

VÄSTVIND VINDKRAFTPARK

# Teknisk beskrivning

Juni 2023

The Eolus logo features a stylized white wing icon to the left of the word "eolus" in a lowercase, sans-serif font. A small trademark symbol (TM) is located at the bottom right of the word.

eolus™

# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Bakgrund och syfte</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Vindkraftparken</b>	<b>5</b>
2.1	Lokalisering	5
2.2	Projektområde	5
2.3	Parkutformning	6
<b>3</b>	<b>Vindkraftverk</b>	<b>10</b>
3.1	Dimensioner	10
3.2	Komponenter	11
3.3	Material	15
3.4	Teknik	15
<b>4</b>	<b>Fundament</b>	<b>17</b>
4.1	Bottenfasta fundament	18
4.2	Flytande fundament	21
<b>5</b>	<b>Elnät</b>	<b>27</b>
5.1	Internt kabelnät	27
5.2	Transformator-/omriktarstation	29
5.3	Kabelkorsningar med existerande ledningar och kablar	30
5.4	Anslutningspunkt	31
<b>6</b>	<b>Vindmätning</b>	<b>32</b>
6.1	Mät-, övervakning och kommunikationstorn	32
<b>7</b>	<b>Anläggningsfas</b>	<b>33</b>
7.1	Förberedande undersökningar och arbeten	33

7.2	Installation av bottenfasta fundament .....	33
7.3	Installation av vindkraftverk.....	34
7.4	Anläggning av internt kabelnät för bottenfasta fundament .....	36
7.5	Installation av flytande vindkraftverk.....	37
7.6	Installation av transformator-/omriktarstation.....	38
7.7	Transporter .....	38
<b>8</b>	<b>Drift och underhåll .....</b>	<b>42</b>
<b>9</b>	<b>Avveckling.....</b>	<b>45</b>
9.1	Nedmontering av vindkraftverk med bottenfasta fundament ...	45
9.2	Nedmontering av bottenfasta fundament .....	45
9.3	Avveckling av kabelnät för bottenfasta fundament .....	46
9.4	Avveckling av vindkraftverk med flytande fundament och kabelnät.....	46
9.5	Avveckling av transformator-/omriktarstation .....	46
<b>10</b>	<b>Risk och säkerhet.....</b>	<b>48</b>
10.1	Isdetektering och avisningssystem .....	48
10.2	Brandskydd och säkerhet .....	48
10.3	Hinderbelysning och markering.....	49
10.4	Säkerhetszon.....	51
<b>11</b>	<b>Tidplan .....</b>	<b>53</b>

# 1 Bakgrund och syfte

Syftet med den tekniska beskrivningen är att beskriva de tekniska förutsättningarna för etableringen av Västvind vindkraftpark. Detta omfattar vindkraftverk och fundament, internt kabelnät, samt transformatorstationer och tillhörande infrastruktur. De tekniska komponenterna beskrivs med avseende på konstruktion, installation, drift och underhåll samt avveckling. Då teknikutvecklingen hela tiden går framåt betyder det att den bästa teknik som finns tillgänglig idag inte nödvändigtvis är den bästa som är tillgänglig vid den tidpunkt då parken byggs. Därför presenteras tekniken på ett mer generellt vis, för att vid den tidpunkt då upphandling sker kunna välja den bästa tekniken i syfte att optimera produktionen.

Exempellayouten, beräkningar, beskrivningar och illustrationer i denna tekniska beskrivning utgör därmed en redovisning av ett exempel på hur ansökt verksamhet kan utföras med maximalt antal vindkraftverk och maximal ansökt totalhöjd, d.v.s. enligt bedömt s.k. worst case för miljöeffekter. Vid uppförande av ansökt verksamhet kan vindkraftverk och övriga tekniska komponenter och infrastruktur med andra mått, märkeffekt och sammansättning användas, samtidigt som beskrivna ramar och villkor i tillståndet innehålls.

## 2 Vindkraftparken

### 2.1 Lokalisering

Projektområdet för den planerade vindkraftparken är beläget i norra Kattegatt ca 20 km nordväst om Göteborg och ca 15 km väster om skärgården i Kungälv och Öckerös kommuner. Närmaste land i västlig riktning är Skagen i Danmark (cirka 25 km), se Figur 1.

### 2.2 Projektområde

Projektområdet utgörs av öppet hav med ett vattendjup mellan 30 och 100 m. Området har mycket goda vindförhållanden för etablering av havsbaserad vindkraft och det öppna havet medför stabila vindar med relativt liten turbulens. Medelvindhastigheten är cirka 9,8 m/s vid 150 m höjd över havsytan.

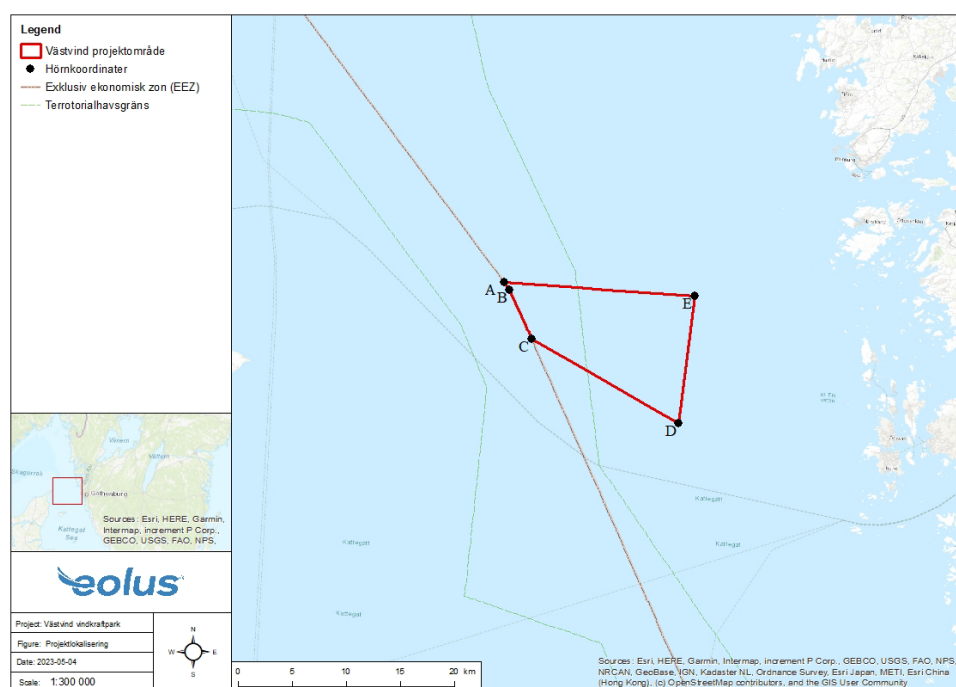
Projektområdet är cirka 130 km<sup>2</sup> stort (cirka 15–18 km brett i väst/östlig riktning och 6–12 km brett i nord/sydlig riktning) och är lokaliserat i territorialhavet inom Kungälv och Öckerös kommuner samt i svensk ekonomisk zon. Projektområdets avgränsning visas i Tabell 1 och Figur 1. I väst avgränsas området av gränsen till Danmarks ekonomiska zon.

Inom parkens projektområde planeras för maximalt 50 vindkraftverk med en totalhöjd om högst 320 meter över havet och en maximal installerad effekt på cirka 1000 MW.



Tabell 1. Koordinater för hömpunkter till projektområdet för Västvind vindkraftpark i koordinatsystem Sweref 99 TM samt WGS84.

Punkt	Sweref 99TM		WGS84	
	Öst	Nord	Öst	Nord
A	264747	6415791	11.038286	57.822088
B	265250	6415116	11.0474	57.8163
C	267272	6410571	11.085766	57.776628
D	280885	6402782	11.321276	57.713663
E	282361	6414528	11.335345	57.819671



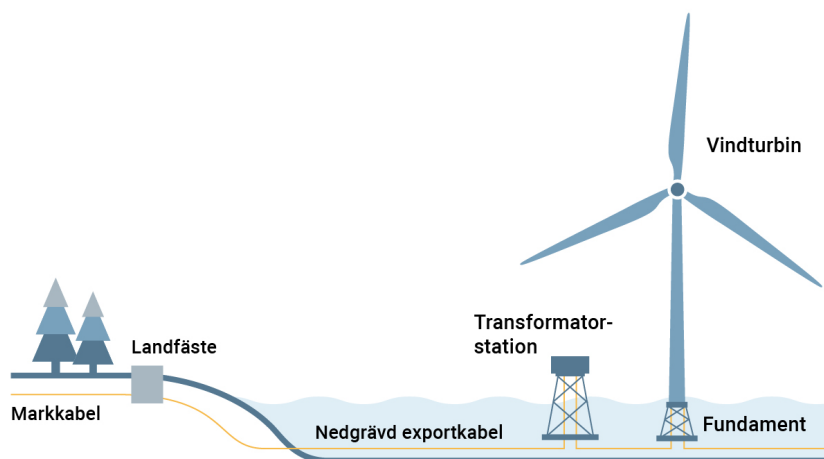
Figur 1. Lokalisering av projektområde för Västvind vindkraftpark.

## 2.3 Parkutformning

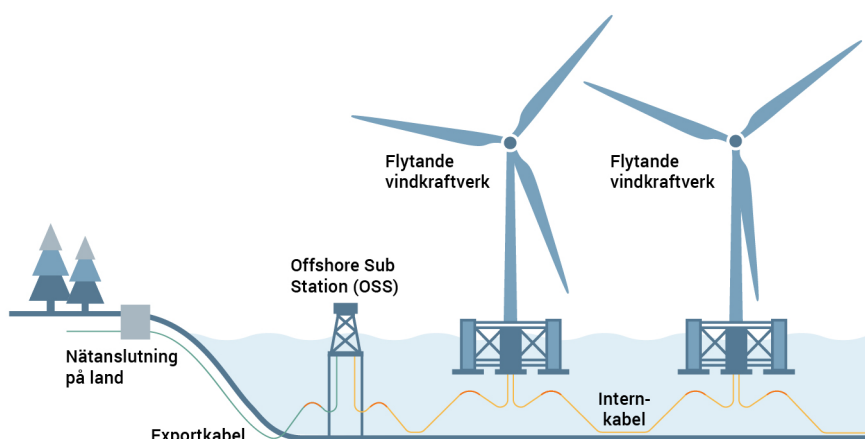
Vindkraftverk, fundament (bottenfasta eller flytande) och internt kabelnät samt en plattform för omriktar- eller transformatorstation(er) kommer att placeras inom projektområdet. Se Figur 2 och Figur 3 för schematisk bild över vindkraftparkens delar.

Vindkraftverken monteras på fundament som anläggs på havsbotten alternativt på flytande fundament. Dessa kommer att sammankopplas med varandra via sjökablar i ett internkabelnät. Det interna kabelnätet samlas upp i en eller två transformatorstationer placerade på en plattform i projektområdet. Från transformatorstationen förläggs exportkablar i havsbotten till anslutningspunkten på land. Verksamheten i ansökan omfattar endast vindkraftparken och internkabelnät

med omriktar-/transformatorstation(er) varför vidare beskrivning av exportkablar till och på land inte görs här.



Figur 2. Schematisk bild över en havsbaserad vindkraftpark med bottenfasta fundament och de olika delar som omfattas. Notera att exportkabel och landanslutning inte ingår i beskriven verksamhet.



Schematisk bild över de olika delarna i en havsbaserad vindkraftspark.

Figur 3 Schematisk bild över en havsbaserad vindkraftpark med flytande fundament med de olika delar som omfattas. Notera att exportkabel och landsanslutning inte ingår i beskrivningen av verksamhet.

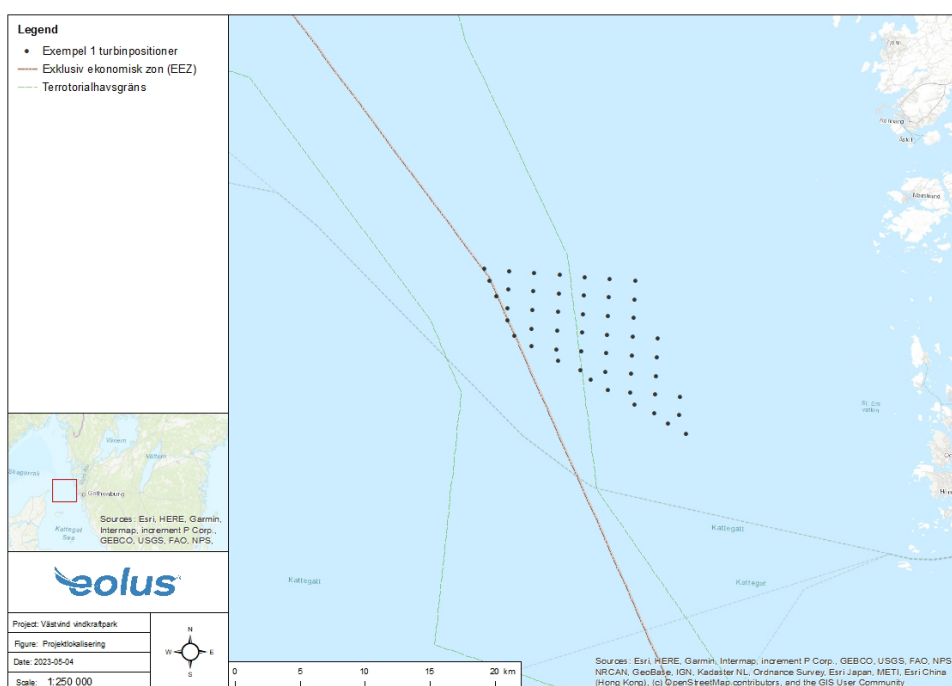
För beskrivning av parkutformningen har en exempellayout för två scenarier tagits fram, se Figur 4. Layouterna ska ses som exempel och den slutgiltiga detaljutformningen av parken kommer att optimeras i ett senare skede av projektutvecklingen, efter det att alla tillstånd har erhållits.

Kartan, se Figur 4, visar hur vindkraftparken skulle kunna utformas baserat på den maximala installerade effekten på 1000 MW vilket skulle uppnås om 50 vindkraftverk

med en individuell effekt på 20MW (260 m rotor) installerades i parken alternativt 40 vindkraftverk med en individuell effekt på 25 MW (300 m rotor). Den nuvarande branschstandarden för avstånd mellan vindkraftverk i en havsbaserad park är mellan cirka fyra och tio rotordiametrar, med större avstånd i förhärskande vindriktning och mindre avstånd i den icke-förhärskande vindriktningen.

I exempellayouten har antagits ett avstånd om cirka 1 000–2 000 m mellan verken, som minst 900 m mellan enstaka positioner.

Tabell 2 sammanfattar de övergripande tekniska specifikationerna.



Figur 4. Karta över exempellayout med vindkraftverkens placering inom projektområdet.

Tabell 2. Planerad omfattning av Västvinds Vindkraftpark.

Typ av komponent	Beskrivning	Omfattning
<b>Vindkraftpark</b>	Projektområdets area	130 km <sup>2</sup>
	Antal vindkraftverk (max)	50
	Djupintervall inom projektområdet	30 och 100 m
	Total installerad effekt	Upp till ca 1000 MW*
	Vindkraftverkens totalhöjd över havsytan (max)	320 m
	Rotordiameter	Ca 260–300 m
<b>Fundament</b>	Typ av fundament	Bottenfasta fundament (monopile- eller fackverksfundament) alternativt flytande



Typ av komponent	Beskrivning	Omfattning
Bottenfasta fundament	Beräknad bottenyta som tas i anspråk per fundament (exklusive ytor som upptas av erosionsskydd)	Mellan 60 m <sup>2</sup> och 1300 m <sup>2</sup> beroende på typ
Flytande fundament	Bottenyta som tas i anspråk per ankare	Mellan 15 m <sup>2</sup> och 80 m <sup>2</sup> beroende på val av ankare
<b>Transformator</b>	Antal transformator-/omriktarstationer	En plattform med 1–2 stationer
<b>Internkabelnät</b>	Total längd av internkabelnätet (bedömning för exempellayouten)	Ca 80–100 km

\*Angivna uppgifter om total installerad effekt (MW) har beräknats utifrån exempelverk och den faktiska effekten kan med hänsyn till teknikutveckling bli större.

Med utgångspunkt i exempellayouten i Figur 4 och största bottenyta som tas i anspråk redovisad i Tabell 2 bedöms de bottenfasta fundamenten ta i anspråk totalt cirka 65 000 m<sup>2</sup> bottenyta (cirka 0,05% av projektområdet) och till det kommer en plattform eller ett fundament för transformatorstation. Till detta kommer också den yta som kabelnätet förväntas uppta. Vid val av flytande fundament bedöms motsvarande bottenanspråk bli mindre än för bottenfasta fundament. Bottenanspråket är beroende av vilken förankringstyp som väljs.

## 3 Vindkraftverk

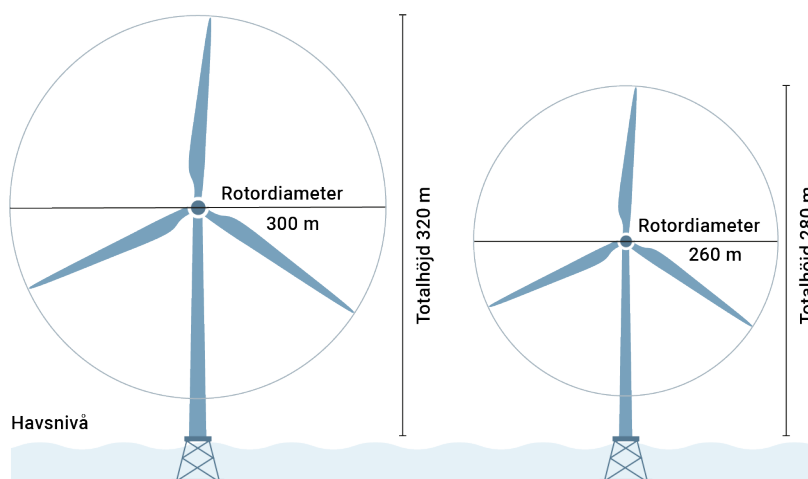
### 3.1 Dimensioner

Vindkraftverken som planeras att anläggas i Västvind vindkraftpark antas få en rotordiameter på maximalt 300 meter och en totalhöjd på maximalt 320 meter över havsytans medelnivå. Installerad effekt för varje enskilt vindkraftverk är beroende av teknikutvecklingen och den teknik som finns tillgänglig vid uppförandet av vindkraftparken. I dagsläget antas den uppgå till mellan 15 MW och 20+ MW.

Några tänkbara varianter av vindkraftverk redovisas i Tabell 3. En schematisk bild av ett havsbaserat vindkraftverk med exempel på dimensioner redovisas i Figur 5. Notera att även andra kombinationer av storlekar för komponenterna kan bli aktuella inom totalhöjden 320 m.

Tabell 3. Exempel på dimensioner för vindkraftverk i Västvind vindkraftpark.

Märkeffekt	15 MW	20 MW	20+ MW
Rotordiameter	230 m	260 m	300 m
Navhöjd	145 m	150 m	170 m
Totalhöjd	260 m	280 m	320 m



Vindkraftverkens relativa storlek för två exempelturbiner

Figur 5. Schematisk bild av vindkraftverk med relativa dimensioner för två exempelverk.

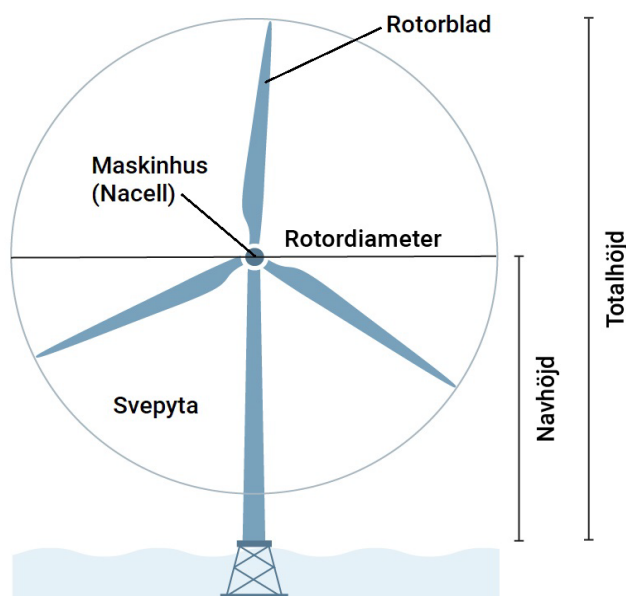
I följande avsnitt beskrivs ett vindkraftverks olika delar. Den förväntade livslängden för ett vindkraftverk till havs är beroende av de ingående komponenternas samlade livslängd, vilken idag bedöms till ca 30–35 år. Teknikutvecklingen går ständigt framåt, därför kan det inte uteslutas att även denna tid kan komma att utökas framöver. Detta

kommer att specificeras i samband med upphandling av vindkraftverken men en drifttid på ca 45 år kan bli aktuellt.

## 3.2 Komponenter

### 3.2.1 Torn

Tornet i ett vindkraftverk är den struktur som ger stöd åt verket och består vanligtvis av ett koniskt rörtorn, se Figur 6. Tornet är uppbyggt av flera sektioner av olika storlek och höjd som dimensioneras beroende på storleken på vindkraftverket och dess rotorblad. Kablarna förs genom tornet från maskinhuset till fundamentet ner mot havsbotten för placering i de ytliga bottensedimenten.



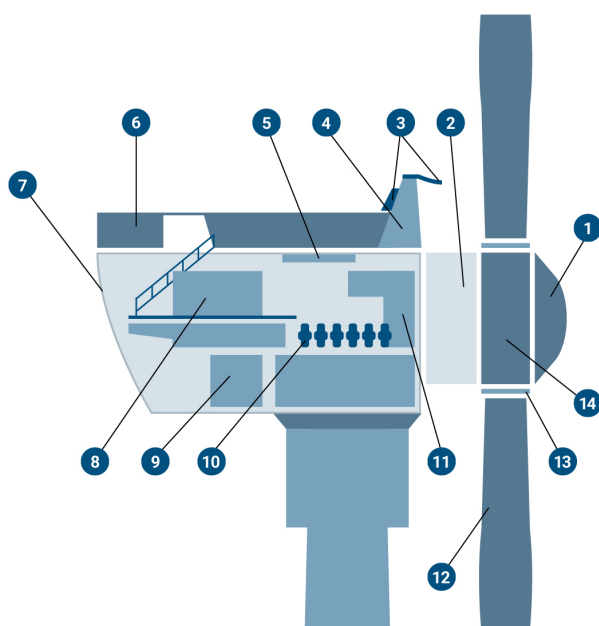
Figur 6. Vindkraftverkets delar och benämningar på olika typer av dimensioner.

### 3.2.2 Maskinhus och rotorblad

Maskinhuset, även kallat nacelle, är placerat högst upp på tornet och innehåller system för elektrisk och mekanisk utrustning, så som generator, transformator, styr- och kontrollutrustning. Maskinhuset skyddar systemen från miljöpåverkan, som saltstänk och väderförhållanden. I ena änden av maskinhuset sitter navet, som är fästpunkten för rotorbladen.

Nedan beskrivs de huvudsakliga komponenterna i maskinhuset, som illustrerats i Figur 7. Figuren visar även de andra delkomponenterna som finns i ett typiskt maskinhus för en direktdriven generator utan växellåda. Vindkraftverk finns även med växellåda, vilken i sådana fall vanligtvis är placerad i maskinhuset.

- Generatoren i ett vindkraftverk är komponenten som omvandlar turbinens rotationsenergi till el.
- Transformatorn justerar spänningen på den elektriska ström som produceras av vindkraftverkets generator för att anpassa spänningen till rätt nivå för elnätet.
- Rotorbladen på ett vindkraftverk är utformade för att fånga upp vindenergi och omvandla den till rotationsenergi, som sedan kan omvandlas till elektrisk energi av generatoren i maskinhuset. I vindkraftverket finns ett girsystem som vrider maskinhuset så att bladen är vända mot vinden.
- Bladen är fästa vid rotorhuvudet och det kan variera i storlek beroende på vindkraftverkets effektivitet och design. Bladens form och vinklar är utformade med en aerodynamisk profil för att maximera kraften som genereras av vinden. Profilen är utformad för att skapa lyftkraft som genererar rörelseenergi när vinden blåser över bladens yta. Bladen är vanligtvis tillverkade av glasfiberkompositer för att ge styrka och hållbarhet samtidigt som de hålls lätta nog för att kunna snurra med vinden.



- |                                 |                     |
|---------------------------------|---------------------|
| 1 Rotor                         | 8 Omvandlare (2 st) |
| 2 Generator                     | 9 Transformator     |
| 3 Instrument och hinderljus     | 10 Girsystem        |
| 4 Aktiva och passiva kylsystem  | 11 Huvudarm         |
| 5 Servicekran för maskinhus     | 12 Blad             |
| 6 Landningsplats för helikopter | 13 Lager för blad   |
| 7 Skyddshölje för maskinhus     | 14 Nav              |

Figur 7. Schematisk illustration av ett maskinhus i oväxlat vindkraftverk.

### 3.2.3 Serviceplattform

Serviceplattformen monteras antingen direkt på fundamentet eller vid övergångsstycket mellan fundament och torn och är nödvändig för att servicetekniker ska kunna genomföra inspektioner, reparationer, felsökning och teknisk support av vindkraftverket. Plattformen utrustas också med olika verktyg och utrustning för underhåll, se Figur 11 nedan.

### 3.2.4 Styr- och övervakningssystem

Styr- och övervakningssystemet på ett vindkraftverk består av en mängd olika sensorer, mätare och kontrollutrustning. Sensorerna registrerar olika parametrar, till exempel vindhastighet, rotorbladsposition, temperaturer och tryck. Mätarna används för att övervaka de olika tekniska systemen i vindkraftverket, exempelvis hydraulik, kylsystem och transmission. Kontrollerna i styr- och övervakningssystemet används för att styra vindkraftverket. Som exempel kan systemet justera rotorbladens vinkel för att få maximalt utnyttjande av vindenergin eller stänga ner vindkraftverket vid för höga vindhastigheter.

Styr- och övervakningssystemet kan även övervaka och diagnostisera eventuella problem på vindkraftverket så att dessa kan åtgärdas innan de leder till skador.

### 3.2.5 Oljor och vätskor

I ett vindkraftverk finns det olika oljor och vätskor. Det finns därför uppsamlingsystem för att samla upp vätskor vid ett eventuellt läckage. I Tabell 4 redovisas exempel på typiska oljor och vätskor som behövs för driften av ett vindkraftverk, tillsammans med en ungefärlig uppskattning av volymen. Angivna siffror utgår från ett vindkraftverk av nutida modell, där viss skalning av siffrorna har skett för att estimeras motsvarande för framtida vindkraftverk.

Tabell 4 Exempel på oljor och vätskor i ett vindkraftverk i drift.

Oljor och vätskor	Mängd (uppskattad volym)
<u>Kylmedel</u> används för att effektivt reglera temperaturen på styrmotorer och andra elektriska komponenter och hålla dem inom säkra driftstemperaturer. I vindkraftverk är en vanlig typ av kylmedel en blandning av vatten och glykol.	2 m <sup>3</sup>
<u>Transformatorolja</u> används i transmissionen i vindkraftverket, vilken överför kraften från vindturbinen till generatoren. Transmissionsolja är en högviskös olja med speciella egenskaper som gör den lämplig för användning i högtryckssystem.	7 m <sup>3</sup>
<u>Smörjolja</u> används för att smörja olika rörliga delar av vindkraftverket, såsom exempelvis växellådor och lager. Smörjolan hjälper till att förhindra slitage och friktion, samt att hålla delarna i gott skick.	1,2 m <sup>3</sup>
<u>Hydraulolja</u> (inklusive gir/växellådsolja) används i vindkraftverkets hydraulsystem. Hydraulolja är ofta en syntetisk olja med en hög viskositet, vilket gör den lämplig för användning i högtryckssystem.	2 m <sup>3</sup>
<u>Dämpningsvätska</u> används för att minska vibrationer som uppstår på grund av vindbelastningar och andra yttre krafter. Vanligtvis består dämpningsvätska av en blandning av vatten och glykol.	14 m <sup>3</sup>

Mängden oljor och vätskor i ett vindkraftverk varierar beroende av storleken på vindkraftverket, dess specifika utformning samt tillverkare. De faktiska kvantiteterna av oljor, smörjmedel och övriga vätskor vet man därför först när vindkraftverksmodell har valts.

### 3.2.6 Meteorologisk utrustning

Meteorologisk utrustning kommer att finnas monterat i vindkraftverken. Dessa inkluderar:

- Anemometrar - Enheter som mäter vindhastighet och -riktning.
- Hygrometrar - Enheter som mäter luftfuktighet.
- Termometrar - Enheter som mäter temperatur.
- Barometrar - Enheter som mäter lufttryck.
- Radar - Enheter som mäter väderförhållanden på avstånd.

### 3.3 Material

I Tabell 5 listas fördelning av material och ungefärliga procentandelar för ett 15 MW vindkraftverk motsvarande dagens teknik, fördelningen bedöms vara samma även för framtida modeller.

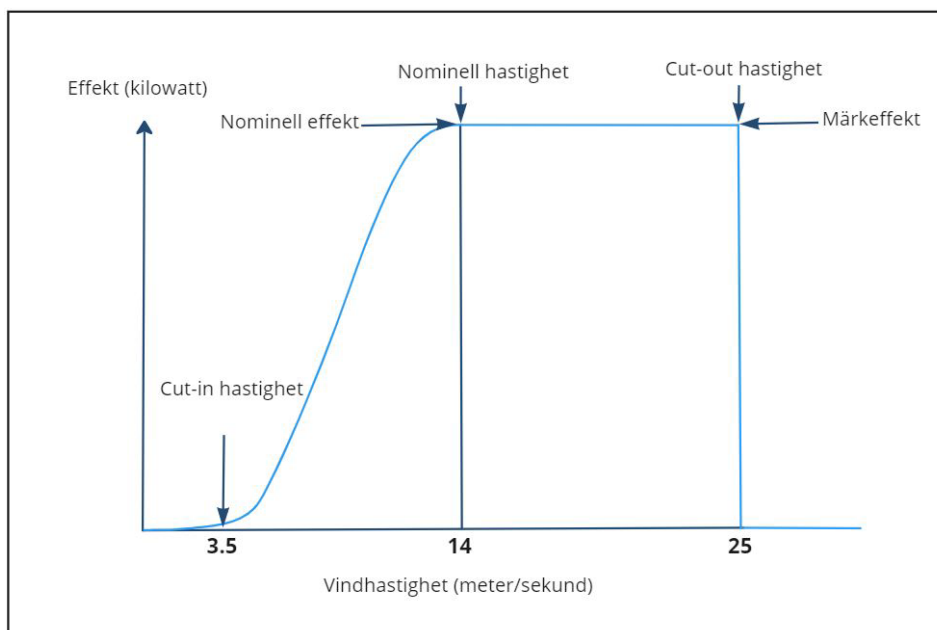
Tabell 5. Exempel på materialfördelning för ett 15 MW vindkraftverk (Vestas V236-15 MW).

Materialkategori	Andel
Stål och järn	83,7 %
Glasfiber/kolkompositer	11 %
Aluminium	1,3 %
Koppar	1,5 %
Annat (Polymer, smörjmedel och vätskor samt övriga)	2 %

### 3.4 Teknik

Ett vindkraftverk börjar generera el när vindhastigheten når en viss styrka, som vanligtvis ligger mellan 3 och 5 m/s (Cut-in vindhastighet) och stoppas av säkerhetsskäl när vindhastigheten överstiger cirka 28–35 m/s (Cut-out vindhastighet).

Effektkurvan för ett vindkraftverk illustreras i Figur 8 och visar exempel på produktion vid olika vindhastigheter. Produktionen ökar successivt tills maximal effekt (märkeffekt) uppnås.



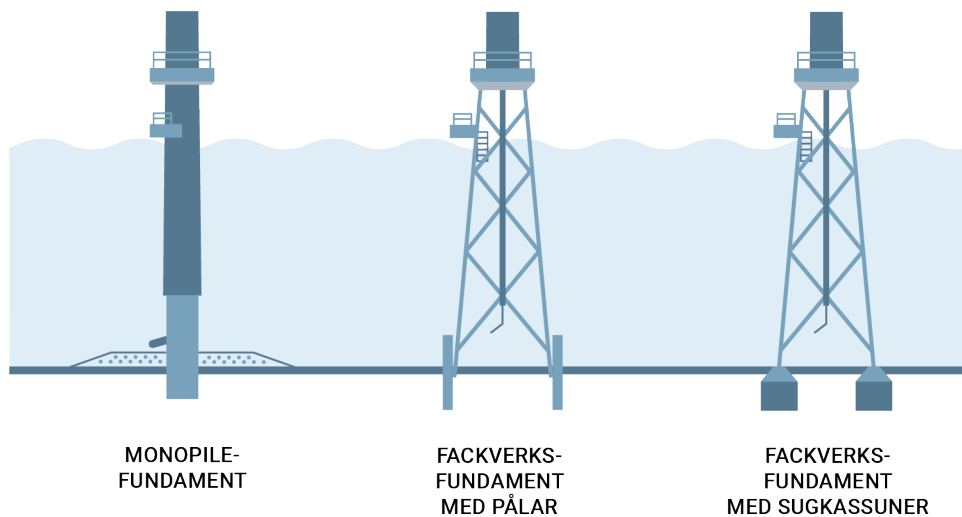
Figur 8. Typisk effektkurva för ett vindkraftverk med effekten som funktion av vindhastigheten. Dessa kurvor kan variera mellan olika typer av vindkraftverk.



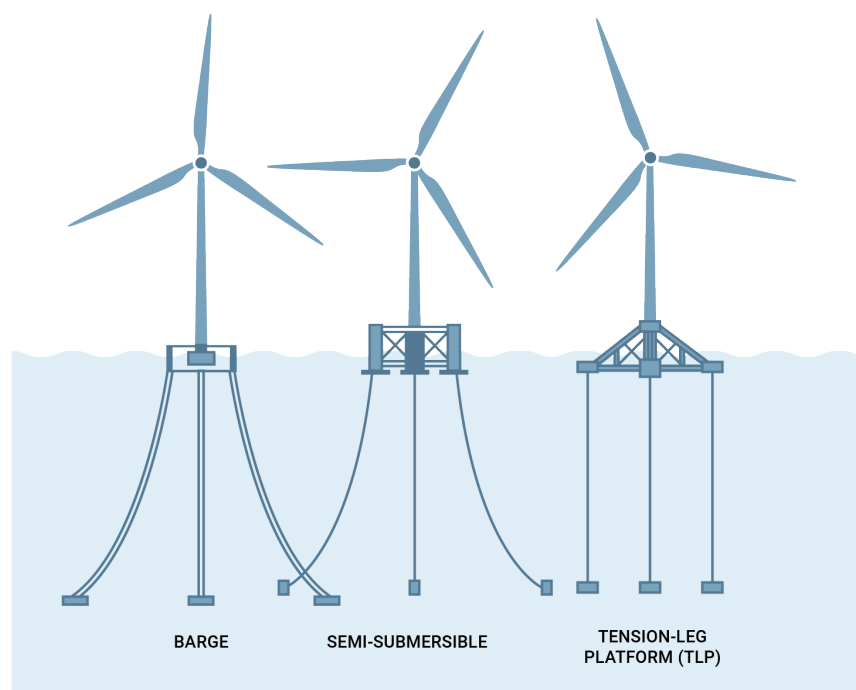
## 4 Fundament

Havsbaseade vindkraftverk kräver särskilda fundament för att stödja strukturen och hålla vindkraftverket stabilt under alla typer av väderförhållanden. Fundamenten är vanligtvis utrustade med påbyggnader inklusive en landgångsanordning för enkel tillgång till verket, ett övergångsstycke, samt en serviceplattform. Fundamenten designas för att klara av de krav som ges av vindkraftverkens respektive vikt, storlek och belastning. Figur 9 illustrerar olika bottenfasta fundamentstyper, i figuren syns även det så kallade J-rör varigenom kabeln för det interna kabelnätet leds från verket ner till havsbotten. Ett alternativ till de bottenfasta fundamentstyper är flytande fundament. Flytande fundament bär upp vindkraftverken med hjälp av flytkraft och är förankrade till havsbotten. De huvudtyper av flytande fundament som i dagsläget finns på marknaden visas i Figur 10. Olika typer av flytande fundament kan vara relevant att använda i olika delar av projektområde beroende på djup- och vågförhållanden.

Valet av fundament beror på platspecifika förhållanden såsom botten typ, vattendjup och vågförhållanden. Slutligt val av fundamentstyp sker efter genomförande av detaljerade geotekniska undersökningar inför anläggningsfasen.



Figur 9. Illustration av de olika typerna av bottenfasta fundament som kan komma att byggas i Västvind vindkraftpark.



Figur 10 Illustration av de olika typerna av flytande fundament som kan komma att byggas i Västvind vindkraftpark.

## 4.1 Bottenfasta fundament

### 4.1.1 Monopilefundament

Monopilefundament är stora, cylindriska strukturer som används för att stödja havsbaserade vindkraftverk. Majoriteten av havsbaserade vindkraftverk som nu är i drift har monopilefundament. Monopile som kan bli aktuell för Västvind vindkraftpark förväntas kunna ha en diameter på upp till cirka 15 m.

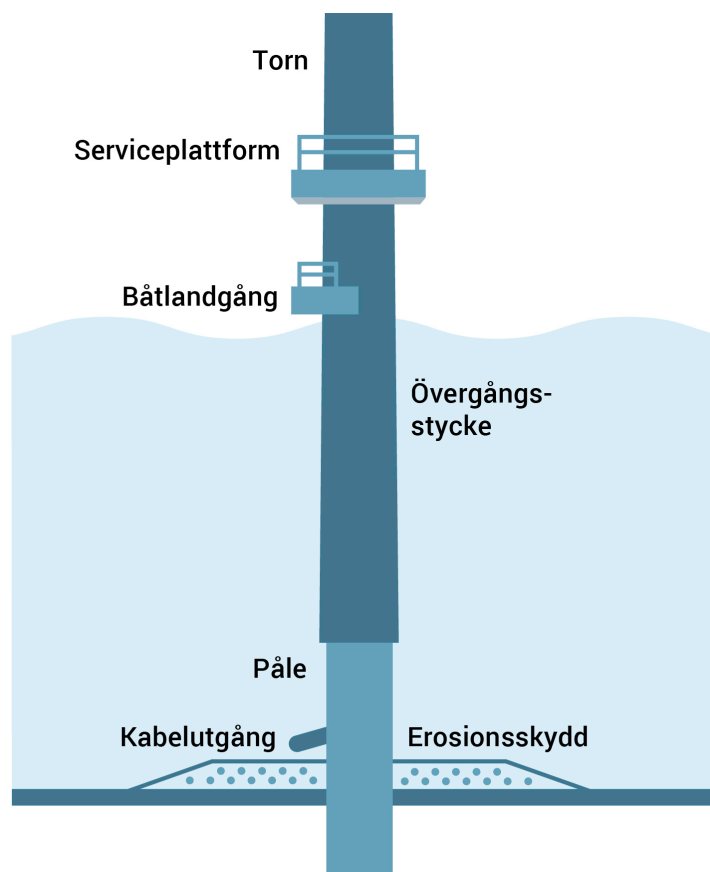
Ett monopilefundament består huvudsakligen av:

- Monopilen, är det strukturella elementet i fundamentet. Det är vanligtvis gjort av stål och format som en avlång cylinder. Monopilen försänks ner i havsbotten till ett ur byggnadstekniskt perspektiv lämpligt djup. För Västvind vindkraftpark förväntas det vara mellan cirka 35 och 70 m, men kan variera utifrån de lokala förutsättningarna.
- Ett övergångsstycke som är placerat ovanpå monopilen och fungerar som kopplingspunkten mellan fundamentet och vindkraftverkets torn. Det består vanligtvis av en cirkulär stålkonstruktion med en central öppning som gör att

vindkraftstornet kan anslutas till fundamentet. Denna komponent finns också i andra typer av fundament, med samma syfte.

- Ett anodsystem av elkablar och anoder som används för att skydda monopilen mot korrosion. Anoderna är anslutna till elkablarna och är nedgrävda i havsbotten runt monopilens bas. Elkablarna dras genom en kabelutgång ut från fundamentet varifrån de grävs ned i botten.
- En serviceplattform och båtlandgång används vid service och underhåll av vindkraftverken.

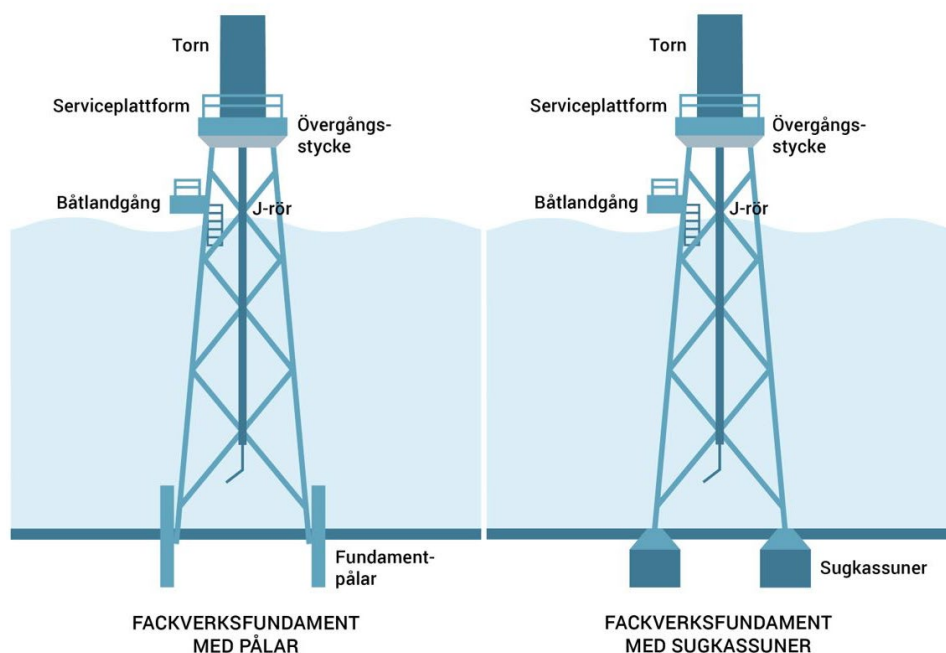
En illustration av hur ett monopilefundament kan se ut, tillsammans med indikativa dimensioner, redovisas i Figur 11.



Figur 11. Schematisk bild av monopile-fundament

### 4.1.2 Fackverksfundament

Fackverksfundament består av en stålram med tre eller fyra stödben. Stål är det vanligaste materialet som används på grund av dess styrka och hållbarhet, men andra material som kolfiber, aluminium och betong kan också användas. Fundamentets ben förankras cirka 35–70 m ner i botten, genom nerborrade eller nerhamrade pålar, som ger stöd till konstruktionen och hjälper till att fördela belastningen jämnt över konstruktionen. Förankringsdjupet kan variera utifrån lokala förutsättningar och benens diameter vid havsbotten förväntas vara cirka 2–4 m. Antalet pålar och exakt utformning bestäms under detaljprojektering. En alternativ metod till pålar är att använda en teknik med sugkassuner som sugs fast i havsbotten genom att vakuum skapas inuti en ihålig stålcylander, som fackverkskonstruktionen sedan förankras i. Förankringsdjupet är något mindre än vid pålning och benets diameter vid havsbotten är ca 20 m. Antalet sugkassuner som används för infästning av konstruktionen dimensioneras av storleken och vikten på vindkraftverksmodellen som ska monteras. Figur 12 illustrerar fackverksfundament med två olika förankringstekniker.



Figur 12. Schematisk bild av ett fackverksfundament med två olika förankringstekniker.

### 4.1.3 Fundament för transformator-/omriktarstation

Plattform för transformator-/omriktarstation kommer att placeras på fundament som nyttjar någon av de fundamentstekniker som beskrivits för vindkraftverken ovan, men med andra dimensioner. Transformatorstationerna måste vara robusta nog att hantera större mängder elektrisk energi och behöver stabila fundament som kan bära deras

belastning. Beroende på val av fundamentstyp, förväntas mellan ca 150 och 200 m<sup>2</sup> av havsbotten tas i anspråk för plattformen.

#### 4.1.4 Erosionsskydd

Erosionsskydd används för att skydda fundament från erosion som orsakas av strömmar och vågor. Erosionsskydd byggs vanligtvis upp av ett undre lager av grus och ett övre lager av stenar i blandad storlek. Storleken på det erosionsskyddade området beror på de hydrodynamiska förhållandena på platsen. Det finns inget krav på särskilt erosionsskydd runt pålade fundament, då de i vissa fall kan anpassas för att tåla erosion. En sådan anpassning kan dock göras genom att varje påle förlängs med den längd som erosionen över tid uppskattas att erodera bort.

## 4.2 Flytande fundament

Det finns olika varianter av flytande fundament, vilka här delats upp i tre typer. Barge och semiflytande har relativt stora plattformar i vattenytan som förankras med hjälp av långa kedjor eller staglinor som förtöjs i någon form av ankare i havsbotten. Den tredje typen, Tension Leg Platform (TLP) har en mindre plattform vid vattenytan som är förankrad i havsbotten med vertikalt löpande linor.

### 4.2.1 Barge

Barge är en typ av flytande fundament, likt en pråm, som består av ett stål- eller betongskrov som stabiliseras med konstruktionens flytkraft (Figur 10). Stabilitet uppnås genom att ha ett stort platt flytelement på ett balanserande avstånd ifrån konstruktionens mittpunkt och förankringslinorna har för dessa fundament ingen stabiliserande funktion. Storleken på barge (plattformen) varierar mellan 50 och 60 meters längd och bredd, vilket är beroende på vindkraftverkens storlek. Tack vare den höga vertikala och horisontella styvheten är barge mest lämplig för lugnare vatten. De flesta av dagens fundament av typen barge har en öppning, så kallad moon-pool, där påverkan från vågor dämpas.

### 4.2.2 Semiflytande (Semi submersible)

Semiflytande plattform består av tre eller flera ballastcylindrar sammankopplade genom armar som stabiliserar konstruktionen. Semiflytande plattform tillhör samma flytande fundamentstyp som Barge, vilka stabiliseras med konstruktionens flytkraft. När konstruktionen lutar och flytkraftens centrum förskjuts behåller plattformen sin stabilitet genom ballastcylindrarnas flytkraft i vattnet. För semiflytande plattformar kan vindkraftverket placeras på en av hörncylindrarna alternativt på en mittpelare, om strukturen består av fler än tre cylindrar.

Semiflytande plattformar har en styvhet inbyggd i sin konstruktion, vilket innebär att så kallade hävplattor ofta behövs för att minimera systemets gungning.

Grundkonstruktionen är störst bland de olika typerna av flytande fundament och kan vara upp till 120 m lång och bred. Den har ett djupgående på cirka 15 meter. Pelarcylindrarna är oftast utformade med dimensioner som kan tillverkas i tornfabriker eller monopilefabriker, och har därför diametrar på upp till cirka 15 meter.

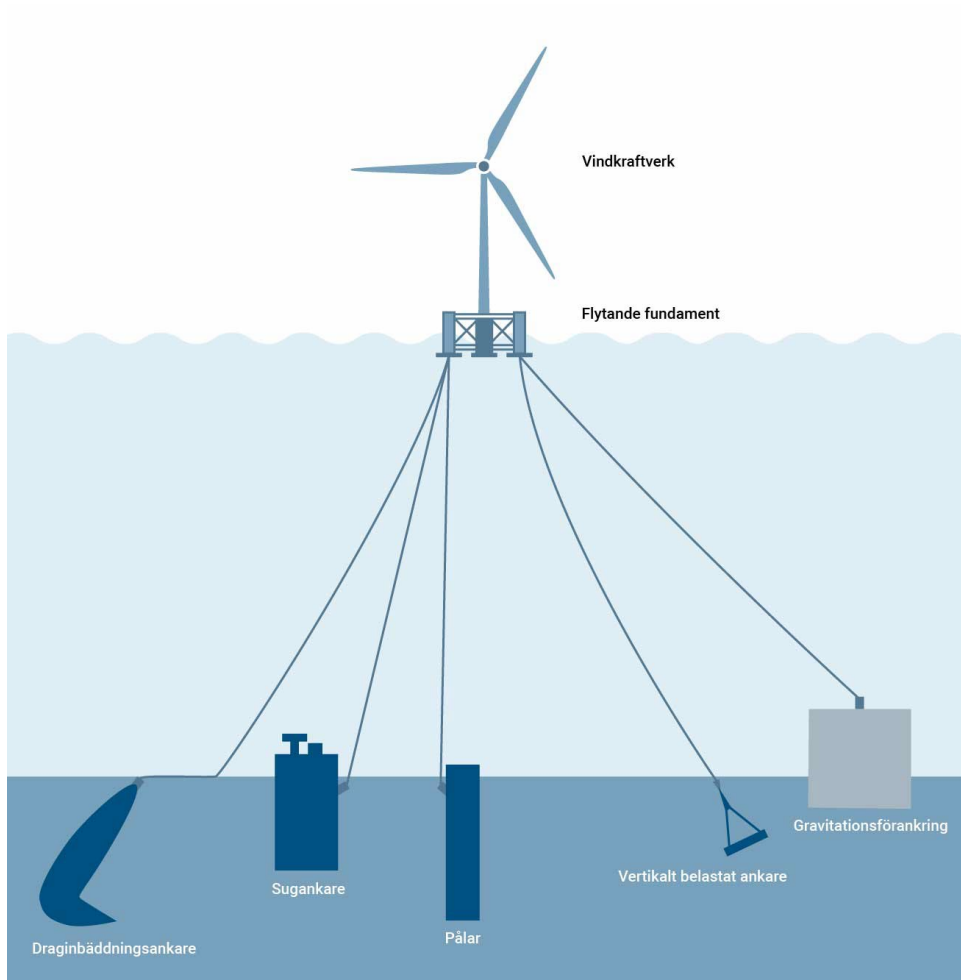
### 4.2.3 Tension Leg Platform (TLP)

Tension Leg Platform (TLP) stabiliseras med hjälp av vertikala förankringslinor till havsbotten. Linorna eller kedjorna förankras i havsbotten och hålls under konstant spänning för att på så vis stabilisera konstruktionen. Installationen av linorna är komplex och de förankringslösningar som är anpassade för TLP-linor är begränsade, varför metoden hittills har setts mest lämpad vid vattendjup på 200 meter eller mer, men tekniskt sett skulle den gå att använda vid mindre djup. Längden på fundamentets sida sträcker sig normalt upp till 80–100 meter..

### 4.2.4 Förankringsmetoder för flytande fundament

Alla flytande fundament behöver vara förankrade i havsbotten. Valet av förankringsmetod beror på platsspecifika förhållanden, såsom bottentyp och vattendjup samt typ av flytande fundament. Slutligt val av förankringsmetod sker efter genomförande av mer detaljerade geotekniska undersökningar inför anläggningsfasen.

De förankringsmetoder som skulle kunna bli aktuella att användas i detta projekt redovisas i Figur 13 och beskrivs i efterföljande avsnitt.



Figur 13 Förankringsmetoder som potentiellt kan användas i Västvindprojekt.

### Gravitationsförankring (Gravity anchor)

Gravitationsankare (se Figur 13) är en typ av ankringslösning som är mångsidig och kan användas för olika botten typer. Dessa ankare ger en kombination av horisontell och vertikal hållfasthet och kan på rätt plats vara mycket effektiva. Installationen av ett gravitationsankare är relativt sett utrymmes- och materialkrävande. Storleken på ankaret varierar beroende på val av material och dess densitet. I de flesta fall är gravitationsankaret det minst föredragna alternativet.

### **Pålar (Piles)**

Pålar (se Figur 13) är tillämpbara i lera och hårda sediment och till viss del i sand. Pålösningen ger både horisontell och vertikal bärförmåga och kan installeras med hög precision. Den drivna pålen är lång och smal och har vanligtvis en diameter på cirka 3–4 meter. Exakt längd dimensioneras av de geologiska och geotekniska förhållandena i kombination med belastningskrav.

### **Sugankare (Suction pile)**

Sugankare (se Figur 13) är tillämpbara i lera och delvis även i sandbottnar. De är olämpliga att installera i hårda sediment. Sugankaret ger utmärkt vertikal styrka och kan installeras med mycket hög precision. Sugankare behöver ha en diameter på cirka 5–10 meter och en längd som är 2–3 gånger större än diametern.

### **Draginbäddningsankare (Drag Embedment Anchor)**

Kan användas i lerjord, sand och till viss del även i hårdare sediment (se Figur 13). Ankaret saknar vertikal bärförmåga och är enkelt att installera, men har något lägre precision. Storleken på ankaret är mycket beroende av bottenförhållandena samt på belastningen från plattformen vid ytan, men dragankare kan väga upp till 50 ton. Efter installation är ankaret helt inbäddat i havsbotten.

### **Vertikalt belastat ankare (Vertical loaded anchor (VLA))**

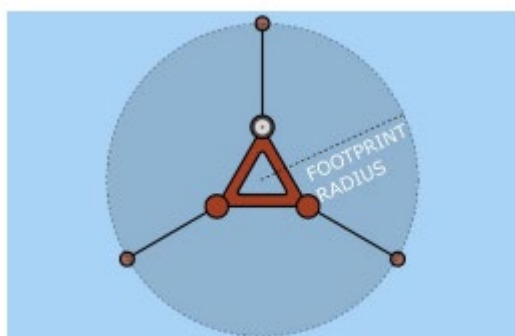
Kan endast användas i lerbottnar, men ger en betydande vertikal belastningskapacitet (se Figur 13). Installationen liknar processen för dragankare, där VLA är helt inbäddat i havsbotten efter installationen och utgör en viktmässigt lättare lösning jämfört med dragankare.

## **4.2.5 Förankringssystem och förankringslinor**

Förankringslinor eller förankringskedjor är nödvändiga för att länka samman den flytande plattformen som vindkraftverket monteras på med de mindre fundament eller ankare som utgör fästpunkt i havsbotten. Syftet med linorna/kedjorna är att se till att rörelsen genom vattnet begränsas till en acceptabel rörelsegrad. Förankringssystemet balanserar plattformens rörelser för att begränsa påfrestningar dels på kraftkabeln, dels på vindkraftverket samt ändå tillåta rörelser för att reducera strukturella belastningar.

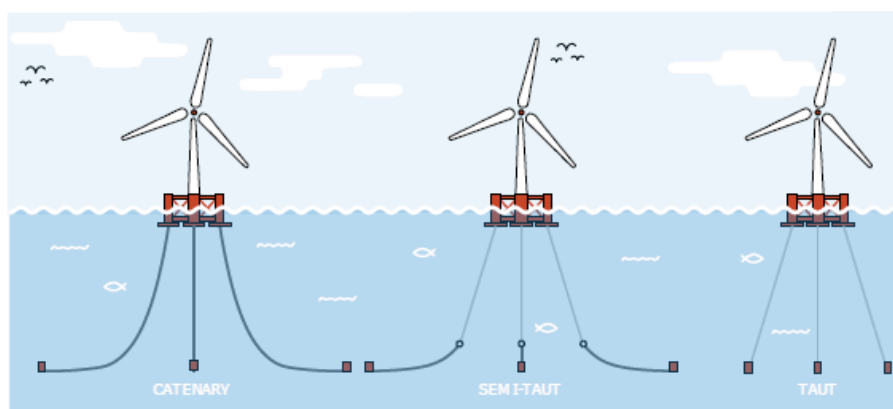
Förankringslinor kan sträcka sig upp till 5 gånger vattendjupet ut från fundamentet.





Figur 14 Illustration av förankringssystem för flytande fundament och dess fotavtryck. Källa: COWI

Valet av förankringssystem för projektet är avhängigt valet av plattform och den infästning i havsbotten som styrs av bottenförhållandena. Några olika lösningar redovisas i Figur 15 och i efterföljande text.



Figur 15 Illustration av olika förankringssystem för flytande fundament. Källa: COWI.

### Kedjeförankringssystem (Catenary)

Kedjeförankringssystem är en vanligt förekommande teknik inom olje- och gasbranschen. Systemet består av flera fritt hängande kedjor, där en betydande del av kedjan vilar på havsbotten, vilket leder till att endast horisontella belastningar uppstår på ankarpunkterna. Kedjorna är gjorda av stål, ibland i kombination med stålvarjor. Kedjornas egenvikt fungerar som en dämpning av rörelsen i systemet. Då tekniken kräver långa kedjor, motsvarande cirka 4–5 gånger vattendjupet, inklusive en del som vilar på havsbotten, har denna typ av förankringssystem en relativt stor utbredning i vattenkolumnen samt på havsbotten (se Figur 14). Dimensionen på kedjan är beroende av andra designparametrar, men intervallet 100–140 mm förekommer.

### **Semispänt förankringssystem**

Ett semispänt förankringssystem är en lösning där flera spända linor hänger från flytkroppen (plattformen) och är direkt anslutna till en kättingdel som är placerad på havsbotten. För den spända delen används vanligtvis syntetiska rep av t.ex. polyester eller dyneema, medan kedja används på havsbotten för att ge stabilitet och styrka.

För det spända systemet skapas en återställande kraft genom en kombination av elasticiteten och förlängningen hos den spända linan, tillsammans med kedjans egenvikt. Genom denna kombination skapas en stabil och pålitlig återställande kraft som hjälper till att hålla systemet på plats. På liknande sätt som kedjeförankringssystem vilar en relativt lång del av linan på havsbotten, vilket säkerställer att endast horisontella belastningar påverkar ankarpunkterna. Detta bidrar till att minimera vertikala krafter och skapar en mer stabil konstruktion.

### **Spänt förankringssystem (Taut mooring)**

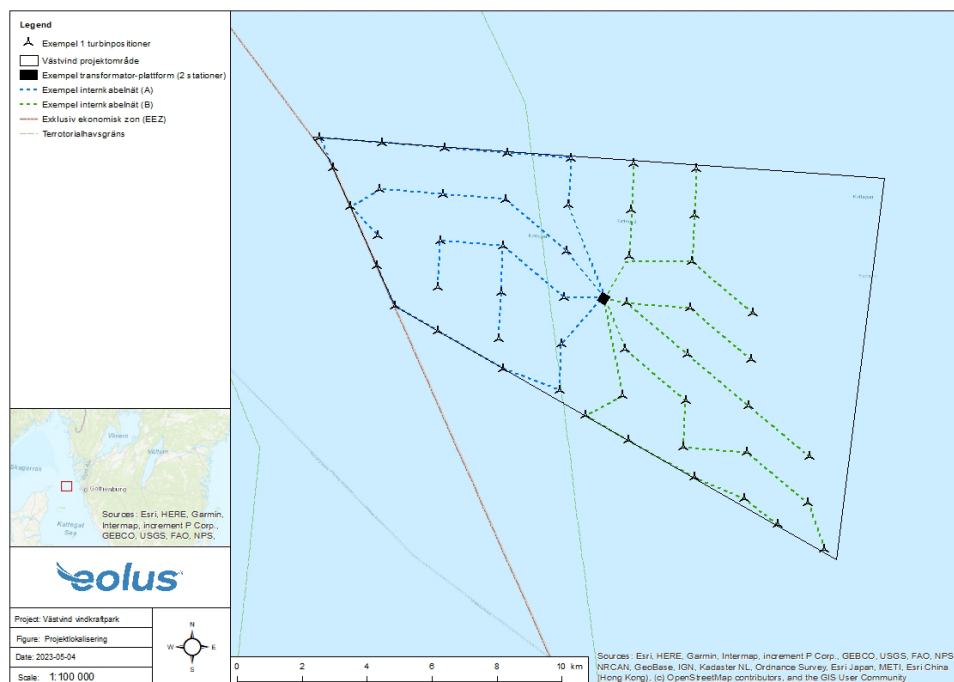
Förankringssystemet är uppbyggt av flera spända linor. Återställande kraft är därför enbart linornas egen elasticitet och förlängning när systemet rör sig. Material som polyesterrep eller nylon används. Linorna har en diameter på upp till ca 300 mm och en dragstyrka på upp till 3000 ton.

TLP (Tension Leg Platform) använder ett spänt förankringssystem med vertikala och mycket styva förankringslinor (ofta tillverkade av stålmaterial). Den här typen av förankringssystem har endast påverkan på havsbotten vid ankarpunkterna och i de flesta fall tar de betydligt mindre bottenyta i anspråk än kedjeförankringssystem.

## 5 Elnät

Elsystemet i en vindkraftpark består av vindkraftverkens generatorer, det interna kabelnätet mellan vindkraftverken samt transformatorstationen.

Transformatorstationen placeras på separat plattform i vindkraftsparken, se Figur 16, och till denna leds och samlas kabelslingorna i det interna kabelnätet ihop. På samma typ av plattform kan det också bli aktuellt att placera en omriktarstation som omvandlar el från växelström till likström inför export till land. Från stationen dras exportkabel ut från projektområdet, som transporterar elen till anslutningspunkten mot det överliggande elnätet, se Figur 2. I figuren visas som exempel en anslutningspunkt på land. För Västvind vindkraftpark kan det även bli aktuellt med en anslutningspunkt till en annan havsbaserad plattform, som har till syfte att ta emot el från flera olika havsbaserade vindkraftparker. Från denna nod kan i det fallet en gemensam exportkabel transportera elen vidare till land. Exportkabel från Västvind vindkraftpark kommer att hanteras i en separat tillståndsprocess och beskrivs därför inte ytterligare här.



Figur 16. Karta med exempel över en möjlig utformning av internkabelnät och transformatorstation inom projektområdet baserat på exempellayouten.

### 5.1 Internt kabelnät

Det interna kabelnätet i en havsbaserad vindkraftpark består av bottenförlagda kablar som kopplar samman vindkraftverken med varandra i grupper för att transportera el från vindkraftverken till minst en transformatorstation. I en havsbaserad vindkraftpark

med flytande fundament består det interna kabelnätet av både dynamiska och statiska kablar. Den dynamiska delen kommer att röra sig med det flytande fundamentet och behöver därför en hög flexibilitet och styrka för att klara av påverkan från vågor och strömmar. De statiska kablarna kommer att bottenförläggas. Vid stora vattendjup kan en helt upphängd dynamisk kabel mellan vindkraftverken vara mer kostnadseffektiv, vilket eliminerar behovet av kontakt med havsbotten. Denna lösning har dock andra begränsningar som exempelvis det faktum att kablarna hänger fritt i vattenkolumnen.

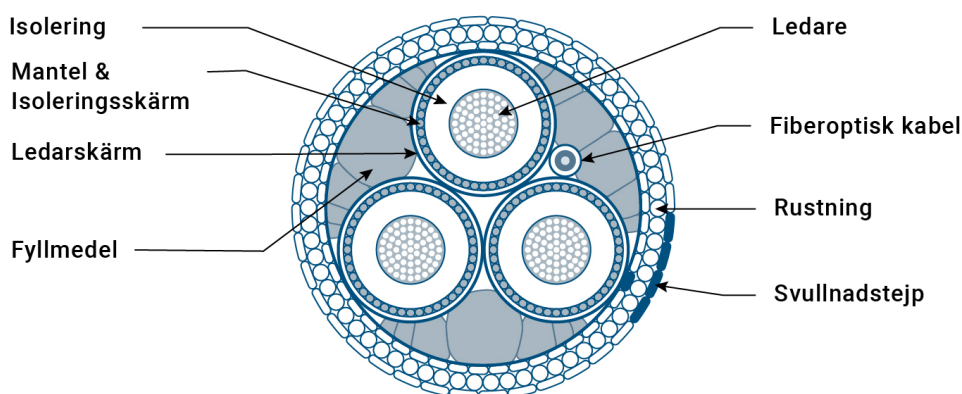
Ett exempel på utformning av det interna kabelnätet för Västvind vindkraftpark redovisas i Figur 16. Exakt utformning och placering av kablarna i parken kommer att bestämmas under detaljprojekteringen av vindkraftparken, efter det att storlek, antal och slutlig placering av vindkraftverken har valts.

Kablarna för de bottenfasta fundamenten, leds genom vindkraftverket från maskinhuset i så kallade "J-rör". Syftet med "J-rör" är att möjliggöra en säker installation av kablarna, från vindkraftverket ner i respektive fundament, samt att skydda kablarna under driften i den marina miljön. Kablarna för de flytande fundamenten hänger i vattenkolumnen mellan fundamentets plattform och havsbotten. För att dämpa kabelrörelserna genom vattenkolumnen används flytkraftsmoduler i upphängningen av kabeln för att skapa en långsammare rörelse, en "lazy wave"-konfiguration. Även här nyttjas "J-rör" (eller möjligen "I-rör") för att leda kabeln genom plattformen upp i tornet.

Kablar för det interna kabelnätet är vanligtvis sammansatta av en trekärnig ledare med ett fiberoptiskt paket inuti, omgivna av isolerande skärmning och vattentätning. Kabelns armering består av en enkel sträng av galvaniserade ståltrådar som är inkapslade i ett hölje av polypropengarn, se

Figur 17. Dynamiska kablar ställer extra krav på skyddande skikt och förmågan att klara av cyklisk belastning, böjning, vridning och slitage. Detta medför att de oftast har något större diameter än traditionella icke dynamiska kablar.

En sjökabel i ett internkabelnät leder växelström och är en högspänningskabel med en typisk nominell spänning på 66 kV eller högre. Det är vanligt att använda kablar med olika diametrar i internkabelnätet inom ett och samma projekt.



Figur 17. Sjøkabel i genomskäring och dess uppbyggnad

## 5.2 Transformator-/omriktarstation

En havsbaserad transformatorstation tar via bottenförlagda kablar emot och exporterar den elektricitet som genereras av vindkraftverkens turbiner. Transformatorstationen fyller en viktig funktion genom att minimera elektriska förluster, samt stabilisera och maximera spänningen för elen som genereras.

Den plattform som transformatorstationen placeras på byggs upp av ett fundament som tillsammans med en stålkonstruktion, se Figur 18, i flera våningar inrymmer exempelvis följande delar:

- Huvudtransformator
- Spänningsställverk
- Omriktarstation (eventuellt)
- Kopplingskåp
- Säkerhetssystem
- Data- och kontrollsystem
- Nödgeneratorer och bränsletank (om generatorm drivs av t.ex. diesel)
- Brandlarmscentral
- Kommunikations- och IT-system
- Helikopterplatta



Figur 18. Exempel på transformatorstation på fackverksfundament

Placeringen av en havsbaserad transformatorstation bestäms vanligtvis genom optimering som grundas på viljan att skapa korta avstånd för det interna kabelnätet och avståndet från vindkraftparken till anslutningspunkten mot det överliggande elnätet. En havsbaserad transformatorstation placeras därför vanligtvis nära vindkraftverken för att minimera förlusterna under överföringen av elenergi.

Elektriciteten från vindkraftverken genereras som växelström och beroende av exempelvis avstånd till anslutningspunkten för det överliggande elnätet kan en omriktarstation behövas på plattformen, där elen transformeras mellan växelström och likström. Avgörande för om en omriktarstation behövs är att man vill välja det mest kostnadseffektiva sättet för transporten av el och undvika för stora energiförluster på vägen.

Projektet planerar för en (1) plattform för transformator-/omriktarstation, vars utformning och placering kommer att bestämmas senare, under vindkraftparkens upphandlings- och detaljprojekteringsfas. Se exempel på placering av denna på kartan i Figur 16.

### 5.3 Kabelkorsningar med existerande ledningar och kablar

I det fall det påträffas befintliga kablar för elektricitet eller telekommunikation inom Västvinds projektområde, som exempelvis löper mellan länder, kan det interna kabelnätet behöva korsa befintlig infrastruktur. Projektet har idag ingen kännedom om någon befintlig infrastruktur inom projektområdet.

När en korsning blir aktuell finns standardrutiner att följa. I dessa inkluderas en riskbedömning för den befintliga kabeln eller röret och nödvändiga överenskommelser med ägare av infrastrukturen.

Vid behov av korsning finns beprövad metod som vanligtvis tillämpas, vilket innebär att ett kabelskydd i form av stenläggning eller betongmadrass placeras över den befintliga kabeln eller röret. Därefter läggs tillkommande kablar ovanpå och skyddas med ytterligare kabelskydd.

## 5.4 Anslutningspunkt

Aktuell verksamhet omfattar inte anläggande av exportkablar till land och inte heller anslutningspunkt mot överliggande elnät. Med exportkablar avses kablar från transformatorstation till land, alternativt en annan eventuell anslutningspunkt till en nod på en plattform i havet. Anslutning av vindkraftparken kommer med största sannolikhet att ske till en punkt anvisad av Svenska Kraftnät. Denna punkt kan vara på land men den kan också vara till en annan plattform i havet.

Ett alternativ till elanslutning är att ansluta kablar till en produktionsanläggning för vätgas. En sådan produktionsanläggning kan beroende på teknikutvecklingen placeras i eller invid projektområdet, alternativt kustnära på land. Anslutning till produktionsanläggning för vätgas ingår inte i tillståndsansökan.

## 6 Vindmätning

Meteorologisk utrustning i en vindkraftpark är en form av utrustning som används för att mäta och övervaka meteorologiska förhållanden i närheten av vindkraftverken. Målet med meteorologisk utrustning är att samla in data om väderförhållandena, såsom vindhastighet, luftfuktighet, temperatur och lufttryck, för att optimera driften av parken och förbättra säkerheten och effektiviteten.

### 6.1 Mät-, övervakning och kommunikationstorn

Utöver vindkraftverken kan upp till två torn komma att behöva installeras för att övervaka miljöförhållanden eller för kommunikation. Totalhöjden kommer inte att överstiga den maximala höjden för vindkraftverken på högst 320 m. Konstruktionen består vanligtvis av stål. Övervakningsutrustning kan också placeras på fundamentet. Grundläggningen kommer troligtvis att vara densamma som för vindkraftverken, men mindre än dessa då mätmasten är en lättare konstruktion.



## 7 Anläggningsfas

### 7.1 Förberedande undersökningar och arbeten

För att säkerställa lämpliga positioner för vindkraftverken och internt kabelnätet behöver geofysiska och geotekniska undersökningar genomföras cirka ett till två år innan start av anläggningsarbetena. Undersökningarna syftar till att skaffa mer detaljerad kunskap om bottenbeskaffenhet, geologi och de geotekniska förutsättningarna för att designa fundament samt avgöra vilka åtgärder som krävs för att förbereda respektive position för fundamenten och sträckan för kabelläggning. Detaljerad kartläggning av samt röjning av eventuella förekomster av oexploderad ammunition (UXO) behöver också genomföras.

Förberedande undersökningar innefattar geotekniska undersökningar (spetstrycksondering, s.k. Cone Penetration Test, och vibrocore) och borrhning, geofysisk kartläggning med flerstråleekolod, sidavsökande sonar och bottenpenetrerande ekolod.

Magnetometer- eller gradiometerundersökningar planeras för kartläggning av oexploderad ammunition. Fjärrstyrda undervattensfarkoster kan också användas under sådana arbeten.

Geotekniska undersökningar avgränsas till den yta som förväntas tas i anspråk av vindkraftparkens anläggningsdelar. De geofysiska undersökningarna är däremot aktuella att utföra inom hela projektområdet.

Röjning av stenblock och dragning kan bli aktuellt om hinder identifieras vid de positioner där fundament och interna kablar planeras att anläggas.

### 7.2 Installation av bottenfasta fundament

Fundamenten tillverkas på land och transporteras sedan till projektområdet för slutlig installation. Specialbyggda installationsfartyg används för att installera fundamenten. Installationsprocessen för monopile- respektive fackverksfundament redovisas i detta avsnitt.

Installationen av monopilefundament kräver användning av specialbyggda fartyg, såsom exempelvis jackup-fartyg (stödbensfartyg), se Figur 14. Dessa fartyg är utrustade med en kran och en stor griparm, som används för att lyfta och placera monopilen på rätt plats. Även borrhörutrustning finns tillgänglig om det skulle krävas borrhning för att förankra fundamentet.

Installationen av monopilefundament innebär att ett stort rör pålas ned i havsbotten med hjälp av en hydraulisk hammare. Antalet slag och tiden som krävs för att nå nödvändigt förankringsdjup kan variera på respektive plats utifrån de geotekniska

förhållandena, fundamentets diameter och inbäddningsdjup. Beroende på bottenens egenskaper kan förborrning krävas. Borrning kommer att krävas om botten består av hårt material. När monopilen är fast förankrad och den översta delen sticker upp över havsytan monteras ett övergångsstycke på toppen av monopilefundamentet. På detta monteras sedan tornet.



Figur 19. Installation av torn på ett monopile-fundament från ett jack-up fartyg.

Vid installation av ett fackverksfundament, transporteras fundamentet med installationsfartyg och sänks sedan ner till havsbotten med hjälp av en kran.

I dagsläget finns det två installationsmetoder. Den första metoden innebär att flera mindre pålar först pålas ner och förankras i havsbotten (se Figur 10). Därefter fästs fackverkskonstruktionen i pålarna. Den andra metoden innebär att pålning i stället sker i samband med att fundamentet anläggs.

Alternativ till pålning är att anlägga fackverksfundament med sugkassuner. Det innebär att sugkassunen placeras på havsbotten, varefter vattnet i den pumpas ut via en cylinder och ett vakuum skapas inuti. Detta vakuum, tillsammans med vattentrycket utanför cylindern, gör att cylindern sugts ner i sedimentet. När cylindern är ordentligt på plats kan en cementblandning injiceras i eventuella kvarvarande luftspalter i cylindern för att fylla dessa och skapa ökad stabilitet.

### 7.3 Installation av vindkraftverk

Det finns olika installationsmetoder för vindkraftverk till havs.

Den vanligaste metoden innebär att tornet är förmonterat i två eller tre delar och transporteras ut till vindkraftsparken för installation på plats till havs. Tornet lyfts på plats och förankras i fundamentet av ett kranfartyg. Två eller tre rotorblad kan antingen förmonteras i navet innan navet monteras på tornet och maskinhuset, alternativt installeras rotorbladen ett åt gången när maskinhuset och navet redan monterats på tornet.

Transporten av vindkraftverkskomponenterna och själva installationen sker med specialanpassade installations- och transportfartyg, se exempel i Figur 15. Vindkraftverkens komponenter kommer att transporteras från den eller de hamnar som valts som installationshamn, alternativt från en hamn som ligger nära leverantören av komponenterna.



Figur 20. Vindkraftverkens komponenter transporteras med specialanpassade fartyg.

## 7.4 Anläggning av internt kabelnät för bottenfasta fundament

Kablarna transporteras från hamn till projektområdet och förläggning sker med specialfartyg.

Förläggning av kablar kan göras med någon av metoderna spolning, plöjning, grävning, muddring eller placering direkt på botten för att därefter täckas med betongmadrass, stenar eller annan typ av skyddsbarriär. En kombination av metoderna behöver troligen användas vid installationen.

Följande är de huvudsakliga metoder som bedöms vara aktuella för anläggning av kabelnätet i Västvind:

- Plogning där kabelsystemet läggs och grävs ned i en samtidig process,
- Spolning med spolmaskin som lösgör bottenmaterialet under kabeln vilket medför att kabeln sjunker ner i sedimenten
- Nedläggning i förgrävt dike, alternativt
- Genom en metodik där kabelsystemet först läggs ner på havsbotten och därefter grävs ned av en dikesgravare (kallas PLB).

Plogning är den föredragna metoden för kabelförläggning, där en fåra plogas och kabeln läggs simultant i fåran. Teknikutveckling sker kontinuerligt på området så det kan inte uteslutas att beskrivna metoder förändras och förbättras.

Önskat djup vid förläggning av kablar är cirka 1–2 m ner i havsbotten för att de då skyddas mot exempelvis fiskeaktiviteter, ankare och dragning. Valt förläggningsdjup kommer att variera beroende på rådande bottenförhållanden, lokala strömningsförhållanden, samt bedömd skaderisk på kablarna. De lokala bottenförhållandena avgör hur stora ytor kabelförläggningen slutligen tar i anspråk.



Figur 21. Ett kabellägningsfartyg lägger kablar på havsbotten i en vindkraftspark

## 7.5 Installation av flytande vindkraftverk

### 7.5.1 Plattform och vindkraftverk

Den flytande plattformen monteras ihop vid kaj och placeras i en hamnbassäng för montering av vindkraftverken. Om teknikerna med Barge eller semi-flytande används har plattformarna ett lågt djupgående. Vindkraftverken kan därför monteras med hjälp av landbaserade kranar vid kaj.

Monteringen av vindkraftverk på en TLP kräver i de flesta fall extra flytkraftmoduler för stabilisering vid monteringen. Alternativt kan en pråm användas under installationen vilket gör att sjösättning av konstruktionen inte sker förrän vid installationsplatsen.

Den flytande plattformen med vindkraftverket bogseras efter montering till installationsplatsen.

### 7.5.2 Förankringssystem

Specialbyggda fartyg används för att installera ankare och linor eller kedjor i syfte att förankra plattformen med vindkraftverket i havsbotten. Vid gravitationsförankring ska det mindre fundamentet positioneras korrekt och vid en pålning används någon av de metoder som beskrivits i avsnitt 7.2, *Installation av bottenfasta fundament*, fast då i mindre skalstorlek. Detsamma gäller för sugankare som kan jämföras med installation av mindre sugkassuner. Draginbäddningsankare dras fast i havsbotten med hjälp av ankarhanteringsfartyg. För alla ankartyper måste belastningsprov utföras efter installationen.

### 7.5.3 Internt kabelnät

Det interna kabelnätet förläggs på motsvarande sätt som har beskrivits under avsnitt 7.4, *Anläggning av internt kabelnät för bottenfasta fundament*. Det som tillkommer är den dynamiska delen av kabeln som löper mellan vindkraftverket och den bottenförlagda kabeln. Det är viktigt att övergången mellan den statiska och den dynamiska delen av kabeln anläggs med en robust och hållfast teknik.

## 7.6 Installation av transformator-/omriktarstation

Installationen av en havsbaserad transformator-/omriktarstation innefattar förberedande arbeten och montering, transport av komponenterna och montering av dessa ute i vindkraftparken.

När plattformen är färdig placeras transformator-/omriktarstationen på fundamentet med ett eller flera lyft där olika moduler installeras i etapper beroende på dess vikt och storlek, se Figur 22.

Efter att utrustningen har monterats måste den elektriska anläggningen testas och justeras för att säkerställa funktionen.



Figur 22. Installation av transformatorstation på monopilefundament där transformatorstationen lyfts på plats. För Västvind Vindkraftpark är fackverksfundament aktuellt för den havsbaserade transformatorstationen.

## 7.7 Transporter

Behovet av antal och typ av fartyg som används varierar under anläggning, drift och avveckling av vindkraftparken.

Under anläggningsfasen kommer specialanpassade installationsfartyg, säkerhetsfartyg samt fartyg för transporter av komponenter och personal att användas.

Beroende på val av fundamentstyp som ska installeras används olika installationsfartyg. En vanlig typ är stödbensfartyg (så kallade Jack-up-fartyg) som har förmågan att sänka ned ben på havsbotten och därmed lyfta upp skrovet ur vattnet för att skapa en stabil arbetsplattform, se Figur 18. Semi-jack-up-fartyg stabiliseras med hjälp av ben som sänks ned på havsbotten medan skrovet förblir flytande. Basen på benen på ett jack-up-fartyg, på engelska kallade "spud cans", kan täcka en yta på upp till totalt cirka 1100 m<sup>2</sup>. På havsbotten lämnas ett mindre "fotavtryck" som återställs genom naturliga processer. Det finns också installationsfartyg som i stället för att stabilisera sig med hjälp av ben använder sig av rörelsekomensation och förblir flytande genom hela installationsfasen. Under installationsfasen kommer också mätfartyg att följa processen för att säkerställa att alla ställda krav på teknik och säkerhet möts.

Det är först vid tidpunkten för projektets genomförande som beslut kan tas utifrån bästa tillgängliga teknik för transporter, vilken då bygger på design och konstruktion samt leveransflöde av komponenter, installationsmetoder och utvecklingen av den fartygsteknik som är kopplad till havsbaserad vindkraft.



Figur 23. Vid installation av havsbaserade vindkraftverk, används kranbåtar / jack-up fartyg för att placera komponenterna av vindkraftverket på platsen

I Tabell 6 redovisas ett förväntat scenario för fartygsbehovet under projektets installationsfas. Scenariot utgår från det maximala behovet, färre fartyg kan komma att användas. Samtliga fartyg enligt tabellen kommer inte att vara aktiva samtidigt utan

används i olika faser. För att optimera byggschemat kan installation av vindkraftverk, fundament och kablar komma att ske samtidigt inom projektområdet, fast i olika delar av vindkraftsparken.

Tabell 6. Förväntad fartygstrafik under installationsfas.

Förväntad fartygstrafik under installationsfas	
Förberedelser och installation av fundament och torn (inklusive övriga plattformar)	<p>1–5 styckegods-fartyg eller däckslastfartyg för fundamentalsdelar och bladhantering</p> <p>1–5 transportpråmar för hantering av andra element</p> <p>1–2 lastfartyg för transport och hantering av maskinhus</p> <p>1–2 installationsfartyg, självgående eller bogserade jack-ups</p> <p>5–10 bogserbåtar för olika aktiviteter, däribland assistens vid hamnanövrar och bogseringsuppdrag</p> <p>1 stenläggningsfartyg</p> <p>1 muddringsfartyg</p>
Maskinhus och blad	<p>1–2 installationsfartyg för monteringsarbeten</p> <p>1–2 supportfartyg</p>
Kabelförläggning och kabelinstallation	<p>1–2 kabelförlägningsfartyg för internkabelnätet</p> <p>1–2 transportfartyg för leverans och matning av kablar på plats (om behov finns)</p> <p>1–2 supportfartyg för anslutning och installation av undervattenskablar</p> <p>1–2 fartyg för support av dykaktiviteter, undervattens-ROV-drift (Remotely Operated Vehicle, på svenska fjärrstyrd undervattensfarkost) och plogning</p>
Övriga aktiviteter	<p>1–5 fartyg för transport av besättning vid personalbyten (från/till land och inom vindkraftsparken) eller av mindre utrustning</p> <p>1–2 hotellfartyg, endast vid behov</p> <p>1–2 UXO-fartyg för röjning av oexploderad ammunition</p> <p>1–2 undersökningsfartyg för geofysiska och geotekniska arbeten, om sådana utförs</p>





## 8 Drift och underhåll

Drift och underhåll av en havsbaserad vindkraftpark är en viktig del av vindkraftparkens livscykel och syftar till att säkerställa att den fungerar effektivt och att säkerhets- och miljökrav är uppfyllda.

Underhåll av en havsbaserad vindkraftpark innefattar:

- Schemalagda (planerade) underhåll: Regelbundna inspektioner av vindkraftverk och komponenter samt underhållsaktiviteter, däribland rengöring och smörjning av lager och andra rörliga delar, som är schemalagda för att förebygga problem. De planerade underhållen bestäms av turbinleverantören.
- Prediktivt (oplanerade) underhåll: Övervakningssystem med bland annat sensorer används för att samla in data om komponenternas skick i parken, vilket gör att underhållspersonalen kan identifiera och planera åtgärd av potentiella problem innan de blir allvarliga.
- Korrigerande underhåll: Reparation eller byte av komponenter som har gått sönder eller inte fungerar korrekt.
- Akut/Nödunderhåll: Reparation eller byte av komponenter vid behov som en åtgärd av oväntade problem eller fel.

Underhåll av undervattenskablar innefattar:

- Regelbundna planerade kabelinspektioner för kontroll av kabelns integritet, position och läge.
- Reparationer vid oförutsedda händelser.



Figur 24. En underhålls- och inspektionstekniker på en offshore-plattform med transportfartyg

Dessutom kommer ett övervakningssystem att användas för att stödja uppföljning och kontroll av vindkraftparken. Komponenter som kommer att inspekteras regelbundet inkluderar vindkraftverkens drivlina, blad, fundament och kablar. Inspektionen av dessa komponenter syftar till att bedöma anläggningens skick i förhållande till:

- Strukturell integritet
- Beläggning
- Korrosion
- Läckage
- Vibrationsdiagnostik
- Oljenivå
- Ljud
- Marin påväxt

Utformningen och omfattningen av underhållet samt behovet av fartyg under driftperioden kommer att bero på det slutliga drift- och underhållssystemet som utvecklas för projektet efter att erforderliga tillstånd erhållits och leverantör bestämts för de olika komponenterna. Även tillgången av passande fartygstyper och utformning av servicehamnarna i projektets närområde påverkar. I Tabell 7 redovisas ett förväntat scenario för fartygsbehovet under projektets driftfas.

Planerade underhåll antas göras ungefär 10 gånger per vindkraftverk per år.

Tabell 7. Förväntad fartygstrafik under driftfasen.

Förväntad fartygstrafik under driftfasen	
Permanent serviceflotta	<p>1–4 fartyg för transport av besättning vid personalbyten och mindre transporter av utrustning.</p> <p>1–3 servicefartyg för löpande underhåll av vindkraftparken, med boendetrymmen för servicetekniker och reservdelslagring.</p>
Tillfällig serviceflotta för oplanerade driftstopp eller servicebehov	<p>1 jack-up fartyg eller motsvarande för planerade byten av komponenter och tunga lyft.</p> <p>1 installationsfartyg vid större underhållsarbeten, exempelvis bladbyte.</p> <p>1–2 lastfartyg för leverans av nya och bortforsling av uttjänta delar (om det inte går att hantera med installationsfartyget).</p> <p>1–2 support- och försörjningsfartyg som bistår serviceprocessen.</p>

## 9 Avveckling

Avvecklingsprocessen innebär att produktionen av energi avslutas och vindkraftsparken med kringutrustning monteras ned och avlägsnas från projektområdet. Vid nedmonteringen kommer det att krävas liknande fartyg och metoder som under anläggningskedet.

Den exakta metodiken och hanteringen av olika komponenter föreslås att beskrivas och anpassas till bästa tillgängliga teknik vid slutfasen av driftperioden. Avvecklingen beskrivs därför endast översiktligt i detta avsnitt.

### 9.1 Nedmontering av vindkraftverk med bottenfasta fundament

Vindkraftverken kommer att monteras ner och avlägsnas från projektområdet. Specialanpassade fartyg lyfter ner de olika komponenterna från vindkraftverket i omvänd ordning mot installationen, för att transportera bort dem.

Vätskor såsom oljor och andra kemikalier som finns i vindkraftverket hanteras på sätt som syftar till att minimera risken för spill och samlas antingen upp och avlägsnas från vindkraftverket innan demontering, eller lämnas inuti respektive komponent och samlas upp efter transporten till land.

Samtliga komponenter bedöms kunna återanvändas eller återvinnas i stor utsträckning.

### 9.2 Nedmontering av bottenfasta fundament

Typen av fundament avgör hur nedmonteringen bäst sker. Specialanpassade fartyg med lyftkapacitet kommer att lyfta bort fundamenten som kapas i lagom långa sektioner inför nedmontering och bortforsling.

Erosionsskydd kan lämnas kvar på platserna för respektive fundament. Det är inte genomförbart att transportera bort allt erosionsskydd då det under projektiden ofta delvis sjunker ned i havsbotten och att det förmodligen är miljömässigt bättre att lämna kvar det.

Monopilefundament kan avvecklas antingen genom att hela fundamentet avlägsnas eller genom att fundamentet kapas vid ett visst djup. Den övre delen av fundamentet, över skärningspunkten, avlägsnas, medan den undre delen lämnas kvar i havsbotten.

Avvecklingen av fackverksfundamentstrukturer innebär att man tar bort och avlägsnar fundamentstrukturen från havsbotten. Detta görs genom att demontera stödbenen från de pålar som fundamentstrukturen vilar på, genom att såga igenom vart och ett av dess ben på en lämplig nivå invid havsbotten.

### 9.3 Avveckling av kabelnät för bottenfasta fundament

Avvecklingen av kabelnätet mellan vindkraftverken innebär att kablarna tas bort från havsbotten för transport till land för att destrueras, återanvändas eller återvinnas. Val av metod för avvecklingen av kabelnätet föreslås hanteras i anslutning till driftperiodens slut för att nyttja bästa val av metod. Beroende på om kablarna är nedgrävda eller inte, kan en del av kablarna behöva lämnas kvar i havsbotten, delvis tas bort eller tas bort helt.

Det första steget i en avveckling av kablar är att lokalisera dem och markera deras position på havsbotten. Detta görs vanligtvis med för ändamålet specialiserad utrustning från ett mätfartyg. I nästa steg sågas kablarna av och separeras från anslutningar till annan utrustning såsom transformatorer eller vindkraftverk. Kablarna sågas av så nära fundamenten som möjligt.

Slutligt val av teknik för avveckling av kablarna föreslås avgöras inför avvecklingen och utifrån bland annat då rådande tekniska förutsättningar.

### 9.4 Avveckling av vindkraftverk med flytande fundament och kabelnät

Vid avveckling av flytande fundament sker nedmontering i motsatt ordning till hur de installerades. Det vill säga att vindkraftverken med de flytande fundamenten frånkopplas kablar och förankring för att sedan bogseras till hamn där de nermonteras. Förankringslinor/-kedjor och kablar kan samlas in och återvinnas. Frågan om respektive ankare ska plockas upp eller lämnas kvar bör lämpligen beslutas när avvecklingen planeras. Skulle delar av vindkraftsparken med tillhörande kablar ge större miljöpåverkan vid borttagning än vad effekten är av att låta de vara kvar kommer detta att övervägas. Planen för nedmontering och återställning sker i samråd med tillsynsmyndigheten.

### 9.5 Avveckling av transformator-/omriktarstation

Avvecklingen av en havsbaserad transformator-/omriktarstation innebär att all teknisk utrustning monteras ner och avvecklas. Avvecklingsprocessen påbörjas när produktionen av energi upphör och anläggningen inte längre behöver vara i drift. Oljor

och vätskor i transformatorn hanteras på ett sätt som garanterar att inget spill eller läckage kan ske.

Transformator-/omriktarstationen monteras ner för sig och fundamentet för sig. Alla delar transporteras till land där flertalet av komponenterna bedöms kunna återanvändas eller återvinnas.

## 10 Risk och säkerhet

### 10.1 Isdetektering och avisningssystem

Risk för isbildning, på framför allt vindkraftverkens rotorblad, sker vid vissa meteorologiska förhållanden mellan temperatur, luftfuktighet och vind som tillsammans skapar is. I nordiska förhållanden uppkommer isbildning främst vid 0°C och hög luftfuktighet, exempelvis vid underkyllt regn.

Risker kopplade till isbildning på vindkraftverk vid havsbaserade vindkraftsparker handlar i första hand om säkerhet för servicepersonal som vistas frekvent i närheten av vindkraftverken men även exempelvis risk för obalans hos rotorbladen vilket kan medföra försämrad produktion. För att hantera nedisning finns olika metoder och förebyggande tekniker för att minska de tekniska konsekvenserna av isbildning samt optimera energiproduktionen.

Befintlig teknik omfattar metoder med ytbehandling av rotorbladen för att isen inte ska fastna lika lätt på bladen, alternativt teknik med uppvärmning av bladen antingen med invändiga värmeslingor eller exempelvis varm luft som blåses genom bladen.

Utöver nämnda tekniker för att skydda mot effekterna av isbildning på fundament och infrastruktur är det viktigt att regelbundet inspektera och underhålla anläggningen för att säkerställa att den är i gott skick. Detta kan inkludera avlägsnande av is och snö, men även att genomföra kontroller av eventuella sprickor eller andra tecken på skador.

Om islasterna blir för stora på vindkraftverken eller andra konstruktioner stängs vindkraftsparken av säkerhetsskäl ner för att förhindra skador på fundament och infrastruktur.

### 10.2 Brandskydd och säkerhet

Blixtnedslag kan inträffa i vindkraftverk, på samma sätt som i andra höga konstruktioner. Därför har vindkraftverk åskledarsystem.

Erfarenhetsmässigt är det mycket ovanligt med bränder i vindkraftverk. En tänkbar orsak till brand kan dock vara från blixtnedslag, men också elfel eller varmgång. Risken för brand uppkommer främst i vindkraftverkets maskinhus där den mesta av utrustningen finns och utrymmen är slutna. Därför bedöms en spridning av brand från vindkraftverk som väldigt liten. Vindkraftverkens styrsystem innefattar övervakning så att vindkraftverken stannar vid för hög temperatur.

Vindkraftverken kommer att vara utrustade med aktiva brandskyddssystem, såsom brandlarm och system för brandsläckning och rökbortledning. Systemen utformas för att upptäcka, varna och släcka bränder samt hantera rökbildning. Förutom aktiva



brandskyddssystem kommer även passiva brandskyddsåtgärder tillämpas för att förebygga att bränder kan uppstå eller sprida sig. Exempel är användning av brandbeständiga material vid anläggning av vindkraftverken och transformatorstationerna, samt installation av brandbarriärer och branddörrar.

Operatörer av vindkraftsparken kommer att ha erforderlig kunskap om brandrisker som förknippas med anläggningen. Brandsäkerheten bibehålls genom att regelbundna inspektioner och underhåll av brandskyddssystem genomförs samt regelbunden utbildning av ansvarig personal.

Det finns risk att vindkraftverks hela eller delar av rotorblad lossnar. Risken är dock mycket liten, men det har inträffat och har då berott på konstruktionsfel, felaktig montering eller infästning.

Yttre händelser kan ske på grund av till exempel rådande klimatförändringar, där torka, skyfall och storm kan medföra konsekvenser. Vindkraftverk är dock konstruerade för att tåla vind och hårt väder och är generellt sett inte påverkade av yttre händelser. Mycket hårda vindar kan slita på vindkraftverkens lager vilket riskerar att skada verket. Vid mycket hårda vindar vinklas därför vindkraftverkens rotorblad med hjälp av automatiserad teknik så att en större andel vindenergi släpps förbi. Detta gör att skadliga laster från vinden ska undvikas. Vid mycket hård vind stängs vindkraftverken av för att minska slitage.

### 10.3 Hinderbelysning och markering

Hinderbelysning och markering säkerställer att vindkraftsparken är synlig för omgivningen och markerar hinder för luft- och sjöfartstrafik för att öka säkerheten och förhindra olyckor.

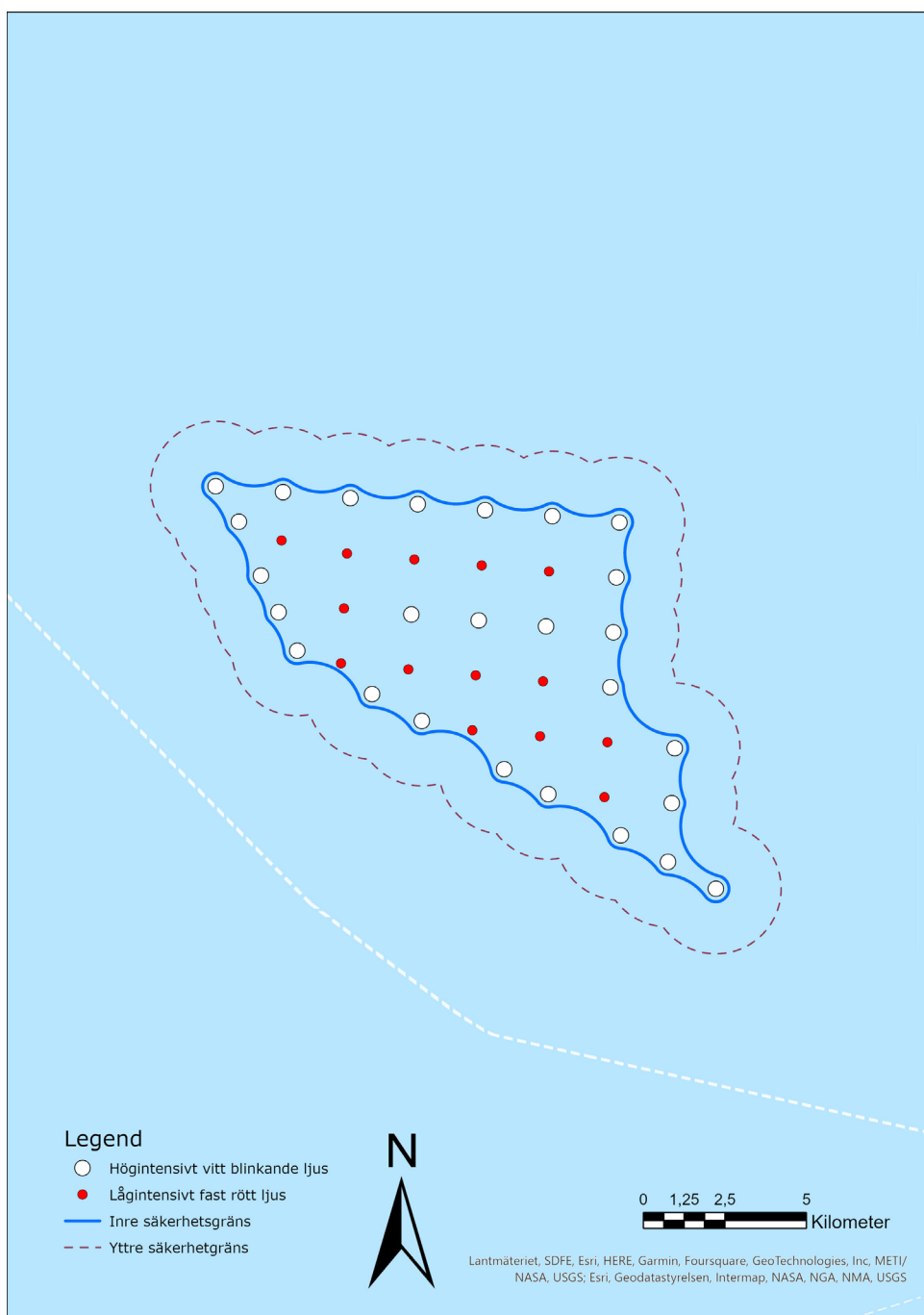
Vindkraftverken kommer att hindermarkeras i enlighet med Transportstyrelsens föreskrifter (TSFS 2020:88, eller den motsvarande föreskrift som gäller vid tiden för uppförandet), vilket innebär att vindkraftverk med en totalhöjd på minst 150 m ska markeras med vit färg av fluorescerande eller retroreflekterande typ och vara försett med högintensivt vitt blinkande ljus på maskinhus. Hinderljuset ska placeras så att vindkraftverken blir synliga i alla riktningar för annalkande luftfartyg. När maskinhuset har en höjd över 150 m ska även tornet märkas med minst tre lågintensiva ljus på halva höjden upp till maskinhuset. När det råder dagsljus ute ska det högintensiva ljuset ha en ljusstyrka på 100 000 candela (cd), i skymning och gryning ska ljuset ligga på 20 000 cd. I mörker ska styrkan vara 2 000 cd och lampan avge 40–60 blinkningar per minut. Ljusintensiteten får regleras +/- 25 %. Ett exempel på hinderljuslayout visas i Figur 25.

För vindkraftverk som är mer än 315 meter höga (inklusive rotorn i dess högsta läge) kan ytterligare markeringar och belysning krävas. I sådana fall ska godkännande inhämtas från Transportstyrelsen.

Detta innebär för det aktuella projektet att högintensiv blinkande hinderbelysning enligt rådande föreskrifter kommer att krävas för de yttre verken i vindkraftsparken och lågintensivt ljus med fast rött ljus för resterande verk.

Vindkraftverkens torn kan också komma att märkas med identifikationsnummer, reflekterande områden och färg, vilket syftar till att indikera den segelfria höjden. Vindkraftverken kan även komma att utrustas med en RACON (radar), en dimsignal (en ljudsignal för att varna omgivningen vid nedsatt sikt) och en AIS (Automatic Identification System) för att bidra till att förbättra synligheten för förbipasserande fartyg.

Ovan nämnda exempel på hinderbelysning och markeringar kommer från dagens bestämmelser för utmärkning av vindkraftsparker till havs. Slutlig utformning av hinderbelysning och markering av Västvind vindkraftpark kommer att anpassas och utformas enligt vid tidpunkten för uppförandet då gällande bestämmelser.



Figur 25 Exempel på hinderljuslayout för exempellayout 1 presenterad tidigare i dokumentet. Karta framtagen av Ramboll

## 10.4 Säkerhetszon

Under anläggningsfasen av vindkraftsparken upprättas vanligtvis en 500 meters säkerhetszon runt vindkraftsparken för att skydda projektet, personalen och tredje part. Säkerhetszonen kommer att märkas med tillfälliga markeringar och

hinderbelysning i enlighet med riktlinjer från IALA (The International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities).

Sjöfartsverket kommer att underrättas om pågående arbeten och en vanlig åtgärd är att informera genom notiser i Ufs (Underrättelser för sjöfarande) för att informera sjötrafiken i området om verksamheternas positioner och omfattning. Den slutliga utformningen av säkerhetszonerna och hindermarkeringarna kommer att tas fram i samråd med svenska myndigheter.

Efter driftsättning förväntas en begränsad radie om cirka 50 meter runt varje vindkraftverk att betecknas som en otillåten tillträdeszon. Utanför de avlysta områdena kommer vindkraftsparken troligen att hållas öppen för sjötrafik och fiske i den utsträckning som bedöms vara möjligt med bibehållen säkerhet.

## 11 Tidplan

I Tabell 8 redovisas en översiktlig tidplan för den planerade verksamheten. De olika delmomenten är beroende av till exempel leverantörers kapacitet, tillgänglighet av fartyg samt väderförhållanden. Byggstart och idrifttagande är beroende av tillståndsprocessen för projektet och möjligheterna till nätanslutning.

Tabell 8. Övergripande tidplan för Västvind vindkraftpark angett i år från lagakraftvunnet tillstånd.

Aktivitet	År 1	År 2	År 3	År 4	År 5
Förberedande undersökningar					
Upphandling					
Fundament					
Internt kabelnät					
Vindkraftverk					
Tidigast idrifttagande					

I förberedande undersökningar ingår i huvudsak geofysiska och geotekniska bottenundersökningar för att inför upphandlingen av entreprenaderna mer detaljerat kartlägga de specifika områden som kommer att beröras av installationsarbetena. Undersökningar är möjliga att genomföra året om, men arbeten till havs är väderberoende. Generellt räknar man med att arbeten tar längre tid om de utförs under vinterhalvåret då väderförhållandena är sämre. Undersökningarna kommer därför troligen att utföras i omgångar, under begränsade tidsperioder och inte kontinuerligt under hela den perioden som indikeras i Tabell 8. Effektiv tid för de förberedande undersökningarna bedöms uppgå till sammanlagt cirka 6–9 månader.

Tidplanen utgår från att fundamenten installeras under ett år och vindkraftverken installeras under påföljande år, dvs. byggnationen av vindkraftsparken inklusive uppstart av driften beräknas ta 2–3 år. Förläggningen av det interna kabelnätet sker parallellt inom denna tidsperiod.