

Dybde og kompliserte bunnforhold gjør havvind i Norge dyrere enn i Europa

Energiavdelingen - Ann Myhrer Østenby

Regjeringen har foreslått å åpne to områder for bygging av havvind: Sandskallen-Sørøya nord, som passer for både flytende og bunnfast teknologi, og Utsira nord som bare passer for flytende. I tillegg er det bedt om innspill på åpning av et tredje område, Sørlige Nordsjø II.

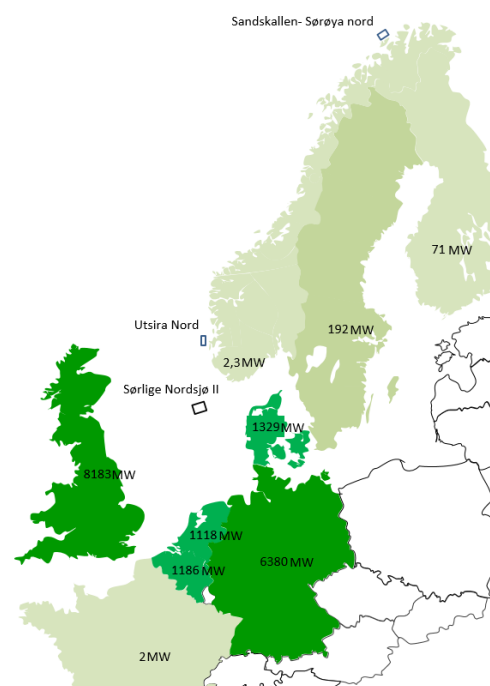
Så å si alt av havvind som er bygget ut eller som er under utbygging i verden i dag er bunnfast. NVEs analyser viser at det koster mer å bygge bunnfast havvind i Norge, enn det som er gjennomsnittskostnaden for de områdene hvor det bygges bunnfast havvind i Europa i dag. En av de viktigste grunnene til det er at de norske havområdene er dype og har kompliserte bunnforhold. Dybde er den enkeltfaktoren som bidrar mest til å øke kostnadene for bygging av havvind. På grunn av havdybden er det største potensiale for havvind i Norge i form av flytende havvind. Flytende havvind er imidlertid vesentlig dyrere enn bunnfast havvind.

Bunnfast havvindteknologi er godt etablert, flytende havvind er fortsatt i oppstartsfasen

Havvindturbiner kan være enten flytende eller bunnfaste. I dag finnes det over 23 000 MW installert havvind i verden¹. Omtrent 80 % av dette ligger i Europa, hvor det meste ligger i Storbritannia og Tyskland (Figur 1). Så og si alt er bunnfast. Det finnes om lag 55 MW flytende havvind i verden, og alle disse prosjektene er bygget som demonstrasjonsprosjekter. Bunnfast havvind er modent, mens flytende havvind fortsatt er en umoden teknologi som i dag kun er på demonstrasjonsstadiet. Det jobbes i dag med å kommersialisere også flytende havvind.

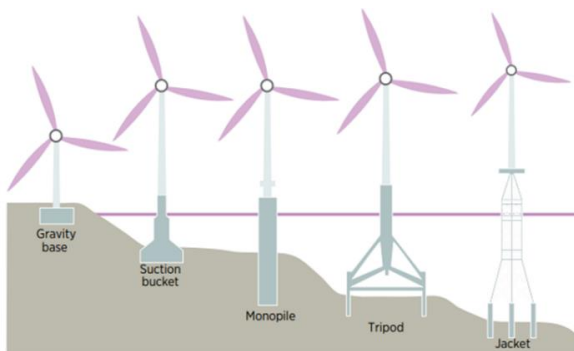
Bunnfast havvind kan i dag benyttes ned til 60 meter dybde. Den historiske teknologit utviklingen har gjort det mulig å bygge bunnfast havvind på stadig dypere vann, og denne utviklingen kan se ut til å fortsette framover. Det er et stort potensiale for å bygge ut havvind i Europa, men store deler av de gjenværende områdene er dypere enn 60 meter.

Det finnes mange forskjellige fundamenter for bunnfast havvind, som vist i Figur 2. Valg av fundament avhenger både av havdybden og bunnforholdene på stedet der vindturbinen skal plasseres. For bunnfast havvind er det en forutsetning at bunnforholdene er stabile, slik at fundamentet kan festes godt til bunnen. Hvis havbunnen er steinete, kan noen fundamenttyper være problematiske å installere.



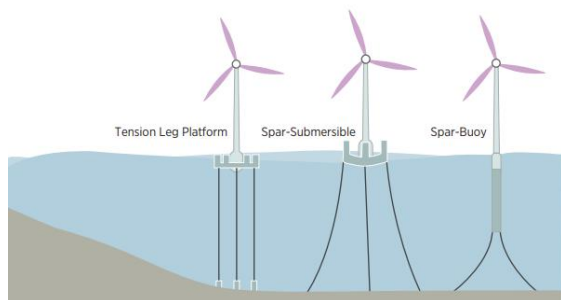
Figur 1: Fordeling av havvind i Europa og norske områder som er foreslått åpnet for havvind

¹ IRENA (Renewable capacity statistics 2019)



Figur 2: Ulike bunnfaste fundamenttyper. Kilde: IRENA

Ved havdyp dypere enn 60 meter, må det i dag brukes flytende fundamenter. Det forskes på ulike teknologier for flytende fundamenter, og noen av disse er illustrert i Figur 3. Fundamentet må gi stabilitet til å stå imot sterke naturkrefter som høye bølger, strømninger og utfordrende vindforhold. Spar buoy-teknologien er kanskje den mest suksessfulle så langt, med ett enkelt element som stikker opptil 100 meter ned i vannet. Denne er blant annet benyttet i vindparken Hywind Scotland. Alle fundamentvariantene er fortsatt på et tidlig utviklingsstadium, og det er ikke tydelig hvilke som blir de mest aktuelle i framtiden.



Figur 3: Ulike flytende fundamenttyper. Kilde: IRENA

Flytende havvind kan også brukes på grunt vann hvis havbunnen gjør det vanskelig og dyrt å installere bunnfaste turbiner, noe som kan være aktuelt i Norge. Flytende installasjoner er mindre skadelige for havbunnen enn bunnfaste.

Vindparker til havs trenger en transformatorstasjon i nærheten av vindturbinene. For å bygge fundamenter og transformatorstasjoner kan det brukes samme design som det som allerede brukes i petroleumsindustrien idag.

Bunnfast havvind er dyrere enn landbasert vindkraft

Bunnfast havvind er dyrere enn å bygge landbasert vindkraft. Utbyggingskostnaden overstiger kraftprisen i de fleste land, og flere land i Europa bruker auksjonssystemer for å utløse bygging av havvind. De siste årene har auksjonsprisene falt fort. NVE har beskrevet dette i *faktaark 6/2019*.

For å vurdere hva kostnadene for bunnfast havvind kan være i Norge, har NVE analysert mulige prosjekter i to av områdene regjeringen har foreslått å åpne for bygging av havvind: Sandskallen-Sørøya nord og Sørlige Nordsjø II. Begge disse områdene er valgt fordi de er grunne nok til å være egnet for bunnfast teknologi. Det tredje området som regjeringen har foreslått, Utsira nord, er kun egnet for flytende vindkraft. Disse eksempelprosjektene får, ved våre beregninger, en høyere energikostnad over anleggets levetid (LCOE) enn gjennomsnittet av bunnfaste havvindparker i Europa, og en mye høyere kostnad enn landbaserte vindparker i Norge. Eventuelle forundersøkelser for området og omformere til likestrømskabel er ikke inkludert i kostnadsanslagene. Dette er vist i Figur 4.



Figur 4: Kostnader for havvind i tenkte prosjekter sammenlignet med gjennomsnitt av utbygde prosjekter 2018

Grunnen til at disse eksempelprosjektene har høyere kostnad enn gjennomsnittet i Europa er at de ligger lenger fra land og i dypere sjø. Dette er vist i tabellen nedenfor.

Tabell 1: Egenskaper for eksempelprosjektene sammenlignet med et europeisk gjennomsnittsprosjekt.

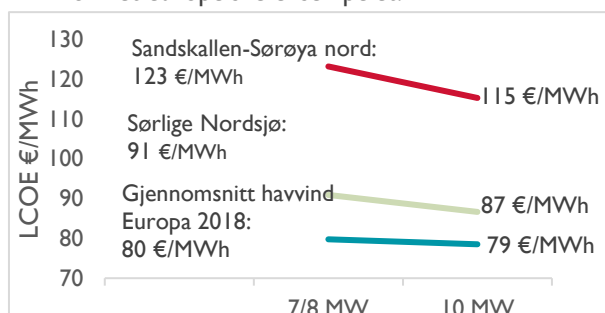
	Land-basert vind i Norge 2018	Gjennomsnitt bygget ut i Europa 2018	Sørlige Nordsjø II	Sandskallen Sørøya nord
Gjennomsnittsdypde [m]	-	27	60	89
Distanse fra land [km]	-	33	140	14
Størrelse på park [MW]	506	560	1500	200
Snittvind	8,1	9,3	10,5	10,2

Kostnadene for bunnfast havvind faller fort

Kostnadene for å bygge bunnfast havvind har falt mye på kort tid, og vi forventer at de kommer til å fortsette å falle. Noen av de viktigste driverne for kostnadsfallet har vært større turbiner, ny teknologi, forbedringer i fundamentdesign og erfaringer fra og forbedringer i installasjons- og byggeprosessen. Gjennomsnittlig størrelse på havvindturbiner som ble installert i Europa i 2018 var 6,8 MW. For bare få år siden var turbinene på maksimalt 4 MW. Nå testes havvindturbiner på 12 MW. Denne økningen fører til

bygging av færre vindturbiner for å produsere like mye kraft. Dermed reduseres kostnadene for infrastrukturen, som fundament og sjøkabel mellom turbiner. De samme turbinene kan brukes i både flytende og bunnfaste havvindparker, men gjennomsnittsstørrelsen for flytende turbiner ligger litt bak bunnfaste. Turbiner som brukes til havs er normalt større enn turbiner som monteres på land, fordi det er lettere å transportere store komponenter til sjøs enn på land.

I Figur 5 under har vi brukt turbiner på 8 MW som utgangspunkt i de to norske områdene vi har sett på, og 6,8 MW for det europeiske eksempelet.



Figur 5: Sensitivitetsanalyse av turbinstørrelse

Vi har analysert hvilke faktorer som påvirker kostnadene for bygging av havvind. Ved å øke turbinstørrelsen til 10 MW for alle eksempelprosjektene, samtidig som vi holdt totalstørrelsen til vindparkene lik, vil vindparkene få færre turbiner. Kostnaden går da ned med mellom 2 og 7 prosent.

I alle eksempelprosjektene var det fundamentkostnaden som falt mest med økt turbinstørrelse. For den minste av parkene, Sandskallen-Sørøya nord, ble reduksjonen av levetidskostnad (LCOE) størst. For gjennomsnittet av de europeiske havvindparkerne var endringen liten. Det kan komme av at fundamentkostnaden i utgangspunktet var lavest for dette eksempelet.

Tabell 2: Fordeling av investeringskostnader for vindkraftteknologier

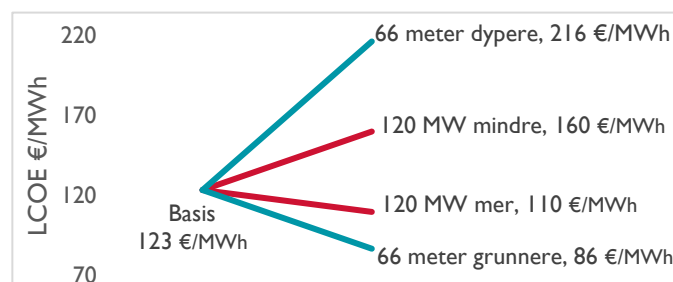
	Landbasert vind	Bunnfast havvind	Flytende havvind
Turbin	70 %	33 %	24 %
Infrastruktur	25 %	50 %	60 %
Finanskostnader og prosjektutvikling	5 %	17 %	16 %

Tabell 2 viser at infrastrukturkostnadene for bunnfast havvind utgjør en større andel av totalkostnadene enn for landbasert vindkraft. Infrastrukturkostnadene består hovedsakelig av fundament, nettkostnader og transformatorstasjon.

Størrelse på vindpark og havdybde viktigste kostnadsdrivere

Kostnaden for å bygge bunnfast havvind er svært avhengig av havdybde på grunn av fundamenskostnaden. Jo dypere det er, jo større fundament behøver man å installere. I tillegg blir den elektrisk infrastrukturen også dyrere når det er dypere vann. På den andre siden er verken produksjonen eller driftskostnadene påvirket av dybden. I de områdene der det er aktuelt å bygge havvind i Norge er det i mange tilfeller dypere enn der mye havvind bygges i Europa. Det er også kompliserte bunnforhold flere steder i Norge.

Vi har analysert Sandskallen-Sørøya nord og ser i Figur 6 at dybden er den enkeltfaktoren som har mest å si for levetidskostnaden.



Figur 6: Sensitivitetsanalyse av Sandskallen-Sørøya nord

Vi har sett på hva det gjør med kostnadene å installere vindturbiner i det grunneste området av Sandskallen-Sørøya nord i stedet for på gjennomsnittsdypden (89 m). Vi har også analysert hvor mye dyrere det vil være å bygge turbiner hvis det var mulig å bygge bunnfast i tilsvarende dypere områder.

I 2007 var en typisk bunnfast havvindpark på 80 MW, mens i 2018 lå gjennomsnittet på 560 MW. I analysen vår er Sandskallen-Sørøya nord på 200 MW. For å analysere endring i parkstørrelse, har vi endret størrelsen på Sandskallen-Sørøya nord opp og ned med 120 MW, ved å redusere antall turbiner. Dette gir store utslag i kostnadene. Å øke antall turbiner reduserer kostnadene med 11 prosent, mens en reduksjon av parken øker kostnadene med 30 prosent. Den viktigste grunnen til dette er at kostnaden for elektrisk infrastruktur blir lavere per produserte kilowattime. Færre turbiner må dele på omtrent de samme infrastrukturkostnadene. Også driftskostnadene per produserte kilowattime er betraktelig lavere i en park med flere vindturbiner, fordi mange av driftsutgiftene er de samme uavhengig av hvor stor vindparken er.

Gjennomsnittsvind og avstand til land mindre kostnadsdrivende

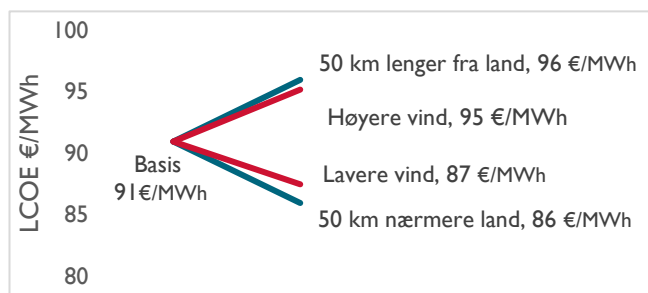
Distansen til land og gjennomsnittsvinden påvirker også levetidskostnadene for vindkraft til havs. For å finne ut hvor mye distanse fra land og gjennomsnittsvind har å si for

levetidskostnaden, har vi brukt Sørliche Nordsjø II som eksempel.

Ved økt distanse trenger man lengre sjøkabel, og i tillegg vil alle operasjoner under installasjon, drift og vedlikehold behøve lenger tid til transport. 10 km ekstra distanse fra land utgjør likevel kun 1 €/MWh i levetidskostnad.

Grunnen til at dette har så lite å si, ser ut til å være at den dyreste delen av infrastrukturen er transformatorstasjonen. Denne må man ha uansett hvor langt fra land parken ligger.

Lang distanse kombinert med at det skal transporteres store mengder kraft, kan utløse behov for å benytte likestrømskabler i stedet for vekselstrømskabler. Hvor langt fra land det vil være mer aktuelt med likestrømskabel enn vekselstrømskabel avhenger av mengden kraft som transporteres. I modellen vi har brukt er det kun inkludert vekselstrømskabler, mens distansen til Sørliche Nordsjø II tilsier at likestrømskabler bør benyttes. I tillegg at kabelkostnadene vil være ulike for de to teknologiene, må man innstallere omformere i begge ender av overføringskabelen når man bruker likestrøm. I så fall kan distansen fra land påvirke LCOE mer enn resultatene viser.



Figur 7: Sensitivitetsanalyse av Sørliche Nordsjø II

Gjennomsnittsvinden påvirker inntektsiden til kraftverket, ved at økt gjennomsnittsvind gir høyere årsproduksjon av kraft. Vi har justert snittvinden opp og ned med 0,5 m/s. Dette påvirker levetidskostnaden under 5 % i begge retninger, og har dermed relativt lite å si.

Flytende havvind er i dag kun på demonstrasjonsstadium

Flytende havvind er fortsatt dyrere å bygge ut enn bunnfast, og det finnes ingen kommersielle flytende havvindprosjekter i verden i dag. Da all flytende havvind så langt

Forutsetninger:

Kostnadsmodell utarbeidet av ORE Catapult og IEA Wind TCP Task 26, der NVE deltar. Kostnadene er hentet inn av internasjonale eksperter, og reflekterer kostnadsnivået fra 2017 for alle deler av en bunnfast vindpark med vekselstrømskabel og transformatorstasjon.

Gjennomsnittsverdier fra de ulike prosjektene er lagt inn i modellen. Disse dataene er: størrelse på vindpark og turbin, snittvind, distanse fra land og havdybde. Vi har brukt 6 % kalkulasjonsrente og 30 års levetid for alle prosjektene.

kun har vært demonstrasjonsprosjekter, kjenner vi ikke godt til de detaljerte utbyggingskostnadene. Vi forventer imidlertid at kostnadene vil falle når prosjektene blir større og teknologien mer moden.

Det er forventet at industrier som leverer fortøyning, kabling og installasjon i særlig grad vil bidra til å senke kostnadene for flytende havvind. Kabling og fortøyning er kritiske deler av installasjonsprosessen og har i dag det største potensialet for kostnadsreduksjon. I driftsfasen vil både turbinen og flyteelementet være i bevegelse, og dette øker lasten på de bevegelige delene av kablene. I dypt vann kan det også være vanskelig å legge sjøkablene mellom turbinene og til land.

Drift- og vedlikeholdskostnader er en utfordring for alle typer havvind

Kostnader for drift og vedlikehold av vindkraft til havs er vesentlig høyere enn tilsvarende kostnader for landbasert vind. Dette kommer av at man behøver spesialbygde båter for å transportere komponenter og personell ut til vindparken. Det er kun mulig å gjøre vedlikehold når været tillater at personell transporteres til vindparken. Høye bølger og sterk vind kan gjøre det vanskelig å flytte seg fra en båt og over til turbinen. Det kan derfor ta lang tid fra en feil oppstår til den kan repareres. Dette gjør at turbinene kan ha lang nedetid, og at man taper mye kraftproduksjon. De fleste nyere bunnfaste turbiner har helikopterplattform. Da kan man slippe bruk av båt og transport på sjøen, men kan gjøre transporten dyrere.

Et forhold som i fremtiden kan være med å trekke kostnadene for flytende vindkraft ned, er hvis turbinen kan slepes fra land til stedet den skal monteres. Dette gjør at installasjonen av turbinen kan gjøres i en havn, og at færre operasjoner som krever spesialutstyr må gjøres ute på havet. Da reduseres risikoen for å måtte vente på land hvis det er for dårlig vær til å arbeide ute til havs på turbinene.

Ved store reparasjoner og omfattende vedlikehold kan turbinene også slepes tilbake til land. Men dette krever at fartøy som kan taue turbinene til og fra havnene er tilgjengelig. Hvis det er langt til en havn som kan brukes til dette formålet, kan kostnadene bli høyere enn når denne distansen er kort.

Nye og bedre metoder for å reparere så mange feil som mulig via fjernstyring kan gi mindre tap av kraftproduksjon. Preventivt vedlikehold bruker data fra eksisterende vindturbiner og sensorteologi til å forutse når feil kan oppstå. Vedlikeholdet kan da planlegges og bli utført før feilen oppstår, og i perioder det er lett å transportere personell til turbinen. Dette øker tilgjengeligheten. Få og kortvarige feil vil føre til at inntektene øker og energikostnaden over levetiden faller.