

Vindpark Utposten 2

BILAGA V

teknisk beskrivning



Racing for a sustainable future

Rapportnamn:

Vindpark Utposten 2

BILAGA V – Teknisk beskrivning

Tillgänglighet	Publik
Datum för rapport	2023-04-14
Projektledare	Emelie Johansson
Författare	Per Edström
Granskare	Karl Lindblad

Revisionshistorik

Version	2
Datum	2023-04-14
Beskrivning	Slutgiltig

Innehållsförteckning

1	Inledning	417
2	Utformning, Vindpark Utposten 2	417
2.1	Layout för vindparken och förväntad produktionsförmåga.....	417
2.2	Elanslutning	420
3	Teknik	424
3.1	Fundament	424
3.1.1	Gravitationsbaserade fundament.....	426
3.1.2	Monopile fundament	428
3.1.3	Fackverksfundament.....	430
3.2	Vindkraftverk	431
3.2.1	Dimensioner.....	434
3.3	Elanslutning	436
3.3.1	Internt parknät	436
3.3.2	Transmissionsnässtation och extern nätanslutning.....	436
4	Projektgenomförande	439
4.1	Detaljprojektering.....	440
4.1.1	Kontrollprogram.....	440
4.2	Byggnation och idrifttagning	441
4.2.1	Fundament	441
4.2.2	Vindkraftverk	444
4.2.3	Elanslutning	448
4.2.4	Idrifttagning.....	451
4.3	Drift.....	451
4.3.1	SCADA.....	451
4.3.2	Service och underhåll.....	451
4.4	Nedmontering.....	453
4.4.1	Fundament	453
4.4.2	Vindkraftverk	453
4.4.3	Transformatorstation och internt nät.....	453
5	Referenser	454

1 Inledning

Denna rapport beskriver de huvudsakliga komponenter och tekniker som används i den planerade verksamheten, Vindpark Utposten 2.

För uppgifter och underlag i denna rapport gäller övergripande att alla uppgifter ska ses som exempel, då bästa tillgängliga teknik vid tiden för anläggandet ska väljas inom de ramar som framgår av miljötillståndets villkor. Tillståndsprocessen och övrig projektutveckling tar lång tid i anspråk varför det svårligen kan förutses vilken teknik som är bästa tillgängliga teknik vid tiden för byggnation.

Slutlig utformning av projektet kommer att fastställas genom detaljprojektering och upphandling av leverantörer sedan laga kraft tillstånd har erhållits. Den slutliga layouten med exakta positioner för vindkraftsverk, kablar och transformatorer kommer då beslutas i samråd med tillsynsmyndigheten.

Vid utformningen av denna tekniska beskrivning har information hämtats från relevanta aktörer och leverantörer av utrustning såsom exempelvis Per Aarsleff A/S (fundament), SiemensGamesa (vindkraftverk), ABB och NKT (elanslutning), Atos (SCADA och kommunikation), Iberdrola (projektgenomförande) m.fl.

2 Utformning, Vindpark Utposten 2

Planerad verksamhet vid Vindpark Utposten 2 omfattar i huvudsak mätmaster, fundament, vindkraftverk, internt nät, transformatorstation/er och exportkablar. Projektområdet omfattar 36 km² och förväntas rymma maximalt 32 vindkraftverk med maximalt 350 m totalhöjd.

2.1 Layout för vindparken och förväntad produktionsförmåga

Vindkraftverkens placering inom det utpekade området beror av flera orsaker, främst verkens dimensioner, vattendjup samt rådande bottenförhållanden. Mellan vindkraftsverken är avståndet normalt ca 4–10 rotordiametrar för att inte tappa för mycket produktion på grund av turbulens och så kallad vak-effekt.

Svea Vind Offshore har tagit fram en utformning som är ett representativt exempel på hur vindkraftsparken kan komma att utformas. Denna är baserad på de förväntade vindkraftverksdimensioner som beskrivs i Tabell 1 och Tabell 7.

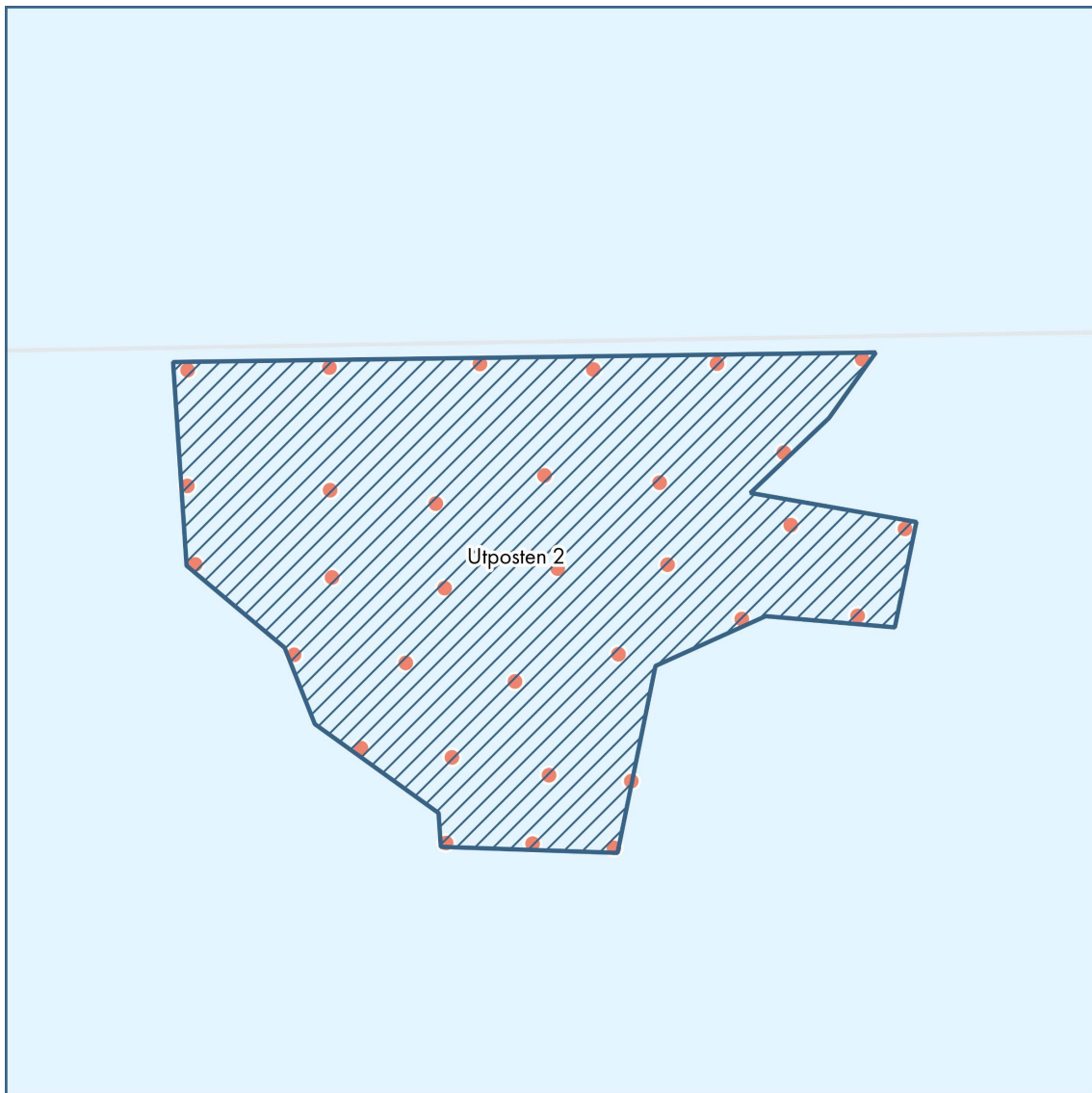
Styrande vid framtagande av detta utformningsexempel har varit att tillvarata vindenergin på ett så effektivt sätt som möjligt med samtidig hänsyn för andra intressen som finns i området.

Tabell 1. Information om Exempellayout, Vindpark Utposten 2.

PARAMETER	VÄRDE
Antal vindkraftverk	32 st.
Förväntad årlig energiproduktion	1 900 GWh/år
Totalhöjd	350 m

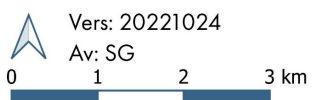


Figur 1. Exempellayout 32 vindkraftverk samt projektområde, Vindpark Utposten 2, montage



Utposten 2 - Exempellayout 32 verk

● Läge för vindkraftsverk



Skala: 1:80 000

 Projektområde

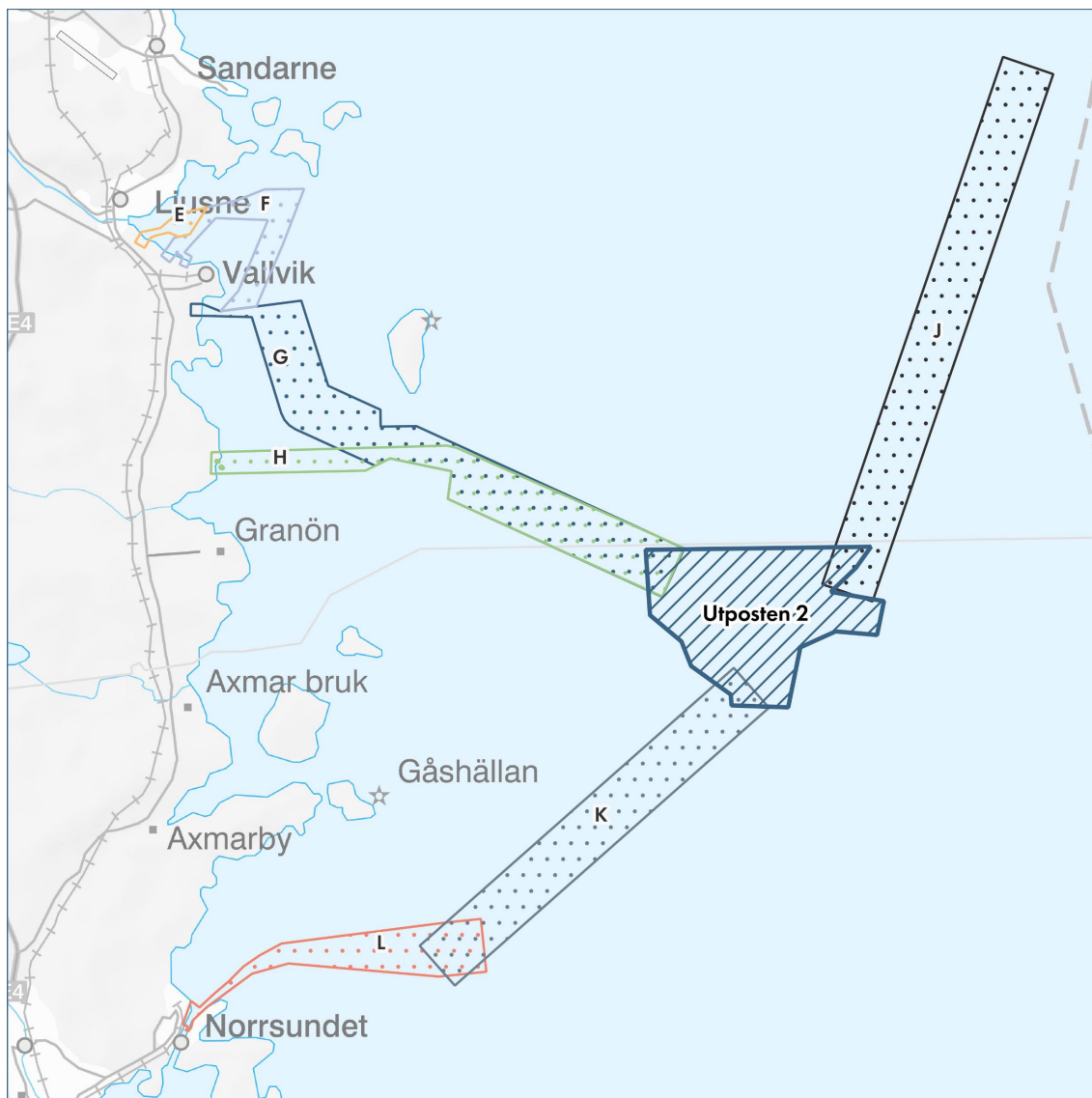
Figur 2. Exempellayout 32 vindkraftverk samt projektområde, Vindpark Utposten 2, karta

2.2 Elanslutning

Det finns ett flertal möjligheter för nätanslutning av Vindpark Utposten 2. En översikt över alternativen till nätanslutning för Vindpark Utposten 2 framgår av Tabell 2 samt Figur 3.

Tabell 2. Alternativ för anslutning av Vindpark Utposten 2.

STRÄCKNING	LÄNGD [KM]
E	2
F	9
G	21
H	17
K	14
L	11



Utposten 2 - Kabelkorridorer

 Projektområde

Kabelkorridorer

-  E
-  F
-  G
-  H
-  J
-  K
-  L

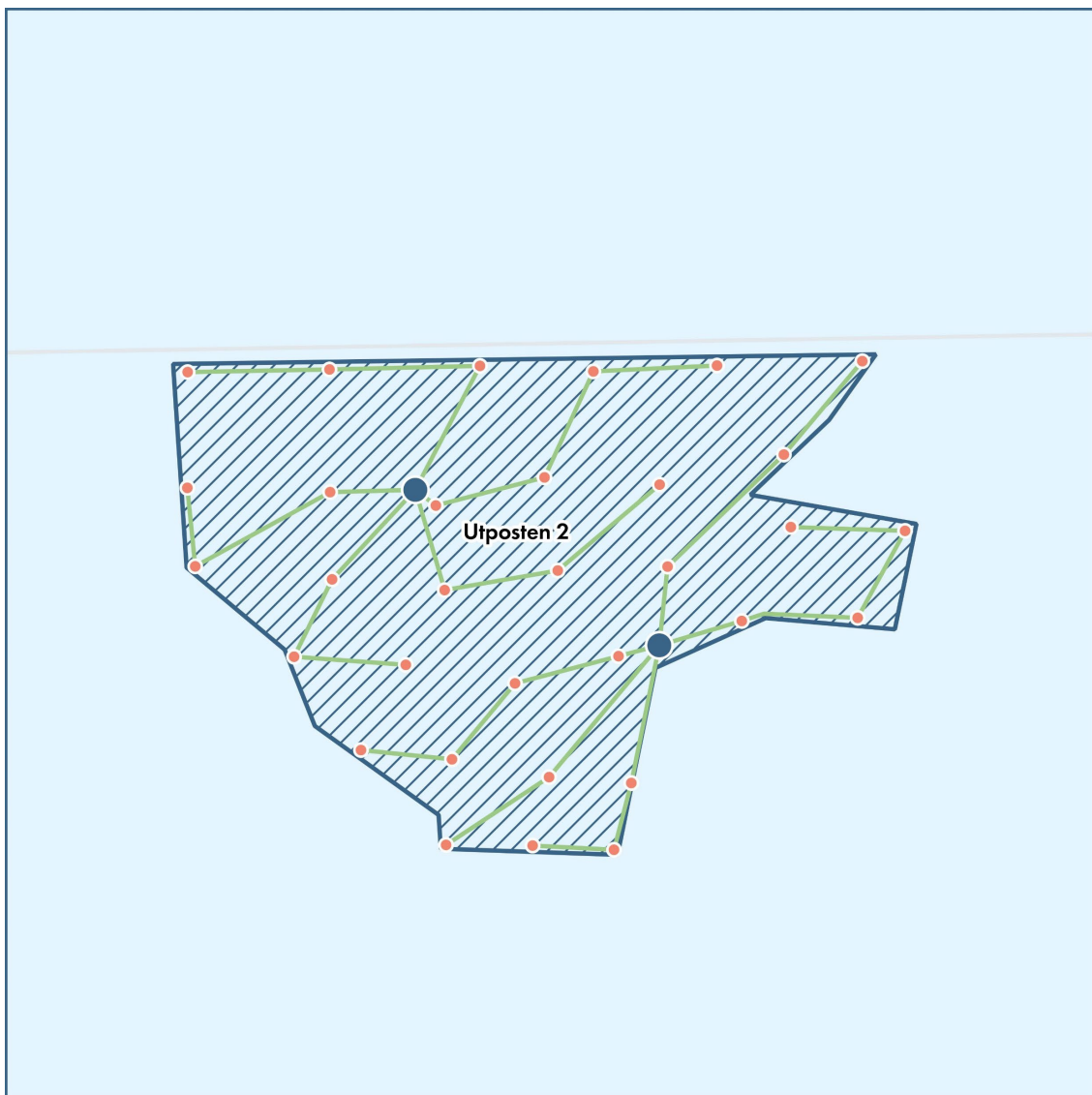


Skala: 1:250 000

Figur 3. Alternativ för nätanslutning, Vindpark Utposten 2

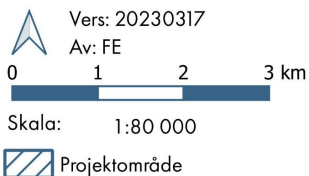
Som utgångspunkt vid preliminär utformning av elsystemet för Vindpark Utposten 2 har följande antaganden gjorts:

- Två stycken havsbaserade transformatorstationer byggs
- Installerad effekt per verk är 15 MW
- De kablar som används i interna nätet sammanbinder grupper om 3-4 verk (45-60 MW)
- Samtliga förslag till dragningar för exportkablar kan komma att nyttjas



Utposten 2 - Exempellayout 32 verk

- Läge för vindkraftsverk
- Läge för transformatorstation
- Internt kabelnätverk



Figur 4. Exempelutformning för internt nät och transformatorstationer. Det kan även bli färre transformatorstationer och exportkablarna kan ledas via en eller fler kabelkorridorer till landanslutning.

3 Teknik

3.1 Fundament

Vindkraftverken vid Vindpark Utposten 2 kommer att stadgas upp av bottenförankrade fundament. Flytande strukturer, så kallade flytande fundament, medför betydligt större anläggningskostnader och används normalt sett vid platser som inte tillåter bottenförankring exempelvis till följd av djup.

Fundamenten för Vindpark Utposten 2 kommer att designas för de förutsättningar som råder på den plats där de installeras och baserat på information om geologiska förutsättningar, strömmar, isförhållanden, förväntat vågklimat samt laster från de vindkraftverk som planeras att byggas.

De fundamenten där stål ingår i konstruktionen är av rostskyddat slag. De har också normalt sett anoder som placeras under havsnivån. Anoderna är av standardtyp för offshorebruk och kan svetsas fast på stålkonstruktionerna. Anoderna övervakar skillnaden i potential mellan två elektroder som fästs på fundamentens infästningsanordning. Anodernas kontaktyta består av någon typ av metall, ofta zink eller silver. Korrosionsskyddande anoder är inte specifika för vindkraft utan används allmänt vid skydd av stålkonstruktioner i marin miljö.

Vid konstruktioner som placeras på havsbotten bestående av eroderande material och där flödes hastigheten i vattnet är tillräckligt hög, bildas eroderingshål. Det finns två olika sätt att hantera den problematik som uppstår i samband med detta. Antingen tillåts erosion vid design av fundamenten eller så används erosionsskydd. Normalt sett görs bedömningen av huruvida erosionsskydd ska användas under projektets detaljprojektering. Erosionsskydd består oftast av sten som deponeras runt konstruktionerna.

De vanligaste typerna av fundament beskrivs nedan. Övriga typer som kan vara aktuella, till exempel så kallade tripod fundament, är i grunden varianter av dessa principer.

1. Gravitationsfundament
2. Monopile fundament
3. Jacket fundament

Monopile är den vanligaste typen av fundament vid havsbaserad vindkraft i Europa och världen. Ca 80 % av all havsbaserad vindkraft som anlades i Europa 2020 har monopile enligt statistiskt underlag framtaget av branschorganisationen Wind Europe (WindEurope, 2021) där Sökanden är medlem och har hämtat fakta.

Gravitationsfundament är den typ som installerats mest i Sverige.

Tabell 3. Installerade fundamentstyper i Europa 2020. Semi-Sub är en typ av flytande fundament.
Källa: Wind Europé.

Land	Projekt	Ansluten Kapacitet 2020 (MW)	Antalet anslutna turbiner	Turbinmodell	Typ av fundament
Nederländerna	Borssele 1&2	752	94	SG 8.0–167 DD	Monopile
	Borssele 3&4	722	76	V164-9.5 MW	Monopile
	Borssele 5	19	2	V164-9.5 MW	Monopile
Belgien	Seamade	487	58	SG 8.4–167 DD	Monopile
	Northwester 2	219	23	V164-9.5 MW	Monopile
UK	East Anglia One	483	69	SWT-7.0-154	3-Ben Jacket
	EnBW Albatros	112	16	SWT-7.0-154	Monopile
Tyskland	Trianel Windpark Borkum 2	101	16	Senvion 6.2M152	Monopile
Portugal	Windfloat Atlantic	17	2	V164-8.4 MW	Semi-Sub

Fundamentens design är beroende av de laster som behöver tas upp i form av bland annat islast, laster från vågor och moment från vindkraftverken samt bottenförhållanden. Dimensioner på fundamenten kommer därför vara beroende av resultat från detaljerade geotekniska undersökningar, detaljerade studier av våg- och isklimat vid parken samt slutligt val av verkstyp. Gällande de dimensioner på fundament som anges i detta kapitel är dessa beräknade utifrån förhållandevis krävande designparametrar.

3.1.1 Gravitationsbaserade fundament

Gravitationsbaserade fundament används framför allt om det är relativt grunda förhållanden som det är i Östersjön generellt och vid Vindpark Utposten 2. De senaste vindkraftsverken som anlagts i Sverige har anlagts med gravitationsfundament, exempelvis Vattenfalls anläggning Lillgrund utanför Malmö från 2007 och E.ONs anläggning Kårehamn 5 km utanför Ölands östra kust från 2013.

Gravitationsbaserade fundament placeras på havsbotten och använder sin tyngd för att absorbera de laster som konstruktionerna utsätts för. Utöver fundamentets egenvikt används ballast, oftast i form av sand.

Vid förhållanden som innebär risk för is utrustas gravitationsfundamenten normalt sett med en iskon för att bryta isen se Figur 5.

Tabell 4. Beräknade ungefärliga dimensioner och mängder för gravitationsbaserade betongfundament.

PARAMETER	DIMENSION
Diameter på fundamentsbas	50 m
Erosionsskydd, radiellt från fundamentsbas	35 m
Bottenavtryck inklusive erosionsskydd, diameter	120 m
Bottenavtryck inklusive erosionsskydd, area	11 300 m ²
Diameter på axel	8–10 m
Total mängd betong per fundament	8 000 ton
Total mängd armering per fundament	400 ton
Total mängd ballast	8 000 ton



Figur 5. Betongarmering till gravitationsbaserat vindkraftverk (uppe v), transport av vindkraftverk (uppe h). Skiss på gravitationsfundament för havsbaserad vindkraft (nere v), iskon på gravitationsfundament (nere h) källa: Per Aarsleff A/S.

3.1.2 Monopile fundament

Monopile fundament består av stålrör ibland med tillhörande infästningsanordning. Infästningen är normalt sett tillverkad i stål och fästs vid toppen av fundamentet med en särskild typ av kvalitativ cement, grout. Grout består av ett bindmaterial som blandas med exempelvis kvarts, sand eller bauxit. Fundamentet pålas ned till önskat djup i havsbotten. Vid komplicerade bottenförhållanden såsom grövre grus och stenblock kan kompletterande borring ske.

Storleken på monopile fundamenten är beroende av bottenförhållanden och vattendjup vid vindkraftverkens positioner samt slutligt val av modell för vindkraftverk. Preliminära designberäkningar pekar på att fundamenten kan komma att ha ungefärliga dimensioner enligt tabellen nedan.

Tabell 5. Resultat från beräkningar av ungefärlig storlek för monopile fundament

PARAMETER	DIMENSION
Diameter vid havsbotten	15 m
Erosionsskydd, radiellt från fundamentbas	35 m
Bottenavtryck inklusive erosionsskydd, diameter	85 m
Bottenavtryck inklusive erosionsskydd, area	5 700 m ²
Bottenpenetrering	50 m
Fundamentets längd	120 m
Fundamentets vikt	3 500 ton
Infästning längd	30 m
Infästning diameter	10 m
Infästning vikt	550 ton



Figur 6. Skiss på monopile fundament för havsbaserad vindkraft, källa: Ramböll

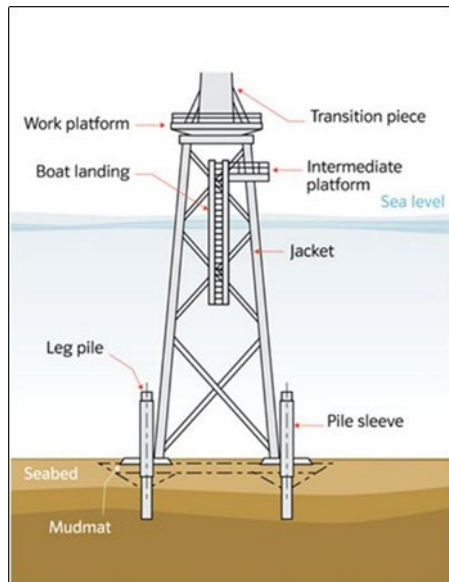
3.1.3 Fackverksfundament

Fackverksfundament består av en stålkonstruktion oftast med tre eller fyra ben. Konstruktionen pålas ned i havsbotten vid varje ben. Beroende av lokala förutsättningar krävs en del förberedande arbete. Stödbenen binds samman av en infästningsdel som i sin tur fästs till tornet till vindkraftverket.

Vid toppen av fackverkskonstruktionen finns en infästning till vindkraftverken vilken oftast är integrerad i konstruktionen. Denna består av rostfritt stål.

Tabell 6. Resultat från beräkningar av ungefärlig storlek för fackverksfundament

PARAMETER	DIMENSION
Avstånd mellan ben på havsbotten	60 m
Erosionsskydd, radiellt från pålarnas ben	25 m
Bottenavtryck inklusive erosionsskydd, diameter	110 m
Bottenavtryck inklusive erosionsskydd, area	9 500 m ²
Längd på pålar	80 m
Pålarnas diameter	5 m



Figur 7. Skiss över fackverksfundament för havsbaserad vindkraft, källa: 4C-Offshore

3.2 Vindkraftverk

Vindkraftverk har till syfte att omvandla vindenergi till elektricitet. Huvudkomponenterna i ett vindkraftverk utgörs av ett rörtorn i stål och/eller betong, ett maskinhus (så kallad nacell) i stål och/eller glasfiber, en drivlina med eller utan växellåda för att överföra kraften till generatoren samt en rotor. Rotorn är trebladig och vanligen tillverkad i en kombination av främst glasfiber och kolfiber. Utöver detta finns kringutrustning såsom hydraulik, styrutrustning och kraftelektronik. Flera leverantörer av vindkraftverk har annonserat målsättningar om att öka andelen återvinningsbara material i sina tillverkningsprocesser vilket kan leda till att andra material än vad som anges ovan är aktuella vid tiden för byggnation (Reuters, 2021).

Vindkraftverken börjar generera elektricitet när vindhastigheten vid rotorn är ca 3 m/s. Vindkraftsverkets produktion ökar sedan med ökande vindhastighet upp till 11–14 m/s när verken når sin maximala effekt (märkeffekt). Vindkraftsverkens design och utformning tillåter drift upp till 25–35 m/s varefter vindkraftverken automatiskt stängs ned.

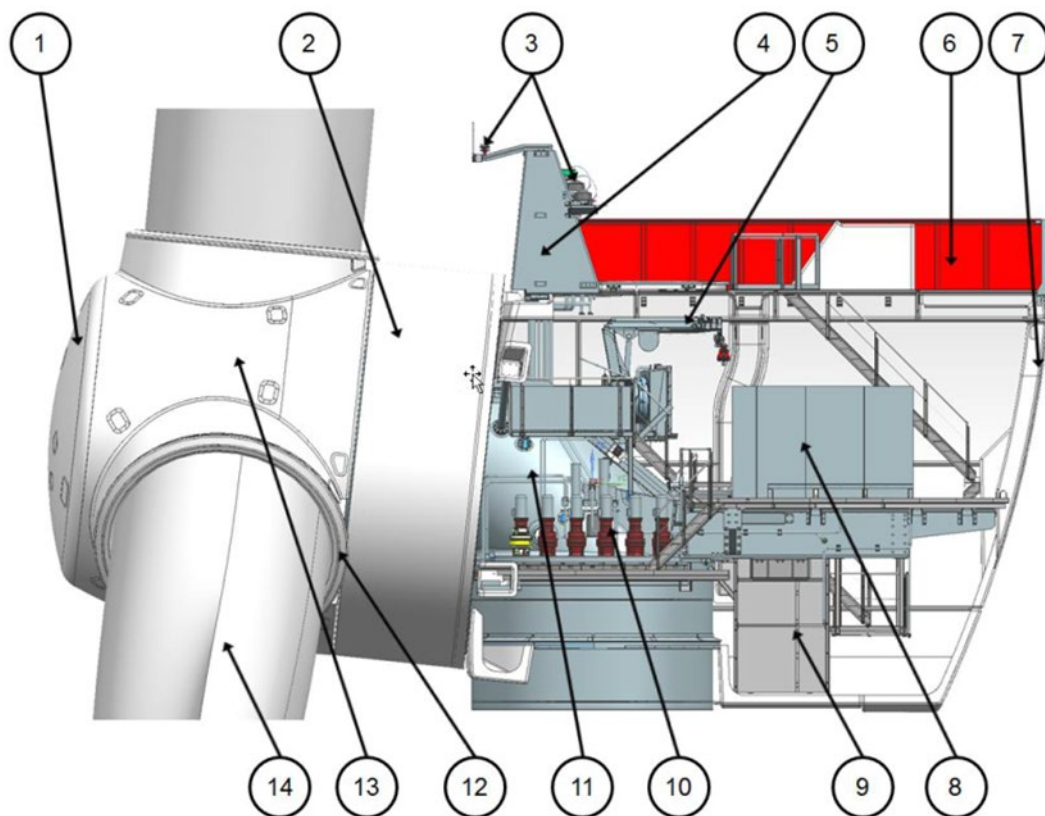
Rotorn och maskinhuset vrider sig efter vinden och vinkeln på de tre rotorbladen regleras kontinuerligt (så kallat pitchas) för att optimera vindkraftsverkets funktion och produktion. Vindkraftsverken roterar medsols om de studeras längs med vindriktningen och rotorns varvtal är beroende av vindhastigheten och vindkraftverkets rotordiameter.

Tornet består generellt av 1–8 delar som skruvas samman. Tornen kan även bestå av betonghalvor som hålls samman med vajer eller av en kombination av stål och betong. Tornen är generellt försedda med servicehiss och/eller ett stegsystem. I nedre delen av tornet kan transformator, spänningsomvandlare eller skåp för kontrollsystem placeras om denna utrustning inte är placerad i maskinhuset.

Normalt är vindkraftverken färgsatta i en gråvit färg för att begränsa kontrastverkan mot bakgrunden. I Utposten 2 planeras därför ljusgrå vindkraftverk. Bryggor och anslutningsanordningar för båt till vindkraftsverken brukar vara signalfärgade, gula. Vindkraftverken utrustas med hinderljus avseende luffart och sjöfart enligt vid tidpunkten gällande föreskrifter (Transportstyrelsen, 2020), (Transportstyrelsen, 2017).



Figur 8. Havsbaseade vindkraftverk under drift, i detta fall SiemensGamesa. Källa: SiemensGamesa

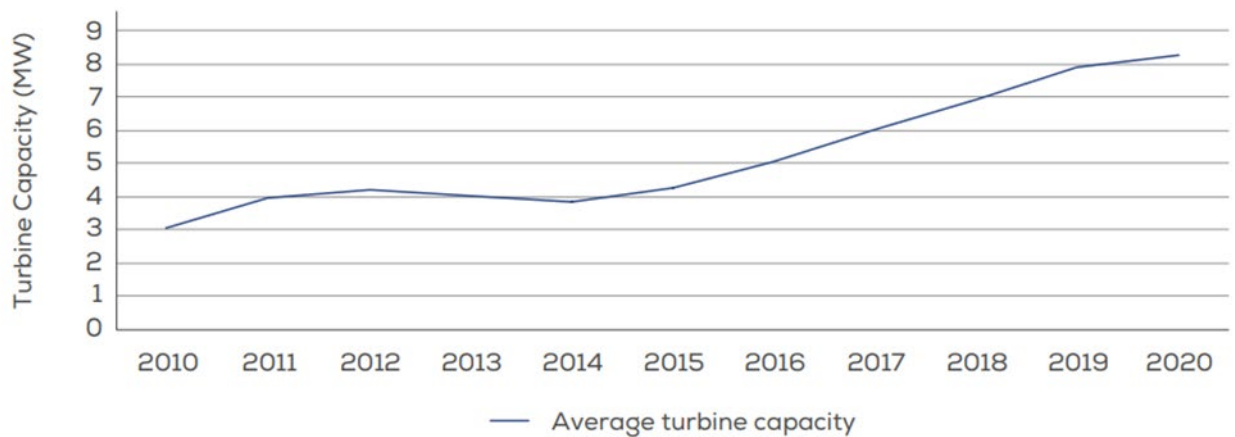


Maskindel	Beskrivning	Maskindel	Beskrivning
1	Rotor	8	Omvandlare (2 stycken)
2	Generator	9	Transformator
3	Instrument och hinderljus	10	Gir system
4	Aktiva och passiva kylsystem	11	Huvudram
5	Serviskran för maskinhus	12	Lager för blad
6	Landningsplats för helikopter	13	Nav
7	Skyddshölje för maskinhus	14	Blad

Figur 9. Beskrivning av ett vindkraftverk. Källa: SiemensGamesa

3.2.1 Dimensioner

Den tekniska utvecklingen av vindkraftverk går väldigt fort. Vindkraftverksleverantörerna tar kontinuerligt fram nya eller uppdaterade modeller av vindkraftverk med större dimensioner. Idag ligger ett typiskt vindkraftverket för offshoremarknaden på ca 10 MW och har en rotordiameter på ca 170 m. Detta gäller för de projekt som är under byggnation och inte som ett genomsnitt av drifttagna verk. Det finns betydligt större verk på prototypstadiet och tillgängliga för upphandling, upp till 15 MW med rotordiameter kring 240 m.



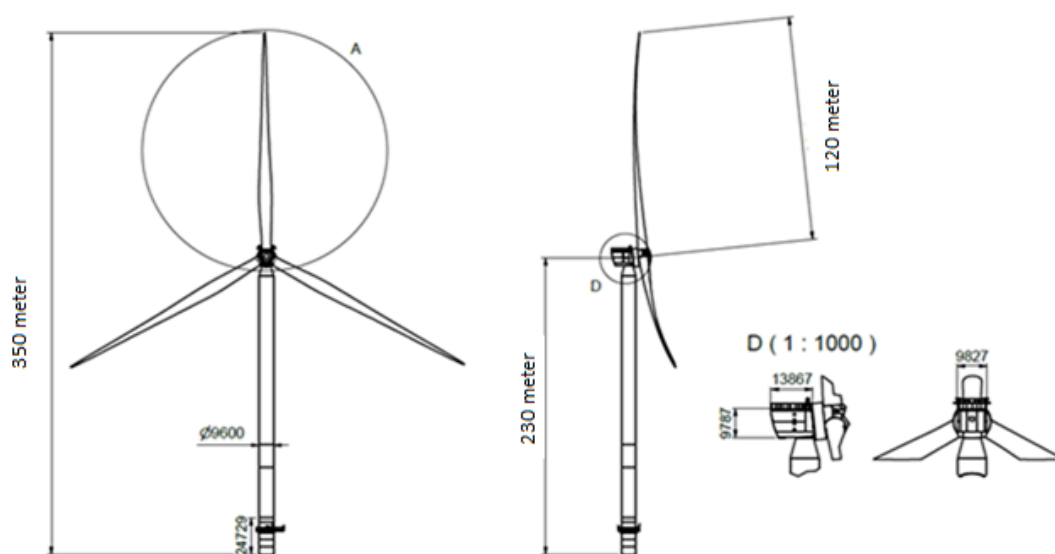
Figur 10. Trend avseende installerad effekt per vindkraftverk, havsbaserat i Europa. Källa Wind Europe

Utvecklingstakten för vindkraft är svår att bedöma men det anses rimligt att de vindkraftverk som kommer att byggas vid Vindpark Utposten 2 kommer att ha en installerad effekt på ca 15 MW. Det kan också vara så att vindkraftverk med högre effekt byggs om det visar sig vara bästa tillgängliga teknik vid tiden för byggnation.

Tabell 7 beskriver representativa dimensioner för vindkraftverk i dessa storleksklasser. De dimensioner som redovisas i tabellen ska ses som exempel vilka kan komma att överstigas så länge som totalhöjden på 350 m inte överstiges.

Tabell 7. Exempel på dimensioner för vindkraftverken vid Vindpark Utposten 2

PARAMETER	VÄRDE
Effekt	15 MW
Rotordiameter	240 m
Bladbredd	8–11 m (bredaste stället)
Tornhöjd	230 m
Diameter torn	10–12 m
Totalhöjd	350 m
Nacell Höjd	10–14 m
Nacell Bredd	10–14 m
Nacell Längd	14–20 m (20–30 m inkl. hub)



Figur 11. Exempel på dimensioner för vindkraftverken vid Vindpark Utposten 2.

3.3 Elanslutning

Utformningen av elsystemet till parken görs genom en sammanvägd optimering av placeringar av havsbaserade transformatorstationer, utformning av internt nät och dragning av exportkablar. Till grund för denna optimering ligger vindkraftverkens placering, dess installerade effekt, valda landtag, kostnadsläget för komponenter vid tiden för design mm.

3.3.1 Internt parknät

Det interna parknätet leder strömmen från varje enskilt vindkraftverk in till en eller flera transformatorstationer.

Det interna nätet för Vindpark Utposten 2 bedöms totalt bli ca 45 km beroende på antal vindkraftverk och verkens slutliga placering. Det kan även bli längre beroende av slutligt antal verk, dess placeringar i förhållande till varandra samt utformning av internt nät.

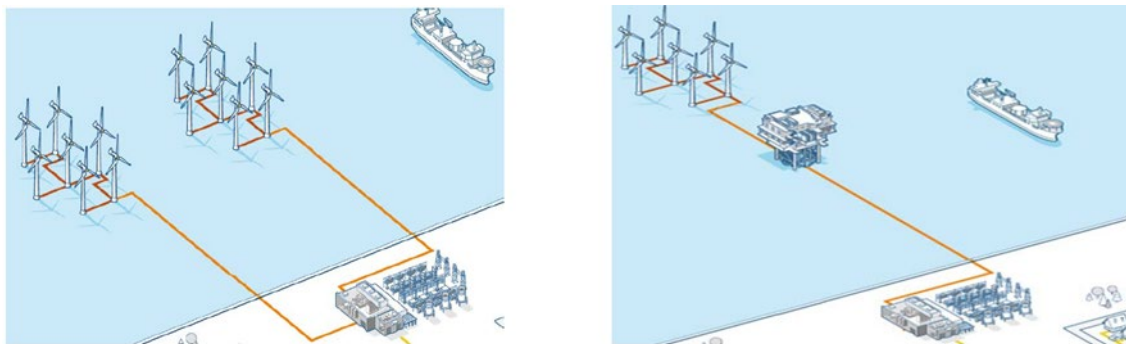
För anläggningen planeras ett icke koncessionspliktigt nät (IKN) med en trolig spänningsnivå om 66–130 kV. Vindkraftverken kommer att sammankopplas med ett eller flera separata interna parknät av växelströmskablar alternativt likström.

För Vindpark Utposten 2 planeras att undersöka bottenförhållandena i samband med detaljprojektering och därefter besluta om metod. Typisk dimension för en 66–130 kV kabel är ungefär 150–300 mm.

De interna parknätets utformning och slutlig spänningsnivå bestäms under detaljprojekteringen.

3.3.2 Transmissionsnätstation och extern nätanslutning

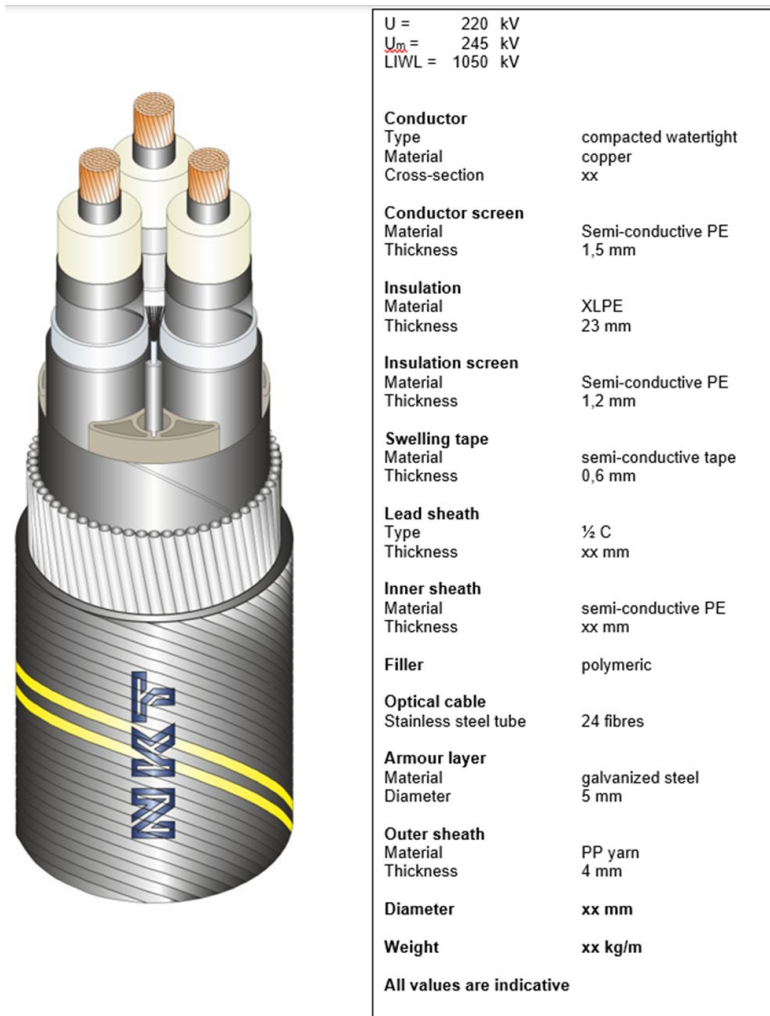
Transformatorstationen/erna kan placeras inne i vindkraftsparken. Transformatorn/erna kan såsom ett andra alternativ placeras på land. Det interna parknätet förlängs då till att leda strömmen från parken in till land. Ansökan avser maximalt 2 st havsbaserade stationer.



Figur 12. Skiss över anslutningsalternativ. I bilden till vänster används ingen havsbaserad transformatorstation utan strömmen leds direkt in till land. Till höger visas alternativet med en havsbaserad transformator. Källa: ABB

Sökanden har flera olika alternativ för att ansluta Vindpark Utposten 2 direkt in till land via kabelkorridorer se Figur 3. Vidare har sökanden som första alternativ att transformering kommer att ske vid 1 havsbaserad transformatorstation.

Om transformatorstationen/erna förläggs till havs förläggs en eller flera anslutningsledningar mellan den havsbaserade transformatorn/erna och nätslutningspunkten på land. Exakt kabeldragning samt val av teknik för nedläggning bestäms vid detaljprojektering. Initial projektering i kombination med diskussion med sakkunniga gör det troligt att anslutningen av Vindpark Utposten 2 in till land kommer att utgöras av två st 220V AC (växelström) kablar. Typisk dimension för en sådan 220 kV kabel är ungefär 200–350 mm. DC (likström) används normalt sett vid anslutning av vindparker där avståndet till land är större.



Figur 13. Schematisk bild över hur en anslutningskabel skulle kunna se ut. De värden som markeras med xx i figuren beror av slutlig design. Källa: NKT

Tabell 8. Dimensioner för havsbaserade stationer. Dimensioner för en station på 800 MW anses mest representativt för Utposten 2.

KAPACITET	UNGEFÄRLIGA MÅTT	UNGEFÄRLIG VIKT	ANTAL INKOMMANDE RADIALER	ANTAL UTGÅENDE KABLAR
200 MW	25x25x12 m	1200–2500 ton	6	2
800 MW	35x35x18 m	2800–4300 ton	12	2–3
1200 MW	35x35x20 m	5000–6000 ton	18	3–4



Figur 14. Exempel på hur en transformatorstation för Utposten 2 kan se ut. Källa: ABB

4 Projektgenomförande

Arbetsplaneringen för projektet genomförs i samråd med alla berörda parter och under överinseende av BAS-P/BAS-U. Planeringen kommer att omfatta de huvudsakliga arbeten som beskrivs inom denna tekniska beskrivning. Genomförandet av projektet sker i huvudsak enligt Figur 15. Delar av arbetsmomenten kan ske parallellt och/eller i annan ordning.



Figur 15. Processbeskrivning

4.1 Detaljprojektering

Efter att ett tillstånd för etableringen har erhållits kommer detaljprojektering att planeras och genomföras. Bolaget kommer att iaktta de allmänna hänsynsreglerna i 2 kap miljöbalken vid detaljprojekteringen. Detaljprojekteringen genomförs med syfte att ge underlag till optimering av produktionsanläggningen samt att begränsa påverkan på miljö.

Detaljprojekteringen kommer att föregås av inhämtande av nödvändiga tillstånd för de aktiviteter som planeras samt kommunikation med myndigheter och andra berörda i linje med vad som framgår av miljötillståndets villkor.

Exempel på aktiviteter under detaljprojekteringen är enligt nedan.

- Seismologiska bottenpenetrerande undersökningar för att kartlägga geologi och geoteknik till underlag för fundamentsdesign.
- Provboring vid ett urval av vindkraftverks position för att undersöka de geologiska bottenförhållandena till underlag för fundamentsdesign.
- Dykningsinventering eller video för att ytterligare undersökning av platsspecifika bottenförhållanden som kan påverka etableringen och dess utformning.
- Vindmätningar för att validera vindresursen i området. Dessa kan genomföras med mätmast och/eller så kallade "remote sensing" system som mäter vind med ljud- eller ljuspulser. Mätssystemen kan installeras på fundament som fästs på botten eller flytande med bottenförankring. För Vindpark Utposten 2 kan det bli aktuellt med upp till 2 mätmaster.
- Undersökningar för att kartlägga vattnets kemiska sammansättning samt hur denna kan komma att påverka vindkraftverken och fundament. Undersökningarna ligger till grund för att proaktivt förebygga erosion, rost och andra slitage i möjligaste mån.

Bolaget kommer endast att använda fartyg av hög standard vid den detaljprojektering som genomförs och ingen betydande förorening av vatten förväntas till följd av geotekniska och geofysiska undersökningar. Endast mycket begränsade bottenområden kommer att beröras av geotekniska undersökningar (boring) och ingen påtaglig negativ miljöpåverkan förväntas. Detta baseras på betydande erfarenhet tillsammans med genomförda undersökningar.

Detaljprojekteringen resulterar i en motiverad layout där koordinater för respektive vindkraftsverk med fundamentsval presenteras för tillsynsmyndigheten. Den framtagna layouten ska motiveras utifrån resultat av de olika detaljstudierna och utifrån bästa tillgängliga teknik vid tillfället.

Under detaljprojekteringen sker även förberedande upphandling av entreprenörer för genomförande av projektet.

4.1.1 Kontrollprogram

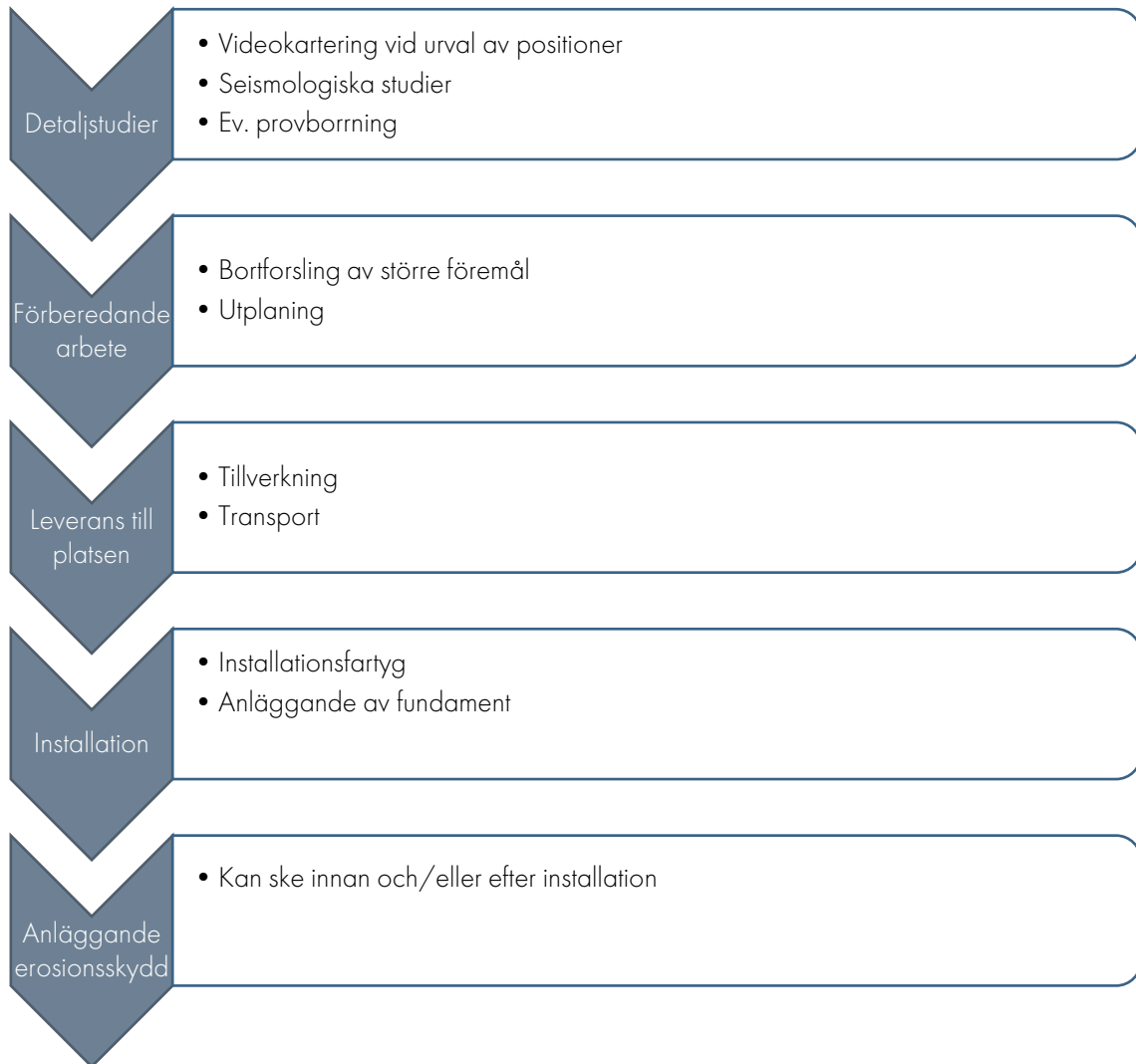
Vid en etablering av havsbaserad vindkraft kommer de naturliga förutsättningarna inom området att till viss del förändras. Som del i tillståndsprocessen har konsekvensbedömningar gjorts för att visa på den förväntade påverkan. För att kontrollera att vindkraftsparken ej medför någon långsiktig negativ påverkan på naturmiljön kommer ett kontrollprogram avseende naturmiljön att genomföras. Kontrollprogrammet utförs i tre delar, innan, under och efter byggnation av parken. Syftet med del 1 är att ytterligare kartlägga befintlig miljö i området för att sedan i del 2 kunna se på eventuella förändringar. Vissa studier kan även vara lämpliga att utföra under byggskedet. Kontrollprogrammet förväntas genomföras under 1-2 år innan byggnation, under byggnation samt efter drifttagning.

4.2 Byggnation och idrifttagning

Projektgenomförande avseende byggnation och idrifttagning är beroende av vald teknik.

4.2.1 Fundament

Installationssekvensen för fundament beskrivs nedan.



Figur 16. Installationssekvens för fundament

Tillverkning av fundament sker på land för vidare transport till närliggande hamn alternativt direkt till projektområdet. Installation av fundamenten sker med särskilda installationsfartyg som är anpassade till vald fundamentstyp och storlek. Erosionsskydd kan användas under installationstiden och efter att eventuell pålningen slutförts kan ytterligare ett lager av erosionsskydd tillföras.

Anläggande av gravitationsfundament inleds med att det översta lagret av havsbotten tas bort. Det är vanligt att man gräver ned till ca 0,5 - 2 meter men ytterligare utgrävning kan komma att bli nödvändig beroende av rådande förutsättningar. Det material som grävs upp kommer troligen lastas på en pråm för deponering i samråd med tillsynsmyndigheten. För att jämna till det område där fundamentet ska stå används grus. Under gynnsamma förhållanden kan förberedelserna för fundamentalsättningen göras på ca 6 dagar, där 3 dagar används till att föra bort massor och 3 dagar till att fylla med sten och grus. Detta förutsätter ca 2 meters utschaktning. Installation av fundamenten tar sedan ca 1 dag per position.

Vid anläggande av monopilefundament krävs normalt sett lite eller inget förberedande arbete. Eventuella större stenar tas bort och platsen runt fundamentet jämnas ut. Fundament installeras med hjälp av en hydraulisk hammare som är monterad på ett installationsfartyg eller en pråm med tillhörande stödben. Vid gynnsamma förutsättningar installeras ett fundament per dag.

Jacketfundament transporteras normalt sett till projektet i sin helhet med hjälp av en pråm och lyfts ned på de förinstallerade stålplåarna med ett kranfartyg. Fackverkskonstruktionen fästs vid plåarna med högkvalitativ cement, grout (se beskrivning av grout under sektion 3.1.2). Installation av fundamenten tar normalt ca 3-7 dagar i anspråk på plats. Detta är uppdelat på två tillfällen där förinstallation av stålplåar sker vid det första tillfället och installation av fackverkskonstruktionen sker vid det andra tillfället.

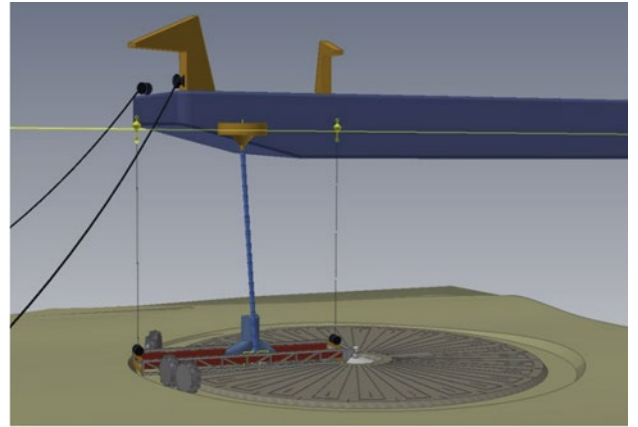
Beräknad tidsåtgång för installation av fundament återfinns i Tabell 8. Eftersom alla dagar inte kan förväntas få gynnsamma förhållanden kommer faktisk kalendermässig installationstid att bli längre. Installationsarbeten kommer inte ske överallt varje dag utan vanligast är att arbete sker vid ett eller några fundamentalspositioner parallellt.

Den totala genomförandetiden för fundamentalsättning av främst gravitationsfundament och jacketfundament är betydligt kortare än arbetstiden ("bedömd tid för parken" i tabellen nedan). Detta då arbete förväntas bedrivas vid flera platser parallellt.

För monopilefundament förväntas ingen parallell pålning. Pålningens verksamhet förväntas bedrivas ca 3 timmar per position där resterande tid används för att nedmontera utrustning, omlokalisera och etablera på ny position.

Tabell 9. Tidsåtgång för installation av fundament samt antal transporter

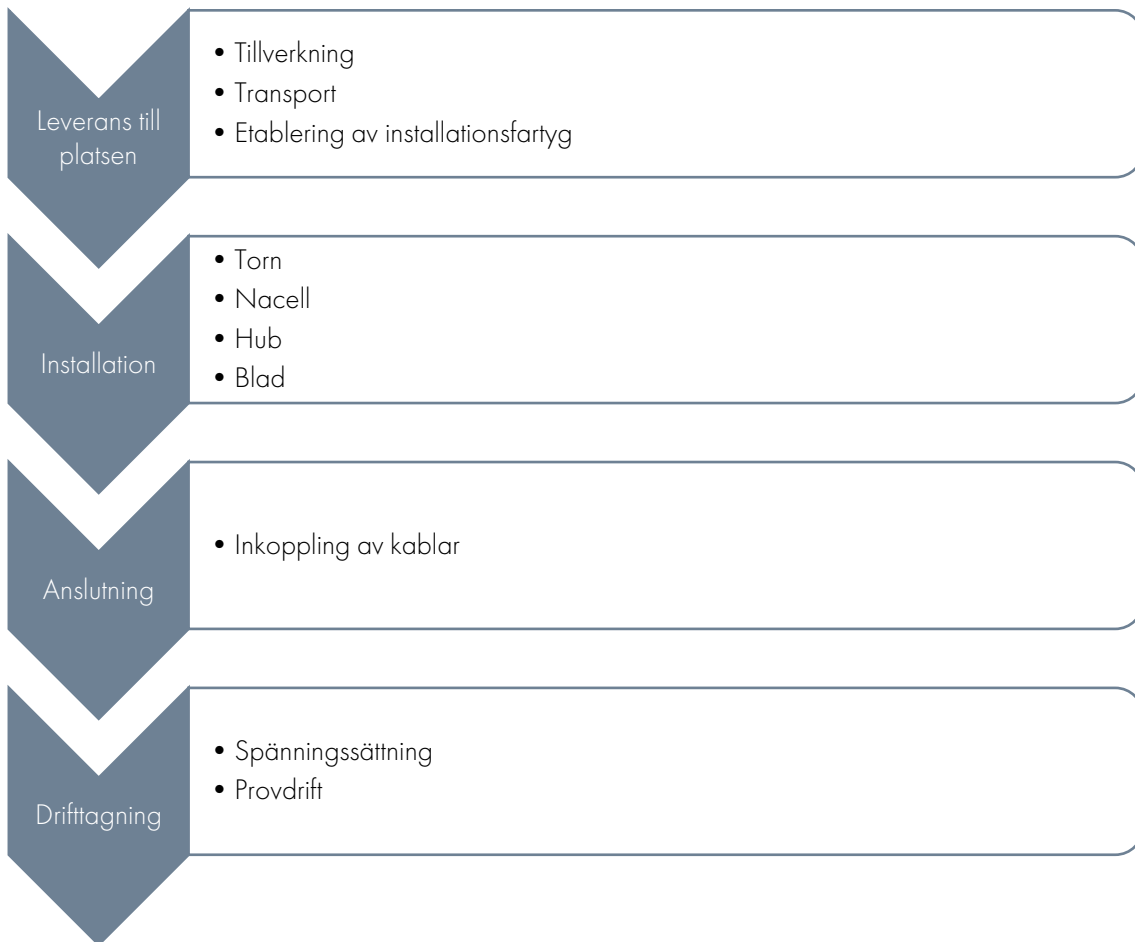
FUNDAMENTS TYP	BEDÖMD TID PER FUNDAMENT	BEDÖMD TID FÖR PARKEN	ANTAL FUNDAMENT PER TRANSPORT	TOTALT ANTAL TRANSPORTER
Gravitations- fundament	Ca. 3+3+1 dag	224 dagar	4-10	3-8
Monopile	Ca. 1 dag	32 dagar	4-10	3-8
Jacket	Ca. 7 dagar	224 dagar	4-6	5-8



Figur 17. Installation av gravitationsfundament. Övre bild vänster: Utplaning; Övre bild höger: Förberedelse av yta; Nedre bild vänster: Installationspräm; Nedre bild höger: Gravitationsfundament under installation. Källa Per Aarsleff A/S

4.2.2 Vindkraftverk

Installationssekvensen för vindkraftverk beskrivs nedan:



Figur 18. Installationssekvens för vindkraftverk

Installation av vindkraftverken kommer att ske med hjälp av en pråm med tillhörande stödben. Stödbenen till dessa båtar kommer att placeras på havsbotten för att skapa en stabil plattform för installation av vindkraftverken. Stödbenen penetrerar normalt sett botten ca 2–15 meter beroende av pråmens storlek och rådande bottenförhållanden. Dessa avtryck lämnas för naturlig återfyllning.

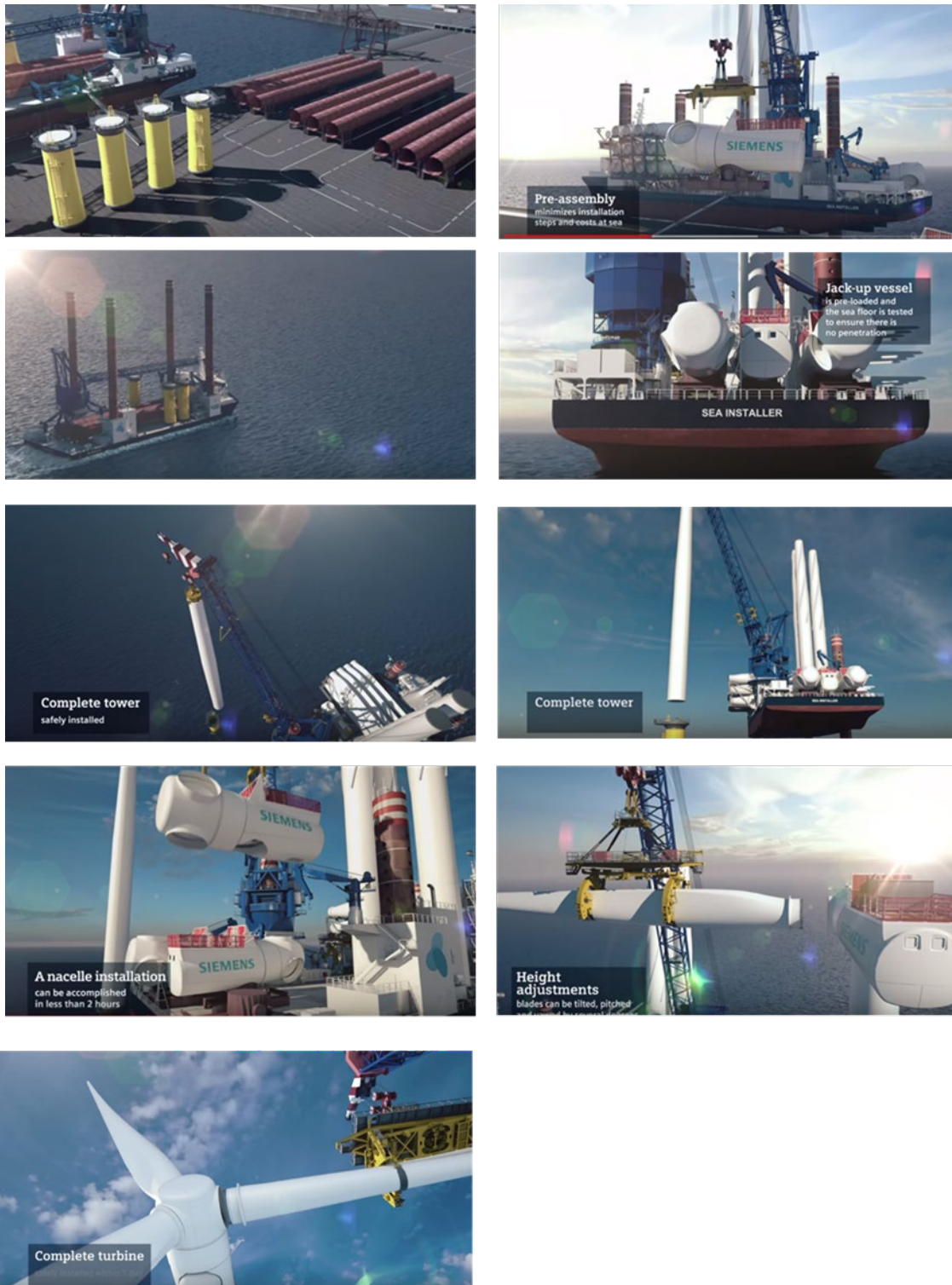
De båtar som används för transport av komponenter till vindparkområdet har vanligtvis kapacitet för 3–5 kompletta vindkraftverk. Detta innebär att det bedöms krävas ca 6–11 transporter för leverans av vindkraftverken till projektet.

Vindkraftskomponenterna kommer antingen att transporteras direkt till projektområdet från tillverkaren alternativt lagerhållas vid en närliggande hamn för vidare transport till projektområdet. Det kan även vara så att vissa komponenter lagerhålls medan andra komponenter transporteras direkt beroende av komponenternas dimensioner i kombination med kapaciteten i vald hamn.

Installationssekvensen är beroende av graden för förmontering men följer i stort den ordning som anges i Figur 18 och Figur 19. Tornet kan installeras med separata lyft för varje torndel eller som en enhet. Nacell och drivlina kan installeras separat eller färdigmonterat. Blad och hub kan installeras med separata lyft eller som en förmonterad enhet och då genom ett lyft.

Efter installation och nätanslutning av verken sker driftstagnning och provdrift av vindkraftparken. Efter detta är verken tillgängliga för produktion av elektricitet.

Vid goda förhållanden tar det ca 1 - 5 dagar att installera ett verk.



Figur 19. Installation av vindkraftverk. Källa SiemensGamesa



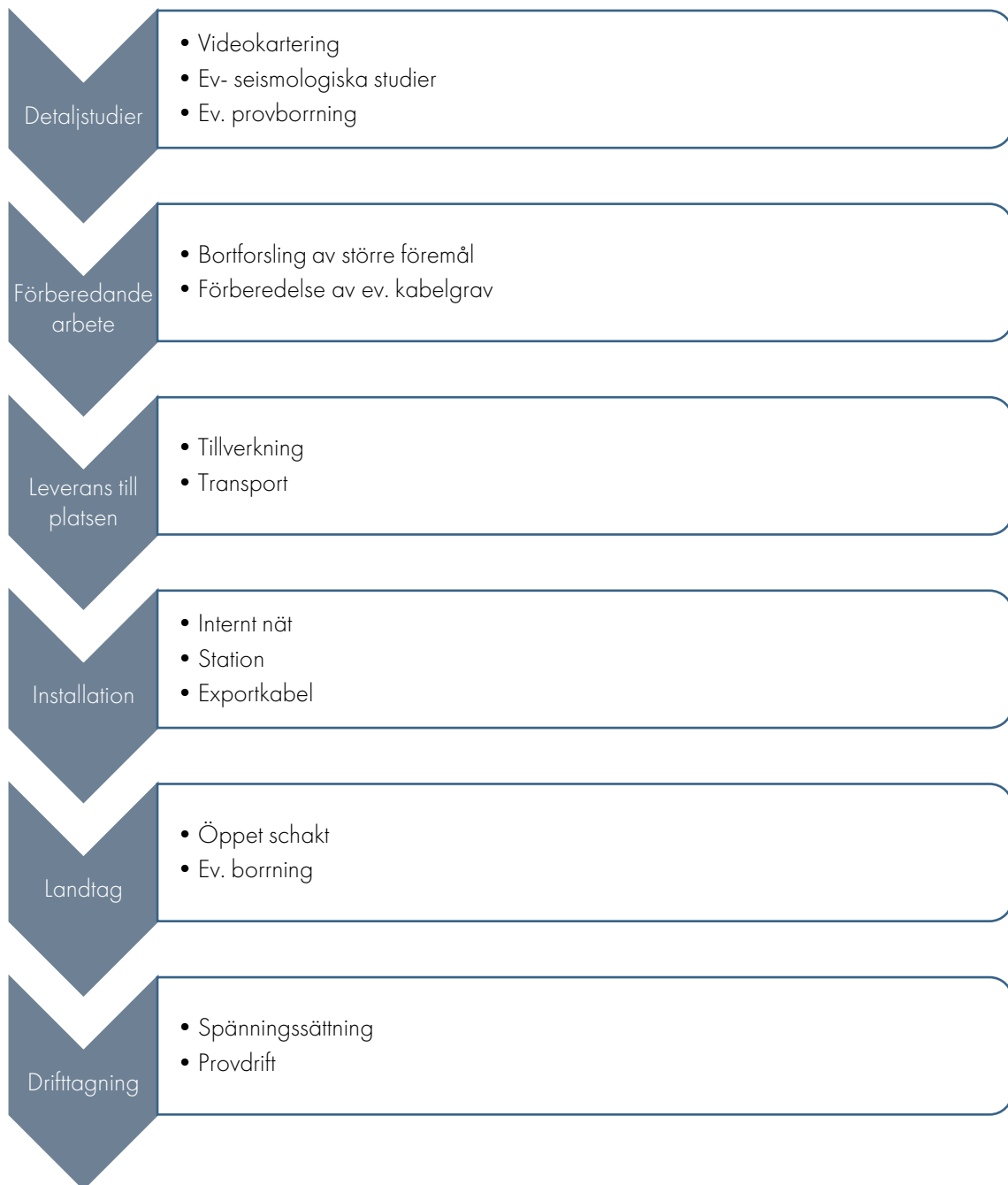
Figur 20. Pråmar med tillhörande stödben (s. kl. jack-up barges). Källa: SiemensGamesa



Figur 21. Lagerhållning av komponenter i hamn. Källa: SiemensGamesa

4.2.3 Elanslutning

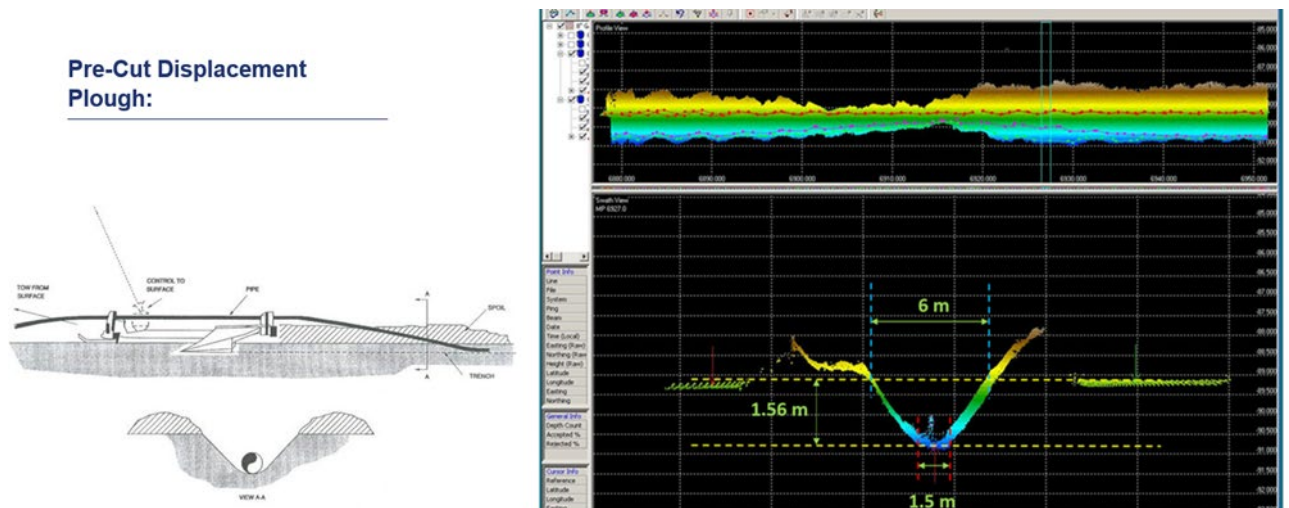
Installationssekvensen för elanslutningen beskrivs nedan:



Figur 22. Installationssekvens för elanslutning

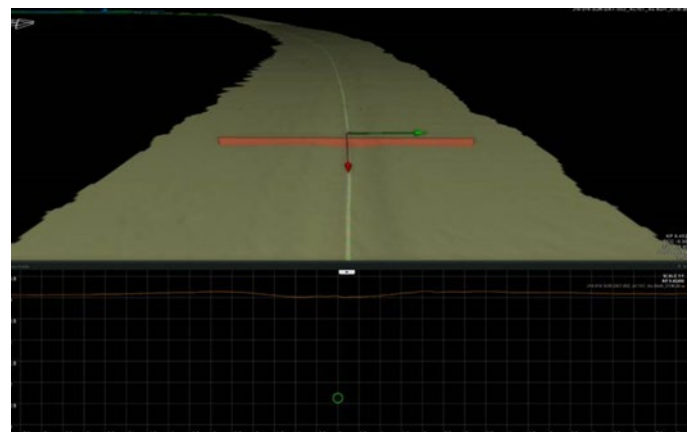
Kablarna är normalt nedgrävda i botten men kan, om så är lämpligt, även ligga på botten och då helst utrustas med kabelskydd eller täckas av tyngder såsom stenar. Vid nedgrävning av kablar finns ett flertal olika tekniker att använda beroende av botten typ. De tre huvudsakliga tekniker som används idag är plogning, mekanisk dikning och spolning.

Plogning används i första hand om botten består av hårdare substrat. Plogen skapar ett V-format dike med vallar på vardera sida, vilka sedan används för återfyllning.



Figur 23. Plogning till förarbete för förläggning av kabel. De mått som anges i bilden är exempel vilka kan komma att överskridas beroende av platspecifika faktorer. Källa: NKT

Mekanisk dikning används ofta om botten består av exempelvis lera. Typiska mått vid mekanisk dikning är en bredd på ca 500–800 mm. Spolning är lämpligt att använda vid sandbotten och ger väldigt små avtryck på botten.



Figur 24. Mekanisk dikning (vå) och spolning (hö). Källa: NKT

Kablar rullas upp på därför avsedda installationsfartyg, transporteras till projektområdet och förläggas med en förläggingshastighet motsvarande ca 300–700 m/h. Vid anslutning in mot vindkraftverken används vanligen en så kallad J-tube vilken för in kablarna i botten på fundamenten och vidare upp på insidan av dessa. Sista biten in mot land matas kabeln ut och placeras på flytkuddar för att sedan dras in till land med landbaserat dragfordon eller vinsch.

Vid landtaget förläggas kabeln normalt sett i öppet schakt vilket sedan täcks över alternativt, om landtaget kräver detta, genom styrd borrhög.



Figur 25. Uppe till vänster: Tillverkning av kablar (här sätts garn på ytersidan av kablarna). Uppe till höger: Installationsfartyg för kablar. Nere till vänster: Kabel in mot land. Nere till höger: Landtag. Källa NKT

En havsbaserad anslutningsstation fundamentssätts med samma teknik som används för vindkraftverken. Vanligast är att monopile eller fackverkskonstruktioner används. Efter att fundamenten är installerade lyfts stationen på plats och monteras fast. Stationen är normalt sett i huvudsak färdigmonterad på land innan levereras sker till platsen.

Tabell 10. Tidsåtgång för installation av elanslutning samt antal transporter

	BEDÖMD INSTALLATIONSHAST.	BEDÖMD TID FÖR PARKEN	MÄNGD PER TRANSPORT	TOTALT ANTAL TRANSPORTER
Internt nät	Ca. 300–700 m/h	30–45 dagar	Ca. 100 km	1
Stationer	Ca. 30 dagar/Station	60 dagar	1-2	2
Exportkabel	Ca. 300–700 m/h	20–40 dagar	Ca. 50 km	1

4.2.4 Idrifttagning

Idrifttagning kan ske efter att parken som helhet installerats färdigt eller, om så är lämpligt, sektionvis efter avslutade arbeten i respektive sektion. I syfte att säkerställa att parken uppfyller ställda krav avseende design, hälsa och säkerhet, funktion mm. genomförs en rad tester innan idrifttagning. Dessa tester kan exempelvis omfatta inspektion av vindkraftverk, inspektion av fundament, inspektion av elsystem och genomgång av projektdokumentation inklusive nödvändiga certifikat.

Efter detta spänningssätts och idrifttas vindkraftparken. När detta är genomfört sker en provdrift av vindkraftparken.

4.3 Drift

4.3.1 SCADA

Vindkraftparkens drift och produktion övervakas kontinuerligt, ofta genom en lokal drift, underhåll och övervakningscentral. Utöver en lokal övervakningscentral kan gemensam styrning av flera parker ske från en regional station.

Normalt sett används ett SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) system för övervakning och styrning av vindkraftparker. SCADA systemet byggs upp av en rad ingående delsystem som exempelvis:

- System för styrning och övervakning av högspänningssidan av de havs- och landbaserade nätstationerna.
- System för styrning och övervakning av lågspänningssidan av de havs- och andbaserade nätstationerna samt det interna nätet.
- System för styrning och övervakning av vindkraftverken. Detta system levereras normalt sett av leverantören av vindkraftverk och säkerställer bland annat att nätkraven uppfylls.
- Operatörs SCADA system för att skapa gemensamt gränssnitt för fjärrstyrning av stationer och vindkraftsverk. Detta system levererar data till de lokala och regionala övervakningsstationerna

De olika delsystemen är normalt sett sammankopplade med det övergripande SCADA systemet för att kunna utbyta information samt optimera drift och säkerhetsaspekter.

SCADA systemen styrs centralt av ett operatörslag placerade i övervakningscentralen.

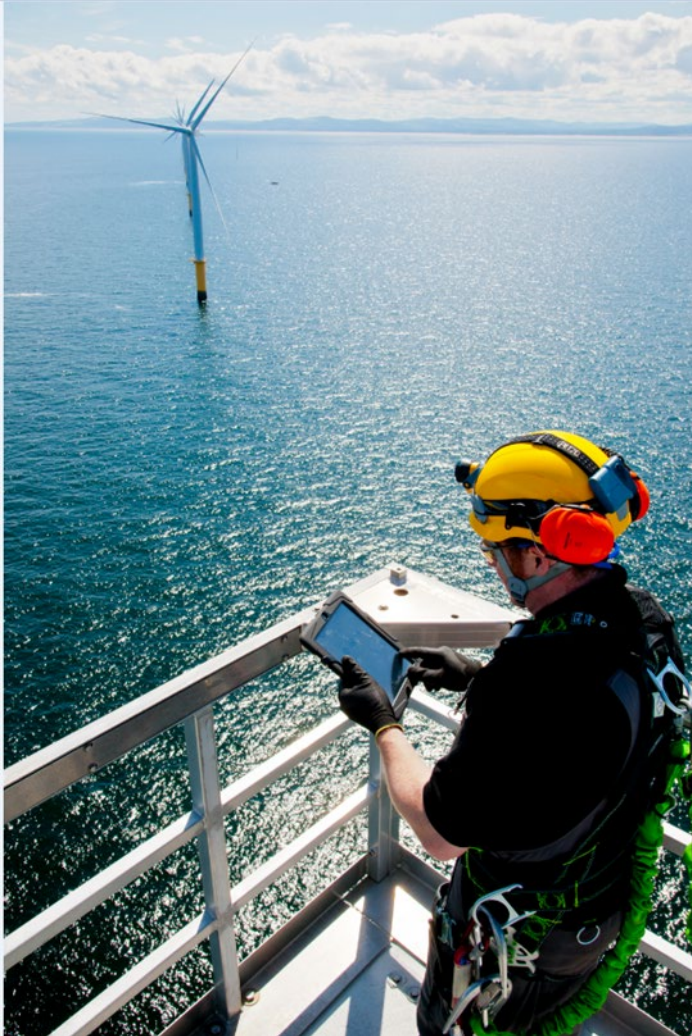
4.3.2 Service och underhåll

Det kommer att ske löpande service och underhåll av vindkraftparken under hela produktionsperioden. Planerad service sker normalt sett en gång per månad det vill säga ca 12 tillfällen per år.

Planerad service av vindkraftverken med tillhörande fundament genomförs av respektive leverantör eller annan utpekad part med bevisad kompetens. Underhållsprogrammet följer de rekommendationer som kommer från leverantörerna och som överenskommit med dessa. Planerad service av vindkraftverken kan exempelvis innefatta övergripande visuell inspektion, byte av oljefilter, analys av smörjfetter, kontroll och påfyllnad av olja, rengöring av komponenter, kontroll av bultar och utbyte av komponenter som nått sin tekniska livslängd. Planerad service av fundamenten kan exempelvis innefatta visuell inspektion, rengöring, målning och översyn av erosionskydd.

Planerad service av systemen för elanslutning kan exempelvis innefatta inspektion av transformatorstationer, inspektion av kablar där detta är möjligt (främst vid anslutning till vindkraftverk och station samt vid landtag), byte av oljefilter och olja samt utbyte av komponenter som nått sin tekniska livslängd.

Utöver detta sker tillsyn samt felavhjälpning i mån av behov.



Figur 26. Utförande av service av havsbaserad vindkraft. Källa: SiemensGamesa

4.4 Nedmontering

Efter parkens livstid kommer nedmontering att ske. Anläggningsägaren föreslås redovisa en plan för nedmontering senast 12 månader innan parken tas ur drift enligt föreslaget villkor nr 14. Då en nedmontering ligger långt fram i tiden föreligger det osäkerheter kring vilka metoder som kommer att vara bäst och mest effektiva att använda. Nedmonteringen kommer att följa det som är industristandard för tiden samt gällande lagar och regler.

Nedan följer ett exempel på hur nedmontering kan komma att ske. Huvudsyftet med den metod som används vid nedmonteringen är att minimera påverkan på miljön, återställa området till en säker plats för annan verksamhet samt minimera risker för hälsa och säkerhet under nedmonteringsförfarandet.

Energimyndigheten har tagit fram en vägledning för nedmontering av vindkraftverk (Energimyndigheten, 2016).

4.4.1 Fundament

Fundament med tillhörande utrustning kan lämnas kvar förutsatt att detta beslutas i samråd med tillsynsmyndigheten när nedmonteringsplanen ska fastställas. Alternativt kan fundamenten monteras ner till lämplig nivå under vattennivån. I sista hand kan fundamenten tas bort ned till havsbottnens normala nivå. Att montera bort fundamenten helt förväntas inte medföra några positiva effekter för miljön i havet då fundamenten vid tiden för nedmonteringen har anpassats till den marina miljön genom att nytt hårdbottenssubstrat då har tillförts, varför fundamenten förväntas kunna lämnas kvar åtminstone delvis.

Erosionsskydd lämnas normalt sett på platserna. Det är inte genomförbart att föra bort allt erosionsskydd då det under projekttiden ofta delvis sjunker ned i havsbotten. Det är också vanligt att erosionsskydden fyller en funktion som naturliga rev och utgör nytt hårdbottenssubstrat där växtlighet och fiskar anpassat sig.

4.4.2 Vindkraftverk

Vindkraftverken bortforslas i sin helhet. Vindkraftverken monteras ned och förs bort med hjälp av samma metoder som vid installation, Figur 19. Återvinningsgraden i vindkraftverk är idag ca 90 % där resterande del främst avser blad. Flera leverantörer av vindkraftverk har initierat initiativ och målsättningar om att ytterligare öka andelen återvinningsbara komponenter och material i tillverkningsprocessen (Reuters, 2021). Utfästelser avseende detta har gjorts av flera ledande tillverkare, däribland Vestas som utvecklar teknik för tillverknig av nya blad baserat på material från nedmonterade verk (Vestas, 2023).

4.4.3 Transformatorstation och internt nät

Transformatorstationen bortkopplas från det interna nätet. Därefter töms stationen på samtliga vätskor inklusive olja, smörjmedel och fetter. Stationen lyfts sedan bort från fundamentet (om den är havsbaserad) med hjälp av samma tekniker som vid installation. Transformatorstationens fundament monteras sedan ned med lämplig metod för den fundamentslösning som används alternativt lämnas kvar enligt diskussion i avsnitt 4.4.1.

Kabelnäten kan tas upp, bortforslas och återvinnas. Kabelnäten kan även lämnas kvar på havsbotten om detta framstår som mer lämpligt för miljöförhållandena. Val av återställningsmetod gällande kabel ska beslutas i samband med att nedmonteringsplanen i kontrollprogrammet fastställs i samråd med tillsynsmyndigheten.

5 Referenser

Energimyndigheten. (2016). Vägledning om nedmontering av vindkraftverk på land och till havs. Energimyndigheten.

Reuters. (den 17 05 2021). [www.reuters.com](https://www.reuters.com/business/sustainable-business/end-wind-power-waste-vestas-unveils-blade-recycling-technology-2021-05-17/). Hämtat från <https://www.reuters.com/business/sustainable-business/end-wind-power-waste-vestas-unveils-blade-recycling-technology-2021-05-17/>

Transportstyrelsen. (2017). Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om utmärkning till sjöss med. Transportstyrelsen.

Transportstyrelsen. (2020). Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om markering av föremål som kan utgöra. Transportstyrelsen.

Vestas. (2023) Vestas unveils circularity solution to end landfill for turbine blades. Vestas Homepage.

WindEurope. (2021). Offshore wind in Europe, tey trends and statistics. Wind Europe.



Racing for a sustainable future

Svea Vind Offshore är en pionjär inom utveckling av projekt för klimat- och miljövänlig elproduktion. Företaget grundades 2015 och tar rollen som katalysator för omställning genom att driva samarbetsprojekt inom havsbaserad vindkraft och vätgas.

Läs mer på www.sveavindoffshore.se/