



Institutt for energi-
og prosesseteknikk

Bacheloroppgave

Oppgavens tittel: Bærekraftig og ansvarlige leveransekjeder innenfor solenergi Project title (ENG): Sustainable and responsible solar energy value-chains	Gitt dato: 08.12
	Innleveringsdato: 22.05.2023
	Antall sider rapport / sider vedlagt: 74/137
Gruppedeltakere: Kristian Lundstein Karstensen Brage K. Andersen Geir Arne Lien Bjørnsgård	Veileder: Simon Birger Byremo Solberg
	Prosjektnummer: BIFOREN 23-10
Oppdragsgiver: ANEO Real Estate AS	Kontaktperson hos oppdragsgiver: Martin Gjertsen Bjørn Thorud

Fritt tilgjengelig:

Tilgjengelig etter avtale med oppdragsgiver:

Rapporten frigitt etter:

Gruppedeltakere signaturer:

Kristian LK

Geir Arne Lien Bjørnsgård

Brage K

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet av tre studenter som tar bachelor i ingeniørfag, fornybar energi (BIFOREN) ved NTNU, Gløshaugen i Trondheim. Oppgaven utgjør 20 studiepoeng og har emnekode FENT2900.

Det forventes store investeringer i utbyggingen av fornybar energi-teknologi i Norge og resten av verden. Informasjonsbasert beslutningstaking ved innkjøp av denne teknologien er viktig for økonomisk, sosial og miljømessig bærekraft i alle ledd. Gruppen har lært mye om solindustrien, komponenter som inngår i et solkraftsystem samt knyttet kontakter i industrien. Vi forventer at dette vil være nyttig på veien videre.

Vi ønsker å takke CTO Bjørn Thorud og prosjektleder Martin Gjertsen ved ANEO for hjelpen gjennom oppgaveformulering, konstruktive tilbakemeldinger, hyggelige møter og hjelp med tekniske spørsmål. Vi vil også rette en takk til bærekraftsansvarlige Anders Rør i solcellespesialisten og Berit B. Olsen i Solar Norge som stilte til intervju. Til slutt vil vi takke vår veileder, stipendiat ved NTNU, Simon Birger B. Solberg som har vært svært tilgjengelig med ukentlige møter for viktige tilbakemeldinger og veiledning.

Sammendrag

Det skal gjøres enorme investeringer i fornybar energiproduksjon i Europa mot 2030 og det er forventet strengere krav til rapportering av miljøpåvirkning og kartlegging av verdikjeder. Problemer i verdikjedene for solcellemoduler med tanke på utnyttelse av uyghur-minoriteten til tvangsarbeid i Xinjiang-regionen i Kina gjør at det er interessant å se på verdikjeden for andre komponenter i solkraftsystemer.

Hensikten med denne oppgaven var å kartlegge globalt oppvarmingspotensial (GWP) for nødvendige komponenter i solkraftsystem foruten solcellemoduler (BOS). I tillegg skulle det kartlegges om det fantes utfordringer knyttet til verdikjeder for vekselrettere slik det gjør for solcellemoduler, samt hvilke metoder bedrifter kan benytte for å jobbe mot ansvarlige verdikjeder.

Komponentmengder ble funnet ved modellering av et referansesystem som benytter seg av en 110 kW vekselretter og 260 stk. 545 W solcellepanel. Klimagassutslipp for 110kW vekselrettere ble funnet ved livssyklusanalyse basert på skalering av livssyklusinventar for 20 kW vekselretter, databasen Ecoinvent og SimaPro-programvaren. For resten av komponentene ble det brukt data for miljøpåvirkning fra miljøvaredeklarasjoner (EPD) multiplisert med nødvendig mengde basert på referansesystemet.

Samlet utslipp for BOS-komponenter i systemet er funnet å være 21-40 tonn CO₂-ekvivalenter (eq) avhengig av resirkuleringsgrad, hvor 21 tonn er ved fullstendig utnyttelse av resirkuleringspotensialet hos montasjesystem, kabelbro og kabler. Montasjesystem bidrar med 74 % av samlet utslipp, vekselrettere 22,3 % og ballast, kabelbro og kabler de resterende 3,7 %.

Datagrunnlaget for montasjesystem, ballast, kabelbro og kabler er solid, men for vekselretter noe svakere ettersom det er usikkerhet knyttet til materialmengder og resirkuleringspotensial. Videre studier bør derfor søke bedre data fra produsenter eller dekonstruksjon av en vekselretter.

Innkjøperen bør for ballast vurdere å kjøpe fra nærliggende marked ettersom transport (351 kg CO₂-eq fra Portugal og 1000 kg CO₂-eq fra India) lett kan overgå utslippene knyttet til produksjon (634 kg CO₂-eq). For montasjesystem som bidrar med 74 % av de samlede utslippene med et resirkuleringspotensial på 62 % bør system laget av resirkulerte materialer prioriteres. Kjøp av vekselrettere som har levetid lik eller lenger enn solcellemoduler vil også kunne bidra til en reduksjon i GWP.

Metoder for ansvarlige verdikjeder ble funnet gjennom intervju med representanter fra to bedrifter som kjøper og installerer solkraft, og ved litteratursøk. Det ble funnet indikasjoner på problemer i verdikjeder for kobber, aluminium og silikon til halvledere som alle er sentrale komponenter i vekselrettere. Oppgaven konkluderer med at selskaper bør kjenne sine verdikjeder, bruke leverandører med relevante sertifikasjoner og implementere retningslinjer for "oppfølging" med krav om signering i alle ledd av verdikjeden. I tillegg anbefales det å etablere leverandørrangeringssystemer samt bruke innkjøp som virkemiddel for endring i leverandørpraksis. Selskaper bør også bygge tillitsfulle, langsiktige relasjoner men samtidig etablere muligheter for diversifisering av verdikjeder som alternativer dersom problemer skulle oppstå.

Abstract

Substantial investments are anticipated to be made in renewable energy production across Europe by 2030, in line with the expectation of more stringent requirements for environmental impact reporting and value chain mapping. The problematic nature of solar panel value chains, particularly in relation to the exploitation of the Uyghur minority for forced labor in the Xinjiang region in China, underscores the importance of analyzing the value chains of other components within solar power systems.

The objective of this thesis was to map greenhouse gas emissions, in terms of Global Warming Potential (GWP), for inverters and other frequently utilized components in solar power installations. Further, it aimed to determine if there were challenges related to the value chains for inverters, akin to those for solar panels, and to identify methods that companies could employ to promote responsible value chains. The GWP for mounting systems was discovered to be 29500 Kg CO₂-eq, with a recycling potential of -18200 Kg CO₂-eq, while the ballast yielded 634 kg CO₂-eq. The total GWP for cable trays and cables was calculated as 484 kg CO₂-eq and 366 kg CO₂-eq respectively, with a combined recycling potential of -433 kg CO₂-eq. The overall emissions for Balance of System (BOS) components in a solar installation were found to be between 21-40 tons CO₂-eq, depending on the recycling rate. The lower figure is associated with the full utilization of the recycling potential of the mounting system, cable tray, and cables.

Although the data basis for the mounting system, ballast, cable tray, and cables is robust, the data for the inverter is somewhat weaker due to uncertainties linked to material quantities and recycling potential. Procurement decisions should consider local markets for the ballast, as transportation emissions (351 kg CO₂-eq from Portugal and 1000 kg CO₂-eq from India) can easily exceed production emissions (634 kg CO₂-eq). For mounting systems, which account for 74 % of total emissions, systems made from recycled materials should be prioritized. Additionally, the purchase of inverters with a lifespan equal to or longer than that of solar panels could further reduce GWP.

Component quantities were determined by modeling a reference system that uses a 110 kW inverter and 545 W solar panels. Greenhouse gas emissions for the inverter were calculated using the Life Cycle Assessment (LCA) method, the Ecoinvent database, SimaPro software, and by scaling Life Cycle Inventory (LCI) data for a 20 kW inverter. For the remaining components, data from Environmental Product Declarations (EPD) were used. The data regarding declared units were multiplied by the necessary quantities of components.

Methods for responsible value chains were identified through interviews with two companies engaged in the procurement and installation of solar power technology, as well as through a review of existing literature. Indications of problems in the value chains for copper, aluminum, and silicon for Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistors (MOSFET) – all crucial components in inverters – were found. The report concludes that companies should understand their value chains, use suppliers with relevant certifications, implement conduct guidelines requiring signatures at all levels of the value chain, establish supplier ranking systems, and use procurement as a tool for change in supplier practices. Furthermore, businesses should foster trustworthy, long-term relationships, while simultaneously establishing opportunities for value chain diversification as alternatives should issues arise.

Innhold

Forord	i
Sammendrag	ii
Abstract	iii
Begrepsliste	vi
1 Innledning	1
2 Bakgrunn for oppgaven	2
2.1 Verdikjeder for solenergi	2
2.2 Åpenhetsloven	3
2.3 Klimagassutslipp og FN's bærekraftsmål	4
3 Systembalanse komponenter og referansesystem	6
3.1 Inverter/vekselretter	6
3.1.1 Oppbygging av inverter	6
3.1.2 Monteringsystem for solcellemoduler	7
3.2 Modellering av referansesystem	7
3.3 PVsyst	8
4 Datagrunnlag for utslippsberegninger	9
4.1 PCR	9
4.2 EPD	9
4.3 LCA	10
4.3.1 Omfangsdefinisjon/goal and scope	10
4.3.2 Livssyklusinventar (LCI)	11
4.3.3 Livssykluspåvirkningsvurdering	12
4.3.4 Tolkning (Interpretation)	13
5 Metodikk	14
5.1 Referansesystemet	14
5.2 LCA av Inverter	16
5.3 Utslippsberegninger for monteringsystem	20
5.4 Utslippsberegninger for ballast	22
5.5 kabelbro og kabler	27
5.6 Samlet utslipp for referansesystem i GWP.	30
6 Sosial bærekraft	31
6.1 FN statistikk og Kina	33
6.2 Intervju med ESG-ansvarlige i bedrifter innenfor bransjen	34
6.3 Metoder for ansvarlige verdikjeder	36
6.3.1 Produsenter av vekselrettere	38
7 Beregnede utslipp	40
7.1 Beregnede utslipp for vekselretter	40
7.2 Beregnede utslipp for montasjesystem	43
7.3 Beregnede utslipp for balast	44
7.4 Beregnede utslipp for kabler og kabelbro	45
7.5 Samlede utslipp for BOS	48

8	Diskusjon	50
8.1	Montasjesystem	50
8.2	kabelbro og kabler	51
8.3	Ballast	52
8.4	Inverter LCA	53
8.5	Referansesystemet	55
8.6	Sosial bærekraft	57
9	Konklusjon	60
A	Vedlegg: LCI inverter	I
B	Vedlegg: Datagrunnlag	III
C	Vedlegg: Transport	LXI
D	Tabeller fra resultater	LXIII

Begrepsliste

AC	Alternating Current - Vekselstrøm
ADP-fossil	Forbruk av ikke-biologiske ressurser
AP	Forsuring av land- og vannmasser
BOS	Systembalanse komponenter, inkludere alle komponenter nødvendige for et solkraftsystem foruten solceller.
CO ₂	Karbondioksid
DC	Direct Current - Likestrøm
EP-freshwater	Eutrofiering, økt planteproduksjon forårsaket av økt tilførsel av næringssalter
EQ	Ekvivalent
EPD	Miljøvaredeklarasjon, standardisert måte brukt for å beskrive miljøpåvirkninger for et produkt.
GLO	Global
GWP	Globalt oppvarmingspotensial
GWP-biogenic	Globalt oppvarmingspotensial etter biodrivstoff
GWP-fossil	Globalt oppvarmingspotensial basert på fossile drivstoff
GWP-LULUC	Globalt oppvarmingspotensial, bruk av areal og endring i arealbruk
GWP-total	Globalt oppvarmingspotensial, summen av GWP-LULUC, Fossil og biogenic
H-bro	Elektronisk krets som bytter polariteten til en spenning påført en last
IMPPT	Strøm [A] ved maksimal effekt
Inverter	Vekselretter
kWh	Kilowatt time
kWp	Kilowatt peak
LCA	Livssyklusanalyse, teknikk for å vurdere miljøpåvirkning av prosess eller produkt.

LCI	Livssyklusinventar, data med inn og ut-strømmer av materialer og energi for en prosess eller produkt
LCIA	Livssyklus påvirkningsvurdering
MPPT	Søking av maksimalt effektpunkt mellom strøm og spenning.
ODP	Mål på ødeleggelse av ozonlag.
OECD	Organisasjonen for økonomisk samarbeid og utvikling
PBA	Kretskort
RoW	Resten av verden
WDP	Deprivasjon av vannressurser
XUAR	Xinjiang regionen i nordvest Kina

Figurer

2.1	De relevante bærekraftsmålene. Bildene er hentet fra FN [20]	5
5.1	Høgskoleringen sett fra luften med prosjekterte solcellemoduler.	14
5.2	Mål og omfang med LCA av inverter	16
5.3	Oppsett av delprosessene i SimaPro	18
5.4	Bergningsmetode Simapro	19
5.5	usikkerhetsanalyse: usikkerhetsdistribusjon basert på analyse i SimaPRO	19
5.6	Usikkerhetsanalyse distribusjon for aluminium til inverter.	20
5.7	Omfangs-moduler for LCA, A1-D [1]	20
5.8	Transportrute for ballast fra India til Norge [58].	23
5.9	Transportrute for ballast fra Portugal til Norge [58].	23
5.10	Tegninger for referansesystem med ballastfordeling. Blå ballast 77,2 kg pr punkt, 64 punkter. Rød ballast 33,6 kg, 66 punkter. Total ballastering for systemet 7160 kg.	24
5.11	Tabell for miljøpåvirkning fra produksjon av belegningsstein, fra EPD [7]	26
5.12	Kabelføring	27
5.13	Koblingsdiagram av solcellepanel til koblingsboks og vekselretter	28
7.1	Utslippsfordeling for delprosesser i produksjon av 110kw vekselretter. *PBA (printed board assembly)/kretskort. *Energy inkluderer kun energi til produksjon av vekselretter, ikke energi til produksjon av delkomponenter.	41
7.2	Inverter nettverk fra SimaPro	42
7.3	GWP montasjesystem	43
7.4	Utslipp transport portugal	44
7.5	Utslipp transport India	45
7.6	Logaritmisk fordeling av utslippsbidrag fra livssyklus moduler for kabling.	46
7.7	GWP Kabelbro i kg co2-eq, Moduler A1-A3 er produksjonsfase, C2 transport* og D resirkuleringspotensial.	47
7.8	Utslipp av BOS komponenter	48
7.9	Prosentvisfordeling ink. resirkulering	49
7.10	Prosentvisfordeling eks. resirkulering	49

Tabeller

5.1	Vekselrettere som referanse for beregning av LCI basert på vekt.	17
5.2	Tabell med resulterende påvirkningskategorier fra EPD for montasjesystem per m^2	21
5.3	Materialliste for montasjesystem [41]	21
5.4	Transportdistanser og tonn-kilometer for balast til Norge fra Norge, Argentina og India. *Medregnet i EPD (50 km Euro 6 Truck)	25
5.5	LCI for transport fra Portugal til Norge	26
5.6	LCI for transport fra India til Norge	26
5.7	Utslippsdata EPD for kabelbro	28
5.8	Utslippsdata for kabler	29
6.1	Markedsandeler basert på global frakt for ulike vekselretter produsenter fra WoodMackenzie [78]. *Other består av selskap med andel < 2 %.	31
7.1	Resultat etter påvirkningskategori for LCA analyse i SimaPRO av 1 stk 110 kW vekselretter. "cradle-to-gate". Utført med Consequential modellering.	40
7.2	Resultater for miljøpåvirkning av 260 m^2 montasjesystem. Råmaterialekstraksjon (A1-A4), demolering og avfallsprosessering (C1-C4), gjenvinningspotensial (D).	43
7.3	Resultater for miljøpåvirkning av produksjon av 7,16 tonn ballast (betongstein). Råmaterialekstraksjon (A1-A4), demolering og avfallsprosessering (C1-C4), gjenvinningspotensial (D).	44
7.4	Resultater for utslipp knyttet til kabler, totalt 1900 m, Råmaterialekstraksjon (A1-A4), demolering og avfallsprosessering (C1-C4), gjenvinningspotensial (D).	45
7.5	Miljøpåvirkning for 44 m med kabelbro til referansesystemet. Råmaterialekstraksjon (A1-A4), demolering og avfallsprosessering (C1-C4), gjenvinningspotensial (D).	46
7.6	Samlet utslipp for referansesystemet i Globalt oppvarmingspotensial, A1-A4, C1-C4 og D forklart i 5.7.	48
A.1	Livssyklusinventar for generell 110kw vekselretter, data fra international energy agency (IEA) [36].	I
A.2	II
C.1	Resultater for transport av 7,16 tonn ballast fra Portugal til Norge	LXI
C.2	Resultater for transport av 7,16 tonn ballast fra India til Norge	LXII
D.1	Resultat etter påvirkningskategori for LCA analyse av 1stk 110kw vekselretter. *A1-A4 er "cradle-to-gate". Utført med Attributional modellering. Denne tabellen ble ikke benyttet til videre beregning.	LXIII

1 Innledning

Europa går igjennom en energiomstilling med en rask utbygging av fornybar energiproduksjon fra både sol, vind og vann. Produksjonskapasiteten for solkraft i Europa er forventet å øke med 600 GW innen 2030 [52], noe som medfører store investeringer i fornybar energiproduksjon. Mye av den teknologien som brukes kjøpes fra Kina. Utfordringen med det er at det har blitt avdekket bruk av tvangsarbeid i verdikjeder innenfor solenergi med tanke på silisiumbaserte solcellemoduler fra landet [26]. Industrien må ta slike forhold alvorlig av etiske grunner, eget omdømme og med tanke på lovverk [37].

Bærekraftige verdikjeder er dekket i FN's bærekraftsmål [20]. Norske bedrifter er også nødt til å forholde seg til åpenhetsloven [37]. I og med at det skal gjøres store investeringer fremover er det viktig at pengene går til bedrifter og økonomier som opererer på etisk forsvarlige måter. Det er derfor flere grunner til hvorfor det er interessant å se på verdikjeder med tanke på fornybar energi, kanskje spesielt innenfor solenergi.

Det er tidligere avdekket problematiske forhold i sammenheng med solcellemoduler [26]. Spørsmålet er om dette også kan omfatte andre viktige komponenter som inngår i solkraft. Vekselrettere/invertere er et eksempel på en viktig komponent som brukes i alle solkraftanlegg som skal levere kraft til nettet, både små og store. I tillegg til bærekraftige verdikjeder ønsker ANEO å operere på bærekraftige måter med tanke på blant annet klimagassutslipp. Det er også grunn til å tro at store aktører også Norge vil måtte føre mer omfattende klimagassregnskap ved introduksjonen av CSRD (Corporate sustainability reporting directive)[14][15].

Den midtnorske fornybare aktøren ANEO ønsker å vite mer om utslipp og verdikjeder med tanke på vekselrettere samt utslipp for andre "balance-of-system" (BOS) komponenter som ikke er direkte energiproduserende men nødvendige for systemets funksjon. Det er dette oppgaven skal kartlegge og de viktigste spørsmålene som skal besvares i oppgaven er:

- Hva er klimagassutslippene fra en generell 110 kW inverter fra et livssyklusperspektiv?
- Hva er klimagassutslipp for ballast, kabler, kabelbro og montasjesystem. Hva er samlet klimagassutslipp for disse BOS komponentene og hvor stor andel bidrar hver enkelt med?
- Finnes det utfordringer knyttet til verdikjeder for vekselrettere med tanke på sosial bærekraft?
- Hvilke metoder finnes for å jobbe mot ansvarlige verdikjeder?
- Hvor mye utgjør utslippene fra transport av ballast dersom det kommer fra India, Portugal eller Norge?

For å besvare disse problemstillingene skal det brukes livssyklusanalyse med bruk av SimaPro og ecoinvent databasen der det er nødvendig og EPD dokumenter der det er mulig. Et referansesystem som benytter 110 kW inverter skal modelleres med bruk av PVsyst, slik at det vil være mulig å vite omtrent hvor mye av de ulike BOS komponentene som trengs. Videre gjøres det litteratursøk og intervju med bedrifter som omsetter solkraftteknologi for å identifisere metoder som kan brukes for å sikre ansvarlige verdikjeder.

2 Bakgrunn for oppgaven

Bakgrunnen for denne bacheloroppgaven er tre-delt. ANEO som bedriftskontakt og oppgavegiver ønsker å vite mer om utslipp fra "Balance-of-system" (BOS) komponenter til solkraftproduksjon. Oppgaven skal forsøke å imøtekomme dette ved bruk av livssyklusanalyse og EPD på individuelle BOS komponenter. I tillegg kom det i 2021 en ny lov kalt åpenhetsloven som stiller nye krav til bedrifters ansvar, som er spesielt knyttet til sosiale bærekraftsvurderinger i sammenheng med bedriftens verdikjeder og virksomhet, også kalt aktsomhetsvurdering. Det er også lagt frem en rekke rapporter, blant annet "In broad daylight" [26] som viser til funn som gir god grunn til å tro at store deler av verdikjeden for silisium til solceller benytter tvangsarbeid fra minoriteter i uyguhur regionen i Kina. Dette gir grunn til å tenke at det samme også kan omfatte andre verdikjeder, slik som globale verdikjeder for elektriske komponenter med aluminium [54]. På bakgrunn av dette kan det være interessant å se på andre komponenter som inngår i et solkraftsystem utenom solcellemodulene.

2.1 Verdikjeder for solenergi

I 2021 publiserte Kennedy centre for national justice I USA en rapport med navnet "In broad daylight" [26] som bidro til å sette søkelyset på problemer i verdikjedene for solenergi over hele verden. Kina hadde selv i 2020 gitt ut en rapport som fortalte om overflødig arbeidskraft, arbeidsoverføring og omplassering av 2,6 millioner borgere i og fra Uyghur regionen. Kina sier at disse omplasseringsprogrammene er i takt med kinesisk lov og at arbeiderne er frivillig med i et koordinert tiltak for å minske fattigdommen i regionen. Rapporten har sådd sterk tvil vedrørende disse påstandene.

Rapporten kunne demonstrere hvordan XPCC (Xinjiang production and construction corps) på vegne av Kina har lagt til rette for bruk av uygur-minoreten til tvangsarbeid. Dette blir maskert som et tiltak for å bli kvitt fattigdom i regionen samt økonomisk oppløfting. Arbeidet er i følge rapportene heller anskaffet ved bruk av sterk overbevisning og ved trusler som internering og omskolering. Mange blir tatt vekk fra familiene sine uten mulighet til å forlate arbeidet. Rapporten konkluderer at verdikjeden for solkraftindustrien er spesielt sårbar for tvangsarbeid. Dette fordi 95 % av solcellemoduler er avhengig av "solar grade polysilicon" og polysilikon fabrikanter i uygur regionen står for 45 % av verdens globale forsyning av dette silisiumet [26].

Kina produserte i tillegg 30 % av verdens etterspørsel utenfor Xinjiang. Det er også grunn til å tro at programmet når utenfor regionen, gjennom fraktning av arbeidskraft og gjennom blanding av silisium som er både etisk og uetisk fremstilt. Omplasseringsprogrammene omfatter også andre industrier. Lignende arbeid som det i "In Broad Daylight"-rapporten, peker på problemer i verdikjedene for blant annet aluminium og kobber fra Xinjiang [54] [17] til bruk i blant annet bilindustrien. Dette gjør at andre komponenter av solenergisystem slik som vekselrettere, kan inneholde "skitne" metaller. Det er derfor verdt å undersøke med tanke på innkjøpsprosesser, spesielt med tanke på åpenhetsloven som omfattes i neste kapittel.

2.2 Åpenhetsloven

Åpenhetsloven, også kjent som Lov om virksomheters åpenhet og arbeid med grunnleggende menneskerettigheter og anstendige arbeidsforhold, ble innført i Norge i 2021 og trådte i kraft fra 1. juli 2022 [37]. Lovens formål er å fremme respekt for grunnleggende menneskerettigheter og anstendige arbeidsforhold i forbindelse med produksjon av varer og levering av tjenester, samt å sikre offentligheten tilgang til informasjon om hvordan virksomheter håndterer negative konsekvenser for grunnleggende menneskerettigheter og anstendige arbeidsforhold.

Lovens virkeområde gjelder for større virksomheter i Norge som tilbyr varer og tjenester i eller utenfor landet. Det gjelder også for større utenlandske virksomheter som tilbyr varer og tjenester i Norge og som er skattepliktige til Norge etter norsk lovgivning. Loven definerer større virksomheter som omfattes av regnskapsloven § 1-5, eller som på balansedagen overskrider grensene for to av følgende tre vilkår: salgsinntekt på 70 millioner kroner, balansesum på 35 millioner kroner og gjennomsnittlig antall ansatte i regnskapsåret på over 50 årsverk.

Virksomhetene skal utføre aktsomhetsvurderinger i tråd med OECDs retningslinjer for flernasjonale selskaper [45]. Med aktsomhetsvurderinger menes å forankre ansvarlighet i virksomhetens prosesser, kartlegge og vurdere faktiske og potensielle negative konsekvenser for grunnleggende menneskerettigheter og anstendige arbeidsforhold som virksomheten enten har forårsaket eller bidratt til, eller som er direkte knyttet til virksomhetens leverandørkjede eller forretningspartnere.

Loven gir også rett til innsyn i virksomhetenes aktsomhetsvurderinger. Dette vil gi allmennheten mulighet til å følge med på hvordan virksomheter håndterer konsekvensene av sin virksomhet, både for menneskerettigheter og arbeidsforhold. Ved brudd på loven kan det føre til tvangsmulkt, offentliggjøring av overtredelsen og stansing av produksjon eller levering av varer og tjenester.

Lovens definisjoner inkluderer begreper som grunnleggende menneskerettigheter, anstendige arbeidsforhold, leverandørkjede og forretningspartnere. Departementet kan gi forskrift om hva som anses som grunnleggende menneskerettigheter og anstendige arbeidsforhold, og hvordan aktsomhetsvurderinger skal utføres. Loven gir også mulighet for departementet til å fastsette nærmere krav til innholdet i aktsomhetsvurderingene.

Virksomhetene er pålagt å rapportere om sine aktsomhetsvurderinger, samt hvilke tiltak som er iverksatt for å forebygge og redusere negative konsekvenser med tanke på grunnleggende menneskerettigheter og anstendige arbeidsforhold. Rapporteringen skal skje årlig og være offentlig tilgjengelig.

Åpenhetsloven er en viktig del av norsk lovgivning for å sikre arbeid for grunnleggende menneskerettigheter, både nasjonalt og internasjonalt. Loven er et resultat av Norges forpliktelser som medlem av FN og OECD, og er en del av arbeidet med å fremme bærekraftig utvikling og ansvarlig næringsliv.

2.3 Klimagassutslipp og FN's bærekraftsmål

Bærekraft er en stadig viktigere faktor for dagens industri. Fra å redusere avfall og utslipp til å øke energieffektiviteten og utnytte alternative energikilder, har bærekraftige løsninger blitt en nødvendighet for å sikre langsiktig suksess og overlevelse for bedrifter.

Bærekraft påvirker dagens industrier gjennom f.eks miljøreguleringer. Bedrifter må tilpasse seg lover og regler med hensyn til både klimagassutslipp og farlige avfallsstoffer. En bevisstgjøring rundt klima og natur gjør også at en god del forbrukere lener mot kjøp av bærekraftige produkter. Dette har ført til en økt etterspørsel etter produkter og tjenester som er produsert på en bærekraftig måte. Bedrifter som ikke tar hensyn til bærekraft risikerer å miste markedsandeler og kunder til konkurrenter som gjør det.

Aneo Real Estate AS er interessert i informasjon om klimagassutslipp knyttet til produktene de kjøper til sin virksomhet. Klimagassutslipp og bærekraftsvurderinger får større og større betydning ettersom nye nasjonale mål settes og direktiver utarbeides og trer i kraft. Det nye CSRD (Corporate Sustainability Reporting Directive) er et eksempel på dette [14]. Det er et kommende EU-direktiv som endrer regnskapsdirektivet for bedrifters rapportering om bærekraftsforhold. Målet er å gi bedre og mer tilgjengelig informasjon om selskapers bærekraftsforhold for investorer, forbrukere, myndigheter og andre interessenter.

De nye reglene gjelder for børsnoterte selskaper og andre selskaper som overstiger visse terskler knyttet til balansesum, omsetning og antall ansatte. I EU skal første rapportering gjøres i 2025 (for regnskapsåret 2024) av børsnoterte selskaper/konsern og enkelte finansforetak med flere enn 500 ansatte. Direktivet vil være fullt ut gjennomført i 2029. For Norge er det ventet at de nye reglene blir tatt inn i regnskapsloven og kanskje revisorloven, men det er uklart når dette vil skje [15].

Selskapene skal rapportere om bærekraftsforhold knyttet til miljø, sosiale rettigheter, menneskerettigheter og selskapsstyring (ESG). Rapporteringen skal inneholde informasjon om selskapets påvirkning på bærekraftsforhold og hvordan disse påvirker selskapets utvikling, resultater og stilling. Dette vil inkludere "scope 3" som omhandler indirekte utslipp knyttet til f.eks produkter som kjøpes inn fra utlandet. Det vil også bli stilt minstekrav til informasjonen, og det forventes detaljerte standarder for innholdet. med tanke på dette er det spesielt relevant å kartlegge informasjon miljøpåvirkninger slik som klimagassutslipp.

Det blir mer og mer aktuelt for ingeniøren å arbeide/tenke på en bærekraftig måte. Ved fornybar energi studiet på NTNU er det emner slik som ingeniørfaglig systemtenkning (INGT2300) hvor halvparten av pensum omfatter bærekraftig tenkning. Norge er en av grunnleggerne av FN og tidligere statsminister Gro Harlem Brundtland som leder for brundtlandkommisjonen (1983) var med å definere bærekraft slik det forstås idag. Norge forholder seg til og er med å bidra til målene. Derfor er det viktig at man tar for seg de relevante bærekraftsmålene fra FN [20] når et prosjekt skal settes i gang. Siden dette prosjektet tar for seg både utslipp og sosiale forhold finnes det flere bærekraftsmål som må betraktes for bakgrunn for denne oppgaven.

Bærekraftige løsninger kan også føre til kostnadsbesparelser for bedrifter. For eksempel kan reduksjon av avfall og utslipp redusere kostnadene knyttet til behandling og avhending av avfall. Videre kan bruk av alternative energikilder som sol og vindkraft bidra til å redusere energikostnadene på lang sikt.

For å støtte bærekraft i industri og øke bevisstheten om betydningen av bærekraftige praksiser, har flere organisasjoner blitt etablert. Et eksempel på dette er The Sustainability Consortium, som er en global organisasjon som jobber for å fremme bærekraftig produksjon og forbruk. Organisasjoner som denne gir retningslinjer og standarder for bedrifter som ønsker å forbedre sin bærekraftige praksis[69]. Solindustrien har en viktig rolle i overgangen fra en fossilbasert til fornybar energiproduksjon [38]. Det finnes både bidrag til oppnåelse av bærekraftsmål men også utfordringer, eksempler på relevante mål kan være FN's bærekraftsmål nr 7, 8, 12 og 13:

FNs bærekraftsmål 7:

Når det er snakk om solenergi så vil spesielt bærekraftsmål nummer 7 "Ren energi til alle" [51] være et relevant mål. Dette målet går i hovedsak ut på å levere bærekraftig, moderne, pålitelig og rimelig energi til alle. Dette er noe solenergi kan bidra til ved å øke mengden fornybar energi i verdens energimiks.

FNs bærekraftsmål 8:

Det er tidligere vist til anklage om menneskerettighetsbrudd gjennom bruk av tvangsarbeid i uyghur regionen i Kina. Derfor vil bærekraftsmål nummer 8 "anstendig arbeid og økonomisk vekst" [4] være relevant med tanke på de sosiale forholdene. Det er grunnet at bærekraftsmål 8 i hovedsak går ut på anstendig arbeid. Det innebærer at arbeidstakerne har en levbar lønn og gode arbeidsforhold.

FNs bærekraftsmål 12:

Bærekraftsmål nummer 12 "Ansvarlig forbruk og produksjon" [5] går i hovedsak ut på å klare å gjøre mer med mindre ressurser. Dette er noe som vil være relevant for de fleste prosjekter da det på sikt vil føre til mindre avfall og lavere utslipp, noe som vil lede til en bærekraftig produksjon. Solkraft krever ressurser i produksjon men vil senere produsere ren energi i mange år. Teknologien har også den fordelen at det er mulig å utnytte eksisterende menneskelig arealbruk slik som bygningstak.

FNs bærekraftsmål 13:

Bærekraftsmål 13 "Stoppe klimaendringene" [63] omhandler i all hovedsak om å arbeide for at gjennomsnittstemperaturen på kloden ikke øker med mer enn 1,5° Celsius. I hovedsak vil dette målet gå ut på å minske klimagassutslippene fra energiproduksjon for å sakke ned klimaendringene på lang sikt. Fornybar energi tjener ikke denne hensikten dersom den gir mer utslipp når teknologien produseres enn den erstatter, med dette er det viktig å undersøke utslipp knyttet til produksjon av disse teknologiene samt undersøke hvor det eventuelt kan gjøres endringer.



Figur 2.1:
De relevante bærekraftsmålene.
Bildene er hentet fra FN [20]

3 Systembalanse komponenter og referansesystem

3.1 Inverter/vekselretter

En inverter til et solcelleanlegg konverterer likestrøm (DC) som genereres av solcellepanelene om til vekselstrøm (AC) med en bestemt frekvens og spenning, vanligvis 230V-50 Hz, som kan brukes til å drive apparater og andre enheter i et hjem eller lignende.

Når solcellepaneler utsettes for sollys, produserer de likestrøm, som deretter mates inn i omformerer. Omformerer transformerer deretter denne likestrømmen til vekselstrøm, som egner seg for bruk i bygningens elektriske system og det elektriske nettet.

Streng-invertere, mikroinvertere og strømoptimalisatorer er bare noen av invertertypene som kan brukes i solcelleanlegg. I motsetning til mikroinvertere, som er koblet til individuelle solcellepaneler, og strømoptimalisatorer, som er koblet til hvert panel og øker effekten av panelene, er strenginvertere den mest populære typen og kobles til en streng med solcellepaneler.

Invertere spiller en rekke viktige roller i et solcelleanlegg, for eksempel overvåking av systemets ytelse og tilbyr sikkerhetsfunksjoner som beskytter mot elektriske farer, i tillegg til å konvertere DC-elektrisitet til AC-elektrisitet.

Totalt sett er omformere avgjørende for driften av solcelleanlegg fordi de muliggjør konvertering av likestrøm som blir produsert av solcellepaneler, til brukbar vekselstrøm som kan brukes til å drive hjem og bedrifter [16].

3.1.1 Oppbygging av inverter

Invertere består i hovedsak av følgende komponenter:

- Microkontroller
- Bipolar transistor
- H-bro
- MOSFET
- Filter (RC eller LC)
- Transformator

Microkontrolleren er den viktigste og integrerte delen av en inverter. Mikrokontrolleren sin hovedoppgave er å kontrollere vekslingen av signaler i henhold til kravene. En bipolar transistor er en enhet som er i stand til å kontrollere flyten av strøm. En H-bro er en elektronisk krets som snur om polariteten til en spenning som er påført en last. MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor-Field-Effect-Transistor) er en spennings-kontrollert enhet som krever veldig lav spenning for å kunne operere. MOSFET fungerer som en elektrisk bryter og forsterker som kontrollerer mengden elektrisitet som kan strømme mellom kilde- og utgangsterminalene [76]. Filteret filtrerer mellom høy- og lave frekvenser og velger hvilke som skal slippe gjennom. Transformatoren øker eller senker de elektriske spenningene [42]. Vekselrettere har ulik grad av effektivitet og energitap uttrykkes som varme. Varmeutvikling gir dårligere virkningsgrad noe som motvirkes ved bruk av kjøleribber som gjerne består av aluminium eller andre varmeavledende materialer.

3.1.2 Monteringsystem for solcellemoduler

ANEO Real Estate AS jobber med prosjektering av solkraftanlegg på industribygninger. Dette innebærer altså i hovedsak prosjekter på flate tak.

Det finnes to hovedtyper av monteringsystemer for solceller på flate tak: ballastmontering og ikke-ballastmontering [31]. Ballastmontering innebærer å bruke vekt som ballast, som betongblokker eller stein, for å holde solcellepanelene på plass på taket. Ballasten plasseres på montasjesystemet som solcellepanel ligger på for å hindre dem i å flytte seg og for å sikre at de ligger flatt på taket. Dette er vanligvis en enkel og kostnadseffektiv monteringsmetode, men den krever et solid tak som kan støtte vekten av ballasten.

Den andre typen monteringsystem for solceller på flate tak er ikke-ballastert montering, der montasjesystemet festes direkte til taket med skruer eller bolter. Dette kan være et godt alternativ hvis taket ikke er sterkt nok til å bære vekten av ballasten, eller hvis det er bekymringer om vind og sikkerhet. Ikke-ballastert montering kan være mer kostbart og krever mer arbeid for installasjonen, men det kan gi mer stabilitet og holdbarhet på lang sikt.

Uansett hvilken type monteringsystem som brukes, er det viktig å ha riktig design og dimensjonering av monteringsstrukturen for å håndtere vind- og snøbelastning, og å sikre at monteringsystemet ikke vil påvirke takets vanntetting eller føre til lekkasjer. Solcellepanelene må også være riktig orientert og justert for å maksimere sollyset som faller på dem.

Dersom man skal kunne vurdere utslipp knyttet til disse monteringsystemene er det hensiktsmessig å inkludere ballasten i de tilfeller hvor dette brukes. Ballasten er i sin natur tung og gjerne laget i betong og har derfor utslipp knyttet til produksjon og transport.

3.2 Modellering av referansesystem

For å kunne konkretisere utslippsberegninger knyttet til produksjon av solkraft kan det være hensiktsmessig å se på et referansesystem. Grunnen til dette er blant annet at behov for ulike BOS komponenter på virkes av forskjellige forhold og valg. Til eksempel så gir vekselretter en ”grense” for hvor mange kWp med solcellepanel som kan installeres. Videre gir panelene et behov for montasjesystem, ballast, kabling og så videre avhengig av sin virkningsgrad. med tanke på at det skal kartlegges utslipp så er det nødvendig å vite hvor store mengder av hver komponent som er nødvendig. Dette referansesystemet kan modelleres i ulike programvarer, i denne oppgaven brukes PVsyst.

Det Internasjonale Energibyrået (IEA) sitt Photovoltaic Power Systems (PVPS) program anbefaler følgende parametere som skal rapporteres i PV LCA studier[50]: strålingsnivå og sted, modul effektivitet, ytelsesforhold, tidsramme for data, type system (f.eks. takmontert, bakke-montert fast vinkel eller sporings-system), forventet systemlevetid, nedbrytningsforhold for PV og BOS, systemets grenser, produksjonssted og formål med studien [50]. Deler av dette presenteres senere i kapittel 5.1

Referansesystemet vil gjennomgås av ANEO som har kunnskap om både prosjektering og installasjon av solkraft og praktisk kompetanse til å vurdere systemet som realistisk eller ikke. Det er et ønske om å prosjektere et system som fungerer i praksis slik at resultater med tanke på utslipp blir mest mulig representative for virkelige prosjekt.

3.3 PVsyst

PVsyst tilbyr funksjoner og verktøy for å hjelpe brukerne med å planlegge, dimensjonere og analysere solcelleanlegg. De viktigste funksjonene inkluderer [40]:

Systemdesign: PVsyst kan brukes gjennom å velge ulike komponenter, som solcellepaneler, invertere og batterier, og kombinere dem for å skape et fullstendig solcellesystem. Det er mulig å tilpasse systemets konfigurasjon og å modellere "layout" av solcellemoduler slik at de kan tilpasses forskjellige tak og forhold.

Meteo-data: Programvaren inkluderer meteorologiske data fra flere kilder, som kan brukes til å estimere solinnstråling og temperaturforhold på installasjonsstedet. Dette hjelper med å beregne systemets energiproduksjon og effektivitet.

Simulering og analyse: PVsyst kan brukes til å simulere systemets ytelse over tid, og gir detaljert informasjon om energiproduksjon, effektivitet, tap og økonomiske aspekter. Man kan også sammenligne ulike designalternativer og velge det mest kostnadseffektive og høytytende systemet.

Skyggeanalyse: Programvaren gir muligheten til å modellere og analysere skyggeeffekter fra nærliggende strukturer, trær eller andre hindringer. Dette kan hjelpe til med å finne den optimale plasseringen av solcellepaneler og minimere effekten av skygge på systemets ytelse.

med tanke på utslippsanalyse kan dette brukes til å modellere et realistisk system med de nødvendige parameter og mengder som trengs av forskjellige komponenter.

4 Datagrunnlag for utslippsberegninger

For å kunne si noe om utslipp av klimagasser i forbindelse med BOS komponenter til solkraft, skal det i denne oppgaven benyttes EPD sertifiseringer og livssyklusanalyse (LCA).

En livssyklusanalyse ser på forskjellige miljøpåvirkninger gjennom et produkts livssyklus avhengig av hvilke systemgrenser man setter. F.eks kan dette innebære alt fra materialekstraksjon for produksjon til resirkulering av produktet når det har tjent sin funksjon 5.2.

En EPD eller "Environmental Product Declaration" lages med bakgrunn i PCR (Product Category Rules). Videre følger teori rundt PCR, EPD og LCA og hvordan disse kan brukes for å kartlegge samlet utslipp fra ulike produkter og deler av et system.

4.1 PCR

Product Category Rules (PCR) er retningslinjer som bidrar til å sikre miljøvennlighet og miljøpåstander for en bestemt produktkategori [68]. De gir et sett med kriterier og krav som et produkt må oppfylle for å betraktes som miljøvennlig, og de hjelper med å verifisere nøyaktigheten av miljøpåstander om produktet.

PCR utvikles som regel av en tredjepart, for eksempel en sertifiseringsorganisasjon slik som EPD International [68], i samarbeid med eksperter innen den spesifikke produktkategorien, bransjeaktører og andre relevante parter. Formålet med PCR er å gi en konsistent og transparent grunnlag for å vurdere miljøvennligheten av produkter, noe som gjør det enklere for forbrukere og bedrifter å forstå produktets miljøpåvirkning.

Kriterier og krav som beskrives i PCR kan variere avhengig av produktkategori og produktets hensikt. For eksempel kan en PCR for en produktkategori som papir ta hensyn til faktorer som kilder til råvarer, energiforbruk under produksjon og tilstedeværelse av gjenvunnet innhold, mens en PCR for en produktkategori som elektronikk kan ta hensyn til faktorer som tilstedeværelse av farlige stoffer, bruk av fornybar energi under produksjon og avfallsbehandlingsmuligheter etter produktets levetid.

4.2 EPD

Environmental Product Declarations (EPD) [67] er sertifikasjoner som gir en detaljert beskrivelse av produktets livssyklusmiljøpåvirkning. De gir en objektiv vurdering av produktets miljøegenskaper, og de gir informasjon om hvordan produktet påvirker miljøet under produksjon, bruk og avhending.

EPDer er utarbeidet i henhold til standardiserte prosedyrer og metoder for livssyklusvurdering (LCA), og de gir en objektiv vurdering av miljøpåvirkningen til et produkt. De inneholder informasjon om produktets påvirkning på klima, energi, vannbruk, avfall og andre relevante miljøindekser.

EPDer er relatert til Product Category Rules (PCR) fordi de begge har til hensikt å vurdere miljøpåvirkningen til produkter. Mens PCR gir en fastsatt liste over kriterier og krav som et produkt må oppfylle for å betraktes som miljøvennlig, gir EPD en mer detaljert beskrivelse av produktets virkelige miljøegenskaper. EPDer brukes ofte som en del av PCR-prosessen, fordi de gir en mer detaljert beskrivelse av produktets miljøpåvirkning, og de gir grunnlag for en mer nøyaktig vurdering av produktets miljøegenskaper.

4.3 LCA

For å kartlegge klimagassutslipp for BOS komponenter skal det som sagt i denne oppgaven også brukes LCA. En LCA, eller en livssyklusanalyse, er en systematisk analyse av miljøpåvirkningene som er knyttet til en tjeneste, en prosess eller et produkt gjennom hele eller deler av levetiden. Dette kan inkludere utvinning av råvarer og frem til resirkulering. Hovedmålet med en LCA er å gi et helhetlig bilde av miljøkonsekvensene av et produkt eller et system, slik at man kan identifisere muligheter for forbedringer og ta informerte valg angående designendringer eller mer bærekraftige alternativer[49].

LCA-metodikken i denne oppgaven er basert på standardene ISO 14040[27]- og ISO 14044[28]. Disse standardene gir retningslinjer for gjennomføring av LCA og hvordan resultatene styres. De samme standardene gjelder for samtlige EPD dokumenter som benyttes i oppgaven.

En LCA-prosess består gjerne av fire hovedfaser [32]:

- 1 Mål og omfang
- 2 Konsekvensvurdering
- 3 Livssyklusinventar/LCI
- 4 Tolkning

4.3.1 Omfangsdefinisjon/goal and scope

Mål- og omfangsdefinisjon er den første fasen i en livssyklusvurdering og danner grunnlaget for hele studien. Dette trinnet er avgjørende for å etablere konteksten og avgrensningene for vurderingen og sikre at LCA-studien er relevant, pålitelig og konsistent [32].

Stadiet beskriver formålet, den tiltenkte bruken og målgruppen for studien. Målet skal være tydelig og presist formulert og bør inkludere detaljer om de viktigste spørsmålene som studien søker å svare på, samt eventuelle spesifikke krav eller begrensninger som er relevante for den tiltenkte bruken. Omfangsdefinisjonen beskriver de tekniske og metodiske aspektene av LCA-studien og inkluderer følgende komponenter:

- Systemgrensene definerer hvilke deler av et produkts, prosess eller en tjenestes livssyklus som skal inkluderes i studien. Systemgrensene kan være begrenset til en enkelt livssyklusfase (f.eks. produksjon) eller inkludere hele livssyklusen fra råvareutvinning til avfallshåndtering.
- Den funksjonelle enheten er en kvantifisert enhet som representerer den primære funksjonen til produktet, prosessen eller tjenesten som vurderes. Den funksjonelle enheten er grunnlaget for sammenligning i LCA-studien og sikrer at resultater og konklusjoner er relevante og meningsfulle.
- Allokering er prosessen med å fordele miljøbelastninger og ressursbruk mellom ulike produkter, prosesser eller tjenester når de deler felles ressurser.

- Påvirkningskategorier er de miljøproblemene som vurderes i LCA-studien, for eksempel klimaendringer, ressursutarming og økotoksisitet. Valg av påvirkningskategorier bør være basert på relevansen for studiens mål og omfang, og de spesifikke kravene og interesser for de tiltenkte brukerne.

Ved å definere mål og omfang på en tydelig og omfattende måte, legger LCA-utøveren grunnlaget for en vellykket LCA-studie og sikrer at de påfølgende fasene – livssyklusinventar (LCI), livssykluspåvirkningsvurdering (LCIA) og tolkning – er korrekt utført og støttet av en solid metodisk ramme. Mål- og omfangsdefinisjonen fungerer som en veiledning for datainnsamling, analyse og tolkning av resultater, og bidrar til å sikre at LCA-studien genererer meningsfull og pålitelig informasjon for beslutningstaking og kommunikasjon med interessenter.

4.3.2 Livssyklusinventar (LCI)

Livssyklusinventar er den andre fasen av en LCA og innebærer innsamling, kvantifisering og dokumentasjon av data knyttet til inndata og utdata for et produkt, prosess eller tjeneste gjennom hele livssyklusen. LCI er avgjørende for å identifisere material- og energistrømmer, utslipp og avfallsproduksjon i hvert trinn av livssyklusen, fra råvareutvinning til produksjon, bruk og avfallshåndtering.

LCI består av flere trinn [32]:

- Innsamling av data om ressursbruk, energiforbruk og utslipp knyttet til hvert trinn i livssyklusen. Dette kan omfatte primærdata som er samlet direkte fra produsenter og leverandører, samt sekundærdata fra publiserte kilder, databaser og tidligere LCA-studier.
- Vurdering av datakvaliteten for å sikre at dataene er representative, nøyaktige og relevante for studiens mål og omfang. Datakvalitetskriteriene kan omfatte geografisk, teknologisk og tidsmessig representativitet, samt usikkerhetsnivåer.
- Fordeling av inndata og utdata mellom ulike produkter, prosesser eller tjenester når de deler felles ressurser eller påvirkninger. Dette kan involvere bruk av allokeringsprosedyrer basert på fysisk kausalitet, økonomiske verdier eller systemutvidelsesmetoder.
- Kombinering av data for å kvantifisere inndata og utdata for hele livssyklusen til produktet, prosessen eller tjenesten. Dette kan omfatte aggregering av data for ulike livssyklusfaser, prosesskomponenter og geografiske regioner.
- Dokumentasjon og rapportering av LCI-data, inkludert beskrivelser av datakilder, metoder, antagelser, usikkerheter og begrensninger. Dette er viktig for å sikre transparens, sporbarhet og etterprøvbarehet av LCI-resultatene og for å støtte tolkningen av LCA-resultatene og beslutningstaking.

Datakvalitet og representativitet er viktige faktorer for et robust LCI. Transparent og nøyaktig dokumentasjon av datakilder, metoder og antagelser bidrar til å sikre at LCI-resultatene er pålitelige og relevante for LCA-studiens mål og omfang. Usikkerheter og mangler i data bør erkjennes og dokumenteres for å lette tolkningen av resultatene og støtte beslutningstaking.

4.3.3 Livssykluspåvirkningsvurdering

Dette er den tredje fasen av en livssyklusvurdering og innebærer å koble og kvantifisere de miljøpåvirkningene som er knyttet til inndata og utdata identifisert i livssyklusinventaret. LCIA har som mål å vurdere potensielle miljøpåvirkninger over hele livssyklusen til et produkt, en prosess eller en tjeneste og gir et grunnlag for å sammenligne alternativer og prioritere tiltak for å redusere miljøbelastningen.

LCIA-prosessen består av flere trinn [32]:

- Påvirkningskategorier er de miljøproblemene som vurderes i LCA-studien, for eksempel klimaendringer, ressursutarming, ozonnedbrytning og økotoksisitet. Valg av påvirkningskategorier bør være basert på relevansen for studiens mål og omfang, og de spesifikke kravene og interesser for de tiltenkte brukerne.
- Klassifisering innebærer å tilordne LCI-resultatene (inndata og utdata) til de valgte påvirkningskategoriene. Dette trinnet innebærer å koble hver inndata og utdata til en eller flere påvirkningskategorier basert på deres potensielle miljøpåvirkning.
- Karakterisering innebærer å kvantifisere bidraget fra hver inndata og utdata til de valgte påvirkningskategoriene. Dette gjøres ved å multiplisere mengden av hver inndata og utdata med en karakteriseringsfaktor som representerer deres relative potensielle miljøpåvirkning. Karakteriseringsfaktorer er utviklet basert på vitenskapelig kunnskap og forskning og kan variere avhengig av metoden som brukes for LCIA. I denne oppgaven benytte CML-IA baseline V3.07.
- Normalisering, vekting og aggregering er valgfrie trinn i en LCA analyse som kan bidra til å sette funnene i perspektiv og bidra til muligheter for sammenligning av teknologier.

Det er viktig å merke seg at LCIA-resultatene skal tolkes med forsiktighet og i konteksten av mål- og omfangsdefinisjonen og LCI-dataene. Usikkerheter og begrensninger i data og metoder bør erkjennes og kommuniseres for å sikre at LCIA-resultatene er pålitelige og relevante for beslutningstaking og kommunikasjon med interessenter.

4.3.4 Tolkning (Interpretation)

Tolkning er den fjerde og siste fasen av en LCA, hvor resultatene fra LCI og LCIA blir analysert og tolket for å trekke konklusjoner, anbefalinger og støtte beslutningstaking. Tolkningen har som mål å identifisere og forstå hoveddriverne for miljøpåvirkning, vurdere robustheten og usikkerheten i LCA-resultatene og kommunisere funnene på en klar og sammenhengende måte til beslutningstakere og interessenter.

Tolkningen kan omfatte følgende trinn [32]:

- Identifisering av sentrale problemstillinger. Dette innebærer å identifisere de mest betydningsfulle miljøpåvirkningene og ”hotspots” i livssyklusen til produktet, prosessen eller tjenesten. Dette kan hjelpe til med å fokusere innsatsen på å redusere miljøbelastningen og prioritere tiltak og strategier for forbedring.
- En eventuell følsomhetsanalyse utforsker hvordan endringer i metoder, data, antagelser og usikkerheter kan påvirke LCA-resultatene. Dette kan hjelpe til med å identifisere de mest usikre og innflytelsesrike faktorene i LCA-studien og støtte forbedring av datakvalitet og metodevalg.
- Usikkerhetsanalyse vurderer og kvantifiserer usikkerhetene som er forbundet med data og metoder som brukes i LCI og LCIA.
- Det er også mulig å gjøre en konsistenskontroll med tanke på relevante standarder og kritisk gjennomgang av uavhengige eksperter.
- Rapportering og kommunikasjon som innebærer å presentere og formidle LCA-resultatene. Rapportering og kommunikasjon bør inkludere en beskrivelse av mål og omfang, datakilder, metoder, antagelser, usikkerheter og begrensninger, samt eventuelle konflikter og avveininger mellom ulike miljøpåvirkningskategorier.

Til slutt bør tolkningen av LCA-resultatene bidra til å informere og veilede beslutningstaking på ulike nivåer, fra produktdesign og prosessoptimalisering til politikktutforming og strategiutvikling. Ved å integrere LCA-resultatene i beslutningstaking, kan organisasjoner og samfunn jobbe mot mer bærekraftige løsninger og en reduksjon av de negative miljøpåvirkningene fra produkter, prosesser og tjenester [32].

LCA er ofte brukt i mange sektorer, eksempelvis produksjon, konstruksjon, transport, landbruk, olje- og gass og energiproduksjon. LCA kan bidra til å sammenligne ulike produkter eller prosesser, sette bærekraftsmål, utvikle miljømerkeordninger og utforme EPDer [77].

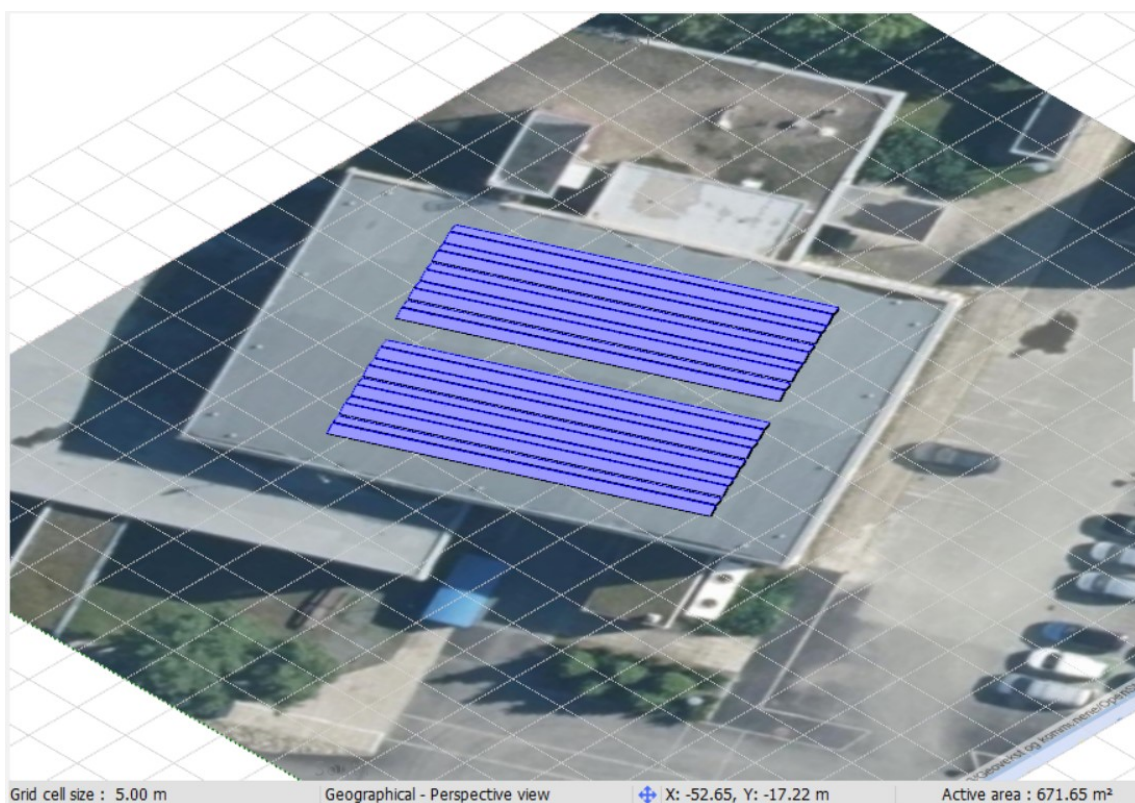
I denne oppgaven blir det gjort en vugge til port analyse av 110 kW vekselretter. Det vil si at det blir tatt hensyn til alle prosesser helt fra innhenting av råvare til produktet er produsert og kan sendes fra fabrikk.

5 Metodikk

5.1 Referansesystemet

For å kalkulere et totalt klimagassutslipp fra BOS komponenter kan det være hensiktsmessig å se på referansesystemet som helhet. Mengden nødvendig monteringsystem samt balast er avhengig av størrelse og virkningsgrad på solcellemoduler som velges. For at undersøkelsen skal ha størst mulig verdi for oppgavegiver brukes derfor relevante solcellemoduler fra Ja Solar som er brukt i andre prosjekt av ANEO. Vekselretter fra Growatt er også valgt med tanke på relevans. Med relevans menes teknologi som allerede er brukt eller vurderes brukt i praksis. Størrelsen på det kraftproduserende anlegget er i dette tilfellet satt av størrelsen på inverter. Produksjonen er avhengig av området for installasjon og de geografiske og metrologiske forholdene som foreligger. Referansesystemet er prosjektert på NTNU, Gløshaugen i Trondheim, Norge, nærmere bestemt taket av Høgskoleringen 1.

Summen av månedlig global horisontal solinnstråling er $1,2 \text{ kWh/m}^2$. Referansesystemet er takmontert med bruk av montasjesystem og balast. Det er fast vinkel på 10° for moduler. Forventet systemlevetid er 30 år, denne er satt med basis i solcellemodulene som ikke tas med i selve utslipps- og bærekraftsanalysen. Det er både høyere og lavere forventet levetid for resterende komponenter noe som må tas hensyn til i utslippsberegninger. Montasjesystemet antas å holde modulenes levetid men vil i mange tilfeller kunne holde lenger/brukes i etterfølgende prosjekt. Det samme gjelder balasten. Vekselretter antas å måtte byttes etter 15 år slik at det er derfor behov for to stk. for å dekke systemets forventede levetid.



Figur 5.1: Høgskoleringen sett fra luften med prosjekterte solcellemoduler.

Som vist på figuren 5.1 er det i referansesystemet 20 strenger med 13 paneler i serie, totalt 260 solcellepanel. Til referansesystemet er det valgt Ja solar JAM72-D30-545-MB, V_{mpp} 41.8 V paneler, datablad finnes i vedlegg B. Panelene består av monokrystallinske celler med en oppgitt årlig degradering på 0,45 % over 30 år og en virkningsgrad på 22,87 %. Dette gir en total nominell effekt på 142 kw for anlegget og en forventet årlig energiproduksjon på ≈ 102 Mwh/år, mer utfyllende informasjon finnes i vedlegg for PVsyst rapporten: B.

Når solcellemoduler kobles i serie holdes strømmen konstant, mens spenningen økes [33]. En 110 kW inverter kan tenkes å ha 10 MPPT inputs med en maksimal MPPT strøm per input på 32A. Med moduler med en I_{mpp} på 13.0 A vil det si at to strenger (26A) kan kobles på hver av de 10 MPPT inputene, 20 totalt. dette gir en Pnom rate på 1.288 ($P_{nom}(\text{Array}) / P_{nom}(\text{Inv})$), også kalt DC:AC ratio) denne er gjerne i sjiktet 1.25 to 1.3 for de fleste godt orienterte systemer [33][40]. solcellepanelenes dimensjoner er $2285 \pm 2mm \cdot 1134 \pm 2mm \times 35 \pm 1mm$. Absolutt usikkerhet δR kan finnes ved bruk av formel 5.1 fra [62]. for lengde L og bredde B er R lik L multiplisert med B.

$$\frac{\delta R}{R} = \sqrt{\frac{\delta L^2}{L} + \frac{\delta B^2}{B}} \quad (5.1)$$

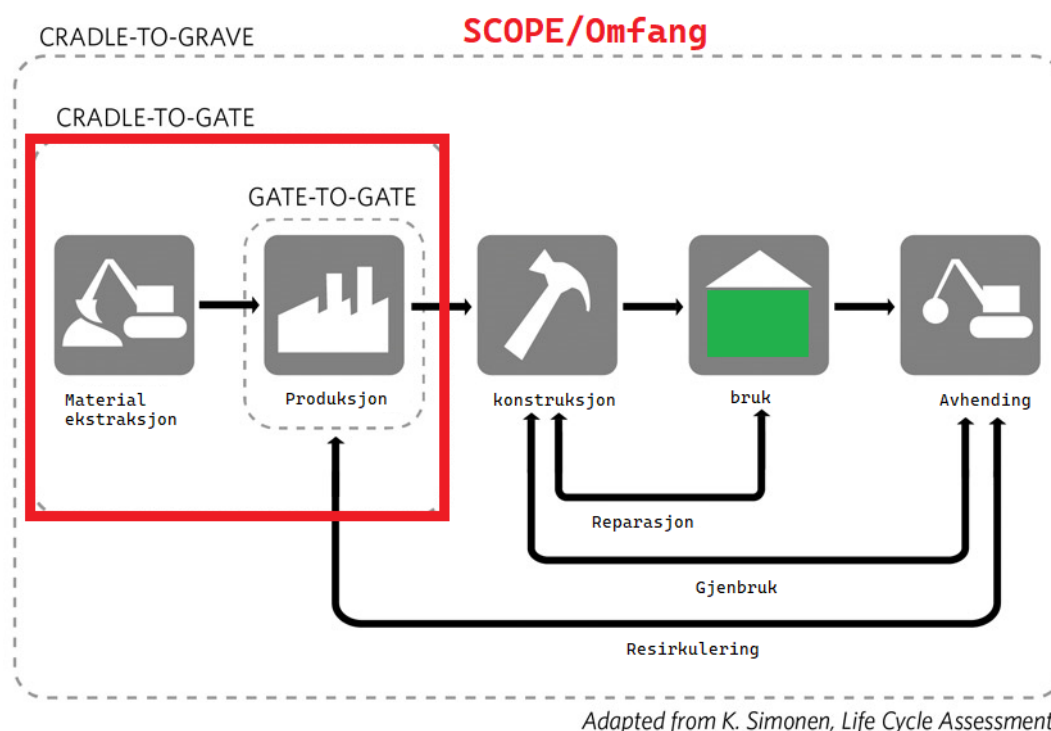
innsatt verdier gir $2,592 \text{ m}^2 \pm 0,005 \text{ m}^2$ for 260 moduler gir dette et totalt overflateareal på 674 m^2 med en usikkerhet på $\pm 1,3 \text{ m}^2$

Absolutt usikkerhet over 260 moduler gir en forskjell i kvadratmeter $\approx \pm 2 \text{ m}^2$ Sett i sammenheng med et totalt areal på 260 moduler $\cdot 2.59 \text{ m}^2 \approx 673 \text{ m}^2$ vurderes dette som så lite at det totale arealforbruket som brukes i utslippsvurderinger av f.eks montasjesystem tar 673 m^2 som utgangspunkt.

Referansesystemet med basis i størrelse på vekselretter gir altså grunnlag for hvor mye montasjesystem, ballast, kabling og kabelbro som trengs, eventuelle transformator behov er utenfor denne analysens grenser.

5.2 LCA av Inverterer

Målet med denne livssyklusanalysen er å se på klimagassutslippene til vekselretteren fra ”Cradle-to-gate”, se figur 5.2. Det betyr at man ser på utslippene fra utvinning av råmaterialer (A1) til transport av produktet (A4). Derfor vil stegene som innebærer reparasjon, bruk, vedlikehold og resirkulering være neglisjert i denne rapporten. Utrekningene blir utført i programvaren SimaPro med databasen Ecoinvent 3 ved hjelp av LCIA metoden ”CLM-IA Baseline V3.06/EU25”. Denne metoden gir tall på forskjellige ”midpoint” miljø-påvirkningskategorier som kan ses i figur 7.1. Det er Global Warming Potential (GWP) som skal studeres i denne rapporten, men det er valgt å inkludere flere kategorier, ettersom det kan være relevant for leser. Prosesser som har svært små bidrag blir neglisjert av praktiske årsaker. Dette gjøres i SimaPro ved at det blir satt et ”cut off” kriterium på 1 %, det vil si at prosessene som bidrar mindre enn en prosent ikke vil være medregnet i utdataen, dette gjelder ikke for giftige stoffer.



Figur 5.2: Mål og omfang med LCA av inverterer

LCI-dataen som blir benyttet her er i hovedsak global data (GLO) eller ”rest of world” (ROW). Global data i Ecoinvent [22] er et datasett som er laget for å representere den gjennomsnittlige globale produksjonen basert på internasjonale data. Rest of world eller resten av verden representerer hele verden minus de geografiske områdene som det allerede finnes separate datasett for i Ecoinvent-databasen. Det kan for eksempel være at det finnes et globalt datasett og ett datasett for eksempel Sveits. Da vil RoW være produksjonsvolumet (PV) til Global data minus PV for Sveits ($PV_{RoW} = PV_{GLO} - PV_{CH}$). Dette er valgt for å styrke analysens generalitet slik at resultatene er nogenlunde overførbare til flere produksjonssteder og ikke begrenset til et enkelt geografisk område og f.eks energimiks. Datagrunnlaget for prosesser spesifikke for Kina er også begrenset selv om det hadde vært mer representativt å bruke ettersom markedet for vekselretter stort sett er dominert av kinesiske varer som vist senere i tabell 6.1.

Når det kommer til valg av funksjonell enhet anbefaler guiden til IEA [50] å benytte seg av funksjonelle enheter som AC levert i kWh, per kvadratmeter eller kWp. Dette er ikke hensiktsmessig å se på her siden det i denne rapporten blir fokusert på delkomponentene alene og dermed blir det ingen analyse av strømproduksjon. Derfor blir det her valgt en funksjonell enhet som 1 stk 110kW inverter som fungerer i 15 år. Som nevnt i seksjon 5.1 har referansesystemet en levetid på 30 år, mens inverttere kan ha en levetid på mellom 15-30 år, det vil si at iløpet av anleggets levetid vil det mest sannsynlig være behov for et utskifte av inverter og totalbehovet vil da være to stykker.

Dataen benyttet i denne analysen er hentet fra et sveitsisk konsulent selskap kalt Treeze [70], publisert i IEA (International Energy Agency) sin rapport med livssyklusanalyser og inventar for fotovoltaiske systemer [36]. Disse er basert på en studie av uspesifiserte og generelle vekselrettere (beregnet for solenergi) på 2,5 kW, 5 kW, 10 kW og 20 kW som ble dannet i 2016. Tallene oppgitt i denne artikkelen er basert på inverter data som skribentene har anskaffet seg ved å sende inn en spørsmålsliste til de tre største produsentene av vekselrettere i Europa. Hvor alle 3 oppga vekt og størrelse på kretskortet inkludert alle monterte delkomponenter, og kun en av dem oppga delkomponentene hver for seg. Treeze antok dermed at alle kretskortene bruker de samme delkomponentene og at de kun varierer med tanke på størrelse og vekt. Tallene som ble benyttet i rapporten til Treeze ble først ekstrapolert til en gjennomsnittlig effektskala som igjen ble ekstrapolert til de tre generelle vekselretterne.

I denne bacheloroppgaven skal det ses på en vekselretter på 110 kW, her ble det antatt at vektforholdene til de forskjellige komponentene oppfører seg lineært med tanke på vekten på vekselretteren. For å finne tallene for de forskjellige komponentene ble vekten av de enkelte delkomponentene delt på totalvekten av vekselretteren for å oppdrive en skaleringsfaktor, disse kunne da benyttes til å skalere LCI data fra 20 kW vekselretteren opp til data for en 110 kW vekselretter. Det ble gjort forsøk på å finne LCI for 110 kW inverttere noe som skulle vise seg vanskelig. Det er gjort få livssyklusanalyser av vekselrettere og ingen er funnet for denne størrelsen av inverter. Dette viser seg som et eksempel i en utslippsstudie av et 20 MWp anlegg, hvor forskerne har brukt LCA data fra en 500 kW inverter og skalert ned for å representere 40 kW som brukes i systemet [66]. Skalering av data gir usikkerhet i disse tallene da det blir gjort antagelser med tanke på bestanddelen av materialer som ikke nødvendigvis stemmer helt med virkeligheten. Optimalt sett skulle en 110 kW inverter vært demontert for å så veie de ulike delkomponentene hver for seg for å få en høyere presisjon i dataen benyttet. Det ble forsøkt å innhente en defekt vekselretter etter forslag fra aktør i bransjen, dessverre er det slik at defekte vekselrettere blir sendt i retur til produsent og kan ikke demonteres på grunn av brudd i reklamasjonsrett.

Tabell 5.1: Vekselrettere som referanse for beregning av LCI basert på vekt.

Produsent Modell	INVT XG110KTR	Solis Solis-110K-5G	Huawei Sun2000-110KTL-M0	Growatt Max100-125KTL3-XLV
Rated output power	110kW	110kW	110kW	110kW
Vekt	98kg	84kg	85kg	84kg

Inverterene i tabell 5.1 er invertere som ANEO benytter seg av. Siden det ikke ble funnet data på 110 kW invertere ble dermed bestemt at det i utregningene av LCI data skal benytte gjennomsnittsvekten av disse fire inverterne, som gir en vekt på 88 kg. Som nevnt over skal LCI verdiene skaleres på vektbasis, de skalerte verdiene (for en 110 kW inverter) for 88 kg som er benyttet i SimaPro kan finnes oppgitt i vedlegg A. Det er anslått 22730 km fraktrute fra Kina til Norge. Multiplisert med vekten på 88 kg gir en resulterende tonn-kilometer på ≈ 2000 tkm [58].

I SimaPro ble bergeningene utført på to forskjellige måter. den første metoden gikk ut på å benytte seg av "consequential" modellering [65]. Denne metoden kan brukes når man vil vite konsekvensene av endringer i etterspørselen til produktet og hvordan disse vil føre til indirekte miljøpåvirkninger over tid. Den andre metoden "attributional" modellering gir et bilde på hvordan systemets miljøpåvirkning er i nåværende tilstand og ser ikke på konsekvensene av endring over tid. Denne metoden brukes ved å tildele miljøpåvirkningene til hver prosess i systemet. Det ble i denne oppgaven valgt å benytte resultatene fra "consequential" modellering. Det var liten til ingen forskjell i resultatene mellom analysemetodene og videre begrunnelse av dette valget vil vi komme tilbake til i seksjon 8.4.

De to forskjellige modelleringsmetodene ble utført av to forskjellige gruppemedlemmer og utført noe forskjellig i SimaPro, men tilnærmet likt. For "attributional" ble alle prosessene lagt direkte under prosessen 110 kW inverter, mens utførelsen for "contributional" ble utført ved å dele opp prosessene for å så slå de sammen til en felles prosess. Med tanke på resultater for miljøpåvirkning behandles disse likt men gir forskjellig grafisk utfall ved rapportgenerering. I SimaPro ble de følgende prosessene opprettet: Energy, Individual components, Printed board assembly, processing, infrastructure, packaging, technosphere og transport, altså samme oppsett som dataen vist i vedlegg A. Disse 8 prosessene ble deretter slått sammen til en felles prosess kalt "Inverter 110 kW". I denne prosessen ble også den resterende dataen for avfall og vann lagt inn. Hovedgrunnen til at det ble utført med denne metoden var for å ha en god oversikt over de ulike delprosessene med tanke senere tolkning. Dette er ikke et nødvendig steg og vil ikke påvirke resultatet med hensyn på GWP. Derfor ble dette kun utført på første utregning. Oversikt over de ulike prosessene som har blitt opprettet i SimaPro er vist i fig. 5.3 under.

Name	Unit	Waste type
0_Energy	P	
0_individual components	P	
0_infrastructure	P	
0_packaging	P	
0_Printed Board Assembly	P	
0_Processing	P	
0_technosphere	P	
0_transport	P	
Inverter 110kW	P	

Figur 5.3: Oppsett av delprosessene i SimaPro

Når dette er gjort kan man starte beregningene, dette vil være likt for begge fremgangsmåtene. Dette gjøres ved å velge prosessen man vil utføre beregninger for, i disse tilfellene er det "inverter 110 kW". Der kan man velge hva man vil regne ut og hva slags metode man vil benytte seg av. Her skal det utføres en analyse av prosessen og det skal som nevnt benytte seg av LCIA metoden "CLM-IA Baseline V3.06/EU25" som er en mye brukt metode. Oppsettet er vist i fig.5.4 under.

Name
Inverter 110kW

Comment

Calculation function

Network
 Tree
 Analyze
 Compare

Method

CML-IA baseline V3.06 / EU25

Product	Amount	Unit
Inverter 110kW	1	p

Current library

Suffix

Replacing library

Suffix

Switches

Exclude infrastructure processes
 Exclude long-term emissions

Figur 5.4: Bergningsmetode Simapro

Med tanke på tidligere nevnt klassifisering og karakterisering 4.3.3 blir dette gjort av SimaPro basert på dataene fra Ecoinvent. Det gjennomføres ingen vektning, normalisering eller aggregering. Det er innebygget usikkerhetsanalyse i SimaPro som er utarbeidet med bakgrunn i generell usikkerhet basert på datakvaliteten som puttes inn. Følgene er valgte kvaliteter for aluminium, kobber og kretskort 5.5. En lognormal distribusjon med valgt median lik 37,3 kg aluminium og 2SD lik 1,23 kan visualiseres som i figur 5.6 med tre forskjellige konfidensintervall.

Pedigree Uncertainty Calculation

Basic uncertainty: 1,07 [Select] Total uncertainty: 1,23 Last known value: 1,23

Reliability: Verified data partly based on assumptions or non-verified data based on measurements

Completeness: Representative data from only some sites (<<50%) relevant for the market considered or >50% of site

Temporal correlation: Less than 15 years of difference to the time period of the dataset

Geographical correlation: Average data from larger area in which area under study is included

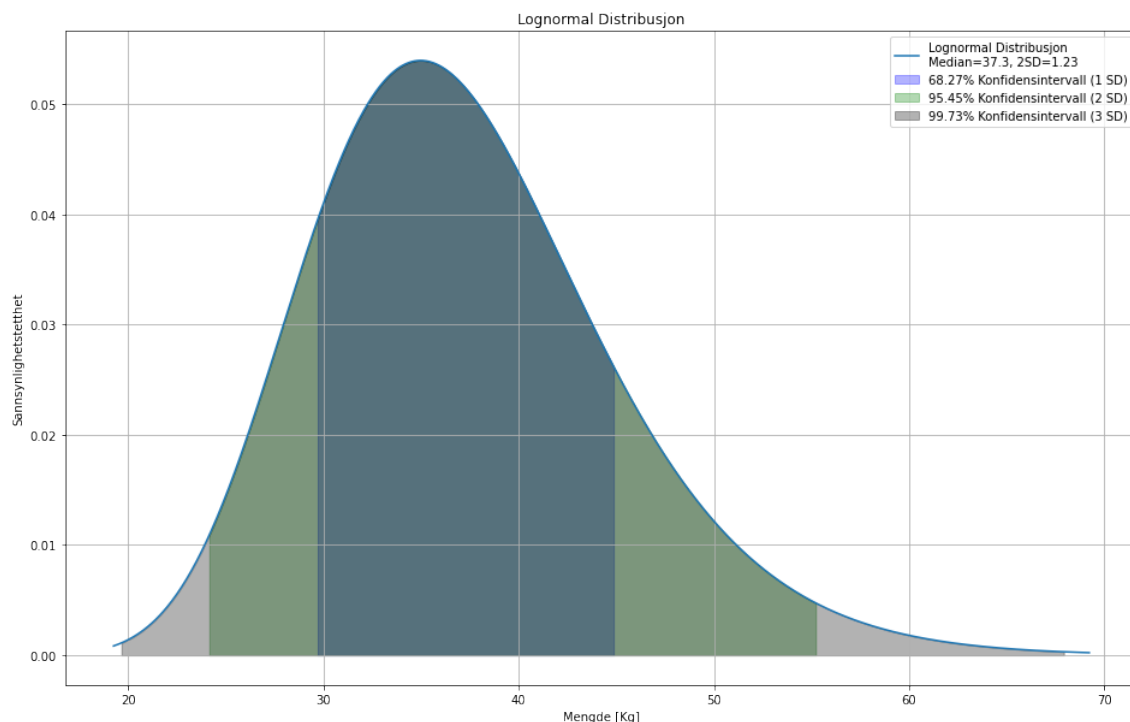
Further technological correlation: Data from enterprises, processes and materials under study

Sample size: Unspecified

Remark: Verified means:

OK Cancel

Figur 5.5: usikkerhetsanalyse: usikkerhetsdistribusjon basert på analyse i SimaPRO



Figur 5.6: Usikkerhetsanalyse distribusjon for aluminium til inverter.

5.3 Utslippsberegninger for monteringsystem

For utslippsberegninger for montasjesystem benyttes EPD [41]. EPDen er eid av Lonevåg Beslagfabrikk AS og ble utstedt av EPD Norge 11.08.2022, denne EPDen er gyldig frem til 11.08.2027. Studien er utført av Stiftelsen vestlandforskning og den deklarererte enheten er $1m^2$ med montasjesystem for PV moduler. Omfanget av undersøkelsen er satt til cradle-to-gate (A1-A4) med mulighet for å inkludere "end of life" med avhending og resirkulering av deler av systemet (C1-C4, D). Montasjesystemet har en forventet levetid på 30-60 år. EPD er basert på NPCR "Part A (v.2.0, 2021) Construction products and services" [48] og "NPCR 013:2021 Part B for Steel and aluminium construction products" [43]. Alle hovedråvarene og all nødvendig energi er inkludert. Produksjonsprosessen for råvarer og energistrømmer som utgjør en svært liten andel ($< 1\%$ energi, masse, innvirkning) er ikke inkludert. Denne avskjæringsregelen (cut-off) gjelder ikke for farlige materialer og stoffer.

Module	Product stage			Construction process stage		Use stage							End of life stage				Resource recovery stage
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
	Raw material supply	Transport	Manufacturing	Transport	Construction installation	Use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	De-construction demolition	Transport	Waste processing	Disposal	Reuse-Recovery-Recycling-potential

Figur 5.7: Omfangs-moduler for LCA, A1-D [1]

Miljøpåvirkningskategorier, engelske forkortelser med forklaring hentet fra EPD for montasjesystem [41].

Tabell 5.2: Tabell med resulterende påvirkningskategorier fra EPD for montasjesystem per m².

Indicator	Unit	A1-A3	A4	C1	C2	C3	C4	D
GWP-total	kg CO2 eq.	4,20E+01	2,05E-01	1,45E-01	1,21E-01	1,41	6,95E-03	-2,71E+01
GWP-fossil	kg CO2 eq.	4,18E+01	2,04E-01	1,45E-01	1,21E-01	1,41	3,19E-03	-2,71E+01
GWP-biogenic	kg CO2 eq.	1,94E-01	4,42E-04	1,25E-04	1,61E-04	0	3,76E-03	-9,51E-04
GWP-LULUC	kg CO2 eq.	4,81E-03	6,93E-05	1,45E-05	2,24E-05	0	6,08E-07	2,12E-04
ODP	kg CFC11 eq.	3,48E-06	5,08E-08	3,10E-08	2,55E-08	1,11E-07	2,57E-10	-1,57E-06
AP	mol H eq.	2,69E-01	6,27E-04	1,50E-03	4,75E-04	3,98E-03	7,01E-06	-1,66E-01
EP-freshwater	kg P eq.	1,84E-02	1,32E-06	4,80E-07	4,03E-07	0	8,67E-09	-3,00E-07
EP-marine	kg N eq.	4,94E-03	1,36E-04	6,66E-04	9,59E-05	0	2,56E-06	-3,93E-04
EP-terrestrial	mol N eq.	1,25E-01	1,51E-03	7,30E-03	1,09E-03	9,10E-04	2,77E-05	-1,24E-02
POCP	kg NMVOC eq.	3,47E-02	5,90E-04	2,01E-03	3,89E-04	1,73E-04	7,78E-06	-1,58E-02
ADP-M&M	kg Sb eq.	3,33E+02	4,38E-07	7,45E-08	6,78E-01	7,57	1,80E-09	-2,45E+02
ADP-fossil	MJ	3,86E+02	3,29	1,99	1,78	7,57	1,80E-02	-2,58E+02
WDP	m ³	2,09	9,90E-03	2,83E-03	2,67E-03	8,42E-03	1,07E-03	-3,97E-01

Tabell 5.3: Materialliste for montasjesystem [41]

Materialer	KG	%
Aluminium	5,65	83,50
Steel	1,11	16,40
Rubber	0,01	0,10
Sum product	6,77	100,00
Packaging, wood	0,27	
Packaging, paper	0,01	
Packaging, steel	0,00	
Sum including packaging	7,04	

Vekten av montasjesystem alene blir $6,77 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$ multiplisert med 673 m^2 som vist i 5.1 som er $\approx 4,6$ tonn.

Montasjesystemet er beregnet for å festes i flate tak gjennom penetrering av overflaten og bruk av festemekanismer slik som skruer og ikke ballastering. En eventuell forskjell i materialmengde mellom ballastmontert system og festemontert blir ikke tatt hensyn til i denne oppgaven, men er gjenstand for diskusjon og usikkerhetsvurdering i kapittel 8.

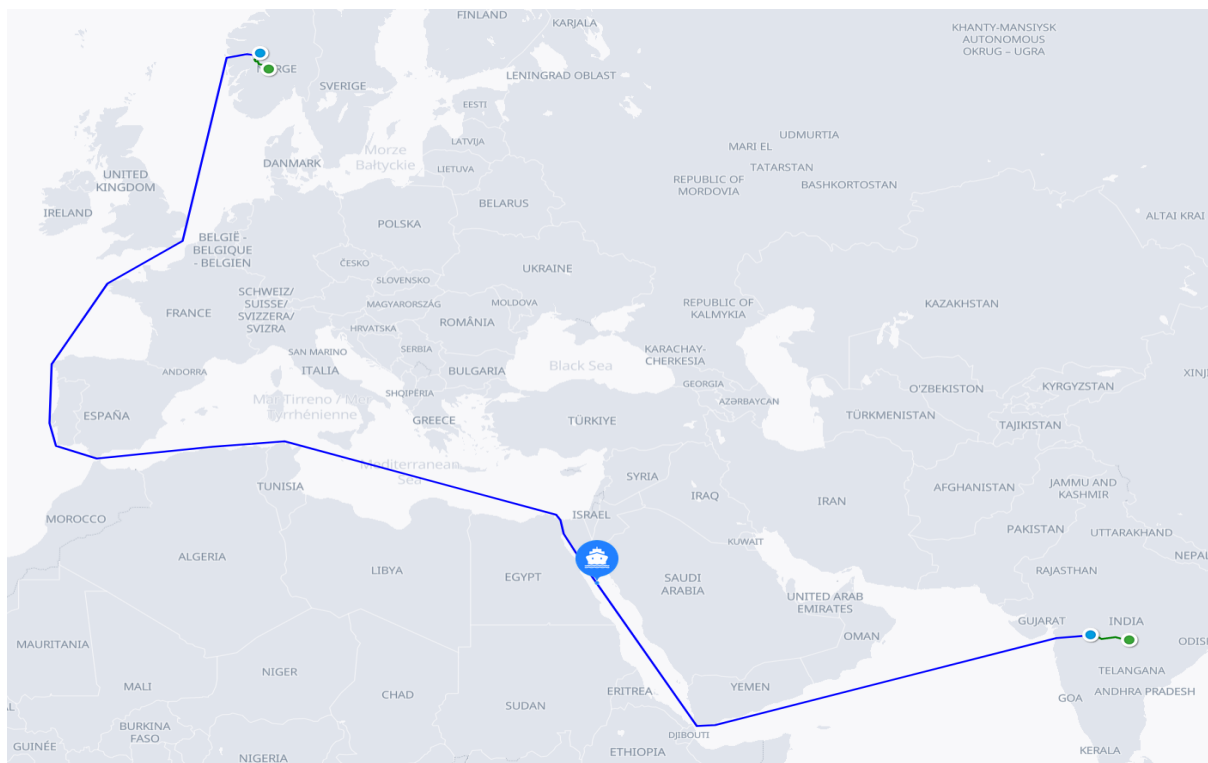
For å beregne utslipp brukes GWP fra miljøpåvirkningstabellen 5.2 som er verdier per m² og multipliseres med nødvendig flateareal fra referansesystemet 5.1.

5.4 Utslippsberegninger for ballast

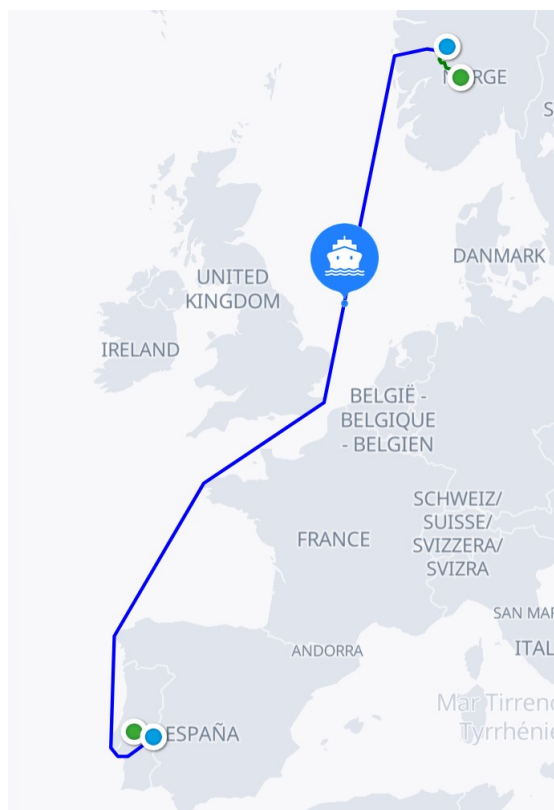
Klimagassutslipp hentes fra EPD for belegningsstein som kan brukes og har blitt brukt som ballast på montasjesystem [7] av firma i bransjen. Studien er gjennomført i 2020 og EPD er gyldig til 2027. EN 15804:2012+A1:2013 tjener som kjerne-PCR NPCR 020:2018 Part B for Concrete and concrete elements [44]. Studie/EPD er begjært av Aaltved Betong AS og er ”Cradle-to-gate”, dvs at systemgrensene for studien er A1-A4 som inneholder materialekstraksjon, transport til produksjonssted, produksjon og transport til brukssted. Transporten til produksjonssted er satt til 50 km med EURO 6 lastebil med henger. Forventet levetid er som for bygg, 30-60 år. Den deklarererte enheten for EPD er 1 tonn belegningsstein i betong. ”cut-off” er satt til 1 % slik at energistrømmer eller råvarer mindre enn dette inngår ikke. Allokering for produksjonsprosessen som har noe avfall er gjort ved masseallokering. Dataen er fra forskjellige databaser, Ecoinvent, Østfoldforskning og annen EPD for sement. Data er fra 2012-2020 og Levetiden er satt til 30-60 år.

Bruk av EPD for utslippsberegninger forenkler prosessen sammenlignet med å gjennomføre fullstendig LCA. Samtidig som det gir pålitelige tall som er verifisert av tredjepart og kvalitetsstemplet av EPD-Norge. På den andre siden vil utslippsberegninger for norsk-produsert betongstein ikke nødvendigvis være representativ for Indisk eller portugisisk produsert betong, produksjonen av betong er energiintensiv [30] og utslippene knyttet til denne energibruken forventes å variere avhengig av produksjonssted og landets energimiks, denne varierer stort i bruk av fossile brensler [55].

Oppgavegiver ønsker å vite noe om hvordan utslippsscenario for ballast endres som følge av transport fra ulike produksjonssted. I dette tilfellet India, Portugal og Norge. Det er ikke funnet EPD for betongstein produsert i de to førstnevnte landene, og det blir derfor tatt utgangspunkt i at disse landene har den samme produksjonen som Norge samtidig som frakten beregnes forskjellig for de tre landene. Fraktrute er noe som er dynamisk og kan variere fra gang til gang basert på ulike transportmetoder. Ting som fraktes med skip kan neste gang fraktes med fly eller tog avhengig av priser og markedssituasjon. Det tas derfor utgangspunkt i en generert generell transportrute ved hjelp av programvare i nettleser fra firma som arrangerer globale transportløsninger [58]. Etersom det ikke er fastlagt noe bestemt lokasjon velges det å sette transportrute fra det geografiske sentrum i hvert land.

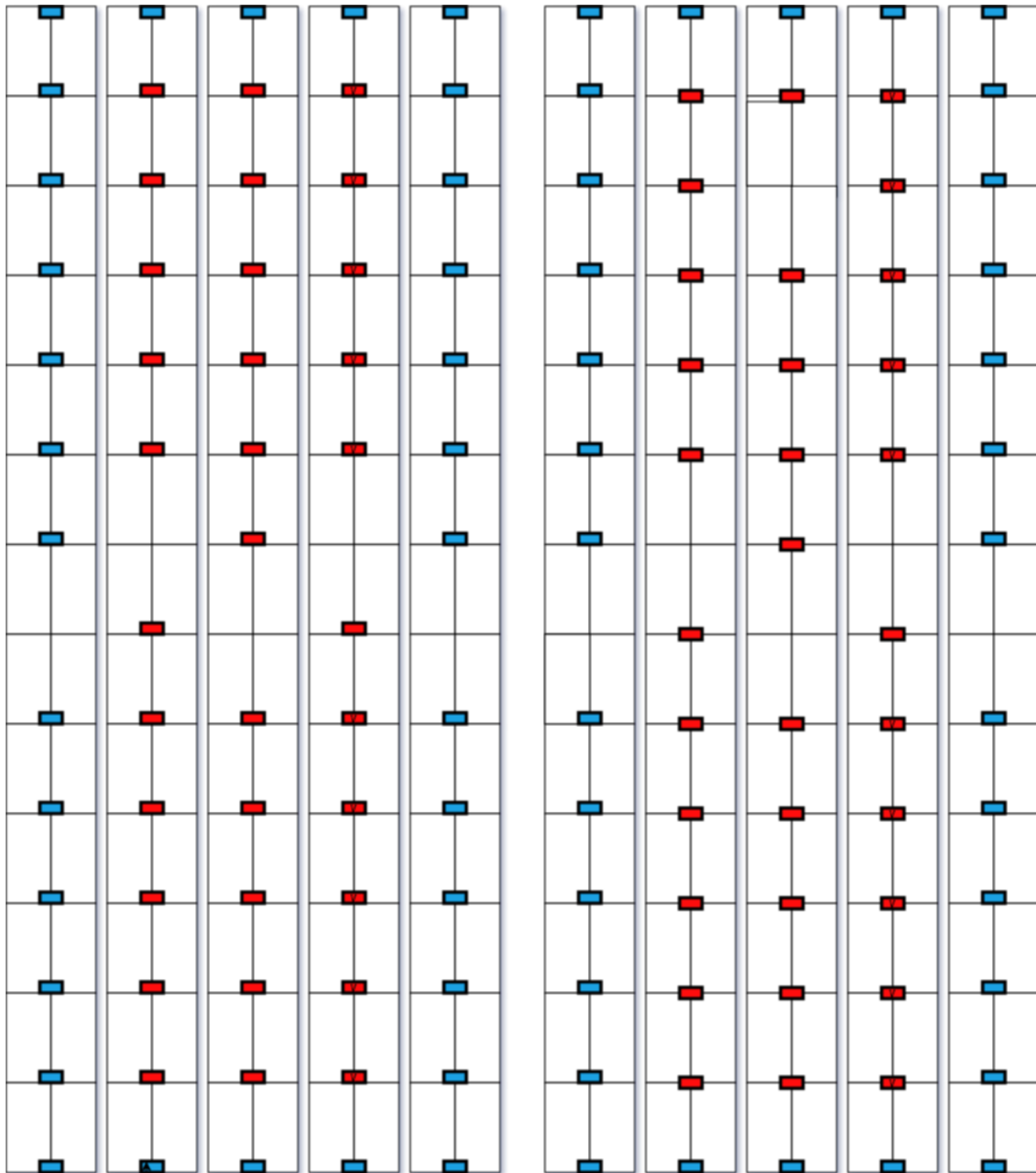


Figur 5.8: Transportrute for ballast fra India til Norge [58].



Figur 5.9: Transportrute for ballast fra Portugal til Norge [58].

Mengden nødvendig ballast er avhengig flere faktorer slik som panel- og montasjesystemets vekt samt vindforhold. For referansesystemet i denne oppgaven er det tatt utgangspunkt i liknende forhold som et eksisterende anlegg og balasten er estimert basert på denne mengden.



Figur 5.10: Tegninger for referansesystem med ballastfordeling. Blå ballast 77,2 kg pr punkt, 64 punkter. Rød ballast 33,6 kg, 66 punkter. Total ballasting for systemet 7160 kg.

Som man kan se fra figuren med ballastfordeling 5.10 er det en forventet nødvendig mengde på ca 7160 kg for referansesystemet. Dette er likt for alle tre transportruter og gir følgende verdier for distanser 5.4. Disse kan videre brukes for å finne tkm (tonn kilometer).

Tonn-kilometer (tkm) er en måleenhet som benyttes for å kvantifisere transportarbeid [29], spesielt innen godstransport og logistikk. Denne enheten kombinerer vekt og avstand og gir en metode for å sammenligne effektiviteten og ytelsen til ulike transportmidler.

Tonn-kilometer defineres som transport av én tonn gods over én kilometer. For å beregne tonn-kilometer for en bestemt transportoppgave, multipliserer man massen av godset (i tonn) med transportavstanden (i kilometer). Tkm brukes ofte for å sammenligne effektiviteten og miljøpåvirkningen av ulike transportmetoder, som vei, jernbane, sjø og luft.

Det er noen utfordringer knyttet til bruk av tkm-enheten [29]. En av utfordringene er at den ikke fanger opp ulike typer gods, som kan ha forskjellige krav til transport og håndtering. For eksempel kan transport av flytende gods eller farlig gods kreve spesialisert utstyr og prosedyrer, noe som ikke blir tatt hensyn til når man bare ser på tkm. Det samme gjelder gods som har lav vekt men stort volum slik som isolasjon eller levende dyr. Ettersom betongstein har høy egenvekt vurderes tkm som en nyttig enhet for fraktberegning, det er også denne enheten som brukes i visse data fra ecoinvent databasen som brukes i SimaPro for kalkulering av utslipp fra denne transporten.

Tabell 5.4: Transportdistanser og tonn-kilometer for balast til Norge fra Norge, Argentina og India. *Medregnet i EPD (50 km Euro 6 Truck)

Opprinnelse	Lastebil [km]	Sjø [km]	Godstog	Total [km]	Last [tonn]	Euro 6 Truck [Tkm]	Godstog [Tkm]	Shipping [Tkm]
Norge	*	0	0	*	7,16	0	0	*
Portugal	221 (Euro 6 Truck)	3220	0	3441	7,16	1582	0	23055
India	95 (Euro 6 Truck)	13000	484	13580	7,16	687	3465	93080

For LCA analysen eller utslippsvurdering av transport fra India til Norge og Portugal til Norge benyttes SimaPro programvaren og analysemetoden CLM-IA Baseline V3.07/EU25. CML-IA baseline brukes også i EPD for belegningsstein [7]. Målet med analysen er å kunne produsere verdier for GWP som kan kombineres med GWP fra produksjonen av belegningsstein. Det er satt cut-off til 1 %, det vil si at prosesser som bidrar med mindre enn 1 % av GWP ikke inkluderes i utdataen. Den funksjonelle enheten er 1 stk transport av 7,16 tonn belegningsstein fra Porto i Portugal til Aardalstangen i Norge. Den påvirkningskategorien som inkluderes er altså GWP. Samtidig tar analysemetoden hensyn til andre påvirkningskategorier og klassifiserer LCI resultatene til flere påvirkningskategorier som ikke rapporteres i denne studien.

Normalisering vil ikke gi noen verdi til denne studien som kun ser på at utsnitt av en prosess og kun har som formål å generer GWP verdier til videre bruk. Ettersom det ikke er et flertall av påvirkningskategorier som inkluderes er det heller ingen hensikt i å gjennomføre vektning eller aggregering 4.3.3.

livssyklusinventarie for transport:

Tabell 5.5: LCI for transport fra Portugal til Norge

Inputs from technosphere	Amount	Unit
Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro6 {RER}— market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 — Cut-off, U	1582	tkm
Transport, freight, sea, container ship {GLO}— market for transport, freight, sea, container ship — Cut-off, U	23055	tkm

Tabell 5.6: LCI for transport fra India til Norge

Inputs from technosphere	Amount	Unit
Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro6 {RER}— market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 — Cut-off, U	687	tkm
Transport, freight, sea, container ship {GLO}— market for transport, freight, sea, container ship — Cut-off, U	93080	tkm
Transport, freight train {IN}— market for transport, freight train — Cut-off, U	3465	tkm

EPD for balast blir brukt til estimering av referansesystemets miljøpåvirkning ved at EPD blir gjennomgått og de miljøpåvirkningene som er interessant for analysen blir identifisert. Dette kan inkludere utslipp av klimagasser (f.eks. CO₂, CH₄ og N₂O), energiforbruk og ressursbruk. I dette tilfellet er det GWP (Global warming potential) som blir undersøkt.

Figur 5.11: Tabell for miljøpåvirkning fra produksjon av belegningsstein, fra EPD [7]

Miljøpåvirkning (Environmental impact)					
Parameter	Unit	A1	A2	A3	A4
GWP	kg CO ₂ -eq	8,24E+01	8,43E-01	1,12E+00	4,14E+00
ODP	kg CFC11 -eq	1,85E-06	1,73E-07	1,74E-07	8,50E-07
POCP	kg C ₂ H ₄ -eq	1,20E-02	1,32E-04	2,33E-04	6,47E-04
AP	kg SO ₂ -eq	6,21E-02	2,18E-03	7,48E-03	1,07E-02
EP	kg PO ₄ ³⁻ -eq	4,99E-02	3,00E-04	1,65E-03	1,47E-03
ADPM	kg Sb -eq	4,83E-05	2,01E-06	5,67E-06	9,85E-06
ADPE	MJ	2,75E+02	1,38E+01	1,47E+01	6,79E+01

GWP Global warming potential; ODP Depletion potential of the stratospheric ozone layer; POCP Formation potential of tropospheric photochemical oxidants; AP Acidification potential of land and water; EP Eutrophication potential; ADPM Abiotic depletion potential for non fossil resources; ADPE Abiotic depletion potential for fossil resources

*Leseeksempel 9,0 E-03 = 9,0*10⁻³ = 0,009*

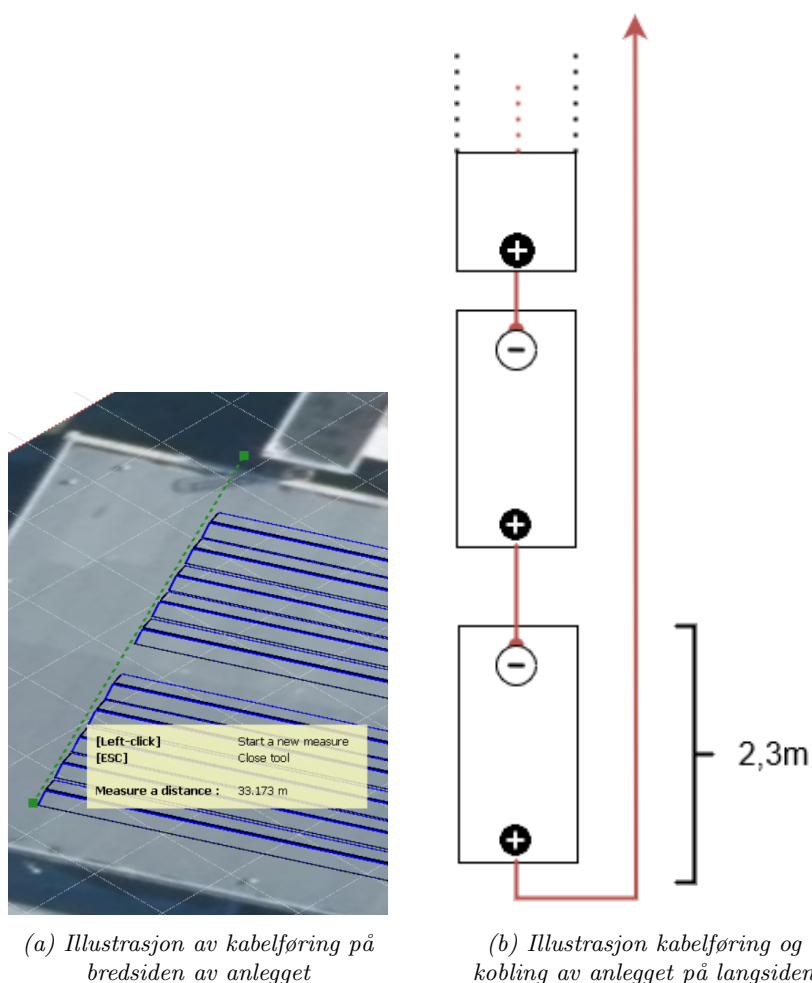
*INA Indicator Not Assessed

Dataene må skaleres, med dette menes beregning av hvor mye av produktet som brukes i det nye systemet og skalering av miljøpåvirkningene i henhold til dette forbruket. For eksempel, hvis EPD er for 1 tonn av et produkt og det nye systemet bruker 0,5 tonn, multipliseres miljøpåvirkningene i EPD-en med 0,5. I dette tilfellet brukes 7,16 tonn ballast. EPD gir GWP per tonn ballast 5.11, disse må derfor ganges med 7,16. Etterpå inkluderes GWP fra LCA analyse av transporten ved bruk av SimaPro og legges til det totale GWP for ballast avhengig av produksjonssted og transporten som følger.

5.5 kabelbro og kabler

EPD blir brukt som grunnlag for utslippsanalyse av kabelbro til referansesystemet. Den deklarererte enheten er 1 m med kabelbro i stål med sink leggering. Det ble ikke funnet EPD fra norsk produsent og brukes derfor fra en tysk produsent, se vedlegg B. EPD er basert på LCA i henhold til vanlige standarder [27] [28]. Data er fra 2013 og er delvis målt og delvis fra bedriftens database. Produksjonen er basert på fornybar energi.

Slik som i de andre komponentene er det GWP resultatet som skal brukes. For å bestemme nødvendig mengde/lengde med kabelbro er også her PVsyst brukt og veiledning fra oppgavegiver om vanlig praksis for plassering og oppsett.



Figur 5.12: Kabelføring

Det tas altså utgangspunkt 34 meter til kanten av taket og legges til 10 meter ned fra taket, med en antagelse om at beste plassering for vekselretter er i skyggen nært bakken for enkel tilgang. Oppgavegiver oppgir at de i noen tilfeller plasserer vekselretter på taket, innendørs eller på utsiden nært bakken men i denne oppgaven tas det altså utgangspunkt i sistnevnte. Dette gir totalt 44 meter med kabelbro som har en vekt på $3,82 \text{ kg/m} \cdot 44 \text{ m} \approx 170 \text{ kg}$ uten innpakning.

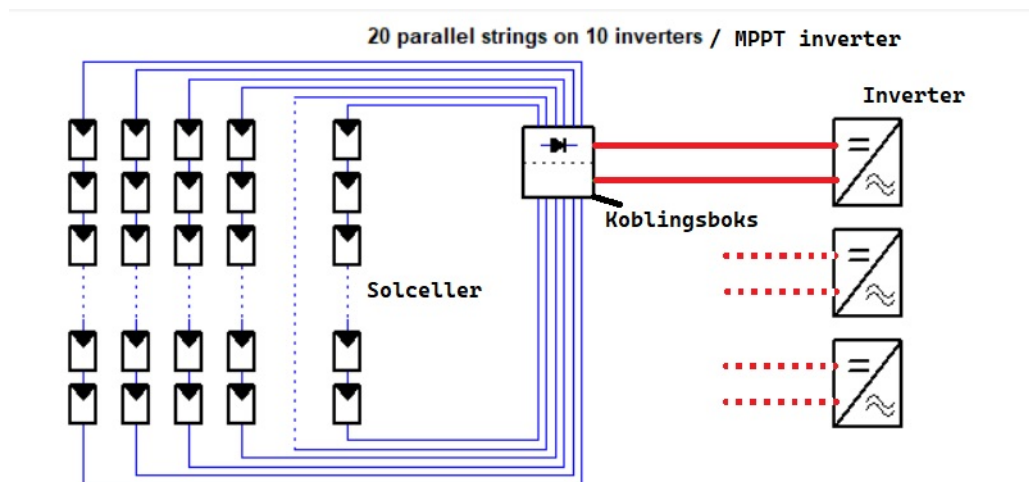
Kabelbroene er 6 cm høye og 30 cm brede og burde ha plass til alt av kabler fra 20 serier med solceller frem til en koblingsboks i følge bedriftskontakter.

Tabell 5.7: Utslippsdata EPD for kabelbro

Results per m cable tray system						Total med resirkulering	Total uten resirkulering
Environmental impacts	Unit	A1 – A3	A4-C1	C2	D	CO2 - Eq	CO2 - Eq
Global warming potential (GWP)	kg CO2 equiv.	1,10E+01	ND	1,07E-02	-5,02	6,20	1,10E+01
Ozone depletion potential of stratospheric layer (ODP)	kg CFC 11 - equiv	1,16E-09	ND	5,11E-14	4,60E-10	1,62E-09	1,16E-09
Acidification potential of soil and water (AP)	kg SO2 equiv.	4,00E-02	ND	4,88E-05	-2,00E-02	2,00E-02	4,00E-02
Eutrophication	kg PO ₄ ³⁻ equiv.	5,83E-03	ND	1,12E-05	-1,96E-03	3,88E-03	5,84E-03

For kabler er det lokalisert EPD hos EPD international, denne gjelder for svensk produsert kobberledning i størrelsene 1 mm², 2,5 mm² og 6 mm² tverrsnitt. Deklarert enhet er 1 kilometer PVC dekket kobberledning i de respektive størrelsene. EPD er basert på ”cradle-to-gate” LCA med modulene A1-A3, c1-c4 og D inkludert. Disse er forklart i tabell for utslipp fra montasjesystem 5.2. Data er fra 2021 og ligger i ecoinvent databasen, LCA analysen er gjennomført med programvaren GaBi.

2,5 mm² kabel har en maksimal overføringskapasitet på 24 A i følge PVsyst. Ettersom 13 moduler kobles i serie og serie øker spenning ikke strøm, kan denne kabelen brukes for hver av seriene. 13 paneler multiplisert med sin lengde, 2,3 m gir 30 m. Det er 20 serier, altså er det nødvendig med 600 m av denne kabelen kun til seriekobling av panelene. Videre må de kobles sammen i en sammenkoblingsboks. Med tanke på at det er to terminaler, positiv og negativ (DC strøm), er det to kabler som må gå fra ytterste panel til siste for hver streng. Den ene sammenkobler panelene frem til koblingsboksen. Den andre andre går hele veien til sammenkoblingsboksen, se figur:



Figur 5.13: Koblingsdiagram av solcellepanel til koblingsboks og vekselretter

Det legges på 5 meter fra panel til koblingsboks som gjennomsnitt for alle panelene (de ytterste må ha lenger, de nærmeste mindre). 35 m ganger 20 blir 700, ganget med to er lik 1400 m med 2,5 mm² kabel. Antar at denne kan befinne seg ved enden i midten av de 20 seriene, med 10 på en side og 10 på den andre. 2 serier blir til 1 (parallellkobling) inne i koblingsboksen. Dermed må 6 mm² kabel brukes videre til vekselretter. Fortsatt er det DC strøm slik at det er nødvendig med 2 kabler per kobling, 2 ganger 10, altså 20. Antar at inverter settes nært bakken på utsiden. Ref 5.12 lengde på kabelbro fra midt i mellom de to seriene anslås 15+10 meter som altså blir 25 meter, 25 meter ganger 20 er lik 500 meter med 6 mm² kabel.

Det anslås altså at det er nødvendig med 1400 meter 2,5 mm² kabel og 500 meter 6 mm² kabel. Faktor for multiplikasjon for relevante størrelser i tabell 5.8 er 1,4 og 0,5. Dette gir en samlet vekt på $1,4 \text{ km} \cdot 31,7 \text{ kg/km} + 0,5 \text{ km} \cdot 67,3 \text{ kg/km} \approx 80 \text{ kg}$. i og med at samlet vekt for kablene vil være i underkant av 80 kg og resulterende tkm transport fra tyskland (ca1200 km) gir $\approx 100 \text{ tkm}$, så vurderes det som så lite at utslipp fra transport av kabling ikke inkluderes.

Tabell 5.8: Utslippsdata for kabler

Totale utslipp per km kabel									
Indicator	Unit	A1-A3	C1	C2	C3	C4	D	Total med resirkulering	Totalt uten resirkulering
PN 2,5 mm									
GWP-total	kg CO ₂ eq.	1,20E+02	0	2,66E-01	2,76E+01	0	-7,99E+01	6,80E+01	1,48E+02
ODP	kg CFC 11 eq.	1,52E-09	0	5,21E-17	4,43E-14	0	-5,03E-13	1,52E-09	1,52E-09
AP	mol H+ eq.	1,60	0	9,12E-04	7,48E-03	0	-1,40	2,08E-01	1,61
EP-freshwater	kg PO ₄ ³⁻ eq.	7,46E-04	0	2,41E-06	2,11E-05	0	-1,36E-03	-5,90E-04	7,70E-04
EP-freshwater	kg P eq.	2,43E-04	0	7,84E-07	6,87E-06	0	-4,43E-04	-1,92E-04	2,51E-04
EP-marine	kg N eq.	1,01E-01	0	4,21E-04	2,50E-03	0	-8,39E-02	2,00E-02	1,04E-01
EP-terrestrial	mol N eq.	1,05	0	4,70E-03	3,08E-02	0	-8,56E-01	2,30E-01	1,09
POCP	kg NMVOC eq.	3,76E-01	0	8,23E-04	7,26E-03	0	-2,79E-01	1,05E-01	3,84E-01
PN 6mm									
GWP-fossil	kg CO ₂ eq.	2,79E+02	0	5,54E-01	3,69E+01	0	-1,97E+02	1,19E+02	3,16E+02
GWP-biogenic	kg CO ₂ eq.	5,50E-01	0	5,97E-03	7,46E-03	0	-4,09E-01	1,54E-01	5,63E-01
GWP-luluc kg	kg CO ₂ eq.	1,24	0	4,58E-03	8,28E-03	0	-1,30	-4,71E-02	1,25
GWP-total	kg CO ₂ eq.	2,81E+02	0	5,64E-01	3,69E+01	0	-1,99E+02	1,19E+02	3,18E+02
ODP	kg CFC 11 eq.	2,10E-09	0	1,11E-16	5,92E-14	0	-1,25E-12	2,10E-09	2,10E-09
AP	mol H+.	4,00	0	1,94E-03	1,00E-02	0	-3,50	5,12E-01	4,01
EP-freshwater	kg PO ₄ ³⁻ eq.	1,67E-03	0	5,11E-06	2,81E-05	0	-2,40E-03	-6,97E-04	1,70E-03
EP-freshwater	kg P eq.	5,44E-04	0	1,67E-06	9,16E-06	0	-7,82E-04	-2,27E-04	5,55E-04
EP-marine	kg N eq.	2,43E-01	0	8,94E-04	3,34E-03	0	-2,03E-01	4,42E-02	2,47E-01
EP-terrestrial	mol N eq.	2,52	0	9,98E-03	4,12E-02	0	-2,07	5,01E-01	2,57

5.6 Samlet utslipp for referansesystem i GWP.

Samlet utslipp for referansesystemet beregnes med nødvendig mengder for gitt referansesystem og utslippdata med tanke på deklarererte/funksjonelle enheter, fra vekselretter med datagrunnlag i tabell 5.2, montasjesystem i tabell 5.2, belegningsstein med transport i tabell 5.11 og for kabelbro og kabler i tabeller 5.7 og 5.8.

Det er noe varierende omfang med tanke på analysene som er grunnlag for EPD brukt i oppgaven. Til eksempel så inkluderer tabellen for utslipp fra montasjesystem hele prosessen utenom bruksfasen (B1-B7). Denne er mindre relevant ettersom et montasjesystem i aluminium ikke bør ha behov for vedlikehold av nevneverdig grad i løpet av sin levetid. EPD for montasjesystem inkluderer altså utslipp fra A1 (materialekstraksjon) til D (gjenbruk og resirkulerings potensial). Samtidig er det kun produksjonsfasen A1-A4 som inkluderes i utslippsanalysen for belegningsstein 5.11. Det må altså vurderes om beregningen for samlet utslipp fra referansesystem kun skal inkludere felles moduler fra de forskjellige analysene av BOS komponenter eller alle.

Ettersom målet er å finne samlet utslipp fra BOS komponenter så vurderes det som hensiktsmessig å ta med to tilfeller. I det ene inkluderes så mange moduler (A1-D) som mulig der det er mulig, i det andre inkluderes ikke resirkulering/potensiale ved livsløpets slutt. Dette gir et "best case" og et "worst case" som kan være nyttig med tanke på overførbarheten av resultatene til andre prosjekt.

Det er også relevant og ta med transport der det er inkludert, kabelbro fra Tyskland og Kabler fra Sverige som skal brukes i Norge vil gi transportdistanser utover det som er inkludert, da er det ingen hensikt i å ta bort det som faktisk er inkludert i A2 og C2, det ville i såfall kun bidratt til en undervurdering av komponentens bidrag til utslipp.

En annen ting som kan bidra til undervurdering er inklusjon av modul D. Altså gjenbruk og resirkuleringspotensial, gjenbruk og resirkulering er avhengig av at det finnes systemer hvor dette er mulig. Transporten til gjenbruk C2 vil også være avhengig av hvor disse systemene befinner seg. Ettersom dette er et usikkerhetsmoment vil resultatene som sagt inkludere scenario med og uten resirkulering da det forventes at det faktiske utslippene i enkelttilfeller vil befinne seg et sted innenfor disse grensene.

6 Sosial bærekraft

Litteratursøket innebærer å identifisere forskning, artikler og annen informasjon om verdikjeder, spesielt med tanke på vekselretter da dette produktet gjenspeiler situasjonen med solcellemoduler, med hensyn til at vekselrettere stort sett produseres i Kina som vist i tabell 6.1.

Tabell 6.1: Markedsandeler basert på global frakt for ulike vekselretter produsenter fra WoodMackenzie [78]. *Other består av selskap med andel < 2 %.

Global PV inverter market share by shipments 2021		
Market share of the solar PV inverter market worldwide in 2021, based on shipments		
Land	Produsent	Markedsandel
Kina	Huawei	23 in %
Kina	Sungrow Power Supply	21 in %
Kina	Growatt	7 in %
Kina	Goodwe	6 in %
Kina	Ginlong Solis*	6 in %
Tyskland	SMA	6 in %
USA	Power Electronics	5 in %
Japan	TMEIC	3 in %
USA	SolarEdge Technologies*	3 in %
Kina	Sineng	3 in %
Italia	Fimer	3 in %
	*Other	11 in %

Basert på denne dataen er den totale markedsandelen for Kinesisk produserte invertere minst 66 %. Ikke inkludert utenlandseide selskap som har ”outsourcing” til produksjon i Kina.

I en artikkel publisert i ”Harvard business review” [75] diskuterer forskerne resultatene av sin undersøkelse rundt tre store multinasjonale selskaper (MNC) og hvordan multinasjonale selskaper kan forbedre bærekraften i sine leverandørkjeder, spesielt hos leverandører lenger ned i verdikjeden. Konklusjonen er at MNC-ene bruker en kombinasjon av tilnærminger: direkte, indirekte, kollektive og globale.

Direkte tilnærming innebærer kartlegging av leverandørkjeder og prioritering av aktiviteter med høy risiko. Indirekte tilnærming innebærer å delegere bærekraftsansvar til de viktigste/største leverandørene og tilby opplæring og insentiver for å implementere bærekraftige praksiser. Kollektiv tilnærming fokuserer på samarbeid med konkurrenter og større leverandører for å utvikle og spre bærekraftstandarder i bransjen, som gjennom Responsible Business Alliance (RBA) [53]. Global tilnærming innebærer samarbeid med internasjonale organisasjoner og NGOer som deler målene deres, som FN Global Compact [73] og Carbon Disclosure Project (CDP) [10] verdikjede program.

Likevel så forskerne rom for forbedring. Multinasjonale selskaper bør sette sammenfallende bærekraftsmål for alle funksjoner som samhandler med alle leverandører, samt tilby mer opplæring og insentiver for innkjøpsansatte til å gjøre bærekraftige valg. MNC-ene bør også arbeide direkte med store leverandørers innkjøpsenheter for å motivere til bærekraft gjennom hele leverandørkjeden.

Geopolitisk er det også press på verdikjeder for produkter fra Kina. Uyghur Forced Labor Prevention Act (UFLPA) ble undertegnet som en lov av president Biden 23. desember 2021 [74]. Loven etablerer en tilbakevisbar antagelse om at import av varer, gjenstander og produkter utvunnet, produsert eller laget helt eller delvis i XUAR i Kina, eller produsert av visse enheter, er forbudt i henhold til seksjon 307 av tariffloven i USA fra 1930 og at slike varer og produkter ikke har rett til innførsel til USA. Antagelsen gjelder med mindre kommissæren for US Customs and Border Protection (CBP) fastslår at importøren har oppfylt spesifikke vilkår, med klart og overbevisende bevis, at varene eller produktene ikke ble produsert ved hjelp av tvangsarbeid. Dette flytter bevisbyrden over på produsentene og kan ligne på en mye strengere versjon av åpenhetsloven [37] som kun stiller krav til bedrifter gjennom redegjørelser av aktsomhetsvurderinger, undersøkelse og rapportering.

Nylige rapporter gir grunn til å tro at aluminium nå blir gjenstand for tiltak mot tvangsarbeid under UFLPA. Selv om CBP ennå ikke har offisielt kunngjort aluminium som et målrettet produkt under UFLPA, tyder rapporter på at håndhevelsestiltak mot aluminium begynte så tidlig som desember 2022 – januar 2023. Forced Labor Enforcement Task Force "FLETF" publiserte en liste over høyprioritetssektorer og produkter som først inkluderte bomull, tomater og polysilikon [72].

Indikasjoner på tvangsarbeid i aluminiumsproduksjon er indikert av flere rapporter, slik som en fra Horizon Advisory [25], pekte på indikatorer for tvangsarbeid innen Xinjiang-aluminiumsindustrien. En annen rapport fra Storbritannia identifiserte tvangsarbeid i aluminiumsproduksjon, spesielt innen bilindustrien [17]. Selv om studiene er av ikke-statlige organisasjoner, påvirkes CBP som statlig organisasjon av slik informasjon/oppmerksomhet med tanke på ulike bransjer/produkter.

Informasjon fra shippingfirmaet AP Moller-Maersk gir også en indikasjon på at aluminium blir etterforsket for brudd på UFLPA og skriver på sine nettsider "I en nylig utvikling har CBP begynt å utstede tilbakeholdelsesmeldinger mot aluminiumprodukter under UFLPA. CBP har nylig iverksatt håndhevelsestiltak mot aluminiumprodukter og vil mest sannsynlig fokusere på aluminiumsprodukter til bilindustrien og andre varer klassifisert i kapittel 76 (aluminium og varer derav) [11][71].

6.1 FN statistikk og Kina

Med tanke på at store deler av verdikjedene for solkraft kommer fra Kina, kan det være relevant å også vurdere statistikk knyttet til landet som en indikasjon på hvorfor disse problemene er vanskelige å forebygge. FN publiserer statistikk og forskjellige indekser for vurdering og sammenligning av land [61].

Demokratiindeksen 1,9 (0-10, der 10 er best)

Basert på spørreundersøkelser om valgprosesser og mangfold, sivile rettigheter og politisk deltakelse og kultur for å nevne noen.

Sivile rettigheter: 6 (1-7, der 1 er best)

I land med faktor 7 har innbyggerne få sivile rettigheter, ingen ytring eller organisasjonsfrihet. Det er en organisasjon kalt Freedom House som utarbeider rangeringen. Frafall av sivile rettigheter og organisasjonsmulighet gir problemer med utnyttelse i arbeidsforhold og ettersom ytringsfriheten er begrenset kan man med sikkerhet anta at problemer underrapporteres.

Pressefrihet 25,17 (1-100, der 100 er best)

0-40 poeng er svært problematisk og ikke tilfredsstillende nivå av pressefrihet. Statistikken utarbeides av reportere uten grenser. Spørreundersøkelser og kvalitative data om angrep og vold mot journalister brukes.

6.2 Intervju med ESG-ansvarlige i bedrifter innenfor bransjen

Følgende informasjon fra Intervju med relevante personer i to bedrifter som kjøper solkraft produkter og leverer tjenester i Norge. Intervjuformen var ustrukturert men spørsmålene har stort sett vært de samme og har gått på hvordan de jobber med sine verdikjeder. De har lagt vekt på både like og forskjellige metoder, men det at én bedrift oppgir f.eks sertifisering eller metode og den andre ikke gjør det betyr ikke nødvendigvis at sistnevnte ikke benytter seg av denne. Det er kun hva som er plukket opp og delt under intervjuet på ca 40 minutter som inkluderes.

Solcellespesialisten AS

Solcellespesialisten er Norges største leverandør av solceller, de har levert anlegg med til sammen 80 MWp effekt. De omsatte i 2022 for ca 350 MNOK og forventer å omsette for 1,1 MRD i 2023 [60].

Solcellespesialisten jobber mot økt bærekraft i sin virksomhet i flere ledd og arbeider med mange leverandører. De har som mål å kunne tilby det beste utvalget med tanke på leverandører og teknologi.

De peker på miljøsertifiseringer, EPD'er og sporbarhet i verdikjedene som viktige verktøy. Dette gjelder spesielt med tanke på nye leverandører. Leverandører som selv tar ansvar for miljøsertifiseringer og bestiller tredjepartsvurderinger stiller sterkere. Det viser at de har bærekraft som prioritering.

Relevante miljøsertifiseringer som solcellespesialisten ser etter hos potensielle leverandører er f.eks Certisolis, Ecovadis, EU EMAS. Solcellespesialisten er selv miljøtårnsertifisert. Certisolis [47] er en fransk sertifiseringsorganisasjon som tester tekniske spesifikasjoner på solcellemoduler opp mot internasjonale standarder og tilbyr også karbonavtrykk sertifisering hvor de sjekker komponentopprinnelse. Som tredjeparts verifikator fungerer de som en styrkning av tilliten til bedrifters påstander, produkter og omdømme.

EU-EMAS [18](European Union Eco-Management and Audit Scheme) er et frivillig miljøledelsessystem og sertifiseringsprogram for organisasjoner i EU. EMAS ble etablert i 1993 og har som mål å hjelpe organisasjoner med å forbedre sin miljøprestasjon og redusere miljøpåvirkningen.

EMAS er relevant for organisasjoner av alle størrelser og sektorer. Hovedkomponentene i EMAS inkluderer implementering av et miljøledelsessystem (EMS). Miljørevisjon, Organisasjoner må gjennomføre regelmessige interne revisjoner. Miljørapport, Organisasjoner må utarbeide en årlig offentlig rapport om miljøprestasjonen. Uavhengig verifisering, En akkreditert tredjepartsverifiserer gjennomgår og validerer organisasjonens miljørapport.

EcoVadis [8] er en global leverandør av bedriftsvurderinger innen bærekraft og miljø-, sosiale og styringsmessige (ESG) praksiser. Målet med EcoVadis er å hjelpe bedrifter med å overvåke og forbedre sin bærekraftige ytelse ved å vurdere og rangere leverandører og forretningspartnere basert på deres ESG-praksis.

EcoVadis bruker en metodikk som vurderer bedrifter på en rekke faktorer, som miljøpåvirkning, arbeids- og menneskerettigheter, etikk og bærekraftig innkjøp. Bedriftene får en EcoVadis-score og en detaljert rapport som viser deres sterke og svake sider innen bærekraft.

De hjelper i tillegg bedrifter med å identifisere risiko og muligheter i deres forsyningskjede, samt fremme bærekraftige forretningspraksiser og samarbeid mellom leverandører og kunder.

Et annet verktøy som solcellespesialisten benytter seg er uavhengige undersøkere basert i Kina. Disse brukes til å innhente informasjon som er offentlig tilgjengelig men ikke nødvendigvis deles av produsentene. Denne informasjonen kan være vanskelig å innhente selv basert på språk og blokkeringer på nett for utlandet.

Solcellespesialisten refererer til Xinjiang som en ”Nei-sonne” og unngår produkter produsert i regionen.

Solar Norge AS

Solar Norge AS er et dansk-basert grossist, sourcing og service selskap som selger produkter og tjenester til forskjellige sektorer, blant annet solkraft produkter. Solar Norge omsatte i 2021 for 2,6 MRD, hvor mye av dette som er relatert til solenergi produkter og tjenester er ukjent.

Solar selger kun solcellepanel fra merket FuturaSUN. Dette selskapet er basert i Italia og har produksjonsfasiliteter i Taizhou, Kina. Vekselrettere er fra Growatt. Bærekraftsansvarlig i Solar Norge legger vekt på å bygge tillit med selskapene og felles forståelse av viktige verdier som deles av virksomhetene.

Solar Norge er medlem av Etisk Handel Norge [21]. Etisk Handel Norge (tidligere Initiativ for etisk handel) er en norsk medlemsorganisasjon som arbeider for å fremme ansvarlige forretningspraksiser og bærekraftig handel. Målet er å forbedre arbeids- og miljøforholdene i globale forsyningskjeder ved å samarbeide med bedrifter, organisasjoner og offentlige institusjoner.

Etisk Handel Norge tilbyr veiledning, opplæring, nettverk og ressurser for å hjelpe medlemmene med å implementere og overvåke etiske og bærekraftige praksiser i deres forsyningskjeder. Gjennom samarbeid og deling av kunnskap og erfaringer, støtter Etisk Handel Norge sine medlemmer i deres arbeid med å redusere negative sosiale og miljømessige konsekvenser av deres virksomhet.

Solar Norge er opptatt av forpliktelser hos 3.part, dette kommer i form av sertifiseringer, redegjørelsesrapporter og ”code-of-conduct” avtaler [59]. De er i gang med arbeid om å få Ecovadis sertifisering av alle 3.parts leverandører og deres leverandører.

disse ”code-of-conduct” avtalene må signeres av samtlige leverandører nedover i verdikjeden. Dette omfatter regler, standarder, verdier og prinsipper som leverandørene og Solar må etterfølge. Det følges opp med redegjørelsesrapporter og ”Targets” eller mål som skal nås. Dersom målene ikke nås må forholdet mellom virksomhetene vurderes.

6.3 Metoder for ansvarlige verdikjeder

I en studie av risiko ved import fra verdikjeder knyttet til Xinjiang, publisert av den Kanadiske regjeringen, er det flere forslag til hvordan kanadiske og andre selskap kan håndtere disse risikoene [9].

”Canadian companies should be aware that the most common ways that they will be linked to forced labour in Xinjiang is not through direct partnerships and relationships with factories and suppliers in Xinjiang but rather through indirect relationships deeper into their supply chains.”

De mener også at produkter som det er en stor sjans for at blir produsert med eller delvis med tvang er polysilicon og nedstrøms elektriske og solkraft produkter, tomater og bomull [9] [74]. De viser også til at Xinjiang er en av de størst kildene til verdens etterspørsel av polysilikon, som er en viktig komponent til MOSFET som brukes i vekselrettere.

Videre henviser de til FN's retningslinjer for business og menneskerettigheter [24], OECD sine retningslinjer for multinasjonale selskaper [45] samt ILO (International Labour Organization) son håndbok for bekjempelse av tvangsarbeid [12]. Basert på disse samt intervju med bærekraftsansvarlige i bransjen kan man identifisere noen forebyggende tiltak.

1. Det første steget er å kjenne sin leverandørkjede slik at man kan lokalisere potensielle risikoområder og indikatorer om tvungen arbeidskraft eller andre menneskerettighetsbrudd. Et eksempel kan være liten åpenhet hos leverandører lenger ned i forsyningskjeden. Mer åpenbare ”røde-flagg” kan være internatleirer nært eller i industriparken som leverandøren opererer i.
2. ”codes-of-conduct”/retningslinjer for oppførsel og rangeringssystemer. Retningslinjer for oppførsel uttrykker en bedrifts policy mot bruk av tvangsarbeid og kravene bedriften stiller til sine leverandører for å overholde denne policyen, ofte kombinert med andre krav knyttet til menneskerettigheter. Beste praksis tilsier at bedriftspolicyer og de essensielle elementene i koder for oppførsel bør publiseres på bedriftens nettsider, dette er noe man kan se etter når man skal velge leverandører for å få et inntrykk av hva som er viktig for bedriften, spesielt utad.
3. Leverandørrangeringssystemer som vurderer leverandører basert på deres etterlevelse av indikatorer identifisert av selskapet. Det finnes forsyningskjede-springstjenester samt noen bransjeorganisasjoner som tilbyr rangeringsverktøy og tjenester til sine medlemmer, et eksempel kan være global compact eller ecovadis slik tidligere nevnt.
4. Innkjøp som virkemiddel for endring i leverandørpraksis, også kjent som forbrukermakten. Bedrifter kan stille krav til sine leverandører, og bruke innkjøpsvirkemidler for å nå lenger ned i forsyningskjedene. Dette er i følge noen [9] vanskeligere å gjøre i Kina enn andre steder, men er likevel et verktøy bedrifter kan bruke for å forbedre arbeidspraksis blant sine leverandører. Store selskaper og selskaper som samarbeider i foreninger eller nettverk vil ha mer innflytelse enn små selskaper eller selskaper som handler alene.

5. Selskaper, og spesielt selskaper med en historie med drift i eller handel med Kina, understreket betydningen av å bygge langsiktige, tillitsfulle relasjoner med leverandører som en tilnærming som kan beskytte mot risikoen for tvangsarbeid i forsyningskjedene deres, dette var også viktig for de Norske innkjøperene 6.2. Større selskaper, spesielt de med egne produksjonsvirksomheter i Kina, kan naturligvis ha en fordel når det gjelder denne tilnærmingen, fordi de har ansatte på bakken for å bygge kulturell kompetanse og opprettholde relasjoner, har tilgang til kontinuerlig etterretning og har kontroll over sine arbeidspraksiser i egne fabrikker.
6. Diversifisering gjennom å bygge mangfold i forsyningskjeder bidrar til å beskytte mot risikoen for tvangsarbeidspraksis som forstyrrer en bestemt forsyningskjede, dette letter innflytelse hos leverandører for å få forpliktelser til å overholde koder for oppførsel [24]. Med den kompleksiteten som finnes i Kina i dag, vil selskaper som har kapasitet til å flytte bestillingene sine til alternative leverandører når en situasjon oppstår som ikke kan løses, ha en fordel. Beredskapsplanlegging for plutselig tap av en leverandør er god forretningspraksis.
7. Bruk av leverandører som er sertifisert for å bruke akseptable arbeidspraksiser, er en utbredt og effektiv strategi for å holde tvangsarbeid ute av en forsyningskjede. Denne tilnærmingen hemmes i Kina av statlig sanksjonering av tvangsarbeidsprogrammer og kontroller som hindrer transparent, tredjepartsverifisering av arbeidspraksiser [9].

Normalt er det absolutt beste alternativet sammenlignet med lovnader, sertifiseringer og avtaler, uannonserte tredjeparts besøk eller kontroller av bedriftene og deres virksomheter i alle ledd av verdikjeden. Samtidig er det utfordringer knyttet til denne metoden, slik CSIS (center for Strategic and International Studies sier i sin rapport [34].

”CSIS has concluded that “traditional third-party audits are highly unlikely to be effective” due to interference and surveillance by the Chinese government. Experts and business leaders interviewed for this report stressed the importance of collaborating with industry counterparts and associations, with government, and with non-governmental organizations and academics who are working to identify the linkages between forced labour in Xinjiang and global supply chains”

6.3.1 Produsenter av vekselrettere

Listen er basert på informasjon fra bedriftskontakter i ANEO om hvilke selskaper de mener er relevante å kjøpe fra. Disse selskapene leverer vekselrettere som er relevante for det norske markedet. Noen blir og har blitt brukt, andre er potensielle aktører. Informasjonen er basert på det leverandørene skriver om seg selv og sine verdier på sine nettsider, dette er for å gi et overflattisk inntrykk av hva selskapene er opptatt av, hvertfall utad. Hensikten med å inkludere informasjon om eierskap og aksjeholdere er at dette er de som utgjør styret i et selskap og kan gi et inntrykk av andres profesjonelle aktørers vurderinger av selskapet. Til eksempel har Oljefondet egne etiske komiteer som vurderer investeringene ut ifra etiske forhold og menneskerettigheter [19], en investering fra fondet kunne altså gi en indikasjon på at selskapet er trygt med tanke på tvangsarbeid, de har tidligere solgt seg ut av selskaper mistenkt for brudd på menneskerettigheter i Xinjiang [46] [35]. Sertifiseringer gir også et inntrykk av selskapets prioriteringer, avhengig av sertifiseringens kvalitet kan det også være sterk indikasjon på ansvarlig drift.

Growatt

Fabrikk basert i Huizhou Guangdong Province, Kina, produksjonskapasitet av invertere 20 GW. Det ser også ut som at growatt utvider produksjonskapasitet til Vietnam og skal produsere hundre tusener av invertere der.

Growatt er på Hong Kong stock exchange, de har sju store aksjeholdere hvor CEO David Ding har størst andel. [23] Prosentandelen for de ulike aksjeholderne er ukjent. Det er seks kinesiske investorer og et vestlig selskap (East Capital).

Det finnes ingen henvisninger til synet på tvangsarbeid eller Xinjiang hverken hos nettsidens nyheter eller kunngjørelser eller andre lenker. Når det kommer til bedriftskultur fremhever de mangfold og inkludering, Likestilling og bruk av ren energi til sin virksomhet [3].

Growatt har SA8000 sertifisering som inkluderer mange sosiale bærekraftsperspektiver og konvensjoner fra f.eks International Labour Organization, grunnleggende menneskerettigheter og FN's Konvensjoner om barns rettigheter. Sertifiseringen gjelder i midlertid egen virksomhet og inkluderer ikke strenge krav med tanke på leverandører og leverandørers leverandører. Growatt er leverandør til Solar slik at som nevnt i segmentet om solar så foreligger en forventning om ecovadis sertifisering på sikt. Denne er mer omfattende enn SA8000 sertifiseringen [57].

INVT solar ltd.

INVT Solar er et subsidie av Shenzhen INVT electro ltd. De produserer blant annet vekselrettere til solkraft. De har fabrikk i India og i Shenzhen, Kina, samt flere laboratorier og forskningskapasitet [13].

Produksjonskapasitet i GW eller mengde er ukjent. INVT er på børs og største aksjeholder i bedriften i følge marketscreener er Shenzhen Bus Group, ellers er det privatpersoner og Merrill Lynch sitt fond som er største aksjeholdere. Største post har 4,7 % [39].

Når det gjelder sertifiseringer så har INVT electric ISO14001:2015 sertifisering "Environmental management system". Vanlige sertifikat med tanke på elektronikk, diverse ISO og CE sertifikasjoner. Ingen Ecovadis eller andre sertifikasjoner som bestemt går på sosial bærekraft eller menneskerettigheter er lokalisert eller publisert på bedriftens hjemmeside.

Ginlong Solis aka Solis

Produserer vekselrettere for industrielle og private formål. Har fabrikk i Zhejiang, Kina og en total produksjon av inverter kapasitet på 20 GW. Solis har ”scientific, green, humanistic and international” som nøkkelverdier under fanen ”kultur”. Ginlong har mange sertifikasjoner fra kinesiske institusjoner samt EUPD research som i grunn bare kartlegger kundetilfredshet.

Ginlong Solis er på børs, største aksjeholdere er Yiming Wang som er grunnleggeren av selskapet med ca 37 %, videre er det privatpersoner med < 8 % og et fond. Det er også en aksjepost på 1,8 % eid av National Council for social security fund som er et av Kinas og verdens største nasjonale fond.

Sungrow

Sungrow produserer også blant annet Vekselrettere til solenergi. De har en produksjonskapasitet på 340 GW hvorav 305 GW er basert i Kina og 25 GW utenfor[2]. Sungrow er en av de største vekselretter produsentene i verden, som vist i tabell 6.1. Selskapet oppgir ”ren energi til alle” som mål [2]. Når det kommer til sosialt ansvar forteller Sungrow om ”Sungrow actively participates in social welfare activities such as poverty alleviation, donations to schools and earthquake relief, and continuously enhance the professionalism and sustainability of public welfare practices.” Dette nevnes senere i kapittel 8.

Sungrow er på børs, største aksjeholder med 9.99 % er grunnleggeren Ren Xian Cao, etter følger forskjellige kinesiske fond slik som GF fund tidligere nevnt og veritas asset management.

Sungrow har mange tekniske sertifikasjoner med tanke på levetid og virkningsgrad. Mer interessant med tanke på sosial bærekraft er medlemskapet i FN’s ”Global Compact” [73]. Selskapet produserer rapporter som er offentlig tilgjengelige hvor de eksplisitt sier at leverandører skal følge ”codes-of-conduct” og forholde seg til menneskerettigheter.

Huawei

På vekselretter markedet er det Huawei som har størst andel basert på fraktvolum i tabell 6.1 med 23 %. Huawei er et stort selskap som har mer enn 197 000 ansatte over 170 land og opererer i flere marked, slik som telefoner, datamaskiner og smarte systemer.

På huawei’s hjemmeside under bærekraft finnes Huawei’s årlige bærekraftsrapport [64]. Under verdikjede ansvar oppgir de en nulltoleranse for fengselsarbeid eller tvunget arbeid. De refererer til OECD’s retningslinjer og skriver at de har obligatoriske avtaler med leverandører om å undertegne avtaler basert på disse retningslinjene.

Huawei er et privateid selskap som ikke er på børs. I følge dem er selskapet heleid av de ansatte, dette er det flere som er usikre på. Blant annet ble det gjort undersøkelser som konkluderte med at Huawei effektivt sett er et statlig selskap [6]. Dette kan ha betydning med tanke på at bruk av tvungen arbeidskraft er bekreftet som en statlig ordning. Huawei har tidligere sertifiseringer fra Ecovadis og global compact China.

7 Beregnede utslipp

7.1 Beregnede utslipp for vekselretter

Som vist i seksjon 5.2 er de utførte beregningene gjort i programvaren SimaPro ved å se på "cradle to gate". Beregningene ble utført med LCIA metoden "CML-IA Baseline V3.06/EU25" og modelleringsmetoden "Consequential" modellering. CML-IA baseline gir tall på flere forskjellige "midpoint" kategorier som vist i tabell 7.1, her er det Global Warming Potential (GWP) som blir tatt med videre i beregning av samlet utslipp. Denne påvirkningskategorien gir tall på CO₂-ekvivalenter (Kg CO₂-eq). Den valgte funksjonelle enheten er 1stk 110 kW inverter med en levetid på 15 år. Utslipet fra denne komponenten vil da være $\frac{4440 \text{ KgCO}_2\text{-eq.}}{\text{inverter}}$. Grunnet at inverteren har ca. halve levetiden til referansesystemet vil det kunne være et behov for å bruke to stk. inverters i løpet av levetiden til anlegget. Dette betyr at vekselretterens bidrag til systemets totale GWP vil være på 8880 kg CO₂-eq.

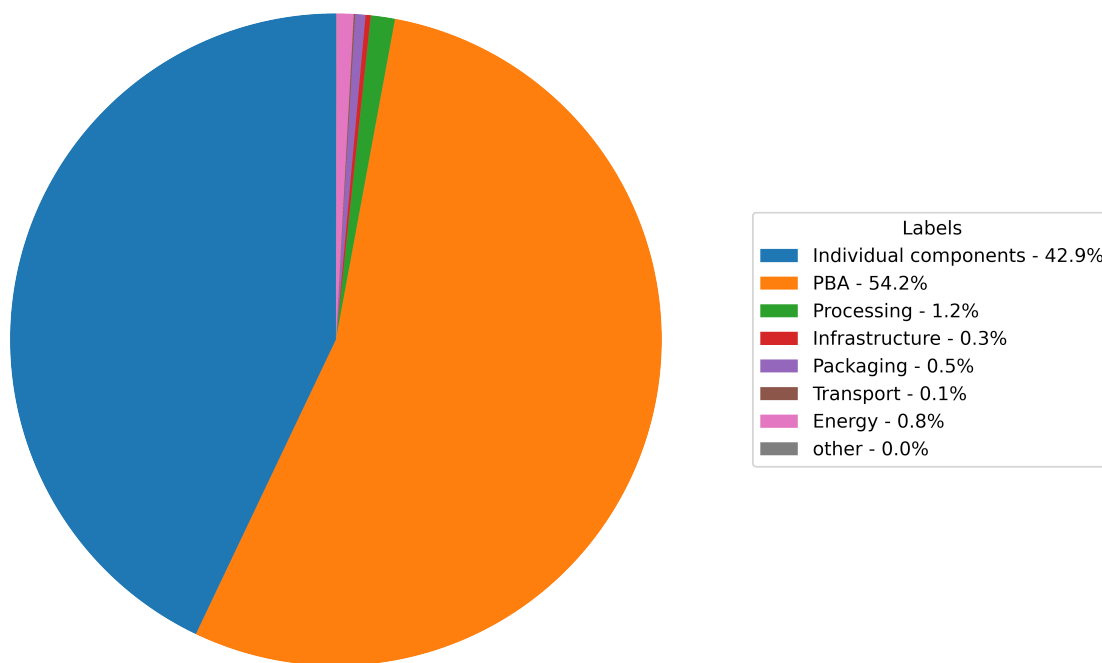
Tabell 7.1: Resultat etter påvirkningskategori for LCA analyse i SimaPRO av 1 stk 110 kW vekselretter. "cradle-to-gate". Utført med Consequential modellering.

Calculation:	Analyze
Results:	Impact assessment
Product:	1 p Inverter 110kW
Method:	CML-IA baseline V3.06 / EU25
Indicator:	Characterization
Skip categories:	Never
Exclude infrastructure processes:	No
Exclude long-term emissions:	No
Sorted on item:	Impact category
Sort order:	Ascending

Impact category	Unit	Total	Individual components	Printed Board Assembly	Processing	Infrastructure	Packaging	...
Abiotic depletion	kg Sb eq	3,12	3,98E-01	2,71	1,20E-03	1,17E-02	1,56E-04	
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	5,27E+04	2,14E+04	2,98E+04	6,81E+02	1,57E+02	2,51E+02	
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	4,44E+03	1,91E+03	2,41E+03	5,32E+01	1,18E+01	2,21E+01	
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	4,34E-04	1,33E-04	2,90E-04	4,48E-06	1,34E-06	8,89E-07	
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	4,25E+04	2,31E+04	1,87E+04	6,59E+02	9,59	1,34E+01	
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	3,47E+04	1,66E+04	1,76E+04	4,28E+02	4,52	1,42E+01	
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	5,36E+07	2,39E+07	2,88E+07	6,07E+05	1,32E+04	4,01E+04	
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	3,82E+01	1,58E+01	2,23E+01	3,01E-01	7,75E-03	-3,49E-01	
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	2,60	1,36	1,20	2,21E-02	4,30E-03	6,16E-03	
Acidification	kg SO2 eq	3,77E+01	1,70E+01	1,98E+01	4,76E-01	7,04E-02	1,25E-01	
Eutrophication	kg PO4— eq	2,86E+01	1,21E+01	1,60E+01	2,78E-01	2,76E-02	9,23E-02	
Impact category	Unit		Transport	Technosphere	Energy	Municipal solid waste	Hazardous waste	
Abiotic depletion	kg Sb eq		1,27E-05	2,33E-06	5,62E-05	3,30E-06	1,51E-06	
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ		4,58E+01	8,15E-01	4,04E+02	-1,32	5,19E-01	
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq		3,47	9,18E-02	3,75E+01	9,28E-01	2,09E-01	
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq		5,08E-07	5,23E-09	3,57E-06	1,94E-09	1,90E-09	
Human toxicity	kg 1,4-DB eq		2,03	1,49E-01	3,19E+01	3,87	1,05E-01	
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq		8,65E-01	6,44E-02	2,95E+01	2,67E+01	1,25E-01	
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq		1,88E+03	1,27E+02	7,57E+04	1,41E+05	2,02E+02	
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq		4,28E-03	4,03E-04	9,27E-02	1,87E-03	1,59E-04	
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq		1,48E-03	1,14E-04	1,04E-02	1,17E-04	2,83E-05	
Acidification	kg SO2 eq		4,48E-02	3,60E-04	2,45E-01	-1,06E-03	4,30E-04	
Eutrophication	kg PO4— eq		6,82E-03	1,53E-04	4,62E-02	2,59E-03	4,46E-04	

Diagrammet viser fordeling av bidrag til klimagassutslipp basert på de inndelte prosessene i vedlegg A. Prosessering av metaller slik som kobber, aluminium og gull er inkludert i ”individual components” og ”PBA” for sistnevnte metall.

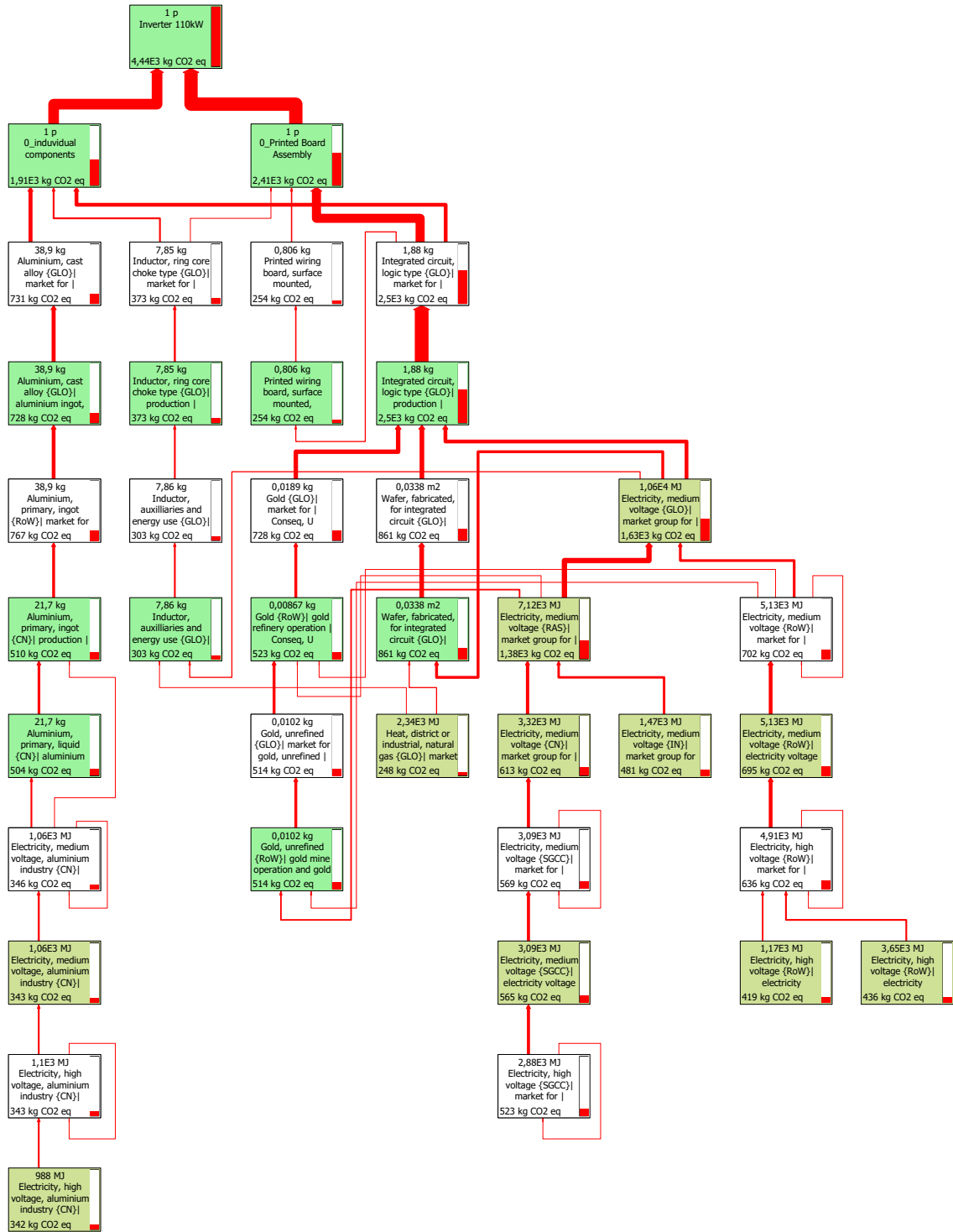
Utslipp fra delprosesser inverter



Figur 7.1: Utslippsfordeling for delprosesser i produksjon av 110kw vekselretter. *PBA (printed board assembly)/kretskort. *Energy inkluderer kun energi til produksjon av vekselretter, ikke energi til produksjon av delkomponenter.

Videre følger nettverket av prosesser som kreves for å lage en 110 kW vekselretter basert på livssyklusdataen som er vist i figur 7.2, prosesser som bidrar med mindre enn 5 % er ikke inkludert. Som man kan se er det individuelle komponenter og kretskort som bidrar mest, innad der er det flyten av energi i form av strøm til ”integrated circuit” til kretskort og aluminium.

Product: Inverter 110kW
 Project: krikarst_project
 Category: Material\Appliances
 Method: CML-IA baseline V3.06 / EU25
 Selected indicator: Characterization, Global warming (GWP100a) (kg CO2 eq)
 Indicator mode: Cumulated indicator
 Exclude long-term emissions: No
 Node cut-off: 5 %



Figur 7.2: Inverter nettverk fra SimaPro

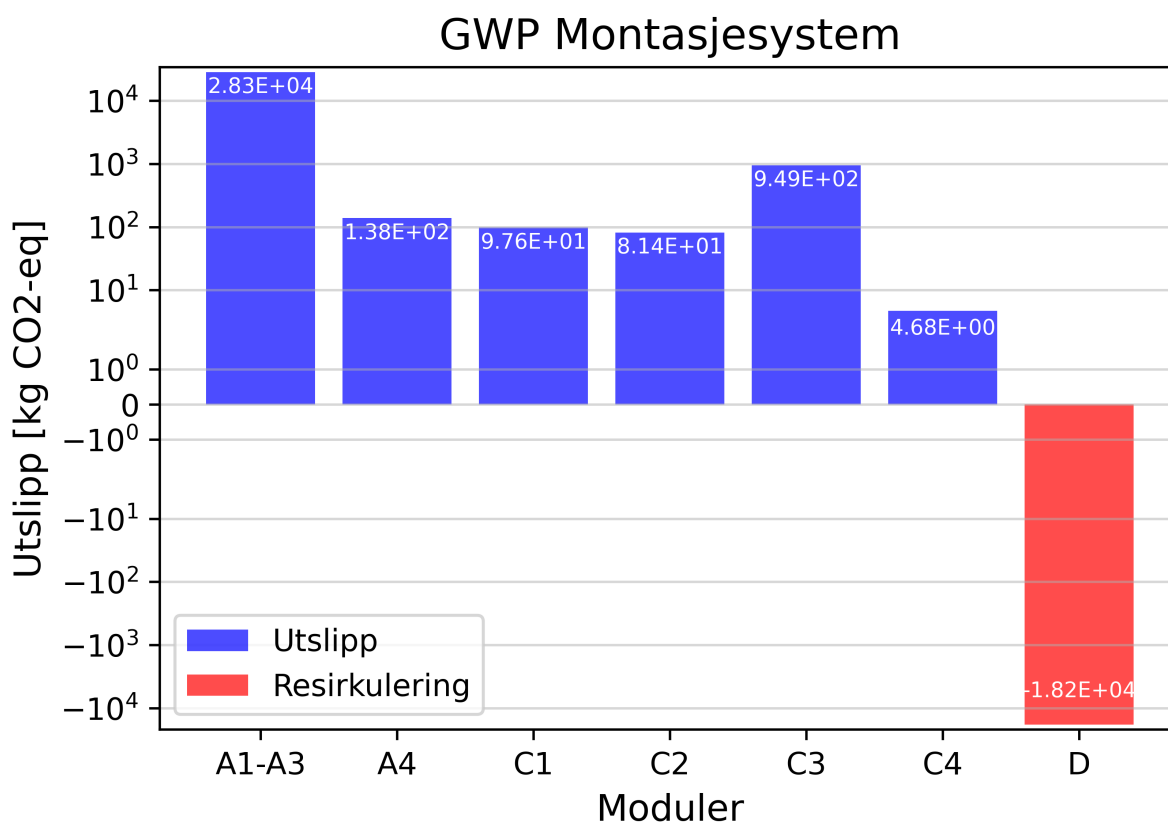
7.2 Beregnede utslipp for montasjesystem

Som sagt tidligere blir utslipp beregnet med verdier for miljøpåvirkning per m^2 fra tabell 5.2 fra EPD [41] multiplisert med nødvendig monteringsareal som er $\approx 673 m^2$ som vist i seksjon 5.1, dette gir resultatene i tabell 7.2 og i figur 7.3:

Tabell 7.2: Resultater for miljøpåvirkning av $260 m^2$ montasjesystem. Råmaterialekstraksjon (A1-A4), demolering og avfallsprosessering (C1-C4), gjenvinningspotensial (D).

Indicator	Unit	A1-A3	A4	C1	C2	C3	C4	D	Suminkl. Resirkulering	Sumeksl. Resirkulering
GWP-total	kgCO ₂ eq.	2.83E+04	1.38E+02	9.76E+01	8.14E+01	9.49E+02	4,68	-1,82E+04	1,13E+04	2,95E+04
GWP-fossil	kgCO ₂ eq.	2.81E+04	1.37E+02	9.76E+01	8.14E+01	9.49E+02	2,15	-1,82E+04	1,12E+04	2,94E+04
GWP-biogenic	kgCO ₂ eq.	1.31E+02	2.97E-01	8.41E-02	1,08E-01	0	2,53	-6,40E-01	1,33E+02	1,34E+02
GWP-LULUC	kgCO ₂ eq.	3,24	4,66E-02	9,76E-03	1,51E-02	0	4,09E-04	1,43E-01	3,45	3,31
ODP	kgCFC11eq.	2,34E-03	3,42E-05	2,09E-05	1,72E-05	7,47E-05	1,73E-07	-1,06E-03	1,43E-03	2,49E-03
AP	molHeq.	1,81E+02	4,22E-01	1,01	3,20E-01	2,68	4,72E-03	-1,12E+02	7,38E+01	1,85E+02
EP-freshwater	kgPeq.	1,24E+01	8,88E-04	3,23E-04	2,71E-04	0	5,83E-06	-2,02E-04	1,24E+01	1,24E+01
EP-marine	kgNeq.	3,32	9,15E-02	4,48E-01	6,45E-02	0	1,72E-03	-2,64E-01	3,67	3,93
EP-terrestrial	molNeq.	8,41E+01	1,02	4,91	7,34E-01	6,12E-01	1,86E-02	-8,35	8,31E+01	9,14E+01
POCP	kgNMVOCeq.	2,34E+01	3,97E-01	1,35	2,62E-01	1,16E-01	5,24E-03	-1,06E+01	1,49E+01	2,55E+01
ADP-M&M	kgSbeq.	2,24E+05	2,95E-04	5,01E-05	4,56E+02	5,09E+03	1,21E-06	-1,65E+05	6,48E+04	2,30E+05
ADP-fossil	MJ	2,60E+05	2,21E+03	1,34E+03	1,20E+03	5,09E+03	1,21E+01	-1,74E+05	9,60E+04	2,70E+05
WDP	m ³	1,41E+03	6,66	1,90	1,80	5,67	7,20E-01	-2,67E+02	1,16E+03	1,42E+03

Figur 7.3 viser logaritmisk fordeling av klimagassutslipp i kg CO₂-eq fra moduler materialekstraksjon, produksjon, avhending og resirkulering.



Figur 7.3: GWP montasjesystem

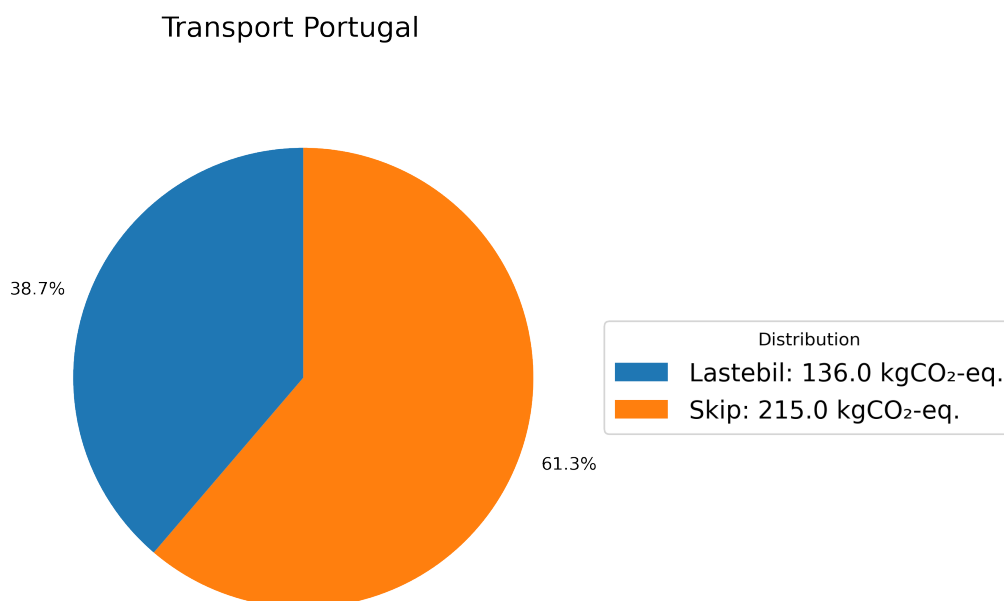
7.3 Beregnede utslipp for balast

Tabell 7.3 viser resultater for miljøpåvirkning av materialekstraksjon og produksjon av 7,16 tonn ballast med flere kategorier, GWP er fremhevet i rosa. Datagrunnlag fra EPD for 1 tonn belegningsstein [7].

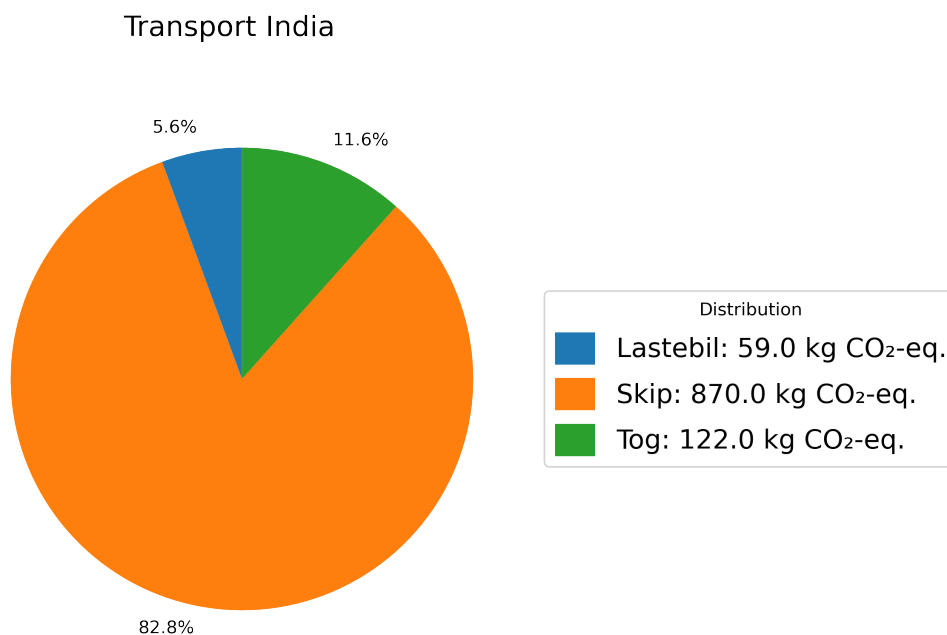
Tabell 7.3: Resultater for miljøpåvirkning av produksjon av 7,16 tonn ballast (betongstein). Råmaterialekstraksjon (A1-A4), demolering og avfallsprosessering (C1-C4), gjenvinningspotensial (D).

Miljøpåvirkning (Environmental impact)						
Parameter	Unit	A1	A2	A3	A4	Totalt
GWP	kg CO ₂ -eq	5,90E+02	6,04	8,02	2,96E+01	6,34E+02
ODP	kg CFC11 -eq	1,32E-05	1,24E-06	1,25E-06	6,09E-06	2,18E-05
POCP	kg C ₂ H ₄ -eq	8,59E-02	9,45E-04	1,67E-03	4,63E-03	9,32E-02
AP	kg SO ₂ -eq	4,45E-01	1,56E-02	5,36E-02	7,66E-02	5,90E-01
EP	kg PO ₄ ³⁻ -eq	3,57E-01	2,15E-03	1,18E-02	1,05E-02	3,82E-01
ADPM	kg Sb -eq	3,46E-04	1,44E-05	4,06E-05	7,05E-05	4,71E-04
ADPE	MJ	1,97E+03	9,88E+01	1,05E+02	4,86E+02	2,66E+03

Diagram 7.5 viser utslippsfordeling for hver transportkategori for transport av 7,16 tonn belegningsstein fra India til Norge og i diagram 7.4 Portugal til Norge beregnet ved bruk av Ecoinvent databasen og SimaPro programvaren som vist i seksjon 5.6. Det samlede utslippet i GWP fra lastebil og skip fra Portugal til Norge er 351 kg CO₂-eq og for lastebil, skip og tog fra India til Norge 1051 kg CO₂-eq.



Figur 7.4: Utslipp transport portugal



Figur 7.5: Utslipp transport India

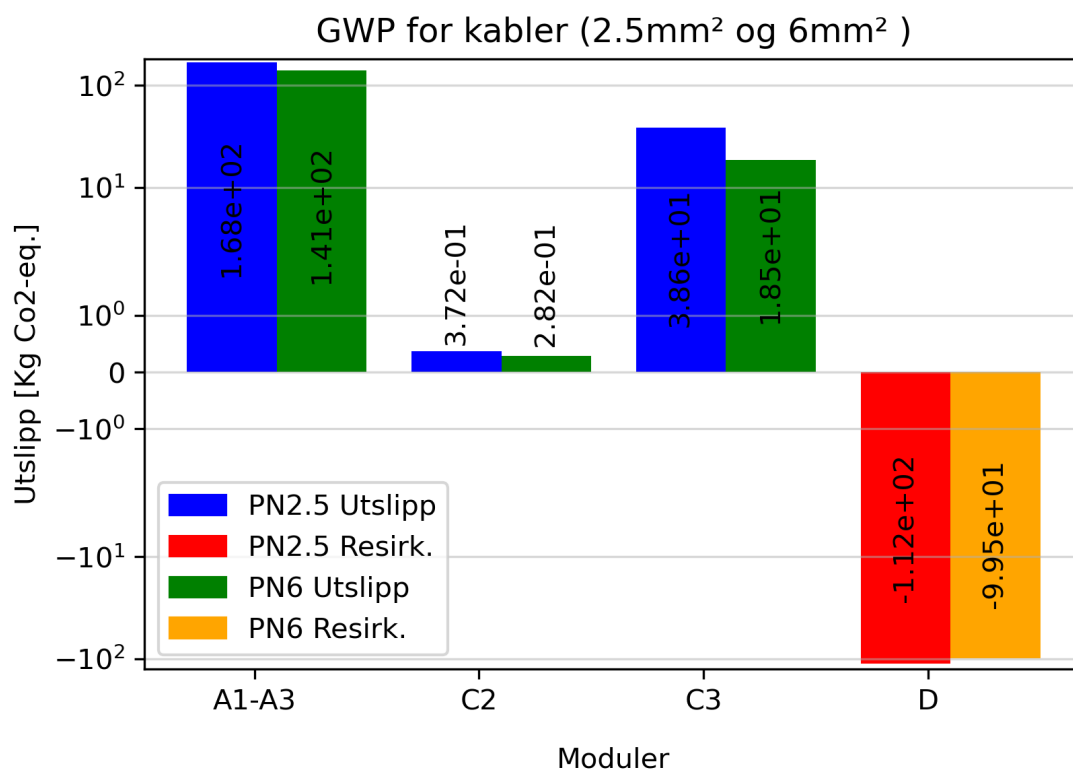
7.4 Beregnede utslipp for kabler og kabelbro

Tabell 7.4 viser utslipp for 1,9 km med strømkabling til referansesystemet hvorav 1,4 km er 2,5 mm² kabel og 500 meter er 6 mm² kabel.

Tabell 7.4: Resultater for utslipp knyttet til kabler, totalt 1900 m, Råmaterialekstraksjon (A1-A4), demolering og avfallsprosessering (C1-C4), gjenvinningspotensial (D).

Indikator	Enhet	A1-A3	C2	C3	D	Total med resirkulering	Total uten resirkulering
PN 2,5mm²							
GWP-total	kgCO ₂ eq.	168	3,7E-01	38,6	-112	95,2	207
PN 6mm²							
GWP-total	kgCO ₂ eq.	141	2,8E-1	18,5	-99,5	59,7	159

Figur 7.6 viser logaritmisk fordeling av utslippsbidrag per modul for kabler av to forskjellige tverrsnitt. Merk at det brukes 1,4 km med 2,5 mm² og 500 meter med 6 mm².



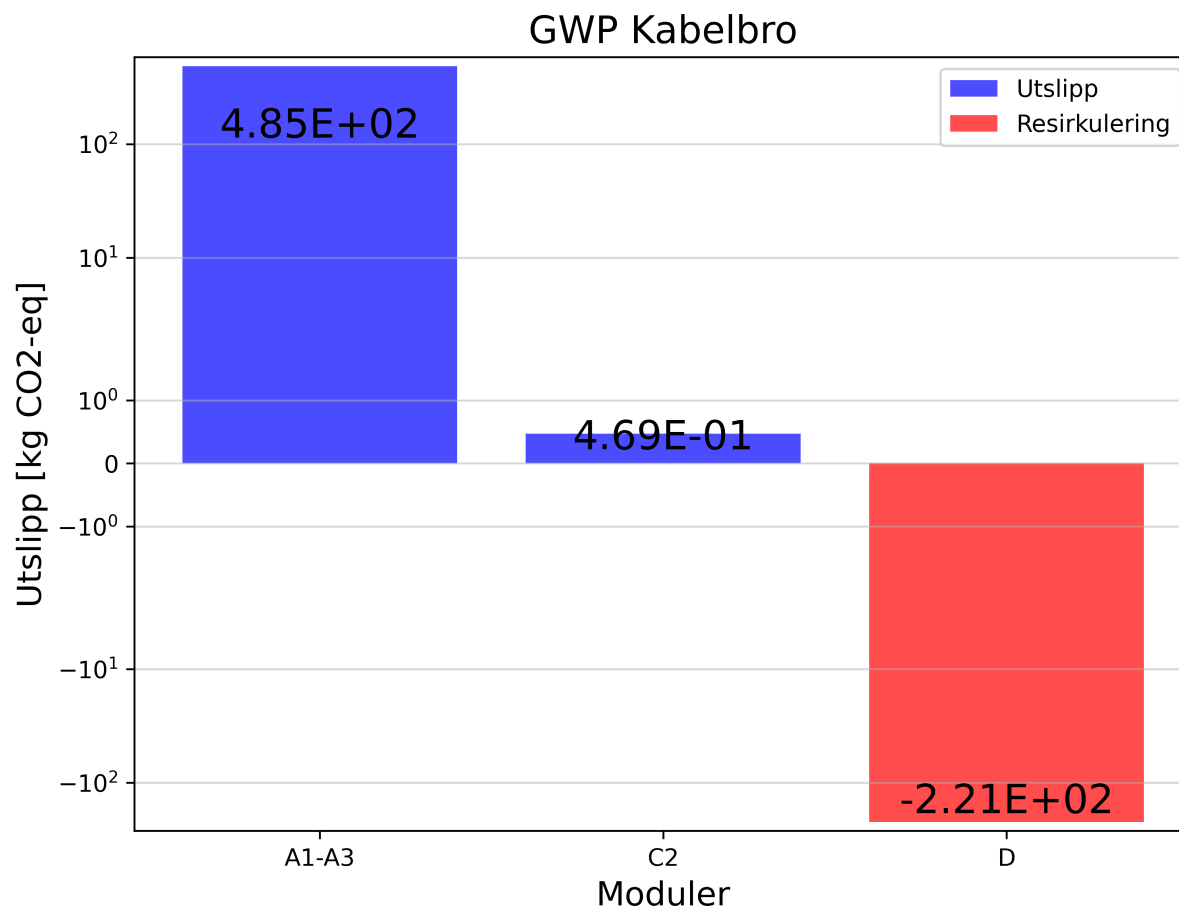
Figur 7.6: Logaritmisk fordeling av utslippsbidrag fra livssyklus moduler for kabling.

Videre følger miljøpåvirkning for 44 meter med kabelbro til referansesystemet, GWP uthevet i rosa, total påvirkning med og uten resirkuleringspotensial utnyttet. Dette er basert på datagrunnlag fra utslipp i tabell 5.7 multiplisert med nødvendig mengde som vist i seksjon 5.5.

Tabell 7.5: Miljøpåvirkning for 44 m med kabelbro til referansesystemet. Råmaterialekstraksjon (A1-A4), demolering og avfallsprosessering (C1-C4), gjenvinningspotensial (D).

44 m kabelbro								Total uten resirkulering	Total uten resirkulering.
Environmental impacts	Unit	A1-A3	A4-C1	C2	C3	C4	D	CO2-Eq	CO2-Eq
Global warming potential (GWP)	kgCO2equiv.	4,85E+02	x	4,69E-01	x	x	-2,21E+02	2,73E+02	4,85E+02
Ozone depletion potential of stratospheric layer (ODP)	kgCFC11-equiv	5,10E-08	x	2,25E-12	x	x	2,02E-08	7,13E-08	5,10E-08
Acidification potential of soil and water	kgSO2equiv.	1,76	x	2,15E-03	x	x	-8,80E-01	8,82E-01	1,76
Eutrophication	kgPO4 ^{3-}	2,57E-01	x	4,93E-04	x	x	-8,62E-02	1,71E-01	2,57E-01
x = inkludert i A1-A3 eller utenfor systemgrenser									

Figur 7.7 viser logaritmisk fordeling av globalt oppvarmingspotensial for produksjon og transport 50km for montasjesystem. Modul D viser resirkuleringspotensial.



Figur 7.7: GWP Kabelbro i kg co₂-eq, Moduler A1-A3 er produksjonsfase, C2 transport* og D resirkuleringspotensial.

7.5 Samlede utslipp for BOS

Tabell 7.6 viser GWP fra de viktigste komponentene i referansesystemet ekskludert solcellemoduler. Totalt utslipp er utregnet med tanke på bruk av to vekselrettere. Andelsberegning er gjort med summen som er ekskludert resirkulering. For ballast er den inkluderte transporten kun den som er medregnet i EPD, transport innad Norge.

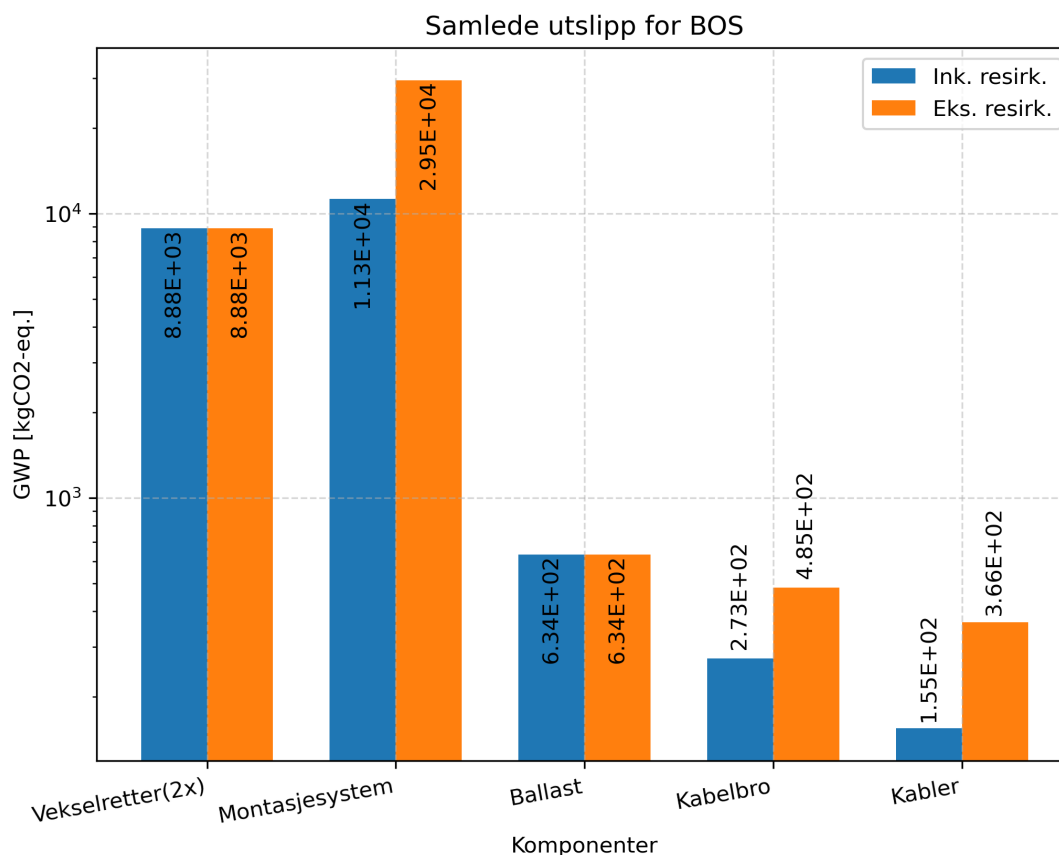
Tabell 7.6: Samlet utslipp for referansesystemet i Globalt oppvarmingspotensial, A1-A4, C1-C4 og D forklart i 5.7.

Komponent:	Indicator	Unit	A1****	A2	A3	A4	C1	C2	C3	C4	D	Sum inkl. Resirkulering	Sum eksl. Resirkulering	Andel
Vekselretter	(GWP100a)	kg CO2eq.	4398	0	0	3	0	0	39	0	0	4440	4440	
2 stk vekselrettere	(GWP100a)	kg CO2eq.	8796	0	0	7	0	0	77	0	0	8880	8880	22,3 %
Montasjesystem	GWP	kg CO2eq.	28300	0	0	138	98	81	949	5	-18200	11300	29500	74,0 %
Ballast uten transport	GWP	kg CO2eq.	590	6	8	30	0	0	0	0	0	634	634	1,6 %
Kabelbro	GWP	kg CO2eq.	485	0	0	0	0	0	0	0	-221	273	485	1,2 %
Kabler	GWP	kg CO2eq.	309	0	0	0	0	1	57	0	-212	155	366	0,9 %
Totalt	GWP	kg CO2eq.	38480	4	6	170	98	83	1122	5	-18633	21242	39865	100 %

****For EPD/LCA med moduler A1-A3 kombinert legges alt i A1 i resultattabellen.
 ***Ballasten transporteres fra Portugal, produksjonsdata basert på norsk energimiks.
 **Ballasten transporteres fra India, produksjonsdata basert på norsk energimiks.
 *0 - Inkludert i A1-A3 eller ikke inkludert (C-moduler)

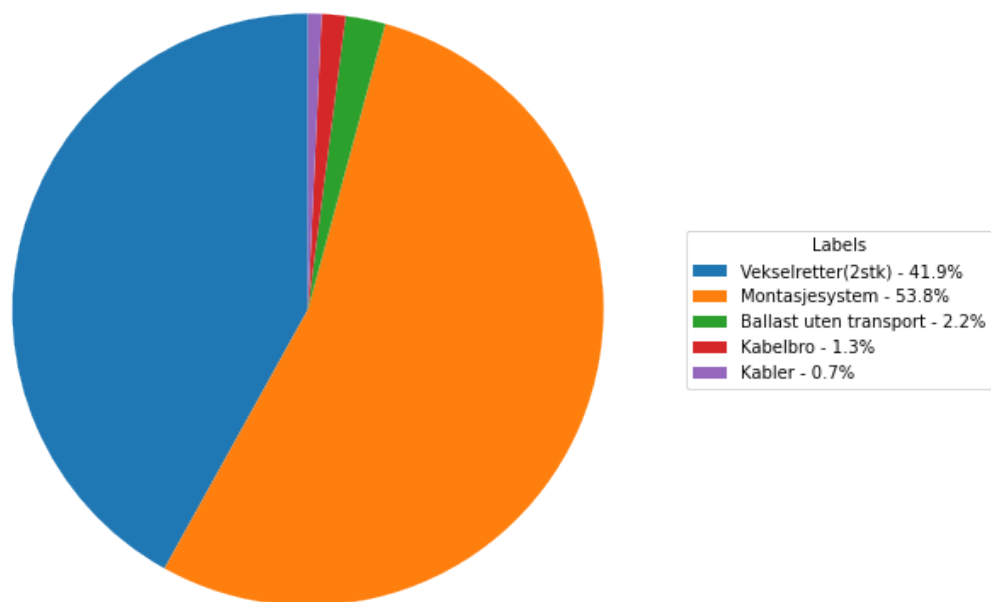
BOS GWP 21 tonn - 40 tonn CO2 Eq.

Diagram 7.9 og 7.10 viser fordeling av prosentvisbidrag til utslipp fra BOS komponenter med og uten resirkulering inkludert. Basert på bruk av 2 stk vekselrettere. Figur 7.8 viser logaritmisk fordeling av total GWP for BOS komponenter med og uten resirkuleringspotensial fratrukket. Resirkuleringspotensial er ikke rapportert for vekselretter og ballast.



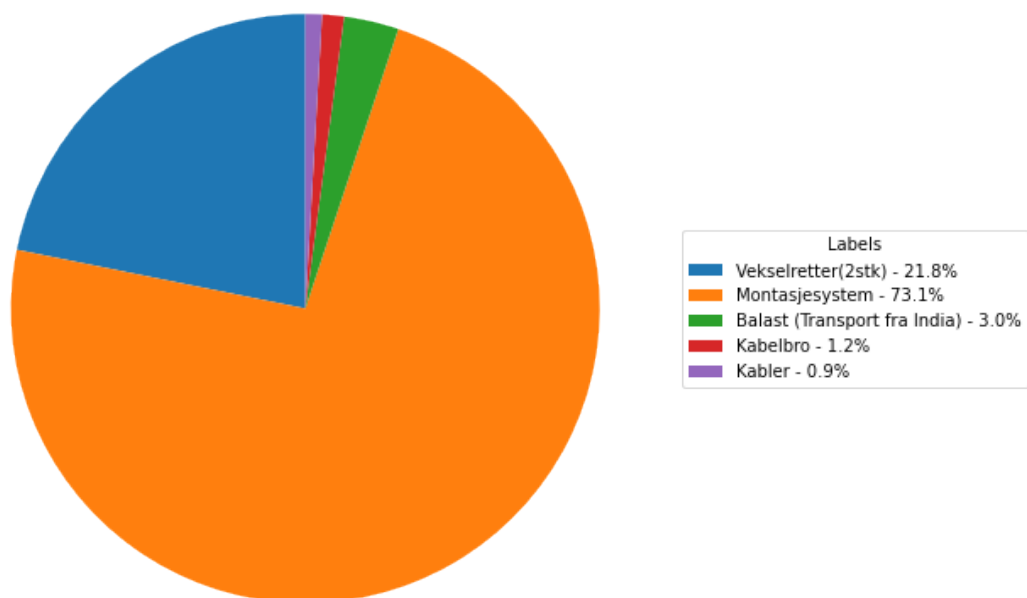
Figur 7.8: Utslipp av BOS komponenter

Fordeling av samlede utslipp ink. resirk.



Figur 7.9: Prosentvisfordeling ink. resirkulering

Fordeling av samlede utslipp eks. resirk.



Figur 7.10: Prosentvisfordeling eks. resirkulering

8 Diskusjon

8.1 Montasjesystem

Datakvaliteten for utslipp fra montasjesystem vurderes som god. Den er basert på produksjon i 2020 og data for aluminiums ingot er fra EPD fra Norsk Hydro. Dataen er hovedsakelig basert på markedsaktivitet og burde derfor kunne generaliseres til produksjon fra andre bedrifter i Norge. Allokering er basert på masse som burde gi mening med tanke på at de to produktene som kommer ut er montasjesystem og aluminiumsavskjær/”scrap”. At datakvaliteten er god kan gi styrke til referansesystemets totale utslipp ettersom montasjesystemets andel er på 72 %, som vist i tabell 7.6. Dette gjenspeiles i det faktum at EPD er basert på oppføring i Tromsø med høye vind- og snøbelastninger, slik at EPD-en gir i følge forfatterene et konservativt estimat med tanke på materialbehov og utslipp som følger.

Referansesystemet i avsnitt 5.1 inkluderer ballast og GWP som følge av produksjonen og transporten av disse. I og med at montasjesystemet ikke er beregnet for ballast vil det være noen forskjeller i utforming sammenlignet med systemer som er det [31]. Det kan tenkes at montasjesystem beregnet for ballast har en høyere egenvekt ettersom vekten ikke har noen hensikt å redusere. Dette betyr i tilfellet mer masse i form av stål og aluminium og som følge kanskje høyere klimagassutslipp fra produksjon. Samtidig er det totalvekten som gjelder med tanke på å unngå å bli tatt av vinden, slik at en økning i egenvekten hos montasjesystemet betyr mindre nødvendig ballast. Likevel vil nok klimagassutslippene bli høyere som følge av en eventuell økning i montasjesystem, ettersom resultatene i diagram 7.6 for hele systemet viser langt større utslipp fra montasjesystem sammenlignet med ballast, selv om ballasten har en høyere vekt (7,16 tonn) enn montasjesystemet (4,6 tonn). Dette gjør at det nok er hensiktsmessig med tanke på GWP å redusere massen av montasjesystem der det er mulig og erstatte det med ballasting.

Utslippene er også bare representative for scenario med bruk av 545 Wp solceller eller andre panel med samme virkningsgrad (rundt 23 %). Dette er fordi paneler med høyere eller lavere virkningsgrad vil ha henholdsvis mindre eller lavere arealbehov for å kunne levere nok effekt til P_{nom} 1.28 over en 110 kW vekselretter. Lavere virkningsgrad betyr flere paneler, større areal og mer montasjesystem. Med tanke på dette kan det være interessant for senere studier å se på forholdet mellom virkningsgrad og BOS-behov med tanke på utslipp og kostnader.

Resultatene for utslipp knyttet til montasjesystem er mest representative for norsk-produsert montasjesystem ettersom det er det det er. I tillegg oppgir forskerne at generiske prosesser i analysen er justert for å best kunne representere de bestemte produsentene. Det er derfor utfordrende å si noe om generaliserbarheten til resultatene. På den andre siden er det kanskje mer korrekt å si noe om hva de ikke representerer, i og med at store deler av utslippene er knyttet til produksjonen av aluminium [41] som igjen krever mye energi så vil utslipp knyttet til energimix ha mye å si for det resulterende utslippet. De tidligere nevnte forskjellene i fornybar andel av energimiks for ulike land, vil fra et klimagass perspektiv være et argument for å benytte seg av norskprodusert montasjesystem ettersom dette er produsert med en energimiks som er meget god, sammenlignet med andre [55]. Dette vil naturligvis også bidra til mindre utslipp knyttet til transport.

Levetiden for montasjesystemet er oppgitt å være 30-60 år. Med andre ord er dette gjenstand for tolkning med tanke på oppgaven som ser på referansesystemets utslipp over 30 år. Det kan tenkes at montasjesystemet kan demonteres og brukes til etterfølgende prosjekt. I dette tilfellet

burde utslippene med tanke på referansesystemet bli redusert. På den andres siden blir dette spekulasjon, og det er vanskelig å si hvordan fremtidens system blir utformet. Det er heller ikke sikkert at solcellemoduler må byttes ut etter 30 år. Derfor vil det å inkludere det totale utslippet knyttet til produksjonen kanskje gi et mer riktig bilde med hensyn til GWP for referansesystemet.

Det er ikke oppgitt en andel av resirkulert stål eller aluminium i montasjesystemets EPD. Samtidig har vi fått vite fra ANEO at det er vanlig at det de bestiller inneholder en viss andel, alt fra 30 % til 80 %, og at Norsk Hydro produserer aluminium med andeler av resirkulert materiale. Norsk Hydro er leverandør til Lonevåg Beslagfabrikk AS [41]. I og med at LCA som den baseres på er privat og det ikke er oppgitt i EPD, finnes det ikke godt grunnlag for å anta en andel i analysen. Samtidig er dette verdt å betrakte, spesielt med tanke på den store andelen utslipp som montasjesystemet bidrar med som vist i tabell 7.6. Bruk av resirkulerte materialer reduserer bidraget i produksjonsstadiet, mer spesifikt A1 (materialekstraksjon). Basert på dette kan man si at det er spesielt viktig å ta i bruk en stor andel resirkulerte materialer i montasjesystem dersom man ønsker å redusere GWP fra BOS-komponenter.

8.2 kabelbro og kabler

Utslippsanalysen for kabelbro og kabler er også utført med bruk av data fra EPD og de nødvendige mengdene er satt med bakgrunn i referansesystemet vist i seksjon 5.1 og PVsyst. Det samme gjelder størrelser (tverrsnitt) og lengder for nødvendig kabling. Disse vurderingene er gjennomgått med oppgavegiver som har førstehånds erfaring med utforming av solcelleanlegg slik at plasseringen og mengdene kan representere et realistisk tilfelle for et fungerende system.

Utslipp for kabelbro er basert på data fra analyse av en tysk produsent som har brukt utelukkende fornybar energi, ref vedlegg B. Dette kan føre til et skjevt bilde av det faktiske utslippet fra den "generelle" kabelbroen som ikke nødvendigvis bare produseres med fornybar energi. Samtidig skriver forfatterne at de har brukt konservative estimat, spesielt der det er mangler i data. Ettersom kabelbro bidrar med 1,2 % til det totale utslippet for BOS og har et resirkuleringspotensial som kan halvere utslippene er det nok begrenset hvor mye en annen energimiks i produksjon vil påvirke det samlede utslippet.

Utslippsanalysen for kabler i tabell 5.8 er basert på data fra en svensk produsent [1]. At dataen er fra 2020 og representerer produksjonsåret 2021 kan gi en fordel med tanke på datakvaliteten da man kan anta en moderne produksjonsprosess.

Samtidig gir produktbeskrivelsen inntrykk av at det er en kabel som er ment for innendørs bruk og ikke nødvendigvis er egnet for solkraft-installasjoner på tak utsatt for vær og vind. Det kan tenkes at kabler spesifikt for dette formålet har en større grad av isolasjon og beskyttelse som da kan bidra til høyere utslipp knyttet til produksjon. EPD oppgir vekt av isolasjon som halvparten av leder delen, men ikke andel av bidrag til utslipp. Dette gir en usikkerhet med tanke på hvor mye det utgjør. Samtidig utgjør kabling < 1 % av det totale utslippet fra BOS-komponenter, vist i tabell 7.6 for referansesystemet.

Det er heller ikke gjort utslippsanalyse med tanke på transport av kabelbro fra Tyskland og kabler fra Sverige. Komponentene har en relativt lav samlet vekt (170 kg kabelbro og 80 kg kabler), slik at resulterende tonn-kilometer og derav utslipp fra transport fra nærliggende land som Tyskland og Sverige vil være en brøkdell av bidraget sammenlignet med transport av f.eks ballast fra India eller Portugal som allerede står for $< 3 \%$, som vist i tabell 7.6. En utslippsanalyse av et bestemt system bør kanskje inneholde dette, på den andre siden for et referansesystem som ønsker å gi et inntrykk av utslipp knyttet til et system som kan støtte bruk av en 110 kW vekselretter, vurderes det som mindre utslagsgivende, spesielt ettersom komponentene i grunn kan komme fra hvor som helst i de forskjellige tilfellene. Det er heller ingen spesielle forhold med tanke på f.eks stort volum sammenlignet med vekt for kabler eller kabelbro som gjør frakt problematisk eller utfordrende slik som nevnt i avsnitt 5.4 for tonn-kilometer.

8.3 Ballast

GWP for ballast ble funnet ved bruk av EPD for belegningsstein produsert i Norge samt vurderinger av ulik grad av transport. Det er ingen spesifikk type ballast som er nødvendig for å utøve den funksjonen som systemet etterspør fordi det kun brukes for å gi en ytterligere vekt til systemet og forhindre skader. Oppgavegiver legger derfor gjerne vekt på kostnad, og her burde nok steinen som er valgt kunne være representativ. Dette er bekreftet av bedriftskontaktene i ANEO. Den består/produces fra sement, fyllmasse (stein,grus,sand) og vann. Data for fyllmasse er som nevnt fra modifisert ecoinvent (2012) og Østfoldforskning som vist i EPD 5.4.

Mengden nødvendig ballast er basert på at relativ mengde nødvendig ballast er likt som i et annet flat-tak solkraft-prosjekt. Om denne mengden er over- eller underestimert er i grunnen en byggingeniør-jobb og går utover rammene for denne oppgaven. Ballastfordeling og mengde er kompleks og er basert på blant annet vindforhold, noe som ikke er kartlagt i denne oppgaven. Ballastmengdene er derfor hentet fra et annet prosjekt og tilpasset antallet solcellepanel i referansesystemet.

Når det kommer til data kan det tenkes at datakvaliteten kunne vært bedre dersom data for f.eks fyllmasse (2012/2016) hadde vært nyere. Teknologiutvikling og fokus på klimagassutslipp generelt kan tenkes å ha gitt mindre utslipp fra material-ekstraksjons-prosesser i dag enn i 2012. Det er også denne delen av produksjonsprosessen som bidrar til størst andel av det samlede utslippet som vist i tabell 7.3, gitt at man ikke tar med transport fra f.eks. India. Utslippsanalyse medregnet transport viser at påvirkningen fra transporten med tanke på GWP er større enn produksjonen av betongsteinen i seg selv. Det er også grunn til å tro at betongstein produsert i land med høyere utslipp fra sin energiproduksjon vil gi et større fotavtrykk fra produksjonen ettersom den er energiintensiv. Dette er fordi man er avhengig av høye temperaturer for å lage sementen som brukes i betongen.

På den andre siden består store deler av energibruken for den norskproduserte betongsteinen fra Aaltved betong AS også av ikke-fornybar energi [7] men 80 MJ fornybar mot 288 MJ fossil. Dette gjør at man kanskje ikke trenger å forvente så store forskjeller i GWP fra betong produsert i Norge og land med mer CO₂-intensiv energimiks. Samtidig er det slik at også utslippene knyttet til fossil energi varierer basert på blant annet ekstraksjonsteknologi, og det snakkes ofte om at Norge har den ”reneste oljen” [55]. Dermed kan det uansett argumenteres for å prioritere norskprodusert ballast, både med hensyn til transport og produksjon.

Når det gjelder transport er det flere usikkerhetsmomenter som påvirker hvorvidt resultatene er generaliserbare eller ikke. Transportsektoren er dynamisk, og hvilke fartøy som brukes er ikke nødvendigvis konstante, men avhengig av avganger, tilbud, etterspørsel, hvor det er plass og så videre. At transportruten er gitt ved hjelp av verktøy levert av transportplanleggere gir inntrykk av at det er en realistisk rute. Likevel er det grunn til å anta at transporten av masser med så høy egenvekt som betongstein utgjør mye med tanke på utslipp fra ballastering.

I transportberegningene er det også tatt utgangspunkt i bruk av EURO 6 kjøretøy som vist i LCI 5.5 og 5.6, dette vil si nyere kjøretøy med et visst nivå av effektivitet. I et reelt transportsenario vil det være store forskjeller i effektiviteten hos forskjellige kjøretøy. Samtidig utgjør ”lastebil-delen” av transporten en liten andel av den totale transporten i dette tilfellet, både for transport fra Portugal og fra India. Derfor vurderes denne usikkerheten som neglisjerbar. Det er også brukt data basert på globale verdier for sjøtransporten, europeiske for lastebil og tog for India. Dersom analyser skal gi et helt nøyaktig bilde på utslipp fra transport i et bestemt tilfelle bør man ta hensyn til og modifisere aktiviteter slik at de er tilpasset bestemte transportmidler og årsmo- dell.

Samlet kan man si at utslippene for produksjon av ballasten er relativt representativ for flere tilfeller av ballast fra andre produsenter, spesielt med tanke på at aktiviteten som brukes fra ecoinvent-databasen er markedsaktiviteter som representerer globale eller europeiske tilfeller, forklart i LCA av vekselretter 5.2. Utslipp fra transport vil variere basert på hvor mye tog, båt og lastebil som brukes i det gitte tilfellet, men resultatene burde gi et brukbart inntrykk av hva man kan forvente av utslipp fra transport fra India og Portugal. Dette kan generaliseres til land med liknende geografisk beliggenhet og avstand fra Norge ettersom det gjerne vil resultere i liknende bruk av lastebil og sjøtransport. Resultatene viser at GWP fra transport kan bli større enn GWP fra produksjonen av ballasten som transporteres. Dette bør som tidligere antydnet kanskje inngå i beslutningstaking med tanke på innkjøp dersom man som bedrift ønsker å redusere sine klimagassutslipp.

8.4 Inverter LCA

For denne rapporten ble det utført et søk etter LCI-data for 110 kW invertere som skulle benyttes for å utføre en LCA. Det viste seg at denne dataen skulle bli en utfordring å oppdrive. Det ble derfor som nevnt i seksjon 5.2 valgt å benytte data som ble funnet i en LCI-analyse av 2.5-20 kW invertere fra det internasjonale energibyrådet (IEA) fra 2016. På bakgrunn av metodene benyttet for å skalere opp denne dataen i flere steg vil det finnes en usikkerhet i tallene benyttet i LCA-analysen i denne rapporten. Derfor hadde det som nevnt i seksjon 5.2 vært optimalt å anskaffe en inverter som kunne demonteres å måles for å styrke kvaliteten på dataen. Samtidig er det funnet andre utslippsanalyser som har brukt den samme metoden for skalering som nevnt [66], og dette kan derfor antas som en relevant metode for å gjøre anslag med tanke på bestanddeler av materialer, energistrømmer og utslippene derav. Det ble i en tidlig fase av arbeidet gjort et forsøk på å anskaffe en defekt inverter som kunne benyttes til dette formålet. Det lyktes ikke da det ble opplyst om at defekte invertere blir levert tilbake til leverandør på grunn av garantibestemmelser.

Figur 5.6 viser en fordelingskurve basert på SimaPro sine anslag som følge av datakvalitet. Det er forventet at aluminium som er satt til 37,3 kg fra livssyklus inventaret fra IEA [36] vil med 95 % konfidens ligge mellom $\approx 25 - 55$ kg. Den samme relative fordelingen gjelder for f.eks PBA og kobber. Samtidig er det ikke sikkert at en økning eller evt. reduksjon i materialmengden av disse vil resultere i en reduksjon av utslipp. I og med at vi vet vekten av vekselretteren må en reduksjon i en materialmengde bety økning av en annen. Dette kan utforskes ved hjelp av en følsomhetsanalyse noe som ikke er tilgjengelig for SimaPro "Faculty" eller "Student"-versjonene. På den andre siden er det mulig å se følsomhet basert på resultat og inventar, f.eks. PBA som har en vekt på 25,7 kg (ikke inkludert "printed wiring board" og "plugs") som er 29,2 % av totalvekten men bidrar med 54,2 % av utslippene, som man kan se i figur 7.1. En økning av komponenter i PBA som gir en reduksjon av komponenter i "individual components" kan føre til høyere totale utslipp for produksjonsprosessen, spesielt for enkeltkomponenter i PBA slik som "integrated circuit, logic type" som bidrar mest til utslipp. Det er imidlertid for mange komponenter til å gjennomføre analyse uten bruk av programvare. Det hadde heller ikke kunne gitt noen reelle svar på hvilke komponenter det i virkeligheten er mer og mindre av, kun i hvor stor grad deres endring av mengde bidrar til økning eller reduksjon av resultatet. Å anslå hvor stor usikkerhet det er i resultatene for utslipp fra vekselretter vil dermed uansett bli mer eller mindre grad av spekulasjon.

Det vil også finnes usikkerhet i utdataen da det i hovedsak ble benyttet RoW og GLO-data, som ikke nødvendigvis vil være den mest representative dataen for vekselretter fra Kina, da mye av produksjonen foregår der. Det ble allikevel valgt å benytte denne dataen for å styrke LCA-en sin generalitet, og av den grunn være mer overførbart til flere lands produksjon ved å ikke være begrenset til et spesifikt område.

Det vil i tillegg finnes noe usikkerhet i utslippene med tanke på inverterens levetid. Det ble funnet at levetiden til invertere kan variere noe, da det ved litteratursøk ble funnet at levetiden kan variere fra 15 til 30 år som nevnt i seksjon 5.2. Basert på disse opplysningene ble det antatt at inverteren vil kunne bli defekt før referansesystemet, som har basis i solcellemoduler som har en forventet levetid på 30 år. Med hensyn til dette ble det i denne rapporten antatt et behov for to invertere i løpet av levetiden til systemet. Dette vil bidra med ytterligere 4440 kg CO₂-eq. i forhold til om det blir benyttet 1 inverter. Det finnes som nevnt vekselrettere som forventes å fungere i 30 år eller mer, og det ble derfor inkludert resultater for 1 vekselretter.

Det ble i denne rapporten benyttet transport for råmaterialer som visst i LCI-dataen i vedlegg A. Disse tallene er oppskalerte verdier fra LCI-dataen til Treeze, akkurat som de andre tallene. Transporten benyttet her gir en total på 182 tkm og vil dermed ikke utgjøre en merkbar andel i det totale utslippet. Denne dataen er basert på vekselretter produsert i Europa, delvis av komponenter og materialer fra Kina som da er inkludert i 182 tkm. Den egentlige tkm for én hel inverter fra Kina til Norge er som vist i seksjon 5.2 ca 2000 tkm. Sammenlignet med f.eks ballast fra India til Norge med en tkm på mer enn 90 000, som vist i tabell 5.6. Denne frakten resulterte i overkant av 1 tonn CO₂-eq. Ettersom denne er basert på en tkm som er 45 ganger større enn for inverter er det vurdert som at det har liten hensikt å inkludere transporten av inverter med tanke på klimagassutslipp. Det ville kunne øke studiens nøyaktighet men samtidig kunne redusere generaliserbarheten for tilfeller der ANEO kjøper vekselretter fra europeiske produsenter.

Når det kom til valget av hvilken metode som skulle benyttes til de endelige resultatene falt valget på "consequential" modellering selv om tallene for GWP var relativt like for de to ulike metodene. Dette ble gjort med grunnlag i hvilken av metodene som gir det mest riktige bilde av utslippene. Det ble konkludert med at siden produksjonen av solenergi er økende og etterspørselen er i endring, ble det derfor mest realistisk resultat ved bruk av "consequential" modellering. Denne modelleringsmetoden tar for seg de indirekte miljøpåvirkningene som oppstår av de fremtidige endringene.

Som vist i nettverket i figur 7.2 består inverteren av en rekke delprosesser som alle gir hvert sitt bidrag til det endelige totalutslippet. Den største bidragsyteren til totalutslippet er utslippene som oppstår fra PBA (Printed Board Assembly). Ut ifra nettverket og tabell 7.1 kan det ses at totalutslippet til en inverter er på 4440 kg CO₂-eq. og utslippet fra PBA ligger på 2410 kg CO₂-eq. Ut ifra figur 7.1 kan man se at dette har et bidrag på 54.2 % til totalutslippet av inverteren. Delprosessene som er med på å skape det store bidraget til PBA er i hovedsak produksjonen av delkomponenten "integrated circuit, logic type". Denne komponenten sine hovedprosesser er strømforbruk, "wafer", gull hvor de henholdsvis bidrar med 911, 861 og 728 kg CO₂-eq. Ettersom energiforbruket er den største bidragsyteren skal det merkes at utslippene som oppstår av produksjonen vil variere betraktelig alt etter hvilken energimiks som brukes i produksjonslandet.

I tillegg til PBA gir "individual components" et stort bidrag til totalutslippet til inverteren. Denne prosessen tilfører ytterligere 1910 kg CO₂-eq eller 42.9 % av totalutslippet til inverteren som visst i figur 7.1. Dette utslippet kan forklares ved at hovedkomponentene benyttet i denne prosessen er aluminium. Utvinningene av aluminium er en svært energikrevende prosess og derfor vil det være et stort bidrag til det totale utslippet. Likt som for PBA vil utslippene som oppstår av dette variere etter hvilken energimiks som er brukt i produksjonslandet. Disse materialene er dog gjenvinnbare og det kan brukes resirkulert aluminium og kobber i produksjonen av invertere. Derfor kan bidraget av CO₂ eq. også variere med tanke på hvor stor prosentandel av resirkulert materiell som er benyttet.

8.5 Referansesystemet

I referansesystemet er det tatt utgangspunkt i solcellepanel med virkningsgrad 22,87 %. Det er viktig å understreke hvor førende effektiviteten av panel er for BOS- komponentene. Selv om systemet er tilpasset en 110 kW vekselretter vil bruk av mindre effektive moduler gjøre at behovet for montasjesystem, ballast, kabelbro og kabling øker. Dette er fordi det vil være behov for en større mengde panel for å oppnå samme effekt og energiproduksjon. Tilsvarende vil bruk av mer effektive moduler gi motsatt effekt. Dette setter en viss begrensning for overførbarheten av resultatene til prosjekt hvor mer eller mindre effektive moduler brukes. Selv om utslipp fra produksjonen av solcellepanel ikke inkluderes i denne oppgaven er det nødvendig å nevne at visse solceller er mer effektive enn andre på grunn av blant annet silikonet de er laget av. Rent silikon med visse krystallstrukturer krever mer energi å produsere, og energibruk gir utslipp [55]. Det er mulig at utslippene knyttet til mer effektive panel går utover besparelsene i mindre BOS-komponenter. Dette er utenfor oppgavens rammer og kan være gjenstand for videre studier.

Det er flere aktiviteter som kan være potensielle bidrag til klimagassutslipp for referansesystemet som ikke er inkludert i undersøkelsen. Som tidligere nevnt er det utelatt moduler i tillegg til noen transportetapper slik som transport av kabelbro og kabler samt vekselretter innad i Europa. Det er også en monteringsjobb som utføres som vil kreve bruk av f.eks heisekran, i tillegg må montører kjøre til og fra arbeidsstedet. Det er også komponenter som brukes som ikke inkluderes, slik som monteringsbraketter som fester moduler til montasjesystem, og strips til festing av kabler til montasjesystem og kabelbro. Kanskje viktigere er eventuelle transformator-behov dersom det ikke skulle finnes kapasitet i nettet til å støtte anlegget. Disse aktivitetene er utfordrende å anslå ettersom de vil avhenge av hvor prosjektet utføres, hvilke forhold som foreligger og hvilke utstyr som er tilgjengelige. Inkludering av disse ville redusert usikkerhet og gjort tallene mer pålitelige og omfattende. Samtidig kan de redusere generaliserbarheten til funnene. Hovedmålet med utslippsanalysen var å finne GWP for komponenter og ikke aktiviteter, de ble derfor utelatt.

Bruksfasen som omfatter reparasjon og vedlikehold er ikke inkludert i hverken noen av EPD-ene eller LCA. For LCA er det slik på grunn av at det er utenfor systemgrensene som er satt. Det er også antatt en levetid på 15 år per vekselretter, noe som sannsynligvis er lavere enn forventet som forklart i seksjon 5.2. Samtidig hjelper dette med å til dels inkludere eventuelt vedlikehold/reparasjon eller bytte av deler. På denne måten unngås en undervurdering av vekselretterens bidrag til samlet klimagassutslipp.

For Ballast, kabling, kabelbro og montasjesystem er komponentene vurdert av gruppen samt oppgavegiver som at de ikke har behov for vedlikehold. Solcellemoduler kan tenkes å ha behov for vedlikehold, enten det er rengjøring eller bytte, men disse er utenfor oppgavens rammer. På bakgrunn av dette er det vurdert som akseptabelt at B1-B7 (5.7) ikke inkluderes i utslippsanalysen.

8.6 Sosial bærekraft

I avsnittet om selskaper som leverer vekselrettere relevante for oppgavegiver er det gjort observasjoner om hva selskapene skriver om sine prioriteringer og verdier på sine nettsider. Oppgaven har ikke som formål å gjøre noen vurderinger med tanke på hvilke selskap som kan være implisert med tanke på bruk av tvungen arbeidskraft. Det kan uansett være interessant å gjøre noen betraktninger med hensyn til bedriftenes ”overflate” når det gjelder de metodene som er kartlagt i seksjon 6.3. Oversikten viser at selskapene oppgir ulike hovedverdier og innehar forskjellig grad av sertifisering. Growatt med sin SA8000-sertifisering, Sungrow med medlemskap i FN’s Global compact og Huawei sin Ecovadis gull fra 2019 er de sterkeste sertifiseringene med tanke på sosial bærekraft. Huawei-sertifiseringen gjelder uansett ikke for etterfølgende år, og gir dermed ingen positive eller negative indikasjoner i sammenheng med dagens verdikjeder og virksomhet.

Sungrow forteller om ”poverty alleviation” som en del av sitt engasjement. Det høres selvfølgelig bra ut, samtidig er ”poverty alleviation” en vanlig retorikk brukt av XPCC og staten Kina med henvisning til utnyttelse av uyghur-minoriteten slik litteraturen har vist [56] [26]. Det foreligger åpenbart ikke bevis på tvangsarbeid, samtidig er det kanskje slik at forholdene innebærer at man må være kritiske som innkjøpere selv til påstander om programmer for reduksjon av fattigdom.

Det er ikke funnet aksjeposter holdt av den norske statens pensjonsfond utland, og det er heller ikke funnet aksjeposter holdt av selskap direkte nevnt i ”In broad daylight” rapporten hos noen av selskapene. Det finnes som nevnt aksjeposter fra kinesiske statlig eide fond, men det gir ikke nødvendigvis en indikasjon på bruk av tvangsarbeid. Samtidig er ikke dette et positivt tegn antatt tvangsarbeidet er et statlig sponset program.

Årsrapporter for selskapene gav ingen informasjon om leverandører av råvarer til selskapene. Årsrapportene er i varierende grad av retusjerte og det er generelt vanskelig å få tilgang til informasjon om verdikjeder, også med bruk av virtuelt nettverk. Det er generelt for lite grunnlag til å kunne gi noen vurderinger om hvilke selskaper som er risikable eller ikke med tanke på bruk av tvangsarbeid.

Vurdering av verdikjede for vekselrettere med tanke på bærekraft ble gjort ved hjelp av litteratursøk. Ansvarlige verdikjeder kan forstås som synonymt med bærekraftige verdikjeder. For en bedrift handler bærekraft også om økonomi, en bedrift må operere på en måte som gjør at den tjener penger. Økonomiske vurderinger er utenfor oppgavens rammer. Men handler om sosiale og miljømessige aspekt. Disse er dekket av blant annet FN’s bærekraftsmål, som nevnt i kapittel 2.3. Eksempler på spesielt relevant mål er 7: Ren energi til alle, 8: Anstendig Arbeid og økonomisk vekst, 12: Ansvarlig forbruk og produksjon og 13: Stoppe klimaendringer. Utslippsanalysene underbygges av mål 7 og 13 og arbeidet med verdikjeder underbygges av 8 og 12. Samtidig er det en mulighet for at en god bærekraftsvurdering fra en bedrifts perspektiv ikke kan utelate økonomiske vurderinger. Dette kan altså være gjenstand for videre studier, og et eksempel kan være å vurdere den økonomiske og miljømessige påvirkningen av å bruke mer effektive solcellemoduler for å redusere nødvendig mengde montasjesystem, ballast og kabling for å oppnå mer eller samme energiproduksjon.

Som tidligere nevnt er målsettingen store utbygginger av fornybar energiproduksjon i Europa, opptil 600 GW solkraft alene [52]. Et enkelt regnestykke viser at om dette skulle blitt dekket av solcellepanelene brukt i referansesystemet (545 Wp) må det installeres $\frac{600 \cdot 10^6 \text{ W}}{540 \text{ W}} \approx 1,1 \text{ MRD}$ solcellepanel og sammen med dette en stor mengde vekselrettere. Med samme konfigurasjon som referansesystemet er det vært snakk om $1,1 \cdot 10^9 \text{ panel} \div 260 \frac{\text{panel}}{\text{vekselretter}} \approx 4,2 \text{ Mill.}$ 110 kW vekselrettere. Dette er åpenbart veldig forenklet, men faktum er at det er snakk om ekstreme volum som skal være på plass innen 2030 dersom målene skal nås.

Det er også som nevnt et marked som per dato er dominert av kinesiske selskap både med tanke på silisium til solcellemoduler og vekselrettere til solkraft-system som vist i seksjoner 1 og 6.1. Dette gjør diversifisering av leverandører fra forskjellige land vanskeligere. Det kan være slik at visse bærekraftsmål må vurderes opp mot andre, og at noen må vike dersom andre skal oppnås enten det er sosiale, økonomiske eller miljømessige. Måten markedet ser ut akkurat nå gjør det nok desto viktigere å jobbe med verdikjedene, spesielt dersom alle de tre faktorene skal opprettholdes på gode måter. For store norske bedrifter er kartlegging av verdikjeder uansett en nødvendighet, jfr. Åpenhetsloven 2.2.

Kartleggingen av metoder for forebygging av bærekraftige verdikjeder i kapittel 6 ble gjort gjennom intervju med ESG-ansvarlige i bransjen, samt litteratursøk. Denne metodikken ligner mye på den som er brukt i en tidligere nevnt rapport utgitt av den kanadiske regjeringen basert på arbeid av Corporate Knights, som er et kanadisk forsknings- og medieselskap [9]. Metodikken har kanskje derfor et godt fundament for å kunne identifisere gode metoder for å identifisere/forebygge bærekraftige verdikjeder.

Det er lagt press på Kina med tanke på bruk av tvangsarbeid, som nevnt er det handelsblokkader inn til USA og Canada spesifikt for varer fra Xinjiang-regionen i tillegg til varer nedstrøms i verdikjeder som har opphav i regionen. Dette kan det virke som at har liten effekt med tanke på å få en reell reaksjon fra CCP og endring av praksis. Det hele kan virke som en liten del av en større handeskrig. Med tanke på at Kina har lav grad av demokrati, få sivile rettigheter og liten pressefrihet som vist i seksjon 6.1 er det mulig at både indre og ytre politisk påvirkning har liten effekt. Kanskje er det slik at de virkelige endringene heller kan komme som følge av press fra det globale næringslivet spesifikt mot produsentene som utnytter seg av tvangsarbeid.

Presset og arbeidet med verdikjeder kan gjøres med forskjellige tilnærminger. En måte å dele opp dette på er som nevnt i seksjon 6 direkte, indirekte og kollektivt. Eksempler på direkte tilnærming finnes fra samtaler med ESG ansvarlig i solcellespesialisten, hvor de viste til bruk av tredjeparts undersøkere basert i Kina. Slike undersøkere gjør det mulig å navigere lenger ned i verdikjedene, undersøke produksjonssteder og få bedre inntrykk av situasjonene. Rapporter som *In broad daylight* [26] er i stor grad basert på offentlige dokumenter som man ikke har tilgang til fra vesten. Disse rapportene inneholder mye aktuell informasjon som burde vært tilgjengelig for allmennheten.

Samtidig er det påstander som tilsier at uanmeldte besøk av tredjepart, som egentlig er ”gullstandarden” med tanke på verdikjede arbeid, ikke har den samme effekten i Kina [34] basert på innblanding og overvåking fra den kinesiske regjeringen. Dette kan være et større problem i tilfellene med store råvareleverandører til komponenter som er nødvendige for vekselrettere, slik som MOSFET, kobber og aluminium langt ned i verdikjedene, og er de som burde undersøkes. Disse kan i de tilfeller hvor de er basert i Xinjiang-regionen være kontrollert eller sponset av XPCC. Slike forhold gjør det trolig enda viktigere å jobbe sammen med globale kinesiske selskaper ved å bygge tillit og felles forståelse av verdier. En indirekte tilnærming til verdikjeder flytter ansvaret og kanskje også bevisbyrden over på leverandører og leverandørers leverandører. Eksempler på dette kan finnes i samtaler med bærekraftsansvarlig i Solar Norge AS som bruker ”code-of-conduct”-avtaler som fastsetter ulike verdigrunnlag og regler for oppførsel slik som ingen bruk av tvangsarbeid.

Disse avtalene kan inkludere krav om signatur fra underleverandører, og slik kan man muliggjøre de samme etiske retningslinjene nedover i verdikjedene. Andre indirekte verktøy kan gå på sertifiseringer slik som Ecovadis [8]. Disse inkluderer gjerne både krav med tanke på klimagassutslipp, men også etikk og verdikjeder. Sertifiseringer fungerer også som markedsføring i den sammenheng at det gir kunder med tvil en grunn til å stole på bedriftens påstander da de er basert på tredjepartsvurderingen. De er også gjerne baser på årlig produserte rapporter noe som gjør etisk virksomhet til en prioritering. Sertifisering støter på det samme problemet som uanmeldte tredjeparts besøk som kan hemmes og hindres som følge av den aktuelle politiske situasjonen.

Bedrifter har en form for forbrukermakt, denne makten kan brukes til å forme praksis i bedrifter som varer kjøpes fra. En kollektiv tilnærming til å få bærekraftige verdikjeder styrker denne makten gjennom samarbeid mellom konkurrenter gjennom organisasjoner slik som RBA og FN Global Compact 6. Samtidig kan det tenkes at denne makten er begrenset på grunn av at markedet i den er grad dominert av enkeltaktører som vist tidligere. Dette gjør at innkjøpere sine muligheter for å kjøpe av alternative aktører kan være begrenset, spesielt med tanke på store volum. På den måten ville det også vært et politisk pressmiddel å satset på større produksjon av elektronikk til fornybar energiproduksjon i Europa. Nord Amerika jobber allerede med dette gjennom subsidier i IRA som skal stimulere vekst i bransjen slik at de blir selvforsynte. Innkjøp som virkemiddel kan uansett brukes og det er mulig å diversifisere ved bruk av andre kinesiske selskap som leverer samme vare som også er i konkurranse med hverandre. Som senter for strategiske og internasjonale studier sier kan det også ved kollektiv tilnærming være lurt å samarbeide med statlige organisasjoner og akademikere som jobber med å avdekke sammenhenger mellom tvunget arbeid i Xinjiang-regionen og globale verdikjeder. Samtidig er det viktig å understreke at selv om det i vårt tilfelle med vekselretter er mest sannsynlig med problemer lengst ned i verdikjedene, brukes det trolig tvangsarbeid i flere deler av Kina slik det er demonstrert i de nevnte rapportene. Selv om volumene er mye større i Xinjiang regionen så vil det trolig være god praksis å stille krav til produsenter og leverandører høyere opp i verdikjeden. Samlet sett er det nok en god bruk av alle de tidligere nevnte metodene som vil styrke mulighetene for ansvarlige verdikjeder innenfor solenergi.

9 Konklusjon

Samlet utslipp for BOS komponenter i et solkraft-system som støtter en 110kW vekselretter er funnet å være 21-40 tonn CO₂-eq avhengig av resirkuleringsgrad hvor 21 tonn er ved fullstending utnyttelse av resirkuleringspotensialet hos montasjesystem, kabelbro og kabler.

Klimagassutslippene for en generell 110 kW vekselretter er i denne studien funnet å være 4440 kg CO₂-eq, for et referansesystem bestående av 260 stk. 540 W panel plassert på taket av en bygning ved NTNU, Gløshaugen.

GWP knyttet til montasjesystem er 29500 kg CO₂-eq med et resirkuleringspotensial på -18200 kg CO₂-eq og for ballast 634 kg CO₂-eq. For kabelbro er det funnet et totalt GWP på 484 kg CO₂-eq og for kabler 366 kg CO₂-eq med et resirkuleringspotensial på -433 kg CO₂-eq til sammen. Datagrunnlaget for montasjesystem, ballast, kabelbro og kabler er solid men for vekselretter noe svakere, ettersom det er usikkerhet knyttet til materialmengder og resirkuleringspotensial.

Innkjøpere bør for ballast vurdere å kjøpe fra nærliggende marked ettersom transport (351 kg CO₂-eq fra Portugal og 1000 kg CO₂-eq fra India) lett kan overgå utslippene knyttet til produksjon (634 kg CO₂-eq).

For montasjesystem som bidrar med 74 % av de samlede utslippene bør system laget av resirkulerte materialer prioriteres. Kjøp av vekselrettere som har levetid lik eller lenger enn solcellemoduler vil også kunne bidra til en reduksjon i GWP.

Det er funnet potensielle utfordringer i verdikjedene for kobber, aluminium og silikon til MOSFET. Alle tre er sentrale komponenter i vekselrettere. Det har ikke vært mulig å kartlegge verdikjeder for produsentene av vekselrettere i rapporten på grunn av hemmelighold. Relevante metoder for risikostyring av verdikjeder er identifisert som følger: Selskaper bør kjenne sine verdikjeder, bruke leverandører med relevante sertifikasjoner, implementere retningslinjer for "oppførsel" med krav om signering i alle ledd av verdikjeden i tillegg til å etablere leverandørrangerings-systemer, og bruke innkjøp som virkemiddel for endring i leverandørpraksis. Selskaper bør også bygge tillitsfulle, langsiktige relasjoner men samtidig etablere muligheter for diversifisering av verdikjeder som alternativer dersom problemer skulle oppstå.

Studien representerer et generelt tilfelle av utslipp fra BOS komponenter i et solkraftanlegg i Norge. Videre studier som søker mer detaljert informasjon kan inkludere miljøpåvirkning for solcellemoduler slik at det er mulig å gi en mulig kg CO₂ per kWh, transport av alle materialer i tillegg til vedlikehold og spesifikke muligheter for resirkulering. Det er også et behov for bedre data knyttet til store vekselrettere slik som 110 kW. Demontering og måling av materialmengder eller å søke kompetanse hos fagpersoner som kjenner vekselrettere kan innhentes for å forbedre datagrunnlaget. Det kan også være relevant å vurdere flere miljøpåvirkningskategorier enn GWP for å kunne gjøre gode bærekraftsvurderinger.

Referanser

- [1] Amo Installationskabel Ab. «PVC insulated stranded conductor Building Cables H07V-R (FK, PN)». en. I: ().
- [2] *About Sungrow - Milestones, Events, History* — SUNGROW. URL: <https://en.sungrowpower.com/AboutSungrow> (sjekket 25.04.2023).
- [3] *About Us — Global Leading Distributed Energy Solution Provider — Growatt*. URL: <http://www.ginverter.com/about/our-culture> (sjekket 25.04.2023).
- [4] *Anstendig arbeid og økonomisk vekst*. URL: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/anstendig-arbeid-og-oekonomisk-vekst> (sjekket 18.04.2023).
- [5] *Ansvarlig forbruk og produksjon*. no. Feb. 2023. URL: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/ansvarlig-forbruk-og-produksjon> (sjekket 18.04.2023).
- [6] Christopher Balding og Donald C. Clarke. *Who Owns Huawei?* en. SSRN Scholarly Paper. Rochester, NY, apr. 2019. DOI: 10.2139/ssrn.3372669. URL: <https://papers.ssrn.com/abstract=3372669> (sjekket 26.04.2023).
- [7] *Belegningsstein, heller, støttemur, forskalingsblokk og kantstein i betong*. no. Jan. 2022. URL: <https://www.epd-norge.no/betongvarer/belegningsstein-heller-stottemur-forskalingsblokk-og-kantstein-i-betong-article3832-316.html> (sjekket 03.04.2023).
- [8] *Business Sustainability Ratings*. en. URL: <https://ecovadis.com/> (sjekket 19.04.2023).
- [9] Global Affairs Canada. *Study of Supply Chain Risks related to Xinjiang forced labour*. eng. Last Modified: 2022-04-06. Mar. 2022. URL: https://www.international.gc.ca/transparency-transparence/study_forced_labour-etude_travail_force.aspx?lang=eng (sjekket 26.04.2023).
- [10] *CDP Homepage*. en. URL: <https://www.cdp.net/en> (sjekket 14.04.2023).
- [11] *Chapter 76 - Aluminium and articles thereof*. en. URL: <https://www.taricsupport.com/nomenclature/en/7600000000.html> (sjekket 14.04.2023).
- [12] *Combating forced labour: A handbook for employers and business*. en. Jun. 2015. ISBN: 978-92-2-121712-1. URL: http://www.ilo.org/global/topics/forced-labour/publications/WCMS_101171/lang--en/index.htm (sjekket 26.04.2023).
- [13] *Company profile of INVT Solar*. URL: <https://www.invt-solar.com/companyprofile.html> (sjekket 25.04.2023).
- [14] *Corporate sustainability reporting*. en. URL: https://finance.ec.europa.eu/capital-markets-union-and-financial-markets/company-reporting-and-auditing/company-reporting/corporate-sustainability-reporting_en (sjekket 19.04.2023).
- [15] *CSRD - EUs nye regler for rapportering om bærekraft*. no. URL: <https://www.nho.no/tema/barekraftig-utvikling/artikler/csr-d---eu-nye-regler-for-rapportering-om-barekraft/> (sjekket 19.04.2023).
- [16] «Den beste vekselretteren til solcelleanlegg». Norsk. I: *Otovo-bloggen* (feb. 2022). URL: <https://www.otovo.no/blog/solcellepanel-solceller/vekselretter-slik-funger-er-det/> (sjekket 17.02.2023).
- [17] *Driving Force* — Sheffield Hallam University. URL: <https://www.shu.ac.uk/helena-kenedy-centre-international-justice/research-and-projects/all-projects/driving-force> (sjekket 14.04.2023).
- [18] *Eco-Management and Audit Scheme (EMAS)*. en. URL: https://green-business.ec.europa.eu/eco-management-and-audit-scheme-emas_en (sjekket 19.04.2023).

- [19] Finansdepartementet. *Ethiske retningslinjer*. no. Redaksjonellartikkel. Publisher: regjeringen.no. Jan. 2022. URL: <https://www.regjeringen.no/no/tema/okonomi-og-budsjett/statens-pensjonsfond/ansvarlig-forvaltning/etiske-retningslinjer/id447009/> (sjekket 05.05.2023).
- [20] *FNs bærekraftsmål*. no. Apr. 2023. URL: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal> (sjekket 18.04.2023).
- [21] *Forside*. nb-NO. URL: <https://etiskhandel.no/> (sjekket 20.04.2023).
- [22] *Geographies -ecoinvent*. en-US. Sep. 2020. URL: <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/geographies/> (sjekket 14.04.2023).
- [23] *Growatt Company Profile: Valuation & Investors — PitchBook*. en. URL: <https://pitchbook.com/profiles/company/60893-11> (sjekket 04.05.2023).
- [24] *Guiding Principles for Business and Human Rights: Implementing the United Nations “Protect, Respect and Remedy” Framework — UN Global Compact*. URL: <https://unglobalcompact.org/library/2> (sjekket 26.04.2023).
- [25] *Horizon Advisory — Actionable Geopolitical Insight — Base Problem*. en-US. URL: <https://www.horizonadvisory.org/backtobasics> (sjekket 14.04.2023).
- [26] *In Broad Daylight Uyghur Forced Labour in the Solar Supply Chain — Sheffield Hallam University*. URL: <https://www.shu.ac.uk/helena-kennedy-centre-international-justice/research-and-projects/all-projects/in-broad-daylight> (sjekket 03.03.2023).
- [27] International Organization for standardization. «ISO 14040:2006». en. I: *ISO* (aug. 2014). URL: <https://www.iso.org/standard/37456.html> (sjekket 28.03.2023).
- [28] International Organization for standardization. «ISO 14044:2006». en. I: *ISO* (aug. 2014). URL: <https://www.iso.org/standard/38498.html> (sjekket 28.03.2023).
- [29] Finn Jørgensen. *tonnkilometer*. no. Okt. 2022. URL: <https://snl.no/tonnkilometer> (sjekket 11.04.2023).
- [30] Md Karim mfl. «. Energy consumption in cement and concrete, and role of wastes in it: A review». I: *World Applied Sciences Journal* 13 (des. 2011).
- [31] Edward C. Kern. *Ballast-mounted PV arrays: Phase 2 final report*. English. Tekn. rapp. DOE/GO/10257-F. Ascension Technology, Inc., Lincoln, MA (US), mar. 2000. DOI: 10.2172/764761. URL: <https://www.osti.gov/biblio/764761> (sjekket 03.04.2023).
- [32] Walter Klöpffer og B. Grahl. «Life Cycle Assessment (LCA): A Guide to Best Practice». I: *Life Cycle Assessment (LCA): A Guide to Best Practice* (apr. 2014), s. 1–396. ISSN: 9783527329861. DOI: 10.1002/9783527655625.
- [33] Ahteshamul Haque Kurukuru Mohammed A. *Design and Control of Grid-Connected Photovoltaic System*. Boca Raton: CRC Press, apr. 2023. ISBN: 978-1-00-325718-9. DOI: 10.1201/9781003257189.
- [34] Amy K. Lehr og Efthimia Maria (“Mariefaye”) Bechrakis. «Connecting the Dots in Xinjiang: Forced Labor, Forced Assimilation, and Western Supply Chains». en. I: (okt. 2019). URL: <https://www.csis.org/analysis/connecting-dots-xinjiang-forced-labor-forced-assimilation-and-western-supply-chains> (sjekket 26.04.2023).
- [35] *Li Ning Co Ltd*. nb-NO. Mar. 2022. URL: <https://etikkradet.no/li-ning-co-ltd/> (sjekket 08.05.2023).
- [36] *Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems*. en-US. URL: <https://iea-pvps.org/key-topics/life-cycle-inventories-and-life-cycle-assessments-of-photovoltaic-systems/> (sjekket 08.05.2023).

- [37] *Lov om virksomheters åpenhet og arbeid med grunnleggende menneskerettigheter og anstendige arbeidsforhold (åpenhetsloven) - Lovdata*. URL: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2021-06-18-99> (sjekket 14.04.2023).
- [38] Ali O M Maka og Jamal M Alabid. «Solar energy technology and its roles in sustainable development». I: *Clean Energy* 6.3 (jun. 2022), s. 476–483. ISSN: 2515-4230. DOI: 10.1093/ce/zkac023. eprint: <https://academic.oup.com/ce/article-pdf/6/3/476/44044932/zkac023.pdf>. URL: <https://doi.org/10.1093/ce/zkac023>.
- [39] MarketScreener. *SHENZHEN INVT ELECTRIC CO.,LTD : Shareholders Board Members Managers and Company Profile — CNE100000K49 — MarketScreener*. en. URL: <https://www.marketscreener.com/quote/stock/SHENZHEN-INVT-ELECTRIC-CO-6524874/company/> (sjekket 25.04.2023).
- [40] André Mermoud og Bruno Wittmer. «PVSYST user's manual». I: *Switzerland, January* (2014).
- [41] *Mounting system for photovoltaic systems – flat roof, Lobas Solar*. no. Aug. 2022. URL: <https://www.epd-norge.no/solcellepaneler-og-komponenter/mounting-system-for-photovoltaic-systems-flat-roof-lobas-solar-article4258-552.html> (sjekket 03.04.2023).
- [42] Syed Zain Nasir. «Major Components of Inverters - The Engineering Projects». en-US. I: (nov. 2012). Section: Components. URL: <https://www.theengineeringprojects.com/2012/11/major-components-of-inverters.html> (sjekket 17.02.2023).
- [43] *NPCR 013 Part B for Steel and Aluminium Construction Products (references to EN15804+A2)*. no. Okt. 2021. URL: <https://www.epd-norge.no/pcr-register/npcr-013-part-b-for-steel-and-aluminium-construction-products-references-to-en15804-a2-article3641-353.html> (sjekket 13.04.2023).
- [44] *NPCR 020:2018 Part B for Concrete and concrete elements*. no. Okt. 2018. URL: <https://www.epd-norge.no/pcr-register/npcr-020-2018-part-b-for-concrete-and-concrete-elements-article1952-353.html> (sjekket 11.04.2023).
- [45] *OECDs retningslinjer - Ansvarlig Næringsliv*. nb-NO. Des. 2017. URL: <https://www.responsiblebusiness.no/oecd-retningslinjer/> (sjekket 14.04.2023).
- [46] *Oljefondet har solgt milliardinvestering i selskap som knyttes til menneskerettighetsbrudd*. nb. Sep. 2020. URL: <https://www.aftenposten.no/norge/politikk/i/90mxRq/oljefondet-har-solgt-milliardinvestering-i-kontroversielt-kinesisk-teknologiskap> (sjekket 08.05.2023).
- [47] *Our brands*. en-US. URL: <https://www.certisolis.com/certisolis/nos-marques/?lang=en> (sjekket 19.04.2023).
- [48] *PART A: Construction Products and Services Ver 2 (references to EN 15804+A2)*. no. Apr. 2021. URL: <https://www.epd-norge.no/pcr-register/part-a-construction-products-and-services-ver-2-references-to-en-15804-a2-article3248-353.html> (sjekket 13.04.2023).
- [49] Zazala Quist. «Life Cycle Assessment (LCA) - Complete Beginner's Guide». en-US. I: *Ecochain - LCA software company* (mai 2019). URL: <https://ecochain.com/knowledge/life-cycle-assessment-lca-guide/> (sjekket 28.03.2023).
- [50] Marco Rauegi mfl. *Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricity*. Nov. 2011.
- [51] *Ren energi til alle*. no. Feb. 2023. URL: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/ren-energi-til-alle> (sjekket 18.04.2023).

- [52] *Renewable energy targets*. en. URL: https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-targets_en (sjekket 19.04.2023).
- [53] *Responsible Business Alliance*. en. URL: <https://www.responsiblebusiness.org/> (sjekket 14.04.2023).
- [54] G. T. Review og Felix Thompson. *Warnings sounded over Xinjiang-made aluminium in global supply chains*. en. Apr. 2022. URL: <https://www.gtreview.com/news/americas/warnings-sounded-xinjiang-made-aluminium-global-supply-chains/> (sjekket 02.03.2023).
- [55] Hannah Ritchie, Max Roser og Pablo Rosado. «Energy». I: *Our World in Data* (okt. 2022). URL: <https://ourworldindata.org/energy-mix> (sjekket 11.04.2023).
- [56] et al Ruser Danielle Cave. *Uyghurs for sale*. en. URL: <http://www.aspi.org.au/report/uyghurs-sale> (sjekket 13.04.2023).
- [57] *SA 8000 – Certification – Social Accountability*. en-us. URL: <https://www.sgs.com/en-us/services/sa-8000-certification-social-accountability> (sjekket 25.04.2023).
- [58] SeaRates. *International Container Shipping — Online Freight Marketplace*. en. URL: <https://www.searates.com/> (sjekket 10.04.2023).
- [59] *Solar*. no. URL: https://www.solarnorge.no/om-solar/samfunnsansvar/Barekraftig_forretningspraksis/ (sjekket 20.04.2023).
- [60] *Solceller — Solcellespesialisten — Norge*. no. URL: <https://www.solcellespesialisten.no> (sjekket 19.04.2023).
- [61] *Statistikk*. URL: <https://www.fn.no/Statistikk?country=263#group-by-letter> (sjekket 20.04.2023).
- [62] *Statistikk for universiteter og høyskoler*. nb. URL: <https://www.universitetsforlaget.no/statistikk-for-universiteter-og-hogskoler-1> (sjekket 10.05.2023).
- [63] *Stoppe klimaendringene*. no. Feb. 2023. URL: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/stoppe-klimaendringene> (sjekket 18.04.2023).
- [64] *Sustainability*. en. URL: <https://www.huawei.com/au/sustainability> (sjekket 26.04.2023).
- [65] *System Models -ecoinvent*. en-US. Sep. 2020. URL: <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/system-models/> (sjekket 19.04.2023).
- [66] Artúr Szilágyi og Gyula Gróf. «Estimating the environmental footprint of a grid-connected 20 MWp photovoltaic system». en. I: *Solar Energy* 197 (feb. 2020), s. 491–497. ISSN: 0038-092X. DOI: 10.1016/j.solener.2020.01.028. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X20300360> (sjekket 06.05.2023).
- [67] *The EPD — EPD International*. URL: <https://www.environdec.com/all-about-epds/the-epd> (sjekket 17.04.2023).
- [68] *The PCR — EPD International*. URL: <https://www.environdec.com/product-category-rules-pcr/the-pcr> (sjekket 17.04.2023).
- [69] *The Sustainability Consortium — All Products Sustainable*. en-US. URL: <https://sustainabilityconsortium.org/> (sjekket 04.04.2023).
- [70] Laura Tschümperlin mfl. «Life cycle assessment of low power solar inverters (2.5 to 20 kW)». en. I: (). URL: https://treeze.ch/fileadmin/user_upload/downloads/Publications/Case_Studies/Energy/174-Update_Inverter_IEA_PVPS_v1.1.pdf.
- [71] *UFLPA Enforcement Prospective Expansion: Aluminum Products*. en. URL: <https://www.maersk.com/news/articles/2023/01/31/uflpa-enforcement-prospective-expansion-aluminum-products> (sjekket 14.04.2023).

- [72] *UFLPA Strategy — Homeland Security*. URL: <https://www.dhs.gov/uflpa-strategy> (sjekket 14.04.2023).
- [73] *UN Global Compact*. no. Feb. 2023. URL: <https://www.fn.no/om-fn/fns-organisasjoner-fond-og-programmer/un-global-compact> (sjekket 14.04.2023).
- [74] *Uyghur Forced Labor Prevention Act — U.S. Customs and Border Protection*. en. URL: <https://www.cbp.gov/trade/forced-labor/UFLPA> (sjekket 14.04.2023).
- [75] Verónica H. Villena og Dennis A. Gioia. «A More Sustainable Supply Chain». I: *Harvard Business Review* (mar. 2020). Section: Operations and supply chain management. ISSN: 0017-8012. URL: <https://hbr.org/2020/03/a-more-sustainable-supply-chain> (sjekket 14.04.2023).
- [76] «What is a MOSFET (metal-oxide semiconductor field-effect transistor)?» en. I: *WhatIs.com* (). URL: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/MOSFET-metal-oxide-semiconductor-field-effect-transistor> (sjekket 17.02.2023).
- [77] «What is LCA? – LCA.no». en-GB. I: (jun. 2023). URL: <https://lca.no/en/what-is-lca/> (sjekket 28.03.2023).
- [78] *Wood Mackenzie*. URL: https://www.woodmac.com/our-expertise/focus/Power--Renewables/global-pv-inverter-and-solar-mlpe-landscape-2022/?utm_campaign=0ktopost-Global+Solar+Inverter&utm_content=0ktopost-LinkedIn&utm_medium=social&utm_source=LinkedIn (sjekket 19.04.2023).

A Vedlegg: LCI inverter

Tabell A.1: Livssyklusinventar for generell 110kw vekselretter, data fra international energy agency (IEA) [36].

Inverter	20kw	110kw	
Weight [Kg]	46,2	88	Kg
Energy			Unit
electricity, medium voltage, production ENTSO, at grid	4,34E+01	8,27E+01	kWh
light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, nonmodulating	9,28E-01	1,77	MJ
natural gas, burned in power plant	1,47E+01	2,80E+01	MJ
district heat, from municipal waste incineration plant	3,79E+01	7,22E+01	MJ
Individual components			
aluminium, production mix, cast alloy, at plant	1,96E+01	3,73E+01	Kg
aluminium alloy, AlMg3, at plant	8,70E-01	1,66	Kg
copper, at regional storage	7,86	1,50E+01	Kg
steel, low-alloyed, at plant	3,73	7,10	Kg
polypropylene, granulate, at plant	3,63	6,91	Kg
polycarbonate, at plant	8,32E-01	1,58	Kg
cable, connector for computer, without plugs, at plant	5,40E-01	1,03	m
inductor, ring core choke type, at plant	3,58E	6,82E+00	Kg
integrated circuit, IC, logic type, at plant	2,72E-01	5,18E-01	Kg
ferrite, at plant	1,44E-01	2,74E-01	Kg
plugs, inlet and outlet, for network cable, at plant	1,43E+01	2,72E+01	Unit
glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant	5,37E-01	1,02	Kg
printed board assembly			
printed wiring board, surface mount, lead-free surface, at plant	4,16E-01	7,92E-01	m2
tin, at regional storage	3,94E-02	7,50E-02	kg
connector, clamp connection, at plant	1,00E-01	1,90E-01	kg
inductor, ring core choke type, at plant	5,37E-01	1,02	kg
inductor, miniature RF chip type, MRFI, at plant	4,53E-03	8,63E-03	kg
integrated circuit, IC, logic type, at plant	6,39E-01	1,22	kg
integrated circuit, IC, memory type, at plant	7,70E-03	1,47E-02	kg
transistor, unspecified, at plant	7,89E-02	1,50E-01	kg
transistor, SMD type, surface mounting, at plant	1,72E-01	3,28E-01	kg
diode, glass-, SMD type, surface mounting, at plant	8,25E-03	1,57E-02	kg
light emitting diode, LED, at plant	5,92E-05	1,13E-04	kg
capacitor, film, through-hole mounting, at plant	6,84E-01	1,30	kg
capacitor, electrolyte type, >2cm height, at plant	1,06	2,02	kg
capacitor, electrolyte type, <2cm height, at plant	2,76E-02	5,26E-02	kg
capacitor, SMD type, surface-mounting, at plant	5,49E-03	1,05E-02	kg
resistor, wirewound, through-hole mounting, at plant	4,60E-03	8,76E-03	kg
resistor, SMD type, surface mounting, at plant	1,88E-02	3,58E-02	kg
ferrite, at plant	1,05E-04	2,00E-04	kg
transformer, low voltage use, at plant	1,65E-01	3,14E-01	kg
plugs, inlet and outlet, for network cable, at plant	1,15	2,19	Unit
glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant	1,05E-01	2,00E-01	kg
cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs, at plant	9,86	1,88E+01	kg
Processing			
Sheet rolling, steel	3,73	7,10	Kg
Wire drawing, copper	7,86	1,50E+01	Kg
Section bar extrusion, aluminium	1,96E+01	3,73E+01	Kg
Steel product manufacturing, average metal working	7,90E-02	1,50E-01	Kg

Tabell A.2

Infrastructure			
Metal working factory	4,51E-08	8,59E-08	Unit
Packaging			
Corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant	2,71	5,16	Kg
Folding boxboard, FBB at plant	4,75	9,05	Kg
Packing film, LDPE, at plant	4,73E-02	9,01E-02	Kg
Transport			
transport, lorry>16t, fleet average	2,78	5,30	tkm
transport, freight, rail	9,27	1,77E+01	tkm
transport, transoceanic freight ship	8,34E+01	1,59E+02	tkm
emission air, unspecified			
Heat, waste	1,56E+02	2,97E+02	MJ
technosphere			
Tap water, at user	8,17E+01	1,56E+02	Kg
resource, in water			
Water, unspecified natural origin, DE	1,56E-01	2,97E-01	m3
disposal			
reatment, sewage, unpolluted, to wastewater treatment, class 3	8,17E-02	1,56E-01	m3
disposal, packaging cardboard, 19.6% water, to municipal incineration	4,73E-02	9,01E-02	kg
disposal, polyethylene, 0.4% water, to municipal incineration	4,73E-02	9,01E-02	kg
disposal, treatment of printed wiring boards	5,02	9,56	kg
disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration	9,98E-01	1,90E+00	kg
disposal, hazardous waste, 25% water, to hazardous waste incineration	5,28E-02	1,01E-01	kg

B Vedlegg: Datagrunnlag

2 Materials used

2.1 Primary materials

Primary materials The primary materials used are listed in the LCA (see Section 7).

2.2 Declarable substances

Declarable substances The product contains no substances from the REACH candidate list (as of 16 December 2013).

All relevant safety data sheets are available from the company OBO BETTERMANN GmbH & Co. KG.

3 Product stage

Product manufacture Tray

The production of the Magic family is based on the new innovative and patented DUO-Plus manufacturing process and takes place at the company's site in Menden (Germany). This manufacturing process ensures a very high loadbearing capacity and structural resistance of the trays. During the DUO-Plus manufacturing process two sheets are joined by laser welding and the base structure is stamped and coined into the tray. The combination of laser weld and innovative bead structure allows high stability values to be achieved.

Standards-compliant durability and ageing tests with salt spray exposure have shown very clearly that the laser weld is much more resistant than the standard material.

As part of the VDE test in accordance with EN 61537, the laser weld was also subjected to an impact test, which it successfully passed. The laser weld contributes to the consolidation of the base structure. Standards-compliant, recorded tests conducted on the tensile testing machine showed that, if anywhere, cracks will occur in the base material – never in the laser weld.

Suspended support

The suspended support is manufactured at the company's production site in Hungary. It is composed of a perforated metal sheet (head plate) and a perforated U-profile. The U-profile is manufactured in Germany. The sheet metal is perforated and rolled into a U-profile. The head plate and the U-profile are welded together in Hungary and then hot-dip galvanised in the in-house hot-dip galvanising shop.

Wall and support bracket

The wall and support bracket is manufactured at the company's production site in Hungary. It is likewise composed of a head plate and a metal sheet that is folded and perforated on site. As with the suspended support, the metal sheet and the head plate are welded together and galvanised.

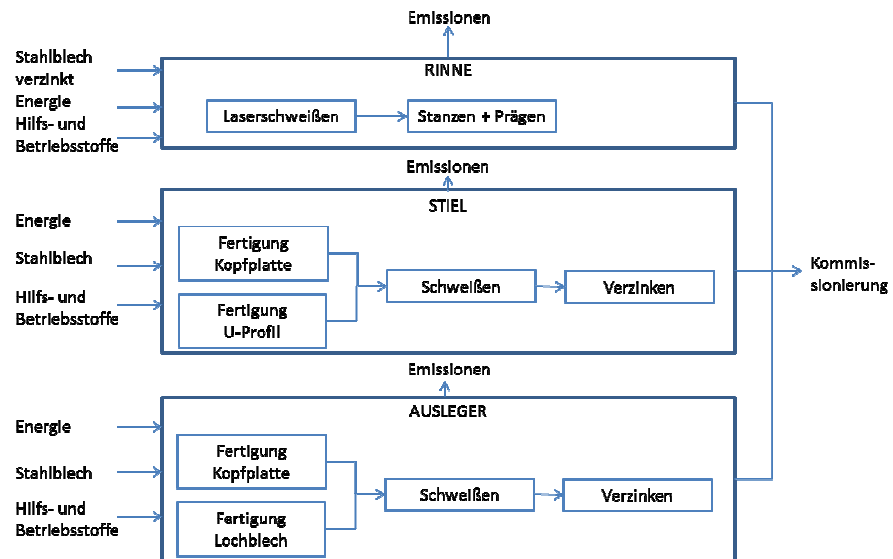


Figure 1: Production process

4 Construction process stage

Processing recommendations, installation

The cable tray is suitable for cable routing in all applications, from low-voltage cabling to power supply, data cables and telecommunications networks. A full, intelligent range of system components is offered, for a perfect solution for every situation.

Whether the system is used in dry inner areas or in aggressive atmospheres, the wide range of finishes and materials available means that reliable corrosion protection is always assured. Due to the large number of holes (30% or more by area), the perforated cable trays MKSM and SKSM are ideally suited for use beneath sprinkler systems. The IKSM cable tray also has large openings in the side rail, which can be used for cable entries or exits.

The complete system is supplemented by plug-in, screwless fittings with a Magic connection. The system also includes all types of connectors and additional accessories such as barrier strips, joint plates, mounting plates and covers. These small parts are not covered by this EPD.

Installation instructions are available for download from the OBO website (www.obo.de).

5 Use stage

Emissions to the environment

As part of an EU risk assessment, zinc and zinc compounds were assessed in terms of their impact on human health and the environment. The most important conclusions of the risk assessment were:

There are no health risks for the users of zinc products or for those who produce or process zinc or zinc products. There are no restrictions on the use of zinc and zinc products. There is no obligation to mark the declared products.

The runoff rates of organic materials are negligible.

No further emissions to indoor air, water and soil are known.

Reference service life (RSL) The RSL does not need to be documented for the EPD of the company OBO BETTERMANN GmbH & CO. KG. because the declaration does not cover the entire life cycle (Modules A1-A3, C1-C4 and D). If the product is used as instructed, a service life of >50 years can be assumed, because it is installed inside buildings and not exposed to weathering (cf. service life of building components for LCAs in accordance with the sustainable construction evaluation system [BNB] as of 11/2011, interior wall claddings [Code No.: 345.311]).

6 End-of-life stage

Possible end-of-life stages The Magic cable tray system can be re-used / recycled. Process and new scrap resulting from the manufacturing and processing of the Magic product are fed back into the production process in their entirety. The waste and old scrap from demolition, conversion and renovation work on building sites is collected and fed back into steel production processes via the recycling industry.

Disposal routes The LCA includes the average disposal routes.
The EWC code for steel is: 17 04 05.

All life cycle scenarios are detailed in the Annex.

7 Life Cycle Assessment (LCA)

Environmental product declarations are based on life cycle analyses (LCAs) which use material and energy flows for the calculation and subsequent representation of environmental impacts.

As the basis for this, a Life Cycle Analysis (LCA) was prepared for the Magic cable tray system. The LCA was developed in accordance with EN 15804 and the requirements set out in the international standards DIN EN ISO 14040, DIN EN ISO 14044, ISO 21930 and EN ISO 14025.

The LCA is representative of the products presented in the Declaration and the specified reference period.

7.1 Definition of goal and scope

Objective The goal of the LCA is to demonstrate the environmental impacts of the Magic cable tray system. The environmental impacts are presented in accordance with EN 15804 on the basis of the following building life cycle stages: product stage (modules A1 – A3) and end-of-life stage (modules C1 – C4). In addition the "Benefits and loads beyond the system boundaries" (module D) are presented. Apart from these, no other environmental impacts have been specified / presented.

Data quality, data The specific data used refer only to the fiscal year 2012 of the company OBO

Product group: Cable management/Routing systems
 Declaration code: EPD-KTS-GB-17.0

Publication date: 01 April 2014
 Next revision: 01 April 2019

**availability,
 geographical and time-
 related system
 boundaries**

BETTERMANN GmbH & Co. KG. They originate partly from company records and partly from direct measurements. The validity of the data was checked by the LCEE.

The generic data originate from the GaBi 6 (2013) software "Professional Datenbank und Baustoff Datenbank" (professional data base and building materials data base). The last update of both data bases was in 2013. The pro-rata energy sources for the HU energy mix originate also from these data bases. Furthermore, the energy used in Germany is supplied only from renewable sources ("Grünstrom"). No other generic data were used for the calculation.

Data gaps were filled with either comparable data or conservative assumptions, or the data were cut off in compliance with the 1% rule.

The life cycle was modelled using the sustainability software tool "GaBi 6 (2013)" for the development of Life Cycle Assessments.

The system boundaries refer to the entire manufacturing process of the product (cradle to gate) and/or the end-of-life stage and benefits and loads beyond the system boundary (information module D). The boundaries cover only the product-relevant data. All company data collected, i.e. all commodities/raw materials and electricity consumption, were taken into consideration. Due to the materials used, steel was used as recyclate for the end-of-life stage. The products are shipped to central collecting points. There they are usually sorted into their original pure components. Steel is recycled. Residual fractions are thermally recycled.

Raw materials are modelled as generic data and include average transport distance data.

**Scope and system
 boundaries**

The system boundaries refer to the supply of raw materials and purchased parts as well as the manufacture/production (cradle to gate) of the cable tray systems. Furthermore the end-of-life stage and benefits beyond the system boundaries are taken into account.

Cut-off criteria

All company data collected, i.e. all commodities/input and raw materials used, thermal energy, and electricity consumption, were taken into consideration.

The boundaries cover only the production-relevant data. Parts of buildings / facilities were excluded.

The transport distances of the primary products/pre-products for at least 95% of the mass of the Magic cable tray system were taken into consideration. The remaining transport distances of the primary products/pre-products to the Menden plant were not taken into consideration.

It can be assumed that the total of negligible processes per life cycle stage does not exceed 5 percent of the mass/primary energy. The life cycle calculation also includes material and energy flows that account for less than 1 percent.

7.2 Inventory analysis

Goal

All material and energy flows are described below. The processes covered are

Product group: Cable management/Routing systems
Declaration code: EPD-KTS-GB-17.0

Publication date: 01 April 2014
Next revision: 01 April 2019

presented as input and output parameters and refer to the declared/functional units.

The models of the unit processes used for the LCA have been documented in a transparent manner.

Life cycle stages Product stage (A1 – A3), end-of-life stage (C1 – C4), and benefits and loads beyond the system boundaries (D) are considered.

Benefits The below benefits have been defined as per EN 15804:

- Benefits from recycling

Allocation procedures The manufacture of the Magic cable tray system did not produce any allocations.
Allocation of co-products

Allocations for re-use, recovery and recycling If the Magic cable tray system is re-used / recovered / recycled during the product stage (rejects), the units are shredded as necessary and then sorted into their original pure components. This is realised using various process plants e.g. magnetic separators. The system boundaries of the Magic cable tray system were set following disposal, with termination of their waste characteristics.

Allocations based on life cycle boundaries Use of recycled materials in the manufacturing process was based on the current market-specific situation. In parallel to this, a recycling potential was taken into consideration that reflects the economic value of the product after recycling (recyclate).

Inputs The LCA includes the following production-relevant inputs:

Energy

For the production site in Hungary the Hungarian electricity mix was used as the basis for the energy used. The energy used by the production site in Germany is supplied only from renewable sources ("Grünstrom").

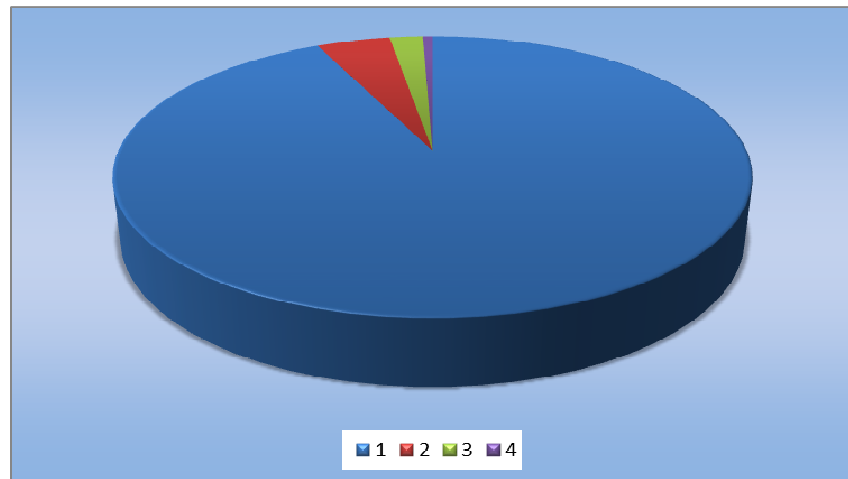
Water

No water is consumed by the individual production steps in the manufacture of the Magic cable tray systems.

The consumption of fresh water specified in Section 7.3 originates from (among other things) the upstream processes of the primary products/pre-products.

Raw material/primary products/pre-products

The chart below shows the proportions of raw materials/pre-products used in %.



No.	Material	Mass in %
1	Sheet steel	93.0
2	Sheet steel (head plate)	4.4
3	Zinc	2.0
4	Steel wire	< 1.0

Ancillary materials and consumables:

The ancillary materials and consumables used for the manufacture of one running metre of cable tray system are as follows:

Ancillary materials in kg	Cable tray system
Lubricants	0.000636
Lasgon	0.116
Inert gas	1.08
Carbon dioxide	0.00000137
Argon	0.00383
Nitrogen	0.00222
Helium	0.000344
Hydrochloric acid	0.0349
Sodium hydroxide (caustic soda) mix	0.0004
Calcium hydroxide	0.000253

Outputs

The LCA includes the following production-relevant outputs per m² of Magic cable tray system:

Waste

Secondary raw materials were included in the benefits.
See Section 7.3 - Impact assessment

Waste water

The manufacture of the Magic cable tray system produces a minor amount of waste water.

7.3 Impact assessment

Goal

The impact assessment covers inputs and outputs. The impact categories applied are named below:

Impact categories

The characterisation factors of the ELCD (European Reference Life Cycle Database) were used. The characterisation factors for the consumption of abiotic resources were taken from CML (Institute of Environmental Sciences, Faculty of Science, Leiden University, Netherlands).

- Abiotic depletion - fossil resources (ADP - fossil fuels);
- Abiotic depletion - non-fossil resources (ADP - elements);
- Acidification of soil and water;
- Ozone depletion;
- Global warming;
- Eutrophication;
- Photochemical ozone creation.

Waste

The evaluation of the waste generated is shown separately for each of the three fractions, namely trade wastes, special wastes and radioactive wastes. Since waste handling is modelled within the system boundaries, the amounts shown refer to the deposited wastes.

A portion of the waste indicated is generated during the manufacture of the pre-products. The wastes presented are generated during the life cycle stages under consideration.

Results per m cable tray system																	
Environmental impacts		Unit	A1 – A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Global warming potential (GWP)	kg CO ₂ equiv.		11.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01066	-	-	-5.02
Ozone depletion potential of stratospheric layer (ODP)	kg CFC 11 - equiv.		1.16E-9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.11E-14	-	-	4.60E-10
Acidification potential of soil and water (AP)	kg SO ₂ equiv.		0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.88E-05	-	-	-0.02
Eutrophication potential (EP)	kg PO ₄ ³⁻ equiv.		5.83E-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.12E-05	-	-	-1.96E-3
Formation potential of tropospheric ozone photochemical oxidants (POCP)	kg C ₂ H ₄ equiv.		4.77E-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1.57E-05	-	-	-3.51E-3
Abiotic depletion potential - non-fossil resources (ADP - elements)	kg Sb-equiv.		6.30E-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.01E-10	-	-	-1.67E-7
Abiotic depletion potential - fossil fuels (ADP - fossil resources)	MJ		137.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1471	-	-	-50.2
Use of resources		Unit	A1–A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Use of renewable primary energy - excluding renewable primary energy resources used as raw materials	MJ		7.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.94
Use of renewable primary energy resources used as raw materials (material use)	MJ		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total use of renewable primary energy resources (primary energy and renewable primary energy resources used as raw materials) (energy + material use)	MJ		7.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.80E-03	-	-	0.94
Use of non-renewable primary energy excluding non-renewable primary energy resources used as raw materials	MJ		137.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-50.20
Use of non-renewable primary energy resources used as raw materials (material use)	MJ		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total use of non-renewable primary energy resources (primary energy and non-renewable primary energy resources used as raw materials) (energy + material use)	MJ		137.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1476	-	-	-50.20
Use of secondary materials	kg		0.96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Use of renewable secondary fuels	MJ		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.47E-07	-	-	-
Use of non-renewable secondary fuels	MJ		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.92E-06	-	-	-
Use of net fresh water	m ³		4.175	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.52E-04	-	-	-2.35

Values that cannot be shown or are inexistent or marginal are expressed as [-]. Scenarios are described in the Annex.

Waste categories	Unit	A1 –	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Hazardous waste disposed	kg	5.27E-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-3.37E-3
Non-hazardous waste disposed (municipal waste)	kg	0.135	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.20E-04	-	-	-0.08
Radioactive waste	kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.93E-07	-	-	1.45E-3
Output material flows	Unit	A1–A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Components for re-use	kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Materials for recycling	kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.67	-	-
Materials for energy recovery	kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Exported energy	MJ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Values that cannot be shown or are inexistent or marginal are expressed as [-]. Scenarios are described in the Annex.

Environmental Product Declaration

In accordance with ISO 14025 and EN 15804 +A1



Aaltvedt[®]
For steinschmeckere

Næringslivets Stiftelse for
Miljødeklarasjoner

Eier av deklarasjonen:
Aaltvedt Betong AS

Program operatør og utgiver:
Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner

Deklarasjonsnummer:
NEPD-3330-1968-NO

Registreringsnummer:
NEPD-3330-1968-NO

Godkjent dato: 19.01.2022
Gyldig til: 19.01.2027

Produkt navn:

Belegningsstein, heller,
støttemur, forskalingsblokk
og kantstein i betong

Produsent:
Aaltvedt Betong AS

Generell informasjon

Produkt:

Belegningsstein, heller, støttemur, forskalingsblokk og kantstein i betong.

Programoperatør:

Næringslivets stiftelse for Miljødeklarasjoner
Pb. 5250 Majorstuen, 0303 Oslo
Phone: +47 23 08 80 00
e-post: post@epd-norge.no

Deklarasjonsnummer:

NEPD-3330-1968-NO

ECO Platform registreringsnummer:**Deklarasjonen er basert på PCR:**

EN 15804:2012+A1:2013 tjener som kjerne-PCR
NPCR 020:2018 Part B for Concrete and concrete elements

Erklæring om ansvar:

Eieren av deklarasjonen skal være ansvarlig for den underliggende informasjon og bevis. EPD Norge skal ikke være ansvarlig med hensyn til produsent informasjon, livsløpsvurdering data og bevis.

Deklarert enhet:

1 tonne Belegningsstein, heller, støttemur, forskalingsblokk og kantstein i betong.

Deklarert enhet med opsjon:

A1,A2,A3,A4

Funksjonell enhet:**Generelt om verifikasjon av EPD fra verktøy:**

Uavhengig verifikasjon av data, annen miljøinformasjon og EPD er foretatt etter ISO 14025:2010, kapittel 8.1.3 og 8.1.4. Individuell tredjepartsverifisering av hver EPD er ikke nødvendig når verktøyet er i) integrert i bedriftens miljøstyringssystem, ii) prosedyrer for bruk av verktøyet er godkjent av EPD-Norge og iii) prosessen granskes årlig. Se vedlegg G i EPD-Norges retningslinjer for ytterligere informasjon om EPD-verktøy.

Verifikasjon av EPD-verktøy:

Uavhengig tredjepartsverifikasjon av verktøy, bakgrunnsdata og test-EPD er gjort i henhold til EPD-Norge sine prosedyrer og retningslinjer for verifisering og godkjenning av EPD-verktøy.

Anne Rønning, Norsus AS

(krever ikke signatur)

Eier av deklarasjonen:

Aaltvedt Betong AS
Kontaktperson: Frode Aaltvedt
Telefon: 35 91 50 00
e-post: post@aaltvedt.no

Produsent:

Aaltvedt Betong AS

Produksjonssted:

Aaltvedt Betong AS
Havnevegen 50 3739 SKIEN
Norway

Kvalitet/Miljøsystem:

Myljøfyrtårn, sert 7010, Produksjonskontrollsystem: NS-EN 15438, sert 1111-CPR-0552 og NS-EN 1338 og 1339, sert 317

Org. no.:

929101987

Godkjent dato: 19.01.2022**Gyldig til:** 19.01.2027**Årstall for studien:**

2020

Sammenlignbarhet:

EPD av byggevarer er nødvendigvis ikke sammenlignbare hvis de ikke samsvarer med NS-EN 15804 og ses i en bygningskontekst.

Miljødeklarasjonen er utarbeidet av:

Deklarasjonen er utarbeidet og verifisert ved bruk av EPDverktøy lca.tools ver EPD2020.11, utviklet av LCA.no AS. EPDverktøyet er integrert i bedriftens miljøstyringssystem, og godkjent av EPD-Norge

EPD er utarbeidet av:

Lars-Christian Eia Guttormsen

Bedriftsspesifikke data og EPD er kontrollert av:

Frode Aaltvedt

Godkjent:

Sign

Håkon Hauan, Daglig leder EPD-Norge

Produkt

Produktbeskrivelse:

EpD'en gjelder alle Aaltvedt Markbetongprodukter. Dette inkluderer belegningsstein, heller, støttmur og blokkprodukter produsert med tørrbetong.

Produktspesifikasjon:

Produktene inneholder vann, sement, tilslag og fargestoffer. Belegningsstein for privat bruk har tykkelse på 5-6 cm. Industridekker har tykkelse fra 7 til 10 cm. For mer informasjon se www.aaltvedt.no.

Materialer	kg	%
Cement	139,58	13,66
Aggregate	859,59	84,11
Water	22,78	2,23
Totalt:	1021,95	

Tekniske data:

Belegningsstein produseres i henhold til NS EN 1338.
Heller produseres i henhold til NS EN 1339.
Deler/tilpsninger/støttmur produseres i henhold til vår internkontroll som er verifisert av Kontrollrådet for betong.

Markedsområde:

Norge og Sverige

Levetid, produkt:

Forventet levetid som for bygg, 30-60 år.

Levetid, bygg:

LCA: Beregningsregler

Deklarert enhet:

1 tonne Belegningsstein, heller, støttmur, forskalingsblokk og kantstein i betong.

Cut-off kriterier:

Alle viktige råmaterialer og all viktig energibruk er inkludert. Produksjonsprosessen for råmaterialene og energistrømmer som inngår med veldig små mengder (mindre enn 1%) er ikke inkludert. Disse cut-off kriteriene gjelder ikke for farlige materialer og stoffer.

Datakvalitet:

Spesifikke data for produktsammensetningen er fremskaffet av produsenten. De representerer produksjonen av det deklarete produktet og ble samlet inn for EPD-utvikling i det oppgitte året for studien. Bakgrunnsdata er basert på registrerte EPDer i henhold til EN 15804, Østfoldforskning sine databaser, ecoinvent og andre LCAdatabaser. Datakvaliteten for råmaterialene i A1 er presentert i tabellen nedenfor.

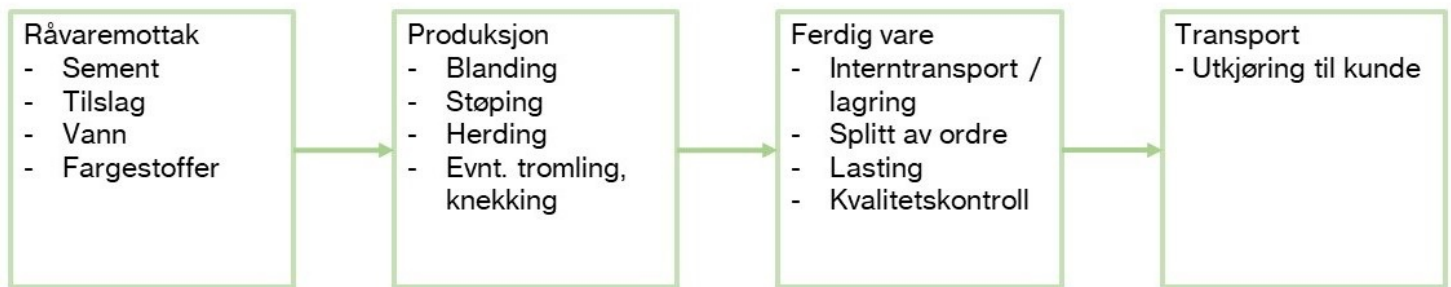
Materials	Source	Data quality	Year
Aggregate	Modified EcoInvent	Database	2012
Aggregate	Østfoldforskning	Database	2016
Water	ecoinvent 3.4	Database	2017
Cement	NEPD-2275-1028-NO	EPD	2020

Allokering:

Allokering er gjort iht. bestemmelser i EN 15804. Inngående energi og vann, samt produksjon av avfall i egen produksjon er allokert likt mellom alle produktene gjennom masseallokering. Miljøpåvirkning og ressursforbruk for primærproduksjonen av resirkulerte materialer er allokert til det opprinnelige produktsystemet. Bearbeidingsprosessen og transport av materialet til produksjonssted er allokert til analysen i denne EPDen.

Systemgrenser:

Flytskjemaet nedenfor illustrerer systemgrensene for analysen:



Teknisk tilleggsinformasjon

Bedriften er sertifisert som Miljøfyrtårn.

LCA: Scenarier og annen teknisk informasjon

Følgende informasjonen beskriver scenariene for modulene i EPDen.

Transport fra produksjonssted til bruker (A4)

Type	Kapasitetsutnyttelse inkl retur %	Kjøretøytype	Distanse km	Brennstoff/Energi forbruk	Enhet	Verdi (l/t)
Bil	55,0 %	Lastebil med henger, EURO 6	50	0,022606	l/tkm	1,13
Jernbane					l/tkm	
Båt					l/tkm	
Annet					l/tkm	

Byggefase A5

.	Enhet	Verdi
Hjelpematerialer	kg	
Vannforbruk	m ³	
Elektrisitetsforbruk	kWh	
Andre energikilder	MJ	
Materialtap	kg	
Materialer til avfallsbehandling	kg	
Støv i luft	kg	
VOC utslipp	kg	

Monterte produkter i bruk (B1)

.	Unit	Value

Vedlikehold (B2)/Reparasjon

.	Enhet	Verdi
Vedlikeholdsfrekvens*	-	
Hjelpematerialer	kg	
Andre ressurser		
Vannforbruk		
Elektrisitetsforbruk	kWh	
Andre energikilder	MJ	
Materialtap	kg	
VOC utslipp	kg	

Utskifting (B4)/Renovering (B5)

.	Enhet	Verdi
Utskiftingsfrekvens*	stk	
Elektrisitetsforbruk	kWh	
Utskifting av slitte deler	0	

* Tall eller referanselevetid

Driftsenergi (B6) og vannbruk (B7)

.	Enhet	Verdi
Vannforbruk	m ³	
Elektrisitetsforbruk	kWh	
Andre energikilder	MJ	
Utstyrets varmeeffekt	kW	

Sluttfase (B8)

.	Enhet	Verdi
Farlig avfall	kg	
Blandet avfall	kg	
Gjenbruk	kg	
Resirkulering	kg	
Energigjenvinning		
Til deponi		

Transport avfallsbehandling (C2)

Type	Kapasitetsutnyttelse inkl retur %	Kjøretøytype	Distanse km	Brennstoff/Energi forbruk	Enhet	Verdi (l/t)
Bil					l/tkm	
Jernbane					l/tkm	
Båt					l/tkm	
Annet					l/tkm	

Scenarier etter A1-A4 er ikke inkludert

LCA: Resultater

LCA resultatene er presentert under for den deklarete enheten som er definert på side 2 av EPD dokumentet.

Systemgrenser (X=inkludert, MND=modul ikke deklart, MNR=modul ikke relevant)

Product stage				Construction installation stage	User stage								End of life stage				Beyond the system boundaries
Råmaterialer	Transport	Tilvirkning	Transport	Konstruksjons/ installasjons fase	Bruk	Vedlikehold	Reparasjon	Utskiftninger	Renovering	Operasjonell energibruk	Operasjonell vannbruk	Demontering	Transport	Avfallsbehandling	Avfall til sluttbehandling	Gjenbruk/gjenvinning/ resirkulering- potensiale	
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	
X	X	X	X	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	

Miljøpåvirkning (Environmental impact)

Parameter	Unit	A1	A2	A3	A4
GWP	kg CO ₂ -eq	8,24E+01	8,43E-01	1,12E+00	4,14E+00
ODP	kg CFC11 -eq	1,85E-06	1,73E-07	1,74E-07	8,50E-07
POCP	kg C ₂ H ₄ -eq	1,20E-02	1,32E-04	2,33E-04	6,47E-04
AP	kg SO ₂ -eq	6,21E-02	2,18E-03	7,48E-03	1,07E-02
EP	kg PO ₄ ³⁻ -eq	4,99E-02	3,00E-04	1,65E-03	1,47E-03
ADPM	kg Sb -eq	4,83E-05	2,01E-06	5,67E-06	9,85E-06
ADPE	MJ	2,75E+02	1,38E+01	1,47E+01	6,79E+01

GWP Global warming potential; ODP Depletion potential of the stratospheric ozone layer; POCP Formation potential of tropospheric photochemical oxidants; AP Acidification potential of land and water; EP Eutrophication potential; ADPM Abiotic depletion potential for non fossil resources; ADPE Abiotic depletion potential for fossil resources

"Leseeksempel 9,0 E-03 = 9,0*10⁻³ = 0,009"

*INA Indicator Not Assessed

Ressursbruk (Resource use)

Parameter	Unit	A1	A2	A3	A4
RPEE	MJ	8,09E+01	2,52E-01	4,82E+01	1,24E+00
RPEM	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TPE	MJ	8,09E+01	2,52E-01	4,82E+01	1,24E+00
NRPE	MJ	2,88E+02	1,43E+01	1,75E+01	7,01E+01
NRPM	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TRPE	MJ	2,88E+02	1,43E+01	1,75E+01	7,01E+01
SM	kg	2,95E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RSF	MJ	1,25E+02	0,00E+00	7,50E-03	0,00E+00
NRSF	MJ	1,54E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
W	m ³	1,29E+00	3,38E-03	3,80E-03	1,66E-02

RPEE Renewable primary energy resources used as energy carrier; RPEM Renewable primary energy resources used as raw materials; TPE Total use of renewable primary energy resources; NRPE Non renewable primary energy resources used as energy carrier; NRPM Non renewable primary energy resources used as materials; TRPE Total use of non renewable primary energy resources; SM Use of secondary materials; RSF Use of renewable secondary fuels; NRSF Use of non renewable secondary fuels; W Use of net fresh water

"Leseeksempel 9,0 E-03 = 9,0*10⁻³ = 0,009"

*INA Indicator Not Assessed

Livsløpets slutt - Avfall (End of life - Waste)

Parameter	Unit	A1	A2	A3	A4
HW	kg	4,28E-04	7,61E-06	1,30E-05	3,74E-05
NHW	kg	1,31E+01	1,31E+00	5,09E-01	6,40E+00
RW	kg	INA*	INA*	INA*	INA*

HW Hazardous waste disposed; NHW Non hazardous waste disposed; RW Radioactive waste disposed

"Leseeksempel 9,0 E-03 = 9,0*10⁻³ = 0,009"

*INA Indicator Not Assessed

Livsløpets slutt - Utgangsfaktorer (End of life - Output flow)

Parameter	Unit	A1	A2	A3	A4
CR	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MR	kg	0,00E+00	0,00E+00	2,03E+01	0,00E+00
MER	kg	0,00E+00	0,00E+00	3,38E-01	0,00E+00
EEE	MJ	INA*	INA*	INA*	INA*
ETE	MJ	INA*	INA*	INA*	INA*

CR Components for reuse; MR Materials for recycling; MER Materials for energy recovery; EEE Exported electric energy; ETE Exported thermal energy

"Leseeksempel 9,0 E-03 = 9,0*10⁻³ = 0,009"

*INA Indicator Not Assessed

Norske tilleggskrav

Klimagassutslipp fra bruk av elektrisitet i produksjonsfasen

Nasjonal produksjonsmiksblanding fra import, lavspenning (inkludert produksjon av overføringslinjer, i tillegg til direkte utslipp og tap i nett) er brukt for anvendt elektrisitet i produksjonsprosessen (A3). Bakgrunnsdata er presentert i tabellen under. Karakteriseringsfaktorer fra EN15804:2012+A1:2013 er benyttet.

Elektrisitetstype	Datakilde	Mengde	Enhet
El-mix, Norway (kWh)	ecoinvent 3.4	31,04	g CO2-ekv/kWh

Farlige stoffer

Produktet er ikke tilført stoffer fra REACH Kandidatliste eller den norske prioritetslisten.

Inneklima

Produktet har ingen påvirkning på inneklima.

Bibliografi

NS-EN ISO 14025:2010 Miljømerker og deklarasjoner - Miljødeklarasjoner type III
 NS-EN ISO 14044:2006 Miljøstyring - Livsløpsvurderinger - Krav og retningslinjer
 NS-EN 15804:2012+A1:2013 Bærekraftig byggverk - Miljødeklarasjoner
 ISO 21930:2017 Sustainability in buildings and civil engineering works
 ecoinvent v3, Allocation, cut-off by classification, Swiss Centre of Life Cycle Inventories .
 Iversen et al., (2018) eEPD v3 .0 - Background information for EPD gen. system. LCA.no OR 04.18
 Vold et al. (2014) EPD-generator for betongindustrien, bakgrunnsinformasjon for verifisering, OR 04.14, Østfoldforskning,
 NPCR Part A: Construction products and services. Ver. 1.0. April 2017, EPD-Norge.

 The Norwegian EPD Foundation	Programoperatør og utgiver Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner PostBoks 5250 Majorstuen, 0303 Oslo, Norge	Telefon: +47 23 08 80 00 e-post: post@epd-norge.no web: www.epd-norge.no
 For steinschneckere	Eier av deklarasjon Aaltvedt Betong AS Havnevegen 50 3739 SKIEN	Telefon: 35 91 50 00 e-post: post@aaltvedt.no web: www.aaltvedt.no
	Forfatter av livsløpsrapporten Østfoldforskning AS Stadion 4 1671 Kråkerøy	Telefon: +47 69 35 11 00 e-post: post@ostfoldforskning.no web: www.ostfoldforskning.no
	Utvikler av EPD-generator LCA.no AS Dokka 1C 1671 Kråkerøy	Telefon: +47 916 50 916 e-post: post@lca.no web: www.lca.no

EPD for the best environmental decision



Global
Program
Operator

Environmental Product Declaration

In accordance with ISO 14025 and EN 15804 +A2



LOBAS[®] SOLAR

The Norwegian
EPD Foundation

Owner of the declaration:
Lonevåg Beslagfabrikk AS

Program holder and publisher:
The Norwegian EPD foundation

Declaration number:
NEPD-3666-2605-EN

Registration Number:
NEPD-3666-2605-EN

Issue date: 11.08.2022
Valid to: 11.08.2027

Product name

Mounting system for photovoltaic systems – flat roofs. Lobas Solar.

Manufacturer

Lonevåg Beslagfabrikk AS

General information

Product:

Mounting system for photovoltaic systems – flat roofs

Program Operator:

The Norwegian EPD Foundation
 Post Box 5250 Majorstuen, 0303 Oslo, Norway
 Tlf: +47 23 08 80 00
 e-mail: post@epd-norge.no

Declaration Number:

NEPD-3666-2605-EN

This declaration is based on Product Category

Rules:

EN15804:2012 + A2:2019
 NPCR Part A (v.2.0, 2021) Construction products and services
 NPCR 013:2021 Part B for Steel and aluminium construction products

Statements:

The owner of the declaration shall be liable for the underlying information and evidence. EPD Norway shall not be liable with respect to manufacturer, life cycle assessment data and evidences.

Declared unit:

1 m² of mounting system for photovoltaic systems – flat roofs

Declared unit with option:

Cradle-to-gate with options

Functional unit:

Not applicable

Verification:

Independent verification of the declaration and data, according to ISO14025:2010

internal external



Fredrik M. Johnsen, Stiftinga Vestlandsforskning
 Independent verifier approved by EPD Norway

Owner of the declaration:

Lonevåg Beslagfabrikk AS
 Contact person: Sigbjørn Reigstad
 Phone: 56 19 31 00
 e-mail: sr@lobas.no

Manufacturer:

Lonevåg Beslagfabrikk AS
 Hovdavegen 18, 5282 Lonevåg
 Phone: 56 19 31 10
 e-mail: lobas@lobas.no

Place of production:

Lonevåg, Osterøy, Norway

Management system:

-

Organisation no:

828 824 112

Issue date:

11.08.2022

Valid to:

11.08.2027

Year of study:

2021/2022

Comparability:

EPDs from other programmes than The Norwegian EPD foundation may not be comparable.

The EPD has been worked out by:

Andrea Arntzen Nistad



Approved (Manager of EPD Norway)

Product

Product description:

The product analysed is a mounting system for photovoltaic systems applicable for flat roofs in nordic countries. The system is adapted to the specific project location.

Product specification:

The system consists of baseplates in steel, a connector in steel and aluminum and profiles in aluminum. Lonevåg Beslagfabrikk produces baseplates and connectors. Hydro Extrusion Norway AS at Magnor produces the aluminum profiles.

Dimensions, specifications and material use will vary depending on the specific wind and snow loads at the building location. Tromsø, the Norwegian location with the highest material demand to present an upper bound for environmental impacts. Hence, the EPD represent a conservative estimate for the environmental impacts.

The product composition per m² for a system in Tromsø is showed in the table below and is used for analysis.

Materials	KG	%
Aluminium	5,65	83,5
Steel	1,11	16,4
Rubber	0,01	0,1
Sum product	6,77	100
Packaging, wood	0,27	
Packaging, paper	0,012	
Packaging, steel	4,34e-7	
Sum including packaging	7,04	

Technical data:

The loads are calculated by SINTEF according to NS-EN 1991-1-3:2003+A1:2015+NA:2018 (snow loads) and NS-EN 1991-1-4:2005+NA:2009 (wind actions).

Wind loads -1,39 kN/m²

Snow loads 7,06 kN/m²

For flat buildings roofs with parapet

Market:

Nordic countries

Reference service life, product:

Not relevant for declared unit

Reference service life, building:
60 years

LCA: Calculation rules

Declared unit:

1 m² of mounting system for photovoltaic systems – flat roofs

The EPD is a specific EPD.

Data quality:

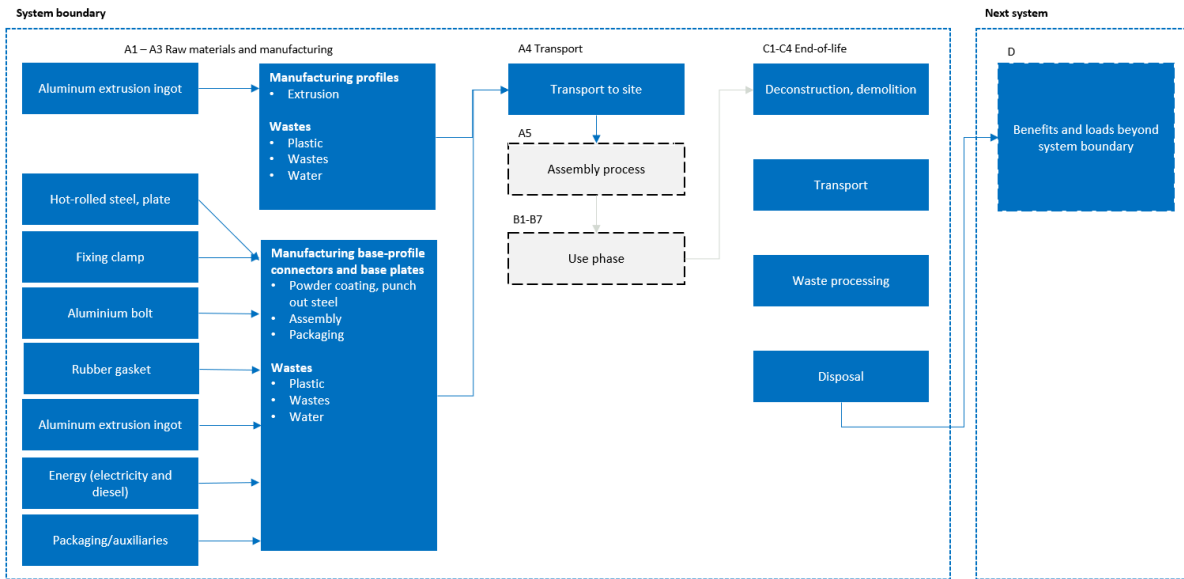
Components are mainly produced by Lonevåg Beslagfabrikk AS and Hydro Extrusion Norway AS (Magnor). Lonevåg Beslagfabrikk AS brings the product to the market, and Hydro is regarded as a sub-supplier (A1). Hence, data collection is done mainly for Lonevåg Beslagfabrikk AS. Specific data are used for all processes, based on production year 2020. Data are collected during the fall of 2021. Hydro's production of aluminium extrusion ingots are covered by supplier EPD, with data collected for the extrusion process for profile production.

Background data on raw materials, transport and electricity production are from ecoinvent v. 3.7.1, allocation cut-off by classification. Generic processes are adjusted to be representative for the suppliers and processes covered. Market processes are mainly used. Calculations are carried out using SimaPro 9.2.0.2. No data is older than 5 years.

General requirements and guidelines concerning the use of generic and specific data and the quality of those are as described in EN 15804: 2012+A2:2019, clause 6.3.6 and 6.3.7., including ISO14044:2006, 4.2.3.6. The data is representative according to temporal, geographical and technological requirements.

Allocation:

Allocation in accordance with principles described in EN 15804:2012 + A2:2019. Energy, water and waste at Lonevåg Beslagfabrikk AS are mass allocated. Energy and waste handling of material scrap of aluminum extrusion at Hydro Magnor (Hydro Extrusion Norway AS) are also allocated by mass.



System boundary:

Modules declared according to NPCR 013 Part B. Declared modules A1-A3, A4, C1-C4 and D.

The figure above shows declared modules in blue and excluded modules in grey.

Cut-off criteria:

All major raw materials and all the essential energy is included. The production process for raw materials and energy flows that are included with very small amounts (<1% energy, mass, impact) are not included. This cut-off rule does not apply for hazardous materials and substances.

LCA: Scenarios and additional technical information

The following information describe the scenarios in the different modules of the EPD.

Transport from production place to assembly/user (A4)

Type	Capacity utilisation (incl. return) %	Type of vehicle	Distance KM	Fuel/Energy consumption	value (l/t)
Truck	82	Lorry, 24 t	300	0,017 L/tkm	5,22

Scenario for distance to building site is calculated based on default scenario from NPCR 013:2021 Part B and is confirmed as a likely scenario by the manufacturer.

End of Life (C1, C3, C4)

	Unit	Value
Hazardous waste disposed	Kg	
Collected as mixed construction waste	Kg	0,01
Reuse	Kg	

Recycling	Kg	1,00
Energy recovery	Kg	
To landfill	Kg	0,10

Aluminium end-of-life are modeled using NEPD-1839-768.

Transport to waste processing (C2)

Type	Capacity utilisation (incl. return) %	Type of vehicle	Distance KM	Fuel/Energy consumption	value (l/t)
Truck, waste collection	50	Lorry	19	0,4 l/tkm	7,4
Truck, waste receiving facility to central and final sorting	26	Lorry	278	0,04 l/tkm	12,2

To provide a plausible scenario for transportation to waste processing, a study of Norwegian waste treatment was used as proxy data (Raadal et al., 2009).

Benefits and loads beyond the system boundaries (D)

	Unit	Value
Net new steel scrap	Kg	0,87
Net new aluminium scrap	Kg	As per NEPD-1839-768, 0,75

Additional technical information

LCA: Results

System boundaries (X=included, MND= module not declared, MNR=module not relevant)

Product stage	Assembly stage	Use stage	End of life stage	Benefits & loads beyond system boundary

Raw materials	Transport	Manufacturing	Transport	Assembly	Use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	De-construction demolition	Transport	Waste processing	Disposal	Reuse-Recovery-Recycling-potential
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
X	X	X	X	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	X	X	X	X	X

Core environmental impact indicators

Indicator	Unit	A1-A3	A4	C1	C2	C3	C4	D
GWP-total	kg CO2 eq.	4,20E+01	2,05E-01	1,45E-01	1,21E-01	1,41E+00	6,95E-03	-2,71E+01
GWP-fossil	kg CO2 eq.	4,18E+01	2,04E-01	1,45E-01	1,21E-01	1,41E+00	3,19E-03	-2,71E+01
GWP-biogenic	kg CO2 eq.	1,94E-01	4,42E-04	1,25E-04	1,61E-04	0,00E+00	3,76E-03	-9,51E-04
GWP-LULUC	kg CO2 eq.	4,81E-03	6,93E-05	1,45E-05	2,24E-05	0,00E+00	6,08E-07	2,12E-04
ODP	kg CFC11 eq.	3,48E-06	5,08E-08	3,10E-08	2,55E-08	1,11E-07	2,57E-10	-1,57E-06
AP	mol H ⁺ eq.	2,69E-01	6,27E-04	1,50E-03	4,75E-04	3,98E-03	7,01E-06	-1,66E-01
EP-freshwater	kg P eq.	1,84E-02	1,32E-06	4,80E-07	4,03E-07	0,00E+00	8,67E-09	-3,00E-07
EP-marine	kg N eq.	4,94E-03	1,36E-04	6,66E-04	9,59E-05	0,00E+00	2,56E-06	-3,93E-04
EP-terrestrial	mol N eq.	1,25E-01	1,51E-03	7,30E-03	1,09E-03	9,10E-04	2,77E-05	-1,24E-02
POCP	kg NMVOC eq.	3,47E-02	5,90E-04	2,01E-03	3,89E-04	1,73E-04	7,78E-06	-1,58E-02
ADP-M&M	kg Sb eq.	3,33E+02	4,38E-07	7,45E-08	6,78E-01	7,57E+00	1,80E-09	-2,45E+02
ADP-fossil	MJ	3,86E+02	3,29E+00	1,99E+00	1,78E+00	7,57E+00	1,80E-02	-2,58E+02
WDP	m ³	2,09E+00	9,90E-03	2,83E-03	2,67E-03	8,42E-03	1,07E-03	-3,97E-01

GWP-total: Global Warming Potential; **GWP-fossil:** Global Warming Potential fossil fuels; **GWP-biogenic:** Global Warming Potential biogenic; **GWP-LULUC:** Global Warming Potential land use and land use change; **ODP:** Depletion potential of the stratospheric ozone layer; **AP:** Acidification potential, Accumulated Exceedance; **EP-freshwater:** Eutrophication potential, fraction of nutrients reaching freshwater end compartment; See “additional Norwegian requirements” for indicator given as PO4 eq. **EP-marine:** Eutrophication potential, fraction of nutrients reaching freshwater end compartment; **EP-terrestrial:** Eutrophication potential, Accumulated Exceedance; **POCP:** Formation potential of tropospheric ozone; **ADP-M&M:** Abiotic depletion potential for non-fossil resources (minerals and metals); **ADP-fossil:** Abiotic depletion potential for fossil resources; **WDP:** Water deprivation potential, deprivation weighted water consumption

Additional environmental impact indicators

Indicator	Unit	A1-A3	A4	C1	C2	C3	C4	D
PM	Disease incidence	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
IRP	kBq U235 eq.	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ETP-fw	CTUe	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
HTP-c	CTUh	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
HTP-nc	CTUh	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
SQP	Dimensionless	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

PM: Particulate matter emissions; **IRP:** Ionising radiation, human health; **ETP-fw:** Ecotoxicity (freshwater); **ETP-c:** Human toxicity, cancer effects; **HTP-nc:** Human toxicity, non-cancer effects; **SQP:** Land use related impacts / soil quality

Classification of disclaimers to the declaration of core and additional environmental impact indicators

ILCD classification	Indicator	Disclaimer
ILCD type / level 1	Global warming potential (GWP)	None
	Depletion potential of the stratospheric ozone layer (ODP)	None
	Potential incidence of disease due to PM emissions (PM)	None
	Acidification potential, Accumulated Exceedance (AP)	None
	Eutrophication potential, Fraction of nutrients reaching freshwater end compartment (EP-freshwater)	None
ILCD type / level 2	Eutrophication potential, Fraction of nutrients reaching marine end compartment (EP-marine)	None
	Eutrophication potential, Accumulated Exceedance (EP-terrestrial)	None
	Formation potential of tropospheric ozone (POCP)	None
ILCD type / level 3	Potential Human exposure efficiency relative to U235 (IRP)	1
	Abiotic depletion potential for non-fossil resources (ADP-minerals&metals)	2
	Abiotic depletion potential for fossil resources (ADP-fossil)	2
	Water (user) deprivation potential, deprivation-weighted water consumption (WDP)	2
	Potential Comparative Toxic Unit for ecosystems (ETP-fw)	2
	Potential Comparative Toxic Unit for humans (HTP-c)	2
	Potential Comparative Toxic Unit for humans (HTP-nc)	2
Potential Soil quality index (SQP)	2	

Disclaimer 1 – This impact category deals mainly with the eventual impact of low dose ionizing radiation on human health of the nuclear fuel cycle. It does not consider effects due to possible nuclear accidents, occupational exposure nor due to radioactive waste disposal in underground facilities. Potential ionizing radiation from the soil, from radon and from some construction materials is also not measured by this indicator.

Disclaimer 2 – The results of this environmental impact indicator shall be used with care as the uncertainties on these results are high or as there is limited experienced with the indicator

Resource use

Parameter	Unit	A1-A3	A4	C1	C2	C3	C4	D
RPEE	MJ	3,38E+02	3,81E-02	1,12E-02	1,95E-02	9,77E-01	1,93E-04	-1,21E+02
RPEM	MJ	5,30E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

TPE	MJ	3,44E+02	3,81E-02	1,12E-02	1,95E-02	9,77E-01	1,93E-04	-1,21E+02
NRPE	MJ	4,83E+02	3,29E+00	1,99E+00	1,80E+00	8,70E+00	1,80E-02	-3,14E+02
NRPM	MJ	4,20E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TRPE	MJ	4,83E+02	3,29E+00	1,99E+00	1,80E+00	8,70E+00	1,80E-02	-3,14E+02
SM	kg	6,17E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
NRSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
W	m ³	2,59E-01	3,53E-04	1,13E-04	1,28E-04	0,00E+00	2,33E-05	-6,47E-03

RPEE Renewable primary energy resources used as energy carrier; RPEM Renewable primary energy resources used as raw materials; TPE Total use of renewable primary energy resources; NRPE Non renewable primary energy resources used as energy carrier; NRPM Non renewable primary energy resources used as materials; TRPE Total use of non renewable primary energy resources; SM Use of secondary materials; RSF Use of renewable secondary fuels; NRSF Use of non renewable secondary fuels; W Use of net fresh water

End of life - Waste

Parameter	Unit	A1-A3	A4	C1	C2	C3	C4	D
HW	KG	9,38E+00	1,71E-04	5,79E-05	4,99E-05	3,49E-02	1,10E-03	2,59E-02
NHW	KG	2,08E+01	2,76E-01	2,65E-03	7,79E-02	6,61E+00	3,37E-01	-1,31E+01
RW	KG	2,43E-03	2,23E-05	1,37E-05	1,22E-05	2,74E-05	1,12E-07	-1,19E-03

HW Hazardous waste disposed; NHW Non hazardous waste disposed; RW Radioactive waste disposed

End of life – output flow

Parameter	Unit	A1-A3	A4	C1	C2	C3	C4	D
CR	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
MR	kg	1,04E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,42E+00	6,27E+00	0,00E+00	5,27E+00
MER	kg	9,31E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,53E-01	0,00E+00	0,00E+00
EEE	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
ETE	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

CR Components for reuse; MR Materials for recycling; MER Materials for energy recovery; EEE Exported electric energy; ETE Exported thermal energy

Reading example: 9,0 E-03 = 9,0*10⁻³ = 0,009

Information describing the biogenic carbon content at the factory gate

Biogenic carbon content	Unit	Value
Biogenic carbon content in product	kg C	0
Biogenic carbon content in the accompanying packaging	kg C	0,12

Additional Norwegian requirements

Greenhouse gas emission from the use of electricity in the manufacturing phase National production mix from import, medium voltage (production of transmission lines, in addition to direct emissions and losses in grid) of applied electricity for the manufacturing process (A3).

National electricity grid	Unit	Value
Electricity, medium voltage {NO} market for Cut-off, S	kg CO2 -eq/kWh	0,25

Additional environmental impact indicators required in NPCR Part A for construction products

In order to increase the transparency of biogenic carbon contribution to climate impact, the indicator for GWP has been sub-divided into the following:

GWP-IOBC Climate impacts calculated according to the principle of instantaneous oxidation
GWP-BC Climate impacts from the net uptake and emission of biogenic carbon from each module.

In addition, EP-freshwater shall also declared as PO4 eq.

Indicator	Unit	A1-A3	A4	C1	C2	C3	C4	D
EP-freshwater*	kg PO4 eq.	2,36E-03	6,79E-05	2,35E-04	3,97E-05	0,00E+00	1,10E-06	-1,32E-04
GWP-IOBC	kg CO2 eq.	4,19E+01	2,04E-01	1,44E-01	1,21E-01	1,41E+00	2,91E-04	-2,60E+01
GWP-BC	kg CO2 eq.	4,33E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
GWP	kg CO2 eq.	4,23E+01	2,04E-01	1,44E-01	1,21E-01	1,41E+00	2,91E-04	-2,60E+01

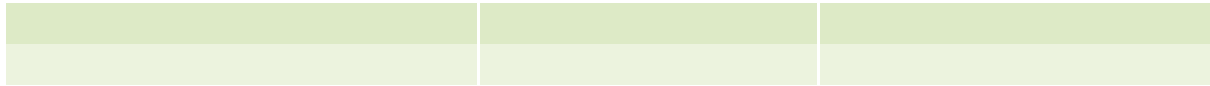
EP-freshwater* Eutrophication potential, fraction of nutrients reaching freshwater end compartment. Declared as PO4 eq. **GWP-IOBC** Global warming potential calculated according to the principle of instantaneous oxidation. **GWP-BC** Global warming potential from net uptake and emissions of biogenic carbon from the materials in each module. **GWP** Global warming potential

Hazardous substances

The declaration is based upon reference to threshold values and/or test results and/or material safety data sheets provided to EPD verifiers. Documentation available upon request to EPD owner.

- The product contains no substances given by the REACH Candidate list or the Norwegian priority list.
- The product contains substances given by the REACH Candidate list or the Norwegian priority list that are less than 0,1 % by weight.
- The product contain dangerous substances, more then 0,1% by weight, given by the REACH Candidate List or the Norwegian Priority list, see table.
- The product contains no substances given by the REACH Candidate list or the Norwegian priority list. The product is classified as hazardous waste (Avfallsforskiten, Annex III), see table.

Name	CAS no.	Amount
------	---------	--------



Indoor environment

Not relevant for this product category.


Carbon footprint

Carbon footprint has not been worked out for the product.

Bibliography

ISO 14025:2010	Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations - Principles and procedures
ISO 14044:2006	Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines
EN 15804:2012+A2:2019	Sustainability of construction works - Environmental product declaration - Core rules for the product category of construction products
ISO 21930:2007	Sustainability in building construction - Environmental declaration of building products
EPD-NORGE 2021	NPCR Part A:2021 Construction products and services. Reg 24.03.2021
EPD-NORGE 2021	NPCR 013:2021 Part B for Steel and aluminium construction products. Reg 06.10.2021
Raadal, H. L., Modahl, I. S., & Lyng, K. A. (2009).	Climate account for waste management. Phase I and II: Glass packaging, Metal Packaging, Paper, Cardboard, Plastic Packaging, Wet Organic Waste, Tree Waste and Refuse Waste from Households
Nistad Arntzen. A 2022	LCA report mounting system for photovoltaic systems, Lobas Solar.

<p>The Norwegian EPD Foundation</p>	Program Operator	tlf	+47 23 08 80 00
	The Norwegian EPD Foundation		
	Post Box 5250 Majorstuen, 0303 Oslo Norway	e-post:	post@epd-norge.no
		web	www.epd-norge.no
<p>The Norwegian EPD Foundation</p>	Publisher	tlf	+47 23 08 80 00
	The Norwegian EPD Foundation		
	Post Box 5250 Majorstuen, 0303 Oslo Norway	e-post:	post@epd-norge.no
		web	www.epd-norge.no
	Owner of the declaration	tlf	+47 56 19 31 10
	Lonevåg Beslagfabrikk AS	Fax	

	Hovdavegen 18, 5282 Lonevåg Norway	e- post: web	
	Author of the life cycle assessment	tlf	+47 41 79 94 17
	Andrea Arntzen Nistad, Asplan Viak AS	Fax	
	Postboks 2304 Solheimsviken, 5824 Bergen Norway	e- post:	asplanviak@asplanviak.no
		web	www.asplanviak.no

EPD for the best environmental decision



Global
Program
Operator

Environmental Product Declaration



In accordance with ISO 14025 and EN 15804:2012+A2:2019 for:

PVC insulated stranded conductor Building Cables H07V-R (FK, PN)

from

Amo Installationskabel AB



Programme:	The International EPD® System, www.environdec.com
Programme operator:	EPD International AB
EPD registration number:	S-P-05122
Publication date:	2021-12-13
Valid until:	2026-12-13

An EPD should provide current information and may be updated if conditions change. The stated validity is therefore subject to the continued registration and publication at www.environdec.com



General information

Programme information

Programme:	The International EPD® System
Address:	EPD International AB Box 210 60 SE-100 31 Stockholm Sweden
Website:	www.environdec.com
E-mail:	info@environdec.com

CEN standard EN 15804 serves as the Core Product Category Rules (PCR)
Product category rules (PCR): <i>PCR 2019:14 Construction products and construction services, version 1.11</i>
PCR review was conducted by: <i>The Technical Committee of the International EPD® System. Review chair: Claudia A. Peña, University of Concepción, Chile. A full list of members available on www.environdec.com. The review panel may be contacted via info@environdec.com.</i>
Independent third-party verification of the declaration and data, according to ISO 14025:2006: <input type="checkbox"/> EPD process certification <input checked="" type="checkbox"/> EPD verification
Third party verifier: Martin Erlandsson, IVL
Approved by: The International EPD® System
Procedure for follow-up of data during EPD validity involves third party verifier: <input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No

The EPD owner has the sole ownership, liability, and responsibility for the EPD.

EPDs within the same product category but from different programmes may not be comparable. EPDs of construction products may not be comparable if they do not comply with EN 15804. For further information about comparability, see EN 15804 and ISO 14025.

Company information

Owner of the EPD:

Amo Installationskabel AB

Contact:

Richard Andersén, richard.andersen@amokabel.com

<https://amokabel.com/>

Description of the organisation:

Amo Installationskabel AB is part of Amokabel, a Scandinavian cable group with four companies that manufacture a wide spectrum of wires, cables and consumer-packaged products. Amokabel manufactures cables for the sectors Subsea; Industry; Power networks; Installation. We are the industry leader when it comes to innovation, customer service and short lead times. With focus on high quality and innovative design of new products with minimal environmental impact.

Our division within Amokabel is specialized in building- and installations-cables varying from single-core wires to larger industrial installations-cables that are rated up to 1kV.

We offer customer-based packaging-solutions and pride ourselves on our speed and flexibility both when it comes to customer service and production-processes. Our customers are mainly based in Sweden, Norway, Finland and Denmark.

Product-related or management system-related certifications:

ISO 14001, ISO 9001 & ISO 45001

Name and location of production site(s):

Alstermo, Sweden

Product information

Product name:

PVC insulated stranded conductor Building Cables H07V-R (FK, PN) in the variations PN 1,5; PN 2,5; and PN 6

Product description:

H07V-R is a 70°C PVC insulated stranded conductor. Suitable for fixed installation. To be installed in conduit or duct systems, or as connection wire to be used in switch cabinets and similar applications.

UN CPC code:

4634

LCA information

Declared unit:

1 km building cable with one electrical core of type H07V-R

Time representativeness:

Data has been collected in 2021 and represents the years 2020 and 2021. The reference year of the EPD is thus set to 2020/2021.

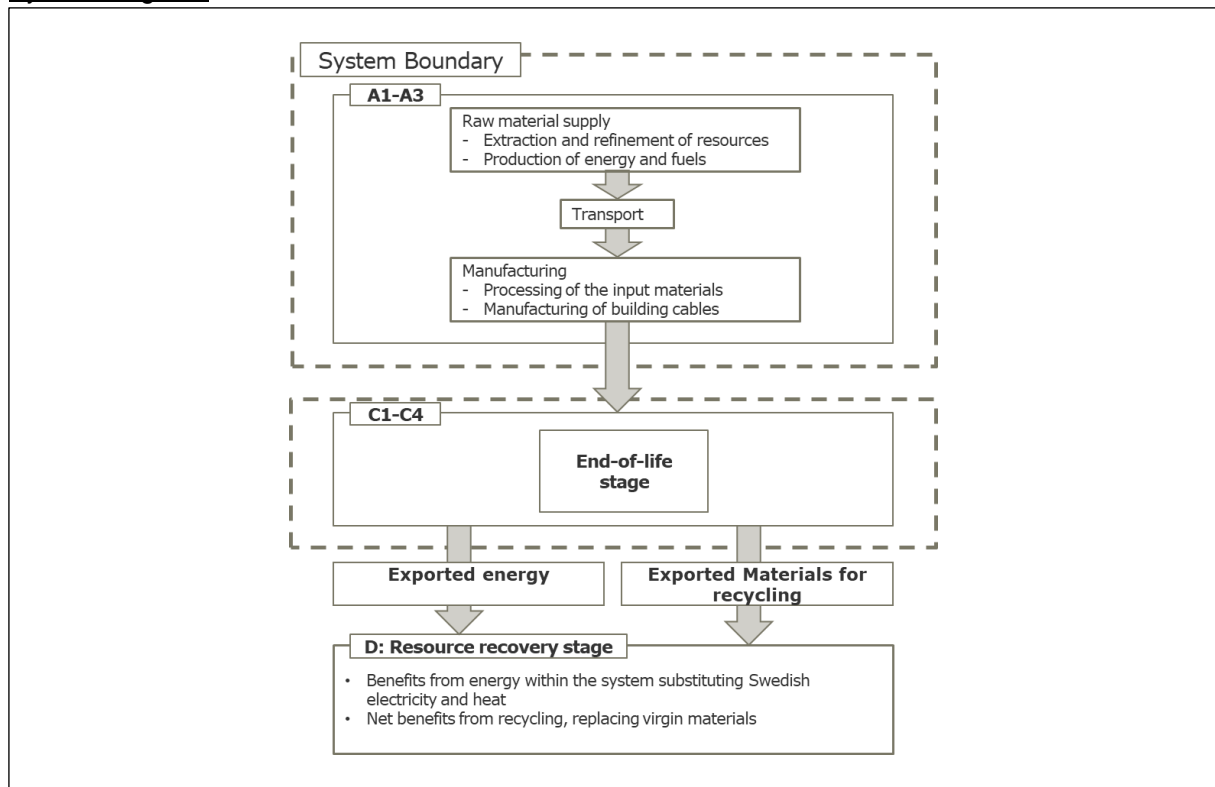
Database(s) and LCA software used:

LCA calculations were performed with the LCA software GaBi (version 10.5), using life cycle inventory (LCI) data from GaBi Professional database 2021, GaBi construction material extension database and ecoinvent 3.7.1.

Description of system boundaries:

The EPD is of the type "Cradle to gate with modules C1-C4 and module D" and thus covers the life cycle modules A1-A3, C and D. The life cycle stages A4-A5 and B1-B7 are thus not included. The system boundaries are described in the system diagram where all instances of the figure are included in the assessment and in the section Additional LCA information. Excluded are thus e.g., inventory flows from infrastructure, construction, production equipment, and tools that are not directly consumed in the production process, travelling by personnel and research and development – all in accordance with the PCR 2019:14 and EN 15804.

System diagram:



Product stage, A1-A3:

The product stage comprises the acquisition of all raw materials, products and energy, transport to the production site, production processes, packaging, and waste processing up to the end-of-waste state or final disposal.

More specifically, this module includes the upstream processes of extraction and processing of raw materials and the transportation of the input materials to the production site in Alstermo. Furthermore, it includes the core processes in Alstermo of manufacturing the final product, including the end-of-life treatment of waste generated during manufacturing, as well as impacts from extraction and processing of fuels and auxiliary materials such as lubricating oils, packaging, fuels, and their transportation to the

production site. The module also includes the production of purchased and on-site generated electricity used at the production site.

To produce the H07V-R cables the respectively sized copper-wire is run through an extrusion-head with tools of differing sizes to form an insulating layer of plastic over the wire. The plastic (PVC) and coloring granulates are melted, mixed, and processed in an extruder and fed continuously into the extrusion-head where it is formed with the tools to exact required measurements while running. The cable is then run through a water-trough to cool down before being spooled on drums. Quality and measurements are controlled throughout the process.

End-of-life stage, C1-C4:

The target market of the cables is Sweden; thus, the end-of-life treatment of the cables is modelled for this region.

In module C1 the deconstruction of the products covered by this study is considered. The deconstructions of the building cables happen manually or in conjunction with the demolition of an entire building, i.e., it does not require special energy or material usage. Therefore, the decommissioning phase was deemed not relevant (of negligible impact). Accordingly, no environmental impact is recorded in this module.

Module C2 includes the transport between an installation site and a waste management plant. There the cable would be shredded, and the materials sorted and treated. Since there are no official figures on average transportation between demolition site and waste management plant, the transport distance is assumed to be 100km with a diesel driven (average EU-28 diesel mix) truck. As large amounts of cables or similar materials are transported in conjunction with the demolition of an entire building a Euro 5 truck-trailer with 26 - 28t gross weight / 18.4t payload capacity was chosen.

Waste processing, module C3, is included up until end-of-waste state (as defined in PCR 2019:14). The cable is assumed to be shredded and sorted before further processing. The shredded and sorted materials in the cable is not classified as hazardous waste. The metal parts reach their end-of-waste state in module C3 and leave the system as "Materials for Recycling". The plastic is incinerated, and the output flows of the incineration are reported as "Exported Electrical Energy (EEE)" and "Exported Thermal Energy (EET)". Consequently, no waste flows enter module C4 and thus no environmental impact is recorded in this module.

Resource recovery stage, D:

In general, module D includes reuse, recovery and/or recycling potential, expressed as net impact and benefits.

Module D includes the replacement of exported thermal and electrical energy that otherwise would have been produced from other sources, as well as the recycling and material recovery of the metals. The burden from the recycling process and net benefit of replacing alternatively produced virgin material are reported in module D.

Additional LCA information

Cut-off rules:

General cut-off criteria as defined in EN15804 are followed. Life cycle inventory data includes a minimum of 95% of total inflows (mass and energy) per module.

Allocation:

Several products are produced at the manufacturing site in Alstermo as well as on the used production units. Where no measurements could be performed, i.e., for water and lubricating oils, an allocation of environmental burdens of input and output flows has been performed on production unit level.

Allocation has been performed based on mass.

LCA practitioners:

Jonathan Klement, David Lindén, Yevgeniya Arushanyan, and David Althoff Palm at Ramboll Sweden AB.

Modules declared, geographical scope, share of specific data (in GWP-GHG indicator) and data variation:

	Product stage			Construction process stage		Use stage							End of life stage				Resource recovery stage
	Raw material supply	Transport	Manufacturing	Transport	Construction installation	Use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	De-construction demolition	Transport	Waste processing	Disposal	Reuse-Recovery-Recycling-potential
Module	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Modules declared	X	X	X	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	X	X	X	X	X
Geography	SE	SE	SE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	SE	SE	SE	SE	SE
Specific data used	83% - 90%					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Variation – products	0%					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Variation – sites	0%					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Content information

Product components	Weight, kg/km			Post-consumer material, weight-%	Renewable material, weight-%
	PN 1,5	PN 2,5	PN 6		
Copper wire	13,14	21,00	53,00	0%	0%
Insulation material	7,26	10,65	14,23	0%	0%
Additional chemicals (colouring)	0,04	0,05	0,07	0%	0%
TOTAL	20,44	31,70	67,30	0%	0%
Packaging materials	Weight, kg/km			Weight-% (versus the product)	
Cable drum – PP	0,07	0,11	0,44	0,3 – 0,7%	
Palette – Wood	0,08	0,11	0,23	0,3 – 0,4%	
TOTAL	0,15	0,22	0,67	0,7 – 1,0%	

Dangerous substances from the candidate list of SVHC for Authorisation	EC No.	CAS No.	Weight-% per functional or declared unit
Total	0	0	0,0%

Environmental Information

The environmental information per km PN is presented in the tables below.

Potential environmental impact – mandatory indicators according to EN 15804

Results per declared unit							
Indicator	Unit	A1-A3	C1	C2	C3	C4	D
PN 1,5							
GWP-fossil	kg CO ₂ eq.	7,57E+01	0,00E+00	1,68E-01	1,88E+01	0,00E+00	-4,93E+01
GWP-biogenic	kg CO ₂ eq.	1,83E-01	0,00E+00	1,81E-03	3,82E-03	0,00E+00	-4,07E-01
GWP-luluc kg	kg CO ₂ eq.	3,15E-01	0,00E+00	1,39E-03	4,23E-03	0,00E+00	-3,86E-01
GWP-total	kg CO ₂ eq.	7,62E+01	0,00E+00	1,71E-01	1,88E+01	0,00E+00	-5,01E+01
ODP	kg CFC 11 eq.	1,03E-09	0,00E+00	3,36E-17	3,02E-14	0,00E+00	-3,16E-13
AP	mol H ⁺ eq.	1,00E+00	0,00E+00	5,88E-04	5,11E-03	0,00E+00	-8,75E-01
EP-freshwater	kg PO ₄ ³⁻ eq.	4,94E-04	0,00E+00	1,55E-06	1,45E-05	0,00E+00	-9,00E-04
EP-freshwater	kg P eq.	1,61E-04	0,00E+00	5,06E-07	4,71E-06	0,00E+00	-2,93E-04
EP-marine	kg N eq.	6,40E-02	0,00E+00	2,72E-04	1,71E-03	0,00E+00	-5,29E-02
EP-terrestrial	mol N eq.	6,64E-01	0,00E+00	3,03E-03	2,11E-02	0,00E+00	-5,40E-01
POCP	kg NMVOC eq.	2,39E-01	0,00E+00	5,31E-04	4,96E-03	0,00E+00	-1,76E-01
ADP-minerals& metals**	kg Sb eq.	4,32E-02	0,00E+00	1,51E-08	4,33E-07	0,00E+00	-3,81E-02
ADP-fossil**	MJ	1,08E+03	0,00E+00	2,27E+00	3,51E+01	0,00E+00	-5,09E+02
WDP**	m ³ eq.	3,46E+01	0,00E+00	1,58E-03	1,45E+00	0,00E+00	-3,21E+01
PN 2,5							
GWP-fossil	kg CO ₂ eq.	1,19E+02	0,00E+00	2,61E-01	2,76E+01	0,00E+00	-7,87E+01
GWP-biogenic	kg CO ₂ eq.	2,72E-01	0,00E+00	2,81E-03	5,59E-03	0,00E+00	-5,72E-01
GWP-luluc kg	kg CO ₂ eq.	5,01E-01	0,00E+00	2,16E-03	6,20E-03	0,00E+00	-6,00E-01
GWP-total	kg CO ₂ eq.	1,20E+02	0,00E+00	2,66E-01	2,76E+01	0,00E+00	-7,99E+01
ODP	kg CFC 11 eq.	1,52E-09	0,00E+00	5,21E-17	4,43E-14	0,00E+00	-5,03E-13
AP	mol H ⁺ eq.	1,60E+00	0,00E+00	9,12E-04	7,48E-03	0,00E+00	-1,40E+00
EP-freshwater	kg PO ₄ ³⁻ eq.	7,46E-04	0,00E+00	2,41E-06	2,11E-05	0,00E+00	-1,36E-03
EP-freshwater	kg P eq.	2,43E-04	0,00E+00	7,84E-07	6,87E-06	0,00E+00	-4,43E-04
EP-marine	kg N eq.	1,01E-01	0,00E+00	4,21E-04	2,50E-03	0,00E+00	-8,39E-02
EP-terrestrial	mol N eq.	1,05E+00	0,00E+00	4,70E-03	3,08E-02	0,00E+00	-8,56E-01
POCP	kg NMVOC eq.	3,76E-01	0,00E+00	8,23E-04	7,26E-03	0,00E+00	-2,79E-01
ADP-minerals& metals**	kg Sb eq.	6,90E-02	0,00E+00	2,34E-08	6,33E-07	0,00E+00	-6,09E-02
ADP-fossil**	MJ	1,68E+03	0,00E+00	3,52E+00	5,14E+01	0,00E+00	-8,10E+02
WDP**	m ³ eq.	5,60E+01	0,00E+00	2,45E-03	2,13E+00	0,00E+00	-5,12E+01
PN 6							
GWP-fossil	kg CO ₂ eq.	2,79E+02	0,00E+00	5,54E-01	3,69E+01	0,00E+00	-1,97E+02
GWP-biogenic	kg CO ₂ eq.	5,50E-01	0,00E+00	5,97E-03	7,46E-03	0,00E+00	-4,09E-01
GWP-luluc kg	kg CO ₂ eq.	1,24E+00	0,00E+00	4,58E-03	8,28E-03	0,00E+00	-1,30E+00
GWP-total	kg CO ₂ eq.	2,81E+02	0,00E+00	5,64E-01	3,69E+01	0,00E+00	-1,99E+02
ODP	kg CFC 11 eq.	2,10E-09	0,00E+00	1,11E-16	5,92E-14	0,00E+00	-1,25E-12
AP	mol H ⁺ eq.	4,00E+00	0,00E+00	1,94E-03	1,00E-02	0,00E+00	-3,50E+00
EP-freshwater	kg PO ₄ ³⁻ eq.	1,67E-03	0,00E+00	5,11E-06	2,81E-05	0,00E+00	-2,40E-03
EP-freshwater	kg P eq.	5,44E-04	0,00E+00	1,67E-06	9,16E-06	0,00E+00	-7,82E-04
EP-marine	kg N eq.	2,43E-01	0,00E+00	8,94E-04	3,34E-03	0,00E+00	-2,03E-01
EP-terrestrial	mol N eq.	2,52E+00	0,00E+00	9,98E-03	4,12E-02	0,00E+00	-2,07E+00

POCP	kg NMVOC eq.	8,77E-01	0,00E+00	1,75E-03	9,70E-03	0,00E+00	-6,89E-01
ADP-minerals& metals**	kg Sb eq.	1,74E-01	0,00E+00	4,97E-08	8,45E-07	0,00E+00	-1,54E-01
ADP-fossil**	MJ	3,58E+03	0,00E+00	7,47E+00	6,86E+01	0,00E+00	-2,00E+03
WDP**	m ³ eq.	1,44E+02	0,00E+00	5,20E-03	2,85E+00	0,00E+00	-1,29E+02

** Disclaimer: The results of this environmental impact indicator shall be used with care as the uncertainties of these results are high or as there is limited experience with the indicator.

Potential environmental impact – additional mandatory and voluntary indicators

Results per declared unit							
Indicator	Unit	A1-A3	C1	C2	C3	C4	D
PN 1,5							
GWP-GHG	kg CO ₂ eq.	7,48E+01	0,00E+00	1,66E-01	1,86E+01	0,00E+00	-4,93E+01
PN 2,5							
GWP-GHG	kg CO ₂ eq.	1,18E+02	0,00E+00	2,58E-01	2,73E+01	0,00E+00	-7,86E+01
PN 6							
GWP-GHG	kg CO ₂ eq.	2,76E+02	0,00E+00	5,48E-01	3,65E+01	0,00E+00	-1,96E+02

Use of resources

Results per declared unit							
Indicator	Unit	A1-A3	C1	C2	C3	C4	D
PN 1,5							
PERE	MJ	1,82E+02	0,00E+00	1,30E-01	8,02E+00	0,00E+00	-2,29E+02
PERM	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PERT	MJ	1,83E+02	0,00E+00	1,30E-01	8,02E+00	0,00E+00	-2,29E+02
PENRE	MJ	9,58E+02	0,00E+00	2,28E+00	1,57E+02	0,00E+00	-5,10E+02
PENRM	MJ	1,22E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	MJ	1,08E+03	0,00E+00	2,28E+00	3,52E+01	0,00E+00	-5,10E+02
SM	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
NRSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	m ³	7,04E-01	0,00E+00	1,49E-04	3,84E-02	0,00E+00	-5,71E-01
PN 2,5							
PERE	MJ	2,84E+02	0,00E+00	2,02E-01	1,16E+01	0,00E+00	-3,49E+02
PERM	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PERT	MJ	2,86E+02	0,00E+00	2,02E-01	1,16E+01	0,00E+00	-3,49E+02
PENRE	MJ	1,49E+03	0,00E+00	3,53E+00	2,30E+02	0,00E+00	-8,11E+02
PENRM	MJ	1,78E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	MJ	1,68E+03	0,00E+00	3,53E+00	5,14E+01	0,00E+00	-8,11E+02
SM	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
NRSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	m ³	1,11E+00	0,00E+00	2,32E-04	5,61E-02	0,00E+00	-9,06E-01
PN 6							
PERE	MJ	6,84E+02	0,00E+00	4,30E-01	1,55E+01	0,00E+00	-6,62E+02
PERM	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PERT	MJ	6,88E+02	0,00E+00	4,30E-01	1,55E+01	0,00E+00	-6,62E+02

PENRE	MJ	3,33E+03	0,00E+00	7,49E+00	3,07E+02	0,00E+00	-2,00E+03
PENRM	MJ	2,58E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
PENRT	MJ	3,58E+03	0,00E+00	7,49E+00	6,86E+01	0,00E+00	-2,00E+03
SM	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
RSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
NRSF	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
FW	m ³	2,71E+00	0,00E+00	4,92E-04	7,48E-02	0,00E+00	-2,19E+00
Acronyms	PERE = Use of renewable primary energy excluding renewable primary energy resources used as raw materials; PERM = Use of renewable primary energy resources used as raw materials; PERT = Total use of renewable primary energy resources; PENRE = Use of non-renewable primary energy excluding non-renewable primary energy resources used as raw materials; PENRM = Use of non-renewable primary energy resources used as raw materials; PENRT = Total use of non-renewable primary energy re-sources; SM = Use of secondary material; RSF = Use of renewable secondary fuels; NRSF = Use of non-renewable secondary fuels; FW = Use of net fresh water						

Waste production and output flows

Waste production

Results per declared unit							
Indicator	Unit	A1-A3	C1	C2	C3	C4	D
PN 1,5							
Hazardous waste disposed	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,31E+01	0,00E+00	0,00E+00
Non-hazardous waste disposed	kg	3,07E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Radioactive waste disposed	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,90E+01	0,00E+00	0,00E+00
PN 2,5							
Hazardous waste disposed	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,10E+01	0,00E+00	0,00E+00
Non-hazardous waste disposed	kg	4,82E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Radioactive waste disposed	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,78E+01	0,00E+00	0,00E+00
PN 6							
Hazardous waste disposed	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,30E+01	0,00E+00	0,00E+00
Non-hazardous waste disposed	kg	1,48E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Radioactive waste disposed	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,72E+01	0,00E+00	0,00E+00

Output flows

Results per declared unit							
Indicator	Unit	A1-3	C1	C2	C3	C4	D
PN 1,5							
Components for re-use	kg	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Material for recycling	kg	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,3E+01	0,0E+00	0,0E+00
Materials for energy recovery	kg	3,1E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Exported energy, electricity	MJ	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,9E+01	0,0E+00	0,0E+00
Exported energy, thermal	MJ	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	3,5E+01	0,0E+00	0,0E+00
PN 2,5							
Components for re-use	kg	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Material for recycling	kg	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,3E+01	0,0E+00	0,0E+00
Materials for energy recovery	kg	3,1E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Exported energy, electricity	MJ	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,9E+01	0,0E+00	0,0E+00
Exported energy, thermal	MJ	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	3,5E+01	0,0E+00	0,0E+00
PN 6							
Components for re-use	kg	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Material for recycling	kg	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,3E+01	0,0E+00	0,0E+00

Materials for energy recovery	kg	3,1E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Exported energy, electricity	MJ	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,9E+01	0,0E+00	0,0E+00
Exported energy, thermal	MJ	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	3,5E+01	0,0E+00	0,0E+00

Information on biogenic carbon content

Results per declared unit				
Biogenic Carbon Content	Unit	Quantity		
		PN 1,5	PN 2,5	PN 6
Biogenic carbon content in product	kg C	<5%		
Biogenic carbon content in packaging	kg C	4,00E-02	6,00E-02	1,21E-01

Note: 1 kg biogenic carbon is equivalent to 44/12 kg CO₂.

References

- Klement, J., Lindén, D., Arushanyan, Y., Althoff Palm, D. Underlying LCA for Environmental Product Declaration EPD® - Building cables Single core building cable H07V-R (FK, PN) –PN 1,5; PN 2,5; PN 6 and Three core building cable – PR 2X1,5+1,5, PR 2X2,5+2,5. Ramboll, 2021.
- General Programme Instructions of the International EPD® System. Version 3.01.
- PCR 2019:14 Construction products, version 1.11.
- EN 15804:2012+A2:2019 Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products.
- ISO 14025 on Type III Environmental declarations.
- ISO 14040 and ISO 14044 on Life Cycle Assessments (LCA).

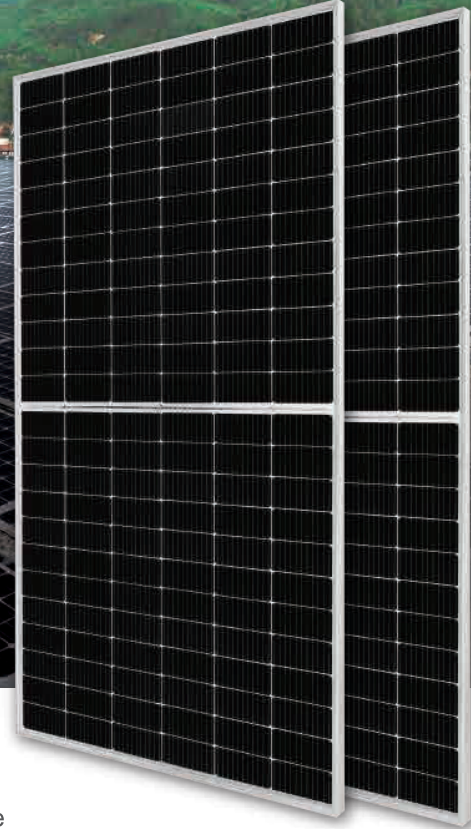
DEEP BLUE 3.0

Mono

550W MBB Bifacial Mono PERC
Half-cell Double Glass Module
JAM72D30 525-550/MB/1500V Series

Introduction

Assembled with 11BB bifacial PERCIUM cells and half-cell configuration, these double glass modules have the capability of converting the incident light from the rear side together with the front side into electricity, providing higher output power, lower temperature coefficient, less shading loss, as well as enhanced tolerance for mechanical loading.



Higher output power



More reliable, more stable power generation



Less shading effect

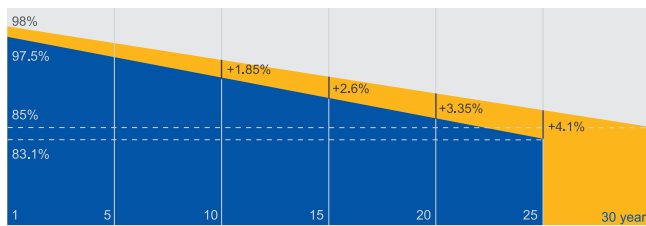


Lower temperature coefficient

Superior Warranty

- 12-year product warranty
- 30-year linear power output warranty

0.45% Annual Degradation Over 30 years



■ Bifacial double glass module linear power warranty

■ Standard module linear power warranty

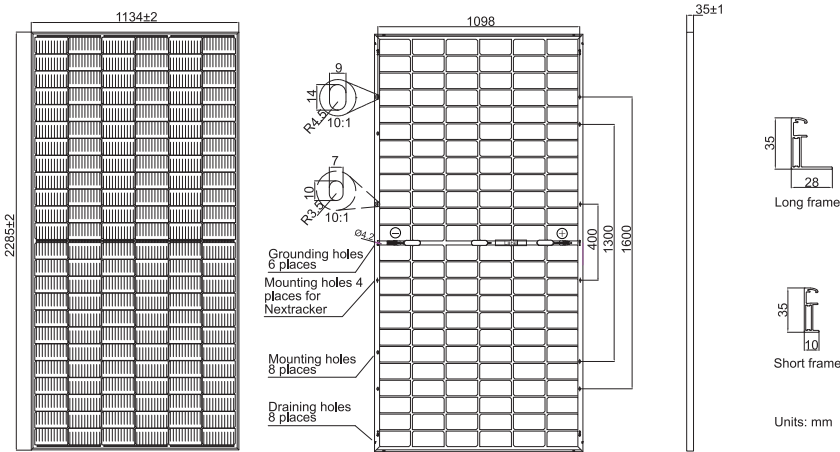
Comprehensive Certificates

- IEC 61215, IEC 61730
- ISO 9001: 2015 Quality management systems
- ISO 14001: 2015 Environmental management systems
- ISO 45001: 2018 Occupational health and safety management systems



MECHANICAL DIAGRAMS

SPECIFICATIONS



Cell	Mono
Weight	31.6kg±3%
Dimensions	2285±2mm×1134±2mm×35±1mm
Cable Cross Section Size	4mm ² (IEC), 12 AWG(UL)
No. of cells	144(6×24)
Junction Box	IP68, 3 diodes
Connector	Genuine MC4-EVO2 QC 4.10-35/45
Cable Length (Including Connector)	Portrait:300mm(+)/400mm(-); Landscape:1300mm(+)/1300mm(-)
Front Glass/Back Glass	2.0mm/2.0mm
Country of Manufacturer	China/Vietnam

Remark: customized frame color and cable length available upon request

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

TYPE	JAM72D30 -525/MB/1500V	JAM72D30 -530/MB/1500V	JAM72D30 -535/MB/1500V	JAM72D30 -540/MB/1500V	JAM72D30 -545/MB/1500V	JAM72D30 -550/MB/1500V
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	525	530	535	540	545	550
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	49.15	49.30	49.45	49.60	49.75	49.90
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	41.15	41.31	41.47	41.64	41.80	41.96
Short Circuit Current(Isc) [A]	13.65	13.72	13.79	13.86	13.93	14.00
Maximum Power Current(Imp) [A]	12.76	12.83	12.90	12.97	13.04	13.11
Module Efficiency [%]	20.3	20.5	20.6	20.8	21.0	21.2
Power Tolerance	0~+5W					
Temperature Coefficient of Isc(α_{Isc})	+0.045%/°C					
Temperature Coefficient of Voc(β_{Voc})	-0.275%/°C					
Temperature Coefficient of Pmax(γ_{Pmp})	-0.350%/°C					
STC	Irradiance 1000W/m ² , cell temperature 25°C, AM1.5G					

Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer. They only serve for comparison among different module types.
Measurement tolerance at STC: Pmax ±3%, Voc ±3% and Isc ±4%.

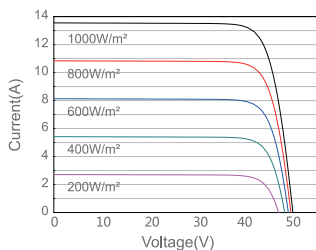
ELECTRICAL CHARACTERISTICS WITH 10% SOLAR IRRADIATION RATIO

OPERATING CONDITIONS

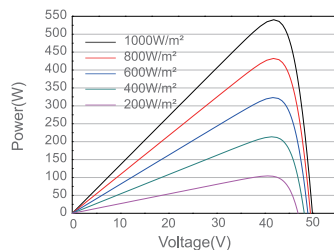
TYPE	JAM72D30 -525/MB	JAM72D30 -530/MB	JAM72D30 -535/MB	JAM72D30 -540/MB	JAM72D30 -545/MB	JAM72D30 -550/MB	Maximum System Voltage	1500V DC
Rated Max Power(Pmax) [W]	562	567	572	578	583	589	Operating Temperature	-40°C~+85°C
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	49.54	49.67	49.80	49.93	50.03	50.21	Maximum Series Fuse Rating	30A
Max Power Voltage(Vmp) [V]	41.14	41.31	41.47	41.65	41.78	41.95	Maximum Static Load, Front*	3600Pa, 1.5
Short Circuit Current(Isc) [A]	14.61	14.68	14.76	14.83	14.91	14.98	Maximum Static Load, Back*	1600Pa, 1.5
Max Power Current(Imp) [A]	13.65	13.73	13.80	13.88	13.95	14.03	NOCT	45±2°C
Irradiation Ratio(rear/front)	10%						Bifaciality**	70%±10%
*For NexTracker installations, Maximum Static Load, Front is 2400Pa while Maximum Static Load, Back is 2400Pa.							Fire Performance	UL Type 29
**Bifaciality=Pmax,rear/Rated Pmax,front								

CHARACTERISTICS

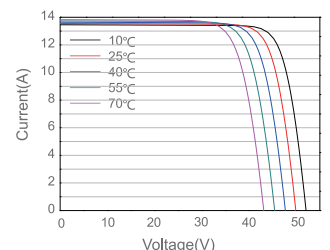
Current-Voltage Curve JAM72D30-540/MB/1500V



Power-Voltage Curve JAM72D30-540/MB/1500V



Current-Voltage Curve JAM72D30-540/MB/1500V



PVsyst - Simulation report

Grid-Connected System

Project: Referansesystem110kW

Variant: New simulation variant

Sheds on ground

System power: 142 kWp

Gløshaugen byggteknisk - Norway

Author

Brage Kjærvik Andersen (Norway)



PVsyst V7.3.3

VC0, Simulation date:
19/05/23 10:12
with v7.3.3

Project summary

Geographical Site
Gløshaugen byggteknisk
Norway

Situation
Latitude 63.41 °N
Longitude 10.41 °E
Altitude 36 m
Time zone UTC+1

Project settings
Albedo 0.20

Meteo data
gløshaugen byggteknisk
Meteonorm 8.1 (1991-2013) - Synthetic

System summary

Grid-Connected System

PV Field Orientation

Fixed planes 2 orientations
Tilts/azimuths 10 / 65.5 °
10 / -114.5 °

Sheds on ground

Near Shadings

Linear shadings

User's needs

Unlimited load (grid)

System information

PV Array

Nb. of modules 260 units
Pnom total 142 kWp

Inverters

Nb. of units 1 unit
Pnom total 110 kWac
Pnom ratio 1.288

Results summary

Produced Energy 102103 kWh/year Specific production 721 kWh/kWp/year Perf. Ratio PR 80.86 %

Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Horizon definition	4
Near shading definition - Iso-shadings diagram	5
Main results	7
Loss diagram	8
Predef. graphs	9
Single-line diagram	10
CO ₂ Emission Balance	11



PVsyst V7.3.3

VC0, Simulation date:
19/05/23 10:12
with v7.3.3

Brage Kjærvik Andersen (Norway)

General parameters

Grid-Connected System		Sheds on ground			
PV Field Orientation		Sheds configuration		Models used	
Orientation		Nb. of sheds		Transposition	
Fixed planes	2 orientations	20 units		Perez	
Tilts/azimuths	10 / 65.5 °	Averages of diff. arrays		Diffuse Perez, Meteonorm	
	10 / -114.5 °			Circumsolar separate	
Horizon		Near Shadings		User's needs	
Average Height	2.6 °	Linear shadings		Unlimited load (grid)	

PV Array Characteristics

PV module		Inverter	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	JAM72-D30-545-MB	Model	MAX 110KTL3-X LV
(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	545 Wp	Unit Nom. Power	110 kWac
Number of PV modules	260 units	Number of inverters	10 * MPPT 10% 1 unit
Nominal (STC)	142 kWp	Total power	110 kWac
Modules	20 Strings x 13 In series	Operating voltage	180-1000 V
At operating cond. (40°C)		Pnom ratio (DC:AC)	1.29
Pmpp	135 kWp	No power sharing between MPPTs	
U mpp	511 V		
I mpp	264 A		
Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC)	142 kWp	Total power	110 kWac
Total	260 modules	Number of inverters	1 unit
Module area	672 m²	Pnom ratio	1.29

Array losses

Array Soiling Losses		Average loss Fraction		22.3 %							
Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
60.0%	75.0%	45.0%	8.0%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	15.0%	53.0%
Thermal Loss factor		DC wiring losses		LID - Light Induced Degradation							
Module temperature according to irradiance		Global array res.		Loss Fraction							
Uc (const)		41 mΩ		1.0 %							
29.0 W/m²K		Loss Fraction		2.0 % at STC							
Uv (wind)		0.0 W/m²K/m/s									
Module Quality Loss		Module mismatch losses		Strings Mismatch loss							
Loss Fraction		Loss Fraction		Loss Fraction							
-0.8 %		1.0 % at MPP		0.1 %							
IAM loss factor		Incidence effect (IAM): User defined profile									
0°	30°	50°	65°	70°	75°	80°	85°	90°			
1.000	1.000	0.989	0.945	0.890	0.821	0.681	0.439	0.000			



PVsyst V7.3.3

VC0, Simulation date:
19/05/23 10:12
with v7.3.3

Brage Kjærvik Andersen (Norway)

Horizon definition

Horizon from Meteonorm web service, lat=63,4146, lon=10,4084

Average Height	2.6 °	Albedo Factor	0.81
Diffuse Factor	0.99	Albedo Fraction	100 %

Horizon profile

Azimuth [°]	-180	-166	-165	-163	-162	-151	-150	-145	-144	-105	-104	-99	-98	-54
Height [°]	1.0	1.0	2.0	2.0	3.0	3.0	4.0	4.0	5.0	5.0	4.0	4.0	3.0	3.0
Azimuth [°]	-53	-38	-37	-35	-34	-33	-32	-25	-24	-13	-12	0	1	15
Height [°]	4.0	4.0	3.0	3.0	4.0	4.0	3.0	3.0	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0	2.0
Azimuth [°]	16	34	35	61	62	110	111	112	123	124	129	130	179	
Height [°]	1.0	1.0	2.0	2.0	3.0	3.0	4.0	3.0	3.0	2.0	2.0	1.0	1.0	

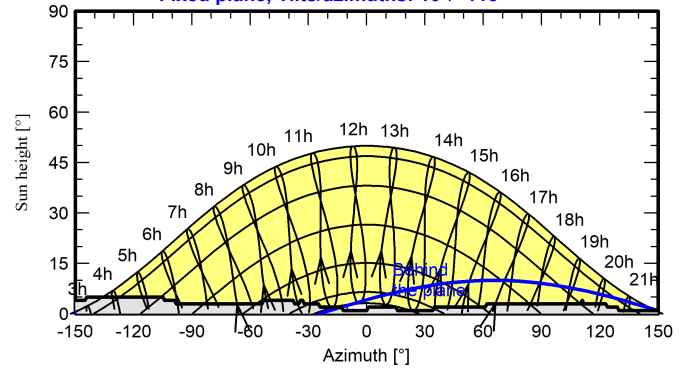
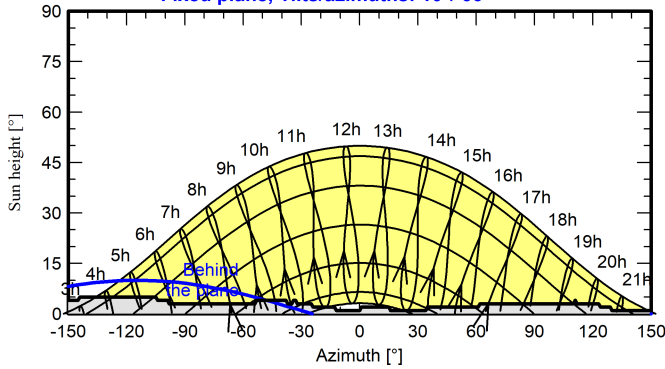
Sun Paths (Height / Azimuth diagram)

Orientation #1

Orientation #2

Fixed plane, Tilts/azimuths: 10°/ 66°

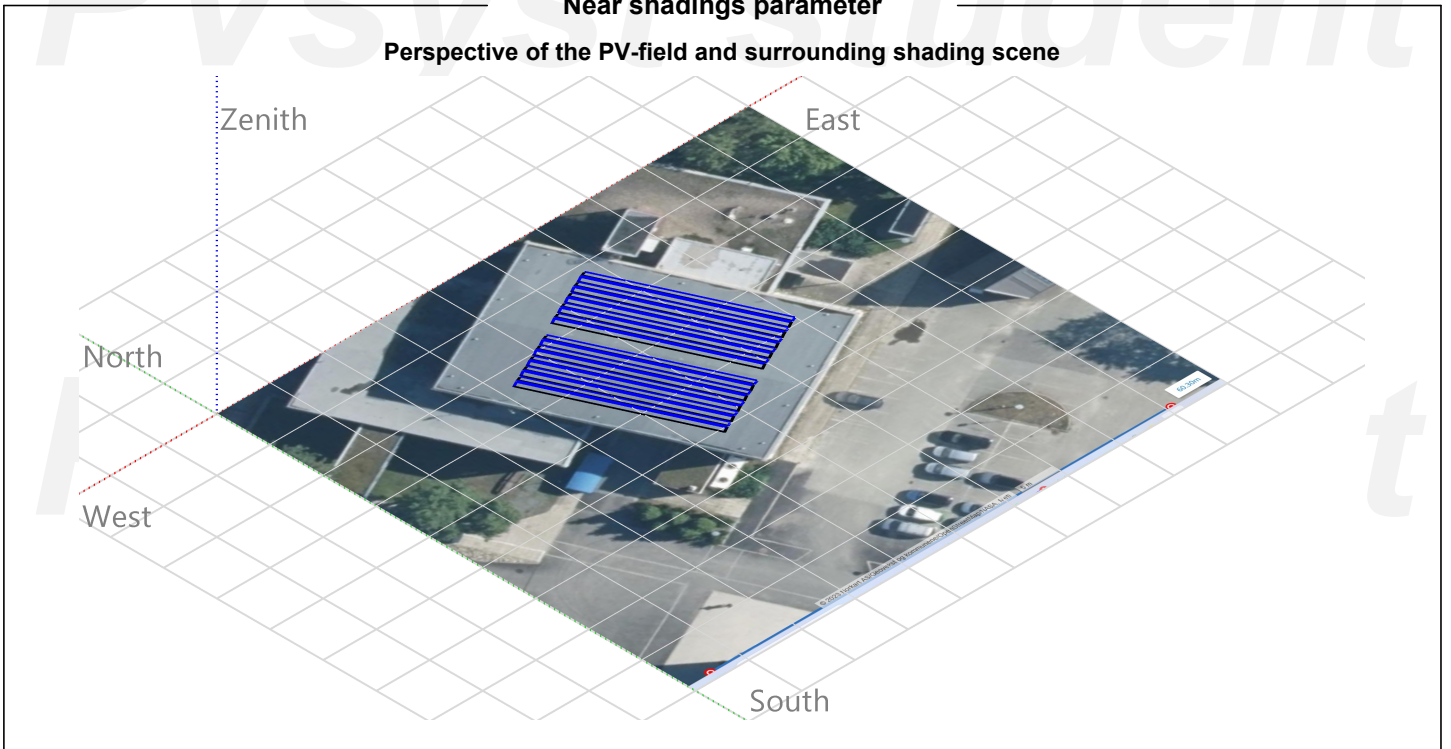
Fixed plane, Tilts/azimuths: 10°/ -115°





Near shadings parameter

Perspective of the PV-field and surrounding shading scene

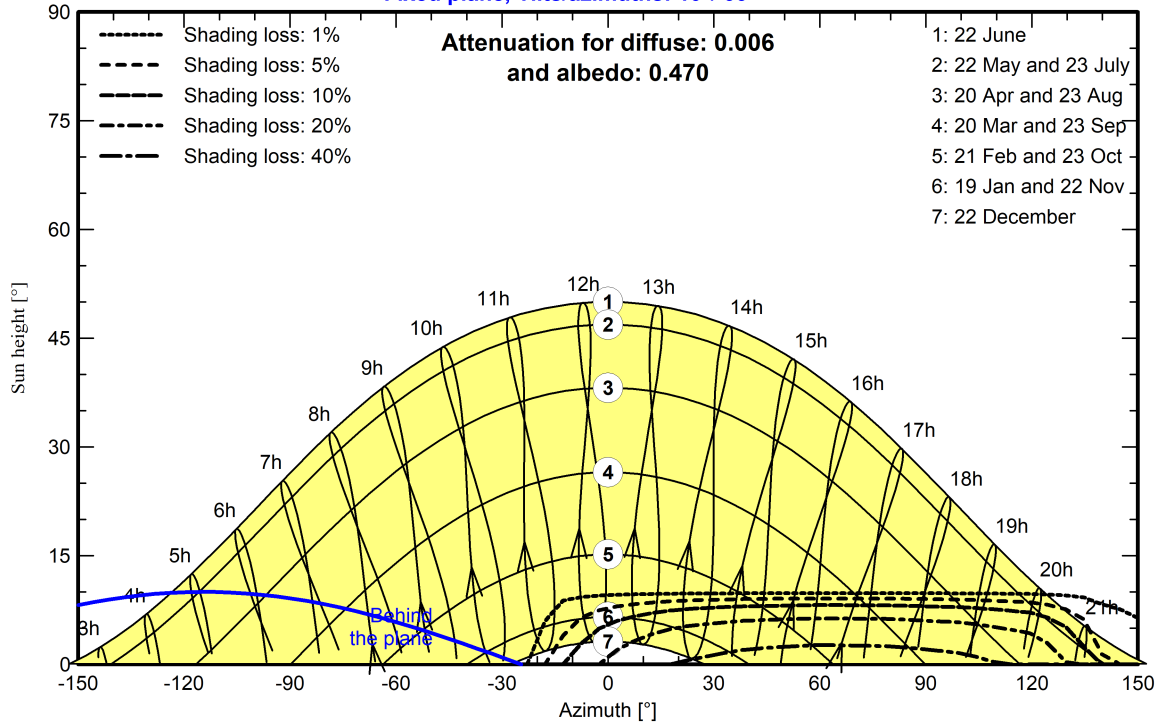




Iso-shadings diagram

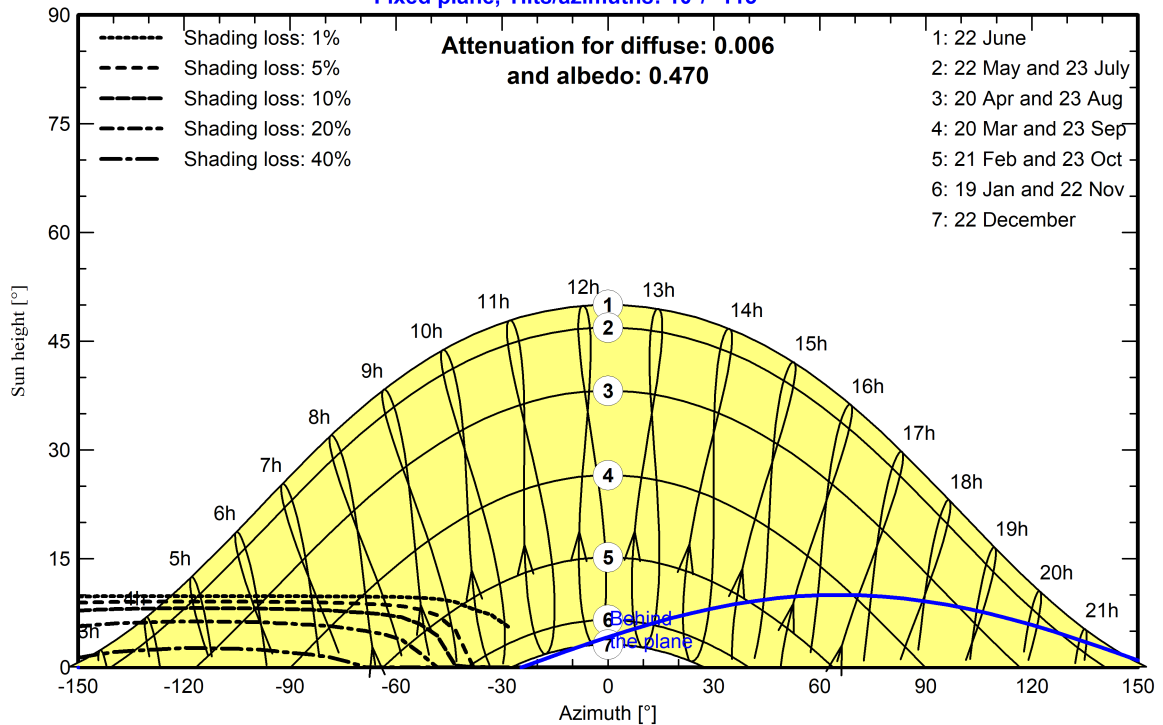
Orientation #1

Fixed plane, Tilts/azimuths: 10°/ 66°



Orientation #2

Fixed plane, Tilts/azimuths: 10°/ -115°





Main results

System Production

Produced Energy 102103 kWh/year

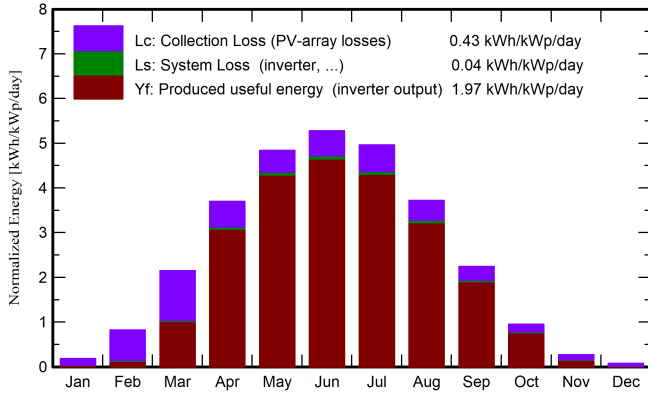
Specific production

721 kWh/kWp/year

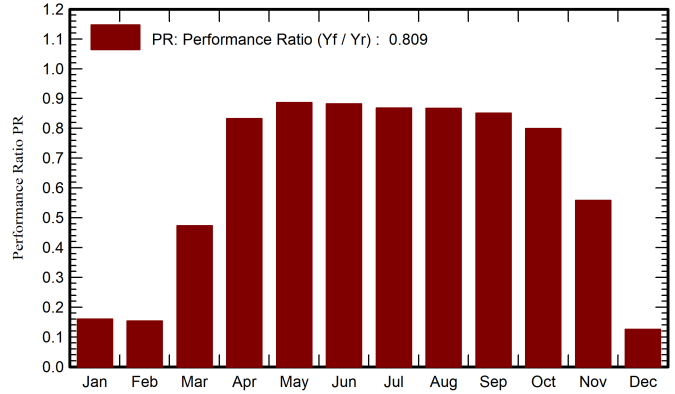
Perf. Ratio PR

80.86 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	ratio
January	5.7	3.96	-1.14	5.7	1.8	185	129	0.160
February	22.8	11.64	-1.05	23.0	4.8	575	501	0.154
March	66.8	26.64	0.83	66.7	33.2	4585	4471	0.473
April	111.5	44.68	5.22	111.1	95.7	13312	13108	0.833
May	151.0	70.99	9.52	150.1	140.1	19144	18855	0.887
June	159.4	83.72	12.31	158.3	148.1	20101	19794	0.883
July	154.8	74.39	15.69	153.8	143.7	19226	18929	0.869
August	116.2	59.52	14.92	115.4	107.0	14410	14181	0.867
September	67.5	35.34	10.95	67.2	60.8	8258	8109	0.851
October	29.5	16.07	6.16	29.5	25.4	3437	3343	0.799
November	8.1	5.76	2.05	8.1	5.5	695	640	0.559
December	2.5	1.88	-0.41	2.3	0.8	78	42	0.126
Year	895.8	434.59	6.30	891.1	767.0	104007	102103	0.809

Legends

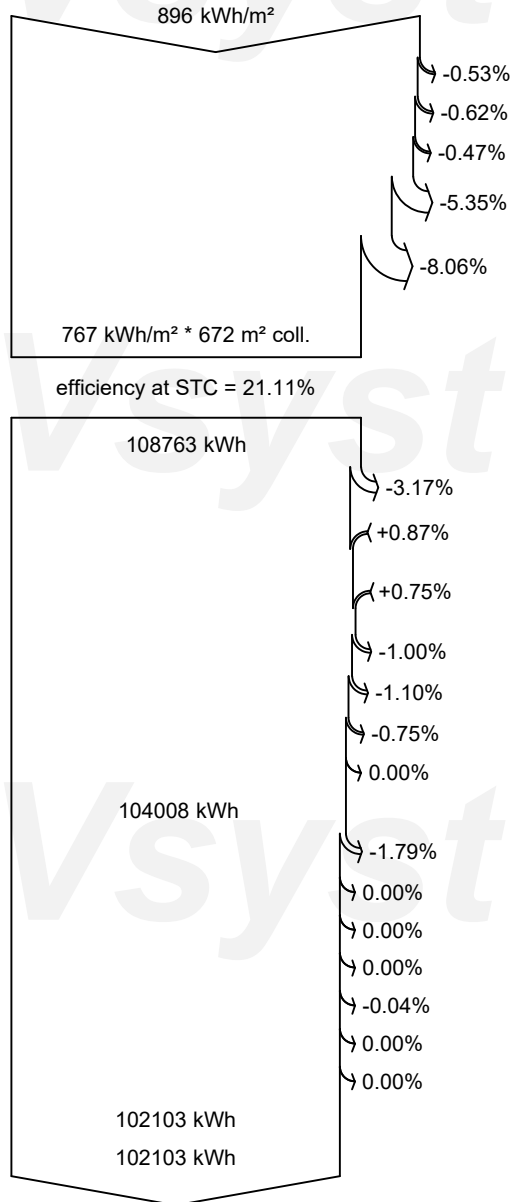
- GlobHor Global horizontal irradiation
- DiffHor Horizontal diffuse irradiation
- T_Amb Ambient Temperature
- GlobInc Global incident in coll. plane
- GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
- EArray Effective energy at the output of the array
- E_Grid Energy injected into grid
- PR Performance Ratio



PVsyst V7.3.3

VC0, Simulation date:
19/05/23 10:12
with v7.3.3

Loss diagram



Global horizontal irradiation

Global incident in coll. plane

- Far Shadings / Horizon
- Near Shadings: irradiance loss
- IAM factor on global
- Soiling loss factor

Effective irradiation on collectors

- PV conversion

Array nominal energy (at STC effic.)

- PV loss due to irradiance level
- PV loss due to temperature
- Module quality loss

LID - Light induced degradation

- Mismatch loss, modules and strings
- Ohmic wiring loss
- Mixed orientation mismatch loss

Array virtual energy at MPP

- Inverter Loss during operation (efficiency)
- Inverter Loss over nominal inv. power
- Inverter Loss due to max. input current
- Inverter Loss over nominal inv. voltage
- Inverter Loss due to power threshold
- Inverter Loss due to voltage threshold
- Night consumption

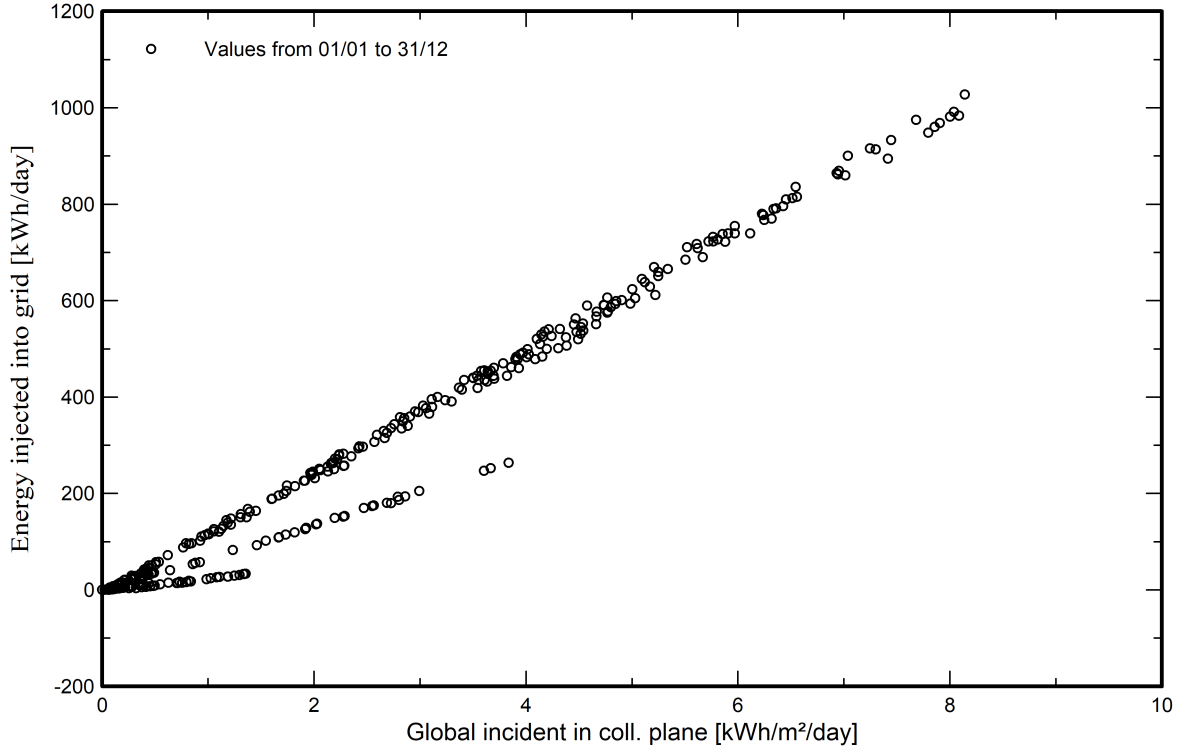
Available Energy at Inverter Output

Energy injected into grid

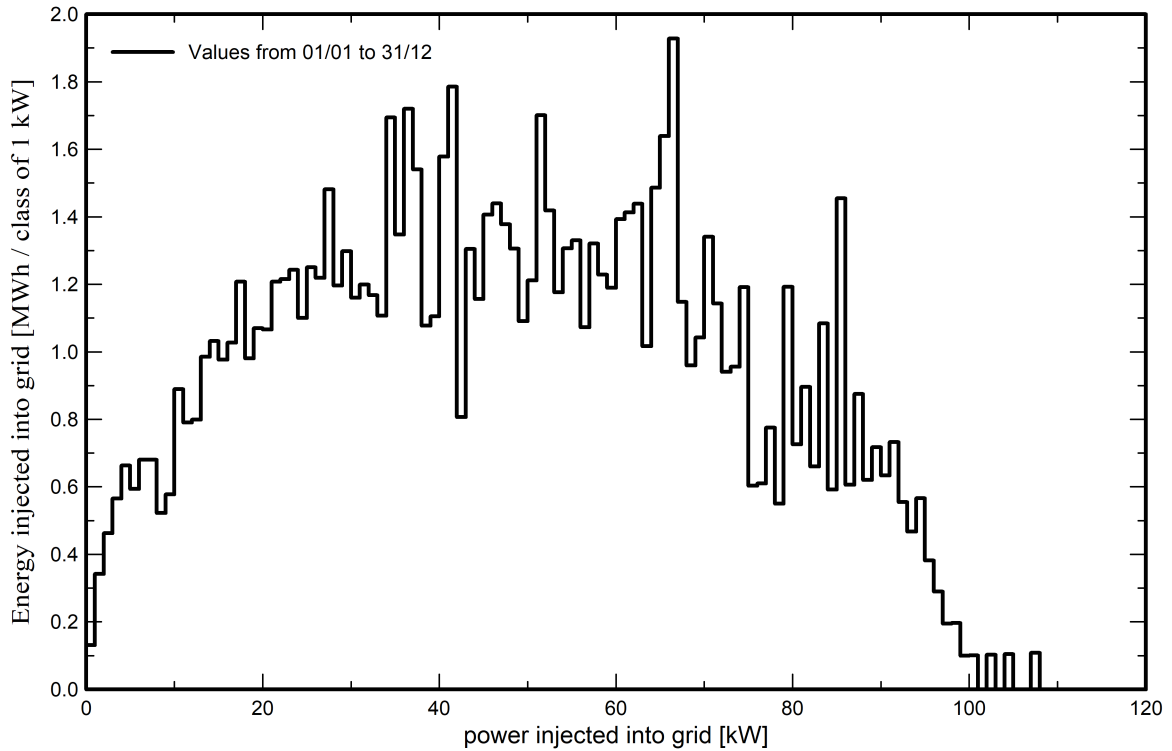


Predef. graphs

Daily Input/Output diagram



System Output Power Distribution

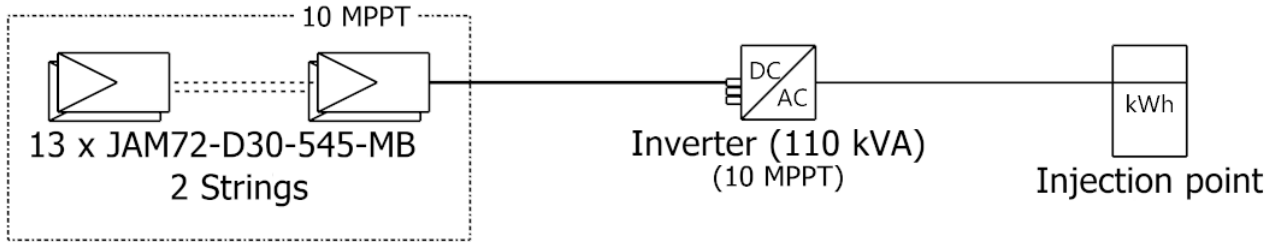




PVsyst V7.3.3

VC0, Simulation date:
19/05/23 10:12
with v7.3.3

Single-line diagram



PV module	JAM72-D30-545-MB
Inverter	MAX 110KTL3-X LV
String	13 x JAM72-D30-545-MB

Referansesystem 110kV Brage Kjærvik Andersen (Norv)

VC0 : New simulation variant

19/05/23



PVsyst V7.3.3

VC0, Simulation date:
19/05/23 10:12
with v7.3.3

CO₂ Emission Balance

Total: -229.5 tCO₂

Generated emissions

Total: 256.13 tCO₂

Source: Detailed calculation from table below

Replaced Emissions

Total: 30.6 tCO₂

System production: 102.10 MWh/yr

Grid Lifecycle Emissions: 10 gCO₂/kWh

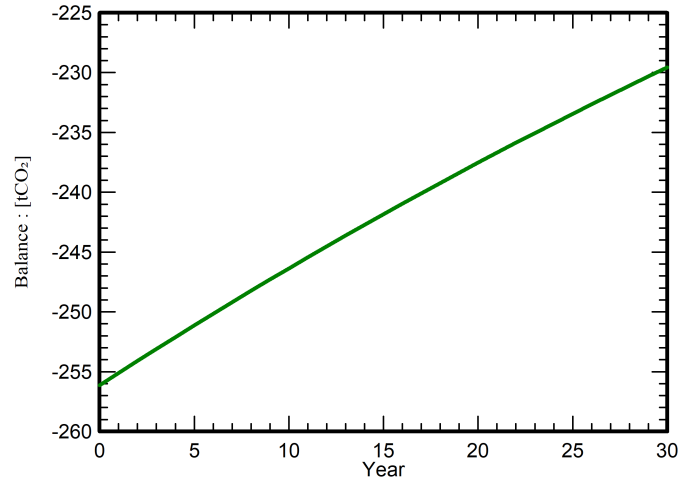
Source: IEA List

Country: Norway

Lifetime: 30 years

Annual degradation: 1.0 %

Saved CO₂ Emission vs. Time



System Lifecycle Emissions Details

Item	LCE	Quantity	Subtotal
			[kgCO ₂]
Modules	1304 kgCO ₂ /kWp	196 kWp	255880
Supports	0.07 kgCO ₂ /kg	3600 kg	240
Inverters	6.61 kgCO ₂ /	1.00	6.61

C Vedlegg: Transport

Tabell C.1: Resultater for transport av 7,16 tonn ballast fra Portugal til Norge

No	Process	Unit	Total	Transport Portugal	Transport, freight, lorry ;32 metric ton, euro6 RER— market for transport, freight, lorry ;32 metric ton, EURO6 — Cut-off, U	Transport, freight, sea, container ship GLO — market for transport, freight, sea, container ship — Cut-off, U
	Total of all processes	kg CO2 eq	3,52E+02	0,00E+00	1,36E+02	2,15E+02
	Remaining processes	kg CO2 eq	5,39E+01	0,00E+00	2,87E+01	2,52E+01
1	Transport, freight, sea, container ship GLO — transport, freight, sea, container ship — Cut-off, U	kg CO2 eq	1,83E+02	0,00E+00	1,29E+02	1,83E+02
2	Transport, freight, lorry ;32 metric ton, EURO6 RER — transport, freight, lorry ;32 metric ton, EURO6 — Cut-off, U	kg CO2 eq	9,23E+01	0,00E+00	9,23E+01	7,74E-04
3	Diesel, low-sulfur Europe without Switzerland — diesel production, low-sulfur, petroleum refinery operation — Cut-off, U	kg CO2 eq	7,82E+00	0,00E+00	7,81E+00	1,12E-02
4	Diesel, burned in building machine GLO — processing — Cut-off, U	kg CO2 eq	5,97E+00	0,00E+00	5,65E+00	3,25E-01
5	Heavy fuel oil RoW — heavy fuel oil production, petroleum refinery operation — Cut-off, U	kg CO2 eq	4,15E+00	0,00E+00	2,99E-02	4,12E+00
6	Sweet gas, burned in gas turbine RoW — processing — Cut-off, U	kg CO2 eq	4,15E+00	0,00E+00	1,78E+00	2,37E+00

Calculation:
 Analyze
 Process contribution
 Results:
 1 p Transport Portugal (of project Bachelor thesis)
 Product:
 CML-IA baseline V3.07 / EU25
 Method:
 Characterization
 Indicator:
 Global warming (GWP100a)
 Category:
 Exclude infrastructure
 Cut-off:
 1 processes: No

Exclude long-term
 emissions:
 No
 Sorted on item:
 Total
 Sort order:
 Descending

Tabell C.2: Resultater for transport av 7,16 tonn ballast fra India til Norge

Calculation: Analyze
 Results: Process contribution
 Product: 1 p Transport India (of project Bachelor thesis)
 Method: CML-IA baseline V3.07 / EU25
 Indicator: Characterization
 Category: Global warming (GWPI00a)
 Cut-off: 1 Exclude infrastructure processes: No

Exclude long-term emissions: No
 Total
 Sorted on item: Total
 Sort order: Descending

No	Process	Unit	Total	Transport, freight train IN — market for transport, freight train — Cut-off, U	Transport, freight, lorry ;32 metric ton, euro6 RER— market for transport, freight, lorry ;32 metric ton, EURO6 — Cut-off, U	Transport, freight, sea, container ship GLO — market for transport, freight, container ship — Cut-off, U
	Total of all processes	kg CO2 eq	1,05E+03	1,22E+02	5,92E+01	8,70E+02
	Remaining processes	kg CO2 eq	2,17E+02	1,04E+02	1,78E+01	9,43E+01
1	Heavy fuel oil RoW — heavy fuel oil production, petroleum refinery operation — Cut-off, U	kg CO2 eq	1,07E+01	2,31E+02	1,30E+02	1,66E+01
2	Pig iron RoW— pig iron production — Cut-off, U	kg CO2 eq	1,12E+01	1,99E+00	4,56E-01	8,72E+00
3	Sweet gas burned in gas turbine RoW — processing — Cut-off, U	kg CO2 eq	1,07E+01	3,86E-01	7,71E-01	9,59E+00
4	Transport, freight train IN — transport, freight train, diesel — Cut-off, U	kg CO2 eq	1,36E+01	1,56E+01	1,98E-03	1,33E-02
5	Transport, freight, lorry ;32 metric ton, EURO6 RER — transport, freight, lorry ;32 metric ton, EURO6 — Cut-off, U	kg CO2 eq	4,01E+01	5,21E-04	4,01E+01	3,12E-03
6	Transport, freight, sea, container ship GLO — transport, freight, sea, container ship — Cut-off, U	kg CO2 eq	7,41E+02	1,24E-02	5,62E-03	7,41E+02

D Tabeller fra resultater

Tabell D.1: Resultat etter påvirkningskategori for LCA analyse av 1stk 110kw vekselretter. *A1-A4 er "cradle-to-gate". Utført med Attributional modellering. Denne tabellen ble ikke benyttet til videre beregning.

Calculation: Analyze
 Results: Impact assessment
 Product 1: 1 p inverter 110kW (of project Bachelor thesis)
 Method: CML-IA baseline V3.07 / EU25
 Indicator: Characterization
 Skip categories: Never
 Exclude infrastructure processes: No
 Exclude long-term emissions: No
 Sorted on item: Impact category
 Sort order: Ascending
 inverter 110kW

Impact category	Unit	A1-A4*
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	4,14E+03
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	4,70E+04
Abiotic depletion	kg Sb eq	1,63E+00
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	3,32E-04
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	2,28E+04
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	2,18E+04
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	3,63E+07
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	3,19E+01
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	2,19E+00
Acidification	kg SO2 eq	2,96E+01
Eutrophication	kg PO4— eq	1,95E+01