



Handelshøyskolen BI

BTH 36201 Bacheloroppgave - Økonomi og administrasjon

Bachelor thesis 100% - B

Predefinert informasjon

Startdato:	09-01-2023 09:00 CET	Termin:	202310
Sluttdato:	01-06-2023 12:00 CEST	Vurderingsform:	Norsk 6-trinns skala (A-F)
Eksamensform:	D		
Flowkode:	202310 10737 IN17 B D		
Intern sensor:	(Anonymisert)		

Navn:

Elise Christin Aarnes, Tuva Andersen

Informasjon fra deltaker

Tittel *:	Analyse av kostnadseffektiviteten til vindkraftverk på land		
Navn på veileder *:	Ivar Gaasland		
Inneholder besvarelsen konfidensielt materiale?:	Nei	Kan besvarelsen offentliggjøres?:	Ja

Gruppe

Gruppenavn:	(Anonymisert)
Gruppenummer:	74
Andre medlemmer i gruppen:	



Norwegian
Business School

Bacheloroppgave
ved Handelshøyskolen BI

Analyse av kostnadseffektiviteten til vindkraftverk på land



Eksamenskode og navn:

BTH 3620 – Bacheloroppgave i økonomi og administrasjon

Utleveringsdato:
09.01.2023

Innleveringsdato:
01.06.2023

Stuedsted:
BI Bergen

"Denne oppgaven er gjennomført som en del av studiet ved Handelshøyskolen BI. Dette innebærer ikke at Handelshøyskolen BI går god for de metoder som er anvendt, de resultater som er fremkommet, eller de konklusjoner som er trukket."

Sammendrag

De to store miljøutfordringene vi står overfor i dagens verden er begrensning av klimaendringer og tap av biologisk mangfold. Vindkraft spiller en sentral rolle i begge aspektene, der miljøhensyn kommer i konflikt. Som en konsekvens av dette har Norge i de siste årene opplevd økt utbygging av vindkraftverk, og denne trenden fortsetter. Et av de sentrale spørsmålene knyttet til utbyggingen av vindkraftverk, både på land og på havet, er relatert til kostnader og om vindkraft kan betraktes som en kostnadseffektiv fornybar energikilde. Dette er grunnen til at vi i denne oppgaven har valgt følgende problemstilling:

Hva er langsiktig marginalkostnad (Levelized cost of Energy - LCOE) for norske landbaserte vindkraftverk sammenlignet med havbaserte vindkraftverk? Og kan vindkraft på land ansees som en kostnadseffektiv fornybar energikilde?

For å undersøke dette, har vi gjennomført en komparativ casestudie med kvalitativ tilnærming av fire vindkraftverk som har blitt tildelt konsesjon i perioden mellom 2012 og 2018. I samarbeid med Norsk Vind AS har vi fått tilgang til kostnadsdata som vi har anvendt i våre beregninger av LCOE. Det er viktig å merke seg at det er gjort avgrensninger i våre utregninger og fokuserer på en utvalgt periode, for å sikre et best mulig sammenligningsgrunnlag. Vi har videre valgt å inkludere en sensitivitetsanalyse for å undersøke følsomheten i våre funn.

Våre funn viser at landbasert vindkraft kan ansees å være en kostnadseffektiv fornybar energikilde. Landbasert vindkraft er per dags dato mer kostnadseffektiv enn havbasert vindkraft, men det er ikke unaturlig å anta at dette vil endre seg i fremtiden. Etter å ha sett disse resultatene sammenlignet med tidligere forskning, har vi kommet frem til at våre tall og funn er generaliserbare og vil være representative for andre vindkraftverk i Norge.

Førord

Utredningen er skrevet som en generell bacheloroppgave, og er en avsluttende del av bachelorutdanningen i økonom og administrasjon ved Handelshøyskolen BI.

I løpet av de siste årene har fokuset på utbygging av vindkraft økt betraktelig, både i Norge og internasjonalt. Vi har med stor interesse for fornybar energi, fulgt utviklingen gjennom årene og har i denne sammenheng registrert at det er knyttet stor usikkerhet rundt hvorvidt vindkraft *faktisk* er en kostnadseffektiv fornybar energikilde.

Gjennom denne utredningen har vi forsøkt å presentere grundig forskning og analyse av vindkraft som en kostnadseffektiv fornybar energikilde. Vi håper at våre funn og konklusjoner kan bidra til en bedre forståelse av dette komplekse emnet og legge grunnlaget for videre diskusjon og beslutningstaking i energisektoren.

I løpet av vårt arbeid med oppgaven har vi stått overfor utfordringer som har gitt oss muligheten til å utvikle vår mestringsfølelse. Selv om prosessen har vært krevende, har den også vært ekstremt berikende og lærerik. Vi har fått anledning til å fordype oss i et spennende og aktuelt tema, og gjennom denne reisen har vi tilegnet oss verdifull ny kunnskap.

Vi ønsker å uttrykke vår takknemlighet for de verdifulle innspillene vi har mottatt fra Kjetil Andersen i Norsk Vind og den gode veiledningen vi har fått fra professor Ivar Gaasland. Vi vil også rette en hjertelig takk til alle andre som har bidratt til det endelige resultatet av oppgaven.

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	i
Forord	ii
Firguroversikt	3
Formeloversikt	3
Tabelloversikt.....	3
Ordforklaring.....	4
Innledning.....	5
1.0 Generelt om vindkraft.....	8
1.1 Introduksjon til vindkraft.....	8
1.2 Havbasert- og landbasert vindkraft.....	9
1.2.1 Landbasert vindkraft.....	11
1.3 Vindkraftverkets konsesjonsprosess.....	12
1.3.1 Planlegging og konsesjonsprosessen av vindkraftverk på land.....	12
1.4 Subsidiar	15
2.0 Eksterne konsekvenser	16
2.1 Etikk.....	16
2.2 Miljømessige virkninger	16
2.2.1 Miljøutfordringer ved landbaserte vindkraftverk	17
2.2.2 Miljøutfordringer ved vindkraftverk på hav	17
3.0 Økonomiske faktorer.....	19
3.1 Levelized cost of energy (LCOE).....	19
3.2 Investeringskostnader (CAPEX)	21
3.3 Drifts - og vedlikeholdskostnader (OPEX).....	22
3.5 Beskatning	25
3.6 Kalkulasjonsrente	25
3.7 Havvind.....	27
3.8 Grid prating.....	28
4.0 Metode	28
4.1 Komparativ Casestudie.....	28
4.2 Kvalitativ Metode	29
4.2.1 Generaliserbarhet.....	29
4.2.2 Pålitelighet og Validitet	29
4.3 Utfordringer og avgrensninger	30

4.4 Valg av case	31
4.5 Behandling av datamaterialet	31
5.0 Resultat	32
5.1 Investeringskostnader (CAPEX)	32
5.1.1 Egersund vindkraftverk	32
5.1.2 Bjerkreim vindkraftverk	33
5.1.3 Skinansfjellet & Gravidal	34
5.1.4 Måkaknuten vindkraftverk.....	35
5.3 Levelized cost of energy - Landbasert Vindkraft	37
5.4 Levelized cost of energy - Havbasert vindkraft.....	38
6.0 Diskusjon	39
6.1 Generaliserbarhet	39
6.2 Sammenligning av landbasert- og havbasert vindkraft	40
6.3 Utvikling av havbasert vindkraft	41
6.4 Grid parity	43
6.5 Sensitivitetsanalyse.....	44
7.0 Konklusjon	49
8.0 Referanser	51
9.0 Vedlegg.....	58

Firguroversikt

Figur 1: Vindkraftproduksjon i netto nullutslipp 2030.....	10
Figur 2: Trinnene i konsesjonsprosessen.....	13
Figur 3: Kostnadsstrukturen til en typisk vindpark	23
Figur 4: LCOE Beregninger for havvind av NVE.....	38
Figur 5: LCOE beregninger av alle energikilder i Norge i 2021 og 2030.....	43

Formeloversikt

Formel 1: Levelized Costs of Electricity	19
Formel 2: Levelized Costs of Electricity	20
Formel 3: Skattereduksjon som følge av avskrivninger	23
Formel 4:Nåverdi.....	24
Formel 5: WACC (Weighted average cost of capital).....	26

Tabelloversikt

Tabell 1:CAPEX størrelser for Egersund Vindkraft.....	33
Tabell 2: CAPEX størrelser for Bjerkreim vindkraftverk	34
Tabell 3: CAPEX størrelser for Skinansfjellet & Gravdal vindkraftverk.....	35
Tabell 4: CAPEX størrelser for Måkaknuten vindkraftverk.....	36
Tabell 5: OPEX størrelser for de fire vindkraftverkene	37
Tabell 6: LCOE beregninger	37
Tabell 7: Sensitivitetsanalyse for Bjerkreim Vindkraftverk.....	48
Tabell 8: Sensitivitetsanalyse ved endring av en og en variabel	48

Ordforklaring

LCOE	Levelized Cost of Energy
NVE	Norges vassdrag- og energidirektorat
OED	Olje- og energidepartementet
IEA	International Energy Agency
TWh	Terrawatttime
MW	Megawatt
KWh	Kilowatttime
KU	Konsekvensutredning
CAPEX	Capital Expenditure (Investerings- og finansieringskostnader)
OPEX	Operational Expenditure (Drifts- og vedlikeholdskostnader)
MNOK	Millioner norske kroner
WACC	Weighted average cost of capital

Innledning

I dette bachelorprosjektet ønsker vi å undersøke hvorvidt norske landbaserte vindkraftverk er kostnadseffektive fornybare energikilder. Vi vil fokusere på et casestudium om Norsk Vind AS (heretter Norsk Vind). Vi har tatt utgangspunkt i fire vindkraftprosjekter som fikk byggekonsesjon mellom 2012-2018.

Vindkraftverkene er som følger; Bjerkreim vindkraftverk, Egersund vindkraftverk, Skinansfjellet & Gravdal vindkraftverk og Måkaknuten vindkraftverk. Vi har valgt å ekskludere årene 2019-2023 fra våre analyser ettersom konsesjonssystemet for vindkraft på land har vært midlertidig stengt i disse årene. Vi vil basere våre analyser på kostnads- og produksjonsestimater direkte hentet fra Norsk Vind, og vi vil beregne Levelized Cost of Energy, heretter betegnet som LCOE, for prosjektene. Gjennom disse beregningene vil vi forsøke å gi et realistisk bilde av hvordan norsk vindkraft på land står i konkurranse med havbasert vindkraft, samt om vindkraft på land er å anse som en kostnadseffektiv fornybar energikilde. Vår problemstilling lyder derfor som følger:

Hva er langsiktig marginalkostnad (Levelized cost of Energy - LCOE) for norske landbaserte vindkraftverk sammenlignet med havbaserte vindkraftverk? Og kan vindkraft på land ansees som en kostnadseffektiv fornybar energikilde?

Denne oppgaven deles inn i flere deler. Første del gir en kort introduksjon til vindkraft, inkludert dens historie, samt en kort presentasjon av konsesjonsprosessen for vindkraftverk. I andre del av oppgaven diskuteres miljøhensyn og etiske problemstillinger knyttet til utvikling av vindparker. Den tredje delen fokuserer på et casestudie fra Norsk Vind. Her blir modellverktøy, datamateriale, tall og analyser presentert. Metoden og valget av casestudiet blir deretter grundig presentert i den fjerde delen. Til slutt tar de to avsluttende delene for seg analysen. Her beregnes og sammenlignes LCOE-verdier for landbasert- og havbasert vindkraft. Videre vil vi forsøke å svare på spørsmålet om hvorvidt norsk landbasert vindkraft er en kostnadseffektiv fornybar energikilde. Vi vil også diskutere om vårt casestudie kan anses som å være representativt for andre

vindkraftverk i Norge, og hvor pålitelige og følsomme funnene våre er. Ved å nøye vurdere disse spørsmålene ønsker vi å gi en grundig og pålitelig analyse av kostnadseffektiviteten til landbasert vindkraft i Norge.

Bakgrunn

Norge har potensielt et av de største vindkraftpotensialene i Europa, takket være lange kystlinjer, mangfoldige tilgjengelige områder og svært gunstige vindforhold. Som et resultat av dette har vindkraftinvesteringer økt betraktelig de siste årene. Per april 2022 var det registrert 64 vindkraftverk i Norge, med totalt 1304 turbiner i drift. Vindkraftverkene har en installert kapasitet på 4655 MW og kan produsere energi på omkring 11,8 TWh (Vindportalen, 2022).

EU's klimalov (2021/1119/EU) er et sentralt regelverk for utforming av virkemiddelapparat for å nå klimamålet for 2050. For Norge sin del innebærer fornybardirektivet (2018/2001/EU) at Norge har forpliktet seg til at 32% av energiforsyningen skal komme fra fornybar energi innen 2030 (Regjeringen, 2022). Den 18. mai 2022 ble det utstedt et forslag om å øke fornybarmålet til 45% innen 2030. Forslaget er bindende på unionsnivå og vil få store konsekvenser for utviklingen av fornybar energi i Norge (Regjeringen, 2022).

Norske myndigheter har fastsatt ambisiøse og forsterkede klimamål til FN. I 2021 ble det enighet i EU om å øke klimamålet for 2030 med et netto utslippskutt på minst 55% sammenlignet med 1990. I tillegg er Norge og de øvrige EU-landene forpliktet til å være klimanøytrale innen 2050 (Stortinget, 2021). Som en del av den omfattende klimapolitikken legges det stor vekt på økt satsing på fornybar energi og vindkraft som en av flere tiltak.

Det eksisterer betydelig usikkerhet knyttet til vilkårene og reguleringen rundt produksjon av vindkraft, noe som har ført til at investeringer i vindkraftverk har vært begrenset. For å kunne bygge, eie og drive et vindkraftverk kreves det konsesjon i henhold til energiloven. I Norge er det gitt konsesjon for flere tusen MW-vindkraft, hvorav omtrent 2200 MW var bygget ved begynnelsen av 2020.

Ved inngangen til 2022 var det forventet at det ville være rundt 5100 MW vindkraft i drift, noe som vil være en dobling sammenlignet med 2020. Med en installert kapasitet på 5100 MW vil vindkraft stå for hele 10% av den norske kraftproduksjonen (Vindportalen, 2022).

Ifølge Statistisk sentralbyrå var 2020 året med den høyeste vindkraftproduksjonen i Norge til nå. Vindkraftverkene produserte 9,9 TWh i løpet av året, som representerer en økning på hele 79% eller 4,4 TWh fra toppnoteringen i 2019. Denne trenden indikerer en økende attraktivitet ved bruk av vindkraft som en fornybar energikilde. Dette er i tråd med en økning i investeringer i vindkraftverk de siste årene, som er blitt oppmuntret av regjeringen, myndighetene og EU.

1.0 Generelt om vindkraft

I den innledende delen av oppgaven er hensikten å gi en oversikt over vindkraftproduksjon. Vi vil først presentere den historiske utviklingen av vindkraftindustrien i Norge og deretter forklare de sentrale elementene i landbasert og havbasert vindkraft.

1.1 Introduksjon til vindkraft

Vindkraftens opprinnelse kan spores tilbake til antikken da vindmøller og seilskip ble utviklet for å benytte seg av vindens kraft. På slutten av 1800-tallet utviklet den danske vitenskapsmannen Poul la Cour den første vindturbinen for produksjon av elektrisitet. Den tidlige vindturbinen var enkel og ble først brukt til å produsere elektrisitet i begrensede mengder. Etter oljekrisen i 1973 satte internasjonal forskning i gang med et mål om å utvikle alternative energikilder. Land som Danmark og Tyskland satte i gang store forskningsprosjekter på dette området. På 1970-tallet begynte noen land å investere i vindkraft som et alternativ til fossile brensler på grunn av økende bekymringer for klimaendringer og begrensninger i bruken av fossile energikilder. På den tiden var vindkraft fortsatt relativt kostbar og hadde begrenset bruk (Hofstad, 2023).

Vindkraftindustrien i Norge har en relativt kort historie, og den moderne utnyttelsen av vindenergi i landet antas å ha startet i 1983 som et forsknings- og forsøksprogram (Hofstad, 2023). I 1986 ble det første vindkraftverket med en kapasitet på 55 KWh satt i drift på Titran i Sør-Trøndelag. Den første anleggskonsesjonen for et vindkraftverk ble gitt i 1997, og de første store vindkraftverkene ble bygget i begynnelsen av 2000-tallet (Hofstad, 2023). I løpet av det 20. århundre har det blitt gjort betydelige teknologiske fremskritt for å konvertere vindens energi til elektrisitet, samtidig som det har vært en betydelig utvikling av vindturbiner. De siste tiårene har vindkraftindustrien vokst og blitt en av de mest pålitelige kildene til fornybar energi.

Ifølge en rapport fra NVE (Norges vassdrags- og energidirektorat) utgjør vannkraftproduksjon omtrent 87% av den totale kraftfordelingen i Norge (NVE, 2019). Dette faktum gir opphav til spørsmålet om den potensielle betydningen av å utvide vindkraftproduksjonen når landet allerede er tilstrekkelig forsynt med vannkraft.

Utviklingen av vindkraftmuligheter kan gi Norge en diversifisert energiproduksjon og redusere avhengigheten av én enkelt energikilde. Dette vil bidra til å øke energisikkerheten og redusere risikoen for forstyrrelser i energiforsyningen. Videre kan utviklingen av vindkraftteknologi og kompetanse i Norge gi muligheter for teknologioverføring og eksport. Gjennom deltakelse i det voksende globale markedet for vindkraft kan norske selskaper og arbeidere dra nytte av økonomisk vekst og skape arbeidsplasser i landet.

1.2 Havbasert- og landbasert vindkraft

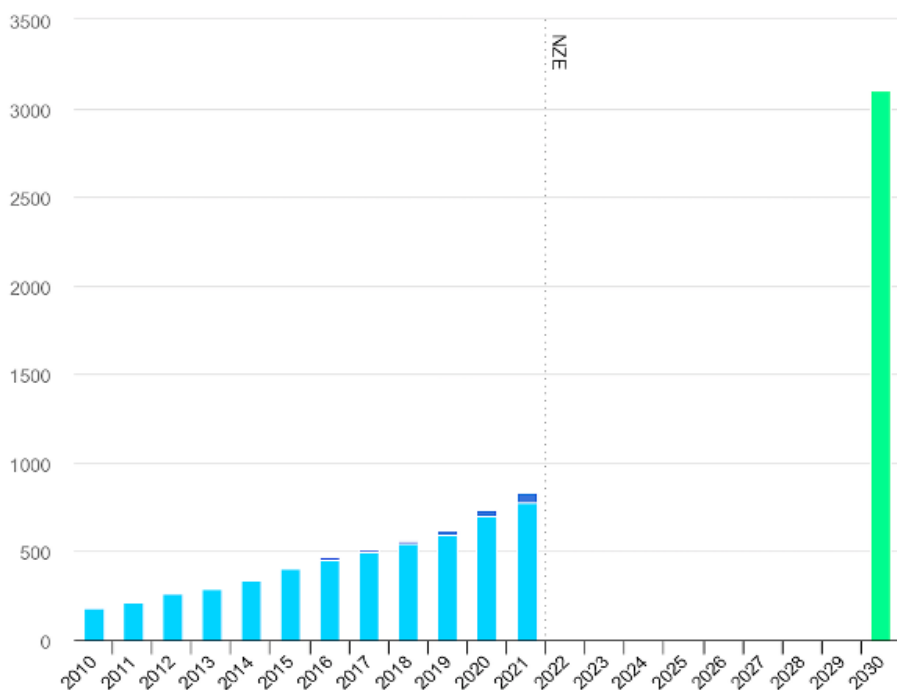
Vindkraft er en fornybar energikilde som produserer elektrisitet ved å utnytte energien i vind. Dette kan gjøres ved å plassere vindturbiner på land eller til havs, der de kan konvertere vindens energi til elektrisitet.

Vindkraftindustrien kan overordnet deles inn i to hovedsektorer: landbasert vindkraft og havbasert vindkraft. Landbasert vindkraftteknologi er mer utbredt enn havbasert teknologi, og den er implementert i over 115 land globalt (IEA, 2022). Ifølge data fra International Energy Agency (IEA) utgjorde landbasert vindkraft mer enn 93% av den samlede vindkraftproduksjonen i 2021. Denne sektoren foretrekkes på grunn av lavere kompleksitet ved installasjon av vindturbiner på land sammenlignet med havet. Videre kan landbaserte vindkraftanlegg dra nytte av eksisterende infrastruktur som veier og strømnnett, noe som muliggjør kostnadsbesparelser og økt tilgjengelighet for produksjon av vindkraft på land.

Selv om landbasert vindkraft er den mest utbredte formen for vindenergi, opplever havbasert vindenergi en rask ekspansjon ettersom land over hele verden arbeider mot å oppfylle klimamålene for 2030 og 2050. Havbasert vindkraft, som er på et

tidlig stadium, blir stadig mer utbredt i stor skala. Per i dag finnes det havbaserte vindkraftverk i 19 land rundt om i verden. Ifølge IEA ble det produsert rekordstore mengder offshore vindkraft i 2021. Equinor, et energiselskap, rapporterer at det allerede er installert en kapasitet på nesten 18,5 gigawatt-timer (GWh) innen havvind, og globalt kan denne kapasiteten potensielt nå over 100 GWh innen 2030 (Equinor, 2023). Denne økende implementeringen av havbasert vindkraft viser en betydelig vekstpotensial og bidrar til å diversifisere energiproduksjonen med fornybar energi

Diagrammet under illustrerer en markant økning i den mørkeblå andelen av søylene, som representerer offshore vindkraft, siden 2016. For å oppnå det angitte målet for total vindkraftproduksjon i 2030, som er representert av den grønne søylen, er det nødvendig å produsere mer enn dobbelt så mye vindkraft på land og betydelige mengder offshore vind i de kommende årene. Dette indikerer behovet for en betydelig oppskalering av både landbasert og havbasert vindkraft for å oppnå målet for bærekraftig energiproduksjon.



Figur 1: Vindkraftproduksjon i netto nullutslipp 2030.

Vindkraftproduksjon i netto nullutslipp i 2030. {Bilde}. 2022.

1.2.1 Landbasert vindkraft

Landbasert vindkraft er en fornybar energikilde som utnytter vindens kraft gjennom en konverteringsprosess. Vindturbiner, som er montert på tårn forankret i bakken, består av lange rotorblader som kan være opptil 80 meter i lengde. Når vinden blåser på rotorbladene, settes de i rotasjon og overfører dermed energi til en tilknyttet generator som produserer elektrisitet (SNL, 2023).

I Norge er det for tiden 64 vindkraftverk, hvorav kun ett er av havbasert karakter. Landbasert vindkraft har flere fordeler, hvorav den mest åpenbare er dens fornybare karakter. Landbasert vindkraft er å anse som en «billig» energikilde, spesielt i områder med gunstige vindforhold. Videre bidrar landbasert vindkraft til lokale økonomiske fordeler ved å skape arbeidsplasser og generere inntekter for grunneiere og lokale myndigheter.

1.2.2 Havbasert vindkraft

Havbasert vindkraft er en form for vindkraft som opererer etter samme prinsipper som landbasert vindkraft, men med en forskjell i installasjonsmetoden. I stedet for å være montert på tårn som er forankret i bakken, er vindturbinene for havbasert vindkraft montert enten på tårn som står på havbunnen eller på flytende plattformer som er forankret til havbunnen. På grunn av det utfordrende miljøet i havet, må havbasert vindkraft benytte spesialdesignede turbiner og fundamenter som tåler ekstreme værforhold og korrosjon forårsaket av saltvann (SNL, 2023).

Turbinene i havbasert vindkraft kan ha rotorblader som strekker seg opp til 107 meter i lengde, og de har potensial til å generere betydelig større mengder elektrisitet sammenlignet med landbasert vindkraft. Dette skyldes de høyere vindhastighetene som finnes i havområder. Den produserte elektrisiteten fra havvindturbinene blir deretter overført til land via undervannskabler for distribusjon og bruk. Havbasert vindkraft representerer dermed en mulighet til å utnytte de rike vindressursene som finnes offshore og bidra til økt produksjon av fornybar energi.

Ifølge regjeringen (2022) er det behov for økt kraftproduksjon i Norge i fremtidige år, og havvind kan spille en betydelig rolle i forsyningen av ren og fornybar energi norske husholdninger og industri. Ved å satse på havvindkraft investeres det i en sektor som kan bidra til å møte energibehovet i landet samtidig som det legger grunnlaget for en bærekraftig og fremtidsrettet energisektor.

Per i dag eksisterer det kun én havvindpark på norsk territorium, nemlig Hywind Tampen, som ble utviklet av Equinor. I 2018 utførte Equinor en utredning angående mulighetene for å etablere den første norske havvindparken i Nordsjøen. Hensikten med prosjektet var å forsyne gass- og oljefeltene med elektrisk strøm som erstatning for gassturbiner, slik at en utslippsfri energiforsyning kunne oppnås (Equinor, 2023). Utbyggingskostnadene for Hywind Tampen ble anslått til fem milliarder, og anlegget ble satt i drift i november 2022 (Rosvold, K. 2023). I tillegg åpnet det seg muligheter for søknader om utvikling av flere havvindparker i 2020, med forventet ferdigstilling innen 2030. Disse nye havvindparkene har en samlet potensiell kapasitet på 3000 MW og vil levere energi til det norske fastlandet.

1.3 Vindkraftverkets konsesjonsprosess

1.3.1 Planlegging og konsesjonsprosessen av vindkraftverk på land

Utvikling av vindkraftverk er en kompleks og ressurskrevende prosess som krever en omfattende planleggings- og søknadsprosess. Dette inkluderer områdestudier, søknader om tillatelser og evaluering av miljømessige og samfunnmessige konsekvenser. Planleggingen kan ta flere år, avhengig av størrelsen på prosjektet og gjeldende reguleringer. Årsaken til at utbygging av vindkraftverk kan ta lang tid er fordi det er en omfattende prosess som inkluderer å sende ut konsesjonssøknader, kontakte utbyggere og informere alle involverte parter i byggeprosessen.

Konsesjonssystemet, altså søknadsprosessen, for vindkraft på land i Norge er en viktig del av reguleringen av fornybar energiutvikling i landet og sikrer at

utviklingen av vindkraftverk skjer på en bærekraftig og samfunnsmessig akseptabel måte. Konsesjonssystemet bidrar også til økt kunnskap om potensielle konsekvenser av vindkraftutvikling og økt bevissthet rundt betydningen av å utvikle fornybar energi på en bærekraftig måte. I henhold til energiloven må utviklere av vindkraftprosjekter søke om tillatelse fra myndighetene for å bygge og drifte vindkraftverk på land (NVE,2023). Konsesjonssøknader behandles av Norges vassdrags- og energidirektorat, som gir anbefalinger til Olje- og energidepartementet for endelig beslutning om konsesjonsgivning.



Figur 2: Trinnene i konsesjonsprosessen

Når installert effekt for vindkraftsaker overskrider 10MW, kreves det en melding om konsekvensutredning etter plan- og bygningsloven (NVE, 2023). Deretter gjennomfører utbyggeren en konsekvensutredning for å evaluere de mulige miljø- og samfunnsmessige konsekvensene av prosjektet. Før konsekvensutredningen påbegynnes, må det utarbeides et konsekvensutredningsprogram, som definerer hvilke emner som skal undersøkes nærmere. NVE fastsetter KU-programmet etter en høringsprosess hvor relevante myndigheter og interessegrupper kan gi innspill. KU-programmet inneholder viktige elementer som biologisk mangfold, landskap, støy, kulturminner, og samfunnsmessige konsekvenser. Etter fullføring av konsekvensutredningen vil NVE bruke denne informasjonen til å evaluere om prosjektet kan gi konsesjon og hvilke betingelser som må oppfylles for å minimalisere de negative konsekvensene av prosjektet.

Etter at utbyggeren har lagt fram sin konsesjonssøknad og gjennomført konsekvensutredningen, vil NVE initiere en ytterligere informasjonsinnsamling og samle inn innspill fra relevante myndigheter, interessegrupper og lokalbefolkningen. Dette kan involvere flere høringer og analyser av ulike aspekter av prosjektet, i tillegg til eventuelle klager eller innvendinger som er mottatt. NVE vil bruke denne informasjonen til å fatte en endelig beslutning om å enten innvilge eller avslå utbyggerens konsesjonssøknad.

Etter at konsesjonen er godkjent, vil NVE fastsette vilkår som utbyggeren må oppfylle for å redusere de negative konsekvensene av prosjektet. Disse vilkårene kan omfatte krav om gjennomføring av miljø- og samfunnsbeskyttende tiltak, samt overvåking og rapportering av eventuelle negative virkninger av vindkraftverket over tid. Hvis konsesjonssøknaden avslås, vil utbyggeren ikke ha lov til å fortsette med planene om å bygge vindkraftverket. En godkjent konsesjon gir tillatelse til å bygge og drive vindparken i opptil 30 år, og byggeperioden skal være fullført innen fem år (Regjeringen 2020).

Etter beslutningen av vedtaket i konsesjonsprosessen er det åpen for klagebehandling, hvor enhver person med rettslig interesse har anledning til å påklage beslutningen. Dersom NVE opprettholder sin avgjørelse etter klagebehandlingen, vil saken oversendes til Olje- og energidepartementet for endelig avgjørelse. Deretter følger oppfølgingsarbeidet med konsesjonen, hvor utbyggeren må innhente godkjenning fra NVE gjennom miljøtilsynet for miljø-, transport- og anleggsplan (MTA) samt detaljplan for prosjektet før byggingen kan starte (NVE, 2023).

I april 2019 ble konsesjonsbehandlingen av nye vindkraftverk på land midlertidig avbrutt. Dette ble gjort som en reaksjon på økende motstand blant lokale innbyggere og interessegrupper, i tillegg til bekymringer knyttet til potensielle negative miljø- og naturpåvirkninger. Stansen i tildelingen av nye konsesjoner ble innført for å gi myndighetene tid til å vurdere konsekvensene av den økende

utbyggingen av vindkraftverk, og for å gjennomgå og forbedre konsesjonsprosessen for vindkraftverk. En annen motivasjon for pausen var å legge til rette for en mer omfattende dialog med berørte lokalsamfunn. Fra 2021 og utover ble behandling av nye vindkraftprosjekter igjen åpnet, men kun dersom vertskommunen gir sitt samtykke (NVE, 2023).

1.4 Subsidier

Subsidier spiller en viktig rolle i utviklingen av fornybar energi, inkludert vindkraft. Subsidier er økonomiske tilskudd eller støtteordninger som gis av myndighetene eller andre organisasjoner for å redusere kostnadene eller stimulere til bestemte aktiviteter eller sektorer. Subsidier kan være i form av direkte pengeoverføringer, skattefordeler, reduserte avgifter, lån med lav rente eller andre former for økonomisk støtte. En sentral ordning i Norge er elsertifikatordningen, som har som formål å stimulere til økt produksjon av fornybar energi.

Elsertifikatordningen er en markedsbasert støtteordning. Ordningen fungerer slik at produsenter som bygger ut ny fornybar kraftproduksjon får tildelt elsertifikater. Produsentene får tildelt ett elsertifikat per megawattime (MWh) elektrisitet de produserer i 15 år (Regjeringen, 2021). Elsertifikatordningen er også teknologinøytral, det vil si at elektrisitet fra alle former for fornybare energikilder har rett på elsertifikater (vannkraft, vindkraft, solkraft, bioenergi eller andre fornybare energikilder).

Det er viktig å merke seg at elsertifikatordningen er underlagt en gradvis avvikling, med planlagt opphør innen utgangen av 2035 (Regjeringen, 2021). Dette innebærer at subsidienivået gradvis reduseres over tid, noe som kan påvirke økonomien til nye vindkraftprosjekter. Som en del av vår analyse har vi inkludert elsertifikatene innad i driftskostnadene.

2.0 Eksterne konsekvenser

2.1 Etikk

Til tross for de mange fordelene med vindkraft er implementeringen av vindkraftverk opphavet til flere etiske dilemmaer som må drøftes grundig før utbygging. Faktorer som miljøvern, landbruk og lokalsamfunn, kulturelle hensyn og økonomisk ulikhet må tas med i betraktningen før man eventuelt bestemmer seg for å etablere et vindkraftverk. Ett av de mest sentrale dilemmaene knyttet til utbygging av vindkraftverk er plasseringen av vindturbinene og hvilken påvirkning de vil ha på lokalbefolkning, landbruk og miljøet.

For å sikre ansvarlige beslutninger som ivaretar de fleste relevante faktorene, er etisk refleksjon viktig i forbindelse med vindkraftutbygging. Det er i midlertidig viktig å erkjenne at det finnes forskjellige synspunkter på etiske dilemmaer, og det er nødvendig å finne en balanse mellom å utvikle ren energi og hensyn til miljøet og lokale samfunn. Av den grunn anbefales det å involvere lokale samfunn og interessenter i beslutningsprosessen om hvorvidt et vindkraftverk skal bygges. For at vindkraftutviklere og interessenter skal slippe å stå for hovedansvaret til å ta avgjørelser knyttet til de etiske dilemmaene, tar NVE høyde for negative eksternaliteter i deres arbeid med konsesjon innvilgelser. NVE vil derfor kun godkjenne de kraftverkene som kan ansees som samfunnsøkonomisk lønnsomme.

2.2 Miljømessige virkninger

Produksjon av elektrisitet fra vindkraft er en aktivitet som er tett knyttet til en rekke miljøpåvirkninger som må tas i betraktning i planlegging, bygging og drift av vindkraftverk, både på land og til havs. På land kan vindkraftverkene ha betydelige konsekvenser for økosystemer, dyreliv, landskap og lokalbefolkningen, mens vindkraftverk til havs berører marine økosystemer og fiskeressurser. På grunn av manglende kunnskap og usikkerhet om de faktiske virkningene av å bygge vindkraftverk, har NVE utarbeidet 21 temarapporter om vindkraftens virkninger (NVE, 2020). Rapportene ble utarbeidet som en del av arbeidet med nasjonal ramme for vindkraftverk på land og utgjør en omfattende oppdatering og

systematisering av myndighetenes kunnskapsgrunnlag om vindkraft og dens eksterne virkninger i Norge (NVE, 2020). Det er derfor avgjørende å ta hensyn til slike virkninger og følge opp med nødvendige tiltak for å minimere skader på miljø og samfunn.

Vindkraftproduksjon har den karakteristiske egenskapen at den ikke fører med seg noen form for negative konsekvenser i form av CO₂-utslipp eller andre skadelige stoffer, noe som skiller den fra konvensjonell kraftproduksjon. Selv om det finnes noen CO₂-utslipp knyttet til selve byggingen av vindparkene, blir disse oppveid når vindkraftverkene starter å produsere energi. Innen seks måneder etter at vindparken er satt i drift vil utslippene ha nådd nullpunktet (Fortum, 2023). Ifølge IEA produserte vindenergi i 2020 rundt 1,3 milliarder tonn mindre CO₂-utslipp enn hvis den samme mengden energi hadde blitt produsert ved hjelp av fossile brensler (IEA, 2020). I analyser av vindkraft vil det ofte bli påpekt hvordan vindkraftproduksjonen erstatter CO₂-intensiv produksjon, og dermed kan samfunnet unngå negative eksternaliteter knyttet til slik produksjon.

2.2.1 Miljøutfordringer ved landbaserte vindkraftverk

Vindkraftverk medfører flere negative påvirkninger på miljøet, hvor blant annet dyreliv og økosystemer i området kan bli påvirket. Vindturbinene kan utgjøre en trussel for fugler og deres habitat, som kan føre til kollisjon mellom fugler og vindturbiner, samt nedbygging og forringelse av biotoper (Vindportalen, 2023). Vindturbiner som er plassert i nærheten av bebygde områder kan skape utfordringer med støy og skyggekast, hvor støy kommer fra infralyd og høyfrekvent lyd fra vindturbingenatorene, og kan påvirke livskvaliteten til de som bor i nærheten. Videre kan bygging av vindkraftverk føre til at store landbruksarealer blir brukt til plassering av vindturbiner (Vindportalen, 2023).

2.2.2 Miljøutfordringer ved vindkraftverk på hav

Havvindkraft som energikilde er preget av en rekke utfordringer som kan ha negative konsekvenser for det marine økosystemet. Ifølge Norges miljøvernforbund -2021 er havvindkraft svært ressurskrevende og kan påvirke dyreliv, havbunn, landskap, estetikk, forsøpling, samt drifts- og

konstruksjonsfasen. Påvirkningene på dyrelivet kan blant annet føre til at flere arter forlater området og at deres reproduksjons- og næringsvaner forstyrres. Havbunnen og bunndyrene kan også bli påvirket når vindturbinene er festet til havbunnen. Disse utfordringene illustrerer kompleksiteten i å implementere havvindkraft som en bærekraftig energikilde og understreker viktigheten av å ta hensyn til miljøpåvirkningene ved utviklingen av denne teknologien

NORSK VIND AS - CASE-STUDIE

I denne delen av utredningen skal vi bruke tall og data fra firmaet Norsk Vind og deres drift av fire vindkraftverk i Norge. Vi skal sammenligne LCOE verdier for vindkraftverkene opp mot LCOE verdier for havbaserte vindkraftverk. De fire vindkraftverkene vi har valgt ut er Egersund vindkraftverk, Bjerkreim vindkraftverk, Skinansfjellet & Gravdal vindkraftverk og Måkaknuten vindkraftverk. Det finnes bare et havbasert vindkraftverk i drift i Norge, og vi vil derfor bruke generelle tall og verdier fra markedet for å oppnå et godt sammenligningsgrunnlag.

Norsk Vind AS ble etablert i 1996 som et privateid vindselskap innenfor energiforsyning bransjen. Selskapet selger i hovedsak vindkraftverk til både norske og utenlandske investorer. Selskapet tjener penger på å utvikle, bygge ut og drifte vindparkene på vegne av investorene. Gjennom årene har Norsk Vind opparbeidet seg solid kompetanse innen vindkraft og blir stadig større. Norsk Vind er per idag Norges største privateide vindkraftutvikler.

3.0 Økonomiske faktorer

Kostnadene består av:

Capex - Kapitalutgifter inkludert utviklingsutgifter

Capex - Finansieringskostnader

Opex - Drifts- og vedlikeholdsutgifter

3.1 Levelized cost of energy (LCOE)

I dagens samfunn er det et stort behov for å utvikle og implementere bærekraftige energiløsninger, for å kunne nå klimamålene i 2030 og 2050. I denne sammenheng har det blitt utviklet flere ulike modeller, hvorav *Levelized cost of energy* modellen er det mest benyttede og anvendte modellverktøyet. LCOE-modellen kalkulerer ikke bare kostnaden ved å bygge et prosjekt, men også kostnaden ved å drifte anlegget (Rodriguez, 2022). Ved å beregne LCOE for vindkraftverk er det mulig å sammenligne vindkraft på land med andre type energikilder for å videre kunne evaluere hvilke energikilder som er de mest kostnadseffektive på lang sikt. Det er viktig å påpeke at LCOE-modellen ikke inkluderer inntekter og at det derfor er vanskelig å si noe om den bedriftsøkonomiske lønnsomheten (Ommedal, 2015, s. 18). Dermed gir LCOE-modellen i sin helhet et utgangspunkt for å beregne og sammenligne kostnadseffektiviteten for vindkraftverk på land med andre metoder for kraftproduksjon. Modellen kan i sin enkleste form presenteres som:

$$\text{LCOE} = \frac{\text{Nåverdi av totale levetidskostnader (NOK)}}{\text{Neddiskontert produksjon over prosjektes levetid (kWh)}}$$

Formel 1: Levelized Costs of Electricity

For å bedre forstå de viktigste kostnadsdriverne og hva som inngår i totale levetidskostnader, kan modellen fremvises på et mer detaljert nivå;

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

Formel 2: Levelized Costs of Electricity

$I_t =$ Investeringsutgifter i år t (inkludert finansiering)

$M_t =$ Drifts- og vedlikeholdsutgifter i år t

$F_t =$ Drivstoffutgifter i år t

$E_t =$ Elektrisitetsproduksjons i år t

$r =$ Diskonteringsrenten

$n =$ Levetid på verket

I modellen kalkuleres de gjennomsnittlige enhetskostnadene av å produsere elektrisitet over vindkraftverkets levetid. Årlige kostnader og produksjoner diskonteres tilbake til i dag ved hjelp av en kalkulasjonsrente (IEA, 2020).

LCOE-modellen ansees som et svært nyttig verktøy for å sammenligne kostnadene ved ulike kraftproduksjonsanlegg som solcellepaneler, vindturbiner og kullkraftverk (IEA, 2020). Ved å benytte modellen kan man se utover den initiale investeringskostnaden og få en bredere oversikt over kostnader knyttet til både utbyggingen og driften av et kraftproduksjonsanlegg. Modellen er enkel og intuitiv, og resultatene brukes hyppig til å sammenligne teknologier. I tillegg kan man estimere hvor mye elektrisitet som må produseres fra ulike energikilder for å dekke et bestemt energibehov på en mest mulig kostnadseffektiv måte.

Generelt sett indikerer lave verdier av LCOE at en teknologi kan produsere elektrisitet til en lav gjennomsnittlig kostnad per kilowattime (IRENA, 2020). En lav LCOE-verdi betraktes vanligvis som gunstig for energiproduksjon prosjekter, da det signaliserer høyere konkurransevne og bærekraft på lengre sikt. På den

annen side kan en høy LCOE-verdi indikere høye produksjonskostnader for energi, noe som reduserer lønnsomheten til prosjektet eller energikilden. Det er likevel viktig å påpeke at beslutninger om investering i energikilder ikke bør baseres utelukkende på LCOE-verdier. Andre faktorer som bærekraft, miljøpåvirkning, eksterne påvirkninger og energisikkerhet spiller en vesentlig rolle i valget av energikilde. Disse faktorene bør også vurderes nøye for å sikre en helhetlig og balansert tilnærming til energiproduksjon og -investeringer.

3.2 Investeringskostnader (CAPEX)

Investeringskostnadene (Capital Expenditures: CAPEX) for et vindkraftverk er engangskostnadene som er knyttet til innkjøp og installasjon av anlegget.

Investeringskostnadene for et vindkraftverk på land er relativt mindre sammenlignet med havbaserte vindkraftverk. Investeringskostnadene for et vindkraftverk på land kan variere avhengig av faktorer som størrelse, lokasjon, og valgt teknologi. Ifølge NVE, er investeringskostnadene på landbasert vindkraft i Norge på ca. 9-11 millioner kroner per MW. Til sammenligning er investeringskostnadene for havvind 69,45 millioner kr/MW. Fossil kraftproduksjon som kullkraft ligger på 17,44 millioner kr/MW (Norwea, 2023).

Norsk Vind deler opp investeringskostnadene inn i følgende komponenter: vindturbinkostnader, fundamentkostnader, bygg/veg/kai/anleggskostnader, kostnader til internt nett, kostnader til eksternt nett, grunnervv/engangskostnader og prosjektledelseskostnader. Vi kan dele dette opp igjen til turbinkostnader og andre investeringskostnader. Turbinkostnadene utgjør som regel opp til 60-70 % av investeringskostnadene, som vil se at det er den største kostnaden i de totale investeringskostnadene (Fornybarometeret, 2021). I tillegg til selve turbinene, regner vi med kostnader knyttet til frakt og montasjen.

De andre investeringskostnadene er altså resten av komponentene. Det er ikke alltid like lett og forutsi hva kostnaden blir på de forskjellige prosjektene da det kan være aktuelt å bygge ut veier for å frakte utstyr og turbiner samtidig som det skal bygges fundament som tobinene kan stå på. Det er i tillegg prosjektledelseskostnader som er knyttet til lønn til produksjonsansatte,

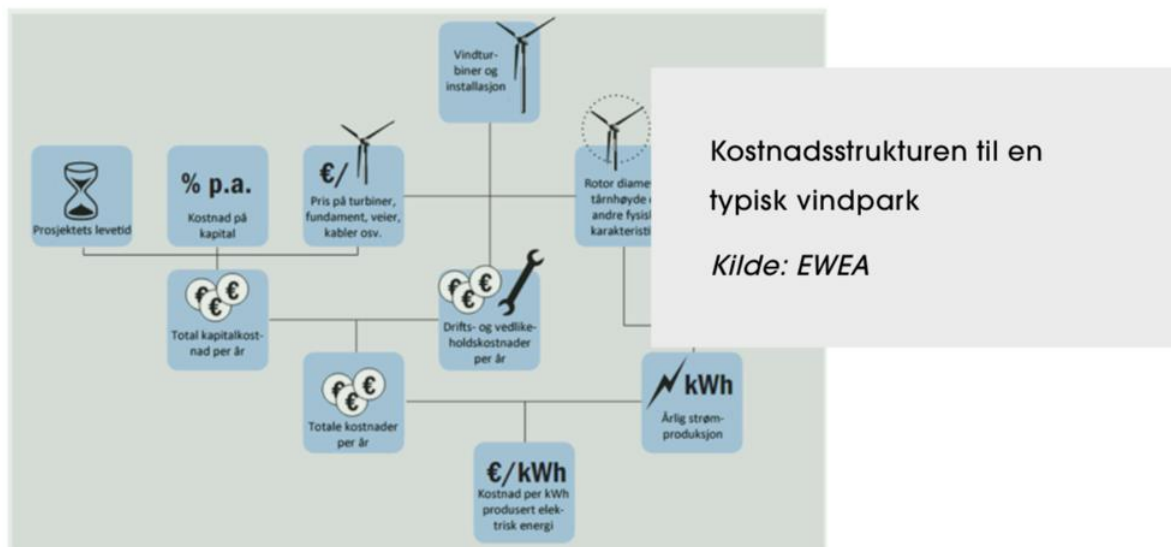
konsulent- og prosjekteringskostnader. Det vil også på å løpe kostnader som, påkoblinger og styrings- og kontrollanlegg, i forbindelse med tilkobling til strømmettet, både innenfor og utenfor selve vindparken.

3.3 Drifts- og vedlikeholdskostnader (OPEX)

Driftskostnadene er de kostnadene som påløper gjennom drift av anlegget. For et vindkraftverk vil dette si de kostnadene som er knyttet til produksjon og distribusjon av strøm. Det er altså utgifter knyttet til å holde turbinene og andre deler av kraftverket i drift. Vedlikeholdskostnadene oppstår i forbindelse med vedlikehold av turbinene, samt å utføre nødvendige reparasjoner (Vindportalen, 2023). Drifts- og vedlikeholdskostnader er en viktig faktor når det gjelder lønnsomheten til et vindkraftverk. Desto høyere drifts- og vedlikeholdskostnader, desto høyere må kraftprisen være for at vindkraftverket skal være lønnsomt. Derfor er det viktig å optimalisere drift og vedlikehold for å minimere kostnadene og maksimere inntektene (Flaa, 2020).

Videre inkluderer drifts- og vedlikeholdskostnader eiendomsskatt som tilfaller vertskommunen hvor vindkraftverket befinner seg (NVE, 2022). Det påløper også en produksjonsavgift på 1 øre per produserte kWh for alle konsesjonspliktige vindkraftverk på land, som betales til staten og fordeles til vertskommunene (NVE, 2022). Disse kostnadene regnes som løpende gjennom vindkraftverkets levetid og faller dermed inn under drifts- og vedlikeholdskostnader.

Beregning av drifts- og vedlikeholdskostnader for vindkraftverk kan være utfordrende på grunn av vindhastighetens påvirkning på produksjonsforholdene. Variabler som ekstremvind og svak vind kan være avgjørende for muligheten til å produsere kraft i det aktuelle området. Gunstige produksjonsforhold kan føre til lavere driftskostnader og utnyttelse av vindressursene vil ikke medføre noen kostnader.



Figur 3: Kostnadsstrukturen til en typisk vindpark

Kostnadsstrukturen til en typisk vindpark. {Bilde}. (u.å).

3.4 Avskrivninger

Vindkraftverk som er anskaffet før 19. juni 2015 skal avskrives etter saldometoden på 20%. Materialene blir delt inn i tre forskjellige grupper, som blir kalt henholdsvis gruppe D, H og G. Her skal gir, rotor og generator avskrives i saldogruppe D, tårn, anlegg og bygninger i saldogruppe H, og transformator og ledninger i saldogruppe G. Dette gir avskrivninger på henholdsvis 20%, 4% og 5% (Skatteetaten, 2018).

I 2015 ble det innført en gunstig avskrivningsregel for vindkraftindustrien med lineære avskrivninger over 5 år. (Skatteloven, 1999, § 14-51; Skatteetaten, 2018). Når avskrivningsperioden er kort, vil nåverdien av skattefradragene bli høyere. Dette er en fordel for eierne av vindkraftverket. Den skattepliktige inntekten er altså prosjektets kontantstrøm, fratrukket de skattemessige avskrivningene:

$$\text{Årlig skattereduksjon (kr)} = \text{Årlig avskrivning (kr)} * \text{Skattesats (\%)}$$

Formel 3: Skattereduksjon som følge av avskrivninger

Vi kan illustrere hvordan denne avskrivningsregelen er gunstig for vindkraft ved å utføre regnestykket. Dersom et vindkraftanlegg med en turbinpris på 1600 MNOK

avskrives over 25 år vil det årlige avskrivningsbeløpet være 64 MNOK. Hvis vi velger en skattesats på 25% vil den årlige skattereduksjonen være 16 MNOK. Nåverdien av skattereduksjonen kan vi finne ved hjelp av følgende formel:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t}$$

n = Antall år

t = År

CF_t = Skattereduksjon i år t

i = Diskonteringsrente

Formel 4: Nåverdi

Ved å velge en diskonteringsrente på 6%, vil nåverdien av skattereduksjonen over 25 år bli 204,53 MNOK.

$$\sum_{t=1}^{25} \frac{16 \text{ MNOK}}{(1+0,06)^t} = 204,53 \text{ MNOK}$$

Det samme prosjektet som ble avskrevet over 5 år vil det årlige beløpet bli på 320MNOK, som igjen gir en skattereduksjon på 80 MNOK. Nåverdien på vil bli da på 336,98MNOK:

$$\sum_{t=1}^5 \frac{80 \text{ MNOK}}{(1+0,06)^t} = 336,98 \text{ MNOK}$$

Denne avskrivningsmetoden viser seg å være mer gunstig på grunn av den kortere avskrivningstiden, noe som resulterer i større skattereduksjon på grunn av høyere avskrivningsbeløp. Dette fører til lavere kostnader, noe som igjen bidrar til økt lønnsomhet. En økt lønnsomhet har en positiv innvirkning på utbyggingen av vindkraft, da det oppmuntrer til videre utvikling og investering i denne energiformen.

3.5 Beskatning

Vindkraft har tidligere hatt liten grad av omfattende skatter eller konsesjonsbaserte inntektsordninger, som for eksempel vannkraft har hatt. Samtidig ble det vedtatt en ny produksjonsavgift som ble innført 1. juli 2022 for vindkraftverk på land. Produksjonsavgiften er ment som en fordel for vertskommunen som åpner opp for utbygging av vindkraftverk. Landbasert vindkraft er underlagt samme skattekrav som annen industri. De som har konsesjon for vindkraftverk må betale en selskapsskatt på 22 prosent til staten og eiendomsskatt til vertskommunene etter kommunale satser, forutsatt at eiendomsskatt er innført i kommunen (NVE, 2022).

Ettersom vindkraft på land tidligere ikke har hatt særskilt høy avkastning har det vært behov for økonomiske støtteordninger for at vindkraftverk skulle bli bygget i Norge. Dette har vært subsidier i form av elsertifikater og gunstige avskrivningsregler som beskrevet ovenfor. De siste årene har teknologien har en sterk utvikling som har bidratt til lavere kostnader (NVE, 2022) Dette har ført til en økning av utbygging av vindkraft de siste årene. Stortinget innførte som følge av økt utbygging en produksjonsavgift på vindkraft på land som var på 1 øre per kilowattime som produseres i 2022, og skal økte til 2 øre per kilowattime i 2023, per dags dato har dette ikke blitt innført enda. Avgiften betales til staten og videreføres til vertskommunene.

3.6 Kalkulasjonsrente

En kalkulasjonsrente er på mange måter det samme som diskonteringsrenten, som representerer den forventede avkastningen på investeringen. Kalkulasjonsrenten er viktig for å beregne fremtidig kostnadsnivå på et vindkraftprosjekt. Det er vanlig å bruke en diskonteringsrente på 8-10% ved beregning av vindkraftverks lønnsomhet. Samtidig kan den faktiske kalkulasjonsrenten variere avhengig av ulike faktorer, for eksempel størrelsen av prosjektet, investeringskostnader, finansieringsstruktur og regulatoriske forhold. Det er vanlig å utføre sensitivitetsanalyser på kalkulasjonsrenten for å evaluere hvordan endringer i

renten kan påvirke prosjektets lønnsomhet og bærekraftighet over tid (NVE, 2021).

WACC står for weighted average cost of capital og representerer et firmas gjennomsnittlige finanskostnad etter skatt (Hargrave, 2022). Formelen for WACC lyder som følger:

$$r_{TK} = W_{EK} * r_{EK} + W_G * r_G * (1 - S_B)$$

Formel 5: WACC (Weighted average cost of capital)

WACC tar hensyn til både gjeldskostnader og egenkapitalkostnader, og vekter dem etter hvor stor andel av den totale kapitalen utgjør. Formålet med beregning av WACC er at man beregner en kostnad som reflekterer det gjennomsnittlige avkastningskravet fra investorene som har bidratt med kapital til prosjektet. I denne sammenheng brukes WACC som kalkulasjonsrente og gir et mål på hvor mye avkastning et vindkraftprosjekt må generere for å være lønnsomt.

Norsk Vind benytter en kalkulasjonsrente på 4,00%, som kan tolkes som det investorene krever for å investere i vindkraftverkene til Norsk Vind. I Norsk Vind sitt tilfelle bidrar investorene med all nødvendig kapital, både til investering i anleggene (CAPEX) og til drift og vedlikehold (OPEX). Som følge av dette har Norsk Vind ansvaret for både utbygging og drift.

Det er verdt å merke seg at kravet om en langsiktig avkastning på kapitalen på 4,00% fra investorene er noe lavere enn det NVE anslår som en gunstig rente. En gunstig kalkulasjonsrente bør ligge på rundt 6% (NVE, 2019, s.28). Årsaken til at kalkulasjonsrenten som Norsk Vind benytter, er mindre enn den som NVE anbefaler, er at investorene ser på investeringene i vindkraftverkene som lite risikofylt. Dermed trenger de ikke et risikotillegg i sine avkastningskrav. Det er verdt å merke seg at dette kan variere fra prosjekt til prosjekt, og at det kan være nødvendig med en høyere kalkulasjonsrente hvis prosjektet er mer risikofylt.

3.7 Havvind

På grunn av mangel på tilstrekkelig og representativt data for havbaserte vindkraftverk i Norge, har vi valgt å benytte generelle tall fra markedet og dette vil det gi oss en indikasjon på lønnsomheten av havbasert vindkraft generelt og hjelpe oss med å besvare forskningsspørsmålet vårt på en objektiv måte.

Generelt sett er investeringskostnadene for havbaserte vindkraftverk høyere enn for landbaserte vindkraftverk, hovedsakelig på grunn av teknologien som brukes og utfordringene med å bygge og vedlikeholde installasjonene i havmiljøet. Ifølge en rapport fra IEA var den globale investeringskostnaden for havbaserte vindkraftverk i 2018 rundt 35 - 45 MNOK per MW installert kapasitet (IEA, 2019 s. 24). Dette varierer naturligvis av prosjektets spesifikke detaljer, og det kan være betydelig variasjoner fra prosjekt til prosjekt. Rapporten fra IEA fastslår at kostnadene for havbasert vindkraftverk har hatt en betydelig nedgang de siste årene. Videre teknologisk utvikling og økt produksjon vil føre til ytterligere reduksjon i kostnadene i fremtiden.

Drifts- og vedlikeholdskostnadene for havbasert vindkraft varierer, og størrelsen på vindturbinene og den spesifikke plasseringen på vindkraftverkene har stor påvirkning på kostnadene. Generelt sett er drifts- og vedlikeholdskostnadene høyere enn for landbasert vindkraft på grunn av utfordrende forhold på havet og de høye kostnadene ved å vedlikeholde samt reparere utstyr på sjøen. Ifølge en rapport fra IEA i 2020, kan gjennomsnittlige drifts- og vedlikeholdskostnader for havbasert vindkraft variere fra ca. 410.880 NOK og 1.072.500 NOK/MW installert kapasitet per år, avhengig av ulike faktorer. Rapporten viser også at kostnadene for drift og vedlikehold har en tendens til å være høyere for mindre vindkraftanlegg og for anlegg som ligger lenger fra kysten (IEA, 2020). Disse kostnaden er også forventet å gå ned i fremtiden, ettersom teknologien modnes og blir mer effektiv.

3.8 Grid praty

Grid parity er et sentralt begrep innenfor fornybar energi, og det indikerer det kritiske punktet der kostnadene for å produsere fornybar energi er sammenlignbare med eller lavere enn kostnadene for konvensjonelle fossile energikilder, uten behov for offentlige subsidier (Dale & Husabø, 2013). Når vindkraft oppnår grid parity, betyr det at teknologien er blitt økonomisk konkurransedyktig med tradisjonelle former for energiproduksjon. Dette er en viktig milepæl som signaliserer at fornybar energi, spesielt vindkraft, er i stand til å levere elektrisitet til markedet på en kostnadseffektiv måte uten behov for økonomiske stimulanser.

4.0 Metode

Jacobsen hevder at målet med forskning er å generere gyldig og pålitelig kunnskap om virkeligheten. Metoden kan betraktes som strategien vi benytter for å oppnå denne kunnskapen, mens undersøkelsens design refererer til planen vi velger for å besvare problemstillingen (Jacobsen, 2015). I vår oppgave har vi valgt å benytte en kvalitativ metode med en komparativ casestudie, som vi skal utføre og presentere i denne delen av oppgaven.

4.1 Komparativ Casestudie

I vår oppgave har vi som formål å bruke data fra fire vindkraftverk eid av Norsk Vind AS til å beregne langsiktig marginalkostnad (LCOE). Dette gjøres med hensikt å sammenligne disse verdiene med LCOE-verdier for havbaserte vindkraftverk. Vi tar i bruk en komparativ casestudie-tilnærming, som innebærer en systematisk sammenligning av enhetene i en avgrenset tids- og romkontekst. Hver enhet, i dette tilfellet vindkraftverkene, blir studert individuelt, men på en liknende måte for å muliggjøre sammenligning av resultatene. Vi er imidlertid bevisste på begrensningene ved en komparativ casestudie, blant annet når det gjelder generalisering av funn til andre kontekster og tolkning av årsakssammenhenger.

4.2 Kvalitativ Metode

I en undersøkelse med kvalitativ tilnærming går en i dybden på noen få enheter, fremfor å se på mange undersøkelsesenheter. Kvalitativ metode refererer til en forskningsmetode som fokuserer på å samle og analysere ikke-kvantifiserbare data, som for eksempel meninger, holdninger og erfaringer (Grønmo, 16. januar 2023). Vi har valgt å bruke denne metoden i vår oppgave for å få innsikt i hvordan ulike interessentgrupper ser på landbasert og havbasert vindkraft, og hvordan de vurderer ulike aspekter ved disse kraftverkene. Dette gir oss en mer dyptgående og kvalitativ tilnærming til vårt forskningsspørsmål.

4.2.1 Generaliserbarhet

Generaliserbarhet i kvalitativ forskning handler om i hvilken grad funnene kan overføres til andre sammenhenger eller populasjoner (Bryman, 2016). Det er vanskeligere å generalisere funnene i kvalitativ forskning enn i kvantitativ forskning, da man fokuserer på en begrenset gruppe eller et begrenset område. Likevel kan funnene gi innsikt og forståelse som kan overføres til lignende situasjoner eller populasjoner. Vi bruker kun fire av 64 eksisterende vindkraftverk i beregningene våre, noe som kan indikere at utvalget ikke er representativt for alle vindkraftverk i Norge. Imidlertid kan kvalitative studier bidra med innsikt og forståelse som kan overføres til lignende situasjoner. Selv om vårt utvalg er begrenset, mener vi at vår forskningsmetode og analytiske tilnærming har gitt oss tilfredsstillende resultater som kan bidra til en bredere forståelse av vindkraftverk generelt. Det er viktig å være oppmerksom på denne kontekstuelle og situasjonsbaserte kunnskapen når man vurderer generaliserbarheten av funnene.

4.2.2 Pålitelighet og Validitet

Kvalitativ forskning kan også vurderes ut ifra validitet og pålitelighet. Validitet handler om i hvilken grad funnene representerer det man ønsker å undersøke, mens pålitelighet handler om hvor pålitelige funnene er og i hvilken grad man kan stole på dem (Bryman, 2016). For å øke validiteten og påliteligheten i vår oppgave har vi valgt å bruke ulike metoder for datainnsamling og dokumentanalyse. Vi har

også gjort grundige analyser av datamaterialet for å sikre at funnene er representative og pålitelige.

4.3 utfordringer og avgrensninger

Selv om vi valgte en metode og tilnærming som er hensiktsmessig for å besvare vårt forskningsspørsmål, er det viktig å være oppmerksom på utfordringer og avgrensninger som kunne påvirke resultatene og tolkningen av funnene.

Avgrensningene knyttet til oppgaven har vi som nevnt valgt kun fire vindkraftverk, samtidig som vi har valgt kun én modell for å se på om landbasert vindkraft er kostnadseffektivt. Dette kan begrense bredden og omfanget av våre konklusjoner og deres relevans for andre tilnærminger og modeller.

Vi har i tillegg begrenset oppgaven ved å fokusere utelukkende på kostnadsaspektet av vindkraftverkene, og ikke ta hensyn til inntektsdelen som omfatter salg av elektrisitet. Dette valget ble gjort fordi Norsk Vind AS genererer inntekter ved å selge prosjektene videre, og derfor ønsket vi å analysere kostnadseffektiviteten grundig for å oppnå nøyaktige resultater.

En av utfordringene ved en komparativ casestudie er begrensningene knyttet til generalisering av funn til andre sammenhenger. Siden vårt utvalg inkluderte fire av Norsk Vind AS sine vindkraftverk, og det er mulig at disse ikke er representative for alle vindkraftverk i Norge. Derfor må resultatene tolkes med forsiktighet når de ble generalisert til andre vindkraftverk eller situasjoner. En annen utfordring var knyttet til tolkning av årsakssammenhenger. Selv om vi kunne identifisere sammenhenger mellom ulike faktorer og variabler i vår studie, er det viktig å være klar over at en komparativ casestudie ikke gir en direkte årsakssammenheng. Det kunne være andre faktorer og variabler som påvirket resultatene som vi ikke har tatt hensyn til i vår studie. Selv om vi har tatt hensyn til disse utfordringene og avgrensningene, er det viktig å være bevisst på dem når vi tolker resultatene og konklusjonene fra vår studie.

4.4 Valg av case

For å kunne regne på LCOE-verdier er vi avhengig av å kunne innhente reelle tall og data for vindkraftverk med gyldig konsesjon. Alle de fire vindkraftverkene vi har valgt å ta utgangspunkt i har fått konsesjon i perioden 2012- 2018. Tallene og dataene er direkte hentet fra Norsk Vind som øker reliabiliteten og validiteten til oppgaven. Vindkraftverkene er valgt ut på bakgrunn av størrelse og årlig produsert kWh. Dette er for å kunne sammenligne hvert enkelt vindkraftverk, men også vindkraftverkene som en enhet.

Vindkraftverkene vi skal undersøke er følgende:

- Egersund vindkraftverk
- Bjerkreim vindkraftverk
- Skinansfjellet & Gravdal vindkraftverk
- Måkaknuten vindkraftverk

4.5 Behandling av datamaterialet

Etter innhenting av alle relevante kostnader og opplysninger skal disse vurderes. For at vindkraftverkene skal kunne sammenlignes og senere aggregeres som en enhet må vi ta hensyn til kvalifikasjoner som antall turbiner, installert effekt, kalkulasjonsrente og levetid, ettersom dette kan påvirke kostnadene til vindkraftverkene. Som vår hovedkilde for informasjon benytter vi oss av primærdata fra Norsk Vind AS. I tillegg supplerer vi våre data med kvalitativ innholdsanalyse, samt offisielle tall og regnskap. Ved å benytte flere kilder og metoder for datainnsamling og analyse, sikrer vi oss et bredt og nøyaktig datagrunnlag å jobbe med.

Ut ifra disse tallene vil det være mulig å vurdere kostnadseffektiviteten til vindkraftverk på land samt sammenligne LCOE-verdier for vindkraftverk på land og til havs. Vi vil også sammenligne disse LCOE-verdiene med andre energiteknologier gjennom å se på når det er mulig for begge teknologiene å oppnå grid parity. Til slutt vil vi utføre en sensitivetsanalyse for å ta hensyn til faktorer som kan påvirke våre LCOE-beregninger. Dette vil gi oss innsikt i hvor følsomme våre svar er for ulike variabler og forhold. Gjennom denne analysen

kan vi vurdere usikkerheter og eventuelle begrensninger i våre beregninger og gi en mer helhetlig vurdering av resultatene.

5.0 Resultat

I denne delen vil vi presentere resultatene av våre beregninger basert på data fra Norsk Vind. Vi har gjennomført utregninger for å analysere fire valgte vindkraftverk. Vi vil først presentere CAPEX og OPEX for hvert av disse vindkraftverkene. Videre vil vi presentere LCOE beregninger for både landbasert- og havbaserte vindkraftverk.

5.1 Investeringskostnader (CAPEX)

CAPEX for alle de fire vindkraftverkene er hentet fra Norsk Vind. I regnskapet er CAPEX ført som en investeringskostnad og vil derfor ikke inngå i de vanlige driftskostnadene. Alle CAPEX- verdiene er hentet i euro. For å konvertere fra euro til norske kroner benytter vi valutakursen 11,42 EUR/NOK, gjeldende per 20. mars

5.1.1 Egersund vindkraftverk

Egersund vindkraftverk er plassert i nærheten av Åseheia og Kolldalsheis i Egersund kommune, om lag fem til åtte kilometer øst for Egersund By (Norsk vind, 2023). Forventet årlig produksjon er 395 GWh, noe som tilsvarer årsforbruket til omtrent 20 000 husstander.

Egersund vindkraftverk har en installert kapasitet på 112 MW og ble bygget i 2018. Vindkraftverket består av 33 turbiner med en kapasitet på 3,4 MW hver. Investeringskostnadene for Egersund vindkraftverk var totalt 1 307,24 MNOK, som inkluderer kostnader for sivil konstruksjon, turbiner, overføringslinje, nettverksforbindelse avtale, kompensasjon til grunneiere, byggestyring og diverse andre kostnader. De største kostnadene var relatert til turbiner med 991,02 MNOK, etterfulgt av sivil konstruksjon med 243,02 MNOK.

Tabell 1: CAPEX størrelser for Egersund Vindkraft

Egersund Vindkraftverk			
Construction period	2018		
Wind farm	Norsk Vind AS		
Licens holder			
Simens SG - 4,3 - 103	3,4		
Number of turbines	33		
Total installed capacity (MW):	112		
Estimated annual yield (GWh):	395		
Euro kurs:	11,42		
CAPEX overview			
	EURO		NOK
Wind turbines	€ 86 779 508	kr	991 021 981
Foundations	€ -	kr	-
Civil work (roads, hardstands, building, etc)	€ 21 279 943	kr	243 016 949
Overhead line/grid connection	€ 2 645 176	kr	30 207 910
Land owner compensation	€ 779 409	kr	8 900 851
CMA	€ 1 700 000	kr	19 414 000
Various	€ 1 286 102	kr	14 687 285
SUM	€ 114 470 138	kr	1 307 248 976

5.1.2 Bjerkreim vindkraftverk

Bjerkreim vindkraftverk er et vindkraftverk som er tilknyttet Bjerkreim vindkraftverk Søndre klynge, som består av to separate vindkraftverk som grenser til hverandre. Vindkraftverkene ligger i Bjerkreim og Hå kommuner og er, via en felles trafostasjon, tilknyttet Bjerkreim Transformatorstasjon (Norsk Vind, 2023). Med en årlig produksjon på over 1 TWh fornybar og ren energi, som tilsvarer strømforbruket til omtrent 60 000 husholdninger, utgjør vindkraftverkene et betydelig bidrag til det grønne skiftet.

Bjerkreim Vindkraftverk alene ble bygget i perioden 2016-2020. Vindkraftverket har en installert kapasitet på 159,1 MW, fordelt på 37 turbiner med en kapasitet på 4,3 MW hver. Det forventes at vindkraftverket vil produsere 559,9 GWh årlig. Basert på CAPEX-oversikten har investeringene i Bjerkreim Vindkraftverk en total kostnad på 1 597,52 MNOK. Dette inkluderer kostnader knyttet til vindturbiner, interne og eksterne nettverk, byggearbeid, konstruksjon, styring og andre kostnader.

Tabell 2: CAPEX størrelser for Bjerkreim vindkraftverk

Bjerkreim Vindkraftverk			
Construction period			2016-2020
Wind farm			Bjerkreim Vind AS
Licens holder			
Simens SG - 4,3 - 103		4,3	
Number of turbines		37	
Total installed capacity (MW):		159,1	
Estimated annual yield (GWh):		559,9	
Euro kurs:		11,42	
CAPEX overview			
		EURO	NOK
Wind turbines	€	110 120 827	kr 1 257 579 844
Foundations	€	-	kr -
Civil work (roads, hardstands, building, etc)	€	15 574 181	kr 177 857 147
Internal grid	€	3 210 926	kr 36 668 775
External grid	€	5 659 839	kr 64 635 361
		Wind farm substation and grid connection	€ 3 465 346 kr 39 574 251
		Grid contribution	€ 2 194 493 kr 25 061 110
Other	€	3 323 160	kr 37 950 487
Construction management	€	1 999 799	kr 22 837 705
			kr -
SUM	€	139 888 733	kr 1 597 529 331

5.1.3 Skinansfjellet & Gravdal

Skinansfjellet & Gravdal Vindkraftverk er også en del av Bjerkreim vindkraftverk Søndre klynge og har en installert kapasitet på 141,9 MW, med 33 turbiner som hver har en kapasitet på 4,3 MW. Det er estimert at vindkraftverket vil produsere 510 GWh per år. Investeringskostnadene, inkludert vindturbiner, sivile arbeider, internt og eksternt elektrisk grid, transformatorstasjon og tilknytningsavgift, kompensasjon til landeiere og konstruksjonsledelse, beløper seg til 1374,66 MNOK.

Tabell 3: CAPEX størrelser for Skinansfjellet & Gravdal vindkraftverk

Skinansfjellet & Gravdal vindkraftverk			
Construction period	2016-2020		
Wind farm	Norsk Vind Skinansfjellet AS		
Licens holder			
Simens SG - 4,3 - 103	4,3		
Number of turbines	33		
Total installed capacity (MW):	141,9		
Estimated annual yield (GWh):	520		
Euro kurs:	11,42		
CAPEX overview			
	EURO		NOK
Wind turbines	€	98 200 793	kr 1 121 453 056
Foundations	€	-	kr -
Civil work (roads, hardstands, building, etc)	€	9 108 965	kr 104 024 380
Internal grid	€	3 240 595	kr 37 007 595
External grid	€	4 967 179	kr 56 725 184
Wind farm substation and grid connection	€	3 010 033	kr 34 374 577
Grid contribution	€	1 957 147	kr 22 350 619
Other	€	3 071 757	kr 35 079 465
Construction management	€	1 783 605	kr 20 368 769
			kr -
SUM	€	120 372 894	kr 1 374 658 449

5.1.4 Måkaknuten vindkraftverk

Måkaknuten vindkraft verk ligger i Bjerkreim og Gjesdal kommuner. Måkaknuten vindkraftverk har en total installert kapasitet på 94,6 MW og består av 22 turbiner. Anlegget ble bygget i 2020 og det forventes at det vil produsere rundt 340 GWh årlig. Ifølge CAPEX-overvåkingen var investeringskostnadene på omtrent 1 005,86 MNOK. De største kostnadene er relatert til vindturbiner, sivilt ingeniørarbeid, og overheadlinjer og nettilkobling. De andre kostnadene inkluderer elektriske arbeidere, andre kostnader samt bygg- og anleggsledelse.

Tabell 4: CAPEX størrelser for Måkaknuten vindkraftverk

Måkaknuten vindkraftverk			
Construction period			2020
Wind farm			
Licens holder			
Simens SG - 4,3 - 103		4,3	
Number of turbines		22	
Total installed capacity (MW):		94,6	
Estimated annual yield (GWh):		340	
Euro kurs:			11,42
CAPEX overview			
	EURO		NOK
Wind turbines	€ 66 707 600	kr	761 800 792
Foundations	€ -	kr	-
Civil work (roads, hardstands, building, etc)	€ 13 273 670	kr	151 585 311
Electrical works	€ 3 210 926	kr	36 668 775
Overhead line/grid connection	€ 5 659 839	kr	64 635 361
Other	€ 2 834 225	kr	32 366 850
SUM	€ 88 078 691	kr	1 005 858 651

5.2 Drifts- og vedlikeholdskostnader (OPEX)

I tabell 5 presenteres de totale drifts- og vedlikeholdskostnadene i de fire vindkraftverkene. Av tabellen fremgår det at driftskostnadene varierer betydelig mellom prosjektene, som tidligere forklart i delkapittel 3.3. Bjerkreim vindkraftverk har gjennomsnittlige driftskostnader på 47 MNOK per år, mens Måkaknuten vindkraftverk har gjennomsnittlige driftskostnader på 30 MNOK per år. Hovedårsaken til dette er antall installerte turbiner og størrelsen på vindkraftverket.

I tabell 5 oppgis den totale årlige produksjonen og den totale installerte effekten av vindkraft, samt faste- og produksjonsavhengige driftskostnader og produksjonsavgifter til staten/kommunen. Tabell 5 demonstrerer hvordan de nylige endringene i beskatningsreglene for vindkraft, som omfatter en dobling av produksjonsavgiften fra 1 øre til 2 øre per kilowattime, i tillegg til innføring av eiendomsskatt til vertskommunen samt grunnrenteskatt og naturressursskatt, har en vesentlig påvirkning på den totale summen av driftskostnadene (Skatteetaten,

2023). For å sikre en nøyaktig LCOE-beregning ekskluderer vi regelverket for 2023, ettersom alle vindkraftverkene vi undersøker allerede er ferdig utbygd og i drift. Derfor presenterer vi de relevante driftskostnadene i det grønne feltet, basert på det tidligere regelverket for produksjonsavgifter.

Tabell 5: OPEX størrelser for de fire vindkraftverkene

	Egersund		Måkaknuten		Bjerkreim		Skinansfjellet og Gravdal	
Antall turbiner	33		22		22		33	
Senvion 3,4 114	3,40 MW		Siemens SG-4.3-130		4,30 MW		Siemens SG-4.3-130	
Tot installert effekt	112,2 MW		94,6 MW		159,1 MW		141,9 MW	
Tot årlig produksjon	395 GWh		340,6 GWh		559,9 GWh		510,0 GWh	
Fast OPEX	10 700 000		7 900 000		12 050 000		10 800 000	
Produksjonsavhengig OPEX	25 500 000		22 400 000		35 000 000		32 000 000	
SUM (NOK)	36 200 000		30 300 000		47 050 000		42 800 000	
De nye reglene:								
Produksjonsavgifter til staten/kommunene	40 000 000		60 000 000		97 500 000		89 000 000	
SUM INKL Avgifter til staten	76 200 000		90 300 000		144 550 000		131 800 000	
Nåværende regler:								
Produksjonsavgifter til staten/kommunene	16 950 000		12 905 600		21 099 000		19 000 000	
SUM INKL Avgifter til staten	53 150 000		43 205 600		68 149 000		61 800 000	

5.3 Levelized cost of energy - Landbasert Vindkraft

Som tidligere nevnt er LCOE den mest brukte metoden for å sammenligne kostnader for ulike typer kraftproduksjon (NVE, 2021). Beregningene av LCOE for de fire respektive vindkraftverkene er gjort ved hjelp av regneark i Excel (se vedlegg 1).

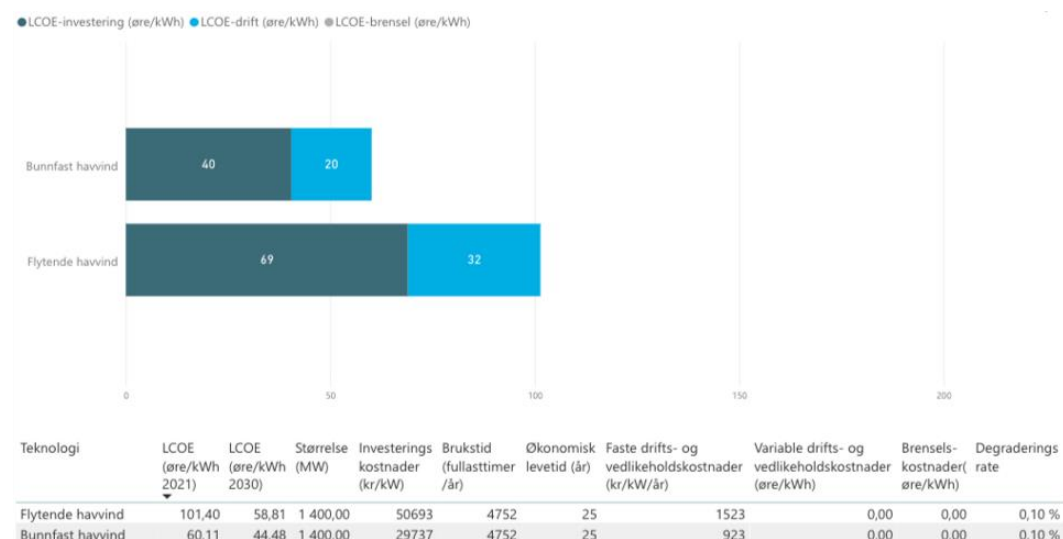
Tabell 6: LCOE beregninger

	Bjerkreim	Egersund	Skinansfjellet & Gravdal	Måkaknuten
Levetid (År)	25,00	25,00	25,00	25,00
Kalkulasjonsrente	4,00 %	4,00 %	4,00 %	4,00 %
Investeringskostnader (MNOK)	1 597,53	1 307,25	1 374,66	1 005,86
Årlig energiproduksjon (GWh)	559,90	395,00	510,00	363,00
Årlige drifts- og vedlikeholdskostnader (MNOK)	68,15	53,15	61,80	43,21
Nåverdi drift og vedlikehold (MNOK)	1 064,64	830,31	965,44	675,03
Nåverdi totale kostnader (MNOK)	2 662,17	2 137,56	2 340,10	1 680,89
Nåverdi energiproduksjon (GWh)	8 746,80	6 170,72	7 967,26	5 670,82
LCOE (MNOK/GWh)	0,30	0,35	0,29	0,30

I disse beregningene har vi brukt de totale investeringskostnadene i stedet for kostnad per MW. Kostnadene er konvertert til MNOK, og kraftproduksjonen måles i GWh. Alle tallene er hentet fra Norsk Vind sine egne rapporter. Levetiden er satt til 25 år, og kalkulasjonsrenten er som nevnt 4%. Nåverdien av de totale kostnadene er beregnet ved å legge sammen de totale investeringskostnadene og nåverdien av drift og vedlikehold over 25 år. Investeringskostnadene skjer i år 1 og skal derfor ikke diskonteres tilbake. Som vist i formel 1 og 2 er LCOE-verdien nåverdien av de totale kostnadene fordelt på nåverdien av anleggets totale kraftproduksjon.

LCOE for vindkraftverkene er angitt som øre per kWh produsert. Avhengig av størrelsen på vindkraftverket og dets geografiske plassering, varierer LCOE-verdiene mellom 29 øre/kWh og 35 øre/kWh. Våre beregnede verdier tilsvarer NVE og IEA sine beregninger for kraftproduksjon, som har en LCOE-verdi for vindkraftverk på land på henholdsvis 29,94 øre/kWh i 2021 og 30,76 øre/kWh i 2020 (IEA & NVE, 2021& 2020).

5.4 Levelized cost of energy - Havbasert vindkraft



Figur 4: LCOE Beregninger for havvind av NVE

Kostnader for kraftproduksjon. {Bilde}. (2021).

I figur 4 presenteres oversiktlige data fra NVE som viser LCOE- verdier for vindkraftverk på havet. Ved hjelp av verktøyet vi har benyttet, kan vi visualisere utvalgte kostnadsdata og få et omtrentlig estimat på LCOE verdier for vindkraftverk på havet. Det er viktig å påpeke at disse verdiene kun er estimater, og at de beregnede verdiene er gjort med utgangspunkt i tall fra Finansdepartementet, SSB, Energirapporten og NVEs langsiktige kraft markedsanalyser (NVE, 2021). Det er stor usikkerhet knyttet til kostnadsbildet for vindkraft på havet. Kostnadsøkninger og volatilitet i råvare- og leverandørmarkedet fanges ikke opp i tallgrunnlaget over.

I verktøyet har vi endret på variabler som kalkulasjonsrenten og levetiden. Kalkulasjonsrenten er satt til 4,00% og levetiden er satt til 25 år. Dette er gjort for å oppnå et best mulig sammenligningsgrunnlag. Vi ser at LCOE for flytende havvind og bunnfast havvind er henholdsvis 69,11 øre/kWh og 101,40 øre/kWh.

6.0 Diskusjon

I denne delen av oppgaven vil vi drøfte og analysere resultatene opp mot vår problemstilling:

Hva er langsiktig marginalkostnad (Levelized of Energy - LCOE) for norske landbaserte vindkraftverk sammenlignet med havbaserte vindkraftverk? Og kan vindkraft på land ansees som en kostnadseffektiv fornybar energikilde?

Hovedmålet vårt er å undersøke om landbasert vindkraft er en kostnadseffektiv fornybar energikilde og se på sammenligningen av langsiktige marginalkostnader (LCOE) for både vindkraft på land og til havs. For å diskutere resultatene, vil vi inkludere en sensitivitetsanalyse for å se på hvordan resultatene våre vil kunne endre seg i fremtiden.

6.1 Generaliserbarhet

Generaliserbarhet sier noe om overføringsverdien og gyldigheten til funnene som har blitt gjort i det gjeldende datamaterialet (Nadim, 2015, s.22). Med andre ord handler det om hvorvidt funnene våre kan generaliseres og vær representative for

andre sammenlignbare situasjoner og populasjoner. I vår oppgave refererer generaliserbarhet til graden av overføringsverdi av våre LCOE-beregninger for de fire vindkraftverkene til andre sammenlignbare vindkraftprosjekter. For å sikre generaliserbarhet og representativitet av våre funn, har vi tatt hensyn til nødvendige forutsetninger og avgrensninger i vår LCOE-beregning, for eksempel valg av diskonteringsrente og levetidskostnader. Dette har resultert i at våre beregnede LCOE-verdier har vist seg å være sammenlignbare med offisielle estimater fra vindkraftmarkedet i Norge, laget av NVE og IEA. I denne sammenheng kan vi konkludere med at tallene våre er gyldige og kan ansees for å være representative for andre vindkraftverk i Norge, per dags dato.

6.2 Sammenligning av landbasert- og havbasert vindkraft

For landbasert vindkraft viser våre beregninger at LCOE-verdiene ligger mellom 29 øre/kWh og 35 øre/kWh, noe som indikerer at det er lave kostnader per enhet energi produsert. Dette stemmer overens med NVE og IEA sine beregninger for kraftproduksjon, som viser til LCOE-verdier på henholdsvis 29,94 øre/kWh i 2021 og 30,76 øre/kWh i 2020. Anslag for vindkraftproduksjon i nasjonal ramme er gitt til 34 øre/kWh (Energi og Natur, 2021).

Lave LCOE-verdier for landbasert vindkraft kan tilskrives flere faktorer. For det første har investeringskostnadene blitt redusert over tid, da teknologien har utviklet seg og blitt mer kostnadseffektiv. For det andre har det vært økt fokus på å forbedre effektiviteten til vindturbinene, noe som har resultert i høyere kraftproduksjon per enhet. Dette betyr at man får mer energi ut av hver vindturbin, noe som bidrar til å senke kostnadene per produsert enhet energi.

Det er likevel viktig å merke seg at landbasert vindkraft ikke er uten utfordringer. En av disse er begrenset tilgjengelighet av passende landarealer som egner seg for vindkraftutbygging. Videre kan det oppstå konflikter med lokale samfunn og interessegrupper knyttet til støy, visuell forstyrrelse eller påvirkning på dyreliv og naturmiljø. Disse utfordringene må tas i betraktning ved utbygging av landbasert vindkraft, selv om kostnadene per enhet energi for denne teknologien forblir relativt lave.

Når det gjelder havbasert vindkraft viser våre beregninger at LCOE-verdiene er betydelig høyere sammenlignet med landbasert vindkraft. Bunnfast havvind har en LCOE-verdi på 69,11 øre/kWh, mens flytende havvind har en enda høyere verdi på 101,40 øre/kWh. Dette skyldes flere faktorer, inkludert betydelig høyere investeringskostnader knyttet til konstruksjon og installasjon av vindturbiner i havmiljø. I tillegg er det utfordrende å oppnå samme kraftproduksjon per enhet som landbasert vindkraft på grunn av mindre tilgjengelig vind og tekniske begrensninger i havet. Følgelig kan vi konkludere med at havvindteknologien står overfor betydelige utfordringer som krever adekvate tiltak for å forbedre dens kostnadseffektivitet.

6.3 Utvikling av havbasert vindkraft

Havbasert vindkraft bærer potensialet til å redusere utslipp av klimagasser og bidra til å bekjempe de skadelige virkningene av klimaendringer. Imidlertid har politikken i Norge for å fremme utviklingen av en havbasert vindkraftindustri vært begrenset og lite omfattende (Dahl, 2022, s. 1). Likevel ser det ut til at denne situasjonen er i ferd med å endre seg, som demonstrert av etableringen av offshore vindparken Hywind Tampen i Nordsjøen. Havbasert vindkraft representerer en av de raskest voksende sektorene innenfor fornybar energi. Med Norges lange kystlinje og omfattende ekspertise innen offshore-industrien, er potensialet for videre utvikling enormt. Imidlertid har det ikke blitt iverksatt aktive tiltak for å utnytte investeringene og skape et fullt implementert hjemmemarked. Samtidig har norske myndigheter i de senere årene identifisert betydelige områder i Nordsjøen og Norskehavet som egner seg for havbasert vindkraft, og de har tildelt konsesjoner for utvikling av prosjekter i disse områdene (Dahl, 2022, s. 2).

Utviklingen av havbasert vindkraft utgjør en sentral del av fremtidens portefølje av fornybare energiteknologier. Havbaserte vindparker representerer en lovende mulighet for å utnytte de sterke og stabile vindforholdene som finnes offshore, samtidig som de begrenser innvirkningen på landlige områder og tilbyr større fleksibilitet for installasjon av flere vindturbiner, som tidligere nevnt. De viktigste

fordelene ved havbasert vindkraft inkluderer de forbedrede og mer pålitelige vindforholdene som finnes offshore sammenlignet med landbaserte områder. Dette bidrar til økt kraftproduksjon og forbedret effektivitet for havbaserte vindturbiner. Videre utgjør redusert motstand fra lokale samfunn og færre begrensninger knyttet til støy og visuelle påvirkninger en vesentlig faktor for havbasert vindkraft, ettersom vindparkene er plassert langt til havs.

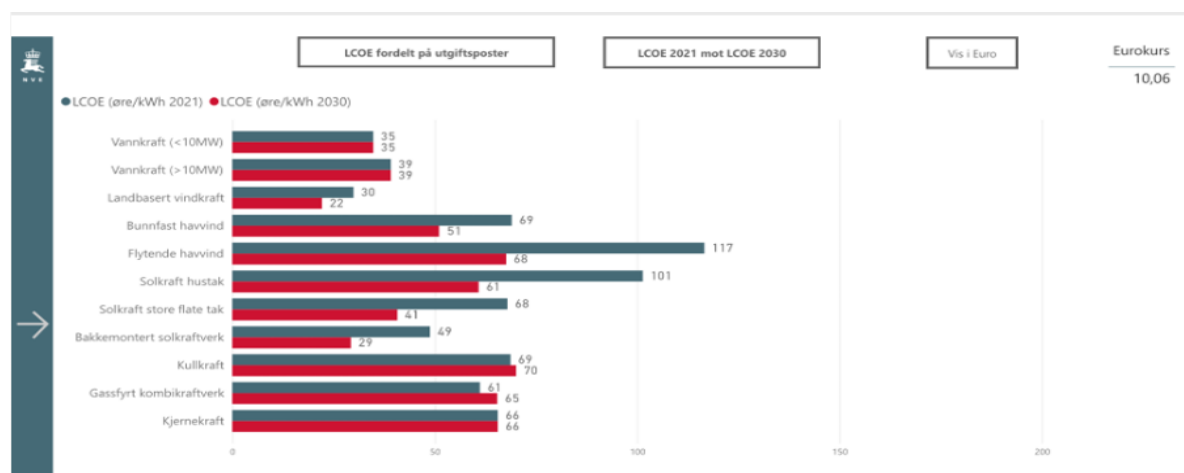
Ambisiøse mål er satt for økt havbasert vindkraftproduksjon og dekarbonisering av energisystemet. Havbasert vindkraft vil spille en betydelig rolle i Norges innsats for å redusere klimautslippene med 55% innen 2030. Med riktig politisk støtte og fortsatt innovasjon har havbasert vindkraft potensial til å være sentral i fremtidens energimiks. Det kan bidra til reduksjon av avhengighet av fossile brensler, redusere klimagassutslipp, skape arbeidsplasser og stimulere økonomisk vekst i kystnære regioner.

På den andre siden rapporterer Equinor med økte kostnader langs verdikjeden for havvind, noe som har skapt utfordringer for selskaper når de skal ta investeringsbeslutninger i havvind (Jordheim & Hovland, 2023). Økningen i kostnader kan tilskrives flere faktorer, inkludert inflasjon, svekkelsen av den norske kronen og prisstigning på turbiner.

Inflasjon og en svak norsk krone påvirker kostnadene for havvindprosjekter. Importerte varer og tjenester, som turbiner, blir dyrere i norske kroner. Prisstigning på turbiner skyldes svake resultater i 2022 (Sommerfeldt, 2023). Det har blitt observert at samtlige turbinleverandører opplevde negative økonomiske resultater, noe som har ført til at turbinprodusent Vestas har tatt initiativet til å øke prisene. Flere turbinprodusenter vil følgelig støtte opp under Vestas beslutning. Derfor er viktig å merke seg at økningen i turbinpriser kan ha innvirkning på kostnadene for havvindprosjekter. Turbiner utgjør en vesentlig andel av investeringskostnadene, og eventuelle prisøkninger kan påvirke prosjektenes økonomiske bærekraft og lønnsomhet. For selskaper som vurderer investeringer i havvindprosjekter, kan dette bety en økt utfordring med å oppnå lønnsomhet uten behov for statlig støtte eller subsidier.

6.4 Grid parity

Grid parity er oppnådd, som tidligere nevnt i delkapittel 3.8, når en teknologi er blitt økonomisk konkurransedyktig med tradisjonelle former for energiproduksjon. Flere faktorer påvirker fremgangen mot å oppnå grid parity for vindkraft i Norge. Teknologiske innovasjoner, økonomisk skalafordeler og gunstige politiske rammebetingelser er alle avgjørende faktorer som kan påvirke tidspunktet for å nå dette målet. Primært har teknologiske fremskritt innen vindkraftindustrien ført til betydelige kostnadsreduksjoner. Forbedret effektivitet og pålitelighet av vindturbiner har resultert i lavere produksjonskostnader. Utviklingen av større turbiner med økt kapasitet og forbedret design har bidratt til økt kraftproduksjon samtidig som kostnadene per enhet er redusert.



Figur 5: LCOE beregninger av alle energikilder i Norge i 2021 og 2030

Kostnader for kraftproduksjon. {Bilde}. (2021).

En analyse av LCOE-beregninger for sammenlignbare teknologier gir innsikt i de mest konkurransedyktige fornybare energikildene som har oppnådd grid parity. Figur 11 viser LCOE-verdier for 2021 og prognostiserte LCOE-verdier for 2030, som gir et klart bilde av situasjonen. Beregningene indikerer at flytende havvind har de høyeste LCOE-verdiene, med 117 øre/kWh i 2021, og kan dermed ikke produsere energi til det kostnadsnivået fossile energikilder gjør. På den annen side ser vi at bunnfast havvind, med en LCOE på 69 øre/kWh i 2021, har oppnådd konkurransedyktige LCOE-verdier sammenlignet med kullkraft, gasskraft og kjernekraft. Likevel er det tydelig, basert på NVEs beregninger, at landbasert vindkraft har oppnådd grid parity og til og med har betydelig lavere LCOE-nivåer

enn fossile energikilder og de fleste andre energikilder. Dette understreker igjen våre antagelser om at landbasert vindkraft er en kostnadseffektiv energikilde.

6.5 Sensitivitetsanalyse

En sensitivitetsanalyse er en analysemetode som brukes for å undersøke hvordan endringer i en eller flere variabler vil påvirke et resultat av en modell eller analyse (Kenton, 2022). I arbeid med en sensitivitetsanalyse kan man undersøke følsomheten til et resultat. Analysen kan gi oss et innblikk i hvilke faktorer som har størst påvirkningskraft til resultatene. I vårt tilfelle blir en sensitivitetsanalyse av avgjørende betydning for å vurdere nøyaktigheten av LCOE-verdiene på lang sikt og identifisere de faktorene som har størst innvirkning på kostnadseffektiviteten til landbasert vindkraft. Primært sett er endringer i investeringskostnader og driftskostnader de mest betydningsfulle faktorene for LOCE- modellen, men også eksterne faktorer kan påvirke på sensitiviteten av resultatene.

Vindressurser

En ekstern faktor som må vurderes i denne analysen er vindressursene. Variasjoner i vindhastighet og vindmønstre kan ha en betydelig innvirkning på energiproduksjonen og lønnsomheten til vindkraftprosjekter. Det er derfor av vesentlig betydning å nøye vurdere hvordan endringer i vindressursene kan påvirke ytelsen til vindkraftproduksjonene. Gjennom sensitivitetsanalyse kan ulike vindscenarier eller variasjoner i vindforholdene vurderes for å bedømme deres påvirkning på prosjektets årlige energiproduksjon. Hvis vindressursene reduseres, vil dette føre til en nedgang i produsert energi og dermed også påvirke de beregnede LCOE-verdiene

Levetid

Levetiden til vindkraftverkene spiller en vesentlig rolle i LCOE-beregningene og kan ha både positive og negative effekter på verdien. På den positive siden kan et lengre levetidsperspektiv for vindkraftverkene bidra til å spre investeringskostnadene over en lengre periode, noe som kan redusere LCOE-

verdiene. Dette skyldes at kostnadene blir fordelt på et større antall produserte energienheter over levetiden til vindkraftverket. På den annen side kan en kortere levetid påvirke LCOE-verdiene negativt. Dersom levetiden til vindkraftverkene er kortere enn forventet, kan investeringskostnadene og driftskostnadene fordeles over færre produserte energienheter, noe som resulterer i høyere LCOE-verdier.

Endringer i kostnader

Kostnadsendringer har en betydelig innvirkning på vindkraftindustrien og kan påvirke kostnader for energiproduksjon (LCOE). Dette ble tydelig demonstrert i løpet av 2022, et år som viste seg å være katastrofalt for flere store vindturbinprodusenter. Som tidligere nevnt rapporterte den danske produsenten Vestas et betydelig underskudd etter skatt på 1,57 milliarder euro, tilsvarende omtrent 17,1 milliarder kroner (Sommerfelt, 2023). Dette indikerer de økonomiske utfordringene som selskapet og bransjen som helhet stod overfor i løpet av 2022. Følgelig er det dermed sannsynlig at prisøkninger på vindturbiner vil ha en innvirkning på LCOE-verdiene i årene som kommer.

Inflasjon og en svak norsk krone kan som tidligere presentert ha påvirkning på LCOE beregninger for vindkraftprosjekter. Når inflasjonen stiger, øker generelt sett kostnadene for materialer, arbeidskraft og driftsutgifter. Dette kan føre til høyere investeringskostnader og driftskostnader for vindkraftverket, noe som igjen kan påvirke LCOE-verdiene negativt. På samme måte kan en svak norsk kronekurs føre til økte kostnader for importerte komponenter og tjenester, da det blir dyrere å kjøpe utenlandsk valuta. Dette kan også bidra til høyere kostnader og dermed økte LCOE-verdier for vindkraftprosjekter.

Det er viktig å også ta hensyn til den andre siden av ligningen når det gjelder kostnadene ved vindkraftverk. Mens det er faktorer som inflasjon og valutakursendringer som kan føre til økte kostnader og påvirke LCOE-verdiene negativt, er det også potensial for kostnadsreduksjoner som kan forbedre LCOE-verdiene. Teknologisk utvikling og innovasjon innen vindkraftindustrien kan bidra til mer effektive og kostnadseffektive løsninger. For eksempel kan

utviklingen av større og mer effektive vindturbiner, forbedret drift og vedlikeholdstekniker og kostnadsbesparelser gjennom skalafordeler bidra til lavere investeringskostnader og driftskostnader. Disse kostnadsreduksjonene kan dermed bidra til å forbedre LCOE-verdiene og gjøre vindkraft mer kostnadseffektiv som en fornybar energikilde.

Politiske faktorer

Skatter og reguleringer fra myndighetene kan ha betydelig innvirkning på LCOE-verdiene for vindkraftprosjekter. En av de viktige faktorene er grunnrenteskatten (effektiv skattesats på 40%), som er en skatt på inntekter fra fornybare energikilder. Denne skatten kan påvirke lønnsomheten til vindkraftprosjekter ved å redusere den økonomiske gevinsten og dermed øke LCOE-verdiene. Det er verdt å merke seg at innføringen av grunnrenteskatten for vindkraftprosjekter var planlagt å tre i kraft i 2023, men det har vært utsettelse og endringer i denne skatteordningen (Regjeringen, 2023). Produksjonsavgiften, som pålegges basert på mengden produsert energi, kan påvirke LCOE-verdiene negativt ved å øke kostnadene for vindkraftprodusenter. Denne avgiften økte fra 1 øre til 2 øre den 1. januar 2023 (Skatteetaten, 2023). Dette vil føre til betydelig økninger i drift- og vedlikeholdskostnadene. Videre skal det innføres naturressursskatt knyttet til arealbruk og naturressursutnyttelse. Naturressursskatten foreslås satt til 1,3 øre/kWh, der 1,1 øre går til kommunene og 0,2 øre går til fylkeskommunene (Regjeringen, 2022). En slik innføring vil også påvirke LCOE-verdiene, avhengig av deres størrelse og implementering.

Utførelsen av selve analysen

Under i tabell 7 har vi gjennomført en sensitivitetsanalyse på Bjerkreim vindkraftverk. Valget om å utføre analysen på Bjerkreim vindkraftverk var basert på våre beregninger som viste at dette vindkraftverket hadde LCOE-verdier som var nærmest NVE sine beregninger for generell landbasert vindkraftproduksjon. I analysen har vi tatt hensyn til tre ulike scenarioer, basert på disse gitte forutsetninger:

1. **Basisscenario:** I basis scenariet vil alle verdiene være middelverdier og dermed være i samsvar med de verdiene som er oppgitt av Norsk Vind AS for det aktuelle vindkraftverket.
2. **Dårlig scenario:** I det dårlige scenariet, har vi tatt hensyn til følgende endringer som fører til en økning i LCOE-verdien:
 - Investeringene øker med 15% på grunn av prisøkning i turbinpriser og inflasjon.
 - Drifts- og vedlikeholdskostnadene øker med 47% på grunn av en ny produksjonsavgift som økte fra 1 øre til 2 øre per kilowatttime.
 - Levetiden forventes å være uendret, da det ikke er noen indikasjon på at den vil reduseres med nåværende teknologi.
 - Årlig energiproduksjon forventes å gå ned med 10% på grunn av dårlige vindressurser.
3. **Godt scenario:** I det gode scenariet forventer vi at LCOE-verdiene reduseres. Vi har tatt hensyn til følgende forutsetninger:
 - Investeringskostnadene og drifts- og vedlikeholdskostnadene reduseres med 5%.
 - Med bedre teknologi forventes levetiden å øke med 5 år, tilsvarende en økning på 20%.
 - Årlig energiproduksjon forventes å øke med 10%.

Tabell 7: Sensitivitetsanalyse for Bjerkreim Vindkraftverk

Sensitivitetsanalyse Bjerkreim Vindkraftverk			
Variabler	Basisscenario	Dårlig scenario	Godt scenario
Investeringskostnadene (MNOK/MW)	1 597,53	1837,16 (+15%)	1517,65 (- 5%)
Drift - og vedlikeholdskostnad (NOK/kWK)	68,15	144,56 (+47 %)	61,34 (-5%)
Levetid (År)	25,00	25,00	30 (+20%)
Kalkulasjonsrente	4,00 %	4,00 %	4,00 %
Årlig energiproduksjon (GWh)	559,90	503,91 (-10%)	615,89 (+10%)
Nåverdi drift og vedlikehold (MNOK)	1 064,64	2 258,33	1 060,69
Nåverdi totale kostnader (MNOK)	2 662,17	4 095,49	2 578,34
Nåverdi energiproduksjon (GWh)	8 746,80	7 872,12	10 649,99
LCOE (MNOK/ GWh)	0,30	0,52	0,24

Resultatene av beregningene for LCOE-verdiene i både det dårlige og gode scenariet kan observeres i tabell 7, med henholdsvis 52 øre/kWh og 24 øre/kWh. I disse scenariene har vi gjennomført endringer i alle variablene, noe som resulterte i betydelige endringer i LCOE-verdiene. For å undersøke effekten av hver variabel separat, har vi presentert resultatene i tabell 8, der vi endret en variabel fra basisscenarioet om gangen og analyserte utfallet av hver påvirkning.

Tabell 8: Sensitivitetsanalyse ved endring av en og en variabel

	Dårlig Scenario	Godt scenario
LCOE (Endring Investeringkostnader)	0,332	0,295
LCOE (Endring D&V - kostnader)	0,441	0,292
LCOE (Endring Levetid)	0,300	0,287
LCOE (Endring Årlig energiproduksjon)	0,338	0,277

Tabell 8 viser at i det dårlige scenariet er det endringen i drifts- og vedlikeholdskostnadene som har den mest betydningsfulle innvirkningen på LCOE-verdien. En økning i disse kostnadene fører til en økning i LCOE-verdien. På den annen side, i det gode scenariet, er det endringen i årlig energiproduksjon som har størst påvirkning på LCOE-verdien. En økning i årlig energiproduksjon fører til en reduksjon i LCOE-verdien. Dette indikerer at variabelen som har størst betydning for LCOE-verdien kan variere avhengig av scenarioet og hvilken faktor som er i fokus.

7.0 Konklusjon

I denne oppgaven har vi utforsket kostnadseffektiviteten av landbasert vindkraft som en fornybar energikilde og sammenlignet den med havbasert vindkraft. Ved å beregne og analysere LCOE-verdiene for fire norske vindkraftverk og vurdere ulike aspekter av kostnadseffektiviteten, har vi kunnet trekke konklusjoner. Basert på vår grundige analyse kan vi konkludere at landbasert vindkraft, per dags dato, utgjør en kostnadseffektiv kilde for fornybar energi. Våre funn viser tydelig at LCOE-verdiene for landbasert vindkraft er betydelig lavere enn for havbasert vindkraft og samtlige andre energikilder. I tillegg oppnår landbasert vindkraft grid parity som også understreker den økonomiske fordelene ved å velge landbaserte vindkraftprosjekter fremfor havbaserte alternativer.

Våre funn er i samsvar med tidligere forskning som viser at landbasert vindkraft har lavere LCOE-verdier enn havbasert vindkraft, hovedsakelig grunnet lavere investerings- og driftskostnader. Denne kostnadsfordelen skyldes lavere kapitalkostnader, økt produksjonseffektivitet og teknologisk utvikling. For å sikre en bærekraftig energifremtid er det avgjørende å fortsette å investere i og utvikle landbasert vindkraftsektor.

I tillegg til kostnadseffektivitet er det avgjørende å vurdere andre aspekter knyttet til vindkraft som energikilde, inkludert miljøpåvirkning, etikk og samfunnsmessige faktorer. Disse aspektene spiller en viktig rolle i beslutningen om å implementere vindkraftverk og må håndteres nøye for å minimere eventuelle negative konsekvenser. Selv om landbasert vindkraft er en kostnadseffektiv energikilde, er det ikke nødvendigvis det mest optimale valget i enhver situasjon. En helhetlig tilnærming som tar hensyn til økonomiske, miljømessige og sosiale faktorer, vil være avgjørende for å sikre en bærekraftig og vellykket integrering av landbasert vindkraft i energisystemet.

Det er viktig å merke seg at vår konklusjon er basert på dagens kunnskap og forutsetninger. Som vist i sensitivitetsanalysen vil endringer i teknologi, politikk,

markedsforhold og kostnader påvirke LCOE-verdiene og kostnadseffektiviteten til vindkraft i fremtiden. Følgelig er det derfor nødvendig med kontinuerlig overvåking, forskning og tilpasning for å sikre at landbasert vindkraft forblir en konkurransedyktig og bærekraftig energikilde på lang sikt.

Til slutt kan vi konkludere med at havbasert vindkraft har et betydelig potensial når det gjelder å bidra til å oppnå fremtidens klimamål. På nåværende tidspunkt er det imidlertid ikke like kostnadseffektivt som landbasert vindkraft og andre energikilder.

8.0 Referanser

Bryman, A. (2016). *Social research methods*. Oxford University Press.

Dale, A & Husabø, Leif. (Våren 2013). *Økonomiske utsikter for norsk landbasert vindkraft/ En analyse av norske vindkraftverks langsiktige marginalkostnad (Levelized Cost Of Energy- LCOE) og konkurransevne i dag og frem mot 2030*. (Bacheloroppgave). Norges Handelshøyskole (NHH), Bergen.

Dahl, I.R.; Tveiten, B.W.; Cowan, E. The Case for Policy in Developing Offshore Wind: Lessons from Norway. *Energies* **2022**, *15*, 1569. Hentet fra: <https://doi.org/10.3390/en15041569>

ECON Analyse. (2018). Nytte-kostnadsanalyse av vindkraftprosjekter i Norge (Report No. 2018-023). Hentet fra https://www.norskvindenergi.org/wp-content/uploads/2018/12/NVE_Nytte-kostnadsanalyse-av-vindkraftprosjekter-i-Norge_ECON_Analyse_2018.pdf

Energi Norge. (u.å.). Energi Norge Bransjestatistikk 2021: Fakta og tall om fornybar energi i Norge. Hentet fra: https://www.fornybarnorge.no/contentassets/14940b60888e47e98af41fab67129f7d/energi_norge_bar21_master_lowres_oppslag.pdf

Equinor. (u.å.). Hywind Tampen. Hentet fra: <https://www.equinor.com/no/energi/hywind-tampen>

Flaa, S.(Våren 2020). *Kostnadsutviklingen knyttet til vindkraft* (Bacheloroppgave). Høgskolen på Vestlandet (HVL), Bergen.

Fornybar Norge.(2023). Vindkraft på land. Hentet fra: <https://www.fornybarnorge.no>

Grønmo, S. (2023, 16.januar). Kvantitativ metode. *I Store norske leksikon*. Hentet fra: https://snl.no/kvantitativ_metode

Grønmo. (2020, 14.mai). Case-studie. *I Store norske leksikon*. Hentet fra <https://snl.no/case-studie>

Hargrave, M. (2022). Weighted average cost of capital (WACC) Explained with formula and example. *Investopedia*. Hentet fra: <https://www.investopedia.com/terms/w/wacc.asp#toc-what-is-weighted-average-cost-of-capital-wacc>

Hofstad, K.(2023, 25. januar).Vindkraftverk. *Store Norske Leksikon*
Hentet fra: <https://snl.no/vindkraftverk>

Hovland, K., Jordheim, H. (2023, 22.mai). Equinor utsetter havvindprosjektet Trollvind. Hentet fra: <https://e24.no/energi-og-klima/i/15w64e/equinor-utsetter-havvindprosjektet-trollvind>

International Energy Agency. (2019). Offshore Wind Outlook 2019. Hentet fra: https://iea.blob.core.windows.net/assets/495ab264-4ddf-4b68-b9c0-514295ff40a7/Offshore_Wind_Outlook_2019.pdf

International Energy Agency. (2020). Renewables 2020: Analysis and forecast to 2025: Wind. Henter fra: <https://www.iea.org/reports/renewables-2020/wind>

International Renewable Energy Agency. (2019). Renewable Power Generation Costs in 2018. Hentet fra: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/IRENA_Renewable-Power-Generations-Costs-in-2018.pdf?rev=7a3b6ab611bd41ab9ec399d2e70ea31

International Energy Agency.(2020). Projected Costs of Generating Electricity 2020. Hentet fra: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ae17da3d-e8a5-4163-a3ec-2e6fb0b5677d/Projected-Costs-of-Generating-Electricity-2020.pdf>

International Renewable Energy Agency.(2020). Renewable power generation costs in 2019. Hentet fra: <https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn->

endpoint.azureedge.net/-

[/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/May/IRENA_Cost_of_financing_renewable_power_2023.pdf?rev=6b95edc23fa5468190745975681a71cc](https://media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/May/IRENA_Cost_of_financing_renewable_power_2023.pdf?rev=6b95edc23fa5468190745975681a71cc)

International Energy Agency.(2020, 9.desember). Interactive table of LCOE estimates from Projected Costs of Generating Electricity 2020. Hentet fra <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/levelised-cost-of-electricity-calculator>

International Energy Agency. (2022, 3. september). Wind Electricity. Hentet fra: <https://www.iea.org/reports/wind-electricity>

Jacobsen, D. I. (2015). *Hvordan gjennomføre undersøkelser?: Innføring i samfunnsvitenskapelig metode* (3. utgave). Oslo: Cappelen Damm akademisk.

Kenton, W. (2021, 24. Mai). Sensitivity analysis definition. *Investopedia*. Hentet fra: <https://www.investopedia.com/terms/s/sensitivityanalysis.asp>

Kostnader for kraftproduksjon. {Bilde}.(2021). Hentet fra: <https://www.nve.no/energi/analyser-og-statistikk/kostnader-for-kraftproduksjon/>

Melteig, E. (11. april. 2023) Hvordan frakte strøm fra vindmøller langt til havs på en billig måte? *Universitetet i Oslo*. Hentet fra: <https://www.titan.uio.no/energi-og-miljo/2023/hvordan-frakte-strom-fra-vindmoller-til-havs-billig-mate.html>

Miljødirektoratet. (u.å.). Vindkraft. Hentet fra: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/fornybar-energi/vindkraft/>

Norges vassdrag- og energidirektorat. (2023, 17.mars). Konesjonsbehandling av vindkraftverk på land. Hentet fra: <https://www.nve.no/konesjon/konesjonsbehandling-og-oppfoelging-av-vindkraft-paa-land/konesjonsbehandling-av-vindkraftverk-paa-land/>

Norges vassdrags- og energidirektorat. (2019). *Kostnader for kraftproduksjon*. NVE. Hentet fra: <https://www.nve.no/energi/analyser-og-statistikk/kostnader-for-kraftproduksjon/>

Norges vassdrags- og energidirektorat. (2021,18. August). *Produksjonsrapporter, kostnader og vindressurser*. NVE. Hentet fra: <https://www.nve.no/energi/energisystem/vindkraft/produksjonsrapporter-kostnader-og-vindressurser/>

Norges vassdrags- og energidirektorat. (2019). *Nasjonal ramme for vindkraft*. (Rapport -12-2019). NVE. Hentet fra: https://publikasjoner.nve.no/rapport/2019/rapport2019_12.pdf

Norges vassdrags- og energidirektorat. (2022, 27.juni). *Skatt*. Hentet fra: <https://www.nve.no/energi/energisystem/vindkraft/kunnskapsgrunnlag-om-virkninger-av-vindkraft-paa-land/skatt/>

Norsk Vind.(2022). Bjerkreim vindkraftverk søndre klynge. Hentet fra: <https://www.vindenergi.no/project/berkreim-vindpark>

Norsk Vind. (2022). Egersund vindkraftverk. Hentet fra: <https://www.vindenergi.no/project/egersund-vindpark>

Norges vassdrags- og energidirektorat. (2023, 21. April). *Data for utbygde vindkraftverk i Norge*. Hentet fra: <https://www.nve.no/energi/energisystem/vindkraft/data-for-utbygde-vindkraftverk-i-norge/>

Nadim. (2015). Generalisering og bruken av analytiske kategorier i kvalitativ forskning/Generalizations and the use of analytical categories in qualitative research. Sosiologisk tidsskrift, 3, 129.

Norsk havvind AS.(2023).*Perspektiv for havvind i Norge*. Hentet fra <https://norskhavvind.no/perspektiv/>

Norges vassdrag- og energidirektorat. (2019). Klimadeklarasjon for fysisk levert strøm i 2019. Hentet fra:

https://www.nve.no/media/10314/sammensetning_netts_endelig.png

Ommedal, H. K. (2015). *Cost of flexibility in the future European power system*. (Masteroppgave). Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), Trondheim.

Regjeringen. (2019-2020). *Meld. St 28 (2019-2020). Dagens konsesjonssystem*.

Hentet fra: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-28-20192020/id2714775/?ch=3>

Regjeringen. (2022, 20. desember) *Spørsmål og svar om vindkraft*. Hentet fra:

<https://www.regjeringen.no/no/tema/energi/landingssider/havvind/sporsmal-og-svar-om-vindkraft-til-havs/id2910617/?expand=factbox2910633>

Regjeringen. (2022, 20. september). *Revidert fornybardirektiv*. Hentet fra:

<https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2022/sep/revidert-fornybardirektiv/id2929288/>

Regjeringen. (2021, 14. oktober). *Elsertifikatorordningen*. Hentet fra:

<https://www.regjeringen.no/no/tema/energi/fornybar-energi/elsertifikater/id2075998/>

Regjeringen. (2023, 11.mai). Utsatt iverksettelse for grunnrenteskatt på vindkraft.

Hentet fra:

<https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/utsatt-iverksettelse-for-grunnrenteskatt-pa-vindkraft/id2976309/>

Regjeringen.(2010). *Havvind: forslag til utredningsområder*.

https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/oed/rapporter/havvind_ver02.pdf

Rosvold, K (2023, 25. januar) Havvindpark. *I Store norske leksikon*. Hentet fra:

<https://snl.no/havvindpark>

Skatteloven. (1999). Lov om skatt av formue og inntekt. (LOV-1999-03-26-14). Hentet fra <https://lovdata.no/lov/1999-03-26-14>

Stortinget. (2021, 23. april). *Ny klimalov og oppjusterte klimamål*. Hentet fra: <https://www.stortinget.no/no/Hva-skjer-pa-Stortinget/EU-EOS-informasjon/EU-EOS-nytt/2021/eueos-nytt-23.-april-2021/ny-klimalov-og-oppjusterte-klimamal/>
Statistisk sentralbyrå. (2021, 19. januar). *Vindkraften fortsetter å stige*. Hentet fra: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/vindkraften-fortsetter-a-stige>

Statistisk sentralbyrå. (2021, 19. januar). *Rekordhøye investeringer i 2019*. Hentet fra: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/rekordhoye-vindkraftinvesteringer-i-2019>

Skonhøft, A.(2021). Vind- og Vannkraft: Lønnsomhet og beskatning. Hentet fra: https://energiognatur.no/wp-content/uploads/2021/07/kp5_5_4_energinatur_Vind-og-vannkraft_Lonnsomhet-og-beskatning.pdf

Stavseth, M. (2020). Sensitivitetsanalyser - hvor robust er resultatet?. *Tidsskrift for den norske lægeforening*. DOI; [10.4045/tidsskr.20.0099](https://doi.org/10.4045/tidsskr.20.0099)

Skatteetaten. (2022). Avgift på landbasert vindkraft. Hentet fra: <https://www.skatteetaten.no/bedrift-og-organisasjon/avgifter/saravgifter/om/vindkraft/>

Sommerfelt, H. (12. februar 2023) Blodrødt i grønn vindkraft?. *Finansavisen*. <https://www.finansavisen.no/makro/2023/02/12/7984861/blodrodt-i-gronn-vindkraft?fbclid=IwAR0atgYZzrFr15PjIZoxdx1AlNXTAIGTzqdBWGoZDuQmjzSGwmFlfn1USmU>

Thrane, C. (2018). *Kvantitativ metode: en praktisk tilnærming*. (1. utg.) Cappelen Damm akademisk.

Vindkraftproduksjon i netto nullutslipp i 2030. {Bilde}. (2020). Hentet fra: <https://www.iea.org/reports/wind-electricity>

Vindportalen (2023) *Økonomi og vindkraft*. Hentet fra:

<https://vindportalen.no/oekonomi>

Vindportalen.(2022).Hentet fra: <https://vindportalen.no/>

Vindportalen. (2022). Politiske vedtak. Hentet fra: <https://vindportalen.no/politisk>

Weir, D & Østenby, A. (Mars 2019). *Teknologianalyse 2018 kostnadseffektiv vindkraft*. Hentet fra:

https://publikasjoner.nve.no/faktaark/2019/faktaark2019_03.pdf

9.0 Vedlegg

Vedlegg 1: Beregning av LCOE i regneark

1								
2								
3								
4								
5	Levetid (År)	Bjerkreim	Egersund					Måkeknuten
6	Kalkulasjonsrente	0,04	0,04					25
7	Investeringskostnader (MNOK)	1597,53	1397,25					0,04
8	Årlig energiproduksjon (GWh)	559,9	395					1374,66
9	Årlige drift- og vedlikeholdskostnader (MNOK)	68,15	53,15					51,0
10	Årlige drift- og vedlikeholdskostnader (MNOK)							61,8
11	Nåverdi drift og vedlikehold (MNOK)							
12	Nåverdi totale kostnader (MNOK)							
13	Nåverdi totalt korrigert (MNOK)							
14	Nåverdi energiproduksjon (GWh)							
15								
16	LCOE (MNOK/GWh)							

Vedlegg 2: Beregningene av driftsresultater i regneark

	Egersund		Måskauten		Bjørkeim		Skinnfjellet og Grøvdal	
	Antall turbiner	33	Antall turbiner	22	Antall turbiner	37	Antall turbiner	33
	Siemens 3.4.114	3,4	Siemens SG-4.3-130	4,3	Siemens SG-4.3-130	4,3	Siemens SG-4.3-130	4,3
	Tot installert effekt	112,2	Tot installert effekt	=H4*H5	Tot installert effekt	159,1	Tot installert effekt	141,9
	Tot årlig produksjon	395	Tot årlig produksjon	=H6*3600/1000	Tot årlig produksjon	559,9	Tot årlig produksjon	510
Fast OPEX		=10700*1000		=7900*1000		12050000		10800000
Produksjonsavhengig OPEX		=25500*1000		=22400*1000		35000000		=32000*1000
SUM (NOK)		=SUMMER(D19:D11)		=SUMMER(G19:G11)		=SUMMER(I19:I11)		=SUMMER(M19:M11)
De nye reglene:								
Produksjonsavgifter til staten/kommunene		40000000		60000000		97500000		89000000
SUM INKL Avgifter til staten		=D12+D16		=G12+G16		=I12+I16		=M12+M16
Nåværende regler:								
Produksjonsavgifter til staten/kommunene		=E7*1000000*0,01+13000000		=H7*1000000*0,01+9500000		=K7*1000000*0,01+15500000		=N7*1000000*0,01+13900000
SUM INKL Avgifter til staten		=D12+D19		=G12+G19		=I12+I19		=M12+M19

Vedlegg 3: Beregninger av sensitivitet i regneark

Variabler	Sensitivitetsanalyse Bjørkeim Vindkraftverk			
	Basisscenario	Dårlig scenario	Godt scenario	
Investeringskostnadene (MNOK/MW)	=E13		1837,16 (-15%)	1517,65 (-5%)
Drift- og vedlikeholdskostnad (NOK/ÅWK)	=E15		144,56 (+47%)	61,34 (-5%)
Levetid (År)	=25		20 (-20%)	30 (+20%)
Kalkulasjonsrente	=E12	=F12		=G12
Årlig energiproduksjon (GWh)	=E14		503,91 (-10%)	615,89 (+10%)
Nåverdi drift og vedlikehold (MNOK)	=NÅVERD(E29:E28,E27)*-1	=NÅVERD(4%;20;144,56)*-1		=NÅVERD(G29;30;61,34)*-1
Nåverdi totale kostnader (MNOK)	=E32+E26	=F32+1837,16		=G32+1517,65
Nåverdi energiproduksjon (GWh)	=NÅVERD(E29:E28,E30)*-1	=NÅVERD(4%;20;503,91)*-1		=NÅVERD(4%;30;615,89)*-1
LCOE (MNOK/GWh)	=E33/E34	=F33/F34		=G33/G34