



Bacheloroppgave

PET600 Petroleumslogistikk

ØKL600 Bærekraftig logistikk

(Bærekraftig analyse av energikilder)

Ørjan Reve, Georg H. Ness

Totalt antall sider inkludert forsiden: 60

Molde, 19.mai.2022



Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring

Den enkelte student er selv ansvarlig for å sette seg inn i hva som er lovlige hjelpemidler, retningslinjer for bruk av disse og regler om kildebruk. Erklæringen skal bevisstgjøre studentene på deres ansvar og hvilke konsekvenser fusk kan medføre. Manglende erklæring fritar ikke studentene fra sitt ansvar.

Du/dere fyller ut erklæringen ved å klikke i ruten til høyre for den enkelte del 1-6:		
1.	Jeg/vi erklærer herved at min/vår besvarelse er mitt/vårt eget arbeid, og at jeg/vi ikke har brukt andre kilder eller har mottatt annen hjelp enn det som er nevnt i besvarelsen.	<input checked="" type="checkbox"/>
2.	Jeg/vi erklærer videre at denne besvarelsen: <ul style="list-style-type: none">• ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/høgskole innenlands eller utenlands.• ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt.• ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt.• har alle referansene oppgitt i litteraturlisten.• ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse.	<input checked="" type="checkbox"/>
3.	Jeg/vi er kjent med at brudd på ovennevnte er å <u>betrakte som fusk</u> og kan medføre annullering av eksamen og utestengelse fra universiteter og høgskoler i Norge, jf. Universitets- og høgskoleloven §§4-7 og 4-8 og Forskrift om eksamen §§16 og 36.	<input checked="" type="checkbox"/>
4.	Jeg/vi er kjent med at alle innleverte oppgaver kan bli plagiatkontrollert, jf. høgskolens regler og konsekvenser for fusk og plagiat	<input checked="" type="checkbox"/>
5.	Jeg/vi er kjent med at høgskolen vil behandle alle saker hvor det forligger mistanke om fusk etter høgskolens retningslinjer for behandling av saker om fusk	<input checked="" type="checkbox"/>
6.	Jeg/vi har satt oss inn i regler og retningslinjer i bruk av kilder og referanser på biblioteket sine nettsider	<input checked="" type="checkbox"/>

Personvern

Personopplysningsloven

Forskningsprosjekt som innebærer behandling av personopplysninger iht.

Personopplysningsloven skal meldes til Norsk senter for forskningsdata, NSD, for vurdering.

Har oppgaven vært vurdert av NSD?

ja nei

- Hvis ja:

Referansenummer:

- Hvis nei:

Jeg/vi erklærer at oppgaven ikke omfattes av Personopplysningsloven:

Helseforskningsloven

Dersom prosjektet faller inn under Helseforskningsloven, skal det også søkes om forhåndsgodkjenning fra Regionale komiteer for medisinsk og helsefaglig forskningsetikk, REK, i din region.

Har oppgaven vært til behandling hos REK?

ja nei

- Hvis ja:

Referansenummer:

Publiseringsavtale

Studiepoeng: 15

Veileder: Morten Svindland

Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven

Forfatter(ne) har opphavsrett til oppgaven. Det betyr blant annet enerett til å gjøre verket tilgjengelig for allmennheten (Åndsverkloven. §2).

Alle oppgaver som fyller kriteriene vil bli registrert og publisert i Brage HiM med forfatter(ne)s godkjenning.

Oppgaver som er unntatt offentlighet eller båndlagt vil ikke bli publisert.

Jeg/vi gir herved Høgskolen i Molde en vederlagsfri rett til å gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering:

ja nei

Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)?

ja nei

(Båndleggingsavtale må fylles ut)

- Hvis ja:

Kan oppgaven publiseres når båndleggingsperioden er over?

ja nei

Dato:

Antall ord: 13311

Forord

Denne oppgaven er skrevet som en siste del av bachelorgraden vår i bærekraftiglogistikk og sirkulærøkonomi/petroleumslogistikk og økonomi og ble utarbeidet våren 2022.

Oppgaven går under faget ØKL 600 og PET 600 som teller 15 studiepoeng. Studiet har blitt gjennomført ved høgskolesenteret i Kristiansund, som er en underavdeling til høgskolen i Molde (Vitenskapelig Høgskole i Logistikk). Temaet for oppgaven er Energikilder og bærekraft, hvor vi tatt utgangspunkt i faget ØKL 400 bærekraftig energi. Referansestilen som er benyttet i denne oppgaven er *Chicago Author-Date(17th)*. Planlegging og utarbeidelse av oppgaven er utført av Ørjan Reve og Georg Ness.

De 3 involverte partene i oppgaven:

- Høgskolen i Molde
- Veileder - Morten Svindland
- Studentene: Ørjan Reve, Georg H. Ness

Vi ønsker å takke vår veileder Morten Svindland som har bidratt med gode ideer og konstruktive tilbakemeldinger underveis.

Høgskolen i Molde (HiM)

HiM, vitenskapelig høgskole innen logistikk, er en av Norges fremste utdanningsinstitusjoner innen logistikk, og er til dags dato den eneste tilbyder av doktorgradsutdanning innen logistikk. Høgskolen har mer enn 2500 studenter, hovedsakelig ved campus Molde, men også ved avdeling Kristiansund. HiM består av tre avdelinger: Avd. for logistikk, avd. for helse- og sosialfag, og avd. for økonomi og samfunnsvitenskap.

Sammendrag

Bacheloroppgaven tar for seg energimarkedet, hvilke energiproduksjon systemer som blir brukt i dag og hvilke satsinger som kan bør bli gjort ut i fra et bærekraftig perspektiv. Det er fokusert mest på den økonomiske og miljømessige dimensjonen av bærekraft.

Opgaven er delt opp i fire deler, den første delen er en litteraturgjennomgang, den andre delen beskriver metode, den tredje delen presenterer resultat og diskusjon og den fjerde delen inneholder en konklusjon.

Første delen av oppgaven litteraturgjennomgangen, er en oversikt over tidligere forskning som er blitt gjort på de forskjellige energiproduksjon systemene. De vi valgte å fokusere på var vannkraft, vindkraft (både på land og til havs), solkraft (både kommersielt og industrielt), kjernekraft, olje og naturgass.

Den andre delen gjennomgår metode, og hvordan vi har samlet inn informasjon til oppgaven. Metode delen presenterer forskningsspørsmålet: *Hvilke energikilder bør vi fremover satse på ut i fra miljømessig og økonomisk bærekraft?*

I den tredje delen av rapporten utføres en utslipp analyse (Life cycle analysis) og kostnads analyse (Levelized cost of electricity) for å skape et utgangspunkt for energikildenes miljømessige og økonomiske bærekraft. Videre diskuteres energikildenes positive sider, før den tredje delen avsluttes med en anbefaling til fremtidig satsning

De viktigste funnene som kom frem i analysedelen var at man ikke bør foreta en felles satsing på et enkelt energiproduksjonssystem, men heller en variert satsing på flere. Det som bestemmer hvilke energiproduksjonssystem et område skal satse på, vil variere ut i fra hvilket energibehov området har, hvilken type klima og geografiske forutsetninger som er tilstede. Utfordringen for de fleste fornybare energikilder er at ikke er regulerbare, vi kom derfor frem til at vannkraft som kan styre produksjon gjennom vannmagasin, er kostnadseffektivt og har lite utslipp, vil være det beste hoved alternativet i områder med gode forutsetninger. Mens en kombinasjon av vindkraft, solkraft og kjernekraft vil være det beste i områder uten.

Opgaven avsluttes med en konklusjon som oppsummerer funnene våre, som igjen ble brukt videre til å besvare problemstillingen.

Innhold

Antall ord: 13311	5
1 Innledning	1
2 Litteraturgjennomgang	3
2.1 Bærekraft	3
2.1.1 Miljømessig bærekraft	3
2.1.2 Økonomisk bærekraft	3
2.1.3 Sosial bærekraft	4
2.1.4 FNs bærekraftsmål	4
2.2 Energikilder	6
2.2.1 Vannkraft	7
2.2.2 Vindkraft	9
2.2.3 Solkraft	10
2.2.4 Kjernekraft	11
2.2.5 Olje	12
2.2.6 Naturgass	13
2.3 CO ₂ håndtering	14
2.3.1 Fangst	14
2.3.2 Transport	14
2.3.3 Lagring	14
3 Metode	16
3.1 Forskningsspørsmål	16
3.2 Forskningsdesign	17
3.3 Data	18
3.4 Kvalitetskriterier for forskingsspørsmål	18
4 Analyse og diskusjon	21
4.1 Miljømessig bærekraft	21
4.1.1 Utslipp	21
4.1.2 Måleenhet	23
4.1.3 Utslipp tabell	24
4.2 Økonomisk bærekraft	27
4.2.1 Fasekostnader	27
4.2.1.2 Operasjon og vedlikeholdskostnader	27
4.2.2 Måleenhet	28

4.2.3	Kostnadsberegning (LCOE).....	28
4.2.4	Studie	29
4.3	Sammenligning.....	32
4.3.1	Olje.....	34
4.3.2	Naturgass.....	35
4.3.3	Solkraft.....	36
4.3.4	Kjernekraft	37
4.3.5	Vindkraft	39
4.3.6	Vannkraft.....	41
4.4	Anbefalinger for fremtidig satsning	42
4.5	ØKL 400.....	43
5	Konklusjon.....	44
6	Referanseliste.....	46

Figurliste

Figur 1: FNs bærekraftsmål	4
Figur 2: Kraftproduksjon i et vannkraftverk – enkelt illustrert	8
Figur 3: Kraftproduksjon i en vindturbin- enkelt illustrert	9
Figur 4: Kraftproduksjon i solkraft- enkelt illustrert	10
Figur 5: Kraftproduksjon i et Kjernekraftverk- enkelt illustrert	11
Figur 6: Kraftproduksjon i et oljekraftverk-enkelt illustrert	12
Figur 7: Kraftproduksjon i et gasskraftverk-enkelt illustrert	13
Figur 8: Drivhusgassberegning(GHG emissions)	23
Figur 9: Kostnadsberegning(LCOE)	29

Tabelliste

Tabell 1: Utslipp fra utvalgte strømforsyningsteknologier, oppgitt i gCO ₂ eq/kWh	25
Tabell 2: Utslipp fra et oljekraftverk	26
Tabell 3: Økonomisk bærekraft - Kostnad (US\$) per Strømenhet (MWh)	30
Tabell 4: Sammenligning av miljømessig og økonomisk bærekraft – rangert	32

Diagramliste

Diagram 1: Sammenligning av utslipp fra utvalgte strømforsyning teknologier	26
Diagram 2: Sammenligning av livssyklus kostnader fra utvalgte strømforsyning teknologier	31
Diagram 3: Sammenligning av utslipp og kostnader fra utvalgte strømforsyningsteknologier, liggende stolpediagram	33
Diagram 4: Sammenligning av utslipp og kostnader fra utvalgte strømforsyningsteknologier, punktdiagram	33

1 Innledning

Denne bacheloroppgaven omhandler energimarkedet og hvilke satsinger som bør bli gjennomført ut i fra et bærekraftig perspektiv. Vi har valgt å fokusere på den miljømessige og økonomiske dimensjonen av begrepet bærekraft.

Energimarkedet er et råvaremarked som spesifikt omhandler handel og forsyning av energi. Begrepet energimarkedet blir normalt brukt om det strømmarkedet, men refererer også til andre energiformer. Det finnes en rekke ulike energikilder. Vi har fossile energikilder som kullkraft, olje og gass. Fornybare energikilder som vannkraft, solkraft, vindkraft, bølgekraft, tidevannskraft, biobrensel og geotermisk energi. alternative strømkilder som fjernvarme og kjernekraft.

Vinteren 2021/2022 vil bli husket som en periode med mye usikkerhet, konflikt og høye råvarepriser som også inkluderte olje, gass og strøm. For Norge, som er en stor aktør i energimarkedet har disse høye prisene gitt stor økonomisk uttelling. Ferske tall fra statistisk sentralbyrå for året 2021 viser en rekordhøy eksportverdi for olje, gass og strøm på henholdsvis 349,6 milliarder, 475,8 milliarder og 4 milliarder (SSB 2022). Året 2022 ser ut til å bli enda bedre, så langt i 2022 har vi hatt det tredje største handelsoverskuddet i Norsk historie (Rolsdorph og Huså 2022).

Selv om Norge tjener disse enorme summene på fossilt brensel, ser Regjeringen at på lang sikt vil ikke en enkelt satsing på denne typen energikilde være bærekraftig. Det ble derfor lagt fram en stortingsmelding av regjeringen (St. 36 (2020–2021)) for hvordan Norge skal benytte seg energiressursene til å skape vekst og arbeidsplasser, gjennom modernisering av olje og gassnæringen for mindre utslipp, forbedring av strømmettet og satsning/videreutvikling av fornybare energinæring (Brigham og Moses 2021).

Det globale markedet for fornybar energi hadde en verdi på 692,8 milliarder dollar i 2020. Dette representerer en sammensatt årlig vekstrate på 8,9% fra 2016 til 2020 (Businesswire 2021). Den 12. desember 2015 kom alle nasjonene i FN sammen og signerte det som er kjent som Paris-avtalen. Den sa at nasjonene innenfor FN må jobbe sammen for at den gjennomsnittlige temperaturen ikke skal stige mer enn 2 grader, helst ikke mer enn 1,5

grader før århundret er over (FN 2020). Ut i fra denne konferansen ble det utarbeidet diverse bærekraftsmål og flere av disse målene er relevante for vår tematikk.

Norge er den største vannkraftprodusenten i Europa. Statkraft har 346 vannkraftverk fordelt utover landet. De produserer til sammen totalt 55,7 TWh. I januar 2022 sto vannkraft for 87,4% av den totale strømproduksjonen i Norge (Statkraft 2021). Vannkraft er energikilde som er fleksibel/regulerbar og stabil. Vannet kan lagres i magasiner når det er overskudd av energi og kan bli brukt når det er et behov for elektrisitet.

Norges geografi og satsing på fornybar energi, spesielt vannkraft, har gjort at Norge i normale år uten tørke, er selvforsynt med fornybar energi og produserer med overskudd. På 60 tallet kom tanken på at man kunne profitere på dette overskuddet, og dette førte til en utvikling av strømmettet knyttet til utlandet, først gjennom kraftlinjer til nærliggende land som Sverige og Russland, og i senere år gjennom utenlandskabler under havet som mottar og leverer strøm til land som Storbritannia, Danmark, Tyskland og Nederland. Utenlandskablene og nye avtaler med EU lot Norge levere strøm til en veldig mye større del av det europeiske markedet. I 2021 hadde Statnett ca 4 milliarder i inntekt på utenlandskablene.

Vi skal i denne bacheloroppgaven se på energikildene som produserer elektrisiteten med et bærekraftig perspektiv. Vi vil derfor i neste kapittel ta en litteraturgjennomgang av essensielle tema som bærekraft, de forskjellige energikildene og CO₂ håndtering.

2 Litteraturgjennomgang

2.1 Bærekraft

Bærekraft knyttes ofte sammen med bærekraftig utvikling, vi har derfor valgt å benytte oss av den offisielle FN definisjonen som ble etablert i Brundtland-rapporten i 1987:

«Bærekraft er utviklingen i samfunnet som imøtekommer dagens behov uten å ødelegge mulighetene for at kommende generasjoner skal få dekket sine behov» (Brundtland 1987)

Videre fra denne definisjonen har FN valgt å benytte seg av John Elkington's 3 deling/*triple bottom line*: Miljømessig bærekraft, Økonomisk bærekraft og Sosial bærekraft (Elkington 1999).

2.1.1 Miljømessig bærekraft

Verden står i en økende grad overfor en menneskeskapt klimakrise, først og fremst grunnet klimagassutslipp fra forbrenning av kull, olje og gass – men også gjennom en redusering av CO₂ opptakene i elementer som skog, planter og alger. Vi mennesker (spesielt i mindre utviklede land) er utrolig avhengige av naturen rundt oss og ressursene den kan gi.

Miljømessig bærekraft dimensjonen går ut på at man skal bruke jordas ressurser på en ansvarlig måte, slik at forbruket vårt i dag ikke skal ha katastrofale følger for generasjonene som kommer etter oss (NHO 2020).

2.1.2 Økonomisk bærekraft

De siste 50 årene har verden gått gjennom en globalisering som en følge av digitalisering og utvikling innen kommunikasjon, transport og teknologi. Globaliseringen har ført til at avstandene har blitt 'mindre' og verden er mer knyttet sammen enn noen gang. For den gjennomsnittlige bedriften har dette betydd at de har gått fra å produsere produktet lokalt samt selge det i nærliggende områder, til at man kan sette produksjon til et land med billigere arbeidskraft og enklere og billigere kan selge produktet globalt. Globalisering har gitt bedrifter mange valg gjennom et større marked og økt mulighet til outsourcing, men det har også gitt flere konkurrenter og mistillit hos enkelte kunder rundt produksjon i utlandet (Passaris 2006). Økonomisk bærekraft handler om å ta disse valgene på en måte som gir økonomisk vekst og sikkerhet, uten å gå på bekostning av fremtidig økonomisk utvikling (Elkington 1999).

2.1.3 Sosial bærekraft

Selv om det har blitt gjort mye arbeid i verden for å bekjempe ulikheter og fattigdom, har vi fortsatt sett en økning (spesielt gjennom corona) i sosiale forskjeller mellom mennesker (Lindseth 2020). Skal vi få det bedre som et samfunn må utvikling gjennomføres, samtidig som disse forskjellene reduseres. Med sosial bærekraft menes det at vi skal jobbe for at mennesker, uansett bakgrunn skal leve et liv med trygghet uten diskriminering, tilgang til helsetjenester og mulighet til utdanning (Elkington 1999).

2.1.4 FNs bærekraftsmål



*Figur 1: FNs Bærekraftsmål
(Kunnskapsdepartementet 2022)*

I 2015 publiserte FN et sett med 17 bærekraftsmål med hensikt å støtte kampen for å utrydde fattigdom, minske ulikhet i samfunnet og minimere klimaendringene. FN-målene består av et stort antall delmål og målsetninger som er fokusert rundt handlinger som kan gi oss et mer bærekraftig samfunn. Bærekraftsmålenes formål er å rette fokus mot det globale samspillet mellom sosiale-, økonomiske og miljømessige forhold i verden (FN sambandet 2022).

Som tidligere nevnt, har vi i denne oppgaven valgt å fokusere på den miljømessige og økonomiske delen av bærekraft. Flere av bærekraftsmålene går under disse kategoriene, men de vi ser på som mest relevant for oppgaven er:

Mål 7 (Ren energi for alle)

Fornybare energikilder blir bare billigere, sikrere og mer effektive for hver dag som går. Den nåværende avhengigheten av fossilt drivstoff er ikke bærekraftig for miljøet eller energibrukere fram i tid. Vi må derfor endre energifordelingen vår over til en situasjon hvor energien vi produserer og bruker kommer fra en fornybar og ren kilde (FN sambandet 2022).

Mål 8 (Anstendig arbeid og økonomisk vekst)

Økonomisk vekst bør være en positiv faktor for hele planeten. Vi bør derfor passe på at finansiell progresjon skaper gode og utfyllende jobber, samtidig som vi ikke skader miljøet. Vi må beskytte arbeidsrettigheter og sette en stopper for moderne slavedrift og barnarbeid. Promoterer vi jobbskaping, samtidig som vi øker tilgangen til bank og finansielle tjenester internasjonalt, kan vi sikre oss for at alle får fordelene fra entreprenørskap og innovasjon (FN sambandet 2022)

Mål 12 (Ansvarlig forbruk og produksjon)

Planetens vår supplementerer oss med store mengder av naturlige ressurser. Men vi benytter dem ikke på en ansvarlig måte, forbruker vi ressursene våre i det tempoet vi gjør nå vil planeten gå tom. Vi må lære å bruke og produsere på en bærekraftig måte som kan reversere skadene vi har påført planeten (FN sambandet 2022)

Mål 13 (Stoppe klimaendringene)

Klimaendringene er en reell trussel for oss som sivilisasjon. Effektene er allerede synlige og kan bli katastrofale om vi ikke gjør tiltak. Gjennom utdanning, innovasjon og relatering opp mot klimaforpliktelser, kan vi gjøre nødvendige endringer for å bevare planeten. Disse endringene er en stor mulighet til å modernisere infrastruktur, som kan skape nye jobber og promotere økt velstand over hele kloden (FN sambandet 2022).

2.2 Energikilder

Fornybare energikilder utnyttes oftere, men fossile brensler står fortsatt for store deler av verdens strømproduksjon. Det finnes flere metoder å produsere strøm på, men mekanismen er ofte veldig lik: «Man varmer opp vann til damp ved forbrenning eller atomspalting, og varmen brukes til å setter fart på en turbin. Turbinen får i sin tur fart på en generator som begynner å produsere strøm. Dette kalles et kondenskraftverk» (Lunde 2019). Hvilken type strømkilde man kan benytte seg av kommer an på hvor man befinner seg geografisk, hvilke naturressurser som er tilgjengelige og hva slags politiske beslutninger som blir gjort i området.

2.2.1 Vannkraft

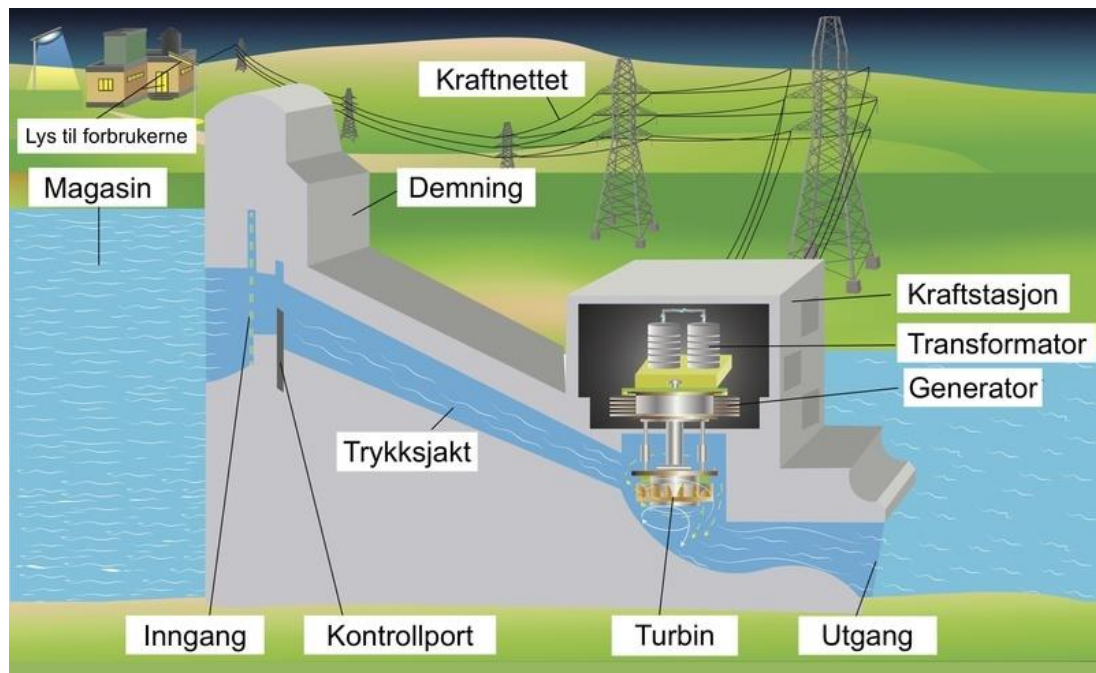
I Norge er vannkraft den viktigste energikilden, hvor vi har variert topografi med mange høydeforskjeller, noe som gjør det optimalt å drive med vannkraft. I tillegg er det mulig å konstruere høydeforskjeller som er større og gir vannet enda høyere bevegelsesenergi. En type konstruksjon som kan bidra til akkurat dette er et damanlegg. Vannkraft blir regnet som en av de reneste strømkildene. Vannkraftverk pleier å være satt opp med en turbin settes i en elv, og det rennende vannet i elven får fart på turbinen som igjen setter en generator i bevegelse som produserer elektrisitet. I Norge skjer vanligvis produksjonen i tilknytning til elver. Som oftest setter man opp kraftstasjonene i et vassdrag (system av isbreer, bekker, innsjøer og elver innenfor et nedbørsområde). På denne måten får man utnyttet energien i vannet flere ganger på vei ned elveløpet. Det som gjør vannkraft gunstig er at det er en regulerbar energikilde, Dette betyr at vi kan bestemme når strøm skal produseres. Vannets potensielle energi lagres i «batterier» i form av vannmagasiner bak demninger i daler over kraftverket, slik at man kan produsere etter behovet til forbrukerne (Mjønerud 2019)

Som tidligere nevnt har vannkraft vært en utrolig viktig energisatsning i Norge, og står for 90% av landets elektrisitetsproduksjonen. Faktorer som har gjort Norges vannkraft satsning så vellykket er altså:

- Vannkraft er basert på vann en fornybarkilde, vann regner/snør i høye områder, renner ned gjennom flere turbiner/anlegg i elver og bekker til innsjøer/hav, fordamper og blir til skyer som igjen regner ned i høyden.
- Vannkraft er et ganske enkelt konsept man setter en turbin i en elv, den store bevegelsesenergien i elven får turbinen til å rotere, generator i tilknytning til turbinen produserer elektrisitet. Systemet er i virkeligheten mer komplekst – med damanlegg, rør og sjakter/tuneller, men det er likevel relativt rimelig å bygge.
- Norge har utrolig gode forutsetninger for elektrisitets produksjon av vannkraft. Landmassen har i gjennomsnitt en høyde på ca 400 meter over havnivå. Dette skaper stillingsenergi i nedbør som kommer ned. I tillegg er det gjennomsnittlig store mengder nedbør hvert år. Et årsnedbør på mellom 1000-3000 millimeter er ikke uvanlig i kystområder. Ser vi spesielt på Vestlandet, er terrenget svært bratt, noe som fører til store fallhøyder også ved kortere strekninger. Alle faktorer som tillater Norge å utnytte vannkraft svært effektivt på en stor skala er til stede.

- Vannkraft er en fleksibel og stabil energikilde. I perioder med overskudd kan vannet lagres i magasiner til perioder hvor elektrisitetsproduksjon normalt er lav men forbruket er høyt. Vannkraft kan også effektivt regulere produksjon, i velregulerte reservoarer kan man starte og stoppe produksjon i løpet en time eller over et mer langsiktig perspektiv som flere dager eller en sesong. Disse faktorene gjør at vannkraft har en sikkerhet/forutsigbarhet i produksjonen som mange andre fornybare energikilder ikke har.

Figur 2: Kraftproduksjon i et vannkraftverk – enkelt illustrert



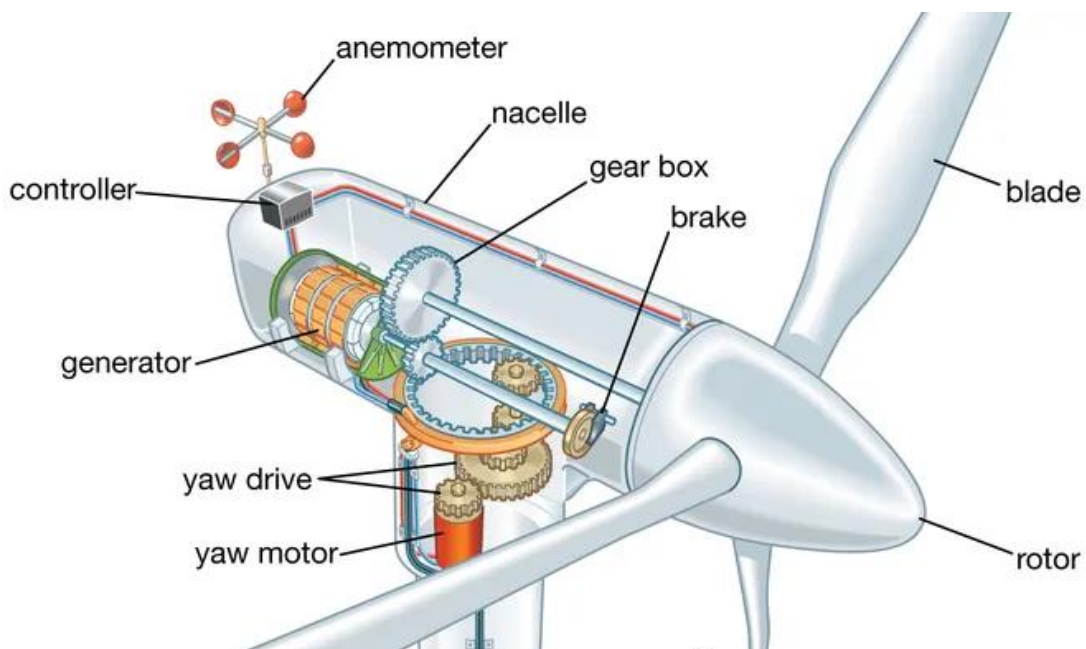
(Mjønerud 2019)

2.2.2 Vindkraft

Vindenergi er noe som har blitt benyttet siden tidenes morgen. Allerede for 3000 år siden seilte mennesker lange avstander ved hjelp av vindenergi. I gamle dager ble vindmøller hovedsakelig brukt til maling av korn derav navnet vindmølle. Vindmøller har også blitt brukt mye til vannpumping. I senere tid har vindmøller for det meste blitt brukt til elektrisitetsproduksjon. Fordelen med vindkraft er at vind finnes så og si overalt.

Elektrisitetsproduksjon fra en vindmølle skjer når vind presser møllens vinger rundt slik at stillingsenergien i turbinen går over til bevegelsesenergi, bevegelsesenergien får en skive i turbinen til å rotere. Bak turbinskiven sitter en generator som omdanner deler av bevegelsesenergien til elektriskenergi (Statskraft 2022)

Figur 3: Kraftproduksjon i en vindturbin- enkelt illustrert



(Britanica 2022)

2.2.3 Solkraft

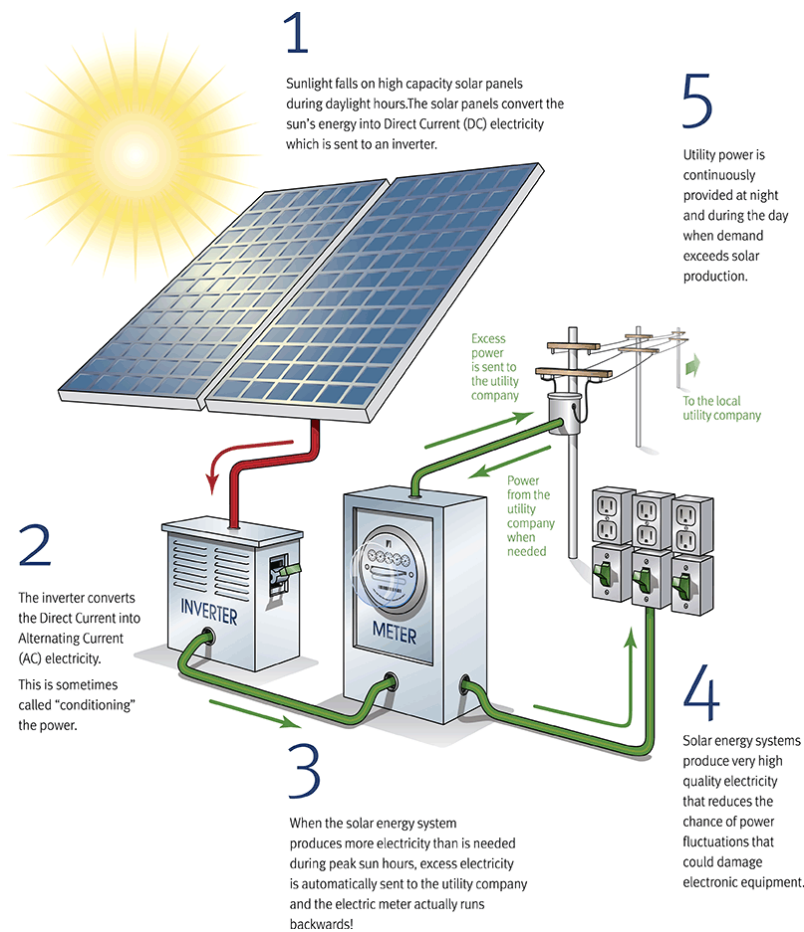
Solen er en utrolig sterk ressurs som vi har her på jorden. Teoretisk sett har solenergi potensialet til å tilfredsstille energibehovet til hele verden, hvis teknologien for å generere og forsyne energien hadde vært lett tilgjengelig.

Solenergi kan utnyttes på flere forskjellige måter. Solenergi blir regnet som en av hovedløsningene for å kunne dekke en fremtidig etterspørsel av energi.

Det fysiske fenomenet som omdanner lys direkte til elektrisk energi kalles den fotovoltaiske effekt. Dette ble først observert i 1839 av fransk fysiker Edmund Becquerel. De første solcellene ble laget rundt starten på 1900-tallet, disse hadde en virkningsgrad på 1-2% (Norges forskningsråd 1996). I senere tid har vi klart å øke virkningsgraden betraktelig. Virkningsgraden for dagens silisiumsolceller er teoretisk 28 prosent, i praksis mellom 15 og 24 prosent (Mæhlum 2020).

Utnyttelsen av solenergi kan gi en bærekraftig løsning til mennesker i fremtiden.

Figur 4: kraftproduksjon i solkraft- enkelt illustrert

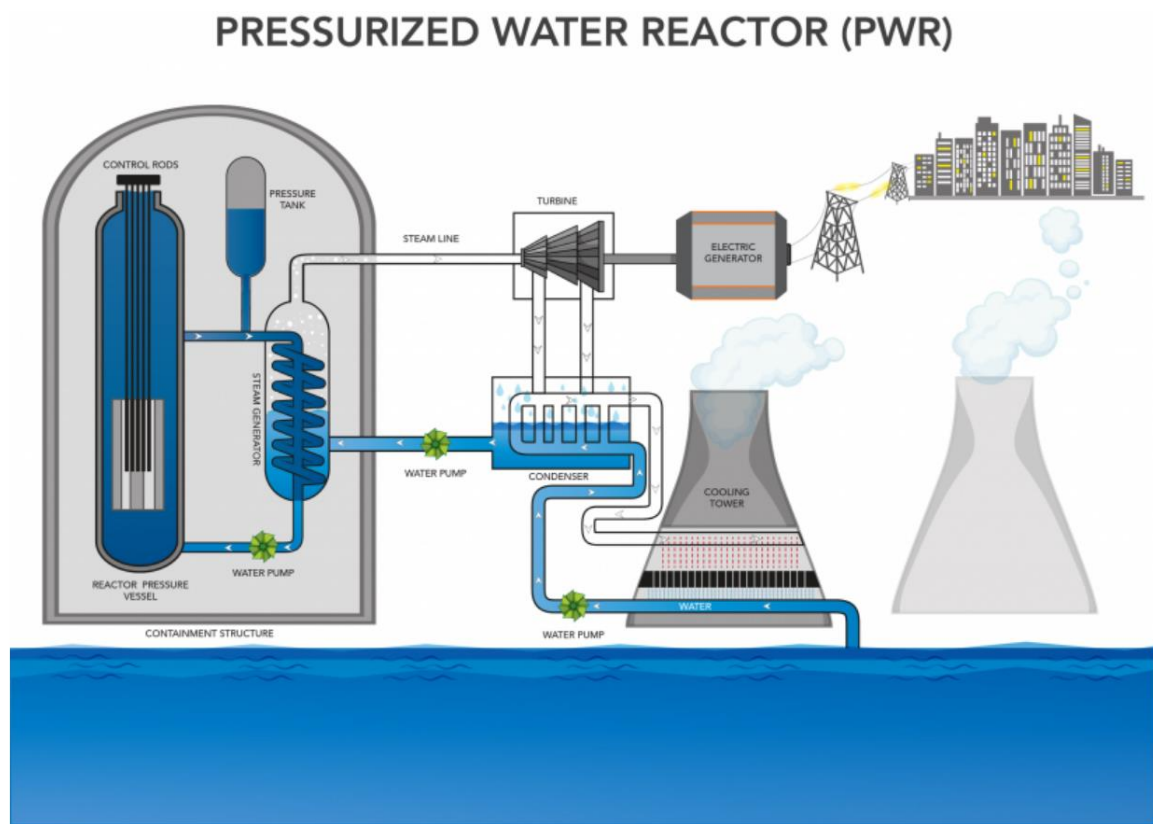


(Solarcraft 2022)

2.2.4 Kjernekraft

Et kjernekraftverk består av én eller flere atomreaktorer. En kjernekraftreaktor bruker varmen som produseres ved spalting av atomkjerener til å generere damp for å drive en turbin. Det produseres ingen klimagasser i fisjonsprosessen, og det produseres svært små mengder gjennom hele livssyklusen. Kjernekraft er en miljøvennlig form for elektrisitetsproduksjon, og bidrar ikke til luftforurensning. Kjernekraftverk er, i likhet med fossildrevne kraftverk, svært pålitelige. De kan kjøre i mange måneder uten avbrekk, gi store mengder ren elektrisitet, uavhengig av tid på døgnet, været eller årstiden. De fleste kjernekraftverk kan operere i minst 60 år, og dette bidrar til å gjøre kjernekraft i de fleste sammenhenger vil bli det rimeligste alternativet sammenlignet med andre måter å produsere elektrisitet. Kjernebrensel kan brukes i en reaktor i flere år. Det mest vanlige kjernebrenselet er uran, som inneholder enorme mengde energi. Kraften fra ett kilo uran er omtrent det samme som ett tonn kull. Som et resultat genereres det en tilsvarende liten mengde avfall (Energy.gov 2021).

Figur 5: Kraftproduksjon i et kjernekraftverk- enkelt illustrert



(Energy.gov 2021)

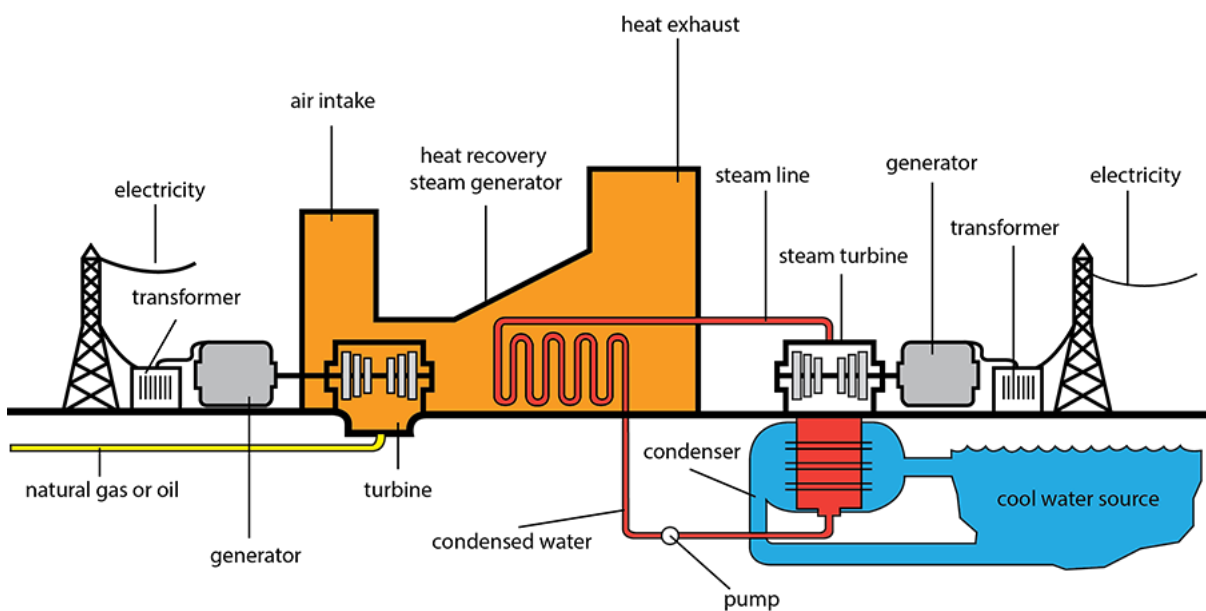
2.2.5 Olje

Olje var i 2021 den mest brukte energikilden i verden (Jackson 2021).

Olje benyttes også for å skape strøm som de andre energikildene, men det som skiller olje fra de andre energikildene er den enorme mengden brukt i forbrenningsmotorer for drift av biler, båter, fly og andre transportmidler/maskiner.

Olje er et fossilt brensel på lik linje som naturgass og kull. Måten de fossile brensle oppstod på, er at for mange millioner år siden ble store mengder rester fra døde dyr og planter forseglet med et ekstremt trykk uten luft, over lang tid førte disse forholdene til at en omdanningsprosess som endret selve strukturen i restene, noe som ga oss olje, gass og kull (Hofstad og Rosvold 2022) Siden omdanningsprosessen tar millioner av år regnes ikke olje som en fornybar energikilde. Råolje blir ikke brukt i noe stor skala knyttet til energiproduksjon, men en av fordelene med olje er at det kan raffineres. Når råoljen raffineres kokes det til gass som igjen ved forskjellige temperaturer gir produkter som bensin, diesel, parafin, tungolje og koks. Produksjon av kraft skjer normalt ved at olje i form av bensin eller diesel blir blandet med luft om til gass, som videre blir ført inn i en sylinder for å bli presset og antent. Når gassen blir antent skaper det et trykk som presser et sett stempelet ned, når stempelet kommer opp igjen vil reststoffene bli presset ut og gi plass til en ny blanding, kobles stemplene opp til en generator vil det skapes elektrisitet (Fordal og Skille 2020).

Figur 6: Kraftproduksjon i et oljekraftverk-enkelt illustrert



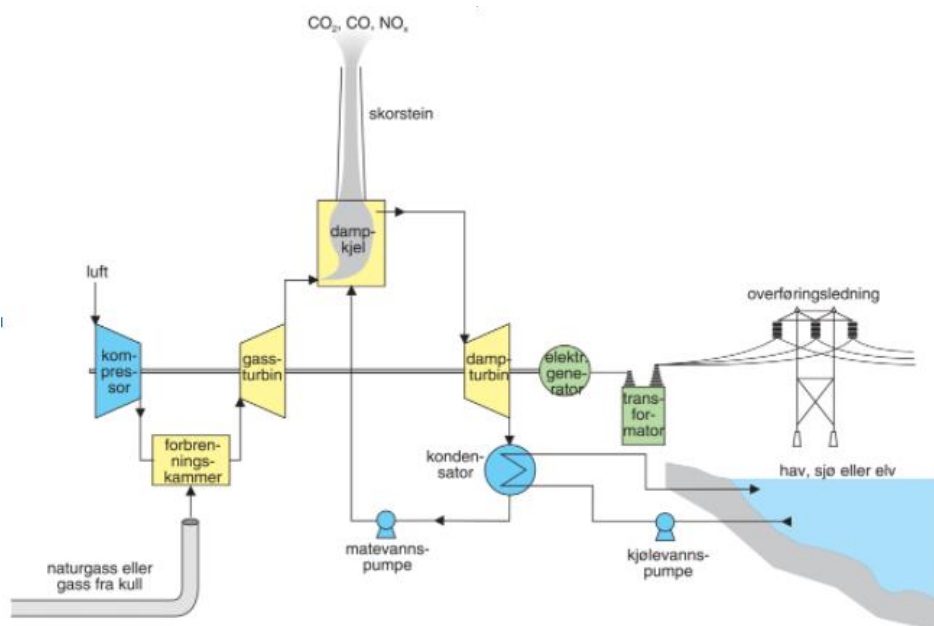
(Pikpng.com n.d)

2.2.6 Naturgass

Naturgass tok i 2021 over for kull som den nest mest brukte energikilden i verden. (Jackson 2021). Grunnen til at naturgass står for en så stor andel er at den regnes som svært energiholdig og har flere bruksområder. I Europa ser vi at ca. 26% går til strømproduksjon i kraftverk, 42% går direkte i rør til oppvarming, mens de resterende prosentene går til diverse prosesser i industri (SSB 2022). Naturgass i likhet med olje er et fossilt brensel og et resultat av rester fra døde dyr og planter som gjennomgikk en omdanningsprosess. Gasskraftverk kan bygges opp på tre forskjellige måter: gassturbinverk, dampturbinverk og kombinertverk.

Gassturbinverk har minst oppstartskostnad av de tre typene gasskraftverk, men også den lavest ytelsen. I et gassturbinverk føres luft ved hjelp av en kompressor inn i et brennkammer, fra brennkammeret ledes den ekspanderte forbrenningsgassen til en turbin som roterer og skaper elektrisitet. Dampturbinverk består av gassfyrte dampkjeler som skaper trykk og kondens. Kondensen stiger opp i turbiner og skaper elektrisitet. Dampturbinverk var lenge regnet som det mest effektive gassverket, men ble utkonkurrert når kombinertverk ble utviklet. Kombinert verk er det mest brukte gassverket og har den høyeste effektivitetsgraden. Et kombinert verk vil bestå av to typer verk, gassen går først gjennom et gassturbinverk, videre fra turbinen vil avgassen brukes for å varme opp dampkjeler ytterligere (Rosvold og Mæhlum 2017).

Figur 7: Kraftproduksjon i et gasskraftverk-enkelt illustrert



(SNL 2017)

Et nyere tiltak som store energiorganisasjoner jobber for, er å produsere en hydrogenblanding som inneholder naturgass – dette er for å produsere en grønnere, kostnadseffektiv blanding med ca. 30% hydrogen og 70% naturgass.

2.3 CO₂ håndtering

En rask overgang til bare fornybare energikilder er ikke mulig med nåværende struktur og marked. Et godt tiltak for å nå 1,5 gradsmålet vil derfor være å finne måter å redusere utslipp fra de største miljøverstingene av fossile energikilder som kull, olje og gass. Et effektivt tiltak for å redusere utslipp fra disse kildene er CO₂ håndtering. CO₂ håndtering er en ny type teknologi under stadig utvikling, som går ut på å fange, transportere og lagre CO₂ sikkert.

2.3.1 Fangst

CO₂ fangst kan skille ut og fange utslippsgasser direkte fra energikraftverk og annen industri. En annen mulighet er å skille ut CO₂ fra naturgass enda tidligere i prosessen når den blir behandlet, for å møte den riktige kvaliteten til transport som skal skje ved skip eller rør. Siste metoden er CO₂ separasjon og fangst fra luften i det fri (direct air capture). Ser vi på den økonomiske siden vil det med nåtidens teknologi være billigst med fangst fra naturgass, deretter fangst fra resteksos og den dyreste er direct air capture (Oljedirektoratet 2022)

2.3.2 Transport

Transporten av den fangede CO₂ skjer i større grad med skip eller rør. Hvilket alternativ som vil være gunstigst kommer helt an på volumet som skal fraktes, hvilke avstander det skal fraktes over og hvilken infrastruktur som er til stede fra før. Man ser likevel på skipstransport som det beste alternativet over lengre avstander og transport i rørledninger som det beste for kortere strekk (Oljedirektoratet 2022)

2.3.3 Lagring

Lagring av CO₂ må skje i forhold hvor man er sikre på at CO₂'en ikke slipper ut i atmosfæren hverken under avlastningen eller lagringen over tid. Norge har blant annet gamle brønner på den norske sokkel som vil være et godt alternativ til lagring.. Under

havbunnen har vi store dype reservoarer som har svært gode lagringsbetingelser gjennom stein og sandlag, som blant annet stopper naturgass fra å komme til overflaten før brønner bores. Teknologien til CO₂ fangst er relativ ny og for tiden lite kostnadseffektivt. Men satsningen på utvikling av ny CO₂ fangst teknologier og teknikker er i gang. Klarer forskere og ingeniører å redusere kostnader samtidig som effektiviteten økes, vil nok CO₂ fangst spille en vesentlig mye større rolle i den fremtidige fossil næringskjeden (Oljedirektoratet 2022)

3 Metode

En av de mest grunnleggende vurderingene man må gjøre når man skal utføre en studie, er valg av enhet som skal analyseres. Analyseenheten er hovedenheten man analyserer i en studie. Valget av analyseenheten vil derfor påvirke forskningsoppbygging, datainnsamling, og dataanalysevurderinger. Man bør bruke en del tid på valget av analyseenhet, siden analyseenheter ofte har unike egenskaper. (DeCarlo 2018). Enhetene som blir studert i denne oppgaven er energikilder analysert opp mot bærekraft. Energikildene er begrenset til vannkraft, solkraft, vindkraft, kjernekraft, olje og gass.

3.1 Forskningsspørsmål

Når forskningsspørsmålet skulle bli utarbeidet tok vi utgangspunkt i ett sett med kriterier utarbeidet av Bryman og Bell (2011), kriteriene har som hensikt å sikre pålitelighet i forskningsspørsmål.

- Spørsmål må være tydelig formulert slik at det blir forstått på samme måte uavhengig av leseren.
- Spørsmål må være forskningsbare, dette er for å tillate utvikling av spesialisert forskningsdesign og innsamling av data som er relevant for det spesifikke spørsmålet.
- Spørsmål bør relatere til den etablerte teorien og forskningen
- Spørsmål bør ha potensial til å gi et bidrag til den eksisterende kunnskapen.
- Spørsmål bør ikke være spesifisert for bredt eller smalt
- Det må være sammenheng mellom spørsmål, for å tillate en samlet linje av argument gjennom forskningen.

Når vi tar disse kriteriene med i utarbeidelsen av oppgaven mener vi at vi oppnår alle utenom det siste kriteriet. Grunnen til dette er at oppgaven er avgrenset til et enkelt formulert forskningsspørsmål:

Hvilke energikilder bør vi fremover satse på ut i fra miljømessig og økonomisk bærekraft?

Med forskningsspørsmålet vårt ønsker vi å oppnå et svar/diskusjon som ikke bare begrenser seg hvilke satsninger som bør bli gjort i Norge, med landets økonomiske situasjon og naturlige forutsetninger. Men kan relateres i til hvilket som helt geografiske

område. Vi kan derfor si at forskningsspørsmålet vårt ikke blir begrenset til en intra-regional sammenheng, men heller en International.

3.2 Forskningsdesign

Forskningsdesign er den generelle planen som viser hvordan en person vil svare på forskningsspørsmålet (Saunders, Lewis og Thornhill 2016). Den inneholder målene som blir tatt fra forskningsspørsmålet. Kildene til data for oppgaven, hvordan vi samlet inn data, etiske dilemma og begrensningene. Forskningsdesign består av formål, oppfatning, litteraturgjennomgang, tilnærming til relevant forskning, designrammer, metoder og beslutninger rundt hvilken type og hvilke prosesser studien omfatter. Dette kan ses på som en lineær tilnærming. Gary Thomas sier at nesten all forskning påvirket av samfunnsvitenskap endrer seg eller ha avvik grunnet rekursivitet (Thomas 2011). Det han prøver å forklare med denne uttalelsen, er at forskere må gå frem og tilbake ettersom man hele tiden oppdager nye ting, avgrensner spørsmål og avgjørelser rundt tilnærmingen.

Forskningsdesign kobler sammen innsamlet data til det originale forskningsspørsmålet (Yin 2018). Saunders, Lewis og Thornhill forklarer at det er tre typer oppgave i et forskningsdesign. Forskning kan enten være en utforskende studie, beskrivende studie eller forklarende studie. En utforskende studie ønsker å avklare eller hjelpe å forstå et problem. En beskrivende studie kan gi en detaljert profil av en hendelse, person eller situasjon, en beskrivende studie er ofte en del av en utforskende studie. Den siste typen studie er en forklarende studie, Denne typen studie har som mål å identifisere og forklare sammenhengen mellom forskjellige variabler (Saunders, Lewis og Thornhill 2012).

For å definere hvilken type studie oppgaven vår trengte måtte vi se på forskningsspørsmålet og problemstillingen. Vi har definert problemstillingen vår som *``Hvilke energikilder bør vi fremover satse på ut i fra miljømessig og økonomisk bærekraft?``* Som man forstår gjennom problemstillingen vår ønsker vi altså å forklare energikildesituasjonen i verden, og avklare hvilke energikilder som scorer best innenfor bærekraft med et fokus på miljømessig og økonomisk dimensjonene. Uti fra dette blir det ganske klart at oppgaven blir en beskrivende studie.

3.3 Data

Vi velger normalt mellom to hovedmetoder for innhenting av data, den kvalitative og den kvantitative. Kvalitativ metode er framgangsmåter hvor dataen som samles inn kommer i form av ord og ikke tall. Denne metoden innebærer som regel få enheter. Kvantitativ metode er framgangsmåter som resulterer i data som kan tallfestes, og inkluderer gjerne mange enheter (Jacobsen 2015).

Et vanlig skille i data til forskning er mellom primær- og sekundærdata. Primærdata er data som samles selv inn og tolkes av forskeren selv. På den andre siden involverer sekundærdata data som allerede er produsert, og forskeren ikke har deltatt i datainnsamlingen, men tolker den. Typiske sekundærdata er rapporter, artikler og statistikk. Primærdata refererer altså til data som er samlet inn spesifikt med det formål å besvare forskningsspørsmålet. Dette betyr altså at primærdata samlet inn av en forsker vil bli definert som sekundærdata når den brukes av en annen part som ikke deltok i det spesifikke forskningsprosjektet.

Denne bacheloroppgaven er i hovedsak basert på kvantitative metode og sekundærdata, ettersom vi så at vi hadde tilgang til flere gode og pålitelige kilder. Gjennom prosjektperioden har vi lagt stor vekt på å ikke bare se på tall/data fra en kilde, men også sammenligne ulike kilder, slik at vi får et så pålitelig totalbilde som mulig. Fakta til oppgaven har vi til vår beste evne hentet fra diverse forskningsrapporter og artikler, men vi har også gjennomført to intervju med en av ingeniørene i ConocoPhillips. Dette ble gjennomført for å gi oss en bedre forståelse for de tekniske delene av energikildene.

3.4 Kvalitetskriterier for forskningsspørsmål

Pålitelighet og validitet står sentralt i vurderinger om kvaliteten på forskning i naturvitenskap og kvantitativ forskning innen samfunnsvitenskap. Pålitelighet refererer til replikering og konsistens. Hvis en forsker er i stand til å gjenskape et tidligere forskningsdesign og oppnå samme funn, da vil den forskningen bli sett på som pålitelig. I hovedsak refererer validitet til hensiktsmessigheten av målingene som brukes, nøyaktigheten av analysen av resultatene og generaliserbarhet av funnene:

1. Vil målingene som brukes i forskningen for å vurdere fenomenet som studeres faktisk måle det de er ment til å måle - er de passende for deres tiltenkt hensikt?
2. Er analysen av resultatene og sammenhengene som fremmes nøyaktige?

3. Hva representerer forskningsfunnene: er påstanden om hvor generaliserbare de er sann?

(Saunders, Lewis og Thornhill 2016)

Når man vurderer pålitelighet, skilles det noen ganger mellom intern pålitelighet og ekstern pålitelighet.

Intern pålitelighet refererer til å sikre konsistens under et forskningsprosjekt. Dette kan oppnås, ved å bruke mer enn én forsker innenfor et forskningsprosjekt for å gjennomføre intervjuer eller observasjoner og analysere data for å kunne vurdere i hvilken grad de er enige om dataene og dens analyse.

Ekstern pålitelighet refererer til om dine datainnsamlingsteknikker og analytiske prosedyrer ville gi konsistente funn hvis de ble gjentatt av deg ved annen anledning eller hvis de ble replikert av en annen forsker.

Å sikre pålitelighet er ikke nødvendigvis lett, og en rekke trusler mot påliteligheten kan oppstå. Det kan være enhver faktor som induserer skjevhet i forskerens registrering av svar.

For eksempel kan en forsker tillate sitt subjektive syn å komme i veien for nøyaktig registrering og tolkning av resultater. Forskning som er upålitelig vil også vise seg å være ugyldig siden enhver feil eller skjevhet vil påvirke resultatene og påfølgende tolkning. Disse truslene innebærer at du må være metodisk streng i måten du planlegger og utfører din forskning for å forsøke å unngå å true påliteligheten til dine funn og konklusjoner. Nøkkelaspektet er å sikre at forskningsprosessen din er tydelig gjennomtenkt og evaluert og ikke inneholder "logiske sprang og falske antagelser". Du må rapportere hver del av arbeidet ditt på en fullstendig transparent måte for å la andre dømme selv og å kunne replikere studien din hvis de ønsket det. Vi har derfor valgt å benytte oss av sekundærdata, da dette sikrer i stor grad pålitelighet. Vi har dekket et bredt spekter av sekundærdata og kritisk analysert den gjennomgåtte litteraturen for å forhindre at partiskhet i synspunkter påvirker forskningsresultatene.

Pålitelighet er et sentralt kjennetegn ved forskningskvalitet; men selv om det er nødvendig, er det ikke tilstrekkelig i seg selv for å sikre god forskning. Som nevnt tidligere, avhenger kvaliteten av forskningen ikke bare av dens pålitelighet, men også dens validitet.

Intern validitet etableres når forskning viser nøyaktig en årsakssammenheng mellom to variabler. I et eksperiment vil intern validitet bli etablert der en intervensjon kan vises statistisk å føre til et utfall. I en spørreskjemabasert undersøkelse vil intern validitet bli etablert der et sett med spørsmål kan vises statistisk til være assosiert med en analytisk faktor eller utfall . Dette konseptet er assosiert med positivistisk og kvantitativ forskning, og det kan brukes på kausal eller forklarende studier, men ikke til utforskende eller rent deskriptive studier. Forskningsfunnene dine vil bli sett på som ugyldige når et funn er kommet frem til feilaktig eller når et rapportert forhold er unøyaktig. Forskning som gir ugyldige resultater og konklusjoner vil også påvirke påliteligheten negativt siden den vil være svært usannsynlig for en påfølgende studie for å finne de samme falske resultatene og statistiske forhold. Siden dataen vi ønsker å samle inn faktisk er data fra flere uavhengige kilder, vil vi påstå at den indre validiteten er grei (Saunders, Lewis og Thornhill 2016).

Ekstern validitet er opptatt av spørsmålet: Kan en studies forskningsresultater bli generalisert til å brukes i andre relevante grupper? Forskere er svært forsiktige når de velger ut et utvalg fra en populasjon for å sikre at utvalget det representerer befolkningen. Forskere er opptatt av å etablere generaliserbare resultater slik at de kan bli benyttet i andre kontekster. Selv i slike tilfeller, vil det imidlertid være nødvendig å replikere studien i den andre konteksten, eller kontekstene, til kunne etablere slik statistisk generaliserbarhet (Saunders, Lewis og Thornhill 2016).

4 Analyse og diskusjon

4.1 Miljømessig bærekraft

Flere av FNs bærekraftsmål handler om miljømessig bærekraft. Vi har pekt ut noen vi vurderer som mest relevant for oppgaven. For denne delen av oppgaven var det mål 7, mål 12 og mål 13.

Mål 7 Ren energi for alle

Mål 8 Anstendig arbeid og økonomisk vekst (økonomisk bærekraft)

Mål 12 ansvarlig forbruk og produksjon

Mål 13 Stoppe klimaendringene

Vi har valgt å sammenligne følgende systemer for kraftproduksjon:

Gass- kombinert syklus, kjernekraft, vannkraft, vindkraft og solkraft (PV).

4.1.1 Utslipp

Direkte utslipp

Direkte utslipp eller direkte drivhusgassutslipp er utslipp som kommer fra kilden som eies eller kontrolleres av rapporteringsenheten. Dette er utslipp som skapes direkte ved å produsere varer, i vårt tilfelle er varen energi så det blir utslipp knyttet til produksjon av energi.

Infrastruktur og forsyningskjede utslipp

Indirekte utslipp fra forsyningskjeden rapporteres ofte på en frivillig basis som betyr at en stor andel av en virksomhets miljøfotavtrykk ikke nødvendigvis vises på en virksomhets livssyklus utslipp. forsyningskjede utslipp kan ofte stå for store deler av en virksomhets totale utslipp så det er veldig viktig at dette er med i beregningene. For å oppnå netto null

ambisjonene til FN, må bedrifter de-karbonisere forsyningskjedene sine i samarbeid med leverandørene for å redusere klima relaterte risikoer.

Biogene CO₂-utslipp og albedoeffekt

Biogene CO₂ utslipp er definert som CO₂-utslipp relatert til det naturlige karbonkretsløpet. Dette kan være et resultat av forbrenning, høsting, nedbryting eller prosessering av biologiske materialer (EPA 2017).

Albedoeffekten er inkludert i beregningene til FNs klimapanel. Albedoeffekten er overflatenes evne til å reflektere sollys (varme fra solen). Lyse overflater returnerer en stor del av solstrålene tilbake til atmosfæren som medfører høy albedo. Mørke overflater absorberer strålene fra solen og tilsvarer lav albedo (NPI 2022).

Metanutslipp

Metan er en kraftig drivhusgass som slippes ut av menneskelige aktiviteter som lekkasje fra naturgasssystemer og oppdrett av husdyr, samt fra naturlige kilder som våtmarker. Den har direkte påvirkning på klimaet, men også en rekke indirekte effekter på menneskers helse, avlinger og vegetasjonens kvalitet (CCACoalition 2022). Når Metan slippes ut i luften, reagerer det på flere farlige måter. For det første forlater metan atmosfæren gjennom oksidasjon, og danner vanndamp og karbondioksid. Så metan bidrar ikke bare til direkte global oppvarming, men også indirekte gjennom dannelse og utslipp av karbondioksid.

Livssyklus Utslipp

Det er mange måter å produsere og bruke energi på. Det finnes mange utslippkilder i en energikildes livssyklus. En evaluering av strategier for å redusere klimagassutslipp må være bred, detaljert og systematisk. Den må da omfatte hele "livssyklusen" til en bestemt teknologi, og inkludere alle relevante forurensninger og deres effekter (Delucchi 2003). Livssyklus utslipp betyr da den samlede mengden av utslipp relatert til hele livssyklusen, dette inkluderer både direkte utslipp og indirekte utslipp.

Utslippsberegning

Denne delen av oppgaven kommer til å basere seg på resultatene av en tidligere utført livssyklusanalyse (LCA) av klimagassutslipp fra kraftproduksjon systemer (IPCC 2018), for å forstå egenskapene til disse systemene fra perspektivet til global oppvarming.

Måten drivhusgassutslipp livssyklus (GHG) per kWh generert elektrisitet blir estimert er via en slik formel:

Figur 8: Drivhusgassberegning (GHG emissions)

$$\text{GHG emissions} = \frac{\text{Total CO}_2 \text{ emissions throughout life cycle (gCO}_{2\text{eq}})}{\text{Annual power generation} \left(\frac{\text{kWh}_{\text{e}}}{\text{yr}} \right) \text{ lifetime (yr)}}$$

(IPCC 2018)

4.1.2 Måleenhet

Måleenheten må være en gitt størrelse eller fast verdi slik at det blir et sammenligningsgrunnlag (Jacobsen 2015).

Valg av måleenhet ble gjort ut i fra disse kriteriene:

- Først så vi på bærekraftsmålene, hvilken type måleenhet som ville måle miljømessig bærekraft og da spesielt rette det opp mot mål 7 som er ren energi for alle og mål 13 som er å stoppe klimaendringene. Med utgangspunktet i disse målene fant vi ut at det var naturlig å se på utslippet for de forskjellige energikildene.
- Ettersom utslipp alene ikke nødvendigvis sier noe om kraft produsert, var det naturlig at måleenheten måtte inkludere kraftproduksjon. Ut ifra dette ble det klart at måleenheten burde være utslipp i forhold til kraft produsert.
- Enhetene gCO_{2eq} er gram karbondioksid ekvivalenter. Karbondioksid er den viktigste drivhusgassen og produseres for eksempel når fossilt brensel brennes. Andre klimagasser enn karbondioksid, som metan, kvantifiseres som tilsvarende mengder karbondioksid.
- I tillegg bør måleenheten være enkel å forstå, for at det skulle bli enkelt å forstå benyttet vi oss av kilowattimer generert elektrisitet. dette er den mest generelle måleenheten for strøm

Måleenheten blir da seende slik ut: gCO_{2eq}/kWh

4.1.3 Utslipp tabell

Intergovernmental Panel on Climate Change

Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC) er FNs organ for å vurdere vitenskapen knyttet til klimaendringer. IPCC ble opprettet av Verdens meteorologiske organisasjon(WMO) og FNs miljøprogram (UNEP) i 1988. Målet til IPCC er å gi regjeringer på alle nivåer vitenskapelig informasjon som de kan bruke til å utvikle klimapolitikk. IPCC-rapporter er et sentralt innspill i internasjonale klimaforhandlinger. IPCC utarbeider omfattende vurderingsrapporter om tilstanden til vitenskapelig, teknisk og sosioøkonomisk kunnskap om klimaendringer, dens virkninger og fremtidige risikoer, og alternativer for å redusere hastigheten klimaendringene finner sted med (IPCC 2018).

Tabell 1: Utslipp fra utvalgte strømforsyningsteknologier, oppgitt i gCO₂eq/kWh

Alternativer	Direkte utslipp	Infrastruktur og forsyningskjede utslipp	Biogene CO ₂ -utslipp og albedoeffekt	Metanutslipp	Livssyklus Utslipp (inkl. Albedoeffektene)
	Min/Median/Max	Typiske verdier			Min/Median/Max
Dagens tilgjengelige teknologi					
Gass-kombinert syklus	370/370/490	1,6	0	91	410/490/650
Vannkraft	0	19	0	88	1/24/2200
Kjernekraft	0	18	0	0	3,7/12/110
Solkraft PV(hustak)	0	42	0	0	26/41/60
Solkraft PV(Solkraftverk)	0	66	0	0	18/48/180
Vindkraft Onshore	0	15	0	0	7/11/56
Vindkraft Offshore	0	17	0	0	8/12/35

Som man ser er det helt klart stort sprik mellom minimum og maksimum livssyklusutslipp på noen energikilder, dette kan være av forskjellige årsaker. Den som har størst sprik er vannkraft og dette er naturlig siden det ikke er gunstig med vannkraft overalt. Norge har store høydeforskjeller og det gjør også at det å sette opp et vannkraftverk krever mindre

ressurser, som igjen betyr mindre utslipp. Dette er ikke tilfelle for et land som ikke har naturlige høydeforskjeller og må skape det kunstig, da vil det kreve betraktelig mye mer. På solkraft ser man også sprik, solkraft som er satt opp på hustak kommer til å ha forskjellig utslipp i forhold til kraft siden det ikke er alle steder det er like mye sol. Dette spriket blir enda tydeligere når man ser på solkraftverk eller solparker. Dette går ut på samme prinsipp, men i dette tilfelle er det enda mer viktig at man er selektiv på hvor i verden man setter det opp. langs ekvatorene er solceller mest gunstig, grunnet gjennomsnittlig soltimer per dag.

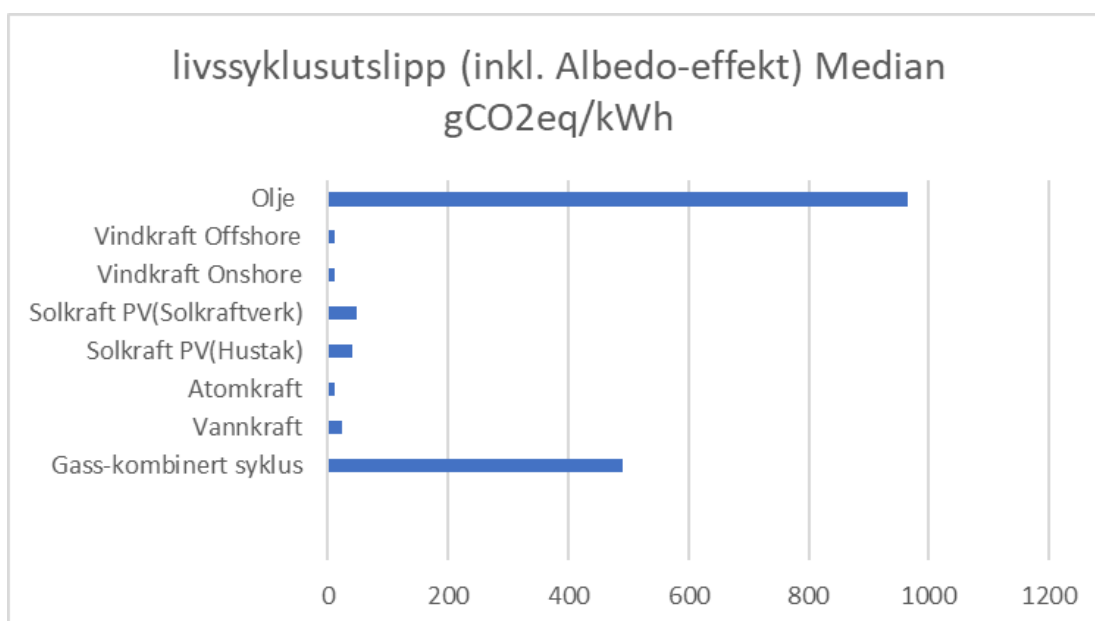
Olje var ikke inkludert i denne livssyklusanalysen, så vi måtte bruke en annen kilde til dette. Kilden vår hadde oppgitt resultatene sine i pounds så da konverterte vi det til gram. 1 pound er lik 453.592 gram.

Tabell 2: Utslipp fra oljekraftverk

	Elektrisitetsproduksjon	CO ₂ utslipp		
	millioner kWh	millioner tonn	lbs/kWh	g/kWh
Olje	13665	13	2.13	966

(EIA 2020)

Diagram 1: Sammenligning av utslipp fra utvalgte strømforsyningsteknologier



I diagram 1 kan man se dataene fra tabell 1 og 2 presentert i et liggende stolpediagram. Det var store sprik mellom minimum og maksimum livssyklusutslipp, for å få en mest mulig realistisk sammenligning ble medianen benyttet.

4.2 Økonomisk bærekraft

I likhet med miljømessig bærekraft omhandler også flere av bærekraftsmålene den økonomiske delen av bærekraft, de målene vi ser på som mest relevante med tanke på denne delen oppgaven er 8 (Anstendig arbeid og økonomisk vekst) og mål 12 (Ansvarlig forbruk og produksjon)

4.2.1 Fasekostnader

4.2.1.1 Etableringskostnader

Etableringskostnader er alle engangskostnader som oppstår i løpet av et prosjekt, eksempel: land, bygninger, konstruksjon. Etableringskostnader er ikke restriktert til bare konstruksjon av kraftverket, blir et solcellepanel blir ødelagt og må erstattes vil det gå under etableringskostnader.

Eksempler på etableringskostnader for et gasskraftverk:

- Kjøp av land som kraftverket skal bygges på
- Godkjenninger og juridiske kostnader
- Utstyr og maskiner
- Konstruksjon av kraftverket (bygningen/anlegget)
- Finansiering og igangsetting av kraftverket (før det går over til drift)

Etableringskostnader for fornybar energi regnes for tiden som relativt høy i forhold til fossile kraftverk.

4.2.1.2 Operasjon og vedlikeholdskostnader

Operasjons og vedlikeholdskostnader inkluderer kostnader knyttet til drivstoff, drift, vedlikehold, restavfall lagring og nedtrapping/nedlegging av kraftverk. Drivkraft kostnader kan stå for ujevnheter fra år til år, dette kommer fra råvarers som naturgass store prissvingninger. drivkrafts kostnader er naturlig størst for de fossile energikildene etterfulgt av kjernekraft, ettersom drivkraft til fornybare kilder som vind, sol, vann, ofte er gratis. Drivkraft kostnadene gjør at operasjons kostnader er en av de største faktorene som utjevner for fornybare kraftverks fortsatt høye etableringskostnader.

Restavfall som en kostnadsfaktor slår i denne oppgaven bare vesentlig ut for kjernekraft. Grunnen til dette er når kjernekraft benyttes for å skape elektrisitet, ender man opp med

radioaktivt avfall. Dette avfallet kan være svært farlig for mennesker, og må derfor lagres på en måte som minimerer stråling.

4.2.2 Måleenhet

Måleenhet er en grunnenhet, altså en fast verdi eller gitt størrelse som benyttes i sammenligningsgrunnlag i form av en verdi av fysiske størrelse og egenskaper under måling (Jacobsen 2015).

Valg av måleenhet ble gjort ut ifra tre kriterier:

- Først så vi på bærekraftsmålene, hvilken type måleenhet kunne vi benytte som ville måle økonomisk bærekraft (spesielt rettet opp mot mål 8 og 12). Ut fra intervjuet som ble gjennomført med én av ingeniørene i ConocoPhillips, ble det klart at en *valuta per strømmenhet* ville være fordelaktig, siden en slik enhet vil vise oss kostnadseffektiviteten av de forskjellige energikildene på en forståelig måte.
- Ettersom oppgaven ikke er regionalt begrenset men har et internasjonalt omfang, var det viktig at det ble benyttet enheter som kunne relateres og benyttes enklest mulig over hele kloden. Skulle dette kriteriet opprettholdes var det klart at vi måtte benytte oss av amerikansk dollar (US\$) som valuta, ettersom denne regnes som verdens internasjonale handelsvaluta.
- Enheten bør være enkel å oppfatte. For å oppnå dette kriteriet valgte vi å benytte wattimer generert elektrisitet (mer spesifikt MWh) fordi det er denne strømmenheten flest mennesker har størst forhold til.

Måleenhet: US\$/MWh\$

4.2.3 Kostnadsberegning (LCOE)

Kostnadsberegning formelen som ble benyttet i den økonomiske delen av oppgaven er LCOE eller Levelized cost of electricity.

Variabler:

I_t : investeringsutgifter per år t

M_t : operasjons og vedlikeholdsutgifter per år t

F_t : drivstoff/drivkraft utgifter per år t

E_t : elektrisk energi produsert per år t

r : diskonteringsrente

n : Forventet levetid på systemet/kraftverket

Figur 9: Kostnadsberegning(LCOE)

$$\text{LCOE} = \frac{\text{sum of costs over lifetime}}{\text{sum of electrical energy produced over lifetime}} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

(Papapetrou og Kosmadakis 2022)

LCOE representerer gjennomsnittlig inntekt per enhet generert elektrisitet, som må til for å dekke utgifter knyttet til konstruksjon og drift av et produksjonsanlegg, forventet gjennom anleggets driftssyklus og økonomiske levetid. På grunn av dette regnes LCOE ut som forholdet mellom total kostnader over et kraftverks elektrisitet produserende levetid, delt på den totale mengden elektrisk strøm levert (IPCC 2018).

LCOE formelen har altså som formål å regne ut den gjennomsnittlige netto kostnaden for et elektrisk produksjonsanlegg gjennom hele livsløpet. Formelen benyttes ofte til investeringsplanlegging og som et redskap for å sammenligne ulike typer energiproduksjon.

4.2.4 Studie

Som tidligere forklart i oppgaven er ikke tallene/dataen til denne oppgaven fysisk innhentet av oss, men heller en gjennomgang av tidligere tilgjengelige rapporter/data. For å minske skjevheter i oppgaven fra studier som har til mål å fremheve et tema, valgt vi å se på tre forskjellige kilder med alle ulike utgangspunkt.

IEA, OECD og NEA (2020)

Desember 2020 publiserte IEA (International Energy Agency), OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) og NEA (Nuclear Energy Agency) en felles prosjektert «kostnad av energikilder» studie. Studien tok for seg 243 energikraftverk fra 24 forskjellige land, med et mål om å finne den mest effektive lavkarbon energikilden til lavest mulig kostnad. Studien regnet LCOE med 7% diskonteringsrente justert etter systemets kostnads generasjon.

IPCC (2018)

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) Fifth Assessment Report er en UN (United Nations) rapport som har til mål å vurdere verdens klimasituasjon. I sammenheng med vurdering av energikilder har IPCC gjennomført en rekke LCOE beregninger, og under disse beregningene benytter IPCC seg av en diskonteringsrente på 10%

LAZARD (2020)

Lazard rapporten er en investeringsrapport produsert av investeringsbanken Lazard, Rapportens mål var å utforske energikilder og den elektrisitetproduserende teknologiens potensial som investering. Rapporten ble utført gjennom sammenligning av forskjellige energikilders effektivitet, kostnader og gevinst, blant annet gjennom LCOE. Lazard har ikke oppgitt hvilke diskontinasjonsrente som ble benyttet.

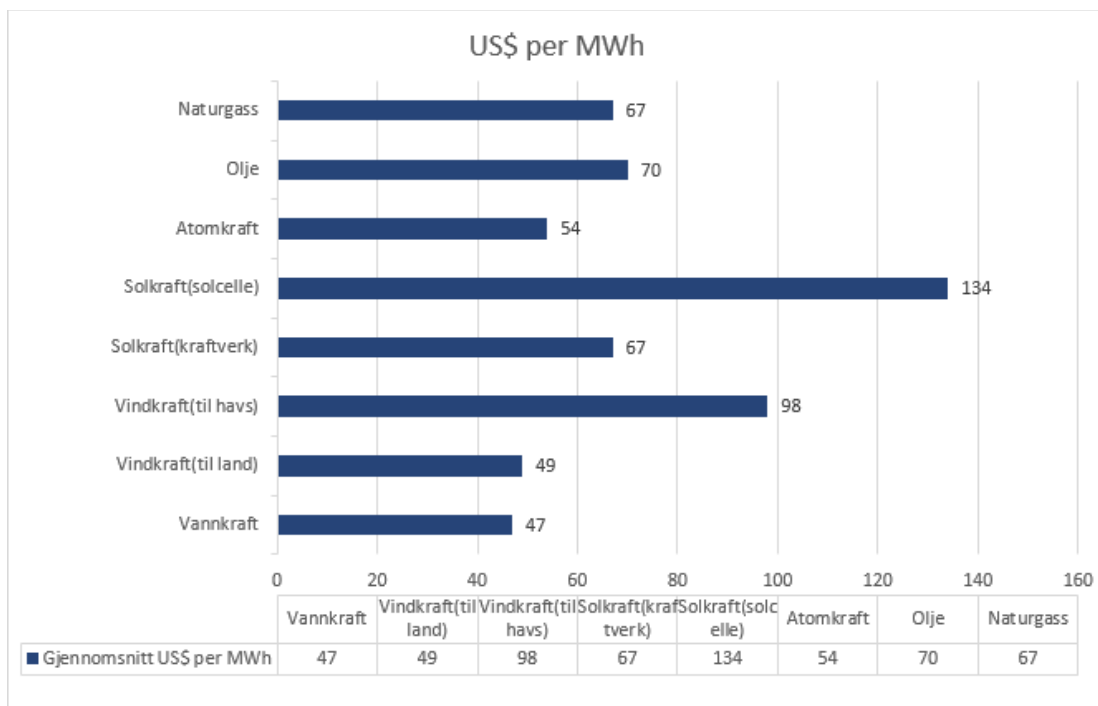
Tabell 3: Økonomisk bærekraft - Kostnad (US\$) per Strømenhet (MWh)

Kilde(case)	IEA, OECD, NEA (2020)	IPCC (2018)	Lazard (2020)	Gjennomsnitt
Måleenhet	US\$ per MWh	US\$ per MWh	US\$ per MWh	US\$ per MWh
Vannkraft	72	22	-	47
Vindkraft (Onshore)	50	59	40	49
Vindkraft (Offshore)	88	120	86	98
Solkraft pv (Solkraftverk)	56	110	36	67
Solkraft pv (Hustak)	126	150	125	134
Kjernekraft	68	65	29	54
Olje	-	74	65	70
Naturgass	71	71	59	67

Som vi kan se i tabellen er det relativ stor variasjonen i dataene på enkelte av energikildene. Dette kan komme av litt forskjellige årsaker:

- Enkelte av energikildene trenger naturlige forutsetninger for å kunne operere mest effektivt. Er ikke disse til stede vil kostnadseffektiviteten bli vesentlig redusert. Et godt eksempel på dette er vannkraft, for at ett vannkraftverk skal kunne driftes til maksimal kapasitet trengs det vann som kan dammes opp og høydeforskjeller. Mangler disse kan kompenserende inngrep påføre vesentlige kostnader. IPPC rapporten har etter vår forståelse sett på landene som benytter seg av vannkraft, og der disse har gode naturlige forutsetninger for dette. IEA, OECD, NEA rapporten har derimot sett på vannkraft med ett mer globalt syn.
- Rapportene som har vært benyttet i denne oppgaven er utgitt med ett mellomrom på nesten tre år. Deler av teknologien som blir benyttet under elektrisitetens produksjon har i dette tidsrommet blitt billigere og mer effektiv. Ett eksempel på dette er solkraft som har blitt billigere i tidsrommet 2018-2021, dette gjenspeiles i tabellen hvor solkraft er merkbart dyrere i IPPC rapporten fra 2018.

Diagram 2: Sammenligning av livssyklus kostnader fra utvalgte strømforsyningsteknologier



I diagram 2 er dataene i tabell 3 presentert i et liggende stolpediagram. Studiene hadde relativ jevn data med enkelte avik, det ble derfor benyttet gjennomsnittet av studiene for å gi et realistisk resultat.

4.3 Sammenligning

Tabell 4: Sammenligning av miljømessig og økonomisk bærekraft - rangert

Kategori	Miljømessig	Miljømessig	Økonomisk	Økonomisk	Sum
Måleenhet	gCO ₂ eq/kWh	Rangering	US\$ per MWh	Rangert	Gjennomsnitt-rangering
Vindkraft (onshore)	11	1	49	2	1,5
Vannkraft	24	4	47	1	2,5
Kjernekraft	12	2 (delt)	54	3	2,5
Vindkraft (offshore)	12	2 (delt)	98	7	4,5
Solkraft PV (kraftverk)	48	6	67	4(delt)	5
Naturgass	490	7	67	4(delt)	5,5
Solkraft PV (hustak)	41	5	134	8	6,5
Olje	960	8	70	6	8

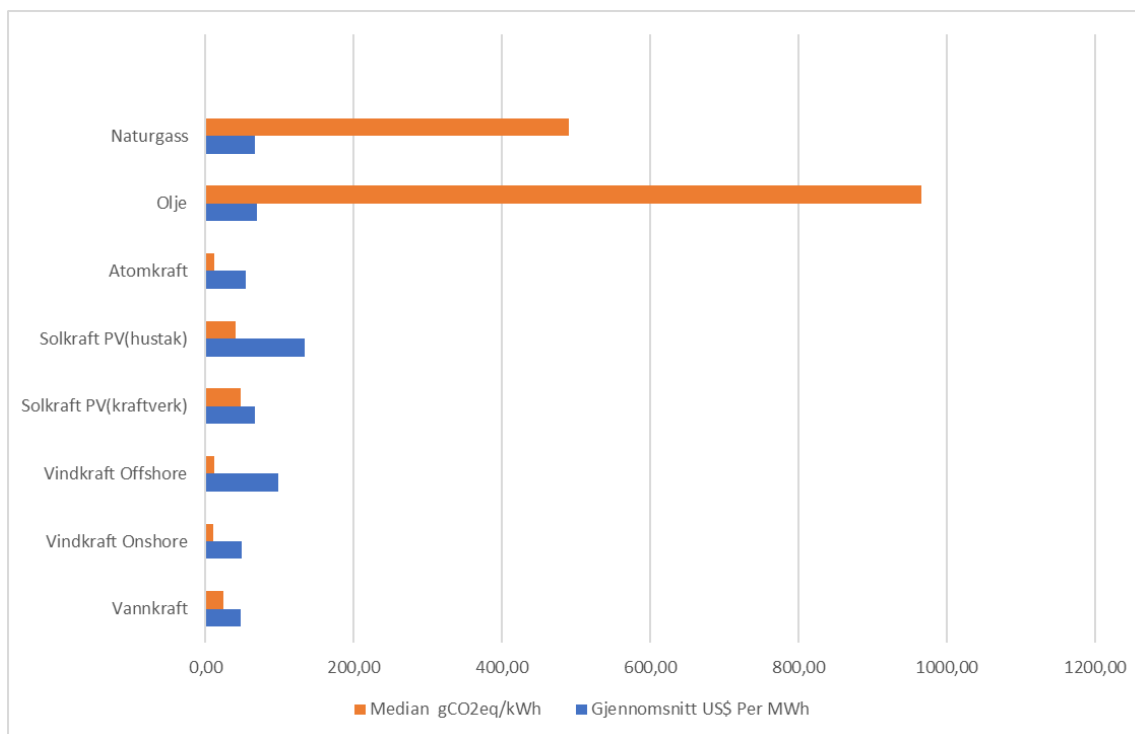
Tabell 4 er en sammenslåing av tabell 1 og 2 for levetidsutslipp fra energikildene oppgitt i gCO₂-ekvilanter per kWh (miljømessig bærekraft), og tabell 3 for levetidskostnader fra energikildene oppgitt US\$ per MWh (økonomisk bærekraft).

Grunnen til at man ikke har gjort tallene i begge dimensjonene om til en felles energiform for eksempel MWh, er at vi så på det som enklere å vise forskjellene i figur slik de er.

Energikildene har blitt rangert både innen miljømessig og økonomisk bærekraft. Videre har vi tatt gjennomsnittet av begge rangeringene i en egen kolonne.

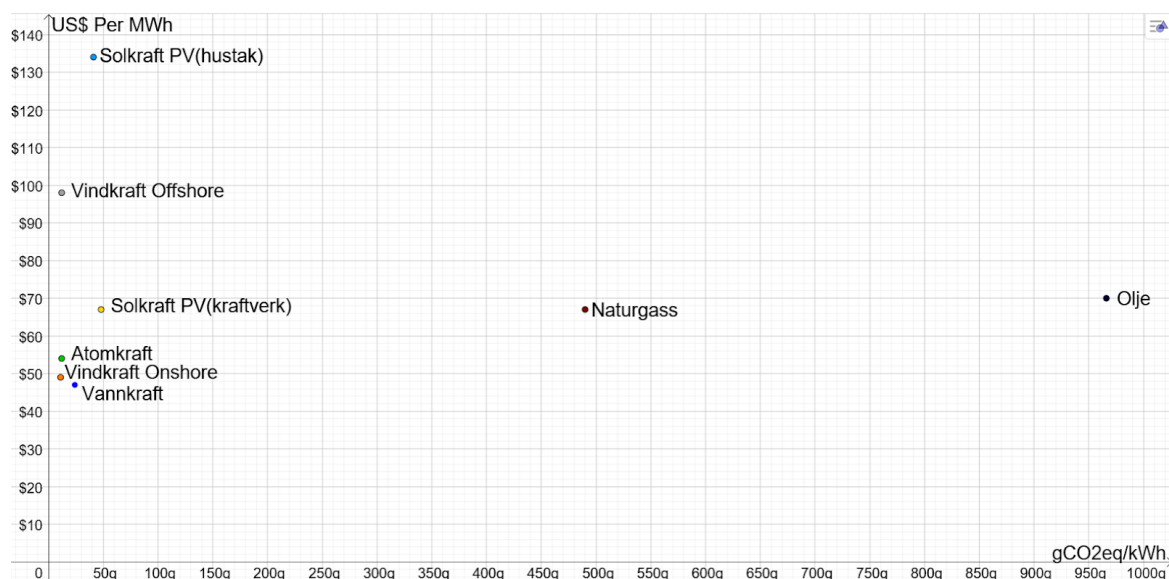
Gjennomsnittsrangeringen er ikke noe 100% faktisk bevis på hvilken energikilde som er mest bærekraftig, men det vil være en grei indikator.

Diagram 3: Sammenligning av utslipp og kostnader fra utvalgte strømforsyningsteknologier, liggende stolpediagram



I diagram 3 kan man se dataene fra tabell 4 i et liggende stolpediagram. Ut ifra stolpediagrammet er det lettere å se hvilke energikilder som har de laveste kostnadene og utslipp i forhold til kraft produsert.

Diagram 4: Sammenligning av utslipp og kostnader fra utvalgte strømforsyningsteknologier, punktdiagram



I diagram 4 blir dataene fra tabell 4 presentert i et punktdiagram, de energikildene som har lavest kostnad og utslipp er de som er nærmest origo (0.0). Kostnadene blir vist på x-aksen og y-aksen viser utslippet

4.3.1 Olje

Som vi ser i tabell 4 rangerte olje totalt som den minst bærekraftige energikilden i oppgaven. Fra et miljømessig perspektiv kommer olje svært dårlig ut i forhold til resten av energikildene. Olje bidrar til nesten 20 ganger så mye gram CO₂-ekvivalenter per kWh som den dårligste fornybare kilden. Sammenligner vi tallene med naturgass som også er et fossilt brensel, bidrar et oljekraftverk til nesten dobbelt så mye gram CO₂-ekvivalenter per kWh som et gasskraftverk.

På den økonomiske siden rangeres olje på en 6. plass, men ligger bare 3 US\$ per MWh bak fjerdeplassen. Det som er viktig å forstå når man ser på den økonomiske delen av et oljekraftverk er at svingningene kan være store fra år til år. Oljens lønnsomhet vil i stor grad påvirkes av oljeprisen. Et oljekraftverks største operasjonskostnad er drivkraften til produksjonen. Man kan derfor si at ved en høy oljepris vil kostnadene knyttet til drift være store, på den andre siden vil år med lav oljepris gi lave driftskostnader.

Gram CO₂-ekvivalent (miljømessig) tallene for olje kan drastisk endres til det bedre hvis man lykkes med den pågående utvikling av direkte CO₂ fangst i løpet av de neste årene. Ulempen med direkte CO₂ fangst er at det vil tilføre en ny variabel til det økonomiske aspektet, og presser da opp kostnadene per MWh. Selv om olje for tiden scorer så dårlig på bærekraft har olje en stor fordel: olje vil under de fleste normale temperaturer være i væskeform, dette betyr at man kan lagre oljen og produsere elektrisitet når det trengs.

I fremtiden ser vi ikke for oss noen stor satsing på strømproduksjon fra olje, men heller at olje kan virke som en sikkerhetsbuffer som kan brukes ved mangel på elektrisitet fra andre kilder. Selv om vi ikke ser for elektrisitetsproduksjon fra oljekraftverk i nevneverdig grad, vil oljeutvinning høyst sannsynlig fortsette i mange år fremover, da oljens energitetthet gjør den velegnet for transportoppgaver på land, sjø og i luften. Dessuten er olje et viktig råstoff i produksjon av varer, så som plast og asfalt.

4.3.2 Naturgass

Skal vi se på det miljømessige aspektet av bærekraft vil det være flere problemstillinger vi må tenke på. Sammenligner vi naturgass med energikildene vist i tabell 4, kommer ikke gass noe særlig bra ut. I tabell 4 rangeres naturgass som nr. 7 med et utslipp på 442 gram flere gCO₂-ekvivalenter per kWh, enn den neste energikilden i tabell 4, nr 6. solcelle PV (kraftverk). Ser man derimot på naturgass sammenlignet med andre fossile kilder som olje og kull, kommer naturgass veldig mye bedre ut og kan sees på som et mer miljømessig alternativ en for eksempel olje, som har et utslipp 470 flere gCO₂-ekvivalenter per kWh enn naturgass.

Gass er den nest mest brukte energikilden i verden, ser vi på den økonomiske siden av tabell 4 gjør gass det helt greit, gass ble rangert i tabell 4 midt på treet som nr. 4 sammen med solkraft (47 US\$ per MWh). Så hvorfor blir naturgass så hyppig brukt til elektrisitetsproduksjon? Som forklart i litteraturgjennomgangen fungerer et gasskraftverk gjennom at man antenner naturgass for å drive en turbin, men denne varme luften som driver turbinen kan brukes videre. Ser man på de fleste moderne gasskraftverk vil den varme restluften bli gjenbrukt for varme opp hjem og lokaler. Hadde tabellen tatt dette varmende aspektet med ville nok gass blitt rangert høyere.

Som med oljefyrte kraftverk er heller ikke et gasskraftverk påvirket noe særlig av om det er sol, regn eller vind, men heller om det er tilgang til naturgass eller ikke. Siden naturgass kan lagres og benyttes ved behov, skaper det forutsigbarhet rundt naturgassens elektrisitetsproduksjon.

Ser vi litt frem i tid vil nok gass spille en svært sentral rolle i overgangen fra fossile kilder til grønne fornybare energikilder. Slik situasjonen er i dag, står fossil energi for 58,3 prosent av verdens elektrisitetsforbruk (IEA, OECD og NEA 2020). Utbyggingen av fornybare energikilder er verken stor nok eller forutsigbar til å skaffe elektrisitet til kloden på en god og sikker måte. Det vil heller ikke være det på en god stund. I denne overgangsperioden vil vi måtte supplere energimarkedet med fossile brensler, og da vil naturgass være det beste alternativet. Ser vi lengre frem i tid kan naturgass med effektiv direkte CO₂ fangst være et godt alternativ for produksjon av (blått) hydrogen.

4.3.3 Solkraft

Solceller eller *fotovoltaiske* celler er relativt dyrt, men teknologien blir billigere og bedre for hvert år som går, så det kommer til å være veldig aktuelt i årene fremover. Det er mye utvikling som skjer innenfor dette feltet. Nylig var det noen som utviklet klare solceller. Disse gjennomsiktede solcellepanelene kan enkelt anvendes til en rekke formål, alt fra skyskrapere med store vinduer til en mobil enhet som en telefon eller en bærbar PC. Siden disse «solcelle vinduene» ganske enkelt kan erstatte de tradisjonelle glassvinduene i kontorer og hjem, har teknologien potensiale til å praktisk talt gjøre hver bygning i verden til en solkraftprodusent. Dette kan føre til en stor økning i kraftproduksjon fra solen.

Denne i likhet med all ny teknologi er dessverre fortsatt veldig dyr, men skal bli masseprodusert i fremtiden, noe som gjør at kostnaden blir lavere og produktet blir mer tilgjengelig. Disse har ikke like stor virkningsgrad som vanlig solceller, men det er viktig å forstå her at når det kommer til solcellepanelvinduer, er effektiviteten til panelet ikke det hele. Rent praktisk betyr et mindre effektivt solvindu kun at vinduet må være større i størrelse sammenlignet med det mer effektive panelet for å generere like mye strøm. Når helt gjennomsiktede solcellepaneler blir integrert i store vinduer i bygninger, vil deres lavere effektivitet garantert bli kompensert av plasseringsmulighetene.

Ulempen med solkraft er at det fungerer bare når det er sol. En annen ulempe er de begrensede mulighetene for lagring av energien de produserer, Det eneste mulige er i form av batterier, og disse har begrenset levetid. Det mest effektive er å sette opp solcellene et sted der kraften kan bli brukt med en gang slik at man slipper lagring. Store industribygg er et godt eksempel, siden da har man store overflater til å legge solceller på i tillegg til at kraften kan bli brukt til å drive bygget. Kolonialvaredistributøren ASKO har f.eks over 100.000 m² solceller installert på taket av logistikkbyggene sine rundt i landet, og er et eksempel på en slik utnyttelse av solceller i stor skala (TU 2021)

Effektiviteten til solceller varierer veldig, ut fra hvor mye sol det er der de settes opp og hvor nye solcellene er. Solceller på hustak scorer lavest på den økonomisk siden det er ny teknologi som er dyr, men med tid ser vi for oss at det blir billigere og score bedre. Den kommer på 5. plass i form av utslipp. Store deler av utslippet er knyttet til prosesser som råvareutvinning, materialproduksjon, modulproduksjon, system/anleggs komponent

produksjon og installasjon/anlegg konstruksjon. Dette er prosesser som med tid vil bli forbedret når solcelleindustrien vokser videre. Selv om også privathusmarkedet for solceller er i god vekst, vil som før nevnt de store bidragene først og fremst komme fra solcellefarmer på store industribyggta. Solcellekraftverk var nummer 6 i tabellen på utslipp, dobbelt så mye som vannkraft, og fire ganger så mye som atom og vind. Mye av dette er knyttet til produksjon av solcellene og anleggskonstruksjon som nevnt ovenfor, men ved et kraftverk vil produksjonen skje på mye større skala. Solcellekraftverk kommer på en delt fjerdeplass på økonomisk rangering, dette kommer av den oppskalerte masseproduksjonen. Som nevnt ovenfor vil en masseproduksjon av solceller bidra til å gjøre enhetskostnaden lavere.

4.3.4 Kjernekraft

Kjernekraft kommer på tredjeplass økonomisk. Selv om bygging av kjernekraftverk har en høy startkostnad, er det relativt billig å produsere energi fra dem, og de har lave driftskostnader. Kjernekraft opplever heller ikke samme type prissvingninger som tradisjonelle fossile energikilder som kull og naturgass gjør. På grunn av det kan prisen på kjernekraft forutses langt inn i fremtiden. Den prisen vil sannsynligvis forbli lav, eller bli enda lavere, etter hvert som teknologiene utvikler seg.

Kjernebrenselet som blir benyttet har høy energitetthet. Det er anslått at mengden energi som frigjøres i en kjernefysisk fisjonsreaksjon er ti millioner ganger større enn mengden som frigjøres ved forbrenning av fossilt brensel. Derfor er mengden kjernebrensel som kreves i et kjernekraftverk mye mindre sammenlignet med andre typer kraftverk. Dette bidrar til de lave kostnadene for kjernekraft. Et kjernekraftverk kan produsere tusenvis av megawattimer med energi.

En av de største fordelene med kjernekraft er at det er en pålitelig kraftproduksjonskilde. I motsetning til sol- og vindenergi, som krever at solen skinner eller at vinden blåser, kan kjernekraft genereres når som helst i løpet av dagen. Dette betyr at et kjernekraftverk kan produsere energi kontinuerlig, og en slipper å oppleve forsinkelser i energiproduksjonen. En annen fordel med kjernekraft er ressurstilgangen. Uran er et vanlig naturlig forekommende og radioaktivt stoff. Det er en normal del av steiner, jord, luft og vann.

Uran forekommer i naturen i form av mineraler, men aldri som metall. Uran kommer inn i vann ved utvasking fra jord og steiner, eller i utslipp fra prosessanlegg.

Kjernekraft kommer på en delt andreplass på miljømessig, dette er fordi kjernekraftverk produserer ingen klimagassutslipp under drift, og i løpet av livssyklusen produserer kjernekraft omtrent samme mengde karbondioksid ekvivalenter utslipp per enhet elektrisitet som vind. Prosessene for utvinning og raffinering av uranmalm og produksjon av reaktorbrensel krever imidlertid store mengder energi. Hvor grønn energien som blir brukt til utvinning og raffinering bestemmer hvor grønn hele produksjonen totalt sett blir. Generering av kjernekraft slipper ikke ut skadelige klimagasser i luften, men det skaper farlig avfall. Avfallet skapt av kjernekraftverk forblir radioaktivt i tusenvis av år etter at det er skapt. Mange problemer oppstår når man prøver å finne ut hvordan man skal lagre dette radioaktive avfallet.

Kjernekraftverk har svært strenge sikkerhetstiltak på plass, men ulykker kan skje uansett hvor forsiktig man er. En nedsmelting ved et kjernekraftverk kan ha en katastrofal innvirkning på de områdene rundt, som vi kjenner fra Tsjernobyl-katastrofen. Ved en kjernefysisk nedsmelting kan skadelig stråling lekke ut, noe som kan gi negative effekter på miljøet og på menneskers helse. Hendelsen i Tsjernobyl i 1986 førte til slutt til tusenvis av dødsfall, med estimer som spenner fra 4000 til 60 000 døde som følge av hendelsen (Ritchie 2017). Ikke nok med det, flere enn 2 millioner mennesker sliter fortsatt med helseproblemer knyttet til Tsjernobyl. I dag, over 30 år senere, er tilgangen fortsatt begrenset innenfor den 19 mil lange Tsjernobyl-eksklusjonssonen (Hjelmgaard 2016). Det er imidlertid viktig å huske på at denne typen ulykker er sjeldne, og at teknologien har blitt mye bedre siden 1986. I tillegg viser mange studier at fossilt brensel industrien er vesentlig mer dødelig enn kjernekraftindustrien, selv når du inkluderer katastrofer som Tsjernobyl.

Kjernekraft har et veldig lovende fremtidig energiforsyning potensial. Hvis vi kan lære å kontrollere atomfusjon (de samme reaksjonene som de som gir energi til solen), kan vi praktisk talt ha ubegrenset energi. For øyeblikket har denne metoden noen alvorlige utfordringer som må utredes dersom vi skal begynne å bruke dem i større skala. Potensialet det har er imidlertid viktig å huske på når man tenker på energiproduksjon i fremtiden.

4.3.5 Vindkraft

4.3.5.1 Offshore Vindkraft

Offshore vindkraft kommer relativt dårlig ut av den økonomiske delen av tabell 4. Den er på en 7. plass med en kostnad på ca 98 US\$ per MWh. De største grunnene til dette er at:

- teknologien og forskning innenfor offshore vindkraft er relativ ny.
- Forholdene vindmøllene skal driftes i er svært utfordrende. De større offshore møllene vi har er ca. 258 m og flyter i områder med bølger opp til 26 m og gjennomsnittsdybde på 3800m. Dette fører til at konstruksjon, oppsett og forvaltning av møllene blir meget komplisert.
- Kostnader knyttet til strømkablene kan bli store. Legging av strømkablene som kan transportere elektrisitet fra offshoreparken langs havbunnen til land er for tiden svært dyrt. Spenningstap grunnet lengre overføringsdistanser er et stort problem, og dette fører til økte kostnader og tap av elektriskenergi.

På det miljømessige scorer offshore vind relativt bra. Det er på en delt andreplass med ca. 12 gCO₂eq per kWh. Vindkraft kan ses på som en sann fornybar energikilde. Selve produksjonen av elektrisitet fra vindmøller har svært lite utslipp av drivhusgasser, dette utslippet oppstår i hovedsak under bygging og transport. Et aspekt som ikke bli tatt hensyn til i den miljømessige analysen er møllenes påvirkning på dyreliv. I Norge har vindmøller fått stor kritikk for påvirkningen de har spesielt på fuglebestanden i området. Vindmøller dreper i snitt 230 000 fugler årlig, noe som kan ses på som et stort tall, men sammenligner vi dette med antall fugler drept av katter per år (ca 2.4 milliarder), er det ikke noe stort tall (U.S Fish and Wildlife Service, n.d.). Ser vi mer på offshore delen av vindkraft har det blitt stilt spørsmål rundt offshore møllene og strømkablenes påvirkning på marint liv, men det er enda ikke kommet noe tilstrekkelig forskning på dette feltet.

Den fremtidige bruken av offshore vindkraft vil komme svært an på i hvilken grad teknologi og nye løsninger blir utviklet. Som nevnt over, er det stort problem at offshorevind strømkablene må transportere elektrisitet over lange distanser langs en ujevn havbunn. Men klarer vi å løse slike problemer, har vindkraft flere fordeler som gjør det til et godt fornybart alternativ. Offshore vindmøller har i gjennomsnitt både mer stabil og kraftigere tilførsel av vind enn onshore vindmøller. En meget stor andel av verdens energikrevende områder ligger langs kysten og vil kunne få elektrisiteten rett fra havet.

Det er store områder tilgjengelig til havs som med høy sannsynlighet ikke vil møte samme motstanden som områder med onshore vind har.

I tiden frem til problemet med strømkablene er forbedret tror vi fortsatt at offshore vind kan bidra til en elektrifisering av offshore petroleum plattformer. Equinor for eksempel har satt et mål om å redusere utslipp fra plattformer med 70% innen 2040. Et av de store tiltakene som blir snakket om knyttet til dette er elektrifisering av plattformer med strøm fra land. En slik elektrifisering har blitt gjennomført på enkelte plattformer, men på flere av plattformene oppstod det samme problem som med offshore vindkraft strømkablene kompleksitet og kostnad. Med dette i tankene tror vi at en utbygging av vindkraft i tilknytning til plattformene, som kan gi en relativt stabil fornybar elektrisitetstilførsel vil være et godt alternativ.

4.3.5.2 Onshore vindkraft

Vindturbiner som blir satt opp på land er relativt billig, og sammenlignet med vindturbiner satt opp i havet er det veldig mye billigere. Vindkraft på land kom på en 2. plass økonomisk sett. Siden det er mindre avstand mellom turbinene og forbrukeren, blir det også mindre spenningsfall i kabelen, enn hvis man skulle satt de opp i havet. Vindturbiner på land har et relativt lite karbonavtrykk. Noen klimagassutslipp skapes ved produksjon, transport og installasjon av vindturbiner, men disse anses som ganske lave. Vindturbiner på land kom på 1.plass med tanke på utslipp av gCO₂-ekvivalenter. I gjennomsnittsrangeringen havnet den på en førsteplass.

Mens et kjernekraftverk kan ta mer enn 20 år å bygge fra den første planleggingsfasen, kan en vindturbin settes opp og begynne å levere strøm til nettet i løpet av noen måneder. En annen vedlagt fordel med vindturbiner på land er at når de er i drift, har de lave vedlikeholdskostnader. Vindparker på land har en forholdsvis liten fysisk påvirkning på områdene rundt. Det beste er at giftstoffer ikke frigjøres, stedet kan dyrkes rundt, og det er veldig liten innvirkning på dyrelivet også.

Et problem med enhver type vindturbin er at den ikke er en stabil produsent av elektrisitet. Dette ville ikke nødvendigvis vært et problem hvis vi kunne lagre elektrisiteten som produseres når etterspørselen er svært lav, men energilagring er for tiden veldig ineffektiv, dyr og uprøvd.

Vindturbiner plassert på land er gjenstand for uforutsigbarhet når det gjelder hastigheten på vinden som strømmer gjennom turbinene. Fordi vindhastighet og vindretning varierer på land, kan det være noe utfordrende å oppnå konstant kraftproduksjon. Som et resultat må vindhastighet og retning overvåkes nøye for å planlegge vellykket energiproduksjon. Fordi landturbiner ikke produserer kontinuerlig, må det suppleres med andre energikilder når vindhastigheten er lav. Etter hvert som vi blir mer avhengige av vindparker for energien vår, øker også avhengigheten av konstante energikilder som fossilt brensel, kjernekraft eller vannkraft

Vindturbiner på land blir ofte kritisert for sin visuelle innvirkning, og at det ødelegger det som tidligere har vært naturskjønne områder. De er typisk spredt over større områder enn andre energiproduserende installasjoner, og har derfor større innvirkning på lokalmiljøet. Samlet sett er fordelene med vind på land mye mer enn de potensielle ulempene.

4.3.6 Vannkraft

Fra tabell 4 kan vi se at vannkraft kom ut som en av de beste energikildene. Vannkraft ble rangert på 4 plass i miljømessige aspekter bak kjernekraft og vindkraft (offshore/onshore). Når det kom til de økonomiske aspektene kom det på en 1 plass som den mest kostnadseffektive energikilden vi så på.

Den store utfordringen med måling av de miljømessige og økonomiske aspekter for bærekraft for vannkraft med et internasjonalt syn, er som tidligere nevnt at for å oppnå effektiv masseproduksjon av elektrisitet ved hjelp av vannkraft, bør man helst ha en geografi med høydeforskjeller, mye nedbør, fosser, elver eller smeltevann som får vann til å bevege seg i høye hastigheter (stor bevegelsesenergi). Ligger ikke slike forutsetninger til grunn kan tiltak som utvidelse av vassdrag, konstruksjon av kunstig fall og oppdemming av urørt villmark ha store miljømessige påvirkninger i tillegg til økte kostnader.

Et land hvor implementeringen av vannkraft har vært en suksess er Norge I Norge regnes vannkraft som den viktigste strømproduserende energikilden og står for 90% av all nasjonal kraftproduksjon (SSB 2022). Grunnene til at Norge har valgt å satse på vannkraft i denne skalaen er at det var basert på en lett tilgjengelig fornybar kilde, enkelt

konsept, God geografi og topografi for produksjon i stor skala, Stor sikkerhet/forutsigbarhet. (Statskraft 2021)

Skal vi klare utslippsmålene og oppnå en overgang til fornybar energi, tror vi at vannkraft vil spille en sentral rolle. Av alle de fornybare energikildene vi har sett på i studien, er vannkraft den eneste som kan tilpasse produksjon etter behov, og som har mulighet til effektiv lagring i form av stillingsenergi i vannmagasinene.

På grunn av disse faktorene ser vi på modernisering av gamle kraftverk og utbygging i områder med gunstig geografi som vesentlig.

Vannkraft er ikke effektivt overalt og vil ikke være løsningen på miljøsituasjonen i seg selv, men utbygning og modernisering kan gi økt energisikkerhet.

4.4 Anbefalinger for fremtidig satsning

Bærekraftsmålene vi har hatt med oss i tankene når vi skulle komme med anbefalinger er:

Mål 7 (Ren energi for alle)

Mål 8 (Anstendig arbeid og økonomisk vekst)

Mål 12 (Ansvarlig forbruk og produksjon)

Mål 13 (Stoppe klimaendringene).

For å oppnå disse målene mener vi at man bør over tid fase ut fossile energikilder, og heller øke produksjon fra fornybare energikilder og kjernekraft.

Skal vi komme med en anbefalinger for hvilke energikilder vi skal satse på fremover i tid. Ser vi på det som essensielt å ha en bred satsning på flere energikilder ut fra klima til det enkelte området fremfor en enkel.

Ut fra analysen vår av de forskjellige energikildene med bakgrunn i miljømessig og økonomisk bærekraft, ser vi på vannkraft som den beste energikilden og anbefaler sterkt områder med naturlige forutsetninger å benytte seg av det.

Det som ligger til grunn for denne anbefalingen er at:

- Vannkraft vil i løpet av levetiden produsere den mest kostnadseffektive elektrisiteten.
- Har relativt lave utslipp

- Løser det største problemet fornybare energikilder har, stabilitet og forutsigbarhet gjennom vannmagasin

Som nevnt tidligere i oppgaven er ikke vannkraft egnet for alle områder. Vannkrafts effektivitet vil variere stort ut fra det enkelte områdets geografi og topografi. På grunn av dette vil vi anbefale bruk av vindkraft kombinert med solkraft eller kjernekraft i områder hvor de naturlige forutsetningene ikke er til stede.

Skal vi bare se på tallene kom vindkraft ut av analysen som den høyest rangerte energikilden, med det lavest utslippet, og den nest høyeste kostnadseffektiviteten. Vindkraft har som fordel at det blåser nesten over alt, og vil være et godt alternativ for elektrisitetsproduksjon i områder som ikke har forutsetninger for vannkraft. Ulempen med vindkraft er stabil produksjon av strøm. Batteri teknologien vi har i dag er verken billig eller god nok, til at det vil lønne seg å lagre overskuddet fra vindmøllene til ned perioder. En løsning kan heller være å kombinere vindparker med solparker, ettersom det normalt vil være god tilgang til sol i perioder med lite vind.

Grunnet mål 12 (Ansvarlig forbruk og produksjon) mener vi at hoveddelen av energi satsingen bør være innenfor energikildene hvor naturressurser kontinuerlig fornyes (fornybare energikilder).

Men som nevnt på over på vannkraft sliter fornybare energikilder med stabilitet, og krever derfor supplerer fra andre energikilder i perioder med lav produksjon og høy etterspørsel. Kjernekraft er i likhet med fossile energikilder svært pålitelig og stabil, men vil ha vesentlig lavere levetids utslipp, i tillegg har kjernekraftverk en relativ høy kostnadseffektivitet noe som gjør kjernekraft til en meget god supplerende energikilde. (Hesthammer 2020)

4.5 ØKL 400

Store deler av Informasjonen og tankene som har blitt benyttet i diskusjons delen er hentet fra presentasjoner, pensum materiell og diskusjoner i felles faget ØKL400 Bærekraftig energi.

5 Konklusjon

Denne bacheloroppgaven har hatt som formål å analysere flere av energikildene som er prognosert til å fremover bli benyttet i det internasjonale energimarkedet, finne ut hvordan de sammenligner opp imot hverandre med et fokus på bærekraft dimensjonene. Komme med en prognose av energikildene vil fremtidige rolle, og komme med en anbefaling for hvilke det bør satses på.

Problemstillingen vår er *Hvilke energikilder bør vi fremover satse på ut i fra miljømessig og økonomisk bærekraft?*

Vi forstod tidlig i oppgaven at fossile brensler burde fases ut med et perspektiv på fremtiden, ettersom disse energikilden har vesentlig mye høyere utslipp av drivhusgasser en kjernekraft og de fornybare energikildene. Grunnet mangel på infrastruktur, teknologi og økonomiske midler for fornybare energikilder, vil ikke denne utfasingen skje over natta men heller over en lengre periode.

Underveis i oppgaven ble det også klart at løsningen på problemstillingen vår ikke vil være en felles internasjonal satsning på en enkelt energikilde, men heller en variert satsning på flere forskjellige energikilder, ut fra hvilke klima, behov og forutsetningene et geografisk område har. Faktorer som sier noe om hvilke energikilder det enkelte geografiske området bør satse på er beliggenhet, høydeforskjeller, vindforhold, solforhold og energietterspørsel.

En stor utfordring for de fleste fornybare energikilder er at de er ikke regulerbare dette vil si at de bare produserer energi når det er tilgang til den enkelte energiressursen, for eksempel vil man ikke kunne produsere elektrisitet med et solcellepanel uten sol eller med vindkraft uten vind. her har vannkraft en stor fordel ovenfor de andre fornybare energikildene. Så lenge det ikke er en tørkeperiode vil man kunne regulere kraftproduksjon ut fra etterspørsel med vannmagasiner. Vannkraft er dessverre ikke egnet for alle områder da det krever høydeforskjeller og tilstrekkelig mengder med gjennomsnittlig nedbør. Et godt alternativ for stabil produksjon vil være å supplere med kjernekraft. Kjernekraft har dessverre pådratt seg et dårlig rykte som en følge av et fåtall katastrofale hendelser, kjernekraft har kommet langt siden disse hendelsene og i flere av studiene vi har sett på er dødsfall fra kjernekraft lavere en de knyttet for eksempel til fossilt brensel. Ser vi på tabell 4 scorer kjernekraft svært bra innen både livsløp utslipp og kostnader.

Det viktig å nevne at utslipp og kostnader ikke vil dekke hele den miljømessige og økonomiske bærekrafts dimensjonene, men vi så dette som gode generelle indikatorer for denne oppgaven.

6 Referanseliste

1. Brigham, A. M. and J. W. Moses, 2021. «Den nye oljen» Norsk statsvitenskapelig tidsskrift 37(1): 4-25.
2. BRYMAN, A. & BELL, E. 2011. Business Research Methods, Oxford, Oxford University Press.
3. Businesswire 2021. «Global Renewable Energy Industry Guide 2021: Value and Volume 2016-2020 and Forecast to 2025» 02.02.2021
[https://www.businesswire.com/news/home/20210902005385/en/Global-Renewable-Energy-Industry-Guide-2021-Value-and-Volume-2016-2020-and-Forecast-to-2025---ResearchAndMarkets.com#:~:text=The%20global%20renewable%20energy%20marke](https://www.businesswire.com/news/home/20210902005385/en/Global-Renewable-Energy-Industry-Guide-2021-Value-and-Volume-2016-2020-and-Forecast-to-2025---ResearchAndMarkets.com#:~:text=The%20global%20renewable%20energy%20market,of%206%2C674%2C946.2%20GWh%20in%202020.)
[t,of%206%2C674%2C946.2%20GWh%20in%202020.](https://www.businesswire.com/news/home/20210902005385/en/Global-Renewable-Energy-Industry-Guide-2021-Value-and-Volume-2016-2020-and-Forecast-to-2025---ResearchAndMarkets.com#:~:text=The%20global%20renewable%20energy%20marke)
4. DeCarlo, Matthew. 2018. “7.3 Unit of Analysis and Unit of Observation.” Pressbook. 07. 08 2018.
<https://scientificinquiryinsocialwork.pressbooks.com/chapter/7-3-unit-of-analysis-and-unit-of-observation/>.
5. EIA 2022. «Levelized Costs of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2022»
https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/electricity_generation.pdf
6. FN.no, 2020 «Parisavtalen» 22.12.2020.
<https://www.fn.no/om-fn/avtaler/miljoe-og-klima/parisavtalen>
7. FN.no, 2021. «Bærekraftig utvikling» 28.10.2021
<https://www.fn.no/tema/fattigdom/baerekraftig-utvikling>
8. Fordal, L. G. and T.-W. Skille 2020. Fra olje til energi, Nord universitet. 2020

9. Gong, J., Li, C. and Wasielewski, M.R., 2019. Advances in solar energy conversion. Chemical Society Reviews, 48(7), pp.1862-1864.
<https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2019/cs/c9cs90020a>

10. Gruben, Maren H, Fossanger, Kjersti, Husø, Jonathan 2022. «Tidenes Største handelsoverskudd i 2021». Statistisk sentralbyrå.no
<https://www.ssb.no/utenriksokonomi/utenrikshandel/statistikk/utenrikshandel-med-varer/artikler/tidenes-storste-handelsoverskudd-i-2021>

11. Hesthammer, Jonny 2020. “KOSTNADER OG STABILITET FOR KRAFTPRODUKSJON” TU.no. 27.05.2020
<https://www.tu.no/artikler/gass-og-vannkraft-er-billigst-kjernekraft-mest-stabilt-mens-kullkraft-er-avfallsverstingen/492851>

12. Hofstad, Knut; Halleraker, Jo Halvard 2021. fornybar energi. Store norske leksikon. 30. 09. 2021
https://snl.no/fornybar_energi

13. Hofstad, Knut; Rosvold, Knut A 2018. fossilt brensel. Store norske leksikon. 13. 03. 2018
https://snl.no/fossilt_brensel

14. IEA 2020. Projected Costs of Generating Electricity 2020, IEA, Paris
<https://www.iea.org/reports/projected-costs-of-generating-electricity-2020>

15. IPCC 2018. «The IPCC's fifth assessment report». Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva 2018

16. Jacobsen, Dag Ingvar 2015. Hvordan gjennomføre undersøkelser? : innføring i samfunnsvitenskapelig metode. Cappelen Damm akademisk

17. John Elkington år 1999. Cannibals With Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business. New Society Publishers.
18. Kunnskapsdepartementet. 2022. "FNs bærekraftsmål", bilde, Regjeringen.no. 27,04 2022.
<https://www.regjeringen.no/no/tema/utdanning/innsikt/internasjonalt-kunnskapssamarbeid/utdanning-og-nye-barekraftsmal/id2398973/>.
19. Lazard 2021. Lazard`s levelized cost of energy analysis – version 14.0
<https://www.lazard.com/media/451419/lazards-levelized-cost-of-energy-version-140.pdf>
20. Lindseth, M. 2020. Globalisering og Ulikhet: En paneldata-analyse, NTNU 2020
21. Lunde, Siglinde, 2019. «Energikilder i strømproduksjonen». Strøm.no
<https://xn--strm-ira.no/energikilder>
22. Mjønerud, Ingunn. 2019. "Vannkraft – Kraftproduksjon i et vannkraftverk", bilde, Strøm.no. 21. 11. 2019.
<https://xn--strm-ira.no/vannkraft>.
23. Mæhlum, Lars. 2020. "Solceller." Store Norske Leksikon. Store norske leksikon 28.04.2020
<https://snl.no/solceller>
24. NHO 2020 "Bærekraftig utvikling blir viktigere for eiere, investorer og långivere" 06.01.2020
[https://www.nho.no/tema/energi-miljo-og-klimatek/artikler/bedriftene-ma-ogsa-vare-barekraftige/](https://www.nho.no/tema/energi-miljo-og-klimatek/energimiljo-og-klimatek/artikler/bedriftene-ma-ogsa-vare-barekraftige/)
25. Norges forskningsråd. 1996. "New renewable energy sources; Nye fornybare energikilder." Norway
<https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/20068781>

26. Office of Nuclear Energy. 2021. "Nuclear 101: How Does a Nuclear Reactor Work?", bilde, Energy.gov. 29. 03. 2021.
<https://www.energy.gov/ne/articles/nuclear-101-how-does-nuclear-reactor-work> .
27. Pikpng n.d. . "Oil/Gas Power Plant - Diagram Natural Gas Power Plant Clipart Pikpng.", bilde, n.d.
<https://www.pikpng.com/transpng/hTTRJwx/>
28. Oljedirektoratet 2022 "FANGST, TRANSPORT OG LAGRING AV CO₂" 30.03.2022
<https://www.norskpetroleum.no/miljo-og-teknologi/fangst-transport-og-lagring-av-co2/>
29. Papapetrou, Michael, Kosmadakis, George, 2022. "Salinity Gradient Heat Engines". Woodhead Publishing.
30. Passaris, C. 2006 "The business of globalization and the globalization of business" Journal of Comparative International Management 9(1): 3-18.
31. RB Jackson 2021. Global Carbon budget 2021. 04.11.2021
https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/21/files/GCP_CarbonBudget_2021.pdf
32. Regjeringen.no 2020. Meld. St. 36 (2020–2021) 23.08.2021
<https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-36-20202021/id2860081/?ch=1>
33. Rolsdorff, Nina, and Jonathan Husø. 2022. "Tredje Største Handelsoverskudd Noensinne." Statistisk Sentralbyrå. 16. 05. 2022.
<https://www.ssb.no/utenriksokonomi/utenrikshandel/statistikk/utenrikshandel-med-varer/artikler/tredje-storste-handelsoverskudd-noensinne>.
34. Rosvold, Knut A, and Lars Mæhlum. 2017. "Gasskraftverk.", bilde, Store Norske Leksikon. 12, 12 2017.
<https://snl.no/gasskraftverk>.

35. Saunders, Mark N. K., Philip Lewis, and Adrian Thornhill. 2012. Research methods for business students. 6th ed. ed. Harlow: Pearson.
36. Saunders, Mark N. K., Philip Lewis, and Adrian Thornhill. 2016. Research methods for business students. 7th ed. ed. Harlow: Pearson.
37. Selin, N. Eckley. "Components off windturbine", bilde, Britannica, 17. 10. 2021.
<https://www.britannica.com/science/renewable-energy>
38. Solcraft 2021. "How PV(photovoltaic) Solar Cells Work.", bilde, SolarCraft. 2. 12 2021.
<https://solarcraft.com/residential-commercial-solar-power-how-it-works/>
39. Statkraft 2022. «Vannkraft» 10.03.2022
<https://www.statkraft.no/var-virksomhet/vannkraft/>
40. Statkraft 2022 "Vindkraft" n.d.
<https://www.statkraft.no/var-virksomhet/vindkraft/>
41. Thomas, Gary. 2011. How to do your case study : a guide for students and researchers. Los Angeles: Sage.
42. Wesley Deason, 2018. Comparison of 100% renewable energy system scenarios with a focus on flexibility and cost, Volume 82, Part 3,2018, Side 3168-3178,
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117313990>
43. Yin, Robert K. 2018. Case study research and applications : design and methods. Sixth edition. ed. Los Angeles, California: SAGE.