



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2023 30 stp**

Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning

# **Bærekraftsanalyse av et mikronett i Filippinene: En komparativ studie av klima- og miljøpåvirkninger i et livsløpsperspektiv**

Sustainability Analysis of a Microgrid in the  
Philippines: A Comparative Study of Climate and  
Environmental Impacts in a Life Cycle Perspective

**Julie Angelil og Emma Thuv**

Fornybar Energi



## Forord

Denne oppgaven markerer avslutningen på vår mastergrad i Fornybar Energi ved Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet (NMBU). Masteroppgaven er skrevet våren 2023 i samarbeid med energilagringsselskapet Pixii AS.

Vi er svært takknemlige for alle som har bidratt til to minnerike år på NMBU. Først og fremst ønsker vi å takke vår masterveileder Ole Jørgen Hanssen for fantastisk oppfølging og hyggelige samtaler gjennom hele skriveprosessen. Takk til både Regina Skattenborg fra NORSUS og medstudinne Elise Finsrud for å ha bevilget arbeidstimer for assistanse i SimaPro.

Videre rettes en stor takk til vår mentor Ole Jakob Sjørdalen for eksepsjonell biveiledning. Vi setter stor pris på ditt bidrag til en spennende oppgave og faglig kompetanse, samt tilgang på informasjon og data som har vært avgjørende for studiens kvalitet. Ikke minst har din tålmodighet og støtte gjennom utfordrende perioder vært av stor betydning. Vi vil også takke Pixii AS med ansatte for å ha bistått med plass på kontoret under arbeidet med masteroppgaven.

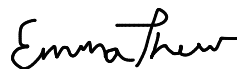
Avslutningsvis ønsker vi å benytte anledningen til å takke våre samboere Mauricio Vasquez og Mons Røisland for motiverende og oppmuntrende ord gjennom hele prosessen.

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

Ås, 15.06.2023



Julie Angelil



Emma N. Thuv



## Sammendrag

I 2023 stod energisektoren for hele 35% av verdens klimagassutslipp. Uten betydelig reduksjon i klimagassutslipp fra energisektoren vil det være umulig å begrense <2 graders-målet til Parisavtalen innen dette århundre. I omstillingen til en grønn energisektor er teknologier som batteribasert energilagring essensielt for å kunne integrere en økende andel av variable fornybare energikilder.

Formålet med studien har derfor vært å vurdere den miljø- og samfunnsmessige nytteverdien ved å erstatte en dieselgenerator med et batteribasert energilagringssystem i kombinasjon med solcellepaneler i tilknytning til et mikronett. De miljømessige effektene ved denne utskiftningen har blitt analysert gjennom en komparativ livsløpsanalyse. I tillegg har det blitt kartlagt bransjens holdning til bærekraft, og anvendelse av livsløpsanalyser i bærekraftsvurderinger.

Beregningene som er gjort i tilknytning til analysen bærer preg av usikkerhet, men resultatene fra analysen indikerer at batterilagringssystemet og solcellepanelene bidrar til reduksjon av utslipp, samt at systemet gir en samfunnsmessig nytteverdi ved å kontinuerlig bidra til forsyningssikkerhet i et område med ustabil tilknytning til strømmettet.

Energilagringens miljøpåvirkning er i stor grad avhengig av energimiksen fra strømmettet som benyttes under oppladning av batteriene, og man vil kunne redusere en betydelig andel utslipp ved å benytte fornybare energikilder fremfor strømmettet.

Funnene i de semistrukturerte intervjuene viser at den grønne omstillingen har bidratt til økende miljøbevissthet fra myndigheter og interessenter. Det har ført til et vidt spekter av ulike rammeverk og metoder for å vurdere bærekraft. Bærekraft er et bredt begrep, hvilket gjør det utfordrende for markedet å navigere mot det. Ulike bransjer står ovenfor unike utfordringer og må tilpasse vurderingen av sine aktiviteter spesifikk miljøfotavtrykk heretter. Ved å vise til åpenhet rundt sine aktiviteter gjennom en standardisert livsløpsanalyse, muliggjøres sammenlignbare vurderinger på tvers av ulike produkter og bransjer. Dette vil være et viktig steg på veien mot en bærekraftig industri.

## Abstract

In 2023, the energy sector accounted for a whopping 35% of global greenhouse gas emissions. Without a significant reduction in emissions from the energy sector, it will be impossible to achieve the <2-degree Celsius goal of the Paris Agreement within this century. In the transition to a green energy sector, technologies such as battery-based energy storage are essential to successfully intergrate an increasing share of variable renewable energy sources.

The purpose of this study has therefore been to assess the environmental and societal benefits of replacing a diesel generator with a battery-based energy storage system combined with solar panels in connection to a microgrid. The environmental effects of this replacement have been analyzed through a comparative life cycle assessment. Additionally, the industry's perspective towards sustainability and the application of life cycle assessments in sustainability evaluations has been surveyed.

The calculations related to the analysis carry some uncertainty, but the results indicate that the battery storage system and solar panels contribute to emission reduction and provide societal benefits by continuously ensuring power supply in an area with an unstable grid connection. The environmental impact of the energy storage solution largely depends on the energy mix from the grid used for charging the batteries, and a significant portion of emissions can be reduced by utilizing renewable energy sources instead of the grid.

The findings from the semi-structured interviews demonstrate that the green transition has led to increased environmental awareness among authorities and stakeholders. This has resulted in a wide range of frameworks and methods for assessing sustainability. Sustainability is a broad concept, which makes it challenging for the market to navigate towards it. Different industries face unique challenges and must adapt the assessment of their specific activities' environmental footprint going forward. By demonstrating transparency in their activities through a standardized life cycle assessment, comparable evaluations across different products and industries are enabled. This is an important step towards a sustainable industry.

## Forkortelser

**AC** – Alternating current (vekselstrøm)

**ALCA** – Attributional LCA

**BESS** – Battery energy storage systems (batteribasert energilagringssystem)

**CLCA** – Consequential LCA

**DC** – Direct current (likestrøm)

**DES** – Distributed energy system

**EoL** – End of life

**EPD** – Environmental product declaration (miljødeklarasjon)

**ISO** – International organization for standardization

**LCA** – Life cycle assessment (livsløpsvurdering)

**LCI** – Life cycle inventory

**LCIA** – Life cycle impact assessment

**LFP** – Litium jern fosfat

**LIB** – Litium ion batteri

**NMC** – Nikkel mangan kobolt

**PEF** – Product environmental footprint

**PV** – Photovoltaic

**RBS** – Radiobasestasjon

**VRE** – Variable renewable energy (variabel fornybar energi)

## Energienheter

***kW*** – Kilowatt ( $10^3$  watt)

***MW*** – Megawatt ( $10^6$  watt)

***GW*** – Gigawatt ( $10^9$  watt)

***TW*** – Terawatt ( $10^{12}$  watt)

***kWh*** – Kilowatt hours ( $10^3$  watt hours)

***kWp*** – Kilowatt peak

***V*** – Volt

***A*** – Ampere

***kVa*** – Kilovolt-ampere ( $V \cdot A$ )

***MJ*** – Mega joule ( $10^6$  joules)

***Mtoe*** – Million tons of oil equivalent





# Innholdsfortegnelse

<b>Sammendrag .....</b>	<b>III</b>
<b>1 Introduksjon .....</b>	<b>1</b>
1.1 Klima- og miljøendringer .....	1
1.2 Energisektorens påvirkning og veien fremover .....	1
1.3 Mikronett med batteribasert energilagring .....	3
1.4 Internasjonal klimapolitikk .....	4
1.5 Energiproduksjon og klimapolitikk i Norge .....	5
1.6 Energiproduksjon og klimapolitikk i Filippinene .....	6
1.7 Livsløpsanalyser .....	7
1.8 Bakgrunn for oppgaven .....	8
<b>2 Mål og problemstilling .....</b>	<b>9</b>
2.1 Mål med oppgaven .....	9
2.2 Problemstilling og forskningsspørsmål .....	9
<b>3 Kunnskapsgrunnlag .....</b>	<b>11</b>
3.1 Litteraturstudie .....	11
3.2 Utvinning av råmaterialer og produksjon av LFP batterier .....	12
3.2.1 Generelt om batterier .....	12
3.2.2 Batterikjemi og egenskaper .....	13
3.2.3 Utvinning av råmateriale .....	14
3.2.4 Syntetisk grafitt og naturlig grafitt .....	15
3.3 Retningslinjer for miljøvurderinger i Europa og Norge .....	16
3.4 Miljøvurdering av batteribasert energilagringssystemer fra tidligere studier .....	18
3.5 Eksisterende analyser av teknologier tilknyttet radiobasestasjoner .....	21
<b>4 Metodikk og datagrunnlag .....</b>	<b>25</b>
4.1 Valg av forskningsmetode .....	25
4.2 LCA metodikk .....	26
4.3 Hensikt og omfang .....	27
4.4 LCI – livsløpsinventar .....	28
4.5 LCIA – vurdering av miljøpåvirkninger .....	29
4.6 Tolkning av resultater .....	30

4.7	<i>Semistrukturerte intervjuer</i> .....	30
<b>5</b>	<b>Studieobjekt, systembeskrivelse og omfang</b> .....	<b>34</b>
5.1	<i>Beskrivelse av prosjekt</i> .....	34
5.2	<i>Studieobjekt</i> .....	34
5.3	<i>Fysikken til kraftsystemet</i> .....	35
5.4	<i>Motivasjon</i> .....	37
5.5	<i>Systembeskrivelse</i> .....	39
5.6	<i>Funksjonell enhet og materialstrøm</i> .....	41
5.7	<i>Systemgrenser</i> .....	42
5.8	<i>Allokering</i> .....	43
5.9	<i>Cut-off kriterium</i> .....	44
5.10	<i>Materialstrømanalyse</i> .....	44
5.11	<i>Livsløpsfaser</i> .....	52
<b>6</b>	<b>Livsløpsregnskap</b> .....	<b>54</b>
6.1	<i>Datagrunnlag og datakvalitet</i> .....	54
6.2	<i>Stykkliste</i> .....	54
6.2.1	<i>Diesलगenerator</i> .....	54
6.2.2	<i>Teknologier som inngår i mikronettet</i> .....	55
6.3	<i>Bruksfasen</i> .....	58
6.4	<i>Transport</i> .....	60
6.5	<i>Avhending</i> .....	62
<b>7</b>	<b>Resultater</b> .....	<b>63</b>
7.1	<i>Materialstrømanalyse</i> .....	63
7.2	<i>Livsløpsanalyse</i> .....	64
7.2.1	<i>Hovedresultater</i> .....	64
7.2.2	<i>Normalisering</i> .....	66
7.2.3	<i>Utvalgte miljøpåvirkningskategorier</i> .....	68
7.2.4	<i>Bidrag for delprosessene i hvert av systemene</i> .....	70
7.3	<i>Scenarioanalyse</i> .....	72
7.4	<i>Sensitivitetsanalyse</i> .....	75
7.5	<i>Oppsummering av LCA</i> .....	79
7.6	<i>Kvalitative resultater</i> .....	81

7.6.1	Tema 1: Motivasjon for arbeid med bærekraft.....	81
7.6.2	Tema 2: Rammeverk for bærekraftsvurderinger .....	83
7.6.3	Tema 3: Anvendelse av livsløpsanalyser i bærekraftsvurderinger .....	84
7.6.4	Tema 4: Økt interesse ved miljødokumentasjon i form av livsløpsanalyser .....	86
7.7	<i>Oppsummering av kvalitative resultater.....</i>	86
<b>8</b>	<b>Diskusjon.....</b>	<b>88</b>
8.1	<i>Studiens funn.....</i>	88
8.2	<i>Resultater sett i lys av tidligere livsløpsanalyser.....</i>	89
8.3	<i>Tolkning av intervjuer.....</i>	91
8.4	<i>Kritisk refleksjon .....</i>	92
8.5	<i>Hvordan kan resultatene brukes og realiseres.....</i>	94
8.6	<i>Videre arbeid .....</i>	95
<b>9</b>	<b>Konklusjon.....</b>	<b>97</b>
<b>10</b>	<b>Referanser.....</b>	<b>98</b>
	<b>Vedlegg .....</b>	<b>106</b>

## Liste over figurer

Figur 1: Global elektrisitetsproduksjon 2020 og 2050 (International Renewable Energy Agency, 2023) .....	2
Figur 2: Aktuelt bærekraftsmål for batteribasert energilagringssystemer .....	4
Figur 3: Fysisk levert strøm i Norge i 2021 (NVE, 2023a).....	6
Figur 4: Illustrasjon av prinsippet for en battericelle (Gunvaldsen, 2021) .....	12
Figur 5: Klassifisering av FNs 17 bærekraftsmål (Hannan et al., 2021) .....	20
Figur 6: Oversikt over negative og positive påvirkninger fra BESS på bærekraftsmålene (Hannan et al., 2021) .....	20
<i>Figur 7: Illustrasjon av studiens forskningsdesign.</i> .....	25
Figur 8: Oversikt over påvirkningskategorier som dekkes av ReCiPe 2016-metoden (National Institute for Public Health and the environment, 2016). .....	29
Figur 9: Oversikt over PixiiPowerShaper2 og komponentene som inngår (Pixii AS, 2023) .....	35
Figur 10: Svingning i spenning ved en bestemt frekvens på 50Hz (NVE, 2022) .....	36
Figur 11: Totalt DES installert kapasitet og kraftproduksjon i Filippinene 2015 (Economic Research Institute for ASEAN and East Asia, 2018). .....	39
Figur 12: Referansesystem med dieselgenerator som reserveløsning.....	40
Figur 13: Ny løsning som erstatter dieselgeneratoren med PV og BESS. ....	41
Figur 14: Systemgrenser for system 1 med dieselgenerator som reserveløsning (Smith et al., 2015). .....	42
Figur 15: Systemgrenser for system 2 med PV og BESS som reserveløsning (Smith et al., 2015). .....	43
Figur 16: Oversikt over spenningsnivå og elektrisitet levert fra diesel generator og strømnnett. 46	46
Figur 17: «State of Charge» tilsvarer batteriets ladetilstand. ....	47
Figur 18: Skisse av energiflyten i system 2. ....	48
Figur 19: Elektrisitetsflyt gjennom en omformer. ....	49
Figur 20: Oversikt over spenning hver time i løpet av døgnet, last og energikilde.....	50
Figur 21: Sammenligning av elektrisitet levert av strømnettet i de to alternative systemene....	50
Figur 22: Prosentvis inndeling av energikilder som inngår i det filippinske strømnettet. ....	59
Figur 23: Normaliserte resultater for påvirkningskategorier for de to energisystemene.....	66
Figur 24: Normaliserte resultater for begge systemene. ....	67
<i>Figur 25: Normaliserte resultater ekskludert toksisitet og økotoksisitet.</i> .....	67
Figur 26: Miljøpåvirkninger i utvalgte kategorier for delprosessene i system 2 ekskludert nett. 71	71
Figur 27: Miljøpåvirkning fra ett LFP batteri produsert i Norge versus Kina.....	73
Figur 28: Normaliserte utslippsdata for utvalgte miljøkategorier for det fornybare systemet med og uten solceller.....	74

Figur 29: Normaliseringsfordeling for hyttefelt i Norge for system 1: Diesel vs. System 2: BESS + PV. ....	75
Figur 30: Oversikt over elektrisitet levert fra forskjellig kilder i system 2 ved en hyppigere frekvens av brownouts og blackouts. ....	78
Figur 31: Sensitivitetsanalyse for antall batterisykluser for utvalgte miljøpåvirkningskategorier. ....	79
Figur 32: Oversikt over motivasjon for arbeid med bærekraft hos finansielle aktører og leverandører. ....	81
Figur 33: Oversikt over resultatene av hvilke rammeverk som benyttes i bærekraftsvurderinger. ....	83
Figur 34: Oversikt over resultatene for kjennskap og anvendelse av livsløpsanalyser i bærekraftsvurderinger.....	85
Figur 35: Oversikt over resultatene for økt interesse for investering, finansiering og samarbeid. ....	86

## Liste over tabeller

Tabell 1: Utvalg av nøkkel- og søkeord benyttet under litteratursøk. ....	11
Tabell 2: Oversikt over globale reserver for ulike metaller (Porzio & Scown, 2021). ....	14
Tabell 3: Oversikt over intervjuobjekter sortert etter bransje .....	31
Tabell 4: Materialstrøm for system 1: Diesel.....	51
Tabell 5: Materialstrøm for system 2: BESS + PV.....	51
Tabell 6: Livsløpsfaser for en LCA (Gervasio & Dimova, 2018). ....	52
Tabell 7: BoM dieselgenerator og tank.....	55
Tabell 8: BoM for ett kabinett. ....	55
Tabell 9: BoM for én PixiiBox. ....	56
Tabell 10: BoM for én Pixii Gateway.....	56
Tabell 11: BoM for 1 LFP batteri. ....	57
Tabell 12: BoM PV for én standard modul på 1,7 m <sup>3</sup> . ....	58
Tabell 13: BoM for solar vekselretter. ....	58
Tabell 14: Data for de to systemene i bruksfasen. ....	59
Tabell 15: Transportstrekning for dieselgeneratoren for system 1 i Filippinene. ....	61
Tabell 16: Transportstrekning for dieseltank for system 1 i Filippinene. ....	61
Tabell 17: Transportstrekning for PV og solar vekselretter for system 2 i Filippinene. ....	61
Tabell 18: Transportstrekning for Pixii PowerShaper2 for system 2 i Filippinene. ....	62
Tabell 19: Livsløpsbelastning tilhørende system 1. ....	65
Tabell 20: Livsløpsbelastning tilhørende system 2. ....	65
Tabell 21: GWP for begge systemene samt prosentvis reduksjon fra system 1 til 2. ....	68
Tabell 22: FEP for begge systemene samt prosentvis økning fra system 1 til 2. ....	69
Tabell 23: PMFP for begge systemene samt prosentvis reduksjon fra system 1 til 2. ....	69
Tabell 24: OFTEP for begge systemene samt prosentvis reduksjon fra system 1 til 2 .....	70
Tabell 25: Prosentvis påvirkning til forbrenning av diesel og elektrisitet fra nettet i livsløpet til system 1. ....	70
Tabell 26: Prosentvis påvirkning fra elektrisitet fra nettet i livsløpet til system 2. ....	71
Tabell 27: Strømanalyse for kWh/liter diesel. ....	76





# 1 Introduksjon

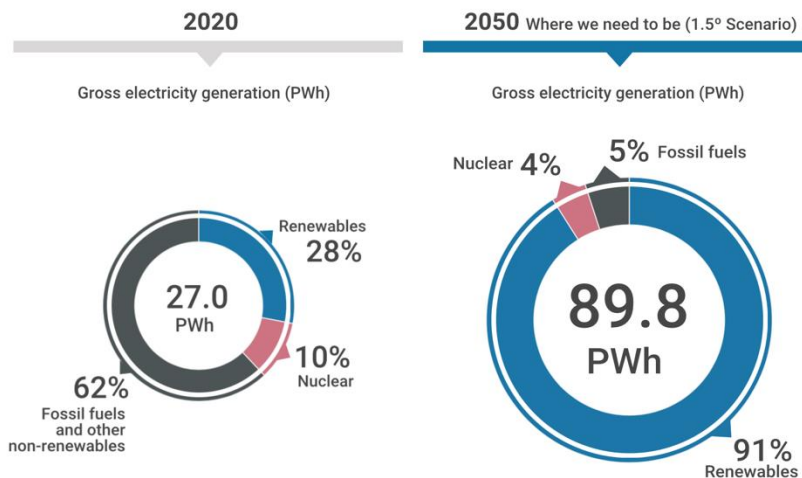
## 1.1 Klima- og miljøendringer

Naturforsker David Attenborough kalte under UNs Security Council Open Debate i 2021, klimaendringene *“den største trusselen mot sikkerhet som moderne mennesker noensinne har møtt»*, og advarte om at nåværende konsentrasjon av karbondioksid i atmosfæren overgår alle toppnivåer registret de siste millioner årene. Uten drastiske endringer vil man se sammenbruddet av økosystemtjenestene som legger grunnlaget for vår eksistens (UN, 2021). Det er stor vitenskapelig enighet om at miljø- og klimaendringer er antropogene, og at aktivitetene knyttet til forbrenning av fossile energiresurser er en ledende årsak.

## 1.2 Energisektorens påvirkning og veien fremover

Energisektoren er ansvarlig for den største andelen av verdens klimagassutslipp, og står for hele 35% av totale utslipp (UN, 2023). Majoriteten av disse er forårsaket av forbrenning av kull, olje og gass. Utslippene økte i 2022 til 37,5 milliarder tonn, som er en økning på rundt 1% sammenlignet med 2021 (Friedlingstein, 2022). Uten betydelige reduksjoner i klimagassutslipp fra energisektoren vil det være umulig å begrense den globale oppvarmingen for å opprettholde <2 graders-målet til Parisavtalen innen dette århundret.

Å redusere utslipp fra energisektoren byr på flere utfordringer. Den største utfordringen energisektoren står ovenfor er skiftet fra fossilt brensel mot fornybare energikilder, som vind- og solenergi. Overgangen til et fornybart energisystem kompliseres imidlertid av flere faktorer. Dette inkluderer blant annet kostnader for fornybare energiteknologier og integrering av en økende andel av variable fornybare energikilder (VRE). For at energisystemet skal kunne introdusere økende kapasitet av VRE, kreves det store investeringer i infrastruktur for å håndtere den økende variasjonen.



Figur 1: Global elektrisitetsproduksjon 2020 og 2050 (International Renewable Energy Agency, 2023)

Under Berlin Energy Transition Dialouge den 28 mars 2023 sa generaldirektør i International Renewable Energy Agency (IRENA), Francesco La Camera, at en vellykket energiomstilling krever dristige og transformativt tiltak som gjenspeiler hastverket med dagens situasjon. Selv om det er gjort fremskritt må andelen av fornybar energi fortsette å øke fra rundt 3000 GW i dag, til over 10 000 GW i 2030. Et gjennomsnitt på 1000 GW årlig. La Camera sa videre at «å forfølge utslippsreducerende tiltak for fossilt brensel-sektoren er nødvendig, men ikke tilstrekkelig for å omstille til et energisystem som håndterer en dominerende andel fornybar energi». Det første eksemplaret av IRENAs World Energy Transition 2023, skisserer tre prioriterte pilarer som er avgjørende for energiomstillingen: fysisk infrastruktur, politikk og regulatoriske virkemidler (International Renewable Energy Agency, 2023).

IRENAs rapport advarer også om at manglende fremgang øker investeringsbehovet ytterligere. Globale investeringer i energiomstillingsteknologier var i 2022 på 1,3 billioner USD, men for å holde seg til ønsket temperaturnivå på 1,5 grader må årlige investeringer mer enn firedobles til over 5 billioner USD. I tillegg understreker La Camera at det kreves offentlig inngrep for å rette investeringer mer rettferdig mot utviklingsland. I dag er det fortsatt millioner av mennesker som mangler tilgang på pålitelig og rimelig energikilder. Det må settes mer fokus på energitilgang og klimatilpasning, da 85% av globale investeringer i fornybar energi kom til gode

for mindre enn 50% av verdens befolkning i 2022 (International Renewable Energy Agency, 2023).

### 1.3 Mikronett med batteribasert energilagring

En tilnærming for å møte utfordringene er overgangen fra kraft som produseres ved store sentraliserte kraftverk, til en mer desentralisert energistruktur med distribuert kraft fra fornybar energiproduksjon (DES) – eller såkalte mikronett (Energikommisjonen, 2023). Mikronett er en nøkkelkomponent i desentraliserte energidistribusjonssystemer, og er et lokalisert energisystem som kan fungere uavhengig eller parallelt med hovednettet. Mikronett brukes ofte sammen med desentraliserte energidistribusjonssystemer for å øke påliteligheten til lokal energiforsyning, spesielt i avsidesliggende eller landlige områder. Ved å generere og distribuere energi lokalt, kan mikronett redusere overføringstap og øke effektiviteten, samtidig som det gir reservestrøm i tilfelle strømbrudd og andre forstyrrelser (Ajaz & Bernell, 2021).

I tillegg kan mikronett bidra til å redusere klimagassutslipp ved å muliggjøre integrering av fornybare energikilder. Dette er spesielt viktig i områder der strømmettet drives av fossilt brensel eller hvor tilgangen til pålitelig elektrisitet er begrenset. Mikronett består typisk av distribuerte energiresurser som solceller eller vindturbiner og energilagring, eller mer spesifikt: batteribaserte energilagringssystemer (BESS), samt kontroll- og styringssystemer som lar mikronettet operere autonomt eller i koordinering med strømmettet (Ajaz & Bernell, 2021).

BESS har fått økende oppmerksomhet på grunn av sin multifunksjonalitet. En av de viktigste funksjonene er integrering av VRE som vind- og solkraft. VRE-kilder er sporadiske som medfører at energien kun kan benyttes når solen skinner og vinden blåser. BESS kan løse dette problemet ved å lagre overflødig energi til perioder med underskudd på energi. Dette gir en mer pålitelig og forutsigbar forsyning av fornybar energi, og reduserer behovet for reserveenergi fra fossilt brensel. Likeledes kan BESS levere reservestrøm eller nødstrøm i tilfeller ved strømbrudd hos mange samfunnskritiske applikasjoner, og dermed øke sikkerheten til strømmettet.

BESS består av tre hovedkomponenter: batteribanken, omformere og et kontrollsystem. Hver av disse komponentene inneholder hundrevis av materialer, som kan medføre energikrevende utvinningsprosesser, elektronisk avfall og miljøskadelige effekter. Til tross for de pågående fremskrittene innen batteriteknologien, har noen av materialene som brukes i batterier begrenset tilgjengelighet på jorden, og deres økende forbruk og utvinning kan føre til tap av naturressurser.

Sammensetningen av et batteri bestemmes av dets spesifikke egenskaper. Litium-ion batterier som nikkell mangan koboltoksid batterier (NMC) og litium jernfosfat batterier (LFP), brukes ofte til stasjonære energilagringssystemer. Forskjellene mellom disse batteriene ligger først og fremst i deres energitetthet, levetid, sikkerhet og pris. Imidlertid kan utvinning av kobolt i NMC batterier føre til alvorlig sosiale konsekvenser som barnarbeid og menneskelig eksponering for tungmetaller, mens LFP batterier krever utvinning av metaller som kobber og aluminium. Selv om det er tilstrekkelig reserver av litium, krever utvinningen store mengder vann, som er av stor bekymring (Bilich et al., 2017).

#### 1.4 Internasjonal klimapolitikk

Med økt uttak av naturressurser blir det stadig viktigere å gjennomføre god klimapolitikk og retningslinjer som næringen skal følge. Dette krever en koordinert og ambisiøs respons fra beslutningstakere på alle nivåer.

Parisavtalen, vedtatt i 2015, er den viktigste internasjonale avtalen om klimaendringer til nå, med mål om å begrense den globale oppvarmingen til godt under 2 grader, og helst 1,5 grader, over førindustrielt nivå. I tillegg til Parisavtalen har flere land også vedtatt FNs bærekraftsmål (SDGs). Disse består av 17 mål som tar sikte på å utrydde fattigdom, bekjempe ulikhet og stoppe klimaendringer innen 2030 (UN, 2022).



Figur 2: Aktuelt bærekraftsmål for batteribasert energilagringssystemer

Europas «Green Deal»-initiativ har som mål å oppnå en klimanøytral økonomi innen 2050 ved å transformere EUs økonomi og samfunn bærekraftig og ressurseffektivt, samtidig som den skal sikre en rettferdig økonomi og grønn omstilling for alle. Green Deal inkluderer flere politiske initiativ, som EUs klimalov, EUs handlingsplan for en sirkulær økonomi, og det nye EU-direktivet for batterier som erstatter det eksisterende fra 2006. Det nye direktivet innebærer nytt rammeverk fra vugge-til-grav, og når den trer i kraft vil krav til bærekraft, karbonavtrykk, resirkulering og holdbarhet gradvis innføres fra 2024 og utover. Fra 2025 vil et mer omfattende regelverk for utvidet produsentansvar gjelde. Alle innsamlede batterier skal resirkuleres og det vil settes krav til høyere gjenvinningsgrad. Det gjelder spesielt verdifulle materialer som litium, nikkel, bly, kobber og kobolt. Mål for gjenvinning for litium vil settes til 50% innen 2027 og 80% innen 2031. I tillegg må selskaper med batterier på det europeiske markedet kunne vise til at alle materialer til produksjonen ble utvinnet på en ansvarlig måte, og sosial og miljømessig risiko knyttet til handel, utvinning og prosessering av råmaterialer må identifiseres (European Parliament, 2022).

### 1.5 Energiproduksjon og klimapolitikk i Norge

Norsk kraftproduksjon har den høyeste andelen av fornybar strøm i hele Europa, og er ifølge NVE tilnærmet utslippsfri (NVE, 2023). NVEs beregning av *klimadeklarasjon for fysisk levert strøm* for 2021, viser at strømmen som blir brukt i Norge i hovedsak kommer fra fornybare energikilder. Vannkraft, vindkraft og annen fornybarkraft sto for 97%, og CO<sub>2</sub>-faktor for bruk av strøm i 2021 ble beregnet til 11 gram CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kWh (NVE, 2023a). I 2020 lå denne på 8 gram CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kWh. Klimadeklarasjon for fysisk levert strøm tar hensyn til at Norge utveksler strøm med andre Europeiske land, og inkluderer utslipp fra importert strøm. Forskjellen mellom gram CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kWh i 2020 og 2021 skyldes at 2021 var det første året med beregninger som inkluderte import gjennom utenlandskabelen NordLink (NVE, 2023a).



Figur 3: Fysisk levert strøm i Norge i 2021 (NVE, 2023a)

Norge har forpliktet seg til Parisavtalen og har i samsvar med denne satt som mål å redusere utslippet av klimagasser med 55% innen 2030 sammenlignet med 1990-nivå, og må rapportere utslippsmål hvert femte år. Tilsvarende utslippsmål gjelder for Norges samarbeid gjennom EUs klimaavtale (Klima-og miljødepartementet, 2021). EUs klimalov setter rammene for norsk klimapolitikk, og skal fremme omstillingen til et lavutslippssamfunn, hvor målet er at utslippene skal reduseres med 95% i 2050 (Klima-og miljødepartementet, 2021). De norske utslippene skal reduseres gjennom prinsippet om at forurenser betaler. 80% av klimagassutslipp i Norge har enten en avgift eller er en del av klimakvote-systemet til EU (EU-ETS). I tillegg til økonomiske virkemidler benyttes også støtteordninger og lovreguleringer (Klima-og miljødepartementet, 2021).

## 1.6 Energiproduksjon og klimapolitikk i Filippinene

Filippinene er en tropisk skjærgårdsnasjon med en befolkning på omtrent 100 millioner som er bosatt på hele 7 641 øyer. Den nordlige hovedøyen Luzon er hjemsted for 38,5 millioner mennesker og står for betydelige 73% av landets totale energiproduksjon. Til tross for økende innsats for å utnytte fornybare energikilder, fortsetter kull, olje og gass å være de dominerende energikildene på Filippinene. Ifølge Det Internasjonale Energibyrådet (IEA) var energiproduksjonen i 2020 1 300 TJ, mens elektrisitetsforbruket ble registrert til 92 TWh (IEA,

2020). Energidepartementet (DoE) på Filippinene spår en årlig vekst på 4,78% i peak- etterspørsel etter elektrisitet, med tall som forventes å stige fra 9 726 MW i 2016 til 14 501 MW i 2025 og 29 852 MW innen 2040. Landet har de siste årene hatt store utfordringer med å forsyne innbyggerne med pålitelig og tilstrekkelig energi, og følgelig vil strømmnettets infrastruktur kreve betydelig midler for utvidelse for å imøtekomme den økende etterspørselen (Asian Development Bank, 2018).

På grunn av sin lange kystlinje, økende befolkning og stor risiko for flom, er landet sårbart for de negative virkningene av klimaendringene. Landbruket utgjør en betydelig andel av økonomien, og konsekvensene av global oppvarming på avlinger kan resultere i betydelig nedgang eller ødeleggelse. Regjeringens forslag til bidrag omfatter blant annet økning av installert kapasitet av fornybar energi. Landet har videre lovet å redusere klimagassutslippene med 70% i forhold til «business as usual»-scenariet for 2000-2030, etter at de ratifiserte Parisavtalen 1. mars 2017, men med forbehold om tilgjengelige økonomiske ressurser. Over halvparten av landets CO<sub>2</sub>-utslipp kommer fra kraftproduksjon (Climate Transparency, 2020).

## 1.7 Livsløpsanalyser

Under omstillingen fra fossile til fornybare energiresurser er det viktig å være transparent med påvirkningen de individuelle teknologiene har på miljøet. Solcellepaneler krever store arealer som påvirker naturen, og har i tillegg energikrevende produksjonsprosesser. Batteriproduksjon på sin side, kan innebære utvinning av knappe råmaterialer fra jordskorpen. Som svar på økende miljøbevissthet fra interessenter, oppfordres industrier til å evaluere miljøpåvirkningen av deres aktiviteter. Flere bedrifter prioriterer nå bærekraft som en del av deres visjon og strategi, og går lenger enn å bare overholde miljøforskrifter og retningslinjer. Denne innsatsen fra bedrifter sender et positivt budskap til samfunnet om at de aktivt iverksetter tiltak for å ta vare på miljøet og drive sine virksomheter bærekraftig. Som et resultat blir miljørådgivere hentet inn for å undersøke produkter og tjenester fra alle perspektiver. Dette har ført til en økning i etterspørselen etter livsløpsanalyser (LCA), for å vurdere og beregne miljøpåvirkningen og fotavtrykket til et produkt fra vugge-til-grav. LCA har blitt et standardisert verktøy for å

fremme miljømessig bærekraft på tvers av ulike bransjer, og forventes å bli ytterligere ettertraktet i fremtiden når EU introduserer «Product Environmental Footprint» (PEF) metoden. Dette innebærer nye og forbedrede retningslinjer for hvordan man skal evaluere fotavtrykk i Europa (Directorate-Genral for Environment, 2021).

## 1.8 Bakgrunn for oppgaven

Denne oppgaven ble gjennomført i samarbeid med energilagringsselskapet Pixii AS. Selskapet ble etablert i Norge i 2018, og deres batteribaserte energilagringssystem leverer fleksibilitet til nettet med en rekke smarte funksjoner. Deres teknologi for distribuert energilagring gjør det mulig å integrere fornybar energi slik at nettet blir mer motstandsdyktig mot både strømbrydd og svingninger. Dette øker sikkerheten og påliteligheten til energiforsyningsystemet og bidrar til at alle har tilgang til den energien de trenger, samtidig som det reduserer avhengigheten av fossile energikilder og dermed reduserer utslipp. Pixii operer på et globalt marked og leverer sine systemer til flere prosjekter også i utviklingsland.

Denne oppgaven vil derfor ta for seg et pilotprosjekt tilknyttet en radiobasestasjon (RBS) i Filippinene, hvor Pixii skal erstatte en dieselgenerator som reserveløsning ved strømbrydd med et mikronett bestående av BESS og PV. Tradisjonelt benyttes dieselgeneratorer i en rekke land med svakt nett for å sikre tilgang på strøm for en kritisk infrastruktur, slik som radiobasestasjoner. Bruk av dieselgeneratorer er imidlertid blitt kostbart. I tillegg har økende bevissthet om bærekraft ført til et ønske om å vurdere alternativer slik som batterisystem og PV.



## 2 Mål og problemstilling

### 2.1 Mål med oppgaven

Filippinene har de siste årene hatt store utfordringer med strømforsyning. Dette har ført til økende grad av installasjoner av dieselgeneratorer både i husholdninger og for offentlig bruk. Forbrenning av diesel medfører store miljøpåvirkninger og har helsemessige konsekvenser for mennesker og dyr. Målet med oppgaven er å analysere den miljø- og samfunnsmessige nytteverdien ved å erstatte en dieselgenerator som reserveløsning ved strømbryt for en radiomast, med et mikronett bestående av BESS og PV. Denne konkrete case-analysen for en RBS i Filippinene vil være relevant for å forstå potensialet for reduksjon av klimagasser ved å erstatte dieselgeneratorer med BESS og PV for andre anvendelser. Som aktør på det europeiske markedet må Pixii tilpasse seg retningslinjer og rammeverk i henhold til EU for å kunne sikre finansiering av deres prosjekter, uavhengig av installasjonens lokasjon. Med dette ønskes det å avdekke holdninger til bærekraft hos ulike aktører, samt interessen for livsløpsanalyser, slik at Pixii videre kan inkorporere denne analysen i sitt bærekraftsarbeid.

### 2.2 Problemstilling og forskningsspørsmål

Hovedproblemstilling for denne oppgaven er:

*Hvordan vil implementering av et batteribasert energilagringssystem med solcellepaneler i et mikronett påvirke klimagassutslipp for energiløsningen på radiobasestasjonen, og i hvilken grad blir LCA benyttet som metodikk i bærekraftsvurderinger?*

Den overordnede problemstillingen er konkretisert ned til 5 forskningsspørsmål:

1. Hvordan er materialforbruket for et energisystem knyttet til en RBS med batteribasert energilagringssystem?

2. Hva er det samlede bidraget til miljøbelastninger og klimagassutslipp for et batteribasert energilagringssystem med solceller, og for hvilke komponenter og i hvilket steg i livssyklusen vil majoriteten av miljøpåvirkninger opptre?
3. Hvordan påvirkes resultatene med utskiftning av LFP battericeller produsert i Norge sammenlignet med produksjon i Kina?
4. Hvordan påvirkes resultatene fra livsløpsanalysen dersom mikronettet hadde vært tilknyttet et hyttefelt i Norge?
5. Hvilken holdning til bærekraft finnes det hos interessenter i næringslivet og i hvilken grad blir livsløpsanalyser benyttet som et viktig grunnlag i bærekraftsvurderinger hos disse?

Materialforbruket til de to systemene vil være avgjørende for resultatet og studeres i en materialstrømanalyse. Forskningsspørsmål 2 til 4 vil besvares gjennom en livsløpsanalyse av de ulike energisystemene. Det siste forskningsspørsmålet skal besvares ved å gjennomføre intervjuer av aktuelle aktører i bransjen.

## 3 Kunnskapsgrunnlag

### 3.1 Litteraturstudie

Dette delkapittelet tar for seg kunnskapsgrunnlagets *status quo* innenfor relevante fagfelt for denne studien. Her blir spesielt tidligere livsløpsanalyser for aktuelle teknologier i tilknytning til mikronettet studert. For å finne relevant data og litteratur ble databasene Web of Science, Scopus, Oria og Google Scholar brukt. Litteratursøket startet bredt for å danne en grunnleggende forståelse, for videre å konkretiseres for mer spesifikke emner. Ved funn av særlig aktuelle artikler for studien ble snøball-metoden benyttet, som er en utvelgingsmetode som baserer seg på å velge ut relevante kilder fra artikkelens litteraturliste. Et utvalg av søkeord som ble benyttet i litteratursøket er oppgitt i Tabell 1.

Tabell 1: Utvalg av nøkkel- og søkeord benyttet under litteratursøk.

Keywords & search words
LCA
Microgrid
LFP
Battery energy storage «or» BESS
Photovoltaic “or” PV
Diesel genset “and” back up

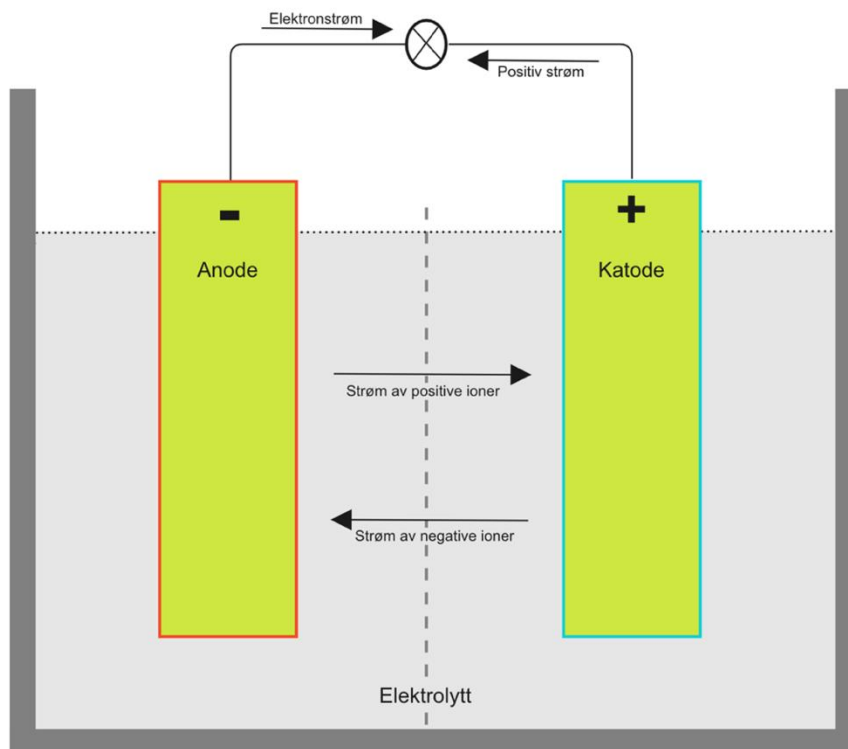
Denne studien skiller seg ut fra tidligere forskning og litteratur da systemet som skal analyseres består av nyere teknologier. Energilagringssystemer basert på batterier og solcelleteknologi er områder med kontinuerlig teknologisk utvikling. Nye produkter, materialer og produksjonsprosesser introduseres jevnlig, noe som fører til stadig forbedring av ytelse, effektivitet og bærekraft. Litteraturen klarer ikke alltid holde tritt med de nyeste fremskrittene, og det kan derfor være utfordrende å finne oppdaterte studier og data for denne analysen. Kunnskapsgrunnlaget er dermed hovedsakelig basert på en kombinasjon av ulike vitenskapelige rapporter og artikler, samt et utvalg relevante livsløpsanalyser. Det siste forskningsspørsmålet baserer seg på ulike interessenters forhold til bærekraft, og viktigheten av

bærekraftsdokumentasjon i bransjen. I kunnskapsgrunnlaget belyses situasjonen i Norge slik den er i dag, og det forklares i korte trekk hvilke lovverk og reguleringer som er gjeldene.

## 3.2 Utvinning av råmaterialer og produksjon av LFP batterier

### 3.2.1 Generelt om batterier

Et batteri er en enhet som omformer lagret kjemisk energi til elektrisk energi og motsatt (Gunvaldsen, 2021). Det består av en eller flere elektrokjemiske celler som hver inneholder en positiv elektrode (katode), en negativ elektrode (anode) og en elektrolytt. Elektrolytten er ofte en væske eller gele, som skiller katoden og anoden fra hverandre, og leder ioner mellom elektrodene. Når en last er koblet til batteriet, skjer det en kjemisk reaksjon inne i cellen som får elektroner til å strømme fra katoden gjennom lasten til anoden, hvilket genererer en elektrisk strøm, slik det er illustrert i figuren nedenfor.



Figur 4: Illustrasjon av prinsippet for en battericelle (Gunvaldsen, 2021)

Samtidig som strøm produseres vil ladete ioner transporteres mellom anoden og katoden i batteriet. Når batteriet lades, tvinges elektroner og ioner til å bevege seg i motsatt retning. Batterier kan deles inn i to grupper, avhengig av om de kan lades opp eller ikke. Engangsbatterier, også kalt primærbatterier, kastes eller resirkuleres etter endt levetid. De oppladbare batteriene, sekundærbatterier, er de som videre skal analyseres i denne studien.

### 3.2.2 Batterikjemi og egenskaper

De fleste batterier er bygget opp slik det er illustrert i figur 4. Likevel finnes det flere batterityper som baserer seg på ulik kjemi i anode- og katodematerialet. Tidligere var bly- og nikkel-kadium-batterier de mest benyttede batteriene innen elektrisk energilagring, men disse blir nå byttet ut med lettere og mer effektive batterier – slik som litium-ion batterier (LIB) (Rosvold, 2023). Denne batteritypen kjennetegnes ved at den har litium som en del av anodemateriale. Det finnes en rekke ulike batterier som baserer seg på litium-ion-kjemien, og to typer som er mye brukt er NMC og LFP batterier. Forskjellen på disse to ligger i materialsammensetningen i katoden. I denne studien er fokuset rettet mot LFP ( $\text{LiFePO}_4$ ) batterier. LFP batterier skiller seg fra andre litium-ion-batterier ved at de benytter litium-jernfosfat som materiale i katoden. Andre batterier, slik som eksempelvis NMC, bruker nikkel, mangan og kobolt. Den ulike materialsammensetningen i katoden er avgjørende for batteriets egenskaper.

Når det gjelder batteriegenskaper ligger forskjellen i NMC og LFP batterier i hovedsak på energitetthet, levetid, sikkerhet og kostnad. LFP batterier har en lavere energitetthet på ca. 90-140 Wh/kg (Porzio & Scown, 2021), hvilket resulterer i tyngre batterier. LFP battericeller har mulighet til å pakkes tettete sammen. Dette fører til at det blir plass til mer batteri per volum, og gjør det mulig å øke energitettheten på batteripakkenivå. LFP batterier har typisk lengere levetid, og opprettholder ytelsen i over 3000 fulle sykluser (Porzio & Scown, 2021). De ses på som en sikrere batteritype, da oksygen bindes sterkt til fosfor, hvilket minsker sjansene for at cellene kan begynne å brenne. At batteripakkene er tyngre, men tryggere gjør at denne typen

batterier passer godt til stasjonær energilagring, ettersom vekt i et slikt tilfelle ikke er en avgjørende faktor (Bjartnes, 2021).

### 3.2.3 Utvinning av råmateriale

Behovet for ulike mineraler og metaller er avhengig batterikjemien. LFP batterier har ikke behov for hverken nikkel, kobolt eller mangan, men har på sin side 50% større behov for kobber enn NMC batterier (Kim, 2021). Mineraler og metaller er ikke-fornybare ressurser som finnes naturlig i konsentrerte områder rundt om i verden. Utnyttelse av knappe metaller og mineraler vil kunne ha en stor innvirkning på reservene. For LFP batterier er det utvinning av blant annet kobber (elektrodesubstrat) og aluminium (battericellebeholder) som i størst grad utgjør en forskjell (Oliveira et al., 2015). Når det gjelder litiumreservene finnes det mer enn nok av dette metallet. Det er ikke kvantumet, men selve utvinningen som er problematisk i da det krever store mengder vann. Tabell 2 presenterer globale reserver for metaller som utvinnes i tilknytning til LIB produksjon. Verdier for LFP batterier er markert i rødt.

Tabell 2: Oversikt over globale reserver for ulike metaller (Porzio & Scown, 2021).

Element	Li-ion battery component	Global reserves [tons]	Country with largest reserves	Share of largest reserves [%]	Global mining production [tons]	Country with largest mine production	Share of largest mine production [%]
Aluminum (Al)	Cathode current collector, NCA cathode	30 000 000	Australia	17	63 200	China	55
Iron (Fe)	LFP cathode	84 000 c)	Australia	29	1 520 000	Australia	37
Phosphorus (P)	LFP cathode	71 000 000	MAR and EH a)	70	227 000	China	42
Manganese (Mn)	LMO, NMC cathode	1 300 000	South Africa	40	19 600	South Africa	30
Carbon C) b)	Graphite anode	320 000 000	Turkey	28	1 100 000	China	64
Nickel (Ni)	NMC, NCA cathode	94 000 000	Indonesia	22	2 610 000	Indonesia	33
Copper (Cu)	Anode current collector	870 000	Chile	23	20 400	Chile	28
Cobalt (Co)	NMC, NCA cathode	7 100 000	DRC	51	144 000	DRC	69
Lithium (Li)	All cathodes, electrolyte	21 000 000	Chile	43	86 000	Australia	52

a) Morocco and Western Sahara

b) Natural Graphite

c) Representative of iron content in ore

Det er også viktig å nevne de sosiale og etiske aspektene ved utvinningen av kobolt i enkelte LIB, som eksempelvis NMC batterier. De største koboltreservene finnes i Den Demokratiske Republikken Kongo (DRC), der det har vært alvorlige miljømessige og sosiale konsekvenser som spenner fra barnearbeid til menneskelig eksponering for tungmetaller, spesielt fra uregulert håndverks- og småskala gruvedrift (Quan et al., 2022) (Porzio & Scown, 2021). Nye EU-regulativer vil forsøke å forhindre denne praksisen ved å stille strenge krav til materialer og batterier produsert og importert på det europeiske markedet (European Commission, 2022). LIB med LFP katoder inneholder ikke kobolt, dermed vil batterier med slik katodekjemi unngå problematikken med uetisk gruvearbeid.

Når det gjelder produksjon av LFP-katodematerialer er det to ulike måter å gjøre dette på: hydrotermisk og solid-state produksjon. Den hydrotermiske produksjonsmetoden krever litiumhydroksid, fosforsyre og jernsulfat. Jernsulfat er vanligvis et avfallsprodukt fra stålindustrien og har minimal miljøpåvirkning dersom den hentes derfra. Dersom jernfosfat hentes fra andre kilder, må miljøkonsekvensene fremdeles tas i betraktning. Samutfelling av disse materialene resulterer i LFP, og litiumsulfat blir et biprodukt som må fjernes (Porzio & Scown, 2021).

#### 3.2.4 Syntetisk grafitt og naturlig grafitt

Grafitt er det viktigste anodematerialet i LIB. Grafitt er krystallisert karbon (C), og finnes som naturlig mineral spesielt i metamorfe bergarter. Både naturlig grafitt og syntetisk grafitt brukes som anodematerialer i batterier, men når det gjelder egenskaper og bruksområder skiller de seg noe fra hverandre.

Naturlig grafitt er et mineral som finnes i jordskorpen, vanligvis med urenheter som leire, glimmer og andre mineraler. Den har en lagdelt struktur som gjør den ideell for bruk i anodematerialer i LIB. Den naturlige grafitten har god elektrisk ledningsevne og høy spesifikk kapasitet, noe som gjør at den kan lagre store mengder energi per masse (Maltby, 2021).

Syntetisk grafitt produseres ved å varme opp andre karbonkilder som petroleumskoks eller steinkulltjære til en høy temperatur. Dette gjør grafitten ekstremt ren, i tillegg til at strukturen er jevnere enn for naturlig grafitt. Syntetisk grafitt har både høyere tetthet og høyere termisk og elektrisk ledningsevne enn naturlig grafitt, hvilket gjør mineralet ideelt for høyytelsesbatterier (Pan, 2023).

Produksjonen av syntetisk grafitt til batterier er langt mer energikrevende enn fremstillingen av naturlig grafitt. Dermed vil produksjonssted og energimiksen være utslagsgivende for miljøpåvirkningene ved denne fremstillingen. Kina er i dag den største produsenten av syntetisk grafitt (Pan, 2023). Under produksjonen av syntetisk grafitt vil karbondioksid bindes til grafitten, men likevel vil utslipp i form av nitrogenoksider, svoveloksider og andre helsefarlige partikler oppstå. Det er kartlagt flere områder i Nord-Norge med forekomst av naturlig grafitt, og Norge er Europas største produsent av dette mineralet (Ask, 2023). Med bakgrunn i dette baserer forskningsspørsmål nr. 3 seg på produksjon av LFP batterier i Kina og Norge.

### 3.3 Retningslinjer for miljøvurderinger i Europa og Norge

Forventninger fra myndigheter, samarbeidspartnere og forbrukere om at virksomheter skal ta ansvar for sin påvirkning på miljø og samfunn er økende. Dette fører til et behov for åpenhet og informasjon om virksomhetens aktiviteter, samt hvilke miljøpåvirkninger disse medfører.

Utviklingen av nye regelverk i forbindelse med rapportering av bærekraft har skutt fart de siste årene, og det finnes i dag flere rammeverk og retningslinjer for miljøvurdering i Europa. Mange av regelverkene som finnes er tilknyttet bærekraftig finans, ettersom kapital er en avgjørende faktor for å finansiere omstillingen til det grønne skiftet.

EUs Green Deal ble første gang presentert i 2019 (European Commission, 2023c), og avtalen har et ambisiøst mål om å nå klimanøytralitet i EU i 2050. Green Deal er en helhetlig tilnærming som tar sikte på å tilrettelegge økonomien og samfunnet for å redusere klimagassutslippene. Den har som mål å oppnå dette ved å kombinere tiltak innen energi, transport, landbruk, industri og andre sektorer. Implementeringen av strategien vil også være i tråd med FNs 2030



agenda og bærekraftsmålene. Ved å sette fokus på klima og bærekraft tar Green Deal sikte på å bidra til oppnåelse av flere av FNs bærekraftsmål, inkludert mål knyttet til ren energi, bærekraftig industri og å fremme bærekraftige økonomiske modeller (Regjeringen, 2020).

Handlingsplanen for sirkulær økonomi er sentral i EUs Green Deal. Handlingsplanen ble første gang lagt frem i 2020, og tar sikte på å fremme en mer bærekraftig økonomi basert på prinsippene om resirkulering, gjenbruk og avfallshåndtering. Senere samme år ble det som en del av oppfølgingen til handelsplanen for sirkulær økonomi presentert et forslag til en batteriforordning. Dette nye regelverket skal støtte Europas overgang til ren energi, og stiller krav til produsentansvar rundt batteriers livssyklus, ettersom produksjonsfasen er svært energiintensiv, og dermed utgjør en stor andel av CO<sub>2</sub>-fotavtrykket til et batteri. I tillegg er bærekraftig utvinning av råmaterialene som inngår i battericellene og gjenvinning av komponenter en viktig del av forordningen (Røberg, 2022).

I 2020 lanserte EU-kommisjonen taksonomiforordningen (Nilsen, 2023). Ifølge taksonomien klassifiseres en aktivitet som økonomisk bærekraftig når den bidrar til minst ett av seks miljømål, samtidig som den ikke er til vesentlig skade for noen av de andre. Loven trådte i kraft i Norge i januar 2023 (Regjeringen, 2023) og fremstår som en konkret miljømerkeordning. Dette er noen utvalgte av mange regelverk og retningslinjer som finnes for virksomheter i EU i dag. EU er Norges største handelspartner, og mange av Norges lover og reguleringer er allerede tilpasset EU-standarder gjennom EØS-avtalen. Dersom EU implementerer strengere reguleringer og standarder for miljø, klima og bærekraft kan det forventes at Norge også vil bli påvirket og må tilpasse sine lovgivninger for å være i samsvar med EU-standarder, og norske selskap kan se det nødvendig å tilpasse seg disse kravene for å beholde og utvide sin markedstilgang til EU. For at norske bedrifter skal kunne konkurrere på like vilkår, kan det være nødvendig å tilpasse seg og investere i bærekraftige løsninger.

Den økende etterspørselen etter synliggjøring og åpenhet om selskaps miljøprofil i Norge, fører til at viktigheten ved å gjennomføre studier av miljøpåvirkning av produktene og aktivitetene

deres øker. Videre kan selskaper benytte resultatene fra studiene i produktutviklingsprosesser. På EU sine hjemmesider opplyses det at det ikke er mulig for bedrifter å presentere sine produkter som bærekraftige uten å gjennomføre en konsis livsløpsanalyse (European Commission, 2023a). En livsløpsanalyse er en omfattende metode som benyttes for å evaluere miljøpåvirkningen til et produkt eller en tjeneste gjennom hele livssyklusen, og er i dag det beste verktøyet for å beregne et produkts miljøpåvirkning (Musil, 2023). I dag utarbeides en ny EU-metodikk, kalt Product Environmental Footprint (PEF), som skal vurdere miljøpåvirkninger gjennom et livsløp med retningslinjer for spesifikke industrier (European Commission, 2023b). Innføringen av PEF vil muliggjøre miljøvurdering og produktsammenligning i Europa på en standardisert måte, og vil på et tidspunkt trolig bli lovpålagt for visse aktører (Quist, 2022).

### 3.4 Miljøvurdering av batteribasert energilagringssystemer fra tidligere studier

Energisektoren har et kritisk behov for energilagring i lys av overgangen fra fossilt brensel mot integrering av store mengder fornybar energi i kraftproduksjonen. I en rapport fra 2022 av Energy Catalyst, ble rollen til energilagring for å oppnå FNs bærekraftsmål (SDG) 7: ren energi til alle, diskutert. Rapporten baserer seg på estimater og prognoser fra Bloomberg New Energy Finance (BNEF), som viser at markedet for transport og stasjonær energilagring forventes å firedobles innen 2030, til mer enn 2 500 GWh, sammenlignet med tall fra 2018. Det antas at Kina og USA vil stå for mer enn 50% av den installerte kapasiteten. BNEF spår også at 55% av installasjonene for stasjonær lagring vil være knyttet til «lastskifting», som innebærer å lagre sol- eller vindenergi under produksjonstidspunkt og frigjøre den ved behov. I tillegg vil omtrent en fjerdedel av globale installasjoner være posisjonert i boliger og bedrifter. Denne trenden er positiv i forhold til SDG 7, ren energi for alle, da disse desentraliserte lagringssystemene krever liten eller ingen regelmessig tilsyn og vedlikehold, og kan dermed brukes til å utvikle løsninger til lavere kostnader for energimarkedene både i Afrika og Sørøst Asia (Energy Catalyst, 2022).

I 2022 rapporterte International Energy Agency (IEA), at man for første gang på flere tiår har sett en negativ trend i antall mennesker uten tilgang på elektrisitet. I 2022 økte antallet uten tilgang med nesten 20 millioner til totalt 775 millioner mennesker. Den største økningen ser man i Sub-

Sahara Afrika, men også mange mangler fortsatt tilgang i Sørøst Asia (Cozzi, 2022). Årsaken skyldes utilstrekkelig produksjon, mangel på dekning av overførings- og distribusjonsinfrastruktur, og også i de områdene der det finnes nettverksdekning er den svært upålitelig. Ifølge rapporten fra Energy Catalyst kan mange av disse utfordringene løses med BESS. BESS vil øke påliteligheten til strømforsyningen og optimalisere elektrisitet generert fra VRE. Når BESS implementeres som en integrert løsning med VRE-kilder, som sol og vind, i mikronett, kan systemet også bidra til å redusere behovet for dyre og forurensende reservealternativer fra fossilt brensel. I noen tilfeller kan betydelige mengder desentralisert lagring bidra til å utsette eller helt unngå å bygge ny nettverksinfrastruktur, som ofte er tid- og kapitalkrevende.

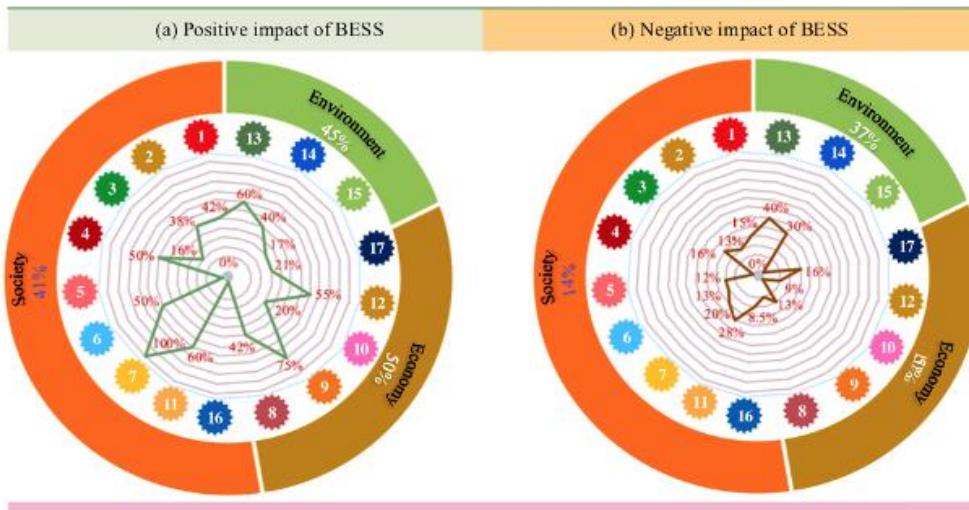
Likevel påpeker en rapport fra World Economic Forum (WEF) utfordringer som kan bremse veksten av BESS. Blant annet vil man se en økning av farlig avfall, forurensing og negative helsekonsekvenser på grunn av mangelen på rammeverk knyttet til avfallshåndtering av materiale, samt en økende etterspørsel etter råvareutvinning som medfører sosial og miljømessig risiko (World Economic Forum, 2019).

I 2021 gjennomførte Hannan et al, en miljøpåvirkningsanalyse av BESS med hensyn til FNs SDGs. Studien avdekket at den globale etterspørselen etter batterier forventes å øke med 25% årlig, til 2 600 GWh i 2030. Videre kan det potensielt føre til en 30% reduksjon i utslippene fra transport- og kraftsektoren. Forfatterne kategoriserte FNs 17 bærekraftsmål i tre kategorier, miljø, økonomi og samfunn, og analyserte virkningen av BESS på de 169 delmålene innenfor disse kategoriene (Hannan et al., 2021).



Figur 5: Klassifisering av FNs 17 bærekraftsmål (Hannan et al., 2021)

Funnene indikerte at BESS har en positiv innvirkning på 60 delmål, som representerer 35,5 % av alle bærekraftsmål, og forfatterne antydte at denne prosentandelen kan øke med teknologiens fremgang. Spesielt har BESS en positiv innvirkning på alle delmålene under bærekraftsmål 7: ren energi. Ettersom fornybare energikilder blir mindre kostbare og fossile brensler blir mindre tilgjengelig, kan kombinasjonen av fornybar energi med BESS tilby en langsiktig løsning for å sikre tilgang til strømforsyning for alle. I tillegg viser studien at BESS kan bidra positivt med 60% når det kommer til å oppfylle bærekraftsmål 13: klimaendringer, og 75% for bærekraftsmål 9: Industri, innovasjon og infrastruktur.



Figur 6: Oversikt over negative og positive påvirkninger fra BESS på bærekraftsmålene (Hannan et al., 2021)

Studien viste imidlertid også at BESS har en negativ innvirkning på 22 delmål, som representerer 13% av bærekraftsmålene. Disse negative konsekvensene oppstår på grunn av giftige og brennbare materialer som inngår i BESS, samt det høye elektrisitetsforbruket og klimagassutslippene knyttet til produksjonen av systemet. Transport av BESS-komponenter kan også gi økte utslipp. Videre kan BESS ha skadelige effekter på menneskers helse, for eksempel gjennom menneskelig toksisitet og økotoksisitet, og føre til tap av ressurser fra utvinning av metaller som kobber, tallium, kobolt, sølv og nikkel. Videre har utvinning av litium betydelige sosiale og miljømessige konsekvenser knyttet til vannmangel og forsuring, og feil deponering av litiumbatterier kan føre til deponibranner som kan brenne i årevis, og forårsake skade på økosystemer, bestander og matproduksjon.

### 3.5 Eksisterende analyser av teknologier tilknyttet radiobasestasjoner

En radiomast er en sentral radiosender/mottaker som fungerer som et kommunikasjonscenter for et trådløst nettverk, for eksempel et mobilnettverk eller et toveis radiosystem. En radiomast vil vanligvis være plassert på en radiobasestasjon (RBS) og kommunisere med mobile enheter eller andre radioer innenfor sin rekkevidde. En radiomast består av en transceiver som både kan sende og motta radiosignaler, og en antenne som brukes til å kringkaste og motta signaler over luftbølgene. Den er ansvarlig for å håndtere all kommunikasjon innenfor sitt dekningsområde, inkludert å administrere frekvensspekteret, rute samtaler eller data og gi en tilkobling til det større nettverket. Radiomasten er en viktig komponent i trådløse kommunikasjonssystemer og skal gi pålitelig og effektiv kommunikasjon både for personlig og kommersielt bruk. I 2015 fantes det om lag 9 millioner RBS, de aller fleste er tilkoblet strømnettet. Antallet øker fortsatt betydelig med introduksjonen av tredje- og fjerdegenerasjonsteknologi (3G/4G), spesielt i stillehavsområdene i Asia (Andrae, 2015).

De fleste analysene gjort i tilknytning til radiobasestasjoner er vurderinger av alternative teknologier som reserveløsning. Masteroppgaven til Anna Bondesson fra 2010 (Bondesson, 2010) tok for seg fornybare energiløsninger for en off-grid radiobasestasjon. Hun fant at dieselgeneratoren hadde de største miljøpåvirkningene. Videre fant hun at dersom man

introduserte et hybrid anlegg så vil det være 1/6-del av miljøpåvirkningene sammenlignet med en tradisjonell dieselgenerator. GWP (global warming potential) tilsvarer 13% sammenlignet med BAU. Til slutt fant hun at de viktigste parameterne som påvirker miljøytelsen til hybridanlegget, etter dieselproduksjon og forbrenning, er elektrisitetsblandingen for produksjon og elektrisitetsintensive prosesser inkludert oppstrøms silisium og blybehandling.

Anders Andrea publiserte i 2015 en komparativ livsløpsanalyse av fornybar energiforsyning for en radiobasestasjon. Han fant at trådløse nettverksstasjoner hadde et globalt elektrisitetsforbruk fra mellom 64 til 150 TWh i 2015, fordelt utover 9 millioner radiobasestasjoner. Blant annet fant han at det indiske telenettverket krevde 860 tusen operative RBS-tårn for å håndtere 894 millioner forbindelser i 2011. 25% av disse var off-grid. Videre fant han at fra 2007 til 2012 steg dieselforbruket i den indiske telekomsektoren fra 2 til 3 milliarder liter (Andrae, 2015).

De siste årene har man sett en økende etterspørsel etter dieselgeneratorer som back up-løsning i utviklingsland. En back up-dieselgenerator omformer kjemisk energi i diesel til elektrisk energi (Benton et al., 2017). Denne typen generator brukes til å levere strøm til elektriske instrumenter under strømbrudd eller lavspenning, og har vært helt nødvendig for å sikre uavbrutt strømforsyning for samfunnskritiske elektriske applikasjoner, som for eksempel radiobasestasjoner. Når strømforsyningen fra strømnettet svikter eller faller under et gitt spenningsnivå, starter dieselgeneratoren automatisk og leverer strøm til radiomasten. Den kan levere strøm i lange perioder og er designet for å være pålitelig i krevende forhold.

I 2021 var den globale markedsverdien for dieselgeneratorer satt til 17 milliarder USD, og blir antatt å øke med 5,5% årlig mellom 2022 og 2029 (Fortune Business Insights, 2021). En økende befolkningsvekst og industrialisering gir behov for ytterligere utvikling av infrastruktur i utviklingsland, som fører til at etterspørselen etter dieselgeneratorer er spesielt økende i Asia og stillehavsregionen.

Strengere politiske tiltak knyttet til reduksjon av CO<sub>2</sub> forventes å begrense markedets etterspørsel av dieselgeneratorer på tvers av alle sluttbrukssektorene. Derimot vil lave driftskostnader og investeringskostnader opprettholde dagens etterspørsel. Generatorer med lavere effekt stod for en betydelig markedsandel på nesten 44% i 2021 på grunn av muligheten til å dekke en bred base i både den kommersielle sektoren og boligsektorer. Generatorer med kapasitet på under 80 kW brukes som oftest som reserveløsning. Segmentet for høyere installert effekt forventes å øke de neste årene grunnet økende etterspørsel innen kraftproduksjon og annen industri hvor det er et stort behov for kontinuerlig strømforsyning. Det globale generatormarkedet vil fortsatt være drevet av mangelen på nettinfrastruktur på avsidesliggende steder og økende industrialisering i utviklingsland (Fortune Business Insights, 2021).

Det har blitt utført få fullstendig livsløpsanalyser knyttet til individuelle dieselgeneratorer tidligere. De fleste LCAer tilgjengelig er sammenlignbare analyser bestående av generatorer og andre energiproduserende enheter. I 2010 sammenlignet Gmünder et al. en dieseldrevet generator med et oljebasert generatorsett med hensyn til utslipp av drivhusgasser, forsuring og eutrofiering, og konkluderte med at det oljebaserte alternativet reduserte klimagassutslippet betydelig. I denne analysen ble energi og materialer under produksjon, transport og avhending ekskludert (Gmünder et al., 2010). I 2009 utførte Fleck og Hout en sammenlignbar analyse av en liten vindturbin og dieselgenerator, og fant at bruken av vindturbin reduserte utslippet med 93% (Fleck & Huot, 2009). Pascal et al. (2011) sammenlignet et vannkraftsystem og en dieselgenerator med 7 kW installerteffekt i Thailand, og fant at vannkraftsystemet ga bedre miljømessig fordeler enn generatoren. Her ble det heller ikke oppgitt materialer og energiforbruk under produksjonene eller transport av generatoren (Benton et al., 2017).

En komparativ livsløpsanalyse av et hybrid mikronett med dieselgeneratorer, PV, og vindkraft på en Thailandsk øy ble publisert i 2015 (Smith et al., 2015). Utvalgte miljøpåvirkningskategorier var forsuring, global oppvarming, menneskelig toksisitet og uttømming av abiotiske ressurser. Også her ble det funnet at bruksfasen av dieselgeneratoren hadde den desidert høyeste

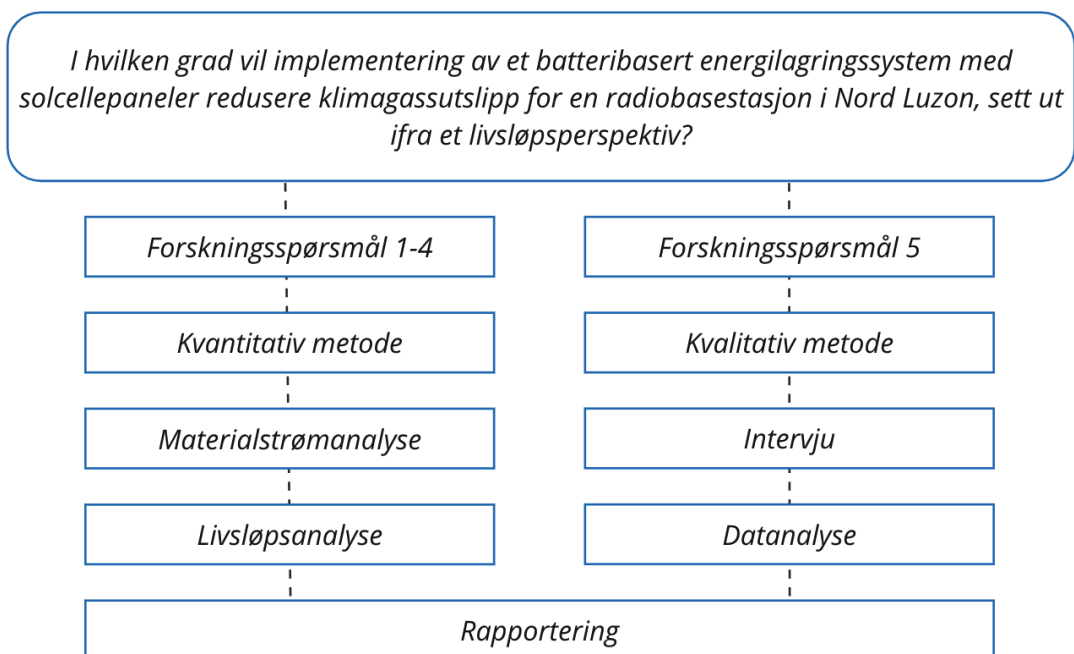
påvirkningen, etterfulgt av kobberutvinning. En mer detaljerte analyse for en dieselgenerator ble gjort av Kelly Benton et al. i 2017, og er en fullstendig livsløpsanalyse til alle delene i en 455 kW dieselgenerator, fra materialutvinning, produksjon, transport, bruk og avhending. Hun fant at 95% av det totale energiforbruket var knyttet til bruksfasen, det vil si forbrenning av diesel (Benton et al., 2017).



## 4 Metodikk og datagrunnlag

### 4.1 Valg av forskningsmetode

Det finnes to hovedretninger innen forskningsmetodikk: kvantitativ og kvalitativ metode. I denne studien ble kvantitativ metode brukt til å gi en oversikt over og gjennomføre analyser basert på målbare data. Kvalitativ metode tar for seg data basert på erfaringer og mønstre. Kvalitativ og kvantitativ metode kan svare på ulike spørsmål, men de ulike tilnærmingene utfyller også hverandre. Ved å kombinere disse forskningsmetodene kan funnene bli mer dyptgående. En slik kombinasjon kalles på engelsk *mixed methods* (Government Digital Service, 2020). I denne studien er det valgt en slik tilnærming for å besvare problemstillingen og de ulike forskningsspørsmålene. Det ble naturlig å velge en kvantitativ metode i form av materialstrømanalyse og livsløpsanalyse for å belyse problemstillingen, samt forskningsspørsmål 1-4. Videre ble det vurdert hensiktsmessig å benytte kvalitativ metode for å besvare forskningsspørsmål 5, som omhandler holdninger til bærekraft og anvendelsen av LCA i bransjen. Kunnskapsgrunnlaget, samt deler av datagrunnlaget for analysen ble gjennomført gjennom innhenting av sekundærdata ved en bred litteraturstudie.



Figur 7: Illustrasjon av studiens forskningsdesign.

## 4.2 LCA metodikk

Oppgaven anvender livsløpsanalysemetoden for å besvare hovedproblemstillingen og flere av forskningsspørsmålene. En livsløpsanalyse er en systematisk tilnærming for å analysere og vurdere miljø- og ressurspåvirkningen til et produkt eller et system gjennom hele eller deler av verdikjeden, hvilket inkluderer utvinning av råmateriale, produksjon, transport, bruk og til slutt avhending – en såkalt «vugge-til-grav» tilnærming. Datainnhenting knyttet til disse stegene baserer seg på forgrunns- og bakgrunnsdata, forklart nærmere nedenfor, som avhenger av systemet som undersøkes. En LCA tar hensyn til ulike miljøpåvirkninger, som blant annet klimaendringer, ressursutnyttelse, utslipp og avfallsgenerering. Målet med en LCA er å gi et omfattende og helhetlig bilde av studieobjektets miljøprestasjoner, og på denne måten kunne lede til bærekraftige tiltak. Resultatene fra en LCA kan presenteres gjennom blant annet en miljødeklarasjon (EPD). Her beskrives miljøegenskapene til produktet på en standardisert måte.

Analysen følger ISO14040-44 standardene, som beskriver prinsippene og rammeverket for en livsløpsanalyse i 4 faser:

1. Hensikt og omfang (*Goal and scope*)
2. Livsløpsinventar (*LCI – Life cycle inventory*)
3. Miljøpåvirkninger (*LCIA – Life cycle impact assessment*)
4. Tolkning av resultater (*Interpretation and improvement*)

For innhenting av bakgrunnsdata om blant annet energibruk, transport og utslippsfaktorer i de forskjellige trinnene er programvaren SimaPro med databasen ecoinvent 3.8 benyttet. Dette er et beregningsverktøy som inneholder flere databaser som gir tilgang til et stort datagrunnlag for ulike prosesser, og gjør det mulig å analysere ulike produkters miljøbelastning.

Datainnsamlingen til livsløpsanalysen er en blanding av ekstern data fra blant annet Pixii AS, litteratursøk på nett, samt databasen ecoinvent 3.8 Cut-off i SimaPro. Ettersom datagrunnlaget er basert på tall og verdier fra ulike kilder, er analysen for enkelhetsskyld gjennomført i Microsoft Excel.

Det finnes to ulike tilnæringer til LCA: attributional LCA (ALCA) og consequential LCA (CLCA). Ifølge ISO er det analysens mål og omfang som avgjør hvilken tilnærming som skal brukes (Woodhouse, 2021). ALCA er den vanligste metoden av de to, og tar utgangspunkt i den nåværende situasjonen, og vurderer miljøpåvirkninger og ressursbruk basert på faktisk data om produksjonsprosessen og materialene som brukes. I en ALCA brukes typisk en fast systemgrense og man vurderer miljøpåvirkninger i hele livssyklusen til produktet. En CLCA tar utgangspunkt i miljøpåvirkninger og ressursbruk i en fremtidig situasjon som følge av endring i produksjon eller forbruk av et produkt (Woodhouse, 2021). I denne analysen er det valgt å benytte ALCA, til tross for at studien tar for seg et eksisterende system og et fremtidig system. Datagrunnlaget er dermed sammensatt av både eksisterende og representative verdier og fremtidige scenariobaserte data.

### 4.3 Hensikt og omfang

Å definere hva som er hensikten med studien som skal gjennomføres er det første steget i en LCA. Dette inkluderer spørsmål som hva, hvorfor og hvordan analysen skal bygges opp. I følge ISO14040-44 standardene skal det under omfanget til en LCA defineres mål, systemets funksjon og systemgrenser, funksjonell enhet og antagelser som er gjort i forbindelse med analysen, samt hvilke miljøpåvirkningskategorier man skal inkludere. Den funksjonelle enheten (FU) skal fungere som et mål på produktets funksjon og gi grunnlag for å sammenligne hvor effektive ulike løsninger er ut fra samme funksjonelle enhet. FU skal være grunnlag for å beregne referansestrømmene for hvor mange enheter produkt som trengs for å oppfylle FU, tilhørende materialstrømmer, energibruk og transportarbeid. FU skal gjøre det mulig å sammenligne funksjonen til to eller flere produkter. Deretter blir materialstrømmen som trengs for å oppfylle den funksjonelle enheten bestemt. Analysens systemgrenser sier noe om hvordan studien er avgrenset, både mot andre systemer, mot naturlige prosesser, mot hva som inkluderes og ekskluderes i analysen, mm. Det kan eksempelvis være i form av tid, geografisk område og hvilke livsløpstrinn som er inkludert. Jo mer som inkluderes innenfor systemgrensene, jo mer komplisert blir arbeidet med materialstrømmen til gitt produkt eller tjeneste. Likevel bør

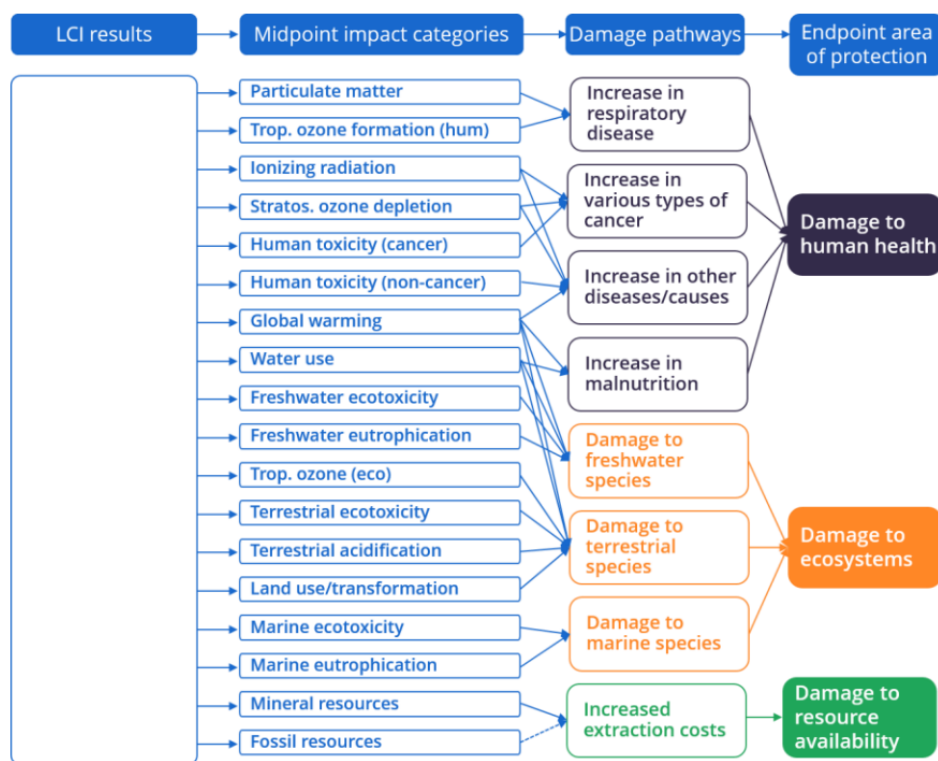
ressurser og materialer som trengs for å oppfylle FU inkluderes, og normalt sett følger man et produkt fra «vugge til grav». For å forenkle arbeidet med analysen defineres et «cut-off» kriterium, som er en retningslinje for når en materialstrøm skal inkluderes i studien. Dette kan eksempelvis være når mengden materiale som inngår er under et fastsatt minstenivå. Dette kan være en prosent av total masse, eller at alle massestrømmer opp til en viss prosent er dekket (ofte 95% eller mer). Ved komparative studier er det viktig at systemgrensene er like for de systemene som skal sammenlignes. Alt som er utenfor systemgrensene ekskluderes fra beregningene. For alle leddene i analysen finnes det aktiviteter som kan være vanskelige å kvantifisere, og som muligens ikke er av stor betydning for resultatene. Et eksempel kan være at man i produksjonsfasen velger å holde maskiner, bygninger og annen infrastruktur som benyttes under sammensetning utenfor analysens systemgrenser. Et annet aspekt som kan være komplisert ved LCA beregninger er allokering. Ofte leverer en prosess flere produkter, og det kan bli problematisk å fordele ressursbruk og utslipp mellom de ulike produktene.

#### 4.4 LCI – livsløpsinventar

En LCI (life cycle inventory) består av innsamling av data fra produkter gjennom hele livssyklusen. Her bestemmes mengde «inputs» av materialer og energi fra en prosess, og inkluderer blant annet energi- og råmaterialforbruk. Dataene er inndelt i to kategorier: *forgrunnsdata* og *bakgrunnsdata*. Forgrunnsdata er spesifikk data, som kan være data hentet fra produsenter. Et eksempel på dette er mengde drivstoff som er benyttet for å oppfylle et produkt. Forgrunnsdata består i stor grad av generisk data. Generisk data er gjennomsnittlige databasetall som finnes i ecoinvent, og benyttes ofte for tall på energi, transport og avfallshåndtering (Woodhouse, 2021). Et eksempel på bakgrunnsdata kan være utslipp per kilo drivstoff forbrent. Denne LCA studien benytter seg av studentutgaven av SimaPro, og databasen ecoinvent cut-off 3.8.

#### 4.5 LCIA – vurdering av miljøpåvirkninger

LCIA (life cycle impact analysis) skal transformere all ressursbruk og utslipp samlet i LCI analysen til miljøpåvirkninger. Deretter utføres en konsekvensvurdering som tar hensyn til påvirkning på menneskers helse, miljø og forbruk av naturressurser. Denne konsekvensvurderingen inneholder en rekke kategorier som blant annet global oppvarming, nedbryting av ozonlaget, forsuring og eutrofiering (Institute for Environment and Sustainability JRC, 2010). Kategorisering hjelper til med å identifisere hvilke miljøaspekter som skal vurderes nærmere under karakterisering. Karakterisering innebærer å omregne dataene til sammenlignbare størrelser ved hjelp av indikatorer og faktorer som kvantifiserer miljøpåvirkningen, for eksempel global oppvarmingspotensial for klimagassutslipp. Det er viktig å definere hvilke miljøpåvirkningskategorier som skal undersøkes i en LCA studie.



Figur 8: Oversikt over påvirkningskategorier som dekkes av ReCiPe 2016-metoden (National Institute for Public Health and the environment, 2016).

Denne analysen benytter ReCiPe 2016-metoden, som er en av de nyeste og mest oppdaterte metodene for effektvurdering innen livsløpsanalyser (European Commission, 2021). Metoden tar for seg ulike miljøhensyn på «midpoint» nivå, og samler så disse til aggregerte «endpoint» kategorier, slik det er illustrert i Figur 8. I denne analysen er «midpoint» tilnærmingen benyttet. Miljøbelastningene under denne tilnærmingen er uttrykt i utslippsekvivalenter.

#### 4.6 Tolkning av resultater

Tolkning av resultater innebærer to prosesser: en analyse- og resultatfremstilling, og en evaluering for å sikre at resultatene er troverdige. Etter å tolke analysen, skal det trekkes en konklusjon ut fra problemstillingene som er satt opp. Deretter vurderer man robusthet og følsomhet ved dataene som er benyttet i analysen.

#### 4.7 Semistrukturerte intervjuer

En mindre del av oppgaven består av semistrukturerte intervjuer. Denne kvalitative forskningsmetoden er valgt for å besvare forskningsspørsmål 5 (s. 9), som baserer seg på interessenters holdninger til bærekraft, og i hvilken grad livsløpsanalyser benyttes i deres bærekraftsvurderinger. Semistrukturerte intervjuer er en metode som egner seg å bruke når man forsøker å få en bedre forståelse fra interessenters ståsted (Bærum Kommune, 2023). Årsaken til at semistrukturerte intervjuer er en datainnsamlingsmetode som ofte benyttes, er blant annet fordi denne intervjuformen har vist seg å åpne opp for improvisasjon av oppfølgingsspørsmål basert på respondentens svar (Kallio et al., 2016).

Før man gjennomfører et semistrukturert intervju er det flere aspekter man vurderer. Dette er blant annet hvilke intervjuobjekter som kan være relevante for å besvare det overordnede forskningsspørsmålet, hva man ønsker å få innsikt i og hvordan intervjuene skal gjennomføres. Det bør utarbeides en plan for organisering av data som kun er av betydning for forskningsområdet. Derfor er det viktig å ha en strategi for hvordan man skal jobbe seg gjennom den innsamlede dataen, samt hvordan man skal finne et felles mønster for svarene som oppgis (Galletta, 2013).

Tabell 3: Oversikt over intervjuobjekter sortert etter bransje

Category	Sub category	Type	Amount
Finance	FIN1	Bank	1
Finance	FIN2	Investment fund	1
Finance	FIN3	Investment fund	1
Finance	FIN4	Government funding	1
Supplier	SUP1	Manufacturer of battery cells	1
Supplier	SUP2	Manufacturer of silicon	1
Supplier	SUP3	Manufacturer of battery cells	1
Supplier	SUP4	Manufacturer of silicon	1
Documentation	DOC1	Documentation of environmental performance	1

Tabell 3 viser en oversikt over hvilke typer aktører som er intervjuet. Vi har valgt å dele inn respondentene i to grupper. Gruppe 1 er finansieringsaktører som dekker både privat og offentlig sektor. Gruppe 2 består av leverandører relevant for studieobjektet. I tillegg har vi valgt å intervju en tredjepart med informasjon tilknyttet bruk av LCA i Norge.

Hvilke respondenter som velges for analysen vil kunne ha stor innvirkning på resultatet for forskningsspørsmål 5. Respondentene i gruppe 1 ble valgt ut med bakgrunn i allmenn interesse, markedsandel og hva som ble sett på som relevant for studieobjektet. Gruppe 2 er leverandører relevant for studieobjektet. Gruppe 3 skal kartlegge dagens og fremtidig interesse for LCA, og svarene fra gruppe 1 og 2 skal analyseres opp mot dette. I etterkant av semistrukturerte intervjuer ser man ofte at videre utredelse av spørsmål og informanter kunne vært relevant for forskningsspørsmålene, men tidsrammen for denne oppgaven setter en begrensning for analysens dybde.

Spørsmålene er bestemt i forkant av intervjuene, og formulert gjennom en intervjuguide. Intervjuguiden i sin helhet kan leses i vedlegg (s. 106)

Intervjuguiden ligger til grunn for intervjuenes forløp og innhold. Guiden tilbyr en struktur for diskusjon gjennom intervjuene, men trenger ikke å følges slavisk. Ideen er at man skal undersøke forskningsområdet ved å samle inn lignende type informasjon fra de ulike respondentene ved å veilede strukturen for samtalen (Galletta, 2013; Kallio et al., 2016) . Dermed ble intervjuenes struktur i sin helhet basert på intervjuobjektene svar, hva de ønsket å

legge vekt på, samt hoppe over eller supplere med. Rekkefølge og antall spørsmål som ble stilt varierte ut ifra intervjuobjektets kjennskap til tema.

Intervjuguidens hovedstruktur:

- Forståelse av begrepet bærekraft
- Finansielle instrumenter: drivere, insentiver og barrierer
- Betydning av og erfaringene med bruk av livsløpsanalyser (LCA) i bærekraftsvurderinger

Intervjuguiden ble sendt til respondentene i forkant av intervjuene. På denne måten fikk respondentene mulighet til å forberede seg til intervjuet, samtidig som vi sikret at vi kontaktet personen med rett kompetanse innad i selskapet. Ved noen tilfeller ble vi henvist videre til andre respondenter enn de vi i utgangspunktet hadde tatt kontakt med.

Intervjuene ble gjennomført digitalt i form av videointervju over plattformen Microsoft Teams. Alle intervjuene begynte med en kort introduksjon av oss selv og studien vi arbeider med, og dens formål. Deretter ble respondentene informert om intervjuets varighet, og vi presenterte at vi ønsket å gjøre opptak. Opptaket begynte så snart respondentene hadde godkjent dette. Vi var begge deltagende under intervjuprosessen. Fordelen med dette var at en av oss kunne konsentrere seg om spørsmålene, mens den andre kunne ta notater og stille eventuelle oppfølgingsspørsmål.

I transkribering og analyse av intervjuene ble det benyttet en analysemetode som kategoriserer respondentenes svar, som videre gjør det mulig å identifisere et mønster i intervjuene.

Analysen ble gjennomført i Microsoft Excel ved å gjøre en overordnet inndeling av temaene i intervjuene. Etter å ha bearbeidet respondentenes svar, begynte arbeidet med å lete etter felles mønster og videre inndeling i overordnet tema med underpunkter. Dersom svarene til respondentene samsvarte med underpunktene, ble de inndelt til tilhørende tema. Det var ønskelig med en kvantitativ tilnærming ved behandlingen av data, og inndelingen er derfor regnet om til en prosentandel. Dette er gjort for å enkelt illustrere resultatene.



I forbindelse med gjennomføring av intervjuene måtte regelverket for lagring av data og konfidensialitet følges. Studien er meldt inn og godkjent av Norsk senter for forskningsdata (NSD). Alle intervjuobjektene har blitt informert om formålet med studien, og gitt samtykke til prosessen. I tillegg til intervjuguide ble også samtykkeskjema utsendt i forkant av intervjuene.

## 5 Studieobjekt, systembeskrivelse og omfang

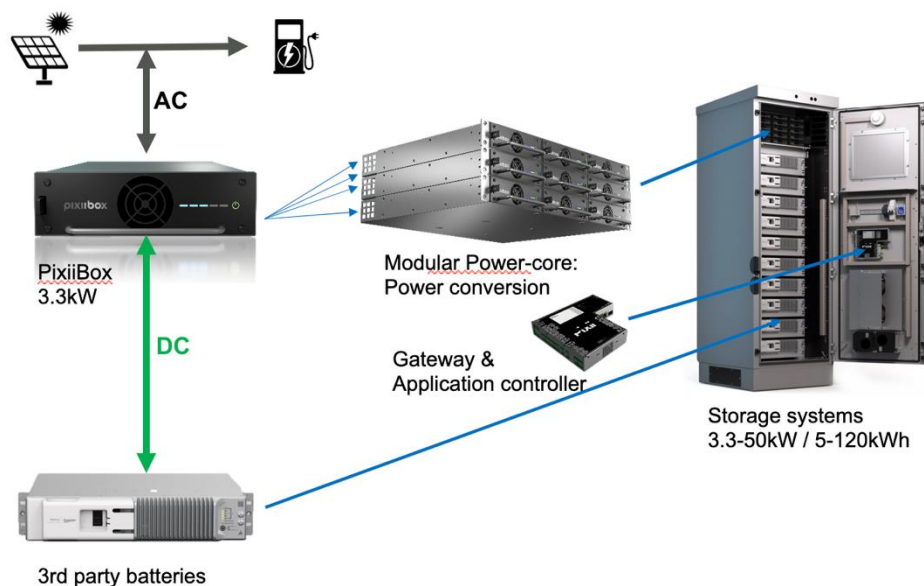
### 5.1 Beskrivelse av prosjekt

I tilknytning til energilagringsselskapet Pixii AS sitt pilotprosjekt for en RBS i Nord Luzon, Filippinene, ønskes det å avdekke nytteverdien ved å implementere et batteribasert energilagringssystem sammen med PV som et supplement til et system som per dags dato er avhengig av fossile energikilder. I dagens situasjon benytter et telekomselskap seg av en dieselgenerator som reservestrøm for en radiomast i perioder ved spenningsfall eller strømbrudd i nettet. Bruken av fossilt brensel i dieselgeneratoren er både et kostnad- og miljømessig problem ettersom drivstofforbruket er ineffektivt, samt bidrar til utslipp av klimagasser. Derfor er løsningen med batteribasert energilagringssystem og PV et lovende alternativ for å redusere miljøpåvirkningene for telekomselskapets energiløsning.

Målet med denne studien er gjennom å bruke en komparativ livsløpsanalyse å identifisere mulige konsekvenser og gevinster i et miljøperspektiv ved å erstatte en dieselgenerator med BESS og PV. Ettersom pilotprosjektet fremdeles er i planleggingsfasen, har det vært nødvendig å utføre en materialstrømanalyse (MFA) i forkant av LCAen. Materialstrømanalysen utføres for å finne produksjons- og lagringspotensial til henholdsvis solkraft og batterisystemet for å sikre pålitelig forsyning til radiomasten.

### 5.2 Studieobjekt

Pixii PowerShaper2 er et modulært batterienergilagringssystem. Dette systemet består av et kabinett som rommer Pixii Gateway, PixiiBox og batterier. PixiiBox er en toveis AC/DC-strømomformer som kobles mellom batteriet og nettet. At omformeren er toveis muliggjør energiflyt i begge retninger, fra nett til batteri og batteri til nett. Pixii Gateway fungerer som et overvåknings-, kommunikasjons- og kontrollsystem. Til slutt er det batteriene som lagrer strømmen over en viss periode. Systemet og komponentene som inngår er illustrert i figuren nedenfor.



Figur 9: Oversikt over PixiiPowerShaper2 og komponentene som inngår (Pixii AS, 2023)

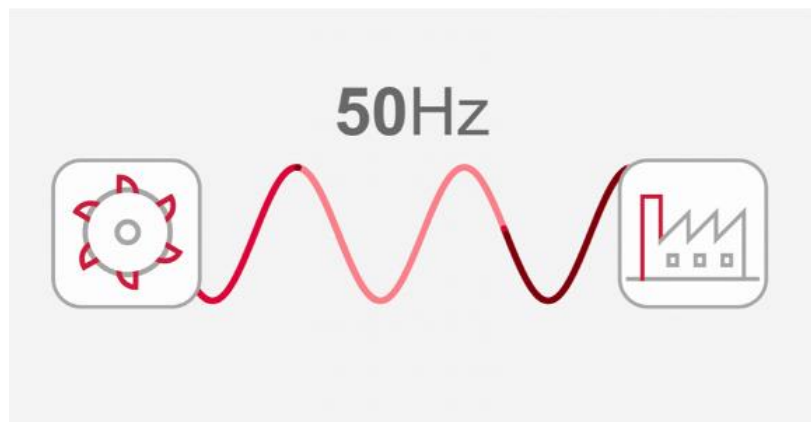
### 5.3 Fysikken til kraftsystemet

Elektrisk effekt er mottatt eller avgitt elektrisk energi per tidsenhet. Elektrisk strøm er elektroner i bevegelse, og når et batteri blir tomt, må det lades ved at nye elektroner leveres fra strømmettet. Strømmen frakter energi fra et sted til et annet. Den kan måles i enheter kalt ampere (A), og flyte som enten likestrøm (DC) eller vekselstrøm (AC). Elektrisitet generes vanligvis ved kraftverk og distribueres deretter til hjem, bedrifter og forskjellige enheter (Grøn, 2021).

( 1 ) effekten ( $P$ ) kan beregnes ut fra strømstyrke ( $I$ ) og spenning ( $U$ ) i formelen:  $P = U \times I$

Spenning er drivkraften bak bevegelsen av elektriske ladninger. Den representerer mengde potensiell energi per enhetsladning tilgjengelig i en elektrisk krets, og måles i volt (V). Den bestemmer intensiteten eller trykket til den elektriske strømmen. Høyere spenningsnivåer kan gi en større strømflyt (Grøn, 2021).

Strømkvalitet eller leveringskvalitet, omfatter ulike aspekter av leveringspålitelighet, spenning- og strømforsyningskvalitet. Eventuelle avvik i spenning, strøm eller frekvens som kan forårsake skade eller funksjonsfeil på elektrisk utstyr anses som et strømkvalitetsproblem (NVE, 2023b). Spenning og frekvens er to nøkkelord ved strømkvalitet som i stor grad henger sammen. Den elektriske energien som produseres i kraftverk overføres vanligvis til forbrukere i form av vekselstrøm. Vekselstrøm (AC) er elektrisk strøm som skifter retning periodisk, slik at det går like mye strøm i begge retninger (Sanstad, 2021). Likestrøm (DC) er derimot en strøm som flyter i en retning og med samme styrke. I et AC-kraftsystem, som for eksempel strømmettet, svinger spenningen i en sinusformet bølgeform ved en bestemt frekvens. Når frekvensen er riktig, er strømmettet balansert, og det fungerer som det skal (NVE, 2023b).



Figur 10: Svingning i spenning ved en bestemt frekvens på 50Hz (NVE, 2022)

Ifølge NVE består kraftsystemet av ulike kraftlinjer, transformatorstasjoner, kraftverk og annet utstyr. I tillegg består kraftsystemet av de som utfordrer driften gjennom å hele tiden koble inn og ut produksjon og forbruk. Det som bruker og produserer strøm, som for eksempel en TV eller et vannkraftverk påvirker balansen, og alt som bruker strøm må få en tilsvarende produksjon et annet sted. Da opprettholdes også den riktige frekvensen (NVE, 2022a). Når det produseres mer enn hva man forbruker, vil frekvensen bli for høy. I de tilfellene hvor det forbrukes mer enn det produseres blir frekvensen for lav. Konsekvensen av dette kan bli så alvorlig at en slik ubalanse vil føre til sammenbrudd i hele eller deler av strømmettet. En omstilling til et mer fornybart kraftsystem, innebærer mer ubalanse i tilbud og etterspørsel.

Produksjon av vind-og solkraft varierer med vær og klima, som gjør systemet mer sårbart for endringer i frekvensen (NVE, 2022a). I Norge og mange andre land i Europa brukes det trefase vekselstrøm med frekvens 50 hertz. Spenningen i nettet i Norge er på ca. 230 volt. I Filippinene opereres det med 60 hertz, og 220 volt spenning.

Det finnes en rekke andre problemer med strømkvalitet. I Filippinene oppstår det ofte «brownouts», som er en strømforsyningstilstand med lav spenning forårsaket av økt etterspørsel etter strøm i et område med mangel på nettkapasitet. Det kan vare i alt fra noen få minutter, til flere timer og til og med dager. Ved «blackouts» har nettet falt helt ut og spenningen er null.

#### 5.4 Motivasjon

Fraværet av pålitelig energikilder er et vedvarende problem i Filippinene, og det påvirker folks daglige liv og hindrer vekst i lokale økonomier. Ifølge statistikk har nesten 30% av filippinere ikke tilgang til elektrisitet, og svært mange opplever stadig det som kalles «brownouts», som oppstår når spenningen til strømnettet blir lav, enten ved et uhell eller med vilje (Bostwick, 2020).

I 2022 advarte regjeringen i Filippinene at landet vil oppleve store strømforsyningsproblemer i 2023. En sterk befolkningsvekst fører til økt etterspørsel av elektrisitet, men landet har fortsatt de samme kraftverkene og samme begrensede nettkapasiteten til å levere sitt stadig økende energibehov (Lagare, 2023). I en artikkel i Business World, sa skribent S. Oplas Jr. at nettkapasiteten i Filippinene er langt unna mange naboland i Øst-Asia. Med en populasjon på 100 millioner, har landet langt lavere nettkapasitet per person sammenlignet med naboland som Vietnam, Malaysia og Laos. I Luzon-regionen er 72% av alle kraftverk minst 16 år eller eldre, med to av de større kraftverkene bygget i 1940- og 50-årene (Amoguis, 2019). I tillegg øker kostnader for kull, olje og gass, og over 75% av strømproduksjon i Filippinene kommer fra hydrokarbondrivstoff. Dette har resultert i at landet kan bli nødt til å stenge over 270 kraftstasjoner på grunn av manglende budsjett. 2023 blir det mest utfordrende året for den

filippinske energisektoren så langt med flere strømbrudd som kan påvirke millioner av husstander (Pinlac, 2022).

Luzon-nettet har opplevd mange gule varsler de siste årene. Det betyr at etterspørselen etter elektrisitet har overskredet tilbudet. Under et gult varsel i mars 2019, var peak-demand 9 491 MW, mot nettets tilgjengelige kapasitet på 10 115 MW. Det etterlater en margin på bare 624 MW, som er mindre enn nettets nødvendige reserve på 647 MW. Under landets første røde varsel senere i 2019, ble reservene tømt til et nytt lavpunkt, da strømbehovet i Luzon oversteg reservene etter et uplanlagt strømbrudd. Det nasjonale nettselskapet på Filippinene (NGCP) er et privat firma som driver, vedlikeholder og utvikler landets overføringsnett, og de har ansvar for å utstede disse varslene når energireservene er utilstrekkelige (Amoguis, 2019). Det er flere nivåer av reserveenergi som brukes til å stabilisere den fluktuerende kraften som kreves fra strømnettet. Den regulerende reserven er standard krav for å opprettholde balanse mellom tilgjengelig kapasitet og etterspørsel. På toppen av denne finnes det en beredskapsreserve som NGCP allokterer for å umiddelbart dekke et forsyningstap når den største kraftproduserende enheten ikke klarer å levere. Og til slutt finnes det en tredje reserve som brukes til å fylle opp tapt beredskapsreserve (Amoguis, 2019).

Et gult varsel sendes når strømforsyningen faller under nettets beredskapsreserve, mens et rødt varsel forekommer når tilbudet er mindre enn forbrukernes etterspørsel, og reservene er borte (Mercurio, 2022). Den 28. november 2022 valgte NGCP å holde Luzon-nettet under gult varsel fra kl. 16 til 19, og et rødt varsel ble sendt ut senere samme dag. Dette skyldtes tvungne utkoblinger av seks kraftverk, på toppen av at tre andre ble driftet under redusert kapasitet. Det førte til at totalt 2 648 MW ble utilgjengelig for nettet (Mercurio, 2022). I april 2019 var det syv gule, og syv røde varsler, mens det i mai var 13 gule og to røde varsler. I februar i år advarte landets kraftnetts-operatør om utfordrende energiforsyning, med minst 12 antatte gule varsler, de aller fleste mot sommeren. NGCP delte at Luzons «peak demand» er antatt å øke til 13 125 MW mot slutten av mai. En økning på 8,5% sammenlignet med 2022 som så en «peak demand» på 12 113 MW (ABS-CBN News, 2023).

De mange utfordringene som kostbare investeringer og miljøhensyn knyttet til oppdatering av overførings- og distribusjonsinfrastrukturen, har ført til en økning i utbygning av desentralisert kraftproduksjon, også kalt distribuerte energisystemer (DES) og mikronett. Dette er lokal og dynamisk produksjon i distribusjonsnett, og kjennetegnes ved at kraftverkene har små ytelser i forhold til sentraliserte kraftverk. Bruken av DES er et alternativ for å tilfredsstille det økende strømbehovet i Filippinene, umiddelbart. I dag er DES integrert i kraftsystemet, først og fremst som nødstrøm eller reservestrøm for uavbrutt strømforsyning, og spesielt i områder som har upålitelig strømtilgang. En viktig funksjon med DES er at det også endrer produsent og forbruker-forholdet ved å gi mer makt til den såkalte «prosumeren» (produsent/forbruker). I et DES-system kan produsert overskudd føres tilbake til nettet. På grunn av systemets fleksibilitet, skala og forbrukervennlighet i tillegg til pågående teknologiske fremskritt, er det stor mulighet for at DES kan bli like avgjørende som sentralisert produksjon i Filippinene fremover.

Applications	Current/Existing Capacity	
	MW	MWh
Solar PV	16.60	21,732
Wind	54.00	53,947
Biomass/biogas	9.40	23,561
Micro hydro	79.77	367,944
Geothermal	0.00	0
Diesel generator	346.59	561,785
Thermal power (coal, slurry, fuel oil, others)	0.00	0
CHP incl. heat recovery facility	103.00	263,731
Other generators		
<b>Total</b>	<b>609.00</b>	<b>1,292,700</b>

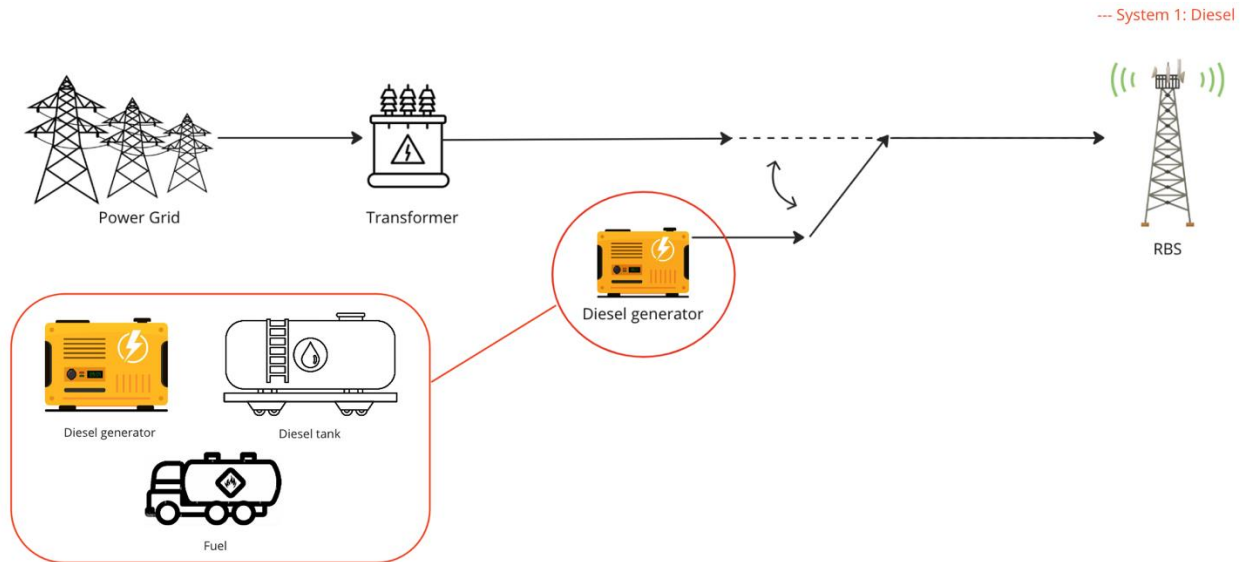
CHP = combined heat and power, MW = megawatt, MWh = megawatt-hour, PV = photovoltaic.  
Source: Philippine DOE (2015).

Figur 11: Totalt DES installert kapasitet og kraftproduksjon i Filippinene 2015 (Economic Research Institute for ASEAN and East Asia, 2018).

## 5.5 Systembeskrivelse

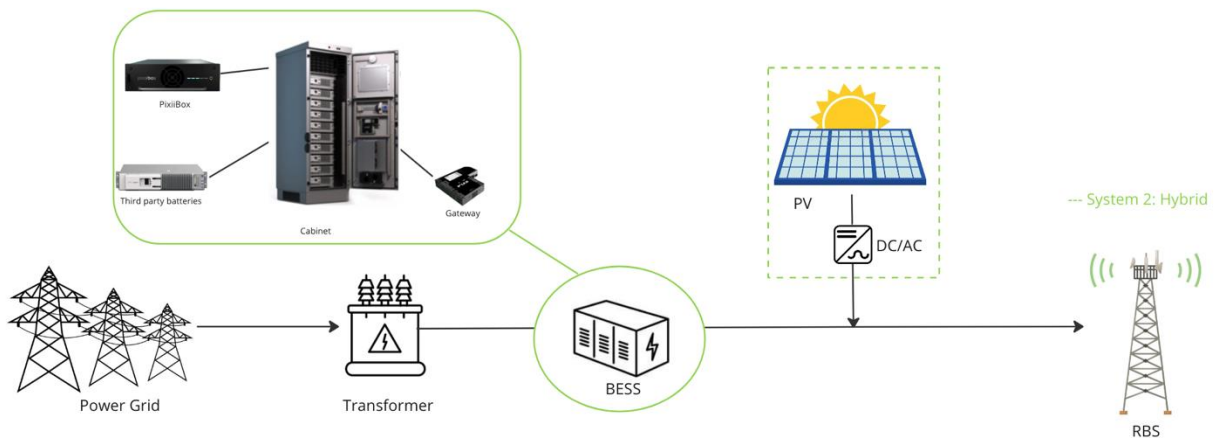
De to systemene som skal analyseres er dagens system med en dieselgenerator som reservekilde for å sikre tilgang til elektrisitet i et ustabil strømnett (system 1), og et prosjektert hybridssystem bestående av BESS og PV (system 2) som skal erstatte generatoren. Systemet slik

det er i dag er illustrert i Figur 12. Figuren illustrerer at systemet som analyseres inkluderer en dieselgenerator, en dieseltank samt påfylling av diesel under levetiden. Det har blitt brukt reelle data fra prosjektet for å analysere dette systemet. En oversikt over det alternative systemet med BESS og PV er vist i Figur 13, og illustrer på samme måte det som inkluderes i analysen.

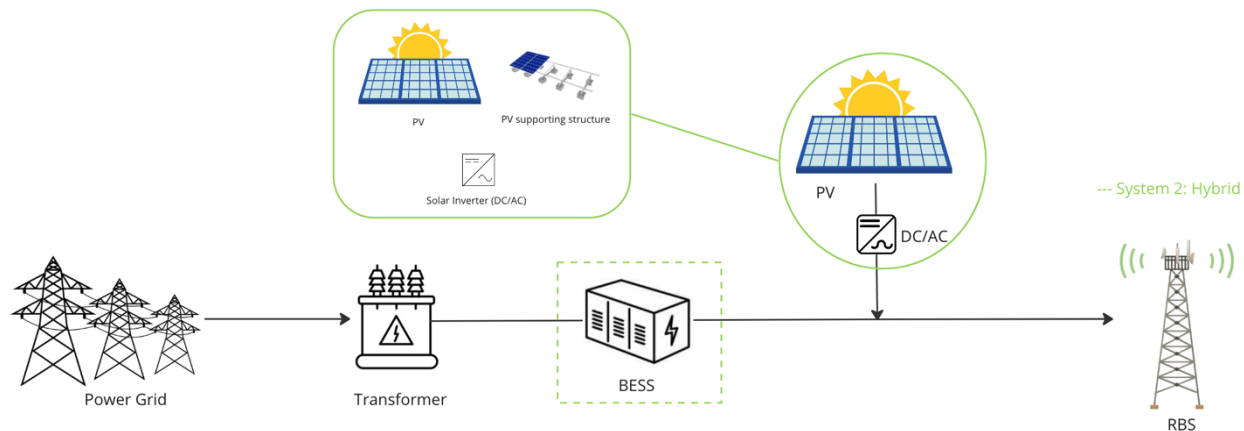


Figur 12: Referansesystem med dieselgenerator som reserveløsning.

I system 1 inngår en livsløpsvurdering av dieselgenerator, dieseltank og transport tilknyttet påfylling av diesel og vedlikehold under levetiden. I tillegg vil kWh med strøm fra hovednettet bli inkludert.







Figur 13: Ny løsning som erstatter dieselgeneratoren med PV og BESS.

For system 2 analyseres miljøpåvirkningene til en batterilagringssystem, solcellepanel og en solar vekselretter. I tillegg vil kWh med strøm fra hovednettet bli inkludert.

## 5.6 Funksjonell enhet og materialstrøm

Livsløpsanalysen som er gjennomført i denne studien er en komparativ analyse, som skal sammenligne miljøbelastningen for to ulike system. Denne sammenligningen er gjort med bakgrunn i at begge systemene skal opprettholde samme nyttefunksjon, som er å sørge for pålitelig strømforsyning til en samfunnskritisk infrastruktur i form av radiomaster. Ved å definere en felles funksjonell enhet muliggjøres en sammenligning mellom systemer basert på beregning av enhetsprosesser som inngår i systemene. Den funksjonelle enheten for denne analysen er satt til:

- Sikre pålitelig og tilstrekkelig energiforsyning på 216 kWh i døgnet til en radiomast over en periode på 10 år

Valget av den funksjonelle enheten er basert på funksjonen til systemet og oppgavens problemstilling. Begge systemene skal sikre at radiobasestasjonen har kontinuerlig tilgang til elektrisitet, hvilket tydeliggjøres i den funksjonelle enheten.

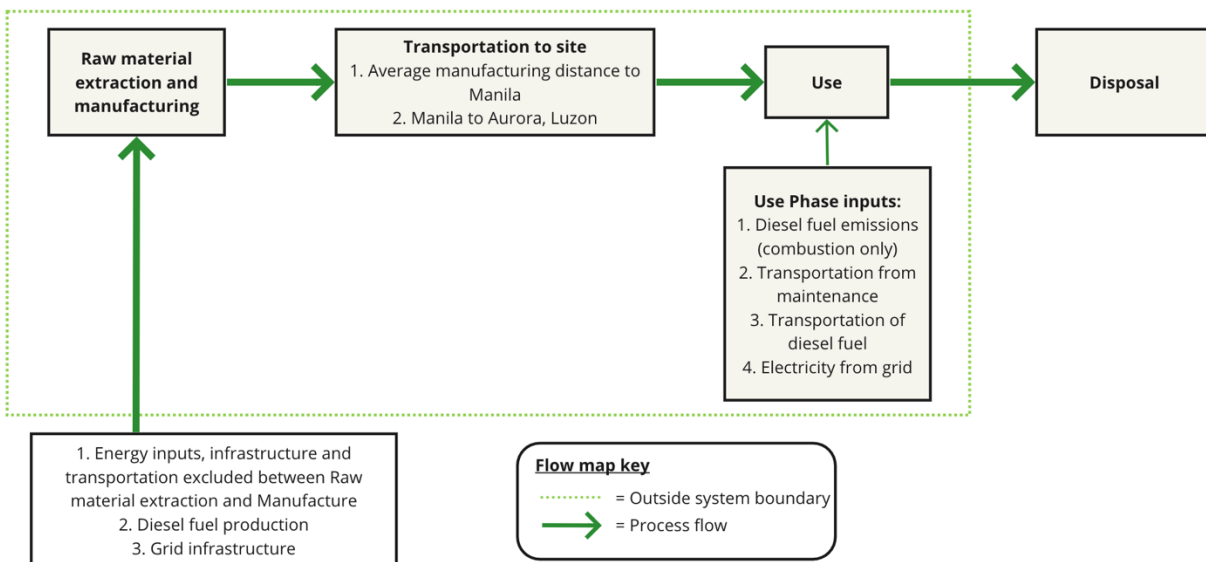
Videre er det nødvendig å bestemme en materialstrøm gjennom systemene basert på den funksjonelle enheten. En materialstrøm, også kalt referansestrøm, defineres som mengden produkt som kreves for å dekke behovet beskrevet i den funksjonelle enheten (Curran, 2015).

## 5.7 Systemgrenser

Å definere konkrete systemgrenser for en livsløpsanalyse er et viktig ledd for å fastsette detaljnivået og begrense kompleksiteten på studien. Alle trinn og prosesser som er med på å oppfylle den funksjonelle enheten som er definert bør inkluderes (Curran, 2015).

Systemgrensene som er satt for denne studien er illustrert i figurene nedenfor.

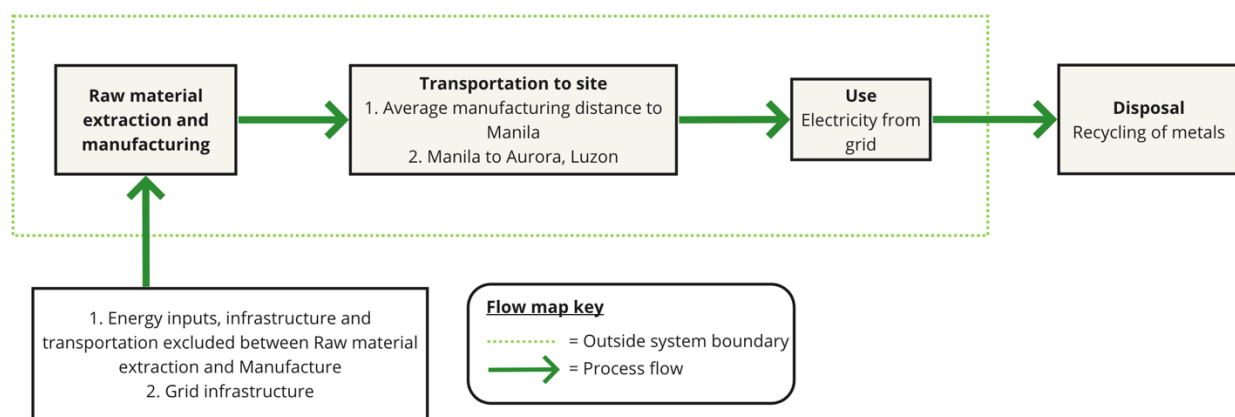
I denne analysen er det valgt å holde infrastruktur i tilknytning til strømmettet utenfor systemgrensene. Dette ble bestemt ettersom infrastrukturen vil være lik for begge systemene. Videre er det bestemt at avhendingsfasen skal ekskluderes, da informasjonen om avhendingsprosesser i Filippinene 10 år frem i tid er mangelfull.



Figur 14: Systemgrenser for system 1 med dieselgenerator som reserveløsning (Smith et al., 2015).

Tidsavgrensningen i denne analysen er satt til 10 år. Dette er med utgangspunkt i levetiden til de ulike komponentene i systemet. Ulik bruk og behandling av komponenter vil være utslagsgivende for den reelle levetiden. Eksempelvis vil batterienes levetid variere noe, avhengig av hvordan de kjøres gjennom livsløpet. Likevel er levetiden for dieselgeneratoren,

tanken og alle komponentene i tilknytning til BESS, foruten batteriene, anslått å vare i 10 år basert på opplyst garantitid. Batteriene er antatt å fungere i 3500 sykluser, som med dagens bruk fører til en levetid på 14,2 år, men på grunn av degradering antas det at de selges videre etter 10 år. Solcellepaneler har en levetid på opp mot 30 år, og dette er justert for ved å la panelene ha en «restverdi» på 20 år. Følgelig fordeles investeringen i materialer og komponenter over 30 år, og 1/3 fordeles til den første perioden som da er de 10 årene i systemet som her analyseres.



Figur 15: Systemgrenser for system 2 med PV og BESS som reserveløsning (Smith et al., 2015).

## 5.8 Allokering

Allokering refererer til en metode for å fordele påvirkningene av miljøbelastninger og ressursforbruk på ulike deler av et produkt eller et produktsystem. Ettersom LCA inkluderer hele livsløpet til et produkt, fra utvinning av råmaterialer til avfallshåndtering, er det noen ganger nødvendig å fordele miljøpåvirkninger og ressursbruk på ulike deler av livssyklusen. Dette kan være aktuelt når flere produkter produseres i løpet av livsløpet, og det kan være utfordrende å tilskrive miljøpåvirkningene og ressursforbruket til hver enkelt av disse.

I LCA kan allokering baseres på ulike prinsipper og metoder, som for eksempel økonomisk allokering (basert på relative priser) eller fysisk allokering (i henhold til produktets masse- eller energiinnhold). Dette er mest vanlig for en typisk ALCA. Noen ganger gjøres også en

systemutvidelse, hvor man må fastsette et produkt som er relativt likt i kvalitet og bruksområde (Woodhouse, 2021).

Valget av allokeringsmetodikk kan påvirke resultatene til analysen, og det er viktig å velge en metodikk som er relevant og konsistent med formålet og omfanget av analysen. Strømnettet, batterier, solceller og dieselgeneratorer har i hovedsak én og samme funksjon – å levere elektrisitet.

### 5.9 Cut-off kriterium

Cut-off kriterium benyttes for å utelukke utslipp av minimal verdi, da et system i teorien er uendelig stort (Curran, 2015). For å begrense analysens detaljnivå vil disse verdiene ekskluderes, da de mest sannsynlig ikke vil påvirke analysens resultat betydelig. I denne analysen inkluderes alle relevante prosesser innenfor fastsatt systemgrense.

Cut-off grensen er satt til 5% av inputs til hver av komponentene i systemene, basert på massebidrag. Det betyr at prosesser med lavere bidrag enn dette neglisjeres, og dermed ikke hensyntas i analysens beregninger. I denne analysen er data for drivstoff og elektrisitetsbruk hentet fra LCI databasen ecoinvent 3.8 Cut-off i SimaPro.

### 5.10 Materialstrømanalyse

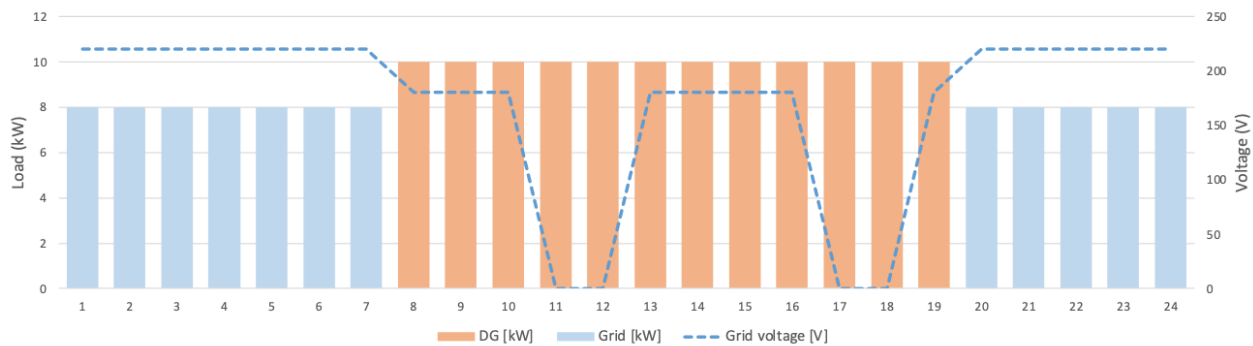
En materialstrømanalyse er en systematisk metode for å beregne flyten av materialer som må til for å dekke den funksjonelle enheten. I denne analysen vil materialforbruket for systemet bestemmes. Analysen er modellert i Microsoft Excel og PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System). PVGIS er et verktøy utviklet av EU som er tilgjengelig for alle. Verktøyet gjør det mulig å innhente informasjon om solinnstråling for alle områder i Europa, Afrika, samt store deler av Asia og Amerika.

Ved valg av spesifikke koordinater, installert effekt (watt peak) og PV-teknologi vil verktøyet generere data for optimal bruk av solcellepaneler, det inkluderer helningsgrad og asimut vinkel

(kompassretning mot solstråler) (European Commission, 2023d). Datasettet inneholder metrologisk data for et gitt år, og viser potensiell effekt generert (W) for både systemet som helhet og per kvadratmeter for hver time i døgnet. Ut fra datasettet er det beregnet et gjennomsnitt av solinnstråling en dag i mai 2020. Mai-måned representerer et gjennomsnitt for antall timer med sol i året i Luzon (tatt i betraktning antall timer solen er oppe og mengde regn per måned). Områdets koordinater er 15,952° N, 121,529° E.

For å utføre analysen er det tatt utgangspunkt i gitte verdier fra prosjektet: gjennomsnittlig spenningskurve for et døgn – med informasjon om tidspunkt for strømbrudd, samt spenningsfall, i tillegg til at radiomasten har en last på 10 kWp. For å sikre pålitelig og uavbrutt strømforsyning til radiomasten er det i dag installert en dieselgenerator som automatisk kjører de timene spenningen faller under 200 V. Det er også oppgitt at dieselgeneratorens installerte kapasitet er 15 kW, estimert dieselforbruk over ett år for den aktuelle installasjonen, samt elektrisitet fra strømmettet. De estimerte tallene er brukt for sammenligning av resultatene fra materialstrømanalysen i Excel, under «case diesel genset» i vedlegg (s.109). I figur 16 vises oversikt over når i døgnet radiomasten får strømforsyning fra nettet, lasten til radiomasten som varierer mellom 8 kWh og 10 kWh, og når dieselgeneratoren kjører. Det antas at aktiviteten i området ved radiomasten er størst på dagtid, noe som øker effektbelastningen på lasten og også strømmnettbelastningen i nabolaget. Nettbelastningen fører til lavere spenning og tidvis helt nettutfall. Brennhastigheten for dieselgeneratoren er funnet ved formelen under. Denne verdien påvirker i stor grad dieselforbruket per år, og er en usikker variabel som varierer fra dieselgenerator til dieselgenerator. Dette vil bli diskutert nærmere i en sensitivitetsanalyse på side 75.

$$(2) \quad \text{Brennhastighet} \left( \frac{L}{h} \right) = \frac{\text{Last i strømmettet}}{\text{Brennverdi} \left( \frac{kWh}{L} \right)} \rightarrow 4 \left( \frac{L}{h} \right) = \frac{10 kWh}{2,5 \left( \frac{kWh}{L} \right)}$$

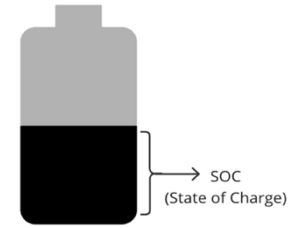


Figur 16: Oversikt over spenningsnivå og elektrisitet levert fra diesel generator og strømnett.

Med oversikt over spenningsnivået og soleffekt (data hentet fra PVGIS) time for time er det videre generert tall for det alternative energisystemet i Excel-analysen. Først må det beregnes elektrisitetsproduksjon fra PV, ved at data for effekten blir multiplisert med kapasiteten (kWp) time for time. Det er naturlig at den solare-vekselretteren har samme størrelse som makskapasiteten for PV systemet (10 kWp). I tillegg til koordinater, teknologi, og størrelse på systemet, foreslår PVGIS et totalt systemtap på 14%. Denne verdien innebærer tap på alle nivåer i systemet, fra refleksjon av solstråler til vekselrettertapp.

PixiiPowerShaper som har integrert omformere, også kalt en PixiiBox, som gjør det mulig å trekke elektrisitet fra nettet selv med lav spenning ned til >170 V. I denne perioden vil nettet også være tilgjengelig for å lade batteriene. Dersom spenningen faller under dette, også kalt et strømbrudd, som er illustrert med 0 V i vedlegg (s. 106) er ikke nettet tilgjengelig og man må hente strøm fra batterier og solenergi. Fra Pixii er det gitt informasjon om at kapasiteten til batteriene burde dekke et scenario med strømbrudd over flere timer, i en periode hvor solenergi ikke er tilgjengelig, eksempelvis på natten selv om et slik tilfelle er usannsynlig. I vedlegget er det illustrert strømbrudd ved to anledninger hvor begge har en varighet på 2 timer. «State of Charge» (SoC) vil etter disse to tilfellene gå ned til henholdsvis 60% og 73%. Dersom systemet hadde vært mindre og strømbruddene hadde vart lenger, vil ikke radiomasten lenger ha tilgang på nok energi fra batteriene. Det er dermed antatt at batterilagringskapasitet på 40 kWh er tilstrekkelig.

SoC sier noe om batterienes ladetilstand eller fyllingsgrad. SoC er definert som forholdet mellom elektrisitet som er tilgjengelig i cellen delt på den maksimale elektrisiteten som kan leveres av batteriet, slik det er uttrykt i formelen under. SoC er det motsatte av «depth of discharge» (DoD) som sier noe om hvor dypt man utlader batteriet.



Figur 17: «State of Charge» tilsvare batteriets ladetilstand.

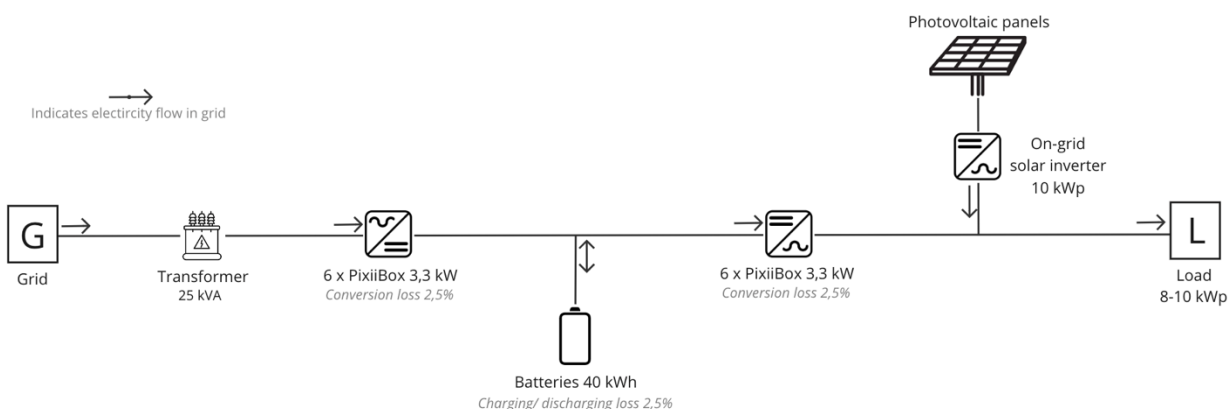
SoC blir i denne analysen beregnet hver time i løpet av et døgn ved å sjekke om batteriene enten leverer elektrisitet eller lades opp. Dersom ett av de to kriteriene oppfylles, vil SoC justeres. For beregning av SoC tas det også hensyn til et ladnings- eller utladningstap angitt til 2,5%. Når batteriene trekker strøm fra nettet under oppladning beregnes det som en positiv verdi, mens når elektrisitet leveres ut på nettet vil det gi en negativ verdi som kan ses i vedlegget (s. 106)

Endring av SoC er også relevant med tanke på batteriets levetid siden det angir antall energisykluser batteriet leverer. Med bakgrunn i diverse datablad er det normalt å se LFP batterier med over 5000 sykluser, men det faktiske antallet avhenger av mange faktorer, blant annet DoD, temperatur og det som kalles C-rate. C-rate eller C-hastigheten er et mål på hvor fort man lader og utlader et batteri. Dersom et batteri har en C-hastighet på C1, betyr det at batteriet utlades eller lades på én time.

Med bakgrunn i informasjon fra industri og Pixii er det antatt at LFP-batteriene i denne studien har 3500 sykluser (PowerTech Systems, 2023). Det resulterer i utgangspunktet i 14,2 år levetid for batteriene, men det antas at de selges videre etter 10 år da en gradvis degradering vil hindre en tilstrekkelig og sikker strømforsyning for en samfunnskritisk applikasjon etter dette.

For å finne størrelse på batterienergilagringsystemet er det modellert i Excel at flere faktorer påvirker energiflyten, som fører til at batteriene responderer med en energiflyt til eller fra batteriet. Det er flere faktorer som påvirker om flyten blir negativ eller positiv, altså om det

trekkes strøm fra batteriet som blir levert til radiomasten eller om batteriet lades opp. Først beregnes energiflyten til og fra batteriet. Dersom nettet er tilgjengelig ( $>170\text{ V}$ ), så vil nettet levere strøm gjennom PixiiBoxene på nett-siden (t.v. i Figur 18). Denne strømmen skal dekke lasten og eventuell oppladning av batteriene, med hensyn til tap gjennom PixiiBoxene. Hvor mye energi det er plass til i batteriene bestemmes av batterikapasiteten minus SoC dividert med virkningsgraden, da det skal kompenseres for tap. Hvis nettet ikke er tilgjengelig ( $<170\text{ V}$ ) vil strømmen ut av batteriet tilsvare strømmen gjennom PixiiBoxene på last-siden (t.h. i Figur 18) for å forsyne radiomasten. I utgangspunktet skal det være mulig for batteriene å lades opp av solenergi, men i denne analysen antar vi at PV-systemet er for lite til å dekke både last og oppladning av batteri.



Figur 18: Skisse av energiflyten i system 2.

Figur 18 illustrerer energiflyt i nettet som beveger seg i retning radiomasten. Radiomasten har en last på 8-10 kWp, som til enhver tid må dekkes av energisystemet. Strømnettet bruker vekselstrøm, som betyr at både batteriene og solcellepanelene har behov for en omformer (PixiiBox) eller en solarvekselretter. På nettsiden er det opptil 6 stk. av en 3,3 kW PixiiBox som omgjør strømmen fra AC til DC slik at batteriet kan lades opp av nettet. Ettersom batteriet både leverer og lagrer likestrøm, vil det være behov for en PixiiBox til som konverterer tilbake til vekselstrøm, slik at det eksisterende likerettersystemet til radiomasten kan motta elektrisitet fra batterilagrløsløsningen. Det samme gjelder for solcellepanelene. Seriekoblede solcellepanel har en høy likespenning og leverer ut en likestrøm som må konverteres til vekselstrøm ved hjelp av en nettilkoblet solarvekselretter. En nettilkoblet vekselretter betyr at



den er koblet til et «nett», men den gjør ikke forskjell på om det er et strømnnett eller en batterienergilagringsenhet, det motsatte kalles «øydrikt». Denne vekselretteren bruker en MPPT-teknologi (Maximum Power Point Tracking), som betyr at den justerer spenning selv i forhold til solinnstråling.

Når energien konverteres mellom AC og DC vil noe gå tapt i form av varme, slik det er illustrert Figur 19. Effekten som går inn i omformeren vil være noe høyere enn den som kommer ut, grunnet tap i omgjøringen. Tapet er bestemt å være på 3,5% ut ifra informasjon fra Pixii.



Figur 19: Elektrisitetsflyt gjennom en omformer.

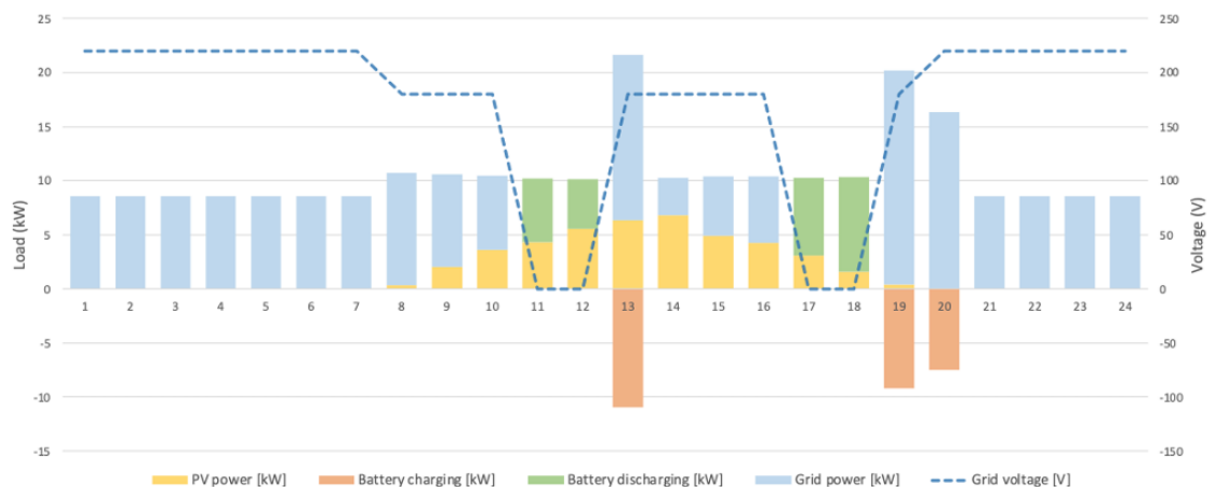
Beregningen av tap av effekt gjennom en PixiiBox er gjort ved formelen nedenfor basert på at «out» er nærmest lasten, avhengig av om flyten er inn eller ut.

$$(3) \quad P(out) > 0: P(in) = \frac{P(out)}{(1 - \text{conversion loss})}$$

$$(4) \quad P(out) < 0: P(in) = P(out) \times (1 - \text{conversion loss})$$

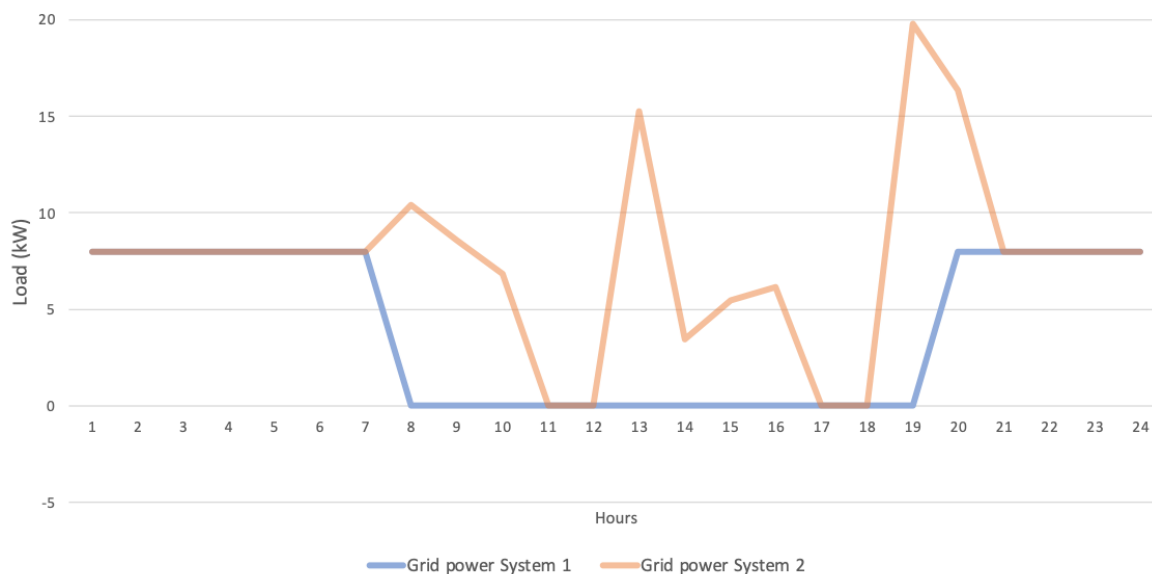
Antall PixiiBoxer på «nett-siden» av batteriet blir bestemt av kapasiteten til lasten, men det skal også være nok kapasitet til å lade opp batteriene med strøm fra nettet. Transformatorens kapasitet er 25 kW, som setter en begrensning for hvor mye som kan trekkes fra nettet. 6 PixiiBoxer som tilsvarer 19,8 kW (3,3 kW multiplisert med 6), skal være tilstrekkelig for å både dekke lasten, og for rask nok opplading av batteriene. På «last-siden» av batteriene som illustrert i Figur 18, blir det knapt med 3 PixiiBoxer, som tilsvarer 9,8 kW til lasten. Derfor er det også her antatt 6 PixiiBoxer. Dette er en overdimensjonering i forhold til kWp, men har blitt bestemt av Pixii som nødvendig i tilfelle behov for ekstra margin ved forbruksøkning i

fremtiden, og behov for redundans i tilfelle en PixiiBox feiler, slik at man fortsatt har forsyningssikkerhet for radiomasten.



Figur 20: Oversikt over spenning hver time i løpet av døgnet, last og energikilde.

I figuren ovenfor ser man oversikt over spenningen hver time i døgnet, lasten og hvilken energikilde som forsyner lasten. I figuren er "charging" omgjort til positive verdier og "discharging" omgjort til negative verdier slik at grafen er mer intuitiv.



Figur 21: Sammenligning av elektrisitet levert av strømmettet i de to alternative systemene.

I figuren ovenfor er det tydelig at nettforbruket i system 2 (BESS og PV) er høyere gjennom døgnet. Årsaken til dette er at omformerne (PixiiBox) i PowerShaperen gjør det mulig å trekke

strøm fra nettet selv ved lav spenning - helt ned til 170 V. Dette gjør at nettet vil være tilgjengelig for utnyttelse lenger enn med dieselgeneratoren.

Basert på opplysninger fra prosjektet og beregninger fra materialstrømanalysen, blir materialstrømmen som dekker FU (s. 41) presentert i tabellene nedenfor. For dieseltanken er det oppgitt vekt for full/tom tank. Materialer og transport er modellert med hensyn til at tanken er tom.

Tabell 4: Materialstrøm for system 1: Diesel.

Materialstrøm System 1	Mengde	Vekt/stk
Diesel	175 200 liter	
15kW Diesel Generator	1 stk	693 kg
1000 liter Diesel Tank	1 stk	1450/595 kg
Elektrisitet fra strømnettet	350 400 kWh	

Tabell 5: Materialstrøm for system 2: BESS + PV.

Materialstrøm System 2	Mengde	Vekt/stk
3,3kW PixiiBox	12 stk	1,95 kg
Kabinett	1 stk	220 kg
5kW LFP Batteri	8 stk	42 kg
Gateway	1 stk	541 g
PV	30 stk	22,5 kg
Solar vekselretter	1 stk	28,9 kg
Elektrisitet fra strømnettet	681 900 kWh	

## 5.11 Livsløpsfaser

Tabell 6: Livsløpsfaser for en LCA (Gervasio & Dimova, 2018).

Product stage			Process stage		Use stage							End-of-life stage				
A1	A2	A3	A4	A4	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Raw material supply	Transport	Manufacturing	Transport	Construction	Use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	Deconstruction	Transport	Waste processing	Disposal	Reuse-recycling-recover

Livsløpsfasene i denne analysen baserer seg på modulsystemet som vist ovenfor. Livsløpet begynner ved utvinning av råmaterialer i produktfasen (A1-A4). Modul A1 til A3 dekker produksjonen av materialene som benyttes i de ulike komponentene frem til fabrikkporten, og data herfra hentes typisk fra stykklisten, eller *bill of materials (BoM)*, dersom dette er tilgjengelig (Dos Santos Gervasio & Dimova, 2018). I resultatene er utslippene fra trinn A1 og A3 lagt sammen, da påvirkningen fra disse fasene utgjør en svært liten andel av utslippene fra de to systemene over en 10 års periode. Transport mellom utvinning og produksjon (A2) er ekskludert grunnet manglende data. I denne analysen har det for begge systemene som studeres delvis blitt benyttet sekundærdata i form av tidligere livsløpsanalyser for å innhente informasjon i dette trinnet. I tillegg til litteratur har noe komponentdata og informasjon om prosjektet kommet fra Pixii. Videre i modul A4 transporteres disse komponentene til radiobasestasjonen i Nord Luzon. Distansen baserer seg på informerte antagelser i forhold til lokasjon til fabrikker og radiobasestasjonen. Installasjon (A5) er ekskludert i analysen.

I bruksfasen (B1-B5) inkluderes all relevant data i forbindelse med drift, vedlikehold og reparasjon (Dos Santos Gervasio & Dimova, 2018). For system 1 vil det i bruksfasen være nødvendig med kontinuerlig påfylling av diesel til dieselgeneratoren. Tanken skal fylles når dieselforbruket reduseres til 50% av volumet, hvilket tilsvarer 35 fyllinger per år. Vedlikehold

(B2) av generatoren skjer typisk etter hver 300. kjøretime, eller hver 6. måned. I system 2 er det forventet at både solcellepanelene og batterilagringssystemet skal vare ut brukstiden uten noen form for vedlikehold (B2) eller reparasjon (B3). Realistisk sett kan det likevel hende at det blir behov for en form for vedlikehold, men denne belastningen inkluderes ikke i beregningene da den antas å være minimal. Utskiftning av battericeller og paneler (B4-B5) er ekskludert fra analysen for enkelhetsskyld. Modul B6 inkluderer forbruk av energi under drift. For system 1 med dieselgenerator tilsvarer dette all elektrisiteten fra strømnettet, samt forbruk av diesel som benyttes under operasjonell drift. For system 2 inkluderer det elektrisitetsforbruk fra nettet, samt energi for å lade batteriene. Solenergi er i denne fasen ekskludert, og kun belastning fra utvinning og produksjon av PV og solar vekselretter inngår i systemet, det antas at det ikke produserer utslipp under bruksfasen. Dette diskuteres nærmere i kapittel 8 (s. 89).

C1 til C4 representerer avhendingsfasen, og den siste modulen (D) er nytte/belastningsfasen. Der allokeres netto fordeler ved gjenbruk, resirkulering og gjenvinning av materialer. For denne analysen er det bestemt at både avhending og nytte/belastning skal ekskluderes, da opplysningene om EoL i Filippinene 10 år frem i tid er svært mangelfull. Dette vil også diskuteres i kapittel 8: Diskusjon.

## 6 Livsløpsregnskap

### 6.1 Datagrunnlag og datakvalitet

Som nevnt tidligere består datainnsamlingen av litteratur og konkret data fra Pixii og prosjektet. Likevel er datainnsamlingen avgrenset da noen av komponentene innebærer konfidensiell informasjon. Dette gjelder spesielt batteriene. Pixii jobber med flere leverandører av batterier, og materialinnhold fra hver enkelt produsent er av sensitiv informasjon. Det samme gjelder for leverandør av PV og solarvekselretter. Det som inngår i disse teknologiene baserer seg derfor i all hovedsak på litteratur, og mer spesifikt tidligere livsløpsanalyser, i tillegg til databasen ecoinvent 3.8. Følgelig har det blitt benyttet en cut-off på 5% for enkelhetsskyld da de fleste av teknologiene inneholder hundrevis av komponenter og materialer. Analysen består dermed av beregninger som er basert på ulike forutsetninger og antakelser, og datakvaliteten for analysen vil derfor være begrenset. For produksjon er det benyttet medium spenning i de aktuelle landene, mens det blir benyttet lav spenning i bruksfasen i begge systemer.

### 6.2 Stykkeliste

#### 6.2.1 Dieselgenerator

Det er informert fra prosjektet at dieselgeneratoren har en effekt på 15 kW, med en brennverdi på 2,50 kWh/liter. Utover det er det antatt at generatoren er fra Generac og produsert på deres egne fabrikker i USA. Vekten og dimensjon på generatoren er hentet fra produktdetaljer på deres egne sider. Det samme gjelder dieseltanken som er fra FuelProof og produsert i Nederland. Data knyttet til materialer er hentet fra Bilich et al. (2017).

Tabell 7: BoM dieselgenerator og tank.

Beskrivelse	Mengde	Enhet	Kilde(r)
<b>Output</b>			
Diesel generator	693	kg	Information from site, 2023, Generac 15 kW
Diesel tank	595	kg	Information from site, 2023, Fuel Proof LTD 1000 L
<b>Inputs</b>			
Aluminium die cast	180	kg	(Bilich et al., 2017)
Primary aluminium ingot	187	kg	(Bilich et al., 2017)
Steel cast	152	kg	(Bilich et al., 2017)
Steel	152	kg	(Bilich et al., 2017)
Copper (wire)	14	kg	(Bilich et al., 2017)
Plastic (poypropylene)	7	kg	(Bilich et al., 2017)
Galvanized steel (tank)	595	kg	Fuel Proof LTD 1000L

## 6.2.2 Teknologier som inngår i mikronettet

### **Pixii PowerShaper2**

Alt av materialer som inngår i Pixii PowerShaper2 for kabinett, PixiiBox og Gateway er hentet direkte fra selskapet. Med hensyn til cut-off kriteriet er det kun 95% av den samlede til materialene som inngår i tabellene nedenfor.

Tabell 8: BoM for ett kabinett.

Beskrivelse	Mengde	Enhet	Kilde(r)
<b>Output</b>			
Cabinet Pixii PowerShaper	220	kg	Informasjon fra produsent, 2023
<b>Inputs</b>			
Aluminium	59,65	kg	Informasjon fra produsent, 2023
Galvanized steel	113,95	kg	Informasjon fra produsent, 2023
Copper	35,2	kg	Informasjon fra produsent, 2023
Stainless steel	11,2	kg	Informasjon fra produsent, 2023

Tabell 9: BoM for én PixiiBox.

Beskrivelse	Mengde	Enhet	Kilde(r)
<b>Output</b>			
PixiiBox	1 950	g	Informasjon fra produsent, 2023
<b>Inputs</b>			
Aluminium	725,32	g	Informasjon fra produsent, 2023
Feather steel	12,2	g	Informasjon fra produsent, 2023
Stainless steel	25,68	g	Informasjon fra produsent, 2023
Total FR4	184	g	Informasjon fra produsent, 2023
Total copper	269	g	Informasjon fra produsent, 2023
Electrolytic capacitors	244,6	g	Informasjon fra produsent, 2023
Ferromagnetic materials	366,9	g	Informasjon fra produsent, 2023
Semiconductors	122,3	g	Informasjon fra produsent, 2023

Tabell 10: BoM for én Pixii Gateway.

Beskrivelse	Mengde	Enhet	Kilde(r)
<b>Output</b>			
Pixii Gateway	541	g	Informasjon fra produsent, 2023
<b>Inputs</b>			
Aluminium (top cover)	155,4	g	Informasjon fra produsent, 2023
Aluminium (bottom cover)	228,9	g	Informasjon fra produsent, 2023
FR4 (PCBs)	156,4	g	Informasjon fra produsent, 2023

Pixii bruker i stor grad LFP-batterier for deres prosjekter, og det har blitt informert om at hvert batteri har en kapasitet på 5 kWh. Det er også blitt oppgitt at typisk vekt for batterier som inngår i deres systemer er 42 kg per stk., som tilsvarer produktdetaljene til majoriteten av batteriprodusentene, hvor alle spesifiserer at deres batterier veier mellom 40 til 42 kg. Tidligere livsløpsanalyser for litiumbatterier varierer noe, men spesifikke analyser av LFP-batterier er mer oppdatert da denne teknologien er «nyere». Sammensetningen i Tabell 11 er hentet fra livsløpsanalysen til Quan et al. (2022). Det er gjort noen modifikasjoner for at mengden skal samsvare med et batteri på 42 kg. De fleste analyser tar utgangspunkt i en output på 1 kg produkt, men i denne analysen er det modellert for en funksjonell enhet på 10 år, og beregningene i SimaPro tar utgangspunkt i ett batteri som kan skaleres opp og ned.



Tabell 11: BoM for 1 LFP batteri.

Beskrivelse	Mengde	Enhet	Kilde(r)
<b>Output</b>			
LFP battery	42	kg	Informasjon fra produsent, 2023
<b>Inputs</b>			
Graphite	5,56	kg	(Quan et al., 2022)
Copper	4,58	kg	(Quan et al., 2022)
Aluminium	10,48	kg	(Quan et al., 2022)
Electrolyte: LiPF6	1,1	kg	(Quan et al., 2022)
Electrolyte: Ethylene, Carbonate	3,12	kg	(Quan et al., 2022)
Electrolyte: Dimethyl, Carbonate	3,1	kg	(Quan et al., 2022)
Coolant	3,43	kg	(Quan et al., 2022)
<i>Active cathode material</i>	<i>10,6</i>	<i>kg</i>	(Quan et al., 2022)
Lithium	466,4	g	
Jern	3 752,4	g	
Fosfat	2 077,6	g	
Oksygen	4 303,6	g	

## PV

Inventaret tilhørende solcellepanelene er basert på datablad fra solcelleleverandør, samt livsløpsanalysen gjennomført av Al-Zoubi et al. (2022) for et typisk monokrystallinsk silisumbasert (c-Si) PV panel på 1,7 kvadratmeter med en vekt på ca. 20 kg. I databladet er det oppgitt at modulen produserer maksimalt 330 Wp ved direkte sollys, og dette er inkludert beregninger i forbindelse med materialstrømanalysen. Videre er det gjort et anslag for størrelse på PV systemet basert på hvor stort areal som er tilgjengelig. For informasjon om materialsammensetningen i den solare vekselretteren er en livsløpsanalyse av Tschümperlin et al. (2016) som baserer seg på forskjellige vekselrettere med kapasitet som rangerer fra 2,5 til 20 kW brukt. Her er gjennomsnittstall for en 10 kW vekselretter valgt ettersom dette er tilsvarende kapasiteten for PV systemet. Generelt vil det være noen variasjoner i dataen som er oppgitt i litteratur og data inputs i systemet som analyseres, og modifikasjoner i forhold til vekt og materialinnhold har blitt gjort for å tilpasse prosjektet.

Tabell 12: BoM PV for én standard modul på 1,7 m<sup>2</sup>.

Beskrivelse	Mengde	Enhet	Kilde(r)
<b>Output</b>			
Photovoltaic solar panel	22,52	kg	REC N-PEAK SOLAR PANELS, PREMIUM MONO N-TYPE SOLAR PANELS, 2023
Structure	2,23	kg	(Bondesson, 2010)
<b>Inputs</b>			
Silicon	0,48	kg	(AL-Zoubi et al., 2022)
Copper	1,29	kg	(AL-Zoubi et al., 2022)
Glass	16,02	kg	(AL-Zoubi et al., 2022)
Aluminium (PV cell)	0,06	kg	(AL-Zoubi et al., 2022)
EVA & Tedlar	2,41	kg	(AL-Zoubi et al., 2022)
Lead	0,01	kg	(AL-Zoubi et al., 2022)
Tin	0,01	kg	(AL-Zoubi et al., 2022)
Silver	0,01	kg	(AL-Zoubi et al., 2022)
Aluminium (panel frame)	2,23	kg	(AL-Zoubi et al., 2022)

Tabell 13: BoM for solar vekselretter.

Beskrivelse	Mengde	Enhet	Kilde(r)
<b>Output</b>			
Solar inverter	28,9	kg	Information from Pixii, 2023, 10 kW
<b>Inputs</b>			
Copper	7,9	kg	(Tschümperlin et al., 2016)
Aluminium	15,8	kg	(Tschümperlin et al., 2016)
Stål	5,3	kg	(Tschümperlin et al., 2016)

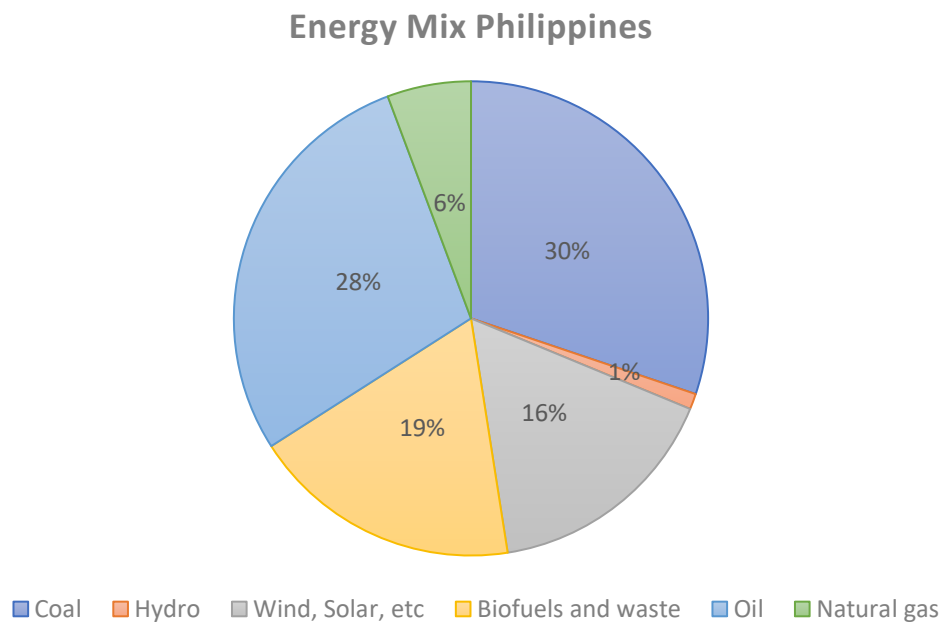
### 6.3 Bruksfasen

Datagrunnlaget for bruksfasen er innhentet fra det aktuelle prosjektet. For system 1 er det informert om påfyllinger av diesel, vedlikehold av generator, samt spenningsnivået i strømmettet og lasten til radiomasten. Det er videre oppgitt et estimert dieselforbruk og energi fra strømmettet. For system 2 er det antatt at det ikke er noe utslipp fra teknologiene som inngår, foruten økt bruk av et ellers skittent strømmett. Det er tatt høyde for at batteriene i systemet benytter nettet under opplading.

Tabell 14: Data for de to systemene i bruksfasen.

System 1	
Dieselforbruk	17 520 liter
Påfyllinger	Fylles ved 50%, som tilsvarer 35 påfyllinger per år
Vedlikehold	Etter hver 300. kjøretime, som tilsvarer hver 6. måned
Elektrisitet fra strømmettet	35 040 kWh
System 2	
Elektrisitet fra strømmettet	68 190 kWh

I tabellen ovenfor er opplysninger fra prosjektet oppført. Basert på informasjon om at dieseltanken fylles når den er halvtom, er det videre estimert 35 påfyllinger for å dekke behovet beskrevet i FU. Vedlikehold av dieselgeneratoren påberegnes å skje 20 ganger. Data i tilknytning til energimiksen for begge systemene er hentet fra ecoinvent 3.8 cut-off. Bidragsdiagrammet nedenfor inneholder data fra IEA for 2022, mens ecoinvent 3.8 benytter data fra samme kilde for 2018 (IEA, 2022).



Figur 22: Prosentvis inndeling av energikilder som inngår i det filippinske strømmettet.

Da den funksjonelle enheten er basert på 10 års brukstid, blir det naturligvis store mengder levert energi fra strømmettet til radiomasten for begge systemene. Det betyr at energimiksen for strømmettet med stor sannsynlighet vil spille en avgjørende rolle for resultatene. For denne

analysen er det den Filippinske energimiksen som er lagt til grunn, men i scenarioanalysen vil den norske energimiksen benyttes for å sammenligne systemene for et hyttefelt i Norge. Som vist i figuren ovenfor er energimiksen i Filippinene ekstremt karbonintensiv, mens den norske energimiksen i all hovedsak består av ren fornybar kraft. I vedlegget (s. 106) finnes en tilsvarende oversikt for det norske strømmettet. Data i ecoinvent 3.8 inkluderer tap for transmisjon i nettet, men ikke tap fra høy til medium spenning, og fra medium til lav spenning.

#### 6.4 Transport

Utslipp i forbindelse med transport er beregnet fra lokasjon av fabrikk til det aktuelle bruksområdet, og transportrutene baserer seg på informerte antagelser ut ifra dette. Som nevnt tidligere er transport mellom utvinning av råmateriale og produksjon ekskludert grunnet manglende data. Tabellene nedenfor oppsummerer de ulike strekningene, vekt for last, samt hvilke prosesser som er benyttet for utregning i SimaPro. For å anslå kjøredistanse for lastebil og tog, er veibeskrivelsesfunksjonen i Google Maps benyttet. Store deler av transporten er maritim, og foregår med cargoskip. For å beregne distansen ved disse tilfellene er fluentcargo.com brukt (Fluent Cargo, 2023). Beregningen av de ulike transportetappene, samt vekt på komponenter er gjort i Microsoft Excel. Videre ble utslippsdata hentet fra databasen ecoinvent 3.8 Cut-off i SimaPro.

I vedlegget (s. 106) presenteres datagrunnlaget for transport tilhørende et scenario som skal undersøkes i kapittel 7, hvor alle materialer fraktes til et hyttefelt i Flå kommune i Norge. Følgende scenario er oppdiktet for denne analysen, og data i tilknytning til dette er rene antagelser basert på alminnelige transportruter. Startpunktet er det samme for komponentene i begge scenariene, men sluttunktet vil være annerledes.

Tabell 15: Transportstrekning for dieselgeneratoren for system 1 i Filippinene.

Etappe	Startpunkt	Totalvekt	Avstand	Sluttpunkt	Prosess i SimaPro
1	Wisconsin, USA	693 kg	3 218 km	Los Angeles, USA	Transport, Freight train (US) market for
2	Los Angeles	693 kg	13 500 km	Manila (Port of Manila)	Transport, freight, sea, container ship (GLO) market for transport
3	Manila (Port of Manila)	693 kg	300 km	Aurora (NLZ)	Transport, freight, lorry 16-32 metric, euro4 (RoW) market for transport

Tabell 16: Transportstrekning for dieseltank for system 1 i Filippinene.

Etappe	Startpunkt	Totalvekt	Avstand	Sluttpunkt	Prosess i SimaPro
1	Netherlands (Port of Rotterdam)	595 kg	17 780 km	Manila (Port of Manila)	Transport, freight, sea, container ship (GLO) market for transport
2	Manila (Port of Manila)	595 kg	300 km	Aurora (NLZ)	Transport, freight, lorry 16-32 metric, euro4 (RoW) market for transport

Tabell 15 og Tabell 16 viser til transport av dieselgenerator og dieseltank tilhørende system 1 i Nord Luzon. Startpunkt er basert på at produsenten Generac har sine fabrikker her.

Tabell 17: Transportstrekning for PV og solar vekselretter for system 2 i Filippinene.

Etappe	Startpunkt	Totalvekt	Avstand	Sluttpunkt	Prosess i SimaPro
1	Singapore (Jurong Port)	629 kg	2 528 km	Manila (Port of Manila)	Transport, freight, sea, container ship (GLO) market for transport
2	Manila (Port of Manila)	629 kg	300 km	Aurora (NLZ)	Transport, freight, lorry > 32 metric ton, euro3 (RoW) market for transport

Fabrikkområde under etappe 1 i Tabell 17 er oppgitt av leverandør av solceller. Det er videre antatt at den solare vekselretteren produseres på samme fabrikk som solcellene, og at lasten transporteres direkte til Filippinene med cargoskip.

Tabell 18: Transportstrekning for Pixii PowerShaper2 for system 2 i Filippinene.

Etappe	Startpunkt	Totalvekt	Avstand	Sluttpunkt	Prosess i SimaPro
1	Slovakia (Port of Bratislava)	580 kg	11 000 km	China (Port of Dalian)	Transport, Freight train (US) market for
2	China (Port of Dalian)	580 kg	1 049 km	South Korea (Port of Busan)	Transport, freight, sea, container ship (GLO) market for transport
3	South Korea (Port of Busan)	580 kg	2 811 km	Manila (Port of Manila)	Transport, freight, sea, container ship (GLO) market for transport
4	Manila (Port of Manila)	580 kg	300 km	Aurora (NLZ)	Transport, freight , lorry 16-32 metric, euro3 (RoW) market for transport

Utgangspunktet for første etappe i transportstrekningen for Pixii PowerShaper er fabrikklokasjon oppgitt av Pixii. Videre er det antatt at transporten foregår via jernbane fra Slovakia til Kina gjennom den nyetablerte silkeveien med stopp i Polen og Hviterusland (Mertrans, 2021). Fra havnebyen Dalian i Kina antas det videre maritim transport via Sør-Korea, før lasten når Filippinene.

## 6.5 Avhending

Mangel på data om EoL situasjonen i Filippinene har ført til at denne delen av analysen er ekskludert. Denne beslutningen er gjort ettersom data inputs ville vært basert på fullstendige antagelser dersom avhendingstrinnet skulle inkluderes. Dette ville videre føre til at sluttresultatene for analysen ble mindre presise.

## 7 Resultater

### 7.1 Materialstrømanalyse

Resultatene fra materialstrømanalysen viser materialforbruket for de to systemene.

Komponentene tilhørende system 1 består av en 15 kW dieselgenerator som går 12 timer i døgnet, over en levetid på 10 år. I løpet av denne levetiden forbrenner dieselgeneratoren 4 liter diesel i timen, hvilket tilsvarer et totalt dieselforbruk på 175 200 liter som følgelig generer 438 000 kWh. Radiomasten har en last på 8 kW - 10 kWp, som tilsvarer 216 kWh i døgnet. For å sikre tilstrekkelig og pålitelig strømforsyning til radiomasten er det behov for totalt 350 400 kWh elektrisitet fra strømnettet over 10 år.

Komponentene som inngår i system 2 skal erstatte dieselgeneratoren som reserveløsning for radiobasestasjonen. For å sikre tilstrekkelig strømforsyning er det nødvendig å implementere batteribasert energilagring og solcellepanel. Resultatene fra materialstrømanalysen viser at det i tilfeller med strømbryt er nødvendig med 40 kWh batterikapasitet. Dette tilsvarer åtte LFP batterier med kapasitet på 5 kWh per batteri. I tillegg ble programmet PVGIS brukt for å finne verdier for solinnstråling, som videre ble benyttet i Excel-analysen for å finne solenergi levert til lasten time for time. Per døgn resulterer det i 42 kWh.

For at systemet skal kunne levere elektrisitet til lasten fra strømnettet, batterier og solcellepaneler er det nødvendig med batteriomformere som kan konvertere vekselstrøm til likestrøm (og omvendt), og en solar vekselretter som kan konvertere elektrisitet fra PV fra vekselstrøm til likestrøm. Totalt er det behov for 12 PixiiBoxer og én solar vekselretter.

## 7.2 Livsløpsanalyse

### 7.2.1 Hovedresultater

I dette kapitlet vil funnene fra livsløpsanalysen fremstilles med bakgrunn i forskningsspørsmål 2 til 4 (s. 9). I Tabell 19 og Tabell 20 er alle verdier oppgitt i eksponentielle tall for enkelhet skyld, som vil si at eksempelvis 1,30E+2 leses som 130.

Tabell 19 og tabell 20 presenterer alle påvirkningskategoriene, slik de er analysert i SimaPro. De forskjellige påvirkningskategoriene er listet opp i forhold til datakvalitet og usikkerhet. I følge ILCD handbook er det usikkerhet tilknyttet vekting av toksisitet og økotoksistiet. Tabell 19 viser resultater for de forskjellige fasene i system 1. Resultatene skal dekke den funksjonelle enheten, som i denne analysen er en energiforsyning på 216 kWh i døgnet som skal dekkes over en periode på 10 år. Det faktum at tidsrommet i FU er satt til 10 år vil resultere i at det er forbrenning av diesel, samt elektrisitet fra nettet som utgjør den største påvirkningen. Dette illustreres godt i tabellene under. Tabell 20 viser en oversikt over resultatene fra system 2. I bruksfasen for dette systemet vil det ikke være annet utslipp enn fra det filippinske strømnettet, som i all hovedsak baserer seg på ikke-fornybare energikilder. Batteriene vil lades opp fra nettet ved overskuddselektrisitet, og påvirkningen fra dette inngår under «electricity from grid». Det er antatt at PowerShaperen med diverse komponenter, samt solceller ikke vil ha en påvirkning i bruksfasen. Alle anslagene i Tabell 19 er gjort med forutsetning om at det ikke kreves vedlikehold av de ulike komponentene, da dette ville utgjort en minimal forskjell for systemet som analyseres.



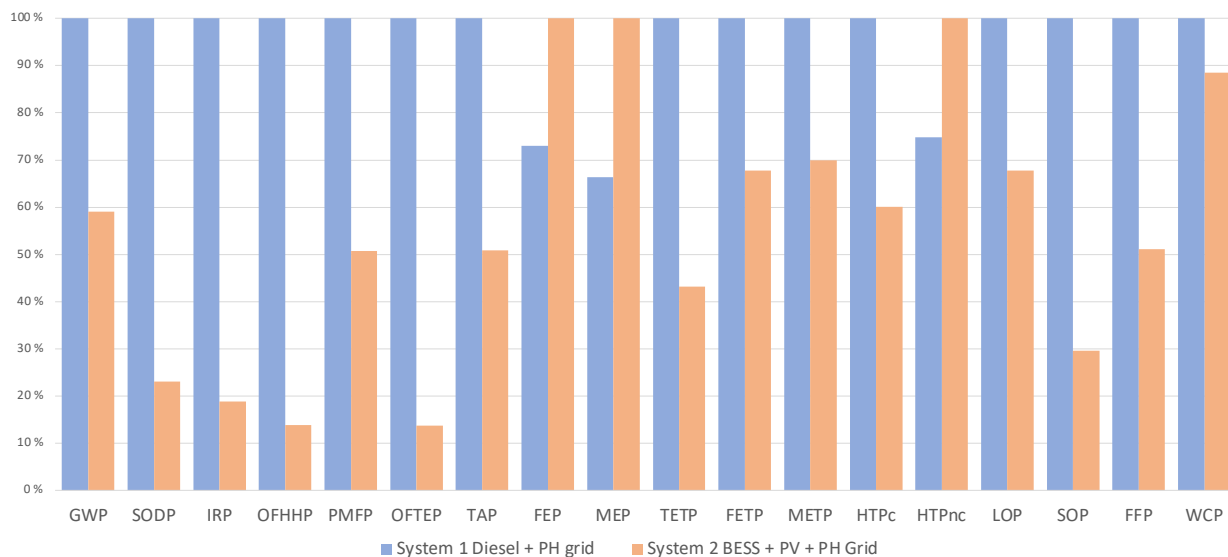
Tabell 19: Livsløpsbelastning tilhørende system 1.

Impact category	Unit	Abbr.	Total	Extraction and manufacturing PV	Extraction and manufacturing Inverter	Electricity from Grid	Transport	Extraction and manufacturing PixiiBox	Extraction and manufacturing Cabinet	Extraction and manufacturing Pixii Gateway	Extraction and manufacturing LFP battery (CN)
Global warming	kg CO2 eq	GWP	5,47E+05	2,31E+03	3,41E+02	5,36E+05	4,56E+02	6,85E+02	1,79E+03	2,78E+01	5,14E+03
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	SODP	1,57E-01	8,83E-04	1,37E-04	1,53E-01	1,86E-04	2,48E-04	7,03E-04	1,00E-05	1,42E-03
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	IRP	1,61E+03	4,10E+01	2,06E+01	1,14E+03	1,63E+01	4,61E+01	1,67E+02	1,87E+01	1,56E+02
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	OFHHP	1,45E+03	4,36E+00	9,21E-01	1,42E+03	4,45E+00	1,67E+00	5,94E+00	5,67E-02	1,56E+01
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	PMFP	1,81E+03	3,15E+00	9,29E-01	1,78E+03	1,14E+00	1,66E+00	7,45E+00	5,33E-02	1,35E+01
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq	OFTEP	1,46E+03	4,43E+00	9,35E-01	1,43E+03	4,51E+00	1,70E+00	6,03E+00	5,73E-02	1,57E+01
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	TAP	3,21E+03	8,18E+00	1,92E+00	3,15E+03	2,78E+00	3,91E+00	1,66E+01	1,41E-01	3,48E+01
Freshwater eutrophication	kg P eq	FEP	5,43E+02	9,32E-01	3,09E-01	5,36E+02	1,13E-01	7,57E-01	2,13E+00	3,75E-02	2,56E+00
Marine eutrophication	kg N eq	MEP	2,51E+01	2,93E-02	2,00E-02	2,47E+01	6,28E-03	7,45E-02	6,89E-02	2,49E-03	1,42E-01
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	TETP	8,10E+05	3,09E+04	6,97E+03	5,21E+05	2,48E+03	1,15E+04	9,80E+04	7,83E+01	1,39E+05
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	FETP	2,26E+04	4,95E+02	9,30E+01	1,97E+04	1,13E+01	1,53E+02	1,08E+03	2,73E+00	1,04E+03
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	METP	3,04E+04	6,79E+02	1,34E+02	2,66E+04	1,65E+01	2,08E+02	1,44E+03	3,88E+00	1,41E+03
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	HTPc	2,77E+04	1,26E+02	1,37E+02	2,46E+04	5,44E+01	9,54E+02	1,31E+03	2,97E+00	5,04E+02
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	HTPnc	8,62E+05	7,78E+03	1,72E+03	8,12E+05	2,69E+02	2,67E+03	1,67E+04	6,73E+01	2,09E+04
Land use	m2a crop eq	LOP	9,58E+03	6,31E+01	1,02E+01	9,27E+03	2,15E+01	1,73E+01	6,85E+01	5,60E-01	1,23E+02
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	SOP	6,21E+02	3,34E+01	1,51E+01	2,54E+02	2,21E+00	1,07E+02	1,20E+02	2,03E-01	8,89E+01
Fossil resource scarcity	kg oil eq	FFP	1,37E+05	8,38E+02	8,90E+01	1,34E+05	1,36E+02	1,58E+02	4,10E+02	6,38E+00	1,10E+03
Water consumption	m3	WCP	1,17E+03	3,31E+01	5,43E+00	1,07E+03	1,77E+00	1,33E+01	1,95E+01	7,73E-01	2,68E+01

Tabell 20: Livsløpsbelastning tilhørende system 2.

Impact category	Unit	Abbr.	Total	Extraction and manufacturing Diesel genset	Extraction and manufacturing Diesel tank	Transport Diesel genset to site	Transport Diesel tank to site	Diesel combustion	Transportation of Diesel fuel to site	Maintenance Diesel generator	Electricity from Grid
Global warming	kg CO2 eq	GWP	9,26E+05	3,93E+03	3,13E+03	2,51E+02	1,30E+02	6,41E+05	2,14E+03	9,16E-01	2,75E+05
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	SODP	6,81E-01	1,31E-03	9,80E-04	1,38E-04	8,27E-05	5,99E-01	9,56E-04	3,81E-07	7,86E-02
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	IRP	8,56E+03	2,75E+02	1,72E+02	4,41E+00	1,51E+00	7,49E+03	3,44E+01	1,62E-02	5,86E+02
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	OFHHP	1,06E+04	1,07E+01	7,54E+00	3,49E+00	2,20E+00	9,80E+03	9,68E+00	3,61E-03	7,30E+02
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	PMFP	3,56E+03	1,04E+01	1,10E+01	9,17E-01	6,97E-01	2,62E+03	2,71E+00	1,11E-03	9,14E+02
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq	OFTEP	1,07E+04	1,09E+01	7,75E+00	3,53E+00	2,22E+00	9,90E+03	9,86E+00	3,68E-03	7,33E+02
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	TAP	6,33E+03	1,99E+01	1,18E+01	2,65E+00	2,14E+00	4,67E+03	6,40E+00	2,66E-03	1,62E+03
Freshwater eutrophication	kg P eq	FEP	3,96E+02	2,61E+00	1,74E+00	4,94E-02	2,05E-02	1,16E+02	4,31E-01	2,07E-04	2,76E+02
Marine eutrophication	kg N eq	MEP	1,66E+01	1,23E-01	8,63E-02	1,88E-03	5,54E-04	3,71E+00	1,41E-02	8,21E-06	1,27E+01
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	TETP	1,88E+06	5,16E+04	9,48E+04	1,20E+03	7,92E+02	1,42E+06	3,71E+04	1,03E+01	2,68E+05
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	FETP	3,33E+04	6,46E+02	2,62E+02	3,97E+00	1,43E+00	2,22E+04	4,22E+01	2,77E-02	1,01E+04
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	METP	4,36E+04	9,49E+02	3,83E+02	5,91E+00	2,34E+00	2,85E+04	7,60E+01	4,25E-02	1,36E+04
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	HTPc	4,61E+04	2,45E+03	5,06E+03	2,13E+01	5,65E+00	2,58E+04	8,68E+01	5,61E-02	1,27E+04
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	HTPnc	6,45E+05	1,19E+04	4,39E+03	8,51E+01	3,52E+01	2,10E+05	1,49E+03	8,41E-01	4,17E+05
Land use	m2a crop eq	LOP	1,41E+04	9,09E+01	1,08E+02	9,25E+00	2,97E+00	9,06E+03	1,10E+02	3,48E-02	4,76E+03
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	SOP	2,10E+03	1,76E+02	2,79E+02	8,94E-01	2,69E-01	1,51E+03	4,30E+00	2,81E-03	1,31E+02
Fossil resource scarcity	kg oil eq	FFP	2,68E+05	9,32E+02	7,44E+02	7,56E+01	3,98E+01	1,97E+05	7,32E+02	3,02E-01	6,91E+04
Water consumption	m3	WCP	1,32E+03	5,62E+01	2,78E+01	4,41E-01	1,26E-01	6,86E+02	3,65E+00	1,87E-03	5,51E+02

For å enklere illustrere forskjellen av de to energisystemene er det gjort en normalisering av resultatene i SimaPro. Figur 23 illustrerer at det er store differanser i miljøpåvirkning for de to systemene. Figuren inneholder normaliserte verdier for dataen som er oppgitt i tabellene ovenfor. Som indikert tidligere i analysen er trenden at system 1 med dieselgenerator har høyest miljøpåvirkning. Likevel er det ved 3 av 18 tilfeller slik at systemet med batteribasert energilagring og solcellepanel har høyere utslipp. Dette gjelder for kategoriene ferskvannseutrofiering, eutrofiering i hav og ikke-kreftfremkallende stoffer.

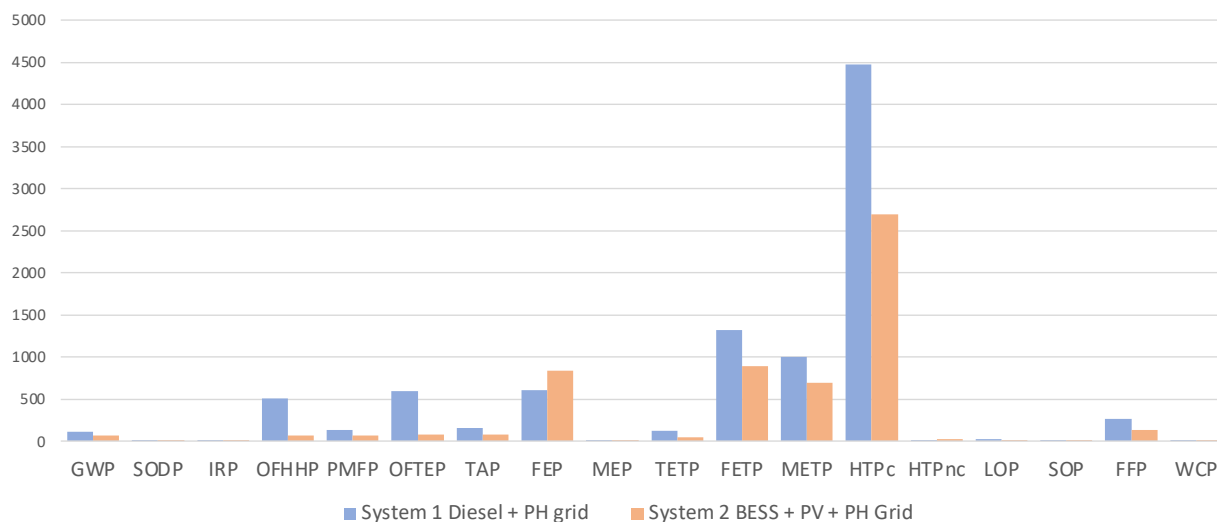


Figur 23: Normaliserte resultater for påvirkningskategorier for de to energisystemene.

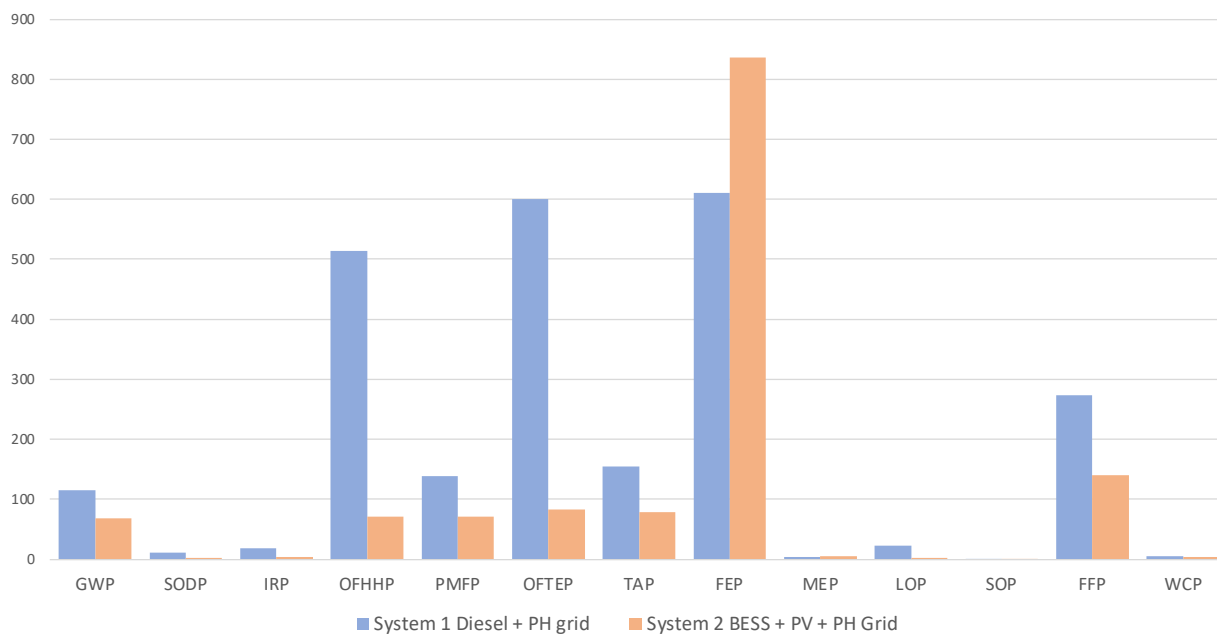
### 7.2.2 Normalisering

Normalisering er en del av LCIA som tar sikte på å gjøre resultatene til hver miljøpåvirkningskategori mer sammenlignbare. Det innebærer å skalere kategoriene til en felles referanse eller enhet, typisk basert på globale eller regionale gjennomsnittsverdier. Denne referanseverdien er hentet fra data om den samlede miljøbelastningen knyttet til en spesifikk referanseenhet (f.eks. 1 årsverk, 1 kg produkt, 1 kWh elektrisitet). Tolkning av resultater i henhold til ReCiPe 2016 metoden bruker et sett med påvirkningskategorier for å kvantifisere miljøpåvirkningene til systemet gjennom hele livssyklusen, og det benyttes det et globalt gjennomsnitt. Ved å normalisere påvirkningskategoriene vil det være mulig å se det relative bidraget til hver kategori til den samlede miljøpåvirkningen. Den gir et perspektiv på hvilke påvirkningskategorier som er mest betydningsfulle, og med det identifiserer hvor det er mulighet med forbedringer. I komparative analyser vil normalisering også muliggjøre en sammenligning av resultater mellom ulike livssyklusvurderinger. Figur 24 sammenligner de normaliserte resultatene i alle miljøpåvirkningskategoriene for begge systemene. Her er det tydelig at diagrammet viser at kategoriene for økotoksitet i ferskvann og hav, samt menneskelig toksisitet er dominerende. Grunnet usikkerhet i datagrunnlag, viser Figur 25 de

normaliserte resultatene uten disse kategoriene. Diagrammet indikerer at ferskvannseutrofiering, og ozondannelse for menneskelig helse og økosystem er mest betydningsfulle.



Figur 24: Normaliserte resultater for begge systemene.



Figur 25: Normaliserte resultater ekskludert toksisitet og økotoksisitet.

### 7.2.3 Utvalgte miljøpåvirkningskategorier

#### **Global oppvarming**

Tabell 21 viser resultatene for de to systemene under kategorien global oppvarmingspotensial (GWP) basert på ReCiPe 2016 metoden. GWP måler den totale mengden klimagasser som slippes ut over hele livssyklusen til de to systemene, uttrykt i kilo karbondioksidekvivalenter (kg CO<sub>2</sub> eq.). CO<sub>2</sub>-ekvivalenter er en enhet som standardiserer ulike drivhusgasser basert på deres oppvarmingspotensial i forhold til karbondioksid. GWP-indikatoren i ReCiPe 2016 tar for seg en rekke klimagasser, inkludert CO<sub>2</sub>, metan (CH<sub>4</sub>), lystgass (N<sub>2</sub>O) og fluorholdige gasser. Denne metoden i SimaPro beregner virkningen av disse gassene over en spesifikk tidshorison på 100 år for å gi en sammenlignende vurdering av deres oppvarmingspotensial. For eksempel vil hver kilo metan tilsvare 28 kg karbondioksid. Denne beregningen blir utført automatisk i SimaPro. Tabell 21 viser tydelig at system 2 reduserer klimagassutslipp med nesten halvparten, da dieselforbrenning er en karbonintensiv aktivitet. Det tilsvarer en klimabesparelse på 379 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter

Tabell 21: GWP for begge systemene samt prosentvis reduksjon fra system 1 til 2.

Impact Category	Unit	Total system 1	Total system 2	Prosentvis endring
GWP	kg CO <sub>2</sub> eq.	926 000	547 000	41%

#### **Ferskvannseutrofiering**

Tabell 22 viser resultatene for de to systemene under kategorien ferskvannseutrofiering (FEP). FEP kvantifiserer potensialet for overgjødning og påfølgende eutrofiering av ferskvannsystemer. Med det menes kvaliteten til ulike typer ferskvann som innsjøer, elver og bekker. Overgjødning og eutrofiering er prosesser der overskudd av næringsstoffer, hovedsakelig nitrogen og fosfor, kommer inn i økosystemer og stimulerer veksten av alger og andre vannplanter. Denne overdrevne veksten kan føre til skadelig algeoppblomstring, oksygenmangel og forstyrrelser i den økologiske balansen i vannmassene som igjen fører til fiskedød. FEP i ReCiPe 2016 metoden vurderer både utslipp fra industri og avrenning fra landbruk som kan tilføre stoffer i ferskvannøkosystemer. Eutrofiering i ferskvann er den eneste kategorien hvor system 2 kommer dårligere ut enn system 1. Tabell 22 viser en økning i FEP-

utslipp på 27% fra system 1 til system 2. Det skyldes i størst grad at mengde strøm fra nettet har økt betraktelig med implementering av BESS systemet.

Tabell 22: FEP for begge systemene samt prosentvis økning fra system 1 til 2.

Impact Category	Unit	Total system 1	Total system 2	Prosentvis endring
FEP	kg P eq.	396	543	27%

### Dannelse av svevestøv

Tabell 23 viser resultatene for de to systemene under kategorien dannelse av svevestøv (PMFP). Svevestøv består av små partikler i luften som har en diameter på 2,5 mikrometer eller mindre. Disse partiklene kan slippes ut direkte i atmosfæren fra for eksempel branner eller byggeplasser, eller dannes som et resultat av kjemiske reaksjoner som involverer nitrogenoksider, flyktige organiske forbindelser (VOCs) og svoveldioksider. Disse partiklene kan trenge inn i luftveiene og ha negative helseeffekter. I Tabell 23 ser man at system 1 slipper ut nesten dobbelt så mye PM2.5-ekvivalenter, trolig fra forbrenningen av store mengder diesel, som man vet er en stor bidragsyter for PM2.5-utslipp globalt (Zhang et al., 2015).

Tabell 23: PMFP for begge systemene samt prosentvis reduksjon fra system 1 til 2.

Impact Category	Unit	Total system 1	Total system 2	Prosentvis endring
PMFP	kg PM2.5 eq.	3 560	1 810	49%

### Ozondannelse

Tabell 24 viser resultatene for de to systemene under kategorien bakkenær ozondannelse (OFTEP). Bakkenær ozon dannes gjennom prosesser eller fotokjemiske reaksjoner drevet av sollys, nitrogenoksider og oksygen som virker forurensende. Høye nivåer av ozon vil hindre fotosyntesen og har skadelige effekter på vannbalanse hos plantevekster, avlinger og forstyrrer økosystemets funksjon. Bakkenær ozon blir for eksempel dannet når sollys møter avgasser fra

forbrenning av diesel, som gjenspeiles i resultatene i Tabell 24 (Wang et al., 2020). Ved å erstatte system 2 med system 1 vil NO<sub>x</sub>-utslippene reduseres med 86%.

Tabell 24: OFTEP for begge systemene samt prosentvis reduksjon fra system 1 til 2

Impact Category	Unit	Total system 1	Total system 2	Prosentvis endring
OFTEP	kg NO <sub>x</sub> eq.	10 700	1 460	86%

#### 7.2.4 Bidrag for delprosessene i hvert av systemene

Tabell 25 og Tabell 26 viser bidragene fra forbrenning av diesel og elektrisitet fra nettet for hvert av de to systemene. I tabell 25 vises det at forbrenning av diesel og elektrisitet fra strømnettet utgjør nesten 100% i hver av de utvalgte kategoriene. I vedlegget (s. 106) er det en oversikt over delprosessene ved system 1 uten nett, men på grunn av den store mengden diesel som forbrennes over 10 år utgjør bruksfasen opp til 99% av utslippene i hver av de utvalgte påvirkningskategoriene. Utslipp fra utvinning, produksjon og transport blir nesten usynlig sammenlignet med utslipp fra forbrenning over en 10 års periode. Prosentandelen er beregnet ut fra den totale belastningen til hvert av systemene.

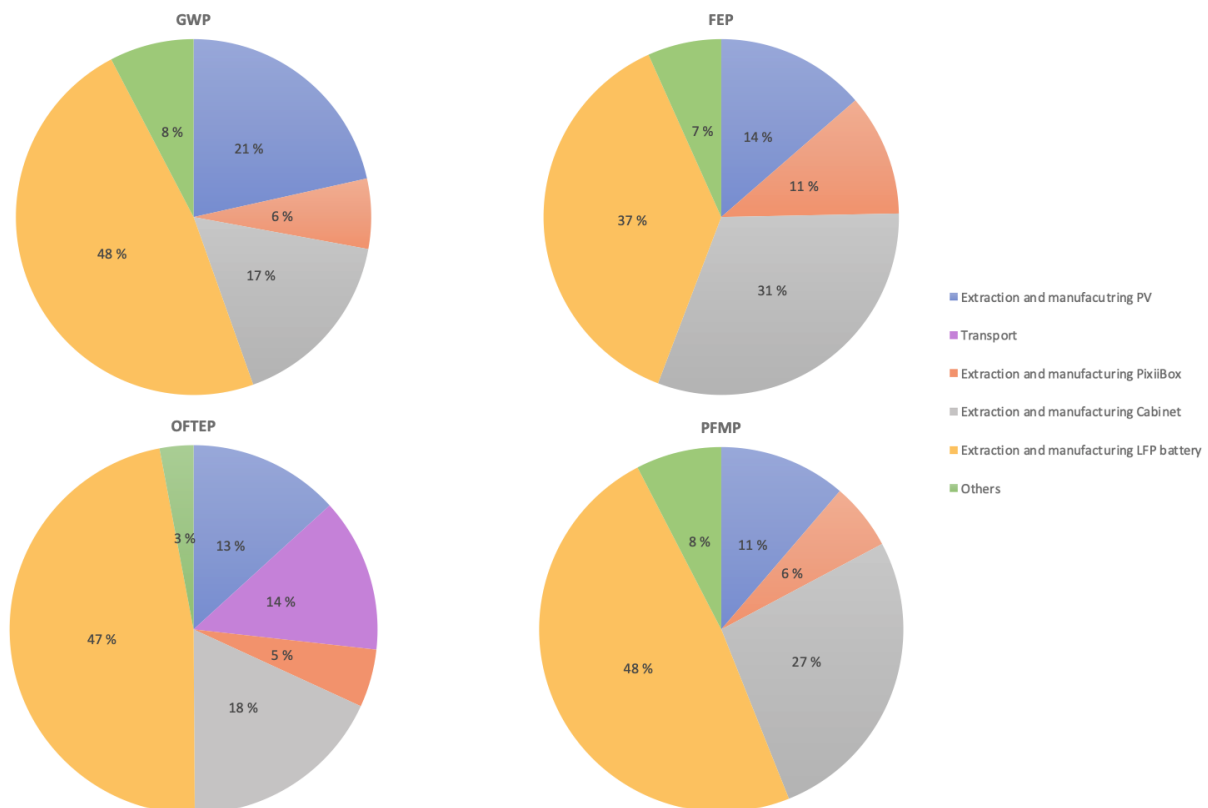
Tabell 25: Prosentvis påvirkning til forbrenning av diesel og elektrisitet fra nettet i livsløpet til system 1.

Påvirkningskategori	Forkortelse	Andel	Delprosess
<b>Global oppvarming</b>	GWP	69,2 %	Forbrenning av diesel
		29,7 %	Elektrisitet fra nettet
<b>Eutrofiering i ferskvann</b>	FEP	29,3 %	Forbrenning av diesel
		69,5 %	Elektrisitet fra nettet
<b>Dannelse av svevestøv</b>	PMFP	73,6 %	Forbrenning av diesel
		25,7 %	Elektrisitet fra nettet
<b>Ozondannelse, økosystem</b>	OFTEP	92,8 %	Forbrenning av diesel
		6,9 %	Elektrisitet fra nettet

Tabell 26: Prosentvis påvirkning fra elektrisitet fra nettet i livsløpet til system 2.

Påvirkningskategori	Forkortelse	Andel	Delprosess
<b>Global oppvarming</b>	GWP	98,0 %	Elektrisitet fra nettet
<b>Eutrofiering i ferskvann</b>	FEP	98,7 %	Elektrisitet fra nettet
<b>Dannelse av svevestøv</b>	PMFP	98,5 %	Elektrisitet fra nettet
<b>Ozondannelse, økosystem</b>	OFTEP	97,7 %	Elektrisitet fra nettet

I Tabell 26 er det tydelig at elektrisitet fra nettet over en periode på 10 år har den største påvirkningen. Nettet i Filippinene har høy miljøbelastning som følge av at primære energiresurser hovedsakelig består av kull, olje og gass. I Figur 26 er derfor påvirkningen fra nettet i de forskjellige kategoriene utelatt, og det sees kun på delprosessene for BESS og PV. I hver av miljøpåvirkningskategoriene har LFP-batteriene størst påvirkning, etterfulgt av PV under klimaeffekter (GWP), og av kabinettet i de resterende. Resultatene samsvarer til en viss grad med vekten på de forskjellige komponentene.



Figur 26: Miljøpåvirkninger i utvalgte kategorier for delprosessene i system 2 ekskludert nett.

### 7.3 Scenarioanalyse

En scenarioanalyse er en metode for å analysere effekter av endringer i forutsetninger og i endring av antagelser for fremtiden. Metoden tar utgangspunkt i spørsmål som beslutningstakere er nødt til å forholde seg til, og hvilke effekter disse avgjørelsene kan få (Stavem, 2000). I denne studien er det valgt å analysere tre ulike scenarioer i tilknytning til pilotprosjektet basert på endringer i produksjonen av komponenter, lokasjon av drift eller ved endring av teknologi som inngår i systemet. Funnene fra scenario 1 og 2 er basert på de utvalgte påvirkningskategoriene for analysen. Resultatene for scenario 3 vises i en normaliseringsgraf som sammenligner de to energisystemene mot hverandre ved geografisk forflytning av case til et installert mikronett i tilknytning til et hyttefelt i Norge.

**Scenario 1** sammenligner produksjon av LFP batterier produsert i Norge fremfor i Kina. I dette scenarioet er det undersøkt miljøpåvirkning i tilknytning til produksjon av ett batteri. For produksjon i Norge er all data for komponenter og materialer hentet fra «Rest of Europe (RER)» i SimaPro, da det ikke ligger data for Norge i ecoinvent-databasen. For å videre differensiere mellom de to produksjonslandene er det valgt å sammenligne syntetisk grafitt med naturlig grafitt, da bestanddelen av naturgrafitt i norske bergarter er stor. I tillegg er den norske elektrisitetmiksen benyttet i analysen for batteriproduksjon i Norge.





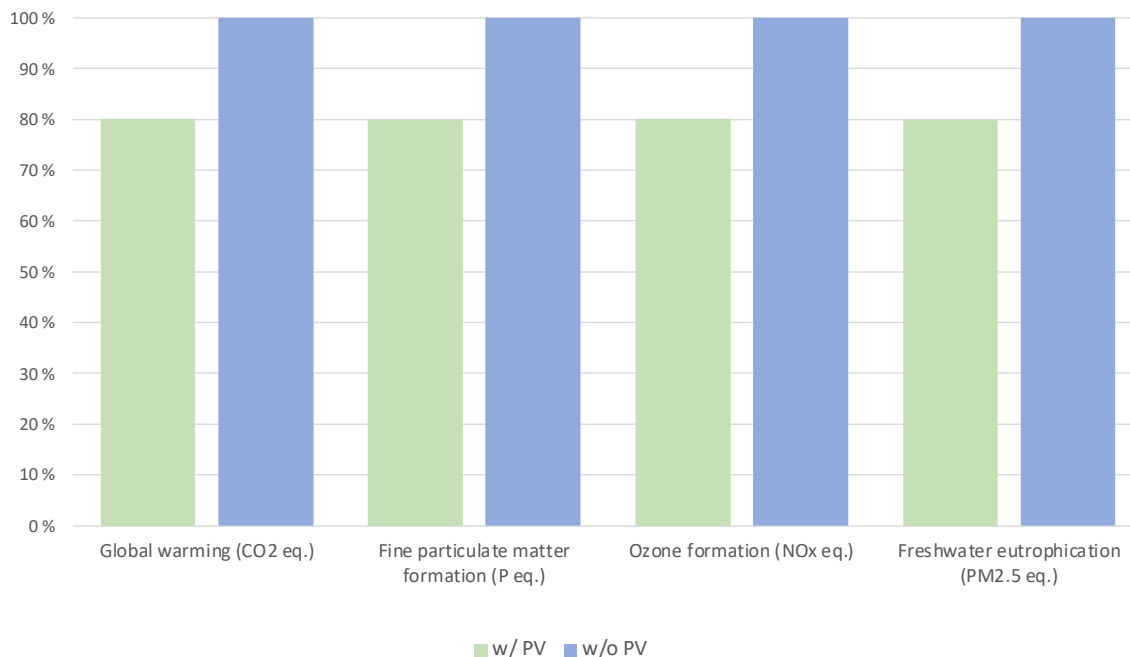
Figur 27: Miljøpåvirkning fra ett LFP batteri produsert i Norge versus Kina.

I Figur 27 er utslipp tilknyttet global oppvarming (øverst t.v.) målt i kilo per produserte LFP batteri, mens de resterende kategoriene er målt i gram. Batteriproduksjon i Kina slår desidert høyest ut for GWP, med 963 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per batteri. Av dette kommer drøyt 17% fra aluminiumsproduksjonen, og hele 69% kommer fra den kinesiske elektrisitetsmiksen som benyttes til produksjon av batteriene, og som i stor grad består av kullkraft.

Produksjonen av naturgrafitt hadde noe lavere utslipp i Norge for alle kategoriene, men dette er ikke spesielt utslagsgivende sammenlignet med de andre materialene. I likhet med global oppvarming, er det for dannelse av svevestøv og ozondannelse batteriproduksjon i Kina som kommer dårligst ut med henholdsvis 253 gram PM<sub>2,5</sub>-ekvivalenter og 295 gram NO<sub>x</sub>-ekvivalenter, og det er i begge tilfeller elektrisiteten som er den største bidragsyteren. Ved beregning av miljøbelastning for ferskvannseutrofiering bidro produksjon i Norge med noe høyere utslipp enn Kina. For norsk batteriproduksjon vil ett batteri bidra til 5,42 gram P-

ekvivalenter, mens et tilsvarende batteri i Kina vil ha et utslipp på 4,81 gram P-ekvivalenter. Det er produksjonen av aluminium og kobber i Europa som resulterer i denne differansen.

**Scenario 2** er en analyse av de to energisystemene for nåværende situasjon i Filippinene, men uten tilkobling av PV. Dette er et realistisk scenario da flere RBS-prosjekter hvor reserveløsning med diesel skal erstattes, ikke inkluderer installasjon av PV.

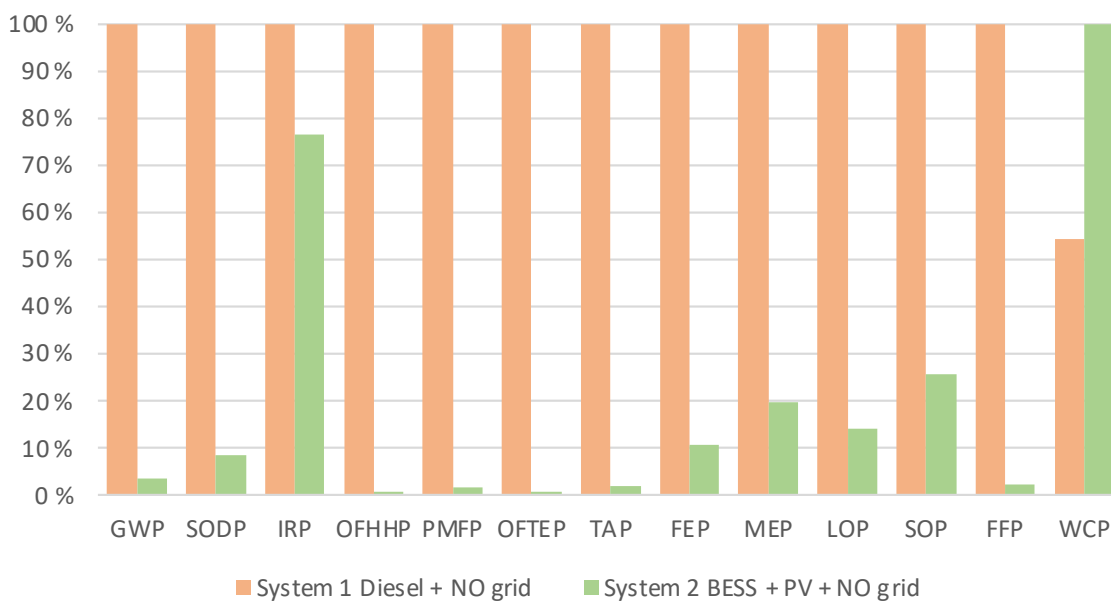


Figur 28: Normaliserte utslippsdata for utvalgte miljøkategorier for det fornybare systemet med og uten solceller.

Et system uten solceller vil komme dårligere ut i alle tilfeller, slik Figur 28 viser. Med økt avhengighet av nett vil forbruket av elektrisitet i tilknytning til nettet øke med 172 830 kWh for en levetid på 10 år. Det filippinske strømmettet er i stor grad basert på kull og olje, og dette gjenspeiles i resultatene. Fordelen med et system uten PV, er at utslipp i forbindelse med utvinning, produksjon og transport bortfaller. Ettersom prosjektet tar utgangspunkt i en operasjonell drift på 10 år, vil derimot ikke dette ha stor innvirkning på resultatene for et case med skittent strømmnett.

**Scenario 3** undersøker effekten av å sette opp et tilsvarende prosjekt i Norge, fremfor i Filippinene. Dette er relevant å se på da et mikronett med batterilagring og solceller

som erstatning til en dieselgenerator i tilkobling til et hyttefelt i Norge er et aktuelt tema. For å gjøre denne beregningen er den filippinske elektrisitmiksen erstattet med norsk, samtidig som transportstrekningene fra sammensetting til bruksområde er endret. I motsetning til det filippinske strømmettet, baserer det norske strømmettet seg i stor grad på fornybar energi, og det er bruksfasen for dieselgeneratoren som er utslagsgivende. Som Figur 29 viser kommer system 2 bedre ut enn system 1 i alle kategoriene, utenom vannforbruk. Det skyldes at system 2 øker nettforbruket, og i Norge kommer strømmen hovedsakelig fra vannkraft. I denne analysen er det brukt en norsk elektrisitmiks fraecoinvent 3.8 med fotavtrykk på 24,4 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kWh, hvilket naturligvis fører til at miljøpåvirkningsbidraget fra hyttefeltet i Norge vil være lavere enn for radiobasestasjonen i Filippinene.



Figur 29: Normaliseringsfordeling for hyttefelt i Norge for system 1: Diesel vs. System 2: BESS + PV.

#### 7.4 Sensitivitetsanalyse

Sensitivitetsanalyse er en metode for å analysere hvor robuste konklusjoner som trekkes fra en forskningsstudie er. Det innebærer å undersøke hvor følsom resultatet eller konklusjonen er ved endring av en forutsetning eller en variabel i analysen (Stavseth, 2020).

### *kWh per liter diesel*

Et usikkerhetsmoment i tilknytning til system 1 er brennverdien til dieselgeneratoren, som direkte påvirker forbruket av diesel. Som man ser i resultatene kommer majoriteten av utslippene fra system 1 fra forbrenning av diesel, og ved endring i parameterne kWh per liter diesel og liter diesel per time, vil utslippene kunne endres betraktelig. I Tabell 27 er det en oversikt over endring i utslippene dersom kWh per liter diesel endres fra dagens scenario og opp til 30%, og ned til 10%. kWh per liter diesel sier noe om effektiviteten til dieselgeneratoren og hvilken hastighet den kjører på. Dieselgeneratorens effektivitet med dagens scenario er 2,5 kWh/l som gir et dieselforbruk på 17 520 liter over 10 år, som gir henholdsvis 926 095 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, 396 kg P-ekvivalenter, 3 561 kg PM<sub>2.5</sub>-ekvivalenter, og 10 662 NO<sub>x</sub>-ekvivalenter. Dersom man skulle endret denne parameteren med en økning på 10% som Tabell 27 viser, gir det for eksempel en reduksjon i utslipp tilsvarende 58 285 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Dersom man øker effektiviteten med 30% til 3,25 kWh per liter diesel, vil forbruket gå ned til 13 477 liter over 10 år, og som reduserer utslippene med 16%.

Tabell 27: Strømanalyse for kWh/liter diesel.

Endring diesel-parametere				Endring utslipp system 1			
endring %	kWh/L	Liter	L/h	GWP. kg CO2 eq.	FEP. Kg P eq.	PMFP. Kg PM2.5 eq.	OFTEP. Kg Nox eq.
30 %	3,25	13 477	3,1	147 926,3	766,1	6 517,2	19 041,4
20 %	3,00	14 600	3,3	106 837,7	773,6	6 685,1	19 675,7
10 %	2,75	15 927	3,6	58 285,1	782,4	6 883,7	20 425,1
0 %	2,50	17 520	4,0	0	0	0	0
10 %	2,25	19 467	4,4	71 237,3	12,9	291,3	1 099,7

### *Antall timer strømbrydd*

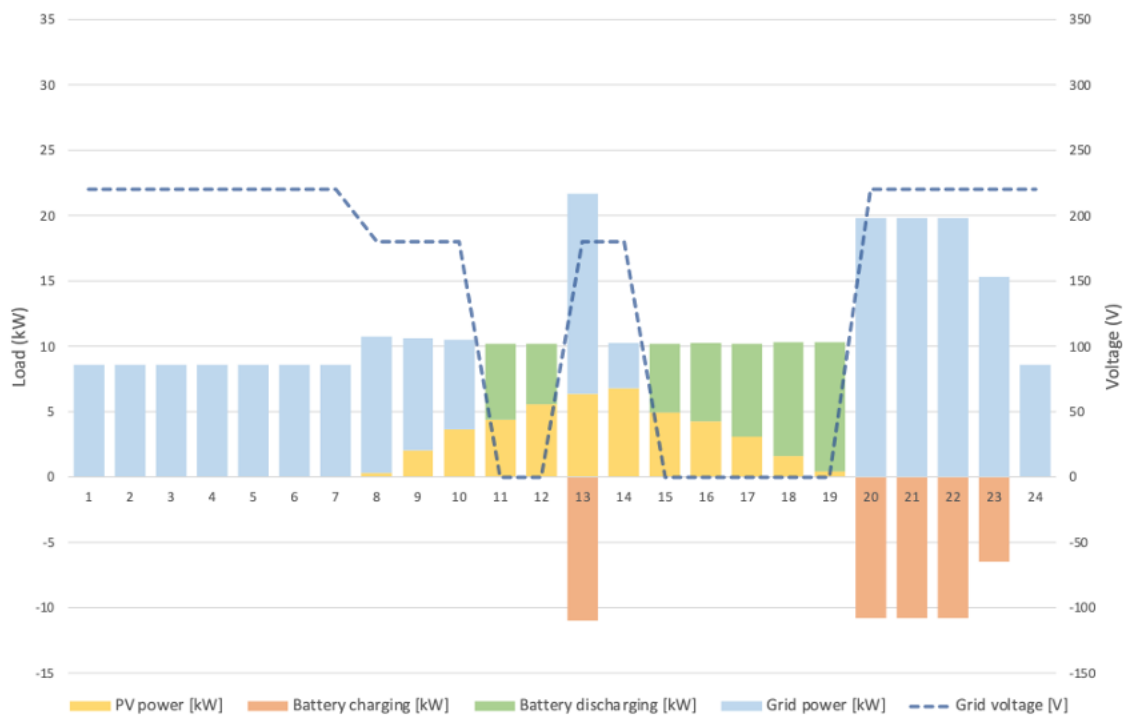
I tilknytning til Materialstrømanalysen er det valgt å se på følsomheten for endring i antall timer med strømbrydd. I dagens scenario er det modellert fire timer strømbrydd, først kl. 11 og kl. 12, og deretter kl. 17 og kl. 18. Da det er stor sannsynlighet for at nettet kan oppleve flere timer med avbrydd utover dette, er det valgt å se på hvordan systemet påvirkes, og dersom det er installert nok batterier for å takle uventet strømbrydd. For å være på den sikre siden er det valgt å legge på de ekstra timene med brydd på de eksisterende to sammenhengende timene i

studiens utgangspunkt. Aktiviteten i Nord Luzon er størst på dagtid, noe som øker effektbelastningen på lasten og også strømnnettbelastningen. Det betyr at sannsynligheten for spenningsfall og tidvis helt nettutfall er mest sannsynlig fra kl 8 til kl 20.

**Ved én ekstra time strøbrudd** fra kl. 16-18 er det ingen endring i dieselforbruket da dette er timer hvor spenningen har falt til 180 V, som betyr at dieselgeneratoren i system 1 uansett driftes. I denne timen (kl. 16) er lasten 10 kWh, men den får 4,3 kWh fra solenergi, og batteriet blir kun trukket 6 kWh. State of Charge går ned til 84% i denne timen, og deretter ned til 66% kl. 17, 44% kl. 18 og opp til 66% og 93% før batteriene er fulladet igjen innen kl. 21. Levetiden til batteriene reduseres til 11,6 år som følge av at batterisyklusene brukes opp fortere.

**Ved to ekstra timer avbrudd** totalt fra kl. 16-19 er det heller ingen endring i dieselforbruk. I denne timen (kl. 19) er lasten 10 kWh, men den får 0,4 kWh fra solenergi, og batteriet blir trukket 9,9 kWh som gir en State of Charge på 19%. Batteriet degraderes raskere, og levetid reduseres til 8,9 år.

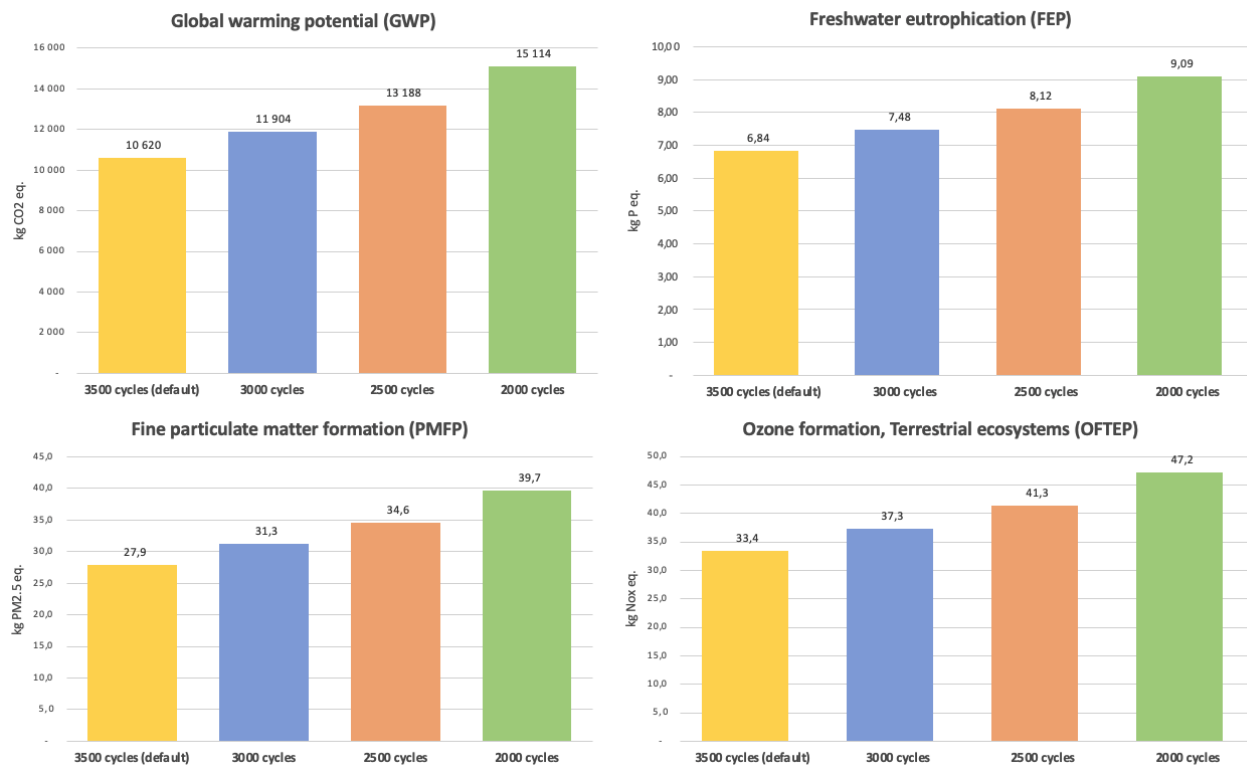
**Ved tre ekstra timer avbrudd** totalt fra kl. 15-19 er det heller ingen endring i dieselforbruk. I denne timen (kl. 15) er lasten 10 kWh, men får 4,9 kWh fra solenergi og batteriet blir kun trukket 5,3 kWh. I denne timen går State of Charge ned til 86% (batteriet var fulladet den forrige timen), men de påfølgende timene endrer seg fra de to første scenariene. Med en ekstra time «fall out» går nå state of charge ned til 5% kl. 19. Batteriet degraderes raskere, og levetid reduseres til 7,9 år. Figur 30 viser hvordan systemet hadde endret seg sammenlignet med figur 20 i Materialstrømanalysen.



Figur 30: Oversikt over elektrisitet levert fra forskjellig kilder i system 2 ved en hyppigere frekvens av brownouts og blackouts.

### Antall batterisykluser

Det siste usikkerhetsmomentet er antall batterisykluser per batteri. Forskjellig anvendelser av batteriet med tanke på ladning og utladning som diskutert i sensitivitetsanalysen over, vil føre til variasjoner i levetiden til hvert batteri. Bruksprofilen i dagens scenario resulterer i 3500 ladersykluser, men endring i systemet, som for eksempel å fjerne PV eller å øke antall timer med strømbrudd vil påvirke bruksprofilen ved at antall sykluser per batteri øker og at batteriet degraderes raskere. Det betyr at det er nødvendig med hyppigere utskiftning av batterier for å opprettholde nødvendig kapasitet på 40 kWh over en periode på 10 år. I Figur 31 er det illustrert hvordan dette påvirker utslippene fra de forskjellige miljøpåvirkningskategoriene. Det er tydelig at utslippene i alle de fire utvalgte miljøpåvirkningskategoriene øker, dersom antall batterisykluser reduseres.



Figur 31: Sensitivetsanalyse for antall batterisykluser for utvalgte miljøpåvirkningskategorier.

## 7.5 Oppsummering av LCA

For å analysere de miljømessige effektene ved å erstatte dieselgeneratoren med BESS og PV er det tatt utgangspunkt i materialbalansen fra materialstrømanalysen. Med bakgrunn i ReCiPe-2016 metoden, viser resultatene fra analysen at system 2 har lavere miljøpåvirkning i 15 av 18 kategorier. I forhold til utvalgte miljøkategorier, reduserte system 2 utslipp av kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter med 41%, kg PM<sub>2.5</sub>-ekvivalenter med 49%, kg NO<sub>x</sub>-ekvivalenter med 86%, mens det for FEP økte utslipp av kg P-ekvivalenter med 27%.

I system 1 viser funnene fra analysen at forbrenning av diesel etterfulgt av elektrisitet fra strømmettet har den største belastningen. Dersom man ser bort fra elektrisiteten fra nettet, står bruksfasen i livsløpet til dieselgeneratoren for over 95% av belastningen i de utvalgte miljøpåvirkningskategoriene. I system 2 utgjør også elektrisitet fra strømmettet den desidert største påvirkningen. For resultatene til livsløpet til system 2 ekskludert strømmettet, utgjør

utvinningen og produksjonen av LFP batteriene den største andelen utslipp i de utvalgte kategoriene.

For scenario 1 viser funnene at produksjon av LFP batterier i Norge gir mindre utslipp i tre av de fire utvalgte kategoriene. I miljøpåvirkningskategori ferskvannseutrofiering (FEP) viser resultatet at produksjonen i Norge gir noe høyere utslipp. I scenario 2 kommer systemet uten PV dårligst ut i alle de utvalgte kategoriene ettersom lasten kun trekker strøm fra strømmettet og batteriene. Det betyr at mengde elektrisitet fra strømmettet øker med 172 830 kWh for system 2 i dette scenariet. I scenario 3 endres påvirkningene drastisk. Her sammenlignes system 1 og system 2 med et tilsvarende mikronett tilhørende et hyttefelt i Norge. I likhet med referansecasen, viser resultatene at å erstatte en dieselgenerator som reserveløsning med BESS og PV reduserer utslipp betydelig. Ut av de 13 miljøpåvirkningskategoriene (ekskludert toksisitet og økotoksisitet) er det kun vannforbruk hvor system 2 kommer dårligere ut. Det skyldes at vannkraft står for den største andelen av norsk elektrisitetsproduksjon, og system 2 trekker betydelig mer strøm.

Sensitivitetsanalysen for kWh per liter diesel (brennverdi) påvirker direkte dieselforbruket. Når brennverdien øker, vil man trenge mindre diesel for å oppnå samme elektrisk effekt. Brennverdien ble justert med 10% intervaller opp til 30% over utgangspunktet og ned til 10% under. Jo høyere brennverdi, jo lavere utslipp. Videre ble det analysert følsomheten for endring i antall timer med strømbrudd. Resultatene viser om systemet som er modellert i materialstrømanalysen er tilstrekkelig dersom de to timene i studiens utgangspunkt etterfølges av én, to og tre ekstra timer med strømbrudd. Ved tre ekstra timer vil State of Charge gå ned til 5% kl. 19, som vil si at State of Charge er utenfor anbefalt bruksprofil, og batteriet degraderes raskere og antall sykluser brukes opp fortere. Følgelig vil levetiden gå ned fra 14,2 til 7,9 år. Da må man for å kunne opprettholde systemets ytelse i 10 år ytterligere installere to 5 kWh batterier. Dessuten blir energireserven liten for å sikre strømforsyningen til lasten.

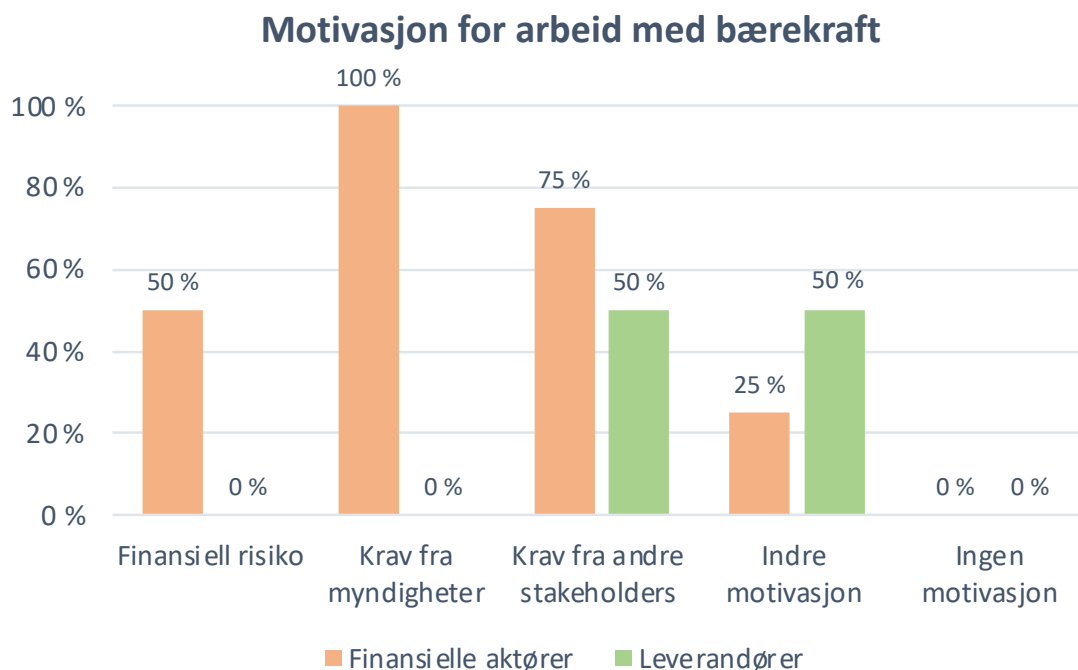


I den siste sensitivitetsanalysen var det hensiktsmessig å se hvordan miljøpåvirkningene endret seg ved å endre antall batterisykluser. Resultatene viser at utlippene øker med en reduksjon i batterisykluser i alle de utvalgte kategoriene. Dette skyldes at man trenger flere batterier for å opprettholde samme ytelse i 10 år.

## 7.6 Kvalitative resultater

### 7.6.1 Tema 1: Motivasjon for arbeid med bærekraft

Under intervjuene ble motivasjonen knyttet til organisering og arbeid med bærekraft diskutert. Figur 32 viser en oversikt over motivasjonen hos finansielle aktører og leverandører i energibransjen. Videre diskuteres det kort om de forskjellige underkategoriene og synspunktene til respondentene.



Figur 32: Oversikt over motivasjon for arbeid med bærekraft hos finansielle aktører og leverandører.

### ***Finansiell risiko***

Med finansiell risiko menes det økonomisk risiko knyttet til investeringer. Resultatene viser at 50% av respondentene fra finansielle aktører svarer at det er en viss risiko tilknyttet en ikke-bærekraftig investering, og at investeringsbeslutning alltid innebærer en form for bærekraftsvurdering. Blant leverandørene var det ingen av respondentene som svarte at virksomheten ble styrt i forhold til risiko.

### ***Krav fra myndigheter***

Svarene viser at respondenter under denne kategorien mener at virksomhetens arbeid med bærekraft i stor grad blir styrt av krav fra myndigheter. 100% av de finansielle aktørene nevnte krav fra myndigheter som en faktor for arbeid med bærekraft. Her ble det også nevnt at fremtidig krav fra myndigheter har en innvirkning på investeringsrisiko i forhold til ikke-bærekraftig prosjekter. 100% av leverandørene hadde derimot ingen spesifikk kommentar til krav fra myndigheter i forhold til arbeid med bærekraft innad i virksomheten.

### ***Krav fra andre stakeholders***

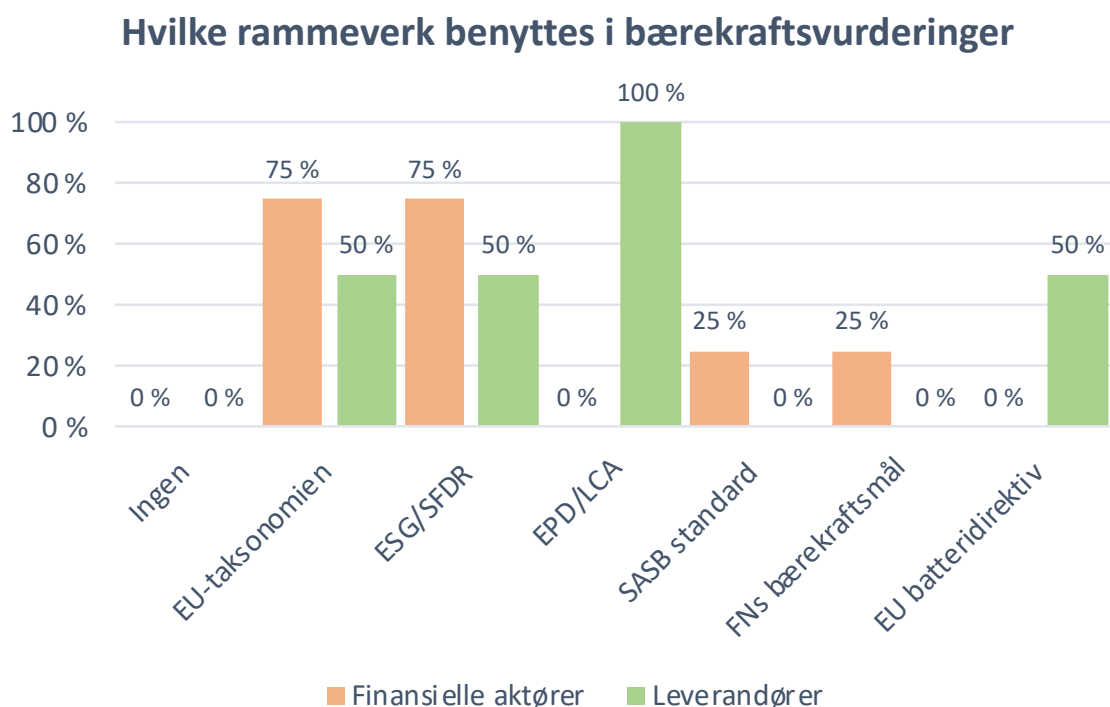
Med andre stakeholders menes investorer/eiere, ansatte, kunder og leverandører. Resultatene viser at 75% av respondentene under finansielle aktører svarer at arbeid og organisasjon av bærekraft var ønsket av spesielt eiere og kunder, men at man også ser et økende press fra ansatte. Det var derimot kun 50% av leverandørene som kommenterte at de følte press fra andre stakeholders.

### ***Indre motivasjon***

Med indre motivasjon menes det at arbeidet med bærekraft er fri fra eksternt press, fullt ut selvbestemt og givende for virksomheten. Kun 25% av de finansielle aktørene svarte at arbeid med bærekraft innad i virksomheten er drevet av en indre motivasjon, mens det for leverandørene var hele 100%.

## 7.6.2 Tema 2: Rammeverk for bærekraftsvurderinger

Videre i intervjuene ble ulike rammeverk og retningslinjer som prioriteres av virksomheten diskutert. Her var det store forskjeller i hvilke standarder som følges, men likevel et mønster innad i de to gruppene. Det kommer tydelig frem at respondenter under finansielle aktører har et høyere fokus på EU-standarder og bærekraftsmål. Leverandørene har på sin side mer fokus på dokumentasjon i form av livsløpsanalyser og miljødeklarasjoner. Det er verdt å nevne at noen av respondentene i begge grupper ikke arbeidet direkte med rammeverkene som tas opp, og var usikre på om disse var implementert innad i virksomheten. Dette vil følgelig føre til noe bias i resultatene. Figur 33 viser svarene fra de to gruppene.



Figur 33: Oversikt over resultatene av hvilke rammeverk som benyttes i bærekraftsvurderinger.

### EU-taksonomien

Under EU-taksonomien kategoriseres respondenter som inkluderer dette rammeverket i sitt arbeid med bærekraft. Det samme gjelder for alle rammeverk og retningslinjer som nevnes videre i dette delkapitlet. Blant de finansielle aktørene var det en oppslutning på 75% for

arbeidet med taksonomien, mens det for leverandørene var 50% som hadde innført rammeverket.

### ***Environmental, Social and Governance (ESG)***

ESG er et overordnet tema, da mange respondenter nevnte ulike rammeverk og retningslinjer underliggende ESG som følges i deres virksomhet. Eksempler på dette er SDFR (Sustainable Finance Disclosure Regulation), IFC Performance Standards (International Finance Corporation), SASB (Sustainability Accounting Standards), ESF (Environmental and Social Framework), mm. Fra de finansielle aktørene var det 75% som hadde implementert ESG-rammeverk, mens det blant leverandørene var 50% som sterkt prioriterte disse rammeverkene.

### ***Livsløpsanalyse***

Når det kommer til livsløpsanalyser og miljødeklarasjoner var det kun leverandørene som hadde gjennomført dette i sin virksomhet. Ingen av de finansielle aktørene arbeidet med LCA, mens for leverandørene var oppslutningen på hele 100%.

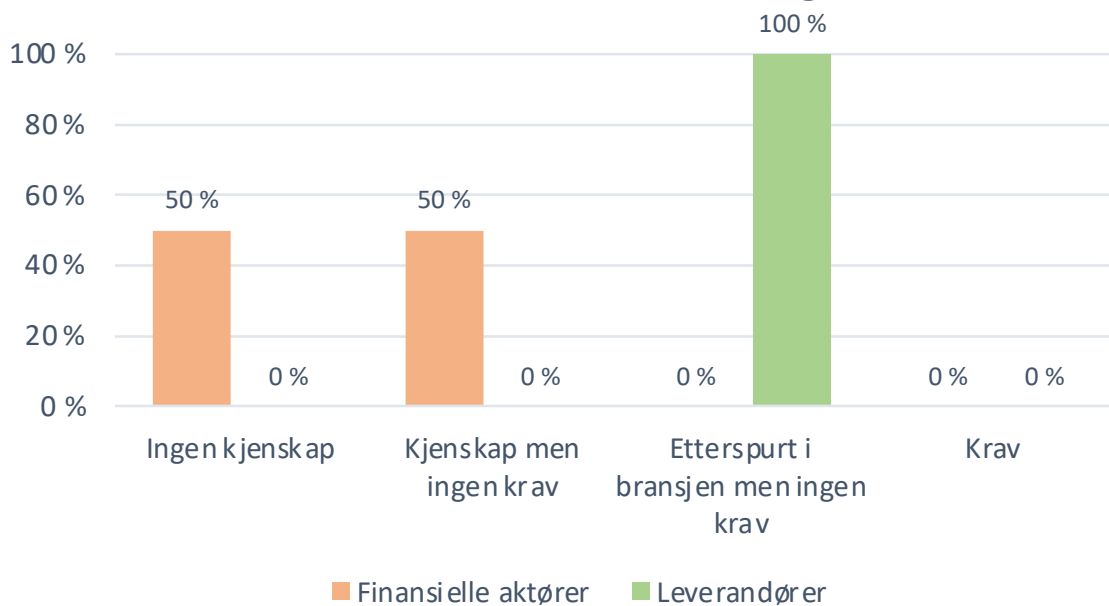
### ***FNs bærekraftsmål***

Det var flere respondenter som nevnte FNs bærekraftsmål som et utgangspunkt i sitt arbeid med bærekraft, men det var kun én respondent blant de finansielle aktørene som hadde valgt ut spesifikke mål som var inkludert i deres bærekraftstrategi.

#### 7.6.3 Tema 3: Anvendelse av livsløpsanalyser i bærekraftsvurderinger

Videre i intervjuene ble det diskutert bedriftens og bransjens erfaringer med EPD og LCA. I tillegg ble det diskutert om bedriften har krav til at leverandører og investeringsobjekter kan vise til EPD og/eller LCA. Figur 34 viser en oversikt over respondentens svar. Videre beskrives det kort om de forskjellige underkategoriene og synspunktene til respondentene.

## Kjennskap og anvendelse av livsløpsanalyse som metode i bærekraftsvurderinger



Figur 34: Oversikt over resultatene for kjennskap og anvendelse av livsløpsanalyser i bærekraftsvurderinger.

### ***Ingen kjennskap til LCA og/eller EPD***

Blant de finansielle aktørene var det 50% av respondentene som ikke hadde kjennskap til EPD og LCA. Med ingen kjennskap menes det både at respondenten ikke har hørt om EPD og LCA tidligere, og ikke har erfaring med det. Alle leverandørene har med andre ord både kjennskap og erfaring innen området.

### ***Kjennskap eller erfaring med LCA og/eller EPD***

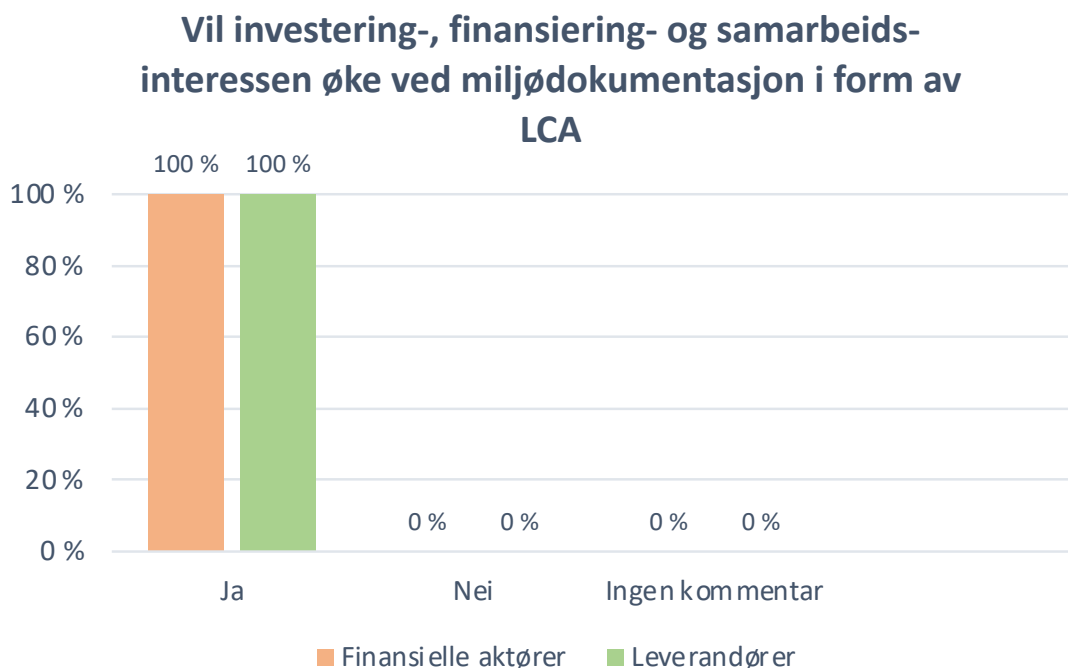
50% av de finansielle aktørene har kjennskap til EPD og LCA, men ingen hadde tidligere erfaring innen området. Av leverandørene hadde alle erfaring innen området.

### ***LCA og/eller EPD blir etterspurt i bransjen***

På spørsmålet om EPD og LCA blir etterspurt i respondentens bransjer var det ingen av de finansielle aktørene som svarte ja, mens alle leverandørene svarte at både EPD og LCA blir etterspurt i bransjen og utarbeidet innad i virksomheten.

#### 7.6.4 Tema 4: Økt interesse ved miljødokumentasjon i form av livsløpsanalyser

Avsluttende ble det diskutert uavhengig av om respondentene hadde kjennskap, erfaring, samt krav til EPD og LCA, om interessen for samarbeid, investering og finansiering øker ved en slik dokumentasjon. Videre beskrives det kort om de forskjellige underkategoriene og synspunktene til respondentene.



Figur 35: Oversikt over resultatene for økt interesse for investering, finansiering og samarbeid.

#### **Økt interesse ved miljødokumentasjon i form av LCA**

På tross av at mange av respondentene verken hadde erfaring eller kunnskap til LCA tidligere, svarte 100% av de finansielle aktørene og leverandørene at interessen øker i alle tilfeller hvor interessenter kan vise til bærekraftsdokumentasjon gjennom en grundig analyse.

#### 7.7 Oppsummering av kvalitative resultater

De semistrukturerte intervjuene ble gjennomført med respondenter kategorisert i to grupper. Gruppe én består av finansielle aktører, og gruppe to består av leverandører aktuelle for

energibransjen. I intervjuene ble det diskutert motivasjon for arbeid med bærekraft, samt rammeverk som benyttes i bærekraftsvurderinger og spesielt anvendelsen av LCA innenfor dette området. Respondentene fra finansielle aktører fremhevet krav fra myndigheter og andre stakeholders som de viktigste faktorene for motivasjon, i tillegg var det tydelig at de fleste i denne gruppen retter seg etter EU-regelverk for bærekraftig finans, spesielt taksonomien, og få hadde erfaring med LCA i bransjen. Leverandørene var splittet mellom krav fra stakeholders og en indre motivasjon. På tross av at erfaringen med LCA var varierende svarte alle respondentene i begge grupper at interessen øker i alle tilfeller hvor interessenter kan vise til en grundig gjennomført livsløpsanalyse.

## 8 Diskusjon

### 8.1 Studiens funn

Materialstrømanalysen viser at system 2 trekker over dobbelt så mye elektrisitet fra strømnettet som system 1. Strømnettet i Filippinene er fossilintensivt og en økning i antall kWh elektrisitet levert fra nettet, vil i utgangspunktet være mindre miljøvennlig. På den andre siden har strøm fra dieselgeneratorer enda høyere fossil intensitet enn energimiksen i nettet i Filippinene, og det blir det mer bærekraftig å erstatte bruk av dieselgeneratoren med nettstrøm, eventuelt via mellomlagring i batterier. I tillegg er pålitelig og tilstrekkelig strømtilgang i Filippinene en stor utfordring som påvirker millioner av husholdninger og offentlige tjenester. Ved gjentatte brownouts kan elektroniske applikasjoner i hjemmet ødelegges, forretninger som er avhengig av elektroniske applikasjoner vil miste inntjening og samfunnskritiske applikasjoner som radiomaster vil svekkes. Med bakgrunn i dette vil en doubling av antall tilgjengelig timer med strømnett gi en stor samfunnsmessig nytteverdi. I et scenario hvor system 2 fungerer som et mikronett tilkoblet et hyttefelt i Norge, vil ikke samme dilemma oppstå. Kraftproduksjon i Norge består av 97% fornybar energi (NVE, 2023a), og system 2 vil dermed fremstå som et enda bedre alternativ, da det i sin helhet kun erstatter dieselforbruk med ren energi.

I denne analysen er det modellert et lite PV-system. Dersom dette systemet skaleres opp kan elektrisitet fra solenergi erstatte noe av strømmen fra nettet. I analysen er det antatt at PV-systemet ikke produserer utslipp i bruksfasen, og sammenlignet med resten av komponentene i system 2 utgjør utvinning og produksjon av materialer en mindre andel av utslippene. Likevel er det ikke tatt høyde for konsekvensene av arealbruk, og implementering av flere solcellepanel må øke betraktelig for at det skal kunne erstatte en betydelig mengde strøm fra nettet.

For dieselgeneratoren er det tatt utgangspunkt i en brennverdi på 2,50 kWh/liter. Dette er konservativ antagelse, som indikerer at dieselgeneratorens virkningsgrad er svært lav. Dette påvirker dieselforbruket direkte, og følgelig utslippet. Resultatene fra analysen viser at den desidert største belastningen for system 1 er forbrenning av diesel, og det ble derfor



hensiktsmessig å undersøke hvordan utslippet endret seg ved å justere brennverdien. Dersom man benytter seg av en ny dieselgenerator, som det antas i denne studien, er det mer realistisk å se på et utgangspunkt med 3,25 kWh/liter, som resulterer i en reduksjon av GWP for system 1 med 16%.

Etter normaliseringsmetoden i ecoinvent 3.8 viser resultatene at begge systemene har desidert størst påvirkning på miljøkategoriene kreftfremkallende toksisitet samt økotoksisitet i ferskvann og havvann. Dette kan være en følge av forbrenning av diesel, men kategoriene er også utslagsgivende for system 2 hvor dieselgeneratoren erstattes helt. I analysen er det valgt å ekskludere disse kategoriene for å tydeliggjøre påvirkningen i de resterende kategoriene. Normaliseringsmetoden inneholder en viss subjektivitet ved valg av referanseverdi, som kan påvirke tolkningen av resultatene. I tillegg kan utvelgelse av miljøpåvirkningskategorier i ReCiPe-metoden føre til at ikke hele spekteret av påvirkninger knyttet til en spesifikk aktivitet eller prosess fanges opp. Som et resultat kan påvirkninger bli oversett eller undervurdert. Normalisering tar heller ikke hensyn til den spesifikke konteksten eller geografiske plasseringen til prosessen som analyseres eller vurderes, selv om det blir lagt inn prosesser med tilknytning til landegrenser. Den største svakheten ved normaliseringsmetoden er at normalisering primært fokuserer på å sammenligne de relative størrelsene av ulike miljøpåvirkninger uten å gi informasjon om den absolutte størrelsen eller betydningen av disse påvirkningene. En aktivitet kan ha en relativt lav normalisert påvirkning, men den kan fortsatt ha betydelige absolutte miljøkonsekvenser på grunn av varighet, skala eller følsomhet (Finnveden et al., 2009). For eksempel blir GWP nesten usynliggjort sammenlignet med mange andre kategorier i våre resultater. For denne analysen kan det være mer relevant å se på global oppvarming enn eksempelvis økotoksisitet, selv om en reduksjon eller erstatning av diesel vil gi en positiv effekt for begge kategoriene (Moni et al., 2020).

## 8.2 Resultater sett i lys av tidligere livsløpsanalyser

I masteroppgaven til Anna Bondesson fra 2010 ble det funnet at dersom man erstatter en dieselgenerator som konsumerer 20000 liter i året med et hybrid anlegg bestående av

vindturbin, PV, én liten dieselgenerator og batterier for en radiobasestasjon reduserte det utslippene med 5/6. Dette var riktignok for en off-grid radiobasestasjon, så belastning fra et fossilintensivt strømnnett er ikke inkludert. Dersom man i vår analyse ser sammenligner de to systemene uten belastningen fra strømnettet vil system 2 utgjøre under 5% av belastningen til system 1. Ved sammenligning av dieselgeneratorer i tidligere analyser konsumerer dieselgeneratoren i system 1, 175 200 liter mot 20 000 i analysen til Bondesson (Bondesson, 2010). I livsløpet til dieselgeneratoren i system 1, utgjør forbrenning av diesel i bruksfasen mellom 95% og 99% av utslippene for de utvalgte miljøpåvirkningskategoriene. Til sammenligning ble det gjort en livsløpsanalyse for en dieselgenerator (2017), hvor bruksfasen utgjorde 95% av utslippene (Benton et al., 2017).

Musil et al utarbeidet nylig (2023) en livsløpsanalyse av en 10kW solar vekselretter tilknyttet et fullstendig PV-system. I deres analyse er det inkludert en bruksfase for vekselretteren, hvor belastningen kommer fra strømforbruk på natten da vekselretteren trenger strøm for kontrollsystemet. Denne strømmen trekkes fra nettet, og vil derfor ha en betydelig påvirkning på fotavtrykket avhengig av hvilken elektrisitetsmiks som brukes. Denne belastning utgjør 47% av hele livssyklusen til vekselretteren, og resulterer i en total GWP for hele livsløpet på 954 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. I vår analyse er det antatt at det ikke er utlipp i bruksfasen grunnet MPPT, som vil si at system 2 i realiteten ville hatt en litt høyere belastning. Til sammenligning utgjorde utvinning av råmaterialer og produksjon av vekselretteren i vår analyse 341 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter mot Musil et al. sin beregning på 326 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (Musil, 2023).

I livsløpet til system 2 ekskludert elektrisitet fra strømnettet, viser resultatene at LFP-batteriene har den største miljøpåvirkningen i de utvalgte kategoriene. I systemet er det modellert åtte batterier som hver veier 42 kg. Utslippene korrelerer noe med vekt for hver av komponentene, men resultatene fra utvinning og produksjon av råmateriale for LFP batteriene viser at den største belastningen kommer fra kobber tilhørende elektrodesubstratet, etterfulgt av aluminium med henholdsvis 36,2% og 24,8%. Disse resultatene samsvarer med funnene i livsløpsanalysen gjennomført av Oliveira et al. (2015) som viser at kobber og aluminium står for

den største belastningen i tilknytning til utvinning og produksjon av LFP batterier (Oliveira et al., 2015).

### 8.3 Tolkning av intervjuer

Funnene fra de semistrukturerte intervjuene viste at det i dag er et bredt spekter av ulike rammeverk og metoder for å analysere bærekraft. De siste fem årene har en rekke nye retningslinjer blitt innført i EU, blant annet Green Deal initiativet (2019), Klimaloven (2021), Taksonomiforordningen (2020) og Handlingsplan for sirkulær økonomi (2020). Selv om disse er ment å komplimentere hverandre, og ytterligere bidra til å nå klimamålene og Parisavtalen, kan spredningen av for mange rammeverk for bærekraft og miljøvurdering i industrien virke mot sin hensikt. Mange har egne metoder og indikatorer, som fører til en risiko for fragmentering. Dette kan resultere i manglende konsistens i vurdering og rapportering av bærekraft og miljøprestasjoner på tvers av bransjer og selskaper. Videre blir det vanskelig å sammenligne og «benchmark» ytelse.

De åtte intervjuobjektene er representanter for store selskaper av allmenn interesse, og det er tydelig at disse bruker mye ressurser på arbeid med bærekraft. Blant annet må man forstå lovgivninger, gjennomføre vurderinger og sette egne mål. Hvert rammeverk krever datainnsamling, analyse og rapportering, noe som kan være ressurskrevende for organisasjoner. For mindre organisasjoner med begrensede ressurser kan kompleksiteten ved å navigere og overholde disse rammeverkene være overveldende, og resultere i usikkerhet om hvilke tilnærminger som skal følges. Den mest alvorlige konsekvensen er at ulike rammeverk potensielt kan føre til grønnvasking, da det kan gi organisasjoner muligheter til å selektivt velge rammeverk som stemmer overens med deres ønskende «image» uten å reelt adressere deres miljøpåvirkning. Dette kan resultere i villedende påstander, og svekke troverdigheten til bærekraftsvurderinger.

I intervjuene var det ingen av de finansielle aktørene som hadde erfaring med livsløpsanalyser. Derimot er det i markedet for leverandører et hyppig brukt verktøy for å vurdere deres egne

miljøpåvirkninger. Det er positivt at det er en økende trend hos produsenter for å vise til åpenhet rundt sine aktiviteter gjennom en standardisert livsløpsanalyse. På den andre siden er det bekymringsverdig at de som har ansvar for allokering av kapital i markedet ikke har den samme interessen og erfaringen.

Selv om LCA er en omfattende metode for å evaluere miljøprestasjon, tar den hensyn til hele livssyklusen til et produkt og gir et helhetlig perspektiv. LCA følger internasjonalt anerkjente standarder og retningslinjer, som ISO 14040 og ISO 14044, som sikrer åpenhet og konsistens i datainnsamling, metodikk og rapportering. Fremtiden for livsløpsanalyser er lovende. EU jobber med å implementere Product Environmental Footprint (PEF), som bygger på prinsippene for LCA, men vil introdusere spesifikke krav og retningslinjer. Dette vil forhåpentligvis gjøre det lettere for bedrifter å navigere seg, samtidig som det muliggjør sammenligning av vurderinger på tvers av ulike sektorer, og kan føre til informert beslutningstaking og rettferdig konkurranse hos alle aktører.

#### 8.4 Kritisk refleksjon

For livsløpsanalyser er datainnsamling den mest krevende delen. For at studien skal ha validitet er et godt datagrunnlag essensielt. Det handler om at resultatene skal være troverdige og etterprøvbare, ved at andre vil få samme konklusjonen ved bruk av samme forutsetninger og premisser (Svartdal, 2020). Videre vil det diskuteres faktorer som fører til svakheter ved studiens pålitelighet.

For livsløpsregnskapet består datainnsamlingen av konkret data fra Pixii sitt system, men det har vært vanskelig å samle inn data for batterier og PV da dette ofte er av konfidensiell og sensitiv informasjon. Derfor er det utført et omfattende litteratursøk for å kunne sette sammen en materialliste for de resterende komponentene. Både type og mengde materialer er forenklet og generalisert da komponentene består av hundrevis av deler. Datagrunnlaget i materialstrømanalysen er også basert på informasjon fra industrien og Pixii. Pilotprosjektet som

modelleres er fortsatt i en planleggingsfase, som betyr at selv om antakelser er basert på informative og faglige formodninger, inneholder det fortsatt mange usikkerheter.

For denne livsløpsanalysen ble det benyttet ReCiPe 2016-metoden. Metoden er anerkjent og mye brukt for effektivvurdering i LCA, og for resultatene er det brukt normalisering for sammenligning av systemene. Selv om normalisering skal bidra til å sammenligne og prioritere ulike aktiviteter basert på deres relative omfang av påvirkninger som tidligere diskutert, gir det ikke et bilde av den absolutte størrelsen eller betydningen av disse påvirkninger.

Varedeklarasjoner og opprinnelsesgarantier for norsk energimiks er ikke tatt hensyn til i scenarioanalysen. NVE gjør forskjell på varedeklarasjon og klimadeklarasjon for fysisk levert strøm. Fordeling av energikilder for varedeklarasjonen er basert på strømproduksjon i Norge uten opprinnelsesgaranti, utløpte garantier og en europeisk restmiks. Europeisk restmiks er på samme måte et estimat for europeisk strømproduksjon uten opprinnelsesgaranti, og består dermed av en høy andel fossil varmekraft (NVE, 2022b). Dersom man bruker CO<sub>2</sub>-faktoren i denne varedeklarasjonen til beregning av utslipp vil det kunne gi et helt annerledes resultat, da det ikke viser den faktiske strømmen som leveres i Norge. I introduksjonen ble det nevnt at klimadeklarasjon for fysisk levert strøm i Norge ga et fotavtrykk på 11 gram CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kWh i 2021. Klimadeklarasjon for fysisk levert strøm tar hensyn til at Norge utveksler strøm med andre europeiske land, og inkluderer utslipp fra importert strøm. For 2020 var fotavtrykket 8 gram CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kWh. Forskjellen mellom gram CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kWh i 2020 og 2021 skyldes at 2021 var det første året med beregninger som inkluderte import gjennom utenlandskabelen NordLink. Iecoinvent 3.8 blir det benyttet 2018 verdier basert på IEA sine beregninger. Denne verdien er estimert til å være 24,4 gram CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kWh, og er ekskludert infrastruktur til nettet. Forskjellen med og uten infrastruktur er minimal. Dersom beregningene hadde vært tilsvarende klimadeklarasjonen ville man sett en reduksjon i utslipp tilknyttet mikronettet i Norge. Ved bruk av varedeklarasjon for strømlleverandører ville utslippet økt betraktelig da denne verdien ligger på 405 gram CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kWh.

Hele EoL-trinnet i analysen er ekskludert grunnet manglende data. Det er stor usikkerhet til hvordan systemet blir håndtert etter endt levetid, da dette er 10 år frem i tid, og solcellene hele 30 år frem i tid. I dag antas det at store deler av systemet blir sendt til deponi, men det kan ikke sies med sikkerhet. I tillegg antas det at noe av materialet kan bli demontert og solgt videre. Det antas at dieselgeneratoren blir solgt videre til noen som kan utnytte den siste kapasiteten, det samme gjelder for batteriene. Komponentene som inngår i begge systemene består av en høy andel aluminium. Aluminium har en stor påvirkning på global oppvarmingspotensial da det har en energiintensiv produksjon, og ved bruk av resirkulert materiale kan det redusere energiforbruket med 95%. Ideelt skulle man brukt resirkulert aluminium fremfor å utvinne nytt materiale da man vet at majoriteten av dagens aluminium er resirkulert. Det kommer av at aluminium kan resirkuleres i det uendelige uten at det påvirker kvaliteten (Musil, 2023).

Den kvalitative studien gjenspeiler karakteristikker som er typiske for semistrukturerte intervjuer, gjennom valg og formulering av spørsmål. Intervjuene ble gjennomført med minimal innblanding for å hindre potensiell innvirkning på svarene og sikre integriteten til resultatene. Det er imidlertid mulig at informantene kan ha utvist partiskhet ved å utelate enkelte temaer eller kun gi delvis kunnskap om et tema. Det er viktig å bemerke seg at svarene kan være påvirket av informantenes bakgrunn og tilhørende bransje. I tillegg ser man en trend i svarene til de to utvalgte gruppene, som kan indikere at det er utvalgt individer eller grupper med mindre divergerende synspunkter og perspektiver, som kan gi et misvisende bilde av hvordan bransjen er som helhet.

## 8.5 Hvordan kan resultatene brukes og realiseres

Pixii kan ta i bruk resultatene fra denne analysen for å få et innblikk i hvilke steg i livsløpet til deres PowerShaper som bidrar til de største miljøbelastningene. Det er viktig for Pixii å ha kontroll på dette for å kunne forbedre sine miljøprestasjoner. I tillegg kan resultatene brukes for å signalisere at deres løsning i tilknytning til mikronett bidrar til både reduksjon av utslipp dersom det erstatter fossilintensive reserveløsninger som dieselgeneratorer, samt at teknologien gir en samfunnsmessig nytteverdi ved å sikre pålitelig og jevn strømforsyning i

områder med ustabil strømnett. I stedet for å utnytte mer elektrisitet fra nettet, er det verdt å merke seg at BESS kan ha en høyere miljømessig nytteverdi dersom det brukes i kombinasjon med fornybare energikilder som erstatter et skittent strømnett. En scenario- og sensitivitetsanalyse vil gi en pekepinn på hvilke parametere i fremtidige prosjekter som i stor grad kan påvirke sluttresultatene. Eksempelvis vil bruksprofilen til batteriene i stor grad påvirke utslippet til hele deres batteribaserte energilagringssystem. Studien kan anvendes i andre land enn Filippinene da forutsetningene er typiske for mikronett med samme formål. Funnene skal gi oversikt over reduserte utslipp for radiobasestasjoner, men også lignende samfunnskritiske applikasjoner med tilsvarende last. Til slutt kan resultatene fra intervjuene brukes for å navigere seg gjennom hva de ulike aktørene i bransjen vektlegger i bærekraftsvurderinger. Dersom Pixii velger å bruke ressurser på å tilrettelegge for PEF og videre arbeid med livsløpsanalyser for deres teknologi, kan dette gi en konkurransemessig fordel i tiden som kommer.

## 8.6 Videre arbeid

Tidsrammen for studien har satt føringer for analysens omfang. Samarbeidet med Pixii har gitt en detaljert oversikt over deres system, men mye av tiden har gått til datainnsamling for resten av komponentene som fortsatt er begrenset. Både en begrensning av datagrunnlag og studiens funn har gitt åpninger for videre forskning. Det ble nevnt tidligere i diskusjonen at å erstatte en dieselgenerator med BESS og PV har gitt en samfunnsmessig verdi i forhold til tilgjengelig nettkapasitet. Utover dette er det ikke gjennomført en økonomisk analyse i forhold til nytteverdien ved å implementere et mikronett for radiobasestasjonen. Dette kan være av stor verdi for markedsføring og videre beslutningstaking for Pixii. Videre kan det være hensiktsmessig å utvide studien til å inkludere ytterligere trinn utover normalisering, som vektning og aggregering av resultatene. Dette innebærer å vurdere den spesifikke miljøkonteksten, tildele vekter til ulike påvirkningskategorier basert på deres betydning, og aggregere påvirkningene for å gi en mer helhetlig vurdering av den generelle miljøpresentasjonen. Likevel skal dette gjøres med forsiktighet da det er en viss subjektivitet til vektning av resultater. Vektning er en valgfri del av ISO 14040. I tillegg vil det være av høy verdi av

å se på gjenbruk av elbilbatterier fremfor utvinning og produksjon av nye LFP batterier. For dette studiet er det også utviklet, brukt og demonstrert en metodikk på ett spesifikt case i Filippinene. Denne metodikken kan imidlertid generaliseres ved å bruke hovedinnsatsfaktorene – strømmiksen, kWh fra nett, liter diesel samt forbruksprofil, og kan dermed anvendes på andre case med dieselgeneratorer som reserveløsning for upålitelig nett.



## 9 Konklusjon

Formålet med oppgaven har vært å analysere den miljø- og samfunnsmessige nytteverdien ved å erstatte en dieselgenerator som reserveløsning ved strømbrudd i tilknytning til en radiomast, med et mikronett bestående av BESS og PV. De miljømessige effektene ved denne utskiftningen har blitt analysert gjennom en noe forenklet livsløpsanalyse. Beregningene som er gjort i tilknytning til analysen bærer preg av usikkerhet, men resultatene fra analysen indikerer at Pixii PowerShaper bidrar til reduksjon av utslipp, samt at den gir en samfunnsmessig nytteverdi ved å kontinuerlig bidra til forsyningsikkerhet i et område med ustabil tilknytning til strømmettet.

Energilagingsløsningens miljøpåvirkning er i stor grad avhengig av energimiksen som benyttes under opplading av batteriene, og man vil kunne redusere en betydelig andel utslipp ved å benytte fornybare energikilder fremfor strømmettet. I tillegg antyder resultatene at systemet med BESS og PV kommer bedre ut enn dieselgeneratoren i tre av fire utvalgte miljøkategorier, hvor implementeringen blant annet vil utgjøre en klimabesparelse på 379 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter i løpet av prosjektets levetid. Under ferskvannseutrofiering har Pixii sitt system noe høyere utslipp grunnet en stor økning i elektrisitet fra nettet. Forutsetningene til systemene som er analysert er typiske, og denne studien kan anvendes for lignende prosjekter andre steder enn Filippinene. En scenarioanalyse viser at mikronettet i tilknytning til et hyttefelt i Norge også har miljømessig nytteverdi.

Da klimaendringene blir omtalt som den største trusselen menneskeheten står ovenfor ser man en økende miljøbevissthet hos myndigheter og interessenter. Det har ført til et vidt spekter av ulike rammeverk og metoder for å vurdere bærekraft. Bærekraft er et bredt begrep, hvilket gjør det utfordrende for markedet å navigere mot det. Ulike bransjer står ovenfor unike utfordringer og må tilpasse vurderingen av sin aktivitets spesifikke miljøfotavtrykk heretter. Ved å vise til åpenhet rundt sine aktiviteter gjennom en standardisert livsløpsanalyse, muliggjøres sammenlignbare vurderinger på tvers av ulike produkter og bransjer og dette er et viktig steg i veien mot en bærekraftig industri.

## 10 Referanser

- ABS-CBN News. (2023, 24 februar ). National Grid Corporation of the Philippines warns of 'tight' power supply this summer. *ABS-CBN News*. <https://news.abs-cbn.com/business/02/24/23/ngcp-warns-power-supply-tight-this-summer>
- Ajaz, W., & Bernell, D. (2021). Microgrids and the transition toward decentralized energy systems in the United States: A Multi-Level Perspective. *Energy Policy*, *149*, 112094.
- AL-Zoubi, O. H., Shawaqfah, M., Almomani, F., Damash, R. A., & Al-Zboon, K. (2022). Photovoltaic Solar Cells and Panels Waste in Jordan: Figures, Facts, and Concerns. *Sustainability*, *14*(20), 13313. <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/20/13313>
- Amoguis, T., Mark. (2019). *Power underwhelming: Why are there power outages?* <https://www.bworldonline.com/editors-picks/2019/06/17/236807/power-underwhelming-why-are-there-power-outages/>
- Andrae, A. (2015). Comparative screening life cycle impact assessment of renewable and fossil power supply for a radio base station site. *Int. J. Green Technol*, *1*, 258-267.
- Asian Development Bank. (2018). *PHILIPPINES ENERGY SECTOR ASSESSMENT, STRATEGY, AND ROAD MAP*. A. D. Bank.
- Ask, A., Ole. (2023, 2 mars). Lekket dokument: Norge og EU oppretter «samarbeidsforum» for batterier og metaller *Energi og Klima*. <https://energiogklima.no/nyhet/brussel/lekket-dokument-norge-og-eu-opprettet-samarbeidsforum-for-batterier-og-metaller/>
- Benton, K., Yang, X., & Wang, Z. (2017). Life cycle energy assessment of a standby diesel generator set. *Journal of Cleaner Production*, *149*, 265-274.
- Bilich, A., Langham, K., Geyer, R., Goyal, L., Hansen, J., Krishnan, A., Bergesen, J., & Sinha, P. (2017). Life cycle assessment of solar photovoltaic microgrid systems in off-grid communities. *Environmental science & technology*, *51*(2), 1043-1052.
- Bjartnes, A. U., Lars; Michelsen, P., Lars-Henrik; Skaugen, Håvar. (2021). *Batterier som klimaløsning*. <https://klimastiftelsen.no/publikasjoner/batterier-som-klimalosning/>
- Bondesson, A. (2010). *Comparative LCA model on renewable power solutions for off-grid radio base stations*.

- Bostwick, S. (2020). Improving Electricity in the Philippines.  
<https://borgenproject.org/tag/electricity-in-the-philippines/>
- Bærum Kommune. (2023). *Semi-strukturerte intervjuer*. Bærum Kommune.  
<https://www.baerum.kommune.no/om-barum-kommune/organisasjon/innovasjon/metodebank/behovsfase/semi-strukturerte-intervjuer2/>
- Climate Transparency. (2020). *Climate Transparency Report 2020*. G20. <https://www.climate-transparency.org/wp-content/uploads/2021/01/Philippines-CT-2020.pdf>
- Cozzi, L. W., D.; Tonolo, G.; Hyppolite II, J. (2022). For the first time in decades, the number of people without access to electricity is set to increase in 2022.  
<https://www.iea.org/commentaries/for-the-first-time-in-decades-the-number-of-people-without-access-to-electricity-is-set-to-increase-in-2022>
- Curran, M. A. (2015). *Life Cycle Assessment Student Handbook*. Scrivener Publishing
- Recommendation on the use of Environmental Footprint methods, 8 (2021).
- Dos Santos Gervasio, H., & Dimova, S. (2018). Model for life cycle assessment (LCA) of buildings. Economic Research Institute for ASEAN and East Asia. (2018). *The Comprehensive Asia Development Plan: Distributed Energy System in the Philippines*.  
[https://www.eria.org/uploads/media/5\\_Distributed\\_Energy\\_System\\_in\\_the\\_Philippines.pdf](https://www.eria.org/uploads/media/5_Distributed_Energy_System_in_the_Philippines.pdf)
- Energikommisjonen. (2023). *NOU 2023:3, Mer av alt - raskere*
- Energy Catalyst. (2022). *The role of energy storage in achieving SDG7: An innovation showcase*. E. Catalyst.
- European Commission. (2022, 9 December). *Green Deal: EU agrees new law on more sustainable and circular batteries to support EU's energy transition and competitive industry*
- European Commission. (2023a). Environmental Footprint. *European Platform on LCA*  
<https://eplca.jrc.ec.europa.eu/EnvironmentalFootprint.html>
- European Commission. (2023b). Environmental Footprint methods. *Green Business*  
[https://green-business.ec.europa.eu/environmental-footprint-methods\\_en](https://green-business.ec.europa.eu/environmental-footprint-methods_en)

- European Commission. (2023c). *A European Green Deal*.  
[https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en)
- European Commission. (2023d). *PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION PVGIS*.  
[https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/#api\\_5.1](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#api_5.1)
- European Parliament. (2022). *New EU rules for more sustainable and ethical batteries* European Parliament.  
<https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/economy/20220228STO24218/new-eu-rules-for-more-sustainable-and-ethical-batteries>
- Finnveden, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Koehler, A., Pennington, D., & Suh, S. (2009). Recent developments in life cycle assessment. *Journal of environmental management*, 91(1), 1-21.
- Fleck, B., & Huot, M. (2009). Comparative life-cycle assessment of a small wind turbine for residential off-grid use. *Renewable Energy*, 34(12), 2688-2696.
- Fluent Cargo. (2023). *Routing*. <https://www.fluentcargo.com>
- Fortune Business Insights. (2021). *Diesel Generator Market*  
<https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/diesel-generator-market-100587#:~:text=The%20global%20diesel%20generator%20market,in%20the%202022%2D2029%20period.>
- Friedlingstein, P. e. a. (2022). *Global Carbon Budget 2022*.  
<https://essd.copernicus.org/articles/14/4811/2022/>
- Galletta, A. (2013). *Mastering the semi-structured interview and beyond: From research design to analysis and publication* (Vol. 18). NYU press.
- Gmünder, S. M., Zah, R., Bhattacharjee, S., Classen, M., Mukherjee, P., & Widmer, R. (2010). Life cycle assessment of village electrification based on straight jatropha oil in Chhattisgarh, India. *Biomass and bioenergy*, 34(3), 347-355.
- Government Digital Service. (2020). *Guidance: Mixed methods study*. Government Digital Service. <https://www.gov.uk/guidance/mixed-methods-study>
- Grøn, Ø. (2021). Elektrisk strøm. *Energi*. [https://snl.no/elektrisk\\_strøm](https://snl.no/elektrisk_strøm)

- Gunvaldsen, I. M., Steinar; Rosvold, Knut A. (2021). SNL. <https://snl.no/batteri>
- Hannan, M., Al-Shetwi, A. Q., Begum, R., Ker, P. J., Rahman, S., Mansor, M., Mia, M., Muttaqi, K., & Dong, Z. (2021). Impact assessment of battery energy storage systems towards achieving sustainable development goals. *Journal of Energy Storage*, 42, 103040.
- IEA. (2020). *Philippines*. <https://www.iea.org/countries/philippines>
- IEA. (2022). *Philippines*. <https://www.iea.org/countries/philippines>
- Institute for Environment and Sustainability JRC. (2010). *ILCD Handbook: Framework and requirements for LCIA models and indicators*. E. Comission.
- International Renewable Energy Agency. (2023). *World Energy Transition Outlook 2023*. IRENA. <https://www.irena.org/Publications/2023/Mar/World-Energy-Transitions-Outlook-2023>
- Kallio, H., Pietilä, A. M., Johnson, M., & Kangasniemi, M. (2016). Systematic methodological review: developing a framework for a qualitative semi-structured interview guide. *Journal of advanced nursing*, 72(12), 2954-2965.
- Kim, T.-Y. P., Leonardo; Lee, Lilly; Dasgupta, Amrita. (2021). *The Role of Critical World Energy Outlook Special Report Minerals in Clean Energy Transitions*. I. E. A. (IEA).
- Klima-og miljødepartementet. (2021). Klimaendringer og norsk klimapolitikk. <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/klimaendringer-og-norsk-klimapolitikk/id2636812/>
- Lagare, B., Jordeene. (2023). Philippine power reserves thin in 2023; but no red alert just yet. <https://business.inquirer.net/387331/philippine-power-reserves-thin-in-2023-but-no-red-alert-just-yet>
- Maltby, T. W. (2021). *Litiumbatterier: teknologi og utviklingstrender enkelt forklart*. Prosess21.
- Mercurio, R. (2022, 29 november). Luzon grid placed on yellow, red alerts. *The Philippine Star* <https://www.philstar.com/nation/2022/11/29/2227211/luzon-grid-placed-yellow-red-alerts>
- Mertrans. (2021). The first Slovak outbound train departed to China via News Silk Road. <https://metrans.eu/the-first-slovak-outbound-train-departed-to-china-via-news-silk-road/>

- Moni, S. M., Mahmud, R., High, K., & Carbajales-Dale, M. (2020). Life cycle assessment of emerging technologies: A review. *Journal of Industrial Ecology*, 24(1), 52-63.
- Musil, F. e. a. (2023). *How Life Cycle Analyses are Influencing Power Electronics Converter Design*. F. I. GmbH.
- National Institute for Public Health and the environment. (2016). *ReCiPe 2016 v1.1 (A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level Report I: Characterization, Issue*. National Institute for Public Health and the Environment.
- Nilsen, R., Heidi. (2023). EUs taksonomi for bærekraftig aktivitet. *Økologisk økonomi*  
[https://snl.no/EUs\\_taksonomi\\_for\\_bærekraftig\\_aktivitet](https://snl.no/EUs_taksonomi_for_bærekraftig_aktivitet)
- NVE. (2022a). *I kraftsystemet handler mye om fysikk*. Norges Vassdrags- og Energidirektorat.  
<https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/slik-fungerer-kraftsystemet/i-kraftsystemet-handler-mye-om-fysikk/>
- NVE. (2022b). Varedeklarasjon for strømleverandører. *Energi*  
<https://www.nve.no/energi/virkemidler/opprinnelsesgarantier-og-varedeklarasjon-for-stroemleverandoerer/varedeklarasjon-for-stroemleverandoerer/>
- NVE. (2023a). *Hvor kommer strømmen fra?* Norges Vassdrags- og Energidirektorat.  
<https://www.nve.no/energi/energisystem/kraftproduksjon/hvor-kommer-stroemmen-fra/>
- NVE. (2023b). Spenningskvalitet.  
<https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/regulering/nettvirksomhet/leveringskvalitet/spenningskvalitet/>
- Oliveira, L., Messagie, M., Rangaraju, S., Sanfelix, J., Rivas, M. H., & Van Mierlo, J. (2015). Key issues of lithium-ion batteries—from resource depletion to environmental performance indicators. *Journal of Cleaner Production*, 108, 354-362.
- Pan, S. S., Jon. (2023). *Synthetic versus natural graphite debate rages on: 2023 preview*. Fastmarkets.
- Pinlac, B. (2022). Napocor warns: Budget cuts may lead to power outages, closure of 278 power plants. <https://newsinfo.inquirer.net/1679897/npc-warns-budget-cuts-may-lead-to-power-outages-closure-of-278-power-plants>

- Porzio, J., & Scown, C. D. (2021). Life-cycle assessment considerations for batteries and battery materials. *Advanced Energy Materials*, 11(33), 2100771.
- PowerTech Systems. (2023). *Lithium Iron Phosphate*  
<https://www.powertechsystems.eu/home/tech-corner/lithium-iron-phosphate-lifepo4/?amp>
- Quan, J., Zhao, S., Song, D., Wang, T., He, W., & Li, G. (2022). Comparative life cycle assessment of LFP and NCM batteries including the secondary use and different recycling technologies. *Science of The Total Environment*, 819, 153105.
- Quist, Z. (2022). *Product Environmental Footprint (PEF) – A Complete Overview*.  
<https://ecochain.com/knowledge/product-environmental-footprint/>
- Regjeringen. (2023). *Taksonomien for bærekraftig økonomisk aktivitet*. Regjeringen  
<https://www.regjeringen.no/no/tema/okonomi-og-budsjett/finansmarkedene/taksonomien-for-barekraftig-okonomisk-aktivitet/id2924859/>
- Rosvold, K. A. H., Knut. (2023). *Energilagring*. SNL. <https://snl.no/energilagring>
- Røberg, H., Vilde. (2022). *Batteriforordningen: produkters livssyklus og fornybar energi*  
<https://www.stortinget.no/no/Hva-skjer-pa-Stortinget/EU-EOS-informasjon/EU-EOS-nytt/2022/eueos-nytt---17.-februar-2022/batteriforordningen-produkters-livssyklus-og-fornybar-energi/>
- Sanstad, J. G., Øyvind (2021). vekselstrøm. <https://snl.no/vekselstrom>
- Smith, C., Burrows, J., Scheier, E., Young, A., Smith, J., Young, T., & Gheewala, S. H. (2015). Comparative Life Cycle Assessment of a Thai Island's diesel/PV/wind hybrid microgrid. *Renewable Energy*, 80, 85-100.
- Stavem, K. (2000). Scenarieanalyse – en metode for langsiktig planlegging. *Tidsskriftet*  
<https://tidsskriftet.no/2000/01/tema/scenarieanalyse-en-metode-langsiktig-planlegging>
- Stavseth, M. R. (2020). Sensitivitetsanalyser–hvor robust er resultatet? *Tidsskrift for Den norske legeforening*.
- Svartdal, F. (2020). reliabilitet *Samfunn*. <https://snl.no/reliabilitet>

- Tschümperlin, L., Stolz, P., & Frischknecht, R. (2016). Life cycle assessment of low power solar inverters (2.5 to 20 kW). *Swiss Federal Office of Energy SFOE*.
- UN. (2021). World risks 'collapse of everything' without strong climate action, Attenborough warns Security Council. *UN News*. <https://news.un.org/en/story/2021/02/1085452>
- UN. (2022). *The 17 Goals*. United Nations. <https://sdgs.un.org/goals>
- UN. (2023). *Facts and Figures* United Nations. <https://www.un.org/en/actnow/facts-and-figures>
- Wang, M., Li, S., Zhu, R., Zhang, R., Zu, L., Wang, Y., & Bao, X. (2020). On-road tailpipe emission characteristics and ozone formation potentials of VOCs from gasoline, diesel and liquefied petroleum gas fueled vehicles. *Atmospheric Environment*, 223, 117294.
- Woodhouse, A. M., Hanne. (2021). *Attributional og consequential LCA- en sammenligning av to livsløpsanalysetoder*. NORSUS.
- World Economic Forum. (2019). *A Vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030: Unlocking the Full Potential to Power Sustainable Development and Climate Change Mitigation*. W. E. Forum.  
[https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_A\\_Vision\\_for\\_a\\_Sustainable\\_Battery\\_Value\\_Chain\\_in\\_2030\\_Report.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_A_Vision_for_a_Sustainable_Battery_Value_Chain_in_2030_Report.pdf)
- Zhang, R., Wang, G., Guo, S., Zamora, M. L., Ying, Q., Lin, Y., Wang, W., Hu, M., & Wang, Y. (2015). Formation of urban fine particulate matter. *Chemical reviews*, 115(10), 3803-3855.





## Vedlegg

Dette kapittelet inneholder tabeller og figurer med forklaringstekst, for å gi ytterligere åpenhet og fullstendighet til noen av beregningene og forutsetningene i studien. De er ekskludert fra oppgaveteksten for enkelthetskyld eller plassbegrensing.

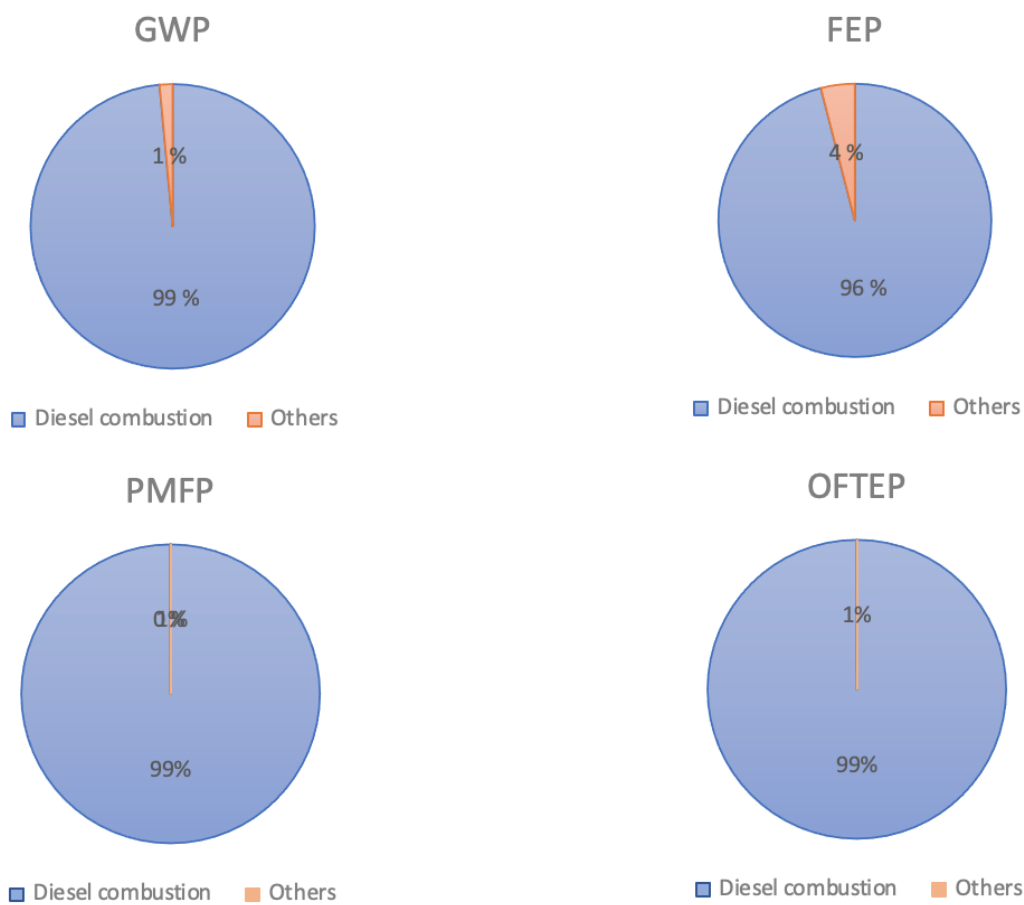
Vedlegg 1: oversikt over komponenter som inngår i de to systemene.....	107
Vedlegg 2: Bidragsanalyse system 1 ekskludert elektrisitet fra strømnnett .....	108
Vedlegg 3: Utklipp av energianalyse i Excel .....	109
Vedlegg 4: Miljøpåvirkningskategorier .....	110
Vedlegg 5: Transportstrekning for dieselgenerator fra sammensetning på fabrikk i USA til bruksfase på hyttefelt i Flå kommune i Norge. ....	111
Vedlegg 6: Tabell 25: Transportstrekning for dieseltank fra produksjon i Nederland til bruksfase på hyttefelt i Flå kommune i Norge. ....	111
Vedlegg 7: Transportstrekning for PV og inverter fra sammensetning på fabrikk i Singapore til bruksfase på hyttefelt i Flå kommune i Norge. ....	111
Vedlegg 8: Transportstrekning for PowerShaper, inkludert batterier og øvrige komponenter.	112
Vedlegg 9: Intervjuguide .....	112
Vedlegg 10: Godkjenning fra NSD.....	114
Vedlegg 11: Samtykkeerklæring .....	115

## Vedlegg 1: Oversikt over komponenter som inngår i de to systemene

<p><b>Diesel generator og diesel tank</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Alle tall er modellert etter FE over 10 år</li> <li>2. Dieselgeneratoren er 15kW og veier 693 kg</li> <li>3. Generatoren består hovedsakelig av aluminium, stål, kobber and plastikk</li> <li>4. Dieseltanken er antatt å være fra Fuelproof og produseres i Nederland</li> <li>5. Dieseltanken veier 595kg tom and 1450kg full, og rommer 1000 liter</li> <li>6. Fuelproof-dieseltank er lagd ut av stål</li> <li>7. Den antatte brennhastigheten til dieselgeneratoren er 4 liter/time</li> <li>8. Dieselgeneratoren er antatt å bli produsert på Generac sin fabrikk i Wisconsin</li> <li>9. Bruksfasen til generatoren er modellert etter ecoinvent &gt;18kW dieselgenerator, og står for over 95% av utslippene i livsløpet</li> <li>10. Dieselgeneratoren er antatt å bli solgt etter 10 år, dieseltanken har en livstid på 10år</li> <li>11. Kun transport fra fabrikk til «site» og transport for vedlikehold og påfylling av diesel er inkludert</li> <li>12. 175 200 liter diesel er antatt å generere 350 400kWh over 10 år</li> </ol>
<p><b>Solcelleanlegg</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Panelene ga ingen utslipp i bruksfasen</li> <li>2. Standardstørrelse for modulene ble antatt: 1675 x 997 x 30 mm, 1,7 kvm og 20 kg</li> <li>3. Solcelleanlegget er modellert i PVGIS, og verdiene er hentet fra et gjennomsnitt-døgn i mai 2020</li> <li>4. Total virkningsgrad for hele anlegget er antatt å være 14% (PVGIS)</li> <li>5. Monteringen av solcellepanelene skjer i Singapore</li> <li>6. Komponentene i solcellepanelet antas å være silisium, kobber, glass, aluminium, bly, tinn og sølv</li> <li>7. Levetiden til solcellepaneler er 30 år, utslippsverdiene fra SimaPro er derfor dividert med 3</li> <li>8. 30 paneler antas å være nødvendig for å generere 15 816kWh per år</li> <li>9. 30 paneler med standard størrelse utgjør ca. 50 kvm</li> <li>10. Kun transport fra montering til anlegg er inkludert</li> </ol>
<p><b>LFP batterier</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Batteriene produserte ingen utslipp i bruksfasen</li> <li>2. Materialene til batteriene er litium, jern, fosfat, oksygen, grafitt, kobber, aluminium og plast</li> <li>3. Batteriene er produsert i Kina og sendt til Slovakia for montering av Pixii sitt batterilagringsystem</li> <li>4. Kun transport fra montering til anlegg er inkludert</li> <li>5. Størrelse på batterilagringsystemet er modellert i en materialstrømanalyse, og presentert under MFA og i vedlegg 3.</li> <li>6. 8 batterier på 5kWh, totalt 40kWh kapasitet antas å være tilstrekkelig</li> <li>7. Et batteri veier 42 kg</li> <li>8. Batterier produsert i Norge er modellert som RER (Europa) i SimaPro, med norsk energimiks, og naturlig utvinnet grafitt</li> <li>9. Utvinning av materialer og produksjon av batteriene står for nesten 50% av utslippene til BESS</li> </ol>
<p><b>Pixii Gateway</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gatewayen produserte ingen utslipp under bruksfasen</li> <li>2. Med 95 % cut-off er de eneste materialene som vurderes for Gateway aluminium og glassfiber</li> <li>3. Kun transport fra montering til anlegg er inkludert</li> <li>4. Kun én Gateway er nødvendig for systemet, og den veier &lt;1 kg</li> <li>5. Gateway sammen med annen Pixii-teknologi, er produsert i Slovakia</li> </ol>
<p><b>PixiiBox</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pixiiibox produserte ingen utslipp under bruksfasen</li> <li>2. Pixiiibox er laget av aluminium, stål, glassfiber, kobber og plast</li> <li>3. Pixiiibox, sammen med annen Pixii-teknologi, er produsert i Slovakia</li> <li>4. 6 PixiiBoxer som tilsvarer 19,8kW (3,3kW multiplisert med 6), skal være tilstrekkelig for å både dekke lasten, og for rask nok opplading av batteriene</li> <li>5. På «last-siden» er det også antatt 6 PixiiBoxer</li> <li>6. En Pixiiibox veier 1,95kg</li> </ol>
<p><b>Solar-vekselretter</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Solarvekselretteren produserte ingen utslipp under bruksfasen</li> <li>2. Solvekselretteren antas å være 10kW, tilsvarende kapasiteten til solcellepanelene</li> <li>3. Materialene til omformeren er hovedsakelig kobber, aluminium og stål</li> <li>4. Solar-vekselretteren inngår i solcelleanleggets antatte virkningsgrad på 14%</li> <li>5. Kun transport fra montering til anlegg er inkludert</li> <li>6. Monteringen antas å skje i Singapore</li> <li>7. Vekten antas å være 29 kg</li> </ol>
<p><b>Pixii kabinett</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pixii kabinett produserte ingen utslipp i bruksfasen</li> <li>2. Materialene antas å være aluminium, galvanisert stål, kobber og rustfritt stål</li> <li>3. Kabinettet veier 220kg tomt</li> <li>4. Kabinettet er montert i Slovakia</li> <li>5. Kun transport fra Slovakia til «site» er inkludert</li> </ol>

<b>Strømnett</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Infrastrukturen til overføringsnettet er ikke inkludert, materialer og komponenter vil være like for begge systemer</li> <li>2. Energimiksen på Filippinene er 30 % kull, 28 % olje, 6 % naturgass, 16 % VRE og 18 % biodrivstoff og avfall</li> <li>3. Vannkraft, vindkraft og annen fornybar kraft står for 97% av kraftproduksjon i Norge, og CO2-faktor for bruk av strøm i 2021 ble beregnet til 11 g CO2e/kWh</li> <li>4. I SimaPro er den norske el-miksen beregnet til x</li> <li>5. I alternativ 1 brukes det 350 000 kWh fra nettet over 10 år, i alternativ 2 brukes 681 900 kWh fra nettet over 10 år</li> <li>6. I alternativ 2 er strømnettet den klart største utslippsfaktoren</li> </ol>
------------------	---

Vedlegg 2: Bidragsanalyse system 1 ekskludert elektrisitet fra strømnett



### Vedlegg 3: Utklipp av energianalyse i Excel

Hour	Grid & load scenario		Case Diesel genset		PV power (W)		Case PV and Energy Storage with Voltage Booster		SOC [kWh]
	Grid voltage	Load [kWh]	DG [kWh]	DG [l]	PV power [W]	PV power [kWh]	Load - PV [kWh]	Load-PV (DC side) [kWh]	
1	220	8	0	0,0	0	0,0	8,0	8,3	40
2	220	8	0	0,0	0	0,0	8,0	8,3	40,0
3	220	8	0	0,0	0	0,0	8,0	8,3	40,0
4	220	8	0	0,0	0	0,0	8,0	8,3	40,0
5	220	8	0	0,0	0	0,0	8,0	8,3	40,0
6	220	8	0	0,0	0	0,0	8,0	8,3	40,0
7	220	8	0	0,0	0	0,0	8,0	8,3	40,0
8	180	10	10	4,0	3251	0,3	9,7	10,0	40,0
9	180	10	10	4,0	202,79	2,0	8,0	8,0	40,0
10	180	10	10	4,0	361,45	3,6	6,4	6,6	40,0
11	0	10	10	4,0	435,87	4,4	5,6	5,8	34,0
12	0	10	10	4,0	557,12	5,6	4,4	4,6	29,3
13	180	10	10	4,0	635,85	6,4	3,6	3,8	15,3
14	180	10	10	4,0	678,03	6,8	3,2	3,2	3,3
15	180	10	10	4,0	491,72	4,9	5,1	5,3	5,5
16	180	10	10	4,0	425,23	4,3	5,7	6,0	40,0
17	0	10	10	4,0	310,61	3,1	6,9	7,1	32,7
18	0	10	10	4,0	161,33	1,6	8,4	8,7	23,8
19	180	10	10	4,0	40,74	0,4	9,6	9,9	32,7
20	220	8	0	0,0	0	0,0	8,0	8,3	40,0
21	220	8	0	0,0	0	0,0	8,0	8,3	40,0
22	220	8	0	0,0	0	0,0	8,0	8,3	40,0
23	220	8	0	0,0	0	0,0	8,0	8,3	40,0
24	220	8	0	0,0	0	0,0	8,0	8,3	40,0
Sum per day		216	120	48	96	4333	173	179	1,4
Sum per year		78 840	43 800	17 520	35 040	1 581 636	63 024	65 309	498
N1220 facts/assumptions		80 0215	45 593	18 237	34 433				

**ASSUMPTIONS:**

Maximal load [kW]	10
Transformer capacity [kW]	25
Diesel genset capacity [kW]	15
PV capacity [kWp]	10
Battery inverter/charger cap [kW]	19,8
Battery storage cap [kWh]	40
Charging/discharging loss	2,5 %
Initial State-of-charge	100 %
kWh per L diesel	2,50
Conversion loss voltage booster	3,5 %
Cycle life	3500

Vedlegg 4: Miljøpåvirkningskategorier

Impact category	Norwegian translation	CF	Abbr.	Unit
<b>Global warming</b>	Global oppvarming	Global warming potential	GWP	kg CO <sub>2</sub> eq
<b>Stratospheric Ozone depletion</b>	Nedbryting av ozonlaget	Stratospheric ozone depletion potential	SODP	kg CFC-11 eq
<b>Ionizing radiation</b>	Ioniserende stråling	Ionizing radiation potential	IRP	kBQ Co-60 eq
<b>Fine particulate matter formation</b>	Dannelse av svevestøv	Particulate matter formation potential	PMFP	kg PM2.5 eq
<b>Ozone formation: terrestrial ecosystems</b>	Ozondannelse, økosystemer	Ozone formation potential: ecosystems	OFTEP	kg NO <sub>x</sub> eq
<b>Ozone formation: human health</b>	Ozondannelse: helseeffekt	Ozone formation potential: humans	OFHHP	kg NO <sub>x</sub> eq
<b>Terrestrial acidification</b>	Forsuring på landjord	Terrestrial acidification potential	TAP	kg SO <sub>2</sub> eq
<b>Freshwater eutrophication</b>	Ferskvanns-eutrofiering	Freshwater acidification potential	FEP	kg P eq to fresh water
<b>Marine eutrophication</b>	Eutrofiering i havvann	Marine eutrophication potential	MEP	kg N eq to marine water
<b>Human toxicity: cancer</b>	Kreftfremkallende toksisitet	Human toxicity potential	HTPc	kg 1,4-DCB eq
<b>Human toxicity: non-cancer</b>	Ikke-kreftfremkallende toksisitet	Human toxicity potential	HTPnc	kg 1,4-DCB eq
<b>Terrestrial ecotoxicity</b>	Økotoksitet i landjord	Terrestrial ecotoxicity potential	TETP	kg 1,4-DCB eq
<b>Freshwater ecotoxicity</b>	Økotoksitet i ferskvann	Freshwater ecotoxicity potential	FETP	kg 1,4-DCB eq
<b>Marine ecotoxicity</b>	Økotoksitet i havvann	Marine ecotoxicity potential	METP	kg 1,4-DCB eq
<b>Land use</b>	Landbruk	Agricultural land occupation potential	LOP	m <sup>2</sup> * yr annual crop land

<b>Water use</b>	Forbruk av vann	Water consumption potential	WCP	m <sup>3</sup>
<b>Mineral resource scarcity</b>	Knapphet av mineralressurser	Surplus ore potential	SOP	kg Cu eq
<b>Fossil resource scarcity</b>	Knapphet av fossile ressurser	Fossil fuel potential	FFP	kg oil eq

*Vedlegg 5: Transportstrekning for dieselgenerator fra sammensetning på fabrikk i USA til bruksfase på hyttefelt i Flå kommune i Norge.*

Etappe	Startpunkt	Totalvekt	Avstand	Sluttpunkt	Prosess i SimaPro
1	Wisconsin, USA	693 kg	1 636 km	New Jersey, USA	Transport, Freight train (US) market for
2	New Jersey, USA	693 kg	10 198 km	Denmark (Port of Hirtshals)	Transport, freight, sea, container ship (GLO) market for transport
3	Denmark (Port of Hirtshals)	693 kg	169 km	Norway (Port of Larvik)	Transport, freight, sea, container ship (GLO) market for transport
4	Norway (Port of Larvik)	693 kg	211 km	Norway (Flå)	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro6

*Vedlegg 6: Tabell 25: Transportstrekning for dieseltank fra produksjon i Nederland til bruksfase på hyttefelt i Flå kommune i Norge.*

Etappe	Startpunkt	Totalvekt	Avstand	Sluttpunkt	Prosess i SimaPro
1	Netherlands (Rotterdam)	595 kg	1 553 km	Norway (Oslo)	Transport, freight, lorry 16-32 metric, euro6 (GLO) market for transport
2	Norway (Oslo)	595 kg	119 km	Norway (Flå)	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro6

*Vedlegg 7: Transportstrekning for PV og inverter fra sammensetning på fabrikk i Singapore til bruksfase på hyttefelt i Flå kommune i Norge.*

Etappe	Startpunkt	Totalvekt	Avstand	Sluttpunkt	Prosess i SimaPro
1	Singapore (Jurong Port)	629 kg	18 168 km	Denmark (Port of Hirtshals)	Transport, freight, sea, container ship (GLO) market for transport
2	Denmark (Port of Hirtshals)	629 kg	169 km	Norway (Port of Larvik)	Transport, freight, sea, container ship (europa) market for transport
3	Norway (Port of Larvik)	629 kg	211 km	Norway (Flå)	Transport, freight, lorry > 32 metric ton, euro6 (europa) market for transport

--	--	--	--	--	--

### Vedlegg 8: Transportstrekning for PowerShaper, inkludert batterier og øvrige komponenter.

Etappe	Startpunkt	Totalvekt	Avstand	Sluttpunkt	Prosess i SimaPro
1	Slovakia (Port of Bratislava)	580 kg	1 700 km	Norway (Oslo)	Transport, freight, lorry > 32 metric ton, euro6 (europa) market for transport
2	Norway (Oslo)	580 kg	119 km	Norway (Flå)	Transport, freight, lorry > 32 metric ton, euro6 (europa) market for transport

### Vedlegg 9: Intervjuguide

#### Intervjuguide

NB: Denne intervjuguiden er ment som et utgangspunkt for intervjuet og kan tilpasses intervjuets formål. Ikke alle spørsmålene vil være relevante for alle intervjuobjektene.

#### Innledning

- Takke respondenten for at de stiller opp.
- Opplyse om intervjuets antatte varighet på ca. 45 minutter.
- Formål: Få frem holdninger og forventninger relatert til vurdering av bærekraft og anvendelsen av livsløpsanalyse som metode for aktører i energibransjen. Datamaterialet fra intervjuet vil brukes i skriving av masteroppgaven som fremstilles våren 2023.
- Kort gjennomgang av hva intervjuet skal handle om.
- Alle referanser knyttet til personopplysninger vil enten være anonyme eller bli sendt til godkjenning før publisering.
- Referat fra møtet vil sendes til intervjuobjekt for godkjenning/korrigerings og eventuelt supplement. Møtereferatene vil ikke deles med andre.
- Samtykke:
  - Bekrefte tillatelse til opptak av intervju
  - Bekrefte at informasjonsskriv for personopplysninger er utfyllt

#### Oppvarmingsspørsmål:

- Hva er din faglig bakgrunn/kompetanseområde og hvilke erfaringer har du om energilagringssystemer?
- Hvor lenge har du arbeidet innenfor dette fagfeltet?

#### Refleksjonsspørsmål:

Hvilke spørsmål/tema som tas opp vil avhenge av ekspertiseområdet til intervjuobjektet. Ikke alle spørsmålene vil være relevante for alle intervjuobjektene.



### 1. Forståelse av bærekraft

- Hvordan har dere organisert arbeid med bærekraft, og hvordan har dette endret seg de siste par årene?
- Har dere lagt til grunn egne bærekraftsmål i deres visjon og strategi for virksomheten?
- Jobber dere med FNs bærekraftsmål, og hvilke mål er eventuelt valgt ut som spesielt prioritert av virksomheten?

### 2. Finansielle instrumenter: drivere, incentiver og barrierer

- Hvilket rammeverk legger dere til grunn i vurdering av bærekraft?
- Hva er de viktigste driverne bak implementering av bærekraft. Er det kun for å oppfylle krav fra myndigheter/til kunde eller finnes det andre motivasjoner?
- Hvilke vurderinger i forhold til bærekraft gjør dere før beslutning av følgende (tilpasses intervjuobjekt):
  - Lån/finansiering
  - Investering
  - Forpliktende forretningsmessig samarbeid
- Hvordan balanserer dere økonomiske interesser og krav til bærekraft?

### 3. Taksonomien

- Hva er deres erfaring med EU taksonomien?
- Hvis relevant, hvordan jobber dere med implementering av den?
- Hva ser dere som nytteverdi og utfordringene med implementeringen?
- Hvilke metoder benyttes for å vurdere om en aktivitet er «grønn» etter taksonomien?
- Hvor viktig er det at et produkt eller en tjeneste oppfyller kriteriene i taksonomien for følgende (tilpasses intervjuobjekt):
  - Lån/finansiering
  - Investering
  - Forpliktende forretningsmessig samarbeid

### 4. Betydning av livsløpsanalyse (LCA) i bærekraftsvurderinger

- Hvilke krav legger dere til grunn for dokumentasjon av bærekraft?
- Hva er deres erfaring med livsløpsanalyser (LCA)?
- LCA er et verktøy som benyttes for å utarbeide en miljødeklarasjon (EPD) i henhold til ISO-standarder, i hvilken grad stiller dere krav til EPD/LCA hos leverandører/samarbeidspartnere?
  - Vil LCA øke interessen for investering/finansiering/samarbeid?
  - Blir LCA etterspurt i bransjen, og tror du det blir økende etterspørsel av livsløpsanalyser fremover?

### 5. Tilleggsspørsmål ved ekstra tid

- Gjennom en LCA vil produkters miljøpåvirkninger synliggjøres, og diverse teknologier som er nødvendig for det grønne skiftet (batteriindustrien og fornybare

teknologier) vil kunne vise til negative miljøpåvirkninger. Tror du fokus på produkter- og tjenesters livssyklus er et bedre virkemiddel enn andre retningslinjer fra EU i å nå klimamålene?

**6. Respondents sluttkommentar**

- Er det noe mer du ønsker å legge til som er av relevans for temaet og oppgaven?
- Kan du kontaktes igjen med oppfølgingsspørsmål hvis det blir aktuelt?

**Avslutning**

Takke intervjuobjekt for å ha stilt opp, og for bidrag til forskningsarbeidet!

*Vedlegg 10: Godkjenning fra NSD*

**Referansenummer**

742684

**Vurderingstype**

Automatisk

**Dato**

21.02.2023

**Prosjekttittel**

Masteroppgave - Bærekraftsanalyse av et batteribasert energilagringssystem

**Behandlingsansvarlig institusjon**

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet – NMBU / Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning

**Prosjektansvarlig**

Erling Holden

**Student**

Emma Thuv

**Prosjektperiode**

01.01.2023 - 15.06.2023

**Kategorier personopplysninger**

- Alminnelige

## Lovlig grunnlag

- Samtykke (Personvernforordningen art. 6 nr. 1 bokstav a)

Behandlingen av personopplysningene er lovlig så fremt den gjennomføres som oppgitt i meldeskjemaet. Det lovlige grunnlaget gjelder til 15.06.2023.

### *Vedlegg 11: Samtykkeerklæring*

## **Vil du delta i forskningsprosjektet «Holdninger og forventninger til bærekraft - kartlegging av livsløpsanalyser i bærekraftsvurderinger»**

Dette er en forespørsel til deg om å delta i et forskningsprosjekt tilknyttet en masteroppgave ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Videre vil du bli informert om hva målene for prosjektet er, samt hva det innebærer å delta.

### **Formål**

Denne masteroppgaven er en bærekraftsanalyse og en komparativ livsløpsanalyse (LCA) av to energisystemer. I den forbindelse ønsker vi å forske på holdninger og forventninger til bærekraft i næringslivet, samt betydningen av en LCA-studie i vurderinger av bærekraft.

### **Hvem er ansvarlig for forskningsprosjektet?**

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) ved fakultetet for miljøvitenskap og naturforvaltning (MINA), samt veileder Erling Holden, er ansvarlig for dette prosjektet. Forfattere av masteroppgaven er Julie Angelil og Emma Thuv.

### **Hvorfor får du spørsmål om å delta?**

For å kartlegge erfaring og forventninger rundt bærekraftvurdering i forhold til retningslinjer i EU, samt viktigheten av livsløpsanalyser (LCA). Det kan hende at du (deltaker) har fått forespørsel om deltakelse av en annen person knyttet til dette prosjektet på vegne av forfattere.

### **Hva innebærer det for deg å delta?**

Deltakelse innebærer å delta på et intervju som vil ta ca. 45 min. Det vil tas lydopptak av intervjuet, og eventuelt filmopptak hvis intervjuet foregår digitalt. Lyd- og filmopptak registreres elektronisk og det tas notater fra intervjuet. Aktuelle tema for intervjuet vil være knyttet til:

- Retningslinjer i EU
- Drivere, incentiver og barrierer for arbeid med bærekraft
- Livsløpsanalyse (LCA) som metode for bærekraftvurdering

Deltakelse i dette prosjektet er frivillig, og du kan alltid trekke deg fra intervjuet eller velge å ikke svare på spørsmål. Med valg om å trekke seg, vil alle personopplysninger bli slettet. Data vil bli anonymisert i formidling av resultater.

### **Ditt personvern – hvordan vi oppbevarer og bruker dine opplysninger**

Vi vil bare bruke opplysningene om deg til formålene som er uttrykket i dette skrivet. Vi behandler opplysningene konfidensielt og i samsvar med personvernregelverket. Kontaktopplysninger vil erstattes med koder som lagres i et privat dokument adskilt fra øvrige data. Det betyr at du som deltaker ikke blir gjenkjent av andre i endelig publikasjon. Kun forfattere og veileder vil ha tilgang til opplysningene.

### **Hva skjer med opplysningene dine når vi avslutter forskningsprosjektet?**

Opplysningene anonymiseres og lydopptak/videopptak fra intervju vil bli slettet når prosjektet avsluttes/oppgaven er godkjent, noe som etter planen er 15. Juni 2023.

### **Dine rettigheter**

Så lenge du kan identifiseres i datamaterialet, har du rett til:

- innsyn i hvilke personopplysninger som er registrert om deg, og å få utlevert en kopi av opplysningene,
- å få rettet personopplysninger om deg,
- å få slettet personopplysninger om deg, og
- å sende klage til Datatilsynet om behandlingen av dine personopplysninger.

### **Hva gir oss rett til å behandle personopplysninger om deg?**

Vi behandler opplysninger om deg basert på ditt samtykke.

På oppdrag fra Fakultetet for miljøvitenskap og naturforvaltning (MINA) ved NMBU har Sikt – Kunnskapssektorens tjenesteleverandør vurdert at behandlingen av personopplysninger i dette prosjektet er i samsvar med personvernregelverket.

### **Hvor kan jeg finne ut mer?**

Hvis du har spørsmål knyttet til intervjuguiden kan du ta kontakt med:

- Forfatter Julie Angelil
  - Telefon: 90079723
  - Epost: [julie.angelil@nmbu.no](mailto:julie.angelil@nmbu.no)
- Forfatter Emma Thuv
  - Telefon: 48088935
  - Epost: [emma.nzinga.moustache.thuv@nmbu.no](mailto:emma.nzinga.moustache.thuv@nmbu.no)
- Prosjektansvarlig ved Fakultetet for miljøvitenskap og naturforvaltning (MINA), veileder Erling Holden
  - Telefon (jobb): 67231741
  - Epost: [erling.holden@nmbu.no](mailto:erling.holden@nmbu.no)

Hvis du har spørsmål knyttet til Sikt sin vurdering av prosjektet, kan du ta kontakt med:

- E-post: [personverntjenester@sikt.no](mailto:personverntjenester@sikt.no) eller på telefon: 73 98 40 40.

Med vennlig hilsen  
Julie Angelil

Emma Thuv

---

### **Samtykkeerklæring**

Jeg har mottatt og forstått informasjon om prosjektet *Holdninger og forventinger til bærekraft*, og har fått anledning til å stille spørsmål. Jeg samtykker til:

- Å delta i intervju
- At det benyttes lydopptak/videoopptak under intervjuet

Jeg samtykker til at mine opplysninger behandles frem til prosjektet er avsluttet

---

(Signert av prosjektdeltaker, dato)





**Norges miljø- og biovitenskapelige universitet**  
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet  
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway