

Teknisk beskrivning - Avveckling av en havsbaserad vindpark

Vindpark Triton

Datum	Version	Upprättad av	Granskad av
2022-06-22	1.0	Sara Jarmander, OX2 Carlo Giesecke, New Power Partners	Emelie Zakrisson, OX2

Innehållsförteckning

Innehållsförteckning	1
1 Inledning.....	2
2 Återanvändning och återvinning.....	3
2.1 Återanvändning	3
2.2 Återvinning	3
3 Avveckling.....	4
3.1 Hindermarkering och hinderbelysning	4
3.2 Utmärkning av arbetsområdet	4
3.3 Urkoppling av elanslutning	4
3.4 Omhändertagande av oljor och andra ämnen	4
3.5 Demontering av blad, maskinhus och torn	4
3.6 Fundament	5
3.6.1 Monopile.....	5
3.6.2 Fackverksfundament	5
3.6.3 Gravitationsfundament	6
3.7 Kablar.....	6
3.7.1 Internt kabelnät.....	6
3.7.2 Anslutningskablar (exportkablar)	6
3.8 Transformator- och omriktarstationer	6
3.9 Mätmaster och annan tillhörande utrustning kring vindparken	7
4 Kostnader för avveckling av en vindpark.....	8
5 Referenser	9

1 Inledning

När vindparken nått sin livslängd efter cirka 40 – 45 år kommer den att avvecklas. Huvudkomponenterna som måste tas om hand är vindkraftverk, fundament, kablar och plattformar för transformator/omriktarstationer. Platsen bör sedan återställas i erforderlig omfattning efter samråd med ansvariga myndigheter och bedömningar av påverkan på Natura 2000-områden bör göras mot bakgrund av de avvecklingsåtgärder som beskrivs i detta PM. Avvecklingssekvensen kan liknas vid en omvänd installationssekvens. Liknande fartyg och utrustning kommer att användas och i likhet med installationssekvensen är avvecklingsfasen komplex och påverkas av flera faktorer såsom kostnader, miljöfaktorer och regelverk.

Förhållning till och hantering av avvecklingsarbetet regleras på internationell, nationell och lokal nivå. Enligt nuvarande kunskapsläge gäller att samtliga anläggningsdelar idealt ska demonteras helt, med viss flexibilitet om avvecklingen bedöms vara kopplad till extrema risker, höga kostnader eller stor miljöpåverkan. Komponenter kan även lämnas kvar på plats om de kan tjäna ett nytt syfte, exempelvis som artificiella rev.

I praktiken innebär detta att anläggningsdelarna ovanför havsbotten i allmänhet demonteras. Ofta sker avvecklingen genom att vindkraftverk och transformatorstationer avlägsnas med hjälp av lämpliga fartyg. Strukturer under havsbotten såsom delar av fundament, nedgrävda kablar samt erosionsskydd lämnas oftast kvar då det bedöms viktigare att minimera extrema risker, höga kostnader och stora ingrepp i miljön.

Notera att utvecklingsmetoderna som presenteras nedan är baserade på dagens tekniker. Kunskapsläge och praxis och kan se annorlunda ut när avvecklingen väl ska ske. Utifrån vid avvecklingstidpunkten gällande regelverk kommer en projektspecifik avvecklings- och efterbehandlingsplan att tas fram.

Enligt nuvarande förväntningar tar avvecklingen cirka 6-12 mån per installerad GW.

2 Återanvändning och återvinning

Vid avveckling av en vindpark följer komponenterna samma "avfallshierarki" som övriga material. "Avfallshierarkin" är ett EU-direktiv som är antaget i den svenska miljöbalken och innebär att material och komponenter i första hand ska återanvändas. Om det inte är möjligt ska de i största möjliga uträkning återvinnas (Naturskyddsföreningen, 2021).

2.1 Återanvändning

Eftersom tekniken och kunskapsläget förändras snabbt, är den förväntade livslängden för vindparken cirka 40 – 45 år, men enskilda komponenter kan ha en längre livslängd. Kablar kan exempelvis vara brukbara upptill 50 år och gravitationsfundament upptill 100 år. När vindkraftverken närmar sig den tekniska livslängden kan man analysera dess skick. Om det bedöms ekonomiskt och tekniskt hållbart kan förlängning av vindkraftverkens livslängd genom underhållsarbete med utbyte eller renovering av huvudkomponenter vara ett alternativ (Energimyndigheten, 2016a).

Generationsväxling, även kallat re-powering är ett annat alternativ. Det innebär att nya modernare vindkraftverk ersätter de gamla. Generationsväxling innebär i princip alltid krav på en helt ny tillståndsprövning och om vindparken kan få ett nytt tillstånd bedöms utifrån de förutsättningar som finns på platsen den aktuella tidpunkten. Generationsväxling har länge tillämpats för landbaserad vindkraft men det finns begränsad erfarenhet av generationsväxling till havs. Kablar, fundament och till viss del annan infrastruktur skulle eventuellt kunna återanvändas vid en generationsväxling (Energimyndigheten, 2016a).

En utmaning är dock den snabba teknikutvecklingen av havsbaserade vindkraftverk. Under de senaste 20 åren har vindkraftverken blivit större i alla avseenden, såväl vad gäller installerad effekt, rotordiameter och navhöjd. Det finns således begränsning i att fundament och annan infrastruktur är underdimensionerade för att kunna återanvändas vid en generationsväxling. Hur marknaden kommer att se ut för generationsväxling av havsbaserad vindkraft är svårt att säga, men det kan vara en möjlighet (North Sea Region, 2021).

2.2 Återvinning

Om komponenter inte kan återanvändas är de i flesta fall återvinningsbara. Innan återvinning separeras samtliga material och återvinns var för sig.

3 Avveckling

3.1 Hindermarkering och hinderbelysning

Under en nedmontering säkerställer verksamhetsutövaren att ett objekt är markerat enligt Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd (TSFS 2020:88), eller vid tidpunkten gällande regelverk. Enligt nuvarande föreskrift (TSFS 2020:88) ska objekt markeras tills höjden understiger 45 meter för att undvika en fara för luftfarten.

3.2 Utmärkning av arbetsområdet

I samband med avvecklingen kan ett arbetsområde i anslutning till vindparken avlysas. Det är således förbjudet för utomstående att vistas inom området. Syftet med avlysningen är att förebygga olyckor samt säkerställa rörelsefrihet för berörd trafik.

Inom svenskt sjöterritorium och svensk ekonomisk zon utmärks normalt det avlysta områdets yttre gränser med sjösäkerhetsanordningar (SSA) av typ specialmärke. För att få äga SSA inom svenskt sjöterritorium och svensk ekonomisk zon krävs det enligt sjötrafikordningen att ägaren fått tillstånd av Transportstyrelsen efter samråd med Sjöfartsverket. Vidare gäller internationella sjöfartsregler och Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om sjövägsregler (Energimyndigheten, 2016b).

3.3 Urkoppling av elanslutning

Inför en nedmontering kopplas elanslutningen ur och förblir helt bortkopplad från nätet (Shafiee & Adedipe, 2021).

3.4 Omhändertagande av oljor och andra ämnen

Oljor/vätskor och andra ämnen som betraktas som farligt avfall hanteras under hela avvecklingsprocessen utifrån gällande regelverk för hantering och transport av farligt avfall.

Normalt vid avveckling är att oljor och vätskor lämnas kvar i maskinhuset (nacellen) vid nedmontering. Då dessa oljor är i slutna system kan de hanteras säkrare och mer kostnadseffektivt efter att maskinhuset monterats ned. Efter nedmontering fraktas maskinhusen till återvinningsstationen och töms. Om oljor och andra fluider avlägsnas till havs används specialkonstruerade fordon som är utrustade med pump, slang och behållare (Energimyndigheten, 2016b).

3.5 Demontering av blad, maskinhus och torn

Innan demonteringen av blad, maskinhus, nav och torn inleds inspekteras vindkraftverkets komponenter och lyftpunkter. Dessutom görs riskanalyser, upphandlingar av fartyg och utrustning samt eventuella förberedelser på land. Det första steget i demonteringsarbetet är att avlägsna eller säkra utrustning som inte är fast i strukturen. Blad, maskinhus, nav och torn lyfts sedan ner med kranar till närliggande fartyg eller pråm, vilket påminner om en omvänd installationsprocess. Olika typer av fartyg kan användas, exempelvis stödbensfartyg, stödbensplattformar eller stora kranfartyg (Shafiee & Adedipe, 2021).

Tillvägagångssättet för demonteringen beror bland annat på vattendjup, väder, tillgängliga fartyg och utrustning, avstånd till hamn och vindkraftverkens dimensioner. Ett alternativt är att hela rotorn inklusive alla blad lyfts ner till närliggande fartyg eller pråm samtidigt. I hamnen monteras sedan bladen loss från navet. Den kommande generationens vindkraftverk som installeras till havs kan däremot ha en navhöjd på uppemot 200 m och en rotordiameter om cirka 300 m. På grund av bladens storlek och vindfång i relation till kranfartygens kapacitet kan det vara aktuellt att lyfta av ett blad i taget innan övriga delar lyft ner (Energimyndigheten, 2016b).

Efter nedmontering transporteras samtliga komponenter till land med lämpligt fartyg för återanvändning, material- och energiåtervinning eller deponering. Komponenterna i ett vindkraftverk är i huvudsak tillverkade av stål, aluminium, kompositer och glasfiber, vilka är material som till stor utsträckning kan återvinnas efter nedmontering. Vissa torn består även av betong, som kan återanvändas i form av fyllnadsmassor (Energimyndigheten, 2016b).

3.6 Fundament

Den generella rekommendationen är att fundament ska avlägsnas ned till befintlig havsbotten. Eventuella erosionsskydd (sten och block) bör lämnas kvar eftersom dessa ofta koloniserar av marina organismer och gynnar den biologiska mångfalden, så kallad reveffekt (Energimyndigheten, 2016b).

I enstaka fall kan det vara fördelaktigt att frångå den grundläggande rekommendationen och istället lämna kvar delar eller hela fundamentet. Det kan exempelvis vara relevant om fundamentets reveffekt bedöms särskilt önskvärd ur ett ekologiskt bevarandeperspektiv. Ibland kan det även vara aktuellt att fundamentet avlägsnas helt (Energimyndigheten, 2016b).

Möjliga metoder för avlägsning av de olika fundamentstyperna presenteras i detalj nedan. Oberoende av fundamentstyp görs alltid bottenundersökningar efter avslutat avvecklingsarbete för granskning av resultatet. Vid eventuella brister korrigeras detta för att garantera att bottenförhållandena är återställda enligt avvecklings- och efterbehandlingsplan.

3.6.1 Monopile

Monopile-fundament består av en ihålig cylinder (något konisk) som är försänkt i botten genom pålning eller borring och löper hela vägen från botten till vattenytan. De är vanligtvis tillverkade i stål men andra material såsom aluminium, betong eller kompositmaterial kan användas i delkomponenter.

Vid avlägsning av monopile-fundament kapas de vanligtvis cirka en meter under havsbotten och eventuella håligheter (öppna stålrör) fylls igen med naturmaterial eller försluts. Den ihåliga stålcylindern kan sedan lyftas upp och transporteras till land för återvinning av stål och andra material, alternativt återanvändning. Strukturerna under havsbotten lämnas ofta kvar då fullständig borttagning med dagens teknik kan ge upphov till stora miljöeffekter samt kräver specialutrustning och är således dyrt (Energimyndigheten, 2016b).

När det kommer till fullständig avlägsning av monopile-fundament finns det flera tekniker under utveckling. Exempelvis hydrauliskt utsug med hjälp av tryckskillnader, muddring eller användning av vibrationer för att avlägsna fundamentet, vilket kan liknas en omvänd installationsprocess. Dessa tekniker behöver dock utvecklas för att passa de större havsbaserade vindkraftverken innan det går att bedöma dess lämplighet (Lindaas, 2022).

3.6.2 Fackverksfundament

Fackverksfundament utgörs av förgrenade stålrör där tre eller fyra ben är förankrade i botten genom pålning, alternativt sugkassuner. De är ofta tillverkade i stål, dock kan andra material användas för delkomponenter, exempelvis kompositmaterial, aluminium och betong.

Avlägsning av fackverksfundament liknar processen för monopile-fundament. Vanligtvis kapas pålarna en meter under havsbotten. Därefter lämnas de fasta strukturerna kvar. Alternativt avlägsnas strukturen helt och transporteras till land för återvinning av stålet och andra komponenter. Eventuella hål i botten orsakade av fundamentets fästpunkter eller arbetsplattformarnas stödben kan komma att fyllas igen med naturmaterial (Energimyndigheten, 2016b).

I enstaka fall kan större delar av fundamentstrukturen lämnas kvar ovanför havsbotten. Detta kan vara aktuellt om fundamentet bedöms utgöra en betydande rev-effekt (Andersson & Öhman, 2010). Fundamentet kapas då vid den höjd över havsbotten som anses lämplig ur ett rev-effekt perspektiv. Däremot får de ej kapas på ett sådant sätt som kan utgöra skada för sjösäkerheten (Energimyndigheten, 2016b).

3.6.3 Gravitationsfundament

Gravitationsfundament är vanligtvis gjorda av betong eller stål och består av en bred fot eller kassun som är försänkt i botten och fyllda med någon form av ballast. De står stabilt tack vare sin egen tyngd. Gravitationsfundament är svåra att kapa och kan därför lämnas kvar på platsen i sin helhet, förutsatt att det ingår i avvecklings- och efterbehandlingsplanen och är överenskommet med berörda myndigheter. Ur ett miljöperspektiv kan detta i flera fall vara fördelaktigt eftersom gravitationsfundament med erosionskydd i många miljöer fungerar som artificiella rev och lockar till sig fiskarter och andra marina organismer (Bergström, et al., 2012). Om hela fundamentet lämnas kvar kan det även fungera som konstgjorda öar som kan bli koloniserade av sjöfåglar (Energimyndigheten, 2016b).

Alternativt avlägsnas gravitationsfundament helt. Enligt nuvarande kunskapsläge finns tre metoder för avlägsning. Ett alternativ är att använda sig av lämpliga verktyg (exempelvis hydraulisk hammare eller betong-sax) för att fördela strukturen till mer lätthanterliga delar och därefter transportera till land med hjälp av lämpligt fartyg. Ett annat alternativ är att nyttja sprängning för att göra konstruktionen mer lätthanterlig och således lättare att transportera. Det sista alternativet är att ta bort ballasten och lyfta upp fundamentet med en kran samtidigt som vattnet inuti fundamentet pumpas ut. Fundamentet kan sedan bogseras till land (Bergström, et al., 2012).

Den nedsänkning i havsbotten som skapas efter avlägsning kräver stora ingrepp i form av igenfyllnad med naturmaterial. Risken finns annars att organiskt material ansamlas i nedsänkningen varpå syrebrist kan uppstå. Även hål i botten som skapas av arbetsplattformarnas stödben kan behöva åtgärdas. Vid vissa förhållanden kan snabb återfyllnad ske naturligt genom strömmar och sedimentrörelser vilket kan motivera undantag för att försänkningar fylls igen manuellt (Energimyndigheten, 2016b).

3.7 Kablar

3.7.1 Internt kabelnät

Vanligtvis består det interna kabelnätet av en armerad trededarkabel med tre faskablar av vald dimension. Kärnan består av en koppar- eller aluminiumledare som är isolerad med PEX (plast) eller EPR (gummi). Utöver isolering brukar kablarna vara försedda med ett stålhölje för extra skydd.

Det finns i allmänhet tre alternativ för demontering av kablar: avlägsna helt, avlägsna delvis eller lämna kvar. Normalt lämnas nedgrävda kablar kvar för att minimera negativ påverkan på kringliggande naturmiljöer samt undvika höga kostnader för avlägsningsarbete (Shafiee & Adedipe, 2021).

Om man bedömer att kablarna är lämpliga för återvinning eller återanvändning kan de avlägsnas helt eller delvis och transporteras till land. Innan avlägsning påbörjas måste kabeldjup identifieras och lämpliga metoder för avlägsning beslutas. Vanligtvis används liknande metoder som vid installation, exempelvis spolning, plöjning eller grävning med hjälp av kabelläggningsverktyg eller liknande verktyg. Vid spolning används vatten under högt tryck och "fluidiserar" botten sedimentet så att kabeln kan avlägsnas från bottenmaterialet. Denna metod är vanligt förekommande i mjukare botten. Plöjning eller grävning används vanligtvis i hårdare botten. När kablarna har förts i land brukar dess olika material separeras och återvinnas i största möjliga uträckning (Smith et al., 2016).

3.7.2 Anslutningskablar (exportkablar)

Exportkablarna är större än kablarna i det interna kabelnätet, men principen är samma (Shafiee & Adedipe, 2021).

3.8 Transformator- och omriktarstationer

Havsbaseade transformatorstationer består av två delar, ett fundament och en överbyggnad. Överbyggnaden innehåller elektriska komponenter och annan nödvändig utrustning. Om överföringen till land istället för högspänd växelström sker med högspänd likström ingår en omriktare som en del av den elektriska utrustningen, denna station kallas då vanligen omriktarstation. En omriktarstation kan placeras på en separat plattform men liknar i utformningen en transformatorstation. Havsbaseade transformator- och omriktarstationer är ofta upprättade på fackverksfundament, men andra fundamentstyper kan också användas.

I det första steget lyfts överbyggnaden bort i sin helhet eller via flera lyft till närliggande fartyg eller pråm och transporteras i land. Normalt lämnas oljor och andra fluider kvar i överbyggnaden under nedmonteringen till havs för att minska risken för läckage. Dessa omhändertas sedan på erforderligt sätt på land (Energimyndigheten, 2016b).

Avveckling av transformator- och omriktarstationers fundament följer samma principer som avveckling av vindkraftfundament. Likaså gäller för andra plattformar (Energimyndigheten, 2016b).

3.9 Mätmaster och annan tillhörande utrustning kring vindparken

Principen för avveckling av vindkraftsfundament gäller även för mätmaster eller annan tillhörande utrustning som är flytande eller placerad på fundament (Shafiee & Adedipe, 2021).

4 Kostnader för avveckling av en vindpark

I tabellen nedan redovisas uppskattade kostnader i samband med avvecklingen av vindparken. Kostnaderna är estimerade utifrån dagens tekniker och dagens kostnadsbild, med viss hänsyn till den teknik- och kostnadsutveckling som förväntas äga rum fram till tid för avvecklingsarbetet.

Notera att nedanstående är ett kostnadsexempel för en vindpark bestående av 68 vindkraftverk. Beroende på vindparkens slutliga utformning (antal vindkraftverk, dess dimensioner, fundament, kabeldragning osv.) kan avvecklingsmetoder, typ av fartyg och utrustning komma att se annorlunda ut när avvecklingen väl ska ske.

	Kostnad		Tidsåtgång		Total kostnad / task	
Hamnområde						
Mobilisering av hamnområde	8 400 000	SEK	1	-	8 400 000	SEK
Hyra - Kaj och hamn	73 500	SEK/dygn	120	dygn	8 820 000	SEK
Hyra – Utrustning för tunga lyft	19 950	SEK/dygn	120	dygn	2 394 000	SEK
Turbin						
Mob/demob	21 000 000	SEK	1	-	21 000 000	SEK
Fartyg	1 417 000	SEK/dygn	1	dygn / turbin	99 390 000	SEK
Fartyg för support	57 750	SEK/dygn	1	dygn/ turbin	3 927 000	SEK
Plattform	52 500	SEK/MW	1700	MW	89 250 000	SEK
Monopile						
Mob/demob	21 000 000	SEK	1	-	21 000 000	SEK
Fartyg inkl. skärutrustning	1 575 000	SEK/dygn	1	dygn / turbin	107 100 000	SEK
Fartyg för support	63 000	SEK/dygn	1	dygn / turbin	4 284 000	SEK
Internkablar						
Mob/demob	472 500	SEK/dygn	6	dygn	2 835 000	SEK
Fartyg	472 500	SEK/dygn	2	kablar/dygn	16 065 000	SEK
Arbete havsbotten	6 300 000	SEK	1	-	6 300 000	SEK
Resurser	1 050	SEK/h	20 000	timmar	21 000 000	SEK
Total kostnad					408 765 000	SEK
Kostnad/turbin position					6 011 250	SEK

5 Referenser

Andersson, M. H. & Öhman, M. C., 2010. Fish and sessile assemblages associated with wind-turbine constructions in the Baltic Sea. *Marine and Freshwater Research*, 61:642-650, pp. 642-650.

Bergström, L. o.a., 2012. *Vindkraftens effekter på marint liv, Rapport 6488*, u.o.: Naturvårdsverket.

Energimyndigheten, 2016a. *Återbruk och återanvändning av vindkraftverk*, Bromma: Energimyndigheten.

Energimyndigheten, 2016b. *Vägledning om nedmontering av vindkraftverk*, u.o.: Energimyndigheten.

Lindaas, J. C., 2022. *A market survey of ROVs and decommissioning tools for the removal of monopile foundations in the offshore wind industry*, u.o.: Western Norway University of Applied Sciences.

Naturskyddsföreningen, 2021. *Faktablad Avfallstrappan*. [Online]
Available at: www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/avfallstrappan/
[Använd 30 april 2022].

North Sea Region, 2021. *Concept for repowering OWF Comparison of CO2 and costs with decommissioning*, u.o.: Interreg North Sea Region Decom Tools, European Union.

Shafiee, M. & Adedipe, T., 2021. Offshore wind decommissioning: an assessment of the risk of operations. *International Journal of Sustainable Energy*, pp. 1-27.