

Verdi og påvirkning

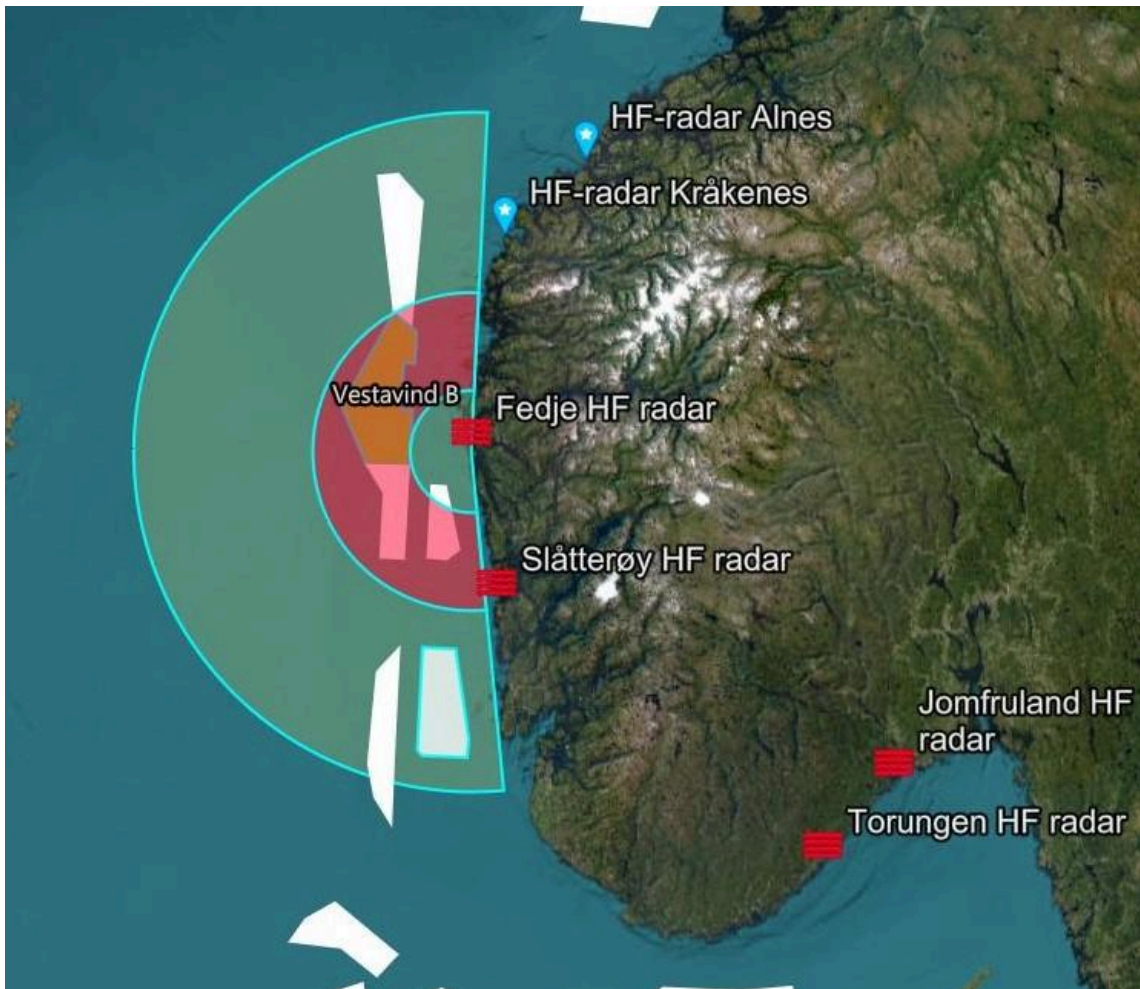
Interferens fra vindturbiner i Vestavind B området vil kunne forstyrre Havstrømradataene på Slåtterøy, Fedje og Kråkenes på en slik måte at en stor del av radial dataene fra hver HF-radar blir ødelagt.

Se figur 16 som eksempel på hvilke havområder Vestavind B vil kunne ødelegge radielle radardata fra Slåtterøy HF-radar for. Som vi ser av Figur 17 vil en full utbygging av alle foreslåtte havvind-områder redusere dekningsområdet for Slåtterøy HF-radar fra 220 km til 40 km.

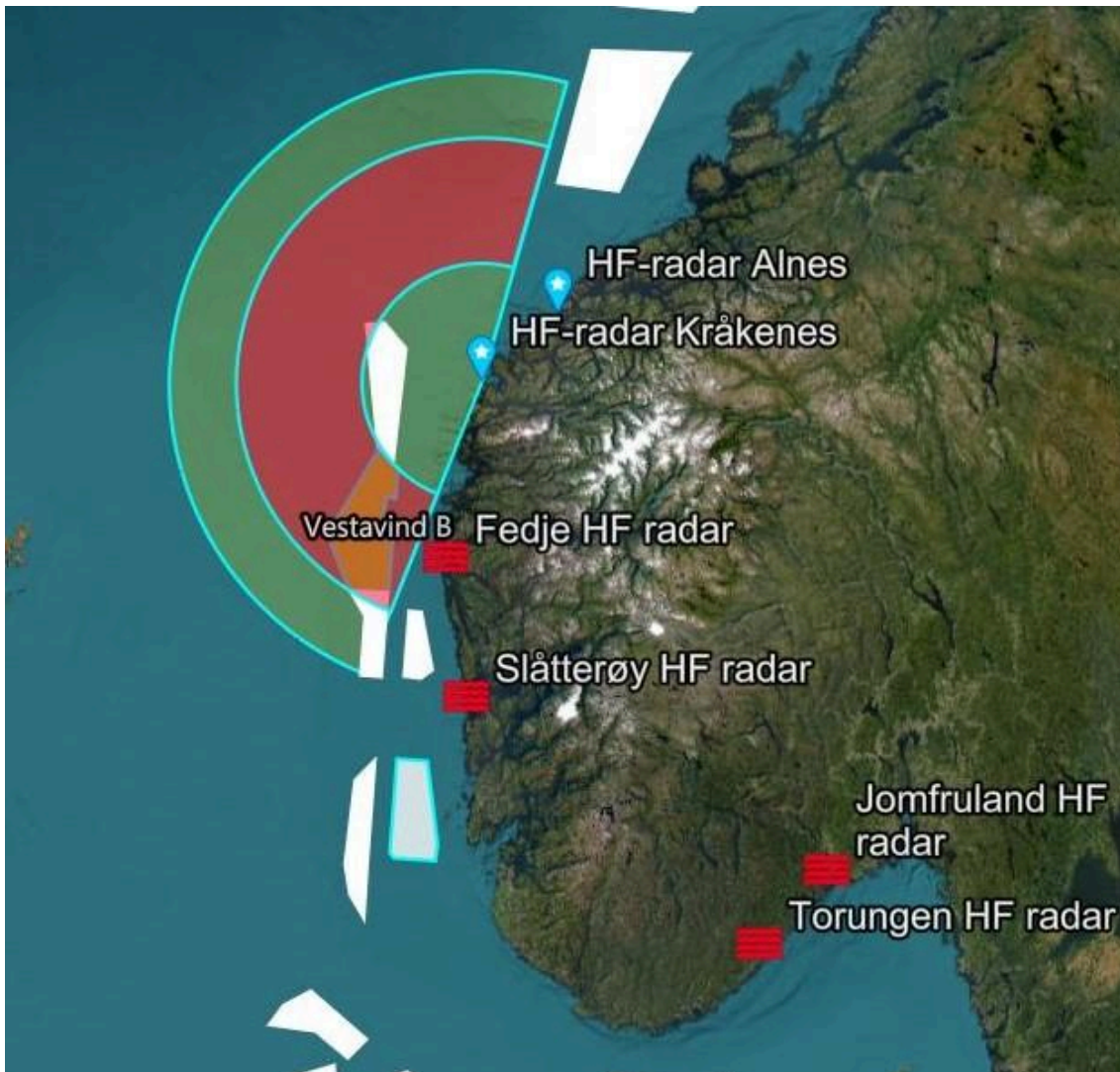
Figur 18 viser påvirkningen fra Vestavind B på Fedje HF radar, og Figur 19 viser påvirkningen fra Vestavind B på Kråkenes HF-radar.



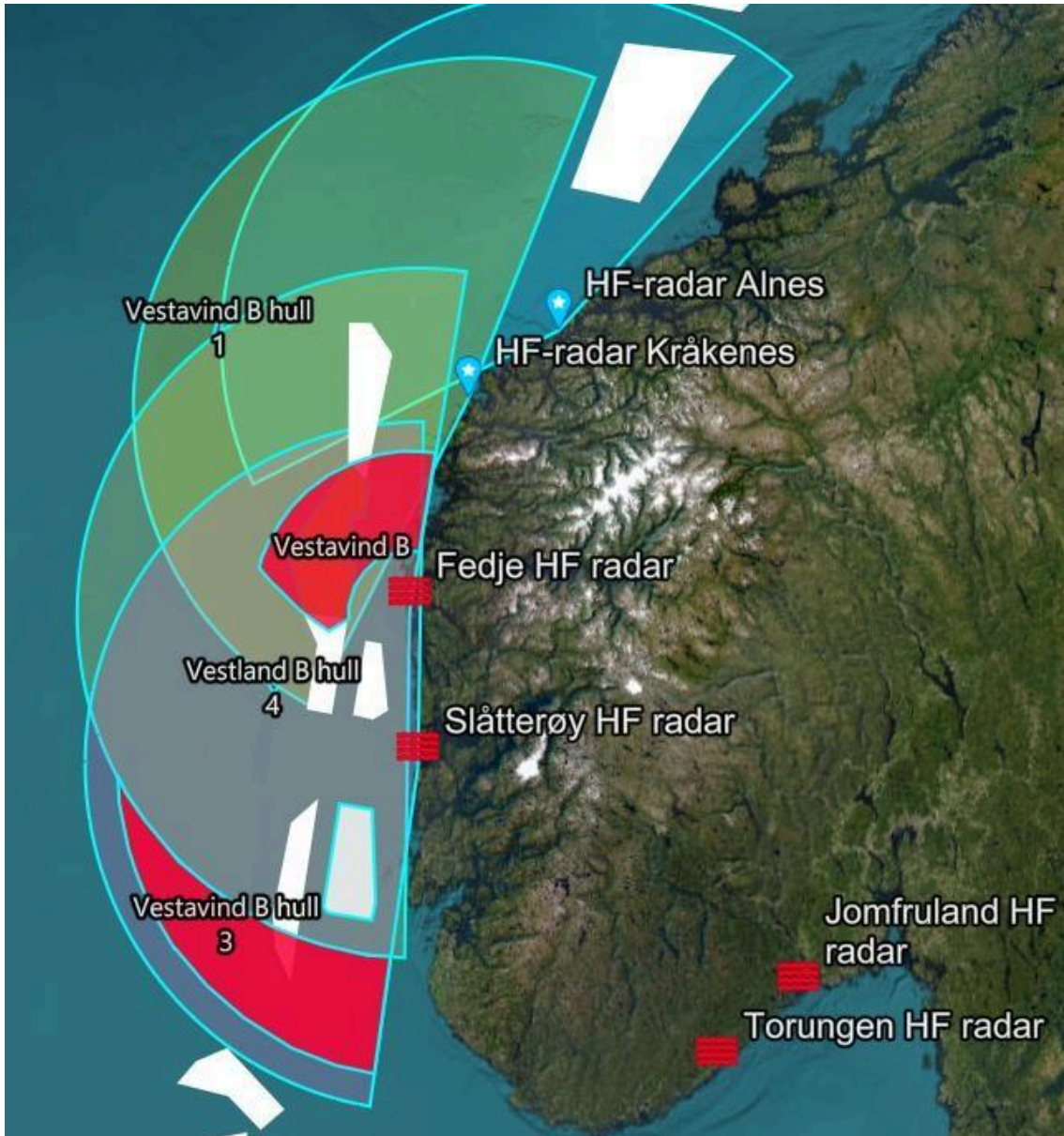
Figur 16: Rød skravert halvsirkel viser arealet hvor påvirkning fra vindturbiner i Vestavind B vil kunne ødelegge radielle HF-radar data fra Slåtterøy HF-radar.



Figur 17: Rød skravert halvsirkel viser arealet hvor påvirkning fra vindturbiner i Vestavind B vil kunne ødelegge radielle HF-radar data fra Fedje HF-radar.

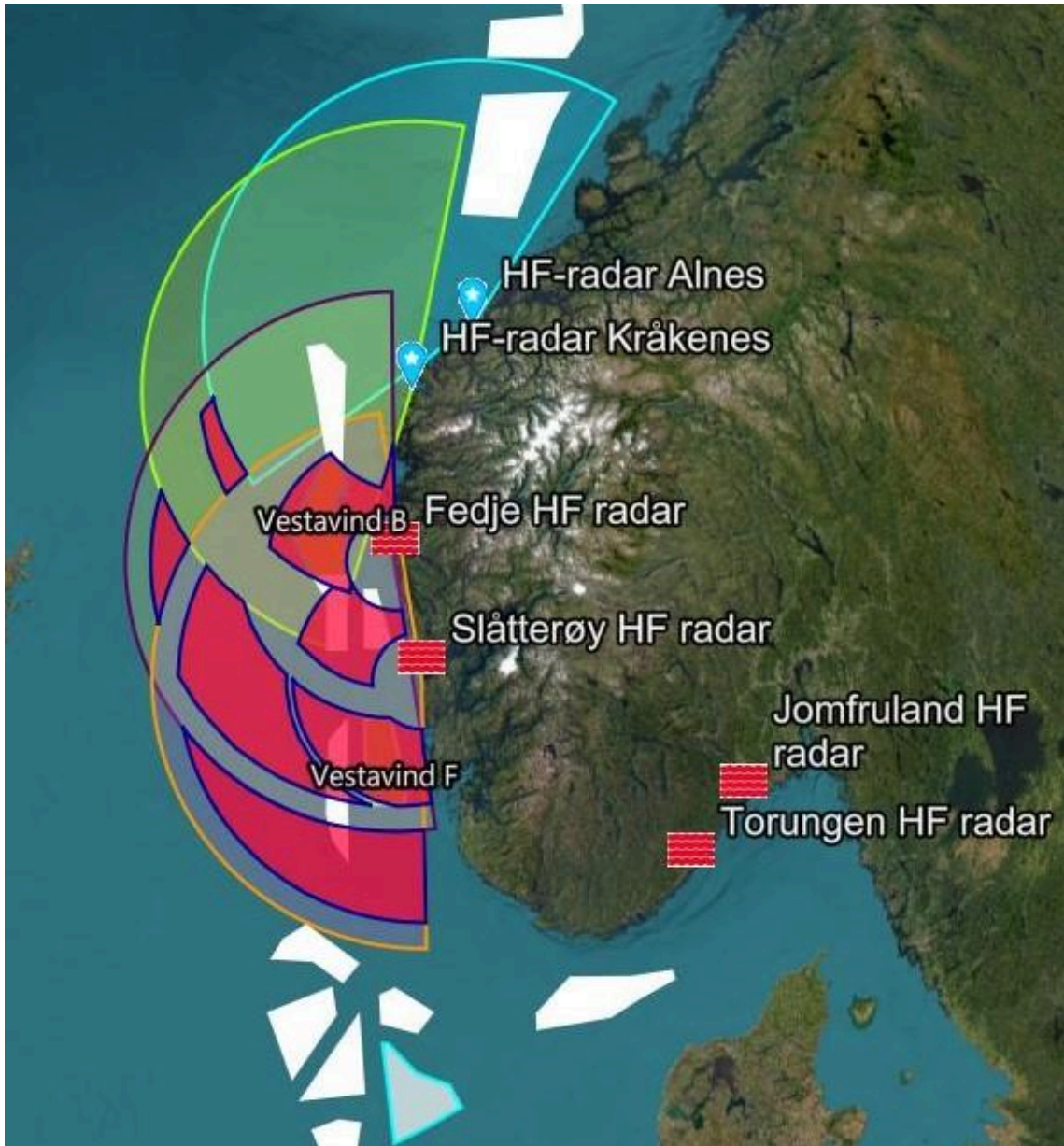


Figur 18: Rød skravert halvsirkel viser arealet hvor påvirkning fra vindturbiner i Vestavind B vil kunne ødelegge radielle HF-radar data fra Kråkenes HF-radar.



Figur 19: Røde skraveringer viser den samlede påvirkningen av Vestavind B på radielle data fra HF-radarene på Slåtterøy, Fedje, Kråkenes og Alnes.

Hvis det bygges ut flere havvind-felter innenfor HF-radarenes dekningsområde blir påvirkningen for de radielle dataene en sum av forstyrrelsene. Eksempel i figur 20 viser samlet forstyrrelse fra feltene Vestavind B og Vestavind F. Utfall av en HF-radar ved teknisk feil eller vedlikehold får også større konsekvenser da det vil bli et større område uten data enn forholdene før utbygging.



Figur 20: Røde felter viser områder hvor det ikke vil være tilgjengelig radielle data fra HF-radarer hvis Vestavind B og Vestavind F bygges fullt ut.

Konsekvenser

Konsekvensene av forstyrrelser på Havvind Radarer fra vindturbiner i området Vestavind B er at det blir betydelig mindre radielle hastighetsmålinger tilgjengelig. Arealet som går tapt er vesentlig større enn området Vestavind B, det blir halvsirkler med bredde som størrelsen på Vestavind B og radius fra Vestavind B til de respektive radarene. Utfall av en HF-radar på grunn av teknisk feil på radaren vil også gi større tap av radardata etter en Havvind utbygging.

Radielle havstrømhastigheter assimileres i dag inn i de numeriske havmodellene, og mindre data gir dårligere kvalitet på varslene. Vi vurderer at konsekvensen av full utbygging av Vestavind B for havstrømradarene er Alvorlig, Kode -4. En full utbygging av Vestavind B og Vestavind F vurderer vi til å ha konsekvens Svært alvorlig, Kode -5 før kompenserende tiltak.

Kompenserende tiltak for å redusere konsekvensene av Vestavind B på havstrømradarene er:

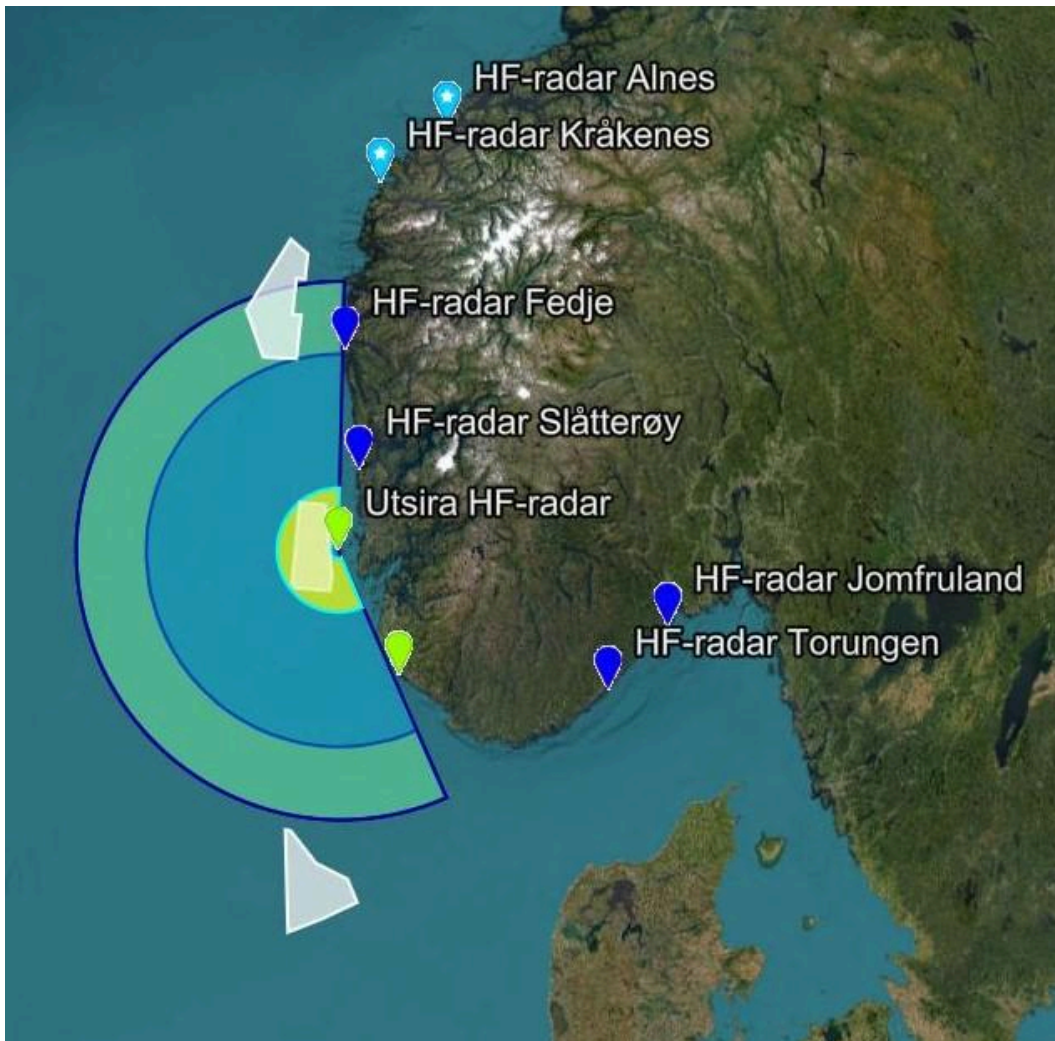
- å øke sweep rate på radaren. Dette øker den spektrale båndbredden for radaren, og kan gjøre at forstyrrelsen fra en vindturbin bare havner i en avstandscelle (range bin) fra radaren i motsetning til 3-5 avstandsceller. Ulempen med dette er at HF-radar har et begrenset frekvensspektrum hvor de har tillatelse til å sende. Når flere HF-radarer skal opereres i samme geografiske område blir det utfordrende å sette opp tidsstyringen mellom radarene.
- Flagging av forstyrrelsene fra vindturbiner er et annet tiltak. Hvis rotasjonshastigheten til vindturbinene er kjent, kan man beregne hvor i spektrumet forstyrrelsene vil komme, og fjerne data i dette området. Dette krever utvikling av ny programvare for HF-radarene, og at rotasjonshastigheten til vindturbinene er tilgjengelig i sanntid. Dette kan brukes til å fjerne data med feil, men det blir ett havområde uten data. Dette betyr at rotasjonshastigheten for vindturbinene gjøres tilgjengelig for MET i sanntid.
- Siden forstyrrelser fra vindturbiner er avhengig av avstanden mellom HF-radar og vindturbinene så kan det å installere en ny HF-radar nord på Jæren være ett tiltak. Siden forstyrrelsene fra vindturbinene vil påvirke forskjellige havområder for hver HF-radar ut fra avstanden vil dette kunne gi en samlet god radardekning. Dette vil gi mulighet til å produsere totale strømvektorer ved å kombinere data fra flere HF-radarer, og dermed unngå at hele halvsirkelen med påvirkede radialer blir uten data. Det kan også være aktuelt å plassere en HF-radarer offshore i vindparken for å få tilfredsstillende dekning.
- Strømningsmålere plassert og driftet i havvind-parkene av operatørene er også et avbøtende tiltak. Disse kan måle havstrømmer i punkter i parken og overføre dataene i sanntid. Vi foreslår 6 strømningsmålere plassert i Vestavind B for å

avhjelpe tap av strømningsdata i vindparken. Ettersom parken har direkte innvirkning på sirkulasjonen foreslår vi plasseringer senter, på fire kanter, samt nedstrøms av dominerende vindretning et stykke utenfor parken. Slike målinger vil også ha stor nytteverdi for utvikling av metodikk for å fjerne feil i HF-radarmålingene grunnet vindturbinene.

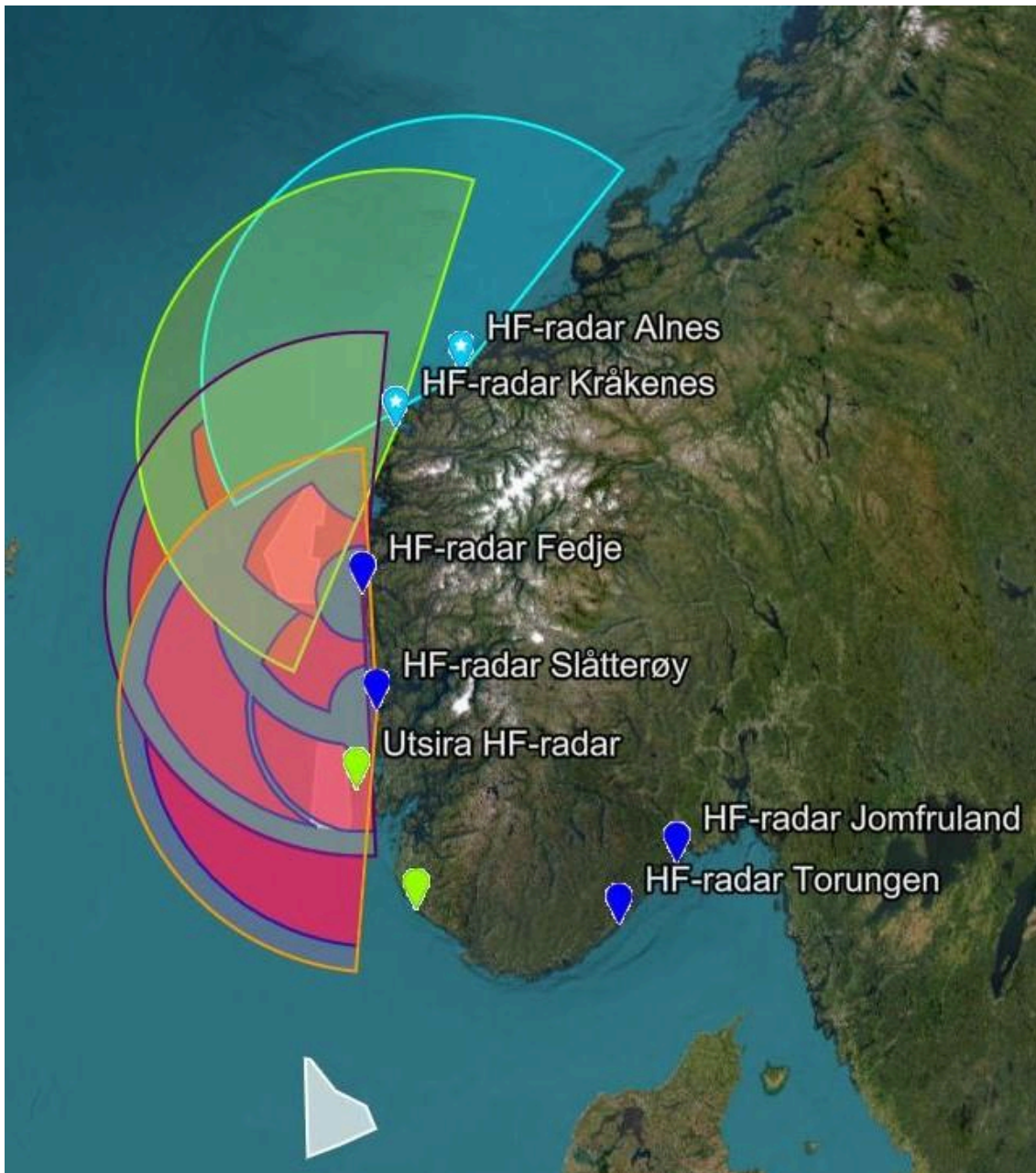
Energidepartementet har i september 2024 tildelt MET et tilskudd på 6,5 millioner kroner til innkjøp av to HF-radare som skal bedre dekningen av områdene som er aktuelle for utlysning av havvind i 2025 samt videreutvikling av modellverktøy for havvind som et grunnlag for å svare ut effekter på økosystemnivå.

MET har sett på effekten av å plassere en ny HF-radar på Utsira og en på Eigerøy. Figur 21 under viser dekning av en ny HF-radar på Utsira. Figur 22 og Figur 23 viser hvordan en radar på Utsira kompensere for bortfall av data fra eksisterende HF-radare grunnet vindturbiner i Vestavind B og Vestavind F. Som vi ser vil en ny HF-radar på Utsira kompensere for mye av de områdene som har totalt bortfall av HF-radar data for disse to havvind-feltene. Vi har også sett på plassering av en HF-radar på Eigerøy, men denne plasseringen vil bli påvirket av Vestavind F i tillegg til Sørvest F. Vi leter etter en plassering lengre øst slik slik at vi får maksimal utnyttelse av denne nye HF-radaren.

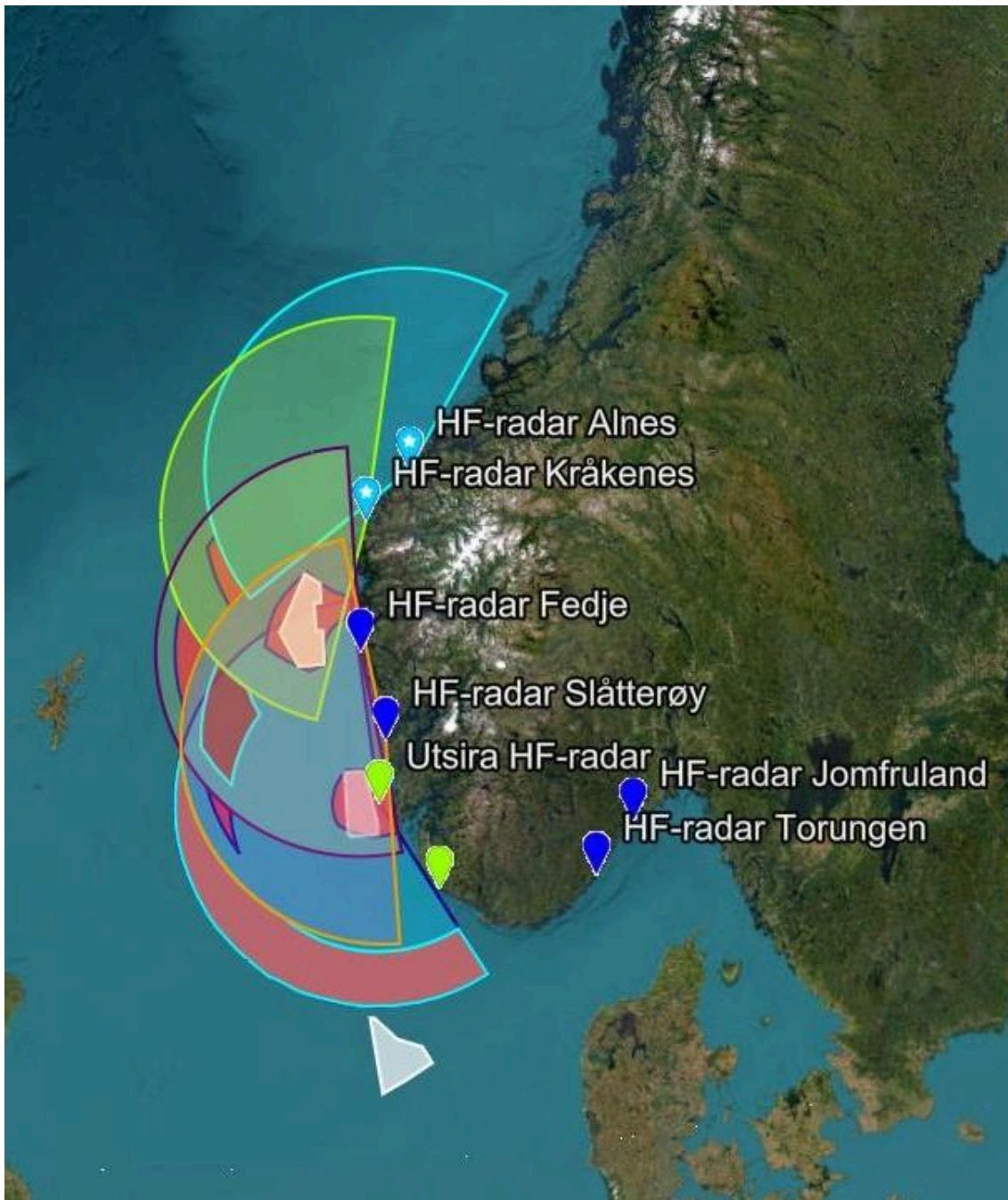
Med disse to nye HF-radarene på plass vurderer vi påvirkningen totalt fra en full utbygging av Vestavind B, Vestavind F og Sørvest F til å ha konsekvens Middels, tallkode -3 for HF-radardata.



Figur 21: Dekning av ny HF-radar på Utsira med gult skavert områder som viser støy fra henholdsvis Vestavind B og Vestavind F.



Figur 22: Røde skraverte felter viser manglende HF-radar data grunnet Vestavind B og Vestavind F fra eksisterende HF-radarer.



Figur 23: Røde skraverte felter viser manglende HF-radardata grunnet Vestavind B og Vestavind F med en ny HF-radar på Utsira.

Kunnskapsmangler for Vestavind B

Forstyrrelser på HF-radar og vindturbiner til havs er en forholdsvis ny problemstilling, og det foregår internasjonal forskning på hvordan man skal løse dette. Det er fortsatt mye uavklart, og det er lite erfaringsdata, spesielt fra vindparker i den størrelsen og plassering offshore som vi vurderer nå.

Det er foreslått flere tiltak som kan redusere påvirkningen fra vindturbiner på HF-radar, men det er viktig å merke at der hvor det er interferens mellom en HF-radar og en vindturbin er radardataene tapt. Ett enkelt tiltak vil sannsynligvis ikke være tilstrekkelig. Flere av de foreslåtte tiltakene krever utvikling og testing av ny programvare for HF-radarene, og det er i dag ukjent hva kostnadene for dette blir for MET som kunde og når slik programvare vil være tilgjengelig for testing.

Vurdering av Vestavind F

Sammendrag

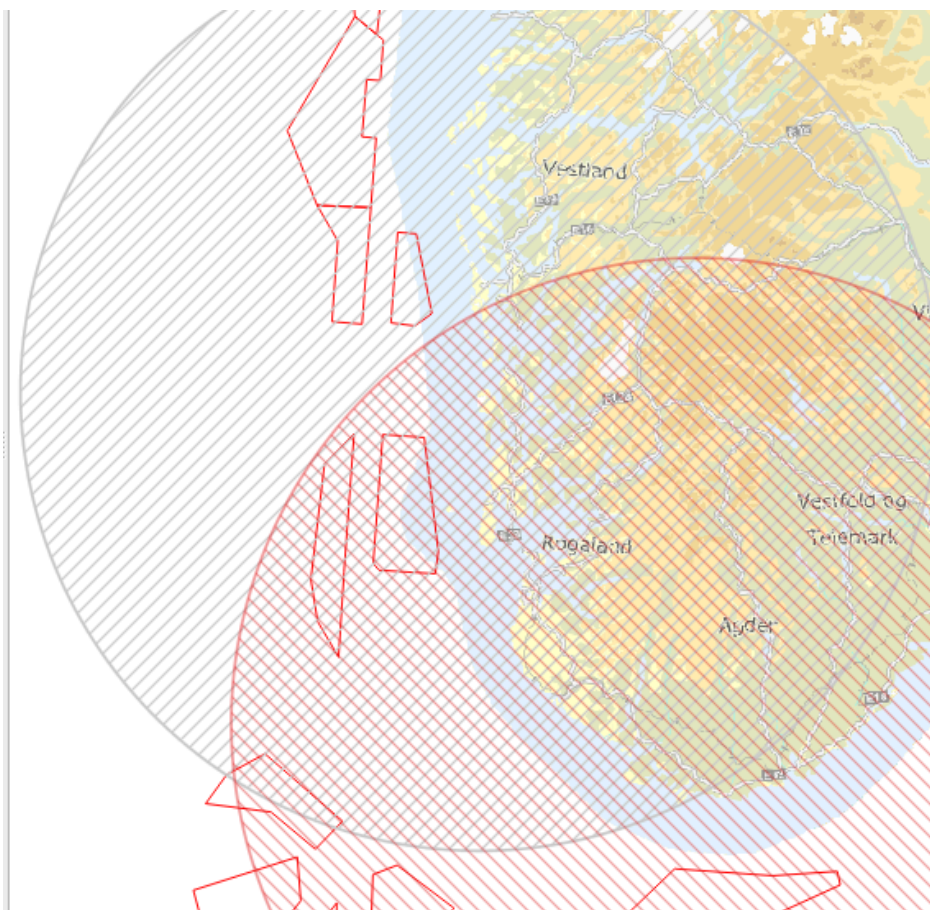
Utbygging av havvind i feltet Vestavind F vil ha konsekvenser for kvaliteten på værradardata og havstrømradata. For værradar er konsekvensene identifisert til å påvirke 90-minutters nåvarsling for noen områder, og for utstedelse av fjernTREND-varsler for Bergen lufthavn, Flesland og Stavanger lufthav, Sola. Vindturbiner av referansetypen i den nordlige delen av Vestavind F vil gi delvis blokkering av radarsignalene, og dermed redusert kvalitet på dataene bak vindparken. En ny værradar er foreslått som et konsekvensreducerende tiltak. Innføring av ekstra observasjoner i Vestavind F er beskrevet som et avbøtende tiltak, og programvare for å utnytte observasjonene må utvikles.

For Havstrømradataene (HF-radar) er konsekvensene at HF-radarene på Kråkenes, Fedje og Slåtterøy vil miste data for store områder. Et kompensierende tiltak er at det er bevilget midler til nye HF-radare på sør-vestlandet som vil gi økt dekning vest for Vestavind F. Flere kompensierende tiltak er identifisert, og bør implementeres for å redusere konsekvensene

Værradar

Identifiserte verdier

Hele området dekkes av værradaren på Bømlo, og området kan sees fra værradaren på Hægebostad. Se oversikt i figur 24



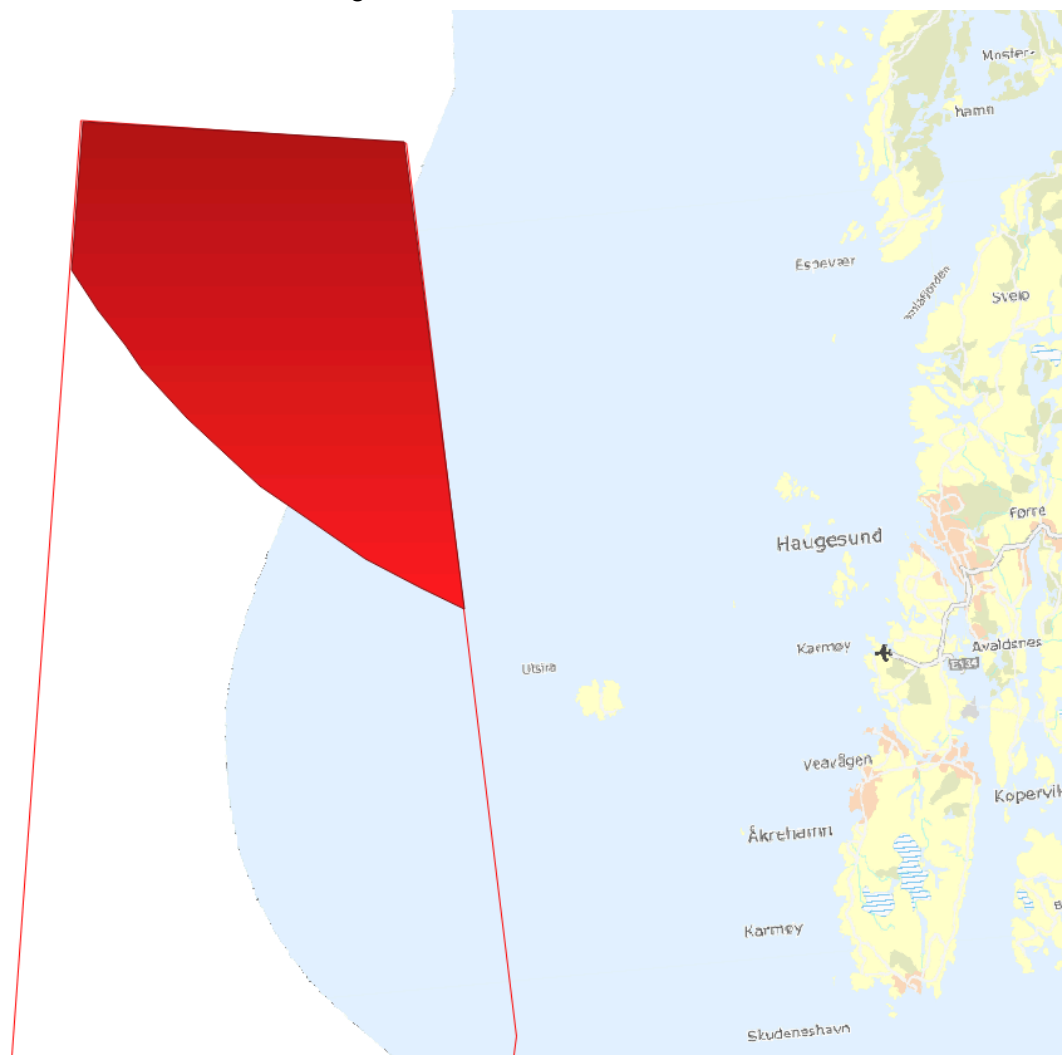
Figur 24 viser dekning ut til 240 km fra værradarene på Bømlo og i Hægebostad

Værvvarsling

Vestavind F ligger nær kysten med flere større byer og tettsteder. Usikkerhet i vindparkens påvirkning av værsystemene kan gi en midlertidig reduksjon i kvaliteten av værvareselet. Dette gjelder også værvarsel som er laget til flytrafikken.

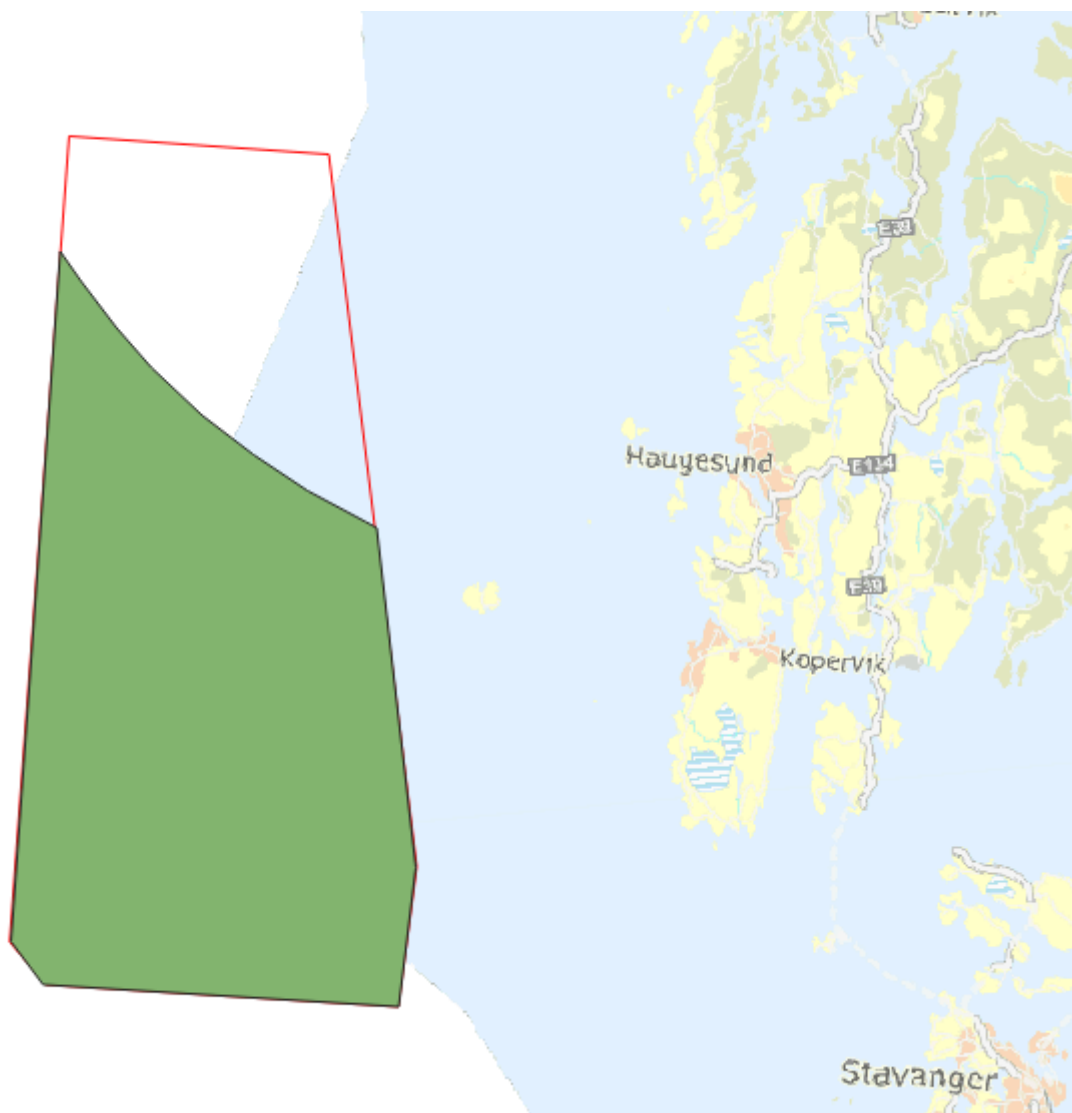
Verdi og påvirkning

Vindturbinene i Vestavind F, vil gi både blokkeringer og forstyrrelser i værradardata. En blokkering er en svært alvorlig forstyrrelse. Værradarsignalet svekkes også etter vindparken og dette svekker radarens evne til å se nedbør som er på vei inn mot Vestlandet. Verdien av blokkering settes til -5



Figur 25: Viser området der en utbygging med referanse turbin vil gi en blokkering av radarsignalet både i og bakenfor Vestavind F.

For områder der det kun er forstyrrelser og ikke blokkeringer ser vi fortsatt at en utbygging vil påvirke værradar dataene negativt. Værradar er en viktig del av publikumsprodukter og flyvævarsling. Vi ser at en utbygging av Vestavind F vil føre til at værsystemer i gitte situasjoner kan bruke mindre enn to timer inn til Stavanger lufthavn, Sola og Bergen lufthavn, Flesland. Dette vil gå ut over sanntidsvarslet (TREND) ved Stavanger lufthavn, Sola og Bergen lufthavn, Flesland. Verdi for forstyrrelser fra Vestavind F settes derfor til -4.

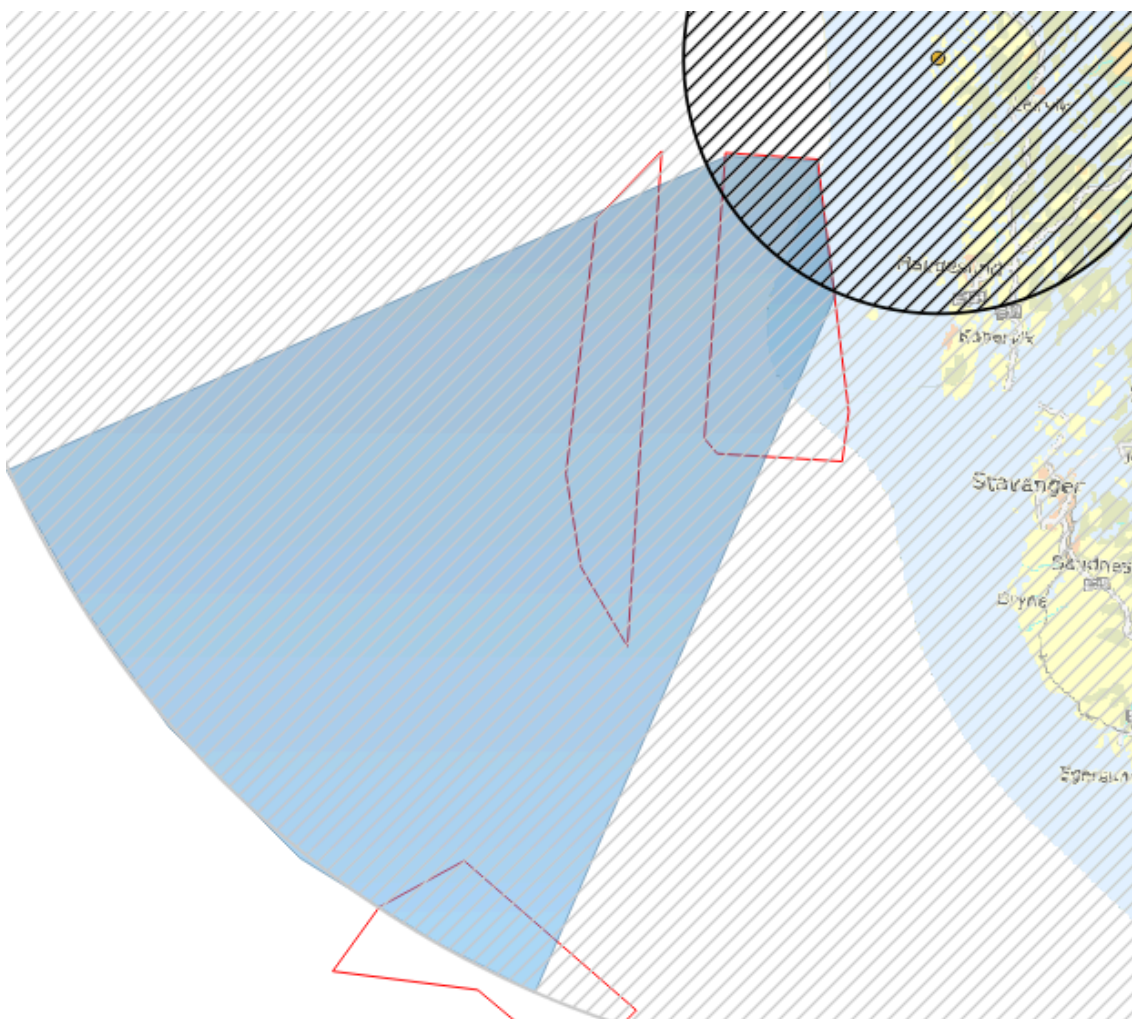


Figur 26: Viser områder i Vestavind F der en utbygging med referanse turbin vil gi forstyrrelser i radardata som i videre produkter vil ha konsekvenser tilsvarende -4.

Konsekvenser

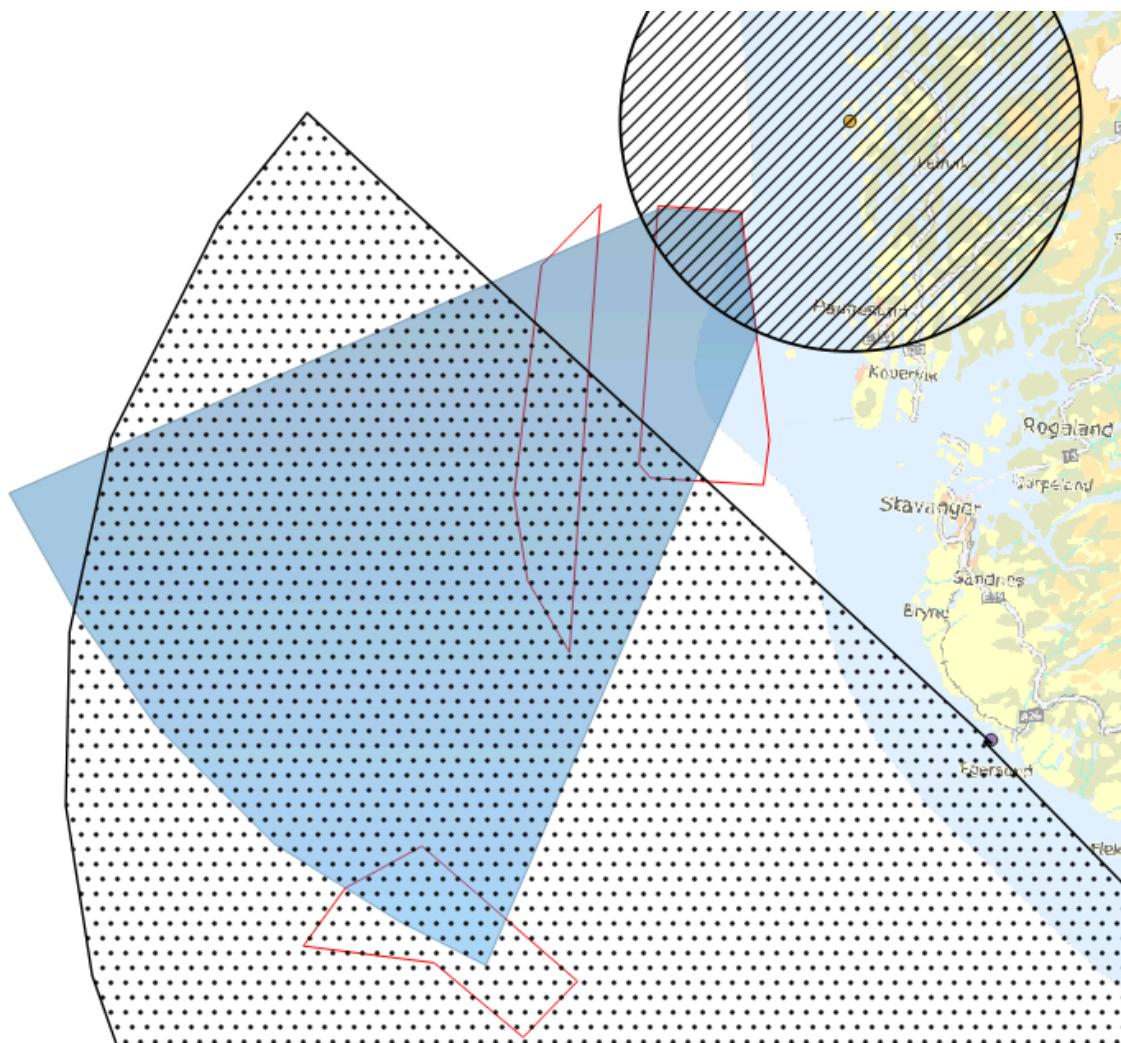
Blokkeringer i værradar data

Vindturbiner med totalhøyde 308 m vil gi blokkeringer i værradar data. En slik blokkering vil gi redusert radarfølsomhet også bak vindparken. Dette vises i figur 8.



Figur 27: Skravert område viser området rundt Bømlo der turbinhøyde på 308m gir blokkering i radardata. Blått skravert område viser området der radarsignalet blir svekket på grunn av vindturbinene nord i Vestavind F.

Som avbøtende tiltak vil vi først foreslå å redusere turbinhøyden slik at ikke turbinene lager blokkeringer i værradar data. Hvis dette tiltaket ikke lar seg gjennomføre, vil en løsning være å installere og drifte en ekstra værradar. Hvis denne skal stå på land, vil vi foreslå en plassering i Egersund-området. Grunnet avstanden ut til området som skal dekkes må dette være en C-bånd værradar. Det vil i dette tilfellet være en fordel om sørligste del av Vestavind E ikke bygges ut. Hvis hele vestavind E skal bygges ut, så må dette gjøres på en måte som ikke gir blokkeringer i signalene fra en eventuell tilleggsradar.



Figur 28: Viser en radardekning og utstrekning sør for Vestavind F ved plassering i Egersund området. Vi har her satt antennehøyde til 80. Vestavind F vil ved den høyden ikke gi blokkeringer i radardata fra en eventuell ny værradar i Egersund. Prikker viser en eventuell Egersund radar, striper viser områder med blokkering. Området med dempet signal fra Hægebostad værradar er blått.

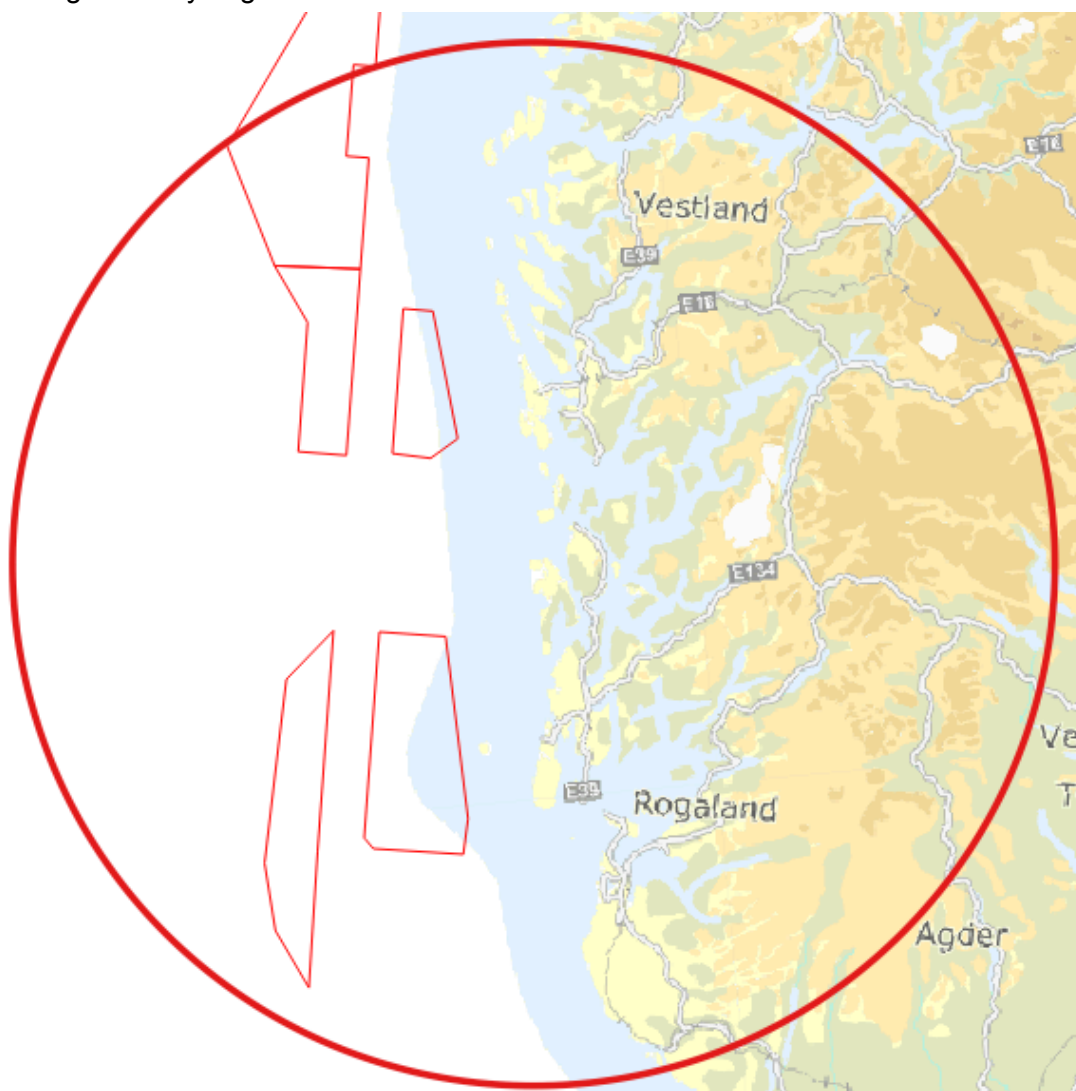
Et alternativ er en installasjon av værradar i havet utenfor vindparken. Vi har ingen erfaring med bygging av værradar til havs, men ved en slik installasjon kreves kun X-bånd værradar.

En værradar til havs må kunne levere radarinformasjon i sanntid og av samme kvalitet som radarnettverket på land.

Forstyrrelser i værradardata

Vi forutsetter her at det ikke bygges turbiner som gir blokkeringer i værradarsignalet, eventuelt at det er installert tilleggsradar som kompenserer for en utbygging. En vindkraftutbygging vil medføre forstyrrelser i værradardata, som uten avbøtende tiltak vil påvirke produkter fra meteorologisk institutt.

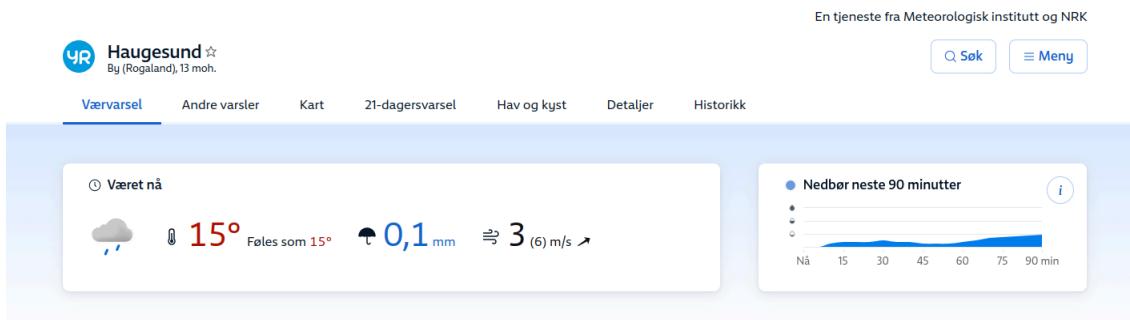
Under viser vi området rundt værradaren på Bømlo hvor vi forventer forstyrrelser ved normal signalavbøyning.



Figur 29: Rød sirkel viser områder hvor vi ved normal signalavbøyning kan forvente forstyrrelser fra referanseturbiner. Ved større signalavbøyning kan vi forvente forstyrrelser også utenfor den røde ringen.

Radarbassert 90 min varsel

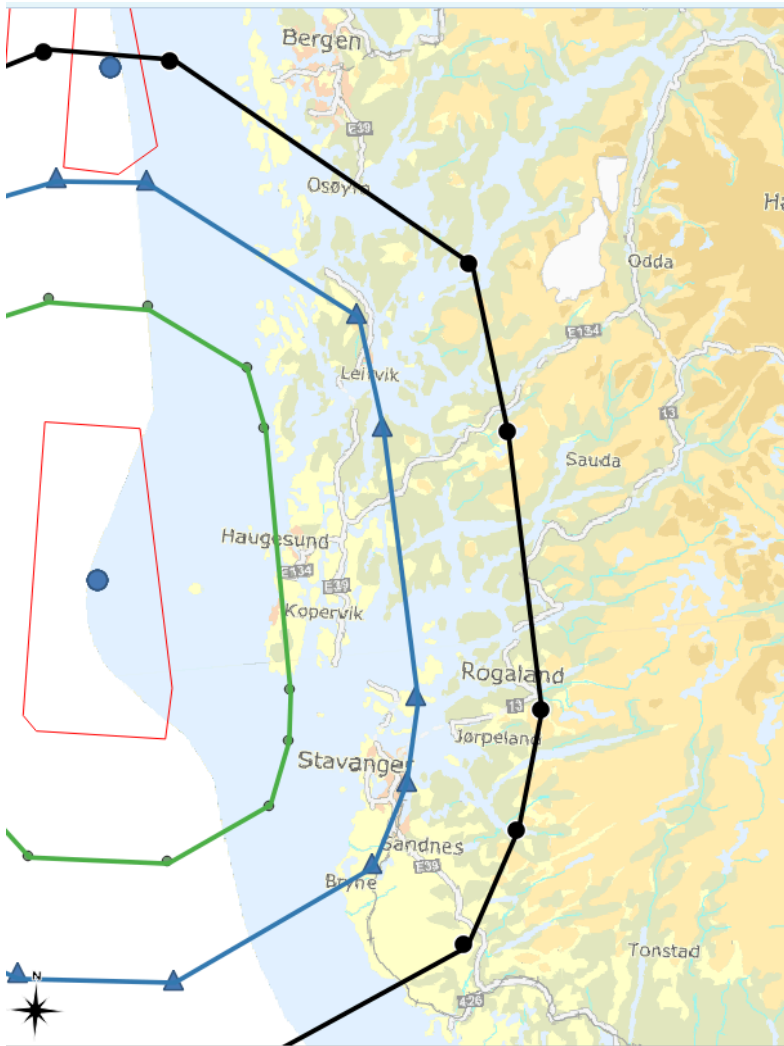
Dette er et automatisk generert nedbør varsel som baserer seg på bevegelse av nedbørsystemer hentet fra værradardata. Dette vises på <https://www.yr.no/nb/kart/radar> samt på yr app som en figur med varsel for nedbør de neste 90 min.



Figur 30: Viser et 90 min varsel for Haugesund

[OBJ]

[OBJ]Konsekvens av en utbygging av hele Vestavind F med turbiner vil være at vi ikke lenger kan gi et 90 minutters varsel for noen områder nær Vestavind F. Figur 31 viser grenser for hvor lange nedbørvarsler som kan lages ved en utbygging av hele Vestavind F.



Figur 31: viser hvor lange nedbørvarsler som kan lages. Vi har i figuren gått ut fra at de raskeste værsystemene har hastighet 30 knop. (55,56 km/t). Grensene for ulike varsler er gitt med farger. Grønn linje 30 min, blå linje 60 min og svart linje 90 min.

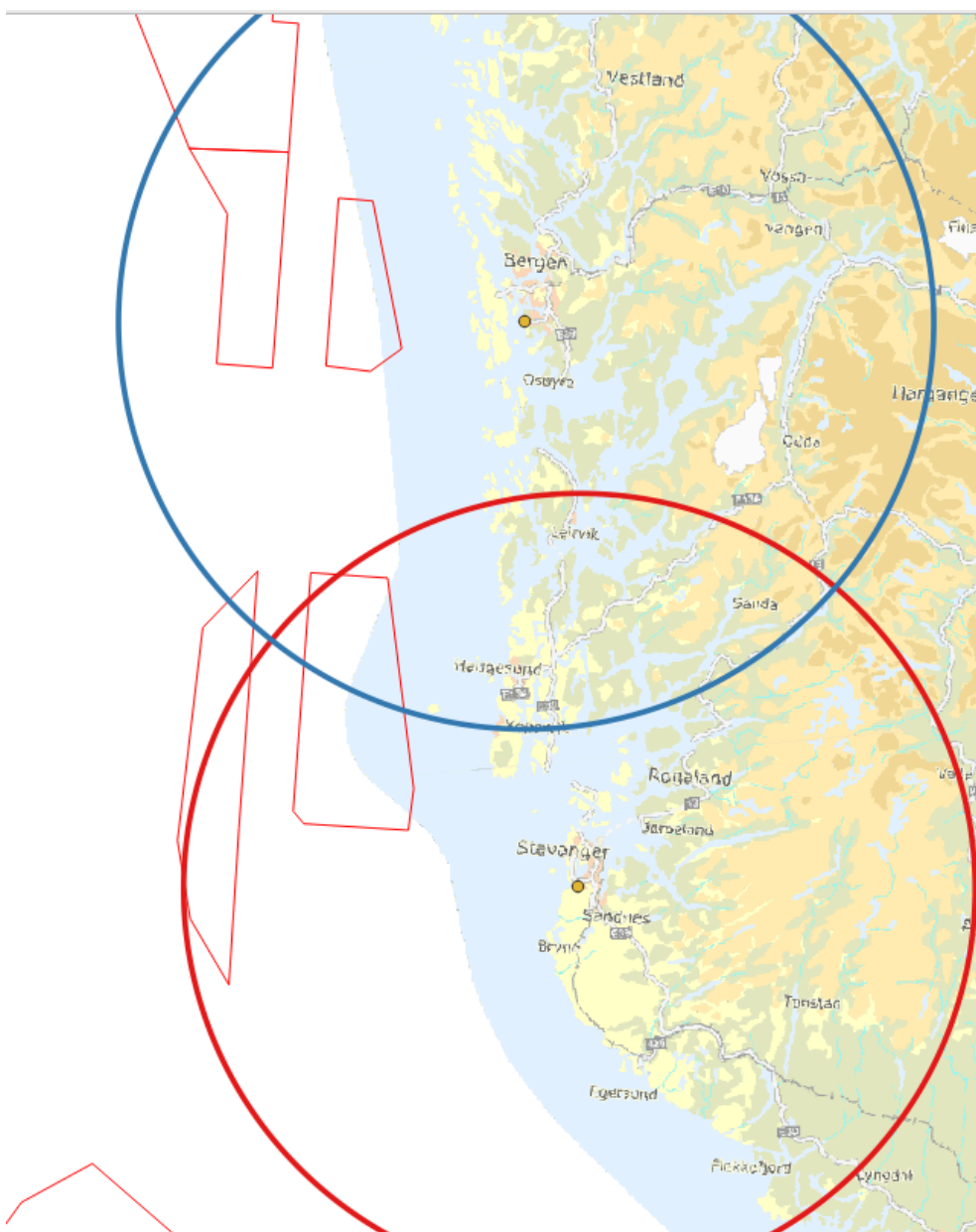
Den svarte kurven indikerer hvilke områder rundt Vestavid F som vil få en endring i lengden på sine radarbasserte nedbørvarsel. Omerådene nær Haugesund vil kun få et nedbørvarsel på 30 minutter, i motsetning til dagens 90 minutter

Utstedelse av TREND værvarsel

Enkelte flyplasser har et værvarsel for de kommende to timene, TREND. Tidligere ble dette produsert av meteorologisk personell på flyplassene, men på starten av 2000 tallet ble produksjonen av disse varslene lagt til varslingsentraler. Når varslingspersonell ikke er til stede på flyplassen kalles varslene fjerntrend, og det forutsetter værradardekning.

Stavanger lufthavn Sola og Bergen lufthavn Flesland er de nærmeste flyplassene med TREND varsel laget som fjerntrend. Figur 32 viser avgrensninger rundt de to flyplassene av områdene der det er to timer eller mindre fra været kommer inn til det

når flyplassen. Vi har her forutsatt at raske værsystemer kan bevege seg med en fart på 30 knop.



Figur 32 viser områdene rundt Sola og Flesland der det er to timer eller mindre fra været kommer inn til det når flyplassen.

Konsekvensen av å bygge ut havvindparker innenfor disse avgrensningene er at fjerntrend ikke lenger kan utstedes hvis vindturbinene påvirker radar signalene. Hvis

det fortsatt er behov for TREND varsel, kan dette eventuelt løses med å ansette varslingspersonell på flyplassen.

Under kunnskapsmangler tar vi opp effekter av vindparken vi er usikre på og de konsekvensene dette fører med seg. Noe vi imidlertid er sikre på, er at en så stor utbygging vil føre med seg en ny situasjon både for meteorologer og værvarslingsmodeller. Det er mulig kvaliteten på værvarslene kan gå noe ned, ihvertfall i en periode etter at vindparken er etablert fram til mennesker og modeller har opparbeidet seg erfaring for å kunne kompensere for effektene fra vindparken. Vi vil spesielt nevne Haugesund lufthavn, hvor værsystemene kun bruker 30 min for å nå fra vindparken inn til flyplassen. Det er en svært kort tidshorisont for et værvarsel. Det vil være utfordrende, i hvertfall det første året, for både meteorolog og værvarslingsmodell å ta høyde for vindparkens påvirkning av flyværparametre når været forflytter seg gjennom Vestavind F.

Kompensere for værradar data med observasjoner.

I kunnskapsgrunnlag og metode har vi beskrevet behovet for observasjoner av nedbør og vind. Hvor godt observasjonene vil kompensere for radardata, vil avhenge av om vi får på plass gode algoritmer for å bruke observasjonene, og hvor stabil observasjonstilgangen vil være fra sensorene.

Kunnskapsmangler for Vestavind F

Turbinstørrelse og vindparkstørrelse

Det finnes i dag ingen meteorologisk erfaring med utbygging av vindparker av dette omfanget og størrelse og turbiner av denne størrelsen. Det finnes anbefalinger om at vindparker ikke skal være større enn 10 km², med en avstand på 10 km mellom vindparkene. Vi har ingen erfaring med denne størrelsen på anleggene, og vi har heller ikke algoritmer klare for å bruke observasjoner fra andre instrumenter som en erstatning for radardataene.

Vær og værvarsling

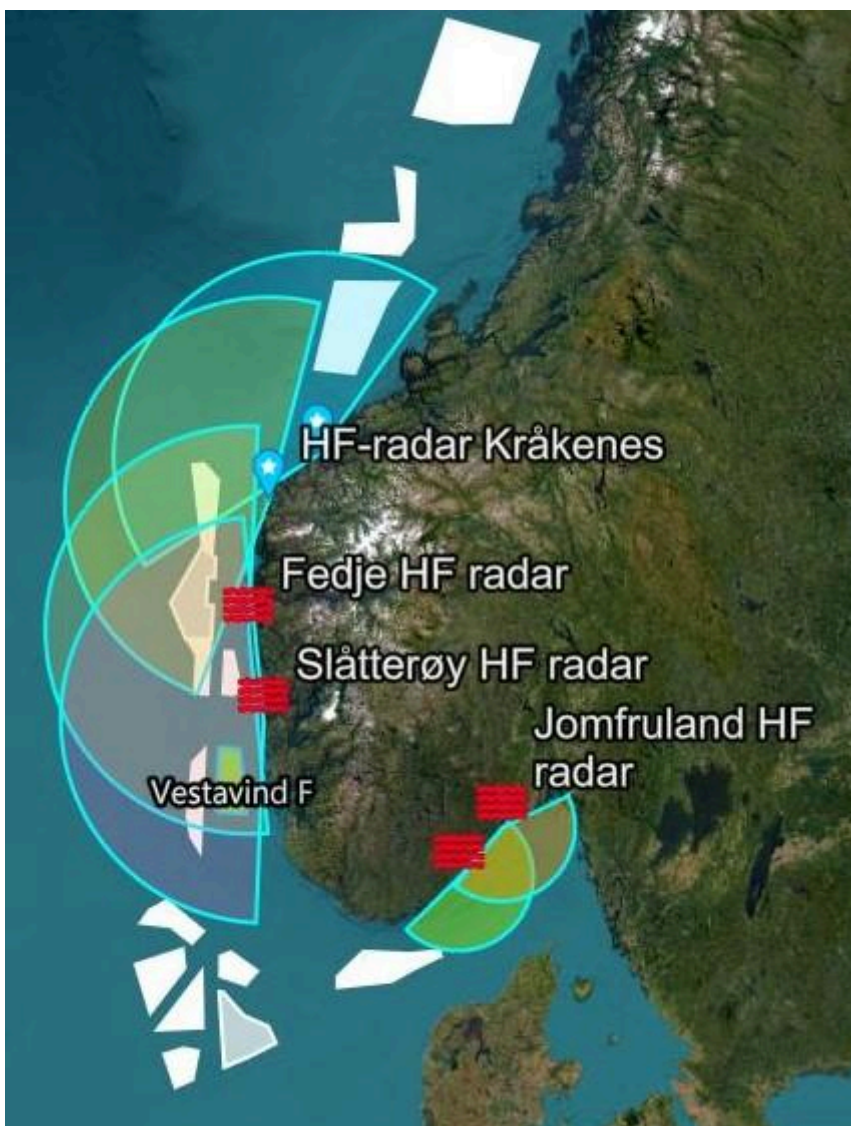
Vestavind F er en stor vindpark, og vi vet ikke hvordan vindparken i seg selv vil påvirke været. Turbinene vil hente ut energi fra værsystemene, og vi vet ikke hvordan dette vil påvirke været. Et spørsmål her er om værsystemene vil bevege seg saktere etter å ha passert vindparken. Turbinene vil bidra til en omrøring i luftmassene. Vi vet ikke hvordan dette vil påvirke fuktighetsfordelingen, og dermed parametre som sikt og skyhøyde. Dette er parametre som er viktige for helikoptertrafikk til Nordsjøen. Det er også viktige parametre for operasjon av flyplassene.

Turbinene er i seg selv høye, og vil være utsatt for lyn. Usikkerheten knytter seg til om rotasjonen av turbinen kan generere negative ladninger som igjen kan trigge lyn.

Havstrømradar

Identifiserte verdier

Hele det foreslåtte området Vestavind F ligger i dekningsområdet til HF-radarene på Fedje og Slåtterøy. Se figur 33 for oversikt.

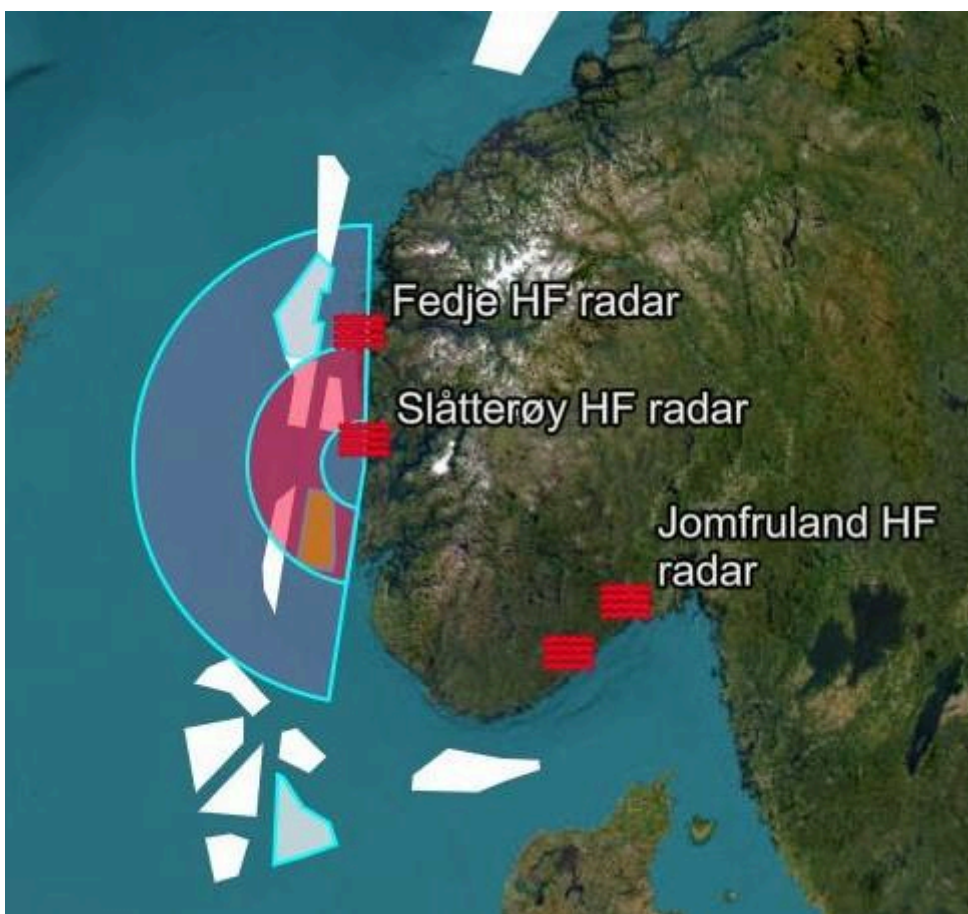


Figur 33 Plassering av Vestavind F i HF-radarenes dekningsområde

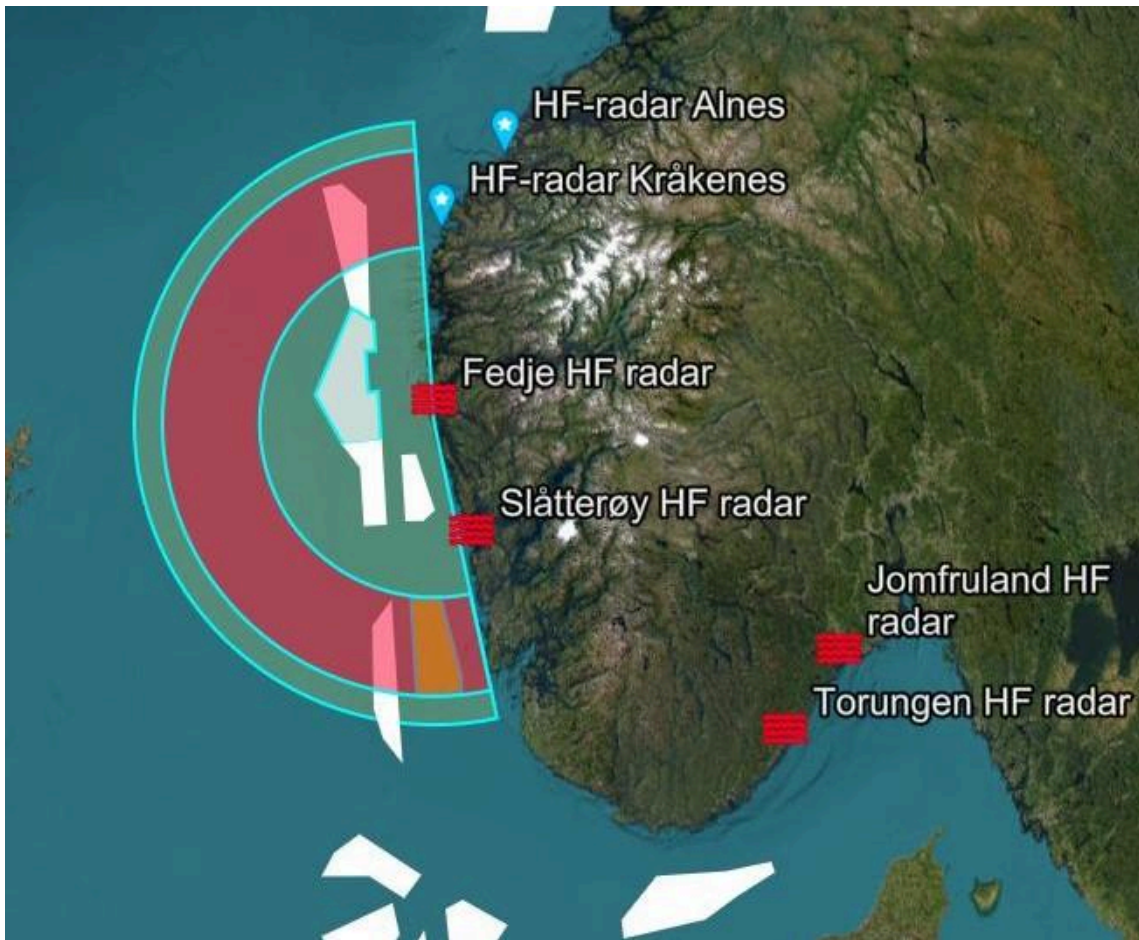
Verdi og påvirkning

Interferens fra vindturbiner i Vestavind F området vil kunne forstyrre Havstrømradataene på Slåtterøy og Fedje på en slik måte at en stor del av radialdataene blir ødelagt. Se figur 5 som eksempel på hvilket havområde Vestavind F vil kunne ødelegge radielle HF-radar data fra Slåtterøy HF-radar for. Som vi ser av Figur 6 vil en full utbygging av alle foreslåtte havvind-områder redusere dekningsområdet for Slåtterøy HF-radar fra 220 km til 40 km.

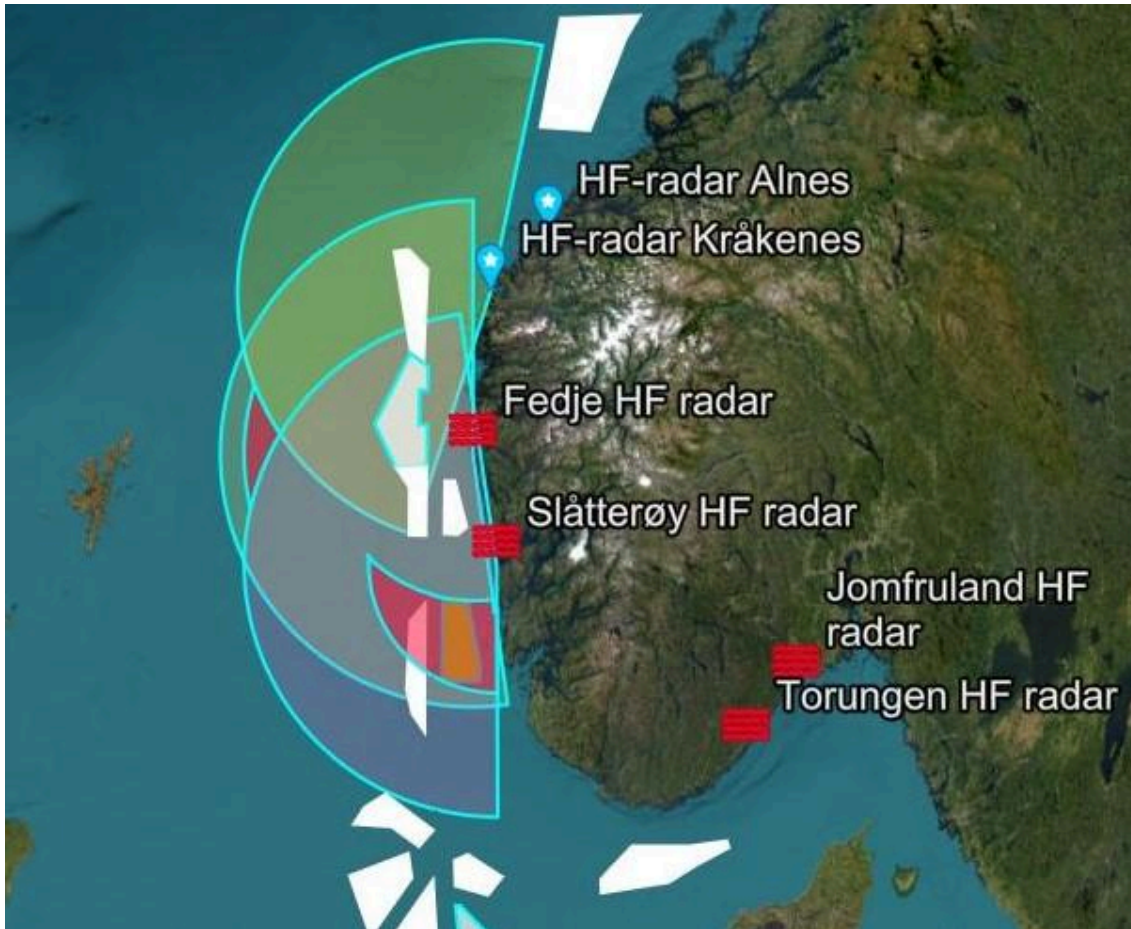
Figur 34 viser påvirkningen fra Vestavind F på Fedje HF radar.



Figur 34: Rød skravert halvsirkel viser arealet hvor påvirkning fra vindturbiner i Vestavind F vil kunne ødelegge radielle HF-radar data fra Slåtterøy HF-radar.



Figur 35: Rød skravert halvsirkel viser arealet hvor påvirkning fra vindturbiner i Vestavind F vil kunne ødelegge radielle HF-radar data fra Fedje HF-radar.



Figur 36: Røde skraveringer viser den samlede påvirkningen av Vestavind F på radielle data fra HF-radarene på Slåtterøy, Fedje og Kråkenes.

Konsekvenser

Konsekvensene av forstyrrelser på Havvindradarer fra vindturbiner i området Vestavind F er at det blir betydelig mindre radielle hastighetsmålinger tilgjengelig. Arealet som går tapt fra hver HF-radar er vesentlig større enn området Vestavind F, det blir halvsirkler med bredde som størrelsen på Vestavind F og radius fra Vestavind F til de respektive radarene.

Radielle havstrømhastigheter assimileres i dag inn i de numeriske havmodellene, og mindre data gir dårligere kvalitet på varslene.

Vi vurderer at konsekvensen av full utbygging av Vestavind F for havstrømrådarene er Alvorlig, Kode -4.

Kompenserende tiltak for å redusere konsekvensene av Vestavind F på havstrømrådarene er:

- å øke sweep rate på radaren. Dette øker den spektrale båndbredden for radaren, og kan gjøre at forstyrrelsen fra en vindturbin bare havner i en

avstandscelle (range bin) fra radaren i motsetning til 3-5 avstandsceller. Ulempen med dette er at HF-radar har et begrenset frekvensspektrum hvor de har tillatelse til å sende. Når flere HF-radarer skal opereres i samme geografiske område blir det utfordrende å sette opp tidsstyringen mellom radarene.

- Flagging av forstyrrelsene fra vindturbiner er et annet tiltak. Hvis rotasjonshastigheten til vindturbinene er kjent, kan man beregne hvor i spektrumet forstyrrelsene vil komme, og fjerne data i dette området. Dette krever utvikling av ny programvare for HF-radarene, og at rotasjonshastigheten til vindturbinene er tilgjengelig i sanntid. Dette kan brukes til å fjerne data med feil, men det blir ett havområde uten data. Dette betyr at rotasjonshastigheten for vindturbinene gjøres tilgjengelig for MET i sanntid.
- Siden forstyrrelser fra vindturbiner er avhengig av avstanden mellom HF-radar og vindturbinene så kan det å installere en ny HF-radar rett øst av Vestavind F være ett tiltak. Siden forstyrrelsene fra vindturbinene vil påvirke forskjellige havområder for hver HF-radar ut fra avstanden vil dette kunne gi en samlet god radardekning. Dette vil gi mulighet til å produsere totale strømvektorer ved å kombinere data fra flere HF-radarer, og dermed unngå at hele halvsirkelen med påvirkede radialer blir uten data. Det kan også være aktuelt å plassere en HF-radarer offshore i vindparken for å få tilfredsstillende dekning.
- Strømningsmålere plassert og driftet av operatørene i havvind-parkene er også et avbøtende tiltak. Disse kan måle havstrømmer i punkter i parken og overføre dataene i sanntid. Vi foreslår 6 strømningsmålere plassert i Vestavind F for å avhjelpe tap av strømningsdata i vindparken. Ettersom parken har direkte innvirkning på sirkulasjonen foreslår vi plasseringer senter, på fire kanter, samt nedstrøms av dominerende vindretning et stykke utenfor parken. Slike målinger vil også ha stor nytteverdi for utvikling av metodikk for å fjerne feil i HF-radarmålingene grunnet vindturbinene.

Kunnskapsmangler for Vestavind F

Forstyrrelser på HF-radar og vindturbiner til havs er en forholdsvis ny problemstilling, og det foregår internasjonal forskning på hvordan man skal løse dette. Det er fortsatt mye uavklart, og det er lite erfaringsdata, spesielt fra vindparker i den størrelsen og plassering offshore som vi vurderer nå.

Det er foreslått flere tiltak som kan redusere påvirkningen fra vindturbiner på HF-radar, men det er viktig å merke at der hvor det er interferens mellom en HF-radar og en vindturbin er radardataene tapt. Ett enkelt tiltak vil sannsynligvis ikke være tilstrekkelig. Flere av de foreslåtte tiltakene krever utvikling og testing av ny programvare for HF-radarene, og det er i dag ukjent hva kostnadene for dette blir for MET som kunde og når slik programvare vil være tilgjengelig.

Vurdering av Sørvest F

Sammendrag

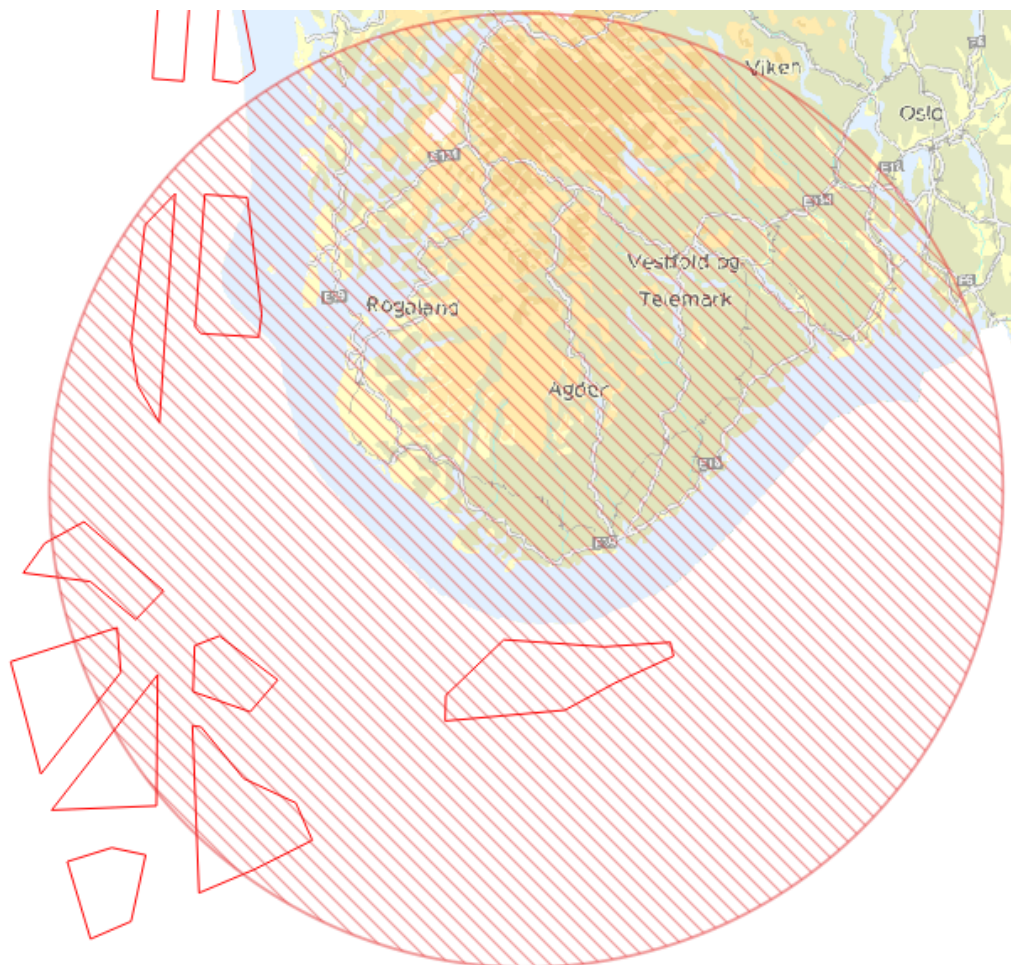
En utbygging av sørvest F kan gi clutter i værradar data, men vi mener dette ikke vil være hyppig, og verdien er derfor satt til -1. Vindparken vil derimot gi alvorlige konsekvenser med betydelig begrensninger i målinger fra havstrømsradar. En utbygging vil medføre at halvsirkler med bredden av sørvest F må fjernes fra målingene. En utbygging vil også påvirke det fremtidige nettverket av havstrømsradarer. Verdien er derfor satt til -4.

Værradar

Identifiserte verdier

Værradar og værvarsling

Hægebostad værradar dekker store deler av Sørvest F. Dette vises i figur 37.



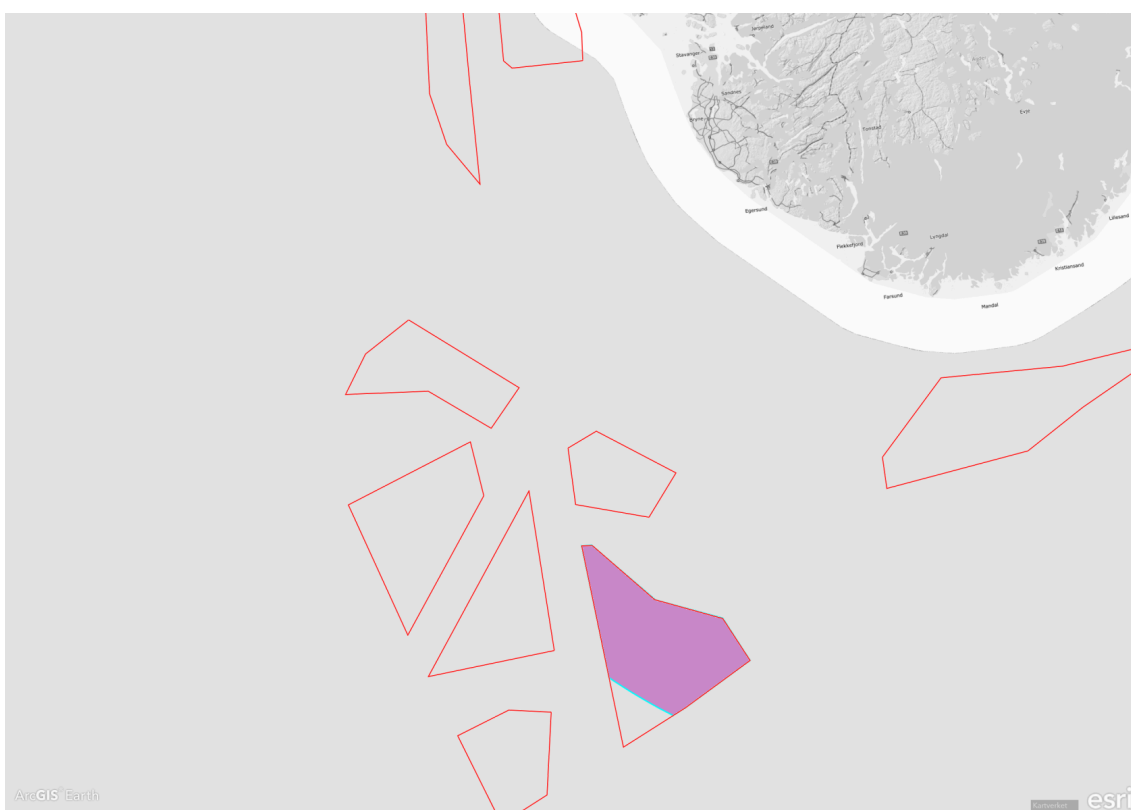
Figur 37. Dekningsområde for Hægebostad værradar.

Det har vært kontakt mellom meteorologisk institutt, ulike offshore selskaper og en leverandør av mindre x-bånd radarer om eventuell installering av x-bånd værradar ute på oljeinstallasjoner for å støtte helikoptertrafikk til og fra installasjonene.

Verdi og påvirkning

Værradar og værvarsel

Sørvest F ligger forholdsvis langt fra Hægebostad værradar. Vi forventer ingen forstyrrelser i de daglige produktene fra Hægebostad værradar, men på dager med stor avbøying vil vi få forstyrrelser fra en utbygging av Sørvest F. Ved bygging av værradar på installasjoner på Ekofisk, vil disse værradardataene bli negativt påvirket. Verdien for Hægebostad værradar settes til -1. Ved en utbygging av værradar på Ekofisk vil verdien trolig bli lavere.



Figur 38: viser verdi tillagt Sørvest F. Det fargede området viser den delen av Sørvest F som har radardekkning. Verdien er satt til -1.

Konsekvenser

Værradar og værvarsel

Værradaren på Hægebostad vil i enkelte vær-situasjoner oppleve forstyrrelser, men dette er ikke forstyrrelser som vil gå ut over kvaliteten på 90 minutters varslet over

fastlands Norge. Det vil trolig heller ikke ha noe å si for eventuell bruk av værradar data i værvarslingsmodeller, bortsett fra i områdene med forstyrrelser.

Det er usikkert hvordan utbyggingen vil påvirke været i området. Vi kan raskt nevne noen mulige scenarier. Vi kan se for oss at Sørvest F, evt i kombinasjon med andre vindparker i området kan bremse forflytningshastighet av værsystemer. Dette vil gjøre at det i en overgangsperiode vil være vanskeligere å varsle når et værsystem når inn til land. Vindturbiner vil være utsatt for lynnedslag, og vi anser det som sannsynlig at vi får en økt lynaktivitet i forbindelse med utbygde vindparker.

Kunnskapsmangler for Sørvest F

Værradar og værvarsling

-Turbinstørrelse og vindparkstørrelse

Det finnes i dag ingen meteorologisk erfaring med utbygging av vindparker av dette omfanget og størrelse og turbiner av denne størrelsen.

Vær og værvarsling

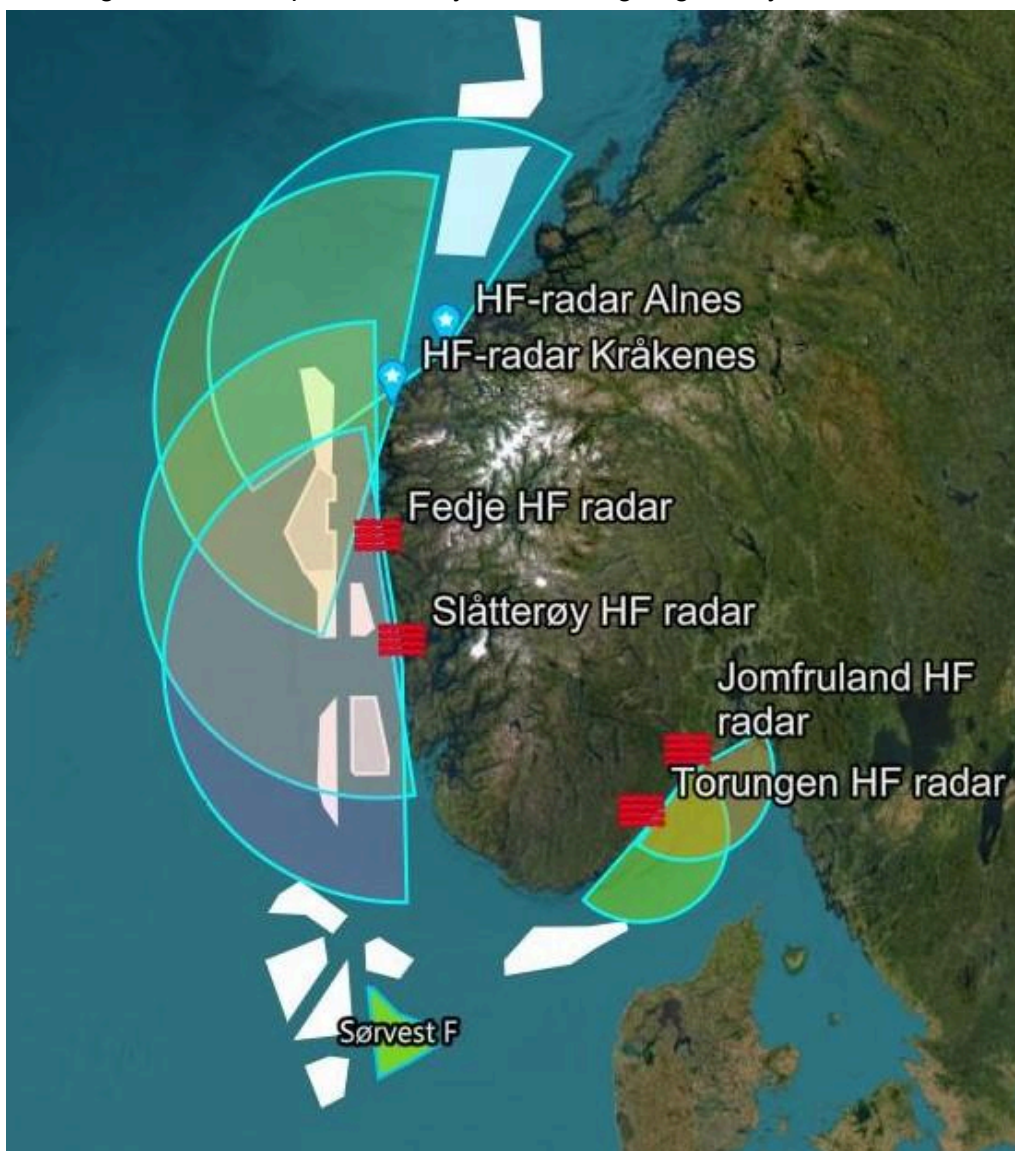
Sørvest F er en stor vindpark, og vi vet ikke hvordan vindparken i seg selv vil påvirke været. Det er også flere områder i sørvest som er lagt ut, og størrelsen på utbyggingen vil øke muligheten for en påvirkning. Turbinene vil hente ut energi fra værsystemene, og vi vet ikke hvordan dette vil påvirke været. Et spørsmål her er om værsystemene vil bevege seg saktere etter å ha passert vindparken. Turbinene vil bidra til en omrøring i luftmassene. Vi vet ikke hvordan dette vil påvirke fuktighetsfordelingen, og dermed parametere som sikt og skyhøyde. Dette er parametere som er viktige for helikoptertrafikk til Nordsjøen.

Turbinene er i seg selv høye, og vil være utsatt for lyn. Usikkerheten knytter seg til om rotasjonen av turbinen kan generere negative ladninger som igjen kan trigge lyn.

Havstrømradar

Identifiserte verdier

Hele det foreslåtte området Sørvest F ligger utenfor dekningsområdet til HF-radarene som MET har i drift i dag. Se figur 39 for oversikt. Men området ligger innenfor fremtidige HF-radarer på sørvest-kysten av Norge og vestkysten av Danmark.



Figur 39: Plassering av Sørvest F i HF-radarenes dekningsområde

Verdi og påvirkning

Interferens fra vindturbiner i Sørvest F området vil kunne forstyrre fremtidige Havstrømradarer på sørvestkysten av Norge og vestkysten av Danmark på en slik måte at en stor del av radial-dataene blir ødelagt. Plassering av nye HF-radarer fra tilskudd fra Energidepartementet må tilpasses slik at de får best mulig effekt som avbøtende tiltak.

Konsekvenser

Konsekvensene av forstyrrelser på Havvindradarer fra vindturbiner i området Sørvest F er at det blir betydelig mindre radielle hastighetsmålinger tilgjengelig. Arealet som går tapt er vesentlig større enn området Sørvest F, det blir halvsirkler med bredde som størrelsen på Sørvest F og radius fra Sørvest F til de respektive radarene. Radielle havstrømhastigheter assimileres i dag inn i de numeriske havmodellene, og mindre data gir dårligere kvalitet på varslene. Vi vurderer at konsekvensen av full utbygging av Sørvest F for havstrømradarene er Alvorlig, Kode -4.

Kompenserende tiltak for å redusere konsekvensene av Sørvest F på havstrømradarene er:

- å øke sweep rate på radaren. Dette øker den spektrale båndbredden for radaren, og kan gjøre at forstyrrelsen fra en vindturbin bare havner i en avstandscelle (range bin) fra radaren i motsetning til 3-5 avstandsceller. Ulempen med dette er at HF-radar har et begrenset frekvensspektrum hvor de har tillatelse til å sende. Når flere HF-radarer skal opereres i samme geografiske område blir det utfordrende å sette opp tidsstyringen mellom radarene.
- Flagging av forstyrrelsene fra vindturbiner er et annet tiltak. Hvis rotasjonshastigheten til vindturbinene er kjent, kan man beregne hvor i spektrumet forstyrrelsene vil komme, og fjerne data i dette området. Dette krever utvikling av ny programvare for HF-radarene, og at rotasjonshastigheten til vindturbinene er tilgjengelig i sanntid. Dette kan brukes til å fjerne data med feil, men det blir ett havområde uten data. Dette betyr at rotasjonshastigheten for vindturbinene gjøres tilgjengelig for MET i sanntid.
- Strømningsmålere plassert og driftet av operatørene i havvind-parkene er også et avbøtende tiltak. Disse kan måle havstrømmer i punkter i parken og overføre dataene i sanntid. Vi antar at 6 strømningsmålere plassert i Sørvest F vil avhjelpe tap av strømningsdata i vindparken.

Kunnskapsmangler for Sørvest F

Forstyrrelser på HF-radar og vindturbiner til havs er en forholdsvis ny problemstilling, og det foregår internasjonal forskning på hvordan man skal løse dette. Det er fortsatt mye uavklart, og det er lite erfaringsdata, spesielt fra vindparker i den størrelsen og plassering offshore som vi vurderer nå.

Det er foreslått flere tiltak som kan redusere påvirkningen fra vindturbiner på HF-radar, men det er viktig å merke at der hvor det er interferens mellom en HF-radar og en vindturbin er radardataene tapt. Ett enkelt tiltak vil sannsynligvis ikke være tilstrekkelig. Flere av de foreslåtte tiltakene krever utvikling og testing av ny programvare for HF-radarene, og det er i dag ukjent hva kostnadene for dette blir for MET som kunde og når slik programvare vil være tilgjengelig.

Havvindutbygging og påvirkning av lokalklima, sirkulasjon og værvarsling

Sammendrag

Vi vil i dette kapittelet komme inn på noen usikkerheter som knytter seg til en storstilt havvind utbygging. Dette vil dreie seg om aspekter som ikke knytter seg til sameksistens mellom radar og vindturbiner, men som likevel kan være viktige å nevne siden det fører med seg en usikkerhet. Vi har i dag kun usikkerheter vi vil nevne. Vi har ingen analyser som kan besvare spørsmålene.

Vindturbiner og atmosfærisk sirkulasjon

Det er knyttet noen overordnede kunnskapsmangler til en havvindutbygging av den størrelsen vi her snakker om. Det finnes lite erfaring knyttet til hvordan så store vindparker vil påvirke atmosfæresirkulasjonen. Vi vet ikke om store vindparker vil endre forflyttningshastigheten på værsystemer som passerer eller om friksjonen vil endre vindstyrken nedstrøms for vindparken.

Lynaktivitet i et område med havvind

Vi vet ikke om lynaktiviteten vil endre seg der havvindparkene bygges. Turbinene er høye, og spisse, høye gjenstander vil jo gjøre det lettere å lage forbindelsene som kreves for å få lyn. Turbinene roterer, men vi vet ikke om rotasjonen i seg selv vil gi elektriske spor som kan trigge lyn. Siden skyene generelt er lavere om vinteren, blir denne problemstillingen øke i aktualitet med breddegraden.

Endringer i lokalklima

Vi vet heller ikke om turbinene i enkelte situasjoner vil påvirke mikroklimaet. Kan for eksempel en slik vindpark øke eller redusere antall tilfeller med tåke eller lave skyer? Dermed vet vi heller ikke hvilke implikasjoner en storstilt utbygging vil få for værvarsling generelt og flyværvarsling spesielt. Et eksempel her er at vi ikke vet hvordan en havvindutbygging påvirker værvarslere for nærliggende flyplasser på kort og lang sikt.

Værvarsling i områder med storstilt havvindutbygging

Flere deler av værvarelsproduksjonen er automatisert, og det knytter seg usikkerhet til hvordan værvarslingsmodellene takler en situasjon med store havvind parker. Det er usikkerhet knyttet til hvordan vindparkene vil påvirke værssystemene, og bevegelseshastigheten til værssystemene.

Både for manuell og automatisert værvarsling, kreves en periode for å lære seg hvordan vindparkene påvirker værssystemene. Det er også en usikkerhet knyttet til hvordan havvindparkene vil påvirke vind, siktparametre og høyden av laveste sky nivå.