



STUDIE AV OLIKA FUNDAMENT FÖR KRIEGER'S FLAK HAVSBASERADE VINDKRAFTPARK

September 2009

In co-operation with:



Studie av olika fundament för Kriegers flak havsbaserade vindkraftpark Göran Loman¹, Vattenfall Vindkraft AB

Denna PM presenterar en studie kring fundament, som Vattenfall har genomfört med ekonomiskt stöd från Energimyndigheten. Fem olika typer av fundament har analyserats och utvecklats. Studien har baserats på data från Kriegers flak i södra Östersjön, där Vattenfall driver projektet Kriegers flaks vindkraftpark. De fundament som studerats är monopile i stål, fackverk i stål, gravitationsfundament i betong, tripod i betong samt monopile i betong. Gravitationsfundamentet och fackverksfundamentet är tekniker som använts vid flera tidigare projekt och tekniken får anses vara väl beprövad. Trots detta har i denna studie dessa koncept utvecklats ytterligare. Exempelvis har undersökts gravitationsfundament som under transport är flytande och semi-flytande och därmed kan bogseras ut. För fackverket har antalet noder optimerats. Tripoden och monopilen i betong är två nya koncept som behandlats i studien, med många intressanta lösningar. Dessa två koncept kan utvecklas ytterligare.

INLEDNING

Vattenfall undersöker förutsättningarna för en havsbaserad vindkraftpark i den svenska delen av Kriegers flak, i södra Östersjön. Vattendjupet i det aktuella området är cirka 20–40 meter och avståndet till den svenska kusten är cirka 30 kilometer. Vindkraftparken projekteras för 128 turbiner, vardera med en installerad effekt om 5 MW, totalt of 640 MW. Den beräknade årliga produktionen uppgår till 2,6 TWh.

För närvarande är projektarbetet fokuserat på att sammanställa så kallad *site assessment*, där bland annat uppgifter om geoteknik, hydrografi och meteorologi sammanställs. Vidare sker arbete med miljö- och tillståndsfrågor. I enlighet med projektets tidplan, skulle upphandling kunna påbörjas 2011. Vattenfall har dock inte tagit något investeringsbeslut för anläggningen. Detta kan ske när alla väsentliga tillstånd har erhållits och en fullständig *site assessment* har upprättats. Projektet måste även uppfylla Vattenfalls ekonomiska krav på lönsamhet. I nuläget är kostnaderna investering och drift för höga, i jämförelse med de svenska ersättningsnivåerna för producerad el och elcertifikat.



Figur 1 Kriegers flak i södra Östersjön.

Vattenfall är en av Nordeuropas största producenter av vindkraftel, och världens näst största bolag inom havsbaserad vindkraft. Idag har Vattenfall vindkraftanläggningar i Danmark, Finland, Nederländerna, Polen, Tyskland, Storbritannien och Sverige. Vattenfall har som mål att öka sin årliga produktion av vindkraftel från 2 TWh idag till 49 TWh år 2030.

Med stöd från Energimyndigheten har Vattenfall utvärderat olika typer av fundament för havsbaserade turbiner, med en storleksordning av 3–5 MW och för ett vattendjup om 20–40 m. Studien har även undersökt olika förbättringar med avseende på tillverkning, installation, underhåll och miljöpåverkan.

¹ Göran Loman, Vattenfall Vindkraft AB
Stortorget 3, S-211 22 Malmö, Sweden
Phone +46 705 49 36 10
e-mail goran.loman@vattenfall.com

Studien har fokuserat på fyra olika typer av fundament: fackverk i stål, gravitationsfundament i betong, tripod i betong samt monopile i betong. Som referens har även studerats en monopile i stål. Därutöver har utvecklats en robot för bottenpreparering på stora djup. Helge Gravesen vid Grontmij | Carl Bro, har varit projektledare för studien.

Arbetet inleddes med ett öppet seminarium vid Vattenfall i Stockholm, där en projektplan presenterades för intresserade konsulter, entreprenörer och projektörer med flera. Ett tiotal tio konsulter och entreprenörer engagerades i arbetet med att studera, utvärdera och utveckla de olika fundamenten. För varje typ av fundament fanns en grupp med konsulter och entreprenörer som hade huvudansvaret för arbetet. Det var dock ett intensivt utbyte av tankar mellan de olika grupperna, något som ledde till ytterligare utveckling av koncepten.

KRIEGERS FLAKS VINDKRAFTPARK

Vindkraftparken

Kriegers flaks vindkraftpark projekteras för turbiner med en storlek av cirka 5 MW. Det är dock inte beslutat om vilken turbin som skall användas och fundamenstudien har baserats på preliminär data för två olika vindturbiner om 3,6 MW respektive 5,0 MW [Ref 1]. Turbinen om 3,6 MW har haft en navhöjd om 72,5 m och turbinen om 5,0 MW har haft en navhöjd om 82,5 m. Nacellen för dessa två turbiner har antagits ha en vikt av 220 ton respektive 410 ton och tornvikten har varit 220 ton respektive 300 ton.

Av de 128 turbinerna, är 58 lokaliserade till ett vattendjup mindre än 26 m, 41 till ett djup om 26–34 m och 29 till ett djup över 34 m.

Site assessment

Grontmij | Carl Bro har sammanställt den *site assessment* som legat till grund för studien [Ref 2]. Nedan ges en mycket kortfattad sammanfattning.

Meteorologi och oceanografi

För studien har antagits en medelvind vid +80 meter om 8,80 m/s. Högsta 10-minuters vindhastighet över femtio år har beräknats till 37,5 m/s och maximal 3-sekunders vind är beräknad till 49,6 m/s.

Den signifikanta våghöjden har beräknats till 5,2 m, med en maximal våghöjd om 9,6 m. Vid dimensionering av fundamenten har även beaktats förhållandena kring is, med en antagen maximal istjocklek av 0,38 m. Vidare har hänsyn tagits till de lokala strömförhållanden.

Geologi

Det prekvartära ytlagret innehåller kalksten avsatt under yngre Kritaperioden. De översta 350 m av den sedimentära berggrunden består av mjuk, vit kalksten med rikligt förekommande chert i den övre delen. I de centrala delarna av Kriegers flak är berggrunden täckt av mindre än 20 m kvartära sediment. Dessa kvartära sediment består generellt av glacial diamikton och glacio-fluviala avsättningar täckta av glaciolakustrina och marina sediment. Det glaciala landskapet domineras av ett fåtal meter höga nordväst-sydostgående moränrygggar i de nordöstra och sydvästra delarna av Kriegers flak. I området som avses kan två moräntyper urskiljas: dels en äldre bottenmorän vilken kan härledas till glaciotehtonisk deformation, dels en yngre som består av ett täcklager av flytmorän.

Största delen av sand- och grusavsättningarna är littorina-avsättningar, bildade som revlar på moränryggarnas läsidor. Sub-recenta och recenta processer kan iakttas, vilket visar på erosion och redeposition under hårda väderbetingelser. En analys av avsättningarna tyder på att sediment med högt innehåll av grus, sten och block kan finnas i riklig mängd i de närliggande strandområdena. Moränavsättningarna återfinns på olika djup, åtskilda av lager med grövre material, exempelvis stenar och block.

Vid ett vattendjup på cirka 26 m täcks moränen av ung glaciallera. I allmänhet täcks leravsättningarna av ett tunt sandlager. Fin- till grovkorniga sandavsättningar även innehållande grus och sten är karakteriserande för de ytliga delarna av centrala Kriegers flak.

FUNDAMENTEN

Hitintills har havsbaserad vindkraft främst uppförts i förhållandevis grunda områden, med vattendjup som sällan överstiger 20–25 m. Gravitationsfundament i betong och stålmonopile har varit den dominerande typen av fundament för dessa vattendjup. Vid Kriegers flak når vattendjupet ned till drygt 40 m, i framtida projekt kan det vara aktuellt med vattendjup ned till 50–60 m. För dessa vattendjup fordras ytterligare utveckling av fundament.

Föreliggande studie omfattar således monopile i stål och i betong, gravitationsfundament i betong, fackverksfundament i stål samt en tripod (gravitation) i betong.

Stålmonopile

Inledning

Fundamentering med stålmonopile, som i studien används som referens, är en väl beprövad teknik som har använts vid flera olika havsbaserade vindkraftparken, såsom Horns Rev utanför Danmarks västkust.

Rambøll Wind och MT Højgaard [Ref 3] ansvarade tillsammans för studierna av stålmonopile.

Design

Monopilefundamentet består av två delar: själva monopilen (stålröret) som pålas ned i botten med en hydraulhammare och övergångsstycket med iskon som monteras på toppen av stålröret. För 5,0-turbinen har rördiametern uppgått till 5,75–6,75 m. För att passa både stålröret och tornet har övergångsstycket en konad del. Rörets vikt är 525–1 050 ton (beroende på vattendjup och erforderlig penetration i botten).

Kostnad

Kostnaden för en stålmonopile till ett 5 MW-verk (inklusive design, tillverkning och installation) är för ett vattendjup om 35 m, beräknad till €620 000/MW. Kostnaden baseras på en serie av 40 fundament.

Övrigt

De geologiska förhållandena vid Kriegers flak är fördelaktiga för monopile. Visserligen förekommer block i närmare en femtedel av positionerna, men dessa förväntas inte utgöra något påtagligt hinder.

Olika dämpare på konstruktionen kan öka stabiliteten, dessa dämpare bör dock utvecklas tillsammans med turbinleverantörerna eftersom de kan komma att påverka utformningen av tornen. Man kan konstatera att det för monopile vid Kriegers flak, finns ytterligare möjlighet till optimering och reduktion av materialbehovet.

Fackverk i stål

Inledning

Marina fackverkskonstruktioner används ofta inom olje- och gasindustrin. Inom vindkraft kan nämnas Beatrice Offshore Wind Farm i Skottland.

Rambøll Wind och MT Højgaard [Ref 4] ansvarade tillsammans för studierna av stålfackverk.

Design

Fackverksfundamentet består av tre delar: pålar som trycks ner i botten, fackverkskonstruktionen och övergångsstycket. Fackverkskonstruktionen har tre eller fyra ben, som är sammankbundna med K-, N- eller X-noder. Inledande studier visade att i den aktuella miljön är ett fackverk med fyra ben, sammansatta med X-noder, det bäst lämpade.

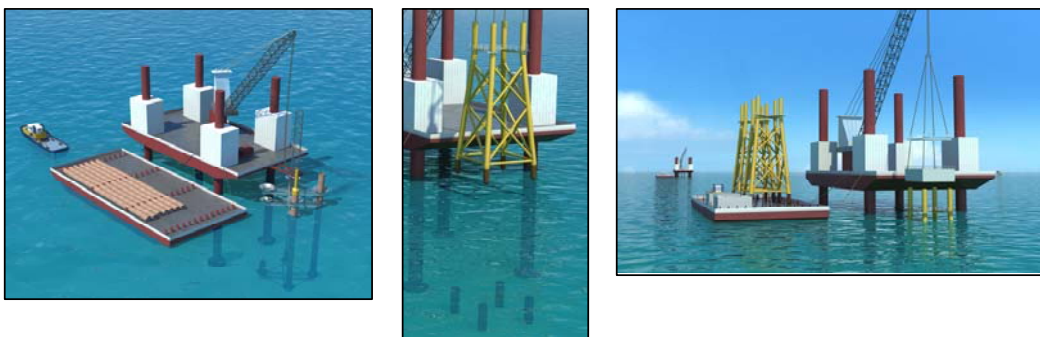
I studien utvecklades ett övergångsstycke i betong. Detta placerades vid en nivå +10,5 m över havsytan; härigenom kom det över den antagna högsta vågen. På grund av fackverkskonstruktionens höga styvhet i förhållande till monopilen, var det inte möjligt att hålla egenfrekvensen inom angivet intervall. Ett lättare torn kan användas för att sänka denna frekvens, alternativt kan nacellhöjden ökas.

Fackverkskonstruktionen för en 5 MW-turbin väger 261 ton, de fyra pålarna som fäster konstruktionen i botten väger tillsammans 262 ton och övergångsstycket väger 700 ton.

Tillverkning och installation

Det finns i norra Europa flera leverantörer som kan tillverka fackverkskonstruktioner i stål. De färdiga fundamenten transporteras på pråm direkt till installationsfartyg vid Kriegers flak.

För att upprätthålla en kontinuerlig installation vid Kriegers flak, föreslås att två installationsfartyg används, där det ena installerar de fyra pålarna och det andra installerar fackverkskonstruktionen och övergångsstycket. Med hjälp av en ram placeras de fyra pålarna i rätt position innan de slås ned med en hydraulhammare. Pålarnas överyta noteras noggrant och eventuella justeringar sker av fackverkskonstruktionen. Efter det att ramen tagits bort placeras fackverkskonstruktionen på pålarna, sist placeras övergångsstycket.



Figur 2 Installation av fackverksfundament i stål. Först placeras pålarna, därefter fackverkskonstruktionen och slutligen övergångsstycket. (Illustrationer från Rambøll)

Kostnad

Kostnaden för 40 fackverksfundament för 5,0 MW-turbiner (vid ett vattendjup av 35 m) är beräknat till €608 000/MW.

Övrigt

Generella fördelar med fackverkskonstruktionen är den låga belastningen av vågor, den höga styvheten och de begränsade kraven på geotekniken, jämfört med stålmonopile. Konstruktionen är därför lämplig på djupare vatten, i områden med stora vågor och där de geotekniska förhållandena är dåliga.

Det kan konstateras att den föreslagna designen inte är helt optimerad för förhållandena vid Kriegers flak, dock utfördes två flera väsentliga förbättringar. Bland annat ett system där pålning sker innan fackverket placeras ut, och övergångsstycke tillverkat i betong. Ytterligare optimering skulle troligen medföras att fackverkskonstruktionen är konkurrenskraftig vid vattendjup överstigande 30–35 m. För att ytterligare reducera materialbehovet krävs dock mer detaljerade kalkyler av lastförhållandena och inverkan av torn och turbiner.

Gravitationsfundament i betong

Inledning

Gravitationsfundament i betong har använts vid ett flertal havsbaserade vindkraftparker, däribland Vattenfalls vindkraftpark Lillgrund, i Öresund.

COWI A/S och Per Aarsleff A/S [Ref 5] ansvarade tillsammans för studierna av gravitationsfundament i betong.

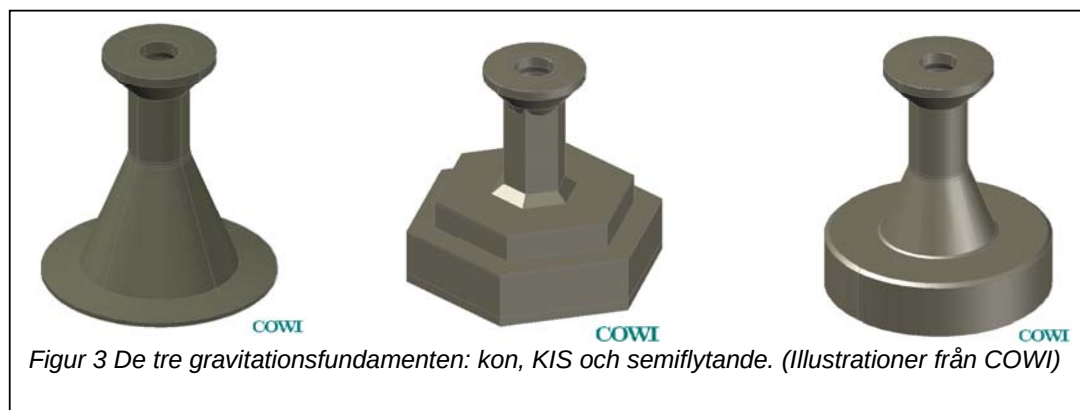
Design

Studien av gravitationsfundament har fokuserat på ett konformat fundament. Det är ett beprövat koncept som har en fördel i att behovet av betong är begränsat, härigenom kan vikten reduce-

ras. Den välvda formen ställer dock särskilda krav på gjutformar, vidare krävs trots allt en lyftkapacitet om 3 000 tons eller mer.

I studien utvecklades även ett fundament som kan transporteras flytande. I ett försök att förenkla tillverkningsarbetena av detta flytande koncept tillämpades den så kallade KIS-principen (keep it simple). Fundamentet kom därför att bestå främst av raka delar. Förutom att ha tillräckligt med flytkapacitet måste fundamentet även vara stabilt under transport och när det sänks ned på botten. För att uppnå detta har strukturen gjorts större, vilket ökat materialbehovet och kostnaden. Därför utvecklades också ett tredje koncept som kan ses som ett mellanting mellan kon-fundamentet och KIS-fundamentet. Denna tredje typ av fundament kan flyta med hjälp av en flytkrage och materialbehovet är lite mindre än för KIS-fundamentet.

Vikten av kon-fundamentet är 3 300 tons (med en basdiameter om 25 m). För KIS-fundamentet är vikten 5 900 ton (diameter 31 m) och för den semiflytande konstruktionen är vikten 4 200 ton (diameter 25 m).



Tillverkning och installation

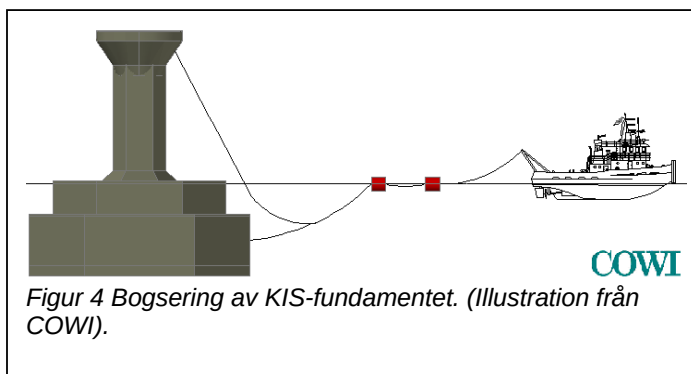
Gravitationsfundamentet kan tillverkas i en hamn, total arbetsyta som krävs är cirka 40 000 m². Tillverkning kan ske i två linjer för olika moment, vardera med fyra arbetsstationer. Under tillverkning flyttas fundamenten på en släde eller liknande, mellan de olika arbetsstationerna och till utskeppningsplats genom.

För kon-fundamentet krävs ett vattendjup vid kaj om minst 6 m, för att ett lyftfartyg liknande Svanen eller Rambiz skall kunna lägga till. För KIS-fundamentet krävs någon form av ramp eller lyftanordning (exempelvis Syncrolift) för att placera fundamentet i vattnet. Vattendjupet måste för detta fundament vara minst 14 meter. För det semiflytande fundamentet måste vattendjupet vara minst 12 meter.

Inför installation måste havsbotten muddras ned till en nivå med tillräcklig bärlighet. På den muddrade ytan placeras ett bärlager av sten.

Kon-fundamentet transporteras delvis nedsänkt i vattnet till rätt position och sänks sedan ned. KIS-fundamentet bogseras till vindkraftparken och sänks genom att ballasttankar fylls med vatten. Det semiflytande fundamentet transporteras flytande och

erhåller tillräcklig flytkraft med hjälp av en 750 m³ stor ponton. På plats vinschas fundamentet ned, samtidigt fylls ballasttankarna med vatten



Kostnad

För kon-fundamentet beräknas kostnaden för 40 fundament för 5,0 MW-turbiner (vid ett vattendjup av 35 m) till €475 000/MW. För KIS-fundamentet beräknas kostnaden till €800 000/MW och för det semifytande fundamentet beräknas kostnaden till €600 000/MW.

Övrigt

Om behovet av lyftkapacitet skulle vara kritiskt finns olika möjligheter att reducera mängden av betong, dock krävs då ökad armering. Med en fortsatt utveckling av fundamentens design finns möjlighet till ytterligare kostnadsreduktionen.

Tripod i betong (gravitation)

Inledning

Den föreslagna betongtripoden är ett nytt koncept med en oortodox design. Fundamentet har utvecklats specifikt för de vattendjup som förekommer vid Kriegers flak.

ISC A/S and Skanska AB [Ref 6] ansvarade tillsammans för studierna av betongtripoden.

Design

Den studerade betongtripoden har hexagonala stödben. Denna form medför visserligen större hydrografiska laster än ben med ett cirkulärt tvärsnitt, men de är enklare att tillverka med avseende på armering och gjutformar. Huvudstrukturen är således hexagonala balkar av förspänd betong och stålrör i botten. Vanligen har stål- eller betongtripoder en central pelare. I denna studie har i stället de tre benen anslutits direkt mot övergångsstycket/iskonen. Detta har gett en konstruktion med bättre lateral styrka och styvhet, något som är väsentligt av hänsyn till islast och vågor.

De vertikala krafterna från massan av rotor, nacell och torn, överförs via övergångsstycket, genom de tre benen till havsbotten. De laterala krafterna från vind mot turbin och torn, ger ett moment och en skjuvkraft mot övergången till iskonen. Från iskonen överförs dessa krafter genom vridmoment via benen och ned i havsbotten. Även de vertikala krafterna från vågor och strömmar tas upp genom benen

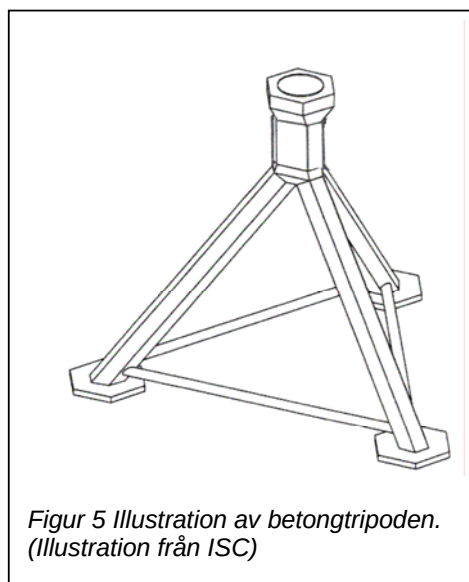
Tillverkning och installation

Tripoderna kan prefabriceras i en hamn, lämpligen någonstans längs i Östersjöskusten, beroende på avvägningar kring material och arbetskostnad samt kostnad för transport. För utlastning krävs en 150 meter lång kaj, med ett vattendjup av 8 m. Eftersom tillverkningen kräver en del specialutrustning måste arbetsområdet skräddarsys. Efter tillverkning av de enskilda elementen och montering till en färdig tripod, transporteras tripoderna på pråmar till vindkraftparken och sänks ned med hjälp av kranar. Slutligen injekteras jorden under fötterna och benen fylls med ballastmateriel.

Den pråm som används för transport måste anpassas med ramp och särskilda stöd över däck. Kranen som används vid installation måste ha en lyftkapacitet om 3 200 ton.

Kostnad

Kostnaden för 40 tripoder i betong för 5,0 MW-turbiner (vid ett vattendjup av 35 m) är beräknat till €770 000/MW.



*Figur 5 Illustration av betongtripoden.
(Illustration från ISC)*

Monopile i betong (borrad)

Inledning

Ett fundament i form av en borrad monopile i betong har tidigare inte testats för havsbaserad vindkraft. Tekniken är dock likartad den som används vid tunnelborrning. Betongmonopilen placeras vertikalt på havsbotten och en bormaskin sänks ned inne i monopilen. Borrhuvudet borrar ned i havsbotten, varvid fundamentet successivt sjunker ner.

Ballast Nedam and MT Piling [Ref 7] ansvarade tillsammans för studierna av den borrade betongmonopilen.

Design

Monopilen består av förgjutna armerade betongringar. Dessa ringar sätts samman och efterspänns till en färdig monopile. I botten monteras en stålskoning för att monopilen vid installation skall kunna skära genom jordlagren.

På toppen av monopilen placeras övergångsstycket i betong, med en iskon. För en 5,0 MW-turbin, är monopilens ytterdiameter 6,9 m och godstjockleken är 0,7 m. Fundamentet som borrar cirka 25 meter ned i havsbotten får en sammanlagd vikt om 2 200 ton.

Borrhuvudet är utformat så att det kan borra genom de olika typerna av jordlager och berggrund som finns på Kriegers flak. En variabel diameter hos borrhuvudet möjliggör att maskinen kan borra både inne i monopilen och under röret (ut till rörets fulla diameter).

Tillverkning och installation

Tillverkning av ringelementen och montering till monopile kan ske i en närbelägen hamn. Även övergångsstycket kan tillverkas där. För tillverkning krävs ett arbetsområde om cirka 5 ha. Monopilerna kan transporteras flytande till installationen. Övergångsstycket transporteras på pråmar. Installation kan ske med Svanen Heavy Lifting Vessel.

Installationsarbetet inbegriper följande moment:

- Övergångsstycket transporteras med pråm till Svanen.
- Den självflytande monopilen transportas till Svanen, som lyfter upp monopilen till en vertikal position på fartyget.
- Monopilen placeras i en ram på Svanen och sänks sedan ned till sjöbotten.
- Bormaskinen sänks ned inne i monopilen.
- Inledningsvis sker borrning med borrhuvudet placerat inne i röret, i nästa fas sker borrning under röret. Borrning, och sänkning av monopilen, fortgår till rätt djup uppnåtts.
- Bormaskinen lyfts upp ur monopilen.
- Efter placering av iskon på fundamentet, flyttar Svanen till positionen för nästa fundament.
- Kabelinstallation och annat efterarbete sker med ett separat fartyg.

Kostnad

Kostnaden för 40 monopilefundament i betong för 5,0 MW-turbiner (vid ett vattendjup av 35 m) är beräknat till €625 000/MW. Eftersom borrarutrustningen är kostsam kan en betydande reduktion uppnås om fler fundament installeras.



Figur 6 Installation av betongmonopilen. Den vänstra delfiguren visar hur Svanen sänker ned monopilen till havsbotten, borrarutrustningen hänger i kranen. Den högra delfiguren visar borrhuvudet. (Illustrationer från Ballast Nedam)

Övrigt

Det finns flera miljömässiga fördelar med en borrade betongkonstruktion, framför en pålad stålmonopile:

- Inget undervattensljud eller vibrationer som stör det marina livet.
- Utsläppet av koldioxid vid tillverkning är betydligt lägre för en betongmonopile.
- Betong har en bättre hållbarhet i marin miljö. Det krävs inget katodskydd eller särskild ytbehandling.

Stora block är ett problem. Block upp till 50 cm i diameter krossas eller delas av borrhuvudet. Även större block skall i första hand krossas, alternativt kan de tas upp genom bormaskinen

ROBOT FÖR PREPARERING AV HAVSBOTTEN

Installation av gravitationsfundament på ett vattendjup ned till 40 m är en ny utmaning för vindkraftindustrin. Vid de mer måttliga vattendjup som dagens vindkraftparker har etablerats på, har en stor del av bottenprepareringen skett med hjälp av dykare. Med allt större vattendjup kommer dykarnas arbetstid att förkortas väsentligt, vilket i sin tur medför ökade kostnader.

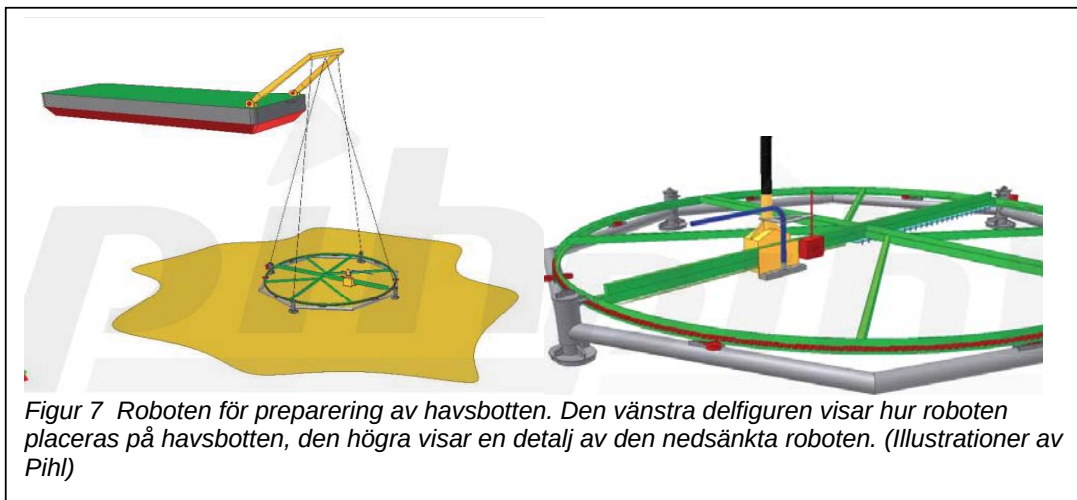
Inom ramen för fundamentstudien har Pihl, LicEngineering, GEO and Eiva tillsammans utvecklat ett nytt koncept för bottenpreparering. Konceptet baseras på en fjärrstyrd robot som har flera olika funktioner [Ref 8]. Med denna robot kan bottenpreparering ske helt utan dykare.

Roboten

Design

Som utgångspunkt för utvecklingen av roboten har använts den teknik som tillämpades vid tillverkning av stenbädden för Stora Bältbron och sänktunneln vid Öresundsförbindelsen.

Den utvecklade roboten består av en cirkulär ram med sex ekrar. Ramen förses med erforderlig mätinstrument och annan utrustning; exempelvis tryckmätare, CPT, vibrocore, slamsug, muddringsutrustning, och utrustning för att placera ut sten. Roboten sänks ned från en ponton, från vilken den även opereras.



Drift

Inledningsvis vid bottenpreparering sker sedvanlig muddring ned till ungefär det djup som slutligen erfordras. Roboten sänks ned från pontonen och positioneras exakt. Efter det att roboten mätt av ytan kan den slutföra muddringen och färdigställa ytan med stenbädd.

Arbetet med roboten inkluderar följande moment:

- Placering av roboten på havsbotten.

- Detaljerad undersökning av bottenens överyta.
- Undersökningar med CPT, vibrocore och/eller SPT.
- Avjämning av bottenytan.
- Placering av stenbädd, och avjämning till en tjocklek av 0,3-1,0 m.
- Efterföljande kontroll.
- Eventuella korrigerande arbeten.

Alla rörliga delar drivs med hydraulik från ett kraftpaket placerat under vattnet nere vid roboten. Härigenom undviks långa hydraulslangar. Kontroll och övervakning sker från en manövercentral på pontonen.

Kostnad

Kostnaden för preparering för fyrtio fundament är beräknad till €230 000–350 000/enhet. Denna kostnad inkluderar tillverkning av roboten och preparering av fyrtio positioner, men inkluderar inte den inledande muddringen. De höga initiala kostnaden för roboten, innebär att den totala kostnaden per fundament kan reduceras om fler fundament placeras ut.

SYNTES

Föreliggande studie av fundament för havsbaserad vindkraft har omfattat både sådan med beprövad teknik (monopile och fackverk i stål samt gravitationsfundament i betong) och nya tekniker (tripod och monopile i betong). För den beprövade tekniken har ytterligare utveckling visat att det finns möjlighet till förbättringar och kostnadsreduktioner. De nya koncept som studerats har en stor potential för ytterligare kostnadsreduktioner.

Under projektet framkom att en detaljerad *site assessment* är ett viktigt verktyg för att reducera osäkerheter och risker, och därmed även kostnader. Den slutliga utvecklingen av ett fundament för en särskild lokal, bör ske tillsammans med leverantörerna av torn och turbiner.

TACK

Författaren till denna PM framför sitt varma tack till de företag som på olika sätt har medverkat i studien: Grontmij | Carl Bro (personifierad av bland annat Helge Gravesen), Rambøll (Jacob Fisker Jensen), MT Højgaard (Bente Østerby), COWI A/S (Jørn Thomsen), Per Aarsleff AS (Alex Kjær), Ballast Nedam (Edwin v.d. Brug), MT Piling (Ruud van der Meer), ISC AS (Christian Riis Petersen), Skanska AB (Håkan Camper), E Pihl & Søn AS (Knud Winter) och SGS (Malte Lossin); samt kollegorna på Vattenfall (Thomas Stalin, Kim Ganshorn och Niklas Grahm).

REFERENSER

[1] Gravesen, H och Jørgensen, LB. Kriegers Flak Offshore Wind Farm, Design Basis Foundations. Vattenfall Vindkraft AB. 2009.

[2] Gravesen, H och Jørgensen, LB. Kriegers Flak Offshore Wind Farm, Site Assessment. Vattenfall Vindkraft AB. 2009.

[3] Rambøll Wind och MT Højgaard. Kriegers Flak Offshore Wind Farm. Conceptual study of Monopile Foundation for Wind Turbines. 2009.

[4] Rambøll Wind och MT Højgaard. Kriegers Flak Offshore Wind Farm. Conceptual study of Jacket Foundation for Wind Turbines. 2009.

[5] COWI. Kriegers Flak Offshore Wind Farm. Gravity Based Foundations. Conceptual design report. 2009.

[6] ISC och Skanska. Kriegers Flak Foundation Concept. Gravity Tripod Report. 2009.

[7] Ballast Nedam och MT Piling. Kriegers Flak Foundation Concepts. Conceptual Design Study Drilled Concrete Monopile. 2009.

[8] Pihl. Kriegers Flak Offshore Wind Farm Wind Turbines. Sea Bed Preparation Machine/Robot. 2009.

