

Foresight rapport Offshore vindenergi

Stort program
Fremtidens rene energisystem - RENERGI

Store programmer

Forskningsrådets
satsing på nasjonalt
prioriterte områder

Foresight 2007

Offshore vindenergi

En rapport fra prosjektet Foresight 2007
i regi av RENERGI-programmet i Forskningsrådet.

-

En av tre delrapporter

Forord

Forskningen skal være nyttig i en fremtid vi ikke kan vite noe sikkert om. Noe av det viktigste Forskningsrådet gjør, er derfor å behandle fremtiden seriøst og systematisk. Foresight er et av flere metodiske virkemiddel som gjør dette mulig. Forskningsrådet gjorde dette for første gang på energifeltet i 2005, og foresightprosessen *Energi 2020+* var etter vår vurdering en givende prosess i den forstand at den gjennom en bred og kreativ prosess gav et godt fundament for de langsiktige vurderingene av våre forskningstemaer.

Prosessen i 2005 omfattet hele det mangfoldige energifeltet. Den runden vi nå har gått i 2007 er mer fokusert og gjort ut i fra et behov for å vurdere de langsiktige utviklingstrekkene på noen prioriterte forskningsområder:

1. Biodrivstoff
2. Bioenergi
3. Offshore vindkraft
4. Solelektrisk

Prosessene har vært krevende, men av mindre omfang og har inkludert færre folk enn sist. Den har blant annet innbefattet beskrivelser av *nåtilstand og idealiserte fremtidsbilder*. Denne beskrivelsen av en tilstand i fremtiden hvor vi har lyktes og hvor visjonene er blitt virkelighet, har så vært utgangspunkt for å svare på: Hva skjedde? Hva var de sentrale gjennombruddene? Hva var norske aktørers rolle? Hvilke beslutninger gjorde vi og når, for at dette skulle skje?

Konklusjonene står foresightgruppene selv ansvarlig for. Studiene vil gå inn som viktig underlagsmateriale i Forskningsrådets budsjettarbeid og programstyrenes strategi- og prioriteringsarbeid. De vil også brukes som sentrale innspill i *Energi21*-prosessen som er initiert av OED og som skal konkludere i februar 2008.

Forskningsrådet vil takke bedrifter, organisasjoner og enkeltpersoner som har bidratt med ressurser og kunnskap.

Oslo, september 2007

Anne Kjersti Fahlvik
Divisjonsdirektør
Norges Forskningsråd

Innhold

FORORD	2
SAMMENDRAG – ANBEFALINGER	4
1 INTRODUKSJON – FORESIGHT	6
2 NÅTILSTAND – HVOR STÅR VI I DAG	8
2.1 Vindkraftteknologi	8
2.2 Fundamentering av offshore vindturbiner.....	9
2.3 Nettintegrasjon av offshore vindparker	10
2.4 Markedspotensial på kort sikt.....	11
2.5 Utnyttelse av offshore vindkraft i Norge	12
2.6 Aktører i Norge.....	14
2.7 Muligheter og utfordringer	15
3 EN UTVIKLINGSVEI FOR NORSK OFFSHORE VINDKRAFT	17
4 FREMTIDSBILDET – KORT REKAPITULERING AV HVOR VI STÅR I 2027	20
4.1 En historie fra Nordsjøen anno 2027	20
4.2 Teknologi og de norske aktørenes roller	22
4.3 Områdets posisjon i den norske energibalansen	25
5 KONKLUSJONER	27
5.1 Forskningsprioriteringer	27
5.2 Tiltak	28
DELTAGERE I UTARBEIDELSEN AV RAPPORTEN	30
VEDLEGG A: DAGBLADET 24. FEBRUAR 2007 - "MÅNELANDING TIL SJØS"	31
VEDLEGG B: ILLUSTRASJON AV FREMTIDSBILDE	33

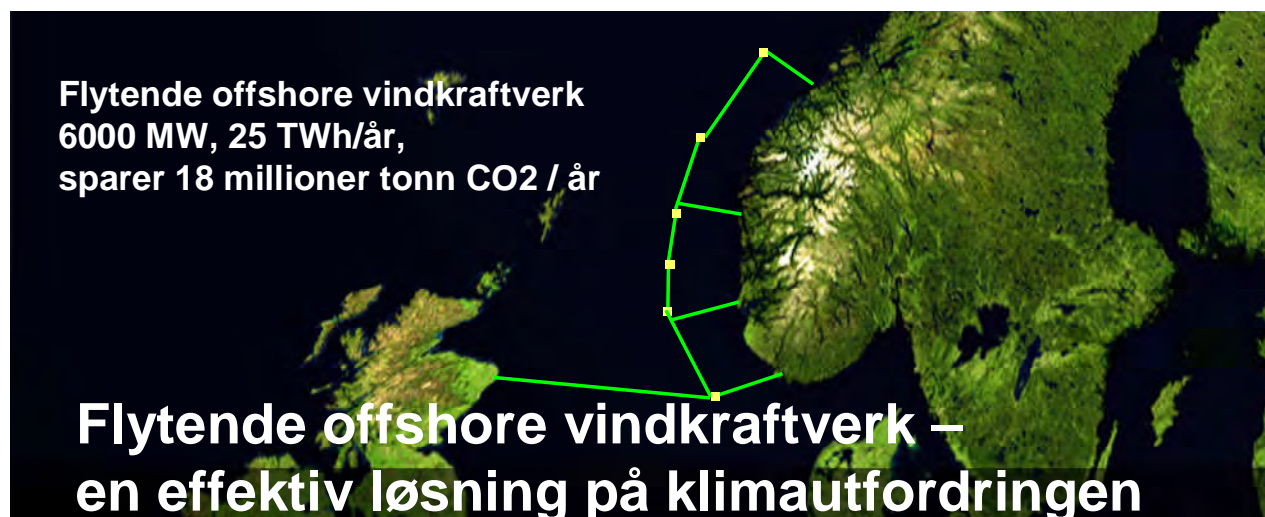
Sammendrag – anbefalinger

Denne rapporten omhandler offshore vindkraft, fortrinnsvis flytende konsept for dypt vann. Rapporten beskriver status og veien fram til en fremtidssituasjon omkring år 2027 der man har lyktes i forhold til de ambisjoner, muligheter og forventninger man ser innen offshore vindkraft på dypt vann. Rapporten omfatter:

- de norske aktørenes roller og posisjon (teknologileverandører, energiselskaper, mfl)
- leverandørenes posisjon, nasjonalt og internasjonalt
- områdets posisjon i den norske energibalansen
- teknologisk status (hvilke teknologiske utfordringer er løst / ikke løst)
- øvrige forhold som beskriver det idealiserte fremtidsbildet (institusjonelle, strukturelle, osv.)

Rapporten er utarbeidet som del av RENERGI Foresight 2007 og som opplegg for diskusjon i forhold til hvilke aksjoner, prioriteringer og andre tiltak som må til for å ende opp i den beskrevne fremtidssituasjonen.

Fremtidsbildet anno 2027 er illustrert i figuren under. Her antas at det er installert 6000 MW flytende offshore vindkraft utenfor norskekysten. Anleggene gir en årlig produksjon på 25 TWh og er tilknyttet et offshore transmisjonsnett. Nettet har flere tilkoblinger til landnettet, avgreininger for forsyning av olje og gassanlegg (ikke vist i figuren), og også koblet til utenlandsforbindelser. Vindkraftproduksjonen reduserer utslipp av omkring 18 millioner tonn CO₂ per år gjennom å erstatte kullkraft på kontinentet og gassturbiner på norsk sokkel.



Fremtidsbilde 2027:

- **Offshore vindkraft brukes i stor skala**
- **Offshore transmisjonsnett langs norsk sokkel, koblet til vindparker, olje og gass installasjoner og utenlandsforbindelser**
- **Norske fabrikanter (årlig omsetning 500 MW ~ 10 milliarder NOK)**
- **Markedet er globalt og i sterk vekst**

Vindkraftanleggene er i stor grad produsert av norske fabrikanter. Disse har i 2027 en årlig omsetning på 500 MW tilsvarende ca 10 milliarder kr. Markedet er globalt og i sterk vekst.

EU har vedtatt bindende mål om 20 % fornybar energi i 2020. Dette betyr sannsynligvis 50 000 MW vindkraft offshore, og 180 000 MW vindkraft totalt (i EU på land og til havs). En andel av dette vil kunne være vindkraft på dypt vann, og gir realisme til fremtidsbildet med 6000 MW vindkraft utenfor norskekysten i 2027.

Veien til fremtidsbildet starter nå. Per i dag er Norge eneste land som har gjennomført skalaforsøk av flytende turbiner og som har en industri med konkrete planer for fullskala test av pilotanlegg. Norge har også fortrinn gjennom offshore industri og kompetansemiljø. Rapporten gir på denne bakgrunn følgende forslag til aksjoner:

- *Etablering av systemansvar og embetsverk* (energilov mv) for offshore nett/kraftforsyning.
- *Utarbeide energiplan for norsk sokkel* som omfatter offshore transmisjonsnett, lokalisering av offshore vindparker, elektrifisering av olje og gassanlegg, tilkobling til land og forbindelser til utlandet. Det taes hensyn til miljø og skipsruter.
- *Senter for forskning på offshore vindkraft*: Gjennom dette oppnås konsentrert innsats på området slik at norskutviklet teknologi kan bli ledende på området. Senteret samler de aktuelle forskningsmiljøene (SINTEF, IFE, NTNU) og har deltagelse fra næringslivet.
- *Nasjonalt test og pilotanlegg*: En offshore nettstasjon for tilkobling av et antall offshore generatorer. Anlegget omfatter også måleutstyr, fiber for kommunikasjon, adgang med båt/helikopter, lagerplass og oppholdsrom.
- *Demonstrasjonsprogram for offshore vindkraft*: Program for støtte av test/pilot anlegg gir risikoavlastning for aktørene og sikrer gjennomføring. Støtteordningen omfatter også demoparker.
- *Styrke norsk industri som leverandører til offshore vind industri*: Teknologitvikelingsavtaler og støtte til nyetableringer bidrar til at norsk industri kan utnytte eksisterende fortrinn og være ledende på området.
- *Attraktive rammevilkår for vindkraft på land og til havs*: En strategi for utvikling av vindturbiner til havs må også omfatte utbygging av vindkraft på land. Dette for å sikre kompetanse i alle ledd både når det gjelder bygging og drift av vindkraftverk.

Skal vi lykkes med offshore vindkraft må både muligheter og utfordringer taes på alvor. Norsk industri kan allerede bygge prototyper av anlegg, for eksempel HyWind konseptet med vindturbin fra Siemens. Dette betyr imidlertid ikke at konseptet er ferdig utviklet og uten videre kan bygges som store parker. Kostnad og risiko må ned, og for å oppnå dette må det satses betydelig på FoU. I en satsning på FoU ligger også et betydelig potensial for verdiskapning. Aktuelle FoU oppgaver er beskrevet i rapporten.

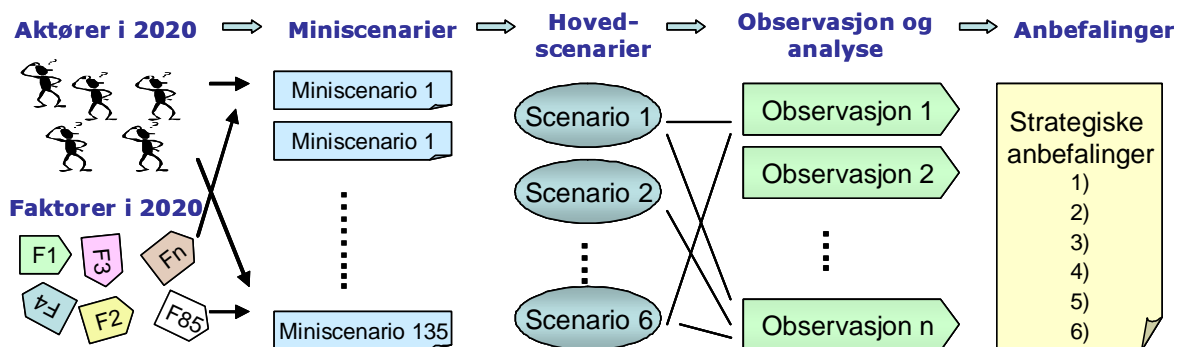
1 Introduksjon – foresight

For å kunne utnytte de store mulighetene og løse de utfordringene som energifeltet har i seg, er forskning og utvikling helt avgjørende. Som et underlag for de strategiske veivalg som skal gjøres på dette området igangsatte Forskningsrådet i 2004 en foresightstudie med formål å trekke opp ulike perspektiver, mulige utfordringer og muligheter på feltet. Prosjektet ble kalt Energi 2020+.

Foresight har flere praktiske anvendelsesområder inkludert forskning og innovasjon, og benyttes i dag som en generell merkelapp på ulike prosjekter og tiltak som tar sikte på å påvirke forhold i framtiden. Foresight er emne for en livlig faglig debatt i EU og USA. Det finnes et stort og økende antall metoder, teknikker og tilnærminger som kan taes i bruk i framtidsrettede utviklingsprosjekter. Troen på prognoser og klassiske planleggingsmetoder er svekket. Foresight handler om å profesjonalisere samtalen om framtiden. Foresight handler om deltakelse og involvering, om kunnskapsdeling og idéutvikling, om nye arbeidsformer og samarbeidskonstellasjoner. Foresight er kunnskapsbasert og kan danne grunnlag for beslutninger og prioriteringer som er robuste i møte med en usikker framtid.

Den foresightmetodikken som ble anvendt i Energi 2020+ er basert på en prosess man delte inn i 4 hovedaktiviteter. Disse ble gjennomført i 4 samlinger der hovedoppgavene var:

- Samling 1: Identifikasjon av aktører og faktorer/drivkrefter som påvirker energifeltet i 2020+
- Samling 2: Konstruksjon av miniscenarier (hendelser, forløp, utviklinger) der de identifiserte aktørene og faktorene fra samling 1 inngikk.
- Samling 3: Sammensetning av miniscenariene til mer fullverdige scenarier – 6 scenarier utformet med et sett av gitte føringer.
- Samling 4: Identifikasjon av muligheter og utfordringer i hovedscenariene for å avlede initiativ og tiltak på forskningsområdet: forskningsstrategiske anbefalinger.



Proessen, slik den ble gjennomført i *Energi 2020+* er illustrert ved figuren nedenfor.

Figur 1. Foresight prosessen i *Energi 2020+*

Denne gangen, i *Foresight 2007*, har man nå plukket ut kun 4 områder innenfor energifeltet – 4 områder som har spesiell interesse og fokus. De 4 områdene er solenergi, offshore vindkraft, bioenergi og biodrivstoff. Det blir skrevet 4 separate rapporter på disse 4 områdene. På hvert av disse 4 områdene er det gjennomført en sterkt forenklet foresightprosess hvor de 4 gruppene sammen med sitt sekretariatet har gått rett på utvikling av ett hovedscenario – et scenario der forutsetningen har vært at man har lyktes på det enkelte området.

Denne rapporten omhandler offshore vindkraft og beskriver nåtilstand og veien fram til en fremtidssituasjon omkring år 2027 der man har lyktes i forhold til de ambisjoner, muligheter og forventninger man ser innen offshore vindkraft på dypt vann. Rapporten omfatter:

- de norske aktørenes roller og posisjon (teknologileverandører, energiselskaper, mfl)
- leverandørenes posisjon, nasjonalt og internasjonalt
- områdets posisjon i den norske energibalansen
- teknologisk status (hvilke teknologiske utfordringer er løst / ikke løst)
- øvrige forhold som beskriver dette idealiserte fremtidsbildet (institusjonelle, strukturelle, osv.)

Rapporten er skrevet dels i tradisjonell rapportform og dels i essay form (fremtidsbilde – en historie fra Nordsjøen anno 2027).

Rapporten er utarbeidet som del av RENERGI Foresight 2007 og som opplegg for diskusjon i forhold til hvilke aksjoner, prioriteringer og andre tiltak som må til for å ende opp i den beskrevne fremtidssituasjonen.

2 Nåtilstand – hvor står vi i dag

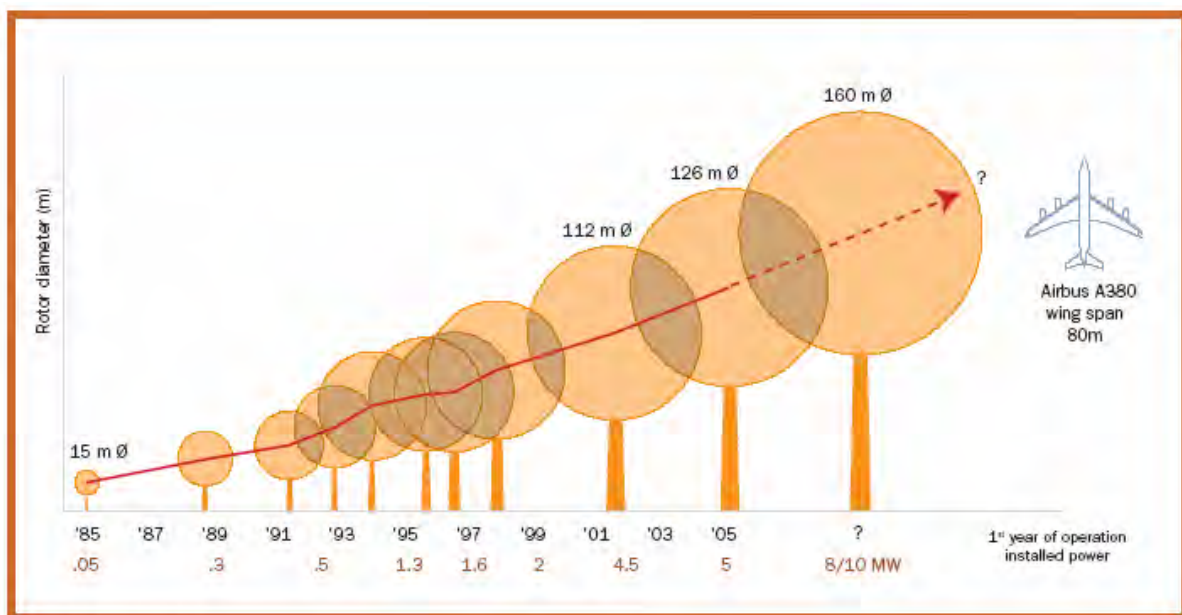
2.1 Vindkraftteknologi

Vindkraftteknologi har vært under meget stor utvikling siden industrien begynte å ta form tidlig på 80-tallet, og er nå tilgjengelig for storskala kraftproduksjon fra store energiselskaper. Den totale omsetningen i 2005 var omtrent 100 Mrd. NOK. Norsk industri er hovedsakelig underleverandører (eksporten i 2004 var omtrent 40 Mill. NOK), mens ScanWind designer og bygger store vindturbiner (> 3 MW).

Kraftproduksjonen til en vindturbin varierer med vindhastigheten. Vanligvis starter produksjonen ved 4-5 m/s og øker inntil nominell ytelse når ved 12-15 m/s. Ved høyere vindhastigheter begrenses produksjonen av den nominelle ytelsen, og vindturbinen stoppes normalt når vindhastigheten overstiger 25 m/s. Det er teknisk mulig å designe vindturbiner som produserer ved høyere vindhastigheter, men dette vil fordyre konstruksjonen og må oppveies mot fordelene av den ekstra kraftproduksjonen.

Dagens store vindturbiner har en nominell ytelse på 2 til 5 MW og rotordiameter på omtrent 80 til 126 meter. Trenden går mot større vindturbiner installert i store vindparker med ytelse som konvensjonelle kraftverk. Generatorspenningen er vanligvis 690-1,000 V, og hver vindturbin er koblet til en trafo som gir et spenningsnivå på 20-33 kV. Dette spenningsnivået brukes i internettet til vindparken før opptransformering til 66-420 kV, avhenging av tilknytningspunkt i nettet. Størrelsen på vindparker spenner fra noen få MW til flere hundre MW.

Driftskarakteristikken til vindparken avhenger av vindturbinteknologien (variabel eller konstant hastighet), men også på kontrollsystem og hjelpesystem. En moderne vindpark kan utstyres med funksjonalitet for frekvens- og spenningsregulering og kan bidra til økt stabilitet i kraftsystemet.



Source: Jos Beurskens, ECN

Figur 2. Utvikling av størrelsen til vindturbiner.

2.2 Fundamentering av offshore vindturbiner

Offshore vindkraftverk har så langt blitt installert på grunt vann (< 30 m) ved å benytte gravitasjonsfundamenter eller monopoler. Vindparkstørrelsen har så langt variert opp til 160 MW (Horns Rev), men langt større parker er under planlegging. Alle er relativt nær land og tilknyttet kraftnettet via AC-overføring. Potensialet er imidlertid enda større på dypt vann, gitt at kostnadene kan bli redusert til et konkurransedyktig nivå. De mest relevante teknologiene for fundamentering er tripod- eller jacketkonstruksjoner (< 70 m) og flytekonsepter for større havdyp.

Bruken av jacketkonstruksjoner er velkjent fra offshore olje- og gassindustri, hvor Aker Kværner er en av hovedleverandørene. Konstruksjonene må imidlertid skaleres og modifiseres for å kunne avendes for vindturbiner. OWEC Tower har spesialutviklet en jacketkonstruksjon, og har blitt valgt ut for Beatrice Demonstrator Project på østkysten av Skottland, som demonstrerer to stk 5 MW vindturbiner på omtrent 45 meter dybde.

Hydro har nylig offentliggjort ambisiøse planer for det flytende konseptet HyWind. Konseptet kan i prinsipp benytte en standard vindturbin, men modifisert med en betongflyter og styring av bladvinkel for å holde turbinen stabil. Vindturbinene kan monteres i dokk på verft og taues ut ved bruk av taubåter for så å festes til bunnen med tre ankere. Konseptet har blitt testet i skala 1/47 i havbassenget til MARINTEK med lovende resultater, og Hydro planlegger nå å gå videre med forskning og utvikling, bl.a. ved å bygge et demonstrasjonsanlegg i løpet av de neste ett til to årene. NVE har gitt konsesjon for et 3 MW pilotanlegg utenfor Karmøy, alternativt kan det være aktuelt å tilslutte en vindturbin til en oljeplattform. Ambisjonen er å kunne bygge store vindparker med dette konseptet - 1,000 MW er realistisk i løpet av 10-15 år.

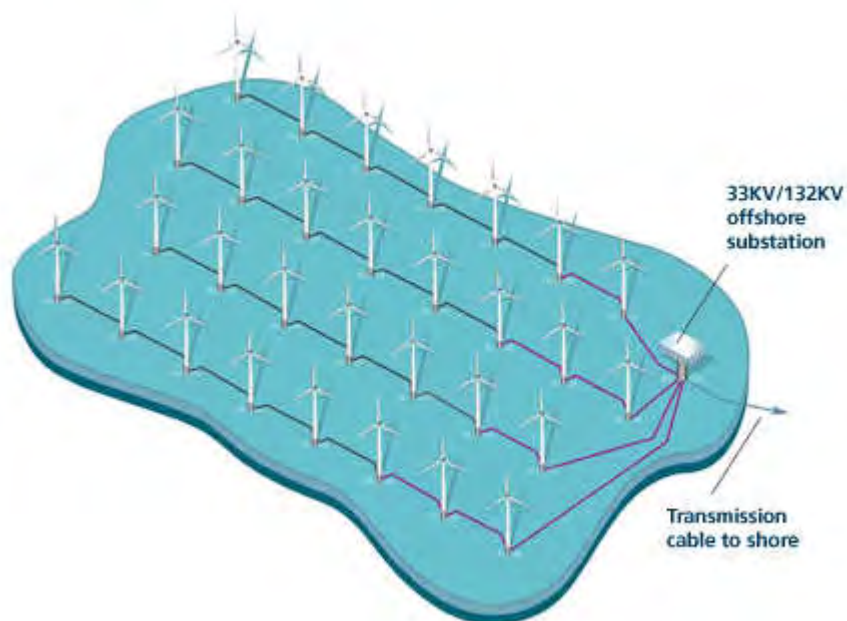
Et alternativt flytekonsept er utviklet av SWAY, basert på en nedvinds turbin. Den øvre delen av tårnet er strømlinjeformet for å minimere forstyrrelsene på vindprofilen foran rotoren. Tårnet er ankret opp til bunnen med et strekkstag. Det er planlagt å starte konstruksjonen av en nedskalert prototyp og videre en fullskala prototyp som kan komme på plass utenfor norskekysten i 2009.



Figur 3. Norske konsepter for offshore vindturbiner. Fra venstre: OWEC Tower, HyWind, SWAY.

2.3 Nettintegrasjon av offshore vindparker

Utvikling av offshore vindparker på dypt vann i størrelsesorden noen titalls MW er interessant for kraftforsyning til oljeplattformer. Vindparken kan plasseres i nærheten av oljeplattformen og tilkobles for parallelldrift med de eksisterende gassturbinene på plattformen. Dermed er man ikke avhengig av lang og fordyrende nettilknytning til land og vindparken kan bli lønnsom ved å gi reduserte brenselkostnader og utslipp fra gassturbinene. Konseptet åpner for demonstrasjon av flytende vindparker, og vil kunne gi erfaring og kompetanse som trengs for å utvikle store vindparker på dypt vann med tilknytning til kraftnettet på land. For disse blir valg av løsning for kraftoverføring spesielt viktig. HVDC er et aktuelt alternativ til konvensjonell AC teknologi, og vindparkene kan også tenkes å bli knyttet til et undersjøisk kabelnett for overføring av store mengder kraft mellom ulike land, og/eller transmisjon langs norskekysten og med tilkobling til offshore olje og gassinstallasjoner. Offshore vindkraft i stor skala vil bidra vesentlig til reduksjon av CO₂ utslipp.



Figur 4. Nettløsning Horns Rev, Danmark.

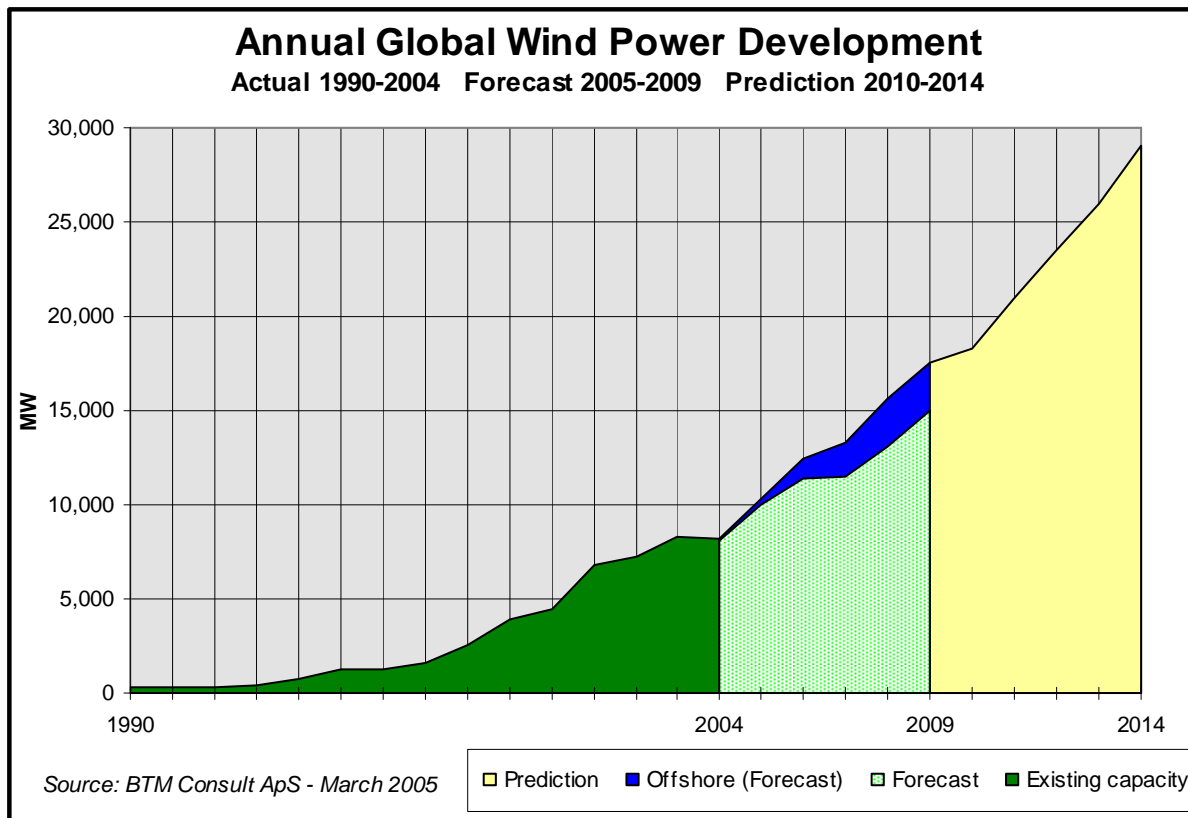


Figur 5. Airtricity supergrid.

2.4 Markedspotensial på kort sikt

Vindkraftverk har hittil i all hovedsak blitt installert på land. Den totale installerte kapasiteten var ved utgangen av 2006 ca 74 000 MW, hvorav ca 900 MW var offshore vindparker på grunt vann. Nye, store offshore vindparker er imidlertid under planlegging. I Europa er omtrent 10,000

MW offshore vindkraft på ulike stadier av planleggings- og utbyggingsfasen. I løpet av 2010 forventes det årlige offshore vindkraftmarkedet å stige til omtrent 30 Mrd. NOK, med en videre økning i de kommende årene.



Figur 6. Utvikling i utbyggingen av vindkraft i verden.

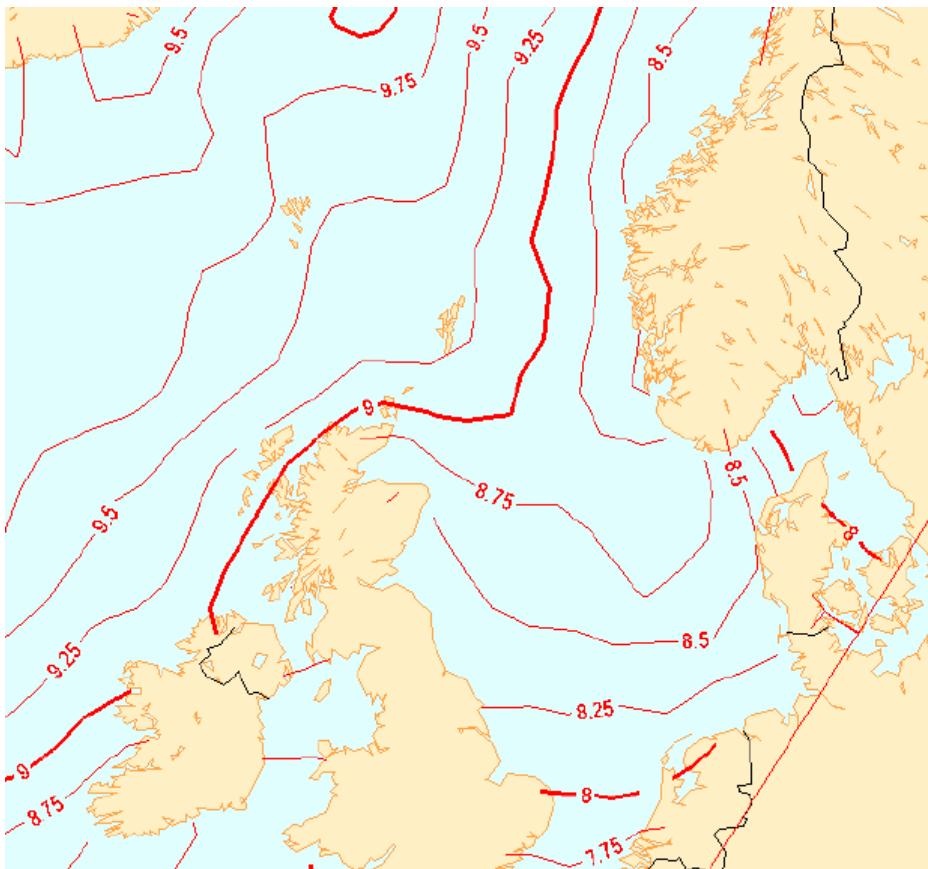
2.5 Utnyttelse av offshore vindkraft i Norge

Status i dag

Ved utgangen av 2006 var det installert ca. 320 MW vindkraft i Norge, som gir en årlig produksjon på rundt 1 TWh. Ytterligere 1400 MW har fått konsesjon. Det er foreløpig ikke bygget offshore vindparker i Norge. Det er forhåndsmeldt og konsesjonssøkt om utbygging av offshore vindkraft på grunt vann (mindre enn 30 meter), som kan sammenlignes med eksisterende offshore vindparker andre steder i Europa (for eksempel Horns Rev i Danmark). Offshore vindparker på dypt vann er pr. i dag på forsknings- og demonstrasjonsstadiet. Hydro har fått konsesjon for et 3 MW demonstrasjonsanlegg utenfor Karmøy basert på HyWind-konseptet, alternativt planlegges en pilotturbin tilknyttet en oljeplattform. SWAY har tilsvarende planer, herunder har Lyse nylig meldt planlegging av en vindpark på drøyt 300 MW på dypt vann i havet utenfor Utsira i Rogaland for uttesting og demonstrasjon av teknologien. Første fase er på 25 MW og kan være i drift i 2012.

Potensial for utbygging

Norskekysten har meget gode vindforhold. Den gjennomsnittlige vindhastigheten i de områdene hvor det planlegges og bygges vindparker i dag er typisk 7.5-8.5 m/s, noe som gir en brukstid for vindkraftverkene på rundt 3,000 timer. Vindforholdene er enda bedre utenfor kysten, og generelt øker vindhastigheten jo lenger ut fra land man kommer. Vindforholdene offshore varierer fra sted til sted, men man kan typisk forvente en brukstid for vindkraftverkene på 4500 timer. De tilgjengelige områdene for utnyttelse av offshore vindkraft utenfor Norge er store, og det er tilnærmet ubegrensede vindenergiressurser tilgjengelig. Potensialet for utbygging er med andre ord meget stort, og offshore vindkraft vil ikke være i konflikt med naboer, turistnæring etc. siden de kan plasseres utenfor synsvidde fra land. For å få et inntrykk av arealbehovet for offshore vindkraft kan vi gjøre et enkelt regneoverslag. Vi tar utgangspunkt i at det kan installeres 10 MW/km², slik at det trengs et areal på 10x10 km for en 1,000 MW park. Med 4,500 brukstimer gir 10 slike vindparker en årlig produksjon på 45 TWh, eller 36 % av Norges brutto forbruk av elektrisk kraft i 2005. Med tanke på at Norge er en del av et internasjonalt kraftmarked, men også ved elektrifisering av norsk sokkel, kan offshore vindkraft gi betydelig reduksjon av klimagassutslipp og spare begrensede fossile ressurser.



Figur 7. Gjennomsnittlig vindhastighet (Kilde: DNMI).

2.6 Aktører i Norge

Internasjonalt er det en stor industri som er bygget opp rundt vindkraft. Norsk industri deltar som underleverandører og med ScanWind som eneste norske produsent av hele vindturbiner. De største underleverandørene i omsetning er Devold AMT som leverer glassfibermatter til vindturbinblader og Vestas Casting Group som leverer støpejernsdelene. Samlet årlig eksport er på ca 400 mill kr. Nedenfor er det tatt for seg aktørene innen det nye feltet offshore vindkraft.

Næringsaktører

Innen offshore vindkraft er det i Norge kommet frem to firmaer som arbeider med totale konsepter og flere firmaer som vil fungere som underleverandører.

Hydro ASA arbeider med sine planer for det flytende konseptet HyWind. Konseptet kan i prinsipp benytte en standard vindturbin, men modifisert med en flyter (betong eller stål) og styring av bladvinkel for å holde turbinen stabil. Hydro har i juni 2007 gjort avtale med Siemens Wind Turbines om teknologisamarbeide for konseptet.

SWAY as har et alternativt flytekonsept basert på en nedvinds turbin. Den øvre delen av tårnet er strømlinjeformet for å minimere forstyrrelsene på vindprofilen foran rotoren. Tårnet er ankret opp til bunnen med et strekkstag. Dette konseptet støttes av Shell Technology, Statkraft, Lyse og Statoil.

Owec Design as; designer fagverkstårn ("jacket") for fundamentering på 30-100 m dyp. Deres design er benyttet ved Beatrice vind park (2x5 MW) på 45 m dyp utenfor østkysten av Skottland.

Nexans as er stor leverandør av undersjøiske kabelsystemer, herunder til flere offshore vindparker.

SmartGenerator as utvikler generatorer med redusert vekt. Vektreduksjon i toppen av turbinene er viktig for å lage enklere konstruksjoner og redusere konstruksjonens bevegelser.

ChapDrive as utvikler et system for hydraulisk kraftoverføring i vindturbiner. Dette vil gjøre det mulig å plassere generatorene i bunnen av tårnet og dermed redusere toppvekt. Bosch Rexroth og Hägglunds er med på denne utviklingen.

AkerKværner er en stor produsent og leverandør på offshore markedet, spesielt til olje og gassektoren, men har også leveranser til vindkraftindustrien. Aker Kværner Verdalen fikk senest sommeren 2007 en kontrakt av tyske Multibrid Entwicklungsgesellschaft for bygging av 13 understrukturer av stål for offshore vindmøller i Tyskland og Frankrike.

Energiselskaper som Statkraft, Lyse og andre er viktige som utbyggere av vindparker. Statnett og andre nettoperatører vil også være involvert i slike utbygginger.

Forskningsaktører

Viktige forskningsaktører på området er NTNU, SINTEF og IFE. Disse samarbeider om vindkraft FoU som etablert bl.a. gjennom felles prosjekter og Senter For Fornybar Energi (SFFE).

Flere av aktørene innen forskning og næringsliv er samlet i et KMB prosjekt støttet av RENERGI: *Offshore vindkraft på dypt vann*

- Prosjektet går fra 2007 til 2009. Totalt 18 Mill. NOK over tre år, hvor halvparten finansieres av industrien og den andre halvparten av NFR.
- Industripartnerne er Hydro, Statkraft, Lyse, Statnett, Statoil og Nexans
- SINTEF Energiforskning leder KMB-prosjektet og delaktivitet på nettilknytning og integrering i kraftsystemet.
- IFE leder delaktivitet på analyser av designløsninger for offshore vindturbiner.
- MARINTEK leder delaktivitet på videreutvikling av designverktøy (analytiske, numeriske og eksperimentelle metoder)
- NTNU deltar i prosjektet ved utdanning og veiledning av dr.gradskandidater tilknyttet delaktivitetene (totalt 3)

2.7 Muligheter og utfordringer

Muligheter ved satsing i Norge:

- Store muligheter for eksport av kunnskap og teknologi
- Vindkraft er et verdensmarked i stor vekst
- Har potensial for å kunne bidra vesentlig til fornybar kraftproduksjon i global sammenheng
- Flytende offshore vindkraft kan utvikles til å bli norsk ”spyspiss” teknologi
- På sikt: Konkurransedyktig kostnad i forhold til alternative teknologier for generering av elkraft i stor skala uten utslipp av drivhusgasser
- Mulighet for trinnvis utbygging, både for elforsyning til oljeplattformer og til land

Fordeler ved satsing i Norge:

- Sterk kompetanse på relevant offshore olje/gassteknologi
- Nasjonalt industriengasjement knyttet både til faste og flytende turbinløsninger
- Behov for økt krafttilgang nasjonalt og internasjonalt
- Stort potensial for næringsutvikling
- Ren, fornybar energi med minimale (ingen) negative miljømessige konsekvenser
- Norge er del av et internasjonalt kraftmarked og derfor vil offshore vindkraft her fortrenge kraftproduksjon fra fossile kilder i utlandet og gi reduserte (lokale og globale) utslipp og redusert forbruk av begrensede ressurser.
- Stor (ubegrenset) global tilgang på mulige utbyggingsområder, dvs. stor ressurstilgang
- Kan bygge store anlegg ute av syne/ingen NIMBY
- Vindforhold offshore bedre enn på land
- I utlandet er det foreløpig først og fremst fokus på offshore vindparker på grunt vann.
- Norge har konkurransefortrinn gjennom erfaring fra offshore olje og gassindustri, og verftsindustri. Har også fortrinn ved å være tidlig ute. Potensialet på verdensbasis er stort.

Utfordringer:

- Flytende turbiner er foreløpig uprøvd i stor skala
- Kostnadene kan bli store både knyttet til bygging og drifting av flytende installasjoner
- Usikkerhet knyttet til teknologi (holder teknologien 20 år i Nordsjøen?)

- Krever store ressurser for videre utvikling og uttesting av teknologien
- Klimaendringer er i dag et viktig politisk tema, og CO2-utslipp fra energisektoren får stor oppmerksomhet. Dette taler for at utvikling og utbygging offshore vindkraft kan få ekstra ”drahjelp” fra politisk hold. Men da må bransjen/forskningsmiljøet være i stand til å overbevise myndighetene om at offshore vindkraft er et tiltak som monner og lønner seg, jf. Stoltenbergs månelanding for CO2-fangst.

3 En utviklingsvei for norsk offshore vindkraft

Basert på et optimistisk fremtidsscenario har foresight gruppen kommet frem til en utviklingsvei for norsk offshore vindkraft. Utviklingsveien er presentert som hendelser år for år.

2008

- Systemansvar og embetsverk (energilov mv) for offshore nett/kraftforsyning etableres.
- Arbeid starter med utvikling av en energiplan for norsk sokkel. Planen omfatter offshore transmisjonsnett, lokalisering av offshore vindparker, elektrifisering av olje og gassanlegg, tilkobling til land og forbindelser til utlandet. Det tas hensyn til miljø og skipsruter.
- Det etableres rammevilkår som gjør det økonomisk attraktivt å bygge vindkraft både på land og til havs, bla gunstig feed-in tariff for utbygger og utbygging av nett etablert som en offentlig oppgave
- Stor satsning på FoU for offshore vind, herunder etableres Senter for Offshore Vindkraft. Aktuelle tema for FoU ved senteret er:
 - Kartlegging av offshore vind og bølgeførhold, herunder som designgrunnlag for dimensjonering av vindturbinene (vindstruktur, turbulens), målemetodikk (lidar, sonar) samt utvikling og validering av verktøy for simulering/online prediksjon av vind og bølger.
 - Utvikling av en suite av programmer/modeller på ulike detaljeringsnivå for design av offshore vindturbiner, bla blader, tårn, flyter og kontrollsystem. Programmer og modeller skal som hovedregel være tilgjengelige for alle kvalifiserte brukere.
 - Studie av vindturbin designkonsept (for eksempel antall blader, turtall, oppvinds/nedvinds, innvirkning av gir/generator løsninger, tårn, flyter, forankring)
 - Studie av parkdesign (størrelse på parker, avstand mellom turbiner, vindforhold internt i parken)
 - Utvikling av konsept for internt nett i vindpark og effektiv tilkobling/transmisjon til stamnett og/eller olje og gassplattformer. Aktuelle tema er topologi og teknologivalg (AC eller HVDC eller miks).
 - Teknologit utvikling med mål om kostnadseffektiv, driftsikker og ”vedlikeholdsfri” vindturbin:
 - Bladdesign tilpasset drift offshore, herunder både bladprofil og bladmaterialer (”smartblades”).
 - Generatorer og system for kraftoverføring bla for å få redusert toppvekt, herunder videreføring av aktivitet i regi av SmartGenerator og ChapDrive.
 - Tårn og flyter tilpasset forskjellige størrelser på turbin og havdyp. Aktuelle tema er materialevalg for flyter (stål eller betong) og tårndesign (sylindrisk, aerodynamisk, fagverk).
 - System for elektrisk tilkobling (dynamisk kabel, skjøte og koblingsløsninger, transformator anlegg).
 - Overvåknings- og kontrollsystem av turbiner og vindpark (redusere laster, styrbar effekt, minimere/varsle behov for vedlikehold, overvåkes og styres fra land)
 - Løsninger for frakt (taubåt), forankring og installasjon.
 - Fartøy for inspeksjon og vedlikehold av vindturbinene.
 - Systemstudie av innpassing av stor andel offshore vind i kraftsystemet, herunder utvikling av kontrollsystem / driftstrategi som maksimerer systemnyttan av vindkraft.
 - Studier av samfunnsnytte (energi, industri) og miljøeffekter (CO₂, NO_x, marint dyreliv, fisk).

- Bygging av et nasjonalt senter for test og pilotanlegg starter, herunder en offshore nettstasjon med tilkobling til land og med mulighet for tilkobling av et antall offshore vindturbiner (for eksempel 5x5MW). Videre kan anlegget omfatte måleutstyr (vind, bølge, elkvalitet mv), fiber for signaltransmisjon/internett, adgang med båt/helikopter, lagerplass og oppholdsrom for personell/besøkende.
- Det inviteres til forslag til konsepter/offshore vindturbiner som evalueres og noen velges ut av 'Senter for offshore vindkraft' for tilkobling og test ved det nasjonale senter for test og pilotanlegg (se over).

2009

- Nasjonalt senter for test og pilotanlegg er ferdig
- Arbeid starter med (del-)elektrifisering av olje og gassinstallasjoner på norsk sokkel
- Leverandørutviklingsprogram settes i gang
- Statnett etablerer utviklingsavtale med Nexans for å utvikle kabler for offshore transmisjonsnett (420 kV AC kabel med fleksible skjøtkoblinger (100 km er foreløpig lengste produserbar lengde), 3-5 år utviklingsperiode)
- Energiselskap (Hydro, Statkraft, Lyse mfl) setter i gang en teknologiutviklingsavtale om norsk vindkraftteknologi. Myndighetene bidrar sterkt til dette (NFR, IN)
 - Turbiner (få ned toppvekt, vedlikeholdsfri, lette tårn som er enkle å transportere og installere)
 - Generatorer, kraftoverføring
 - Flyter, forankring, koblingskonsepter
 - Vedlikeholdskonsept, lett flyttbar installasjon
 - Dette er oppstarten på en ny norsk turbinleverandør (YYW)
- Industriell utvikling av inspeksjons/vedlikeholdsfartøy settes i gang (for eksempel miniubåt med undervannsinngang)

2010

- Første prototyp flytende vindturbin (ca 3 MW, ett eller eventuelt to anlegg) er installert, mye basert på konvensjonell teknologi. Anleggene tilkobles nasjonalt testsenter for offshore vindkraft (eventuelt som frittstående anlegg med sjøkabel til land, alternativt til oljeplattform og leverer kraft til denne i samdrift med gassturbinene på plattformen).
- Erfaringer fra installasjon og drift innsamles og rapporteres som del av FoU program, herunder Senter for Offshore Vindkraft.
- Arealer (blokker) på norsk sokkel er avsatt til vindkraft, første konsesjonsrunde settes i gang
- Prototyp fartøy for inspeksjon/vedlikehold er utviklet og testes i forbindelse med installerte offshore vindanlegg.

2011

- Det legges til rette for etablering av demonstrasjonsparker / prekommersielle anlegg.

2012

- Kabelutvikling ferdigstilt
- Bygging av offshore transmisjonsnett (trinn I) starter

- Fartøy for inspeksjon/vedlikehold er ferdig utviklet.

2013

- Andre generasjons flytende vindturbin (ca 6 MW, ett eller to anlegg) etableres for uttesting av ny teknologi, spesielt løsninger for å få redusert toppvekten
- En eller to miniparker (20-30 MW) etableres med tilkobling til land eller til olje og gassplattform.
- Erfaringer fra installasjon og drift innsamles og rapporteres som del av FoU program.

2015

- Første ”helnorske” turbin installeres (basert på teknologiutviklingsavtale).

2016

- Store deler av olje og gassanlegg på norsk sokkel er elektrifisert og tilkoblet offshore transmisjonsnett
- En eller to større vindparker installeres (trinn I a ca 100 MW) og tilkobles offshore transmisjonsnett

2020

- En eller to større vindparker er ferdig utbygd, totalt ca 1500 MW

2025

- 15 MW vindturbin på flyter er kommersiell

2027

- 6000 MW utbygget i 2027

4 Fremtidsbildet – kort rekapitulering av hvor vi står i 2027

4.1 En historie fra Nordsjøen anno 2027

Åpningsdagen

Året er 2027. Det blåser friskt på Nordsjøen og Gunn Kari er spent, veldig spent. Hun er spent på om vindparken hun har hatt ansvar for å installere vil starte som den skal i morgen. Det er jo ikke at hun tror den ikke skal kunne det, men det er bare så mye som står på spill. Alt må bare gå på skinner når det er direkte dekning av åpningen via EuroTV, og EU presidenten skal trykke på knappen. Det har vært et langt løp, og ikke bare lett. Men nå er dagen her – her står de, på rekke og rad, eller står – de flyter gjør de, vindmøllene, og det på dypt vann. Hun tenker tilbake på den første parken hun var med på – piloten.

De var så optimistiske da, for ti år siden, ja kanskje litt naive. Hun var nyansatt fersk fra universitet med spesialer i vindkraft, og basert på tung forskning, flere industrielle løp og testing av prototyp turbiner, så var de bare så sikre. Parken den skulle vel bare starte og så var det greit. Da halvparten av turbinene hadde havarert etter fem år, var ikke alt så greit lenger. Det ble snakket om fiasko og feilsatsning. Takk og pris for at både industri og regjering viste modenhet og stayerevne da. Det var jo tross alt, sett i bakspeilet, ganske banale feil som var gjort, og de kunne rettes på. De resterende turbinene ble ganske enkelt tauet i land, modifisert i dypvannsdokka utenfor Stavanger og ut igjen. Og siden har det egentlig vært ganske greit. Men nå er det en ny versjon – mer designet til grensen for å få ned prisen – og da: ”Har vi regnet riktig? Kan turbinene virkelig bygges så spinkle og likevel gi så mye energi?” Ja da, ja da Gunn Kari – ta deg sammen. Det er tross alt ikke bare en enkelt ingeniør som har sittet i et hjørne og simulert litt. Vi snakker om et forskermiljø som har jobbet konsentrert med dette i tjuen år. Det å starte et senter på dette så tidlig var bare så genialt. Norge hadde vel neppe vært i samme situasjonen uten dette. EU presidenten og greier. Ikke så rart egentlig, når det norske senteret har fått rolle som Europas MIT på offshore vind, og alle vil kjøpe teknologien. Men altså i morgen – da må bare alt gå bra. Det gjør det – det gjør det.

Dagen det skjer. På kontrollplattformen er det stinn brakke. Alle er der. TV kameraene summer, og du kan nesten ikke snu deg uten å få en linse opp i nesen. Gunn Kari vil nesten helst være fri. Hun føler ansvaret og tenker på alt som kan gå galt. Men så går det bare så fint. EU presidenten er bare et stort smil, han småprater med ingeniørene og gjentar om og om igjen – dette er løsningen, dette er løsningen. Nå kan vi pumpe energi fra havet så lenge vi bare vil. Og trenger vi mer energi, så bygger vi bare flere parker. Han trykker på den røde knappen. Fra helikopter og båter blir oppstarten av turbinene filmet fra alle vinkler. Det er bare gigaflovt å se på de store TV monitorene som er hengt opp for anledningen. Ja det er ikke det, møllene ligner jo mye på de gamle fra tjuen år siden, men de er så mye større og så spinkle. Og det er vel det som gjør de så flotte – de minner om siv i vinden. Vinden er perfekt og produksjonen nærmer seg raskt merkeytelse: 1000 MW for hele parken.

Dette er den sjette av samme størrelse i Nordsjøen, men den første av ny type. Nå pumpes like mye kraft fra disse som hele forbruket på norsk sokkel, og enda blir det en pen slump til både innenlands forbruk og eksport. Og det er jo nettopp eksport EU presidenten vil snakke om. Hvordan Nordsjøen ikke bare kan forsyne Europa med rensset naturgass, men også med store mengder vindkraft. Den varierer riktignok som det blåser, men hva gjør vel det så lenge norsk vannkraft virker som buffer, og det ellers er blitt stor fleksibilitet både i forbruk og på produksjonssida for øvrig. Og så er jo vindkraften billig i forhold til fossilt baserte energikilder.

Råstoffet er blitt dyrt – Gunn Kari må nesten le når hun tenker på hvor latterlig billig Norge og andre solgte olje og gass på starten av totusentallet. Og vi som syntes bensinen var dyr da – ja, ja – ikke mange som bruker den mer nå – det er rene drivstoff eller el og batterier som gjelder nå. Også koster rensingen, men akkurat litt mindre enn CO₂ avgiften.

Norge som energinasjon. Det ble tatt noen modige beslutninger for tjue år siden. Vi hadde jo olje og gass, og penger så det rakk og mer til, så hvorfor skulle vi gjøre noe? Det var jo masse olje og gass igjen, og så var det jo dette vi kunne. Skomaker bli ved din lest. Tjo, men vi var jo nye på olje en gang også – og det fikk vi jo til, og det til tross for at vi hadde en masse gjeld når vi startet. Gunn Kari kom på noe hun hadde hørt på nettradioen forleden. Det var et opptak av Stoltenberg i 2008. Han spurte – ”Er det oljesjeiker vi er blitt? Skal vi bare gjøre dette? Nei, vi skal være en energinasjon. Vi har alle forutsetninger. Vi skal satse på CO₂ rensing, på vindkraft, på bio og sol, i tillegg til olje, gass og vannkraften som vi har. Vi skal levere ikke bare energi, men også energiteknologi.” Han var opprømt statsministeren da. Han hadde akkurat undertegnet avtale med EU om oppfølging på 20 % fornybar målet, og for norsk del bestod det i 20 % økning i energiproduksjonen basert på fornybar energi innen 2020.

Intervjuet kom dagen etter oppstart av senteret for forskning på vindkraft til havs, så dette snakket han litt ekstra om. ”Min visjon er at Norge skal utnytte Nordsjøen ikke bare til olje, gass og fisk, men også til offshore vindkraft. Vi skal stadig bygge noen turbiner på land, men på sikt er målet en storstilt utbygging av vindkraftverk på dypt vann. De skal levere all kraft til norsk sokkel, men også til innenlandsk forbruk og til eksport. Vi skal bygge et offshore transmisjonsnett for å muliggjøre dette, og dette nettet skal også avlaste behovet for bygging av nye kraftlinjer på land. I fremtiden skal ikke Norge bare eksportere gass fra Nordsjøen, men også vindkraft. Og vindkraften vil kunne være der også når oljen tar slutt. Vindkraft er en varig og effektiv løsning på klimautfordringen.” Gunn Kari husket godt talen. Det var den som gjorde utslaget. Hun hadde lurt på hva hun skulle bli, men så hadde hun tent på talen og tenkt – ”Her vil jeg være med!” og så var beslutningen om realfagstudie tatt. Da hun kom inn på NTNU fem år senere var valget enkelt – den nye fagplanen med spesialiseringen på offshore vindkraft var som skreddersydd for henne. Enn det, at noen ord på radio for tjue år siden skulle være så avgjørende for hennes liv.

Hun hadde det godt Gunn Kari. Alt var gått så supert som det bare kunne gå på åpningen. Nå som hun var hjemme igjen sto gratulantene i kø. Den beste gratulasjonen fikk hun likevel fra sin tiårige sønn: ”Så flott du passer på planeten for meg, mamma – det skal jeg også gjøre når jeg blir stor.” ”Planeten?” så Gunn Kari litt undrene – hun tenkte det var da måte på evne til assosiasjon hennes tiårige sønn la for dagen. Hun visste jo de hadde sett på TV fra åpningen av vindparken på skolen, men likevel. Men han sa bare ”Jammen mamma, tror du ikke vi lærer noe på skolen i dag?” Så bar kunnskapsløftet likevel frukter. ”Tusen takk” sa Gunn Kari.

Ære være industrien

Det var dagen etter dagen i YinYangWin. Gunn Kari hadde møte med sjefen sin for evaluering som han litt bryskt hadde annonsert. Hva var det nå? Alt hadde da gått som smurt...

Det hadde aldri blitt til noe uten innsatsen fra norske teknologileverandører og energiselskaper. Men heller ikke uten myndighetsorgan, forskning og utdanning. Det måtte til alt sammen. Det viste Gunn Kari så såre vel. Hun var jo tross alt oppalet fra NTNU, gått over i forskerstilling for så å starte i YinYangWin. Hun hadde først syntes navnet på selskapet var rart – det var jo heleid norsk, men som sjefen sa: Dette navnet kan uttales av alle over hele verden, og så er det jo litt symbolikk i at navnet antyder balanse. Vindmøllene skal jo både balansere i vannet, og på en

måte også balansere det at kraften også ble brukt til å pumpe opp olje og gass. Det siste sa han ellers aldri offisielt. Og det var da heller ikke avlat de holdt på med. YinYangWin var business.

Forretningsideen var enkel. De kontrollerte produksjonen av alle kritiske komponenter, og kjøpte ellers inn andre deler der de var billigst. Sammenstilling skjedde i verft og dokk. Det var fascinerende å tenke på hvordan verftsindustrien hadde vært i stand til å omstille seg, og hvor godt timingen hadde passet i forhold til etableringen av YinYangWin. De hadde vokst med markedet.

ScanWind var eneste norske konkurrent. De hadde stadig også vindturbiner for landplassering, men hovedproduktet var nå også for dem store flytende turbiner.

Begge selskaper hadde nå levert 3 offshore parker a 1000 MW hver. Hvem som fikk de neste visste ingen. Det var fri konkurranse, og utenlandske fabrikanter hadde da også kommet på banen. Gunn Kari fryktet ikke dem nå – Norge hadde forspranget basert på erfaring fra olje og gassindustrien, men hun var også klar over at konkurransen ville nok bli betydelig skjerpet framover.

Næringsministeren løftet ofte ScanWind og YinYangWin fram som gode eksempler på norsk industriutvikling. Da glemte han alltid at både ScanWind og YinYangWin begge hadde vært tett på konkurs, og hadde det ikke vært for tålmodige eiere (og en fornuftig minister før ham) så hadde det vel blitt med det, og ikke som nå, rett og slett god butikk.

Næringsministeren likte å skryte ikke bare av de to, men også av de mange norske komponentleverandørene. Disse leverte også til det internasjonale markedet, noe som ScanWind og YinYangWin kun i begrenset grad hadde gjort til nå. Men nå var det nå. Begge var prekvalifisert til to store prosjekt utenfor Spania. ”Hm” sa sjefen. ”Du gjorde en flott jobb i går. Men hva er dette?” På veggen tonet pressglimt fra USA opp. ScanWind hadde vunnet kontrakten om leveranse til USA. Sjefen gliste. Han hadde sans for dramatikk hadde han. ”Du får bare pakke kofferten. Ja, altså kineserne vil gjerne ha den nye fabrikken opp å stå så fort som mulig, og da vil jeg gjerne at du drar ned for å få startet opp.” Nå gliste Gunn Kari også. Så var det i boks. Kineserne hadde lenge vært nølende, men nå skulle de altså bygge en fabrikk for de nye YYW turbinene for leveranse til det asiatiske markedet. Det var kanskje siste demonstrasjon av den patenterte tyfon-security teknologien som hadde gjort utslaget. ”Så bra!” sa Gunn Kari.

4.2 Teknologi og de norske aktørenes roller

Teknologi og leverandørindustri

Den norske leverandørindustrien innen vindkraft domineres i 2027 av to selskap:

ScanWind (SW)

YinYangWin (YYW)

Begge leverer store turbiner for bruk til havs. YYW har spesialisert seg på flytende turbiner, mens SW leverer turbiner også for bunnfast fundament og på land.

Forretningsideen er enkel. De kontrollerer produksjonen av alle kritiske komponenter, og kjøper ellers inn andre deler der de er billigst. Sammenstilling skjer i verft og dokk som har omstilt seg fra tradisjonell skips, olje og gassindustri. Flere av de tekniske løsningene er patentert.

Begge selskaper har levert 3 offshore parker a 1000 MW hver. Hvem som får den neste vet ingen. Det er fri konkurranse, og utenlandske fabrikanter er da også på banen. Norge har likevel et forsprang basert på erfaring fra olje og gassindustrien, selv om konkurransen vil bli betydelig skjerpet framover. Parkene representerer første og andre generasjon. Første generasjon karakteriseres av turbiner à la konvensjonelle landbaserte men tilpasset og montert på flyter. Annen generasjon er større (10-15 MW) og med design rendyrket for montering på flyter.

Bladene er laget av nye lettvekts materialer og med mulighet for aktiv styring av profilen. Profilstyring gir høyere virkningsgrad ved lav vind, men også bedret kontroll ved høy vind. Bladene kan også designes spinklere ved at profilstyringen kompensere for utbøying og belastninger. Konvensjonell pitching av bladene benyttes kun for (nød)stopp av turbinen.

Overflaten på bladene er slik at verken støv, vann eller is fester seg. Levetiden på bladene er beregnet til 30 år, og bladene kan etter endt levetid enkelt resirkuleres.

Devold AMT og Jotun er viktige råvareleverandører, om enn produksjon av selve bladene skjer hos hhv SW Blades og YYW Blades. Produksjonen er i stor grad automatisert.

Vingene og maskinhus er fullintegrert. SW benytter en direkte drevet permanent magnet maskin, og YYW høyeffektiv hydraulikk sammen med en ”standard” synkronmaskin. SW Transmission og YYW Transmission har begge full kontroll på teknologien gjennom et sett av patenter og står for spesifikasjoner og sammenstilling. De enkelte komponentene leveres imidlertid av flere underleverandører, både norske og utenlandske.

Både SW og YYW har hver sitt patenterte styrings og overvåkingssystem. All hardware til disse kjøpes av uavhengige underleverandører, mens softwaren utvikles og vedlikeholdes innomhus. Styringen gir parkene kraftverksegenskaper og operatørene har til en hver tid full oversikt over status og forventet produksjon flere timer fram i tid. Overvåkingssystemet gir også signal om behov for vedlikehold eller utskifting av komponenter, fortrinnsvis i forkant av komponentsvikt. I tilfelle av feil, har vindkraftverkene flere reserveløsninger som muliggjør fortsatt drift, om enn med noe begrenset produksjon. Teknisk tilgjengelighet er over 98 %.

Tårn og flyter kan leveres av flere norske underleverandører i henhold til spesifikasjoner. Teknologien er mye som den har vært de siste årene, og flere utenlandske fabrikanter er også aktuelle som leverandører. Norsk industri har imidlertid et fortrinn gjennom en effektiv produksjonsprosess, som er framkommet ved en aktiv omstillingsprosess og erfaringer fra offshore olje og gassindustri.

Internnettet er på 32 eller 66 kV nivå og basert på siste generasjon dynamisk kabel fra Nexans. Denne kan tåle ekstreme belastninger, men har samtidig vekt og kostnad sammenlignbart med konvensjonelle jordkabler.

Parkene er tilkoblet et offshore transmisjonsnett som går langs den norske sokkelen og er benyttet også for elektrifisering av olje og gassplattformer. Utbygging av nettet er utført i regi av norske entreprenører og med kabler fra Nexans. Nettet drives på 300 kV, dels med undervannstilkoblingspunkt og dels med tilkoblingspunkt på plattformer som tidligere var brukt til olje og gassvirksomhet.

Transformatorstasjonene, koblingsanlegg og kraftelektronikk er levert dels av norske selskap og dels av internasjonale aktører som ABB og Siemens.

Drift og vedlikehold av parkene skjer dels i regi av eierne (energiselskap) og dels av SW og YYW. Servicepersonell er stasjonert på boligplattformer og benytter spesialfarkost for transport til den enkelte turbin. Fartøyene er bygd av norske verft og er tilpasset operasjon i Nordsjøen. Teknologi for sikker og tilnærmet væruavhengig ankomst til turbinene er utviklet og patentert. Servicepersonell hos eierne står for alminnelig vedlikehold og mindre reparasjoner. Større utskiftninger skjer i dokk i regi av enten SW eller YYW. I så tilfelle løsnes turbinen fra bunnforankringen og nettilkobling og slepes inn med taubåt.

Omsetning for YYW og SW i 2027 forventes å være til sammen 10 milliarder kr, tilsvarende bygging av en turbin i uka og total leveranse på 500 MW. Eksport utgjør omkring 20 %, og med forventning om stigende andel i årene etter 2027, herunder også etablering av fabrikker i utlandet.

Vindsektoren sysselsetter i 2027 omkring 5000 personer i Norge. En stor andel av disse er kommet fra næring tilknyttet olje og gassvirksomheten.

Energiselskap

Energiselskapene (el, olje og gass) har rolle som utbyggere og som pådriver for utvikling av teknologien. De gjør dette ved å stille krav til teknologien, ved å bidra til finansiering av utviklingen og som kjøper av teknologien. Energiselskapene er krevende kunder. De kjøper i utgangspunktet teknologien der de kan få den billigst og best.

Det er blitt "big business" med fornybar elektrisitet, og det er mange store selskaper som har søkt konsesjon om å bygge ut offshore vindkraft i Norskehavet. Flere og flere av de tidligere olje- og gasselskapene er nå mangfoldige energiselskaper som også satser stort på å bygge vindparker. Ikke så rart, med tanke på utviklingstrekkene i energisektoren de siste 20 årene. EU klarte å realisere sitt mål om 20 % fornybar energi i 2020, og det er bygd mye mer fornybart i EU siden da. CO₂-avgiften og høye råvarepriser på fossile brennstoff har ført til høye kraftpriser på det felles europeiske kraftmarkedet, men takket være den høye andelen vindkraft er kraftprisen betydelig lavere enn den ville vært uten. Dessuten har ren, fornybar energi blitt en svært populær merkevare blant forbrukerne. Som produsent får man en premium-pris, eller miljøbonus, for å selge fornybar elektrisitet. Resultatet har blitt en "boom" av planlagte og meldte vindkraftverk, og trenden går mot stadig større prosjekter. Det er mange andre havområder i Europa med gode vindforhold hvor man også bygger ut, men takket være den elektriske infrastrukturen i på norsk sokkel er det spesielt attraktivt for energiselskapene å bygge ut her. Staten har vært forutseende og lagt forholdene til rette med pågående bygging av et sterkt offshore stamnett med tilknytningspunkt både for forsyning av olje og gassinstallasjoner og for innmating av vindkraft. Slik blir behovet for bygging av egen infrastruktur for kraftoverføring redusert, og totalkostnadene for prosjektene blir mindre enn om alle vindkraftverkene hadde hver sin overføringsløsning med tilknytning til sentralnettet på land.

Vindkraftproduksjonen i 2027 (25 TWh) gir salgsinntekter på ca 20 milliarder kr årlig. Ca 5 milliarder kommer som inntekt fra kraftsalg til utlandet.

Forskning og utvikling

Senter for offshore vindkraft utgjøres av SINTEF, NTNU og IFE. På senteret er det 100 fast ansatte forskere, om enn prosjektporteføljen utgjør om lag dobbelt antall årsverk. Dette siste er mulig, dels ved at senteret til en hver tid gir arbeid til et antall utenlandske gjesteforskere, men også ved at det trekkes på personell fra andre avdelinger ved SINTEF, NTNU og IFE.

Senteret arbeider blant annet med følgende utfordringer:

- Adaptiv styring av turbinen avhengig av vind og bølgeførhold for optimalt forhold mellom maksimering av energiuttak og minimering av levetidsbelastning
- Optimalisering av vedlikeholdsrutiner, herunder økning av serviceintervall fra ett til to år
- Automatisering av produksjon og montasjeprosesser
- Pilottesting av vindkraftverk med integrert bølgekraftverk i flyteren. Forventningen er at bølgekraftverket skal kunne bidra med 20 % ekstra produksjon.
- Innpassing av vind i Europa: 35 % i 2035, herunder utvikling av bedre styringssystemer, markedsløsninger og energilagringsteknologier (bla hvordan biler med batteri kan benyttes som buffer).
- Storskala offshore hydrogenproduksjon (i samarbeid med Senter for hydrogenforskning)
- NextWind – tredjegerasjon flytende vindkraftverk med enhetsytelse 25 MW.

Senteret er blitt oppnevnt som Europas MIT på offshore vindkraft, og NTNU har en egen internasjonal linje for studie av offshore vindkraft.

Teknologien er på plass og kommersiell i 2027. FoU virksomheten er likevel intensiv for fortsatt å sikre norsk lederskap og markedsandeler innenfor sektoren. Markedet er globalt og i vekst.

4.3 Områdets posisjon i den norske energibalansen

De tilgjengelige områdene for utnyttelse av offshore vindkraft utenfor Norge er store, og det er tilnærmet ubegrensede vindenergiressurser tilgjengelig. For å få et inntrykk av arealbehovet for offshore vindkraft kan vi gjøre et enkelt regneoverslag. Vi tar utgangspunkt i at det kan installeres 10 MW/km², slik at det trengs et areal på 10x10 km for en 1000 MW park. Vi har tenkt oss at det kan være etablert 6 store offshore vindparker a 1000 MW i Norge innen 2027 som gir en samlet årlig produksjon på omtrent 25 TWh. I tillegg kommer vindkraft på land som kanskje kan utgjøre 10 TWh. Vindkraft gir altså et betydelig bidrag til norsk kraftforsyning, både til innenlands forbruk, til forsyning av olje og gassinntallasjoner på norsk sokkel og noe til eksport.

I framtidsbildet vårt ligger forholdene til rette for at etablering av offshore vindparker virkelig kan ta av i tiden etter 2027 og sørge for en betydelig netto eksport av fornybar elektrisitet til det europeiske markedet.

Vannkraften og økt fleksibilitet på forbrukssiden vil effektivt balansere ut variasjoner i vindkraften. Vindkraftverkene vil også være spredt over et stort område, slik at man oppnår en stor utjevningseffekt av den totale vindkraftproduksjonen. I vårt fremtidsbilde utgjør elektrisitet sammen med biodrivstoff en viktig del av transportsektoren. Utviklingen innen batteriteknologi og elektriske motordrifter har gjort at både elbiler og såkalte "Plug-in" hybridbiler har blitt veldig populære. Dette har bidratt til noe økt innenlands elforbruk, men også økt forbruksfleksibilitet. Samme utvikling har også funnet sted i resten av Europa, og hele kraftsystemet er nå naturlig tilpasset en situasjon hvor store deler av kraftproduksjonen kommer fra varierende energikilder.

De store offshore parkene vil være plassert langt fra land, på dypt vann og tilsluttet et offshore transmisjonsnett. Transmisjonsnettet er lagt langs norsk sokkel og benyttes både for forsyning til olje og gassinstallasjoner og til mottak av kraft fra offshore vindparker. Nettet har flere forbindelser til fastlandet, og kan på den måten avlaste innenlandsktransmisjon, og har også forbindelser til utlandet (fastlands Europa og England). Felles bruk av nettet til oppsamling av vindproduksjon, forsyning av olje og gassplattformer, utveksling med utlandet og avlastning av innenlandsk transmisjon, gjør at nettkostnadene for offshore vindkraft blir sammenlignbare med tilsvarende anlegg på land.

Utbygging av de store offshore vindparkene er sett i sammenheng med elektrifisering av olje og gassvirksomheten på norsk sokkel. I 2027 er så godt som alle plattformer tilkoblet nettet, og elforbruket på disse dekkes av offshore vindkraft. Dette er vesentlig i forhold til reduksjon av norske utslipp av CO₂ og NO_x. En årlig produksjon av 25 TWh offshore vindkraft gir ved å fortrenge produksjon fra kullkraftverk på kontinentet og gassturbiner på norsk sokkel en årlig reduksjon av CO₂ utslipp på ca 18 millioner tonn. Den årlige verdien av energiproduksjonen og utslippsreduksjonene kan i 2027 være 20 milliarder kr, og forventet å stige også etter 2027.

5 Konklusjoner

5.1 Forskningsprioriteringer

Følgende forskningsprioriteringer har fremkommet i arbeidet med mini foresight studien:

- Kartlegging av offshore vind og bølgeførhold, herunder som designgrunnlag for dimensjonering av vindturbinene (vindstruktur, turbulens), målemetodikk (lidar, sonar) samt utvikling og validering av verktøy for simulering/online prediksjon av vind og bølger.
- Utvikling av en suite av programmer/modeller på ulike detaljeringsnivå for design av offshore vindturbiner, bla blader, tårn, flyter og kontrollsystem. Programmer og modeller skal som hovedregel være tilgjengelige for alle kvalifiserte brukere.
- Studie av vindturbin designkonsept (for eksempel antall blader, turtall, oppvinds/nedvinds, innvirkning av gir/generator løsninger, tårn, flyter, forankring)
- Studie av parkdesign (størrelse på parker, avstand mellom turbiner, vindforhold internt i parken)
- Utvikling av konsept for internt nett i vindpark og effektiv tilkobling/transmisjon til stamnett og/eller olje og gassplattformer. Aktuelle tema er topologi og teknologivalg (AC eller HVDC eller miks).
- Teknologiutvikling med mål om kostnadseffektiv, driftsikker og ”vedlikeholdsfri” vindturbin:
 - Bladdesign tilpasset drift offshore, herunder både bladprofil og bladmaterialer (”smartblades”).
 - Generatorer og system for kraftoverføring bla for å få redusert toppvekt, herunder videreføring av aktivitet i regi av SmartGenerator og ChapDrive.
 - Tårn og flyter tilpasset forskjellige størrelser på turbin og havdyp. Aktuelle tema er materialevalg for flyter (stål eller betong) og tårndesign (sylindrisk, aerodynamisk, fagverk).
 - System for elektrisk tilkobling (dynamisk kabel, skjøte og koblingsløsninger, transformator anlegg).
 - Overvåknings- og kontrollsystem av turbiner og vindpark (reduere laster, styrbar effekt, minimere/varsle behov for vedlikehold, overvåkes og styres fra land)
 - Løsninger for frakt (taubåt), forankring og installasjon.
 - Fartøy for inspeksjon og vedlikehold av vindturbinene.
- Systemstudie av innpassing av stor andel offshore vind i kraftsystemet, herunder utvikling av kontrollsystem / driftstrategi som maksimerer systemnyten av vindkraft.
- Studier av samfunnsnytte (energi, industri) og miljøeffekter (CO₂, NO_x, marint dyreliv, fisk).

Denne foresight studien antar at flytende offshore vindkraft utenfor Norge bidrar med 25 TWh årlig produksjon i 2027. I forhold til EUs mål om 20 % fornybar energi innen 2020 er det mulig at det i Europa totalt er installert ca 180 000 MW vindkraft som vil produsere omkring 500

TWh/år¹. En stor andel av denne vil kunne være lokalisert offshore, men da i stor grad også på grunt vann og som bunnfaste konstruksjoner. De systemmessige utfordringene (og mulighetene) knyttet til en slik utbygging er formidable, og her kan Norge få en nøkkelrolle i forhold til bruk av vannkraft til regulering. Denne systemmessige utfordringen representerer en aktuell forskningsprioritering, men faller utenfor mandatet til denne foresight studien, og derfor ikke omtalt videre i denne rapporten.

Etablering av et offshore nett, både for EU og utenfor norskekysten, gir behov for forskning og utvikling av transmisjonssystem, herunder bl.a. kabelteknologi og HVDC-løsninger. Norge kan bidra betydelig også på dette området, men også uavhengig av en satsning på offshore vind, og dette tema er derfor heller ikke detaljert i denne rapporten.

5.2 Tiltak

Forslag til tiltak:

Systemansvar og embetsverk (energilov mv) for offshore nett/kraftforsyning etableres.

Energiplan for norsk sokkel utarbeides. Planen omfatter offshore transmisjonsnett, lokalisering av offshore vindparker, elektrifisering av olje og gassanlegg, tilkobling til land og forbindelser til utlandet. Det tas hensyn til miljø og skipsruter.

Senter for forskning på offshore vindkraft opprettes. På denne måten fås en konsentrert innsats på området slik at norskutviklet teknologi kan bli ledende på området. En slikt senter bør samle de aktuelle forskningsmiljøene og ha deltagelse fra næringslivet innen feltene energi og offshore konstruksjoner.

Nasjonalt test og pilotanlegg: Dette kan omfatte en offshore nettstasjon med tilkobling til land og med mulighet for tilkobling av et antall offshore vindturbiner (for eksempel 5x5MW). Videre kan anlegget omfatte måleutstyr (vind, bølge, elkvalitet mv), fiber for signaltransmisjon/internett, adgang med båt/helikopter, lagerplass og oppholdsrom for personell/besøkende. Anlegget er viktig for å legge til rette for uttesting av løsninger innen offshore vindkraft. Med faste fasiliteter som nettilknytning og måleutstyr er det enklere å komme i gang med uttesting. Et slikt anlegg vil i tillegg ha konsesjoner og tillatelser fra ulike myndigheter slik at hvert enkelt pilotanlegg ikke trenger å bruke tid på innhenting av tillatelser og lignende.

Demonstrasjonsprogram for offshore vindkraft: Fullskala demonstrasjon av flytende turbiner krever store investeringer. Et program for støtte av slike anlegg vil gi risikoavlastning for aktørene og sikre gjennomføring av testperioden. Dette vil også føre til at norsk teknologi blir ledende på feltet. Støtteordningen bør også omfatte prekommersiell utbygging av mindre parker.

Styrke norsk industri som leverandører til offshore vind industri: Rapporten påpeker de fortrinn norsk industri har på området, og hvilke muligheter en slik teknologiutvikling vil ha i Norge.

¹ Andel vindkraft er estimat ved EWEA, se www.ewea.org. Ved utgangen av 2006 var det installert 48 000 MW vindkraft i Europa.

Ved å opprette teknologiutviklingsavtaler på feltet, støtte nyetableringer og lignende kan man sørge for at norsk industri blir ledende på området.

Rammevilkår som gjør det attraktivt å bygge vindkraft både på land og til havs: En strategi for utvikling av flytende vindturbiner til havs må også omfatte utbygging av vindkraft på land og bunnfaste offshore vindturbiner. Dette for å sikre kompetanse i alle ledd både når det gjelder bygging og drift av vindkraftverk.

Deltagere i utarbeidelsen av rapporten

Rapporten er i stor grad basert på to arbeidsmøter hos Forskningsrådet i mai 2007. Der deltok eksperter innen feltet vindenergi. I tillegg deltok personer fra Forskningsrådet, samt prosjektets fag- og prosessansvarlige. Før disse møtene utarbeidet prosjektets fagansvarlig et notat om nåtilstanden for offshore vindenergi. I arbeidsmøtene ble det skissert opp fremtidsscenario, utviklingsbane og forslag til tiltak. Etter møtene har fagansvarlig og prosessansvarlig utarbeidet sluttrapporten.

Deltagere i prosessen:

Per Finden	IFE	
Geir Moe	NTNU	
Jan-Fredrik Stadaas	Hydro	
Terje Gjengedal	Statkraft	
Eystein Borgen	Sway	
Per Øyvind Hjerpåsen	Statoil	
Georg Balog	Nexans	
Lars Vormedal	Statnett	
John Olav Tande	Sintef/Forskningsrådet	Fagansvarlig
Harald Rikheim	Forskningsrådet	Prosessansvarlig

Ekspertpanelet har ikke deltatt i den detaljerte utarbeidelsen av rapporten. De har slik sett ikke noe ansvar for eventuelle logiske brister, faktafeil og umulige utviklingsløp, som ikke ble avdekket og korrigert under utarbeidelsen av rapporten.

Vedlegg A: Dagbladet 24. februar 2007 - "Månelanding til sjøs"

Kronikk av

Forsker John Olav Giæver Tande, SINTEF Energiforskning

Professor Geir Moe, NTNU

Professor Tore Undeland, NTNU

Vi kunne startet dette innlegget med å rope høyt om klimaendringer og behov for tiltak nå. Det gjør vi likevel ikke, fordi det tiltaket vi her vil fremme er fornuftig uansett. Det vi snakker om er vindkraft til havs som vil kunne gi en storstilt energiproduksjon, men også skape en industri som representerer en naturlig forlengelse av vår offshore olje og gassvirksomhet. Dette gjør selvfølgelig ikke miljøargumentet mindre betydningsfullt; det bare viser at klimatiltak kan være rasjonelle også i en energi og industrisammenheng.

Vi vil med dette argumentere for en storstilt satsning på utvikling av teknologi for å bygge nye store vindmølleparker langt til havs basert på flytende vindturbiner. Her kan vi utnytte norsk kompetanse fra offshore olje- og gassvirksomhet og gi grunnlag for utvikling av ny industri. Markedet er globalt og teknologien vil kunne bidra stort både til sikring av fremtidig elektrisitetsforsyning og være et effektivt tiltak for å redusere utslipp av klimagasser. En slik satsning på vindmølleparker til havs kan være et "månelandingsprosjekt" på linje med fjerning av klimagassen CO₂ fra gasskraftverk som statsminister Jens Stoltenberg lanserte i sin nyttårstale. Senter for Fornybar Energi (SFPE) ved NTNU-SINTEF-IFE ser store muligheter innen offshore fornybar energi. Det samme gjør norsk industri, blant annet Hydro og Sway.

Vi snakker her om fremtidens vindkraftproduksjon, basert på flytende turbiner, titalls kilometer og langt utenfor synsvidde fra land. Det er her vi kan bygge de virkelig store anleggene som både kan sikre elektrisitetsforsyningen på land og sørge for nok elektrisk strøm til oljeplattformene til havs. Dette kan bli et betydelig bidrag til løsning av klimautfordringen. Basisteknologien finnes, men denne må videreutvikles og testes grundig før en storstilt utbygging kan realiseres. Norsk industri og forskningsmiljø er allerede i gang og i forkant av den internasjonale utviklingen. Utfordringen for Norge er å satse langsiktig og tungt nok. Gjør vi dette riktig kan norsk industri bli en ledende leverandør til et globalt marked. Tidsperspektivet for realisering er 10-15 år.

En strategi for utvikling av flytende vindturbiner til havs må også omfatte utbygging av vindkraft på land og bunnfaste offshore vindturbiner. Dette for å sikre kompetanse i alle ledd både når det gjelder bygging og drift av vindkraftverk. En slik utbygging er uansett rasjonell i forhold til å utnytte det norske vindkraftpotensialet og bidra til ren og fornybar kraftforsyning. Innfasing av vindkraft vil ikke gjøre strømmen til forbruker dyrere, men tvert om bidra til å dempe strømprisen. Vindkraft er en effektiv løsning på klimautfordringen.

Den globale vindkraftindustrien omsatte i 2005 for ca 100 milliarder kroner og er i vekst. I hovedsak bygges stadig mest vindkraft på land. Totalt var det ved utgangen av 2005 installert 59 206 MW vindkraftkapasitet i verden, hvorav 670 MW var installert offshore, og da som bunnfaste installasjoner på grunt vann. Store offshore parker er imidlertid under planlegging – bare i Europa finnes planer for over 10 000 MW offshore vindkraft. I henhold til BTM Word Market Update 2005 kan markedet for offshore vindkraft i 2010 være omkring 30 milliarder kroner. Flytende vindkraftverk er ennå ikke bygd, men vil kunne oppnå vesentlig markedsandeler og bidra til at det totale markedet for vindkraft øker.

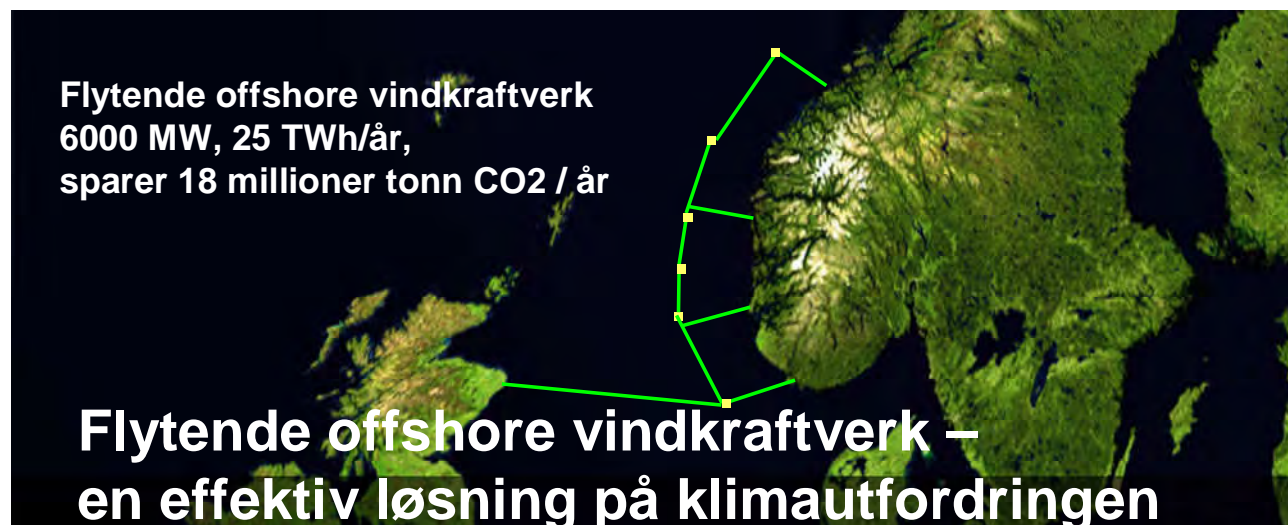
Timingene for en norsk satsning er nå. Den internasjonale vindkraftindustrien går for full rulle, og alle de store leverandørene av vindkraftverk har ordrebookene fulle ut 2008. Dette bedrer konkurransesituasjonen for nye aktører

En utfordring med vindkraft langt til havs er nettopp avstanden til land. Overføring av kraftproduksjonen må da skje med lange sjøkabler som både kan være dyrt og teknisk krevende. Norsk industri har imidlertid meget god kompetanse på slik teknologi. Nettilkoblingen kan også sees i sammenheng med forsyning av elkraft til oljeplattformer, eventuelt også tilkoblet kabler for kraftutveksling med andre land. En trinnvis utvikling er realistisk. Et mindre demonstrasjonsanlegg kan kobles direkte til en oljeplattform for samdrift med gassturbinene på denne og reduksjon av CO₂ og NO_x utslipp. Vindparken kan senere utvides og da med kabling til land, eventuelt også til andre oljeplattformer og/eller andre land. I denne sammenheng er det verd å merke seg at NorNed kabelforbindelsen som bygges nå (700 MW, 580 km) koster i overkant av 4 milliarder kroner, men gir lønnsomhet alene gjennom kraftutveksling mellom Norge og Nederland. Etterbruk av oljeplattformer til transformatorstasjoner og sammenkobling av kabler er en annen interessant mulighet.

En fordel med vindkraft langt til havs er at vindforholdene generelt er bedre jo lenger til havs en kommer. Vindparkene vil ikke være synbare fra land, og det vil være mulig å bygge svært store anlegg. Innenfor et område på ca 100 km² kan en 1000 MW flytende offshore vindpark bygges, og denne vil kunne gi 4,5 TWh elproduksjon i året. Det er realistisk med en utbygging mange ganger større enn dette – potensialet for kraftproduksjon fra vindkraft til havs er tilnærmet ubegrenset.

Kostnadene for flytende offshore vindkraft bør på sikt kunne konkurrere med konvensjonell vindkraft. Flyteanordningen vil nok koste mer enn fundamentering på land, men ikke mer enn fundamentering på grunt vann. Ferdig montert vindturbin med flyter kan slepes fra verft til felt med taubåt. På stedet kan vindkraftverkene holdes på plass med ankerliner eller strekkstag, og så må hver turbin stabiliseres så de ikke velter på grunn av vind og bølger. Dette siste er et spørsmål om ballastering av flyteren og aktiv styring av turbinen. Løsninger er allerede skissert og testet i skala 1:47 med hundreårs vind og bølger. Norge ligger her helt i front av utviklingen – ingen andre land har gjort dette. Norsk industri og forskning er allerede på banen, så nå gjelder det bare at det gies nok trøkk også fra myndighetenes side. Til Jens Stoltenberg er oppfordringen klar: gjør også vindkraft til havs til et månelandingsprosjekt – vi trenger både CO₂ rensing og fornybar kraft.

Vedlegg B: Illustrasjon av fremtidsbilde



Fremtidsbilde 2027:

- Offshore vindkraft brukes i stor skala
- Offshore transmisjonsnett langs norsk sokkel, koblet til vindparker, olje og gass installasjoner og utenlandsforbindelser
- Norske fabrikanter (årlig omsetning 500 MW ~ 10 milliarder NOK)
- Markedet er globalt og i sterk vekst



Publikasjonen kan bestilles på
www.forskningsradet.no/publikasjoner

Norges forskningsråd
Stensberggata 26
Postboks 2700 St. Hanshaugen
N0-0131 Oslo

Telefon: +47 22 03 70 00
Telefaks: +47 22 03 70 01
post@forskningsradet.no
www.forskningsradet.no

Utgiver:
© Norges forskningsråd
Fremtidens rene energisystem - RENERGI
www.forskningsradet.no/renergi
September 2007
ISBN 978-82-12-02478-6 (trykk)
ISBN 978-82-12-02479-3 (pdf)

Opplag: 250
Trykk: Mediehuset GAN
Design: Endre Barstad
Illustrasjon: Endre Barstad