

FLYTENDE HAVVIND

Kostnadsreduksjoner for flytende havvind frem mot 2040

Offshore Norge, Norsk Industri og Fornybar Norge

Rapportnr.: 10623314, Rev. 01

Dokumentnr.: 10623314-R-01-A

Utgivelsesdato: 29.04.2026



Prosjektnavn: Flytende havvind
 Rapporttittel: Kostnadsreduksjoner for flytende havvind frem mot 2040
 Oppdragsgiver: Offshore Norge, Norsk Industri og Fornybar Norge,
 Kontaktperson: Roger Pedersen
 Utgivelsesdato: 29.04.2026
 Prosjektnr.: 10623314
 Org. enhet: E-NV-EN
 Rapportnr.: 10623314, Rev. 01
 Dokumentnr.: 10623314-R-01-A

DNV Energy Systems
 Veritasveien 1, 1363 Høvik
 Tel: +47 41689327

Levering av denne rapporten er underlagt bestemmelsene i relevant(e) kontrakt(er):

Oppdragsbeskrivelse: DNV har gjennomført en studie for å avdekke mulige tiltak for å realisere kostnadsreduksjoner for flytende havvind frem mot 2040 og fasilitert en workshop hvor disse kostnadsreduksjonene har blitt gjennomgått med den partssammensatte Arbeidsgruppen for havvind. DNV har sammenstilt tiltakene og diskusjonene fra workshopen i denne rapporten.

Utført av:	Verifisert av:	Godkjent av:
Anna Kringlen Ervik Seniorkonsulent	Kristin Nergaard Berg Regional Segment Lead Floating Wind	Jakub Gubanski Head of section, Project Development and Project Engineering, Nordics
	Alireza Bayat Principal consultant	

Internt i DNV er informasjonen i dette dokumentet klassifisert som:

	Kan dokumentet bli distribuert internt i DNV etter en gitt dato?	
	Nei	Ja
<input type="checkbox"/> Open	--	--
<input checked="" type="checkbox"/> DNV Restricted	--	--
<input type="checkbox"/> DNV Confidential	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> DNV Secret	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Keywords Flytende havvind, kostnadsreduksjoner, LcoE, Energy Transition Outlook

Rev. no.	Date	Reason for issue	Prepared by	Verified by	Approved by
0	2026-04-29	First issue	Anna K.Ervik	Kristin N.Berg	Jakub Gubanski

Copyright © DNV 2026. All rights reserved. Unless otherwise agreed in writing: (i) This publication or parts thereof may not be copied, reproduced or transmitted in any form, or by any means, whether digitally or otherwise; (ii) The content of this publication shall be kept confidential by the customer; (iii) No third party may rely on its contents; and (iv) DNV undertakes no duty of care toward any third party. Reference to part of this publication which may lead to misinterpretation is prohibited.

UAVHENGIGHET, UPARTISKHET OG BEGRENSNINGER I RÅDGIVNINGENS UTSTREKNING

Dette dokumentet inneholder innhold levert av DNV. Vær oppmerksom på følgende:

Etiske uavhengighetstiltak

For å opprettholde den nødvendige integritet og upartiskhet som er essensielt for våre tredjepartsroller knyttet til samsvarsvurderinger, utfører DNV innledende interessekonfliktvurderinger før vi påtar oss engasjement i tilknytning til rådgivningstjenester.

Rolleprioritet

Denne rapporten er utarbeidet av DNV i sin rådgivende kapasitet, etter at vi har gjort interessekonfliktvurderinger. Innholdet i rapporten er adskilt fra DNVs ulike roller som uavhengig leverandør av tredjeparts tjenester knyttet til samsvarsvurdering. Hvor overlapp eksisterer mellom disse to typene av tjenester, vil tredjeparts tjenester knyttet til samsvarsvurdering utført av DNV være uavhengige av rådgivning som er gitt på vegne av DNV og de vil ha forrang over de rådgivende tjenestene som ytes.

Fremtidige tredjeparts tjenester knyttet til samsvarsvurdering

Innholdet i dette dokumentet vil ikke forplikte eller påvirke DNVs uavhengige og upartiske dømmekraft eller utfallet i eventuelle fremtidige tredjeparts tjenester knyttet til samsvarsvurdering som utføres av DNV hvor det kan være en viss tilknytning og sammenheng mellom rådgivningen som er gjort og den fremtidige tredjeparts tjenesten knyttet til samsvarsvurdering som skal ytes.

Gjennomgang av overholdelse

DNVs overholdelse av etiske regler og bransjestandarder når det gjelder skille av DNVs ulike roller og tjenester er underlagt periodiske eksterne gjennomganger.

INNHALDSFORTEGNELSE

1	SAMMENDRAG	2
2	INTRODUKSJON.....	4
3	PROGNOSE FOR UTVIKLING OG KOSTNADER FOR FLYTENDE HAVVIND.....	5
3.1	Status for flytende havvind	5
3.2	Prognoser for installert kapasitet fra DNV ETO	5
3.3	Prognoser for kostnadsnivå fra DNV ETO	6
3.4	Antakelser bak prognosene	8
4	KOSTNADSREDUKSJONER FOR FLYTENDE HAVVIND	12
4.1	Metodikk og avgrensninger	12
4.2	Investeringskostnader (CAPEX)	14
4.3	Drifts- og vedlikeholdskostnader (OPEX)	21
4.4	Energiproduksjon	22
4.5	Diskusjon av kostnadsreduksjoner	23
4.6	Forventet reduksjon av kostnader innen 2040	26
5	KOSTNADSREDUKSJONER FOR BUNNFAST HAVVIND	28
6	REFERANSER.....	29

1 SAMMENDRAG

Formål og bakgrunn

Flytende havvind forventes å spille en viktig rolle i Norges energiomstilling. Samtidig er dagens kostnadsnivå høyt, og betydelige kostnadsreduksjoner er nødvendige for å muliggjøre fremtidig kommersiell utbygging.

DNV er forespurt om å bistå en partssammensatt arbeidsgruppe innen havvind ('Arbeidsgruppen') med faglig støtte knyttet til kostnadsreduksjoner og veien mot lønnsom havvind. Arbeidet og rapporten er bestilt av Fornybar Norge, Norsk Industri og Offshore Norge.

DNV har gjennomført en forstudie for å avdekke mulige tiltak for å realisere kostnadsreduksjoner frem mot 2040 og fasilitert en workshop hvor disse kostnadsreduksjonene har blitt gjennomgått med Arbeidsgruppen. Studien fokuserer på tiltak innen investeringskostnader, driftskostnader og energiproduksjon.

Formålet er å strukturere og belyse hvilke faktorer som er avgjørende for kostnadsreduksjoner i havvind, og hvordan disse kan legge grunnlaget for lønnsom industriell utvikling.

Kostnadsreduksjoner med høyt potensial

DNV og Arbeidsgruppen har identifisert, diskutert og kategorisert i alt 40 kostnadsreducerende tiltak, fordelt på de forskjellige kostnadselementene (turbin, substruktur, planlagt vedlikehold etc.). I det følgende listes tiltakene med høyest potensial.

- Større turbiner og standardisert turbinstørrelse vurderes som tiltakene med størst antatt potensial for kostnadsreduksjon innen turbin og turbininstallasjon. Disse tiltakene vil også ha en stor påvirkning på andre kostnadselementer. Større turbiner vil redusere antall enheter i vindparken og standardisert turbinstørrelse vil muliggjøre mer optimalisering av både substruktur-design og turbininstallasjon.
- For substrukturen er serieproduksjon og standardisering av design viktige tiltak for kostnadsreduksjon. Mens serieproduksjon legger til rette for kostnadsreduksjoner i fabrikasjon og sammenstilling, kan standardisering av design optimalisere arbeidsprosesser og serieproduksjon, og dermed redusere kostnadene ytterligere.
- Innenfor fortøyning og forankring er det stort potensiale for teknologiutvikling. Nye materialer og optimalisering av systemkonfigurasjoner er vurdert til å ha en viktig påvirkning. Det er imidlertid optimalisering av marine operasjoner og installasjonsfartøy som har blitt vurdert til å ha høyest potensial. Gjennom å designe systemer med tanke på marine operasjoner, og planlegge marin logstikk tidlig i prosjektet kan disse operasjonene minimeres og optimaliseres.
- Undervannskoblinger som gjør det mulig å koble fra en turbin uten å påvirke øvrige turbiner er vurdert til å ha en høy påvirkning på vindparkens tilgjengelighet og energiproduksjon. Høyere spenning på internkablene (132 kV) vil redusere behovet for kabel og vil dermed ha en betydelig påvirkning på investeringskostnaden.
- Et samordnet havnett, i stedet for egen løsning for offshore-transformatorstasjon og eksportkabel for hver enkelt vindpark, forventes å redusere duplisering av infrastruktur og dermed reduserer kostnader betydelig. For utforming av eksportsystemet er både undervanns- og flytende transformatorstasjon teknologier som er under utvikling, og innen 2040 vurderes det sannsynlig at begge disse teknologiene vil være tilstrekkelig modnet.
- Bedre fartøy og tilkomstmetoder regnes som betydelige kostnadsreduksjoner for planlagt vedlikehold. Dagens fartøy og tilkomstmetoder er i hovedsak tilpasset flytende-til-bunnfast¹ operasjoner, og ikke flytende-til-flytende operasjoner. Spesialbygde SOV'er og gangbrosystemer som bedre hensyntar bevegelsene til flyteren er forventet å kunne effektivisere og optimalisere vedlikeholdsoperasjonene, og dermed redusere kostnadene.

¹ 'Flytende-til-bunnfast' refererer til tilkomst fra et fartøy til en fast installasjon, mens flytende-til-flytende refererer til tilkomst fra et fartøy til en flytende installasjon

Ittillegg er oppgradering av vedlikeholdsbaser antatt å kunne optimalisere logistikk, og dermed redusere kostnader, særlig hvis disse basene kan betjene flere vindparker.

- For uplanlagt vedlikehold er løsninger for store reparasjoner offshore en viktig kostnadsreduksjon, da det både er dyrt og tidkrevende å taue en enhet til land. I andre tilfeller kan vedlikeholdsklustere bidra til reduserte kostnader ved å fordele investeringer i nødvendige havne-oppgraderinger og kostnader på flere operatører.
- Tilstandsovervåkning og bruk av digitale tvillinger forventes å ha en viktig påvirkning på energiproduksjon gjennom bedre planlegging av drift og vedlikehold og bedre innsikt i vindturbinens tilstand. Videre er forbedret design antatt å gi økt produksjon, ved å muliggjøre mer vedlikeholdsfrie systemer og/eller standardisering av substruktur-design som minimerer flyterbevegelser.

2 INTRODUKSJON

DNV er forespurt om å bistå en partssammensatt arbeidsgruppe innen havvind ('Arbeidsgruppen') med faglig støtte og fasilitering, med særlig fokus på kostnadsreduksjoner industrien selv kan oppnå og veien frem mot lønnsom havvindproduksjon.

DNV har utført en forstudie og fasilitert en workshop med Arbeidsgruppens medlemmer. Målet har vært å svare ut, og strukturere diskusjoner rundt følgende spørsmål;

Hva skal til for å oppnå kostnadsreduksjoner i havvind, og hvordan kan industrien bevege seg mot lønnsom produksjon?

Gjennom forstudien har DNV identifisert mulige faktorer som kan bidra til lavere LCOE, og disse har blitt presentert for Arbeidsgruppen for innspill og kommentarer. DNV har deretter sammenstilt innsikt og vurderinger fra Arbeidsgruppen med resultater fra forstudien.

Rapportens struktur

I denne rapporten presenteres først kostnadsprosjeksjoner for flytende vind fra DNV's Energy Transition Outlook, både globalt og for Norge. Antakelser og viktige modell-parametre beskrives og forklares for å gi en oversikt over hvordan DNV beregner fremtidige kostnader.

Deretter presenteres kostnadsreduksjonene som DNV har identifisert i forstudien, rangert og gjennomgått med Arbeidsgruppen. Kostnadsreduksjonene er presentert i tabeller for hvert kostnadselement, og den potensielle påvirkningen, er rangert som lav – medium – høy i forhold til kostnadselementet (f.eks «internkabler»).

Diskusjoner og kommentarer rundt kostnadsreduksjonene fra workshopen er oppsummert i et eget delkapittel.

Rapporten inkluderer også DNVs prosjeksjoner for potensiell kostnadsreduksjon for investeringskostnader og drifts- og vedlikeholdskostnader, og disse presenteres i påfølgende kapittel.

Avslutningsvis diskuteres de kostnadsreduksjonene som også er relevante for bunnfast havvind.

Avgrensninger og premisser

I utarbeidelsen av kostnadsreduksjoner og potensiell påvirkning er 2040 brukt som referanseår, ettersom dette representerer et realistisk tidsperspektiv for teknologimodning, industrialisering og storskala utbygging av flytende havvind på global skala.

Energikostnader angis ofte i LCOE (Levelized Cost of Energy), der ulike faktorer inngår (se Kapittel 3.4). Denne studien er avgrenset til å se på tiltak som kan være realistiske i et 2040-perspektiv for å redusere investeringskonstanter ('CAPEX') og drifts- og vedlikeholdskostnader ('OPEX') samt å øke energiproduksjonen for fremtidige flytende havvindparker. Det anerkjennes at det er flere forhold som har betydelig påvirkning på LCOE og som er avgjørende for å etablere en bærekraftig flytende havvindindustri, inkludert kapitalkostnader og statlige støtteordninger. Disse adresseres i Kapittel 3, men har ikke vært fokus i denne studien.

I arbeidet med å identifisere kostnadsreduksjoner har DNV gjort kvalitative anslag på potensiell påvirkning (lav – medium – høy). De kvalitative anslagene har blitt diskutert i workshopen med Arbeidsgruppen. Målet for studien har vært å vurdere og rangere de ulike reduksjonsmulighetene basert på deres potensial. For å kvantifisere faktisk oppnådde kostnadsreduksjon, vil det være relevant å definere tenkte prosjekter og modellere LCOE for disse, for å fange systemeffekter. Slik modellering har ikke vært en del av denne studien.

DNV har ikke vurdert spesifikke flytertechnologier (som f.eks spar eller semi-sub) i arbeidet, og det er derfor ikke vurdert hvordan forskjellige teknologier vil ha ulike kostnadsreduksjoner.

3 PROGNOSE FOR UTVIKLING OG KOSTNADER FOR FLYTENDE HAVVIND

Dette kapitlet presenterer forventet utvikling i installert kapasitet og kostnadsnivå (Levelized Cost of Energy, LCOE) for flytende havvind, globalt og i Norge, frem mot 2060.

Kapitlet bygger på analysene DNVs *Energy Transition Outlook 2025* (DNV ETO 2025, /1/) og *Energy Transition Outlook Norway 2025* (DNV ETO Norway 2025, /2/). Formålet er å gi en referanse for forventet utvikling, som et utgangspunkt for kostnadsreduksjoner som presenteres i Kapittel 4, og å forklare de viktigste antakelsene som ligger til grunn.

Det presiseres at DNV's ETO modell primært er en modell for den globale energiomstillingen, der energiforsyning og forbruk modelleres basert på en rekke antakelser og forutsetninger i 10 verdensregioner. Som et resultat av dette kan forventet utvikling av installert kapasitet og kostnader for hver enkelt energikilde trekkes ut. DNV ETO Norway 2025 analyserer utviklingen i Norge, basert på den globale energiomstillingen. Siden flytende havvind er en global sektor, vil kostnadsnivået for flytende havvind i Norge påvirkes av det totale volumet av flytende havvind globalt.

3.1 Status for flytende havvind

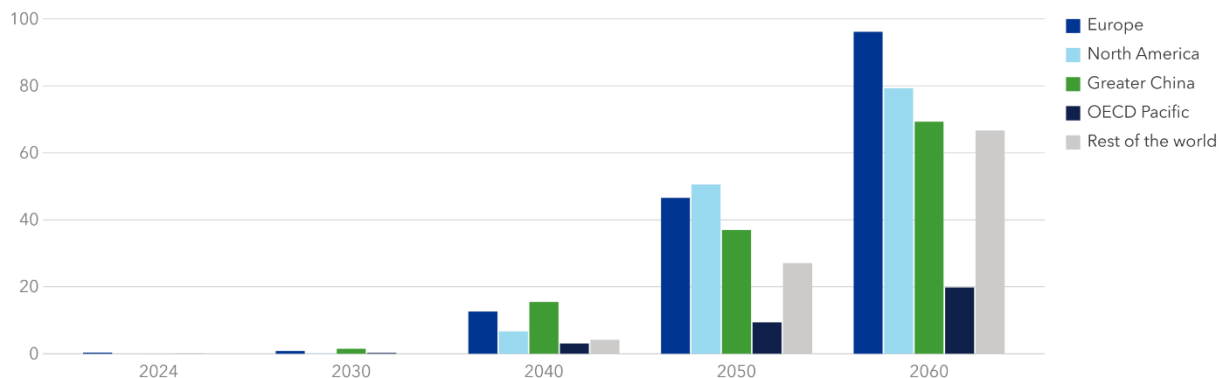
Globalt er flytende havvind fortsatt i en tidlig fase, sammenlignet med bunnfast vind og landvind. Per idag er den installerte kapasiteten for flytende havvind globalt rundt 300 MW, fordelt på et begrenset antall pilot- og demonstrasjonsprosjekter i Europa og Asia, blant annet i Storbritannia, Norge, Portugal, Frankrike, Kina og Japan. Det største prosjektet i drift er Hywind Tampen i Norge.

Foreløpig er kostnadsnivået for flytende havvind så høyt at utbygging uten statlig støtte ikke er kommersielt mulig. Tildeling av prosjektområder og støtte har tatt lenger tid enn markedet forventet for noen år siden og kun en håndfull prosjekter av noe størrelse har så langt sikret avtaler om subsidier. Det største prosjektet som har sikret seg støtte er Green Volt (400 MW) i Storbritannia som vant en differansekontrakt i tildelingunden AR6 i Storbritannia i 2024.

DNV sine siste prognoser indikerer at global installert kapasitet av flytende havvind vil nå 42 GW innen 2040. Denne prognosen forutsetter at prosjekttildeling og støtteordninger finner sted, men også virkningene av teknologimodning og kostnadsreduksjoner som drives fram av prosjekter.

3.2 Prognoser for installert kapasitet fra DNV ETO

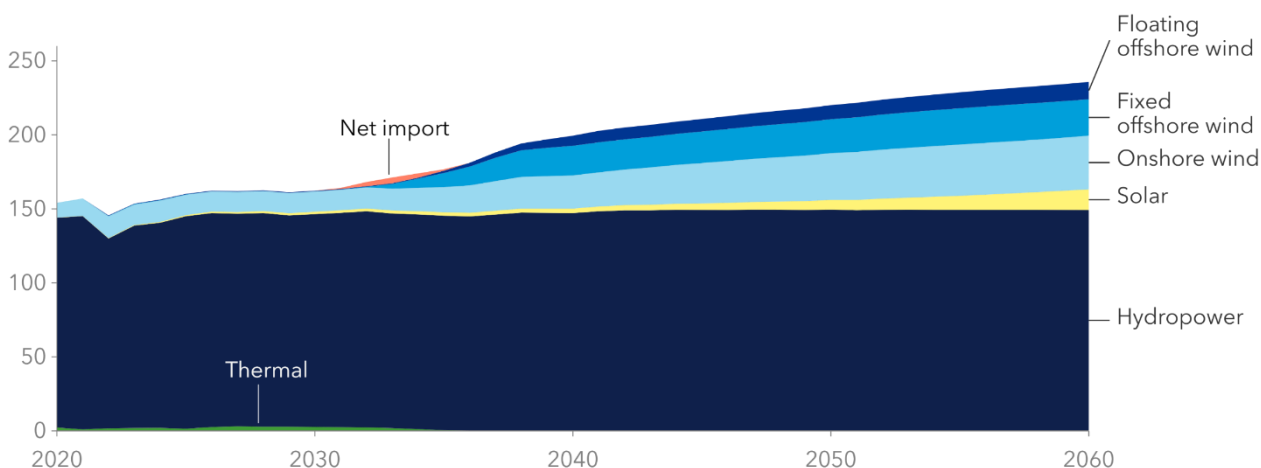
Figur 3-1 viser forventet utvikling for flytende vind globalt mot totalt 330 GW i 2060. Sammenlignet med tidligere år er prognosen på kort sikt nedjustert kraftig, omlag 60% for 2030, noe som reflekterer utfordringer med forsinkelser og høye kostnader. Flytende vind vil vokse sakte fram mot 2040 og installasjonstakten forventes å øke etter dette. I 2040 estimerer vi 42 GW, mens i 2060 ser vi totalt 331 GW flytende havvind og nesten 30% av dette vil være i Europa.



Rest of the world: Indian Subcontinent, Latin America, Middle East & North Africa, Sub-Saharan Africa, North East Eurasia, South East Asia.

Figur 3-1 Installert kapasitet flytende havvind i GW per region (fra DNV Energy Transition Outlook 2025)

Figur 3-2 illustrerer forventet utvikling av kraftforsyningen i Norge, der flytende vind spiller en betydelig rolle, men mindre enn landvind og bunnfast vind. Installert kapasitet av flytende vind er forventet å være 0 GW i 2030, 2 GW i 2040 og 3 GW i 2060. Til sammenligning ga DNV ETO Norway 2024 et anslag for flytende vind i 2040 på 6 GW, så også for Norge er prognosene for installert flytende vind kraftig nedjustert, noe som reflekterer markedsbetingelsene.

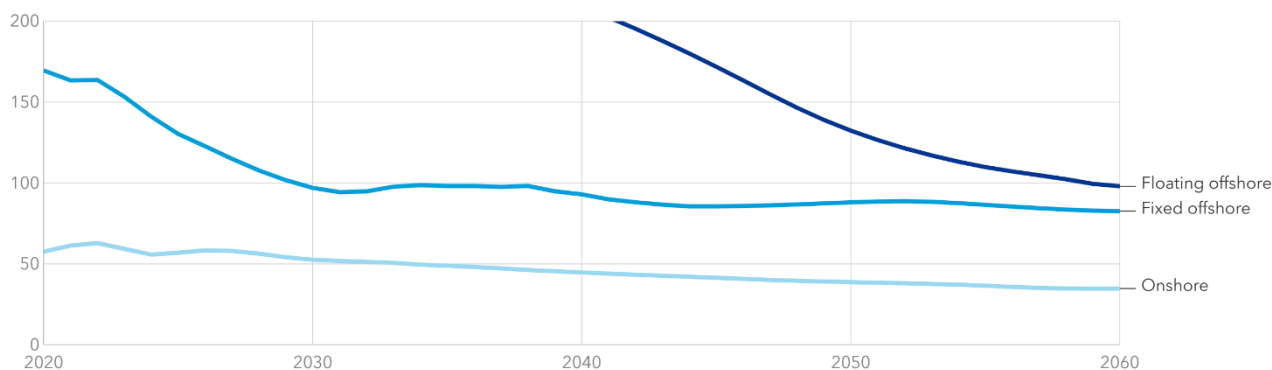


Figur 3-2 Energiforsyning per energikilde i TWh per år i Norge mot 2060 (fra DNV Energy Transition Outlook Norway 2025). Figuren viser et forventet kraftunderskudd, med andre ord netto import av kraft, i perioden 2030-2035. Over samme periode er installert kapasitet av flytende vind forventet å være 0 GW i 2030, 2 GW i 2040 og 3 GW i 2060.

3.3 Prognoser for kostnadsnivå fra DNV ETO

Per i dag er LCOE for flytende havvind globalt på over 300 USD/MWh, og mer enn dobbelt så høy som for bunnfast havvind (130 USD/MWh).

Figur 3-3 viser utviklingen av global gjennomsnittlig LCOE for landvind, bunnfast havvind og flytende havvind. Innen 2060 forventes den globale gjennomsnittlige LCOE for bunnfast havvind å være rundt 70 USD/MWh, mens flytende havvind forventes å ligge på om lag 100 USD/MWh, en forskjell på kun 45 %. Kostnadsreduksjonene vil skje som følge av økte utbyggingsvolumer, skalering og teknologiutvikling og forutsetter strategiske politiske tiltak som støtter en slik utvikling.



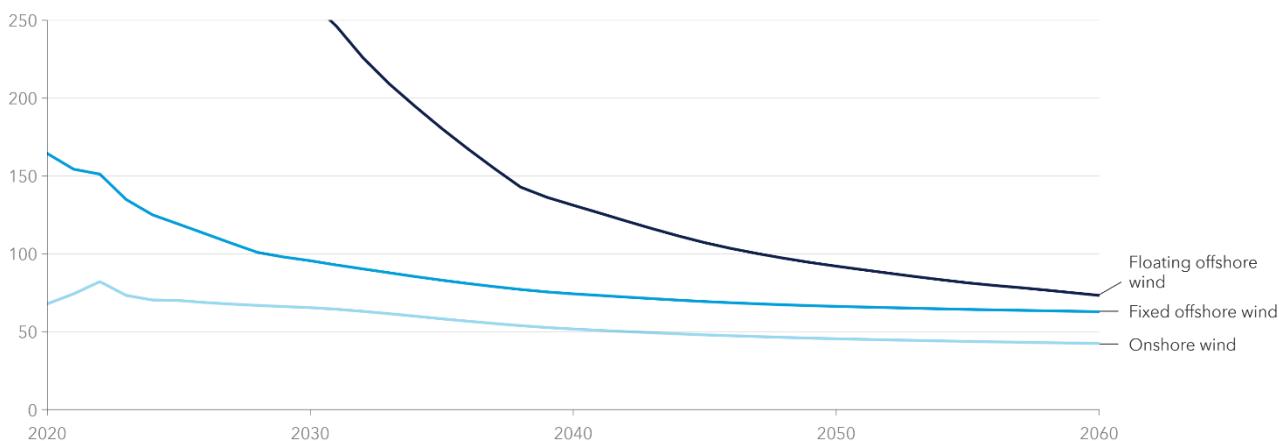
Note: Global LCOEs are running three-year averages. Historical data source: GlobalData (2025), DNV analysis.

Figur 3-3 Forventet utvikling i globalt gjennomsnitt for LCOE (USD/MWh) mot 2060 for landvind, bunnfast havvind og flytende havvind (fra DNV Energy Transition Outlook 2025). Fra 2025 til 2040 reduseres global gjennomsnittlig LCOE for flytende vind fra over 300 USD/MWh til 260 USD/MWh, og i 2060 forventes en gjennomsnittlig global LCOE på omlag 100 USD/MWh.

LCOE vil variere mye mellom regioner og mellom prosjekter, på grunn av erfaring, kompetanse og kapasitet og lokale forhold som kostnadsnivå og infrastruktur. I Europa og Kina, som er regioner med mye utbygget havvind, er LCOE lavere enn i andre regioner, og godt under det globale gjennomsnittet (dette gjelder både bunnfast og flytende havvind). I Europa og Norge forventes LCOE å komme ned mot omlag 130 USD/MWh i 2040 og 75 USD/MWh i 2060.

Figur 3-4 viser utviklingen av LCOE for landvind, bunnfast havvind og flytende havvind for Norge frem mot 2060.

Levelized cost of wind electricity (USD/MWh)



Historical data source: GlobalData (2025), DNV analysis.

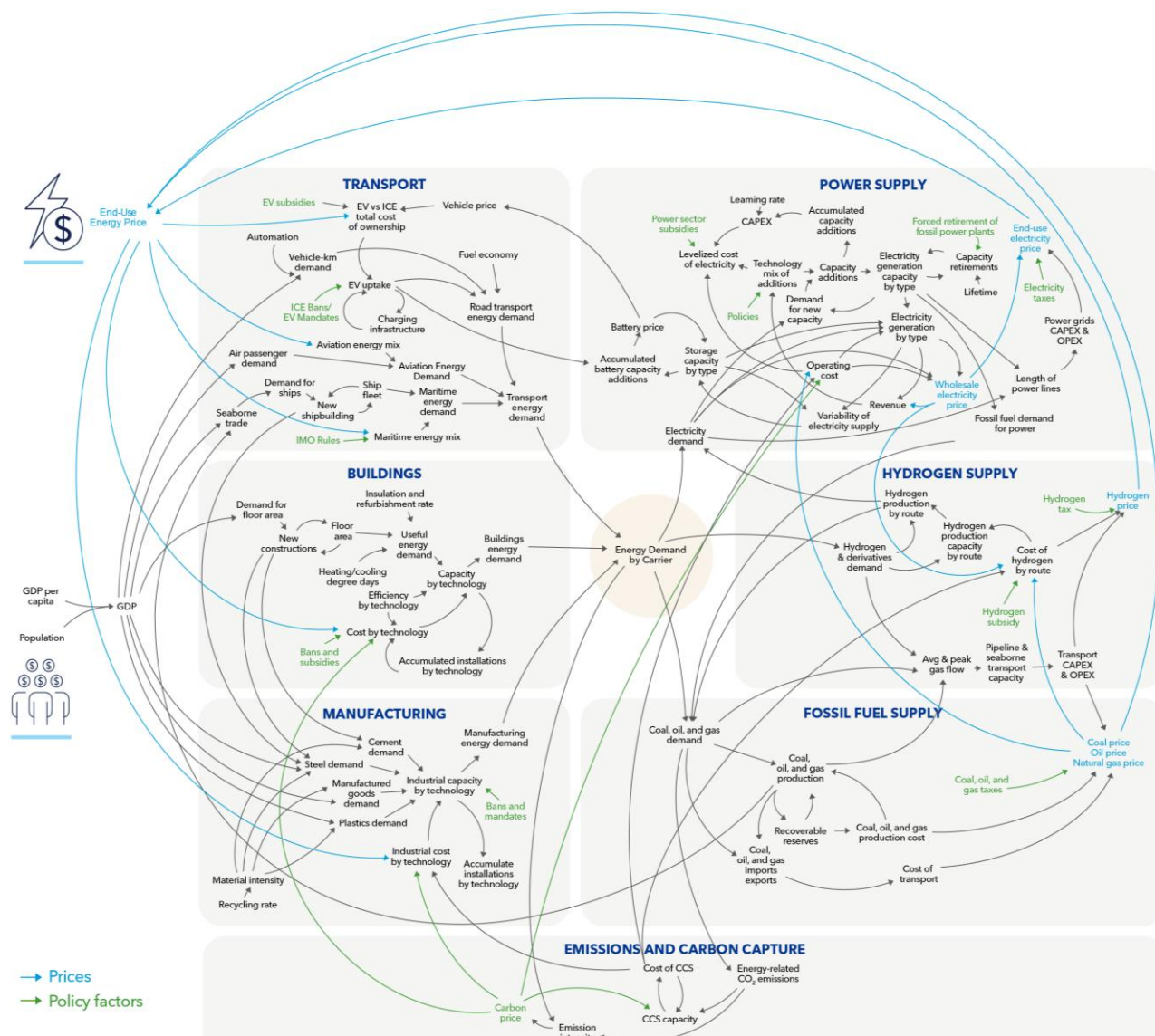
Figur 3-4 Forventet utvikling i LCOE for Norge (USD/MWh) mot 2060 for landvind, bunnfast havvind og flytende havvind (fra DNV Energy Transition Outlook Norway 2025). Fra dagens kostnadsnivå på rundt 300 USD/MWh er LCOE for flytende vind forventet å reduseres til omlag 130 USD/MWh i 2040, og i 2060 er LCOE for Norge antatt å være redusert til 75 USD/MWh, som er en reduksjon på omlag 75% fra dagens nivå.

3.4 Antakelser bak prognosene

DNV's ETO modell er en fremskriving av den globale energiomstillingen, der energiforsyning og forbruk modelleres basert på en rekke antakelser og forutsetninger i 10 verdensregioner. Antakelsene inkluderer eksempelvis befolkningstall, økonomisk vekst, forbruksvaner og politiske faktorer som karbonprising og subsidier. For Norge er det antatt fortsatt statlig støtte for havvind mot 2040 utover de allerede vedtatte prosjektene Sørlige Nordsjø II og Utsira Nord. Antakelsen er basert på Norges uttrykte ambisjon og målsetning om 30 GW tildelt areal for havvind innen 2040. Ut fra det vi kan se i dag, vil fortsatt statlig støtte være en forutsetning for å nå denne ambisjonen.

Som et resultat ETO modellen kan forventet utvikling av installert kapasitet og kostnader for den enkelte energikilde trekkes ut. Modellen er primært ment å vise langsiktig utvikling, ikke kortsiktige trender. DNV har valgt å ikke operere med ulike scenarier, men å presentere det resultatet og utfallet av ETO analysen som vi anser som mest sannsynlig.

Figur 3-5 viser en forenklet framstilling av dynamikken i energiforsyning og forbruk i DNVs ETO modell.



Figur 3-5 En forenklet framstilling av struktur og avhengigheter i DNVs ETO modell, DNV ETO 2025, /1/.

I de følgende avsnittene forklares begrepene Levelized Cost of Energy (LCOE) og læringsrater, som er sentrale i modelleringen bak DNV ETO sine prognoser for kostnadsutvikling.

Energikostnad: LCOE (Levelized Cost of Energy)

LCOE uttrykker gjennomsnittlig kostnad per produsert energienhet over anleggets levetid, og inkluderer både investeringskostnader (CAPEX), drifts- og vedlikeholdskostnader (OPEX), finansieringskostnader og årlig energiproduksjon.

LCOE beregnes generelt ved følgende formel;

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

Hvor I_t er investeringskostnadene (CAPEX) i år t , M_t er drifts- og vedlikeholdskostnader i år t , E_t er energiproduksjon i år t , r er diskonteringsrente og n er prosjektets levetid i år.

Investeringskostnader (CAPEX) for flytende havvind innbefatter generelt turbin, substruktur, fortøyning, forankring, internkabler, eksportsystem, prosjektutvikling (DEVEX), forsikring samt havneutgifter. I ETO modellen er investeringskostnadene aggregert til tre CAPEX elementer: 'Turbin', 'Nett' og 'Andre investeringskostnader'

Drifts- og vedlikeholdskostnader (OPEX) for flytende havvind inkluderer planlagt og uplanlagt vedlikehold av turbin, substruktur, fortøyning og kabler, samt forsikringskostnader. I ETO modellen er OPEX aggregert til ét element.

Energiproduksjon: For å anslå energiproduksjon i ETO er det antatt en kapasitetsfaktor per region som øker med et par prosent mot 2060. For Norge ligger antatt kapasitetsfaktor for flytende havvind på 48-50%.

Levetid: DNV har antatt en levetid for flytende vind på 25 år i dag, som gradvis øker opp til 35 år i 2040 i vår ETO modell. En økt levetid for en vindpark vil bidra til redusert LCOE.

Læringsrater

DNV modellerer nåværende og fremtidige kostnader ved å benytte læringsrater, som fanger effekten av skalering, teknologimodning og utvikling av leverandørkjeder. Læringsratene uttrykker *antatt kostnadsreduksjon per dobling av installert kapasitet* og antar inkrementelle forbedringer av allerede kjent teknologi, ikke disruptive teknologier.

Det antas at læringseffekter knyttet til flytende vindspesifikke teknologier får effekt fra og med 2028, når om lag 2 GW flytende vind forventes å være installert globalt (DNV ETO 2025).

ETO modellen opererer med tre læringsrater for flytende vind CAPEX:

- 'Turbin': Investeringskostnaden for turbiner til flytende vind antas å lære med totalt installert volum av vindturbiner til havs og på land
- 'Andre investeringskostnader': Dette er kostnader knyttet til teknologier som er spesifikke for flytende vind (f.eks. substruktur, fortøyning, forankring, marine operasjoner etc.) og antas å lære med installert kapasitet spesifikt for flytende havvind
- 'Nett': Nettutvikling er ikke isolert til vind, så her antas en sammensatt lærings- og kostnadseffekt: Generell nettutvikling samt avstand til land (for flytende vind) og bruk av AC vs DC teknologi (for flytende vind)

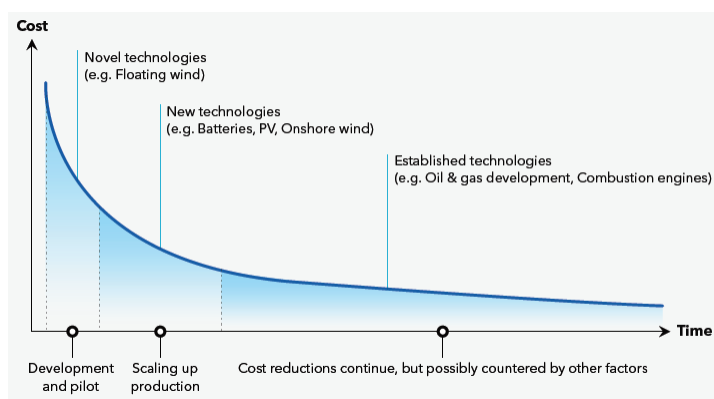
Det benyttes én læringsrate for flytende vind OPEX. Denne er antatt relatert til totalt installert kapasitet av havvind (bunnfast + flytende)

Tabell 3-1 gir en oversikt over basis for de ulike læringsratene som er benyttet.

Tabell 3-1 Basis for læringsrater for flytende havvind

Basis for læringsrate	
Turbinkostnad	Antatt å lære med utbygging av både landvind og havvind
Andre investeringskostnader (inkludert prosjektutvikling, substruktur, forstøying, forankring, kabler, marine operasjoner)	Antatt spesifikt for flytende havvind
Nett	Sammensatt lærings- og kostnadseffekt: Generell nettutvikling, avstand til land (for flytende vind) og bruk av AC vs DC teknologi (for flytende vind)
OPEX	Antatt å lære med total installert kapasitet for havvind (bunnfast og flytende)

Figur 3-6 illustrerer hvordan kostnadene reduseres fra tidlig fase til moden teknologi på grunn av læringseffekter.



Figur 3-6 Illustrasjon av kostnadsreduksjon som følge av læring (Kilde: DNV Technology Progress Report 2021, /3/)

Kapitalkostnader

Flytende vind er som sektor og teknologi i en tidlig fase og assosiert med risiko og usikkerhet. Dette reflekteres i en relativt sett høyere diskonteringsrente enn for eksempel bunnfast havvind. Effekten av høyere kapitalkostnad forsterkes av de høye investeringskostnadene for flytende vind og gir et betydelig utslag på LCOE. Tilsvarende vil en lavere kapitalkostnad bidra betydelig til en reduksjon av LCOE.

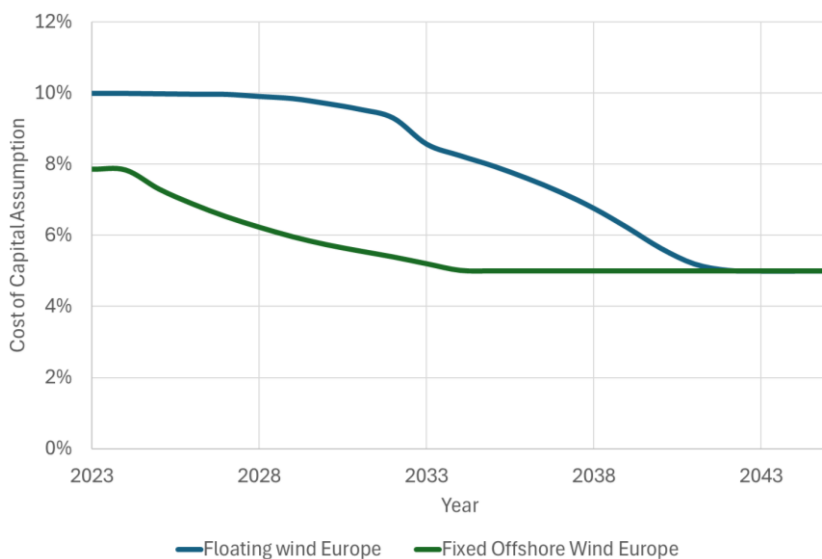


Figure 1 DNV's antakelser for kapitalkostnader i Europe for flytende- og bunnfast havvind (DNV ETO 2025)

3.4.1 Kostnadsdrivere for flytende havvind

Med kostnadsdrivere menes faktorer som har stor påvirkning på kostnadsnivået for en teknologi. Generelt er teknologimodning og skalering eksempler på viktige kostnadsdrivere som bidrar til å redusere kostnader.

For vindkraft (landvind og havvind) har man sett kostnadsreduksjoner som følge av utvikling i turbinteknologi, økt operasjonell effektivitet, større volum og økt grad av standardisering samt lavere kostnader for materialer og arbeidskraft.

For bunnfast havvind så man store kostnadsreduksjoner mellom 2010 og 2020. Denne kostnadsreduksjonen skyldes i hovedsak skalering av turbin. Havvind vil fremdeles se kostnadsreduksjoner fra større turbiner, men DNV vurderer at effekten vil være mindre enn den som bunnfast havvind erfarte mellom 2010 og 2020.

For flytende havvind peker DNV på økt volum og erfaringsbasert læring som viktige faktorer for kostnadsreduksjoner fremover. Med skalering av både turbinstørrelse og vindparkstørrelse vil det komme mer investeringer i utvikling av forbedrede løsninger og metoder for produksjon, installasjon, monitorering, inspeksjoner og utskiftning av hovedkomponenter .

I tillegg er fortsatt teknologiutvikling og standardisering viktige kostnadsdriver som følge av kompleksiteten i systemet (substruktur, fortøyning og internkabler) i forhold til bunnfast vind. DNV forventer betydelig teknologiutvikling, både når det gjelder forbedring av allerede eksisterende teknologi og gjennom nye konsepter, materialer og metoder. Det er mange substruktur-konsepter under utvikling, og mange har allerede nått et relativt høyt modenhetsnivå med demonstratorer og piloter, men det store mangfoldet av konsepter fører også til problemer med å effektivisere fabrikasjon og optimalisere turbinen for et standard konsept. Standardisering blir derfor ansett som en viktig faktor for kostnadsreduksjon.

Videre vil vedvarende støtte fra myndighetene bidra til å realisere prosjekter og drive frem kostnadsreduksjoner gjennom læring og økt volum, og det er antatt som et premiss i ETO Norge at flytende havvind vil fortsette å motta støtte i årene som kommer.

4 KOSTNADSREDUKSJONER FOR FLYTENDE HAVVIND

DNV har gjennomført en forstudie for å avdekke viktige potensielle kostnadsreduksjoner for flytende vind, og disse har blitt gjennomgått med Arbeidsgruppen i en workshop. I prosessen har også noen nye kostnadsreduksjoner kommet frem, og disse er inkludert.

I dette kapitlet presenteres først metodikk og avgrensninger for arbeidet. Mulige kostnadsreduksjoner for flytende havvind, og hvilken påvirkning disse antas å ha for et eller flere kostnadselementer² presenteres i kapittel 4.2 og 4.3. Deretter gjennomgås mulige tiltak for økt og mer forutsigbar energiproduksjon i kapittel 4.4. I kapittel 4.5 oppsummeres diskusjoner relatert til de forskjellige kostnadsreduksjonene. Til slutt, i kapittel 4.6, presenteres overordnede, kvantitative anslag for kostnadsreduksjon for investeringskostnader og drifts- og vedlikeholdskostnader, basert på DNV Energy Transition Outlook.

4.1 Metodikk og avgrensninger

I utarbeidelsen av kostnadsreduksjoner og potensiell påvirkning er 2040 brukt som referanseår, ettersom dette representerer et realistisk tidsperspektiv for teknologimodning, industrialisering og storskala utbygging av flytende havvind globalt. Innen 2040 er det forventet at 2 GW flytende havvind er bygget ut i Norge, og på verdensbasis er det estimert 42 GW i 2040.

Energikostnader angis ofte i LCOE (Levelized cost of Energy), der ulike faktorer inngår (se Kapittel 3.4). Denne studien er avgrenset til å se på tiltak for å redusere investeringskostnader ('CAPEX') og drifts- og vedlikeholdskostnader ('OPEX') samt å øke energiproduksjonen for fremtidige flytende havvindparker. Det er flere forhold som har betydelig påvirkning på LCOE og som er avgjørende for å etablere en bærekraftig flytende havvindindustri, inkludert kapitalkostnader og statlige støtteordninger. Disse adresseres i Kapittel 3, men har ikke vært fokus i denne studien.

Inndelingen av kostnadselementer er som presentert i Tabell 4-2, og kostnadsreduksjonene relateres til den nåværende kostnaden for hvert element. Noen kostnadsreduksjoner er i hovedsak knyttet til et enkelt kostnadselement, mens andre vil påvirke flere elementer.

For eksempel så antas kostnadsreduksjonen «Standardisert turbinstørrelse» å ha lav påvirkning på kostnaden for selve turbinen, mens den forventes å gi medium kostnadsreduksjon for turbininstallasjon, og den vil også ha påvirkning på andre kostnadselementer, f.eks substruktur.

Tabell 4-1 viser de forskjellige kategoriene av kostnadsreduksjoner som brukes.

Tabell 4-1 Kategorisering av kostnadsreduksjoner

Lav påvirkning	Medium påvirkning	Høy påvirkning
Mindre enn 10 % reduksjon i kostnader for kostnadselement	Mellom 10 og 20% reduksjon i kostnader for kostnadselement	Mer enn 20% reduksjon i kostnader for kostnadselement Mellom 10 og 20% reduksjon i kostnader for flere kostnadselementer

I arbeidet med å identifisere kostnadsreduksjoner har DNV sine eksperter innen flytende vind, drift og vedlikehold og marine operasjoner gjort kvalitative anslag på potensiell påvirkning (lav – medium – høy). Formålet har vært å sammenligne de ulike tiltakene og belyse de forskjellige faktorene som kan bidra til å redusere kostnader. Faktisk oppnådd kostnadsreduksjon vil være prosjektspesifikk og i stor grad påvirkes av systemeffekter. Rangeringen som gjøres her må derfor sees på som indikativ.

² Inndelingen i kostnadselementer følger mal fra Energidepartementet, /4/

DNV har presentert kostnadsreduksjonene og deres antatte påvirkning med Arbeidsgruppen og fått tilbakemeldinger og innspill på disse. Innspillene har blitt inkorporert i tabellene som presenteres i de videre avsnittene, og en oppsummering av noen av diskusjonene er også gitt i avsnitt 4.5.

4.1.1 Kostnadselementer for flytende havvind

Kostnadene for flytende havvind deles på et overordnet nivå ofte inn i investeringskostnader (CAPEX), drifts- og vedlikeholdskostnader (OPEX) og nedleggelseskostnader (DECEX). I Investeringskostnadene inngår også prosjektutvikling (DEVEX).

Tabell 4-2 viser en videre inndelingen for investeringskostnader og drifts- og vedlikeholdskostnader. Denne nedbrytningen bygger i grove trekk på Energidepartementet sin mal for kostnadsestimater for Utsira Nord fra 2025, /4/, men med noe mindre grad av detaljering. Nedbrytningen i Tabell 4-2 brukes videre i rapporten.

Tabell 4-2 Nedbrytning av kostnader for flytende havvind

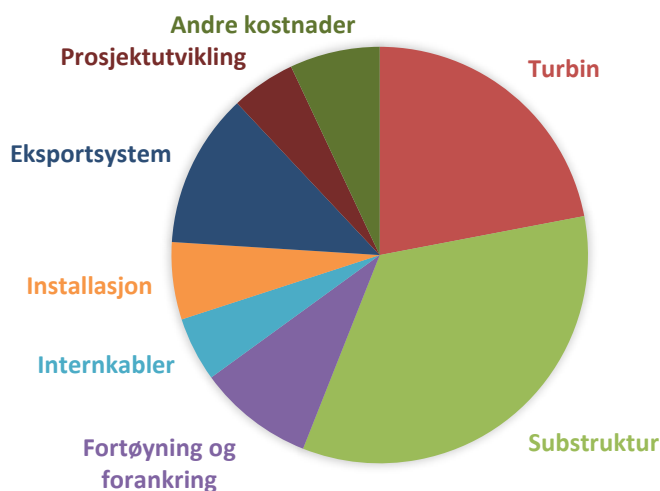
Investeringskostnader (CAPEX):	Drifts- og vedlikeholdskostnader (OPEX) og Nedleggelseskostnader
<ul style="list-style-type: none"> • Turbin og turbininstallasjon: • Substruktur, uttauing og oppkobling • Fortøyning, ankere og installasjon av forankring • Internkabler og installasjon av kabler • Havn • Prosjektutvikling • Forsikring byggefase • Eksportsystem 	<p>Drifts- og vedlikeholdskostnader</p> <ul style="list-style-type: none"> • Planlagt vedlikehold (planlagt vedlikehold av turbin, balance of plant, driftskostnader, havn) • Uplanlagt vedlikehold (større reparasjoner) • Forsikring driftsfase <p>Nedleggelseskostnad</p>

Kostnadselementene Prosjektutvikling, Forsikring byggefase, Forsikring driftsfase og Nedleggelseskostnad er ikke inkludert i tabellene i avsnitt 4.2 og 4.3, men betraktninger rundt disse er inkludert i avsnitt 4.5.

Figur 4-1 og Figur 4-2 viser DNV sin anslagsvise fordeling av kostnader for et hypotetisk flytende havvind prosjekt i Europa.

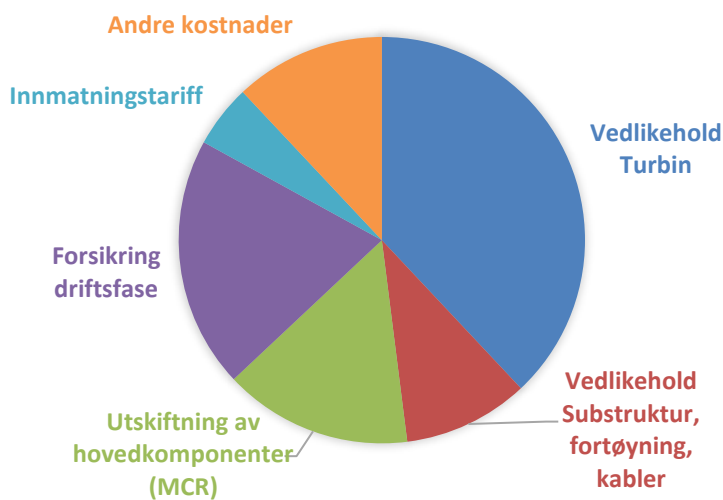
For investeringskostnadene (Figur 4-1) er det turbin og substruktur som utgjør mer enn halvparten av kostnadene, mens fortøyning og forankring, internkabler og eksportsystem også utgjør en betydelig andel. For driftskostnader (Figur 4-2) er vedlikehold av turbin, substruktur og fortøyning signifikante kostnadselementer, men man ser også at både utskifting av hovedkomponenter og forsikring utgjør en betydelig del av kostnadene.

INVESTERINGSKOSTNADER FOR FLYTENDE HAVVIND



Figur 4-1 Indikativ fordeling av investeringskostnader³ (CAPEX) for flytende havvind.

DRIFTSKOSTNADER FOR FLYTENDE HAVVIND



Figur 4-2 Indikativ fordeling av driftskostnader (OPEX) for flytende havvind

I de påfølgende avsnittene presenteres mulige kostnadsreduksjoner innen investeringskostnader og drifts-og vedlikeholdskostnader.

4.2 Investeringskostnader (CAPEX)

Investeringskostnadene for flytende havvind deles inn i 1) Turbin og turbin-installasjon, 2) Substruktur, uttauing og oppkobling, 3) Fortøyning og forankring, 4) Internkabler, 5) Eksportsystem og 6) Havn.

³ Merk at 'Andre kostnader' i ETO-modellen referer til alle investeringskostnader utenom turbin og nett-tilknytning, mens her refererer 'Andre kostnader' til forsikring og prosjektledelse i byggefasen, samt risikopåslag.

De fleste av de identifiserte kostnadsreduksjonene ligger innen teknologiutvikling og innovasjon, men det er også en stor andel knyttet til industrialisering og skalering. For turbin og substruktur er standardisering viktige elementer.

4.2.1 Turbin og turbin-installasjon

Følgende faktorer kan muliggjøre kostnadsreduksjoner for turbin og turbin-installasjon;

- Turbinleverandører (nye leverandører og økt konkurranse)
- Større turbiner
- Standardisert turbin-størrelse
- Nye installasjonsmetoder

Større turbiner og standardisert turbinstørrelse vurderes som kostnadsreduksjonene med størst antatt potensial for turbin og turbininstallasjon. Disse vil også ha en stor påvirkning på andre kostnadselementer, gjennom å redusere antall enheter i vindparken og/eller å muliggjøre mer optimalisering av substruktur-design og installasjon for en standard turbin.

Tabell 4-3 Kostnadsreduksjoner for turbin og turbin-installasjon

Mulighet for kostnadsreduksjon	Beskrivelse	Påvirkning på kostnader
Større turbiner	Turbinleverandører lanserer stadig nyheter om turbiner med større rotorer og effekt. Dette kan gi en lavere kostnad for turbinen isolert, men også kostnadsreduksjoner på hele prosjektet (færre enheter gir store kostnadsbesparelser på fundament, kabler og forankring)	Medium Påvirker flere kostnadselementer (fundament, kabler, forankring)
Standardisert turbin-størrelse	Standardisert turbinstørrelse vil gi leverandører og markedet muligheten til å fokusere på forbedringer i fabrikasjon og leveranse, noe som gir kostnadsreduksjoner per MW. Denne standardiseringen forventes også å innvirke på kosten til andre kostnadselementer, fordi turbinstørrelse påvirker hele verdikjeden. Standardisering av turbinstørrelse forventes videre å bidra til økt effektivitet i turbininstallasjonen, da læring fra tidligere prosjektet i større grad kan brukes til neste prosjekt, noe som vil medføre kostnadsbesparelser.	Lav påvirkning på turbinkostnad Høy påvirkning på turbininstallasjon Påvirker flere kostnadselementer
Turbinleverandører (nye leverandører)	Turbinmarkedet er i den vestlige verden begrenset til et lite antall leverandører. DNV forventer mer konkurranse på turbinfronten, inkludert nye leverandører eller/og ikke-vestlige leverandører.	Medium påvirkning på turbinkostnad
Nye installasjonsmetoder	Utvikling av innovative installasjonsmetoder kan forenkle integrasjonsprosessen. For flytende vind foregår installasjon av turbiner i, eller i nærheten av, havneområder. Integrasjonen mellom turbin og flyter stiller store krav til både havnearealer og tilgjengelig krankapasitet. Etter hvert som turbinene blir større, øker også behovet for areal og løftekapasitet, noe som gjør installasjonen mer utfordrende og kostnadskrevene. Nye installasjonsmetoder kan redusere tidsbruk, fartøybehov og væravhengighet.	Lav påvirkning på turbininstallasjon

4.2.2 Substruktur, uttauing og oppkobling

Følgende anses som mulige kostnadsreduksjoner for substruktur, uttauing og oppkobling;

- Innovative fabrikkingsmetoder for substruktur
- Disruptive/innovative design
- Serieproduksjon
- Standardisering av design
- Forbedring i værvinde

Serieproduksjon og standardisering av design vurderes som de viktigste kostnadsreduksjonene for substrukturen. Mens serieproduksjon legger til rette for kostnadsreduksjoner i fabrikkasjon og sammenstilling, kan standardisering av design optimalisere serieproduksjon, og dermed redusere kostnadene ytterligere.

Tabell 4-4 Muligheter for kostnadsreduksjoner for substruktur, uttauing og oppkobling

Mulighet for kostnadsreduksjon	Beskrivelse	Påvirkning på kostnader
Serieproduksjon	<p>Per i dag benyttes i stor grad prosjektspesifikke fabrikkasjons- og monteringsmetoder hentet fra olje- og gass-industrien eller skipsbygging. Etter hvert som volumene av fundamenter øker, kan økte investeringer i fabrikkasjonsanlegg tilrettelagt for serieproduksjon bidra til mer effektive byggemetoder og lavere kostnader for fundamentproduksjon og sammenstilling.</p> <p>De marine operasjonene knyttet til uttransport og tilkobling er også i stor grad basert på arbeidsmetoder fra offshore olje- og gass, hvor installasjon av enkeltstående enheter er normen. For flytende havvind forventes større volum og høy grad av repetisjon å muliggjøre kostnadsreduksjoner etter hvert som teknologier og arbeidsmetoder modnes og stabiliseres.</p>	<p>Høy påvirkning på substruktur</p> <p>Medium påvirkning på uttauing</p>
Standardisering av design	Standardisering av fundamentdesign legger til rette for kostnadsreduksjoner gjennom ytterligere optimalisering av serieproduksjon, økt investeringsvilje i spesialiserte verft og utvikling av et mer modent underleverandørmarked. Det forventes at disse kostnadsreduksjonene vil gi effekt både innen fabrikkasjon og sammenstilling, samt i løsninger og kapasitet for sjøsetting av fundamenter.	Medium påvirkning på substruktur
Disruptive/innovative design	Innen flytende havvind har det historisk blitt utviklet mange konseptuelle design, mens kun et fåtall har blitt modnet til demonstrasjons- eller før-kommersiell skala. Innovative og mer disruptive design kan redusere materialbruk og/eller muliggjøre nye fabrikkasjonsmetoder eller mer effektiv serieproduksjon, og dermed bidra til lavere kostnader for fundamenter.	Medium påvirkning på substruktur
Forbedring i værprognoser og håndtering av værvinde	Økt forståelse av varighet for installasjonsaktiviteter, kombinert med bruk av maskinlæring- og AI-baserte værprognoser og bedre håndtering av værvinde, forventes å gi mer effektive marine operasjoner. Dette kan bidra til redusert ventetid, bedre utnyttelse av fartøy og samlet kostnadsreduksjon.	Lav påvirkning på uttauing
Innovative fabrikkasjonsmetoder for substruktur	Kostnaden for flytende fundamenter utgjør en betydelig andel av total CAPEX i flytende havvindprosjekter, og drives i stor grad av material- og fabrikkasjonskostnader. Utvikling av innovative fabrikkasjonsmetoder forventes å redusere kompleksitet og kostnader i fabrikkasjonen, og dermed bidra til lavere totale fundamentkostnader.	Lav påvirkning på substruktur

4.2.3 Fortøyning og forankring

Følgende anses som mulige kostnadsreduksjoner for forankringslinjer, ankere og installasjon av forankring:

- Bruk av syntetiske (nylonbaserte) forankringslinjer og nye forankringskonfigurasjoner
- Utvikling av leverandørkjeden
- Delt fortøyning og delte ankere
- Innovative systemelementer

- Optimaliserte sikkerhetsfaktorer
- Optimalisering av ankere og nye design
- Automatisering og bruk av robotikk i installasjon
- Forenkling i flyter-tilkobling
- Forbedring i installasjon av fluke-ankere
- Optimaliserte installasjonsfartøy
- Optimalisering i marine operasjoner og logistikk

Innenfor fortøyning og forankring er det stort potensiale for teknologiutvikling. Syntetiske forankringslinjer, nye systemelementer, delt fortøyning/forankring og optimalisering av ankerdesign er alle vurdert til å ha en viktig påvirkning. Det er imidlertid optimalisering av marine operasjoner og installasjonsfartøy som har blitt vurdert til å ha høyest potensial. Gjennom å designe systemer med tanke på marine operasjoner, og planlegge marine operasjoner tidlig i prosjektet kan disse operasjonene minimeres og optimaliseres.

Tabell 4-5 Kostnadsreduksjoner for fortøyning og forankring

Mulighet for kostnadsreduksjon	Beskrivelse	Påvirkning på kostnader
Optimaliserte installasjonsfartøy og langsiktige kontrakter	Mer effektive installasjonsfartøy med større kapasitet og utvidede operasjonelle grenser kan muliggjøre kostnadsreduksjoner. Samtidig kan langsiktige og fleksible kontrakter bidra til å sikre fartøystilgang og redusere prisvolatilitet.	Høy påvirkning på installasjon
Optimalisering i marine operasjoner og logistikk	Initielt systemdesign som muliggjør robuste og effektive marine operasjoner kan redusere behovet for vær-sensitive offshore operasjoner og bidra til lavere installasjonskostnader og redusert prosjektrisiko. Dette kan ytterligere forsterkes gjennom bedre planlegging, optimalisering av tidsbruk og arbeidsfordeling i marine operasjoner, samt tidlig involvering av leverandører.	Høy påvirkning på installasjon
Utvikling av leverandørkjeden	Leverandørkjeden for forankringssystemer til flytende havvind er i dag lite moden sammenlignet med det forventede utbyggingsvolumet. Utvikling og modning av denne verdikjeden er i seg selv et viktig kostnadsreducerende tiltak, både gjennom økt konkurranse og gjennom forbedringer i produksjon, logistikk og leveranseeffektivitet.	Medium påvirkning på fortøyning og forankring
Bruk av syntetiske forankringslinjer og nye forankringskonfigurasjoner	Bruk av syntetiske (nylonbaserte) forankringslinjer kan gi lavere kostnader gjennom flere mekanismer: lavere toppbelastninger muliggjør mindre og lettere ankere, redusert utmattingslast gir lavere komponentkostnader, og lettere håndtering gir enklere og potensielt rimeligere installasjon. I tillegg muliggjør slike linjer stramme og semi-stramme forankringskonfigurasjoner, som reduserer bunnareal, linerlengder og ankerstørrelse, og dermed gir ytterligere reduksjoner i både material- og installasjonskostnader sammenlignet med konvensjonelle kjettingbaserte systemer.	Medium påvirkning på fortøyning og installasjon
Innovative systemelementer	Innovative forankringsløsninger kan redusere toppbelastninger i forankringssystemet og tilhørende delsystemer. Lavere dimensjonerende laster muliggjør nedskalering av liner, ankere og strukturelle komponenter, og gir dermed reduserte material- og installasjonskostnader. I tillegg kan bruk av digitale tvillinger redusere konservatisme i design og muliggjøre tilstandsbasert vedlikehold, noe som gir kostnadsreduksjoner i både CAPEX og OPEX.	Medium påvirkning på forankring og installasjon
Optimaliserte sikkerhetsfaktorer	Dagens forankringsdesign er i stor grad styrt av sikkerhetsfaktorer arvet fra olje- og gass-standarder, som ikke er tilpasset det lavere konsekvensnivået i flytende havvind. En reduksjon i konservatisme – der dette er teknisk forsvarlig – kan muliggjøre dimensjonsreduksjon av forankringslinjer og ankere, og dermed gi direkte reduksjoner i både material- og installasjonskostnader.	Medium påvirkning på forankring og installasjon

Mulighet for kostnadsreduksjon	Beskrivelse	Påvirkning på kostnader
Delte ankere	Ved å dele ankere mellom turbiner kan antallet ankere reduseres betydelig. Dette gir direkte kostnadsreduksjoner innen fabrikkasjon, anskaffelse og installasjon, samtidig som både havbunnsnivåpåvirkning og kostnader knyttet til avvikling kan reduseres.	Medium påvirkning på forankring og installasjon
Optimalisering av ankerdesign og nye design	Flere nye ankertyper er under utvikling for å tette gapet mellom kostnad og ytelse (for eksempel mellom dragforankrede ankere og sugeanker). De bruker mindre materiale, er bedre tilpasset serieproduksjon og gjør installasjonen både raskere og enklere.	Medium påvirkning på forankring og installasjon
Automatisering og bruk av robotikk	Automatisering og bruk av robotikk kan redusere installasjonskostnader ved å automatisere undervannsoperasjoner som tilkobling, tensioning og kabelinnføring. Dette reduserer tiden hver turbin krever bruk av kostbare offshorefartøy, og gir dermed lavere installasjonskostnader per enhet.	Lav påvirkning på installasjon
Forenkling i flyter-tilkobling	Forankringslinjer kan installeres sikkert innenfor et utvidet værvindu ved bruk av tensioning og tilkoblingsløsninger om bord på fartøy. Dette forenkler installasjonen, eliminerer behovet for øvre kjettingsegmenter og muliggjør mer effektiv til- og frakobling. Resultatet er kortere installasjonstid, redusert behov for fartøy og dermed lavere prosjektkostnader og gjennomføringsrisiko.	Lav påvirkning på installasjon
Forbedring i installasjon av fluke-ankere	Fluke-ankre er en kostnadseffektiv og utprøvd forankringsløsning for flytende havvind, men kommersialisering begrenses i dag av høye installasjonslaster som overstiger kapasiteten til tilgjengelige ankerhåndteringsfartøy. Pågående arbeid med ytelsesbaserte installasjonskriterier og utnyttelse av etterinstallert holdekraft kan gjøre det mulig å bruke eksisterende fartøy og leverandørkapasitet. Dette bidrar til å opprettholde fluke-ankre som et kommersielt alternativ, og reduserer både anskaffelses- og installasjonskostnader sammenlignet med mer tunge ankertyper.	Lav påvirkning på forankring og installasjon
Delt fortøyning	Delte forankringssystemer kan gi kostnadsreduksjoner gjennom behov for færre ankere (som er blant de største kostnadsdriverne), kortere forankringslinjer per turbin og dermed per MW, samt redusert påvirkning av havbunnen og enklere konsesjonsprosesser. Når teknologien er tilstrekkelig moden, forventes også installasjonstiden å bli kortere sammenlignet med ikke-delte forankringssystemer.	Lav påvirkning på forankring og installasjon (mer relevant for dypt vann)

4.2.4 Internkabler

Følgende anses som mulige kostnadsreduksjoner for internkabler og installasjon;

- 132 kV internkabler
- Undervannskoblinger
- Standardisering i design

Undervannskoblinger som reduserer behovet for dynamisk kabellengde, og gjør det mulig å koble fra en turbin uten å påvirke produksjonen fra øvrige turbiner, er vurdert til å ha en lav påvirkning på selve internkabel-elementet, men en høy påvirkning på vindparkens tilgjengelighet, og er derfor rangert med høy påvirkning selvom denne påvirkningen i hovedsak ligger innen økt produksjon og ikke kostnadsbesparelser i internkabler. Høyere spenning på internkablene (132 kV) er derimot vurdert til å ha en betydelig påvirkning på kostnadene.

Tabell 4-6 Muligheter for kostnadsreduksjoner for internkabler og installasjon

Mulighet for kostnadsreduksjon	Beskrivelse	Påvirkning på kostnader
Undervannskoblinger	Undervannskoblinger gjør det mulig å koble turbiner i en stjernekonfigurasjon i stedet for en seriekoblet løsning. Dette reduserer behovet for dynamisk kabellengde per MW, som er en betydelig kostnadsdriver i flytende havvind. Det gjør det også mulig å koble ut en turbin uten å påvirke de andre turbinene, noe som har en positiv effekt på vindparkens tilgjengelighet. Teknologien er under kvalifisering, med planlagte pilotprosjekter rundt 2027.	Lav påvirkning på internkabler og installasjon Høy påvirkning på tilgjengelighet
132 kV internkabler	Det forventes at 132 kV array-kabelteknologi blir standard for neste generasjon turbiner rundt 2030. Høyere spenningsnivå reduserer behovet for antall kabler og kabeltermineringer, noe som gir lavere kostnader for både kabelløpere og installasjon. Dette bidrar til reduserte CAPEX-kostnader.	Medium påvirkning på internkabler og installasjon
Standardisering i design	Standardiserte løsninger for dynamiske inter-array-kabler gir bedre planlegging av installasjonen og sikrer at tekniske krav oppfylles. Dette muliggjør repeterbare installasjonsprosedyrer og mer effektiv bruk av fartøy og utstyr. Samlet reduserer dette kompleksitet, installasjonstid og kostnader knyttet til kabelinstallasjon.	Lav påvirkning på internkabler og installasjon

4.2.5 Eksportsystem

Følgende anses som mulige kostnadsreduksjoner for eksportsystemet;

- Subsea transformatorstasjon
- Flytende HVDC transformatorstasjon
- Energi-øyer og samlokalisering
- Samordnet løsning for nett til havs

For eksportsystemet er både subsea transformatorstasjon og flytende transformatorstasjoner teknologier under utvikling, og innen 2040 forventes begge disse teknologiene å være tilstrekkelig modne. Det er derimot en samordnet løsning for nett til havs som antas å ha størst potensial for kostnadsreduksjon, da dette vil redusere kostnader relatert til elektrisk infrastruktur betraktelig.

Tabell 4-7 Muligheter for kostnadsreduksjoner for eksportsystemet

Mulighet for kostnadsreduksjon	Beskrivelse	Påvirkning på kostnader
Samordnet løsning for nett til havs	I stedet for egen offshore-transformatorstasjon og eksportkabel for hver enkelt vindpark, kan havvindparker kobles til et integrert offshore overføringsnett, noe som reduserer duplisering av infrastruktur, samordner løsninger og dermed reduserer kostnader.	Høy påvirkning på eksportsystem
Flytende HVDC transformatorstasjon	For store flytende havvindparker der HVDC-eksport er nødvendig, kan en flytende HVDC-transformatorstasjon erstatte en bunnfast løsning og dermed unngå høye kostnader og installasjonskompleksitet i dypt vann. Dette gir lavere investeringskostnader og enklere gjennomføring sammenlignet med bunnfaste løsninger.	Medium påvirkning på eksportsystem
Energi-øyer og samlokalisering	Ved å samle nettilknytning, kraftomforming og eventuelt hydrogen- eller lagringsinfrastruktur i ett felles knutepunkt kan energioyer redusere antall eksportkabler og tilhørende offshoreinstallasjoner. Dette kan gi betydelige kostnadsreduksjoner per MW for nettilknytning, ved at flere omkringliggende vindparker deler samme infrastruktur Samlokalisering av havvindparker med annen offshore-infrastruktur kan redusere behovet for kabelkapasitet og overføringsavstander, forbedre systemets pålitelighet og redusere effekttap – noe som til slutt senker de totale kostnadene.	Medium påvirkning på eksportsystem
Subsea transformatorstasjon	Ved å plassere transformatorstasjon på havbunnen i stedet for på en plattform eliminerer subsea transformatorstasjoner behovet for kostbare topside-strukturer og tilhørende installasjon og vedlikehold. Dette reduserer antall overflateinstallasjoner i parken og kan samtidig korte ned interne kabellengder. Samlet gir dette potensial for lavere CAPEX og OPEX ved utbygging i større skala.	Medium påvirkning på eksportsystem

4.2.6 Havn

Følgende anses som mulige kostnadsreduksjoner for installasjons-havn:

- Samlokalisering av fabrikasjon og sammenstilling av substruktur og turbinintegrasjon
- Oppgradering av havner

Tabell 4-8 Kostnadsreduksjoner for havn

Mulighet for kostnadsreduksjon	Beskrivelse	Påvirkning på kostnader
Oppgradering av havner for serieproduksjon	Serieproduksjon av sammenstilling, turbinintegrasjon og utsleping fra havn legger til rette for mer effektiv lasting og installasjon. Dette krever store havnearealer, parallelle produksjonslinjer og økt krankapasitet. Slik industrialisering av utskipping og installasjon kan øke gjennomføringseffektiviteten betydelig og redusere samlede installasjonskostnader.	Medium påvirkning på sammenstilling og installasjon
Samlokalisering av fabrikasjon og sammenstilling av substruktur og turbinintegrasjon	Utvikling av industrielle knutepunkter som samler fabrikasjon, sammenstilling og turbinintegrasjon muliggjør mer effektive produksjons- og installasjonsprosesser, med redusert behov for mellomliggende transport. Dette gir bedre flyt i gjennomføringen og lavere installasjonskostnader.	Lav påvirkning på sammenstilling og installasjon (Avhenger av at det er liten variasjon i prosjektene)

4.3 Drifts- og vedlikeholdskostnader (OPEX)

Drifts- og vedlikeholdskostnader (OPEX) utgjør en vesentlig andel av de samlede livsløpskostnadene for flytende havvind, og påvirkes av både tekniske, regulatoriske og operasjonelle forhold.

4.3.1 Planlagt vedlikehold

Følgende anses som mulige kostnadsreduksjoner for planlagt vedlikehold:

- Spesialbygde SOV'er og bedre tilkomstmetoder
- Tilstandsbaserte overvåkningssystemer og digitale tvillinger
- Oppgradering av havn og infrastruktur
- Automatisering og bruk av robotikk

Bedre fartøy og tilkomstmetoder regnes som betydelige kostnadsreduksjoner for planlagt vedlikehold. Dagens fartøy og tilkomstmetoder er i hovedsak tilpasset flytende-bunnfast operasjoner, og ikke flytende-flytende operasjoner.

Spesialbygde SOV'er og brolandingssystemer som bedre hensyntar bevegelsene til flyteren er forventet å kunne effektivisere og optimalisere vedlikeholdsoperasjonene, og dermed redusere kostnadene. I tillegg er oppgradering av vedlikeholdsbaser antatt å kunne optimalisere logistikk, og dermed redusere kostnader, særlig hvis disse basene kan betjene flere vindparker.

Tabell 4-9 Muligheter for kostnadsreduksjon for planlagt vedlikehold

Mulighet for kostnadsreduksjon	Beskrivelse	Påvirkning på kostnader
Spesialbygde SOV'er og bedre tilkomstmetoder	Dagens SOV-er og gangbrossystemer er utviklet for operasjoner mellom flytende fartøy og faste installasjoner, og er derfor ikke tilpasset flytende-til-flytende overføringer. Flytende havvind krever løsninger som kan håndtere samtidige bevegelser i både fartøy og turbinplattform. Slike systemer vil gjøre sikre overføringer mulig i høyere sjøtilstander og dermed øke turbinens tilgjengelighet og effektiviteten i drift og vedlikehold. Krevende værforhold gjør vedlikeholdsaktiviteter vanskelige, særlig i vintermånedene, og tilgangsløsninger må vurderes nøye. Bedre og mer robuste tilgangsløsninger kan forbedre operabiliteten, maksimere utnyttelsen av personell og fartøy, og til slutt redusere kostnader ved å minimere værrelatert nedetid.	Medium påvirkning på planlagt vedlikehold
Oppgradering av havn og infrastruktur	Formålsbygde havner med tunge løftekraner, dypvannskai og dedikerte driftssentre forbedrer logistikk og effektivitet innen drift og vedlikehold. De er også viktige for slep-til-havn-strategier ved større komponentutskiftninger. Havner som betjener flere vindparker gir stordriftsfordeler, lavere kostnader og mer standardiserte arbeidsprosesser.	Medium påvirkning på planlagt vedlikehold
Tilstandsbaserte overvåkningssystemer og digitale tvillinger	Kostnadseffektive overvåkningsløsninger er avgjørende for å skalere flytende havvind. Digitale tvillinger for flytende vindturbiner er allerede testet, blant annet for å estimere utmattingslaster, og videre utvikling vil gjøre det mulig å bruke disse modellene til å støtte beslutninger innen drift og vedlikehold samt forutsi feil før de oppstår. Dette vil forbedre den samlede ytelsen og redusere nedetid.	Lav påvirkning på planlagt vedlikehold
Automatisering og bruk av robotikk	For subsea inspeksjoner og vedlikehold kan ubemannede undervannsfarkoster håndtere hyppige oppgaver knyttet til kontroll av forankringslinjer med minimal menneskelig involvering. Dette reduserer behovet for kostbare fartøymobiliseringer med mannskap. Kombinert med digitale tvillinger og strukturell tilstandsovervåking muliggjør dette tilstandsbasert vedlikehold fremfor faste intervaller, noe som reduserer unødvendige inngrep og fanger opp feil på et tidlig stadium.	Lav påvirkning på planlagt vedlikehold

4.3.2 Uplanlagt vedlikehold

Følgende anses som mulige kostnadsreduksjoner for uplanlagt vedlikehold:

- In-situ MCR
- Vedlikeholdsklustere

For uplanlagt vedlikehold er løsninger for store reparasjoner offshore en viktig kostnadsreduksjon, da det både er dyrt og tidkrevende å taue en enhet til land. I andre tilfeller kan derimot vedlikeholdsklustere bidra til reduserte kostnader ved å fordele investeringer i nødvendige havne-oppgraderinger og kostnader på flere operatører.

Tabell 4-10 Muligheter for kostnadsreduksjon for uplanlagt vedlikehold

Mulighet for kostnadsreduksjon	Beskrivelse	Påvirkning på kostnader
In-situ MCR	Sleping av større enheter til havn for større korrigerende vedlikehold (MCR) medfører høye kostnader og betydelig produksjonstap. Det utvikles derfor løsninger for MCR in-situ, basert på spesialkraner montert på flyteren eller i nacellen. Slike løsninger er under utvikling, og kan redusere både nedetid og kostnader knyttet til drift og vedlikehold.	Høy påvirkning på planlagt vedlikehold, men avhengig av et stort volum
Vedlikeholdsklustere	Dersom løsninger for utskifting av hovedkomponenter offshore (in situ MCR) ikke er fullt utviklet, eller kun er tilgjengelige for noen få hovedkomponenter, må turbinene slepes tilbake til havn. En slik slep-til-havn-strategi er imidlertid avhengig av tilgang på spesialiserte kraner, som i dag er begrenset og derfor forbundet med lange leveringstider og høye mobiliseringskostnader. Siden utskifting av større komponenter kan skje uforutsett og flere ganger i løpet av et år, bør alternative løsninger til ad hoc-innleie vurderes. I slike tilfeller kan samarbeid mellom nærliggende flytende havvindparker utforskes for å etablere rammeavtaler og fordele kostnader.	Medium påvirkning på planlagt vedlikehold

4.4 Energiproduksjon

Følgende anses som muligheter for økt energiproduksjon:

- Tilstandsovervåking og digitale tvillinger
- Robusthet i design (turbin, substruktur og kabel)
- Løsninger for sikkert tilkomst
- Reduserte usikkerheter i energiproduksjonsestimater

Tilstandsovervåking og bruk av digitale tvillinger forventes å ha en viktig påvirkning på energiproduksjon gjennom bedre planlegging av drift og vedlikehold og bedre innsikt i vindturbinens tilstand. Videre er forbedret design antatt å gi økt produksjon, ved å muliggjøre mer vedlikeholdsfrie systemer og/eller standardisering av substruktur-design som minimerer flyterbevegelser.

Tabell 4-11 Muligheter for økt energiproduksjon

Mulighet for økt energiproduksjon	Beskrivelse	Påvirkning på energiproduksjon
Tilstandsovervåkning og digitale tvillinger	Gjennom forbedret ytelse og funksjonalitet i tilstandsovervåkningssystemer (CMS) og digitale tvillinger, støttet av maskinlæring og AI, får driftsteamet bedre innsikt i vindparkens tilstand og ytelse. Økt digitalisering muliggjør mer presis planlegging av drift og vedlikehold, høyere tilgjengelighet og redusert behov for menneskelig inngripen ved uforutsette hendelser.	Medium
Robust design (turbin, substruktur og kabel)	Erfaring fra demonstrasjonsenheter i drift og pre-kommersielle vindparker gir viktig læring som kan omsettes i forbedret design av mer pålitelige og i større grad vedlikeholdsfrie delsystemer. For eksempel vil standardisering av substruktur-design som minimerer bevegelser kunne redusere tap i energiproduksjon. Slike forbedringer bidrar til økt systemtilgjengelighet og høyere energiproduksjon over levetiden.	Medium
Løsninger for sikker tilkomst	Når personell må utføre arbeid på substruktur eller turbin, kan tilgjengelige værvinduer for fartøy og mannskapsoverføring være en begrensende faktor. Innovasjon innen effektive og sikre løsninger for personelloverføring kan øke værgrensene, utvide værvinduene og dermed redusere nedetid og kostnader knyttet til drift og vedlikehold.	Lav
Reduserte usikkerheter i energiproduksjonsestimater	Erfaring fra operasjonelle demonstrasjonsenheter og pre-kommersielle vindparker gir grunnlag for mer presise beregninger av energiproduksjon før utbygging. Reduserte usikkerheter gir økt tillit til produksjonsestimatene og dermed bedre bankabilitet for fremtidige prosjekter.	Lav

4.5 Diskusjon av kostnadsreduksjoner

Dette avsnittet oppsummerer diskusjoner og kommentarer som har fremkommet i utarbeidelsen av kostnadsreduksjonene, og i workshopen med arbeidsgruppen for havvind. Et sentralt spørsmål har også vært hvordan norske aktører kan påvirke utviklingen, og dette er forsøkt svart ut på et overordnet nivå.

Prosjektutvikling

- Det er høye kostnader forbundet med undersøkelser og studier som må gjøres før investeringsbeslutning for et flytende prosjekt. Utvikling av bedre verktøy metoder for å gjøre f.eks havbunnsundersøkelser og innsamling av data kan redusere kost forbundet med fartøy og gjøre utviklingsfasen mer effektiv.
- Flytende vind er som sektor og teknologi i en tidlig fase og med relativt sett høyere diskonteringsrente enn for eksempel bunnfast havvind (avsnitt 3.4). Prosjektutviklingskostnader som kan reduseres og/eller utsettes vil dermed ha en forholdsmessig stor påvirkning på LCOE.

Turbin og turbin-installasjon

- Kostnadsbildet for et flytende havvindprosjekt er komplekst, og særlig turbinstørrelse vil påvirke flere elementer ulikt. For eksempel vil større turbiner kreve større fartøy, havner og kapasitet, mens antall enheter kan reduseres, noe som vil redusere de samlede kostnadene for substruktur, fortøyning og forankring og internkabler.
- Konkurransen fra nye turbinleverandører kan gi kostnadsreduksjoner, men krever felles retningslinjer for håndtering av ikke-vestlig innhold og tiltak for å styrke europeiske leverandørers konkurransevne.
- Standardisering av turbinstørrelse regnes som en betydelig kostnadsdriver, men det gjenstår fortsatt å se hvilken størrelse man vil lande på for flytende havvind.
- **Norske aktører kan bidra til teknologiutvikling innenfor installasjon, og Norge kan også påvirke valg og standardisering av turbin gjennom samarbeid på tvers av land og på EU-nivå, men dette krever et hjemmemarked.**

Substruktur:

- Industrialisering og serieproduksjon av substruktur gir mulighet for storskala kostnadsreduksjoner, men forutsetter at antallet design reduseres, og at det er en forutsigbar prosjektpipeline.
- **Norske aktører kan legge til rette for serieproduksjon, men dette krever store investeringer. Det er vanskelig å se for seg at den forutsette utbyggingen av flytende havvind (1 GW fra 2040 til 2060) vil gi store investeringer i oppgradering av anlegg og infrastruktur for serieproduksjon.**

Fortøyning, forankring, internkabler og eksportsystem

- Modne løsninger innen elektrisk infrastruktur, særlig relatert til spenningsnivå, kabelvalg og transformatorløsninger vurderes å ha stort potensial for kostnadsreduksjon.
- Optimalisering av marine operasjoner, inkludert installasjon, fartøybruk og utnyttelse av eksisterende flåte vurderes å ha stor påvirkning, både på kort og lengre sikt.
- **Norske aktører kan bidra med å utvikle fartøy og teknologi gjennom blant annet å investere i og utvikle test-sentere. Videre gir mindre prosjekter mulighet til å øve på marine operasjoner, og man bør legge til rette for samarbeid på tvers for å dele erfaringer og læringer fra prosjekter.**

Drift og vedlikehold:

- Harmonisering av regelverk kan bidra til lavere driftskostnader ved å redusere kompleksitet knyttet til sertifisering, inspeksjoner og HMS-krav. Et mer ensartet regelverk på tvers av markeder gjør det mulig å standardisere prosedyrer, fartøybruk og kompetansekrav, noe som gir mer effektiv drift og lavere kostnader.
- Et kritisk volum i vindparken er avgjørende for kostnadseffektiv drift. Større parker gir stordriftsfordeler gjennom bedre utnyttelse av mannskap, reservedeler og fartøy.
- Begrenset tilgang på servicefartøy og spesialiserte enheter kan gi høy leiekostnad og økt ventetid. Utvikling av dedikerte vedlikeholds-fartøy og bedre logistikkplanlegging er derfor viktige tiltak for kostnadsreduksjon.
- Erfaringsoverføring fra olje- og gassindustrien, spesielt innen prosjektgjennomføring, samarbeid, samt sikre operasjoner, anses som et viktig bidrag til kostnadsreduksjon.
- Det kan være forskjellige modeller for vedlikeholdsbaser og reparasjonsbaser, og samarbeid med andre næringer kan gi fordeler og besparelser, gjennom å utvikle f.eks flerbrukshavner med olje og gass.
- Deling av kunnskap og data, og innsikt i data fra turbinleverandører, regnes som viktige for å forbedre tilstandsbaserte overvåkningssystemer.
- Løsninger for å store reparasjoner offshore (in-situ MCR) kan redusere kostnader og øke oppetiden betraktelig. Samtidig er slike operasjoner komplekse, og videre utvikling av konsepter for in-situ MCR krever et visst volum av flytende vindparker.
- **Norske aktører kan, med sin erfaring fra maritim virksomhet og olje og gass, ha stor påvirkning på utviklingen innen drift og vedlikehold, gjennom blant annet utvikling av verktøy og metoder og dedikerte servicefartøy. Det vil være viktig å styrke lokal kompetanse, samarbeide på tvers av næringer og dele erfaringer fra operasjon.**

Forsikring i driftsfasen

- Forsikringskostnader påvirkes sterkt av opplevd risiko, teknologisk modenhet og historikk for feil og skader. Dette gjelder forsikring i både konstruksjon og drift. Som det fremgår av Figur 4-2 er forsikring et stort kostnadselement i driftsfasen. For konstruksjonsfasen er forsikring også en betydelig utgift, men forholdsmessig mindre (forsikring i konstruksjonsfasen inngår i 'Andre kostnader' i Figur 4-1). For driftsfasen

forventes lavere forsikringspremier etterhvert som flytende havvind opparbeider driftserfaring og økt kunnskap om feilrater, sannsynligheter for følge-feil og tap av energiproduksjon.

Økt levetid

- For fremtidige prosjekter kan økt levetid gi redusert LCOE gjennom flere driftsår og derav økte inntekter. Økt levetid må ses opp imot potensielt økte utgifter til årlig vedlikehold i siste del av levetiden og eventuelle ny-investeringer som må gjøres for å øke levetiden. DNV forventer at levetid for flytende vind kan øke fra 25 år i dag, opp til 35 år i 2040.

Nedleggelse

- For nedleggelse av anlegget er fartøyskostnad antatt å være den største driveren, og det er forventet at enhetene kommer til å bli tauet til havn for videre demontering. Kabel- og fortøyningsystemer som tillater raskere frakobling kan effektivisere operasjonene og redusere fartøystid.
- Det er per dagens regelverk og standarder påkrevet at hele anlegget fjernes etter endt levetid. En delvis fjerning av anlegget, hvor deler av infrastrukturen kan bli liggende igjen, kan, itillegg til å være mer skånsomt for økosystemet i noen tilfeller, også gi kostnadsreduksjoner gjennom redusert behov for spesialiserte fartøy for fjerning av ankere og kabler. Dette krever imidlertid en gjennomgang av nåværende regelverk, og at det foretas undersøkelser og utredninger for delvis fjerning av havvindanlegg.

4.6 Forventet reduksjon av kostnader innen 2040

I de foregående avsnittene har mulige tiltak for kostnadsreduksjoner for flytende havvind, som ble foreslått av DNV og gjennomgått med Arbeidsgruppen, blitt presentert og rangert utifra potensiell påvirkning på kost for det relevante kostnadselementet.

DNV vurderer det lite sannsynlig at et enkelt fremtidig prosjekt vil implementere alle de indentifiserte kostnadstiltakene, og antar at prosjekter vil basere seg på et utvalg av tiltak basert på prosjektets lokale forhold og utviklingsstrategi.

En faktisk beregning av oppnådde kostnadsreduksjoner kan best gjøres ved å modellere kostnadene til et fremtidig tenkt prosjekt, eventuelt ved å sammenligne ulike caser. Dette skyldes at kostnadsreduksjonene får systemeffekter, slik at a) mange av dem påvirker flere elementer, b) det ikke er åpenlyst hvordan flere kostnadsreduksjoner vil virke samtidig og c) prosjektspesifikke parametere vil være avgjørende for oppnådd kostnadsreduksjon.

I dette avsnittet vil vi presentere DNV sine estimerte reduksjoner innenfor CAPEX og OPEX for Europa innen 2040, basert på DNV's ETO modeller.

Som beskrevet i avsnitt 3.4 modellerer DNV nåværende og fremtidige kostnader ved å benytte læringsrater, som fanger effekten av skalering, teknologimodning og utvikling av leverandørkjeder. Læringsratene uttrykker *antatt kostnadsreduksjon per dobling av installert kapasitet*.

De foregående faktorene/tiltakene som har blitt presentert i Kapittel 4.2 og 4.3 er eksempler på utvikling som vil medføre kostnadsreduksjoner.

Investeringskostnader

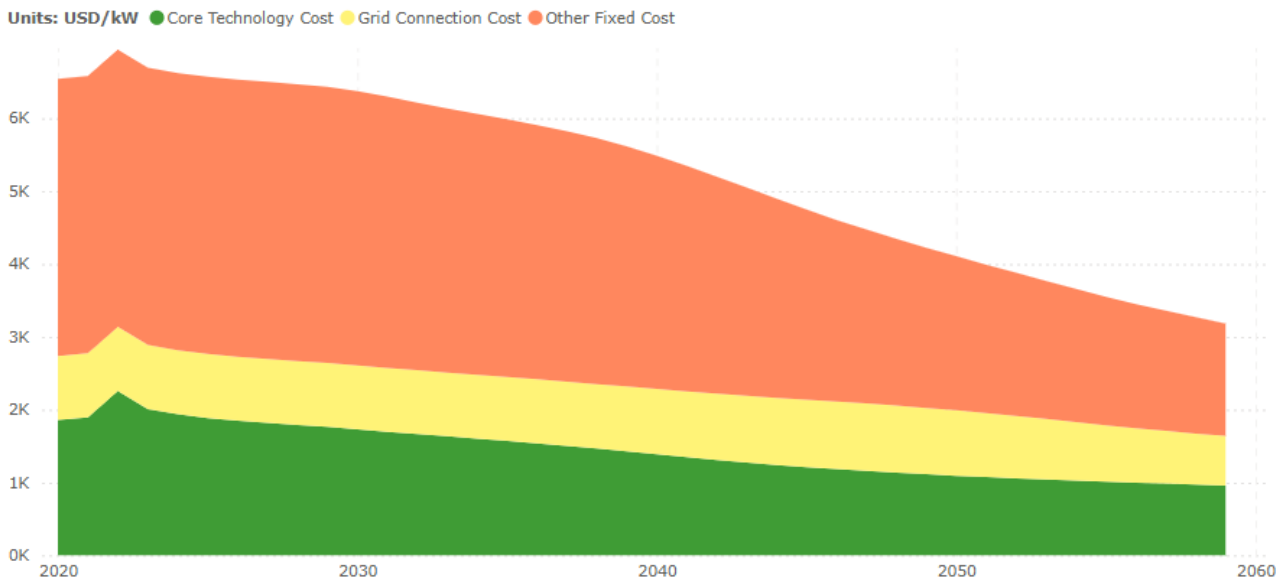
Figur 4-3 viser DNV sin forventede utvikling av investeringskostnader for flytende havvind i Europa frem mot 2060. Grafen skiller mellom 'Core Technology', dvs. turbin (grønn), nettutvikling (gul) og 'andre investeringskostnader' (oransje).

I 2040 er det forventet at total CAPEX har blitt redusert med omlag 17%, fra 6.5 millioner USD/MW i 2026 til 5.4 millioner USD/MW i 2040, drevet av redusert kost for turbin og 'andre investeringskostnader' (dvs. alt annet enn turbin og nettutvikling, inkludert substruktur, installasjon, fortøyning og forankring, internkabler, havn og prosjektutviklingskostnader). Dette er en indikativ investeringskostnad per MW for en hypotetisk flytende vindpark i Europa, og det vil være en del usikkerheter i anslagene.

For turbin er det forventet en 25% reduksjon i kostnader fra 2026 til 2040. Større og standardiserte turbiner vil medføre store kostnadsreduksjoner, og her drar flytende vind nytte av læringer fra både landvind og bunnfast havvind-utbygging.

'Andre investeringskostnader' forventes å se en samlet reduksjon på 15% fra 2026 til 2040. En stor andel av denne reduksjonen er forventet å komme fra redusert kostnad for substruktur, som følge av teknologimodning, standardisering og mer effektiv produksjon.

For nettrelaterte kostnader, levering og installasjon av eksportkabler samt transformatorstasjoner, forventes kun små kostnadsreduksjoner fremover. En av grunnene til dette er at det antas at avstandene fra land til vindparkene øker med tiden, og dermed kan kabelrelaterte kostnader øke.



Figur 4-3 Utvikling av investeringskostnader for flytende havvind for Europa, fra DNV ETO 2025, /1/. Grønn del ('Core Technology') representerer turbin-kost, gul del representerer nettrelaterte kostnader (eksportsystem), og oransje del representerer andre investeringskostnader (inkludert substruktur, installasjon, fortøyning og forankring, internkabler, havn og prosjektutviklingskostnader)

Drifts-og vedlikeholdskostnader

Fra 2026 til 2040 antas drifts- og vedlikeholdskostnader å reduseres med omlag 16%, fra 155 000 USD/MW/år til 130 000 USD/MW/år i 2040. Dette er en indikativ drifts-og vedlikeholdskostnad per MW per år for en hypotetisk flytende vindpark i Europa, og det vil være en del usikkerheter i estimatene.

Utviklingen er i hovedsak forventet å bli drevet av følgende:

- Større og derfor færre turbiner som må vedlikeholdes
- Teknologit utvikling: enklere oppkobling og avkobling av forankring og kabler, digitalisering og tilstandsovervåkning
- Forbedringer innen planlagt og uplanlagt vedlikehold av substruktur, fortøyning, forankring og kabler, som følge av økt operatørfaring
- Bedre løsninger for, og mer erfaring med, utskiftning av hovedkomponenter.
- tilgjengelighet på, og kapasiteten til, servicefartøy og mer spesialiserte fartøy

5 KOSTNADSREDUKSJONER FOR BUNNFAST HAVVIND

Denne rapporten fokuserer primært på kostnadsreduksjoner for flytende havvind. Det har vært nødvendig å gjøre en avgrensning i omfang, og flytende havvind antas å være svært relevant for Norge.

Kostnadsreduksjoner for bunnfast havvind er derfor ikke behandlet i detalj, men i dette avsnittet vil det gjøres en kort oppsummering av hvilke av kostnadsreduksjonene som vi har beskrevet som også er relevante for bunnfast havvind.

I hovedsak er det læringer fra bunnfast vind som vil komme flytende vind til gode, og ikke motsatt, og her vil vi peke på hvilke generelle utviklinger som virker inn på bunnfast havvind. Bunnfast havvind har allerede hatt betydelige kostnadsreduksjoner, men DNV forventer at kostnadene for bunnfast havvind også vil reduseres frem mot 2040, selvom denne utviklingen vil være mindre betydelig enn den vi har sett til nå.

- **Turbin:** Kostnadsreduksjoner innenfor turbin vil også virke inn på bunnfast havvind, siden de samme turbinene brukes på tvers av flytende og bunnfast havvind.
- **Installasjon:** Forbedringer innenfor værprognoser og håndtering av værvinduer er relevant for bunnfast havvind, hvor installasjon av turbin foregår offshore og operasjonelle begrensninger har stor betydning for installasjonen. Optimalisering av marine operasjoner og tidlig planlegging og involvering av leverandører kan også ha betydning for å effektivisere installasjonsaktiviteter for bunnfast havvind.

Oppgradering av havneområder for mellomlagring og utlasting av fundamenter og turbin vil også ha en positiv effekt for bunnfast havvind.

- **Samordning av nett til havs:** For bunnfast vind forventer man en økning i nettrelaterte kostnader fremover, ettersom at utbyggingene vil skje lengre fra land. En del bunnfaste vindmarkeder har allerede tatt i bruk løsninger for samordning av infrastruktur via nettoperatoren, og det er forventet at en større grad av samordning av nett vil være kostnadsreduserende for bunnfast havvind.
- **Drift og vedlikehold:** Forbedring i tilkomst, tilstandsovervåking og digitale tvillinger vil øke effektiviteten i vedlikeholdet, øke vindparkens ytelse og redusere de samlede drifts- og vedlikeholdskostnadene. Utbedring av havner og samlokalisering er også mulige kostnadsreduksjoner for bunnfast havvind.

6 REFERANSER

- /1/ DNV, Energy Transition Outlook 2025, Oktober 2025
- /2/ DNV, Energy Transition Outlook Norway 2025, Desember 2025
- /3/ DNV, Energy Transition Outlook 2021: Technology Progress Report, 2021
- /4/ Regjeringen.no: Utsira Nord, Vedlegg 4 – Mal for kostnadsestimater for Utsira Nord, 2025. URL: [Utsira Nord - regjeringen.no](https://www.regjeringen.no)





Om DNV

Vi er et globalt selskap innen kvalitetssikring og risikohåndtering med tilstedeværelse i over 100 land. Vårt formål er å sikre liv, verdier og miljøet. Med vår unike tekniske ekspertise og uavhengighet bistår vi våre kunder med å forbedre sikkerhet, effektivitet og bærekraft.

Enten vi godkjenner et nytt skipsdesign, optimerer energiproduksjonen fra en vindmøllepark, analyserer sensordata fra en gassrørledning eller sertifiserer verdikjeden til en matprodusent, hjelper vi våre kunder med å ta gode og riktige beslutninger og øke tilliten til virksomheten, produktene og tjenestene deres. Verden er i endring. Vi kan påvirke utviklingen. Sammen skal vi takle de globale utfordringene og omstillingene vi vil møte.