



Norwegian
Meteorological
Institute

METreport

No. 02/2025
ISSN 2387-4201
Radar

Strategisk konsekvensutredning for havvind. Fagutredning for virkninger på radar.

Delrapport 2.1
– vurdering av Vestavind A, Vestavind C, Vestavind D og Vestavind E.

Laila Fodnes Sidselrud og Werner Eriksen
Classification: open



Title Strategisk konsekvensutredning for havvind, Fagutredning for virkninger på radar, Delrapport 2 – vurdering av Vestavind A, Vestavind C, Vestavind D og Vestavind E	Date 14.02.2025, Vestavind A korrigeret 12.05.2025
Section Avdeling for observasjonskvalitet og databehandling	Report no. No. 02/2025
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. Del 1 er levert og omfatter utredningsprogram for områdene Sørvest F, Vestavind B og Vestavind F, samt kunnskapsgrunnlag og beskrivelse av hvordan havvindutbygging påvirker lokalklima og værvarsling. Dette er del 2.1 som omfatter Vestavind A, Vestavind C, Vestavind D og Vestavind E. MET har ansvar for å utføre vurderinger rundt konsekvensene av Havvind for værradar og havstrømradar (HF-radar)	
Keywords Havvind, værradar, havstrømradar	

Table of contents

Vurdering av Vestavind A	7
Sammendrag	7
Værradar	7
Identifiserte verdier	7
Verdi og påvirkning	8
Konsekvenser	8
Kunnskapsmangler for Vestavind A	10
Havstrømradar	11
Identifiserte verdier	11
Verdi og påvirkning	11
Konsekvenser	12
Kunnskapsmangler for Vestavind A	13
Vurdering av Vestavind C	14
Sammendrag	14
Værradar	15
Identifiserte verdier	15
Verdi og påvirkning	16
Konsekvenser	16
Kunnskapsmangler for Vestavind C	18
Havstrømradar	20
Identifiserte verdier	20
Verdi og påvirkning	20
Konsekvenser	21
Kunnskapsmangler for Vestavind C	23
Vurdering av Vestavind D	24
Sammendrag	24
Værradar	25

Identifiserte verdier	25
Værvarsling	25
Verdi og påvirkning	26
Konsekvenser	27
Kunnskapsmangler for Vestavind D	30
Havstrømradar	32
Identifiserte verdier	32
Verdi og påvirkning	32
Konsekvenser	33
Kunnskapsmangler for Vestavind D	34
Vurdering av Vestavind E	35
Sammendrag	35
Værradar	35
Identifiserte verdier	35
Verdi og påvirkning	36
Konsekvenser	37
Kunnskapsmangler for Vestavind E	39
Havstrømradar	41
Identifiserte verdier	41
Verdi og påvirkning	41
Konsekvenser	42
Kunnskapsmangler for Vestavind E	43
Havvindutbygging og påvirkning av lokalklima, sirkulasjon og værvarsling	44
Sammendrag	44
Vindturbiner og atmosfærisk sirkulasjon	44
Lynaktivitet i et område med havvind	44
Endringer i lokalklima	44
Værvarsling i områder med storstilt havvindutbygging	45

Vurdering av Vestavind A

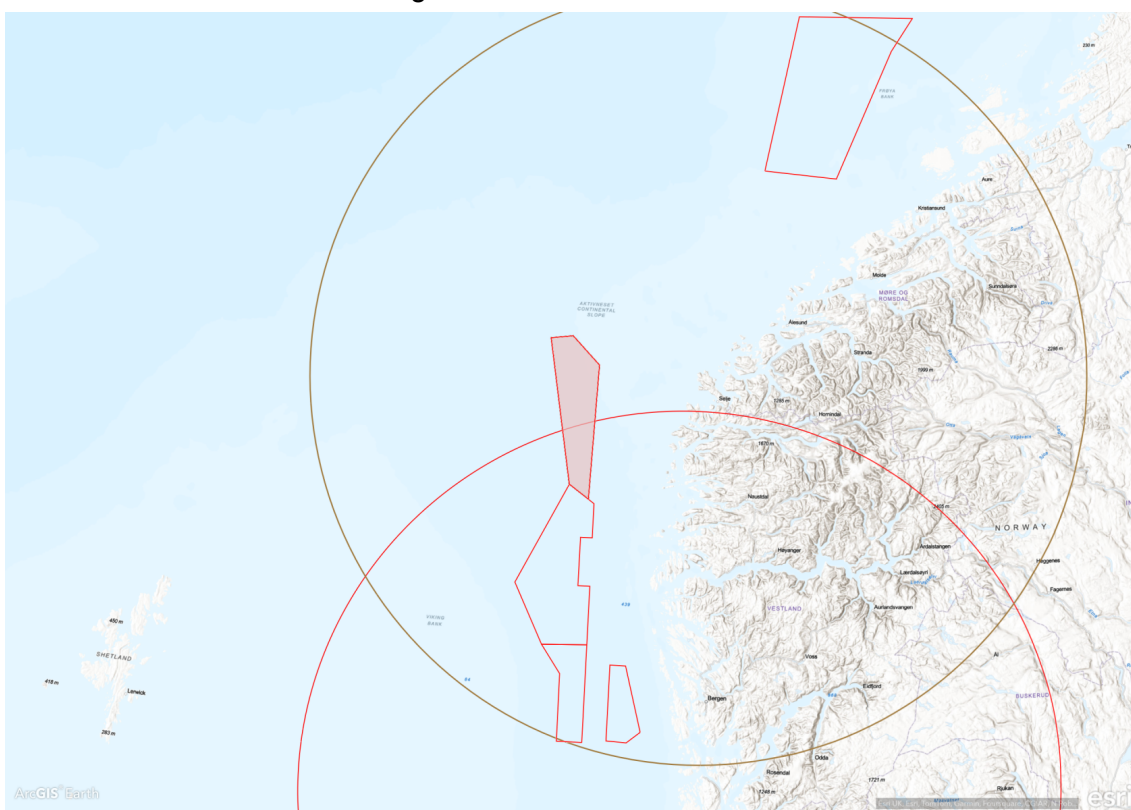
Sammendrag

Stad værradar dekker Vestavind A. Vi mistenker at vi ofte vil se forstyrrelser i radardataene hvis Vestavind A bygges ut. En utbygging vil enkelte steder påvirke varslingshorisonten for det radarbaserte nedbørvarslet. Florø og Måløy er steder som vil ikke lenger få tilgang til 90 minutters radarbasert værvarsel hvis Vestavind A bygges ut.

Værradar

Identifiserte verdier

Hele området dekkes av værradaren på Stad. Den sørligste delen dekkes også av Bømlo værradar. Se oversikt i figur 1



Figur 1: Viser Vestavind A sammen med dekningsområdet for Stad værradar (gult) og dekningsområde for Bømlo værradar (rødt).

6

**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

Verdi og påvirkning

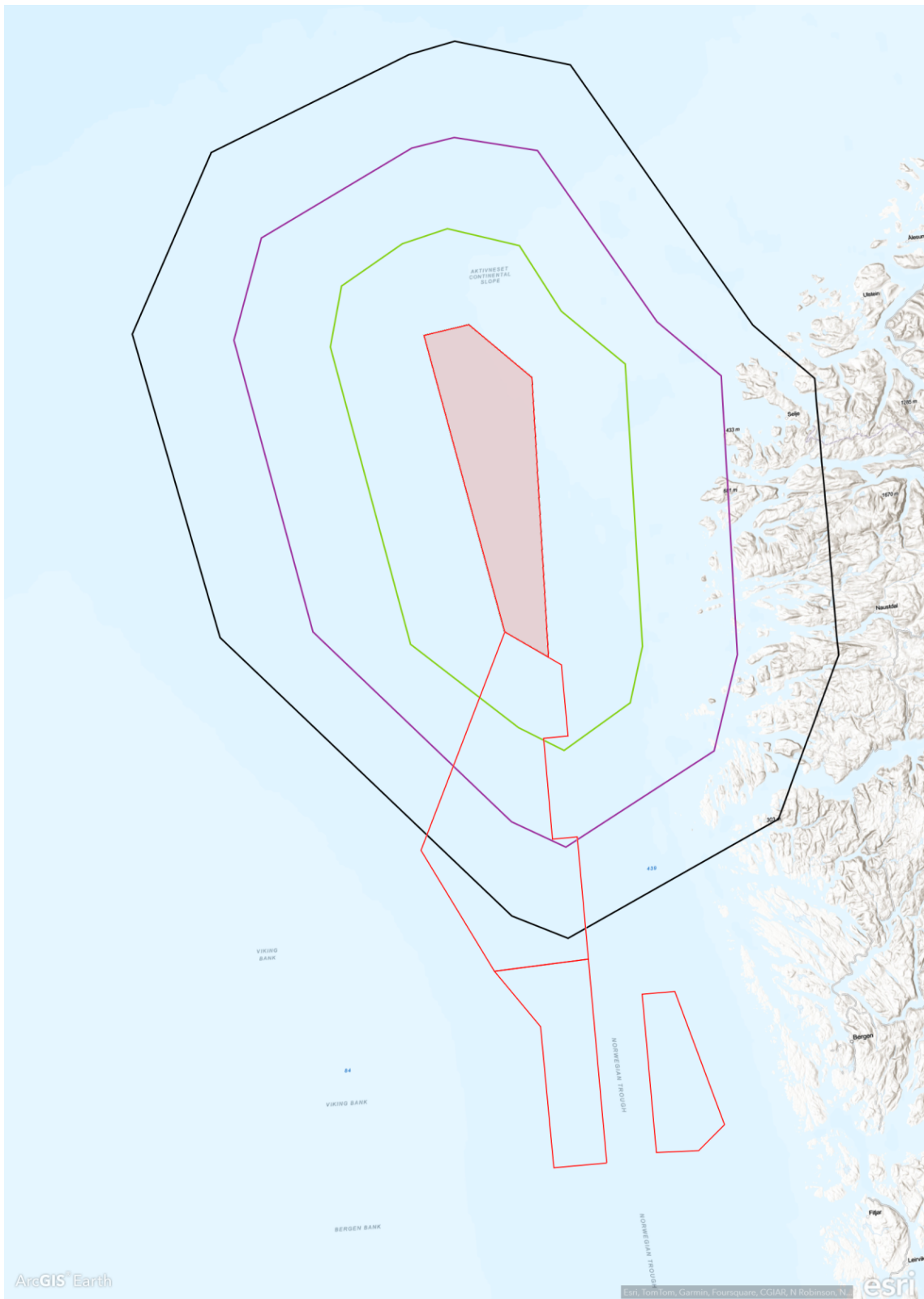
Vi mener vindturbinene i Vestavind A forholdsvis ofte vil gi forstyrrelser i værradardata. Verdien av forstyrrelser settes til -3.

Konsekvenser

Forstyrrelser i værradardata

En vindkraftutbygging vil trolig medføre forstyrrelser i værradardata, som uten avbøtende tiltak vil påvirke produkter fra Meteorologisk institutt.

Meteorologisk institutt produserer radarbasert nedbørvarsling 90 minutter fram i tid. Forstyrrelsene i radardata vil påvirke dette varslet. Figur 2 viser tre avgrensninger rundt Vestavind A for varslingshorisont på 30, 60 og 90 minutter. Det betyr at innenfor grønn linje kan det lages et nedbørvarsel fra radardata som er kortere enn 30 minutter, mens utenfor svart linje, påvirkes ikke det radargenererte varslet av en havvind utbygging i Vestavind A. Ved beregning av varslingshorisontene er en hastighet på 30 knop, altså 55.6 km/t lagt til grunn. Hvis Vestavind A bygges ut mister blant annet Måløy og Florø det radarbaserte 90 minutters nedbørvarselet.



**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

Figur 2: viser varslingshorisont på 30- (grønt), 60- (lilla) og 90 minutter (svart). For områder utenfor svart linje, blir ikke 90 minutters varsel påvirket av utbyggingen. For området innenfor svart kurve, vil varslet reduseres.

En utbygging av Vestavind A vil ikke påvirke bruk av fjerntrend for Bergen lufthavn Flesland eller Trondheim lufthavn, Værnes.

Kunnskapsmangler for Vestavind A

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. Nylige forsøk med maskinlæring viser lovende resultater i å fjerne forstyrrelser fra mindre vindparker, men det er ingen erfaring med hvordan dette arter seg i radarbaserte prognoser.

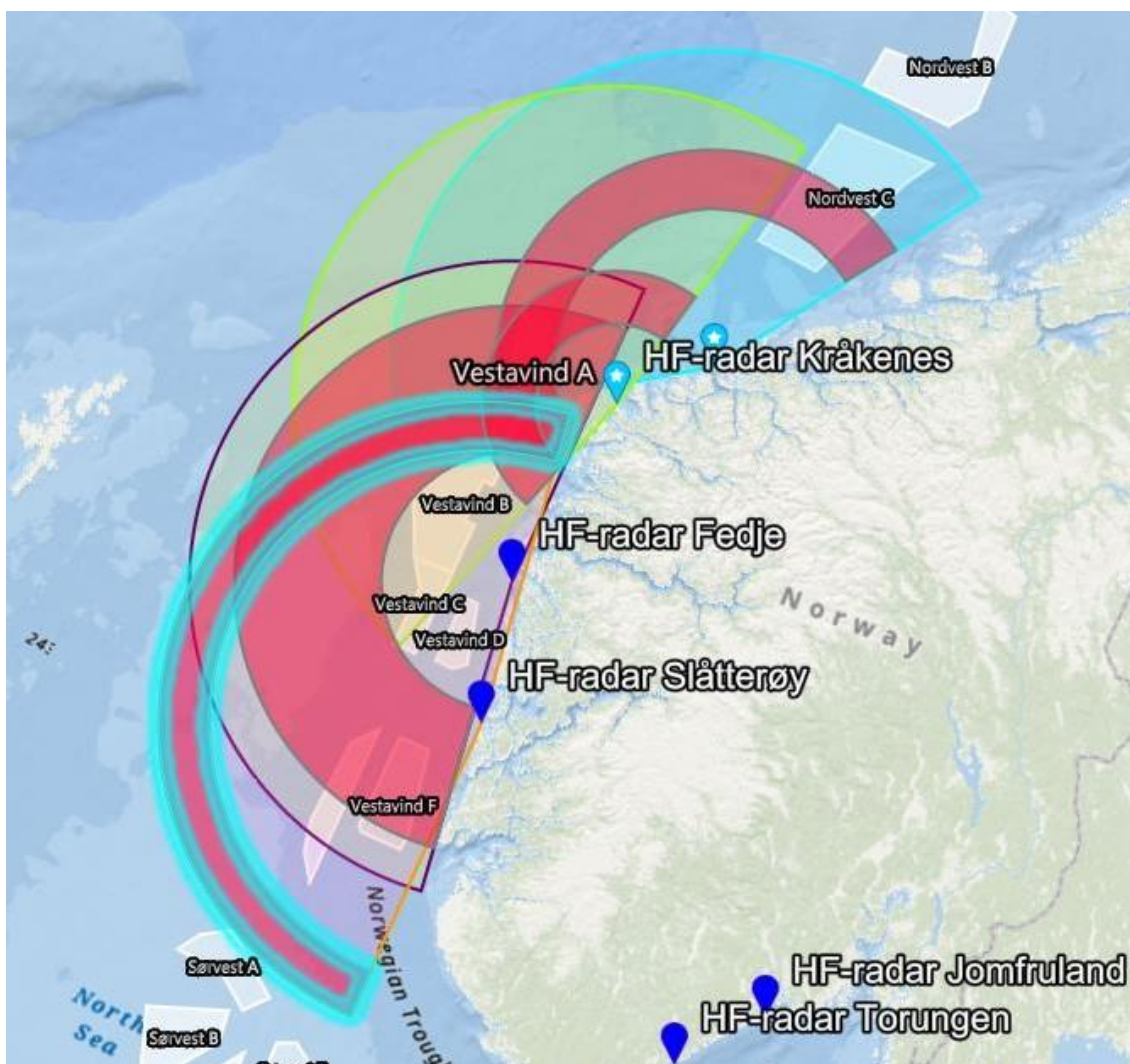
Havstrømradar

Identifiserte verdier

Det foreslåtte området Vestavind A ligger i dekningsområdet til HF-radarene på Alnes, Kråkerøy, Fedje og Slåtterøy. Se figur 3 for oversikt.

Verdi og påvirkning

Interferens fra vindturbiner i Vestavind A området vil kunne forstyrre havstrømradarene på Alnes, Kråkenes, Slåtterøy og Fedje på en slik måte at en stor del av radialdataene blir ødelagt. Se figur 3 som viser hvilke havområder Vestavind A vil kunne ødelegge radielle HF-radardata for.



Figur 3: Røde halvsirkeler viser arealet hvor påvirkning fra vindturbiner i Vestavind A vil kunne ødelegge radielle HF-radar data.

Konsekvenser

Konsekvensene av forstyrrelser på havvindradarer fra vindturbiner i området Vestavind A er at det blir betydelig mindre radielle hastighetsmålinger tilgjengelig. Arealet som går tapt fra hver HF-radar er vesentlig større enn området Vestavind A, det blir halvsirkler med bredde som størrelsen på Vestavind A og radius fra Vestavind A 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 A for havstrømradata er Alvorlig, Kode -4.

Kompenserende tiltak for å redusere konsekvensene av Vestavind A 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 et havområde uten data. MET må få kompensert kostnadene for ny programvare til HF-radarene.
- Siden forstyrrelser fra vindturbiner er avhengig av avstanden mellom HF-radar og vindturbinene så kan det å installere en ny HF-radar nordøst av HF-radaren på Alnes være et tiltak. Denne må da plasseres slik at den ikke blir forstyrret av vindturbiner i Vestavind A-området. Denne vil kunne kompensere for bortfall av radardata nord for Vestavind A området. MET må kompenseres for kostnadene for installasjon og drift av en slik radar.
- 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 A for å avhjelpe tap av strømningsdata i vindparken. Ettersom parken har direkte innvirkning på sirkulasjonen foreslår vi plasseringer i 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 A

Forstyrrelser på HF-radar pga havindturbiner 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, og når slik programvare vil være tilgjengelig.

Vurdering av Vestavind C

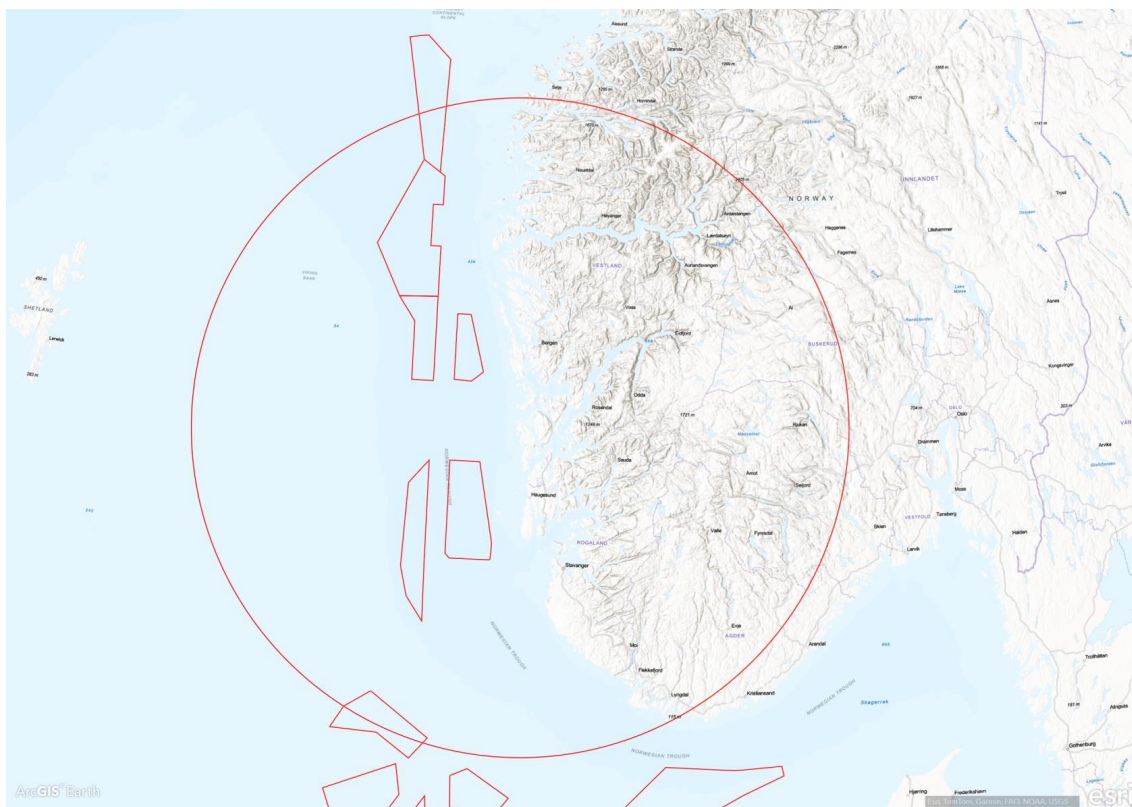
Sammendrag

Bømlo værradar dekker Vestavind C, og en utbygging av Vestavind C med standardturbiner vil forstyrre værradar signalene fra Bømlo værradar. En utbygging vil gi forstyrrelser i radarsignalene innenfor 2 timer fra Bergen lufthavn Flesland og vil påvirke muligheten til å utstede fjerntrend. En utbygging vil også enkelte steder påvirke varslingshorisonten for det radarbaserte nedbørvarslet. Steder som Bergen, Bergen lufthavn-Flesland, Sotra og Askøy vil ikke lenger få tilgang til 90 minutters radarbasert værvarsel.

Værradar

Identifiserte verdier

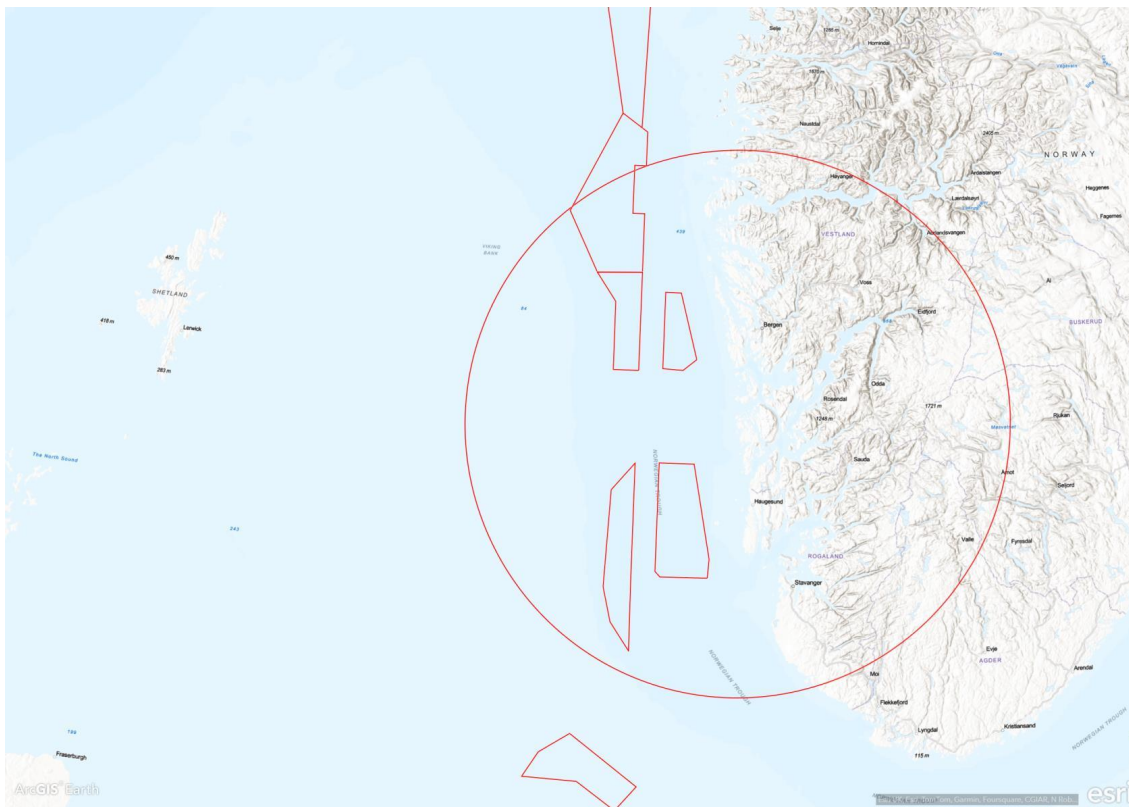
Hele området dekkes av værradaren på Bømlo. Se oversikt i figur 4



Figur 4. Viser dekningsområdet til Bømlo værradar

Verdi og påvirkning

Vindturbinene i Vestavind C, vil gi forstyrrelser i værradardata. Påvirkningen vurderes til å være alvorlig. Verdien av forstyrrelser settes til -4.



Figur 5 Viser avgrensningen rundt Bømlo værradar hvor vindturbiner i den aktuelle størrelsen vil forårsake forstyrrelser i værradar data.

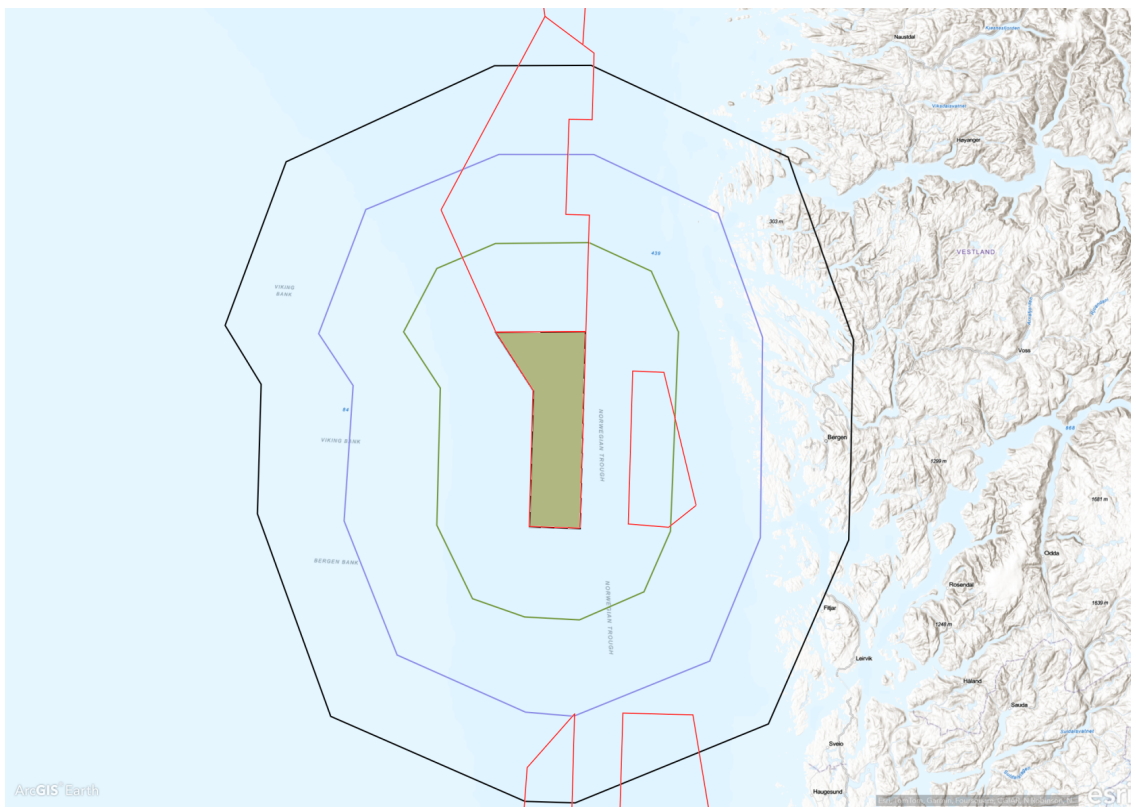
Konsekvenser

Forstyrrelser i værradardata

En vindkraftutbygging vil medføre forstyrrelser i værradardata, som uten avbøtende tiltak vil påvirke produkter fra meteorologisk institutt. Figur 5 viser området hvor vi forventer forstyrrelser i værradardata fra Bømlo værradar gitt standard signalavbøying.

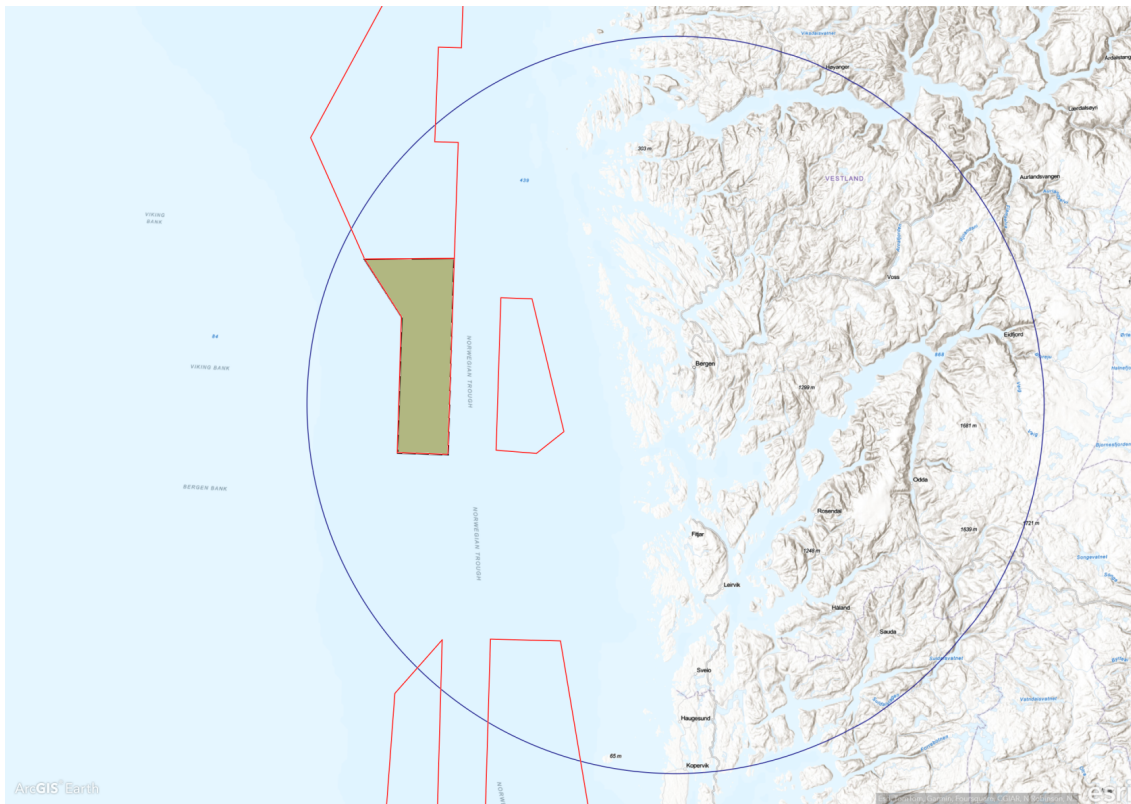
Meteorologisk institutt produserer radarbasert nedbørvarsling 90 minutter fram i tid. Forstyrrelsene i radardata vil påvirke dette varslet. Figur 3 viser tre avgrensninger rundt

Vestavind C for varslingshorisont på 30, 60 og 90 minutter. Det betyr at innenfor grønn linje kan det lages et nedbørvarsel fra radardata som er kortere enn 30 minutter, mens utenfor svart linje, påvirkes ikke det radargennererte varslert av en utbygging i Vestavind C. Ved beregning av varslingshorisontene er en hastighet av værsystemene på 30 knop, altså 55.6 km/t lagt til grunn. Bergen er innenfor avgrensningen, og hvis Vestavind C bygges ut vil ikke Bergen lenger få et radarbassert 90 minutters nedbørvarsel.



Figur 6: viser varslingshorisont på 30-60 og 90 minutter. For områder utenfor svart linje, blir ikke 90 minutters varsel påvirket av utbyggingen. For områder innenfor farge 3 vil varslert reduseres.

Meteorologisk institutt utsteder et værvarsel for de neste 120 minuttene for enkelte flyplasser. Varslet kalles TREND og Luftfarstilsynet bestemmer hvilke flyplasser det skal utstedes TREND for. Bergen lufthavn Flesland er en lufthavn det utstedes TREND for. Dette gjøres av personell ved Vêrvarslinga på Vestlandet som en fjerntrend. Fjerntrend krever gode radardata, og som vist i figur 7 vil en utbygging av Vestavind C gi forstyrrelser i værradar data.



Figur 7: Den blå ringen gir et område rundt Flesland hvor værssystemene er innenfor 120 minutter fra flyplassen når vi legger til grunn en forflyttningshastighet på 30 knop (55.6 km/t) Vestavind C (markert i gult) er innenfor området hvor vi er sikre på at værradar data fra Bømlo værradar vil bli forstyrret. En utbygging av Vestavind C vil påvirke grunnlaget for fjerntrend.

Kunnskapsmangler for Vestavind C

-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. Nylige forsøk med maskinlæring viser lovende resultater i å fjerne forstyrrelser fra mindre vindparker, men det er ingen erfaring med hvordan dette arter seg i radarbaserte prognoser.

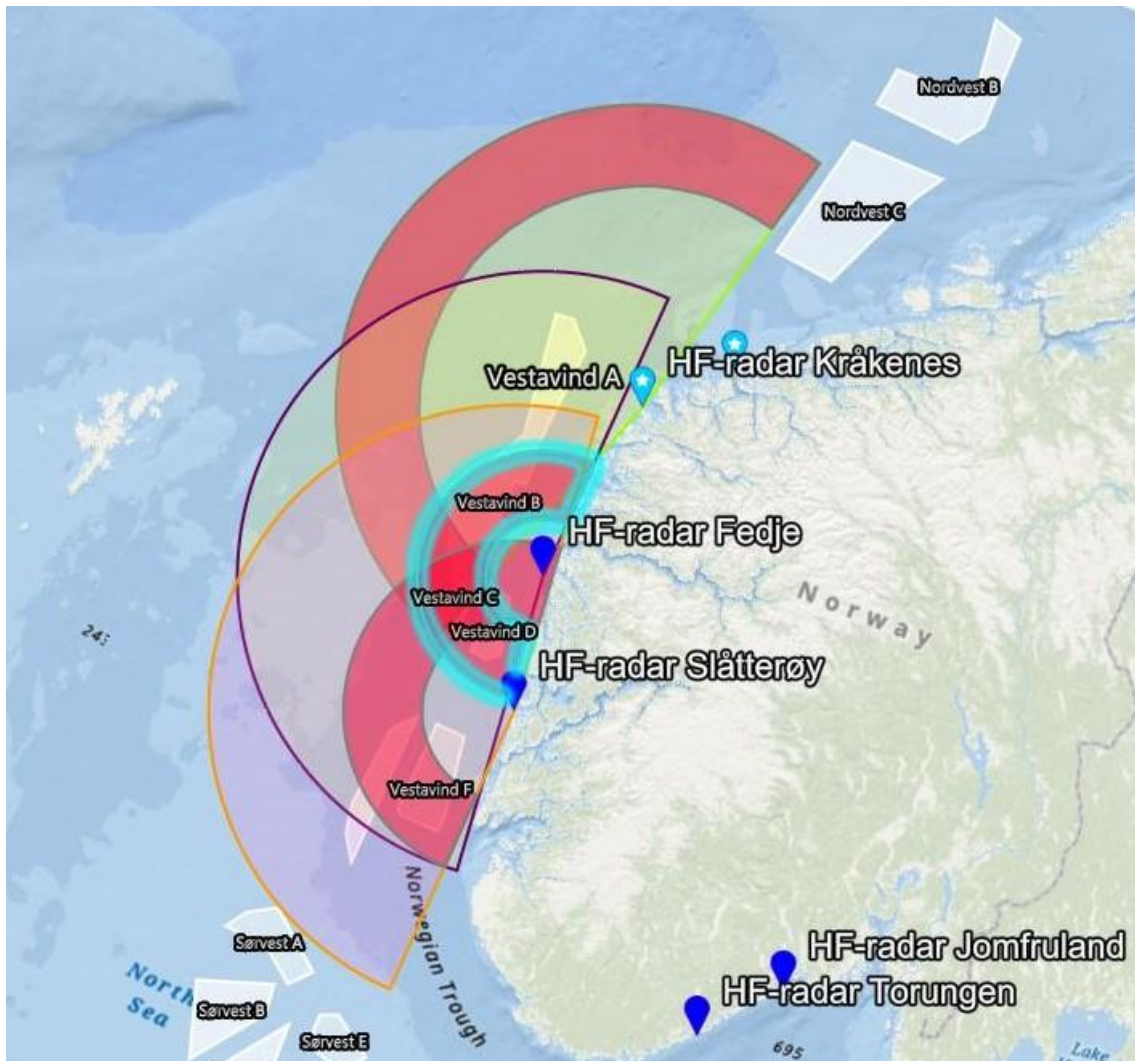
Havstrømradar

Identifiserte verdier

Det foreslåtte området Vestavind C ligger i dekningsområdet til HF-radarene på Kråkerøy, Fedje og Slåtterøy. Se figur 8 for oversikt.

Verdi og påvirkning

Interferens fra vindturbiner i Vestavind C området vil kunne forstyrre havstrømradarene på Kråkenes, Slåtterøy og Fedje på en slik måte at en stor del av radialdataene blir ødelagt. Se figur 8 som viser hvilke havområder Vestavind C vil kunne ødelegge radielle HF-radardata for.



Figur 8: Røde halvsirkeler viser arealet hvor påvirkning fra vindturbiner i Vestavind C vil kunne ødelegge radielle HF-radar data.

Konsekvenser

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

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 C for havstrømrادarene er Alvorlig, Kode -4.

Kompenserende tiltak for å redusere konsekvensene av Vestavind C på havstrømrادarene 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 et havområde uten data. MET må få kompensert kostnadene for ny programvare til HF-radarene.
- Siden forstyrrelser fra vindturbiner er avhengig av avstanden mellom HF-radar og vindturbinene så kan det å installere en ny HF-radar nordøst av HF-radaren på Alnes være et tiltak. Denne må da plasseres slik at den ikke blir forstyrret av vindturbiner i Vestavind C-området. Denne vil kunne kompensere for bortfall av radardata nord for Vestavind C- området. MET må kompenseres for kostnadene for installasjon og drift av en slik radar.
- 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 C for å avhjelpe tap av strømningsdata i vindparken. Ettersom parken har direkte innvirkning på sirkulasjonen foreslår vi plasseringer i 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 C

Forstyrrelser på HF-radar pga 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 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, og når slik programvare vil være tilgjengelig.

Vurdering av Vestavind D

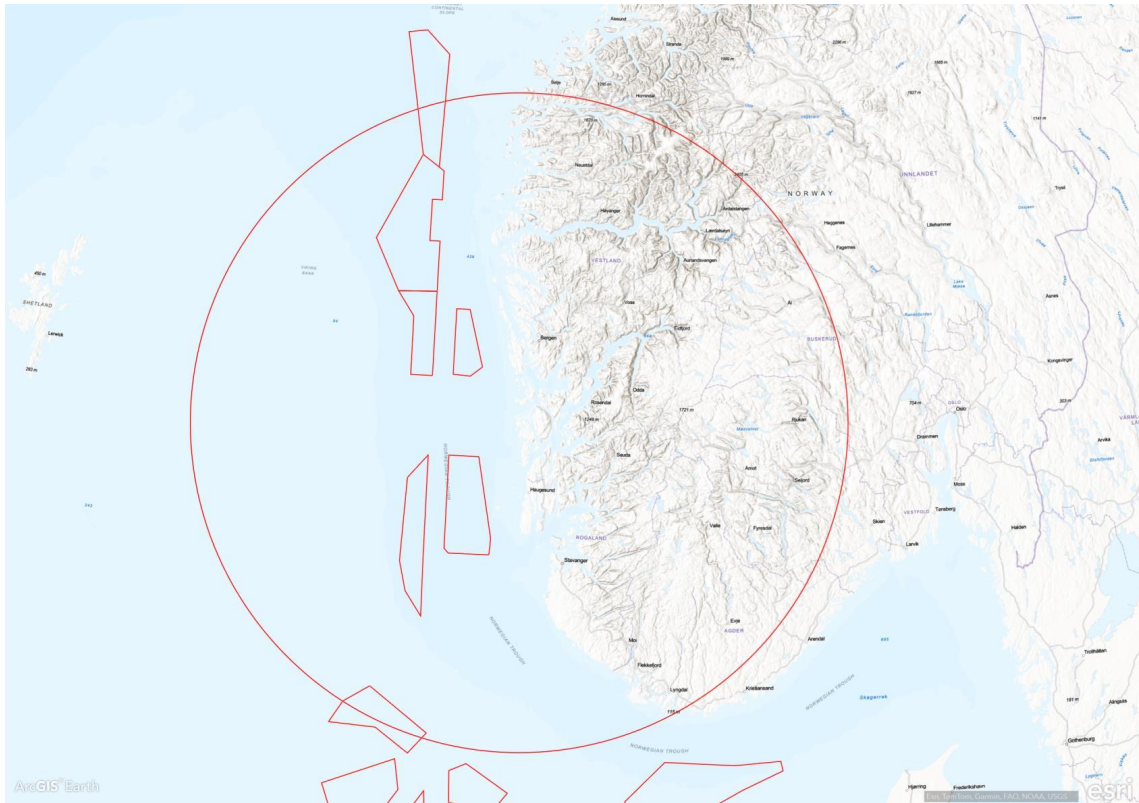
Sammendrag

Vestavind D ligger i dekningsområdet til Bømlo værradar og en utbygging av standard turbiner i området vil gi forstyrrelser, og i sørlige deler blir det blokkeringer og svekkelse av radar signalene mot nord vest for radaren. Forstyrrelser og svekkelser av radarsignalet vil påvirke varslingshorisont for automatisk genererte nedbørvarsel fra værradar. Vestavind D ligger også innenfor 120 minutters avstand fra Bergen lufthavn, Flesland. En utbygging vil svekke radar dekkningen, og kan derfor ha betydning for muligheten til å utstede TREND varsel fra andre arbeidssteder enn den aktuelle flyplassen (fjerntrend).

Værradar

Identifiserte verdier

Hele området dekkes av værradaren på Bømlo. Se oversikt i figur 9

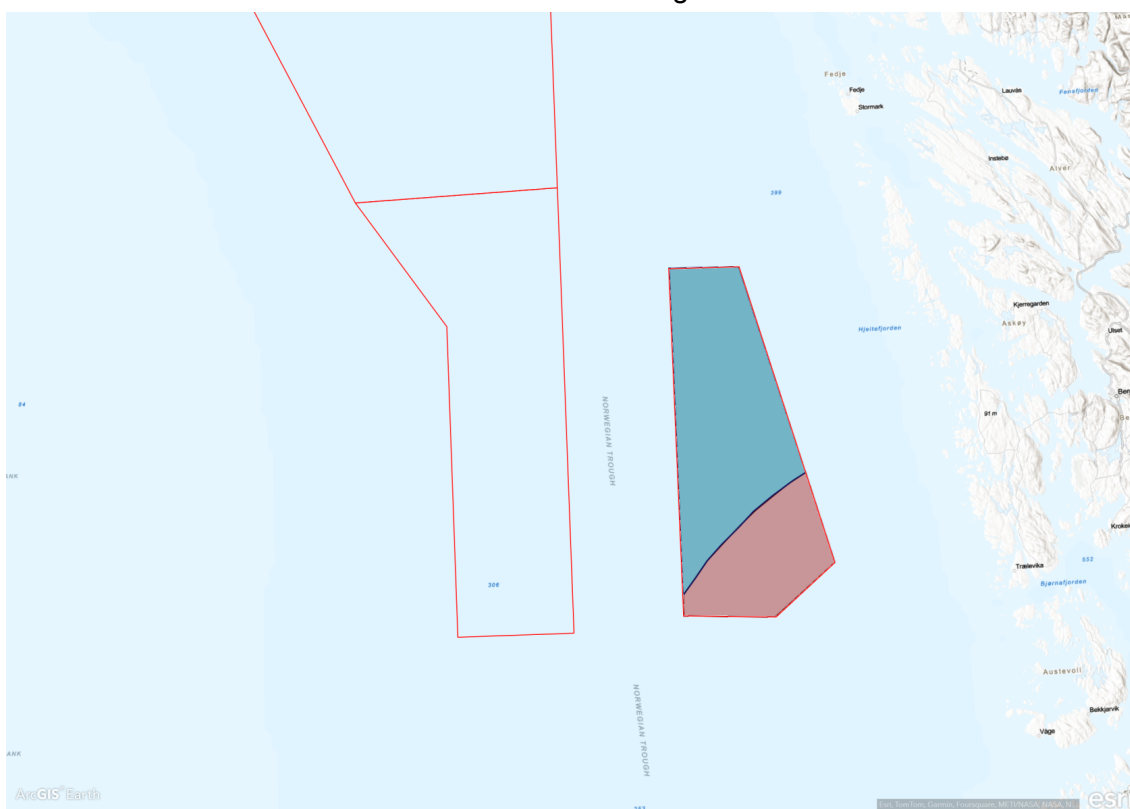


Figur 9. Viser dekningsområdet til Bømlo værradar

Verdi og påvirkning

Vindturbinene i Vestavind D, 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.

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 flyværværvarsling. Raske værsystemer vil bruke mindre enn 2 timer fra vestavind D og inn til Bergen lufthavn, Flesland. Dette vil gå ut over sanntidsvarslet (TREND) ved Bergen lufthavn, Flesland. Verdi for forstyrrelser fra Vestavind D settes derfor til -4 i de områdene hvor det ikke er blokkeringer.



Figur 10: Viser Vestavind D. Områder med verdi - 5 er tegnet inn i rødt, mens områder med verdi -4 er tegnet med blått.

Konsekvenser

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

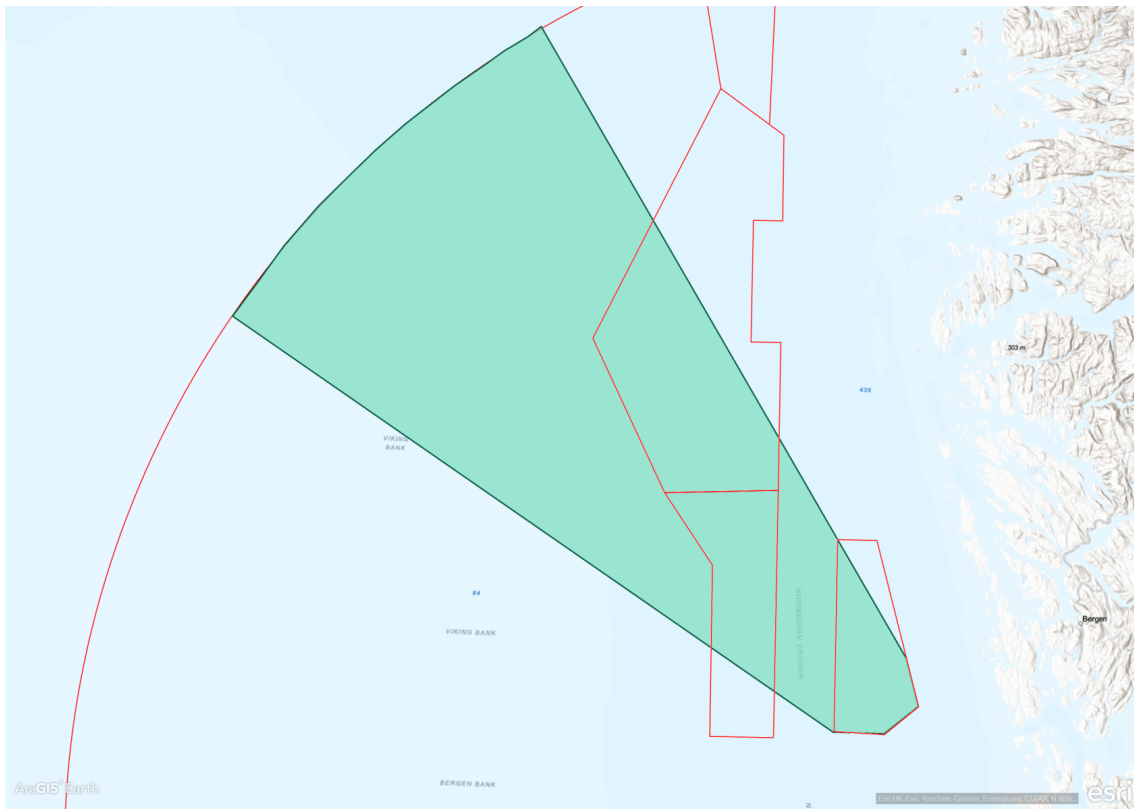
Bergen
Allégaten 70
5007 Bergen,
Norway
T. +47 55 23 66 00

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

www.met.no

Forstyrrelser og blokkeringer i værradardata

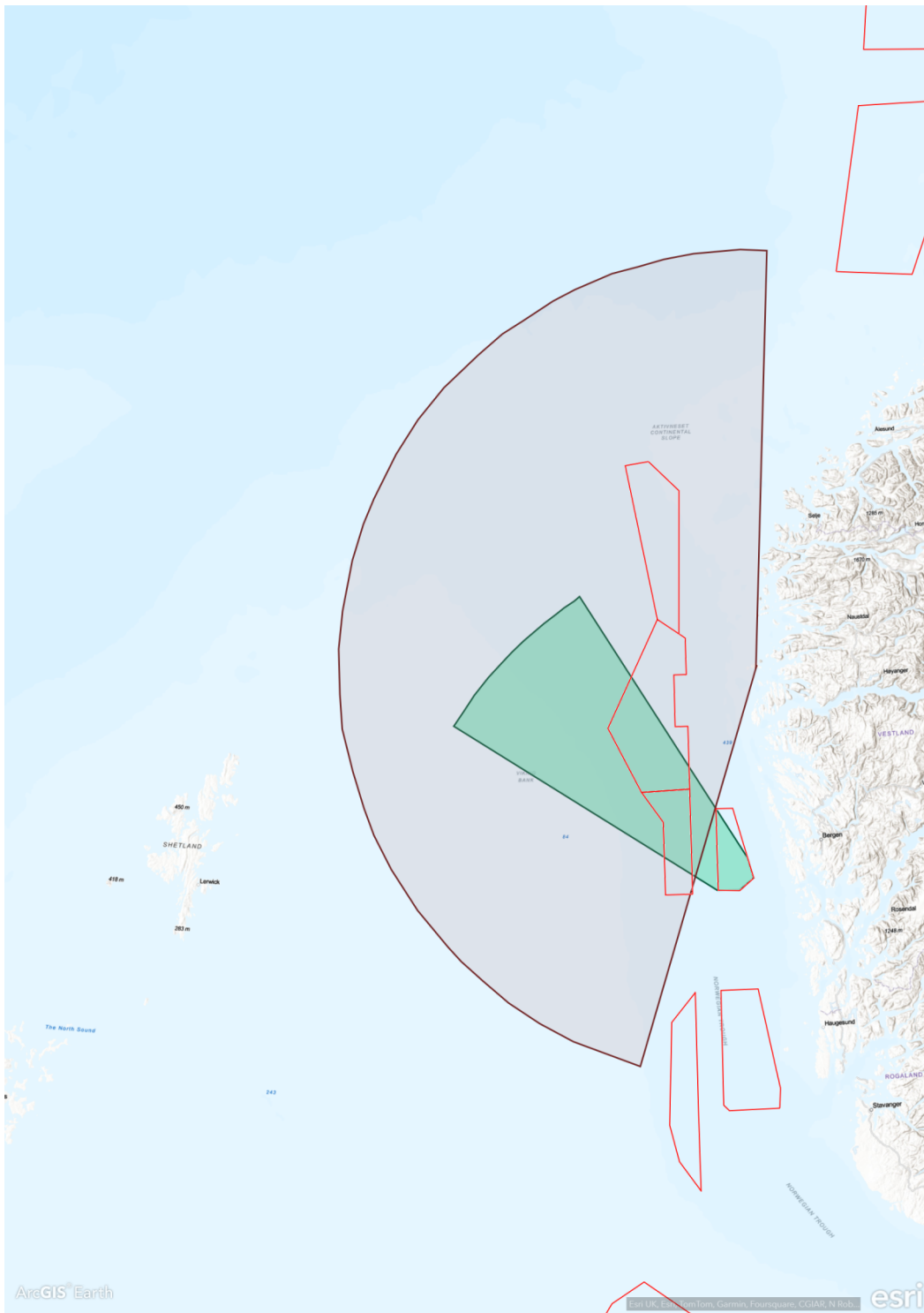
En vindkraftutbygging med standardturbinder vil medføre både blokkeringer og forstyrrelser i værradar data.



Figur 11 viser delen av Vestavind D hvor en utbygging med standardturbin vil gi en blokkering i radardata fra Bømlo værradar samt området hvor radarsignalene svekkes. Det grønne området viser hvor en utbygging med standardturbiner vil svekke radar signalet.

Dette området er innenfor dekningsområdet til Stad værradar. Samtidig er dette et område med mye helikoptertrafikk. Vi vil derfor anbefale en tilleggssradar nord for vestavind B som avbøtende tiltak.

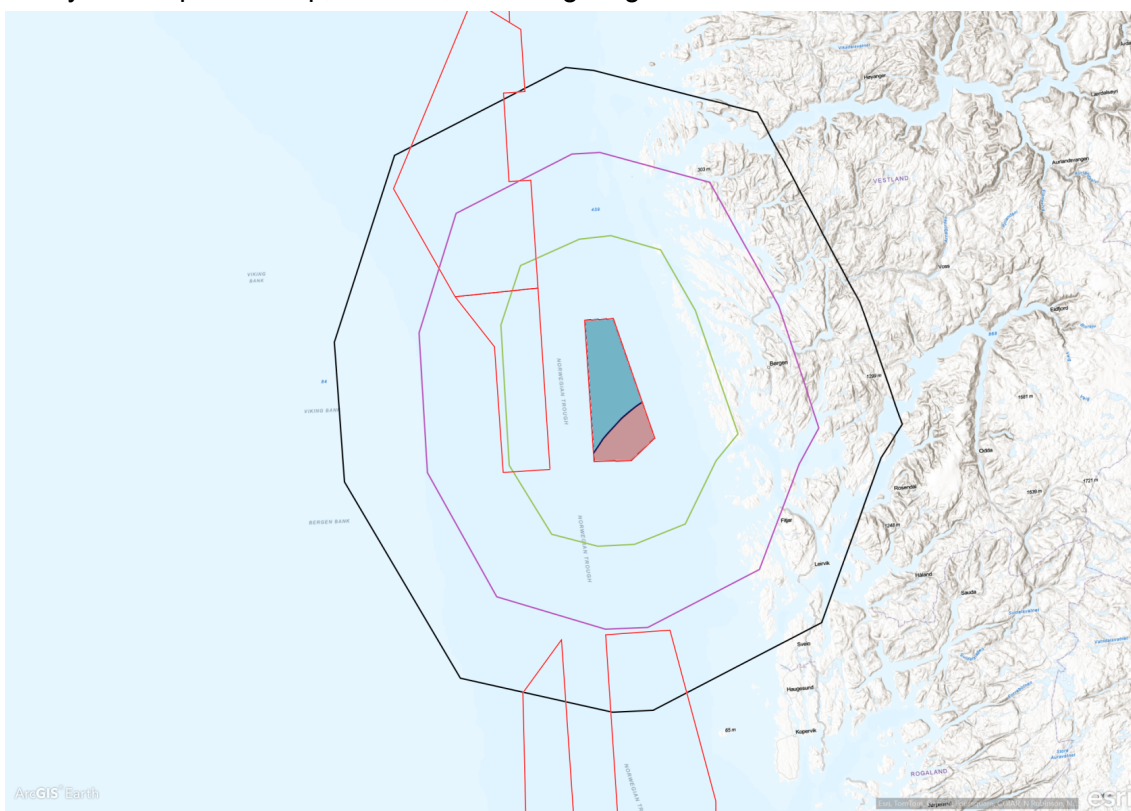
I figur 12 vises bidraget fra en tilleggssradar plassert nord for Vestavind D. Denne plasseringen av tilleggssradar forutsetter at Vestavind A, B og C ikke bygges ut.



Figur 12. Viser sektor med svekket radar signal (grønt) tegnet inn sammen med bidrag fra en tilleggsradar. (c-bånd)

Hvis vi går ut fra at vindturbinene bygges lavere, slik at ingen turbindeler kommer inn i værradarens hovedlobe, så vil det kun bli forstyrrelser fra en utbygging av vestavind D. Men forstyrrelser av værradar signalet vil også påvirke MET sine produkter.

Meteorologisk institutt produserer radarbasert nedbørvarsling 90 minutter fram i tid. Forstyrrelsene i radardata vil påvirke dette varslet. Figur 13 viser tre avgrensninger rundt Vestavind D for varslingshorisont på 30, 60 og 90 minutter. Det betyr at innenfor grønn sirkel kan det lages et nedbørvarsel fra radardata som er kortere enn 30 minutter, mens utenfor sort sirkel påvirkes ikke det radargenererte varslet av en utbygging i Vestavind D. Ved beregning av varslingshorisontene er en hastighet av værsystemer på 30 knop, altså 55,6 km/t lagt til grunn.

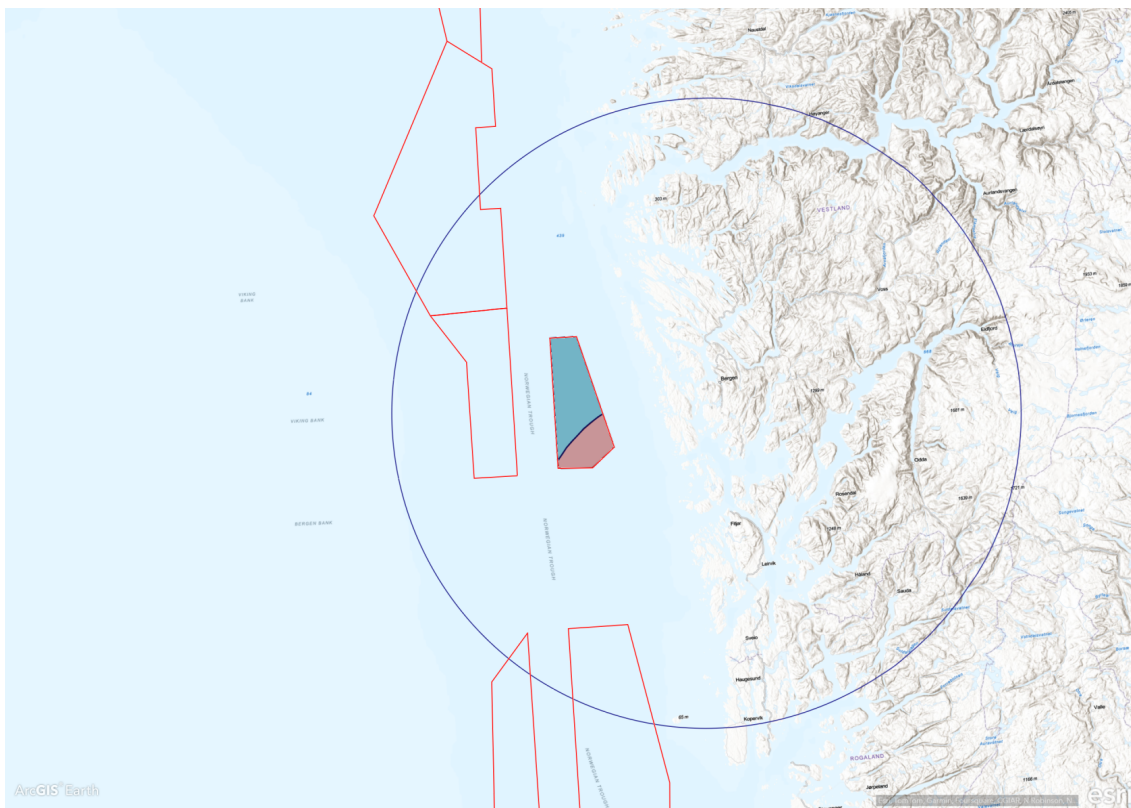


Figur 13: viser varslingshorisont på 30-60 og 90 minutter. For områder utenfor sort kurve, blir ikke 90 minutters varsel påvirket av utbyggingen. For områder innenfor sort kurve, vil tidshorisonten til nedbørvarslet reduseres.

Vi kan se at lengden av det radar genererte nedbørvarslet vil reduseres for Bergen, men også for områder som Sotra, Gulen og Bømlo.

Meteorologisk institutt utsteder et værvarsel for de neste 120 minuttene for enkelte flyplasser. Varslet kalles TREND og Luftfarstilsynet bestemmer hvilke flyplasser det skal utstedes TREND. Bergen lufthavn Flesland er en lufthavn det utstedes TREND. Dette gjøres av personell ved værvarslinga på Vestlandet som en fjernstrend.

Fjernernd krever gode radardata, og som vist i figur 14 vil en utbygging av Vestavind D gi forstyrrelser og blokkeringer i værradar data.



Figur 14: Den blå ringen gir et område rundt Flesland hvor værssystemene er innenfor 120 minutter fra flyplassen når vi legger til grunn en forflyttingshastighet av værssystemet på 30 knop (55.6 km/t) Vestavind D er innenfor området hvor vi er sikre på at værradar data fra Bømlo værradar vil bli forstyrret, og en utbygging med standardturbin vil i deler av området gi blokkeringer av signalet.

Kunnskapsmangler for Vestavind D

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. Nylige forsøk med maskinlæring viser lovende resultater i å fjerne forstyrrelser fra mindre vindparker, men det er ingen erfaring med hvordan dette arter seg i radarbaserte prognoser.

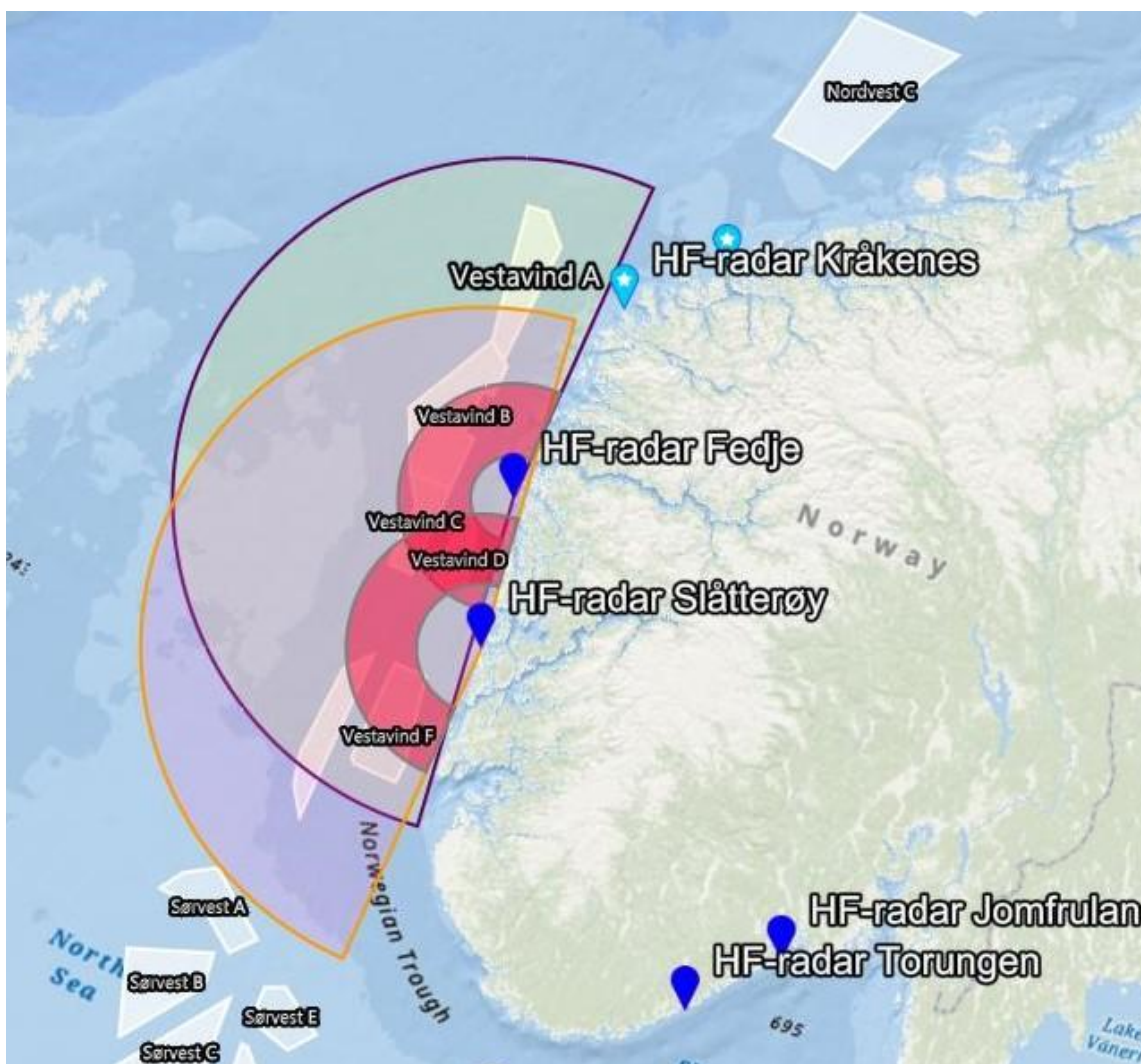
Havstrømradar

Identifiserte verdier

Det foreslåtte området Vestavind D ligger i dekningsområdet til HF-radarene på Kråkerøy, Fedje og Slåtterøy. Se figur 15 for oversikt.

Verdi og påvirkning

Interferens fra vindturbiner i Vestavind D området vil kunne forstyrre havstrømradarene på Fedje og Slåtterøy på en slik måte at en stor del av radialdataene blir ødelagt. Se figur 15 som viser hvilke havområder Vestavind D vil kunne ødelegge radielle HF-radardata for.



Figur 15: Røde halvsirkeler viser arealet hvor påvirkning fra vindturbiner i Vestavind D vil kunne ødelegge radielle HF-radar data.

Konsekvenser

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

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 D for havstrømrادarene er Alvorlig, Kode -4.

Kompenserende tiltak for å redusere konsekvensene av Vestavind D på havstrømrادarene 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 et havområde uten data. MET må få kompensert kostnadene for ny programvare til HF-radarene.
- 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 D være et tiltak. Denne vil kunne kompensere for bortfall av radardata nord og sør for Vestavind D- området. MET må kompenseres for kostnadene for installasjon og drift av en slik radar.
- 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 D for å avhjelpe tap av strømningsdata i vindparken. Ettersom parken har direkte innvirkning på sirkulasjonen foreslår vi plasseringer i 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 D

Forstyrrelser på HF-radar pga 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 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 og når slik programvare vil være tilgjengelig.

Vurdering av Vestavind E

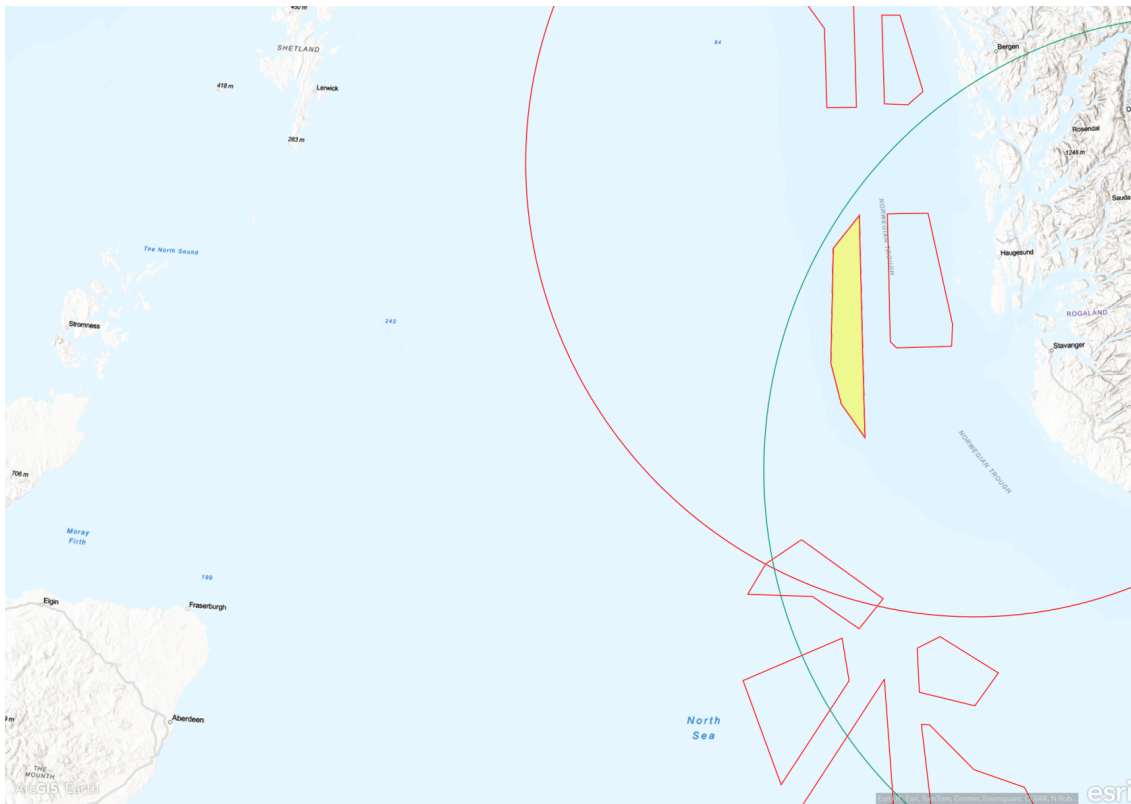
Sammendrag

Bømlo værradar dekker Vestavind E, og en utbygging av Vestavind E med standardturbiner vil forstyrre værradar signalene fra Bømlo værradar. En utbygging vil gi forstyrrelser i radarsignalene, slik at vi i nordvestlig retning ikke kan registrere værsystemer som ligger inntil 2 timer fra Bergen lufthavn Flesland og Stavanger lufthavn Sola. Dette vil påvirke muligheten til å utstede fjerntrend for begge flyplassene. En utbygging vil også enkelte steder påvirke varslingshorisonten for det radarbaserte nedbørvarslet. Områder som ikke lenger får tilgang til 90 minutters radarbasert værvarsel er Karmøy og sørlige deler av Bømlo.

Værradar

Identifiserte verdier

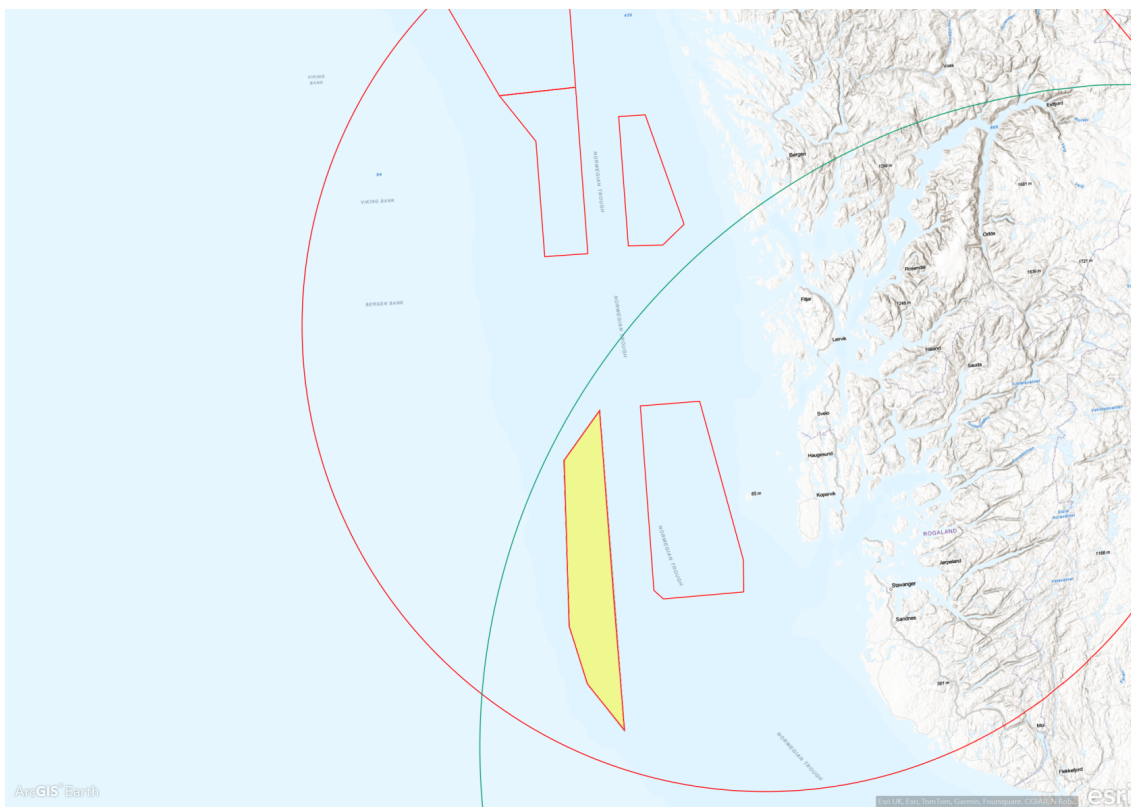
Hele området dekkes av værradaren på Bømlo og Hægebostad værradar. Se oversikt i figur 16.



Figur 16: Viser Vestavind E sammen med dekningsområde for Hægebostad og Bømlo værradarer

Verdi og påvirkning

Vindturbinene i Vestavind E, vil gi forstyrrelser i værradardata. Påvirkningen vurderes til å være alvorlig. Verdien av forstyrrelser settes til -4. Vestavind E dekkes også av Hægebostad værradar, men ligger langt ut i dekningsområdet til denne radaren. Radarsignalene fra Hægebostad vil ikke fange opp nedbør fra lave skyer i dette området.



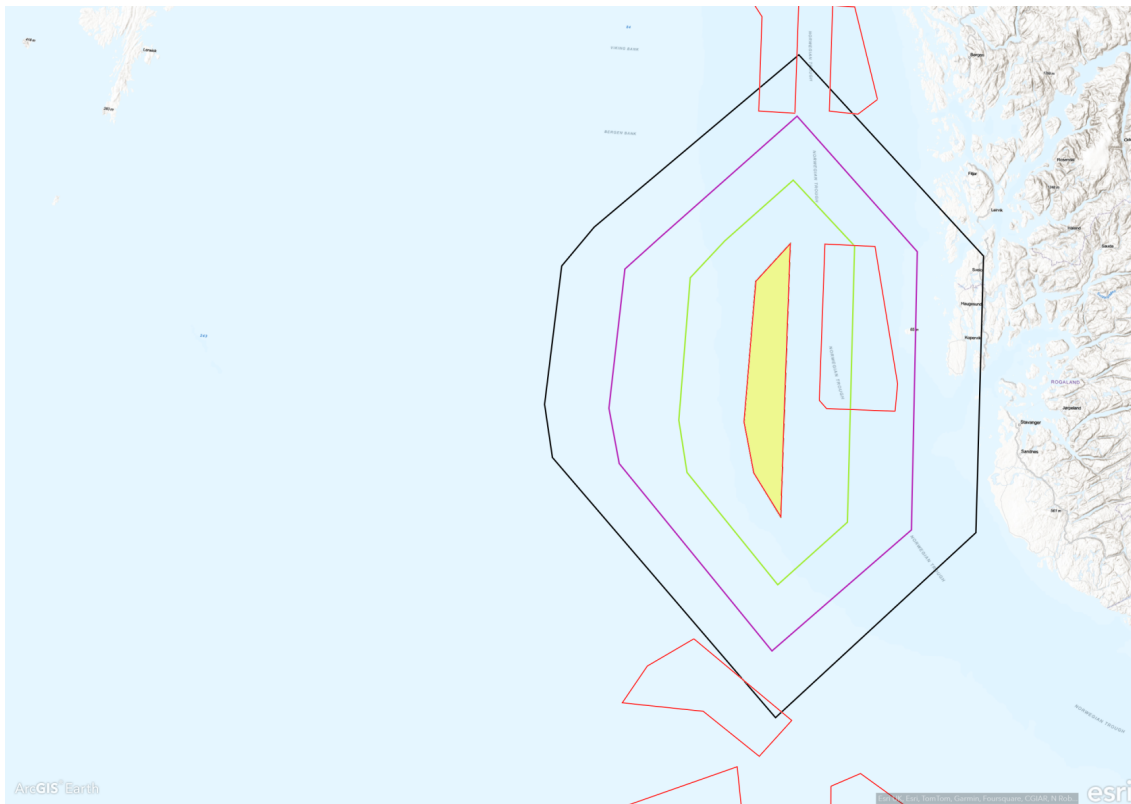
Figur 17 viser avgrensningen rundt Bømlo værradar hvor vindturbiner i den aktuelle størrelsen vil forårsake forstyrrelser i værradar data (rød ring). Blå ring angir dekningsområdet til Hægebostad værradar.

Konsekvenser

Forstyrrelser i værradardata

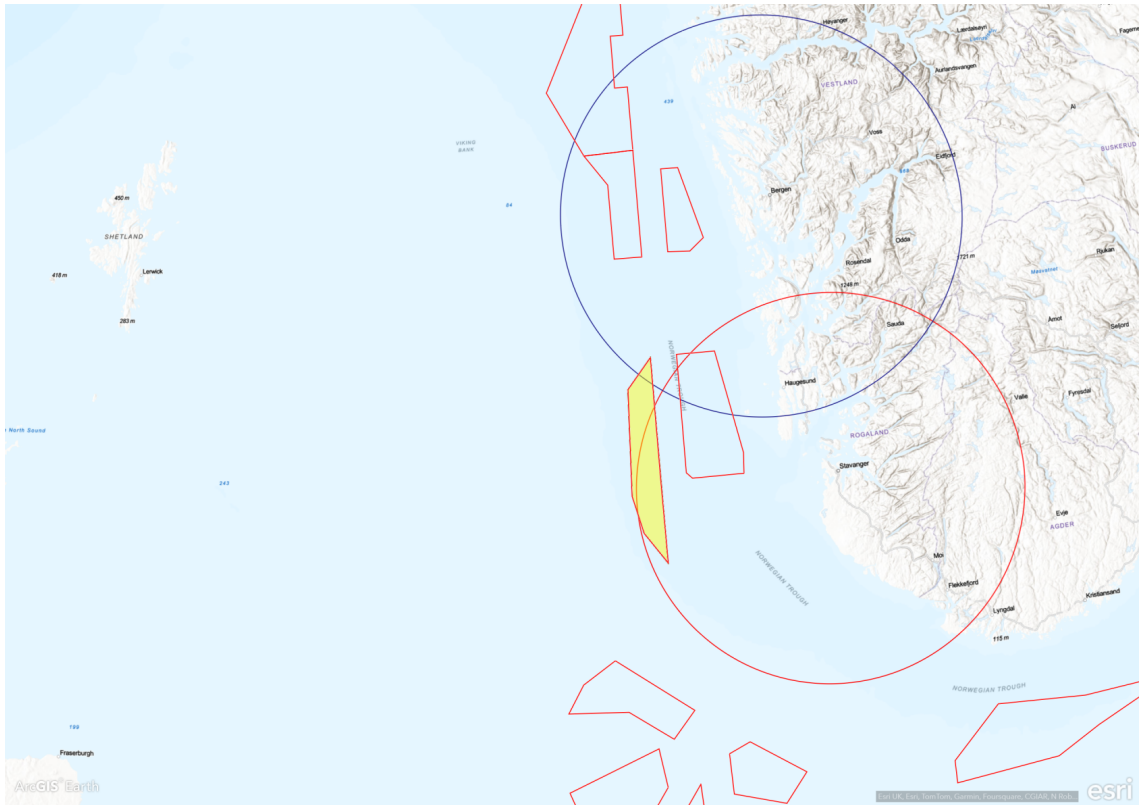
En vindkraftutbygging vil medføre forstyrrelser i værradardata, som uten avbøtende tiltak vil påvirke produkter fra meteorologisk institutt. Figur 17 viser området hvor vi forventer forstyrrelser i værradardata fra Bømlo værradar gitt standard signalavbøying.

Meteorologisk institutt produserer radarbasert nedbørvarsling 90 minutter fram i tid. Forstyrrelsene i radardata vil påvirke dette varslet. Figur 18 viser tre avgrensninger rundt Vestavind E for varslingshorisont på 30, 60 og 90 minutter. Det betyr at innenfor grønn linje kan det lages et nedbørvarsel fra radardata som er kortere enn 30 minutter, mens utenfor svart linje, påvirkes ikke det radargenererte varslet av en utbygging i Vestavind E. Ved beregning av varslingshorisontene er en hastighet av værsystemene på 30 knop, altså 55.6 km/t lagt til grunn. Hvis Vestavind E bygges ut, vil ikke Karmøy og sørlige deler av Bømlo få et radarbasert 90 minutters nedbørvarsel.



Figur 18: viser varslingshorisont på 30,60 og 90 minutter. For områder utenfor svart linje, blir ikke 90 minutters varsel påvirket av utbyggingen. For området innenfor svart kurve, vil varslert reduseres.

Meteorologisk institutt utsteder et værvarsel for de neste 120 minuttene for enkelte flyplasser. Varslet kalles TREND og Luftfarstilsynet bestemmer hvilke flyplasser som skal ha TREND varsel. Bergen lufthavn Flesland og Stavanger lufthavn Sola er lufthavner det utstedes trend for. Dette gjøres av personell ved værvarslinga på Vestlandet som en fjernstrend. Fjerntrend krever gode radardata, og som vist i figur 19 vil en utbygging av Vestavind E gi forstyrrelser i værradar data både for Bergen lufthavn Flesland og Stavanger lufthavn Sola.



Figur 19: Den blå ringen gir et område rundt Flesland hvor værssystemene er innenfor 120 minutter fra flyplassen når vi legger til grunn en forflyttingshastighet på 30 knop (55.6 km/t), mens den røde ringen viser tilsvarende for Stavanger lufthavn Sola. Vestavind E (markert i gult), er innenfor området hvor vi er sikre på at værradar data fra Bømlo værradar vil bli forstyrret. En utbygging av Vestavind E vil påvirke grunnlaget for fjerntrend.

I utredning av Vestavind F, er det introdusert et avbøtende tiltak for svekkede radarsignaler med en ekstra værradar. Dette tiltaket forutsetter at sørligste del av Vestavind E ikke bygges ut på en slik måte at signalene fra en eventuell tilleggsradar svekkes.

Kunnskapsmangler for Vestavind E

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 minimum 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. Nylige forsøk med maskinlæring viser lovende

resultater i å fjerne forstyrrelser fra mindre vindparker, men det er ingen erfaring med hvordan dette arter seg i radarbaserte prognoser.

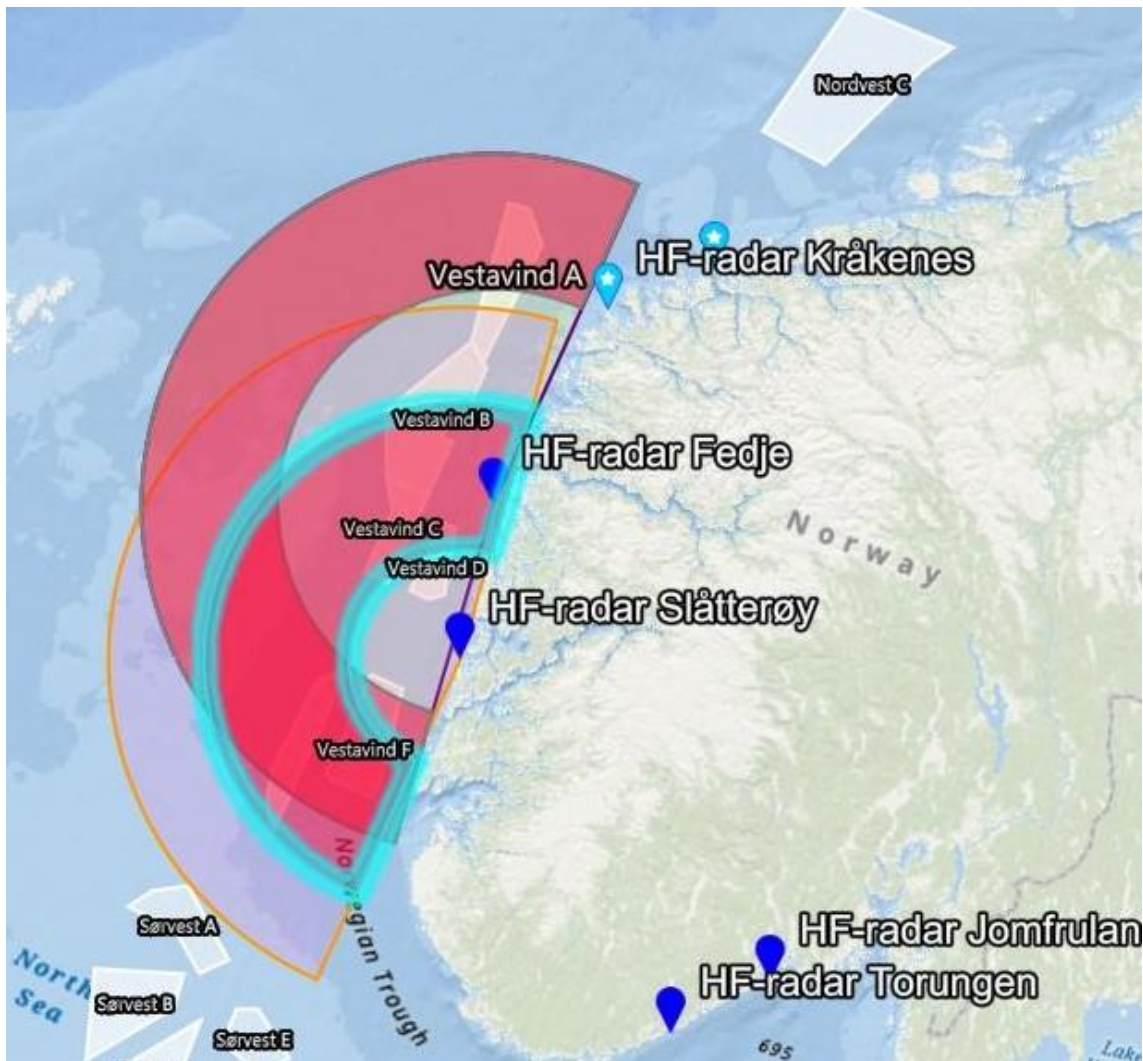
Havstrømradar

Identifiserte verdier

Det foreslåtte området Vestavind E ligger i dekningsområdet til HF-radarene på Fedje og Slåtterøy. Se figur 20 for oversikt.

Verdi og påvirkning

Interferens fra vindturbiner i Vestavind E området vil kunne forstyrre havstrømradarene på Fedje og Slåtterøy på en slik måte at en stor del av radialdataene blir ødelagt. Se figur 20 som viser hvilke havområder Vestavind E vil kunne ødelegge radielle HF-radardata for.



Figur 20: Røde halvsirkeler viser arealet hvor påvirkning fra vindturbiner i Vestavind E vil kunne ødelegge radielle HF-radar data.

Konsekvenser

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

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 E for havstrømradata er Alvorlig, Kode -4.

Kompenserende tiltak for å redusere konsekvensene av Vestavind E på havstrømradata 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 et havområde uten data. MET må få kompensert kostnadene for ny programvare til HF-radarene.
- Siden forstyrrelser fra vindturbiner er avhengig av avstanden mellom HF-radar og vindturbinene så kan det å installere en ny HF-radar mellom Fedje og Kråkenes være et tiltak. Denne vil kunne kompensere for bortfall av radardata nord for Vestavind E- området. MET må kompenseres for kostnadene for installasjon og drift av en slik radar.

- Strømningsmålere plassert og driftet av operatørene i havvindparkene 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 D for å avhjelpe tap av strømningsdata i vindparken. Ettersom parken har direkte innvirkning på sirkulasjonen foreslår vi plasseringer i 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 E

Forstyrrelser på HF-radar pga 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 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 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 havvindutbygging. 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 stort sett usikkerheter vi vil nevne.

Atmosfærisk sirkulasjon og lokalklima

Det er knyttet noen overordnede kunnskapsmangler til en havvindutbygging av den størrelsen vi her snakker om. Det er godt dokumentert at vindfeltet blir påvirket av vindparker lokalt, mens det er knyttet usikkerhet til effekten lengre nedstrøms. Kvantifiseringen av påvirkningene er usikre da de blant avhengig av beliggenheten og karakteristikkene til de aktuelle vindparkene. Hvordan andre parametere blir påvirket av vindparker er mindre studert. Dette er et eksempel på en artikkel som beskriver hvordan vind kan dempes mange kilometer nedstrøms for en vindpark.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308597X2300430X?via%3Dihub>)

Det finnes artikler som viser en økning i lavt skydekke over en havvindpark. (<https://www.nature.com/articles/s41598-022-22868-9>). Omfanget i endring av skyklima og tåkeklima i de aktuelle områdene bør kartlegges før vindparkene blir utbygd.

Lynaktivitet i et område med havvind

Vi vet at vindparker på land kan øke forekomsten av lyn.

(<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2013JD020225> samt at vi ser indikasjoner på dette fra klimatologier av lynobservasjoner ved Meteorologisk Institutt)

Vi kan ikke være sikre, men vil anta at det samme skjer over hav. Siden de elektrisk

aktive delene av skyene generelt er lavere om vinteren, vil problemstillingen øke vinterstid.

Værvarsling i områder med storstilt havvindutbygging

Flere deler av værvarselproduksjonen er automatisert, og det må gjøres et arbeid for å tilpasse denne varselproduksjonen en situasjon med store havvindparker. Det er her viktig at det er åpenhet om statiske parametre som turbinhøyde, rotorstørrelse og plassering, men også produksjonsparametre som rotasjonshastighet slik at dette kan inkluderes i værvarslingsmodeller. Vi kan også se for oss scenarier der en økt mengde gode observasjoner fra vindturbinparker vil forbedre værvarslene. Hvis store arealer bygges ut med vindkraft, vil det være behov for å beskrive effekten av vindparkene i de numeriske værvarslingsmodellene. Dette er kostnader det bør taes høyde for.

For manuell værvarsling kreves en periode for å lære seg hvordan vindparkene påvirker værsystemene. Som nevnt tidligere, finnes det litteratur om vindparks påvirkning av vind lokalt og i noe avstand fra vindparken. Hvis alle aktuelle områder bygges ut vil det imidlertid dreie seg om langt større arealer enn hva artiklene har tatt høyde for. Det er også en usikkerhet knyttet til hvordan havvindparkene vil påvirke siktparametre og høyden av laveste skynivå.