



VF-rapport nr. 12-2023

Forenklet livsløpsvurdering (LCA) av oppsirkulert spunt fra maritimt stål

Fredrik Moltu Johnsen, ph.d., seniorforsker

VESTLANDSFORSKING

VF-rapport	12-2023
Utgitt av Adresse	Stiftinga Vestlandsforskning Postboks 163, 6851 Sogndal
Prosjekttittel	Oppsirkulering av maritimt metall til byggematerialer
Oppdragsgivar	Nordic Circles AS
På framsida	Sveising av spuntprofilen hos Green Yard Kleven AS (Jarl Øle, Green Yard)

Creative Commons Namngiving 4.0 Internasjonal lisens
Vestlandsforskning 2021: CC BY-NC 4.0

www.vestforsk.no

Innhold

Introduksjon	6
1.1 Oppsirkulering av stål	6
1.2 Livsløpsvurdering (LCA)	7
2 Metode	9
2.1 Mål og omfang	9
2.1.1 Mål	9
2.1.2 Omfang	9
2.1.3 Funksjonell enhet	9
2.1.4 Systemgrenser	10
2.1.5 Effektkategorier	11
2.1.6 Livsløpsinventar	11
2.1.7 Livsløpseffektvurdering	14
3 Resultater	15
4 Diskusjon	25
4.1 Miljømessige «hot-spots»	25
4.2 Øvrige livsløpsfaser A4-D	25
4.2.1 Transport til mellomlager/byggeplass (A4)	26
4.2.2 Montering på byggeplass (A5)	26
4.2.3 Bruksfase (B)	27

4.2.4	Dekonstruksjon/riving (C1)	27
4.2.5	Transport til avhending (C2)	27
4.2.6	Avhending (C3-C4) og fordel fra endelig avhending av resirkulert spunt (D)	28
4.3	Hot-spots: sirkularitet	28
4.4	Forbehold	29
4.5	Sammenligning mot Resirkels tall	30
4	Konklusjon	30
5	Forslag til videre forskning	32

Sammendrag

Denne rapporten er en oppsummering av Vestlandsforskings bidrag til et forprosjekt med Nordic Circles AS i 2023.

Prosjektet vurderer produksjon av spunt fra oppsirkulert skipsstål. Vestlandsforskning har undersøkt miljømessige hot-spots over livsløpet til denne produksjonen, ved bruk av forenklet livsløpsvurdering (LCA).

Det er funnet at det er en potensiell klimagevinst i å produsere spunt fra oppsirkulert skipsstål. Et miljømessig hot-spot er sandblåsing, herunder klimagassutslipp ved transport av brukt sand til deponi og at denne sanden vil være farlig avfall. Alternative metoder anbefales. Bruk av oksygen til skjæring er et annet hot-spot. Det er også observert i resultatene at et tenkt scenario med manglende avhending av spunten, slik at alt metallet slippes ut til jord, vil ha omfattende potensiell miljøeffekt. Det anbefales å økodesigne og merke spunten samt ta øvrig produsentansvar på en måte som eliminerer muligheten for at et slikt tenkt avhendingsscenario blir en realitet.

Tallene er beheftet med betydelig usikkerhet, og representerer dessuten en pilotfase der produksjon inkludert bruk av råvarer og innsatsfaktorene kan antas å bli noe lavere i en senere fase med mer optimert produksjon.

Dette prosjektet er kun et forprosjekt, og resultatene skal dermed leses med noen grad av forsiktighet. Det anbefales ytterligere arbeid med miljøvurdering i et hovedprosjekt, for å øke robusthet, miljøvurderingens omfang, og å få med bredere systemgrenser, inkludert detaljert modellering av transport, installasjon, bruk, avhending og endelig ny resirkulering/gjenbruk/opsirkulering, i tråd med systemgrensene vugge-til-grav eller vugge-til-vugge.

Takk til Ida Wressel og Paul La Tourelle for gode tilbakemeldinger.

Introduksjon

Denne rapporten er en kort oppsummering av Vestlandsforskings bidrag til et forprosjekt med Nordic Circles AS i 2023.¹

Prosjektet vurderer produksjon av oppsirkulert spunt fra gjenbrukte skipsplater. Vestlandsforskning har undersøkt miljømessige hot-spots over livsløpet til denne produksjonen, ved bruk av forenklet livsløpsvurdering (LCA). Det er få konkrete studier på dette fra tidligere, slik at prosjektet til dels er nybrottsarbeid, så langt vi kjenner til.

1.1 Oppsirkulering av stål

Stål er en legering av jern, karbon og eventuelt en del øvrige metaller. Den kjemiske sammensetningen av stål varierer noe avhengig av ønskede produkttegenskaper og produsent.

Jomfruelig stål er et mye brukt materiale. Global produksjon var i 2021 rundt 2 milliarder tonn, og har siden år 2000 økt med mellom tre og seks prosent årlig (World Steel, 2023). Råvaren er hovedsakelig jernmalm, som typisk smeltes i en masovn i et smelteverk med øvrige tilsatser, og gis en eller annen form. Jomfruelig stål kan skade ytre miljø på flere måter: Ved utvinning av malm, deponering av slagg, gjennom energiforbruk og lokale utslipp i smelteverket, og ulike transportetapper.

For kraftkrevende stålproduksjon er renere elektrisitet en fordel. Materialgjenvunnet stål som smeltes om har typisk lavere utslipp enn jomfruelig stål. Man unngår her uttak av malm og omfattende slagghåndtering, men smelte- og formingsprosessene har et visst energiforbruk.

¹ Tittel: Oppsirkulering av maritimt metall til byggematerialer, prosjektnummer 345421

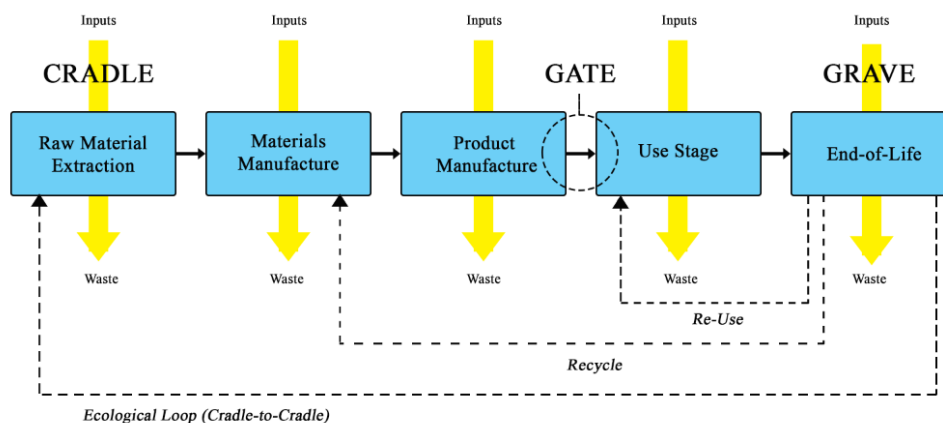
En annen form for materialgjenvinning er å gjenbruke stålplater fra skip til spunt. Her kan det meste av formen til materialet beholdes. Omsmelting er ikke nødvendig, og det kan potensielt være mindre omfattende arbeid involvert i å forme metallet til ferdig spunt. Denne produksjonsmetoden kan potensielt ha en høy miljøgevinst. I det følgende beskrives en forenklet livsløpsvurdering (LCA) av denne spuntproduksjonen, fra råvare til fabrikkport (systemgrensene A1-A3 etter EN15804/EPD-systemet).

Oppsirkulering eller remanufacturing er en prosess der gjenbrukte komponenter eller elementer bearbeides på verksteder for å øke verdien til et nytt produkt med høyere verdi. Dette er i kontrast til nedsirkulering, som innebærer gjenvinning til produkter med lavere verdi. Typisk blir utrangerte objekter fra maritimt metall dekommissionert til skrapstål, som deretter selges på en børs for å bli omsmeltet til nye produkter med lavere verdi. I dette prosjektet undersøkes imidlertid oppsirkulering av stålplater til spunt.

1.2 Livsløpsvurdering (LCA)

Livsløpsvurdering (Life cycle assessment, LCA) er en måte å telle utslipp over livsløpet til et produkt eller en prosess. I stedet for å kun fokusere på utslipp innenfor fabrikkportene, som var det rådende miljøvernparadigmet før ca. 1990, kan man også ta med utslipp knyttet til å produsere og transportere råvarer, bruksfasen til produktet, og avhending av avfall. Systemgrensene kan velges i henhold til mål og omfang med den konkrete analysen.

Figur 1 viser livsløpet til et produkt skjematisk, fra vugge (cradle) til grav.



Figur av MtW17, Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Example_Life_Cycle_Assessment_Stages_diagram.png

Figur 1. Skjematisk diagram over et typisk livsløp i LCA

For byggevarer benyttes ofte produktdeklarasjoner basert på LCA, kalt miljøproduktdeklarasjon (Environmental product declaration, EPD). I EPD-systemet kalles livsløpsfasen fra vugge til grav «A1-A3», i henhold til standarden EN15804+A1+A2+AC (Standard Norge 2021). Dette inkluderer råvareproduksjon (A1), transport av råvarer til produksjonssted (A2), og produksjon (A3). EN15804 er i sin tur basert på ISO 14020 og ISO 14025, med LCA-standardene ISO 14040 og ISO 14044 som fundament for beregningene (ISO 2006-1; ISO 2006-2; ISO 2006-3; ISO 2022). Disse ISO-standardene sorterer i utgangspunktet under ISO 14001 om miljøledelse, men er også brukt uavhengig av dette ledelsessystemet.

2 Metode

2.1 Mål og omfang

2.1.1 Mål

Målet med prosjektet er å undersøke miljøeffekter ved produksjon av oppsirkulert spunt produsert fra maritimt metall fra utrangerte skip og offshore plattformer.

2.1.2 Omfang

En full LCA-studie i henhold til ISO 14044 er utenfor omfanget til dette prosjektet, da det i standarden stilles omfattende krav til rapportering, kritisk gjennomgang, usikkerhetsberegning, kompletthetsvurdering, med mer, som krever en langt høyere kostnadsramme enn det som er til rådighet i prosjektet. Omfanget til prosjektet tillater en forenklet LCA med delvis oppfyllelse av ISO-standard. Resultatene i dette prosjektet skal ikke vurderes som ekvivalent med en EPD eller som en delvis EPD, da dette krever en formell prosess med blant annet verifikasjon i henhold til EN15804. Enhver sammenligning skal tolkes som veiledende, ikke som bevis på at teknologi X er mer miljøvennlig enn teknologi Y.

Geografisk omfang er produksjon i Møre og Romsdal, Norge. Teknologisk omfang for råvare er stålplater fra skip og offshore installasjoner. Det endelige produktet antas å kunne erstatte spunt av stål.

2.1.3 Funksjonell enhet

LCA-resultatene i denne rapporten er presentert per 1 tonn spunt levert ved fabrikkport, som dermed er den funksjonelle enheten.

2.1.4 Systemgrenser

I utgangspunktet dekker denne forenklete LCA-studien uttak og produksjon av råvarer, transport av råvarer, og produksjon av spunt. Dette tilsvarer i utgangspunktet modulene A1, A2 og A3 (A1-A3) i EPD/EN15804, og det hovedsakelige omfanget av vurderingen er dermed «vugge til port». Et potensielt scenario der spuntene ikke tas opp og avhendes er også vurdert, da et slikt scenario hypotetisk var antatt å være et betydelig potensielt hot-spot for miljøeffekt, som vil være relevant for modul C4 i EPD-systemet. Det er ikke vurdert i hvilken grad dette scenariet er realistisk eller i bruk, men det antas at det forekommer.

Råvarer inkluderer blant annet oksygen og propan til skjæring, sand til sandblåsing, sveisegass og sveisetilsett, og C9 metallhjørne på hver side av spuntene.

Det antas at stålråvaren er tilgjengelig etter skjæring til seksjoner, som uansett skjer i ordinær dekommisjoneringsprosess for skrapmetall. For produksjonsfasen Materialuttak (fra skip) er det gjort et estimat om at 40 % av innsatsfaktorene allokeres til regulært skjærearbeid som uansett må gjennomføres i avfallshåndteringen, og dermed er utenfor systemgrensene, og at 60 % er skjærearbeid m.v. som allokeres til produktet. Avhengig av hvilke retningslinjer man følger kan det diskuteres hvorvidt de resterende 40 % også bør allokeres til produktet, men dette er uansett antatt å ikke slå avgjørende ut på produktets miljøprestasjon. Det er ikke foretatt noen holistisk vurdering og allokering av øvrig avfallsbehandling når det gjelder resten av skipet; dette anses som utenfor systemgrensene, og videre forskning må eventuelt gå nærmere inn detaljene i ulike harmoniserte regler for definisjon av livsløpets start. Eventuelle markedseffekter, som for eksempel lokale effekter av økt dekommisjonering, er ikke videre vurdert i prosjektet. Eventuelle aspekter som involverer HMS og kvalitet er videre ikke vurdert.

Det vil være en visst miljøfotavtrykk til transport fra produksjon til byggeplass og installasjon, dette er ikke vurdert her da tallene antas å ikke avvike stort fra eksisterende miljøvurderinger for spunt. Det er ikke utarbeidet egne

transportscenarier da dette vil variere betydelig for ulike byggeprosjekter. Det antas uansett at tilgang på havn gir et mulighetsrom for å velge noe mer miljøvennlig transport.

2.1.5 Effektkategorier

Det primære fokuset i studien er klimagassutslipp.

Andre effektkategorier diskuteres der dette fanges opp og virker relevant.

2.1.6 Livsløpsinventar

Forgrunnsdata er basert på anslag og tidligere pilotforsøk, og datakvaliteten er dermed vurdert å være relativt lav. Det antas at det er et betydelig potensial for videre miljømessig optimalisering av prosessen i forhold til pilotforsøkene.

Bakgrunnsdata er basert på utslippsdatabasen Ecoinvent v.3.8 (Wernet et al. 2016). Spesifikt produksjonssted var ikke tilgjengelig for alle råvarene. Transport av råvarer er representert av Ecoinvents generiske markedsscenario, med unntak av oksygen der transport fra produksjonssted i Australia er modellert, og for spuntlås der det antas produksjonssted Luxembourg. Generisk transportscenario innebærer kun ca. 50 kilometer transport av råvare over land. Utslipp fra transport av øvrige råvarer kan dermed være noe undervurdert i analysen. Transport av sandråvare over lengre distanser enn 50 kilometer kan slå noe ut på resultatene da det benyttes relativt store mengder sand i produksjonen.

Tabell 1 viser inventar per 1 tonn spunt, basert på de foreløpige, estimerte dataene fra forsøkene. Tallene er i noen grad basert på antakelser og tolkninger, jfr. kommentarer. Flere iterasjoner på disse tallene kan eventuelt utføres i hovedprosjekt.

Tabell 1. Råvaremengde per 1 tonn spunt

Produksjonsfase	Beskrivelse	Mengde	Kommentar
Materialuttak	Oksygen	82,6 kg	Propanskjæring. Inkluderer ikke 40 % til regulært materialuttak

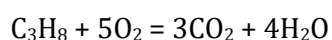
Materialuttak	Propan	0,581 kg	Propanskjæring. Inkluderer ikke 40 % til regulært materialuttak
Materialuttak	Diesel	10,9 kWt	Truck. Inkluderer ikke 40 % til regulært materialuttak
Materialuttak	Strøm	38,0 kWt	Kran. Inkluderer ikke 40 % til regulært materialuttak
Sandblåsing	Sand	515 kg	Antatt silicasand
Sandblåsing	Transport	600 km lastebil	Transport til deponi
Sandblåsing	Strøm	27,8 kWt	Kompressor, antar 11,6 kW (jfr. Vestec 2023)
Produksjon	Spuntlås C9	14,7 kg	2 stk. per spunt
Produksjon	Transport spuntlås	2100 km	Luxembourg-Møre, lastebil
Produksjon	Oksygen	41,2 kg	Plasmabrenning
Produksjon	Strøm	27,4 kWt	Plasmabrenning
Produksjon	Sveising	4,73 m	Spunt, Ecoinvent, 6x12 meter per spunt
Produksjon	Strøm	131,51 kWt	Kran
Produksjon	Sveising	1,58 m	Montering, Ecoinvent, 2x12 meter per spunt

Vi kan observere fra tabell 1 at foruten stålet er oksygen og sand de tyngste innsatsfaktorene. Ulike scenarier for transport av råvarene oksygen og sand kan dermed potensielt spille en del inn på den relative miljøprestasjonen.

For sveising er for enkelhets skyld generiske antakelser om innsatsfaktorer for sveising per meter fra Ecoinvent-databasen benyttet. Spesifikke tall på robotsveising, sveisetilsett m.m. er dermed ikke inkludert. Det er mulig at Ecoinvents generiske tall vil undervurdere LCA-resultatene fra sveising noe.

For spuntlås er det i fravær av presise data antatt samme klimafotavtrykk som for EcoSheetPiles, 520 kg CO₂-ekv per tonn i produksjonsfasen A1-A3 (IBU 2018).

Produksjonsprosessen inkluderer propanskjæring, med følgende kjemiske reaksjon:



Denne kjemiske reaksjonen medfører et utslipp av karbondioksid. Utslipet er med i beregningsmodellen for klimagassutslipp. For plasmabrenning kan det hypotetisk blant annet dannes ozongass og andre gasser, dette er ikke med i beregningsmodellen. Eventuelle HMS-hensyn er utenfor omfanget til LCA, generelt oppfordres det til varsomhet ved bruk av gass.

Det er i resultatene angitt et scenario der spunten aldri avhendes, slik at alt metallet slippes ut til jord. Det er ikke anslått i hvor stor grad et slikt scenario forekommer i praksis, men det er antatt at det hender i noen tilfeller. For å designe et komplekst scenario, inkluderer modellen av stålet en del ulike metaller, som er angitt i tabell 2. Merk at modellen ikke nødvendigvis representerer den reelle stålsammensetningen fra skipsstål, men er valgt for å få belyst miljøvirkningen til potensielle tilsatser i analysen. Stålsammensetningen påvirker ikke resultatene for produksjon av spunt, kun det eventuelle scenariet der spunten ikke avhendes. Sammensetningen er basert på høyeste tall angitt av Bailey (2017) for hver potensielle tilsats, og inventaret kan dermed regnes som et worst case-scenario for alle bestanddeler unntatt jern. Columbium er ikke med i modellen, da substansen ikke støttes i LCA-softwaren Simapro v.9. Merk at også øvrige av substansene kan ha mangelfull eller manglende livsløpseffektvurdering gitt ulike metoder.

Tabell 2: Stålsammensetning, scenario. Scenariet representerer ikke nødvendigvis spunt av typisk dekommisjonert maritimt stål

Metall	%
Jern	96,0
Karbon	0,95
Mangan	2,0
Fosfor	0,020
Svovel	0,012
Silisium	0,04
Kopper	0,2
Nikkel	0,2
Krom	0,15
Molybden	0,06
Tinn	0,03
Vanadium	0,1
Columbium	0,1 (N/A)
Titan	0,1

Aluminium	0,01
Nitrogen	0,01
Bor	0,009
Kalsium	0,003

2.1.7 Livsløpseffektvurdering

Metoden som i utgangspunktet er brukt for å karakterisere de individuelle utslippene til miljøeffektkategorier er European Footprint 3.0 (Fazio et al. 2018) der ikke annet er spesifisert. Denne metoden er utviklet av Europakommisjonens Joint Research Centre. Metoden benytter IPCCs oppvarmingsfaktorer fra 2013, som typisk er benyttet i publiserte EPD-er. Resultatene har blitt sjekket mot IPCCs nye faktorer fra 2021, og det er små forskjeller mellom resultatene. De potensielle klimagassutslippene ble funnet å være i alt overveiende fossile.

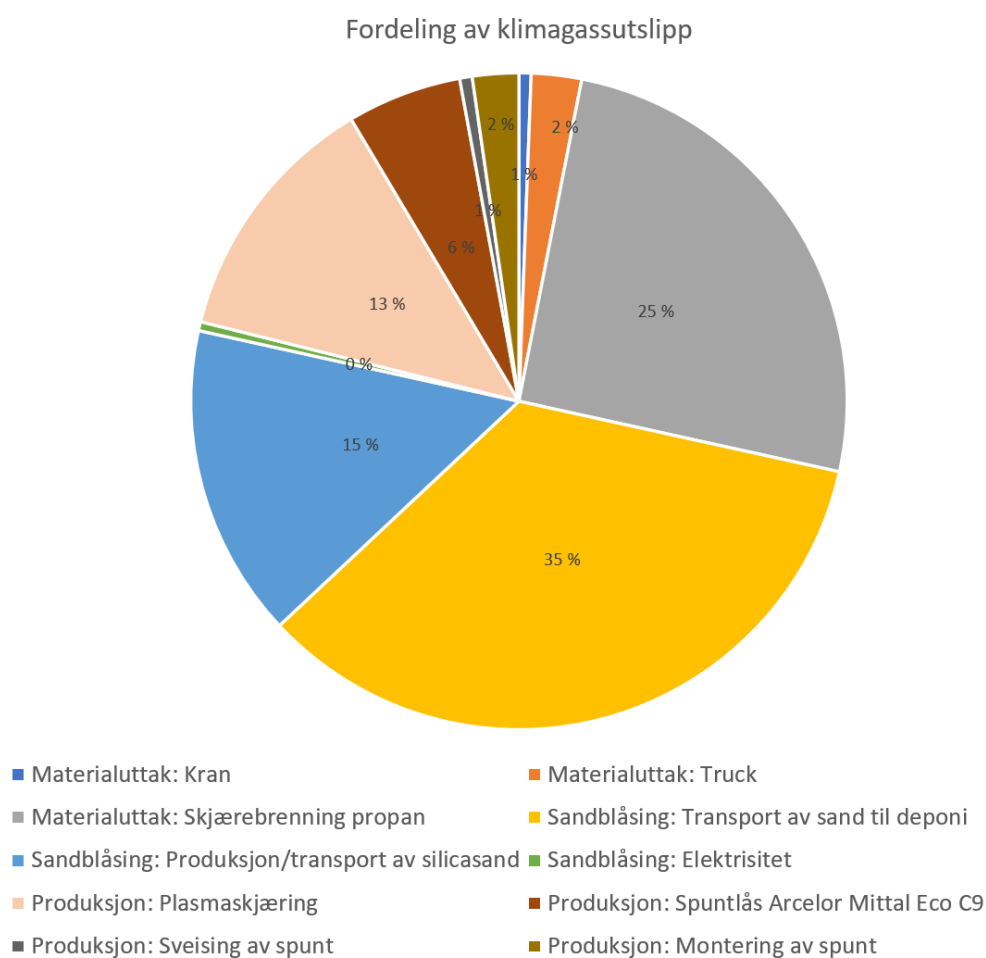
To øvrige metoder som er brukt til å sjekke robustheten av resultatene er IMPACT WORLD+ (Bulle et al. 2019) og LC-IMPACT (Verones et al. 2020). Det har ikke vært tid til å analysere den prosjektrelevante forskjellen mellom de ulike metodene i detalj, og analysene basert på de to sistnevnte metodene får dermed en karakter av «as-is» i det følgende.

De ulike metodene kan videre brukes til å regne ut skade på økosystem og menneskers helse, og også til å sammenligne ulike miljøeffektkategorier mot hverandre, men det understrekes at denne formen for analyse vil være beheftet med ekstra høy usikkerhet og potensielle verdivalg.

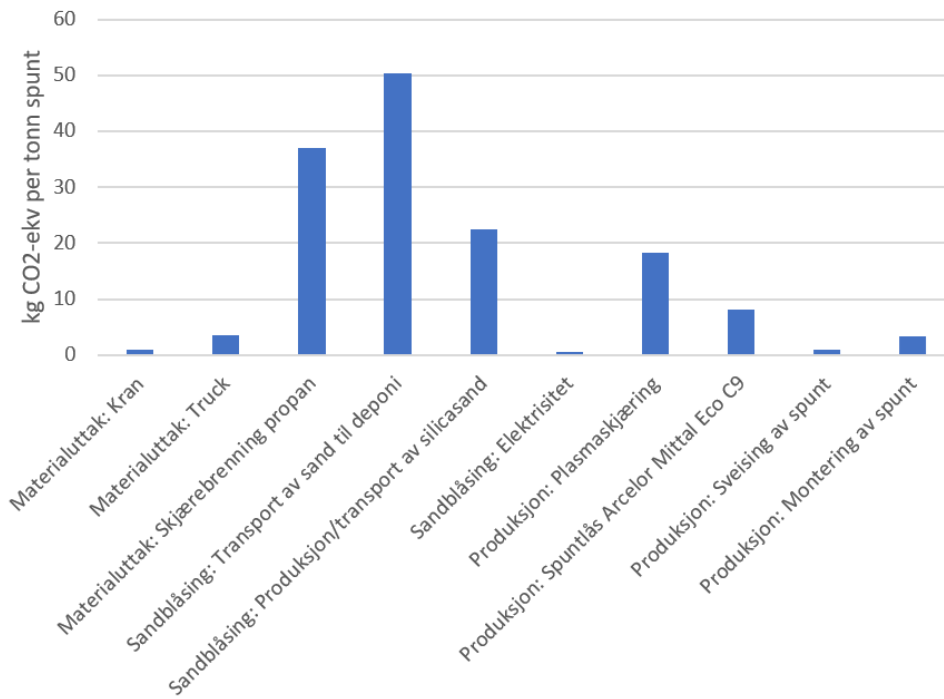
3 Resultater

LCA-resultater er vist i de følgende figurene.

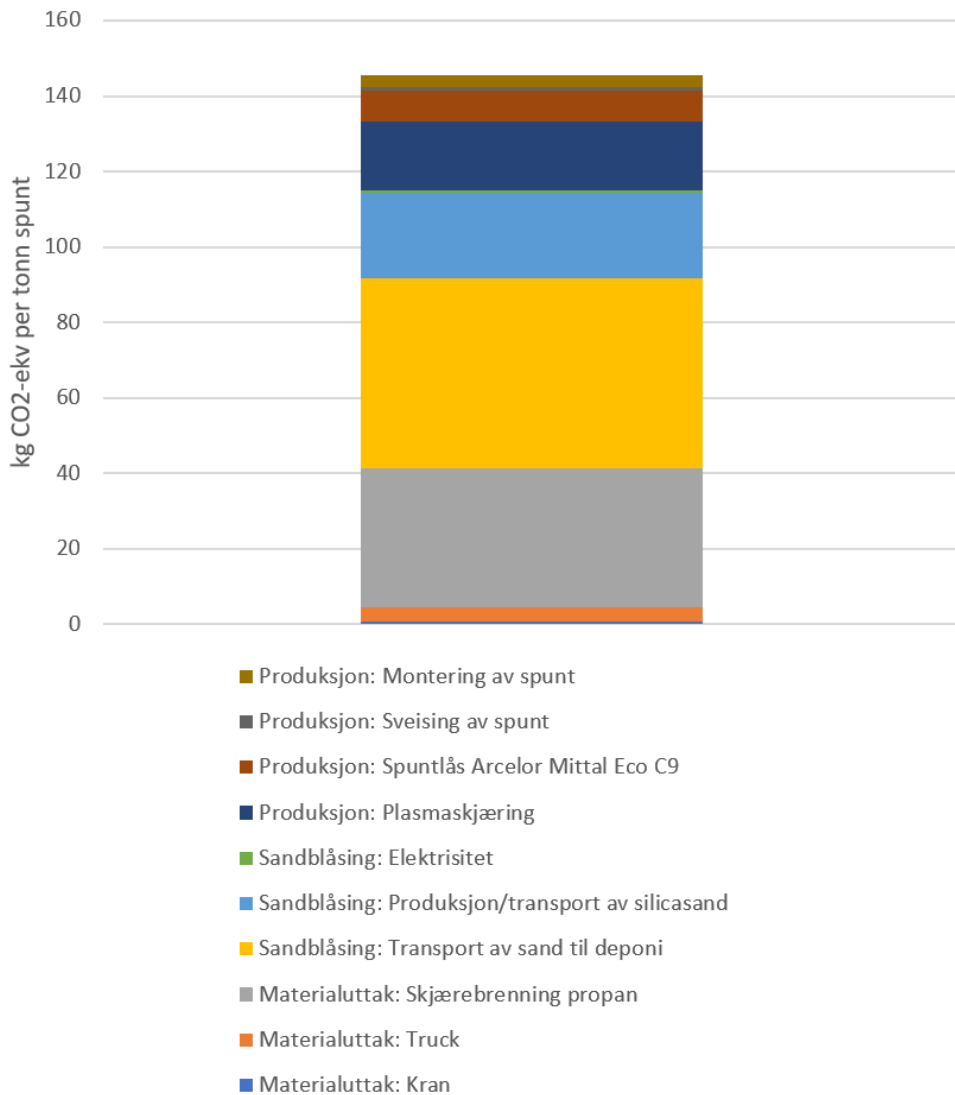
Figur 2, 3 og 4 viser ulike perspektiver på samme informasjon: Fordeling av klimagassutslipp på de ulike aktivitetene/materialene.



Figur 2. Potensielle klimagassutslipp, produksjon av spunt (A1-A3), prosentvis

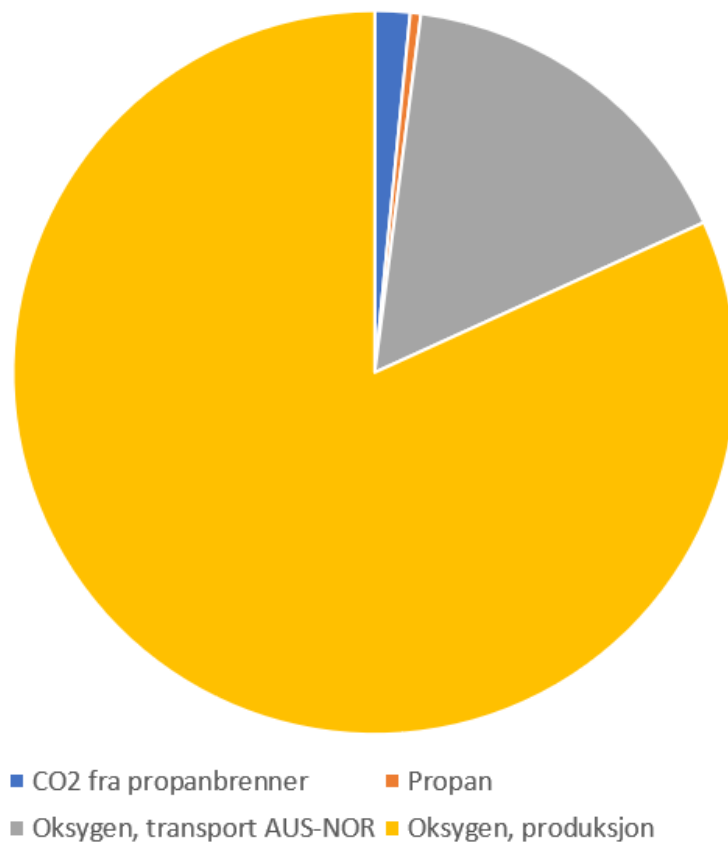


Figur 3. Potensielle klimagassutslipp, produksjon av spunt (A1-A3), med klimagassutslipp spesifisert per aktivitet



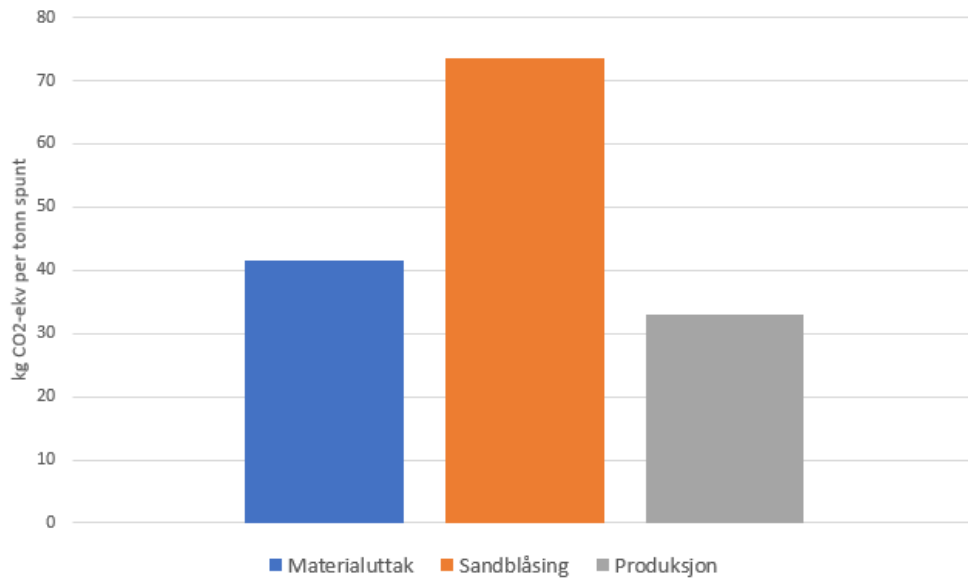
Figur 4. Potensielle klimagassutslipp, produksjon av spunt (A1-A3), med totale klimagassutslipp

Sandblåsing av stålet er den største utslippsposten. Klimagassutslipp her kommer primært fra produksjon og deretter transport av oksygen, som spesifisert i figur 5. CO2 fra propanbrenner som er spesifisert her er direkte utslipp fra kjemisk reaksjon mellom propan og oksygen, der det antas at 100 % av propanet forbrennes. En tilsynelatende stor del av oksygenet som brukes inngår ikke i denne kjemiske reaksjonen.



Figur 5. Fordeling av potensielle klimagassutslipp for propanbrenning (A1-A3)

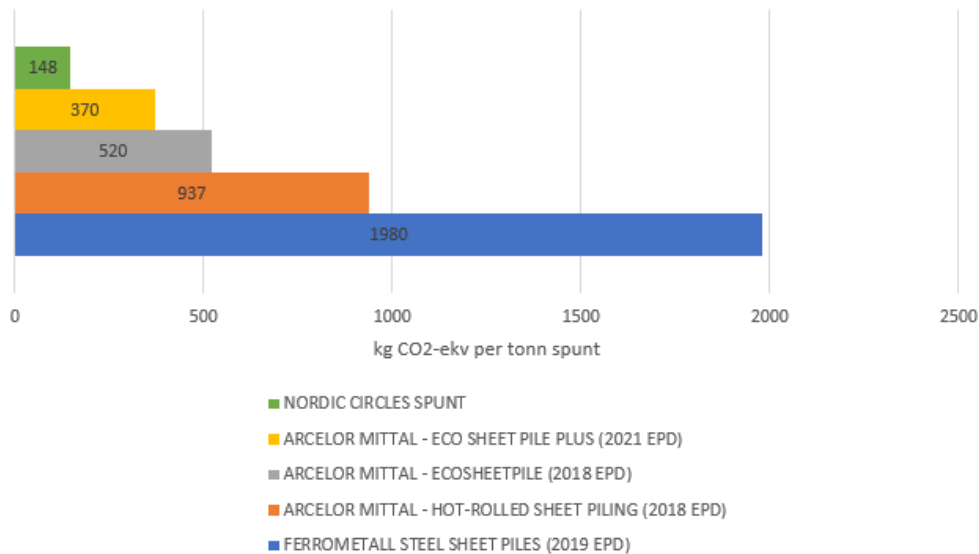
Fordelingen av potensielle klimagassutslipp over de tre fasene materialuttak, sandblåsing og produksjon er som vist i figur 6.



Figur 6. Potensielle klimagassutslipp fordelt på de tre produksjonsfasene. Inkluderer råvarer, transport av råvarer og produksjon (A1-A3).

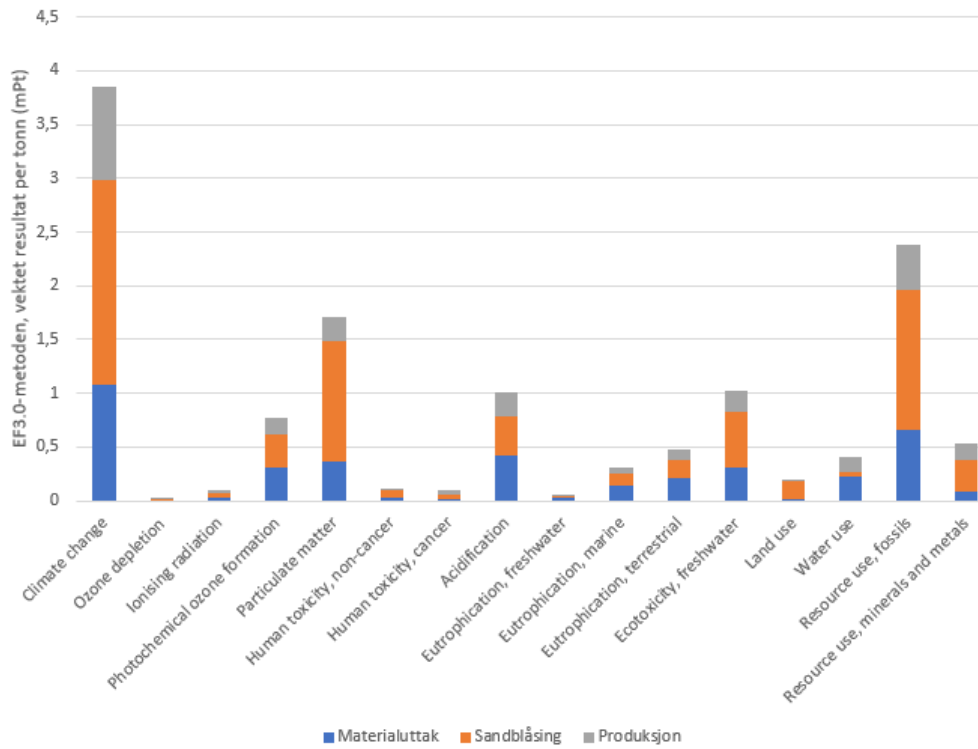
En enkel sammenligning mot tidligere publiserte EPD-er, av én av indikatorene i EPD-systemet, potensielle klimagassutslipp (GWP_{total}), er gitt i figur 7. Det understrekes at det i dette prosjektet ikke er utviklet verifiserte tall, slik at sammenligningen i figur 7 på nåværende stadium kun er veiledende, og ikke skal benyttes til å hevde at et produkt er miljømessig overlegent et annet.

KLIMAGASSUTSLIPP GWP A1-A3 Kun pekepinn - ikke en formell sammenligning av produkter



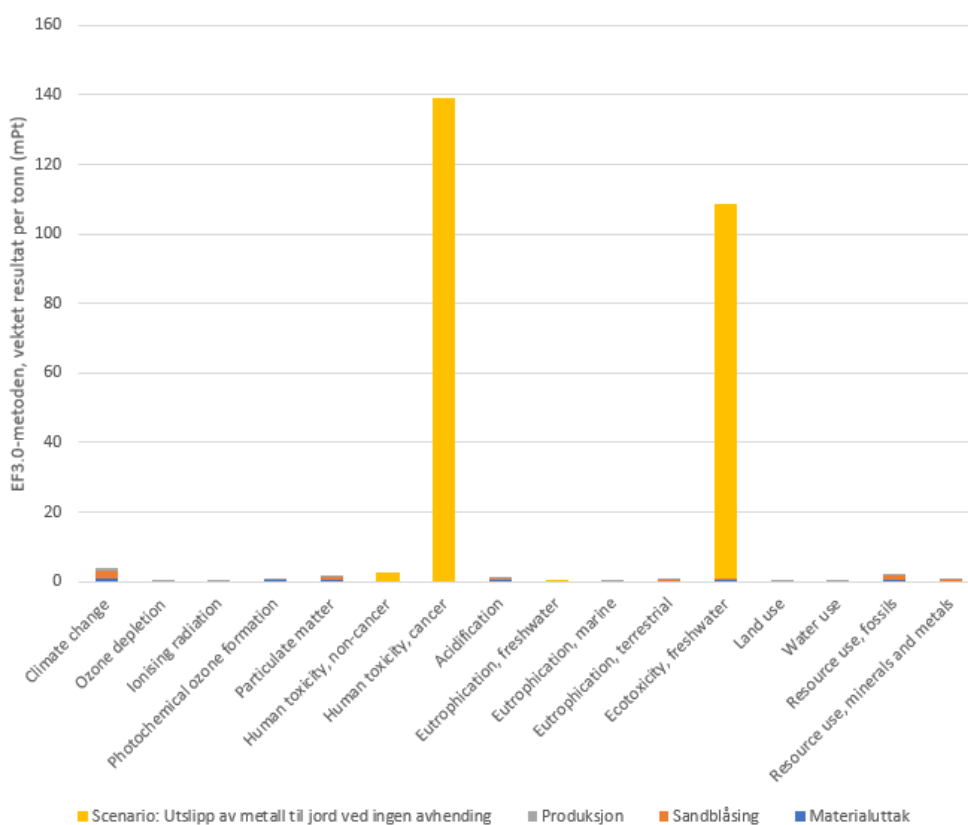
Figur 7. Veiledende, ikke formell, sammenligning av GWP-indikatoren for A1-A3 mot publiserte EPD-er. Må tolkes med forbehold

Potensielle klimagassutslipp/GWP er bare ett mulig miljøaspekt. Det er viktig å huske at det også finnes andre miljøindikatorer. Det er ikke kjent hvor alvorlige de ulike indikatorene er sett i relasjon til hverandre, noe som gjør en sammenligning på tvers av miljøeffektkategorier vanskelig. Europakommisjonen-JRC har forsøkt å utvikle en metode (Fazio et al. 2018), som imidlertid skal tolkes med betydelig forbehold. Se figur 8 for vektete vugge-til-port-resultater for spunten. Resultatene viser at klimagassutslipp ifølge EF3.0s metode er den viktigste miljøeffektkategorien, men at det definitivt også finnes andre viktige effektkategorier, som fossilt ressursuttak, partikkelutslipp, forsuring og økotoksisk effekt på ferskvann. Resultatene må imidlertid tolkes med stor forsiktighet. Enheten er ikke direkte tolkbar i seg selv.



Figur 8. Vektete resultater for vugge til port (EF3.0-metoden). Resultatene må tolkes med stor forsiktighet. Enheten hevder å representere total miljøskade

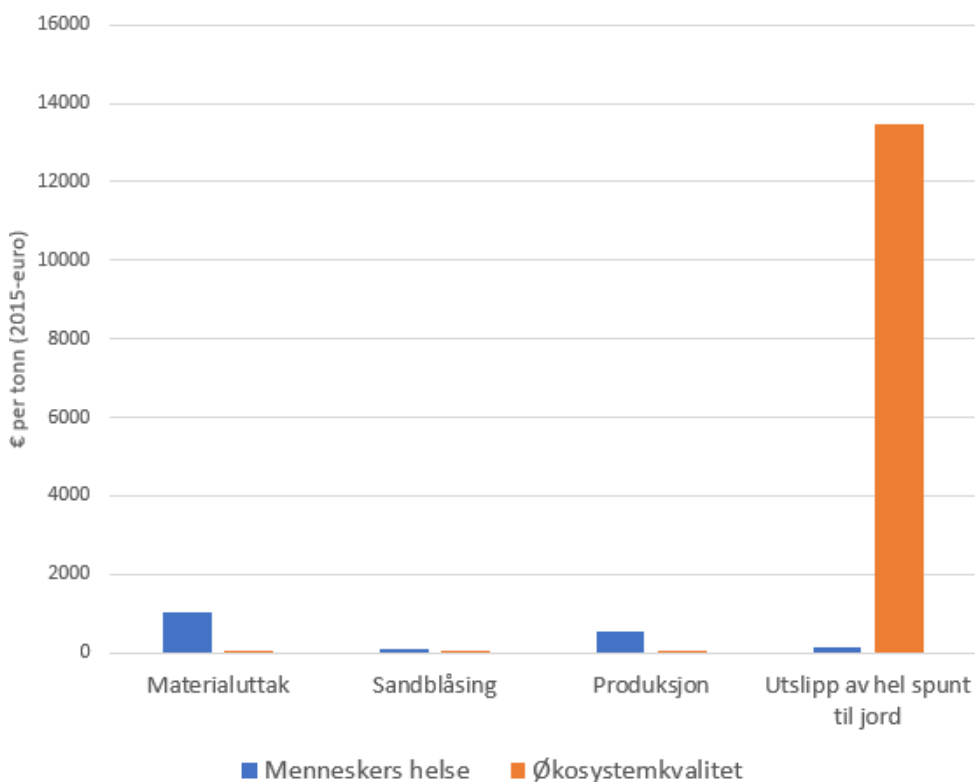
Når det gjelder bruks- og avhendingsfasen til spunten, kan man se for seg et scenario der spunten aldri avhendes, men blir stående igjen. Her vil det bli store utslipp av metall til jord, som forurenses både jord og vann. Figur 9 viser tilsvarende vektete utslipp, der dette mulige utslippet er tatt med. Det er antatt stål med en del typiske øvrige tilsatser. Vi ser at utslippet av metoden vurderes som meget alvorlig sammenlignet med klimagassutslippene. Dette generelle bildet kan også observeres dersom spunten antas å bestå av rent jern, men i et slikt tilfelle angir modellen lavere effekt på menneskers helse.



Figur 9. Vektete resultater for vugge til port + utslipp av hel spunt til jord (EF3.0-metoden). Resultatene må tolkes med stor forsiktighet. Enheten hevder å representere total miljøskade

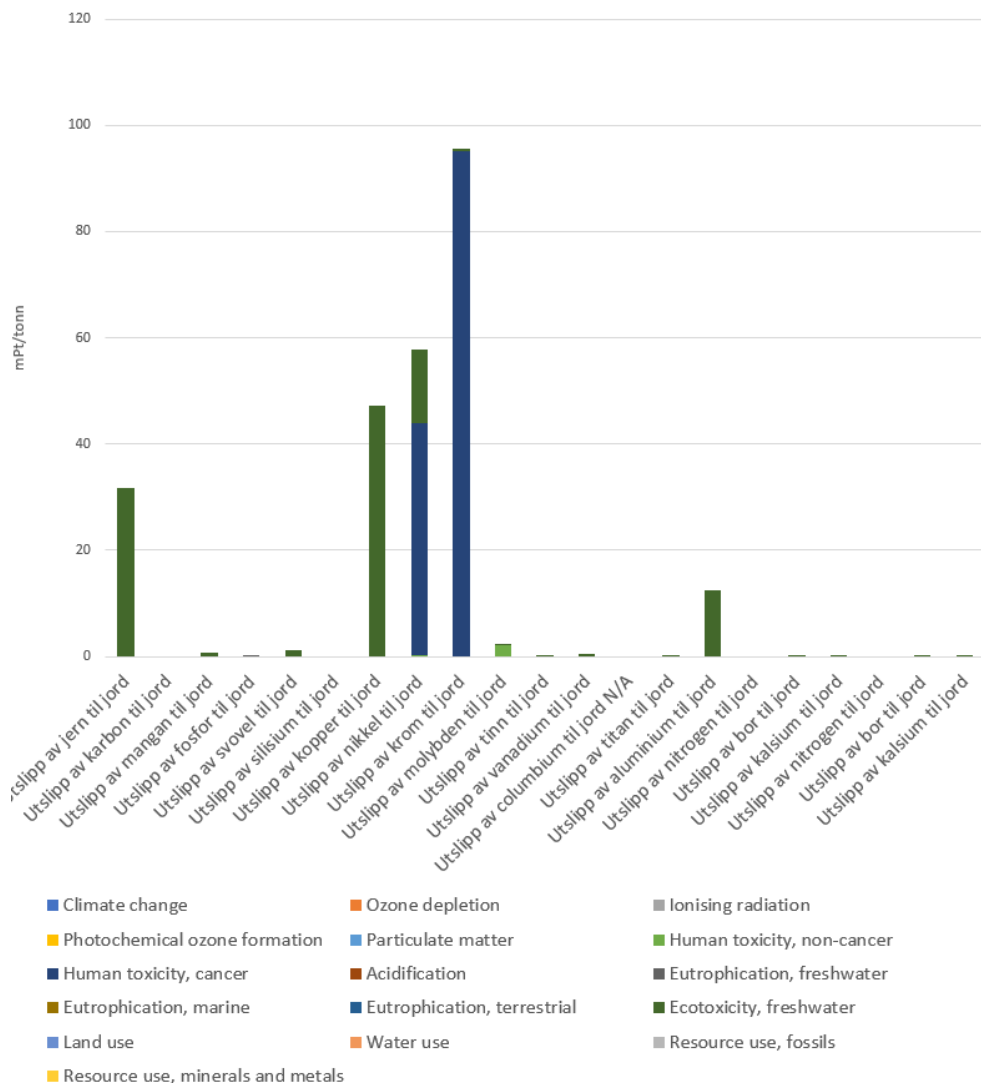
Da vektete resultater kan avhenge sterkt av metoden som brukes, viser figur 10 vektete resultater tilsvarende som i figur 9 med IMPACT WORLD+-metoden. Resultatene blir i denne metoden klassifisert på en noe annen måte, men det går an å tolke at resultatene kan være noe tilsvarende som for EF3.0-

metoden i figur 9, men med lavere effekt på menneskers helse fra scenariet med manglende avhending. IMPACT WORLD+ har ikke karakteriseringsfaktor for påvirkning på menneskers helse for utslipp av jern til jord, og setter derfor denne til null, det er mulig at EF3.0-metoden gir et mer komplett bilde. Enheten i figur 10 er monetarisert miljøskade etter en bestemt metode. Det kan observeres at den monetariserte miljøskaden estimeres som et betydelig beløp.



Figur 10. Vektete resultater for vugge til port + utslipp av hel spunt til jord (IMPACT WORLD+-metoden). Resultatene må tolkes med stor forsiktighet. Enheten hevder å representere monetær verdi i euro (ikke prisindeks-justert fra 2015)

EF3.0-metoden er i figur 11 brukt for å spesifisere potensiell vektet miljøeffekt av manglende avhending på ulike metaller, gitt sammensetningen i tabell 2. Produksjonsutslipp er her ikke tatt med.



Figur 11. Vektete potensielle resultater for scenario med 100 % utslipp av hel spunt til jord (EF3.0-metoden). Produksjonsutslipp er ikke inkludert. Enheten representerer antatt relativ miljøskade fra 1000 kg metallutslipp til jord. Resultatene må tolkes med stor forsiktighet.

Vi kan observere fra figur 11 at krom, nikkel, kobber, jern, aluminium, molybden og svovel har høyest miljøeffekt per 1000 kg stål. Dette fordeler seg på potensiell økotoksisitet i ferskvann og potensiell effekt på menneskers helse.

En tilsvarende analyse med vektet indikator i LC-IMPACT-metoden viser imidlertid ikke resultater som er sammenlignbare med de som er vist i figur 11 for EF3.0-metoden. Ved bruk av LC-IMPACT blir utslipp av mangan svært viktig

for økotoksitet, fulgt av vanadium, nikkel og jern. For menneskers helse blir med LC-IMPACT utslipp av nikkel klart viktigst, fulgt av vanadium, molybden og kopper. Kromutslippet regnes med LC-IMPACT-metoden som 9 størrelsesordener mindre viktig for menneskers helse enn det modellerte nikkelutslippet, noe som er stikk i strid med figur 11. Det kan konkluderes med at modellene for potensiell miljøeffekt fra metallutslipp, i scenariet med manglende avhending, er lite robuste når man går i detalj på de enkelte bestanddelene i stållegeringen, og at mer forskning kreves. Samtidig tyder LCA-resultatene på at utslipp fra manglende avhending av spunt er svært betydelige sammenlignet med produksjonsutslippene.

Det er ikke vurdert i hvilken grad korrosjon fører til lignende, men lavere, utslipp i bruksfasen til spunten.

4 Diskusjon

4.1 Miljømessige «hot-spots»

Miljømessige hot-spots fremgår fra resultatkapittelet og figur 2-11 over.

4.2 Øvrige livsløpsfaser A4-D

Vugge til port, eller A1-A3 i EPD-systemet, er vurdert over. For transport til mellomlager/byggeplass, modul A4 i EPD-systemet, vil det være prosjektspesifikke utslipp som avhenger av transportdistanse og transportmiddel. Transport med skip regnes som et klimavennlig alternativ.

Generelt antas det at klimagassutslipp for de resterende EPD-modulene A5 til D er tilsvarende som for lignende produkter. Det understrekes at det oppsirkulerte produktet potensielt kan være svært miljøfarlig grunnet toksisitetseffekter fra metallet dersom det blir stående igjen på ubestemt tid

etter at det er brukt ferdig, og ikke blir avhendet på en ordentlig måte. Korrosjon i bruksfasen kan også potensielt ha en miljøeffekt. Dette gjelder på lik linje med annen spunt. Det vil si at problematikken med spunt som står igjen i bakken antas å innebære like store miljøkonsekvenser for oppsirkulert som for materialgjenvunnet/jomfruelig spunt, med et forbehold om at den reelle materialsammensetningen ikke er vurdert i prosjektet.

4.2.1 Transport til mellomlager/byggeplass (A4)

Spunt levert fra Møre og Romsdal vil ha andre transportutslipp ut til hovedlager/kunde enn konkurrentenes produkter i det som i EPD-systemet kalles livsløpsfasen A4. De reelle utslippene vil avhenge av det konkrete anleggsscenarioet. Det kan telle negativt at produksjonen skjer i en geografisk utkant, samtidig er skipstransport relativt klimavennlig, og muligheten for dette kan telle positivt.

4.2.2 Montering på byggeplass (A5)

Det kan antas at utslipp ved montering er sammenlignbare som for øvrige spuntprodukter, men større produktvariasjoner kan potensielt føre til økt svinn ved montering. Eventuelt svinn vil proporsjonalt øke det totale miljøfotavtrykket.

Det er mulig at øvrige tilsatser i noen tilfeller vil brukes i installasjon, for eksempel sement, som i sin tur kan skade ytre miljø, særlig ved manglende avhending. Dette er ikke forventet å være et større problem enn for tilsvarende produkter, men man kan undersøke hvorvidt design av spunten potensielt kan redusere mengde og alvorlighetsgrad av tilsatser.

Etterlevelse av standarder, kvalitetskriterier og lignende som potensielt kan etterspørres av entreprenør i installasjonsfasen, er utenfor omfanget til denne rapporten.

4.2.3 Bruksfase (B)

Avhengig av kvalitetsprosedyrer kan det kanskje særlig for resirkulerte metallprodukter være noe uavklart hvilke ioner som eventuelt slippes ut til ytre miljø i bruksfasen. Produktets levetid er også relevant for miljøprestasjonen, da eventuell reparasjon og utskifting vil ha en miljøeffekt. I utgangspunktet er det ikke modellert forhold ved oppsirkulert spunt som skal påvirke levetiden. Potensielt metallutslipp i bruksfasen kan undersøkes nærmere.

4.2.4 Dekonstruksjon/riving (C1)

Denne livsløpsfasen kommer etter at det oppsirkulerte spuntproduktet er brukt ferdig.

Ifølge prosjekteier er dekonstruksjon av spunt svært innsats- og energikrevende, og gjøres typisk ikke i praksis i Norge. Det kan antas at spunt i så fall vil korrodere fullstendig over lang tid, og alt materialet vil havne i jorden, med mulig avrenning til matjord, grunnvann, ferskvann og hav. Det er kjent at metaller har en svært høy potensiell toksisk effekt, og dette kan se ut som et alvorlig potensielt miljøproblem. Det må imidlertid tas et forbehold om at korrosjon i noen tilfeller kan ta svært lang tid, dette vil avhenge av lokale forhold.

For spunt av skipsstål vil det være mindre informasjon om tilsatser og forurensing i det relevante stålet. Metaller, inkludert tungmetaller m.v., og kanskje spor av bly, samt hjelpematerialer som sement og lignende, kan potensielt bli sluppet ut dersom spunt blir stående igjen i bakken. Det kan potensielt være av avgjørende miljømessig betydning å legge til rette for at spunten kan tas opp etter endt funksjon og eventuelt resirkuleres/gjenbrukes. Det kan vurderes regulatorisk intervensjon, produktansvarsordning, produktmerking for gjenbruk, med mer.

4.2.5 Transport til avhending (C2)

Det antas at transport til avhending foregår som for tilsvarende produkter.

4.2.6 Avhending (C3-C4) og fordel fra endelig avhending av resirkulert spunt (D)

Det antas at spuntmetallet kan materialgjenvinnes på vanlig måte for tilsvarende produkter. Det vil være et pluss i modul D om det legges til rette for videre gjenbruk eller oppsirkulering av platene etter livsløpets slutt, om dette er rimelig. Mangelfull avhending kan ifølge LCA-resultatene potensielt ha dramatiske miljøeffekter.

4.3 Hot-spots: sirkularitet

Sand fra sandblåsing sorteres som farlig avfall. Det er en relativt stor mengde brukt sand som går til deponi per tonn spunt (ca. 515 kg går inn i produksjonen, utgangsfaktoren avhenger av fuktinnhold og mengde malingsrester o.l. fra skip). Både maling og metallrester vil ha en toksisk effekt, som kan spille inn både på HMS og ytre miljø dersom det blir avrenning e.l. fra anlegget. Det er mulig at uformelle utslipp fra innenfor fabrikkport av svært små mengder bly eller kadmium fra maling kan ødelegge miljøprestasjonen til produktet. Den store mengden problematisk avfall forringer dessuten sirkularitetsprestasjonen til den oppsirkulerte spunten, og vil slå ut på «HW»-indikatoren i EPD-systemet. Det anbefales å også vurdere alternativer til sandblåsing.

Materialsammensetningen i stållegeringer kan variere, og i brukt stål finnes det potensielt en rekke tilsatser utover jern og karbon. Margo (2023) angir i en uformell liste krom, silisium, mangan, nikkel, kopper, molybden, vanadium, titan, niob, kobolt, wolfram, aluminium, bor, svovel, fosfor, hydrogen og nitrogen som mulige tilsatser. I tillegg kommer urenheter fra produksjon av både stål og tilsatser, som potensielt kan være andre metaller og kjemiske forbindelser. Det har blitt nevnt i prosjektet at spunt gjerne ikke trekkes opp igjen fra jord etter bruk, og det er over tid dermed en lang rekke ulike ioner som kan forurense vannveier, jord og hav, både lokalt, regionalt og eventuelt globalt. Eventuelle spor av bly og andre giftigere tungmetaller i stålet kan også ha en innvirkning. Jomfruelig produksjon av spunt har den fordel at det i utgangspunktet blir mer kontroll på materialsammensetningen. Samtidig er

nettopp jomfruelig stål en av de viktigste globale driverne for utslipp av kvikksølv (Wang et al. 2016), som er et særlig stort problem i Norge og nordområdene (AMAP 2021). Potensielle toksisitetseffekter av slagghåndtering, klimagassutslipp fra høyt elektrisitetsforbruk, og arealeffekter og energibruk i gruvedrift er eksempler på øvrige utfordringer ved jomfruelig stål.

Det endelige spuntproduktet er ikke 100 % gjenbrukt/oppuskalert stål. De spesifikke dataene oppgir at sveisetilsett utgjør 3 % av totalvekt. I tillegg utgjør innkjøpt spuntlås ca. 1-2 % av totalvekt. Om man antar at sveisetilsett og spuntlås består av jomfruelig materiale, er i realiteten ca. 95-96 vekt% av spuntproduktet gjenbrukt/oppuskalert, og resten jomfruelig. Dette er relevant for «SM»-indikatoren i EPD-systemet.

4.4 Forbehold

Resultatene er basert på foreløpige estimater fra prøveproduksjon, og med begrenset tid til å ettergå individuelle datapunkter i detalj. Det antas at det er et betydelig optimeringspotensial fra prøve-/pilotfasen som dataene har opprinnelse fra.

Sammenligning mot andre produkter er ikke verifisert, og er dermed kun veiledende. En eventuell fremtidig EPD-prosess vil kunne gi tall som er bedre egnet til sammenligning.

Som det står i ISO 14044: «En LCIA² skal ikke være eneste grunnlag for komparative utsagn som skal offentliggjøres om samlet miljømessig overlegenhet eller likeverd, siden ytterligere informasjon vil være nødvendig for å overkomme noen av begrensningene ved en LCIA. Verdivalg, utelukkning av informasjon om rom og tid, terskel- og dose-responsinformasjon, relativ framgangsmåte og variasjonen i nøyaktighet blant effektkategorier er eksempler på slike begrensninger. LCIA-resultater forutsier ikke påvirkning på

² «En LCIA» betyr i denne sammenhengen det samme som «LCA-resultater».

kategoriendepunkter, overskridelse av grenseverdier, sikkerhetsmarginer eller risikoer».

Etterlevelse av myndighetskrav for stålet og hvordan man går frem ved gjenbrukt materiale med hensyn til innholdsdeklarasjon etter blant annet REACH og Prioritetslisten i det norske EPD-systemet (jfr. også Resirqel-rapporten, Kilvær et al. 2019, s. 100) er ikke videre vurdert.

4.5 Sammenligning mot Resirqels tall

Resirqel ved Kilvær et al. (2019, s. 29) hevder at ombrukt stål generelt vil ha et klimagassutslipp på 0,24 kg CO₂-ekv per kg stål, dvs. 240 kg CO₂-ekv per tonn stål. For oppsirkulert spunt vurdert over ble det funnet 0,15 kg CO₂-ekv per kg stål, når transport til byggeplass, installasjon, bruksfase og avhendingsfase ikke er inkludert. Resirqel har videre systemgrenser enn i denne rapporten. De to tallene ser uansett noenlunde sammenlignbare ut.

4 Konklusjon

De foreløpige resultatene peker på en hovedkonklusjon om at oppsirkulering av marint stål til spunt har relativt lave klimagassutslipp i produksjonsprosessen.

Når det gjelder hotspots for forbedring, forbruker produksjonen relativt store mengder sand til sandblåsing, og oksygen til skjæring. Produksjon av oksygen og sand har et visst klimafotavtrykk. For sand vil dessuten klimagassutslipp avhenge av produksjonsmetode og den eventuelle steinråvarens egenskaper.

Frakt av disse råvarene til produksjonssted, og av sand til avhending, slår også ut i klimagassregnskapet. Det anbefales at dette optimaliseres.

Brukt sand med malings- og metallrester slår ut på indikatoren farlig avfall («HW» i EPD-systemet), og bør behandles forsiktig så deler av den ikke lekker ut til ytre miljø. Det er i modellen antatt at dette ikke forekommer. Den relativt store mengden sand som må deponeres er negativt for produktets totale sirkulærøkonomiske prestasjon. Alternativer til sandblåsing kan undersøkes videre, for eksempel vannrensing eller slyngrensing.

Spunt som aldri blir avhendet kan potensielt forårsake betydelige toksiske effekter i jord og vann grunnet korrosjon og gradvis utslipp av metallioner. Det har de siste tiårene vært en utvikling mot økt produsentansvar. Videre arbeid bør undersøke hvordan dette ansvaret best kan ivaretas i en bedrifts- og samfunnskontekst, og hvordan risikoen for betydelige fremtidige toksiske utslipp fra montert spunt kan elimineres. Eventuell spunt som ikke tas opp etter endt bruksfase vil også gå glipp av miljøfordel ved gjenbruk eller materialgjenvinning i slutten av livsløpet (modul D i EPD-systemet).

Det er en viss usikkerhet i opprinnelsessted og transportmiddelet til råvarene og tilsvarende endelig destinasjon og transport av avfallet, noe som gir en tilsvarende usikkerhet i resultatene for transport i prosjektet. Potensiell toksisk effekt av hel spunt som rustet i jorden er vurdert som usikker men betydelig, både på mennesker og økosystem. HMS, samt etterlevelse av standarder, lover og grenseverdier er ikke vurdert i prosjektet. Det understrekes også at LCA ikke gir eksakte resultater eller beslutningsgrunnlag, og at caset i dette prosjektet delvis er basert på estimerte data og bakgrunnsdatabaser.

Produksjon av spunt fra marint stål ser uansett ut til å kunne være positivt fra et klimamessig ståsted, imidlertid under den forutsetning at spuntene erstatter produkter i markedet som har et større miljøfotavtrykk. Det tas et forbehold i resultatene når det gjelder hvilke systemgrenser som skal gjelde i råvarefasen, da dekommisjonering av skip og plattformer er en kompleks prosess. Produksjon av relativt store mengder oksygen og sand, farlig avfall fra sandblåsing og potensielle utslipp av metallioner i bruksfase og ved ufullstendig avhending er mulige hotspots identifisert i prosjektet.

5 Forslag til videre forskning

Forslag til videre forskning og mulige tema i hovedprosjekt:

- Miljøeffektvurdering av utslipp fra spunt i bruksfase.
- Miljøeffektvurdering av utslipp fra spunt ved manglende avfallsbehandling: Hvordan sikre at spunt tas opp igjen?
- Mer spesifikk data på sveising. Prosjektet har basert seg på Ecoinvent-databasen for sveising, men det er også avdekket at databasens tall på sveising har visse mangler.
- Optimalisering av miljøeffekt, særlig med tanke på identifiserte hotspots.
- Vurdering og optimalisering av transportscenarier (modul A4 i EPD-systemet).
- Vurdering og optimalisering av installasjon, inkludert eventuelle tilsatser (modul A5 i EPD-systemet). Dette kan ses videre i sammenheng med scenarier for avhending og endelig resirkulering.
- Miljøvurdering av alternativer til sandblåsing, som vannrensing og slyngrensing.
- Miljøvurdering av robotsveising, som ikke ble nærmere ettergått i prosjektet.
- Systemgrenser i råvarefasen, mellom avfallshåndtering og produksjon av spunt, i ulike harmoniserte varianter av LCA.
- Design for reuse/recycling – hvordan tilrettelegge?
- LCA-resultater med fokus på flere miljøeffektkategorier.
- Mer kvalitetssikrede og praksisnære data og LCA-resultater.
- Svinn er ikke vurdert, og kan potensielt ha en viss effekt i alle livsløpsfasene. Det er ikke vurdert om svinn i livsløpet til oppsirkulert spunt avviker fra svinn som kan knyttes til spunt av annen opprinnelse. Dette kan undersøkes videre.

- Samarbeidsprosjekt mellom dekommisjonering og produksjonsteam der tilgjengelig og ny teknologi og utstyr/investeringsmuligheter ses i sammenheng med innspill fra klima og miljøhensyn i en integrert prosess for å optimalisere både økonomi og miljøfotavtrykk.

Referanser

AMAP (2021) AMAP Assessment 2021: Mercury in the Arctic. ISBN 978-82-7971-106-3. 324 sider. <https://www.amap.no/documents/doc/amap-assessment-2021-mercury-in-the-arctic-uncorrected-proofing-draft/3581> - besøkt 24.10.23

Bailey (2017) Chemical composition of steel. <https://www.baileymetalprocessing.com/techmatters/blog-category-1/2017/09/28/chemical-composition-of-steel> - besøkt 31.10.23

Bulle, C., et al. (2019) IMPACT World+: a globally regionalized life cycle impact assessment method. The International Journal of Life Cycle Assessment 24: 1653-1674. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01583-0>

Fazio, S., et al. (2018) Supporting information to the characterisation factors of recommended EF Life Cycle Impact Assessment method. JRC Technical Reports. Ispra: European Commission

IBU (2018) Environmental Product Declaration. EcoSheetPiles. ArcelorMittal. EPD-ARM-2018069-IBD1-EN.

ISO (2006-1) ISO 14025

ISO (2006-2) ISO 14040

ISO (2006-3) ISO 14044

ISO (2022) ISO 14020

Margo (2023) Alloying additives in steels. <https://www.margosp.com.pl/en/alloying-additives-in-steels/> - besøkt 24.10.23

Kilvær, L., et al. (2019) Forsvarlig ombruk av byggevarer. DiBK FoU-prosjekt 2019. Resirqel AS

Standard Norge (2012) NS-EN 15804:2012+A2:2019+AC:2021

Verones, F., et al. (2020) LC-IMPACT: A regionalized life cycle damage assessment method. Journal of Industrial Ecology 24(6): 1201-1219

Vestec (2023) Teknisk informasjon om sandblåsing.
<https://www.vestec.no/sandblasing/> - besøkt 23.10.2023

Wang, F., et al. (2016) Mercury mass flow in iron and steel production process and its implications for mercury emission control. Journal of Environmental Sciences 43: 293-301.
<https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.07.019>

Wernet, G., et al. (2016) The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. The International Journal of Life Cycle Assessment, 21: 1218–1230. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1087-8>

World Steel (2023) World Steel in Figures 2022.
<https://worldsteel.org/steel-topics/statistics/world-steel-in-figures-2022/#world-crude-steel-production-1950-to-2021> – besøkt 23.10.2023