



Markanspråk vid anslutning av havsbaserad vindkraft



Bilaga 1 - Underlagsrapport



Markanspråk vid anslutning av havsbaserad vindkraft

Bilaga 1 - Underlagsrapport

Rapportansvarig:

Jonatan Nilsved, AFRY

Författare:

Gustav Johansson, AFRY

Malin Alexandersson Fridh, AFRY

Ylva Lorentzon, AFRY

Granskad av:

Daniel Rasmusson, AFRY

Pål Åberg, AFRY

Rapporten har tagits fram på uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten. Rapportförfattarna ansvarar för innehållet och slutsatserna i rapporten. Rapportens innehåll innebär inte något ställningstagande från Havs- och vattenmyndighetens sida.

© HAVS- OCH VATTENMYNDIGHETEN | Datum: 2026-01-23

ISBN: 978-91-89982-19-2 Omslagsfoto: Mary Ray, Unsplash

Havs- och vattenmyndigheten | Box 11 930 | 404 39 Göteborg | www.havochvatten.se

Sammanfattning

Denna rapport analyserar och beskriver den infrastruktur och de markanspråk som uppstår vid elöverföring från havsbaserad vindkraft till det svenska elnätet. Syftet är att ge ett konkret och användbart underlag för planering på nationell, regional och kommunal nivå, samt att underlätta dialogen mellan utvecklare av vindkraftspark, myndigheter och lokalsamhälle.

Rapporten utgår från tre fiktiva exempelparker (500 MW, 1,4 GW och 5 GW) för att illustrera hur behovet av landbaserad infrastruktur förändras med installerad effekt och teknikval. Analysen omfattar markanspråk från landtag, det vill säga där sjökabel övergår till landbaserad infrastruktur, till anslutningspunkt mot elnätet. Det inkluderar både det permanenta markanspråket för drift och underhåll samt sekundära behov som kontorslokaler, verkstäder och hamnkapacitet.

Metodiken bygger på litteraturstudier, branschstandarder, tekniska riktlinjer och erfarenheter från genomförda eller planerade projekt. Schablonvärden har tagits fram för markbehov för olika kabeltyper, stationsområden och ledningsgator. Scenarioanalysen visar på typiska skillnader och storleksordningar mellan olika tekniska lösningar och effektnivåer.

Resultaten visar att ledningsgatornas längd utgör den största delen av det permanenta markanspråket, särskilt vid val av luftledning där bredden kan uppgå till 90 meter. Valet mellan markkabel och luftledning påverkar både kostnad, genomförandetid och påverkan på lokalsamhället. Baserat på planerade projekt i Sverige har markkabel visat sig vara vanligare trots den högre kostnaden. Resultaten visar också att placeringen av anslutningspunkt och landtag är avgörande för att begränsa ledningsgatans totala längd.

Svenska kraftnäts principbeslut om maximal effekt per fack (1,4 GW) och station (2 GW) baserat på det dimensionerade felet i det svenska elnätet styr utformningen av anslutningar, men undantag kan förekomma och framtida projekt kan komma att pröva dessa gränser.

Rapporten rekommenderar att använda de presenterade scenarier och schablonvärden som jämförelsegrund vid tidiga analyser, samt att komplettera med projektspecifika data för att identifiera avvikelser och särskilda behov. För vidare fördjupning hänvisas till kompletterande rapporter, myndigheter och relevanta lagrum.

Innehåll

1	Introduktion.....	10
1.1	Bakgrund.....	10
1.2	Syfte	10
1.3	Avgränsningar.....	10
2	Metod	11
2.1	Arbetsmetodik.....	11
2.2	Källor och referensprojekt.....	11
2.3	Anslutningsförutsättningar, antaganden och osäkerheter.....	12
2.4	Scenarioanalys	13
3	Tekniska förutsättningar.....	14
3.1	Elnätets struktur och grundläggande principer.....	14
3.2	Nödvändig infrastruktur	17
3.3	Markanspråk	29
4	Scenarioanalys och Resultat	44
4.1	Generella antaganden och förutsättningar.....	44
4.2	500 MW.....	45
4.3	1,4 GW: HVAC-export	47
4.4	1,4 GW: HVDC-export.....	50
4.5	5 GW: Flera anslutningar.....	52
4.6	5 GW: En anslutning.....	55
5	Diskussion	58
5.1	Val av anslutningspunkt och utbyggnadsstrategi	58
5.2	Teknikval och ekonomiska aspekter	58
5.3	Markanvändning och påverkan på lokalsamhället	59
5.4	Slutsatser	61
6	Rekommendationer och vidare läsning	62
7	Referenser.....	64

Figurer

Figur 1: Exempel på terminalstation där luftledning övergår i markkabel (Wdwd, 2020). CC BY-SA 3.0	19
Figur 2: Ledningsgatan för en luftledning i skogsområde. I sidoområdet till höger syns ett träd som riskerar skada kraftledningen vid exempelvis storm (AFRY).....	20
Figur 3: Exempel på HVAC-station med AIS (By Bin im Garten - Own work, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=20684264).	22
Figur 4: En transformator (Foto av American Public Power Association).	23
Figur 5: HVDC-station i Kruseberg, Svenska sidan av Baltic Cable (By Timberwind, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=14126335)	24
Figur 6: Exempel på ledningsgata för markkablar (Google Street View, 2022).	31
Figur 7: Exempel på kraftledningsgata för luftledning med röjd skogsgata (AFRY).	32
Figur 8: Exempel på kraftledningsgata för luftledning i åkermark (AFRY).	32
Figur 9: Tvärsnitt för ett HVAC-kabelförband förlagt i triangelformation (AFRY).....	34
Figur 10: Tvärsnitt för ett HVAC-kabelförband förlagt i horisontell formation (AFRY).	34
Figur 11: Öppet schakt vid förläggning av HVAC-kablar i horisontell formation (AFRY).....	35
Figur 12: Tvärsnitt för två HVAC-kabelförband förlagt i triangelformation i separata schakt (AFRY).	35
Figur 13: Tvärsnitt för fyra HVAC-kabelförband förlagt i triangelformation i gemensamt schakt med tillhörande avstånd och mått (AFRY).	36
Figur 14: Tvärsnitt för två HVAC-kabelförband förlagt i horisontell formation i gemensamt schakt med tillhörande avstånd och mått (AFRY).	36
Figur 15: Tvärsnitt för ett markförlagt bipolärt HVDC-kabelpar i samma schakt med tillhörande avstånd och mått (AFRY).....	38
Figur 16: Tvärsnitt för två markförlagda bipolära HVDC-kabelpar i samma schakt med tillhörande avstånd och mått (AFRY).....	38
Figur 17: Schematisk illustration av markanspråk och komponenter vid anslutning av en 500 MW havsbaserad vindkraftspark med HVAC. Ej skalenlig (AFRY).	46
Figur 18: Schematisk illustration av markanspråk och komponenter vid anslutning av en 1,4 GW havsbaserad vindkraftspark med HVAC. Ej skalenlig (AFRY).	49
Figur 19 Schematisk illustration av markanspråk och komponenter vid anslutning av en 1,4 GW havsbaserad vindkraftspark med HVDC. Ej skalenlig (AFRY).	51
Figur 20: Schematisk illustration av markanspråk och komponenter vid anslutning av en 5 GW havsbaserad vindkraftspark med HVDC till flera anslutningspunkter. Ej skalenlig (AFRY).	54
Figur 21: Schematisk illustration av markanspråk och komponenter vid anslutning av en 5 GW havsbaserad vindkraftspark med HVDC till en anslutningspunkt. Ej skalenlig (AFRY).	57

Tabeller

<i>Tabell 1: Ledningsdimensioner för anslutning till 400 kV respektive 130 kV HVAC. Förutsättningarna för luft: ledartemperatur 50 C och omgivningstemperatur 25 C. För mark: ledartemperatur 90 C, termisk resistivitet omgivande mark 1,0 Km/W, both end grounding utan korrektionsfaktor (NKT Cables, u.d.). Notera att överföringsförmågan påverkas vid förläggning av flera kabelförband i samma schakt.</i>	<i>16</i>
<i>Tabell 2: Kabeldimensioner för transport vid ±525 kV respektive ±320 kV HVDC. Beräkningarna förutsätter extruderade HVDC-kablar av bipolär design och en kopparledare med en area om 2000 mm². Temperaturangivelsen avser den maximala tillåtna kontinuerliga driftstemperaturen i ledarens metall (Prysmian Group, u.d.).</i>	<i>17</i>
<i>Tabell 3: Uppskattat markanspråk för infrastrukturen kopplat till anslutningens landtag.</i>	<i>30</i>
<i>Tabell 4: Uppskattat markanspråk för en 400 kV HVDC-ledningsgata samt en ±525 kV HVDC-ledningsgata kopplat till anslutning av havsbaserad vindkraft.</i>	<i>33</i>
<i>Tabell 5: Uppskattat markanspråk för en 130 kV ledningsgata kopplat till anslutning av havsbaserad vindkraft... ..</i>	<i>33</i>
<i>Tabell 6: Uppskattat markanspråk för en 400 kV markkabelgata kopplat till anslutning av havsbaserad vindkraft.</i>	<i>37</i>
<i>Tabell 7: Uppskattat markanspråk för en 130 kV markkabelgata kopplat till anslutning av havsbaserad vindkraft.</i>	<i>37</i>
<i>Tabell 8: Uppskattat markanspråk för anslutningens HVDC-markkabelgata.</i>	<i>39</i>
<i>Tabell 9: Uppskattat markanspråk för anslutningspunkt mot nätet.</i>	<i>41</i>
<i>Tabell 10: Uppskattat markanspråk för sekundära behov.</i>	<i>43</i>
<i>Tabell 11: Uppskattat markanspråk vid anslutning av en vindkraftspark på 500 MW.</i>	<i>47</i>
<i>Tabell 12: Uppskattat markanspråk vid anslutning av en vindkraftspark på 1,4 GW med HVAC.</i>	<i>49</i>
<i>Tabell 13: Uppskattat markanspråk vid anslutning av en vindkraftspark på 1,4 GW med HVDC.</i>	<i>51</i>
<i>Tabell 14: Uppskattat markanspråk vid anslutning av en vindkraftspark på 5 GW till flera anslutningspunkter.</i>	<i>54</i>
<i>Tabell 15: Uppskattat markanspråk vid anslutning av en vindkraftspark på 5 GW till en anslutningspunkt.</i>	<i>57</i>

Begrepp/Förkortning	Förklaring
AIS	Air Insulated Switchgear – luftisolerat ställverk, vanligt i Sverige.
Bipolär HVDC	HVDC-system med två enledarkablar, en positiv och en negativ.
CTV	Crew Transfer vessel, ett fartyg som används för att transportera personal till och från havsbaserade vindkraftverk
Exportkabel (Anslutningskabel)	Kabel som överför el från havsbaserad vindkraftspark till nätet.
Fack	Funktionell enhet i ställverk för inkommande/utgående kabel eller transformator.
Kabelförband	Grupp av kablar som tillsammans utgör en elektrisk förbindelse.
GIS	Gas Insulated Switchgear – gasisolerat ställverk, kompakt men använder SF6-gas.
HVAC	High Voltage Alternating Current – högspänd växelström.
HVDC	High Voltage Direct Current – högspänd likström.
Jordning	En anslutning till marken (jord) som leder bort ström vid fel och skyddar människor och utrustning
Kopplingsstation	Station som kopplar samman ledningar utan att transformera spänningen.
Krets	En sammanhängande elektrisk förbindelse där ström kan flöda mellan källa och last
Landtag	Punkt där sjökabel övergår till landbaserad infrastruktur.
Ledningsgata	Röjd zon längs kabel eller luftledning, fri från byggnader och vegetation.
Lokalnät	Elnät på lokal nivå, lägre spänning än region- och stamnät.
Markanspråk	Den mark som tas i anspråk för anläggning, drift och underhåll av infrastruktur.
MVA	Mega Volt Ampere, en enhet som används för att mäta växelströmsanläggningars skenbara effekt
N-1-regeln	Princip att systemet ska klara bortfall av en komponent utan strömbrott.
Omriktarstation	Station som omvandlar likström (DC) till växelström (AC).
Regionnät	Elnät på regional nivå, lägre spänning än stamnätet.
Reaktor	En induktiv komponent som används för att styra spänningsnivåer, filtrera strömmar eller dämpa harmoniska störningar
Samförläggning	Kablar förläggs tillsammans i samma schakt.
SF6	Svavelhexafluorid, en isolergas med mycket goda isolerande egenskaper, vanligt isolermedium i ställverk
Simplex/Duplex/Triplex	Antal ledare per fas i luftledning.
Skarvplats	Plats där sjökabel och markkabel kopplas samman.
SOV	Service Operations Vessel, ett större fartyg som används som bas för drift och underhåll där personal kan bo ombord längre perioder
Spannlängd	Avståndet mellan två stolpar i en luftledning.
Spänning	Den elektriska potentialskillnaden mellan två punkter som driver ström genom en krets
Stamnät (Transmissionsnät)	Det nationella elnätet för högspänd överföring.
Ställverk	Anläggning där inkommande och utgående ledningar kopplas samman och styrs.
SVK	Svenska kraftnät – myndighet som ansvarar för det svenska stamnätet.
Särförläggning	Kablar förläggs i separata schakt.
Terminalstation	Station där markkabel övergår till luftledning.
Transformatorstation	Station som omvandlar spänning mellan olika nivåer.
Trefas	System med tre faser; standard i svenska elnät för kraftöverföring

1 Introduktion

I detta avsnitt beskrivs bakgrunden till rapporten, dess syfte samt de avgränsningar som varit styrande för arbetet.

1.1 Bakgrund

Havs- och vattenmyndigheten har, på uppdrag av regeringen, tagit fram förslag till nya havsplaner med målet att möjliggöra upp till 120 TWh årlig elproduktion från havsbaserad vindkraft. Initiativ taget utifrån de frågor som uppkom i regeringsuppdraget M2022/00276 att ändra havsplanerna för att inkludera fler områden för havsbaserad vindkraft. För att underlätta och stödja fysisk planering på land samt konsekvensbedömning i till exempel havsplaner krävs ett fördjupat underlag som beskriver vilken infrastruktur som krävs för att överföra el från havsbaserade vindkraftsparker till elnätet samt vilka markanspråk dessa anläggningar medför.

1.2 Syfte

Syftet med denna underlagsrapport är att ge en tekniskt fördjupad analys av den infrastruktur och de markanspråk som uppstår vid elöverföring från havsbaserad vindkraft. Rapporten ska utgöra ett konkret och användbart underlag för planering på nationell, regional och kommunal nivå.

Underlagsrapporten publiceras som bilaga till planeringsunderlaget, vilket ger en översiktlig introduktion till typisk infrastruktur och tillhörande markanspråk. Planeringsunderlaget riktar sig till läsare som behöver en snabb orientering utan att ta del av hela det tekniska underlaget.

Denna rapport fungerar därmed som den tekniska och metodiska fördjupningen. Här beskrivs mer ingående de infrastrukturella behoven på land, de scenarier som ligger till grund för analysen samt de schablonvärden och tekniska resonemang som stödjer planeringsunderlaget.

Med stöd av information från projektutvecklare kan läsaren jämföra sina lokala förutsättningar med de tre fiktiva exempelparkerna som presenteras i rapporten, för att skapa en första förståelse av vad en framtida anslutning kan innebära för den egna kommunen eller regionen.

1.3 Avgränsningar

Denna rapport behandlar markanspråk kopplat till typisk infrastruktur vid anslutning av havsbaserad vindkraft till det svenska elnätet. Följande avgränsningar gäller:

- Rapporten behandlar inte framtida utbyggnad av stamnätet. Däremot har behovet för nybyggnation av anslutande station undersökts, särskilt för vindkraftsparker med större effekt ($\geq 1,4$ GW), oavsett vem som äger stationen. Detta antagande ligger till grund för den översiktliga uppskattningen av markbehov vid samlokalisering med omriktarstation, baserad på de anslutningspunkter som identifierats av Svenska kraftnät (SVK).
- Markanspråk till havs behandlas inte. Rapporten omfattar endast nödvändig infrastruktur och dess markanspråk från havsparkens landtag till anslutning mot elnätet. Landtag definieras i rapporten som den punkt där den havsbaserade infrastrukturen övergår till landbaserad, det vill säga där kablarna går i land.

- Endast permanent markanspråk beaktas; temporära arbetsområden som krävs vid etablering av infrastrukturen och anläggningarna ingår inte i analysen och dess resultat.
- Infrastruktursbehov och markanspråk vid direktanslutning till slutkund antas vara desamma som vid anslutning till elnätet, eftersom samma typer av anläggningar antas behövas.
- Rapporten ger ingen detaljerad analys av kostnader eller miljöpåverkan. Istället påpekas tydliga skillnader mellan tekniska lösningar när dessa har större konsekvenser, så att läsaren får en uppfattning om när valet av teknik kan påverka ekonomi eller miljö.
- Platsspecifika bedömningar av anslutningsmöjligheter ingår inte, då studien genomförs utan geografisk lokalisering eller faktiska nätförutsättningar.

2 Metod

Detta avsnitt beskriver den arbetsmetodik, de källor och de antaganden som ligger till grund för analysen.

2.1 Arbetsmetodik

Arbetet har genomförts i tre steg:

1. **Analysram:** för att säkerställa att analysen är tydlig och jämförbar har en analysram tagits fram utifrån de avgränsningarna som anges i avsnitt 0. Denna ram har därefter använts som styrande mall vid utförandet av litteraturstudien, så att undersökningen hållit sig inom de relevanta ramarna.
2. **Litteraturstudie:** uppgifter har samlats in och sammanställts från branschstandarder, tekniska riktlinjer samt tidigare genomförda projekt. Utifrån detta material har schablonvärden, det vill säga genomsnittliga eller typiska siffror, tagits fram för hur stort markbehov olika kabeltyper, korridorer och stationer vanligtvis kräver. Dessa värden utgör underlaget för uppskattningarna av markanspråk.
3. **Scenarioanalys:** en scenarioanalys har genomförts där behovet av infrastruktur har bedömts utifrån olika storlekar (baserat på installerad effekt) på vindkraftsparker och val av tekniska lösningar. Storlekarna är valda för att reflektera vanligt förekommande kapaciteter i planerade projekt. Vid denna bedömning har de framtagna schablonvärdena använts för att uppskatta markanspråk i respektive scenario.

Metoden är översiktlig och illustrativ, utformad för att visa typiska skillnader och storleksordningar mellan olika installerade effekter av havsbaserad vindkraft.

2.2 Källor och referensprojekt

Den genomförda litteraturanalysen bygger på uppgifter och data inhämtade från:

- Rapporter från SVK och andra myndigheter,

- Tekniska riktlinjer och branschstandarder för kabel och schaktdimensioner, stationsutformning och markanvändning,
- Tekniska data och erfarenheter från genomförda eller planerade projekt i Sverige och övriga världen,
- Genomförda expertintervjuer,
- Översiktliga geografiska data över befintliga stationer, befintliga kraftledningar och markanvändning.

Analysen baseras även på erfarenhetsvärden och resultat från tidigare projekt genomförda av AFRY. Dessa interna referensunderlag har använts i generaliserad form och innehåller inga kundspecifika eller konfidentiella uppgifter. Ett stort antal figurer och illustrationer är framtagna internt, och när detta är fallet inkluderas en notis i figurbeskrivningen: (AFRY). För figurer från externa källor säkerställs att rättigheter och licensvillkor följs.

2.3 Anslutningsförutsättningar, antaganden och osäkerheter

2.3.1 Generella anslutningsförutsättningar

Eftersom analysen inte utgår från specifika lokaliseringar eller faktiska nätförutsättningar har inga platsspecifika bedömningar av anslutningsmöjligheter gjorts. I stället bygger arbetet på ett antal generella antaganden om hur anslutning till elnätet typiskt kan ske efter landtag.

I analysen antas att anslutningen kan ske genom något av följande alternativ:

- Direkt inkoppling i en befintlig stamnätsstation med tillräcklig kapacitet
- Utbyggnad av en befintlig station för att möjliggöra anslutning
- Etablering av en ny station i anslutning till landtaget eller i närliggande område

Dessa alternativ representerar realistiska men icke-platsbundna scenarier för hur anslutning skulle kunna genomföras och används för att illustrera hur olika förutsättningar påverkar markanspråk och behov av landbaserad infrastruktur. Antagandena förändrar inte metodens övergripande upplägg utan syftar till att ge en typfallsbedömning oberoende av exakt lokalisering.

2.3.2 Antaganden om markanspråk och underlag

De markanspråk som redovisas i rapporten är till stor del baserat på svenska projektspecifika dokument, såsom samrådsunderlag och miljökonsekvensbeskrivningar. Dessa dokument används tidigt i tillståndsprocesser och tenderar därför att innehålla generöst tilltagna ytor för att säkerställa att tillstånd kan erhållas även vid eventuella ändringar i utformningen.

Det innebär att de arealer som anges bör betraktas som schablonmässiga och ungefärliga. Det faktiska markanspråket varierar i praktiken mellan projekt beroende på:

- Lokala mark- och geotekniska förutsättningar

- Val av transmissions- och stationsteknik
- Platsens åtkomlighet, logistikmöjligheter och topografi
- Projektutvecklarens tekniska koncept och entreprenadstrategi

Därför kan de markerade ytorna både över- och underskatta markbehovet i ett specifikt projektfall.

2.3.3 Osäkerheter kopplade till nätkapacitet och tillstånd

Förutom tekniska och platsmässiga variationer finns betydande osäkerheter kopplade till tillgänglig kapacitet i stamnätet. Flera svenska projekt har konkurrerat om samma anslutningspunkter, vilket skapat ett incitament för projektutvecklare att framstå som särskilt mogna och redo att realisera sina projekt.

Om tillgänglig nätkapacitet är otillräcklig kan det innebära:

- Att anslutningen måste senareläggas
- Att ytterligare nätförstärkningar krävs
- Att nya eller ändrade tillstånd behöver sökas

Osäkerheterna är därför både tekniska, tillståndsmässiga och nätstrategiska.

2.3.4 Samlad betydelse för analysen

De samlade osäkerheterna innebär att de markanspråk och infrastrukturbehov som presenteras i rapporten ska ses som indikativa och avsedda att vägleda kommuner, regioner och myndigheter i tidig planering och dialog, inte som projektspecifika krav.

Vid senare skeden, när lokalisering, teknikval och nätförutsättningar fastställs, kan flera av bedömningarna behöva fördjupas eller återbesökas.

2.4 Scenarioanalys

Tre fiktiva havsbaserade vindkraftsparker har använts för att illustrera hur behovet av landbaserad infrastruktur förändras med installerad effekt.

- 500 MW
- 1,4 GW
- 5 GW

För varje scenario har typiska behov av infrastruktur för landtaget, ledningsgatan, stationsområden och sekundära behov som kontors- och servicelokaler uppskattats. Med stöd av projektspecifika data kan resultaten användas för att skapa en bättre förståelse av vad en faktisk anslutning kan innebära för ett visst område.

3 Tekniska förutsättningar

Detta avsnitt ger en översikt över de tekniska förutsättningar som ligger till grund för anslutning av havsbaserad vindkraft till det svenska elnätet. Avsnittet behandlar både de tekniska val som påverkar utformningen av infrastrukturen, såsom transmissionsform, kabel- och stationslösningar, och de faktorer som styr markanspråk. Genom att först tydliggöra de tekniska förutsättningar skapas en grund för de efterföljande analyserna av markbehov och möjliga utbyggnadsscenarioer, samt för förståelsen av vilka utmaningar och möjligheter som finns vid planering och etablering av den infrastruktur som krävs för havsbaserad vindkraft.

3.1 Elnätets struktur och grundläggande principer

Det svenska elnätet är grunden för elförsörjningen och består av flera nivåer med olika spänningsnivåer och funktioner. I detta avsnitt ges en översikt över nätets uppbyggnad, principerna för kraftöverföring samt de strömtyper som används.

3.1.1 Elnätets uppbyggnad

Det svenska elnätet är uppbyggt i tre nivåer: transmissionsnät (även kallat stamnät), regionnät och lokalnät. Tillsammans utgör dessa nivåer länken mellan elproducenter, såsom kärnkraftverk och vindkraftparker, och elkonsumenter, exempelvis hushåll och industrier. Nivåerna skiljer sig åt genom sina spänningsnivåer: transmissionsnätet har de högsta spänningarna, vanligtvis 220 kV och 400 kV. Regionnätet använder en något lägre spänning, vanligtvis 130 kV. Lokalnätet använder den lägsta spänningen, spänningsnivåer, vanligtvis 40 kV eller lägre (Energimarknadsinspektionen, 2024).

Transmissionsnätet transporterar el över långa avstånd, exempelvis mellan olika delar av landet. Regionnätet används för kortare överföringssträckor, till exempel mellan städer inom en region. Lokalnätet distribuerar el över de kortaste avstånden, såsom inom städer och ut till bostäder och verksamheter. Nätet är indelat på detta sätt eftersom högre spänningsnivåer ger lägre överföringsförluster, vilket gör det effektivt att transportera el på hög spänning över långa avstånd.

Utöver att elnätet är uppdelat i olika spänningsnivåer, finns det också två grundläggande typer av elektrisk ström: likström (DC) och växelström (AC). Högspänd likström brukar förkortas HVDC (High Voltage Direct Current) och högspänd växelström brukar förkortas HVAC (High Voltage Alternating Current).

Elnätet i Sverige är konstruerat i trefasig växelström, vilket innebär att elen överförs genom tre faser och ledare som var och en ligger 120 grader förskjutna i tid. Detta möjliggör en jämnare och mer effektiv kraftöverföring än ett enfasssystem, eftersom belastningen delas upp mellan flera ledare och den sammanlagda överföringskapaciteten ökar. Vid höga spänningsnivåer används ofta en separat kabel per fas, medan det vid lägre spänningar är vanligt att alla tre faser ligger i samma kabel.

3.1.2 Teknikval för nätanslutning: HVAC eller HVDC

Vid elöverföring från en havsbaserad vindkraftspark kan antingen HVAC eller HVDC användas. Valet av teknik beror på flera faktorer, vilka diskuteras i nedanstående delavsnitt.

3.1.2.1 HVAC

Växelström är en typ av elektrisk ström där strömmens riktning och storlek kontinuerligt varierar över tid. I elnätet sker denna variation normalt 50 gånger per sekund (50 Hz). Denna egenskap gör växelström effektiv att transformera mellan olika spänningsnivåer.

HVAC används främst för export från havsbaserad vindkraft vid kortare avstånd till land, vanligtvis upp till cirka 80–100 km. Vid användning av HVAC väljs spänningsnivån beroende på installerad effekt och till vilken del av nätet anslutning ska ske. Precis som vid utformningen av elnätet möjliggör en högre spänning en överföring av större effekt med lägre ström, vilket minskar förlusterna. Vanliga spänningsnivåer för HVAC-export för högre installerade effekter är 130 kV, 220 kV och 400 kV.

Vid överföring med växelström via kablar används ofta begreppet kabelförband vilket avser en komplett trefasig kabeluppsättning. Ett kabelförband består alltså av tre separata kablar, där varje kabel leder en av de tre faserna i växelströmsystemet. För luftledningarna används vanligtvis inte termen kabelförband, utan man talar i stället om system, vilka på motsvarande sätt utgör en komplett trefasig ledningsuppsättning.

För större parker krävs ofta flera parallella system eller kabelförband för att uppnå önskad överföringskapacitet. Detta beror på att både luftledningarna och markkablar har en begränsad ström- och effektförmåga, vilket kan medföra att ytterligare ledningar behöver etableras för att uppnå tillräcklig överföringskapacitet.

Eftersom det svenska elnätet är utformat som HVAC är det en etablerad teknik som är relativt enkel och kostnadseffektiv att ansluta till befintliga nät. Däremot medför långa kabelsträckor betydande kapacitiva förluster, vilket begränsar den praktiska överföringssträckan. (BVG Associates Limited, 2023). Kapacitiva förluster innebär att en del av elen försvinner när den transporteras i långa kablar. Det beror på att kablarna kan lagra och släppa ut laddning, vilket kräver extra energi som går förlorad som värme. Överföringsförmågan för HVAC-ledningar/kablar presenteras i *Tabell 1* nedan.

De valda ledningstyperna representerar vanliga alternativ för 130 kV och 400 kV i svenska transmissions- och regionnät. Kombinationen av simplex, duplex och triplex luftledningarna samt markkablar med olika förläggningsskonfigurationer ger ett representativt spann av tekniska lösningar med olika överföringskapacitet.

Tabell 1: Ledningsdimensioner för anslutning till 400 kV respektive 130 kV HVAC.

Förutsättningarna för luft: ledartemperatur 50 C och omgivningstemperatur 25 C. För mark: ledartemperatur 90 C, termisk resistivitet omgivande mark 1,0 Km/W, both end grounding utan korrektionsfaktor (NKT Cables). Notera att överföringsförmågan påverkas vid förläggning av flera kabelförband i samma schakt.

Ledning	400 kV Max överförd effekt	130 kV Max överförd effekt
910 Al59 (Luft)	608 MW	197 MW
Duplex 910 Al59 (Luft)	1215 MW	395 MW
Triplex 910 Al59 (Luft)	1823 MW	592 MW
XLPE Al 3x1x2000 (Mark)	703 MW	238 MW
XLPE Al 3x1x2000 (Mark) (Vid förläggning av fler förband i samma schakt)	617 MW	206 MW

3.1.2.2 HVDC

Likström är en typ av elektrisk ström där strömmens riktning och storlek är konstant över tid. Till skillnad från växelström varierar den alltså inte periodiskt. HVDC används oftast för export för längre avstånd, vanligtvis över 80–100 km och för parker med hög installerad effekt, vanligtvis 1 GW och uppåt. HVDC minskar förlusterna jämfört med HVAC eftersom likström inte ger upphov till reaktiva effekter och därmed undviker de kapacitiva förluster som uppstår i växelströmskablar.

Vid överföring med likström används begreppet kabelpar, vilket avser de två kablar som tillsammans utgör en bipolär HVDC-förbindelse. Ett kabelpar består av en positiv och en negativ pol eller kabel, där varje kabel leder ström i motsatt riktning. För att öka överföringskapaciteten kan flera kabelpar förläggas parallellt på motsvarande sätt som flera kabelförband används vid HVAC.

Vid användning av HVDC krävs omriktarstationer i båda ändar av förbindelsen för att omvandla likström till växelström för anslutning till nätet. Omriktarstationer beskrivs närmare i avsnitt 3.2.3. Dessa stationer är kostsamma, men HVDC-tekniken ger högre överföringskapacitet och stabilitet.

HVDC-system används vanligtvis på mycket höga spänningsnivåer, typiskt i intervallet ± 320 kV till ± 525 kV för moderna kabelbaserade installationer. Ett par ± 320 kV HVDC-kablar kan överföra upp till 1 200 MW (BVG Associates Limited, 2023). För ännu större projekt kan spänningsnivån komma att uppgå till ± 525 kV med överföringsmöjligheter på över 2000 MW (ABB, 2015). Överföringsförmågan för HVDC-kablar presenteras i

Tabell 2 nedan.

De valda kabeltyperna speglar etablerade och vanligt förekommande lösningar i moderna HVDC-system. Massimpregnerade papperskablar (MI) används fortsatt i många ± 500 –600 kV-förbindelser, medan XLPE-kablar är den dominerande tekniken i nya projekt vid både ± 320 kV och ± 525 kV.

Tabell 2: Kabeldimensioner för transport vid ± 525 kV respektive ± 320 kV HVDC. Beräkningarna förutsätter extruderade HVDC-kablar av bipolär design och en kopparledare med en area om 2000 mm^2 . Temperaturangivelsen avser den maximala tillåtna kontinuerliga driftstemperaturen i ledarens metall (Prysmian Group, u.d.).

Kabel	± 525 kV Max överförd effekt	± 320 kV Max överförd effekt
2x1x2000 pappersisolerad (MI), 60°C	1750 MW	-
2x1x2000 polymerisolerad (XLPE), 70°C	2000 MW	1200 MW
2x1x2000 polymerisolerad (XLPE), 90°C	2300 MW	-

3.2 Nödvändig infrastruktur

I detta avsnitt beskrivs de centrala komponenterna och infrastrukturlösningarna som krävs för överföring av el från havsbaserade vindkraftsparker till det svenska elnätet. Fokus ligger på de olika delarna av kedjan från landtag, via kabelsystem och stationsanläggningar, till anslutningspunkten i nätet.

3.2.1 Landtag

Landtag är den punkt där den havsbaserade vindkraftsparkens exportkablar (även kallat anslutningskablar), det vill säga de kablar som transporterar den producerade elen, från en havsbaserad vindkraftspark till land övergår från sjökabel till landbaserad infrastruktur. Med sjökabel menas kablar som är tillverkade för förläggning i vatten.

De vanligaste metoderna för förläggning av sjökabel vid landfästet är antingen öppet schakt med konventionella schaktmetoder, exempelvis med grävmaskiner, eller någon form av schaktfri metod såsom styrd borrhning (*horizontal directional drilling*, *HDD*). Andra metoder, eller en kombination av dessa, kan också förekomma och valet av teknik beror på de specifika förutsättningarna vid det landfäste som slutligen väljs (WSP, 2024). Dessa metoder beskrivs mer i avsnitt 3.2.1.2 respektive 3.2.1.3.

3.2.1.1 Skarvplats

Skarvplatsen är den punkt där två olika elkablar kopplas ihop. Själva skarvplatsen utgörs av en tillfällig grop där kabelskarvning sker under marknivå, ofta med en betongplatta som botten. Antalet skarvplatser kan vara samma som antalet kabelförband eller kabelpar, eller så används en gemensam skarvplats för samtliga kabelförband och kabelpar. Efter avslutat arbete återfylls gropan och marken återställs (Ørsted, u.d.).

3.2.1.2 Öppet schakt

Öppet schakt innebär att ett eller flera separata kabeldiken grävs vid landtaget, i vilka sjökablarna förläggs. Schaktet kan hållas öppet tills kablarna förläggs, eller så kan skyddsrör placeras i schaktet, vilket möjliggör att sjökablarna dras genom rören vid ett senare tillfälle. I närheten av strandkanten förläggs kablarna ofta djupare än längre ut till havs för att ge extra skydd mot erosion, mänsklig påverkan och andra yttre faktorer (WSP, 2024). Öppet schakt kan vara den

gynnsamma metoden vid landtag där terrängen är lätt att schakta i med god maskinåtkomst, och svår att borra i på grund av varierande kornstorlekar och material.

3.2.1.3 Schaktfri metod

Den mest förekommande schaktfria metoden är styrd horisontell borrar. Processen inleds genom förborring av smala pilothål, ett per kabel, längs den planerade borrarprofilen. Därefter förstoras dessa hål successivt till en specifik diameter utifrån storlek på kabel och rör. När önskad diameter har uppnåtts installeras vanligen skyddsrör av plast eller stål, vilka utgör kanaler för dragning av kablarna.

Jämfört med öppet schakt innebär borrar generellt sett en mindre påverkan på strandnära miljöer, då arbetet utförs under bottenytan i antingen sediment eller berggrund. För att genomföra borrar krävs homogent material eftersom förekomsten av blandade material och varierande kornstorlek försvårar processen då olika materialtyper kräver skilda borrar. Ytterligare begränsande faktorer inkluderar områdets topografi samt önskad borrarsträcka. Vid gynnsamma förhållanden i lera är det möjligt att borra 800–1500 meter, medan motsvarande sträcka i homogent berg vanligtvis är 400–500 meter (WSP, 2024). Styrd borrar är även ett vanligt alternativ vid korsningar av väg eller andra hinder på land.

Det bör dock understrykas att flera tekniska förläggningsmetoder kan vara aktuella beroende på lokala förutsättningar. Förutom schaktning eller styrd borrar kan även olika kombinationer av metoder användas, exempelvis att schakta eller borra ut till ett visst vattendjup och därefter spolner kablarna i havsbotten där bottenförhållandena medger det. Spolning är en metod där vattenstrålar används för att lossa bottensediment så att kabeln kan sänkas ner i botten, varefter sedimentet faller tillbaka och täcker kabeln. Spolning är i många fall en snabbare, mindre riskfylld och mer kostnadseffektiv metod jämfört med borrar. Spolning används ofta i så stor utsträckning som möjligt för att minimera behovet av längre schakt- eller borrarsträckor.

Denna rapport behandlar dock enbart markanspråk på land, vilket innebär att den punkt där spolning tar över kan antas ligga utanför rapportens område.

3.2.1.4 Terminalstation

Vid val av luftledning som transmissionsmetod krävs en så kallad terminalstation, se *Figur 1*. Terminalstationen utgörs av flera komponenter som möjliggör en säker övergång från kabel till luftledning. Kablarna leds upp från marknivå genom isolatorpelare till en ingångsport, där ledarna ansluts och övergår till luftledning via en ledningsstolpe (Bayern Innovativ, 2016).



Figur 1: Exempel på terminalstation där luftledning övergår i markkabel (Wdwd, 2020). CC BY-SA 3.0

3.2.2 Ledningsgator och skyddsområden

Ledningsgator och skyddsområden är centrala begrepp vid planering och byggnation av landbaserade exportkablar som ansluter en havsbaserad vindkraftspark till elnätet. Dessa zoner säkerställer att ledningar kan anläggas, drivas och underhållas på ett säkert sätt. I denna rapport definieras ledningsgatan som det övergripande område som reserveras för att dra elledningar, antingen i luft eller i mark, och som även omfattar det skyddsområde som behövs för att ledningen ska fungera långsiktigt och driftsäkert.

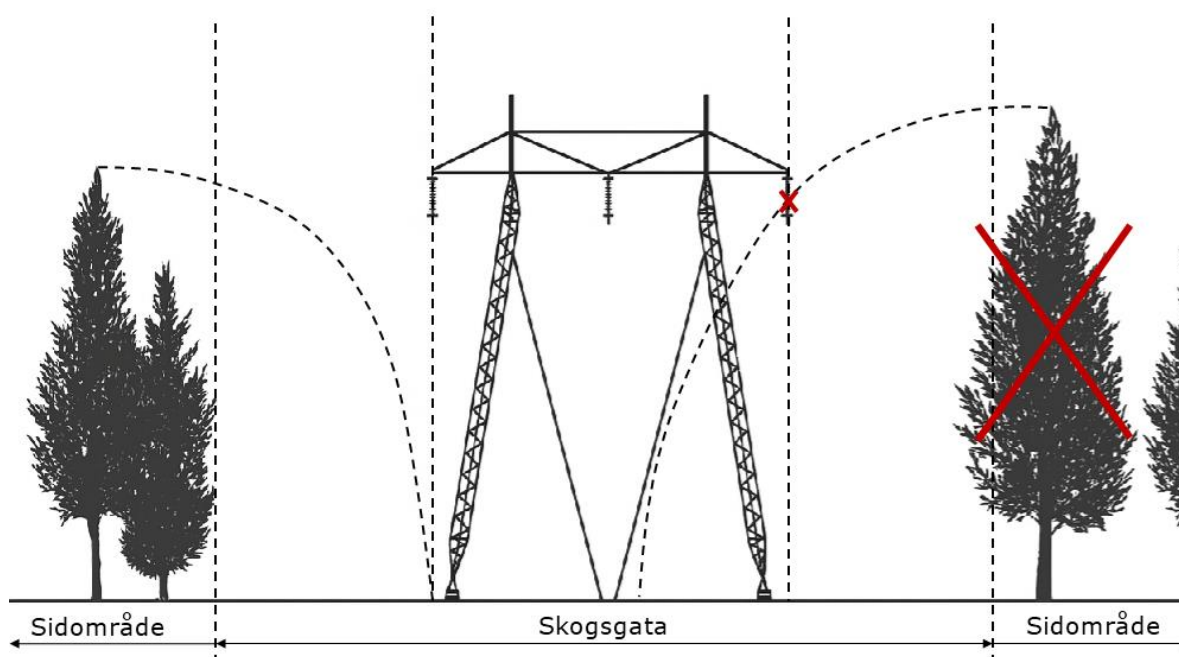
Skyddsområdet definieras alltså som den zon som krävs utöver den fysiska ledningen för att säkerställa anläggningens funktion. Andra typer av skyddszoner som ibland förknippas med elinfrastruktur, såsom områden för elsäkerhet eller magnetfält, omfattas inte av denna definition. Dessa aspekter behandlas inte vidare i denna rapport, eftersom fokus ligger på markanspråk kopplade till den fysiska infrastrukturen och dess funktion. För information om elsäkerhet, magnetfält och samhällsskydd hänvisas till Elsäkerhetsverket respektive Strålsäkerhetsmyndigheten.

Läs mer

- **Elsäkerhet – Elsäkerhetsverket**
<https://www.elsakerhetsverket.se>
- **Magnetfält – Strålsäkerhetsmyndigheten**
<https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se>

För markförlagda kablar innebär ledningsgatan en röjd zon längs kabelsträckningen som hålls fri från djuprotad vegetation. Det är även viktigt att ledningsgatan hålls fri från byggnader. Syftet är att skydda kabeln mot skador och möjliggöra åtkomst för inspektion och reparation. Området omfattar dessutom juridiskt fastställda restriktioner för markanvändning ovan kabeln, exempelvis förbud mot upplag, djupgrävning och tunga konstruktioner (Svenska Kraftnät, u. d.; Svenska Kraftnät, 2019).

För luftledningar utgör ledningsgatan det område där träd och vegetation avlägsnas, den så kallade skogsgatan, samt de kringliggande ytor där farliga kantträd hålls nere för att undvika kontakt med ledningarna, de så kallade sidoområdena, se *Figur 2*. Farliga kantträd definieras som ett träd som riskerar orsaka skada på kraftledningen vid exempelvis storm. Ledningsgatan för luftledningar är generellt bredare än för markförlagda kablar, eftersom det måste ta hänsyn till ledningarnas svängningar samt risken för att kantträd kan falla in över ledningen vid storm (Svenska Kraftnät, u.d.).



Figur 2: Ledningsgatan för en luftledning i skogsområde. I sidoområdet till höger syns ett träd som riskerar skada kraftledningen vid exempelvis storm (AFRY).

Ledningsgatans bredd bestäms också av hur många kabelförband som ingår om förläggningen sker i mark, eller hur många ledningar som krävs vid luftledning i stolpsystem. (BVG Associates Limited, 2023).

3.2.3 Stationer

Stationer behövs för att koppla samman elnät och säkerställa en stabil, effektiv och driftsäker överföring av el. Ofta benämns stationer som transformatorstationer, kopplingsstationer eller omriktarstationer beroende på var i elnätet de placeras och vilken funktion de har.

Transformatorstationer utgör centrala knutpunkter i elnätet och används för att transformera spänning och koppla samman ledningar. En transformatorstation omvandlar spänningen mellan

olika nivåer, exempelvis från stamnätets spänningsnivå (220–400 kV) till regionnätets spänningsnivå (30–170 kV) och från regionnätet vidare till lokalnätets spänningsnivå (0,4–40 kV). Högre spänningsnivåer möjliggör överföring av el över långa sträckor med minimala förluster och lägre spänningsnivåer möjliggör användning av el.

I de fall när spänningsnivån på de inkommande ledningarna till en station är densamma som för nätet till vilket anslutning sker, behövs ingen transformering. Då uppförs istället en så kallad kopplingsstation som fungerar som en förbindelsepunkt i nätet. I kopplingsstationen fördelas en eller flera inkommande ledningar till en eller flera utgående ledningar. En kopplingsstation saknar därför transformatorer, men har bryt- och skyddsfunktioner.

När el överförs som HVDC istället för HVAC krävs en så kallad omriktarstation som omvandlar likström till växelström. En omriktarstation har en annan uppsättning av komponenter än i en traditionell transformatorstation för att kunna hantera omvandlingen. En omriktarstation har samma övergripande nätfunktioner som andra stationer, så som anslutning, styrning och skydd, men skiljer sig genom att den även omvandlar mellan AC och DC och därför kräver en större och mer komplex teknisk uppbyggnad.

3.2.3.1 Generell utformning

Stationsutformning styrs av vilken typ av överföring som används, HVAC eller HVDC, och därmed vilka funktioner som krävs. Generellt projekteras dock stationerna för att klara N-1 fel, vilket innebär att anläggningen ska kunna upprätthålla drift även om en enskild komponent havererar, se avsnitt 3.3.5.

En station består i huvudsak av ställverk, krafttransformatorer, reaktorer, mät- och kontrollutrustning, jordning samt skyddssystem. För att uppföra stationen anläggs betongfundament för byggnader och transformatorgruppar, kabelkanalisation, marklinjenät och övriga konstruktionsdetaljer. Området kring stationen förses med stängsel, dörrar och grindar för säkerhet samt en tillfartsväg för transporter och underhåll.

3.2.3.2 Ställverk

På samma sätt som stationerna utgör elnätets centrala knutpunkter, utgör ställverket stationens centrala knutpunkt där inkommande och utgående ledningar, kablar och transformatorer sammankopplas och kraftflöden styrs. Anslutningen sker via så kallade fack, vilket är enheter i ställverket som hanterar en bestämd elektrisk krets, till exempel en inkommande eller utgående kabel, en transformator eller en reaktor. Varje fack innehåller brytare, skyddsfunktioner och annan utrustning som behövs för att övervaka driften och koppla bort kretsen selektivt vid fel.

Ställverkets huvudfunktion är att fördela el mellan olika nät och möjliggöra omkopplingar. För detta används samlingsskenor som samtliga fack ansluter till. Vid högre spänningsnivåer eller vid anslutning av större produktionsanläggningar är det vanligt att man utför ställverk med dubbla samlingsskenor för omkopplingsmöjligheter, lastfördelning och redundans. Storleken på ställverket ökar med spänningsnivån till följd av att det krävs större isolationsavstånd mellan spänningsförande delar (McDonald, 2012).

För att kunna hålla inkommande och utgående ledningar på rätt höjd och med rätt avstånd används så kallade ställverksportaler som är en bärande stålkonstruktion. Portalerna säkerställer

erforderliga isolationsavstånd mot mark och mellan faserna, vilket är avgörande för elsäkerhet och driftsäkerhet.

Ställverk kan utföras som utomhusställverk eller inomhusställverk. Utomhusställverk är vanligt att utföras som så kallade luftisolerade ställverk (AIS, Air Insulated Switchgear) där naturlig omgivande luft nyttjas som isolermedel. Utomhusställverket placeras på öppna ytor och har ett relativt stort markanspråk då det krävs större avstånd mellan spänningsförande delar, se *Figur 3* för exempel på utförandet av AIS för en HVAC-station.

Som anges i namnet är inomhusställverk inhysta inomhus i en ställverksbyggnad. Dessa kan utföras som AIS, men är vanligt att utföra som gasisolerade ställverk (GIS, Gas Insulated Switchgear). Dessa har ett mycket mer kompakt fotavtryck, och används därför oftast i de fall där en station uppförs på en markyta med begränsat utrymme, exempelvis i tätbebyggda områden eller vid terräng som är bergig eller med sluttningar. GIS använder gas som isolermedel istället för naturligt omgivande luft, där en vanlig gas är SF₆ som har högre isolerförmåga än luft. Dock håller SF₆ på att fasas ut och enligt den kommande europeiska förordningen (EU) 2024/573 kommer användning av SF₆ successivt förbjudas från och med 1 januari 2028 (Europeiska kommissionen, 2024). SF₆ fasas ut eftersom det är en mycket potent växthusgas. Det ersätts successivt av SF₆-fria gasblandningar och andra alternativa isoleringslösningar.



Figur 3: Exempel på HVAC-station med AIS (By Bin im Garten - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=20684264>).

3.2.3.3 Transformator

Transformatorns huvuduppgift är att omforma spänningen för att möjliggöra effektiv överföring av el mellan olika nivåer i nätet, från stamnätets höga spänningar till region- och lokalnätets lägre nivåer. I dagsläget är transformatorer vanligtvis begränsade till en effekt på cirka 750 MVA. Större

transformatorer är tekniskt möjliga, men anses inte vara kommersiellt fördelaktiga eftersom kostnaderna ökar med storleken, samtidigt som transport och installation blir betydligt mer komplexa. Därför används ofta flera transformatorer parallellt för att uppnå högre kapacitet och redundans.

Transformatorn är en av de större och tyngsta komponenterna i en station, och kräver därför tillräckligt stor tillfartsväg för att kunna transporteras till anläggningen. Se *Figur 4* för ett exempel på hur en transformator kan se ut.



Figur 4: En transformator (Foto av [American Public Power Association](#)).

3.2.3.4 Kontrollutrustning

Kontrollutrustningen i en station ansvarar för mätning, styrning, övervakning och kommunikation och säkerställer driftsäkerheten. Utrustningen huseras i en kontrollbyggnad inom stationsområdet. Kontrollbyggnaden fungerar således som stationens hjärna, och är en central punkt för att övervaka och styra både lokala funktioner och fjärrstyrning via driftcentraler. I anslutning till kontrollbyggnaden finns vanligtvis även en mindre kontorsbyggnad för driftpersonal samt parkering för servicefordon.

3.2.3.5 Omriktarstation för HVDC

Vid anslutning av havsbaserad vindkraft via HVDC till en landbaserad transformatorstation används en omriktarstation för att omvandla DC tillbaka till AC innan elen matas in i transmissionsnätet. Omriktarstationen placeras med fördel i direkt anslutning till befintlig stamnätsstation för att minska markbehov och förenkla anslutningen.

Omriktarstationen är större än en vanlig transformatorstation till följd av att det krävs ytterligare utrustning för att omvandla DC till AC samt för att säkerställa god elkvalitet på den el som matas vidare till nätet. De viktigaste delarna är vanligtvis inhysta i en gemensam byggnad och omfattar:

- Likströmshall, där inkommande DC från vindkraftsparken tas emot, hanteras och fördelas
- Ventilhall, med omriktarventiler som omvandlar DC till AC
- Reaktorhall, genom vilken den omvandlade strömmen passerar genom omriktarreaktorer. Dessa jämnar ut strömmen och bidrar till att förbättra elkvaliteten.

Efter reaktorhallen och omvandlingen leds växelströmmen genom AC-filter som tar bort övertoner och vidare genom omriktartransformatorer innan den ansluts till ställverket och transmissionsnätet.

Inom stationsområdet finns även kontrollrum och byggnad för kylsystemsutrustning för hantering av den överskottsvärme som genereras vid omvandling från växelström till likström för HVDC-området, och kontrollbyggnad för AC-området. Beroende på projektspecifika krav och behov för stationsutformningen kan det även finnas hjälpkraft, en mindre kontorsbyggnad och parkering.

Ett exempel över hur en HVDC-station kan se ut återfinns i *Figur 5*. I bakgrunden skymtar den byggnad som huserar likströmshall, ventilhall och reaktorhall samt kylutrustningen.



Figur 5: HVDC-station i Kruseberg, Svenska sidan av Baltic Cable (By Timberwind, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=14126335>)

3.2.4 Sekundära behov

Som konsekvens av att bygga havsbaserad vindkraftspark tillkommer också andra behov av infrastruktur, det inkluderar bland annat:

- Kontorslokaler
- Verkstäder
- Lagerutrymme för reservdelar
- Hamnplats

- Helikopterplatta
- Väg och järnväg

Notera att dessa behov inte har med anslutningen av en havsbaserad vindkraftspark att göra, och enbart är relevanta för driften av anläggningen. Dessa behov, samt etablering av anläggningar, kan även innebära att lokala resurser utvecklas och att befintlig infrastruktur, såsom vägar och hamnar, stärks eller anpassas för projektets genomförande.

3.2.4.1 *Kontorslokaler*

När en vindkraftspark tas i drift sker styrning och övervakning av turbinerna från ett dedikerat kontrollrum, ofta beläget i anslutning till andra servicelokaler. I samband med etableringen bör även utrymmen för möten, personalutrymmen såsom lunchrum, samt parkeringsmöjligheter planeras. Eftersom serviceverksamheten ofta förläggs till befintliga hamnar, kan potentiellt redan existerande lokaler nyttjas genom inhyrning.

Liknande faciliteter bör även finnas i anslutning till transformator- och omriktarstationer. Enligt SVKs tekniska specifikationer för stamnätsstationer ska området, utöver de elektriska komponenterna, inkludera lunchrum, WC och förrådsutrymmen.

3.2.4.2 *Verkstäder och lagerhållning*

För att underhålla vindkraftsparken behövs också reservdelslager och verkstäder i vilka komponenter kan repareras. Dessa placeras ofta i anslutning till servicehamnen.

3.2.4.3 *Hamnkapacitet*

Valet av servicehamn baseras till stor del på dess geografiska närhet till vindkraftsparken, då detta påverkar vilka typer av servicefartyg som krävs för driften. För service används främst två fartygstyper: Crew Transfer Vessels (CTV) och Service Operational Vessels (SOV). CTV:er transporterar upp till 12 tekniker och mindre reservdelar, men är sällan lämpade för sträckor över 50–60 sjömil (90 – 110 km). För längre avstånd krävs SOV:er, som kan hysa upp till 40 personer och verka till havs i upp till två veckor. SOV:er medför högre driftkostnader och används främst där synergier mellan flera parker kan uppnås (KPMG, 2023).

Detaljerad information om hamnars kapacitetskrav för servicefartyg är begränsad, men det kan konstateras att viss hamnkapacitet krävs. Även om servicefartygen sannolikt inte är den avgörande faktorn för hamnens dimensionering, kan deras närvaro, särskilt i hamnar med omfattande övrig verksamhet, bidra till ett behov av utbyggnad.

3.2.4.4 *Helikopterinfrastruktur*

Vid ogynnsamma väderförhållanden, exempelvis höga vågor och hård vind, kan servicefartyg ibland inte ta sig ut till vindkraftsparken. Då kan helikoptertransport vara nödvändig. Enligt en rapport från KPMG efterfrågas helikopterplattor i allt högre grad av vindkraftsutvecklare och serviceaktörer (KPMG, 2023). Detta bekräftas också av AFRYs erfarenheter.

3.2.4.5 Väg och järnväg

Vid anslutning av vindkraft kan det även finnas ett behov av att anlägga nya vägar, bland annat mellan allmän väg och den planerade transformatorstationen. Vid riktigt tunga transporter kan allmänna vägar eller broar också behöva förstärkas för att klara den belastning som transporten kommer innebära.

Trots att flera svenska hamnar är utrustade med industrispår som sträcker sig ända ner till kaj eller lagerytor, är det enligt AFRYs egna erfarenheter mycket ovanligt att järnväg används för transport av vindkraftskomponenter. Redan 2009 konstaterade Vägverket, genom en hamninventering utförd av WSP, att järnvägstransporter inom detta segment var ovanliga (WSP, 2009). I studien framgår att av de 52 undersökta hamnarna hade 35 tillgång till järnvägsspår ner till hamnområdet, varav 25 hade direkt anslutning till kaj eller lageryta.

Sedan 2009 har den tekniska utvecklingen av vindkraftskomponenter kommit långt, vilket sannolikt medför ökade krav på järnvägens bärighet och kapacitet ifall den ska användas som transportväg. För att möjliggöra järnvägstransporter av dessa komponenter skulle en fördjupad analys av befintlig järnvägsinfrastruktur krävas, inklusive bedömning av lastkapacitet, spårgeometri och eventuella behov av förstärkningar eller anpassningar. En sådan analys ligger dock utanför denna rapports omfattning.

3.2.4.6 Potentiella samhällseffekter vid etablering

Etableringen av en havsbaserad vindkraftspark kan även medföra olika typer av samhällseffekter utöver de permanenta markanspråk som anläggningen innebär. Under bygg- och installationsfasen uppstår vanligtvis ett ökat behov av transporter, logistik, entreprenadarbeten och hamnverksamhet. Detta kan påverka efterfrågan på lokala tjänster och resurser samt innebära förändringar i hur befintlig infrastruktur utnyttjas.

Projekt genomförs ofta i anslutning till vägar och hamnar, vilket kan medföra tillfälliga eller permanenta anpassningar av dessa. Sådana förändringar kan påverka tillgänglighet och kapacitet i närområdet under byggtiden men kan också bidra till förbättrad infrastruktur och stärkt kapacitet efter projektets avslut.

3.3 Anslutning till elnätet

Detta avsnitt fokuserar på de tekniska och praktiska aspekterna kring hur el från havsbaserade vindkraftsparker ansluts till det svenska elnätet. Här beskrivs de olika alternativen för anslutningspunkter och principer för val av spänningsnivå. Avsnittet belyser även vilka faktorer som påverkar valet mellan regionnät och stamnät, samt vilka tekniska lösningar som är aktuella beroende på parkens storlek och geografiska läge.

3.3.1 Val av transmissionsform

Det finns idag ingen dokumenterad användning av luftledning från havsbaserad vindkraft till stationsanslutning i Sverige. Projekt som har fått tillstånd som Galene, Poseidon och Kattegatt Syd föreslår alla markförlagda kablar som huvudalternativ för anslutning på land (WSP, 2024; Vattenfall, 2023). Regeringen tog i början av 2025 däremot beslutet att peka ut luftledning som huvudalternativ för utbyggnad av elnät på spänningsnivå 130 kV eller högre, med avsikt att snabba upp tillståndprocesserna (Regeringen, 2025). Ifall detta kommer att innefatta och

påverka teknikbeslutet vid anslutning av havsbaserad vindkraft återstår att se. Det finns ännu inga tydliga riktlinjer från myndigheter om huruvida denna prioritering av luftledning även ska gälla för anslutningssträckor från landtag till station för havsbaserade projekt.

Vid valet mellan luftledning och markförlagd kabel har luftledning generellt lägre installationskostnader och kortare byggtid. Däremot kan den medföra större miljömässig och samhällelig påverkan, vilket ofta leder till en längre tillståndsprocess. Markförlagd kabel har högre initiala kostnader och längre byggtid på grund av omfattande grävarbeten och tekniska utmaningar. Samtidigt ger den generellt lägre visuell påverkan, har ofta högre acceptans från lokalsamhället och markägare, och är vanligtvis enklare att få tillstånd för.

Däremot är markförlagd kabel svårare och dyrare att installera. Enligt SVK uppgår schablonkostnaden för en 400 kV markkabel i urban miljö till cirka 100 miljoner kronor per kilometer, medan motsvarande luftledning kostar cirka 15 miljoner kronor per kilometer (Svenska kraftnät, 2023).

Mot bakgrund av ovanstående behandlar denna rapport därför scenarier med både luftledning och markkabel som anslutningsalternativ.

3.3.2 Förutsättningar vid redan utbyggd nätinфраstruktur

Nya anläggningar ska i första hand anslutas till befintliga stationer för att minimera risken för fel i kraftsystemet, då varje ny komponent innebär en potentiell felkälla. Anslutning ska dessutom ske till lägsta möjliga spänningsnivå. För de effektnivåer som behandlas i denna rapport innebär det att man först undersöker om anslutning kan ske till regionnätet genom eventuella förstärkningar. Om detta inte är möjligt ska anslutning till stamnätet utvärderas.

För anslutning av 500 MW kan det således finnas skäl till att ansluta till regionnätet på 130 kV, dock är det osannolikt att en befintlig regionnätstation har kapacitet att direkt ansluta en anläggning av den storleken. Däremot kan befintliga regionnätsstationer vid uppförande ha tagit framtida anslutningar i beaktning och därav kan det finnas expansionsmöjligheter på befintlig mark, men det är troligt att en installerad effekt på 500 MW kommer att kräva uppförande av en ny regionnätstation.

Enligt erfarenheter inom AFRY är det vanligt att, i tillståndsprocessen för anslutning av havsbaserad vindkraft, i första hand anpassa parkens installerade effekt baserat på tillgänglig kapacitet i befintliga stationer för att få till en snabbare anslutning. Sedan undersöks möjlighet att byta ut parken i etapper, vilket då skulle kunna innebära att nya stationer uppförs för att kunna ta emot parkens produktion.

3.3.3 Anslutning till stamnätet

Det är SVK som, vid anslutning till stamnätet, beslutar om möjlig anslutningspunkt och vilka krav som gäller vid utformning.

Enligt SVKs principer ansluts anläggningar med installerad effekt om minst 100 MW till 220 kV-nätet respektive minst 300 MW till 400 kV-nätet. Som beskrivet i avsnitt 3.3.2 ska anslutning i första hand ske till befintliga stationer men i de fall en ny station behöver uppföras ska dessa utföras med dubbelbrytarställverk (Svenska kraftnät, 2025). Vidare har SVK även tagit

principbeslutet att maximalt ansluta 1400 MW per anslutningspunkt, det vill säga fack, i stamnätsstationer då 1400 MW är det dimensionerande felet i det nordiska kraftsystemet; eventuellt bortfall av ansluten kapacitet vid ett enskilt fel får därmed inte överstiga detta (Svenska kraftnät, 2025). På samma sätt som det finns begränsningar per fack, finns det även begränsningar för den enskilda stamnätsstationen – den samlade maximala effektenmatningen från både produktionsanläggningar och utlandsförbindelser i en stamnätsstation får i regel inte överskrida 2000 MW (Svenska kraftnät, 2023). Dock finns det undantagsfall, med hänvisning till kärnkraftsanläggningar i Sverige som ansluter med högre effekt än 2000 MW.

Anslutningar till stamnätet är alltid projektspecifika. Generellt är det vanligt att SVK äger stationen hela vägen till utgående fack för att kunna ta höjd för andra anslutningar och framtida förstärkningar i stamnätet.

I dagsläget är det mycket osannolikt att befintliga stamnätsstationer har tillgänglig kapacitet för att ansluta de effekter som undersöks i denna utredning. Detta kan dels bero på att stationerna ofta redan är fullt utnyttjade sett till den maximala kapaciteten per stamnätsstation på 2 GW, dels att det inte finns tillgängliga fack att ansluta till. Det kan dock finnas möjlighet att bygga ut befintliga stamnätsstationer för att ansluta 500 MW och 1,4 GW genom tillkommande fack. För att utöka en stamnätsstation med ytterligare fack krävs att befintligt transformatorfack i stamnätsstationen överstiger 500 MW, dock kan undantag medges om det för den specifika anslutningen krävs redundans så att ytterligare transformatorfack behövs (Svenska kraftnät, 2025).

3.3.4 Anslutning direkt till slutkund

Enligt AFRYs erfarenhet innebär direktanslutning till slutkund i praktiken samma typ av infrastruktur som en vanlig anslutning till elnätet. Detta inkluderar anslutningskablar, transformator- eller kopplingsstation och sekundära behov som kontor och servicehamnar. Skillnaden ligger främst i ägarförhållanden och ansvarsfördelning, inte i den tekniska utformningen och dess markanspråk.

Därför antas den fysiska infrastrukturen och det tillhörande markbehovet vara jämförbart med en vanlig nätanslutning, oavsett om anslutningen sker till en nätägare eller direkt till en stor industriell slutkund. Eventuella skillnader bedöms främst påverka driftsorganisation och avtalsstruktur, snarare än den faktiska utformningen av anläggningarna.

3.3.5 Redundans

Redundans är en avgörande faktor vid dimensionering av elektriska komponenter i energisystem. En etablerad princip som tillämpas är den så kallade "N-1-regeln", vilken innebär att systemet ska kunna upprätthålla full effektleverans även vid bortfall av en enskild komponent, exempelvis en kabel eller transformator, utan att detta leder till strömbrott eller överbelastning. Syftet är att säkerställa en hög driftsäkerhet och kontinuerlig elförsörjning även vid fel eller underhåll (Svenska kraftnät, 2021). Detta är inte samma som det dimensionerade felet som i stället reglerar storleken av ett tillåtet bortfall.

I praktisk tillämpning innebär detta att redundans bör räknas in redan i planeringsstadiet. Om beräkningar visar att två kablar är tillräckliga för att exportera den totala effekten från en vindkraftspark, kan det vara av intresse att installera tre kablar. På så sätt säkerställs att de två

kvarvarande kablarna kan hantera hela effektflödet även om en kabel skulle fallera, vilket minimerar risken för driftstörningar och möjliggör obruten leveranskapacitet.

3.4 Markanspråk

Markanspråk definieras som den mark som behöver tas i anspråk för att genomföra ett projekt. Det handlar om att säkerställa tillgång till mark för anläggning, drift och underhåll av exempelvis vägar, ledningar eller annan infrastruktur. Det innebär att markanspråk kan delas upp i både:

- **Permanent markanspråk:** mark som behövs för den färdiga anläggningen.
- **Tillfälligt markanspråk:** mark som behövs under byggtiden för arbetsytor, upplag med mera.

I detta avsnitt beskrivs markanspråket för de komponenter som ingår i driften av en havsbaserad vindkraftspark, från landtag till nätanslutning. Redogörelsen omfattar enbart en kvantifiering av det permanenta markanspråket.

3.4.1 Landtag

Landtagets tekniska utformning och funktion beskrivs i detalj i avsnitt 3.2.1. Nedan sammanfattas de typiska markanspråk som uppstår vid etablering av landtag, med fokus på dimensioner och ytor för olika tekniska lösningar.

Vid ilandföring av sjökabel används vanligtvis antingen öppet schakt, styrd horisontell borring eller en kombination av dessa. Öppet schakt innebär att kabeldiken grävs från vatten upp till land, där schaktdjupet och bottenbredden per kabelförband är omkring 1,5 meter. Öppet schakt används främst på platser där strandlinjen är stabil och inte erosionskänslig, samt där geotekniska förhållanden medger säker schaktning och god åtkomlighet för maskiner. Styrd borring används främst där det finns behov av att minimera påverkan på känsliga miljöer, eftersom installationen sker under bottenytan. Styrd borring kräver att materialet som genomborras är homogent, det vill säga att det består av endast ett sorts material. Det innebär att det på platser med blandade material och kornstorlekar är svårt att genomföra borring. Vid borring krävs ofta en tillfällig arbetsyta om cirka 50 x 60 meter med gynnsam topografi, exempelvis flack terräng med god tillgänglighet för maskiner (WSP, 2024).

Sjökablarna ansluts till markkablar via en eller flera skarvplatser. Antalet skarvplatser är antingen samma som antalet kabelförband (HVAC) respektive kabelpar (HVDC) eller så kan en gemensam skarvplats användas där samtliga kablar samlas och skarvas på ett och samma ställe.

Vid användning av HVAC uppskattas markanspråket för en skarvplats till 4 m x 15 m x 2,5 m (bredd x längd x djup) per kabelförband vid sarskarvning, där respektive kabelförband har en egen skarvplats (Vattenfall, 2023). Om en gemensam skarvplats används kan bredden antas öka linjärt med antalet kabelförband.

Vid användning av HVDC uppskattas markanspråket för en skarvplats till 6 m x 25 m x 2,5 m (bredd x längd x djup) per kabelpar (NorthConnect KS, 2018). Precis som vid HVAC kan bredden antas öka linjärt med antalet kabelpar vid användning av en gemensam skarvplats.

Vid val av luftledning som transmissionsmetod efter landtaget, ansluts kablarna till luftledning via en terminalstation. Markanspråket för terminalstationen beror på antalet kabelförband som ska övergå till luftledning samt hur många ledningsstolpar som krävs för vidare överföring. Enligt Bayern Innovativ kräver en terminalstation för övergång av fyra 400 kV kabelförband en yta på cirka 2 000 m² (Bayern Innovativ, 2016). Fyra kabelförband motsvarar totalt tolv kablar, där varje kabel utgör en fas i ett trefasssystem. Höjden för en terminalstation antas motsvara höjden för de vidaregående luftledningarna, eftersom ledningsgatans första stolpe placeras inom terminalstationens område. Höjd och markanspråk för stolpar behandlas i 3.4.2.1. Baltic Cable, som består av en HVDC-kabel, har en terminalstation med ett markanspråk på cirka 1 000 m². Motsvarande yta kan ses vid terminalstationen för NordLink i Norge.

I *Tabell 3* nedan presenteras typiska markanspråket för anslutningens landtag.

Tabell 3: Uppskattat markanspråk för infrastrukturen kopplat till anslutningens landtag.

Infrastruktur	Beskrivning	Typisk konstruktion	Markanspråk
Öppet schakt	För sjökabelns dragning från hav (ca 10 m djup) upp till land	Ett kabeldike per kabelförband	Schaktdjup: 1,5 m, bottenbredd: 1,5 m
Styrd borrhning (HDD)	Används vid känsliga miljöer; kabeln dras under bottenytan	Borrhål	Markanspråk begränsat till arbetszon: 60 x 50 m per skarvplats
Separerade skarvplatser	Övergång mellan sjö- och markkabel för ett kabelförband	Separata betonggropar	ca 4 × 15 × 2,5 m per förband = 60 m ² yta
Gemensam skarvplats	Samlad skarv för flera kabelförband	Gemensam betonggrop	ca 4 × 15 × 2,5 m per förband = 60 m ² yta
Terminalstation HVAC	Övergång markkabel → luftledning för fyra kabelförband	Stolpstruktur med isolatorpelare, stolpe och utrustning	Yta: 2 000 m ² Höjd: Beror på stolptyp
Terminalstation	För HVDC-system (±320–525 kV) för två kabelpar	Stolpstruktur med isolatorpelare, stolpe och utrustning	Yta: 1 000 m ² Höjd: Beror på stolptyp

3.4.2 Ledningsgata

Markanspråk vid etablering av högspänningsledningar varierar beroende på teknikval och omgivningens karaktär. För markförlagda kablar krävs en permanent ledningsgata för drift och underhåll. Bredden på denna påverkas av kabeltyp, spänningsnivå och antalet kabelförband (National Grid, 2025).

Vid luftledning är markanspråket ofta större, då säkerhetsavstånd till omgivningen måste beaktas. Ledningarnas rörelser vid vindpåverkan, fallrisker för träd kräver bredare skyddsområden än vid markförläggning (Svenska Kraftnät, u.d.).

Markanspråket som redovisas i avsnittet avser standardförhållanden, men i praktiken kan korridoren behöva anpassas. Vid korsningar av vägar, vattendrag eller andra hinder kan det vara ett alternativ att använda schaktfri teknik. I känsliga miljöer kan zonen komma att smaltas av för att minska påverkan (National Grid, 2025).

I många fall anläggs ledningsgatan för markförlagda kablar i anslutning till befintlig infrastruktur, såsom vägar eller andra ledningsgator, vilket underlättar åtkomst och kontinuerlig röjning. Om sådan infrastruktur saknas, upprättas ofta en ny väg eller stig längs kabelsträckningen för att möjliggöra inspektion och underhåll, se *Figur 6* nedan.



Figur 6: Exempel på ledningsgata för markkablar (Google Street View, 2022).

3.4.2.1 Luftledning

Valet av luftledning är oberoende av teknikvalet mellan HVAC och HVDC, eftersom båda teknikerna kan anläggas som luftledning. Stolp- och ledningsgatans dimensioner påverkas däremot av spänningsnivån och den effekt som ska överföras.

Bredden på ledningsgatan varierar med terräng. Bredden på en 400 kV-gata i skogsmark är ca 45–50 meter för enkelledning och ca 80–90 meter för dubbelledning (Svenska Kraftnät, u.d.). Bredden på en 130 kV-gata i skogsmark är ca 36–40 meter för enkelledning och ca 55 meter för dubbelledning (Ellevio AB, 2024). *Figur 7* visar en ledningsgata i skogsmark.



Figur 7: Exempel på kraftledningsgata för luftledning med röjd skogsgata (AFRY).

I åkermark begränsas markanspråket i huvudsak till stolparnas fundament, medan ytan mellan stolpar kan fortsätta brukas. Fundament för stolpar till luftledningar kan ta relativt stora ytor i anspråk, och storleken varierar beroende på spänningsnivå, stolpdesign och vald fundamentstyp. För högspänningsledningar kan fundamentens totala markanspråk ligga i intervallet cirka 10×10 m upp till 35×35 m (Svenska kraftnät, 2023). För 130 kV-stolpar tar fundamentet upp en yta om mellan $1,5 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}$ till $4,5 \text{ m} \times 4,5 \text{ m}$ per stolpben beroende på valet av fundamentstyp (Ellevio AB, 2024). *Figur 8* visar en ledningsgata i åkermark.



Figur 8: Exempel på kraftledningsgata för luftledning i åkermark (AFRY).

För 400 kV-luftledningar varierar stolphöjden avsevärt beroende på val av konstruktion och lokala förutsättningar, men typiskt ligger höjderna i intervallet cirka 20–50 meter. Spannlängden mellan stolpar är vanligtvis 200–250 meter, men varierar med terräng och stolphöjd (Svenska kraftnät, 2023). Spannlängd avser det horisontella avståndet mellan intilliggande stolpar. En sammanställning av markanspråket för 400 kV-stolpar presenteras i *Tabell 4*.

För 130 kV-stolpar är höjden normalt 16–25 meter och spannlängden normalt cirka 150–200 meter (Vattenfall Eldistribution, 2025). En sammanställning av markanspråket för 130 kV-stolpar presenteras i *Tabell 5*.

HVDC-stolpar kan ofta utformas något lägre än motsvarande HVAC-stolpar eftersom tekniken vanligtvis kräver färre ledare till följd av högre överföringsförmåga och därmed mindre utrymme i höjded. För denna rapport undersöker vi HVDC på spänningsnivån ± 525 kV och därmed antas att markanspråket för ledningsgatan hos en ± 525 kV HVDC-ledning motsvarar den för en 400 kV HVAC-ledning.

Tabell 4: Uppskattat markanspråk för en 400 kV HVDC-ledningsgata samt en ± 525 kV HVDC-ledningsgata kopplat till anslutning av havsbaserad vindkraft.

Infrastruktur	Ledningsgata (bredd)	Stolpfundament (yta)	Typisk höjd	Spannlängd
Luftledning enkel	ca 45–50 m (skogsmark)	10 × 10–35 × 35 m	20–50 m	200–250 m
Luftledning dubbel	ca 80–90 m (skogsmark)			

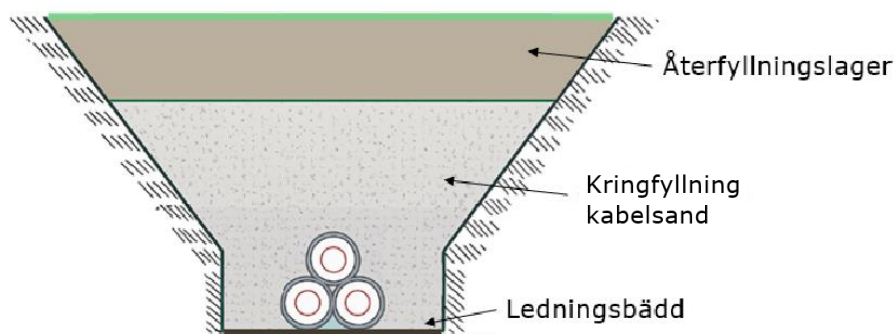
Tabell 5: Uppskattat markanspråk för en 130 kV ledningsgata kopplat till anslutning av havsbaserad vindkraft

Infrastruktur	Ledningsgata (bredd)	Stolpfundament (yta)	Typisk höjd	Spannlängd
Luftledning enkel	ca 36–40 m (skogsmark)	1,5 × 1,5–4,5 × 4,5 m	16–25 m	150–200 m
Luftledning dubbel	ca 55 m (skogsmark)			

3.4.2.2 Markförlagd HVAC

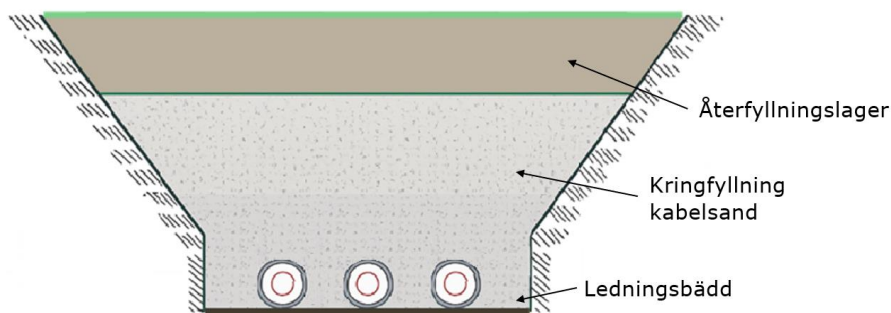
HVAC-kabelförband består normalt av tre enfaskablar som förläggs antingen i triangelformation eller i horisontell formation, där kablarna ligger platt bredvid varandra. Kabeldiametern är vanligen cirka 10–20 cm.

Vid förläggning av HVAC-kablar i triangelformation ligger kablarna normalt intill varandra, med två kablar nedtill och en upptill. Tvärsnittet för markförlagda HVAC-kablar i triangelformation visas i *Figur 9*.



Figur 9: Tvärsnitt för ett HVAC-kabelförband förlagt i triangelformation (AFRY).

Vid horisontell förläggning används enligt många tillverkarmanualer ett centrumavstånd motsvarande 70 mm plus kabelns ytterdiameter. Detta innebär i praktiken ett avstånd på cirka 7 cm mellan enfaskablarna i samma kabelförband (ABB). Tvärsnittet för markförlagda HVAC-kablar i horisontell formation visas i *Figur 10*.



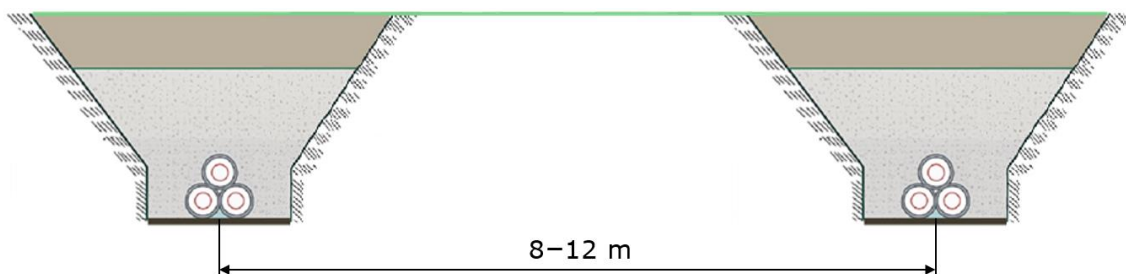
Figur 10: Tvärsnitt för ett HVAC-kabelförband förlagt i horisontell formation (AFRY).

Kablarna förläggs oftast direkt i mark i en sandbädd, men kan vid behov skyddas med kanalisationsrör. Kabelförbanden kan placeras i ett gemensamt schakt (samförläggning) eller i separata schakt (särförläggning) (Svenska Kraftnät, 2024). *Figur 11* visar ett öppet schakt för ett HVAC-kabelförband förlagt i horisontell formation i gemensamt schakt.



Figur 11: Öppet schakt vid förläggning av HVAC-kablar i horisontell formation (AFRY).

Vid särförläggning med förläggning i triangelformation placeras varje kabelförband i ett separat schakt med ett djup på cirka 1–2 m, en bottenbredd på omkring 1 m och en dagöppning, bredden på schaktet vid marknivå, på cirka 3–5 m. Detta innebär att en trädfri kabelgata på ungefär 8–12 meter per kabelförband krävs under driftfas, se Figur 12. (Vattenfall, 2023; Svenska Kraftnät, 2024). Bottenbredden blir något större vid särförläggning av kablar i horisontell formation för att tillåta ett centrumavstånd mellan enfaskablarna, vilket innebär en ökning med cirka 0,15 m per kabelförband och schakt.

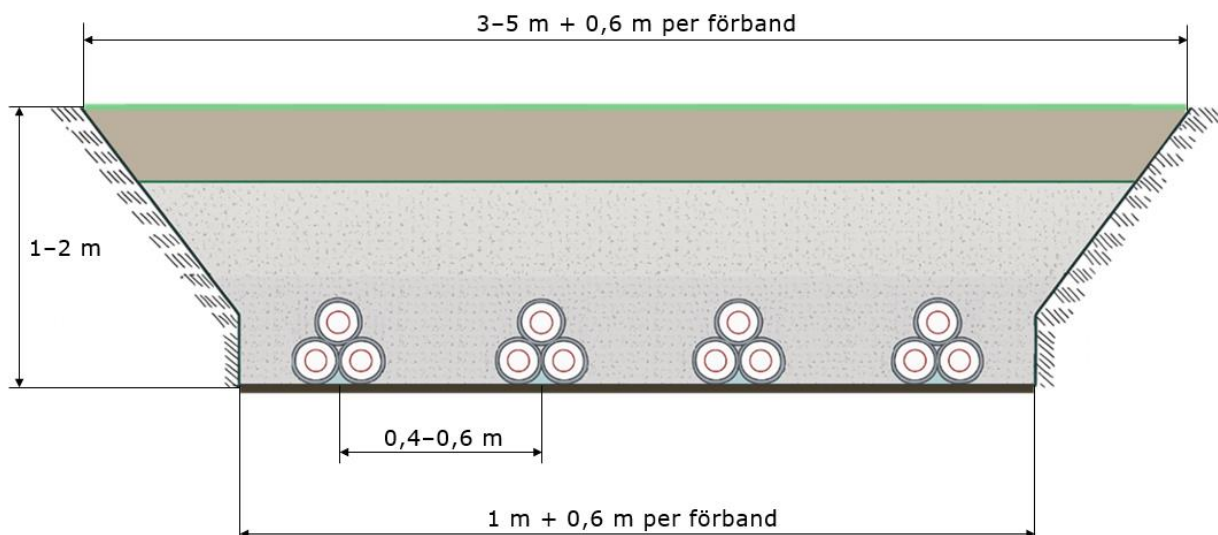


Figur 12: Tvärsnitt för två HVAC-kabelförband förlagda i triangelformation i separata schakt (AFRY).

Vid samförläggning placeras alla kabelförband i samma schakt med en bottenbredd och dagöppning beroende på antalet kabelförband. Avståndet mellan två kabelförband i samma schakt bestäms projektspecifikt med hänsyn till termiska förluster, kabelns maximala strömkapacitet, markens värmeledningsförmåga och driftsäkerhet. Enligt Vattenfall Eldistributions tekniska riktlinjer vid installation av 130 kV-kablar bör ett fritt avstånd på minst 30 cm hållas mellan kabelförband (Vattenfall Eldistribution, 2024).

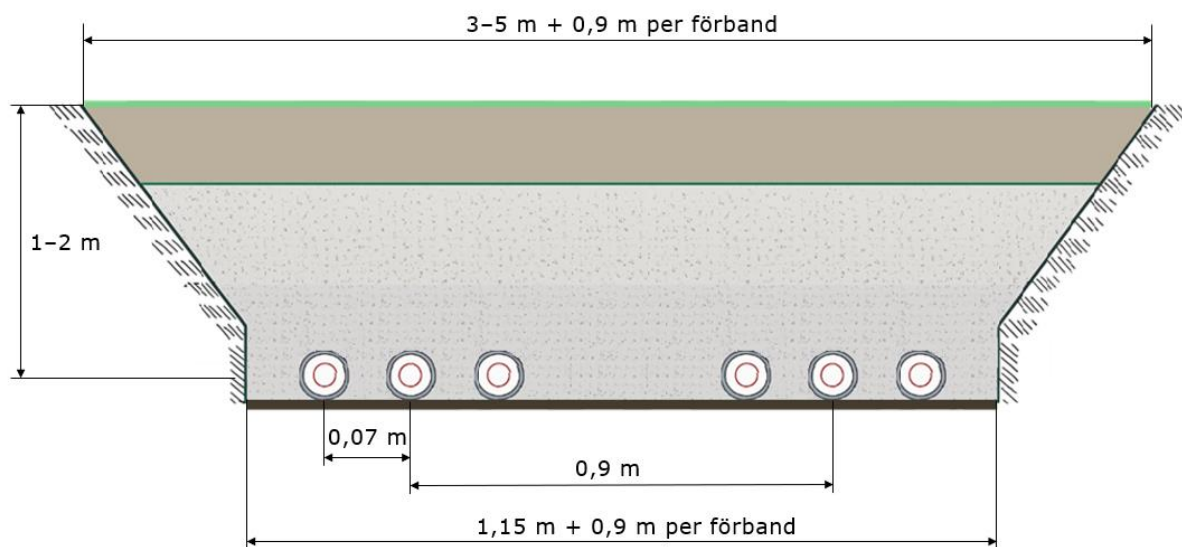
För HVAC-kablar om spänning 220 kV och 400 kV och vid triangelförläggning kan enligt ABB:s *XLPE Land Cable Systems User's Guide* avståndet mellan kabelförband utgöras av ett centrum–centrum–avstånd på cirka 0,4–0,6 m (ABB). Vid horisontell förläggning bör ett centrum–centrum–avstånd på 0,9 m användas (NKT Cables). Med centrum–centrum–avstånd menas avståndet mellan kabelförbandens mittpunkt.

Bottenbredden och dagöppningen ökar med antalet kabelförband för båda varianterna av förläggning. För triangelformation som antas ha bottenbredden 1 m och dagöppningen 3–5 m, så ökar dessa mått med ungefär 0,3 m per ytterligare kabelförband för 130 kV, och cirka 0,4–0,6 m för 220 kV och 400 kV, se *Figur 13*.



Figur 13: Tvärsnitt för fyra HVAC-kabelförband förlagda i triangelformation i gemensamt schakt med tillhörande avstånd och mått (AFRY).

Vid horisontell formation som antas ha bottenbredden 1,15 m och dagöppningen 3–5 m, ökar dessa mått med ca 0,9 m per ytterligare kabelförband för samtliga spänningsnivåer, se *Figur 14*.



Figur 14: Tvärsnitt för två HVAC-kabelförband förlagda i horisontell formation i gemensamt schakt med tillhörande avstånd och mått (AFRY).

I *Tabell 6* och *Tabell 7* presenteras typiska schaktmått för sam- och särförläggning av HVAC-kabelförband på både 130 kV och 400 kV i triangel respektive horisontell formation.

Tabell 6: Uppskattat markanspråk för en 400 kV markkabelgata kopplat till anslutning av havsbaserad vindkraft.

Förläggningstyp	Antal kablar per förband	Formation	Typiska schaktmått
Samförläggning	3	Triangel	Bottenbredd: 1 m + 0,6 m per förband Dagöppning: 3–5 m + 0,6 m per förband
		Horisontell	Bottenbredd: 1,2 m + 0,9 m per förband Dagöppning: 3–5 m + 0,9 m per förband
Särförläggning		Triangel	Bottenbredd: 1 m Dagöppning: 3–5 m Avstånd mellan förband: 8–12 m
		Horisontell	Bottenbredd: 1,2 m Dagöppning: 3–5 m Avstånd mellan förband: 8–12 m

Tabell 7: Uppskattat markanspråk för en 130 kV markkabelgata kopplat till anslutning av havsbaserad vindkraft.

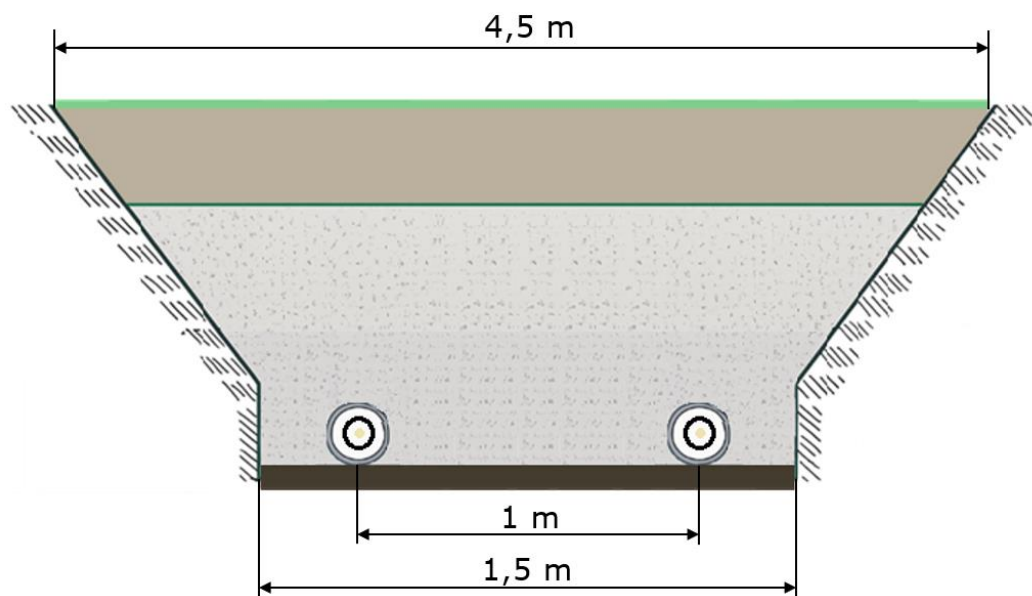
Förläggningstyp	Antal kablar per förband	Formation	Typiska schaktmått
Samförläggning	3	Triangel	Bottenbredd: 1 m + 0,3 m per förband Dagöppning: 3–5 m + 0,6 m per förband
		Horisontell	Bottenbredd: 1,2 m + 0,9 m per förband Dagöppning: 3–5 m + 0,9 m per förband
Särförläggning		Triangel	Bottenbredd: 1 m Dagöppning: 3–5 m Avstånd mellan förband: 8–12 m
		Horisontell	Bottenbredd: 1,2 m Dagöppning: 3–5 m Avstånd mellan förband: 8–12 m

3.4.2.3 Markförlagd HVDC

Vid bipolär HVDC-förläggning består ett kabelpar av två kablar med en ytterdiameter på cirka 13 cm vid spänningsnivån ± 525 kV. De två kablarna i ett kabelpar kan förläggas antingen i ett gemensamt schakt eller i två separata schakt för respektive kabel. Induktionsrisk, alltså risken att ett varierande magnetfält ger upphov till oönskade strömmar i andra objekt, är inte ett skäl att separera kablarna eftersom DC-ström inte skapar sådana växlande magnetfält. Däremot kan faktorer som termisk påverkan och redundanskrav motivera ett avstånd mellan kablarna.

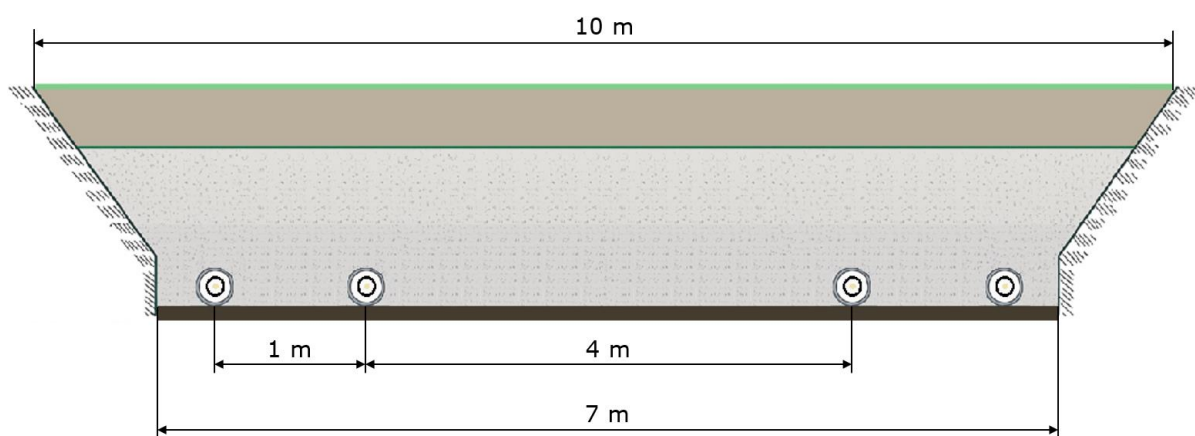
Om kablarna i ett kabelpar förläggs i separata schakt är avståndet mellan schakten vanligtvis omkring 3 meter, vilket medför ungefär ett totalt avstånd på 7 meter mellan kablarna. Varje schakt har då en bottenbredd på cirka 1 meter och en dagöppning på ungefär 4 meter. Schaktdjupet varierar mellan projekt men kan generellt uppskattas till omkring 1,3 meter (NorthConnect KS, 2018).

När kablarna i ett kabelpar förläggs tillsammans placeras de med ett inbördes avstånd på cirka 1 meter. Ett sådant schakt har normalt en bottenbredd på omkring 1,5 meter och en dagöppning på cirka 4,5 meter, se *Figur 15* (NorthConnect KS, 2018).



Figur 15: Tvärsnitt för ett markförlagt bipolärt HVDC-kabelpar i samma schakt med tillhörande avstånd och mått (AFRY).

Det är även möjligt att förlägga flera kabelpar i ett gemensamt schakt, se *Figur 16*. Vid sådana lösningar bör ett avstånd på omkring 4 meter mellan kabelparen hållas för att undvika förluster i överföringsförmågan (Europacable, 2011).



Figur 16: Tvärsnitt för två markförlagda bipolära HVDC-kabelpar i samma schakt med tillhörande avstånd och mått (AFRY).

I *Tabell 8* nedan presenteras typiska schaktmått för sam- och särförläggning av HVDC-kabelpar.

Tabell 8: Uppskattat markanspråk för anslutningens HVDC-markkabelgata.

Förläggning	Antal kablar	Schaktbredd	Avstånd mellan kablar och kabelpar
Gemensamt schakt (2 kabelpar)	2 × 2 (+/- bipolär)	Bottenbredd: ca 7 m Dagöppning: ca 10 m Djup: 1,3 m	Kabelavstånd: 1 m Kabelparsavstånd: 4 m
Gemensamt schakt (1 kabelpar)	1 × 2 (+/- bipolär)	Bottenbredd: ca 1,5 m Dagöppning: ca 4,5 m Djup: 1,3 m	Kabelavstånd: 1 m
Separata schakt	2 (+/- bipolär)	Bottenbredd: ca 1 m per schakt Dagöppning: ca 4 m per schakt Djup: 1,3 m	Kabelavstånd: 7 m

3.4.3 Stationsområde

3.4.3.1 Stationer

Stationsutformningen är i hög grad projektspecifik utifrån behov, lokala förhållanden och tekniska lösningar vilket gör att det faktiska markanspråket för att uppföra en station är svårt att ge en exakt uppskattning över.

En landbaserad transformatorstation för 400 kV kan uppskattas ha en storlek om cirka 5 ha (BVG Associates Limited, 2023). Inom AFRY har man sett både större och mindre anläggningar till följd av att utformningen påverkas av teknisk utformning, tillgänglig markyta och framtida planering med kommande anslutningar eller nätförstärkningar. Det finns en stor variation mellan regionnätsstationer, kopplingsstationer och stamnätsstationer och det saknas specifika riktmärken för storleken på stationsområden vilket gör det svårt att ange generella mått. Exempelvis är stamnätsstationen i Nybro med NordBalt-anslutningen mellan Sverige och Litauen, cirka 5,4 ha baserat på mätning genom Lantmäteriets kartor. Till denna stamnätsstation ansluter även en 130 kV regionnätsstation med ett markanspråk på cirka 2,2 ha. Förbindelsen mellan Sverige och Tyskland via Baltic Cable kan genom samma mätprocedur uppskattas ha en stamnätsstation med markanspråk på cirka 1,4 ha, och en anslutande regionnätsstation på cirka 1 ha. Ett exempel på en desto större stamnätsstation är Midskog, strax nordost om Östersund som uppmäts till cirka 5,6 ha.

I de fall en kopplingsstation uppförs är det ställverket som upptar den större delen av markytan, men till området hör även en kontrollbyggnad för att säkerställa driften av anläggningen. Byggnadsytan som krävs är dock försumbar sett till de ytor som utomhusställverk kräver och total markyta kan uppskattas till samma yta som för själva ställverksplanen för 130 kV på cirka 0,36 ha

medan det för 400 kV kan uppskattas till cirka 2,5 ha men är starkt beroende på hur många fack som ansluter till ställverket och därmed hur brett ställverket behöver vara.

Dessa storlekar bör främst ses som illustrativa exempel, eftersom stationsområdets utformning och markbehov varierar avsevärt mellan olika projekt och därmed inte ger underlag för generella riktvärden.

SVK har tidigare genomfört ett antal utredningar för möjliga placeringar av nya stationer för anslutning av havsbaserad vindkraft till stamnätet. Fem anslutningspunkter finns identifierade (Svenska kraftnät, 2024):

- Luleå
- Tierp
- Söderhamn-Källmyran
- Söderhamn-Fallviken
- Hudiksvall

Samtliga anslutningar har en indikativ kapacitet om mellan 1000–1400 MW och möjlighet att inom stationsområdet uppföra en omriktarstation eller växelströmsstation i direkt anslutning till berörd stamnätsstation. Baserat på SVKs utredningar om möjliga anslutningspunkter, kan stationsområdet uppskattas till cirka 4 ha. Placering och disponering av markområdena är dock enbart förslag och kan komma att ändras i dialog med anslutande parter vid framtagande av anslutningsavtal. Även om SVK inte föreskriver något specifikt teknikval för stationen är det troligt att exporten från vindkraftsparken, med tanke på stationslägena nära kusten, sker via nedgrävda DC-kablar som förs in till omriktarstationen. Med en ansluten effekt om 1400 MW är det troligtvis ämnat att det sedan ansluts till ett mindre 400 kV-ställverk där SVK har en utgående luftledning för vidare matning till antingen en större stamnätsstation eller en större kopplingsstation.

3.4.3.2 Ställverk

Själva ställverket och dess fack är generellt drivande när det kommer till markanspråket för en station, särskilt när ställverk utformas som utomhusställverk till följd av de avstånd som krävs för att säkerställa drift- och personalsäkerhet. Ett typiskt 400 kV ledningsfack är cirka 21 m brett och minst cirka 70 m långt (Svenska kraftnät, 2022). För att återgå till exemplet i avsnitt 3.4.3.1 med stamnätsstationen i Nybro där de baltiska kablarna ansluter, finns en 400 kV samlingsskena som regionnätsstationen ansluter till. Denna samlingsskena har ett markanspråk på cirka 1,05 ha.

På spänningsnivåer för regionnät, 130 kV, är fackbredden cirka 10 m och cirka 50 m långt (E.ON Energidistribution AB, 2022; EBR, 2024). Ställverksplanen, det vill säga den markytan som krävs för att uppföra utomhusställverket med de drift- och säkerhetsavstånd som krävs, uppskattas ha en genomsnittlig yta om cirka 3600 m² (EBR, 2024).

3.4.3.3 Omriktarstation för HVDC

Omriktarstationer är generellt större än typiska transformatorstationer eftersom, som beskrivet i avsnitt 3.2.3.5, fler komponenter behövs för att omvandla DC till AC.

En landbaserad omriktarstation kan uppskattas ha en storlek om cirka 7,5 ha (BVG Associates Limited, 2023). Precis som för vanliga transformatorstationer har man inom AFRY sett både

större och mindre anläggningar beroende på vilken effekt som undersöks för anslutningen och vilka lokala förutsättningar som gäller. Exempelvis finns det befintliga anläggningar som kräver markyta om 3–4 ha, beroende på hur man väljer att utforma omriktarstationen. Exempelvis utfördes den baltiska HVDC-förbindelsen NordBalt mellan Sverige och Litauen med arbetad markyta om cirka 3 ha, där omriktarstationens byggnader omfattade cirka 0,6 ha (NCC, u.d.). Kruseberg omriktarstation, som ligger i direkt anslutning till SVKs stamnätsstation för förbindelsen Baltic Cable mellan Sverige och Tyskland, har ett ungefärligt markanspråk om cirka 1,6 ha baserat på mätning genom Lantmäteriets kartor.

En omriktarstation kan i stora drag skalas upp modulärt baserat på effektnivåer om cirka 1 GW per modul. Det specifika markanspråket är dock alltid projektspecifikt och påverkas av lokala förutsättningar, teknikval och utförande, men för enkelhets skull antas att en modul som inkluderar omriktarventiler, reaktorer, AC-filter, transformatorer med flera kan generaliseras till en yta om cirka 150 x 180 m.

Vid anslutning till ett fack på en 400 kV-samlingsskena (utomhusställverk) utförd med dubbla skenor och utgående fack för luftledningar mot stamnätet, kan en komplett modul inklusive AC-anslutning uppskattas till en total yta om cirka 155 x 345 m.

I *Tabell 9* presenteras det uppskattade markanspråket för anslutning mot det svenska elnätet.

Tabell 9: Uppskattat markanspråk för anslutningspunkt mot nätet.

Infrastruktur	Yta	Typiska mått	Kommentar
Stamnätsstation (anslutningspunkt)	1,4–5 ha	Varje station är unik	Möjlighet att uppföra omriktarstation eller HVAC-station inom området. Avser station som ansluter havsbaserad vindkraft och därmed har begränsat antal fack samt att SVK har en utgående ledning från ställverket.
Station 130 kV	0,5–2 ha	Varje station är unik	
Omriktarstation HVDC	ca 3–7,5 ha	ca 155 × 345 m	Större än HVAC p.g.a. fler komponenter för AC/DC-omvandling
400 kV ledningsfack	ca 0,15 ha	ca 21 m brett, 70 m långt	Utomhusställverk, ingår som del av anslutning mot stamnät
130 kV fackbredd,	ca 0,05 ha	ca 10 m, 50 m långt	Utomhusställverk, ingår som del av anslutning mot regionnät
130 kV ställverksplan	ca 0,36 ha		Utomhusställverk, totala ytan på vilken ställverket uppförs

3.4.4 Sekundära behov

Utöver det direkta markanspråk som en havsbaserad vindkraftspark medför, uppstår även sekundära behov av mark kopplade till drift och underhåll.

3.4.4.1 Kontorslokaler

Som nämnts i 3.2.4.1 är det inte nödvändigt att nya kontorslokaler uppförs i samband med etableringen av en vindkraftspark. Eftersom dessa typer av byggnader generellt har lägre tekniska krav än exempelvis transformatorstationer, finns goda möjligheter att nyttja befintliga fastigheter i hamnområden för ändamålet. Ett exempel på hur stora dessa lokaler potentiellt kan vara är Lillgrunds vindkraftspark i Öresund, vars kontors- och servicefunktioner är lokaliserade i Klagshamn. Parken har en installerad effekt på 110 MW, och den tillhörande fastigheten omfattar cirka 0,5 hektar, varav kontorsbyggnaden utgör 700 m² (Google Maps (a), u.d.).

Gwynt y Môr är en annan vindkraftspark, med en installerad effekt på 576 MW, som är belägen utanför Skottlands norra kust. RWE, som är delägare i parken, har sina servicelokaler i hamnen i Mostyn (RWE, 2025). Den tillhörande fastigheten uppskattas uppta cirka 0,85 hektar, varav kontorsbyggnaden utgör 0,2 hektar (Google Maps (b), u.d.).

Det är svårt att exakt uppskatta hur mycket mark som kontorslokaler inom en transformatorstation kräver. Enligt SVKs tekniska riktlinjer ska lokalerna dock inkludera ett lunchrum och toalett. Eftersom dessa utrymmen är en del av det övergripande stationsområdet är det mer relevant att utgå från det totala markbehovet för hela stationen, vilket redovisas i *Tabell 10*.

3.4.4.2 Verkstäder och lagerhållning

Enligt en rapport från KPMG (2023) uppskattas behovet av servicelokaler för en vindkraftspark med en installerad effekt på 1 GW till cirka 0,8 hektar. Trots att den tekniska utvecklingen går mot allt större turbiner betonar rapporten att behovet av lageryta inte ökar i samma takt, då turbinernas reservdelar ofta är små och kompakta.

Markbehovet för reservdelslager kan minskas genom centraliserad lagerhållning i större hamnar. Ett exempel är Vattenfalls reservdelslager i Esbjergs hamn, som förser flera nordeuropeiska parker med kritiska komponenter. Lagret omfattar 2 100 m² inomhusyta och 10 000 m² utomhusyta (Vattenfall, 2022).

Synergier mellan närliggande parker kan reducera markanspråket ytterligare. Exempelvis får Horns Rev I, DanTysk och Sandbank sin service från Esbjergs hamn, vilket möjliggör gemensam användning av båtar, infrastruktur och faciliteter (Vattenfall, u.å.). Liknande lösningar finns i Hvide Sands hamn för parkerna Horns Rev III, Vesterhav Nord och Vesterhav Syd (Vattenfall, 2024).

3.4.4.3 Hamnkapacitet

Som tidigare nämnts är det utmanande att hitta tillförlitliga uppgifter om det markanspråk som är kopplat till servicefartyg samt den hamnkapacitet som dessa fartyg kräver. Det kan dock konstateras att en hamnplats kommer vara nödvändig, och att dess dimensionering är beroende av vilken typ servicefartyg som används. Exempelvis kräver en SOV generellt större utrymme än en CTV.

3.4.4.4 Helikopterinfrastruktur

Ett exempel på helikopterplatta kan hittas i Esbjergs hamn, i anslutning till Vestas servicelokaler, och storleken kan uppskattas till cirka 40 m² (Google Maps (c), u.d.).

3.4.4.5 Väg och järnväg

De permanenta markanspråken relaterade till vägar är svåra att uppskatta men det finns tekniska riktlinjer för specifika delar. Enligt SVKs riktlinjer för stamnätsstationer ska minsta krönbredd för transformator- och tillfartsväg "vara 6,0 m, 5,5 m asfalterad bredd samt 2 stödremsor på 0,25 m vardera." (Svenska Kraftnät, 2025). Hur lång vägen är varierar från projekt till projekt och beror på transformatorstationens placering relativt närmsta allmänna väg.

I *Tabell 10* presenteras den uppskattade marken som tas i anspråk av vindkraftsparkens sekundära behov.

Tabell 10: Uppskattat markanspråk för sekundära behov.

Infrastruktur	Installera d effekt	Markanspråk	Byggnadsyta	Kommentar
Kontorslokaler	110 MW	ca 0,5 ha	ca 700 m ²	Befintliga fastigheter i hamnområden kan nyttjas
	576 MW	ca 0,85 ha	ca 0,2 ha	Servicelokaler i hamn
Verkstäder & lager	1 GW	ca 0,8 ha	Ej angivet	Servicelokaler för drift och underhåll
	Flera parker	ca 1,21 ha	ca 0,2 ha inomhus, ca 1,0 ha utomhus	Centraliserad lagerhållning minskar markanspråk
Helikopter	Ej angivet	ca 40 m ²	Ej angivet	Helikopterplatta i hamn

4 Scenarioanalys och Resultat

I detta avsnitt redovisas vilka markytor som behöver tas i anspråk för att etablera och driva den infrastruktur som krävs vid anslutning av havsbaserad vindkraft, kopplat till de tre scenarier som presenteras i rapporten. Varje scenario bygger på specifika antaganden om tekniska lösningar, effektstorlekar och anslutningsalternativ, vilket innebär att resultatet för markanspråk är direkt kopplat till respektive scenario. Genom att redovisa markbehov och infrastruktur för varje fall ges en jämförbar och konkret bild av hur olika tekniska val påverkar det totala markanspråket och de praktiska förutsättningarna för anslutning av havsbaserad vindkraft.

För att ge en samlad och tydlig bild av markanspråket för de olika komponenterna presenteras för varje scenario både en översiktlig figur och en detaljerad tabell.

4.1 Generella antaganden och förutsättningar

4.1.1 Landtag och ledningsgata

Samtliga kabelförband antas kunna föras iland gemensamt vid landtaget, vilket förenklar dimensionering av skarvplatsen.

Samtliga kabelförband antas kunna förläggas i ett gemensamt schakt, vilket innebär att alla kablar placeras tillsammans och schaktets bredd dimensioneras därefter. Detta förutsätter att markförhållandena tillåter samförläggning utan tekniska eller miljömässiga hinder.

Redundans inkluderas inte i beräkningarna, det vill säga ingen överdimensionering av antalet kabelförband och ledningar för att hantera eventuella kabel- eller ledningsfel längs ledningsgatan.

Ledningsgatans bredd och utformning baseras på standardförhållanden i skogsmark eller åkermark. Ingen hänsyn tas till eventuella anpassningar vid korsningar av vägar, vattendrag eller känsliga biotoper. De angivna stolphöjderna illustrerar att olika teknikval medför olika stolphöjder, vilket i sin tur påverkar ledningsgatans utformning.

4.1.2 Stationsområde

För samtliga scenarier antas att ställverk utformas som utomhusställverk.

I samtliga fall antas fundamentdjup vara cirka 2 m, medan höjdled styrs av portalernas dimensioner som uppskattas till ca 20 m.

Vid anslutning av 1,4 GW kan det i vissa fall vara möjligt att utöka befintlig station med ytterligare fack för att ta emot den levererade effekten. Detta förutsätter dock att den stationens totala kapacitet inte överstiger det dimensionerande felet på 2 GW, vilket då skulle kräva uppförande av en ny station. Eftersom SVK i tidigare utredningar har analyserat anslutning av havsbaserad vindkraft till nya stamnätsstationer med samlokalisering av omriktarstation och stamnätsstation, omfattar denna rapport även en bedömning av markanspråket för en sådan lösning där båda anläggningarna placeras inom samma område.

4.2 500 MW

En havsbaserad vindkraftspark med en installerad effekt på 500 MW förväntas placeras relativt nära land, vanligtvis på ett avstånd mindre än 100 kilometer. Vid dessa avstånd är det tekniskt möjligt och fördelaktigt att överföra elektricitet till land med hjälp av HVAC-kablar.

Anslutningen kan ske till både regionnätet (130 kV) och stamnätet (220 kV eller 400 kV), och därför behandlas båda alternativen i detta scenario. Exportkablar på land och landtag utförs på samma sätt oavsett om parken ansluts till region- eller stamnätet. Det som skiljer är huruvida en spänningstransformering behöver göras vid anslutningspunkten.

4.2.1 Landtag och ledningsgata

Antalet kabelförband som krävs för att överföra 500 MW från en havsbaserad anläggning till land beror på den valda spänningsnivån och kabeltypens tekniska egenskaper. I detta fall förutsätts att exporten sker vid 130 kV. Med dessa specifikationer krävs tre kabelförband (PEX Al 3x1x2000) med en överföringsförmåga om 206 MW per kabelförband, se Tabell 1. I detta scenario antas att kabelförbanden samförläggs. Detta innebär att det kommer krävas en gemensam skarvplats där övergången mellan sjökabel och markkabel sker och ett gemensamt kabelschakt. Sjøkabeln förs iland via ett öppet schakt. Där markkablarna förläggs röjs också en ledningsgata som möjliggör drift och underhåll. Markkablarna leder sedan vidare effekten till en station där den distribueras ut på nätet.

4.2.2 Stationsområde

4.2.2.1 Anslutning till regionnät

En anslutning av 500 MW skulle kunna ske till regionnätet, i enlighet med SVKs principer att nya anslutningar i första hand ska ske till lägsta möjliga spänningsnivå innan anslutning till stamnätet övervägs.

För export från vindkraftsparken på 130 kV krävs ingen transformering för anslutning till regionnätet och därav kan en kopplingsstation uppföras för att samla vindkraftsparkens kabelförband för vidare inmatning mot nätet. Kopplingsstationer har ett relativt litet markanspråk eftersom de huvudsakligen består av ett utomhusställverk och byggnaderna är marginella i förhållande till ställverksytan.

4.2.2.2 Anslutning till stamnät

För anslutning mot stamnätet krävs en transformatorstation för att transformera upp spänningen till antingen 220kV eller 400 kV, varav i detta fall anslutning troligtvis skulle ske till 400 kV då produktionen överstiger 300 MW enligt SVKs principer beskrivet i avsnitt 3.3.3. Den totala överförda effekten på 500 MW understiger den maximala effektgräns per fack som anges i SVKs riktlinje. Med hänvisning till principen att i första hand ansluta till befintliga stationer antas det därför vara möjligt att ansluta uppsamlingsstationen till befintlig stamnätsstation. Det antas att stamnätsstationen har ett befintligt reservfack alternativt att den ursprungliga utformningen av stationen har förberetts för möjlig utbyggnad med ytterligare fack, vilket innebär att ingen extra markyta krävs utöver den som redan är disponerad.

4.2.2.3 Sekundära behov

För det dagliga servicearbetet kommer kontrollrum, kontorslokaler, reservdelslager och verkstäder behöva upprättas i servicehamnen.

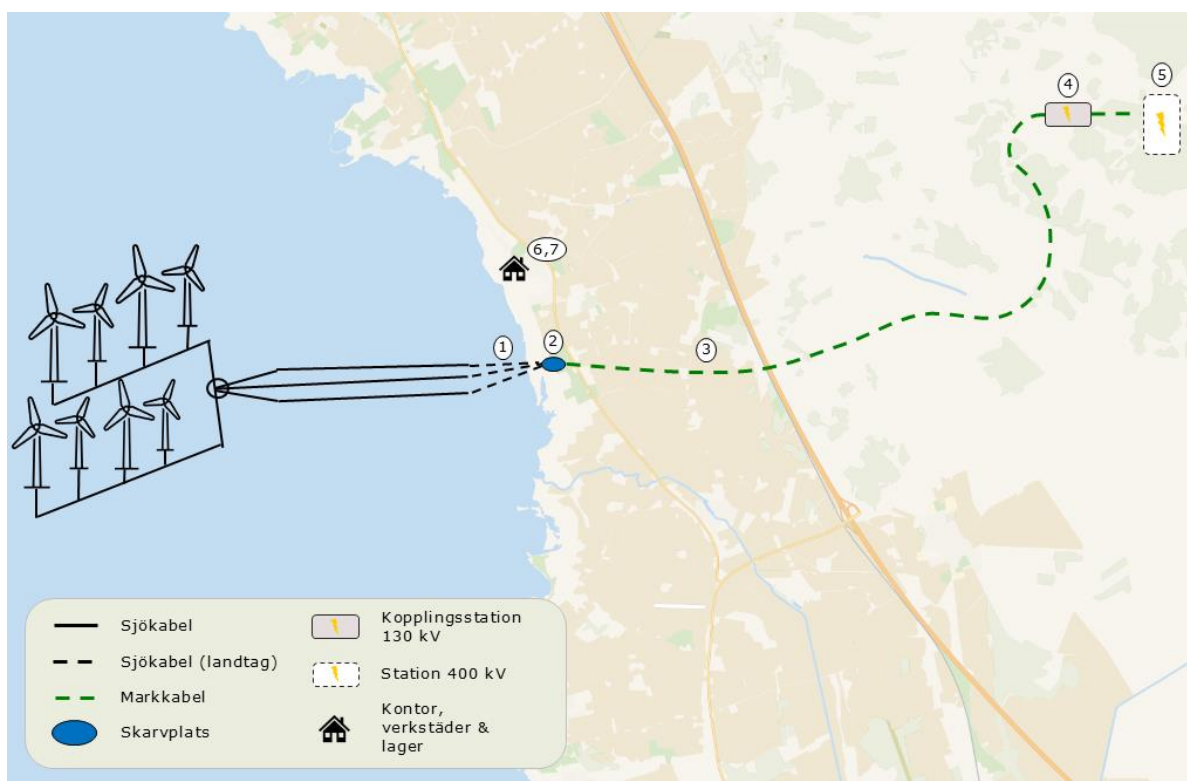
Eftersom parken är belägen relativt nära land, bedöms en servicebåt av typen CTV vara tillräcklig för att hantera det dagliga servicebehovet. Detta medför behov av en dedikerad hamnplats för båten, inklusive tillgång till bränsle, förnödenheter och personalutrymmen.

Kompletterande serviceinsatser kommer även att utföras med hjälp av helikopter, vilket innebär att en helikopterplatta bör anläggas i anslutning till kontrollrummet eller annan lämplig plats i hamnområdet.

4.2.3 Uppskattat markanspråk

Figur 17 nedan illustrerar schematiskt hur de olika infrastrukturella komponenterna är placerade i förhållande till varandra och hur de samverkar i landskapet. Det är dock viktigt att förstå att figuren inte är realistisk eller skalenlig. I verkligheten är anslutningspunkten ofta betydligt längre bort och ledningsgatan därmed mycket längre än vad som visas i figuren

Tabell 11 kompletterar figuren genom att specificera markanspråket för respektive komponent, med angivna mått och beskrivningar. Tillsammans ger figur och tabell en helhetsbild av hur marken tas i anspråk från landtag till anslutningspunkt i nätet, och möjliggör jämförelser mellan olika tekniska lösningar och scenarier, siffrorna i figur och tabell hjälper med korsreferering.



Figur 17: Schematisk illustration av markanspråk och komponenter vid anslutning av en 500 MW havsbaserad vindkraftspark med HVAC. Ej skalenlig (AFRY).

Tabell 11: Uppskattat markanspråk vid anslutning av en vindkraftspark på 500 MW.

	Infrastruktur	Beskrivning	Markanspråk
1	Öppet schakt	För sjökabelns dragning från hav (ca 10 m djup) upp till land, tre separata schakt	Bottenbredd: 1,5 m Schaktdjup: 1,5 m
2	Gemensam skarvplats	Samlad skarvplats för de tre kabelförbanden	Bottenbredd: $3 \times 4 \times 15 \text{ m} = 180 \text{ m}^2$ Djup: 2,5 m
3	Samförlagd 130 kV HVAC	För vidaregående ledningsgata mot anslutning till station, 3×3 kablar i triangelformation	Bottenbredd: $(1 + 0,3 \times 3) \text{ m} = 1,9 \text{ m}$ Dagöppning: $(4 + 0,3 \times 3) \text{ m} = 4,9 \text{ m}$ Schaktdjup: 1–2 m
4	För anslutning mot regionnät: Kopplingsstation 130 kV	Ingen transformering antas krävas. Kopplingsstationen utformas med utomhusställverk, med 3 inkommande fack, ett utgående fack. Kontrollbyggnad inkluderas.	10 000 m ²
5	För anslutning mot stamnät: transformatorstation 130/400 kV, anslutning stamnätsstation	Transformering krävs från 130 kV till 400 kV. Befintligt stationsområde nyttjas för uppförande av fack, alternativt att reservfack finns att nyttja.	Befintlig station utnyttjas, inget ytterligare markanspråk erfordras.
6	Kontorslokaler	Kontorslokaler i hamn	8 500 m ²
7	Verkstäder & lager	Servicelokaler för drift och underhåll	8 000 m ²

4.3 1,4 GW: HVAC-export

4.3.1 Landtag och ledningsgata

Vid kortare avstånd till land kan överföringen från havsbaserad produktion ske med HVAC-kablar. För att möjliggöra en total överföringskapacitet om cirka 1,4 GW krävs tre parallella kabelförband, där varje kabelförband utgörs av tre enfaskkablar som tillsammans överför en del av den totala effekten.

Sjökablarna förs iland vid en gemensam skarvplats där sjökabel övergår till markkabel. Efter skarvningen samförläggs kabelförbanden i ett gemensamt schakt, med respektive kabelförband förlagt i triangelformation. Markkablarna leds därefter vidare till en terminalstation där de ansluts till luftledning med en höjd om cirka 50 m och stolpbensfundament om $15 \times 15 \text{ m}$. Eftersom det är tre kabelförband som skall övergå till luftledning krävs två stolpsystem där det ena bär två system och det andra bär ett system, det vill säga en dubbel ledningsgata.

Det går även att direkt ansluta kabelförbanden i en kopplingsstation utan behov av en terminalstation, detta beskrivs i 4.3.2.2 nedan.

4.3.2 Stationsområde

Vid export på 400 kV krävs ingen transformatorstation då spänningsnivån är densamma som i stamnätet.

4.3.2.1 Alternativ 1: direktanslutning till stamnätsstation

Anslutning kan ske direkt till SVKs mottagningsstation. Med tre inkommande ledningssystem innebär detta att anslutning sker till tre separata fack i mottagningsstationen. Varje fack har en typisk yta om cirka 21 x 70 m, vilket ger ett sammanlagt markanspråk på cirka 63 x 70 m för samtliga tre fack, under antagandet att längden på 70 m är konstant.

4.3.2.2 Alternativ 2: kopplingsstation

Anslutning kan även ske via en kopplingsstation som uppförs mellan terminalstation och stamnätsstation. Kopplingsstationen sammanför de 3 inkommande ledningssystemen på en gemensam samlingsskena, vilket möjliggör att endast en utgående luftledning krävs mot stamnätsstationen med anslutning till 1 fack. Beroende på lokala förutsättningar kan terminalstationen även utgå, och markkablarna anslutas direkt till kopplingsstationen för vidare överföring mot stamnätet. I detta fall är det troligt att SVK äger och uppför utgående 400 kV luftledning. En kopplingsstation med 3 inkommande fack, 1 utgående fack samt erforderliga säkerhetsavstånd, vägar, manöverytor och kontrollbyggnad bedöms kräva ett markanspråk på cirka 2 ha.

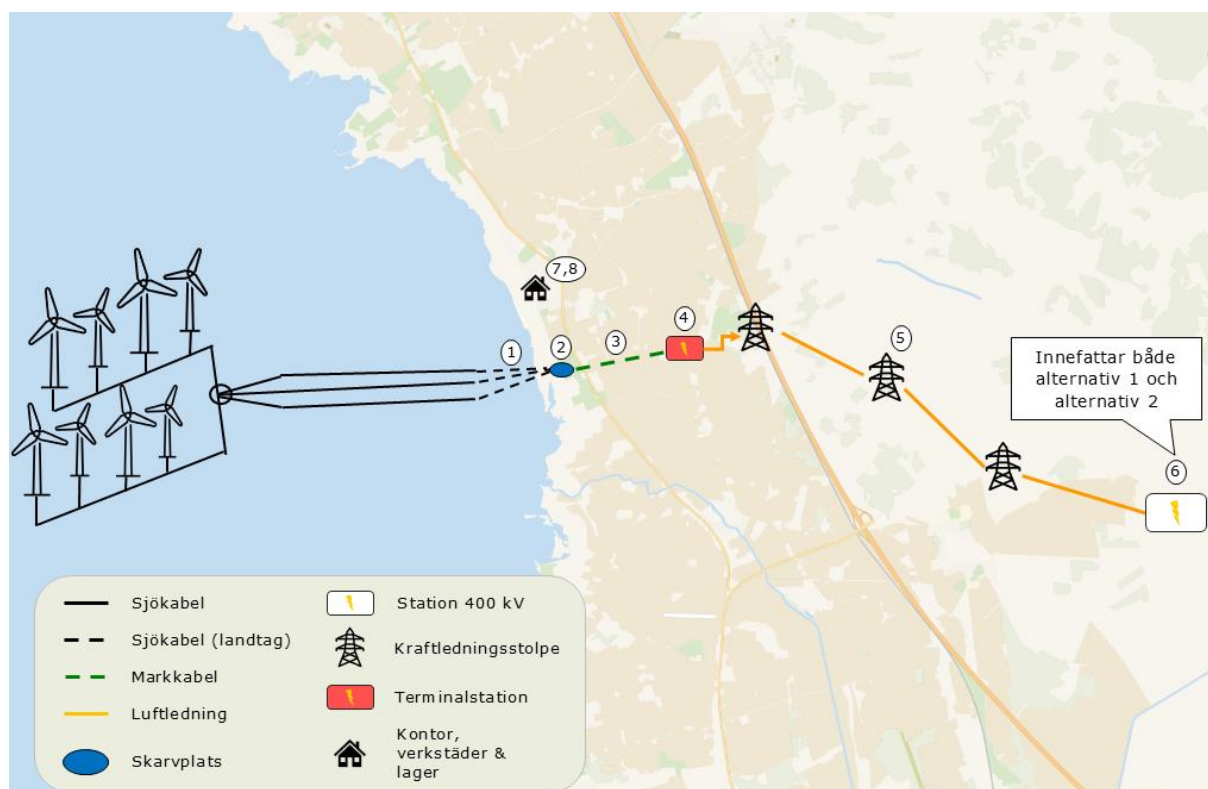
4.3.3 Sekundära behov

I fallet av en 1,4 GW vindkraftspark antas de sekundära behoven likna de för 500 MW, vilka redogörs för i 4.2.2.3.

4.3.4 Uppskattat markanspråk

Figur 18 nedan illustrerar schematiskt hur de olika infrastrukturella komponenterna är placerade i förhållande till varandra och hur de samverkar i landskapet. Det är dock viktigt att förstå att figuren inte är realistisk eller skalenlig. I verkligheten är anslutningspunkten ofta betydligt längre bort och ledningsgatan därmed mycket längre än vad som visas i figuren

Tabell 12 kompletterar figuren genom att specificera markanspråket för respektive komponent, med angivna mått och beskrivningar. Tillsammans ger figur och tabell en helhetsbild av hur marken tas i anspråk från landtag till anslutningspunkt i nätet, och möjliggör jämförelser mellan olika tekniska lösningar och scenarier, siffrorna i figur och tabell hjälper med korsreferering.



Figur 18: Schematisk illustration av markanspråk och komponenter vid anslutning av en 1,4 GW havsbaserad vindkraftspark med HVAC. Ej skalenlig (AFRY).

Tabell 12: Uppskattat markanspråk vid anslutning av en vindkraftspark på 1,4 GW med HVAC.

	Infrastruktur	Beskrivning	Markanspråk
1	Öppet schakt	För sjökabelns dragning från hav (ca 10 m djup) upp till land, tre separata schakt	Bottenbredd: 1,5 m Schaktdjup: 1,5 m
2	Gemensam skarvplats	Samlad skarvplats för de tre kabelförbanden	Bottenbredd: $3 \times 4 \times 15 \text{ m} = 180 \text{ m}^2$ Djup: 2,5 m
3	Samförlagd 400 kV HVAC	För kabelgata till terminalstation och övergång till luftledning, 3×3 kablar i triangelformation	Bottenbredd: $1 + 0,6 \times 3 \text{ m} = 2,8 \text{ m}$ Dagöppning: $4 + 0,6 \times 3 = 5,8 \text{ m}$ Schaktdjup: 1–2 m
4	Terminalstation markkabel till luftledning	För övergång från markkabel till luftledning	Yta: $2\,000 \text{ m}^2$ Höjd: 50 m
5	Luftledningsgata 400 kV	Vidaregående luftledningsgata till anslutningspunkt mot nät. Dubbel ledningsgata	Bredd (skogsmark): 80–90 m Stolpfundament: $15 \times 15 \times 2 \text{ m}$ Spannlängd: 200–250 m Höjd: 50 m

6	<u>Alternativ 1:</u> Befintlig stamnätsstation 400 kV	Anslutning sker direkt till befintlig stamnätsstation utan transformering. Ansluter till 3 fack i stamnätsstationen	3 fack i stamnätsstation: Bredd 3 x 21 m = 63 m Längd 70 m
	<u>Alternativ 2:</u> Ev. Kopplingsstation, befintlig stamnätsstation	Anslutning sker via en ny kopplingsstation 3 inkommande kabelförband samlas på samlingsskena, och 1 utgående fack för vidare anslutning till SVK. SVK antas äga antingen samlingsskena eller utgående fack	1 kopplingsstation med 3 inkommande fack och ett utgående fack: 20 000 m ² Djup och höjd för båda lösningar: 2m respektive 20m
7	Kontorslokaler	Kontorslokaler i hamn	8 500 m ²
8	Verkstäder & lager	Service lokaler för drift och underhåll	8 000 m ²

4.4 1,4 GW: HVDC-export

4.4.1 Landtag och ledningsgata

Vid större avstånd på över 80 kilometer till anslutningspunkt används HVDC-kablar för att exportera elektriciteten till fastlandet, eftersom tekniken minimerar överföringsförlusterna. Ett bipolärt HVDC-system med två kablar, en positiv och en negativ ledare, vid ± 525 kV kan överföra upp till cirka 2 GW. För att överföra 1,4 GW krävs därmed ett kabelpar.

Sjökablar förs iland via styrd borring, givet goda förutsättningar för borring, till en gemensam skarvplats där de två kablar övergår till markkablar som därefter förläggs i ett gemensamt schakt fram till en terminalstation. Vid terminalstationen ansluts markkablar till en enkel, simplex-luftledning med en höjd om 25 m och stolpfundament om 15 x 10 m. Ledningen förs vidare till en omriktarstation, där likström omvandlas till växelström, och vidare till en transformatorstation som utgör anslutningspunkten till transmissionsnätet.

4.4.2 Stationsområde

När exporten sker genom HVDC, kommer en omriktarstation behöva uppföras. Omriktarstationen omvandlar HVDC till HVAC och strömmen leds sedan genom transformatorer för att transformera ned spänningen till 400 kV för vidare anslutning mot stamnätet.

4.4.2.1 Alternativ 1: anslutning till stamnät med samlokaliserat 400 kV-ställverk

Inom stationsområdet för omriktarstationen finns ett 400kV-ställverk där SVK är huvudman. Efter transformatorerna sker anslutning till ett fack i ställverket där ägo gränsen går i gränssnittet för anslutning av produktionsanläggningens kablar. Till samlingsskenan ansluter även SVKs ledningar, för vidare matning mot en befintlig station.

4.4.2.2 Alternativ 2: samlokalisering av omriktarstation och stamnätsstation

Baserat på de potentiella nya anslutningspunkter som SVK föreslagit enligt avsnitt 3.4.3.1 för installerad effekt om 1,4 GW, förväntas omriktarstationen uppföras i direkt anslutning till stamnätstationen med potentiell storleksordning om ca 4 ha för både omriktarstation och stamnätstation uppförda inom samma område.

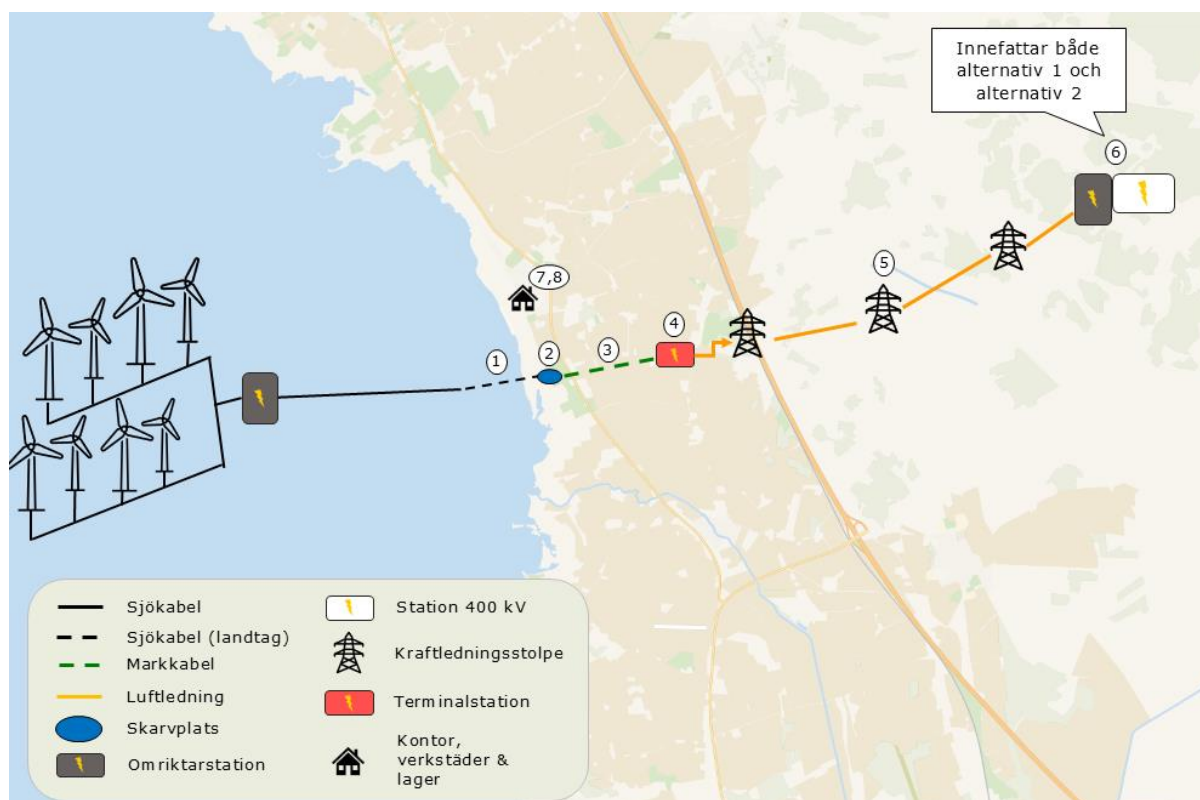
4.4.3 Sekundära behov

I fallet av en 1,4 GW vindkraftspark antas de sekundära behoven likna de för 500 MW, vilka redogörs för i 4.2.2.3.

4.4.4 Uppskattat markanspråk

Figur 19 nedan illustrerar schematiskt hur de olika infrastrukturella komponenterna är placerade i förhållande till varandra och hur de samverkar i landskapet. Det är dock viktigt att förstå att figuren inte är realistisk eller skalenlig. I verkligheten är anslutningspunkten ofta betydligt längre bort och ledningsgatan därmed mycket längre än vad som visas i figuren

Tabell 13 kompletterar figuren genom att specificera markanspråket för respektive komponent, med angivna mått och beskrivningar. Tillsammans ger figur och tabell en helhetsbild av hur marken tas i anspråk från landtag till anslutningspunkt i nätet, och möjliggör jämförelser mellan olika tekniska lösningar och scenarier, siffrorna i figur och tabell hjälper med korsreferering.



Figur 19 Schematisk illustration av markanspråk och komponenter vid anslutning av en 1,4 GW havsbaserad vindkraftspark med HVDC. Ej skalenlig (AFRY).

Tabell 13: Uppskattat markanspråk vid anslutning av en vindkraftspark på 1,4 GW med HVDC.

	Infrastruktur	Beskrivning	Markanspråk
1	Styrd borrhning	För sjökabelns anslutning från hav (ca 10 m djup) upp till land	
2	Gemensam skarvplats	Samlad skarvplats för de två kablarna	Bottenbredd: 6 × 25 m = 150 m ² Djup: 2,5 m
3	Samförlagd ±525 kV HVDC	För kabelgata till terminalstation och övergång till luftledning, 1 × 2 kablar	Bottenbredd: 1,5 m Dagöppning: 4,5 m Schaktdjup: 1,3 m
4	Terminalstation markkabel till luftledning	För övergång från markkabel till luftledning	Yta: 1 000 m ² Höjd: 25 m
5	Luftledningsgata ±525 kV HVDC	Vidaregående luftledningsgata till anslutningspunkt mot nät. Enkel ledningsgata.	Bredd (skogsmark): 45–50 m Stolpfundament: 15 × 10 m Spannlängd: 200–250 m Höjd: 25 m
6	Alternativ 1:	Omriktarstation (omriktare, filter, transformatorer, utomhusställverk, kontrollanläggning, kylanläggning). Anslutning sker till 400 kV-skena som ägs av SVK, till vilken även SVKs ledningar ansluter till för vidare matning mot stamnätsstation, kontrollbyggnad.	40 000 m ²
	Alternativ 2: Omriktarstation HVDC → HVAC samt stamnätsstation 400 kV	Omriktarstation (omriktare, filter, transformatorer, utomhusställverk, kontrollanläggning, kylanläggning). 2 fack för inkommande DC kablar med 1 fack för utgående luftledning mot stamnät Ny stamnätsstation med kapacitet för att ta mot 1,4 GW. 1 fack för anslutning av inkommande luftledning från omriktarstation	Gemensamt område för placering av både omriktarstation och stamnätsstation: 40 000 m ²
7	Kontorslokaler	Kontorslokaler i hamn	8 500 m ²
8	Verkstäder & lager	Service lokaler för drift och underhåll	8 000 m ²

4.5 5 GW: Flera anslutningar

4.5.1 Landtag och ledningsgata

För att inte överstiga det principbeslut som SVK har tagit gällande anslutningen om maximalt 1,4 GW per fack, antas i detta scenario en anslutning av 5 GW effekt göras till flera anslutningspunkter i stamnätet. Eftersom stamnätsstationer i regel inte är belägna i närheten av kusten, resulterar detta i att långa anslutningssträckor behöver planeras. Därför väljs HVDC-

teknik i stället för HVAC, då HVDC lämpar sig bättre för långa överföringsavstånd och höga effekter.

Under dessa förutsättningar kan en anslutning av 5 GW grovt tolkas som tre HVDC-anslutningar om vardera 1,4 GW och en på 0,8 GW, där varje anslutning sker till en egen stamnätsstation med en närliggande punkt för ilandföring.

För varje separat anslutningspunkt krävs således ett kabelpar med en spänning om ± 525 kV, tillhörande skarvplatser, terminalstation och vidaregående luftledningsgator.

4.5.2 Stationsområde

I enlighet med föregående avsnitt delas anslutningen till stamnätet upp på flera anslutningspunkter. För respektive anslutning krävs uppförande av en omriktarstation innan inmatning till stamnätsstationen, vilket för det undersökta scenariot medför ett totalt behov av fyra omriktarstationer. Med utgångspunkt i SVKs utredning av möjliga anslutningspunkter för havsbaserad vindkraft och tillhörande ny stamnätsstation, antas att varje omriktarstation uppförs inom samma område som den planerade stamnätsstationen med ett uppskattat markanspråk om ca 4 ha.

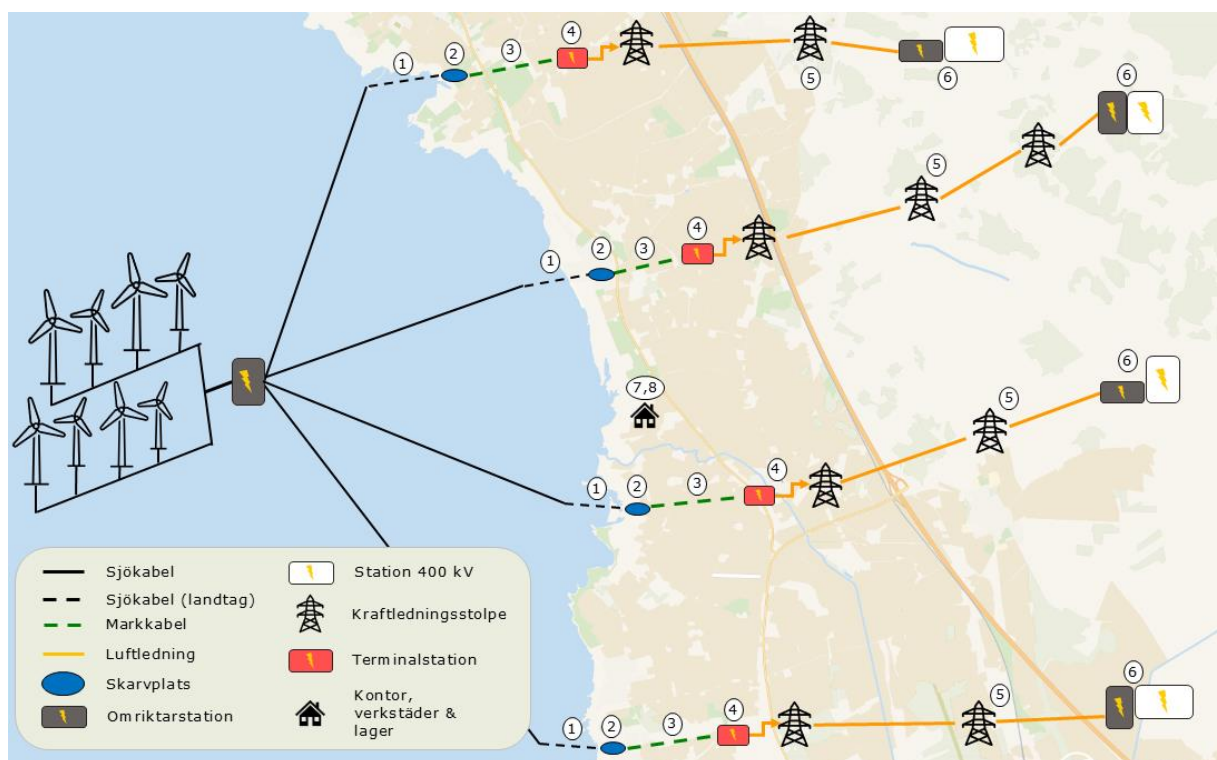
4.5.3 Sekundära behov

En vindkraftspark i denna storlek kommer omfatta många väldigt stora vindkraftverk. Jämfört med de mindre parkerna kan man anta att servicen kommer kräva större markanspråk för verkstäder och reservdelslager vilket potentiellt skulle kräva utbyggnad av servicehamnen, men då inga tydliga uppgifter finns tillgängliga antas markanspråket för de sekundära behoven att vara detsamma som för tidigare scenarier.

4.5.4 Uppskattat markanspråk

Figur 20 nedan illustrerar schematiskt hur de olika infrastrukturella komponenterna är placerade i förhållande till varandra och hur de samverkar i landskapet. Det är dock viktigt att förstå att figuren inte är realistisk eller skalenlig. I verkligheten är anslutningspunkten ofta betydligt längre bort och ledningsgatan därmed mycket längre än vad som visas i figuren

Tabell 14 kompletterar figuren genom att specificera markanspråket för respektive komponent, med angivna mått och beskrivningar. Tillsammans ger figur och tabell en helhetsbild av hur marken tas i anspråk från landtag till anslutningspunkt i nätet, och möjliggör jämförelser mellan olika tekniska lösningar och scenarier, siffrorna i figur och tabell hjälper med korsreferering.



Figur 20: Schematisk illustration av markanspråk och komponenter vid anslutning av en 5 GW havsbaserad vindkraftspark med HVDC till flera anslutningspunkter. Ej skalenlig (AFRY).

Tabell 14: Uppskattat markanspråk vid anslutning av en vindkraftspark på 5 GW till flera anslutningspunkter.

	Infrastruktur	Beskrivning	Markanspråk
1	Styrd borring	För sjökabelns anslutning från hav (ca 10 m djup) upp till land vid varje enskilt landtag	
2	Gemensam skarvplats	Samlad skarvplats för de två kablarna, vid varje enskilt landtag	Bottenbredd: $6 \times 25 \text{ m} = 150 \text{ m}^2$ per landtag, totalt 600 m^2 Djup: 2,5 m
3	Samförlagd $\pm 525 \text{ kV}$ HVDC	För kabelgata till terminalstation och övergång till luftledning vid varje enskilt landtag, $4 \times 1 \times 2$ kablar	Bottenbredd: 1,5 m Dagöppning: 4,5 m Schaktdjup: 1,3 m
4	Terminalstation markkabel till luftledning	För övergång från markkabel till luftledning, vid varje enskild anslutning	Yta: $1\,000 \text{ m}^2$ per anslutning, totalt $4\,000 \text{ m}^2$ Höjd: 25 m

5	Luftledningsgata ±525 kV HVDC	Vidaregående luftledningsgata för varje enskild anslutningspunkt	Bredd (skogsmark): 45–50 m Stolpfundament: 15 × 10 m Spannlängd: 200–250 m Höjd: 25 m
6	Omriktarstation HVDC -> HVAC samt stamnätsstation 400 kV	Omriktarstation (omriktare, filter, transformatorer, utomhusställverk, kontrollanläggning, kylanläggning). 2 fack för inkommande DC kablar med 1 fack för utgående luftledning mot stamnät. Ny stamnätsstation med kapacitet för att ta mot 1,4 GW. 1 fack för anslutning av inkommande luftledning från omriktarstation	Gemensamt område för placering av både omriktarstation och stamnätsstation, med anslutning till totalt 4 stationer: 4 x 4 ha = 160 000 m ²
7	Kontorslokaler	Kontorslokaler i hamn	8 500 m ²
8	Verkstäder & lager	Servicelokaler för drift och underhåll	8 000 m ²

4.6 5 GW: En anslutning

Vid anslutning av 5 GW till en och samma anslutningspunkt är det viktigt att belysa att detta avviker från SVKs principbeslut, som anger att en anslutning inte får överstiga 1,4 GW per fack och 2 GW per station. En anslutning på 5 GW till samma station innebär en hög sårbarhet i nätet, eftersom ett produktionsbortfall skulle medföra betydande störningar som dagens nät inte är dimensionerat för. Detta scenario syftar därför till att illustrera en möjlig framtid där principbeslutet prövas och beviljas.

4.6.1 Landtag och ledningsgata

Vid anslutning av 5 GW kommer HVDC-kablar att användas. Under förutsättningen att ±525 kV väljs som spänningsnivå krävs tre kabelpar (sex kablar). De tre kabelparen förs i land via styrd borring i sex borrhål. Kablarna samlas upp vid landtaget och en gemensam skarvplats anordnas där sjökabel övergår till markkabel. Därifrån går markkablarna vidare via ett gemensamt schakt. När en lämplig plats är funnen övergår samtliga markkablar till luftledning via en terminalstation. Vidaregående ledningsgata kommer att innebära ett stolpsystem som bär två respektive ett bipolärt ledningspar, det krävs således en dubbel luftledningsgata. Terminalstationen antas bli något större för att hantera övergången av tre kabelpar, även om det enbart är ett enkelt stolpsystem vidare mot anslutning. I detta scenario antar vi en ökning i markanspråket för terminalstationen på 50%.

4.6.2 Stationsområde

Vid export genom HVDC krävs en omriktarstation med dels transformering till växelström, dels transformering av spänningen till 400 kV för anslutning mot stamnätet. Under förutsättning att landtagspunkterna inte är geografiskt separerade kan samtliga inkommande HVDC-kablar anslutas till en gemensam omriktarstation. För tre inkommande kabelpar med sex kablar antas anslutning till tre omriktarventiler, där varje ventil hanterar en del av den totala effekten. På AC-sidan ansluts dessa till en 400 kV-samlingsskena genom tre fack, ett per omriktarventil.

För vidare anslutning till stamnätet antas, baserat på SVKs principer om maximal effekt per fack om 1,4 GW, att det krävs fyra utgående 400 kV-luftledningar, vilket innebär fyra fack i

mottagningsstationen. Omriktarstation och stamnätsstation kan i vissa fall samlokaliseras, men då det krävs tre omriktarventiler och omfattande reaktorer, filter och kylsystem kan markanspråket bli större än vad som föreslagits scenarier med 1,4 GW. Rådande markförhållanden kan därför medföra att omriktarstation och stamnätsstation uppförs på separata platser.

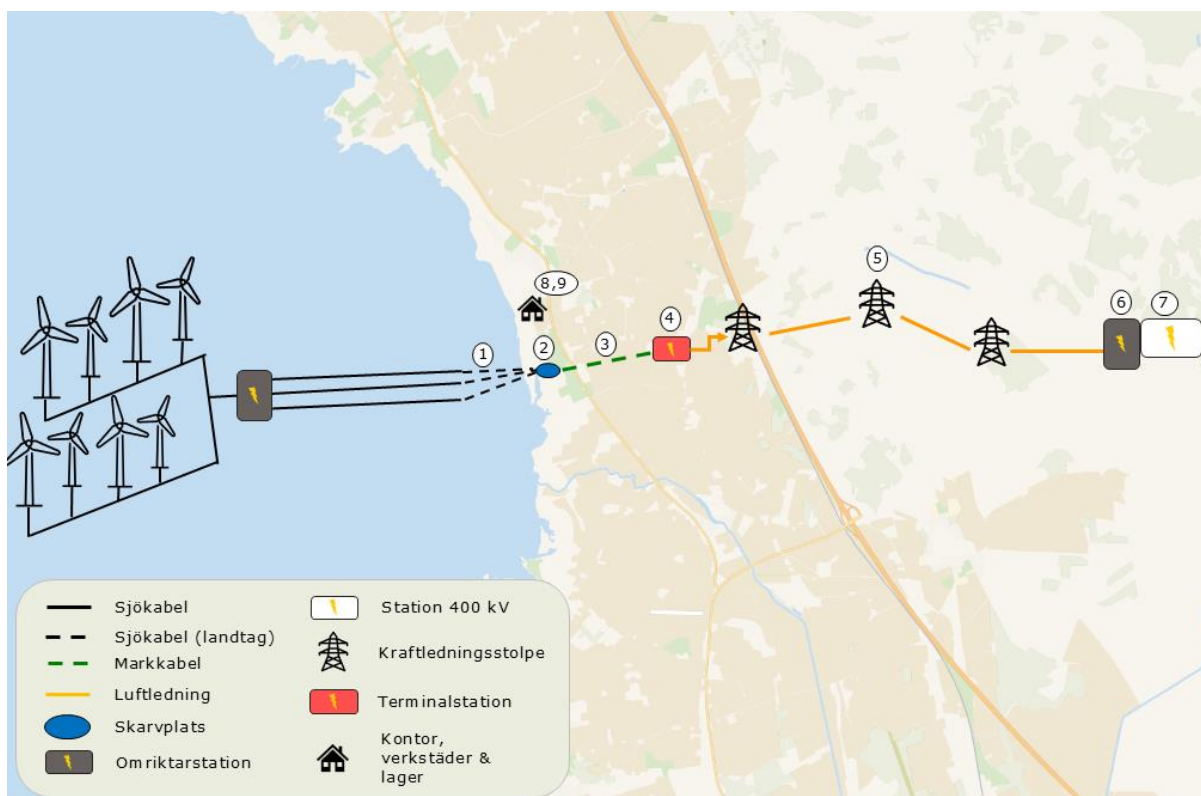
4.6.3 Sekundära behov

Precis som vid anslutning av en vindkraftspark av denna storlek till flera anslutningspunkter kan man anta att servicen kommer kräva större markanspråk för verkstäder och reservdelslager vilket potentiellt skulle kräva utbyggnad av servicehamnen, men då inga tydliga uppgifter finns tillgängliga antas markanspråket för de sekundära behoven att vara detsamma som för tidigare scenarier.

4.6.4 Uppskattat markanspråk

Figur 21 nedan illustrerar schematiskt hur de olika infrastrukturella komponenterna är placerade i förhållande till varandra och hur de samverkar i landskapet. Det är dock viktigt att förstå att figuren inte är realistisk eller skalenlig. I verkligheten är anslutningspunkten ofta betydligt längre bort och ledningsgatan därmed mycket längre än vad som visas i figuren

Tabell 15 kompletterar figuren genom att specificera markanspråket för respektive komponent, med angivna mått och beskrivningar. Tillsammans ger figur och tabell en helhetsbild av hur marken tas i anspråk från landtag till anslutningspunkt i nätet, och möjliggör jämförelser mellan olika tekniska lösningar och scenarier, siffrorna i figur och tabell hjälper med korsreferering.



Figur 21: Schematisk illustration av markanspråk och komponenter vid anslutning av en 5 GW havsbaserad vindkraftspark med HVDC till en anslutningspunkt. Ej skalenlig (AFRY).

Tabell 15: Uppskattat markanspråk vid anslutning av en vindkraftspark på 5 GW till en anslutningspunkt.

	Infrastruktur	Beskrivning	Markanspråk
1	Styrd borrhning	För sjökabelns anslutning från hav (ca 10 m djup) upp till land	
2	Gemensam skarvplats	Samlad skarvplats för de sex kablarna	Bottenbredd: $3 \times 6 \times 25 \text{ m} = 450 \text{ m}^2$ Djup: 2,5 m
3	Samförlagd $\pm 525 \text{ kV}$ HVDC	För kabelgata till terminalstation och övergång till luftledning, $3 \times 1 \times 2$ kablar	Bottenbredd: 12,5 m Dagöppning: 15,5 m Schaktdjup: 1,3 m
4	Terminalstation markkabel till luftledning	För övergång från markkabel till luftledning	Yta: $1\,500 \text{ m}^2$ Höjd: 25 m
5	Luftledningsgata $\pm 525 \text{ kV}$ HVDC	Vidaregående luftledningsgata. Dubbel ledningsgata, julgransstolpar	Bredd (skogsmark): 80–90 m Stolpfundament: $15 \times 15 \times 2 \text{ m}$ Spannlängd: 200–250 m Höjd: 25 m
6	Omriktarstation HVDC $\rightarrow$ HVAC	Omriktarstation (omriktare, filter, transformatorer, utomhusställverk, kontrollanläggning, kylanläggning). 2 fack för inkommande DC kablar med 1 fack för utgående luftledning mot stamnät	3 st moduler á 150 m bred x 180 m lång: $3 \times 150 \text{ m} = 450 \text{ m}$ bred, 180 m lång: ca $80\,000 \text{ m}^2$
7	400 kV samlingsskena	Anslutningspunkt till fack i utomhusställverk 400 kV-samlingsskena (utförs med dubbla skenor). Förutsätter anslutning av SVKs luftledningar för utgående fack från samlingsskenan.	Bredd om 150 m med längd 165 m per modul med fack för inkommande och utgående luftledningar $3 \times 150 \text{ m} = 450 \text{ m}$ bred, 165 m lång: ca $74\,000 \text{ m}^2$ för anslutning och ställverk.
8	Kontorslokaler	Kontorslokaler i hamn	$8\,500 \text{ m}^2$
9	Verkstäder & lager	Service lokaler för drift och underhåll	$8\,000 \text{ m}^2$

5 Diskussion

5.1 Val av anslutningspunkt och utbyggnadsstrategi

Valet mellan direktanslutning till stamnät och uppförande av kopplingsstation beror på avstånd till befintlig stamnätsstation, lokala förutsättningar för mark- och miljörestriktioner samt krav på driftsäkerhet och framtida expansionsmöjligheter.

Tidigare utredningar av aktörer som önskar ansluta havsbaserad vindkraft har i huvudsak fokuserat på anslutning till befintliga stamnätsstationer, alternativt utbyggnad av befintliga stationer för att möjliggöra en snabb anslutning. Det är därför inte ovanligt att ägare av havsbaserade vindkraftsparker planerar projektet i etapper. En typisk strategi är att initialt utreda en anslutning med en kapacitet på ca 1,4 GW eller lägre för att i en senare etapp planera en utbyggnad mot en ny station för att ansluta större kapacitet.

5.2 Teknikval och ekonomiska aspekter

Val av överföringsteknik

Valet mellan HVAC- och HVDC-teknik vid anslutning av havsbaserad vindkraft grundas på en analys av investeringskostnader, överföringsförluster samt tekniska förutsättningar, likt vid val av markkabel eller luftledning. HVAC föredras generellt vid kortare avstånd på grund av lägre investeringskostnader då denna teknik inte kräver omriktarstationer eller specialanpassade kabelsystem och har enklare nätintegration. Dock begränsas användbarheten för HVAC vid längre transmissionsavstånd, då kabelkapacitans resulterar i ökade reaktiva effekter vilket medför högre elektriska förluster. Drift och underhåll är ofta mindre komplicerat och mer kostnadseffektivt för HVAC, på grund av beprövad teknik och tillgång till ett brett utbud av leverantörer och servicepartners. HVDC innebär högre kapitalkostnader, särskilt på grund av nödvändigheten av två omriktarstationer samt dyrare kablar, men medför betydligt lägre överföringsförluster vid stora avstånd eftersom överföringen inte påverkas av reaktiva effekter och nätbegränsningar på samma sätt. Därmed kan HVDC ur ett systemperspektiv vara det mest ekonomiskt fördelaktiga alternativet för långa förbindelser, medan HVAC utgör ett rationellt val för korta överföringssträckor med mindre komplex nätintegration.

Ställverk

I denna rapport har det antagits att utomhusställverk används, främst till följd av dess lägre investeringskostnader och enklare underhåll samt kommande förbud mot SF6-lösningar. Slutsatserna gäller därför främst scenarier där det finns tillräckligt med utrymme och där markområdet tillåter en mer ytkrävande lösning. För större installerade effekter ökar markbehovet för utomhusställverk, vilket kan motivera att istället välja GIS, som har ett betydligt mindre markanspråk. GIS kan även vara fördelaktigt när stationer placeras nära kusten då den ger ett bättre skydd mot korrosiva miljöer. Ur ett ekonomiskt perspektiv är utomhusställverk generellt mer kostnadseffektivt vid mindre och medelstora projekt, eftersom investeringskostnaden är lägre och underhåll enklare. Däremot kan GIS, trots högre investeringskostnad, bli ekonomiskt motiverat vid stora effekter eller där markpriserna är höga, eftersom den kompakta utformningen minskar markbehovet och kan förenkla tillståndprocesser. Samtidigt innebär GIS med SF6-gas som

isoleringsmedium en miljöutmaning, eftersom det är en stark växthusgas som kräver strikt hantering. Denna aspekt har dock inte behandlats i rapporten.

Markkabel kontra luftledning

Baserat på planerade tillgängliga projekt har det framkommit att markkabel är det vanligaste alternativet i Sverige för anslutning av havsbaserad vindkraft på land. Detta står i kontrast till SVKs principer och även till kostnadsaspekten. Enligt SVK beräknas en 400 kV kabelförbindelse i urban miljö med schakt för tre kabelförband kosta cirka 100 miljoner kronor per kilometer. Motsvarande schablonkostnad för en 400 kV-luftledning är cirka 15 miljoner kronor per kilometer. Samtidigt är det enklare att få tillstånd för en markkabelförbindelse än för en luftledningsgata, vilket tyder på att aktörer prioriterar kortare genomförandetid framför lägre kostnad. Troligtvis kan förklaringen till detta finnas i den projektspecifika ekonomiska kalkylen, där en tidigare idrifttagning överkommer de ökade kostnaderna för anslutning.

Kostnadsansvar för anslutning

Kostnadsansvaret för anslutningen av havsbaserad vindkraft till stamnätet är en central fråga i planeringen och genomförandet av nya projekt. Historiskt har vindkraftsparksägaren stått för hela kostnaden, vilket inkluderar exportkablar till havs och på land samt nödvändiga förstärkningar eller utbyggnader av stamnätet. Denna princip har varit gällande i det svenska anslutningsförfarandet och har präglat utformningen av tidigare projekt. På senare tid har dock förutsättningarna förändrats, SVK har fått i uppdrag att utveckla modeller för anslutning av havsbaserad vindkraft och etablerat intressentpooler som ska samordna behovet av anslutningspunkter på land. Samtidigt har politiska beslut lett till att flera planerade projekt har pausats eller avslagits, vilket har skapat osäkerhet kring den framtida tillämpningen av dessa nya ansvarsfördelningar. Därför bör kostnadsansvaret betraktas som historiskt etablerat men potentiellt under förändring. Den framtida modellen om ansvarsfördelning mellan producent och systemansvarig myndighet är ännu inte tydligt definierad och beror på fortsatta politiska och regulatoriska beslut.

5.3 Markanvändning och påverkan på lokalsamhället

Ledningsgata och markanspråk

Resultatet har visat att längden på ledningsgatan utgör en betydande andel av markanspråket vid anslutning av en havsbaserad vindkraftspark, särskilt vid val av luftledning där bredden kan uppgå till 90 meter. Detta gör det extra viktigt att noggrant välja placeringen av stationen vid upprättande av en sådan, för att minimera avståndet mellan landtag och station. Vid anslutning till en befintlig station blir istället val av site för vindkraftsparken och dess landtag avgörande för att begränsa ledningsgatans totala längd och dess markanspråk. En väl genomtänkt lokalisering kan bidra till att bevara jordbruksmark, skydda naturvärden och minska påverkan på närboende.

Tillfälliga markanspråk

Rapporten har inte inkluderat en analys och kvantifiering av de arbetsområden och tillfälliga ytor som krävs under byggnationen av en havsbaserad vindkraftspark. Detta eftersom de enbart är tillfälliga, och inte lämnar ett permanent fotspår. Det är däremot viktigt att ha i åtanke de stora ytor

som installation av dessa anläggningar har, och vilken påverkan de har på befintlig infrastruktur som vägar och hamn.

Tillfälliga etableringsytor kan omfatta lagring av komponenter, uppställning av kranar och arbetsfordon, samt områden för montering och förberedelser. Moderna vindturbiner och fundament kräver dessutom stora installationsfartyg, vilket ställer höga krav på hamnkapacitet och tillgänglighet. Även om dessa ytor inte ingår i det permanenta markanspråket kan de ha stor påverkan under byggtiden, vilket bör beaktas i planeringen när mer plats- och projektspecifik information finns tillgänglig. Om installationen sker till havs mellan länder och adekvat hamnkapacitet finns utanför Sverige kan den i stället utnyttjas för att effektivisera logistiken.

Lokala följeffekter

Som tidigare nämnt kan installation av en havsbaserad vindkraftspark potentiellt medföra positiva följeffekter för det lokala samhället. Under byggtiden uppstår ofta ett ökat behov av resurser inom transport, logistik, entreprenadarbeten och hamnverksamhet, vilket i många fall innebär att lokala aktörer involveras. Projektet kan dessutom kräva anpassningar eller uppgraderingar av befintlig infrastruktur såsom vägar och hamnar, vilket kan påverka tillgängligheten och nyttjandet av dessa även efter byggtiden och bidra till starkare infrastruktur i området.

Den nya elproduktionen och en eventuell stationsetablering kan även bidra till ökad tillgänglig effekt i området, vilket kan skapa förbättrade förutsättningar för såväl framtida etableringar som expansion av befintliga verksamheter.

Framtida stamnätsutbyggnad

Resultatet bygger på antagandet att framtida utbyggnad av stamnätet inte omfattas. Däremot ingår en översiktlig bedömning av möjlig samlokalisering mellan stamnätsstation och omriktarstation, medan frågor om stamnätförstärkningar och framtida ledningsdragningar ligger utanför denna analys. Utgångspunkten är att anslutning av en havsbaserad vindkraftspark sker till antingen en befintlig stamnätsstation, en uppgraderad befintlig station eller en ny station som byggs för ändamålet.

SVK utför kontinuerligt uppgraderingar i nätet både för att öka överföringsförmågan nationellt och internationellt, men även för att kunna tillhandahålla nya anslutningar av både produktion och konsumtion. SVK har bland annat på sin hemsida publicerade siffror kring anslutningsmöjligheter för havsbaserad vindkraft uppdelat på nio så kallade havszoner. Här redovisas, utöver tillgänglig kapacitet, vilken station som anslutning ska ske till, vilka åtgärder som är planerade för att tillhandahålla kapaciteten samt när den beräknas vara färdig. Vidare har SVK tidigare fått som uppdrag att se över möjligheterna och förbereda utbyggnad av stamnätet till havs för att minska kostnaden och underlätta anslutningsförfarandet för havsbaserad vindkraft. Liknande lösningar finns redan i till exempel Nederländerna, där systemoperatör TenneT har byggt offshore-nät med standardiserade anslutningar och nu utvecklar ett 2 GW HVDC-program för att ansluta stora vindkraftsparker till havs.

5.4 Slutsatser

Nedan sammanfattas de viktigaste slutsatserna från diskussionen och rapporten. Dessa punkter lyfter fram faktorer som påverkar markanspråk och utformningen av anslutningar av havsbaserad vindkraft:

- Ledningsgatornas area kan vid långa anslutningsavstånd utgöra den största delen av det permanenta markanspråket på land, särskilt vid val av luftledning där bredden kan uppgå till 90 meter.
- Vid anslutning till en befintlig station i regionnät eller stamnät, liksom vid etablering av en ny station, är placeringen avgörande för att begränsa ledningsgatans totala längd och därmed markanspråket. En väl genomtänkt placering kan bidra till att bevara mark och minska påverkan på närboende.
- Svenska kraftnäts principbeslut om maximal effekt per fack (1,4 GW) och station (2 GW) baserat på det dimensionerade felet styr utformningen av anslutningar, men det finns undantagsfall (till exempel kärnkraft) och framtida projekt kan komma att pröva dessa gränser. I dagsläget kan en lösning vara att ansluta till befintliga stationer och bygga ut i etapper, vilket kan medföra snabbare anslutning.
- Markkabel är vanligare bland de studerade föreslagna projekten i Sverige, trots den högre kostnaden. Detta är troligtvis eftersom det kan vara lättare att få tillstånd vilket medför en kortare genomförandetid.

6 Rekommendationer och vidare läsning

Denna underlagsrapport ger en fördjupad beskrivning av den infrastruktur och de markanspråk som uppstår vid anslutning av havsbaserad vindkraft till det svenska elnätet. Rapporten syftar till att utgöra ett konkret och användbart underlag för planering på nationell, regional och kommunal nivå, och kan användas som stöd vid dialog med till exempel projektutvecklare och boende i det lokala området.

För att underlätta ert arbete rekommenderas det att ni:

- Använder rapportens scenarier och schablonvärden som jämförelsegrund vid tidiga analyser av markbehov och infrastruktur för nya projekt.
- Jämför de tekniska lösningar och markanspråk som beskrivs i rapporten med projektspecifika uppgifter, för att kunna identifiera eventuella avvikelser eller särskilda behov i det aktuella projektet.
- Tar hjälp av rapportens tabeller och illustrationer för att kommunicera konsekvenser och möjlig påverkan på markanvändning, infrastruktur och lokalsamhälle.
- Diskuterar och analyserar, med stöd av rapporten, hur olika tekniska val (till exempel luftledning eller markkabel, HVAC eller HVDC) kan påverka markanvändning, miljö och samhällsintressen i kommunen eller regionen.

Genom att använda underlagsrapporten på detta sätt får ni ett konkret och faktabaserat stöd för att bedöma konsekvenserna av anslutningar av havsbaserad vindkraft. Detta för att inleda konstruktiva samtal och fatta välgrundade beslut kring hanteringen vid anslutning av havsbaserad vindkraft.

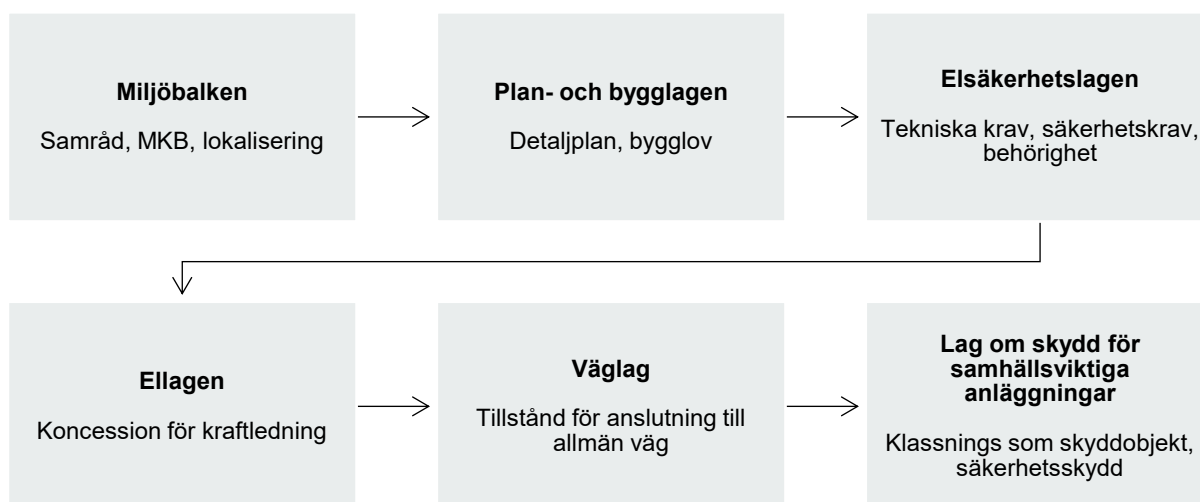
För den som önskar fördjupa sin kunskap eller ta nästa steg hänvisas till kompletterande rapporter, webbplatser och berörda myndigheter. Nedan inkluderas även en presentation av relevanta lagar och regler som är centrala vid anslutning av havsbaserad vindkraft till elnätet.

Relevanta lagrum

- **Plan- och bygglag (2010:900)**
Plan- och bygglagen (PBL) styr arbetet med översiktsplaner, detaljplaner, bygglovsprocesser och tillsyn. När en ny transformatorstation ska uppföras krävs exempelvis bygglov.
- **Miljöbalk**
Miljöbalken har som syfte att främja en hållbar utveckling. I balkens sjätte kapitel regleras bland annat kraven på den miljökonsekvensbeskrivning som verksamhetsutövaren ska ta fram när de vill bygga en vindkraftspark och ansluta den till land.
- **Elsäkerhetslag (2016:732)**
Den som planerar att upprätta en elektrisk anläggning måste ta hänsyn till elsäkerhetslagen. Lagens syfte är att säkerställa hög elsäkerhet och att minska risken för att elektricitet orsakar skador på människor eller egendom.
- **Ellag (1997:857)**
Denna lag reglerar verksamhet som berör produktion, överföring och användning av el.

- **Väglag (1971:948)**
Väglagen reglerar bland annat byggande, drift, indragning och förvaltning av allmänna vägar.
- **Lag (1990:217) om skydd för samhällsviktiga anläggningar**
Beroende på hur betydelsefull en elektrisk anläggning är för totalförsvaret och Sveriges energiförsörjning kan den klassas som ett skyddsobjekt. Lagen om skydd av samhällsviktiga anläggningar innehåller regler som gäller för sådana skyddsobjekt.

För att tydliggöra i vilken ordning de olika lagrummen blir aktuella under planering och genomförande av anslutningsinfrastruktur presenteras nedan en översiktlig tidslinje över tillståndprocessens huvudsakliga skeden. Det bör dock understrykas att den faktiska ordningsföljden kan variera mellan projekt och att flera steg ofta behöver återbesökas i takt med att underlag förfinas.



Figur 22: Flödesschema som visar i vilken ordning olika lagrum blir relevanta i tillståndprocessen: Miljöbalken, Plan- och bygglagen, Elsäkerhetslagen, Ellagen, Väglagen och Lagen om skydd för samhällsviktiga anläggningar.

Rapporter

- Principer och vägledning för anslutning till stamnätet, [länk](#)
- Förslag till ändrade havsplaner för Bottniska viken, Östersjön och Västerhavet, [länk](#)

Hemsidor

- Havs- och vattenmyndighetens interaktiva karta över förslag till ändrade havsplaner, [länk](#)
- Havs- och vattenmyndighetens hemsida om vindkraft till havs, [länk](#)
- Vindbrukskollen: Energimyndighetens interaktiva karta för etablering av vindkraft i Sverige, [länk](#)
- SVKs interaktiva karta över nätområden och nätägare, [länk](#)
- Anslutningsmöjligheter för havsbaserad vindkraft | SVK, [länk](#)

7 Referenser

- ABB. (2015). *www.abb.com*. Hämtat från <https://new.abb.com/news/detail/50855/breaking-new-ground-the-worlds-highest-performing-dc-cable-joint-and-termination-at-525-kv-from-abb> den 4 September 2025
- ABB. (u.d.). *XLPE Land Cable Systems – User's Guide*. Hämtat från https://petz.planet.ee/elekteer/XLPE_Land_Cable_Systems_2GM5007GB_rev_5.pdf den 13 Oktober 2025
- Bayern Innovativ. (2016). *High-power energy transmission - How does underground cabling work?* Hämtat från <https://www.bayern-innovativ.de/en/en/page/high-power-energy-transmission-how-does-underground-cabling-work/> den 23 Oktober 2025
- BVG Associates Limited. (Maj 2023). *Guide to a Floating Offshore Wind Farm*. Hämtat från <https://guidetofloatingoffshorewind.com/guide> den 3 September 2025
- E.ON Energidistribution AB. (den 1 November 2022). *Tekniska bestämmelser Anläggningsdirektiv*. Hämtat från <https://www.eon.se/content/dam/eon-se/swe-documents/leverantorer/swe-tb-d10-0015685-anlaggningsdirektiv-regionnat.pdf> den 9 November 2025
- EBR. (2024). EBR Kostnadskatalog 2024, Regionnät 23-170 kV. Energiföretagen Sverige.
- Ellevio AB. (2024). *Samrådsunderlag – Två nya 145 kV luftledningar mellan station Grönviken och station Ockelbo*. Hämtat från https://www.ellevio.se/globalassets/content/samradsdokument/ockelbo-gronviken/samradsunderlag_ockelbo-gronviken.pdf
- Energimarknadsinspektionen. (2024). *Elnätet i Sverige*. Hämtat från <https://ei.se/konsument/el/elnatet-i-sverige#h-Transmissionsnatet>
- Europacable. (2011). *An Introduction to High Voltage Direct Current (HVDC) Underground Cables*. Hämtat från https://europacable.eu/wp-content/uploads/2021/01/Introduction_to_HVDC_Underground_Cables_October_2011_.pdf
- Europeiska kommissionen. (den 7 februari 2024). *Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2024/573 om fluorerade växthusgaser, om ändring av direktiv (EU) 2019/1937 och om upphävande av*. Hämtat från https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202400573 den 1 December 2025
- Google Maps (a). (u.d.). *Vattenfall Lillgrund OWF*. Hämtat från https://www.google.com/maps/place/Vattenfall+Lillgrund+OWF/@55.5238807,12.8917223,227m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x46530967fc1c17b9:0xff91a930cc8b2319!8m2!3d55.5239602!4d12.8916053!16s%2Fg%2F11f5t3qvmx?entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MTAxNC4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D den 24 September 2025
- Google Maps (b). (u.d.). *Gwynt y Môr Offshore Wind Farl Ltd*. Hämtat från <https://www.google.com/maps/place/Gwynt+y+M%C3%B4r+Offshore+Wind+Farm+Ltd/@53.3187452,-3.264968,930m/data=!3m1!1e3!4m14!1m7!3m6!1s0x487ad51220f2cbbd:0x2d45824e6d239704!2sThe+Port+Of+Mostyn+Ltd!8m2!3d53.3202422!4d-3.2698762!16s%2Fg%2F1tgdbyt!3m5!1s0x487ad> den 13 Oktober 2025
- Google Maps (c). (u.d.). *Coordinates for Helicopter pad in port of Esbjerg*. Hämtat från https://www.google.com/maps/place/55%C2%B028'35.4%22N+8%C2%B025'18.7%22E/@55.4763825,8.4218321,742m/data=!3m1!1e3!4m4!3m3!8m2!3d55.4765!4d8.4218611?entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MTAxNC4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D den 13 Oktober 2025
- KPMG. (2023). *Analyse af havnkapacitet i relation til udbygning af dansk havvind*. Hämtat från <https://cipfonden.dk/wp-content/uploads/2024/05/Analyse-af-havnekapacitet-i-relation-til-udbygning-af-dansk-havvind-KPMG-for-CIP-Fonden.pdf> den 16 September 2025
- McDonald, J. D. (2012). *Electric Power Substations Engineering* (3d uppl.). Taylor & Francis Inc.

- National Grid. (2025). *Sea Link Project: Environmental Statement – Description of the Proposed Project*. Gallows Hill, Warwick, U.K.: National Grid. Hämtat från <https://insip-documents.planninginspectorate.gov.uk/published-documents/EN020026-000230-6.2.1.4%20Part%201%20Introduction%20Chapter%204%20Description%20of%20the%20Proposed%20Project.pdf>
- NCC. (u.d.). *Omriktarstation för baltisk elförbindelse*. Hämtat från <https://www.ncc.se/vara-projekt/omriktarstation-for-baltisk-elforbindelse/> den 9 November 2025
- NKT Cables. (u.d.). *Extra High Voltage Cable Systems 132 kV · 220 kV · 400 kV · 500 kV – Brochure*. Hämtat från https://www.cablejoints.co.uk/upload/NKT_Cables_Extra_High_Voltage_132kV_220kV_400kV_500kV__Brochure.pdf
- NorthConnect KS. (den 24 Augusti 2018). *www.marine.gov.scot*. Hämtat från <https://marine.gov.scot/data/northconnect-hvdc-cable-environmental-impact-assessment-report-volume-2> den 15 September 2025
- Prysmian Group. (u.d.). *525 kV HVDC – New Cable Systems*. Hämtat från <https://www.prysmian.com/staticres/525-kv-hvdc-new-cable-systems/index.html>
- Regeringen. (2025). *Regeringen pekar ut luftledning som huvudalternativ för utbyggnad av elnät på högre spänningsnivåer*. Hämtat från <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2025/01/regeringen-pek-ut-luftledning-som-huvudalternativ-for-utbyggnad-av-elnat-pa-hogre-spanningsnivaer/> den 7 Oktober 2025
- RWE. (2025). *Wales's largest Offshore Wind Farm, Gwynt y Môr marks 10 years powering the nation*. Hämtat från <https://www.rwe.com/en/press/rwe-offshore-wind-gmbh/2025-07-07-wales-largest-offshore-wind-farm-gwynt-y-mor-marks-10-years-powering-the-nation/> den 13 Oktober 2025
- Svenska Kraftnät. (den 8 Juni 2019). *Vägledning för verksamhet vid markförlagd kabel i transmissionsnätet 2.0*. Hämtat från <https://www.svk.se/4b022b/contentassets/4a8faa6173954be8882156d9cebcbfcf/vagledning-for-verksamhet-vid-markforlagd-kabel-i-transmissionsnatet-2.0.pdf> den 20 Augusti 2025
- Svenska kraftnät. (2021). *Målet: Alltid maximal tillgänglig kapacitet i ledningarna*. Hämtat från <https://www.svk.se/press-och-nyheter/temasidor/tema-om-overforingskapacitet-och-tillganglighet/>
- Svenska kraftnät. (den 28 Mars 2022). *TR01-01 Stamnätstationer*. Hämtat från https://www.svk.se/4ab5f0/siteassets/aktorsportalen/entreprenorer-i-elnetet/tekniska-riktlinjer/tr01/tr01-01_utg_11_20220328.pdf den 28 Oktober 2025
- Svenska kraftnät. (2023). *Bilaga 4: Miljökonsekvensbeskrivning – Överby–Beckomberga*. Svenska kraftnät, Stockholm. Hämtat från <https://www.svk.se/siteassets/2.utveckling-av-kraftsystemet/transmissionsnatet/utbyggnadsprojekt/overby-beckomberga/koncessionsansokan-2023/bilaga-4-mkb-overby-beckomberga.pdf>
- Svenska kraftnät. (den 13 Oktober 2023). *Ny anslutningsprocess för havsbaserad vindkraft - delrapport. Del 1: överföringskapacitet och anslutningspunkter på land*. Hämtat från <https://www.svk.se/4ab236/siteassets/om-oss/rapporter/2023/delrapport-1-havsvind-kapacitet-och-punkter2.pdf> den 1 September 2025
- Svenska kraftnät. (2024). *Anslutningsmöjligheter för havsbaserad vindkraft*. Hämtat från <https://www.svk.se/utveckling-av-kraftsystemet/transmissionsnatet/anslutning-av-havsbaserad-vindkraft/anslutningsmojligheter/> den 25 November 2025
- Svenska Kraftnät. (2024). *Samrådsunderlag: Undersökningssamråd inför ansökan om ändring av befintlig linjekoncession vid station Lidmyran, enligt 2 kap. 27 § ellagen*. Hämtat från <https://www.svk.se/4a93a1/siteassets/2.utveckling-av-kraftsystemet/transmissionsnatet/utbyggnadsprojekt/gotland/bilaga-6.-markkabel-fastland-avgransningssamrad-2024-10-15.pdf> den 18 September 2025

- Svenska kraftnät. (den 01 Juni 2025). *Principer och vägledning för anslutning till stamnätet*. Hämtat från <https://www.svk.se/49e7b0/siteassets/om-oss/rapporter/2025/principer-och-vagledning-for-anslutning-till-stamnatet.pdf> den 1 September 2025
- Svenska Kraftnät. (2025). *Stamnätsstationer Bygg och mark*. Hämtat från <https://www.svk.se/4a509a/siteassets/aktorsportalen/entreprenorer-i-elnetet/tekniska-riktlinjer/tr01/tr01-21-utgava-6.pdf> den 23 September 2025
- Svenska Kraftnät. (u.d.). *Om transmissionsnätet*. Hämtat från <https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-transmissionsnatet/> den 8 September 2025
- Svenska Kraftnät. (u. da). *www.svk.se*. Hämtat från <https://www.svk.se/utveckling-av-kraftsystemet/transmissionsnatet/transmissionsnatsprojekt/generella-fragor-svar/lokal-paverkan/blir-det-en-ledningsgata-nar-ni-graver-ner-markkabel/?siteid:40c776fe-7e5c-4838-841c-63d91e5a03c9> den 3 September 2025
- Svenska Kraftnät. (u.d.). *www.svk.se*. Hämtat från <https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-transmissionsnatet/teknik/fragor-och-svar-teknik/faq-teknik/hur-bred-ar-ledningsgatan-for-luftledning-respektive-markkabel/> den 3 September 2025
- Vattenfall. (2022). *Vattenfall makes Esbjerg its logistics capital of offshore wind - opens new international central warehouse*. Hämtat från <https://portesbjerg.dk/en/news/vattenfall-makes-esbjerg-its-logistics-capital-of-offshore-wind---opens-new-international-central-warehouse> den 22 September 2025
- Vattenfall. (den 17 Maj 2023). *www.projekt.vattenfall.se*. Hämtat från <https://projekt.vattenfall.se/vindprojekt/projekt/hav/kattegatt-syd/samrad> den 25 Augusti 2025
- Vattenfall. (2024). *Danish offshore win farms Vesterhav Nord and Vesterhav Syd inaugurated*. Hämtat från <https://group.vattenfall.com/press-and-media/pressreleases/2024/danish-offshore-wind-farms-vesterhav-nord-and-vesterhav-syd-inaugurated/> den 17 September 2025
- Vattenfall Eldistribution. (den 22 Oktober 2024). *www.vattenfalleldistribution.se*. Hämtat från <https://www.vattenfalleldistribution.se/globalassets/3.-partners/leverantor/tekniska-riktlinjet-vtr/vtr14-03-kabelforlaggning-52-170kv.pdf> den 18 September 2025
- Vattenfall Eldistribution. (2025). *Kompletterande samrådsunderlag – 130 kV ledning Bemersberg*. Hämtat från <https://www.vattenfalleldistribution.se/globalassets/4.-var-verksamhet/projekt/samrad/bemersberg/kompletterande-samradsunderlag-2025.pdf>
- Vattenfall. (u.å.). *Sandbank*. Hämtat från <https://powerplants.vattenfall.com/sandbank/> den 10 September 2025
- WSP. (2009). *Hamninventering vindkraft - undersökning av svenska hamnars möjlighet och ambition att hantera vindkraft*.
- WSP. (2024). *Samrådsunderlag för anslutning av vindkraftpark Poseidon*. Stockholm: WSP Earth & Environment. Hämtat från <https://zephyr.no/wp-content/uploads/2024/11/Samradsunderlag-Anslutning-Poseidon.pdf>
- Ørsted. (u.d.). *Bringing wind power ashore*. Hämtat från <https://us.orsted.com/renewable-energy-solutions/offshore-wind/offshore-wind-farm-construction/bringing-wind-power-ashore> den 28 Augusti 2025

Markanspråk vid anslutning av havsbaserad vindkraft

Bilaga 1 - Underlagsrapport

Vi arbetar för levande hav och vatten

Havs- och vattenmyndigheten, HaV, är en statlig förvaltningsmyndighet inom miljöområdet. Vi arbetar på regeringens uppdrag för bevarande, restaurering och hållbart nyttjande av sjöar, vattendrag, hav och fiskresurserna

**Havs
och Vatten
myndigheten**