
RAPPORT

VINDPARK VÄNERN

SLUTRAPPORT



I maj 2010 invigdes Vindpark Vänern officiellt av prins Carl Philip

Foto: Fredrik Sandberg

KARLSTAD
OKTOBER 2010

FÖRORD

Sedan 2004 har vatten och markområden i Sverige utlyst som riksintressen för vindkraftetableringar av Energimyndigheten. I Vänern finns området Gässlingegrundet mellan Karlstad och Hammarö. Området har av Energimyndigheten blivit utlyst till ett sådant riksintresse.

Vindpark Vänern-projektet har erhållit pilotstöd från Energimyndigheten enligt förordning (2003:564) om bidrag till åtgärder för en effektiv och miljöanpassad energiförsörjning. Motiveringen har varit att "Vindpark Vänern inte bara kommer att underlätta framtida vindkraftetableringar, utan även minska kostnader för nyetablering av vindkraftverk" (Energimyndigheten, pressmeddelande 2007).

Projektet förväntades ge en fördjupad kunskap och helhetsbild av vindkraftetablering i havsmiljö, där en anläggning placerad i ett innanhav bedömdes som unikt och oprövat.

Efter en intensiv genomförandefas har vindkraftparken driftsatts stegvis under perioden oktober 2009-januari 2010 och producerar nu hushållsel i tillräcklig mängd för att försörja drygt 20 000 hem.

Oktober 2010

Mats Enmark

VD
Vindpark Vänern Kraft AB

Peter Osbrink

Projektledare
Vindpark Vänern-konsortiet

SAMMANFATTNING

Genom projektet Vindpark Vänern har en vindkraftpark med tio stycken 3 MW vindkraftverk av typen Winwind WWD-3 uppförts i området Gässlingegrundet under perioden 2007-2010. Projektet har utförts i två etapper. Fem vindkraftverk har uppförts i etapp 1 i regi av privata intressenter. I etapp 2 har resterande fem vindkraftverk uppförts i kommunal regi av Vindpark Vänern Kraft AB.

Turbinerna har en navhöjd av 90 m och en rotordiameter på 100 m samt en totalvikt (rotor, nacell, torn) av ca 430 ton. Lokaliseringen innebär att grundläggningen är utförd med vattendjup varierande mellan ca 4 m och ca 10 m.

Vid entreprenad- och byggarbeten i marin miljö blir alla arbeten oerhört väderberoende. Detta har märkts tydligt i Vindpark Vänern-projektet, där sjöarbeten och lyft huvudsakligen har utförts med hjälp av flytande arbetsplattformar och flyttetyg, d.v.s. utan fast bottenförankring. Samtliga aktiviteter har föregåtts av noggrann planering med prognostisering och bedömning av "väderfönster" utifrån flera källor för att erhålla maximal effektivitet och säkerhet vid genomförande.

Vindpark Vänern beviljades i juni 2007 pilotstöd för byggnationen av vindkraftparken för perioden februari 2007 tom februari 2010. Energimyndigheten beviljade stöd motsvarande 8% av bruttoinvesteringskostnaden, dock högst 40 MSEK. Myndighetens beslut baserades på en ansökan där Vindpark Vänern sökte stöd motsvarande 9,54% av investeringskostnaden som uppskattades till 502,1 MSEK.

Den slutliga investeringskostnaden för Vindpark Vänern-projektet blir högre än budgeterat. De huvudsakliga orsakerna till fördyringar är väderstillestånd och fördyringar orsakade av dåligt väder, lyftfartyget WestWind samt extra viktning och konstruktioner för bottenförankring av kraftkablage. Avseende vindturbinerna uppstod endast smärre fördyringar.

SUMMARY

Through the Vindpark Vänern project a 30 MW wind farm has been constructed comprising of 10 wind turbines of type Winwind WWD-3, each rated at 3 MW. The wind farm is located in lake Vänern in the area Gässlingegrundet and was constructed in the period 2007 to 2010. The project consisted of two phases where the first phase contained 5 wind turbines constructed by private investors. The remaining 5 wind turbines were constructed by the municipally owned company Vindpark Vänern Kraft AB.

The hub height of each wind turbine is 90 m and the rotor diameter is 100 m giving a total weight (rotor, nacelle, tower) of 430 tons. The wind turbines have foundation depth between 4 m and 10 m.

When performing construction work in marine environment all activities are extremely weather dependent. This has been very obvious in the project where marine construction activities and lifting activities have been performed with floating platforms and ships, i.e. without fixed sea bed anchoring. Prior to all activities there has been thorough planning with forecasting and estimations of "weather windows" with indata from several sources in order to maximize efficiency and maintain safety.

The project has been financially supported by the Swedish Energy Agency (Energimyndigheten) for a construction period between 2007 and 2010. The financial support corresponded to 8% of the gross investment, maximized to 40 MSEK. The support decision was based on an application of 9,54% of the investment cost, as a total estimated to 502,1 MSEK.

The final investment cost for the Vindpark Vänern project is higher than estimated in the budget. The main reasons of cost increases are construction downtime, more expensive construction activities caused by unsuitable weather, the lifting vessel WestWind and additional weighting and anchoring of sea cables. Regarding the wind turbines only minor cost increases have appeared.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING	7
2	BAKGRUND	7
3	ALLMÄN BESKRIVNING	7
4	ÄGANDEFÖRHÅLLANDEN	8
5	PROJEKTORGANISATION	9
6	GENOMFÖRANDEPERIOD	11
7	VÄDERPÅVERKAN	11
8	LOGISTIK	16
8.1	DET LOGISTISKA FLÖDET	17
8.2	ANLÄGGNING AV TILLFÄLLIG BETONGFABRIK	17
8.3	PRODUKTIONSRESURSER	18
8.3.1	ALLMÄNT	18
8.3.2	M/S WESTWIND	20
8.3.3	MONTAGE AV VINDKRAFTVERK	23
9	FUNDAMENTKONSTRUKTION	25
10	GRUNDLÄGGNING	25
10.1	BOTTENFÖRHÅLLANDEN	25
10.2	FÖRARBETE, GRUNDLÄGGNING	26
10.3	TEKNISK UTFORMNING, PREFABRICERING	27
10.4	MONTAGE	29
10.4.1	STEG 1, PLACERING AV FUNDAMENT RINGAR PÅ SJÖBOTTEN	29
10.4.2	STEG 2, MONTAGE AV OVANPÅLIGGANDE RINGAR	30
10.4.3	STEG 3, BORRNING AV SPÄNNSTAG	30
10.4.4	STEG 4, MONTAGE AV ANKARPLATTA	31
10.4.5	STEG 5, SPÄNNSTAG	32
10.4.6	STEG 6, ADAPTERRING	32
10.5	DIMENSIONERINGSPARAMETRAR	32
11	VINDTURBINER	32
11.1	GENERELL INFORMATION	33
11.2	HINDERMARKERING	36
11.3	ÅSKSKYDD	36
11.4	ÖVERFÖRINGS- OCH KOMMUNIKATIONSKABLAG	37

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

12	ÖVERVAKNING	41
13	KOMMUNIKATION	41
14	LOKAL PÅVERKAN	41
15	ERFARENHETER OCH FÖRBÄTTRINGSFÖRSLAG	42

1 INLEDNING

Denna rapport redovisar projektets helhet med avseende på genomförande av investeringen.

2 BAKGRUND

I inledningen av år 2007 upphandlades första etappen av vindkraftparken (fem vindkraftverk ägda av privata intressenter) som en totalentreprenad från Dynawind AB. Några månader senare upphandlades andra etappen (fem vindkraftverk ägda av kommunala intressenter) på liknande vis från samma leverantör.

Planeringen och anläggningen av hela vindkraftparken skedde därmed, med undantag från inledningen, i princip parallellt för de båda etapperna.

Vindkraftparken består av 10 st 3 MW vindturbiner samt överföringskablage från lokaliseringen i Vänern, ca 7 km söder om Skoghall.

Ett antal miljö- och marinanknutna rapporter och kontrollprogram har framställts avseende bland annat buller, fauna, fiske, fåglar, arkeologi och sediment.

Anläggningen är uppförd och driftsatt i enlighet med gällande dom, M 2633-05, meddelad vid Vänersborgs tingsrätt, Miljödomesten, den 25 augusti 2006.

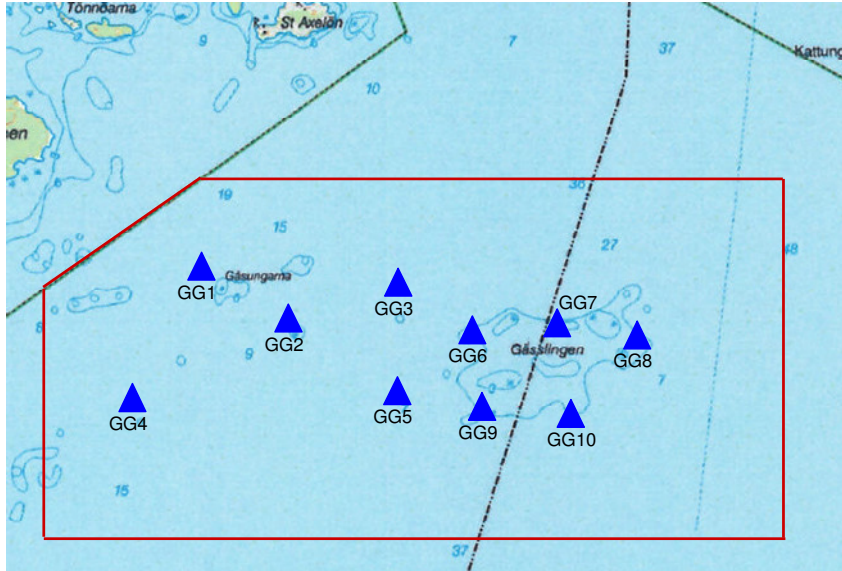
3 ALLMÄN BESKRIVNING

Lokalisering av vindkraftparken är på Gässlingegrundet i Vänern, ca 7 km söder om Skoghall.



Figur 3.1 Lokalisering av vindkraftparken

Vindkraftparkens 10 vindkraftverk är placerade enligt nedan och baseras på en produktionsberäkning som visar på möjlighet till generering av ca 91 GWh/år.



Figur 3.2 Placering av vindkraftverk i vindkraftparken

Fakta om Vindpark Vänern:

- 10 st vindkraftverk i innanhav
- 30 MW installerad effekt
- 28,8 MW parkeffekt
- 96% parkverkningsgrad
- 91 000 000 kWh årlig produktion, vilket försörjer drygt 20 000 hem med hushållsel.
- 7 km från fastlandet
- 140 meter höga vindkraftverk (till övre vingspets)
- 90 meter navhöjd
- 100 meter rotordiameter
- 5-16 varv per minut rotorhastighet
- 4-25 meter per sekund vindoperationsområde
- 7,39 m/s medelvind (90 meters höjd)
- IEC II A vindklass
- Permanentmagnetiserade synkrogeneratorer
- 2800 kWh/m²/år vindenergiinnehåll (SMHI)

4 ÄGANDEFÖRHÅLLANDEN

Vindpark Vänern är ett samarbete mellan olika parter. Ägarna är uppdelade i två grupper som vardera äger fem vindkraftverk.

Den kommunala gruppen består av Hammarö Energi AB, AB Hammaröbostäder, Karlstads Energi AB och Karlstads Bostads AB. I den andra gruppen finns olika privata intressen och ägarna där är Vindkraft Gäslingen Ekonomisk förening, Gåsungarna AB och Kyrkvinden Ekonomisk förening.

Inför byggandet av vindkraftsparken bildades ett konsortium, Vindpark Vänern-konsortiet, där de ingående parterna bildade två bolag. Vindpark Vänern Kraft AB skulle anlägga och äger de fem vindkraftverk som ligger väster om en tänkt nord-sydlig linje som på Gäslingegrundet avskiljer två grupper av vindkraftverk bestående av fem vindkraftverk vardera. Vindpark Vänern Drift AB skulle anlägga de fem vindkraftverk som är placerade öster om den tänkta nord-sydliga linjen. Landanslutningen skulle ske i separata kabelsystem för de båda grupperna av vindkraftverk

Den västra delen av vindkraftsparken ägs och drivs av Vindpark Vänern Kraft AB. Bolaget äger även landanslutningskablage för den västra delen av vindkraftsparken samt den kabel som förbinder den västra och den östra delen av vindkraftsparken.

Avseende den östra delen av vindkraftsparken så drivs varje verk av respektive ägarbolag till Vindpark Vänern Drift AB, vilket innebär att Gåsungarna AB äger och driver tre verk samt att Kyrkvinden Ekonomisk Förening och Vindpark Gäslingen Ekonomisk Förening äger och driver var sitt verk.

Landanslutningskablaget från den östra delen av vindkraftsparken ägs och drivs av Vindpark Vänern Drift AB. Bolaget driver även landanslutningskablage för den västra delen av vindkraftsparken, vilket innebär ansvar för hela vindkraftsparkens elnät, såväl lokalt mellan vindkraftverken som mellan vindkraftsparken och anslutningspunkten i land.

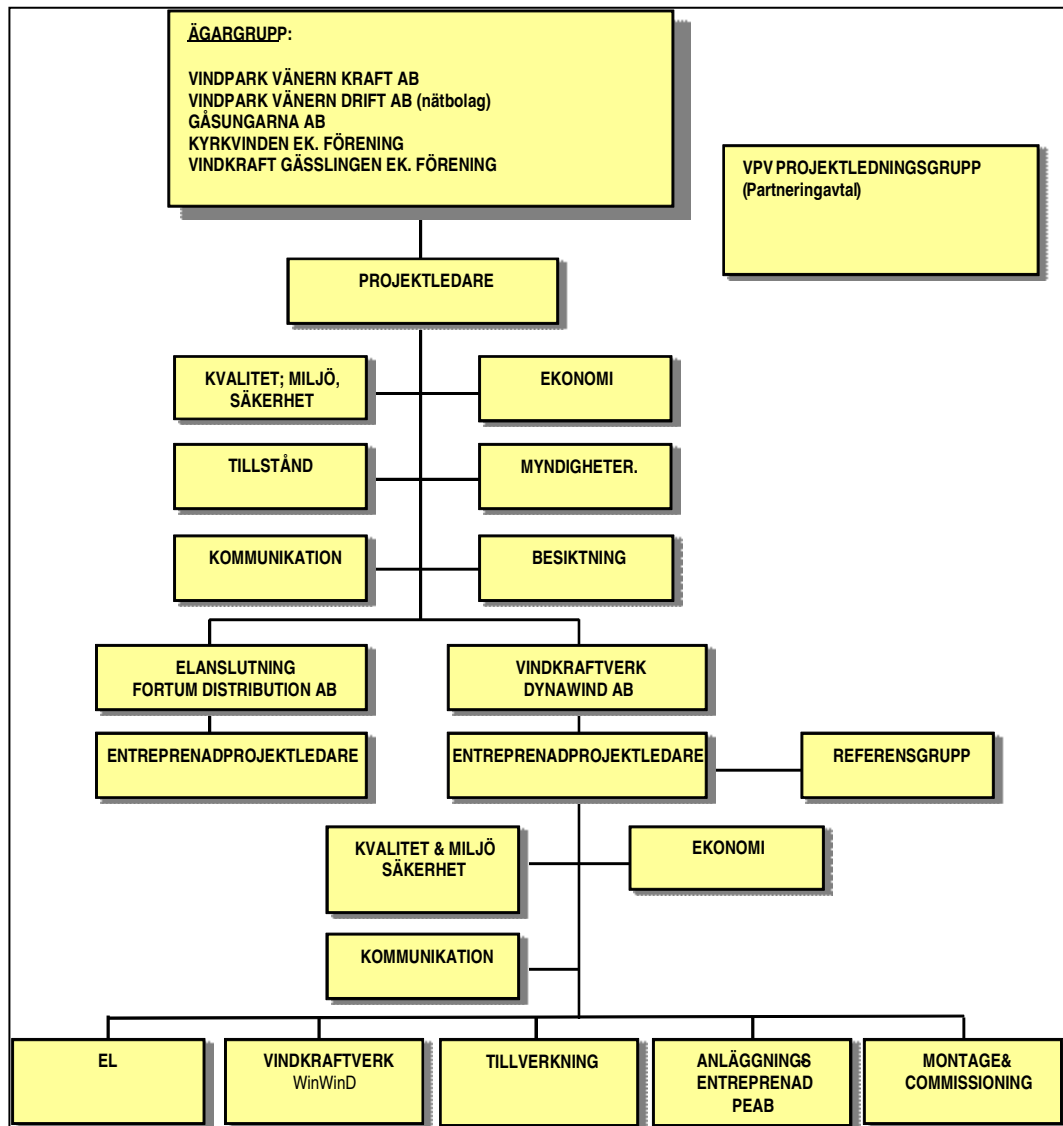
5 PROJEKTORGANISATION

Ägarna valde på grund av relativt stora osäkerheter i upphandlingskedet, främst avseende grundläggning och montage, att organisera projektets genomförandefas i form av en samverkanslösning tillsammans med totalentreprenören Dynawind AB samt dess största underentreprenör PEAB Sverige AB.

Projektledningen från SWECO tillsattes av ägarsidan och en gemensam projektledningsgrupp bildades, där representanter för samtliga samverkansparter deltog. I projektledningsgruppens forum har beslutsfattande skett gemensamt för större och betydande händelser, avvikelser m.m. Samverkansmodellen har i projektet skapat goda relationer vilket lett till gemensamt beslutsfattande och samlad samverkan.

Nätanslutningen upphandlades som ett separat funktionsentreprenadavtal från Fortum Distribution AB, som äger nätstationen till vilken elanslutningen utförts.

Vidare har projektledningen varit ägarrepresentant vid byggmöten, tekniska möten samt dialog med myndigheter och övriga externa intressenter.



Figur 5.1 Projektorganisation

6 GENOMFÖRANDEPERIOD

Projektets nyckeltidpunkter har varit enligt följande:

Tid	Aktivitet
2005-11	Tillståndsansökan enligt MB inlämnad
2006-08	Tillstånd enligt MB beviljat
2006-09	Start genomförandefas
2007-02	Upphandling "privat" del genomförd, Etapp 1
2007-03	Stödansökan Energimyndigheten
2007-03	Byggstart etapp 1
2007-06	Stödbeslut Energimyndigheten
2007-08	Upphandling "kommunal" del genomförd, Etapp 2
2007-08	Byggstart etapp 2
2007-08	Upphandling elmottagning (Fortum Distribution)
2009-08	Idrifttagning (start provdrift) första turbin
2009-12	Idrifttagning Etapp 1 (5 turbiner)
2009-12	Idrifttagning Etapp 2 (5 turbiner)
2010-05	Överlämnande
2010-05—2010-10	Åtgärdande av besiktningsanmärkningar Slutrapportering till Energimyndigheten

7 VÄDERPÅVERKAN

Något som gör anläggningsprojekt i offshore-miljö väldigt speciellt är beroendet av väder samt flexibilitet och beredskap för att parera oförutsedda väderomställningar.

Tiden och väderexponeringen till sjöss har varit en av de mest kritiska faktorerna i projektet.

För att minimera förskjutningar gjordes försök att minska väderberoendet genom att förlägga arbetsmoment som störs eller hindras till perioden mars – september, då väderförhållandena ansågs mer gynnsamma. Väderhinder så som stormar och hög sjö försvårade och tidvis förhindrade arbetet ute till sjöss. På grund av stormar under ovan nämnda period utfördes planerade arbeten även under perioden oktober – februari.

Samtliga sjöarbeten krävde för bibehållen säkerhet ett lämpligt "väderfönster" med avseende på både vindstyrka, vindriktning, våghöjd och tid mellan väderomslag. Med hjälp av lämpliga och tillräckligt snabbgående transportfarkoster mellan fastlandet och arbets-området på grundet kunde mesta möjliga tid av "väderfönstren" nyttjas för arbeten.

En detaljerad väderlogg samt prognoslogg har varit tvunget att föras, för att i möjligaste mån säkra projektet från väderpåverkan, där indata kommit i första hand från fyra olika källor; Klackens fyr (vindstyrka), YR, Windfinder samt SMHI.

Vindkraftverkens fundament är i överdelen försedda med ett speciellt isskydd konstruerat i rostfri plåt, där de första byggnationerna gjordes på plats på sjön, men där produktionstekniken utvecklades under projektet så att prefabricering i land möjliggjordes.

Utvecklingen minskade montagetiden på sjön och därmed i betydande grad väderexponeringen, vilket underlättade planering och utförande. Utformningen av isskydd togs fram efter diskussioner med bl.a. Vänerns seglationsstyrelse och utvärdering av erfarenheter från andra sjökonstruktioner såsom t.ex. fyrar.



Figur 7.1 Prefabricerade iskydd

För att i möjligaste mån minimera väderkänsligheten under perioden med fundamentarbeten tillverkades arbetsplattformar för verken, vilket möjliggjorde ett säkert arbete och skapade en dräglig arbetsmiljö. Plattformarnas utformning utvecklades och anpassades under projektets gång.



Figur 7.2 Arbetsplattformar. Till vänster första prototyp och till höger slutlig plattformsutformning

Vid hårda vindar kunde dock inte sjöarbeten utföras över huvud taget. I början av oktober 2008 medförde en plötslig storm att en av arbetsplattformarna förstördes och tillhörande utrustning spolades ner i sjön, dock utan miljöpåverkan.



Figur 7.3 Arbetsplattform efter storm oktober 2008.

Ytterligare bevis på vädrets inverkan fick projektet i mitten av oktober 2008 då vågrörelsernas krafter efter ett överfallsväder under pågående fundamentningsmontage orsakade deformation och förskjutning av 7 st utplacerade och med kätting fastspända betongringar för vindkraftverk GG3. Resultatet blev att fundamentringarna måste tas i land och lagas för återmontage först våren 2009.

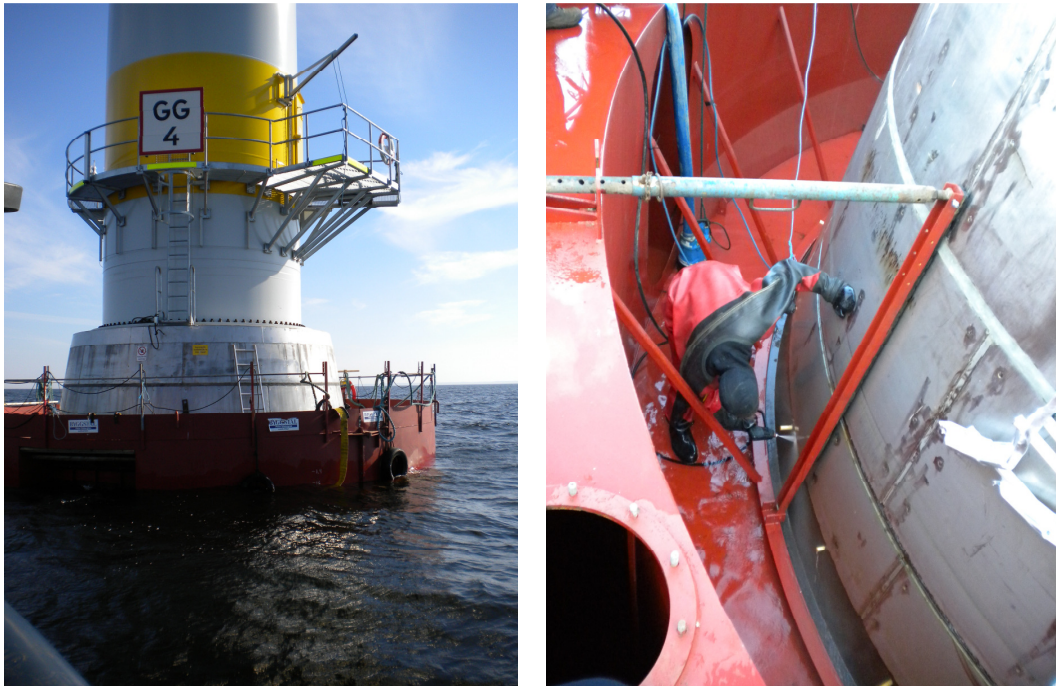


Figur 7.4 Förskjutning av fundamentringar efter storm oktober 2008.

Efter den stränga vintern 2009/2010 upptäcktes skador på några av isskyddsplåtarna. För att på ett rationellt vis möjliggöra kommande inspektioner och åtgärder samt för att åtgärda uppkomna skador konstruerades och tillverkades en sänkform som möjliggör avtätning och vattenevakuering kring fundamentens övre delar. Sänkformen innebär att det finns möjligheter att "torrt" vidta åtgärder för övre del av fundamenten.

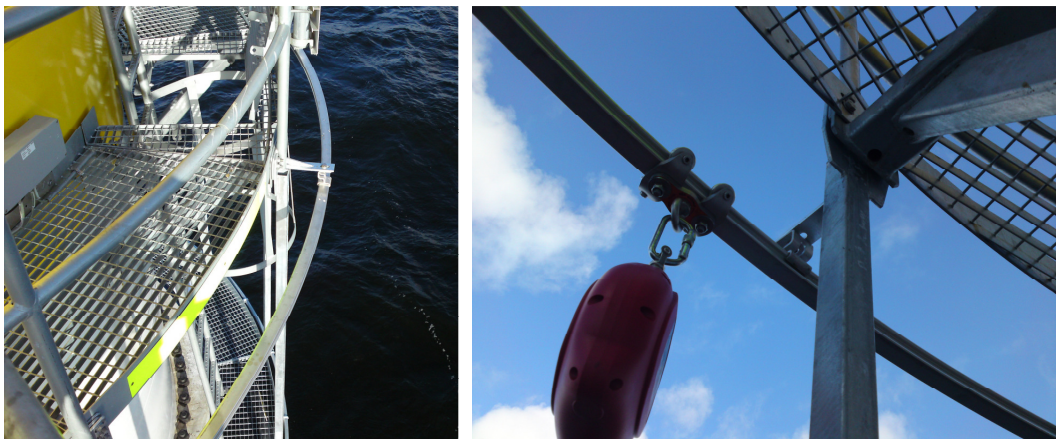


Figur 7.5 Utbogsring av sänkform för fundamentunderhåll



Figur 7.6 Sänkformen möjliggör torrt arbete "under ytan"

Med avsikt att minska väderkänsligheten vid drift och underhåll har en konstruktion med gångbrygga och fallskydd för äntring av vindkraftverken utvecklats i projektet. Syftet är att på ett säkert sätt kunna stiga ombord från en sjötransport även då ett visst mått av vågförhållanden råder. En prototyp har monterats på ett vindkraftverk för utvärdering.



Figur 7.7 Gångbrygga och fallskydd

8 LOGISTIK

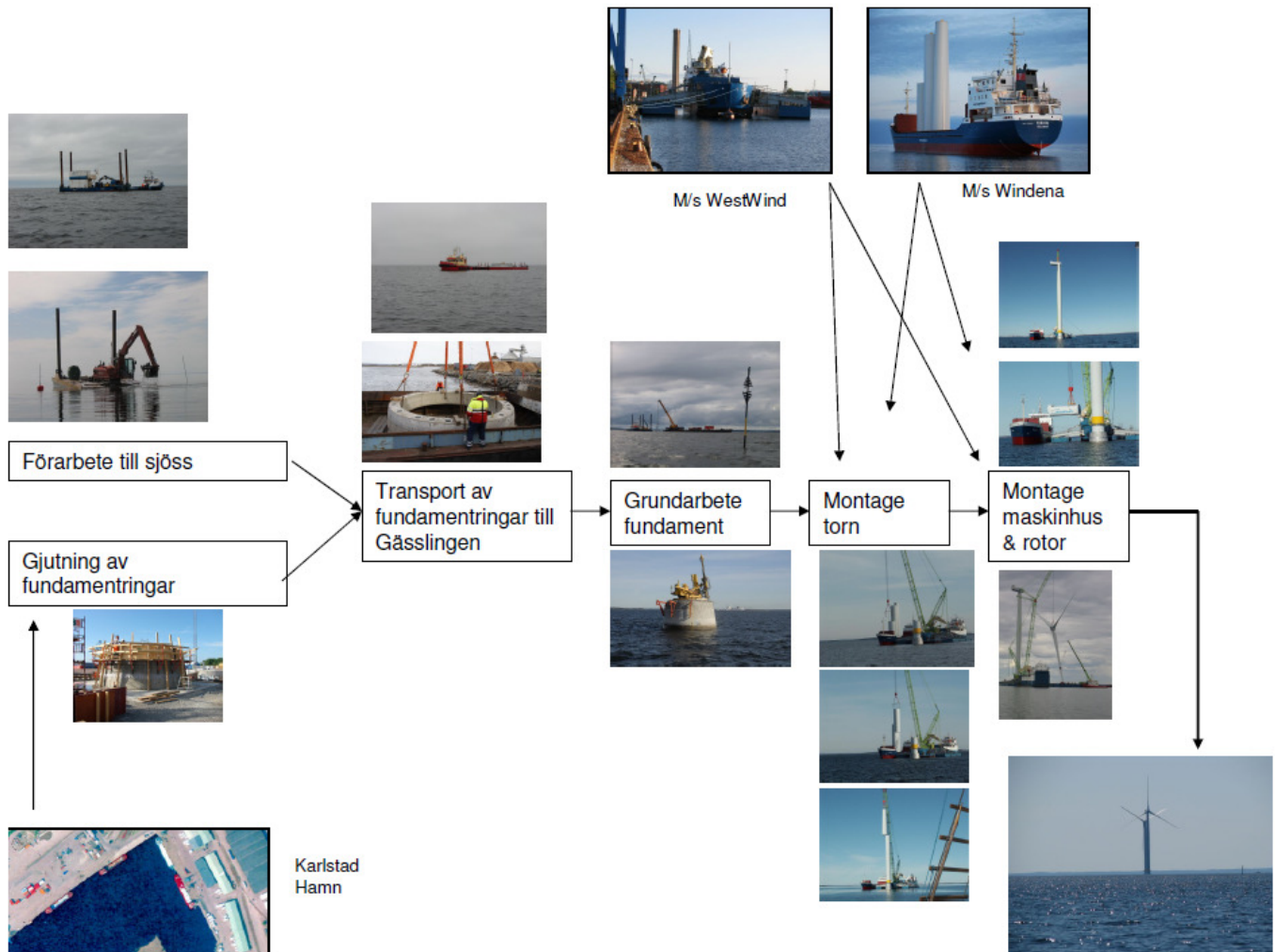
En etablering av en tillfällig betongringsfabrik i Karlstad Hamn bedömdes ur logistisk synvinkel ge besparingar i form av minimering av skrymmande transporter med prefabricerade ringar.

Att förlägga tillverkningen av fundamenten vid Gässlingegrundet hade varit fullt genomförbart men skulle krävt transporter av resurser i form av material och personal, vilket innebär behov av en mer omfattande logistisk planering. Alternativet är dessutom väderkänsligt i större utsträckning än om fabriken förläggs i land.

De produktionsresurser som har varit nödvändiga till sjöss för montaget av fundament, torn, maskinhus/nacelle samt rotor är:

- fartygsflotta bestående av bogserbåtar, mindre jack up-rigggar, mindre pråmar, M/S Windena samt M/S WestWind som byggdes om i samband med projektet.
- mobilkranar för montage av fundament, torn, maskinhus samt rotorblad.
- grävmaskin på en mindre jackup-rigg för schakt av morän och sprängmassor vid förarbeten
- betongtransporter från kaj till anläggningsplats (bil på pråm)

8.1 DET LOGISTISKA FLÖDET



Figur 8.1 Logistikflöde

8.2 ANLÄGGNING AV TILLFÄLLIG BETONGFABRIK

I Karlstad Hamn anlades en tillfällig betongfabrik för prefabricering av fundamenttringar. Material som krävdes för prefabriceringen fraktades till hamnen där fundamenttringarna gjöts. Fundamenttringar fraktades sedan med pråm till Gäslingegrundet direkt från hamnen.

Viktiga aspekter som bidragit till beslutet att anlägga den tillfälliga fundamentningsfabriken i hamnen är:

- tillgången till upplagringsplatser som klarar laster från fundamentringar och kranar
- befintliga lyft och transportresurser (mafi-vagn)
- en etablerad yta samt en kaj som ger möjligheten att komma nära intill fraktpråmar och fartyg

Att anlägga en tillfällig förtillverkning någon annanstans har inte varit aktuellt då fundamenten är skrymmande och därmed svåra att transportera på väg.

8.3 PRODUKTIONSRESURSER

8.3.1 ALLMÄNT

Följande produktionsresurser har använts i detta projekt:

- Fartygsflotta bestående av fraktfartyget M/S Windena, bogserbåtar, mindre pråmar och den ombyggda trimaranen M/S WestWind
- Mindre Jackup- rigg för dyk & montage av de prefabricerade fundamentringarna
- Grävmaskin (på jackup-rigg) för schaktning av morän och sprängmassor
- Mobilkranar för montage av de prefabricerade fundament ringarna, tornen, maskinhusen samt rotorbladen.

Sjöbotten var vid flera av vindkraftsverkens tänkta positioner täckt med morän, varför schaktning av botten ner till berg var nödvändig. Plansprängning utfördes för att åstadkomma en plan botten. Efter sprängningen rensades sprängbotten från löst berg.

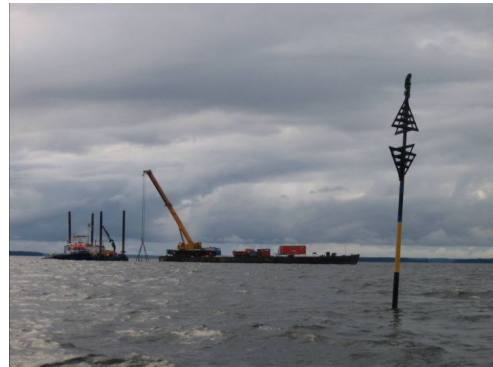


Figur 8.2 Schaktning av sjöbotten

Fundamentringar fraktades ut till montageplatsen, två till tre åt gången, med hjälp av pråmar. Vid montageplatsen fanns en större pråm med mobilkran, med vilken fundamenten kunde lyftas på plats.



Figur 8.3 Fundament förbereds för transport till sjöss



Figur 8.4 Ett fundament på väg att sänkas ner

En begränsning vid montagearbetet av fundamenten var kapaciteten för pråmen, vilken inte klarade att mobilkranen vred och lyfte samtidigt. När detta skedde släppte pråmens förtöjningar och pråmens position förskjöts. Lyft kunde således endast utföras i pråmens längdriktning. För en ändrad position av mobilkranen, flyttades pråmens position med hjälp av en vinschad förtöjning samt bogserbåt.

Montaget skulle ha kunnat effektiviseras om en större rigg alternativt en större bottenfast plattform hade använts för mobilkranen. Dessa alternativ valdes aktivt bort då det sågs som en fördyrande aspekt i projektet. Det hade även varit svårt att frakta en större rigg via Trollhättekanal p.g.a. av maximal kanalbredd av 13 meter.

Vid montage av vindkraftverk till havs brukar offshore-riggarna användas vid resning av torn, montage av maskinhus och rotorerna. En offshore-rigg fanns inte att tillgå i Vänern då de i regel är för stora för att kunna slussas upp i Vänern via Trollhättekanal, där begränsningar i slussarna finns motsvarande 88x13,2x5,2m. Vidare gjordes en bedömning att kostnaden för demontering och återmontering för en sådan rigg skulle bli för stor.

8.3.2 M/S WESTWIND

För att möjliggöra montage av torn, maskinhus/nacelle samt rotor krävdes en speciallösning. Projektet fick möjligheten att köpa ett fartyg en Vänermax¹⁾ RoRo/LoLo tank, som byggdes under 1980-talet för godstransporter i Vänern. Fartyget var känt under namnet skytteln Karlstad, och bogserades från Piraeus i Grekland till Göteborg för ombyggnad.

- 1) Båtar med mått som klarar transporter i Trollhättekanal, klassas som Vänermax (88x13,2 m)



Figur 8.5 Vänerskytteln Karlstad I ursprunglig funktion, matt 87,5x13,06 m

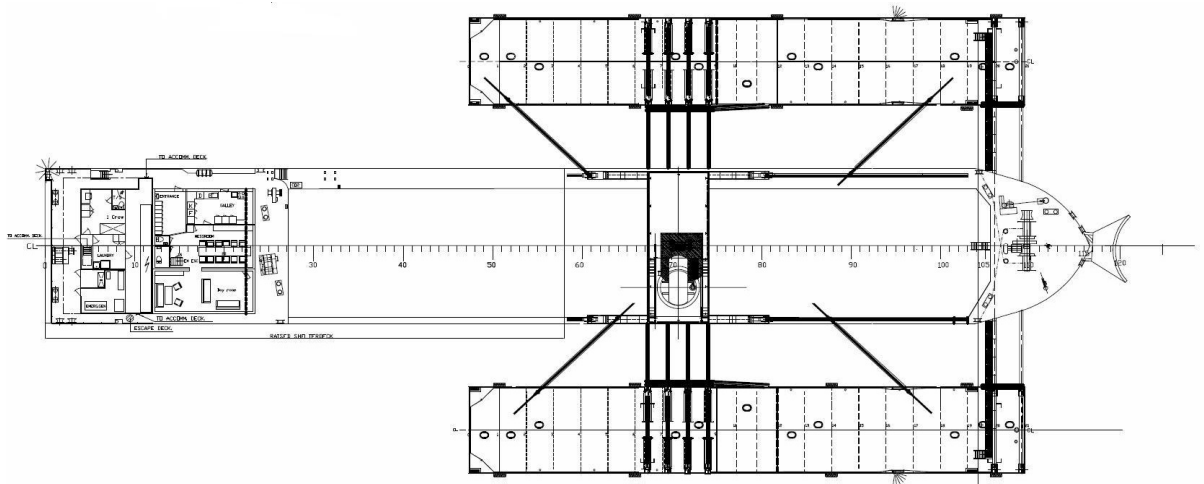


Figur 8.6 M/S WestWind innan ombyggnad, bogserad från Grekland

Fartyget, döpt till M/S WestWind, byggdes om till en demonterbar trimaran för att klara av vikterna vid montaget av vindkraftverken, och är godkänd av DNV (Det Norske Veritas).

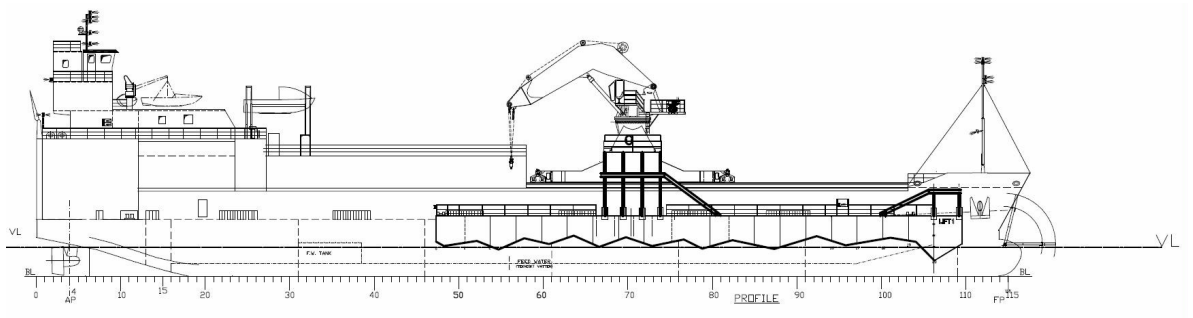
Ombyggnationen bestod av att

- två pontoner monterades på båten med syftet att öka stabiliteten och möjliggöra lyft samt montage av maskinhus/nacelle som har en vikt på ca 127 ton.



Figur 8.7 Pontoner på M/S WestWind

- en mobilkran, DEMAG 600, monterades på båtens huvuddäck.

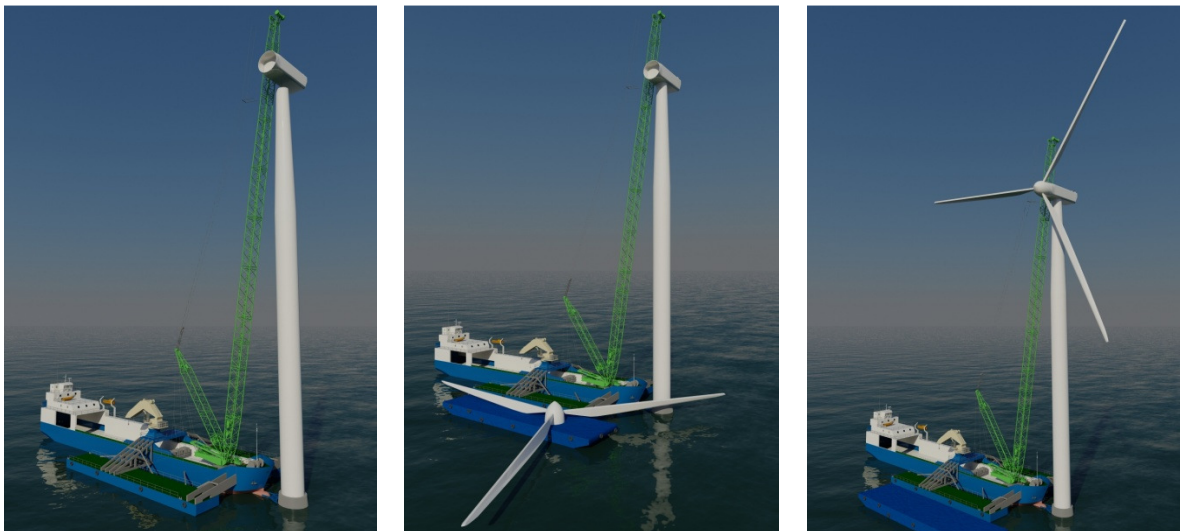


Figur 8.8 Mobilkran påmonterad på M/S WestWind



Figur 8.9 M/S WestWind med påmonterad kran, vid kaj i Karlstad hamn

Trimaranen M/S WestWind har varit en förutsättning för projektet på grund av den design & konstruktion fartyget har med sina demonterbara pontoner samt den kran som monterats på däck. Med denna unika design klarar båten att lyfta verksdelar utan att kräva stöd mot botten.



Figur 8.10 M/S WestWind

8.3.3 MONTAGE AV VINDKRAFTVERK

Tornet till vindkraftverken var uppdelade i fyra delar med delvikterna 52 ton (TDW1), 67 ton (TDW2), 65 ton (TDW3) samt 53 ton (TDW4). Maskinhus/nacelle har därutöver en vikt av 127 ton. Torndel 1 transporterades till Skoghalls bruk med lastbil och plattformar monterades på denna innan uttransport med pråm och lyft med mobilkran. Övriga torndelar samt maskinhus/nacelle transporterades från Kristinehamn med M/S Windena till Gässlingegrundet.

Vid aktuellt fundament inväntade M/S WestWind. Montaget var uppdelat i två etapper. Vid etapp 1 monterades torndel 1-3 och vid etapp 2 monterades torndel 4 och nacelle.



Figur 8.11 Lyft av torndel (M/S Windena och M/S WestWind)



Figur 8.12 Lyft av maskinhus (M/S Windena och M/S WestWind)



Figur 8.13 Montage av maskinhus/nacelle

Rotorbladen transporteras med lastbil från Kristinehamn till kaj vid Skoghalls bruk där de hopmonteras.



Figur 8.14 Transport av rotorblad



Figur 8.15 Lyft av rotor till pråmen Kanalia

Rotorn transporterades sedan från kajen vid Skoghalls bruk ut till Gässlingegrundet med hjälp av pråmen Kanalia. M/S WestWind lyfte den 67 ton tunga rotorn på plats och montage kunde ske.



Figur 8.16 Pråmen Kanalia med rotor

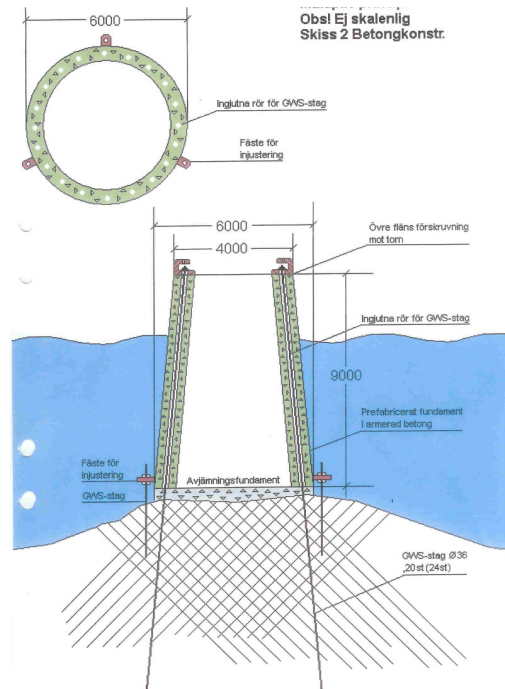


Figur 8.17 Montage av rotor

9 FUNDAMENTKONSTRUKTION

Den fundamentteknik som använts i detta projekt är lämplig att använda vid ett vattendjup av mellan 4-10 meter. Fundamentkonstruktionen har givits benämningen "Multipile" eller "bergförankrat fundament", vilket innebär att prefabricerade betongringar placeras ovanpå varandra. Antalet fundamentringar är beroende av vattendjupet.

Betongringarna spänns fast med genomgående spännstag i berget, direkt mot sjöbotten. Metoden är enkel och kräver mindre betong än vid ett traditionellt betonggjutet gravitationsfundament. Metoden ger ett samspel mellan spännstag och betongringar i ett större vattendjup, med effekten att spännstagen inte behöver förankras så djupt ner i berget.



Figur 9.1 Vald fundamentkonstruktion - Multipile

10 GRUNDLÄGGNING

10.1 BOTTENFÖRHÅLLANDEN

Förutsättningarna för etablering av en vindkraftpark på Gässlingegrundet har bedömts som goda, beroende på goda vindförhållanden samt en gynnsam bottenstruktur för fundamentering.

Området ligger i sin helhet under vatten med en bottenpografi varierande mellan någon meters vattendjup upp till ca 13 meters djup. Hela området utgörs av en ur omgivande sediment uppstickande bergformation med liten eller ingen jordtäckning, där botten vid vindkraftfundamenten antingen varit frilagd ner till bergets överyta alternativt varit överlagrad med grus, sand och morän.

Berggrunden utgörs av ett bergartsled som benämns Hammaröformationen, vilket består av plastiskt veckad bandgnejs av dels kiselsyrarik gnejs och dels metabasit. Vidare finns även gnejsgranit som utgörs av en ortognejs bildad av djuparter av magmatiskt ursprung.

Generellt tillhör gnejser de mer kompetentare bergarterna med elasticitetsmodul in situ i storleksordningen >50 GPa och en tryckhållfasthet >100 MPa. Det som identifierades vid sondering är på vissa platser lager på upp till någon meter med stor förekomst av glimmer (biotit). Generellt är ytberget ner till ca 5 m djup mer uppsprucket än underliggande bergmassa p.g.a. istryck i samband med tidigare istider. Uppsprickningen har

dock inte gått så långt att bergmassan krossats, d.v.s omlagrats. Detta gör att egenskaperna för den ytnära bergmassan in situ inte avviker nämnvärt från underliggande bergmassa.

I det fall det förekommit löst berg har detta kunnat konstateras okulärt och bortschaktning skett av lösa block och sten ned till fast berg. I det fall bergytan utgörs av slipad håll är risken för lösa och omlagrade block liten.

10.2 FÖRARBETE, GRUNDLÄGGNING

Projektet har visat på mycket stor vikt av att utföra noggranna och tillräckligt detaljerade förundersökningar av bottenförhållanden, såväl hållfasthetsmässigt som med avseende på fundamenteringsdjup och vågrörelser. Tidigt i projektet utfördes sonarkartering av området, något som senare visade sig ha dålig tillförlitlighet. Detta medförde att även dykundersökningar utfördes innan utförande för att klarställa osäkerheter. För fastställande av bergkvalitet har även bergprover analyserats.

Hammaröformationens solida bergbotten har inneburit ett visst detaljprojekteringsarbete beroende på den grundläggningsteknik som använts för betongfundamenten.

Sjöbotten har vid flera av vindkraftsverkens tänkta positioner varit täckt med morän, vilket inneburit att schaktning av botten ner till berg har varit nödvändigt. Plansprängning har utförts för att åstadkomma en plan botten och efter sprängningen har sprängbotten rensats från löst berg.



Figur 10.1 Moränschaktning

Genom att spränga och schakta bort massor ner till rätt grundläggningsnivå kunde den första ringen generellt prefabriceras till 1000 mm höjd. På så vis anpassades botten efter höjden på de prefabricerade fundamentringarna.

Tre tillfälligt gjutna stubbar (stöd) gjöts på botten, vilka fungerade som tillfälliga stöd för den första fundamenteringen.

10.3 TEKNISK UTFORMNING, PREFABRICERING

Två formtyper har tagits fram för att kunna framställa fundamenten. Till formens ytterkanter har ordinärt formvirke använts för att skapa den koniska utsidan av betongringen. Till insidan av formen har prefabform använts.



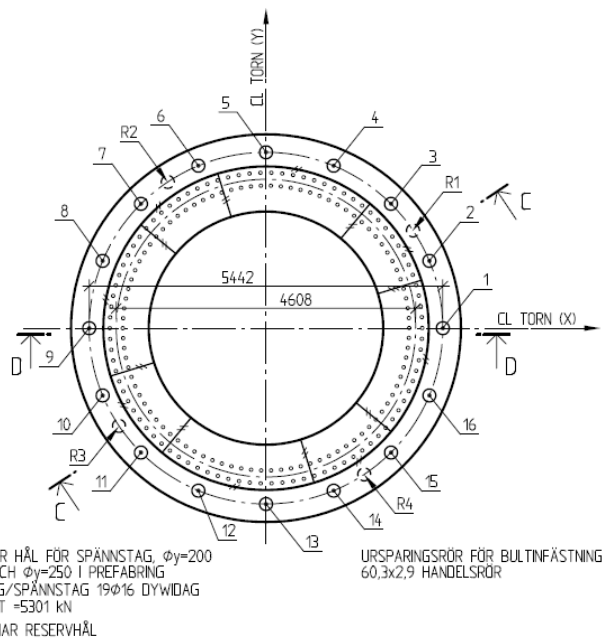
Figur 10.2 Arbete med formens insida



Figur 10.3 Arbete med formens utsida

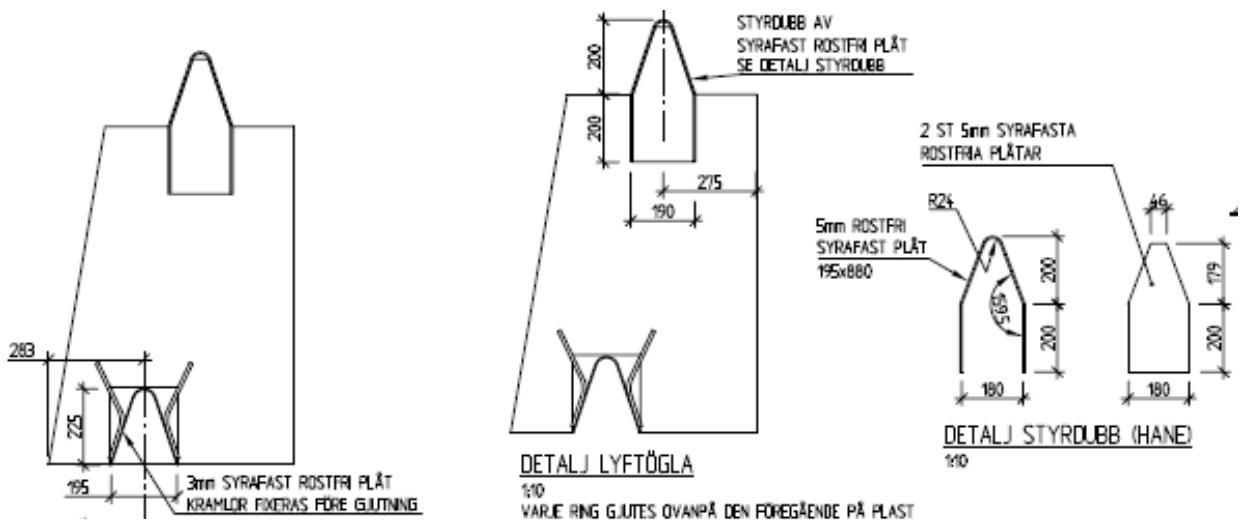
Efter gjutning har en hållfasthet av 15 MPa uppnåtts vilket har bedömts som tillräckligt. Formen har rivits och fundamentet legat tills 75 % av hållfastheten uppnåtts, motsvarande ca 40 MPa. Ringen har då varit möjlig att fraktas och monteras. Efter montage ökar hållfastheten till slutliga 55 MPa.

I varje fundamentring har hål gjutits, där 16 av hålen (hål 1-16) var avsedda som ursparingsrör för spännstag och 4 av hålen var avsedda som reservhål (hål R1-R4). Fyra vertikala rör har gjutits in i formen, vilka dels användes som lyftpunkter vid flytt av fundamentet men har även en tryckutjämnande funktion då vattnet kan passera genom fundamentet.

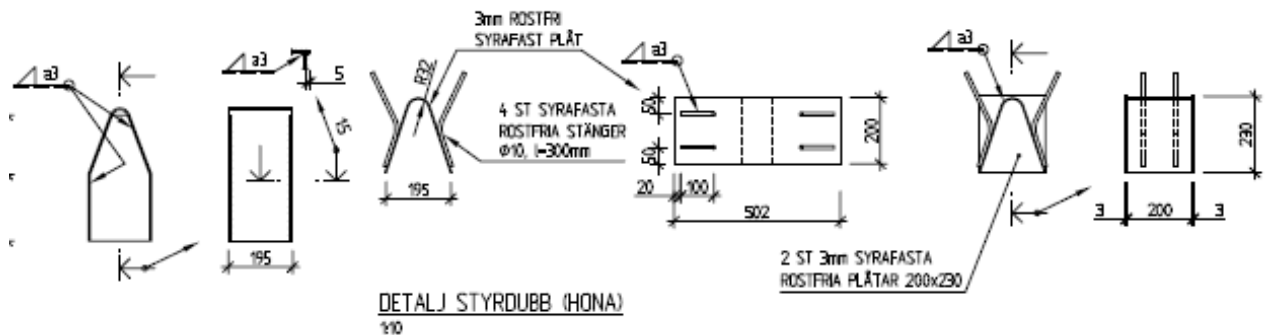


Figur 10.4 Elevation 3 m fundament

På varje betongring monterades styrdubb av syrafast plåt för att underlätta inpassningen vid montering, se figur 10.5. Styrdubbarna märktes med olika färger för norr och söder för att underlätta montaget till sjöss.



Figur 10.5a Styrdubb



Figur 10.5b Styrdubb

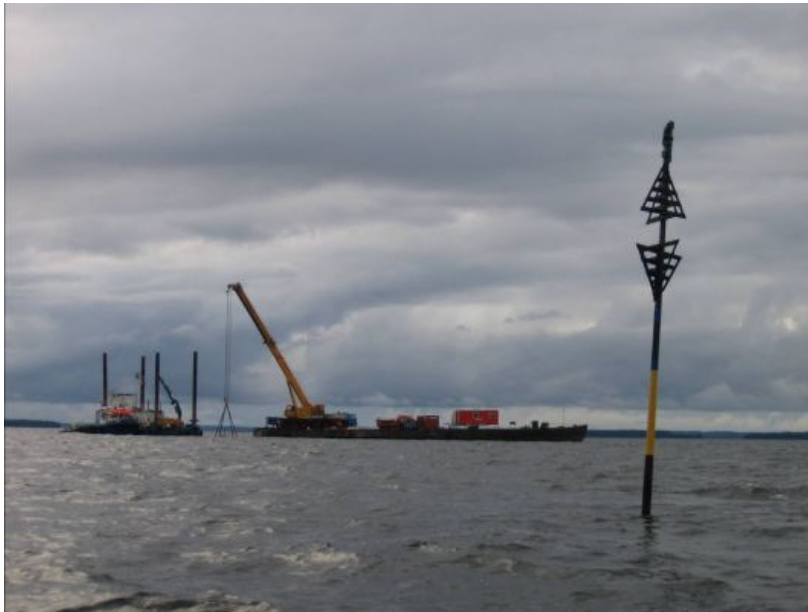
Fundamentringarna har gjutits i grupper om tre i den ordning som de ska placeras på botten, med plast mellan för att uppnå en bra passform. Nästa grupp om tre ringar har efter gjutning provmonteras och eventuellt justerats, då full täthet mellan fundamenten måste uppnås.

Tanken var från början att den första ringen, som placeras på sjöbotten, skulle ha ett individuellt mått. Måttet var beroende av plushöjden för den färdigpreparerade sjöbotten. För att effektivisera arbetet med att prefabricera fundamentringarna beslutades att höjdmåttet för den första ringen skulle vara 1000 mm.

10.4 MONTAGE

10.4.1 STEG 1, PLACERING AV FUNDAMENT RINGAR PÅ SJÖBOTTEN

Första ringen placeras på sjöbotten på tre tillfälliga stöd. Den tillåtna toleransavvikelsen på överkant färdigt fundament får uppgå till ± 250 mm. En prefabricerad undervattensform är monterad på ringen. Efter montage knackas undervattensformen ner till botten och förankras med dubb. Efter slutfört arbete med undervattensformen rengörs den före gjutning och undervattensgjutning utförs så att full täthet uppnås. Formen rivs efter full härdningstid.



Figur 10.6 Fundamentring sänks ner

10.4.2 STEG 2, MONTAGE AV OVANPÅLIGGANDE RINGAR

Återstående ringar monteras individuellt anpassade genom att de gjutits i grupper om tre ovan på varandra, alla med höjden 1000 mm.

Varje fundamentring prefabriceras med två styrdubbar för inpassning vid montage. Mellan varje ringlager monteras packning av Ethafoam, en cellplast med goda isolerande och vibrationsdämpande egenskaper.

Ringar som ska placeras vid och omkring vattenytan är beklädda med 2 mm rostfri plåt som fungerar som isskydd.

10.4.3 STEG 3, BORRNING AV SPÄNNSTAG

Efter montaget av fundamentringarna sker borrning för spännstag, med ett djup av 15-17 m i friskt berg. Borrhållets djup är beroende av vattendjupet, där ett större vattendjup medför mindre borrhål.

Borrhålens dimension skall vara minst 20 mm större än spridarnas största diameter. Borrningen skall utföras så att hålen får tillräcklig rakhet. Borrhålen rensas för att avlägsna vatten, slam eller andra föroreningar varefter håldjupet kontrollmätts.

Innan monteringen av fundamentens förankring ska en kontroll av täthet och förekommande vattenläckage av borrhålen utföras, detta för att säkerställa att:

- en oacceptabel förlust av bruk inte kan uppkomma vid kabelsättning
- vattenläckage inte kan skada eller spola ur det färsk bruket.

Vid vattenläckage ska vattenförlustmätning utföras, dvs vatten pressas in i berggrunden med ett visst tryck, därefter mäts vattenförlusten under en viss tid.

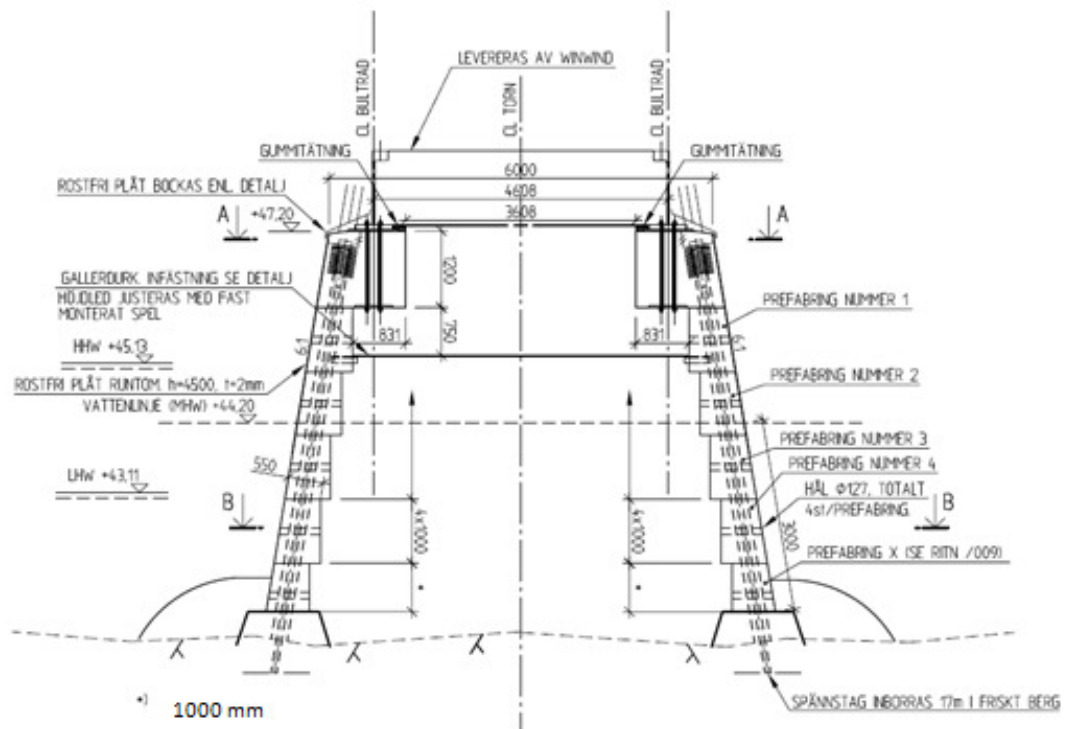
Följande krav gäller vid vattenförlustmätning:

- max vattenförlust mäts för hela hålet, 5 l/min m MPa (0,5 l/min m bar)
- max vattenförlust mäts på förankringsdelen, 2 l/min m MPa (0,2 l/min m bar).

10.4.4 STEG 4, MONTAGE AV ANKARPLATTA

Montaget av ankarplatta med flänsar, rör, armering samt övriga detaljer sker med stor noggrannhet, där det är noga att plattan blir vinkelrät mot spännkabelförankringens längdriktning. Montaget sker stadigt så att inga detaljer kan rubbas vid undergjutningen av plattan. Utrymmet mellan styrrörets tätfäns och hålväggen tätas omsorgsfullt med cellgummi.

Ankarplattan är placerad ovanpå spänntrumpeten, plattan och spänntrumpeten (se figur 10.7) motverkar tillsammans spjälkning av betongen vid den slutliga uppspänningen av fundamentet. Undergjutningen utförs med "sättningskompenserad" betong, dvs betong som inte minskar i volym.



Figur 10.7 Spänntrumpet

10.4.5 STEG 5, SPÄNNSTAG

Borrhålen fylls helt med injekteringsbruk innan förankringen placeras. Avsikten är att brukspelaren ska ge ett mottryck till det eventuellt inläckande vattnets tryck. Inpumpning av injekteringsbruk ska göras så att hålet blir fullständigt fyllt med en sammanhängande brukspelare fri från släppor och luftfickor. Montage av förankringarna skall utföras snarast möjligt efter det att bruket pumpats in i borrhålen, och ska normalt ske inom 45 minuter efter det att bruket tillverkats.

Uppspänning får normalt utföras efter att betongen härdat, ca sju dygn efter fastgjutning av förankringsändan. Uppspänningen sker i flera etapper.

10.4.6 STEG 6, ADAPTERRING

Adapterringen placeras ovanpå fundamentet, där inmätning samt justering sker inom angiven tolerans, varefter övriga kompletterande betongarbeten sker.

10.5 DIMENSIONERINGSPARAMETRAR

Dimensioneringsparametrar har huvudsakligen varit kända laster från tornet (Winwind) samt de belastningar som en speciell utredning från SMHI utförde i februari 2007.

Även kapaciteten på de resurser som utför frakt och lyft av fundamentringar har varit dimensioneringsgrundande. En större lyft- och fraktkapacitet hade resulterat i ett större höjdmått på fundamentringarna.

11 VINDTURBINER

Vindkraftparken består av 10 st vindturbiner av typ WinWinD WWD-3 med 3 MW märkeffekt. Det är hybridturbiner som saknar växellåda men i stället har en integrerad planetväxel och generator i ett så kallat kraftpaket. Turbinerna har variabelt varvtal för maximalt vindutnyttjande och en synkron generator med frekvensomriktare för anpassning av strömmen till riktig nätfrekvens. Samtliga komponenter är placerade i vindturbinernas maskinhus.

Navhöjden för turbinerna är 90 m och rotordiametern 100 m, vilket ger en totalhöjd till övre vingspets motsvarande 140 m.



Figur 11.1 Vindpark Vänern

11.1 GENERELL INFORMATION

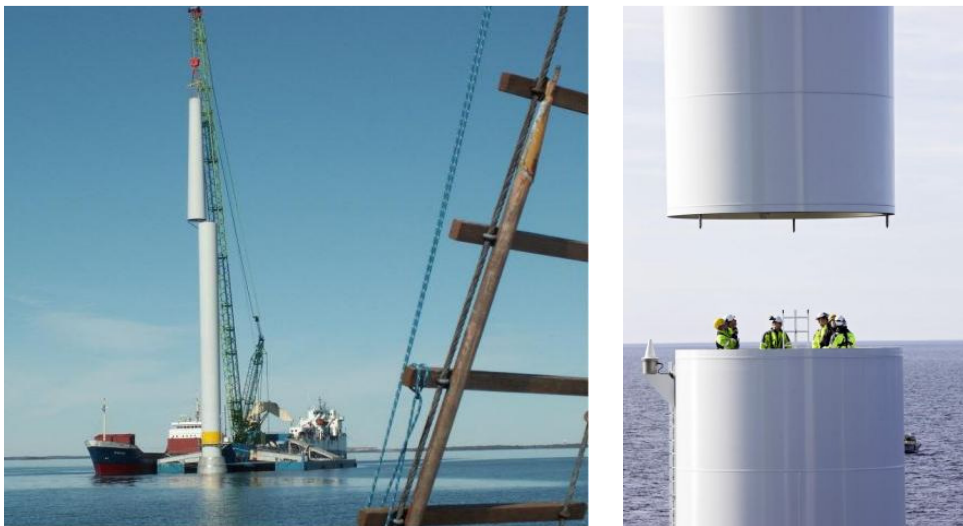
Vindkraftparken är CE-märkt. Elproduktionen från vindkraftparken är beräknad till ca 91 GWh/år och anslutning av 20 kV-produktion sker via step-up transformator till Fortum Distributions 50 kV-nät i Dingelsundets nätstation.

Vindturbinernas tekniska data beskrivs i tabell nedan.

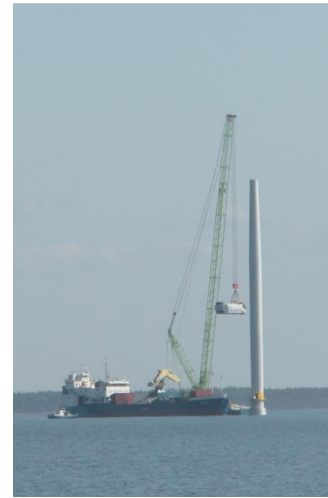
Fabrikat/Typ	WinWinD WWD-3 / Multibrid
Torn	Rörtorn, svetsat/flänsat
Navhöjd	90 m
Rotortyp	3-blad
Rotorposition	Upwind
Rotordiameter	100 m
Svepyta	7917 m ²
Rotorhastighet	5-16 rpm
Inkopplingsvind	4 m/s
Märkvind	12,5 m/s
Urkopplingsvind	20 m/s
Vindklass	IEC III-A

Fundamenttyp	Multipile
Generatortyp	Permanentmagnetiserad synkrongenerator
Rotorvikt	67 ton
Maskinhus/Nacellevikt	127 ton
Tornvikt	52+67+65+53 ton (4 torndelar)
Fundamentvikt	200-500 ton

Tabell 11.1 Tekniska data för vindturbiner



Figur 11.2 Tornmontage



Figur 11.3 Nacellmontage

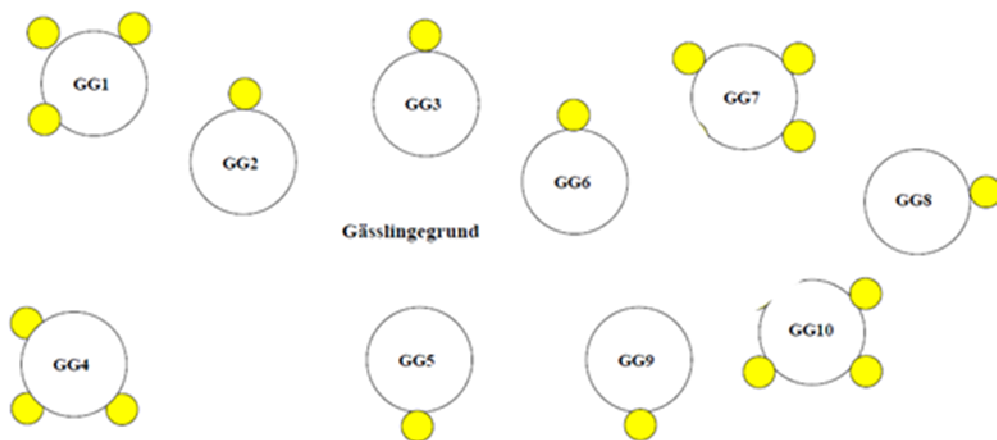


Figur 11.4 Rotormontage

11.2 HINDERMARKERING

Vindkraftparken har försetts med hindermarkering med utförande som diskuterats fram i samråd med berörda myndigheter.

På vindturbinen närmast farleden finns en radarfyr, en s.k. radar beacon. Vidare finns synkroniserade blinkande röda flygvarningsljus på varje turbin. Därutöver har på samtliga vindturbiner monterats fasadbelysning för sjöfart av typen LED-pipes, med placering lodrät på den utvändiga plattformens räcke och med ljus riktat från Gässlingegrund.

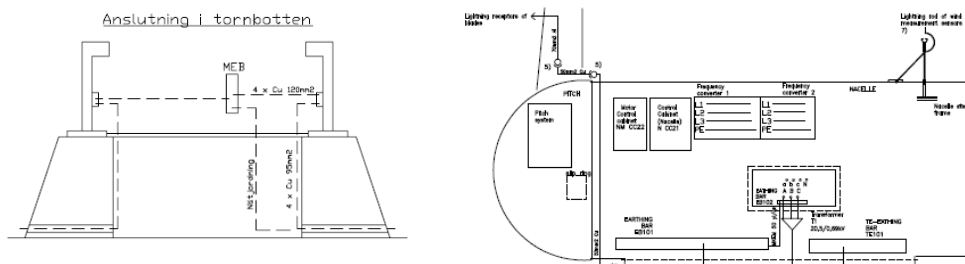


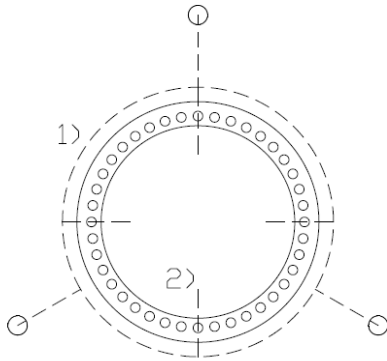
Figur 11.5 Fasadbelysning

11.3 ÅSKSKYDD

Åskskyddssystemet i vindkraftverket följer riktlinjerna enligt IEC 61400-24. Sammankoppling mellan ståltorn och det lokala jordtaget vid respektive verk sker på adapterflänsens insida i botten av tornet. Ringledare och anslutande jordlinor till de djupborrade jordtagen är utförda av kopparlinor fastsatta på sjöbotten.

Placeringen av de djupborrade jordtagen är utförd med tanke att uppnå ett störningsfritt flöde av den uppkomna blixtröströmmen. Placering av jordtagen har utförts med hänsyn till rådande bottenstruktur. Utformningen är via borrarade 100 mm hål, där borrarlängd är ca 25 m.



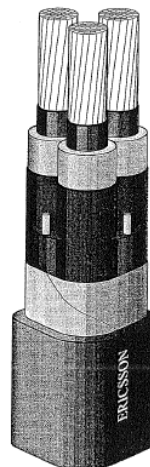


Figur 11.6 Principlösning jordning

11.4 ÖVERFÖRINGS- OCH KOMMUNIKATIONSKABLAGE

Den kraftkabel som använts för elöverföring från vindkraftverken är av typ AXAL-TT PRO 3x240/35, en enklare kabel än vad som normalt används för marina vindkraftparker.

Den aktuella kraftkabeln saknar armering och bör ligga helt stilla på sjöbotten för att inte nötas sönder eller utmattas mekaniskt. Vid extrema vindar, exempelvis stormvindar som kan antas vara relativt kortvariga, har accepterats en viss rörelse hos kabelförbandet. (Vid stormar kan vindstyrkor uppgå till ca 30m/s.)



Konstruktion SS 424 14 16/17

- Ledare**
Fäträdig aluminium, längsvattentät
- Inre ledande skikt**
Extruderat
- Isolering**
PEX, torr Vulkaniserad, peroxidförmätad
- Yttre ledande skikt**
Extruderat, strippbart
- Skärm**
Av aluminiumtråd korrosionskyddat inbäddade i fyllnadssträngar av ledande material.
- Längsvattentät**
Svällpulver och svällgarn som tätar hela konstruktionen
- Tvårvattentät**
Aluminiumfolie limmad mot mantel.
- Mantel**
Svart PE-komposit uppbyggd med ett hårt yttre skikt och ett stötupptagande inre skikt. Metermärkt. Försedd med rivtråd för enklare uppskalning

Användning

Treledarkabel för fast förläggning i mark, vatten och rör. Extra slagtälig mantel. Montagevänlig vid låga temperaturer. Tillverkad av material för enkel återvinning.

Figur 11.7 Överföringskablage

Förutom att den enklare kabeln har haft en positiv kostnadspåverkan finns också fördelar i form av möjligheter att beställa längre färdigtillverkade kablar, vilket minskar antalet skarvar. De skarvar som trots allt behövs bedöms dessutom enklare att utföra.

För kommunikation med vindkraftparken har även en parallellförläggning av armerad fiberkabel av typ GRHALTTLV-Sjökabel Loose Tube skett.

Förläggning av kablaget har gjorts från pråm, där färdigskavade/färdigtillverkade längder förberetts på land och lagts upp på pråmen innan sjöförläggning.



Figur 11.8 Kabelförläggning

För att bibehålla driftsäkerhet har stor vikt lagts vid kabelfixering och viktning, något som måste göras oavsett kabeltyp.

För att på ett tillfredsställande vis skydda kraftkabel och fiberkabel vid grundare vattendjup har tunga kabelskydd i form av prefabricerade betongkonstruktioner av typ Svenner Cable Systems Seacult använts. Det är mycket viktigt att kablarna ligger stilla efter förläggningen för att inte nötas sönder mot fundamenten eller bottenstrukturen. Det är också mycket viktigt att inga stenar eller annat sticker upp under kabelskydden som kan skada kablarna. Kraftkabel och fiberkabel har förlagts åtskilt för att undvika följdfel vid eventuella isolationsfel på kraftkabeln samt för att få en stadig infästning.

För att kraftkabeln ska ligga stilla har den fästs i varje kabelskyddsfundament, vilket givit ett ungefärligt avstånd på 2 m mellan infästningspunkterna. Varje kraftkabel har egen infästning för att säkerställa tillförlitlighet. Ur driftsäkerhetssynpunkt är kraftkablarna separerade, för att undvika att ett kabelfel ska kunna påverka intilliggande kabel.

Fiberkabeln är av en armerad och kompakt konstruktion och väger därför mer än kraftkabeln i vatten. Även denna har fästs i varje kabelskyddsfundament, med ca 2 m mellan infästningspunkterna.

Kabelskydden har i huvudsak sammankopplats i grupper om 5st. Det är av stor vikt att kabelskydden står stadigt på sjöbotten, varför de vid bergiga partier med stora nivåskillnader fästs i berget på något sätt, för att förhindra att kabelskydden rör sig och dragkrafter uppkommer i kabeln.

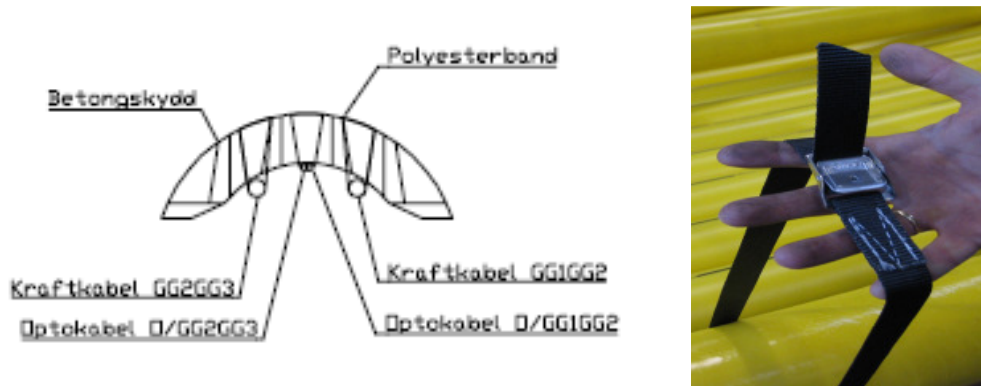


Figur 11.9 Tungt kabelskydd

På djup som överstiger 8-10m har kraftkabeln viktats, så att den inte kommer i rörelse av vågor och undervattenströmmar. Detta har blivit ett billigare, men fullgott alternativ till Seacult kabelskydden.

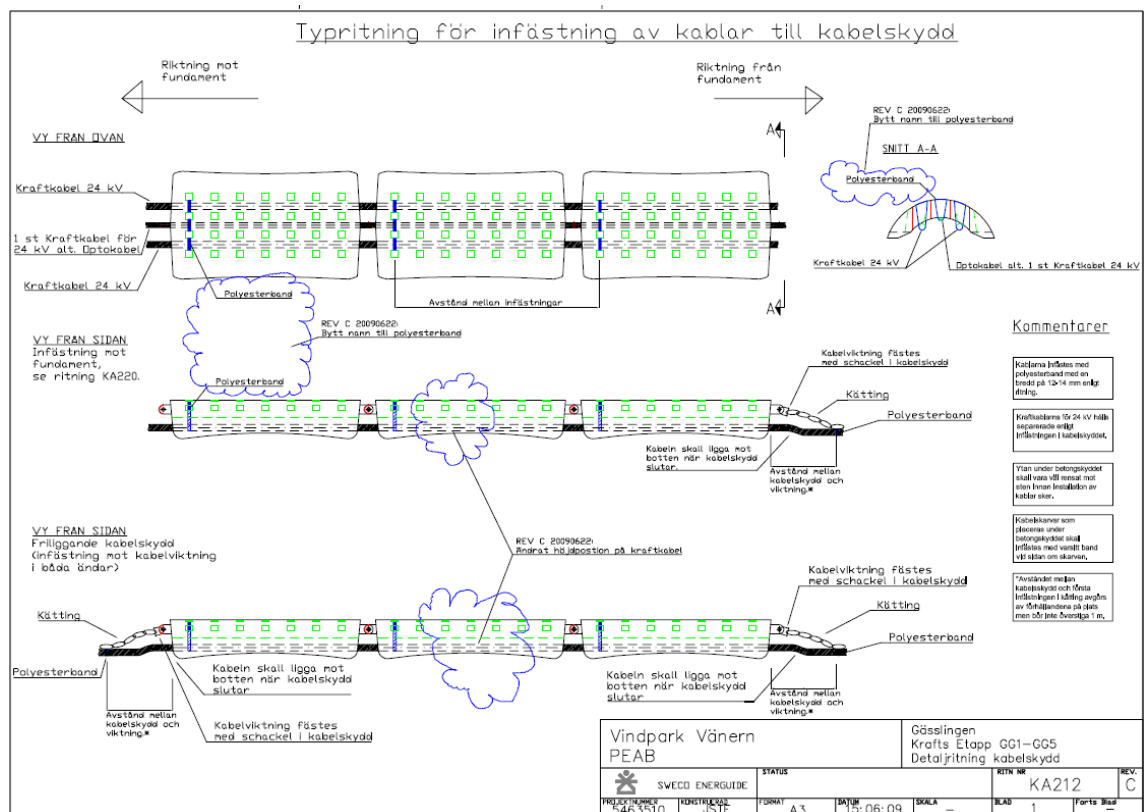
Viktningen har utförts med hjälp av järnkätting med vikt mellan 5-17 kg/m beroende på djup, där en stor fördel varit att kättingen följt bottenstrukturen samt har en hög densitet. Detta har inneburit att kabeln tyngts ned något i mjuka bottenstrukturer, vilket är en fördel eftersom den exponerade ytan/volymen i vatten minskar. Kätting och kabel har vid gemensam förläggning förbundits på pråmen och sedan sänkts ned i vattnet.

Stor vikt har lagts vid att kabel och kabelskydd/kätting bundits ihop på ett bra sätt, för att undvika rörelse samt för att få den längsgående viktningsfunktionen. Det som nyttjats är polyesterband som sjunker i vatten och har goda nötningsegenskaper. Bandet har dragits åt med handkraft.



Figur 11.10 Kabelinfästning i tungt kabelskydd

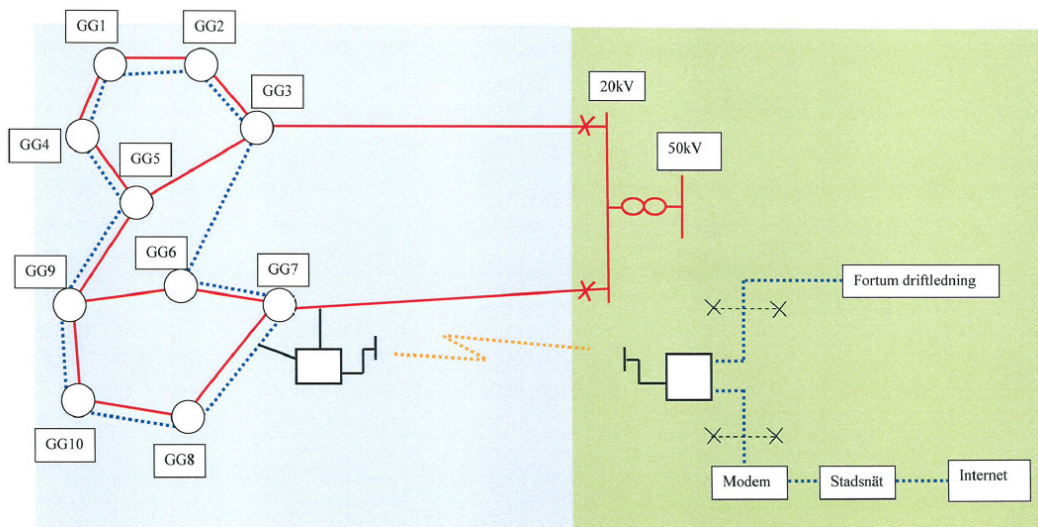
Vid samförläggning har fiberkabeln fästs med grova plastbuntband tillsammans med kätting och kraftkabel



Figur 11.11 Typisk kabelviktning

12 ÖVERVAKNING

Driftövervakning av vindturbinerna sker på distans via lokal fiberkabelsammankoppling samt kommunikation till fastlandet via radiolänk. Vidare sker motsvarande driftövervakning av elnätet.



Figur 12.1 Kommunikationslösning för driftövervakning

13 KOMMUNIKATION

Projektet har genomförts utan några opinionsyttringar, vilket måste ses som högst ovanligt för en så pass stor anläggning. En förklaring till positivismen ligger sannolikt i den breda ägarbilden med kombination av privat och offentligt ägande samt ett antal "eldsjälar", vilket givit en god lokal förankring och förståelse för projektet.

Vidare har en god dialog hållits med berörda myndigheter genom hela projektet och öppen information har regelbundet kommunicerats.

Även medialt har projektet rönt en del intresse, framför allt i samband med den förhållandevis korta period i projektet då det skedde spektakulära aktiviteter inför öppen ridå ute på Vänern. Information har kommunicerats till media i form av intervjuer och presskonferenser samt planerade besök för fotografering.

En utställning om Vindpark Vänern har iordningställts i en lokal i stadsdelen Sommaro, vilken är avsett att användas vid förevisningar m.m.

14 LOKAL PÅVERKAN

Förutom att projektet skapat erfarenhet och utvecklat kompetens hos lokala aktörer i Värmlandsregionen kan direkt påverkan identifieras i några fall.

I samband med att Vindpark Vänern-konsortiet placerade order hos Dynawind skedde uppförande av en helt ny facilitet i Gustavsviks industriområde i Kristinehamn, innefattande bolags- och projektadministration samt tornfabrik.

Vidare har projektet inneburit att en effektiv sjöresurs för transporter och lyft i form av M/S WestWind tills vidare finns tillgänglig i Karlstads hamn.

Projektet har även inneburit att lokala entreprenörer startat och utvecklat sjötransport-verksamheter i Skoghallsområdet. Dessutom har lokala dyktjänster utvecklats.

Värt att nämnas är också att regionen som kompetenscentrum för vindkraft stärkts ytterligare av den lokala vindkraftsatsning som General Electric gjort i Karlstad, där ett utvecklingscentra för off shore vindkraft byggs upp.

Direkt i anslutning till Vindpark Vänern-projektet påbörjades två nya förstudier avseende ytterligare vindkraftparksutbyggnad i Vänern. Dessa studier hade sannolikt inte startats över huvud taget utan ett framgångsrikt genomförande av projekt Vindpark Vänern.

15 ERFARENHETER OCH FÖRBÄTTRINGSFÖRSLAG

Den fundamentteknik som använts i projektet är en beprövad teknik som tidigare använts för landbaserade vindkraftverk. I detta projekt har fundamentutformningen givits namnet "multipile" eller "bergförankrade fundament". Tekniken har visat sig lämplig för sjöbottnar bestående av gediget berg samt ett vattendjup av 4 – 10 meter. Hammaröformationen består av solitt berg som lämpar sig för denna fundamentteknik.

Fundamenttekniken är flexibel, då antalet fundamentringar är beroende på vattendjupet, dvs större vattendjup ger fler ringar. Fler ringar kräver ett mindre borrhåldjup i berget avsett för spännstagen, ett samspel skapas härigenom mellan vattendjupet och borrhåldjupet för spännstagen.

I en insjö som Vänern med breddbegränsningar i Trollhätte kanal samt avsaknad av torrdocka för större fundamentgjutningar av t.ex. gravitationsfundament har multipile-tekniken visat sig mycket lämplig, beroende på flexibilitet och effektivitet vid prefabricering samt transportmöjligheter med konventionella pråmar och lyftresurser. Ytterligare avgörande kriterier vid val av fundamentteknik är de bottenförhållanden som råder vid Gässlingegrundet.

En av de avgörande framgångsfaktorerna för projektet var att förlägga den tillfälliga byggplatsen i Karlstad Hamn för prefabricering av fundamentringar. Lokaliseringen av byggplatsen har underlättat logistik kring montagearbeten, vilket medfört positiva effekter avseende tid och planering samt flexibelt samspel med förberedande och tidsmässigt parallellt utförda grundläggningsarbeten ute på Gässlingegrund. Hanteringen av fundamentringar förenklades samt förkortades genom befintliga lyftresurser i Karlstad Hamn. Fundamentkonstruktionen och de befintliga hamnresurserna medförde dessutom enkla frakter ut till Gässlingegrund.

Resurstillgängligheten i form av M/S Windena, M/S Westwind samt Kanalia har både underlättat och varit avgörande vid transporter och montage av vindkraftverken.

Konceptet med transport av upprättstående torndelar innebar att ett komplett torn kunde transporteras i en samtidig last, vilket effektiviserade lyft- och montagelogistik.

Montaget av fundamentringarna kunde ha effektiviserats om mobilkranen på pråmen haft möjligheten att vrida och lyfta samtidigt. Detta hade varit möjligt om mobilkranen varit placerad på en större bottenfast plattform alternativt en större rigg. Alternativet valdes dock aktivt bort i projektet då det sågs som en alltför dyr lösning och dessutom komplicerad att få görlig med tanke på intransport till Vänern via Trollhättekanal som har en maxbredd på 13 meter.

På grund av begränsningarna i Trollhättekanal har fartyget M/S WestWind varit en förutsättning för projektet. Design och konstruktion efter ombyggnationen medför att hon kan lyfta verk upp till 3MW utan att vara beroende av bottenförhållanden, då hon inte behöver stöd mot botten. Eftersom M/S WestWind är en demonterbar trimaran klarar hon transporter via Trollhättekanal, vilket medför att hon kan transporteras till andra lämpliga kustnära vindkraftprojekt runt Sveriges kust.

Ett gott förarbete i form av förundersökning och planering innan byggstart är av största vikt för att i produktionsfasen minimera väderexponering i form av arbeten på sjön. Detta både avseende vindproduktionsoptimering samt bottenundersökningar liksom optimering av grundläggningsdjup med avseende på vågrörelser och dess krafter. Provboringar rekommenderas att utföras innan ett vindkraftverks läge slutligt fastställs.

Vidare är kontinuerlig planering och uppföljning avseende "väderfönster" av yttersta vikt, där indata från olika källor bör beaktas och avvägas för att minimera störningar i arbete. För att optimera arbetet på sjön och så effektivt som möjligt utnyttja "väderfönster" är det av stor vikt att snabbgående och säkra persontransporter kan ske mellan fastlandet och arbetsplatserna.

Nyckelordet i ett projekt som Vindpark Vänern är *flexibilitet*, där verktyg måste finnas för att möjliggöra att aktiviteter och resurser kontinuerligt kan anpassas och omplaneras för att passa väderförutsättningar samt att snabba omplaneringsbeslut kan tas.