wpd
think energy

Vindkraftpark Storgrundet

Bilaga T2
Teknisk Beskrivning

Administrativa uppgifter

Projektnamn	**Vindkraftpark Storgrundet**
Verksamhetskod	40.90 i bilagan till miljöprövningsförordningen (2013:251). 11 kap. miljöbalken
Verksamhetsutövare/Sökande	Storgrundet Offshore AB Surbrunnsgatan 12 114 27 Stockholm Org.nr: 556709-7554
Vattenområde	Den tilltänkta ytan för Storgrundets vindkraftpark ligger i en del av Bottenhavets utsjövatten i vattenförekomsten med beteckning SE620333-175418.
Kommuner	Gävle och Söderhamns kommuner
Län	Gävleborgs län
Prövningsinstans	Mark- och miljödomstolen vid Östersund Tingsrätt
Sjökort	© Sjöfartsverket tillstånd nr 21-01470
Kartor	© Lantmäteriet (CC)
Projektledare, Pär Boquist	+46 (0)8 501 091 64, p.boquist@wpd.se
VD, Olle Hedberg	+46 (0)8-501 091 62, o.hedberg@wpd.se

Innehåll

1. Inledning 1
1.1 Projektsammanfattning 1
1.2 Utformning och layout 1

2. Exempellayout 2
2.1 Exempellayout – Maximal totalhöjd 290 m 2

3. Vindkraftverk 4
3.1 Torn 4
3.2 Maskinhus 4
3.3 Rotorblad 5
3.4 Generator 5
3.5 Transformator 5
3.6 Kontroll-och övervakningssystem 5
3.7 Åtkomstsystem 5
3.8 Oljor och smörjmedel 5

4. Fundament 6
4.1 Monopile-fundament 6
4.2 Gravitationsfundament 8
4.3 Jacket-fundament 8
4.4 Iskon 9
4.5 Erosionsskydd 9

5. Transformatorstation 10
5.1 Fundament och struktur 10
5.2 Transformatorhus 11
5.3 Oljor och fluider 11

6. Elanslutning 12
6.1 Internt kabelnät 12
6.2 Exportkablar 12
6.3 Elektromagnetiska fält 13
6.4 Anslutningspunkt 13

7. Sjötrafik och övrig infrastruktur 15
7.1 Installationsfartyg 15
7.2 Sjötrafik vid installation 17
7.2.1 Sjötrafik under driftsfasen 17
7.3 Hamnar 18
7.4 Meteorologisk utrustning 18

8. Anläggningsfas 19
8.1 Förberedande undersökningar 19
8.2 Installation av fundament 19
8.2.1 Installation av monopile-fundament 19
8.2.2 Installation av gravitationsfundament 19
8.2.3 Installation av jacket-fundament 20
8.3 Installation av transformatorstation 21
8.4 Installation av internt och externt kabelnät 21
8.5 Installation av vindkraftverk 23
8.6 Installationsarbete – Pålningsenergi och ljudutbredning 23
8.7 Borrning vid installation av fundament 24

9. Drift och underhåll 25
9.1 Service och underhållsaktiviteter under driftsfasen 26

10. Avveckling 27
10.1 Avveckling av vindkraftverk 27
10.2 Avveckling av transformatorstation 27
10.3 Avveckling av monopile-fundament 28
10.4 Avveckling av Jacket-fundament 28
10.5 Avveckling av gravitationsfundament 29
10.6 Avveckling av kablar 29

11 Tidplan 30

12. Säkerhet 31
12.1 Hinderbelysning 31
12.2 Isbildning 32
12.3 Brandsäkerhet 32

13. Referenser 32

Tabellförteckning & Figurförteckning

Tabellförteckning

Tabell 1 Exempellayout – Maximal totalhöjd 290m 2
Tabell 2 Exempel på komponenter i vindkraftverk 5
Tabell 3 Exempel på fluider i ett vindkraftverk 5
Tabell 4 Totalt estimerat bottenanspråk för tre fundamentsalternativ 6
Tabell 5 Preliminära dimensioner, monopile-fundament 7
Tabell 6 Indikativa dimensioner, gravitationsfundament 8
Tabell 7 Indikativa dimensioner, jacket-fundament 9
Tabell 8 Elektriska preliminära specifikationer för transformatorstationerna i parken 9
Tabell 9 Preliminära specifikationer för vindkraftpark med transformatorstation på land 10
Tabell 10 Preliminära dimensioner för en 300 MW transformatorstation på jacket-fundament 10
Tabell 11 Preliminära dimensioner för en transformator-station på jacket-fundament med en kapacitet över 300 MW 11
Tabell 12 Oljor och fluider i transformatorstation 11
Tabell 13 Preliminära specifikationer för det interna nätet och exportkablar 11
Tabell 14 Specifikationer för det interna nätet och exportkablar 12
Tabell 15 Estimerad ljudalstring vid ljudkällan i samband med installation (Källa wpd) 15
Tabell 16 Redogör för volymen borrkax som kan produceras vid borrning vid Storgrundet 24
Tabell 17 Beräknad volym borrkax vid borrning vid storgrundet ... 24
Tabell 18 Preliminär installationstid för olika komponenter ... 30
Tabell 19 Tidsplan för projektet 30

Figurförteckning

Figur 1 Exempellayout – vindkraftpark Storgrundet 3
Figur 2 Principskiss bild av ett vindkraftverk. Källa: wpd 4
Figur 3 Översikt av vindkraftverkets komponenter 4
Figur 4 Schematisk bild, monopile-fundament. Källa: wpd 7
Figur 5 Principskiss gravitationsfundament. Källa: wpd 8
Figur 6 Schematisk bild, jacket-fundament. Källa: wpd 9
Figur 7 Exempel på transformatorstation med jacket-fundament. Källa: wpd 10
Figur 8 Genomskärning av kabel och dess olika komponenter 13
Figur 9 Indikativ styrka på magnetfältet vid olika avstånd från sjökabeln och för olika strömstyrkor 13
Figur 10 Exempel på kabeldragning 14
Figur 11 Installation av vindkraftverk. Källa: wpd 16
Figur 12 Kabelläggningsfartyg för exportkablar Källa: wpd 17
Figur 13 Exempel på hamnlayout. Källa: wpd 18
Figur 14 Installation av monopile-fundament Källa: wpd 20
Figur 15 Installation av blad. Källa: wpd 22
Figur 16 Installation av transformatorstation. Källa: wpd 24
Figur 17 Metod för markering av vindkraftverk som inklusive rotorn i sitt högsta läge har en höjd över 150 meter över mark- eller vattenytan (TSFS 2020:88) 31
Figur 18 Säkerhetsföreskrifter vad gäller reflexer, ljus, AIS, RACON och färg för ett havsbaserat vindkraftverk (TSFS 2017:66) 32

Definitioner och terminologi

Term	Definition
Rotor	Vindkraftverkets roterande blad som fångar upp vindens energi
Maskinhus	Del av vindkraftverk som inrymmer framdrivningskomponenterna
Fundament	Bärande struktur mellan havsbotten och vindkraftverk eller transformatorstation
Erosionsskydd	Förhindrar att fundamentets stabilitet försämras
Skarvgrop	Plats på land där exportkablar och landkablar kopplas samman
Kabelplog	Maskin som används för att installera sjökablar
Exportkabel	Kabel mellan vindkraftparken och land
J-tub	Komponent där kablarna går från toppen av vindkraftverket och ner genom strukturen

Förkortning	Definition
HVAC	Högspänningsväxelström
MW	Effekt angiven i megawatt
MKB	Miljökonsekvensbeskrivning
kV	Spänning angivet i kilovolt
ROV	Remotely operated vehicle
SPIV	Self-Propelled Installation Vessel
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
OSS	Offshore Substation
XLPE	Cross-linked polyethylene
EPR	Etenpropengummi
PEX	Plastmaterial

Förberedande arbete vid anläggning av ett monopile-fundament
© 2021 wpd

1. Inledning

Syftet med den tekniska beskrivningen är att beskriva de tekniska förutsättningarna som gäller för vindkraftpark Storgrundet. Detta inkluderar vindkraftverk, fundament, transformatorstation, kablar och tillhörande infrastruktur. Vidare redogörs för de komponenter och metoder som kan komma att användas vid konstruktion, drift och avveckling av den föreslagna verksamheten.

1.1 Projektsammanfattning

Ansökansområdet för vindkraftpark Storgrundet är lokaliserat inom sjöterritoriets gräns i havet inom Söderhamn och Gävle kommuner. Avståndet till ön Storjungfrun är cirka fyra km. Vidare är det cirka elva km till fastlandet. Ansökansområdet omfattar cirka 116 km^2 , vilket medför att området kan inhysa maximalt 51 stycken vindkraftverk med en totalhöjd om 290 meter. Effekten på vindkraftverken kan variera och är inte fastställd, men om 51 stycken vindkraftverk med en effekt vardera om 20 MW ger detta en totalt installerad effekt om 1020 MW.

Batymetrin inom ansökansområdet varierar mellan cirka 3–50 meter. Detta innebär att olika typer av fundamentstekniker, anpassade för olika djup, kan komma att användas.

Upp till fyra transformatorstationer för högspänningsväxelström (HVAC) kan komma att installeras inom verksamhetsområdet. Transformatorstationerna samlar en serie av vindkraftverk via undervattenskablar som ingår i det interna nätet, med en beräknad spänning om 66 kV. Transformatorstationerna kommer därefter öka spänningen och leda strömmen till en inmatningspunkt på land.

1.2 Utformning och layout

Storgrundet Offshore AB söker tillstånd för vindkraftpark Storgrundet för placering av vindkraftverk, kablar och transformatorstationer inom det sökta verksamhetsområdet. De enskilda verkens placering är flexibel inom verksamhetsområdet där slutlig placering av vindkraftverken, totalhöjd och fundamentsteknologi kommer fastställas efter detaljprojektering och med hänsyn till val av teknik och områdesförutsättningar. Detta medför att de tekniska förutsättningarna som beskrivs nedan är exempel på möjliga maximala utformningar av vindkraftparken utifrån bland annat antal, höjd och avstånd mellan verken (se utformningsparametrar som utgör parkens maximalt sökta dimensioner i avsnitt 2 nedan).

Den tekniska beskrivningen beskriver översiktligt de olika faserna för vindkraftparken vid installation, drift och avveckling. De detaljer och antaganden som anges utgör utformningsexempel. Det som kommer vara styrande för parkens utformning är de maximala begränsningar som kommer sättas av tillståndet med dess villkor.

Givet ramen för tillståndet kan parkutformning, vindkraftverkens storlek och fundamentens bottenanspråk - inom ramen för maximala dimensioner – alltså komma att anpassas och revideras för att möjliggöra användning av den lämpligaste tekniken vid installation, drift och avveckling av vindkraftparken.

2. Exempellayout

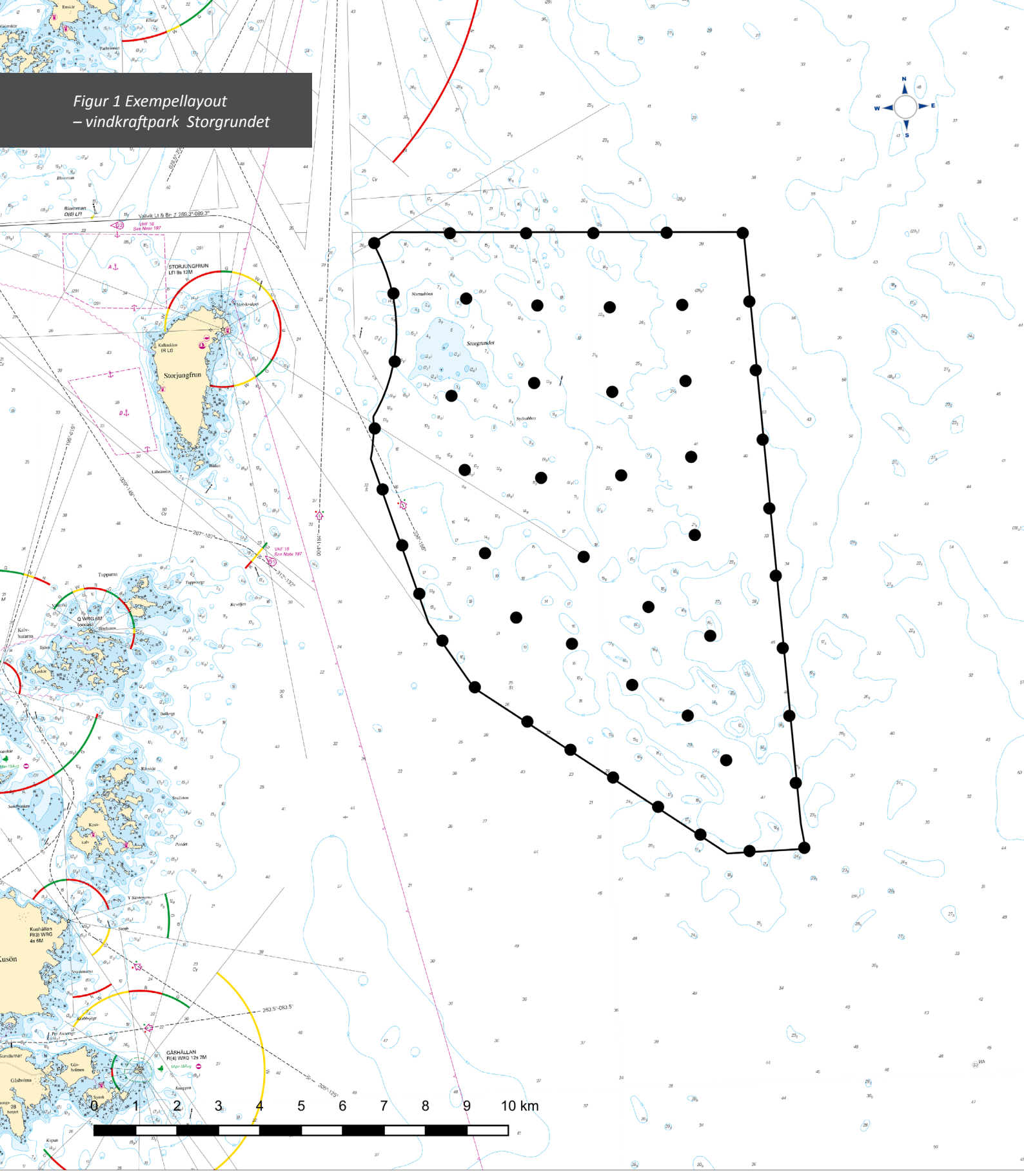
2.1 Exempellayout – Maximal totalhöjd 290 m

Vindkraftpark Storgrundet kommer som mest inrymma 51 stycken vindkraftverk med en totalhöjd om 290 meter. Detta innebär en uppskattad effekt per verk om 20 MW, vilket resulterar i att vindkraftparkens beräknade totala installerade effekt skulle uppgå till 1020 MW. Tabell 1 ger en sammanfattade beskrivning avseende de layoutparamaterar som skulle gälla för denna exempellayout. Vidare visas en exempellayout i Figur 1.

Tabell 1 Exempellayout 1 – Maximal totalhöjd 290m

Parameter	Värde
Antal vindkraftverk	51
Maximal totalhöjd (m)	290
Preliminär rotordiameter (m)	270
Generators effekt (estimerad MW)	20
Säkerhetsavstånd till vattenyta (m)	20
Beräknad årlig produktion (TWh)	Ca 3.0-3.5
Area ansökanområde (km2)	116
Bottendjup inom ansökanområdet (m)	Ca 3–50
Distans till land (km)	Ca 11
Distans till närmaste ö (km)	Ca 4
Totalt bottenanspråk av ansökansområdet (%)	Ca 0.5

Figur 1 Exempellayout – vindkraftpark Storgrundet



Teckenförklaring

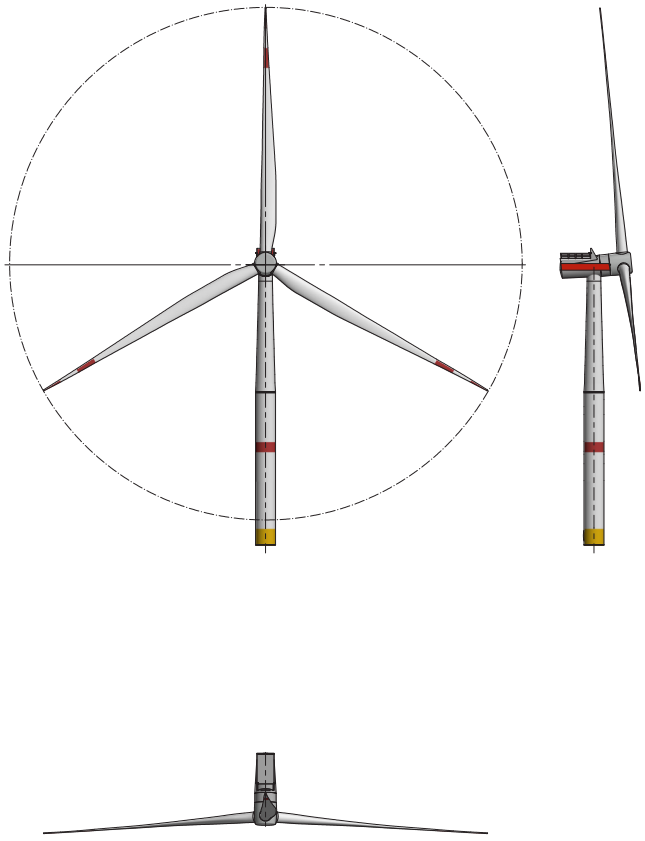
- Projektområde
- Vindkraftverk

Storgrundet Exempellayout

Created by: wpd Offshore Stockholm AB
Skala 1:120 000
Koordinatsystem:SWEREF99TM
EPSG:3006
Datum: 2021-01-29

© wpd offshore Stockholm AB, 2021
www.wpd.se

3. Vindkraftverk



Figur 2 Principskiss bild av ett vindkraftverk. © 2021 wpd

Ett havsbaserat vindkraftverk utvinner energi genom att omvandla luftens rörelseenergi till elektricitet med hjälp av en rotor och ett maskinhus bestående av en rad komponenter. Rotorn består av tre blad som är monterade på ett nav vilket i sin tur är monterat på maskinhuset. Maskinhuset inrymmer vindkraftverkets delkomponenter, system och eventuellt en växellåda. Figur 2 visar en principskiss av ett vindkraftverk.

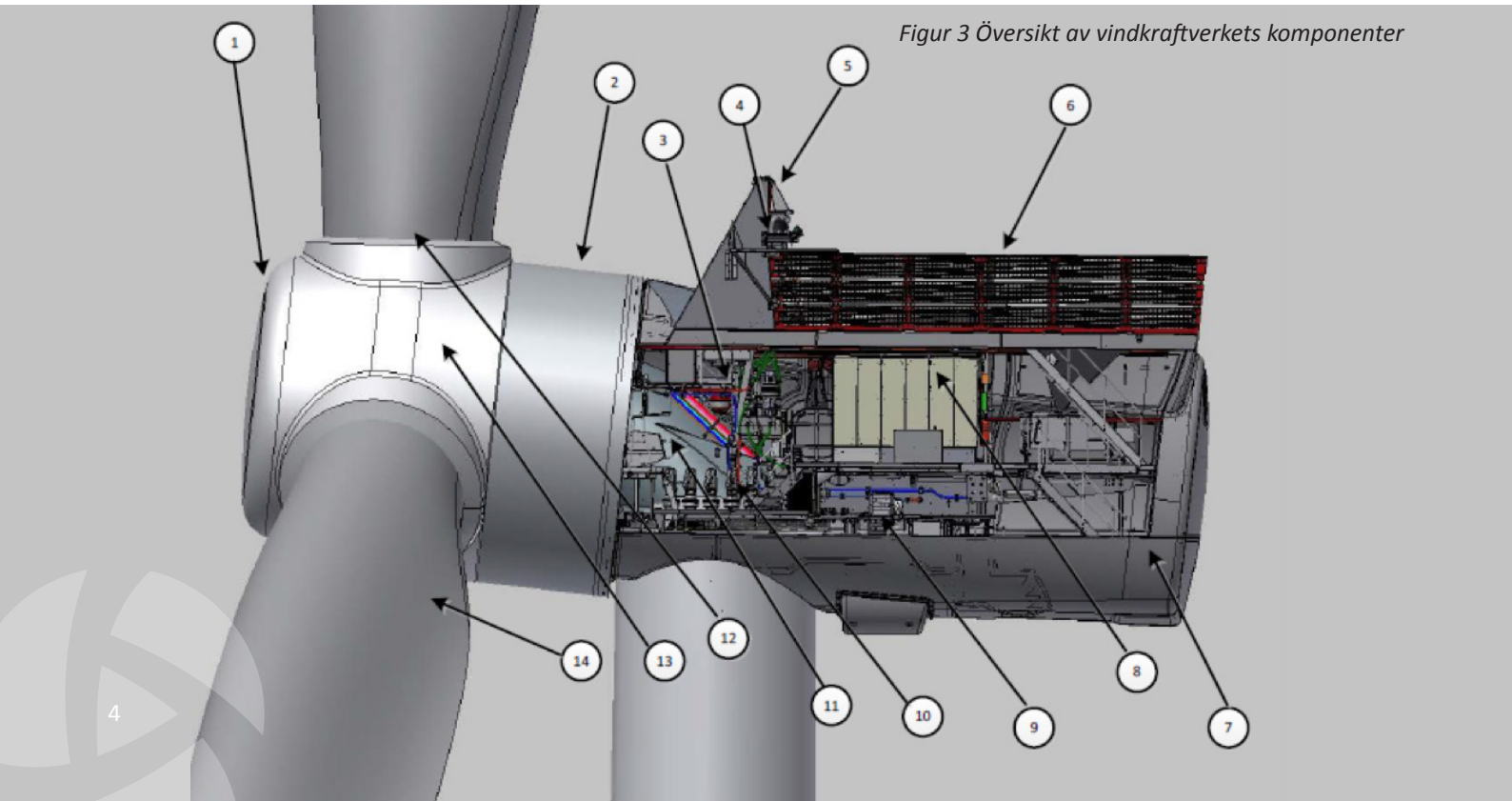
3.1 Torn

Tornet består av ett antal stålrörssektioner som förbinder fundamentstrukturen med maskinhuset. Tornets sektioner bultas samman och längre ner på tornstrukturen återfinns en dörr för arbetare. Inuti tornet finns oftast en hiss och stege för transport av personal och till maskinhuset. Vidare leds kablar från maskinhuset ner via tornet och till fundamentet.

3.2 Maskinhus

Inne i maskinhuset återfinns vindkraftverkets framdrivningskomponenter. I Figur 3 nedan visas ett exempel på vilka delkomponenter som kan ingå i ett vindkraftverk. Figuren redogör för ett vindkraftverk som ej har en växellåda. Dock finns även vindkraftverk som använder en växellåda.

Figur 3 Översikt av vindkraftverkets komponenter



Tabell 2 Exempel på komponenter i vindkraftverk

Pos.	Beskrivning	Pos.	Beskrivning
1	Spinner	8	Växelriktare
2	Generator	9	Transformator
3	Hiss för service	10	Girväxel
4	Anemometer	11	Maskinfundament
5	Passiv kylare och aktiv fläkt	12	Rotorbladlager
6	Helikopterplatta	13	Nav
7	Skal	14	Rotorblad

3.3 Rotorblad

Rotorbladens vinkel (s.k. ”pitching”) runt den egna axeln kan korrigeras. Detta reglerar effekten och hastigheten på rotorn på ett sätt som gör att systemen alltid drivs inom de tillåtna driftsförhållandena. Rotorn roterar medurs. Rotorbladen är ihåliga enheter och är vanligtvis gjorda av kolfiber, glasfiber eller en hybrid av båda. Formen på bladen utformas för att uppnå optimala aerodynamiska egenskaper.

3.4 Generator

Det finns flera typer av generatorer. En variant som återfinns i många havsbaserade turbiner är en helt inkapslad synkronmaskin som exciteras med hjälp av permanentmagneter. Generatorns rotor och statorlindning har konstruerats för att ha en hög verkningsgrad i dellastområdet. Ett antal generatorer använder teknologin ”direct drive ” vilket innebär att rotoraxeln är direkt kopplad till synkrongeneratorn. Generatorn ger en konstant spänning medan uteffekten fluktuerar och beror på vindhastigheten. Spänningen höjs sedan till intranätets spänningsnivå med en transformator.

3.5 Transformator

Transformatorn är placerad inne i maskinhuset och har som uppgift att öka spänning som levereras av generatorn. Spänningen höjs från en låg spänningsnivå på exempelvis 0,69 kV till spänningsnivån i parkens intranät, vanligtvis 33 kV eller 66 kV.

3.6 Kontroll-och övervakningssystem

Vindkraftparken är utrustad med ett SCADA-system vilket verkar som kontroll- och övervakningssystem. Detta system medför en möjlighet till fjärrstyrning samt läsning av olika driftsförhållanden och rapporter från en landbaserad kontrollcentral. Statusvyerna ger information som elektrisk och mekanisk data, drifts- och felmeddelanden samt meteorologisk och nätverksspecifik information. Vindkraftverken kan styras och övervakas med detta system.

3.7 Åtkomstsystem

Maskinhuset nås via en uppstigningsanordning i tornet. I vissa fall används en stege men oftast är vindkraftverken utrustade med en hiss som används för transport av personal och material.

3.8 Oljor och smörjmedel

Fetter, syntetiska oljor och hydrauloljor används för hydrauliska system samt för smörjning av azimut- och stigningsdrifter. Tabell 3 redogör för oljor och fluider som kan komma att används vid drift av ett vindkraftverk.

Alla mekaniska komponenter i vilka olja förekommer är helt slutna system. Olika förebyggande åtgärder har implementerats i systemen för att förhindra läckage av smörjmedel. Vid läckage till följd av skada på mekaniska komponenter kan läckande olja släppas ut i de avsedda uppsamlingstankarna.

Vid oljeläckage registreras tryckfallet i smörjmedelssystemet omedelbart och ett varningsmeddelande utfärdas så att felet kan åtgärdas omedelbart. Oljan byts ut i intervaller vilka beror på vindkraftverkets drifttimmar och typ av olja som används.

Smörjpunkterna för blad-, generator- och azimutlager är ofta utrustade med automatiska smörjsystem. Avfallsfettet som uppkommer i smörjprocessen kan samlas upp i speciella fettuppsamlingstankar och avlägsnas som en del av underhållsarbetet.

Tabell 3 Exempel på fluider och oljor i ett vindkraftverk

Oljor och fluider	Mängd (estimerad)
Glykol (l)	4000
Transformatorolja (l)	5500
Smörjolja (l)	500
Växellådsolja (l)	240
Hydraulolja (l)	1000
Smörjolja (m3)	1,5
Kväve (kg)	80000

4. Fundament

Inom den havsbaserade vindkraftsindustrin spelar val av fundament en avgörande roll med avseende på ett projekts utformning och bottenanspråk. Både vindkraftverk och transformatorstation är förankrade i havsbotten via ett fundament som innebär att bottenyta tas i anspråk.

Vid vindkraftpark Storgrundet övervägs flera olika typer av fundamentsmodeller. Detta skapar förutsättningar för att tillämpa bästa möjliga teknik för projektet. Det slutliga valet av fundament görs efter att detaljerad utformning av vindkraftparken är framtagen baserad på bland annat vindkraftverkets specifikationer, specifika bottenförhållanden, batymetri, våg- och tidvattenförhållanden samt marknadsförutsättningar.

Fundamenten ska designas i enlighet med de standarder som finns i relation till de platsspecifika laster som gäller. Exempel på laster i en fundamentskontext är aerodynamiska, hydrodynamiska och seismiska laster. Nedan redogörs för några av de standarder som gäller avseende fundamentsdesign.

- *DNVGL-ST-0126 – Support Structures for Wind Turbines*
- *DNVGL-ST-0437 – Loads and Site Conditions for Wind Turbines*
- *DNVGL-RP-0005 – Fatigue Design of Offshore Steel Structures*
- *DNVGL-RP-0416 – Cathodic Protection for Wind Turbines*

Tabell 4 presenterar en sammanfattning avseende estimerat bottenanspråk för tre fundamentsalternativ. Beräkningarna av bottenanspråk utgår från 51 vindkraftverk.

4.1 Monopile-fundament

Monopile-fundament är det vanligast förekommande fundamentet inom den havsbaserade vindkraftsindustrin. Fundamentet består vanligtvis av en stålcylinder som förankras i botten. En övergångsdel monteras över monopilen som ansluter vindkraftverket till fundamentet. Övergångsdelen inkluderar båtlandningsfunktioner, stegar, kran och andra kompletterande komponenter. Övergångsstycket är normalt målat gult och märkt enligt tillämpliga säkerhetskrav.

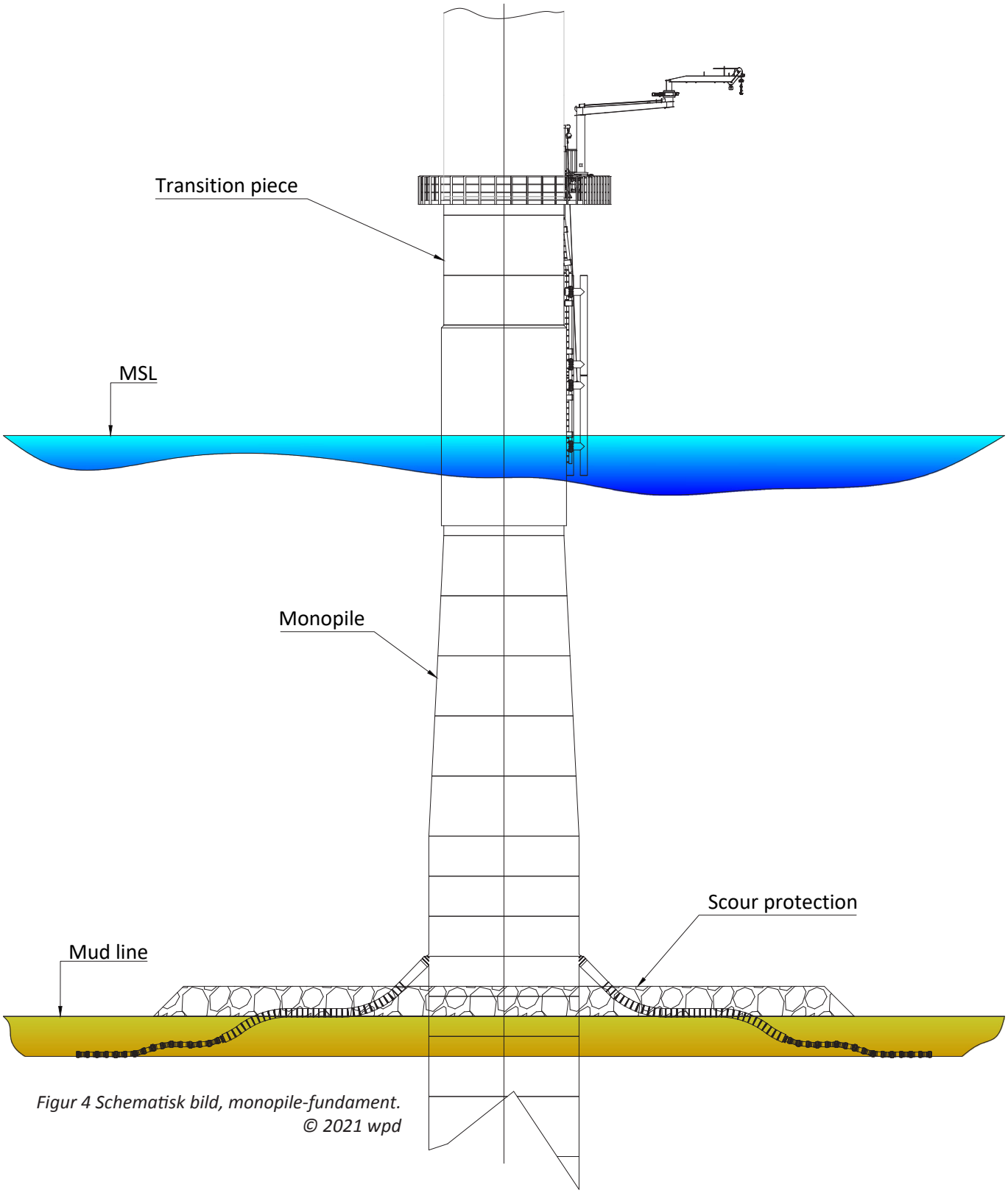
Monopile-fundament är oftast tillverkade i stål, dock kan andra material komma att användas för vissa delkomponenter. Exempel på andra material är kompositmaterial, aluminium och betong.

Fundamentet förankrar vindkraftverkets tyngd genom friktion mellan cylinders väggar och havsbotten. Monopilen förlitar sig på den omgivande geologin för att ge motstånd i sidled mot vindens och havets horisontella krafter. Fundamentets diameter och längd är beroende av vindkraftverkets storlek och effekt, havsdjup, oceanografiska förhållanden och geotekniska förhållanden. Figur 4 visar en principskiss av ett monopile-fundament.

Indikativa dimensioner för ett monopile-fundament vid vindkraftpark Storgrundet redovisas i Tabell 5. Uppskattningarna är gjorda utifrån vindkraftverk med en totalhöjd om 290 meter.

Tabell 4 Totalt estimerat bottenanspråk för tre fundamentsalternativ

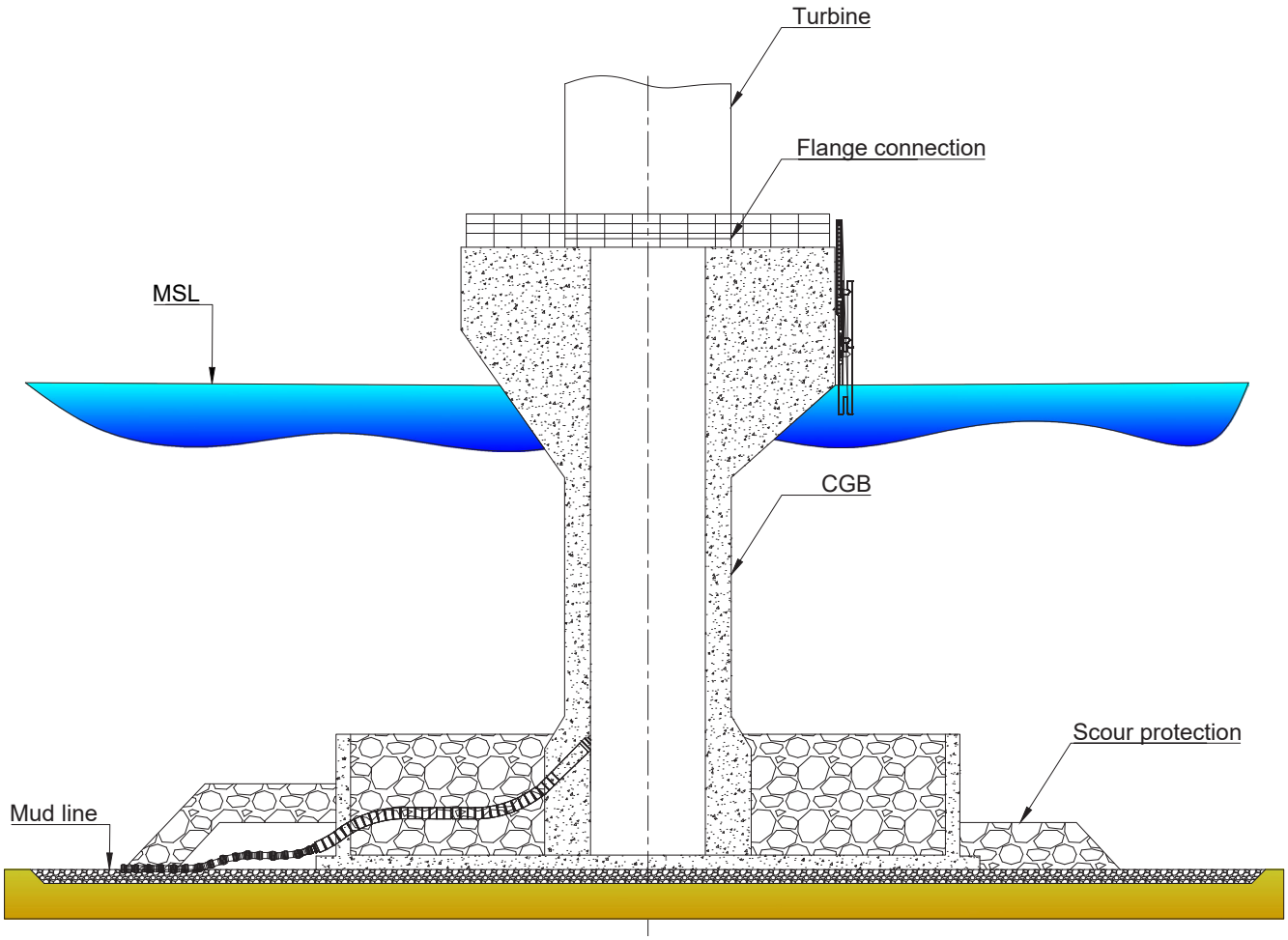
Fundamentsalternativ	Estimerat bottenanspråk (51 fundament)	Procent av area – ansökansområde
Monopile-fundament	200000 m2	Ca 0,2%
Gravitationsfundament	340000 m2	Ca 0,3%
Jacket-fundament	220000 m2	Ca 0,2%



Figur 4 Schematisk bild, monopile-fundament.
© 2021 wpd

Tabell 5 Preliminära dimensioner, monopile-fundament

Monopile-fundament	**Preliminär maximal dimension (1 fundament)**
Diameter monopile (m)	15
Diameter erosionsskydd (m)	67
Inbäddningsdjup (m)	55
Bottenanspråk fundament (m2)	180
Bottenanspråk erosionsskydd (m2)	3600
Andel av projektområdets totala area som upptas vid 51 stycken monopile-fundament inklusive erosionsskydd (%)	Ca 0,2



Figur 5 Principskiss gravitationsfundament. © 2021 wpd

4.2 Gravitationsfundament

Ett gravitationsfundament är en struktur som står på havsbotten som tack vare sin egen vikt är tillräckligt stabil för att klara de laster som påverkar fundamentet. Fundamentet består antingen av betong eller stål. Andra material komma att användas för delkomponenter, till exempelkompositmaterial och aluminium.

Utformningen av gravitationsfundament är vanligtvis sexkantiga, åttkantiga eller cirkulära. Oberoende av fundaments design är basen alltid bredare vid botten för att skapa stabilitet. Figur 5 visar en principskiss av ett gravitationsfundament.

Indikativa dimensioner för ett gravitationsfundament vid vindkraftpark Storgrundet redovisas i Tabell 6. Uppskattningen utgår från vindkraftverk med en totalhöjd om 290 meter.

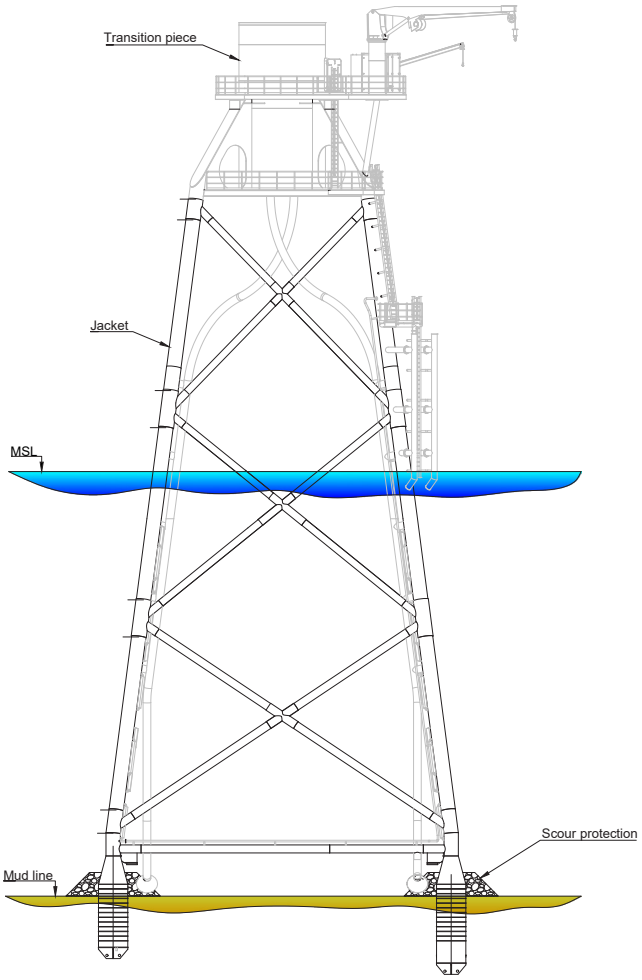
Tabell 6 Indikativa dimensioner, gravitationsfundament

Parameter gravitationsfundament	Preliminär maximal dimension
Diameter gravitationsfundament (m)	45
Diameter erosionsskydd (m)	100
Bottenanspråk fundament (m2)	1 350
Bottenanspråk erosionsskydd (m2)	6 500
Andel av projektområdets totala area som upptas vid 51 stycken gravitations-fundament inklusive erosionsskydd (%)	Ca 0,3

4.3 Jacket-fundament

Jacket-fundamentet kännetecknas av en stålstruktur av tvärgående karaktär där tre eller fyra ben förankras i botten via pålar. Tekniken passar bäst i djupare vatten med hård botten där aerodynamiska, hydrodynamiska och tyngdkraftsbelastningar kan fördelas genom stålstrukturen. En övergångsdel ansluter vindkraftverk med fundament. Konstruktionen är stabil och lämpar sig därför för vindkraftverk med stor totalhöjd och rotordiameter.

Jacket-fundament är vanligtvis tillverkade i stål, dock kan andra material att komma att användas för delkomponenter, till exempel kompositmaterial, aluminium, cement och betong.



Figur 6 Schematisk bild, jacket-fundament. © 2021 wpd

Figur 6 visar en principskiss av ett jacket-fundament. Fundamentets storlek är kopplat till vindkraftverkets specifikationer, vattendjup, vågklimat, islaster och geologiska förhållanden. Övergångsdelen har ett säkerhetsavstånd till vattenytan som är kopplat till vågförhållandena vid platsen.

Indikativa dimensioner för ett jacket-fundament vid vindkraftpark Storgrundet går att finna i Tabell 7. Uppskattningen är baserat på ett vindkraftverk med en totalhöjd om 290 meter.

Tabell 7 Indikativa dimensioner, jacket-fundament

Parameter jacket	**Preliminär maximal dimension**
Antal ben	3–4
Diameter ben (m)	4
Avstånd mellan ben (m)	45
Inbäddningsdjup (m)	70
Diameter erosionsskydd (m)	65
Bottenanspråk fundament (m2)	2 100
Bottenanspråk erosionsskydd (m2)	4300
Andel av projektområdets totala area som upptas vid 51 stycken jacket-fundament inklusive erosionsskydd (%)	Ca 0,2

4.4 Iskon

Inom verksamhetsområdet finns det risk för både atmosfärisk is och havsis. Det är därför av stor betydelse att fundament, transformatorstationer och vindkraftverk kan hantera de laster som kan uppstå vid isbildning.

För att hantera dessa laster kan fundament och vindkraftverk utrustas med teknik som förhindrar skada på fundament och infrastruktur. På fundamentet kan en iskon monteras som är utformad på ett sätt som böjer bort isen från fundamentet. Vidare finns det även möjlighet att installera sensorer som känner av islaster. Om lasterna blir för stora kan vindkraftverken stoppas för att förhindra att fundamentet överbelastas.

4.5 Erosionsskydd

Erosionsskydd används för att förhindra att fundamentets stabilitet försämras som ett resultat av hydrologiska och sedimentära processer. Inom den havsbaserade vindkraftsindustrin finns flera typer av erosionsskydd, däribland sten, sandsäckar och madrasser. Den mest förekommande metoden är att placera ett lager av sten och grus runt fundamentet.

Erosionsskyddets storlek är kopplat till fundamentets specifikationer, platsspecifika bottenförhållanden och oceanografi. Slutgiltigt val av erosionsskydd kommer att göras när fundamentsdesignen är gjord, och när den geotekniska och oceanografiska data har analyserats för varje specifik fundamentsplats. Erosionsskyddets höjd över botten bedöms uppgå till 1-2 meter.

Tabell 8 visar de preliminära dimensionerna avseende erosionsskyddets storlek för tre fundamentsalternativ samt transformatorstation.

Tabell 8 Maximala dimensioner på erosionsskydd

Erosionsskydd	**Preliminär maximal diameter**
Monopile-fundament	Ca 67 meter
Gravitationsfundament	Ca 100 meter
Jacket-fundament	Ca 65 meter
Jacket-fundament transformatorstation	Ca 90 meter

5. Transformatorstation

Spänningen på lågspänningssidan av en transformatorstation är normalt 66 kV för en havsbaserad vindkraftpark. För att minska elförluster till transmissionsnätet ökas vanligtvis spänningen via en eller flera transformatorstationer. Detta innebär att exportkablarna till land kan ha en högre spänning än inom internkabelnätet.

Antalet transformatorstationer som installeras är kopplat till vindkraftparkens nominella effekt, teknikoptimering och miljömässiga faktorer. Tabell 9 redogör för de elektiska specifikationerna för vindkraftpark Storgrundet.

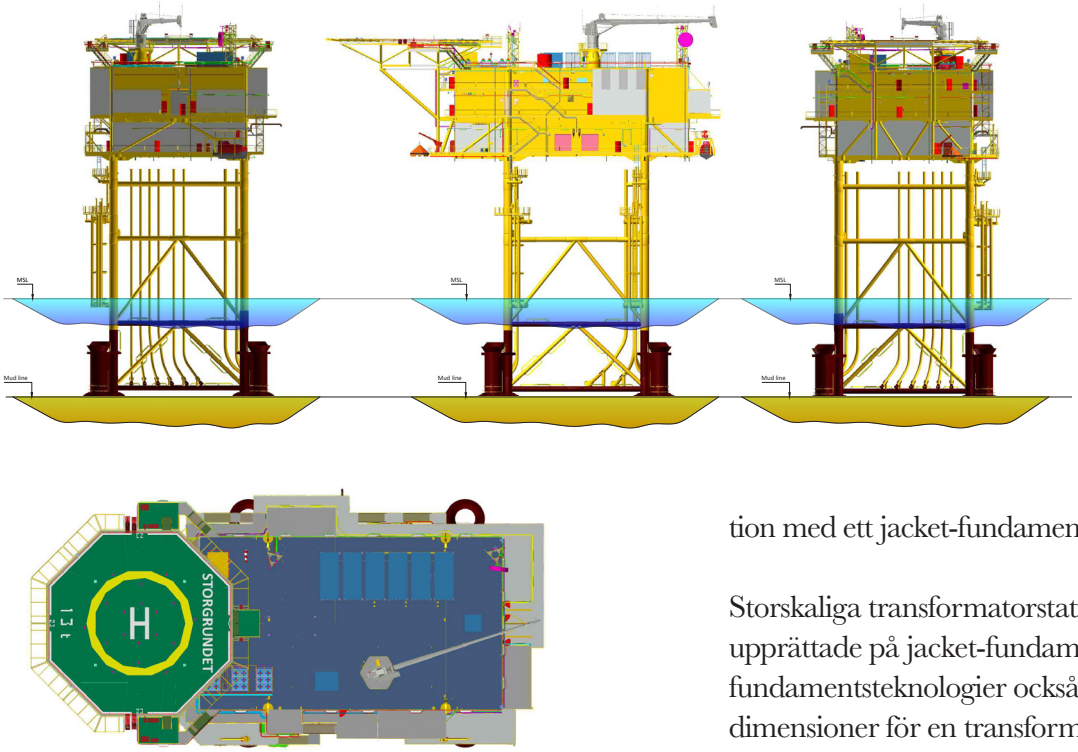
Tabell 9 Elektriska preliminära specifikationer för transformatorstationerna i parken

Parameter	Preliminära värden
Antal transformatorstation	Upp till 4 stycken
Antal exportkablar	Upp till 4 stycken
Spänningsnivå i vindkraftparken (kV)	66–120
Spänningsnivå exportkabel (kV)	120–400

Ett alternativt tillvägagångssätt är att använda landbaserade transformatorstationer. Det innebär att spänningen i kablarna från vindkraftverken förblir låga och sedan trappas upp via en transformatorstation på land. Detta medför att tillgängligheten till transformatorerna underlättas samt att redundans skapas. Däremot kommer antalet kablar som dras från vindkraftparken till land att vara fler om en lägre spänning i kablarna används. En uppskattning av antalet kablar som behövs vid användning av en landbaserad transformatorstation visas i Tabell 10 . Uppförandet av en transformatorstation till havs innebär ett större bottenanspråk men minskar förlusterna vid eldistribution i sådan omfattning att havsbaserade alternativ är att föredra.

Tabell 10 Preliminära specifikationer för vindkraftpark med transformatorstation på land

Parameter	Preliminära värden
Spänningsnivå (kV)	66 –120
Kabeldimension (mm2)	1200
Maximalt antal exportkablar	16



Figur 7 Exempel på transformatorstation med jacket-fundament. © 2021 wpd

5.1 Fundament och struktur

En havsbaserad transformatorstation består av två delar. Den första delen är ett fundament av samma typ som för havsbaserade vindkraftverk. Den andra delen är transformatorn med dess komponenter. Ett exempel på en transformatorstation med ett jacket-fundament visas i Figur 7.

Storskaliga transformatorstationer är vanligtvis upprättade på jacket-fundament. Dock kan andra fundamentsteknologier också användas. Estimerade dimensioner för en transformatorstation med en kapacitet upp till 300 MW visas Tabell 11.

Tabell 11 Preliminära dimensioner för en 300 MW transformatorstation på jacket-fundament

Transformatorstation – Parametrar	Preliminära dimensioner (300 MW)
Antal ben per jacket	4 stycken
Diameter ben (m)	5
Inbäddningsdjup (m)	70
Höjd över vattenytan (m)	35
Dimension Jacket-fundament (m)	35 x 35
Dimension transformatorhus [LxBxH] (m)	35 x 35 x 20
Diameter erosionsskydd (m)	65
Bottenanspråk fundament (m2)	Ca 1200
Bottenanspråk erosionsskydd (m2)	Ca 4300
Andel av projektområdets totala area som upptas vid 4 stycken stationer (%)	Ca 0,02

Allt större transformatorstationer utvecklas vilket innebär att det kan vara aktuellt att använda transformatorstationer med större kapacitet och dimensioner än vad som anges i Tabell 11 vid byggnationen av vindkraftpark Storgrundet. Större transformatorstationer skulle resultera i färre enheter och leda till ett mindre totalt bottenanspråk.

Tabell 12 Preliminära dimensioner för en transformatorstation på jacket-fundament med en kapacitet över 300 MW

Transformatorstation – Parametrar	Preliminära dimensioner (över 300 MW)
Antal ben per jacket	4 stycken
Diameter ben (m)	5
Inbäddningsdjup (m)	70
Höjd över vattenytan (m)	35
Dimension Jacket-fundament	55 x 35
Dimension transformatorhus [LxBxH] (m)	55 x 35 x 28
Diameter erosionsskydd (m)	75
Bottenanspråk fundament (m2)	Ca 2000
Bottenanspråk erosionsskydd (m2)	Ca 5700
Andel av projektområdets totala area som upptas vid 2 stycken stationer (%)	Ca 0,01

Vid fundamenten finns fartyglandningar som kan användas vid drift och underhållsarbete. Fartyglandningarna är lokaliserade på varsin sida om fundamentet då vind- eller vågriktningen påverkar vilken sida som är mest lättåtkomlig. Personalen kan nå de högre lokaliserade delarna av transformatorstationen via en extern stege och en plattform.

Fundamenten kan vara utrustade med erosionsskydd för att upprätthålla strukturens stabilitet och för att undvika lokal erosion till följd av sedimentrörelse och förskjutning av havsbotten.

5.2 Transformatorhus

Ovanpå fundamentet är transformatorhuset lokaliserat. Transformatorhuset inrymmer de nödvändiga komponenterna för att höja vindkraftparkens spänning. Den slutna konstruktionen som normalt är tillverkad i stål är designad för att skydda komponenterna mot extrema väderförhållanden.

Exempel på huvudkomponenter i transformatorstationen är följande:

- *Transformator*
- *Kontroll- och övervakningssystem för transformatorstationen och vindkraftverken*
- *Kopplingsskåp*
- *Brandlarmscentral*
- *Tank för släckningsmedel*
- *Pumpar för släckningsmedel*
- *Oljeavskiljare*
- *Nödgeneratorer*
- *Bränsletank för nödgeneratorer*

Utöver detta kan känslig utrusning förvaras i en skyddad miljö som är utrustad med värme, ventilation, AC och brandsläckningssystem. Ovanpå transformatorhuset kan det finns en helikopterplatta.

5.3 Oljor och fluider

Tabell 13 redogör för oljor och fluider som kan komma att används vid drift av en transformatorstation.

Tabell 13 Oljor och fluider i transformatorstation

Oljor och fluider	Mängd (estimerad)
ABC-pulver (kg)	330
Inergen (l)	21000
Glykol (m3)	3,5
Koldioxid (kg)	75
Caldigel (kg)	10
Diesel (m3)	450
Olja (m3)	225
Daphne olja (l)	70
Smörjolja (m3)	1,5
Hydraulolja (m3)	2
Freon (kg)	450
Förseglad blysyrabatterier (PC)	180

6. Elanslutning

Den producerade elektriciteten i vindkraftparken distribueras vidare via exportkablar till transmissionsnätet. Kablarnas egenskaper och material beror på var i distributionsnätet kabeln används. Sträckan från vindkraftverken till inmatningspunkten kan delas in i tre olika delsträckor där olika typer av kablar behövs.

- *Vindkraftparkens interna nät. (Inter-array cable)*
- *Exportkablar som förbinder vindkraftparkens transformatorstationer med land.*
- *Luftledningar eller nedgrävda kablar från kusten till en anslutningspunkt i stamnätet.*

6.1 Internt kabelnät

Vindkraftverken är kopplade till det interna kabelnätet via s.k. ”J-tuber” vilket är kablar som går från toppen av vindkraftverket och ner genom strukturen. Dess design och kabeldragning genom strukturen beror på vilken typ av fundament som används.

Inom det interna nätet kommer vindkraftverken att vara ihopkopplade i grupper eller ”strängar “av undervattenskablar som i sin tur kopplas samman till transformatorstationer som sedan övergår i exportkablar till land. Materialet i kablarna i det interna nätet är ofta samma som för exportkablar, men dimensionerna på exportkablarna är större. Spänningsnivån i det interna nätet och i exportkablarna kommer också påverka vilken kabeldiameter som krävs för respektive sträcka.

Kabelspecifikationer för det interna kabelnätet och exportkablar visas i Tabell 14 och Figur 8 vilka är estimerade värden för en vindkraftpark med 51 vindkraftverk. Den uppskattade kabellängden för det interna kabelnätet beror på antalet vindkraftverk.

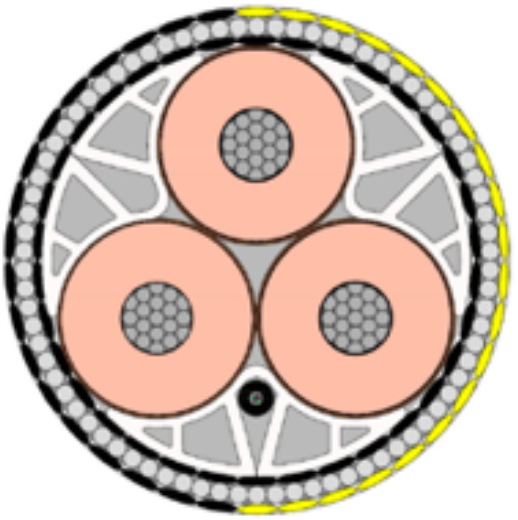
6.2 Exportkablar

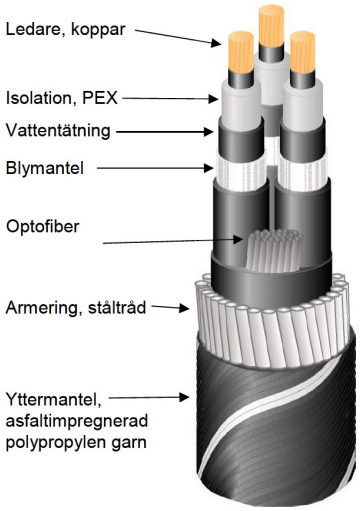
Vid distribution i exportkablarna kan både växelström och likström användas men då projektområdet är nära land kommer växelström att föredras. Växelströmskablarna kan antingen vara i 1-fas eller 3-fas där det finns möjlighet att kombinera strömkablarna med optiska fiberkablar för kommunikation. Den slutgiltiga designen av vindkraftparken och dess totala effekt påverkar antalet exportkablar som krävs. Antalet exportkablar beror också på den effekt som kan distribueras per kabel.

Tabell 14 Preliminära specifikationer för det interna nätet och exportkablar

Komponent	**Kabelinformation (preliminär)**
Strömledarmaterial	Koppar eller aluminium
Isolationsmaterial	Plast
Mekaniskt skydd	Yttre armering av stål
Kabeldjup (m)	0–3
Kabeldimension interna nätet (mm2)	95–1 000
Kabeldimension exportkabel (mm2)	300–1 600
Maximalt antal exportkablar vid 132 kV och 630 mm2 kabel	8
Maximalt antal exportkablar vid 220 kV och 1200 mm2 kabel	4
Kabelvariant	PEX/XLPE/EPR
Maximal bredd på dike (m)	Ca 2
Avstånd mellan exportkablar (m)	30–100
Uppskattad bredd på skydd för ej nedgrävda kablar (m)	Ca 1-1.5
Uppskattad längd internt kabelnät (km)	Ca 100 km
Uppskattat bottenanspråk internt kabelnät för ej nedgrävda kablar (m2)	Ca 142 000
Andel av projektområdets totala area som upptas av det interna kabelnätet (%)	Ca 0,1
Vikt exportkabel (ton/km)	50–90
Vikt kabel i interna nätet (ton/km)	15–40

Väl på land övergår eldistributionen från exportkablar till markkablar i en skarvplats som är placerad en bit in på land. Vanligtvis övergår markkablarna sedan i luftledningar i en kopplingsstation som ansluts till det regionala nätet via en anslutningspunkt i transmissionsnätet. Lokaliseringen för denna anslutningspunkt beslutas i samråd med Svenska Kraftnät och nätägaren.





Figur 8 Genomskärning av kabel och dess olika komponenter

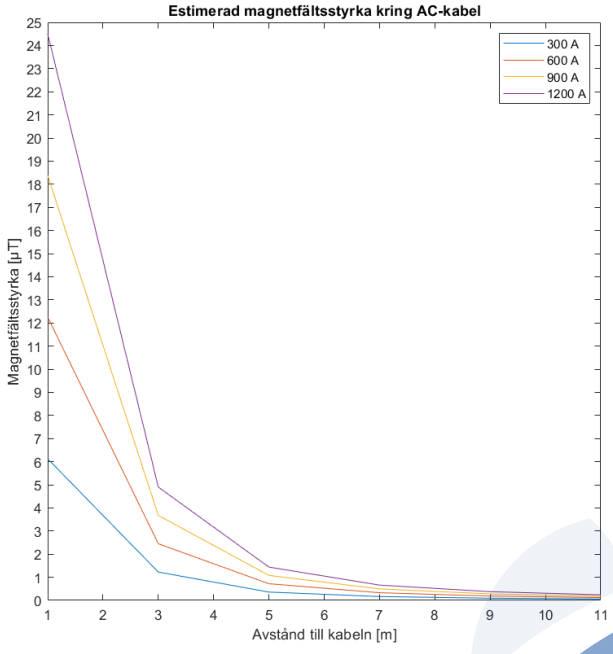
6.3 Elektromagnetiska fält

Ström genom en ledare bildar ett elektromagnetiskt fält. Det är tvådelat och består av ett elektriskt fält och ett magnetiskt fält. Det elektromagnetiska fältets styrka beror på strömstyrkan som är högst vid maximal elproduktion. Dess styrka kring ledaren avtar snabbt med ökat avstånd från ledaren och anses försumbar efter några meter. Karaktären på fälten kring ledaren kommer att se olika ut om 1-faskablar eller 3-faskablar används. Strömnivån, och därmed styrkan på det elektromagnetiska fältet, beror på spänningsnivån. Det elektriska fältets utbredning kring ledaren kan blockeras av materialet inuti kabeln men det magnetiska fältet kan inte blockeras på ett lika effektivt sätt. Det magnetiska fältet kan i sin tur inducera ett elektriskt fält utanför ledaren. Det magnetiska fältet kring ledaren avtar snabbt med avståndet och blir försumbart jämfört med jordens egna statiska magnetfält. Däremot kommer magnetfältet kring en växelströmsledare att skifta med strömmens frekvens vilket skiljer sig från jordens statiska magnetfält. Nedgrävning av kablar eller användning av externa skydd innebär ett ökat avstånd mellan ledare och marint djurliv. Strömstyrkan i de olika delarna av det interna kabelnätet beror på hur vindkraftverkens kablar kopplas samman. Den indikativa magnetfältsstyrkan kring kablarna inom det interna nätet för olika potentiella strömstyrkor presenteras i figuren nedan. Dessa värden beror på materialets magnetiska permeabilitet, om det är 3-fas eller 1-fas, skydd på kabeln, avstånd och mer. I Figur 9 kan det observeras hur den estimerade styrkan på magnetfältet avtar med ökat avstånd från kabeln.

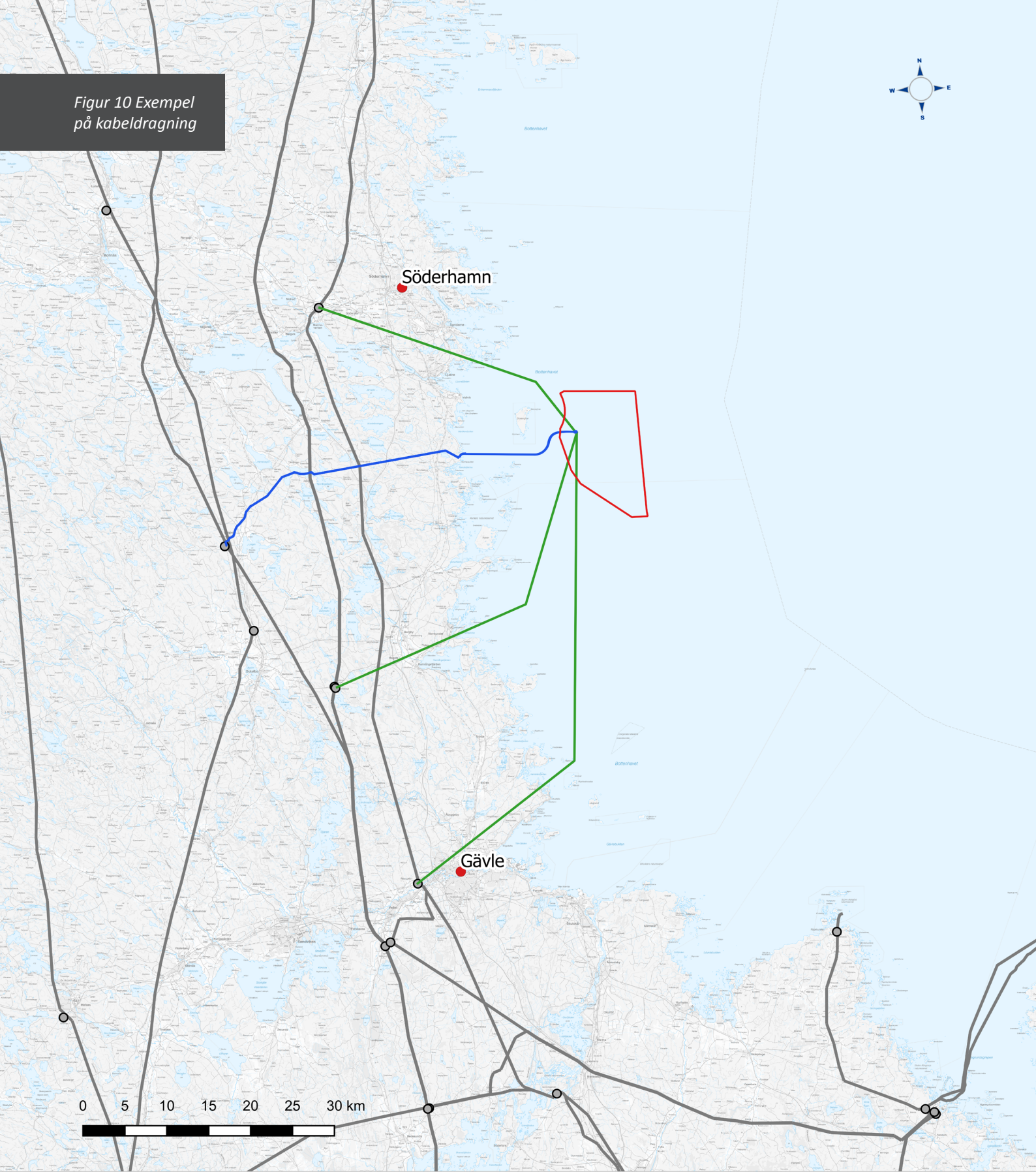
6.4 Anslutningspunkt

Det är i nuläget inte bestämt vilken station i transmissionsnätet som vindkraftparken ansluter till. Det råder idag kapacitetsbrist i Sveriges elnät och därav ett behov av utbyggnad. Detta medför att nya stationer kan tillkomma under de kommande åren och tillföra nya möjligheter för vindkraftpark Storgrundet. Det finns idag planer för att bygga ut elnätet längs kusten vilket skulle underlätta nätanslutning för vindkraftpark Storgrundet. Indikativa besked från Svenska kraftnät gör gällande att en 400kV-station kan komma att anläggas i området. Kabeldragningen i den befintliga koncessionen för Storgrundet är väl utformad och kommer vara fördelaktigt lokaliserad med avseende på den nya planerade kustledningen. Vilken anslutningspunkt som väljs kommer att påverka hur kabeldragningen till havs och över land utformas och den totala kabellängden som behövs. Exempel på kabeldragningar visas i Figur 10.

Figur 9 Indikativ styrka på magnetfältet vid olika avstånd från sjökabeln och för olika strömstyrkor.



Figur 10 Exempel på kabeldragning



Teckenförklaring

- Projektområde
- Alternativ kabeldragning
- Befintlig koncenssion
- Elnät*
- Stationer i stamnätet*

Storgrundet
Alternativ Kabeldragning

Created by: wpd Offshore Stockholm AB
Skala 1:600 000
Koordinatsystem:SWEREF99TM
EPSG:3006
Datum: 2021-05-17

© wpd offshore Stockholm AB, 2021
www.wpd.se

*© Affärsverket Svenska kraftnät

7. Sjötrafik och övrig infrastruktur

7.1 Installationsfartyg

Vid anläggning av en havsbaserad vindkraftpark används olika typer av fartyg vid installation och transport av komponenter. Beroende på komponent kan speciella installationsfartyg behövas.

En viktig del i installationsprocessen är lyft med stora kranar. Kranlyft behövs bland annat vid installation av fundament, turbiner och transformatorstationer. Exempel på installationsfartyg som används är Jackup-pråm (eng. ”Jackup Barges”), installationsfartyg med automatisk framdrivning (s.k. SPIV, eng. ”Self-propelled installation vessels”) och andra båtar med utfällningsbara ben (eng. ”Liftboats”). Figur 12 visar installation av ett vindkraftverk.

Vid installation av andra komponenter används också fartyg för tunga lyft (eng. ”Heavy-lift vessels”) som inte kan höjas ovanför vattenytan men som har en stor lyftkapacitet. Vid installation av transformatorstationer och fundament kan dessa vara aktuella.

Installationsfartygen har olika egenskaper vad gäller räckvidd, lyftförmåga, hastighet och transportförmåga vilket påverkar deras lämplighet. Ett exempel på ett installationsfartyg som är lämpat för vindkraftpark Storgrundet är Atlas C-class av Knud E Hansen. Atlas C-class kan hantera turbiner över 20 MW (Foxwell, 2020).

Tabell 15 Specifikationer för ett exempelfartyg

Fartyg	Transportvikt	Maximal Lyftförmåga	Hastighet
Atlas C-class	18 000 ton	3 000 ton	12 knop

För att installera elkablar till havs behövs kabelläggningsfartyg. Fartygen är utrustade för att kunna lägga elkablar över stora sträckor och kan utnyttja installationsmetoder som ROV (Remotely operated vehicle) och plogar, vilka beskrivs i ett senare avsnitt.

Utöver fartygen som beskrivits ovan kan andra typer av båtar och fartyg behöva användas för andra delar av installationsprocessen. Detta inkluderar assistans av större fartyg och underhållsarbete.

Vid installation av havsbaserade vindkraftverk används kranar för att lyfta vindkraftverkets komponenter på plats.

Figur 11 Installation av vindkraftverk. © 2021 wpd

Figur 12 Kabelläggningsfartyg för exportkablar © 2021 wpd

7.2 Sjötrafik vid installation

I samband med installationen kommer det ske transporter med fartyg till och från området, vilket medför en betydande ökning av trafik i området jämfört med idag. Arbetena kan också involvera exempelvis arbetsbåtar och prämekipage med begränsad manöverförmåga. Risken för kollisioner kan därmed antas öka under etableringsfasen. Arbeten från exempelvis plattformar som delvis ligger utanför det planerade parkområdet kan innebära att fartygstrafik kan komma att passera väldigt nära eller kollidera om dessa inte är medvetna om förekomsten av arbeten utanför området. Information om pågående arbete bör utfärdas via Ufs, notice to mariners, utmärkning i sjökort etc. I dagsläget trafikeras det aktuella projektområdet av fartygstrafik. Under byggnation kommer trafik dirigeras runt projektområdet.

7.2.1 Sjötrafik under driftsfasen

De generella riktlinjerna för sjötrafik kring vindkraftparken avseende säkerhetsavstånd är baserade på kollisionsrisken och att det ska finnas tillräckligt med utrymme för en undanmanöver. En eventuell kollisionsundvikande manöver är inte dimensionerande för säkerhetsavståndet. Istället visar en analys att det snarare är marginaler för nödankring som i detta fall bör vara dimensionerade för säkerhetsavstånd. Beräkningarna indikerar att ett avstånd på 520 m till vindkraftverken är tillräckligt för att hinna nödankra. Med föreslagen parkutformning är det möjligt för fartygen att upprätthålla ett ett säkerhetsavstånd till vindkraftparken på minst 520 m.

Figur 13 Exempel påhamnlayout.
© 2021 wpd

7.3 Hamnar

En stor del av förberedelsen, byggnation och underhållet av en havsbaserad vindkraftpark kommer att utgå från en installations- och servicehamn. Den kan användas för förvaring av vindkraftverkets komponenter inför installationen, arbete med förmontering, tillverkning och sjötrafik. För att tekniskt klara detta kan hamnen behöva byggas ut eller på andra sätt förberedas. Avståndet till projektområdet men också till fabrikerna, där vindkraftverkets olika komponenter tillverkas, är en viktig faktor när hamnen väljs. Hur väl utrustad hamnen är och dess avstånd till projektområdet påverkar vilka fartyg som kan användas, installationstider och kostnader. Figur 13 visar exempel på en hamnlayout vid installation av en havsbaserad vindkraftpark. En lämplig hamn bör i dagsläget eller efter ombyggnation ha följande förutsättningar:

- *Djupt vatten*
- *Förstärkt kaj*
- *Stora förvaringsutrymmen*
- *Lättillgänglig*
- *Lämpligt utrymme och anläggning för att hantera fundament*

7.4 Meteorologisk utrustning

Meteorologisk utrusning i form av mätmaster och LIDAR (ljusradar) kan komma att installeras inom ansökansområdet. Syftet med mätutrustningen är att utföra meteorologisk mätningar innan byggnation och under drifttiden. Mätmastens totalhöjd skulle uppgå till maximalt 170 meter. LIDAR-tekniken ansluts till vindkraftverkets maskinhus alternativt anläggs på en flytande boj.

8. Anläggningsfas

8.1 Förberedande undersökningar

Som en del av anläggningsarbetena kommer vissa undersökningar göras för att slutligt fastställa exakta positioner för verk och kablar, till exempel för att säkerställa att den valda positionen är rätt med hänsyn till bottenförutsättningar, geotekniska förutsättningar, geomorfologi, kulturmiljö och risk för oexploderad ammunition. Exempel på undersökningar som kan komma att genomföras:

- *Flerstråleekolod*
- *Sidavsökande sonar*
- *Bottenpenetrerande ekolod*
- *Magnetometerundersökningar*
- *Geotekniska undersökningar och borrning*
- *CPT (Cone penetration test)*

De förberedande undersökningarna inleds med att detaljerade geotekniska undersökningar genomförs vid fundament och kabelkorridorer. Vidare görs geotekniska undersökningar vilket innebär att borrprover tas. Med hjälp av ROV eller dykare kontrolleras att det inte finns något på bottnen av marinarkeologisk art som undersökningarna inte lokaliserat och som riskerar att skadas. Undersökningarna bildar grunden för konstruktion och dimensionering av fundament och annan infrastruktur.

8.2 Installation av fundament

Fundamenten tillverkas på land för att sedan transporteras till projekthamnen. Installationsfartyg används sedan för att installera fundamentet inom projektområdet. Därtill kan även erosionsskydd i form av sten komma att anläggas vid varje fundament.

8.2.1 Installation av monopile-fundament

Vid installation av monopile-fundament används oftast flera installationsfartyg för att effektivisera installationsprocessen. Detta inkluderar transport av monopile-fundament och övergångsdelar.
När monopile-fundamentet installeras lyfts fundamentet upp vertikalt via en kran och placeras på havsbotten. En hydraulisk hammare forcerar ned fundamentet till önskat djup under havsbotten. Om botten består av hårt material kan borrning krävas. Installationstiden beror på geotekniska förhållanden, fundamentets diameter och inbäddningsdjup, samt hammarens effekt.

Efter att fundamentet installerats på havsbottnen ansluts en övergångsdel till monopilefundamentet. Övergångsdelen installeras vanligtvis omedelbart efter pålning av samma fartyg som installerade fundamentet. När fundamentet är placerat på botten ansluts kablar via ”J-tubes” vid fundamentets nederdel och dras upp genom fundamentet.

Nedan ges en generell processbeskrivning vid installation av ett monopile-fundament.

1. *Innan installationen påbörjas görs en platsspecifik analys för att utreda bottenförhållandena.*
2. *Om utredningen visar att havsbotten behöver bearbetas kan förberedande arbete krävas. Detta inkluderar borttagning av större stenar och att platsen runt fundamentet jämnas ut med grus och småsten.*
3. *Om erosionsskydd krävs kan det anläggas innan eller efter att fundamentet är på plats.*
4. *Installationsfartyg och eventuella stödfartyg anländer därefter till platsen.*
5. *Monopile-fundamentet lyfts upp via en kran för att sedan sänkas ner till botten.*
6. *Fundamentet placeras på botten. Om borrning krävs kan detta göras från installationsfartyget.*
7. *Avslutningsvis ansluts övergångsdelen på monopilefundamentet.*

8.2.2 Installation av gravitationsfundament

Gravitationsfundament transporteras via ett fartyg ut till projektområdet. Alternativt kan de också bli bogserade ut till anläggningsplatsen då fundamentet är självflytande innan installation. Fundamentet kräver en slät botten vilket medför att förarbete kan krävas vid platsen.
Installation av ett gravitationsfundament sker i följande sekvenser:

Figur 14 Installation av monopile-fundament © 2021 wpd

1. *Innan installationen påbörjas görs en platsspecifik analys för att utreda bottenförhållandena.*
2. *Om utredningen visar att havsbotten behöver bearbetas kan förberedande arbete krävas. För att ett gravitationsfundament ska kunna placeras krävs en jämn och fast botten. Detta kan innebära att muddring krävs och att bottenmaterial kan behöva grävas bort eller fyllas ut för att få ytan fast och jämn. Marken muddras och stenblock tas bort. När ytan är förberedd jämnas den ut med krossmassor för att hamna inom bestämda toleransnivåer.*
3. *Gravitationsfundament transporteras därefter till platsen via ett fartyg. Alternativt bogseras fundamentet. Beroende på transportval krävs olika typer av installationsfartyg.*
4. *Gravitationsfundament sänks till botten och ballast tillförs.*
5. *Avslutningsvis dras kablar genom fundamentet.*

8.2.3 Installation av jacket-fundament

Vid installation av ett jacket-fundament transporteras det till projektområdet via ett installationsfartyg. Med hjälp av en kran sänks fundamentet ner mot botten. Det finns två olika installationsmetoder. Den första innebär att pålar redan har förankrats i botten innan fundamentet anläggs. Det andra alternativet går ut på att pålning görs i samband med att fundamentet anläggs.

Nedan ges en generell beskrivning av installationsförloppen för ett jacket-fundament där pålning görs innan fundamentet anläggs.

1. *Innan installationen påbörjas görs en platsspecifik analys för att utreda bottenförhållandena.*
2. *Om utredningen visar att havsbotten behöve bearbetas kan förberedande arbete krävas. Detta inkluderar borttagning av större stenar eller att platsen runt fundamentet jämnas ut med grus och småsten.*
3. *Om erosionsskydd krävs kan det anläggas innan eller efter att fundamentet är på plats.*
4. *Installationsfartyg och eventuella stödfartyg anländer därefter till platsen.*
5. *Pålningsmall anläggs på botten. Därefter pålas eller borras pålarna ner till önskat djup.*
6. *Jacket-fundamentet lyfts upp av en kran för att sedan sänkas ner till botten.*
7. *Fundamentet ansluts till pålarna.*

Nedan ges en generell beskrivning av installationsförloppen för ett jacket-fundament där pålning görs i samband med att fundamentet anläggs.

1. *Innan installationen påbörjas görs en platsspecifik analys för att utreda bottenförhållandena.*
2. *Om utredningen visar att havsbotten behöver bear betas kan förberedande arbete krävas. Detta inklu derar borttagning av större stenar eller att platsen runt fundamentet jämnas ut med grus och småsten.*
3. *Om erosionsskydd krävs kan det anläggas innan eller efter att fundamentet är på plats.*
4. *Installationsfartyg och eventuella stödfartyg anländer därefter till platsen.*
5. *Jacket-fundamentet lyfts upp av en kran för att sedan sänkas ner till botten.*
6. *Pålar hamras eller borras ner till önskat djup.*
7. *Jacket-fundamentet ansluts till pålarna.*

8.3 Installation av transformatorstation

Mudmattor placeras på botten för att skapa temporär stabilitet åt fundamentet innan pålning eller borrningsarbete påbörjas. Vidare kan även erosionsskydd placeras runt fundamentet. Beroende på vikt och storlek kan antingen transformatorstationen placeras på fundamentet via ett lyft, alternativt via flera lyft där olika moduler installeras var för sig. Efter att fundament och transformatorstation är på plats krävs arbete för att driftsätta anläggningen.

8.4 Installation av internt och externt kabelnät

Det finns ett antal installationsmetoder för kablar till havs. Installationen kommer att se olika ut för kablar inom det interna elnätet och exportkablar. Då kablarna i det interna nätet är är av mindre storlek kan andra fartyg användas för transport och installation.

Kabelläggningen kan delas in områden där den grävs ner på ett visst djup och där den läggs på havsbotten för att sedan täckas. Var kablarna behöver grävas ner beror på följande faktorer:

- *Risk för skador från fartyg eller fiske*
- *Område med djupt gående is (>15m)*
- *Avstånd till land*
- *Lokala strömningsförhållanden*
- *Risk att elkabeln blir hängande mellan två höjder*
- *Geologiskt bottensubstrat*
- *Förekomst av andra kablar*
- *Vattendjup*

Om kablarna inte kan grävas ner kan de istället läggas på bottenytan och skyddas genom att täckas med stenblock, sediment, betongmadrass, externt skydd eller andra hinder. Det hårda geologiska substratet som dominerar i projektområdet kan försvåra nedgrävning av kablar.

Sjökablar brukar installeras via kabelspolning, plogning, grävning eller muddring. Stenblock kan behöva flyttas eller skäras med speciell utrustning. Det behöver inte vara en enskild metod som används utan olika delar av sträckan kan behöva installeras med olika metoder. Den passage där exportkablarna dras bildar en kabelkorridor. Dess areal beror på hur många exportkablar som krävs och det nödvändiga avståndet mellan kablarna. När kablarna grävs ner uppgår dikets djup till 1–3 meter. Kabelplogar kan användas för att lägga kablarna i diken och plogens bredd är 10–12 meter. Plogen gräver ett dike med ett adekvat djup och lägger direkt i kabeln för att sedan täcka diket med sediment. Sjökabeln matas från plogen medan den dras av ett fartyg. Kablarna kan också läggas i redan utgrävda diken som sedan täcks med jord, grus, sand, betong eller annat material som skydd. Grävning bidrar till sedimentspridning och metoder som förebygger eller minskar sedimentspridningen kan komma att implementeras i olika utsträckning.

Istället för en plog kan också en fjärrstyrd farkost (Remotely operated vehicle, ROV) användas, men den är mer lämplig för det interna nätet och dess mindre kablar. Den kan också användas för att fastställa att kablarna är korrekt installerade.

Kablar kan också dras till land genom ett horisontellt hål som borrats av en horisontellborr. Hålet borras från land och är förstärkt med ett plaströr där kabeln kan dras igenom. Detta kan behövas om grävning är problematiskt eller nära land där exportkablarna ska dras till skarvgropen.

Tiden som krävs för installation av kablar beror på vilken kabeltyp det gäller och vilken metod som väljs. Vid förekomsten av skador på elkablar kan olika tekniker användas för att reparera skadade segment till havs eller på land. Tillgång till fartyg, väderförhållanden och annat kan påverka den tid som krävs för installation. På land kommer etableringen av kablar och luftledningar för eldistribution att ske i samråd med Svenska Kraftnät och lokala nätägare. När installationen är avslutad rapporteras sjökablarnas koordinater till Sjöfartsverket.

Figur 15 Installation av blad. © 2021 wpd

Vid installation av sjökablar undviks i största möjliga mån korsning av kablar. Om kabeldragningen ändå behöver korsa andra kablar kan en del tekniker implementeras. I dessa sektioner av kabelsträckan genomförs installationen genom att först skydda den befintliga kabeln med något typ av hinder som till exempel en betongmadrass. Samma typer av skydd används allmänt för kablar vid kustnära områden. Eventuell kabelkorsning görs i samråd med ägaren av den korsade kabeln.

8.5 Installation av vindkraftverk

Installation och arbete till havs innebär vissa utmaningar, vilket medför att montering på land kan underlätta installationen. Installation av tornen och rotor görs på redan upprättade fundament.

En redan monterad konstruktion medför dock större utmaningar vad gäller transport. Då turbinbladen som förväntas användas i parken är större än vad som finns tillgängligt idag kommer stora fartyg att krävas för transport av bladen. Den högre höjden på tornet kommer dessutom att leda till ett behov av större kranar.

Det finns olika installationsmetoder för konstruktion till havs. Installationsmetoden beror på hur många av vindkraftverkets komponenteter som redan är monterade. I dagsläget brukar tornet förmonteras i två eller tre delar men detta kommer bero på den totala höjden på tornet. Två eller tre rotorblad kan förmonteras i navet vilket innebär vissa för- och nackdelar vid transport och installation. Bladen kan också installeras separat vilket kräver mindre utrymme på land. Däremot innebär installation av enskilda blad till havs en större utmaning då lyften är mer instabila. Detta gör att denna metod är mer känslig för dåligt väder. Det har även utförts projekt där hela tornet, nav och rotorblad förmonterats på land och sedan installerats i ett lyft.

För havsbaserade vindkraftverk brukar transporten av turbinkomponenterna och själva installationen utföras av samma fartyg. Separata installations- och transportfartyg kan också användas men då krävs fler manövrar. Transport kan ske dels genom att ett fartyg endast transporterar en specifik komponent, dels genom att fartyget transporterar alla ingående delar för ett vindkraftverk. Hamnstorlek, kostnader och tidsbegränsningar är faktorer som avgör val av transport. Fartygen kan utnyttja olika logistiska metoder för att effektivisera transporten av vindkratskomponenter.

Arbete på höga höjder innebär känslighet för höga vindhastigheter, vilket kan innebära att arbetet primärt utförs under delar av året med lägre vindhastigheter och önskvärda väderförhållanden. Detta innebär också att antalet lyft i installationsprocessen är en viktig faktor. Prognoser för vädret i samband med installationen är också en viktig parameter. Dåliga väderförhållanden kan omöjliggöra arbete och transporter till vindkraftverken.

Då installationen förväntas ske under senare delen av 2020-talet kan nya metoder hinna utvecklas som förändrar förutsättningarna och tillvägagångssätten.

8.6 Installationsarbete – Pålningsenergi och ljudutbredning

Under installationen av vindkraftparken kommer en ökad ljudnivå råda i området till följd av vissa installationsmoment. Det mest ljudintensiva momentet är pålningen som görs vid installation av vissa fundamenttyper för vindkraftverken och transformatorstationer. Monopile-fundament kräver pålning och ger upphov till störst ljudutbredning vid installation. Slagpålning, vibrationspålning, pulspålning och borrning är alternativa pålningsmetoder. Slagpålning fungerar på större djup och är snabbare men leder till större ljudutbredning. Storleken på den ljudalstring som sker beror på storleken på fundamentet och därmed den pålningsenergi som krävs. Genom att öka slagfrekvensen och minska pålningsenergin kan samma arbete utföras med mindre ljudutbredning. Slagfrekvensen kan höjas från 40 slag/min, som är normal takt, till 90 slag/min men med mindre energi per slag. Pålningsenergin i varje slag kan också succesivt ökas under en bestämd tidsperiod vilket har en inverkan på bullernivån. Idag används hammare som kan generera slag med en pålningsenergi på upp till 5000 kj. Hur hög ljudnivån är på ett visst avstånd från ljudkällan och ljudutbredningen. Parametrar som vattendjup, salthalt, densitet, typ av bottensediment och

Figur 16 Installation av transformatorstation. © 2021 wpd

berggrund påverkar ljudutbredningen. Utöver val av fundament och pålningsmetod kan olika förebyggande metoder implementeras för att minska ljudutbredningen. Vid pålning kan användning av bubbelridåer, isoleringsrör och kofferdammar minska ljudutbredningen. Genom att implementera dessa ljudreducerande tekniker kan ljudnivån minska med upp till 20 dB. Vid jämförelser av ljudnivåer kan en del olika typer av ljudnivåer analyseras. SEL (eng. ”Sound Exposure Level”) är ett mått för ljudexponeringsnivån och anges i dB re 1 µPa2s och kan anges för en enkel impuls eller som ett viktat medelvärde. Utöver detta finns också SPL (eng. ”Sound Pressure Level”) som mäts i enheten dB re 1 µPa vilket indikerar ljudtrycksnivån i vatten. Den uppskattade ljudutbredningen som sker i samband med installationen anges i Tabell 16:

Tabell 16 Estimerad ljudalstring vid ljudkällan i samband med installation (Källa wpd)

Aktivitet	Ljudnivå
Muddring	Ca 185 dB re 1 µPa @ 1 m (RMS)
Borrning	Ca 180 dB re 1 µPa @ 1 m (RMS)
Pålning (750kj)	Ca 226 dB re 1µPa2s SEL (enkel)
Kabelläggning	Ca 170 dB re 1 µPa @ 1 m (RMS)
Placering av stenar	Ca 170 dB re 1 µPa @ 1 m (RMS)
Dikning	Ca 170 dB re 1 µPa @ 1 m (RMS)
Fartyg	Ca 165-170 dB re 1 µPa @ 1 m (RMS)

8.7 Borrning vid installation av fundament

Om botten är av hård karaktär kan borrning krävas vid installation av jacket- respektive monopile-fundament. Den vanligaste metoden är borrning från en borrplattform. Borriggen har ett rotationsbord i den övre delen och i förlängningen av borren en borrkrona med bergborrstift i hårdmetall. Vilket antal och vilken typ av stift som används beror på det material som borren ska gå igenom.

Borrningen sker via ett foderrör. Foderröret är en metallisk struktur med en diameter något större än borren. Dess uppgift är att vägleda borren och borrkronan genom luft, vatten och mjuka material. Det har även som funktion att förhindra att material från borrningen sprids okontrollerat samt att förhindra att material utanför foderröret kan tränga in och påverka borrningen. Foderröret hålls på plats med en ram som sitter monterad på den pråm eller det fartyg som används.

Det borrkax som bildas skickas upp genom foderröret med den vatten- och luftblandning som cirkuleras under borrningen. När borrningen är slutförd installeras fundamentet och utrymmet mellan pilen och intilliggande material tätas.

Tabell 17 redogör för volymen borrkax som kan produceras vid borrning vid Storgrundet.

Tabell 17 Beräknad volym borrkax vid borrning vid storgrundet

Fundament	Beräknad maximal volym borrkax (1 fundament)	Beräknad volym borrkax (51 fundament)
Monopile	10 000 m3	510 000 m3
Jacket	3 600 m3	183 600 m3

9. Drift och underhåll

Efter att byggnations- och testfasen är färdigställd inleds driftsfasen av projektet. Ett havsbaserat vindkraftverk producerar normalt energi i intervallet 3–30 m/s. Vid höga vindhastigheter, runt 25–30 m/s, kan rotorbladen justeras för att minska eller helt ta bort den skapade lyftkraften vilket får vindkraftverket att stanna. Detta görs för att verket inte ska ta skada. När vinden har återgått till säkra vindförhållanden återupptas elproduktionen. Vanligtvis uppnås maximal effekt runt 12–14 m/s. Vindkraftverk producerar elektricitet under stora delar av året och tiden för elproduktion beräknas uppgå till 90% av året, inklusive avbrott för service eller ogynnsamma väderförhållanden.

Individuella vindkraftverk och vindkraftparken i sin helhet kommer att övervakas och styras enligt SCADA-systemet (som nämnts i avsnitt 3.6 Kontroll-och övervakningssystem ovan). Utöver säkerhetssystem under drift behövs också kontinuerligt underhåll och service för att säkerställa att komponenter och struktur håller under lång tid. Under driftsfasen begränsas verksamhet vid vindkraftverken till schemalagd service och underhåll samt oplanerade reparationer. Oplanerat arbete gäller ofta system eller mindre komponenter som har fallerat. När ett sådant fel inträffar brukar endast ett enskilt vindkraftverk påverkas. Arbete till havs begränsas av väderförhållandena som kan omöjliggöra åtkomst till vindkraftverken. Transport av personal till vindkraftverken sker primärt via båt men användning av helikopter kan också förekomma vid behov. Vindkraftverken är utrustade med livräddningsflottar och utrustning för att personal, om det behövs, till exempel om väderförhållning omöjliggör hämtning, ska kunna förbli i strukturen en utökad tidsperiod.

Underhåll och service är komplicerat för havsbaserade vindkraftparker vilket ställer höga krav på planering. Följande aspekter kan påverka arbetet:

- Avståndmellan teknikers kontor och vindkraftparken
- Antal och typ av besättningsbåtar
- Användning av helikopter
- Organisering av skiftarbete
- Hantering och förvaltning av reservdelslager
- Teknisk support
- Tillgång till fartyg utrustade med kranar

Större komponenter som turbinblad och generatorer övervakas ständigt, vilket medför god kunskap om dess status och underlättar planering av service.

Under driften kommer ljud att alstras till följd av bladens rörelse genom luften samt mekaniska komponenter i maskinhuset. Ljudnivån kring parken ska hållas inom redan bestämda nivåer och kan begränsas genom designen av vindkraftparken, bladutformning, val av fundament samt driftstyrning. Utöver ljud framkallar vindkraftstrukturerna och dess blad skuggutbredning.

Vindkraftverk upprättade på monopile-fundament. © 2021 wpd

9.1 Service och underhållsaktiviteter under driftsfasen

Nedan redogörs för planerade och oplanerade aktiviteter för vindkraftpark Storgrundet under driftperioden.

Service och underhåll av vindkraftverk och fundament

- Resor till och från vindkraftverken
- Inspektion av vindkraftverk och fundament
- Service och underhåll av vindkraftverk
- Utbyte av utrustning och komponenter
- Utbyte av fluider och oljor
- Geofysisk undersökning av havsbotten
- Visuell undersökning av havsbotten
- Dykning
- Etablering av jack-up vessel
- Målning av vindkraftverk och fundament
- Borttagning av organiskt material från fundament och vindkraftverk
- Hantering av erosionsskydd

Service och underhåll av kablar och transformatorstation

- Resor till och från transformatorstationer
- Inspektion av transformatorstationer och kablar
- Utbyte av utrustning och komponenter
- Utbyte av fluider och oljor
- Geofysisk undersökning av havsbotten
- Visuell undersökning av havsbotten
- Dykning
- Etablering av jack-up vessel
- Målning av transformatorstation
- Borttagning av organiskt material från fundament och transformatorstation
- Service och underhåll av kablar
- Hantering av erosionsskydd

10. Avveckling

Avvecklingsmetoderna som nämns i detta kapitel är baserade på dagens teknik och praxis och de kan se annorlunda ut när avvecklingen väl ska utföras. Avvecklingsarbetet utförs oftast i omvänd ordning jämfört med installationen.

10.1 Avveckling av vindkraftverk

Avvecklingen av vindkraftverk brukar delas in i följande tre steg:

1. Innan avvecklingen initierats inspekteras turbinens komponenter och lyftpunkter. Utifrån vid avvecklingstidpunkten gällande regelverk kan sedan en plan tas fram för avvecklingen. Utöver detta görs riskanalyser, upphandlingar av fartyg och verktyg samt eventuella förberedelser av anläggningar på land.
2. När avvecklingsarbetet ska starta förbereds vindkraftverket för nedmontering genom att avlägsna eller säkra utrustning som inte är fast i strukturen. Fluider och oljor som kan återfinnas i vindkraftverket avlägsnas eller hanteras på erforderligt sätt. Vindkraftverkets rotor positioneras på ett lämpligt sätt för nedmontering.
3. När planering och förberedelser är gjorda kan vindkraftverket monteras ned. Turbinblad, maskinhus, nav och torn kan på samma sätt som vid installationen lyftas med kranar. Om enskilda blad ska lyftas av kan rotorns position behöva korrigeras mellan lyft för att underlätta nedmonteringen. För att flytta bladen i detta skede kan en generator behövas. Efter nedmontering transporteras komponenterna till land med lämpliga fartyg för att återanvändas, återvinnas eller deponeras.

10.2 Avveckling av transformatorstation

Vid avveckling lyfts den havsbaserade transformatorstationen bort från fundamentet och transporteras till land. Därefter avlägsnas fundamentet genom att såga av pålarna av 1–5 meter under sedimentnivån. För att minimera miljöpåverkan lämnas vanligtvis de inbäddade pålarna kvar. Hur mycket av fundamentet som lämnas krav bestäms lämpligen i samråd med ansvarig tillsynsmyndighet.

Nedan ges en övergripande beskrivning av stegen vid avveckling av transformatorstation och tillhörande jacket-fundament.

1. Före avveckling inspekteras transformatorstationen och jacket-fundament över och under vattenytan. Analysen fokuserar på strukturens stabilitet, viktförändringar, korrosion och justeringar som gjort under driftsfasen. Samråd sker med ansvarig tillsynsmyndighet för planering av avvecklingsarbetets utförande.
2. Förberedande arbete genomförs som inkluderar frånkoppling av all elektrisk utrustning och kablar. Transformatorn töms på oljor andra fluider. Jacketfundamentet förberedes för skärning.
3. Därefter ansluts kranen i transformatorhuset och kopplingen med fundaments sågas av. Transformatorn lyfts i sin helhet eller via flera dellyft till en ett fartyg eller pråm. I hamn nedmonteras transformatorhuset och delar säljs, återvinns eller deponeras på lämpligt sätt.
4. Vid avveckling av jacket-fundamentet ansluts först kranen och sedan förflyttas fundamentet i ett eller flera dellyft till ett fartyg eller en pråm. Avslutningsvis säljs eller återvinns stålet.
5. När avvecklingsarbetet är avslutat görs bottenundersökningar för granskning av resultat. Vid eventuella brister korrigeras dessa för att garantera att bottenförhållande är återställda i enlighet med avvecklingsplanen.

10.3 Avveckling av monopile-fundament

Vid avveckling av ett monopile-fundament görs antagandet att fundamentet avlägsnas genom att pålarna sågas av 1–5 meter under sedimentnivån. Detta innebär att pålarna som är fästa under botten lämnas kvar då borttagning av hela strukturen skulle skapa allt för stora miljöeffekter.

Nedan ges en generell beskrivning avseende de steg som krävs vid avveckling av ett monopile-fundament.

1. Före avveckling inspekteras monopile-fundamentet och övergångsdelen under och över vattenytan. Analysen fokuserar på strukturens stabilitet, viktförändringar, korrosion och justeringar som har gjorts under driftsfasen. Samråd sker med ansvarig tillsynsmyndighet för planering av avvecklingsarbetets genomförande.
2. Fundamentet förbereds för avveckling genom att sediment och lagringar tas bort. Därefter ansluts skärutrusning.
3. Innan fundamentet lyfts bort ansluts kranen. Fundamentet sågas sedan av och placeras på ett fartyg eller en pråm. Denna process kan göras i delmoment där fundamentet sågas av i delar. Fundamentet skickas därefter till återvinning.
4. När avvecklingsarbetet är avslutat görs botten-undersökningar för granskning av resultatet. Vid eventuella brister korrigeras dessa för att garantera att bottenförhållande är återställda i enlighet med avvecklingsplanen.

10.4 Avveckling av Jacket-fundament

Vid avveckling av ett jacket-fundament görs antagandet att fundamentet avlägsnas genom att pålarna sågas av 1–5 meter under sedimentnivån. Detta innebär att pålarna som är fästa under botten lämnas kvar då borttagning av hela strukturen skulle skapa allt för stora miljöeffekter.

Nedan ges en generell beskrivning avseende de processer som krävs vid avveckling av ett jacket-fundament.

1. Före avveckling inspekteras jacket-fundamentet och övergångsdelen under och över vattenytan. Analysen fokuserar på strukturens stabilitet, viktförändringar, korrosion och justeringar som har gjorts under driftsfasen. Samråd sker med ansvarig tillsynsmyndighet för planering av avvecklingsarbetet utförande.
2. Fundamentet förbereds för avveckling genom att sediment och lagringar tas bort. Därefter ansluts skärutrusning vid varje ben.
3. Innan fundamentet lyfts bort ansluts kranen. Fundamentet sågas sedan av och placeras på fartyg eller pråm. Denna process kan göras i delmoment genom att fundamentet sågas av i delar. Avslutningsvis skickas delarna av fundamentet till återvinning.
4. När avvecklingsarbetet är avslutat görs botten-undersökningar för granskning av resultatet. Vid eventuella brister korrigeras dessa för att garantera att bottenförhållande är återställda i enlighet med avvecklingsplanen.

10.5 Avveckling av gravitationsfundament

Vid avveckling av ett gravitationsfundament antas att hela fundamentet transporteras till land. Erosionsskydd lämnas kvar på platsen för att minimera miljöpåverkan vid avveckling.

Nedan ges en generell beskrivning avseende de processer som krävs vid avveckling av ett gravitationsfundament.

1. Före avveckling inspekteras gravitationsfundament under och över vattenytan. Analysen fokuserar på strukturens stabilitet, viktförändringar, korrosion och justeringar som har gjorts under driftsfasen. Samråd sker med ansvarig tillsynsmyndighet för planering av avvecklingsarbetet utförande.
2. Förberedande arbetet inkluderar borttagning av sediment och erosionsskydd runt fundamentsbasen. Vidare tas ballast bort och kranen ansluts.
3. Kranen lyfter upp gravitationsfundamentet medan vatten pumpas ur. Fundamentet kan därefter placeras på ett fartyg eller pråm. Det finns även möjlighet att bogsera till land. Avslutningsvis skickas fundamentet till återvinning.
4. När avvecklingsarbetet är avslutat görs botten-undersökningar för granskning av resultat. Vid eventuella brister korrigeras dessa för att garantera att bottenförhållande är återställda i enlighet med avvecklingsplanen.

10.6 Avveckling av kablar

Avvecklingsarbetet av sjökablarna kan antingen innebära att kablarna tas bort eller att vissa delar lämnas kvar. Sjökabeln behöver inte vara intakt utan kan kapas i segment och ändarna förseglas på speciella fartyg, vilket möjliggör att olika delsträckor kan vara lämpligt att behandlas olika. Avvecklingsarbetet av sjökablarna kan delas in i följande faser:

1. Innan avvecklingen har initierats fastställs vilka sträckor som behöver avlägsnas genom att undersöka sjökabelns djup där den är nedgrävd och eventuellt skydd. Efter detta förbereds utrustning och fartyg och riskanalyser genomförs.
2. Som del av förberedelsearbetet fastställs sjökablarnas exakta position och djup genom att skanna hela kabelsträckan. För att göra detta behövs speciellt utrustade fartyg. Eventuella skydd kan behöva avlägsnas för att nå sjökablarna. Om en sektion anses vara till mindre skada om den förblir orörd är det möjligt att kapa sjökabeln på varsin ände om den aktuella kabelsträckan.
3. Efter att alla hinder längs med kabelsträckan har avlägsnats kan de nedgrävda partierna grävas upp med liknande metoder som användes vid installationen. Eftersom kablarna nu är lättåtkomliga kan de kapas i lämpliga dimensioner för att få plats på fartyg för att sedan transporteras bort. Efter borttransport kan kablarnas olika material bli separerade och användas för återvinning eller skickas till deponi.
4. När avvecklingsarbetet har färdigställts kommer en initial undersökning att göras för att kontrollera resultatet.

11. Tidplan

Byggnationen av vindkraftparken kan eventuellt behöva ske över flera säsonger då vissa moment är mer väderberoende än andra. Vissa moment kan utföras parallellt medan andra är beroende av att föregående moment har färdigställts. För att minimera tidsåtgången för byggnationen krävs noggrann planering av alla installationsmoment och ett väl genomfört förberedelsearbete. Preliminär byggnationstid för respektive komponent kan ses i Tabell 18.

STOABs ambition är att färdigställa byggnationen av parken under ca ett år där byggförberedande moment ej är inkluderat. Tidsåtgången för hela projektet kommer att bero på den slutgiltiga utformningen av vindkraftparken och vilka moment som kan göras samtidigt. Tidsplanen för projektet kan ses i Tabell 19.

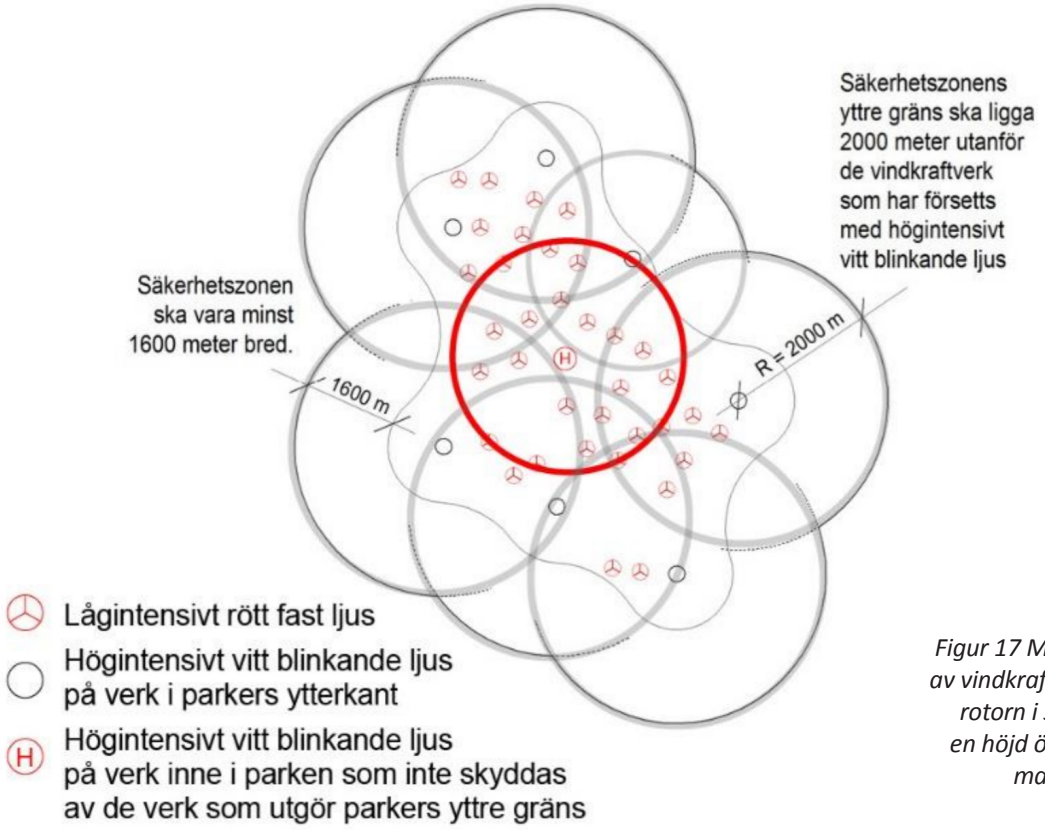
Tabell 18 Preliminär installationstid för olika komponenter

Komponent	**Preliminär installationstid [månader]**
Installation av fundament till transformatorstationer	Ca 1
Installation av transformatorstationer	Ca 1
Installation av fundament till vindkraftverken	Ca 15
Installation av vindkraftverken	Ca 5
Installation av det kabelnätet	Ca 5
Driftsättning av parken	Ca 8

Tabell 19. Tidsplan för projektet

Aktivitet	**Start**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**	**2026**	**2027**	**2028**	**2029**
Platsspecifika undersökningar	2027									
Byggförberedelser	2027									
Byggnation	2028									
Driftsättning	2029									

12. Säkerhet



Figur 17 Metod för markering av vindkraftverk som inklusive rotorn i sitt högsta läge har en höjd över 150 meter över mark- eller vattenytan (TSFS 2020:88)

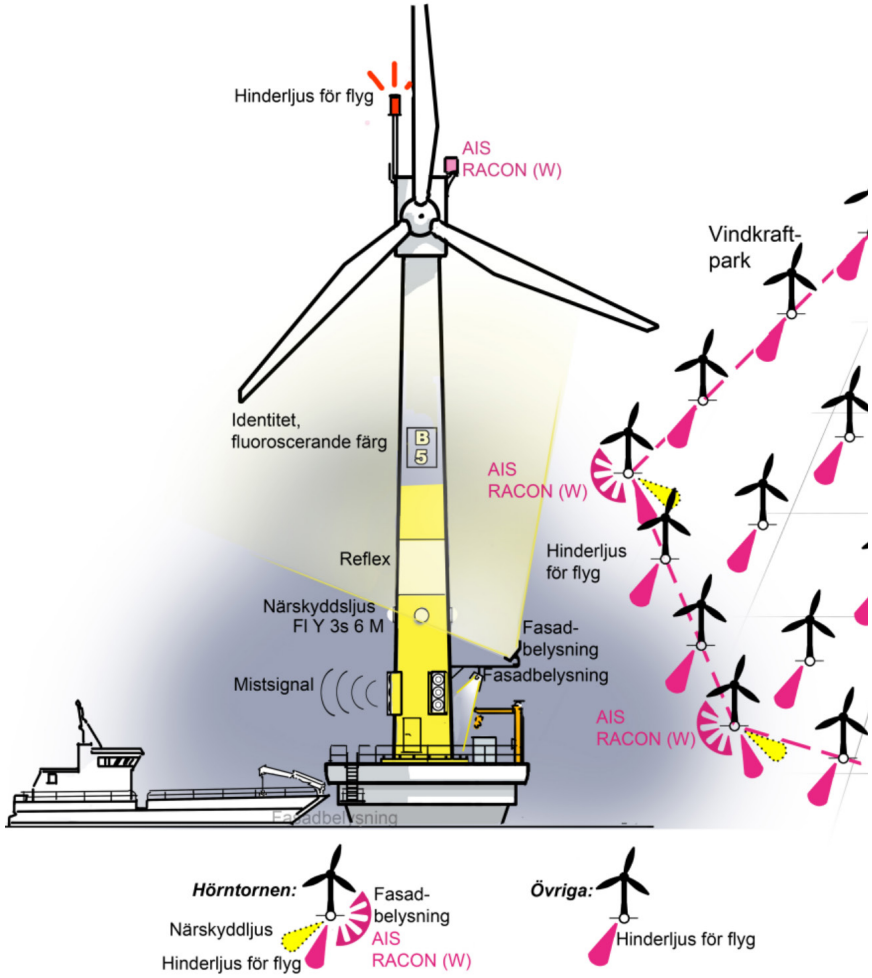
För att uppnå en säker drift av vindkraftparken implementeras diverse säkerhetsfunktioner i vindkraftverken och i vindkraftparken.

12.1 Hinderbelysning

Ljus används för att tydliggöra vindkraftverkens positioner för eventuell flyg- och båttrafik. I dagsläget gäller att vindkraftverk med en navhöjd som överstiger 151 m måste utrustas med tre lågintensiva tornljus. Vidare behöver en vindkraftpark bestående av vindkraftverk med en totalhöjd om över 150 m utrustas med ett vitt blinkande ljus på nacellen på de vindkraftverk som är placerade i parkens ytterkant. Vindkraftparker som är bredare än 4 km behöver dessutom utrustas med högintensivt ljus inuti parken. Om totalhöjden överstiger 315 m kan ytterligare belysning och markeringar behövas vilket bestäms i samråd med Transportstyrelsen. Ett exempel på hur hinderbelysningen kan se ut, enligt gällande föreskrifter, visas i Figur 17. Vidare måste alla övriga vindkraftverk utrustas med ett lågintensivt rött ljus, enligt Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd TSFS 2020:88. Vindkraftverken kommer att installeras med den hinderbelysning som är i enlighet med gällande föreskrifter vid tidpunkt för byggnation.

För att säkerställa att hinderbelysningen är fungerande övervakas systemen och eventuella fel anmäls till flygbriefingtjänsten AIS om de inte går att reparera direkt.

Från 2017 gäller att havsbaserade vindkraftverk kan behöva vara utrustade med de säkerhetsanordningar som visas i Figur 18. Avstånd till farleder påverkar vilken typ av och antal säkerhetsanordningar som krävs. Tornet kan markeras med ett ID-nummer, ett reflekterande område samt gul färg på tornets nedre del för att indikera segelfri höjd. Utöver detta kan vindkraftverken utrustas med RACON (radar), mistsignal (ljudsignal vid nedsatt sikt) och AIS.



Figur 18 Säkerhetsföreskrifter vad gäller reflexer, ljus, AIS, RACON och färg för ett havsbaserat vindkraftverk (TSFS 2017:66)

12.2 Isbildning

Eftersom projektområdet ligger i ett område med risk för isbildning krävs tekniker för att hantera denna risk. Fundament byggs för att utstå den belastning som is kan innebära. Olika system som förbygger eller avlägsnar is kan också installeras för att minska risken för isbildning på turbinbladen. Detta medför ökad säkerhet och leder till högre elproduktion och mindre buller. Det finns i nuläget ett antal system som kan implementeras för att upptäcka isbildning:

- *Mekatroniskt system – Mätning av dämpning av ul traljudssignaler på ytan eller skifte i resonansfrekvens.*
- *Elektriska system – Mätning av förändring i elektriska parametrar.*
- *Optiska system – Mätning av reflekterat ljus eller absorption av infrarött ljus.*
- *Turbinbaserade parametrar –Förändring av aerodynamisk prestanda.*
- *Ljudmätningar – Isbildning leder till ökad ljudemission.*
- *Termodynamisk status av ytan –Mätning av temperatur på ytan.*

Alla dessa metoder har olika egenskaper vad gäller pålitlighet, hållbarhet, krav på underhåll och mer. Utöver system som upptäcker isbildning finns det även system som förhindrar eller minskar risken för isbildning.

- *Mekaniskt system – Vibrationen induceras i bladen för att bryta isen.*
- *Termiskt system– Elektrisk uppvärmning eller inbyggda system där varm luft cirkulerar.*
- *Passivt system – Hydrofobt eller isavisande hölje används på bladen.*

12.3 Brandsäkerhet

I ett vindkraftverk eller en transformatorstation finns en rad olika elektriska komponenter som kan utgöra en brandrisk om något går fel i komponenten. För att förhindra olyckor kan vindkraftverken utrustas med olika brandsäkerhetssystem. Dessa kan delas in i aktiva och passiva system. Aktiva brandskydd fungerar genom att på olika sätt upptäcka, varna och släcka bränder samt hantera rökbildning. För att släcka bränder kan system som använder olika fluider och gaser implementeras.

Passiva brandskydd baseras på val av tåligt material samt utformning av vindkraftverk eller transformatorstation för att försvåra spridning av en brand inom strukturen. För att uppnå en god säkerhet under drift utvecklas säkerhetsplaner för hantering av bränder och andra möjliga olyckor.

13. Referenser

Foxwell, David, 2020, *Knud E Hansen brings next-generation wind turbine installation vessel to market,* Riviera - News Content Hub - Knud E Hansen brings next-generation wind turbine installation vessel to market (rivieramm.com) Hämtad[05/01-2021]

Transportstyrelsen, 2020, *Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om markering av föremål som kan utgöra en fara för luftfarten och om flyghinderanmälan, TSFS2020:88*

Transportstyrelsen , 2017, *Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om utmärkning till sjöss med sjösäkerhetsanordningar,* TSFS 2017:66

© 2021 wpd