



Norwegian  
Meteorological  
Institute

**METreport**

No. 3/2025  
ISSN 2387-4201  
Radar

# Strategisk konsekvensutredning for havvind, Fagutredning for virkninger på radar

Delrapport 2.2 – vurdering av Sønnavind A, Sørvest A, Sørvest B, Sørvest  
C, Sørvest D og Sørvest E  
Laila Fodnes Sidselrud og Werner Eriksen  
Classification: open



# Table of contents

|                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Kort informasjon om metodegrunnlag og verdier for værradar</b> | <b>6</b>  |
| <b>Oversikt</b>                                                   | <b>6</b>  |
| <b>Vurdering av Sønnavind A</b>                                   | <b>7</b>  |
| Sammendrag                                                        | 7         |
| Værradar                                                          | 8         |
| Identifiserte verdier                                             | 8         |
| Verdi og påvirkning                                               | 8         |
| Konsekvenser                                                      | 9         |
| Kunnskapsmangler for Sønnavind A                                  | 10        |
| Havstrømradar                                                     | 12        |
| Identifiserte verdier                                             | 12        |
| Verdi og påvirkning                                               | 12        |
| Konsekvenser                                                      | 13        |
| Kunnskapsmangler for Sønnavind A                                  | 14        |
| <b>Vurdering av Sørvest A</b>                                     | <b>15</b> |
| Sammendrag                                                        | 15        |
| Værradar                                                          | 16        |
| Identifiserte verdier                                             | 16        |
| Verdi og påvirkning                                               | 16        |
| Konsekvenser                                                      | 17        |
| Kunnskapsmangler for Sørvest A                                    | 17        |
| Havstrømradar                                                     | 19        |
| Identifiserte verdier                                             | 19        |
| Verdi og påvirkning                                               | 19        |
| Konsekvenser                                                      | 20        |
| Kunnskapsmangler for Sørvest A                                    | 21        |
| <b>Vurdering av Sørvest B</b>                                     | <b>22</b> |
| Sammendrag                                                        | 22        |
| Værradar                                                          | 22        |
| Identifiserte verdier                                             | 22        |
| Verdi og påvirkning                                               | 23        |
| Konsekvenser                                                      | 23        |
| Kunnskapsmangler for Sørvest B                                    | 24        |

|                                |           |
|--------------------------------|-----------|
| Havstrømradar                  | 25        |
| Identifiserte verdier          | 25        |
| Verdi og påvirkning            | 25        |
| Konsekvenser                   | 26        |
| Kunnskapsmangler for Sørvest B | 27        |
| <b>Vurdering av Sørvest C</b>  | <b>28</b> |
| Sammendrag                     | 28        |
| Værradar                       | 28        |
| Identifiserte verdier          | 28        |
| Verdi og påvirkning            | 29        |
| Konsekvenser                   | 29        |
| Kunnskapsmangler for Sørvest C | 30        |
| Havstrømradar                  | 31        |
| Identifiserte verdier          | 31        |
| Verdi og påvirkning            | 32        |
| Konsekvenser                   | 32        |
| Kunnskapsmangler for Sørvest C | 33        |
| <b>Vurdering av Sørvest D</b>  | <b>34</b> |
| Sammendrag                     | 34        |
| Værradar                       | 34        |
| Identifiserte verdier          | 34        |
| Verdi og påvirkning            | 35        |
| Konsekvenser                   | 35        |
| Kunnskapsmangler for Sørvest D | 35        |
| Havstrømradar                  | 37        |
| Identifiserte verdier          | 37        |
| Verdi og påvirkning            | 37        |
| Konsekvenser                   | 37        |
| <b>Vurdering av Sørvest E</b>  | <b>39</b> |
| Sammendrag                     | 39        |
| Værradar                       | 39        |
| Identifiserte verdier          | 39        |
| Verdi og påvirkning            | 40        |
| Konsekvenser                   | 40        |
| Kunnskapsmangler for Sørvest E | 40        |
| Havstrømradar                  | 42        |
| Identifiserte verdier          | 42        |
| Verdi og påvirkning            | 42        |
| Konsekvenser                   | 43        |
| Kunnskapsmangler for Sørvest E | 44        |

|                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Havvindutbygging og påvirkning av lokalklima, sirkulasjon og værvarsling</b> | <b>45</b> |
| Sammendrag                                                                      | 45        |
| Atmosfærisk sirkulasjon og lokalklima                                           | 45        |
| Lynaktivitet i et område med havvind                                            | 45        |
| Værvarsling i områder med storstilt havvindutbygging                            | 46        |

# Kort informasjon om metodegrunnlag og verdier for værradar

## Oversikt

Metodegrunnlaget for rapporten er beskrevet i delrapport 1 under kunnskapsgrunnlag og metode. Vi oppgir verdier for de ulike utbyggingsområdene fra +5 svært store positive konsekvenser til -5 svært store negative konsekvenser. Vi har overveiende brukt verdiene på følgende måte:

-5 : Områder der hovedradarsignalet blokkeres av en standard turbin. Dette skaper svekkelser i signalene også lenger fra radaren enn selve turbinene.

-4: Områder der en åpningsvinkel på 2° vil la signaler treffe turbinene. Her vil radaren konstant oppleve forstyrrelser

-3: Områder som ligger innenfor radiohorisont. Det er her fri sikt mellom radar og turbin. Radarproduktene vil oppleve forstyrrelser store deler av tiden.

-1: Områder innenfor radarens dekningsområde. Radarprodukter kan i noen tilfeller oppleve forstyrrelser.

0: områder utenfor radarens dekningsområde. En utbygging vil trolig ikke ha konsekvenser for radarproduktene.

Vi viser varslingshorisont for områder der en utbygging vil påvirke nåværende automatiserte radarprodukter på land. Det er mulig vi i framtiden kan få automatiserte radarprodukter også i havområdene, og disse vil da kunne påvirkes.

# Vurdering av Sønnavind A

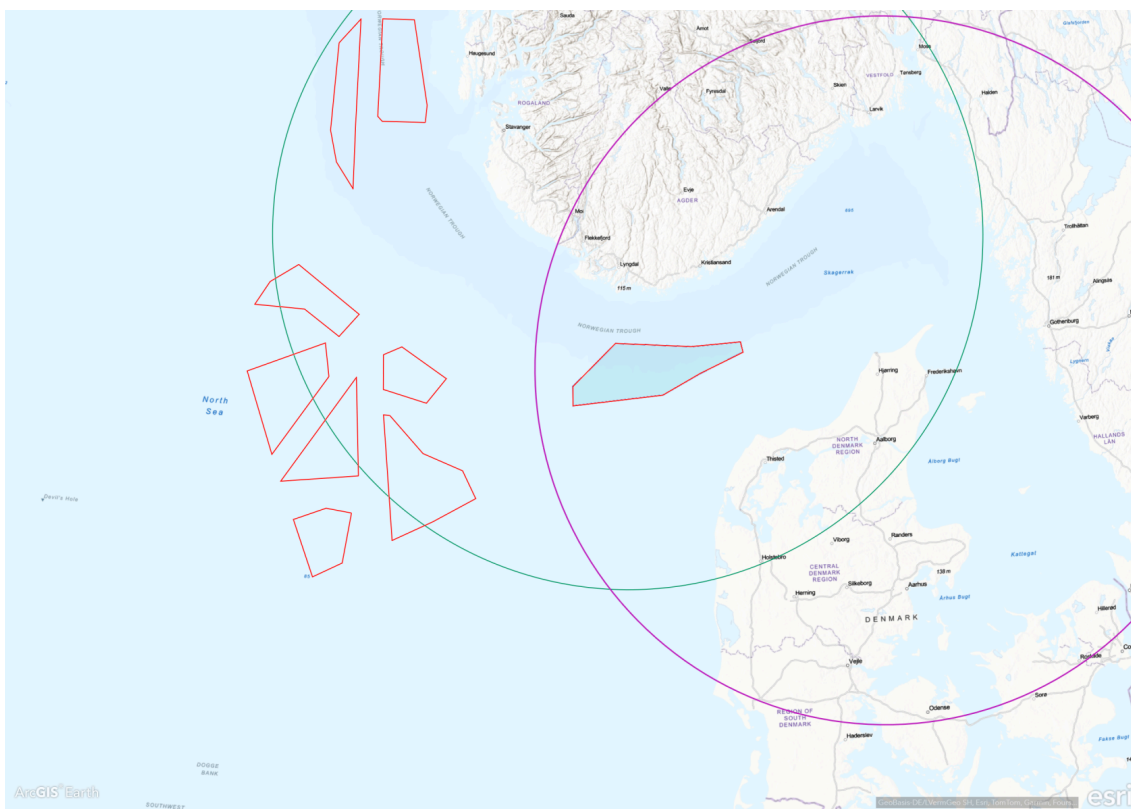
## Sammendrag

Sønnavind A ligger innenfor radarhorisont til Hægebostad værradar. Dette betyr at det er stor sannsynlighet for at parken store deler av tiden vil gi forstyrrelser i værradardata fra Hægebostad værradar. Deler av parken ligger innenfor området der vi er sikre på at parken vil gi forstyrrelser i radardata fra Sindal værradar i Danmark. En utbygging av Sønnavind A vil føre til at deler av Sørlandet og Rogaland ikke lenger kan få 90 minutters nedbørvarsel. Dette omfatter steder som Kristiansand, Mandal og Arendal. Ingen flyplasser med TREND varsel vil bli påvirket av en utbygging av Sønnavind A

# Værradar

## Identifiserte verdier

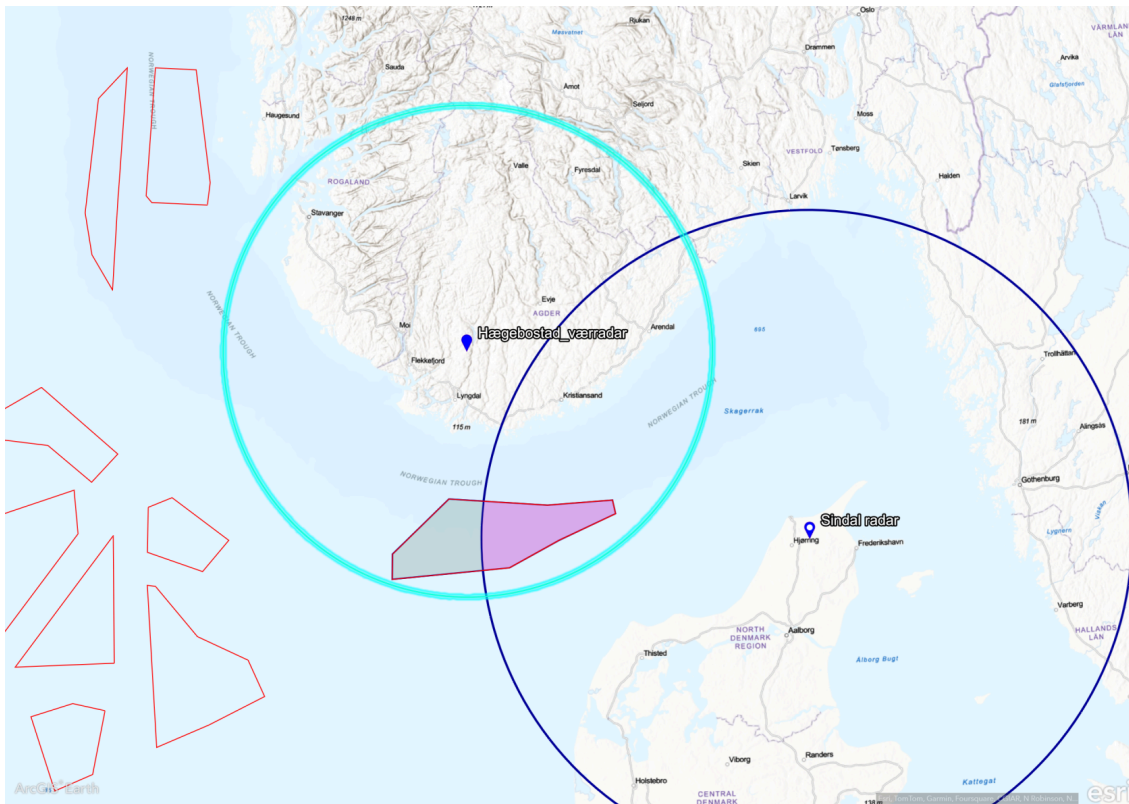
Hele området dekkes av værradarene på Hægebostad og i Sindal. Se oversikt i figur 1



Figur 1: Viser Sønnavind A sammen med dekningsområdet for Hægebostad værradar (grønt) og dekningsområde for Sindalværradar (fiolett). Radius på dekningsområdet er 240 km.

## Verdi og påvirkning

Turbinene i Sønnavind A vil gi forstyrrelser i radardata fra Sindal værradar, se figur 2. (Blå kurve). Området er begrenset av en åpningsvinkel på  $2^\circ$  i radarens antenne. Verdien av denne delen av området er satt til -4. Siden området er innenfor radiohorisonten fra Hægebostad værradar, vil vi anta at turbinene vil gi forstyrrelser store deler av tiden i radardata også fra denne værradaren. Påvirkningen for den vestlige delen av parken settes til -3.



Figur 2: Viser verdier for Sønnavind A. Mørk blå sirkel markerer avgrensningen for beregnet område med clutter i værradar data fra Sindal værradar. Lysere blå sirkel markerer radiohorisont for Hægebostad værradar. Vi har i beregningene gått ut fra en total turbinhøyde på 308 m.

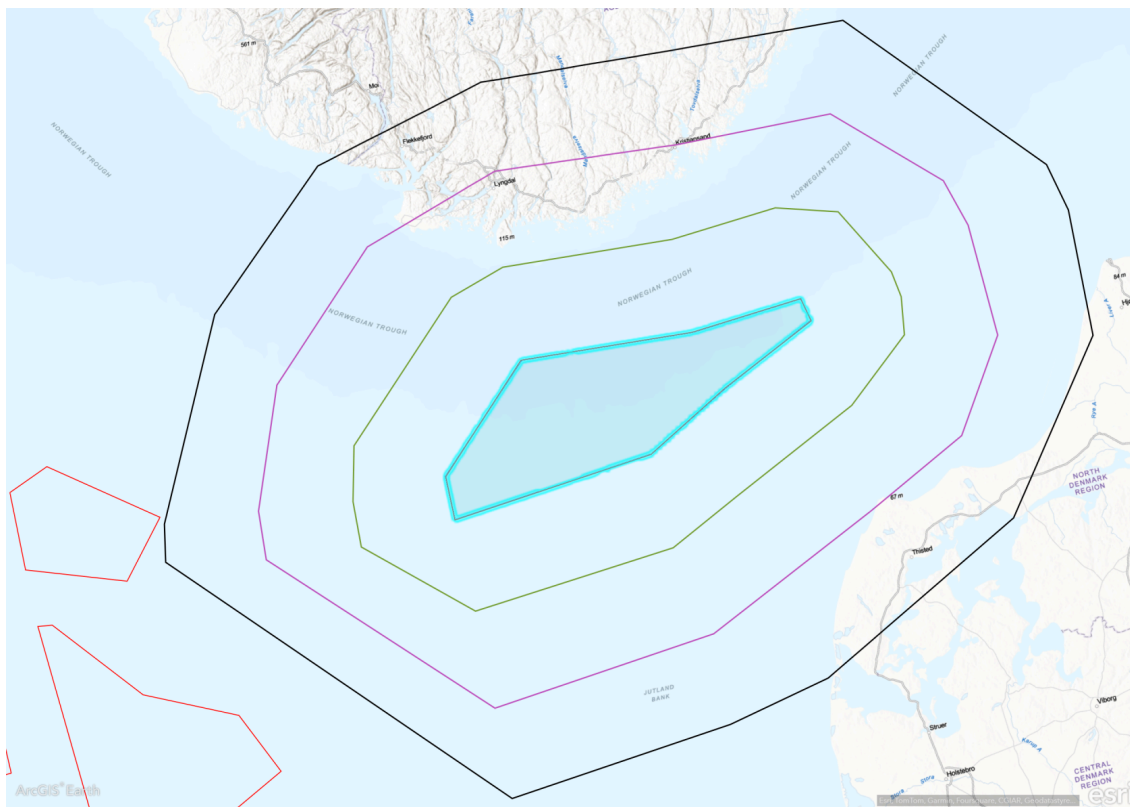
## Konsekvenser

### 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 varslat. Figur 3 viser tre avgrensninger rundt Sønnavind 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 varslat av en havvind utbygging i Sønnavind A. Ved beregning av varslingshorisontene er en hastighet på 30 knop, altså 55.6 km/t lagt til grunn. Hvis Sønnavind A bygges ut vil blant annet

Kristiansand, Mandal og Arendal ikke lenger få et radarbasert 90 minutters nedbørvarsel.



Figur 3: 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 Sønnavind A vil ikke påvirke dagens bruk av fjerntrend i Norge.

En utbygging vil gi mindre radardata som kan assimileres inn i værvarslingsmodellene. Forstyrrelsene i radarbildene kan føre til usikkerhet hos både meteorologer og allmennheten. Hvis forstyrrelsene fjernes fra radarbildene, men ikke erstatningsverdiene klarer å gjenskape nedbørverdiene radaren burde ha målt, så kan dette også gi en usikkerhet.

## Kunnskapsmangler for Sønnavind A

### -Turbinstørrelse og vindparkstørrelse

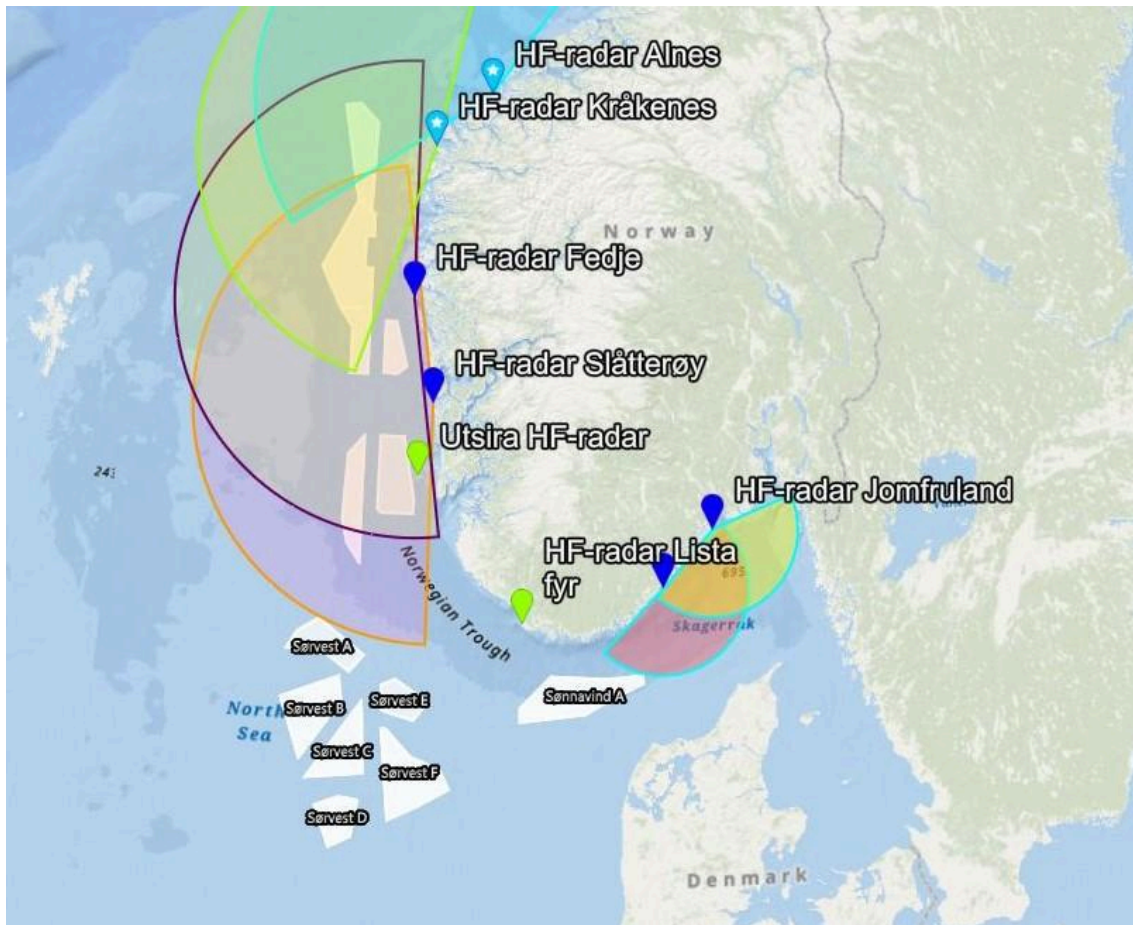
Det finnes i dag ingen meteorologisk erfaring med utbygging av vindparker av dette omfanget og størrelse og turbiner av denne størrelsen. Det finnes anbefalinger om at vindparker ikke skal være større enn 10 km<sup>2</sup>, med en avstand på 10 km mellom vindparkene. Vi har i Norge ingen erfaring med anlegg på størrelse med Sønnavind A, og vi har heller ikke algoritmer klare for å bruke observasjoner fra andre instrumenter som en erstatning for radardataene. Nylige forsøk med maskinlæring viser låvende

resultater i å fjerne forstyrrelser fra mindre vindparker, men vi kan ikke se en tilsvarende forbedring for større vindparker. Det er heller ingen erfaring med hvordan maskinlæring vil påvirke de radarbaserte prognoser.

## Havstrømradar

### Identifiserte verdier

Hele det foreslåtte området Sønnavind A ligger utenfor dekningsområdet til HF-radarene som MET har i drift i dag. Se figur 4 for oversikt. Men området ligger innenfor fremtidige HF-radarer på sørvest-kysten av Norge og vestkysten av Danmark.



Figur 4: Plassering av Sønnavind A i HF-radarenes dekningsområde

### Verdi og påvirkning

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

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 Sønnavind A for havstrømradataene er Alvorlig, Kode -4.

Kompenserende tiltak for å redusere konsekvensene av Sønnavind A på havstrømradataene 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.
- 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 Sønnavind 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 Sønnavind A

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 Sørvest A

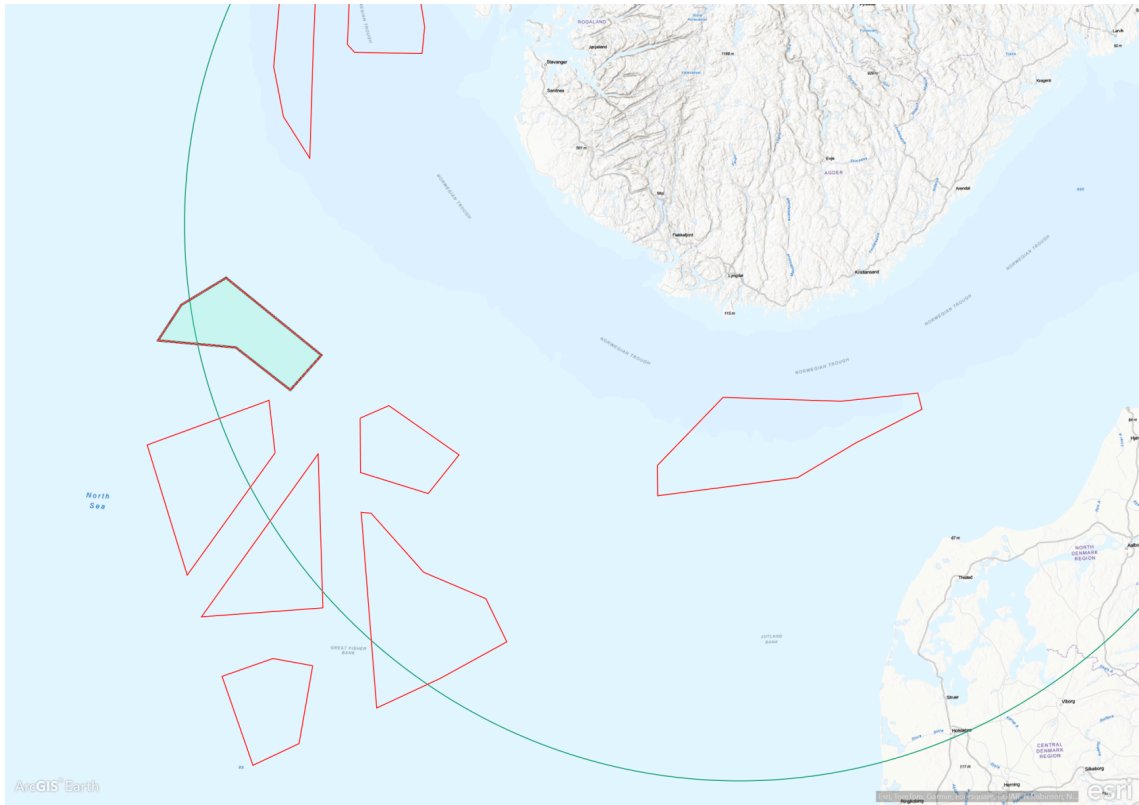
## Sammendrag

Deler av Sørvest A ligger innenfor dekningsområdet til Hægebostad værradar. Avstanden til radaren er så stor at vi er usikre på hvor stor del av tiden den vil gi forstyrrelser i radardataene. Det vil ikke bli forstyrrelser i den delen av radardataene som ligger utenfor radarens dekningsområde.

## Værradar

### Identifiserte verdier

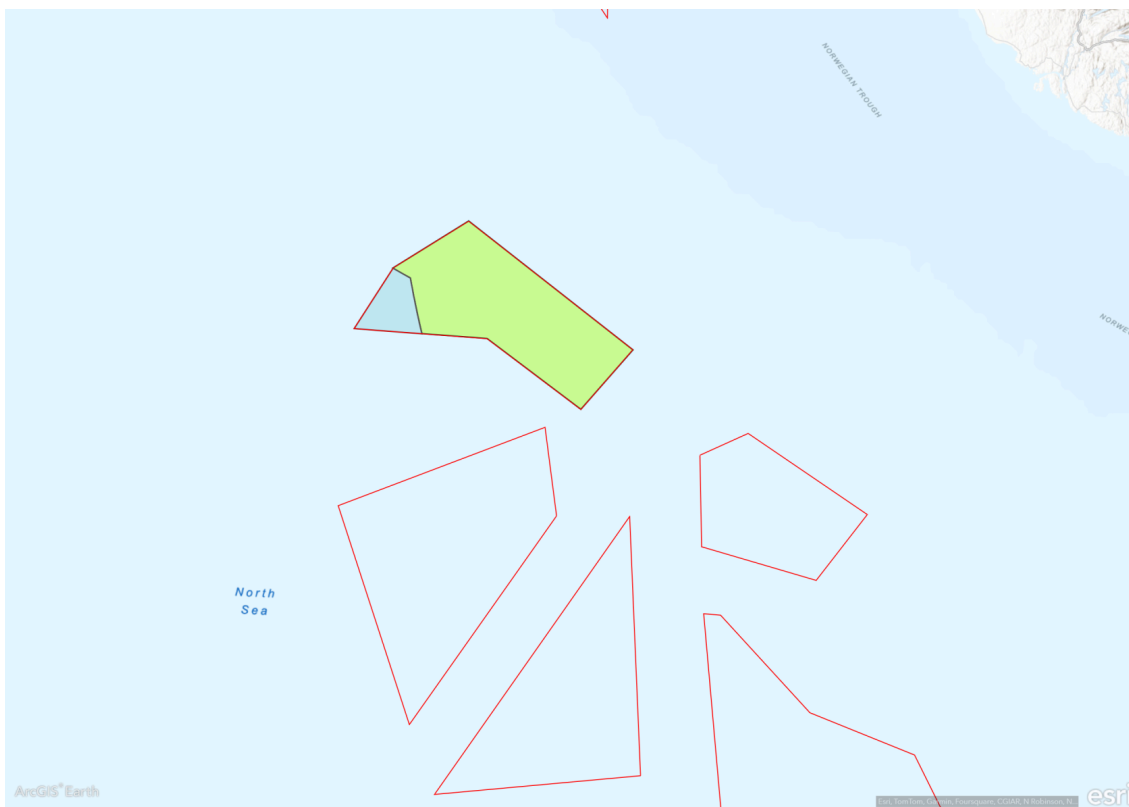
Deler av området er innenfor dekningsområdet til Hægebostad værradar. Se oversikt i figur 5



Figur 5: Viser Sørvest A sammen med dekningsområdet for Hægebostad værradar (grønt). Radius på dekningsområdet er 240km.

### Verdi og påvirkning

Deler av Sørvest A er innenfor dekningsområdet til Hægebostad værradar. Disse delene av Sørvest A gis verdi -1. Områder som ikke er innenfor dekningsområdet til Hægebostad værradar settes til 0.



Figur 6: Viser verdier for Sørvest A. Grønt er verdi -1 mens blått er verdi 0

## Konsekvenser

### Forstyrrelser i værradardata

Vi er usikre på om en vindkraftutbygging vil gi forstyrrelser innenfor dekningsområdet til Hægebostad værradar i deler av tiden.

## Kunnskapsmangler for Sørvest A

### -Turbinstørrelse og vindparkstørrelse

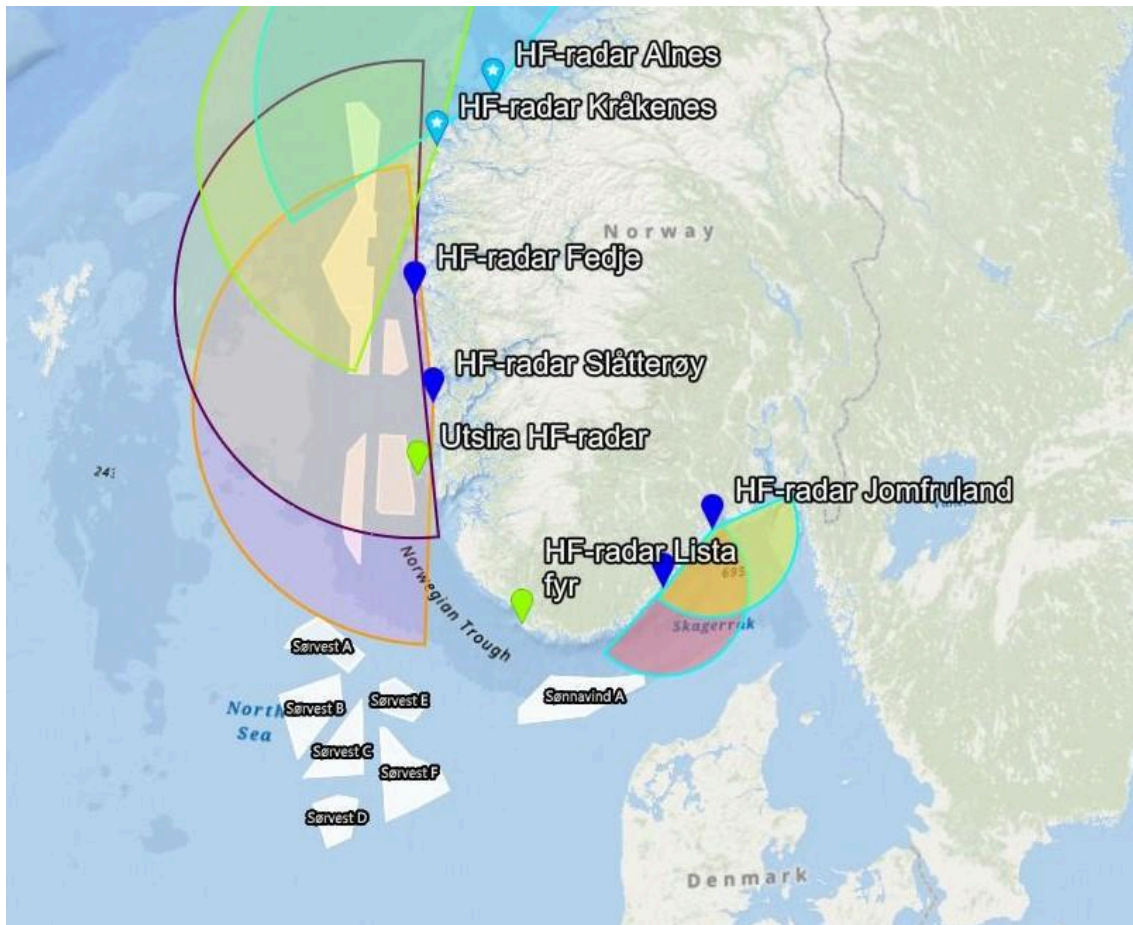
Det finnes i dag ingen meteorologisk erfaring med utbygging av vindparker av dette omfanget og størrelse og turbiner av denne størrelsen. Det finnes anbefalinger om at vindparker, i de tilfellene de gir forstyrrelser av en viss styrke, ikke skal være større enn 10 km<sup>2</sup>, med en avstand på 10 km mellom vindparkene. Vi har i Norge ingen erfaring med anlegg på størrelse med Sørvest A, og vi har heller ikke algoritmer klare for å bruke observasjoner fra andre instrumenter som en erstatning for radardataene hvis det skulle vise seg at Sørvest A gir forstyrrelser i radar dataene.



# Havstrømradar

## Identifiserte verdier

Hele det foreslåtte området Sørvest A ligger utenfor dekningsområdet til HF-radarene som MET har i drift i dag. Se figur 7 for oversikt. Men området ligger innenfor fremtidige HF-radarer på sørvest-kysten av Norge.



Figur 7: Plassering av Sørvest A i HF-radarenes dekningsområde

## Verdi og påvirkning

Interferens fra vindturbiner i Sørvest A området vil kunne forstyrre fremtidige Havstrømradarer på sørvestkysten av Norge 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 A er at det blir betydelig mindre radielle hastighetsmålinger tilgjengelig. Arealet som går tapt fra hver HF-radar tilsvarer halvsirkler med bredde som størrelsen på Sørvest A og radius fra Sørvest A til de respektive radarene. Dette arealet er vesentlig større enn området Sørvest A.

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 A for havstrømradata er Alvorlig, Kode -4.

Kompenserende tiltak for å redusere konsekvensene av Sørvest A 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.
- 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 Sørvest 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 Sørvest A

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 Sørvest B

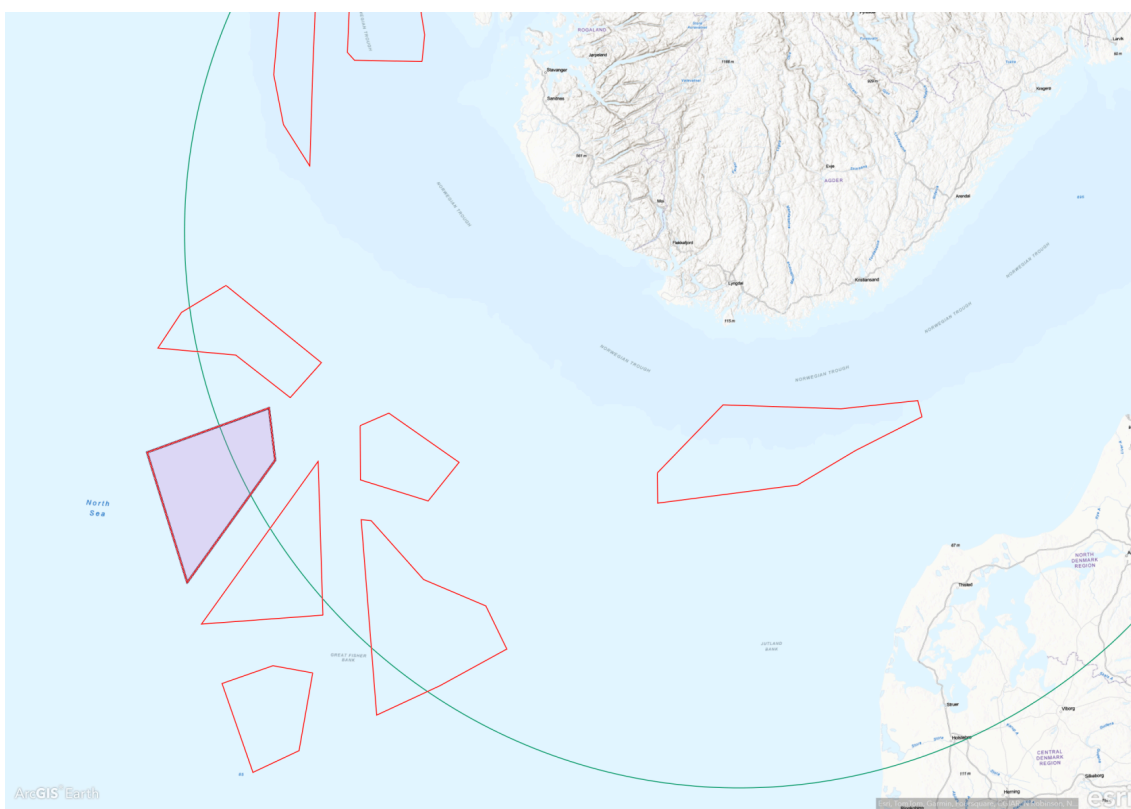
## Sammendrag

Sørvest B ligger delvis innenfor dekningsområdet til Hægebostad værradar. Vi er usikker på hvor ofte vi vil oppleve forstyrrelser i radardataene innenfor dekningsområdet, og hvor sterke forstyrrelsene vil bli. Vi forventer ikke forstyrrelser i områdene utenfor radarens dekningsområde.

## Værradar

### Identifiserte verdier

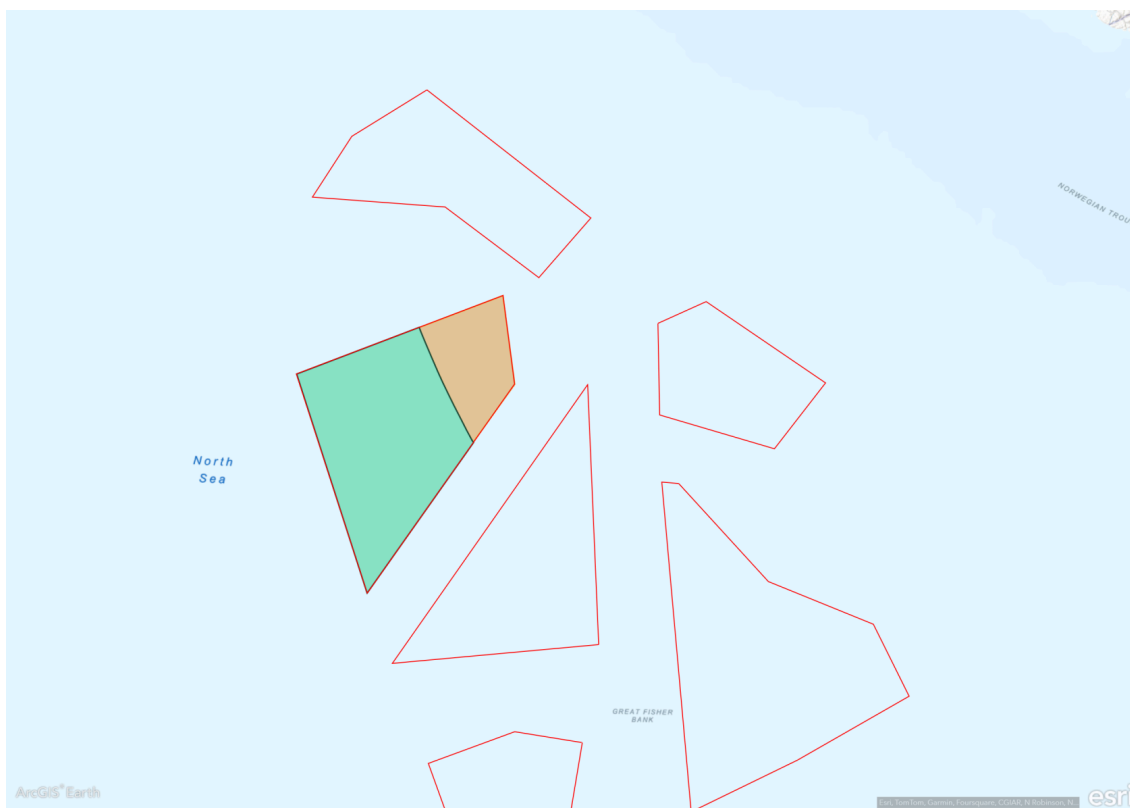
Deler av området er innenfor dekningsområdet til Hægebostad værradar. Se oversikt i figur 8



Figur 8: Viser Sørvest B sammen med dekningsområdet for Hægebostad værradar (grønt). Radius for dekningsområdet er 240km

## Verdi og påvirkning

Deler av Sørvest B er innenfor dekningsområdet til Hægebostad værradar. Disse delene av Sørvest B gis verdi -1. Områder som ikke er innenfor dekningsområdet til Hægebostad værradar settes til 0.



Figur 9: Viser verdier for Sørvest B. Orange er verdi -1 mens grønt er verdi 0.

## Konsekvenser

### Forstyrrelser i værradardata

Vi er usikre på om en vindkraftutbygging vil gi forstyrrelser innenfor dekningsområdet til Hægebostad værradar i deler av tiden.

## Kunnskapsmangler for Sørvest B

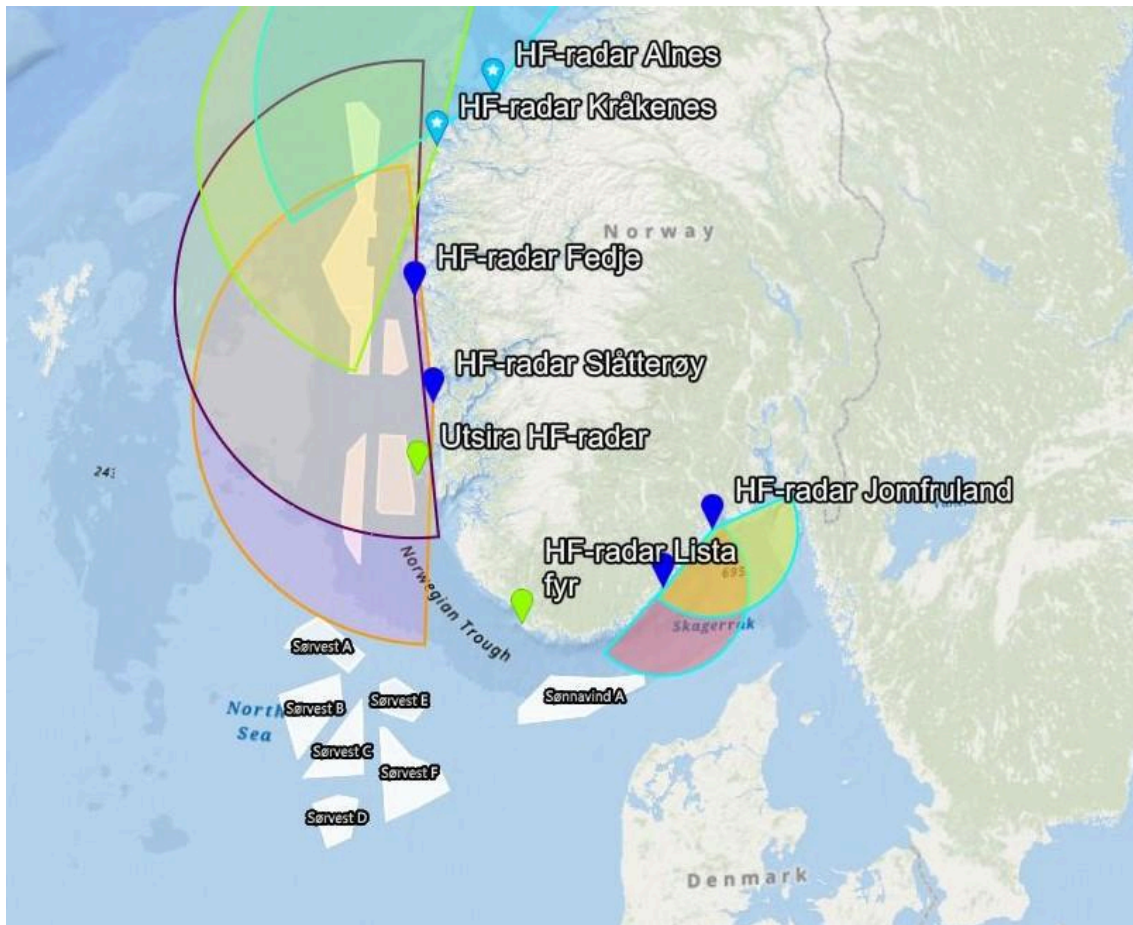
### **-Turbinstørrelse og vindparkstørrelse**

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 km<sup>2</sup>, med en avstand på 10 km mellom vindparkene. Vi har i Norge ingen erfaring med anlegg på størrelse med Sørvest B og vi har heller ikke algoritmer klare for å bruke observasjoner fra andre instrumenter som en erstatning for radardataene hvis det skulle vise seg at vi opplever forstyrrelser.

# Havstrømradar

## Identifiserte verdier

Hele det foreslåtte området Sørvest B ligger utenfor dekningsområdet til HF-radarene som MET har i drift i dag. Se figur 10 for oversikt. Men store deler av området ligger innenfor fremtidige HF-radarer på sørvest-kysten av Norge.



Figur 10: Plassering av Sørvest B i HF-radarenes dekningsområde

## Verdi og påvirkning

Interferens fra vindturbiner i Sørvest B området vil kunne forstyrre fremtidige Havstrømradarer på sørvestkysten av Norge 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 B er at det blir betydelig mindre radielle hastighetsmålinger tilgjengelig. Arealet som går tapt fra hver HF-radar tilsvarer halvsirkler med bredde som størrelsen på Sørvest B og radius fra Sørvest B til de respektive radarene. Dette arealet er vesentlig større enn området Sørvest B.

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 B for havstrømradataene er Alvorlig, Kode -4.

Kompenserende tiltak for å redusere konsekvensene av Sørvest B på havstrømradataene 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.
- 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 Sørvest B 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 Sørvest B

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 Sørvest C

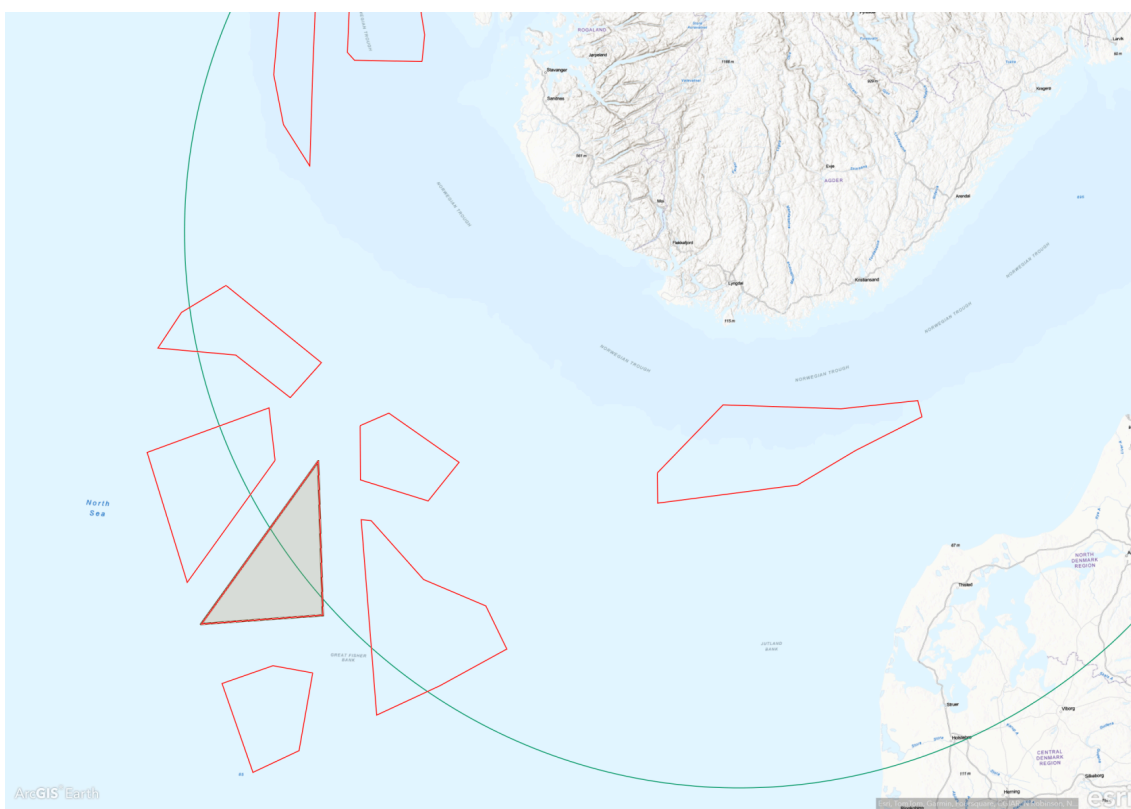
## Sammendrag

Sørvest C ligger delvis innenfor dekningsområdet til Hægebostad værradar. Vi er usikre på hvor ofte vi vil oppleve forstyrrelser i radardataene innenfor dekningsområdet, og hvor sterke forstyrrelsene vil bli. Vi forventer ikke forstyrrelser i området utenfor radarens dekningsområde.

## Værradar

### Identifiserte verdier

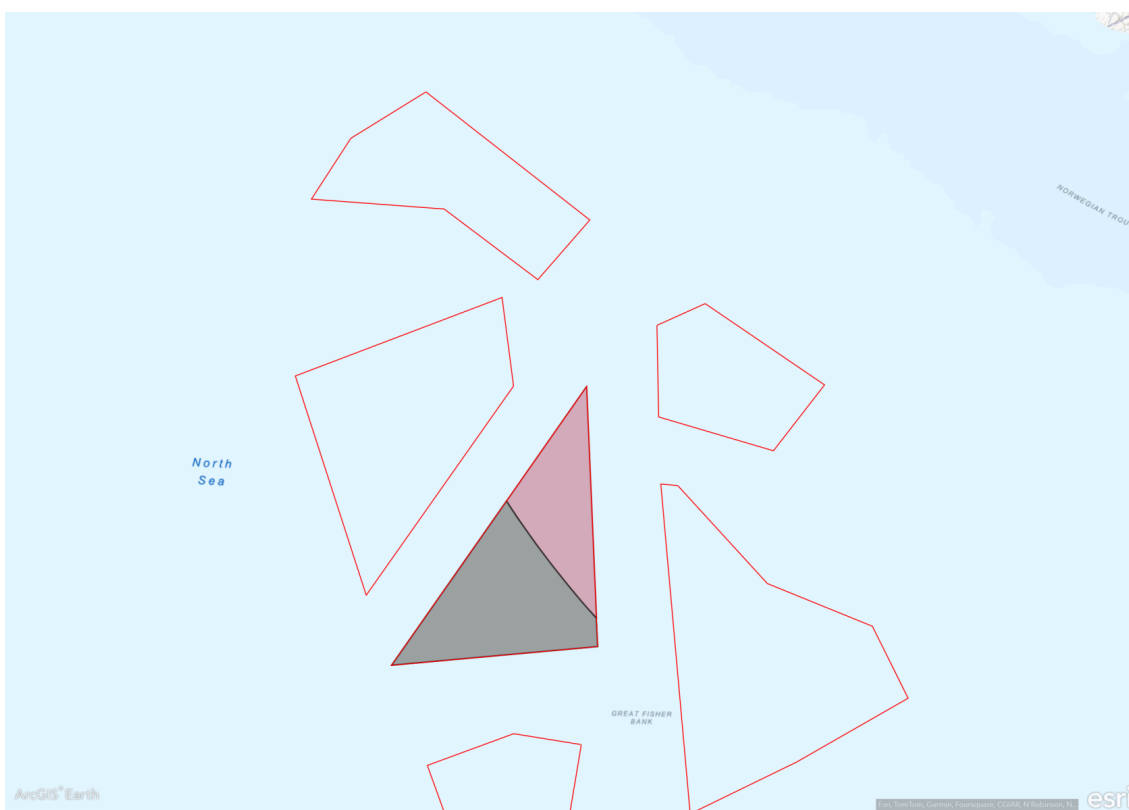
Deler av området er innenfor dekningsområdet til Hægebostad værradar. Se oversikt i figur 11



Figur 11: Viser Sørvest C sammen med dekningsområdet for Hægebostad værradar (grønt). Dekningsradius for værradaren er 240km.

## Verdi og påvirkning

Deler av Sørvest A er innenfor dekningsområdet til Hægebostad værradar. Disse delene av Sørvest A gis verdi -1. Områder som ikke er innenfor dekningsområdet til Hægebostad værradar settes til 0.



Figur 12: Viser verdier for Sørvest A. Rosa er verdi -1 mens grått er verdi 0

## Konsekvenser

### Forstyrrelser i værradardata

Vi er usikre på om en vindkraftutbygging vil gi forstyrrelser innenfor dekningsområdet til Hægebostad værradar i deler av tiden.

## Kunnskapsmangler for Sørvest C

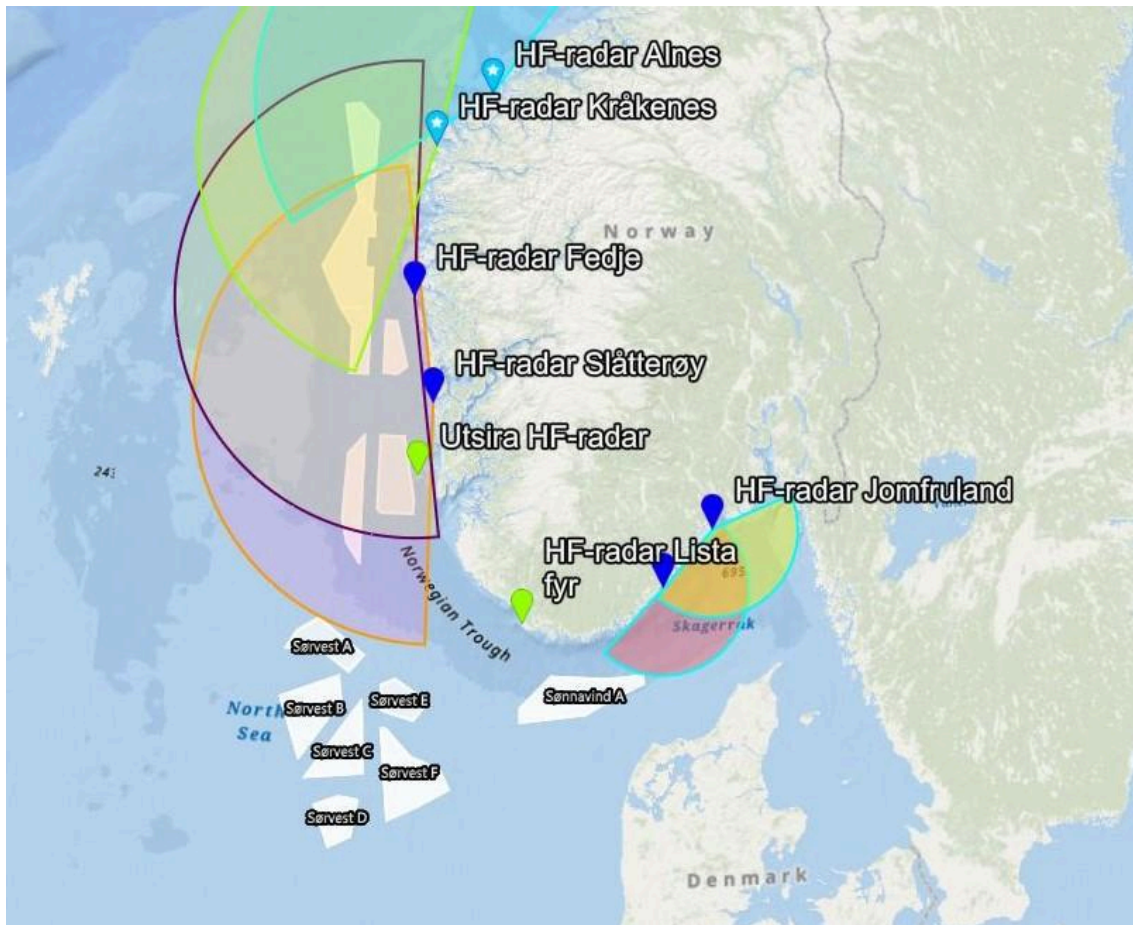
### **-Turbinstørrelse og vindparkstørrelse**

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 km<sup>2</sup>, med en avstand på 10 km mellom vindparkene. Vi har i Norge ingen erfaring med anlegg på størrelse med Sørvest C og vi har heller ikke algoritmer klare for å bruke observasjoner fra andre instrumenter som en erstatning for radardataene hvis det skulle vise seg at vi opplever forstyrrelser.

# Havstrømradar

## Identifiserte verdier

Hele det foreslåtte området Sørvest C ligger utenfor dekningsområdet til HF-radarene som MET har i drift i dag. Se figur 13 for oversikt. Men store deler av området ligger innenfor fremtidige HF-radarer på sørvest-kysten av Norge.



Figur 13: Plassering av Sørvest C i HF-radarenes dekningsområde

## Verdi og påvirkning

Interferens fra vindturbiner i Sørvest C området vil kunne forstyrre fremtidige Havstrømradarer på sørvestkysten av Norge 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 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 Sørvest C og radius fra Sørvest C til de respektive radarene. Dette arealet er vesentlig større enn området Sørvest 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 Sørvest C for havstrømradarene er Alvorlig, Kode -4.

Kompenserende tiltak for å redusere konsekvensene av Sørvest C 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 et havområde uten data. MET må få kompensert kostnadene for ny programvare til HF-radarene.
- 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 Sørvest 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 Sørvest 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 Sørvest D

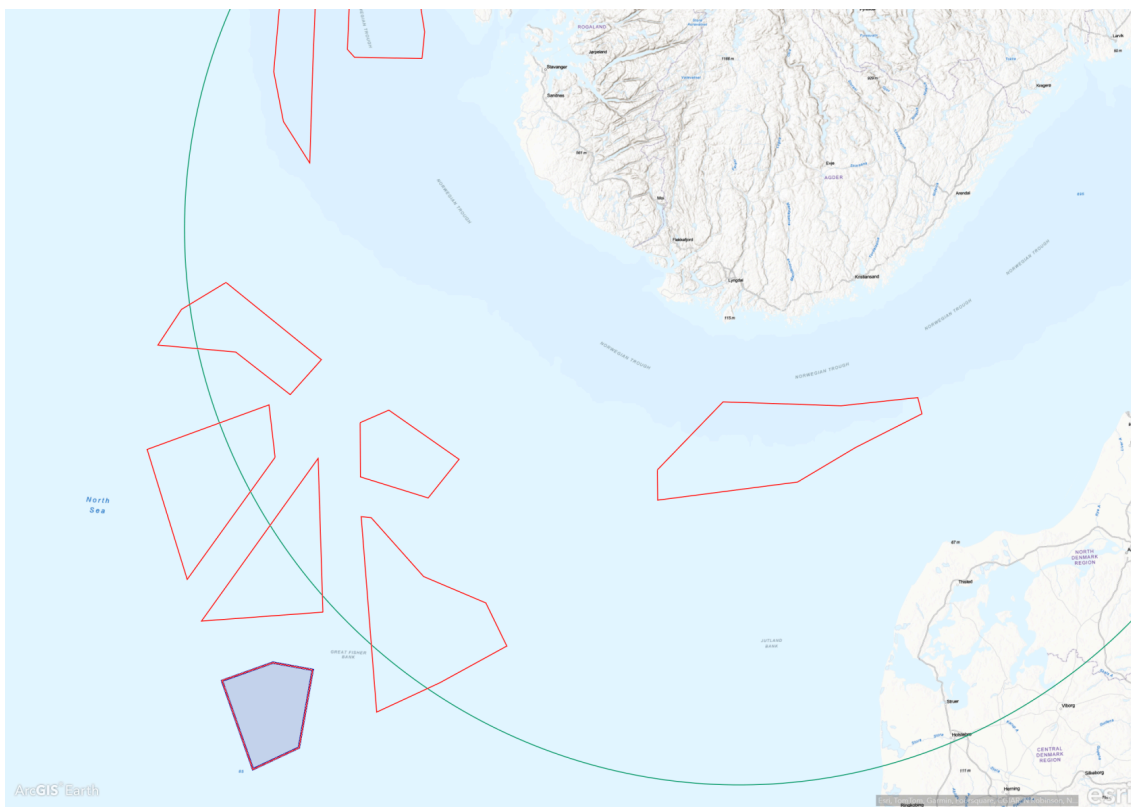
## Sammendrag

Sørvest D ligger utenfor dekningsområdet til Hægebostad værradar. Vi forventer ingen konsekvenser for værradar data, og verdi settes til 0.

## Værradar

### Identifiserte verdier

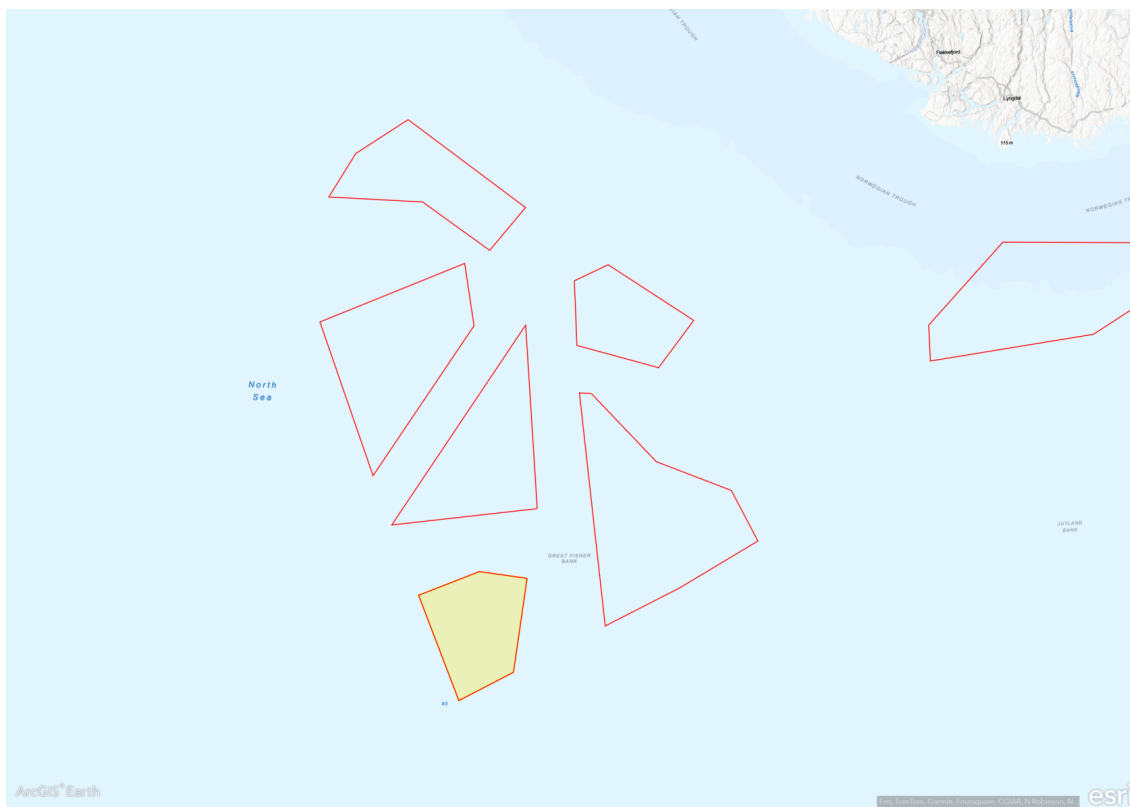
Hele området ligger utenfor dekningsområdet til Hægebostad værradar. Se oversikt i figur 14



Figur 14: Viser Sørvest D sammen med dekningsområdet for Hægebostad værradar (grønt). Dekkningsradius for Hægebostad værradar er 240km.

## Verdi og påvirkning

Verdien av Sørvest D settes til 0.



Figur 15: Sørvest D i gult. Verdien er 0.

## Konsekvenser

### Forstyrrelser i værradar data

Vi forventer ingen konsekvenser for værradar data ved utbygging av sørvest D

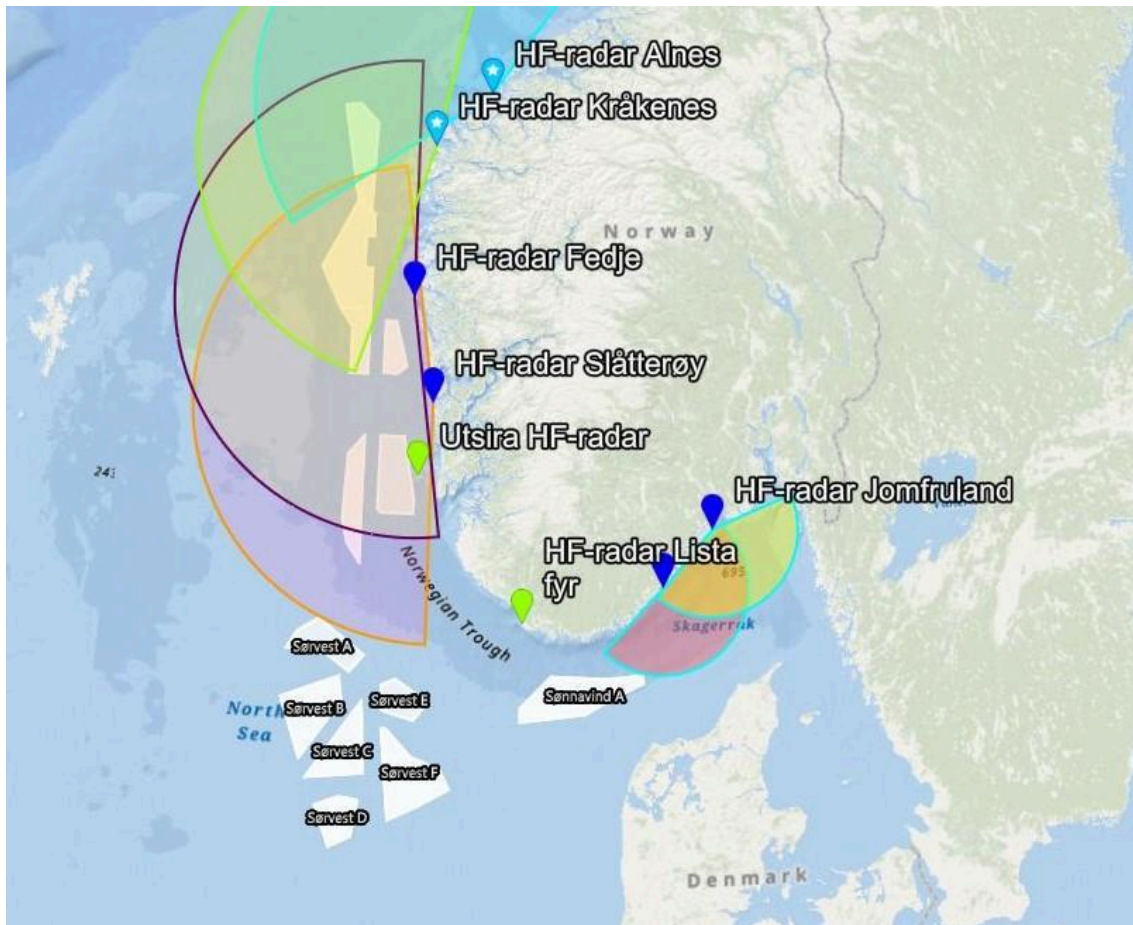
## Kunnskapsmangler for Sørvest D

En utbygging av Sørvest D vil i utgangspunktet ikke gi noen konsekvenser for værradar data. Større vindparker kan imidlertid redusere vinden i områder bak vindparken, noe som igjen kan påvirke andre utbyggingsområder.

## Havstrømradar

### Identifiserte verdier

Hele det foreslåtte området Sørvest D ligger utenfor dekningsområdet til HF-radarene som MET har i drift i dag. Se figur 16 for oversikt. Avstanden fra land til Sørvest D er også større enn rekkevidden til dagens HF-radarer.



Figur 16: Plassering av Sørvest D i HF-radarenes dekningsområde

### Verdi og påvirkning

Vindturbiner i Sørvest D vil ikke påvirke HF-radarer.

## Konsekvenser

Vi vurderer at det ikke har noen konsekvenser for HF-radar med full utbygging av Sørvest D, Kode 0.

# Vurdering av Sørvest E

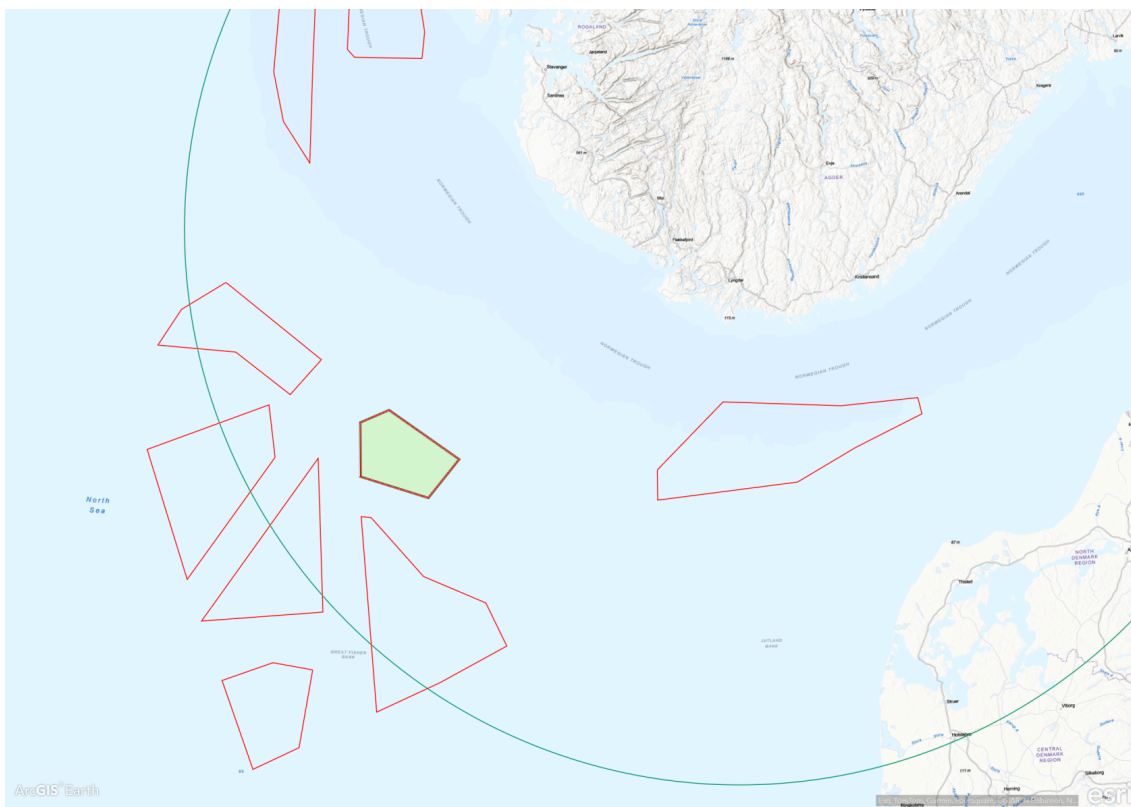
## Sammendrag

Sørvest E ligger innenfor dekningsradius til Hægebostad værradar. Verdi settes til -1.  
Vi er usikre på om en utbygging i perioder vil gi forstyrrelser i værradardataene.

## Værradar

### Identifiserte verdier

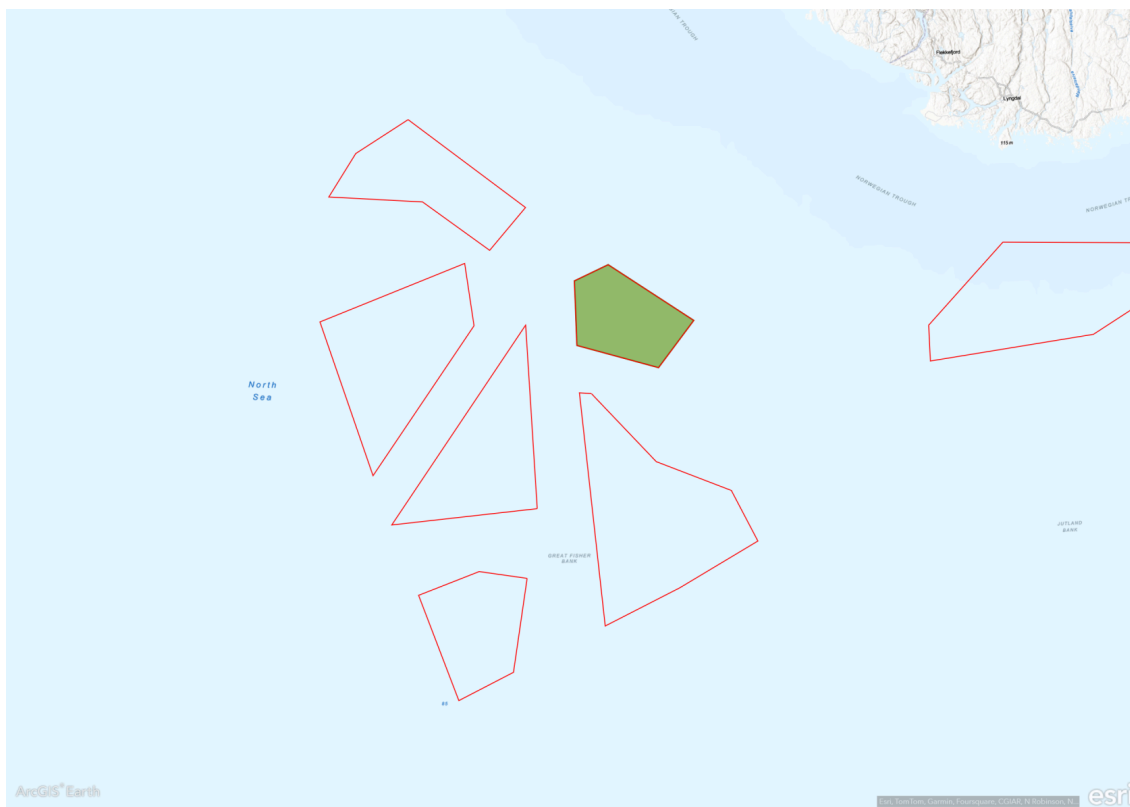
Hele området er innenfor dekningsområdet til Hægebostad værradar. Se oversikt i figur 17



Figur 17: Viser Sørvest E sammen med dekningsområdet for Hægebostad værradar (grønt). Radius for dekningsområdet er 240km.

## Verdi og påvirkning

Sørvest E er innenfor dekningsområdet til Hægebostad værradar og gis verdi -1.



Figur 18: Viser verdier for Sørvest E. Grønt område har verdi -1.

## Konsekvenser

### Forstyrrelser i værradardata

Vi er usikre på om en vindkraftutbygging vil gi forstyrrelser i deler av tiden, samt hvor sterke forstyrrelsene vil være.

## Kunnskapsmangler for Sørvest E

### -Turbinstørrelse og vindparkstørrelse

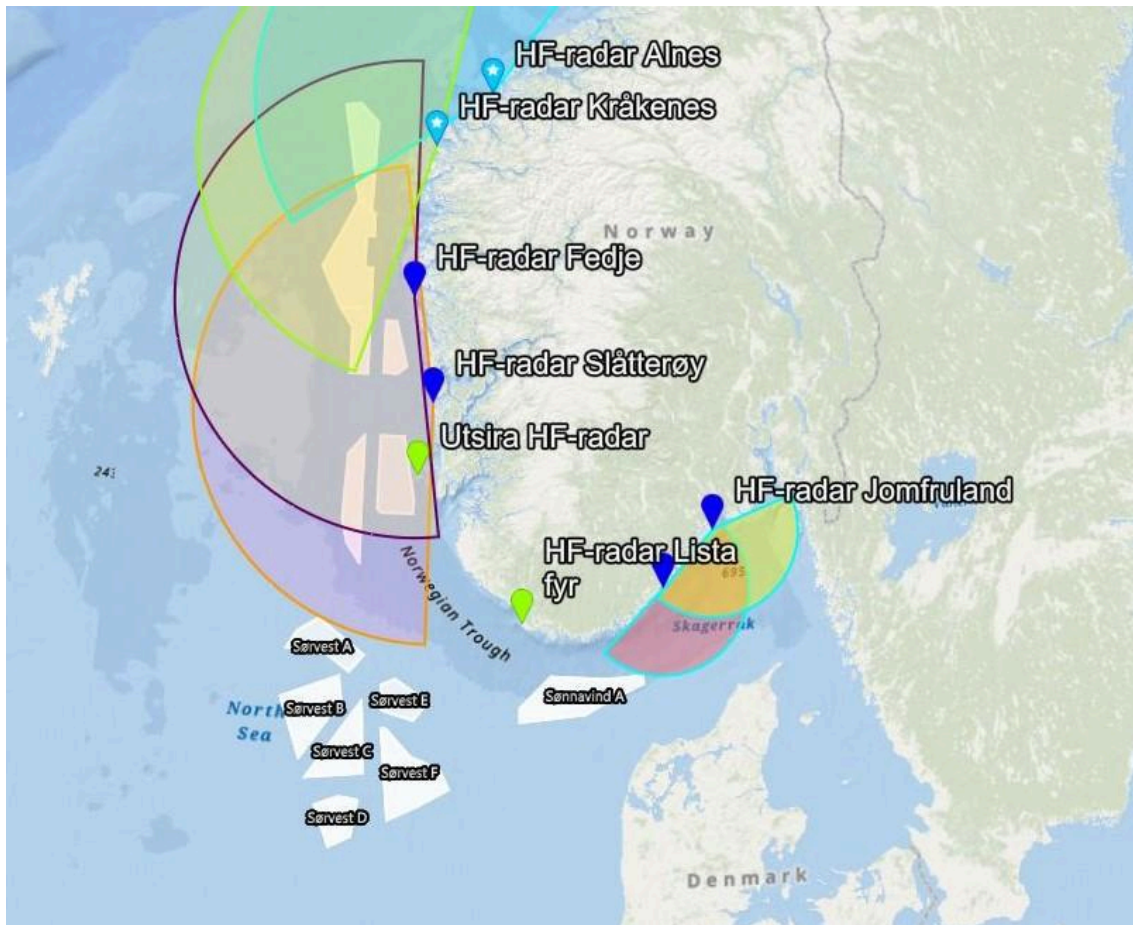
Det finnes i dag ingen meteorologisk erfaring med utbygging av vindparker av dette omfanget og størrelse og turbiner av denne størrelsen. Det finnes anbefalinger om at vindparker ikke skal være større enn 10 km<sup>2</sup>, med en avstand på 10 km mellom vindparkene. Vi har i Norge ingen erfaring med anlegg på størrelse med Sørvest E, og vi har heller ikke algoritmer klare for å bruke observasjoner fra andre instrumenter som

en erstatning for radardataene hvis det skulle vise seg at vindparken vil forstyrre radardataene.

## Havstrømradar

### Identifiserte verdier

Hele det foreslåtte området Sørvest E ligger utenfor dekningsområdet til HF-radarene som MET har i drift i dag. Se figur 19 for oversikt. Men området ligger innenfor fremtidige HF-radarer på sørvest-kysten av Norge.



Figur 19: Plassering av Sørvest E i HF-radarenes dekningsområde

### Verdi og påvirkning

Interferens fra vindturbiner i Sørvest E området vil kunne forstyrre fremtidige Havstrømradarer på sørvestkysten av Norge 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 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 Sørvest E og radius fra Sørvest E til de respektive radarene. Dette arealet er vesentlig større enn området Sørvest 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 Sørvest E for havstrømrådarene er Alvorlig, Kode -4.

Kompenserende tiltak for å redusere konsekvensene av Sørvest E 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.
- 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 Sørvest E 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 Sørvest 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.