

## **Beskrivelse av prosjektet Flexible Floating Wind Turbine (FLEXWT)**

### **1. Bakgrunn**

NTNU deltok i 2010 i konsortiet Norwegian Wind Energy Research Infrastructure (NOWERI), ledet av Chr. Michelsens Institutt. Konsortiet fikk en bevilgning fra Forskningsrådet til å etablere en nasjonal forskningsinfrastruktur bestående av en utrustning for grensesjiktmåling mellom luft og vann (Ocean Boundary Layer Observatory – OBLO), og en instrumentert flytende vindturbin på 225 KW (Floating Experimental Wind Turbine – FLEXWT). Det ble gjennomført et forprosjekt som skulle definere innholdet av FLEXWT i mer detalj.

I løpet av 2012 ble konsortiet delt i to og det ble laget en kontrakt med NFR for hvert av disse delprosjektene. For vindturbinprosjektet fikk NTNU rollen som koordinator, og SINTEF Energi og Institutt for energiteknikk (IFE) var partnere i konsortiet. Det ble undertegnet kontrakt med NFR i februar 2013 hvor dette konsortiet fikk en bevilgning på 42 MNOK til å realisere den flytende vindturbinen, og hvor NTNU forplikter seg til å realisere prosjektet.

Konsortieavtalen mellom partnerne i FLEXWT ble undertegnet på vårparten i 2014. Under arbeidet med planlegging av iverksetting av forprosjektrapporten ble det klart at budsjettet på 42 MNOK ikke var tilstrekkelig til å realisere turbinen. IFE har senere trukket seg som partner i det reviderte prosjektet.

I april ble konsortiet oppmerksom på at det hadde oppstått en mulighet til å realisere det overordnede formålet med prosjektet gjennom å samarbeide med et EU-prosjekt, HiPRWind (High performance, high reliability offshore wind technology). Dette prosjektet stoppet opp i første halvdel av 2013 på grunn av at en av de sentrale partnerne hadde trukket seg som en konsekvens av kutt i nasjonal støtte til fornybar energi. HiPRWind-konsortiet ledes av Fraunhofer IWES i Tyskland. Det har 23 partnere, og NTNU og SINTEF er blant disse, med mindre arbeidspakker. HiPRWinds konsept er en flytende vindturbin på 1,5 MW. Flyteren av vindturbinen er designet av det norske konsultentselskapet Dr. techn. Olav Olsen, som også er partner i HiPRWind-konsortiet. Designeren er den samme som stod bak designet av Statoils flytende vindturbin HyWind.

Fraunhofer har lyktes med å rekonstruere konsortiet med nye partnere. De har fått klarsignal fra EU-kommisjonen om å kunne gå videre under forutsetning av at de finner en organisasjon som er interessert i å ta over vindturbinen etter at utviklings- og utprøvningsprosjektet er avsluttet. Det totale budsjettet for FoU, bygging og utprøving av HiPRWind-turbinen er på 19,6 M€, hvorav 11 M€ er finansering fra EU-kommisjonen (fra 7. rammeprogram), og 8,6 M€ er egeninnsats fra konsortiets partnere. HiPRWind er planlagt med fire elementer: FoU, bygging, installasjon på lokasjon, og en ettårig utprøvningsperiode. FLEXWT er tilbudt å overta HiPRWinds turbin uten vederlag, men forutsettes å dekke transport av den til norskekysten fra Spania, hvor den bygges, og besørge installasjon på lokasjon og anskaffelse og legging av undersjøisk kabel med oppkobling til strømmettet på land. Fraunhofers utprøving av turbinen skal da foregå i Norge. Overdragelse av eierskapet til FLEXWT forutsettes å skje etter at denne utprøvningsperioden på ett år er ferdig.

### **2. Vurdering av vitenskapelig nytte og utbytte**

Offshore vindteknologi står sentralt både i NTNUs og i SINTEFs forskningsstrategi for fornybar energi. NTNU og SINTEF har 90 % av budsjettet i FME NOWITECH (Norwegian Research Centre for Offshore Wind Technology). I tillegg har prosjekter knyttet til SFF CeSOS (Centre for Ship and Ocean Structures) hatt betydelig forskningsaktivitet på dette feltet, og det er fortsatt flere stipendiater underveis i sine utdanningsløp disse prosjektene. Totalt er det ca. 50 ph.d. og postdok knyttet til

virksomheten, samt et hundretalls masterstudenter. Det er en betydelig vitenskapelig publisering i feltet, med over 600 publikasjoner registrert innen NOWITECH til nå. Det nasjonale og internasjonale samarbeidet med industripartnere og andre FoU-institusjoner er allerede svært omfattende, men vil trolig øke enda mer dersom FLEXWT-infrastrukturen kommer på plass.

Flytende vindturbiner er kompliserte innretninger å analysere. Turbinen beveger seg på grunn av vind og bølger, og har interaksjon med et dynamisk, ikke-stasjonært grensesjikt mellom sjø og atmosfære. Man utvikler derfor numeriske modeller for analyse av design og operasjon av slike innretninger. Disse modellene må verifiseres/kalibreres ved hjelp av feltmålinger i stor skala. Derfor er storskala prototyper et viktig supplement til fysiske og numeriske modeller. Vitenskapelig utbytte av HiPRWind-turbinen for dette formålet vil være større enn for den opprinnelige FLEXWT-turbinen, fordi den er mye nærmere fullskala, som for kommersielle vindturbiner til havs forventes å være om lag 10 MW.

Det faglige formålet med denne forskningsinfrastrukturen er

- Å utgjøre en kilde til data og målinger for validering av numeriske modeller som predikerer den dynamiske oppførselen til en flytende vindturbin utsatt for krefter fra vind, bølger og strøm, så som flyterens bevegelser og akselerasjoner, belastninger på konstruksjonen og strekk i forankringslinjer og ankere.
- Å utgjøre en plattform for eksperimentell forskning, utprøving og demonstrasjon av nye elementer i offshore vindteknologi som kan bringe slik teknologi videre mot kommersiell anvendelse, herunder ulike modifikasjoner av anlegget, så som nye kontrollmetoder, modifiserte turbinblader, alternative forankringssystemer.
- Utprøving av og eksperimentering med ulike sensorer og måleutrustning for forbedrede drifts- og vedlikeholdssystemer (tilstandsbasert vedlikehold).

Det finnes noen få installasjoner av flytende vindturbiner i verden. En av dem er Statoils HyWind-turbin som har vært i drift utenfor Karmøy i noen år. Ingen av disse gir imidlertid åpen tilgang til måledata fra installasjonene og utstyrsleverandørene underlegger dataene konfidensialitetsklausuler. Derfor er ikke disse dataene egnet for samarbeidsforskning, slik som bidragsforskning og ph.d.-prosjekter som skal publiseres åpent, og åpen benchmarking av numeriske modeller. Installasjonene er heller ikke tilgjengelig for utprøving av forskningsresultater og nye teknologier.

Fagmiljøene ved NTNU og SINTEF vurderer at denne forskningsinfrastrukturen vil være avgjørende for forskning på energiproduksjon ved hjelp av flytende vindturbiner, og viktig for å nå frem i konkurransen om et nytt forskningssenter for miljøvennlig energi (FME) når finansieringen av det pågående senteret går ut i 2016. Infrastrukturen vil være unik i sitt slag, som en åpen installasjon tilgjengelig for alle, og med mulighet til å publisere data fra målinger og forsøk. Dette vil gjøre trondheimsmiljøet enda mer attraktivt som samarbeidspartner for internasjonalt ledende forskningsinstitusjoner og industriaktører.

### **3. Det reviderte prosjektet – søknad, kostnader og finansiering**

HiPRWind-konsortiet er avhengig av å ha en organisasjon som er villig til å overta den utviklede vindturbinen etter at HiPRWind-prosjektets utprøvningsfase er ferdig (høsten/slutten av 2016). NFR støtter sterkt å endre FLEXWT slik at vi realiserer prosjektmålet ved å overta HiPRWind-turbinen. NFR har gitt HiPRWind-konsortiet et «Letter of Intent» om at de vil overføre den eksisterende bevilgningen til det reviderte prosjektet. HiPRWind-konsortiet er avhengig av å få startet opp igjen

prosjektet i løpet av året for å unngå at midlene blir trukket inn av kommisjonen. Vi har uttrykt en klar intensjon fra vår side om å delta så sant ikke uforutsette forhold som endrer forutsetningen skulle komme fram i prosjektgjennomgangen.

NTNU har sendt en revidert prosjektbeskrivelse og søknad om å omdisponere den bevilgningen som ble gitt til FLEXWT til dette formålet. Den samlede faglige vurderingen av denne søknaden er 6 – Excellent. NTNU og SINTEF har søkt Forskningsrådet om tilleggsbevilgning for de økte kostnadene det nye konseptet vil gi.

Totalbudsjettet for investeringen er estimert til 68 MNOK, det vil si en tilleggsbevilgning på 25,9 MNOK i forhold til det allerede innvilgede prosjektet på 42 MNOK. Investeringsbudsjettet inneholder en reserve på 15 % for uforutsette kostnader. De store beløpene i dette budsjettet er baserte på tilbud innhentet i markedet etter planforutsetningene på søknadstidspunktet, og er dermed rimelig robuste anslag.

Det er også søkt om støtte til driftsfasen i de første 5 årene med 7,8 MNOK av totalt estimerte driftskostnader på 31,6 MNOK. Av dette forventes ca. 13 MNOK dekket gjennom salg av strøm fra installasjonen.

I det foreløpige svaret på søknaden om omdisponering av de 42 MNOK som er bevilget sier NFR:

«Forskningsrådet vil kunne endre kontrakten under forutsetning om at prosjektet gjennomføres i henhold til den reviderte prosjektplanen innenfor tidligere vedtak om en bevilgning på 42 millioner kroner. Kontrakten må vedlegges en bekreftelse fra konsortiet for FLEXWT om at institusjonene garanterer for nødvendig finansiering utover bevilgningen fra Forskningsrådet for å etablere og drifte forskningsinfrastrukturen. En slik garanti må gjelde uansett utfall av søknaden om tilleggsbevilgning.»

Siden utfallet av behandlingen av søknaden om tilleggsfinansiering ikke vil foreligge før sommeren 2015, må altså NTNU og SINTEF binde seg til å gjennomføre prosjektet før svaret foreligger.

Dette betyr at NTNU og SINTEF kan komme til å måtte dekke opp til 26 MNOK av investeringsbeløpet av egne midler dersom søknaden om tilleggsbevilgning ikke blir (fullt ut) innvilget. For driftsfasen på 5-8 år må NTNU og SINTEF binde seg til å skaffe de midlene som trengs til driften gjennom å skaffe fram prosjekter som kan beskjefte infrastrukturen, evt. å dekke manglende leieinntekter gjennom egne midler.

#### **4. Prosjektgjennomføring**

HiPRWind-konsortiet er rekonstruert etter at en sentral aktør trakk seg. Siden installasjonen nå skal installeres på norskekysten må konstruksjonen verifiseres for vind- og bølgeklima her. FLEXWT-konsortiet vil ha som forutsetning for å overta installasjonen at den er bygd til de krav som denne verifikasjonen identifiserer. Verifikasjonen vil kreve ekstra tid, og HiPRWind er derfor i en prosess for å revidere tidsplanen for gjennomføringen under hensyn til dette.

HiPRWind-konsortiet ønsker å trekke på kompetansen om gjennomføring av et byggeprosjekt til havs, og de marine operasjonene som utføres i forbindelse med det som FLEXWT kan stille til disposisjon.

Den overordnede gjennomføringsplanen er derfor planlagt som følger:

- FLEXWT-konsortiet søker om konsesjon for å installere og drive en vindturbin til havs. Denne prosessen er alt startet opp, da søknadsbehandlingen har lang ledetid.

- HiPRWind-konsortiet verifiserer designet for vind- og bølgeforhold på lokasjon på norskekysten.
- HiPRWind-konsortiet produserer stålunderstellet, lager et nytt tårn på turbinen, og sammenstiller turbin og understell i havnen i Spania. Testing som kan foretas før sjøsetting foretas.
- Turbinen lastes ut fra kai til lekter i havnen i Spania under HiPRWinds ledelse.
- FLEXWT-konsortiet står for transport/slep på lekter fra Spania til et verft i Midt-Norge. Slepet forventes å foregå med turbinbladene demontert fra turbinen.
- HiPRWind-konsortiet gjør resten av integrasjonen, inkludert montering av turbinblader. Installasjonen sjøsettes, og den testing som kan gjøres uten at turbinene er koblet til el-nettet gjennomføres.
- FLEXWT-konsortiet anskaffer kabel og sørger for legging av denne fra tilkoblingspunktet til nett på land fram til lokasjonen i havet der installasjonen skal plasseres. Anker og ankerliner plasseres på lokasjon.
- FLEXWT-konsortiet står for sleping av installasjonen til lokasjonen, gjennomfører forankring og kobler opp el-kabelen til turbinen.
- HiPRWind-konsortiet overtar installasjonen gjennomfører integrasjonstesting («commissioning») av hele systemet, inkludert målesystem om bord og for vind og bølger. Når installasjonen er fullt operativ, starter HiPRWind sitt utprøvningsprogram, som forventes å avsluttes ved utgangen av 2016.
- FLEXWT overtar eierskap og driftsansvar for installasjonen som en forskningsinfrastruktur i 5-8 år. Overtakelsen baseres på at installasjonen er i en stand som skal avtales i avtalen med HiPRWind-konsortiet.

FLEXWT er i ferd med å gjennomføre en såkalt «due diligence» prosess på HiPRWinds prosjekt og innretning for å verifisere at prosjektplan, spesifikasjoner, instrumentering, verifisering/sertifisering og prosjektinnhold for øvrig tilfredsstiller de krav og standarder FLEXWT setter. En del av dette arbeidet dreier seg om å avtale grenseflater mellom HiPRWinds arbeidspakker og FLEXWTs aktiviteter. Det skal framforhandles en kontrakt mellom konsortiene som regulerer ansvarsforhold i de ulike trinnene i prosjektgjennomføringen, og definerer hvem som dekker kostnadene til de ulike aktivitetene.

NTNU og SINTEF etablerer et samarbeidsprosjekt som skal få på plass denne prosjektdefinisjonen. Prosjektet har IVT-fakultet som vertsfakultet for NTNUs deltakelse. Dette prosjektet planlegges avsluttet ved utgangen av januar 2015. Resultatene vil danne grunnlag for beslutning om gjennomføring av hovedprosjektet i besluttede organer i FLEXWT-konsortiets partnerinstitusjoner.

## 5. Ressursbehov

### 5.1. Etableringsfasen

#### a) *Ressurser som forbrukes i definisjonsfasen.*

NFR-finanseringen frigis når NTNU og SINTEF er enige om å gjennomføre prosjektet. Fram til da må partene dekke sine kostnader selv, og fordele ansvaret for kostnader til bortsatt arbeid til oppgaver som trenger ekstern kompetanse, og oppgaver som har så lang ledetid at arbeidet må starte før beslutning om full gjennomføring er tatt.

b) *Fordeling av ansvaret for investeringsrisikoen mellom NTNU og SINTEF.*

Det er forhandlinger i gang om en fordeling av risikoen for den manglende finansieringen (estimert til 26 MNOK, som det søkes dekning for gjennom tilleggsbevilgning fra NFR) mellom NTNU og SINTEF. Disse forventes i bli fullført i gjennomføringen av samarbeidsprosjektet for prosjektdefinisjonen.

c) *Merverdi ved innførsel av HiPRWind-turbinen.*

Ut fra at det avtales at eierskapet til turbinen skal overdras til FLEXWT vederlagsfritt, har det ikke vært tatt med kostnader til merverdiavgift ved innførselen i kostnadsbudsjettet. Innledende runder med Tollvesenet har imidlertid gjort det klart at det vil påløpe slik avgift. Det er en prosess i gang for å avklare med Tollvesenet hvilket prinsipp som skal legges til grunn for å fastsette grunnlaget for beregning av merverdiavgift. Ingen av standardbestemmelsene i Tolloven kommer til anvendelse, slik at verdien må fastlegges ved skjønn, som må godkjennes av tollmyndighetene. Intensjonen er at prinsippet for fastleggelse av avgiftsgrunnlaget blir avtalt med tollmyndighetene, slik at man får en kjent øvre grense for denne avgiften før beslutning om gjennomføring tas. Det er tenkbart at denne kostnaden kan bli så stor at den økonomiske risikoen vurderes som for høy til at prosjektet kan gjennomføres uten at det foreligger en anvisning av kostnadsdekning fra en ekstern finansieringskilde.

## **5.2. Driftsfasen**

I driftsfasen er forventede driftskostnader beregnet til ca. 5,5 MNOK pr. år, total beregnet til rundt 32 MNOK fram til utgangen av 2021. Det forventes et salg av strøm på ca. 2,5 MNOK pr. år, som går til dekning av driftsutgifter. De øvrige driftskostnadene må dekkes inn gjennom aktivitet på turbinen, betalt av prosjekter som bruker den. Totalt skal det altså inndeckes ca. 15 MNOK i leieinntekter over fem år. Det er søkt grunnfinansiering til driften fra NFR, avtrappende utover i driftsperioden, totalt med 7,8 MNOK. Utfallet av denne søknaden er ikke kjent før sommeren 2015.

Under forutsetning av at tilleggsbevilgning gis av forskningsrådet er døgnleien for installasjonen til bidragsforskning estimert til 6-7 kNOK pr. døgn ekskl. MVA. Dersom det ikke gis tilleggsbevilgning, kan avskrivninger av investeringer fra konsortiet legges inn i leieprisen. Dette vil bidra til inndekning av investert beløp hos partnerne. Leieprisen forutsatt 8 år avskrivningstid vil da bli ca. 15 kNOK pr. døgn ekskl. MVA for bidragsforskning.

Etter NFRs politikk for dekning av kostnader for bruk av forskningsinfrastruktur vil leie av installasjonen beregnet etter rater som dekker de aktuelle kostnadene for drift (pluss evt. avskrivninger) være tillatte kostnader i NFR-finansierte forskningsprosjekter. Det vil i stor grad være NTNU og SINTEF som må etablere de forskningsprosjektene som er nasjonale brukere av infrastrukturen. Det er betydelig forskningsaktivitet både ved NTNU og SINTEF på feltet, noe som borger for at det vil bli søkt om slike prosjekter. Det er også signalisert betydelig interesse for å benytte en installasjon av denne typen fra internasjonale samarbeidspartnere. Det vil bli tatt initiativ til å få denne installasjonen inn på EUs veikart for forskningsinfrastruktur, men det er ikke gitt at en slik status vil føre med seg driftsfinansiering.

Det skal inngås en avtale mellom NTNU og SINTEF om fordeling av ansvaret for å skaffe beskjeftigelse til infrastrukturen. Udekkede driftskostnader på grunn av lav beskjeftigelse må dekkes av partnerne etter avtalt fordelingsprinsipp. Dersom beskjeftigelsen blir lavere enn planlagt vil det også være rom for å redusere driftskostnadene noe.

Ut over svak beskjeftigelse er det økonomiske risikoelementet i driftsfasen større driftskostnader enn forutsatt. Det usikre elementet her er først og fremst høyere kostnader til feilrettende vedlikehold, slik som måleutrustning som feiler og at installasjonen blir utsatt for skader, eksempelvis på grunn av hardt vær eller andre forhold. Dersom kostnadene blir høyere enn det som er estimert nå, vil det være anledning til å belaste høyere leierater enn de som er anslått hittil. Spørsmålet blir da hvor betalingsdyktig markedet for slike utprøvingstjenester vil være.

## 6. Prosjektavslutning

Et siste punkt dreier seg om fjerning og avhending av installasjonen når dens funksjon som forskningsinfrastruktur avsluttes. Forutsetningen er da at installasjonen skal fjernes fra lokasjonen, og avhendes til skrap. Skrapverdien vil et godt stykke på vei dekke kostnaden ved fjerning. Det skal gjøres en studie som avklarer hva kostnaden for fjerning vil bli, og mellomlegget mellom skrapverdi og forventet kostnad planlegges dekket ved å bygge opp et fond i løpet av driftstiden. Bidrag til et slikt fond ligger ikke inn de de kostnadstallene som er presentert i dette notatet.

## 7. Om innretningen



Innretningen består av en halvt nedsenkbar flyter med tre søyler, som skal slakt forankres med tre ankere på knapt 150 meters vanddyp, og en turbin montert på et tårn plassert i senter av trekanten mellom søylene. Senteravstanden mellom søylene er 35 meter, og diameteren av pontong og dempningsplate på søylene er 16 meter, med et dypgående på 11 meter i operativ tilstand. Turbinen vil være en marinisert versjon av en GE-turbin på 1.5 MW. Nacellen på turbinen (med gir og generator) vil være plassert ca. 60 meter over vannflaten, og diameter på turbinen er ca. 70 meter.

Den utrustes med systemer for måling av

- vind, bølger og strømforhold som påvirker strukturen
- de resulterende atmosfæriske og havkrefter på flyter, tårn og rotor
- effekten av kreftene på konstruksjonen med hensyn på styrke og utmatningsvurderinger
- drift og vedlikehold, kvaliteten på elektrisk effekt og energi som leveres

Design, operasjon og overvåking av flytende vindturbiner må baseres på numeriske modeller. Det krever modellering av tette koblinger/interaksjon mellom aero-hydro-servo-elastiske fenomener og egenskaper. Oppskalering av forsøk i modellskala i laboratorier til fullskala følger ulike modell-

lover for aerodynamikken for vindturbinen og for hydrodynamikken for flyteren. Det betyr at det ikke er mulig å gjøre en korrekt oppskalering av modellresultater for hele innretningen med turbin og flyter.