

Ombruk av bærende konstruksjonsmaterialer

Material reuse of load-bearing components

Trondheim, mai 2023

Erik Hansen
Stian Frøysa

Intern veileder:
Erlend Andenæs

Ekstern veileder:
Ole Morten Skaret, Veidekke A/S

Prosjektnr:
2023 - 28

Rapporten er ÅPEN



Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk

Forord

Bacheloroppgaven er utformet i studieprogrammet for bygg og miljøteknikk for Norges tekniske-naturvitenskapelige universitet, med husbygningsteknikk som studieretning. Denne rapporten gjennomføres som en avslutning av bacheloren i faget BYGT2900.

Oppgaven er skrevet for Veidekke bygg Trondheim, med prosjektet Nordre Gate 12 i midtbyen Trondheim som utgangspunkt for oppgaven. Gruppen tok kontakt med Veidekke med forespørsel om å skrive den avsluttende oppgaven på et av deres prosjekt. Etter forespørsel fra Veidekke ble det valgt problemstilling innenfor sirkulærøkonomi i byggebransjen. Det har vært gitt stor frihet med tanke på utforming av oppgaven og det har derfor vært enkelt for gruppen å ta eierskap i prosjektet.

Det ønskes å rette en stor takk til ekstern veileder ved Veidekke Ole Morten Skaret, som har bistått med innspill og svart på forespørsler angående oppgaven. Videre ønskes det å takke intern veileder ved NTNU Erlend Andenæs, for å ha hjulpet til med praktiske og teoretiske spørsmål for oppsett og oppfølging til oppgaven.

Arbeidet med oppgaven har vært lærerikt med inspirerende samarbeid, og har som følge av dette gitt bedre kunnskap og interesse for bransjen.

Trondheim 22.mai 2023



Erik Hansen



Stian Frøysa

Sammendrag

I denne rapporten fokuseres det på betydningen av sirkulærøkonomi i byggebransjen og hvordan det kan bidra til å redusere klimagassutslippene. Denne bransjen er en av de største kildene til klimagassutslipp, særlig på grunn av utvinning, produksjon av materialer og det store uttaket av råstoff fra naturen. Ombruk av materialer og bygningskomponenter kan derfor være en viktig måte å redusere klimagassutslippene på, og samtidig minimere uttaket av råstoff fra naturen.

Rapporten tar utgangspunkt i et rehabiliteringsprosjekt som allerede har høyt fokus på ombruk av materialer, og skal oppfylle blant annet FutureBuilt-kravene om ombruk og ombrukbarhet. Dette krever at 50 % av vekten til bygget over bakken skal bestå av ombrukte eller ombrukbare komponenter (FutureBuilt, 2020). Studien baserer seg på ombruk av bærende konstruksjoner, og undersøker hvilke alternative løsninger som kan bedre klimagassutslippet.

Resultatene viser at ombruk av byggematerialer er svært gunstig for å redusere klimagassutslippene. Spesielt ombruk av stålkomponenter og hulldekke gir betydelige reduksjoner i CO₂-utslipp. Ved å ombruke 18 % av stålet i konstruksjonen vil prosjektet redusere utslippet med **9,7 tonn CO₂ eq**. Ombruk av hulldekke fremfor nytt massivtre vil redusere utslippene med **6,8 tonn CO₂ eq**.

Studien viser at sirkulærøkonomi kan ha betydelig innvirkning på klimagassutslippene i byggebransjen. Selv om kunnskapsnivået innenfor feltet må økes og de økonomiske barrierene må løses, kan man ut ifra resultatene i denne rapporten se et stort potensial for reduksjon av klimagassutslipp. Derfor kan ombruk av bærende konstruksjonsmaterialer være en viktig strategi for å nå de internasjonale klima- og bærekraftsmålene.

Summary

This report focuses on the importance of the circular economy in the building industry and how it can contribute to reduce greenhouse gas emissions. The industry is one of the main sources to greenhouse gas emissions, mainly due to the extraction, production of materials and the significant extraction of raw materials from nature. This is why reuse of materials and building components could be an important way to reduce greenhouse gas emissions, and at the same time minimize the extraction of raw materials.

The report is based on a rehabilitation project that already highly focuses on reusing materials to meet, among other things, the FutureBuilt requirements for reuse and recyclability. This requires that 50 % of the buildings weight above ground must consist of reused or recyclable components (FutureBuilt, 2020). This study focuses on the material reuse of load-bearing components and examines alternative solutions which can improve greenhouse gas emissions.

The results shows that reusing building materials is highly beneficial in reducing greenhouse gas emissions. In particular, the reuse of steel components and hollow core slabs provides significant reductions in CO₂ emissions. By reusing 18 % of the load-bearing steel components, the project will reduce CO₂ emissions **by 9.7 tons CO₂ eq.** By replacing the solid wood elements with reused hollow core slabs, emissions will drop **6.8 tons CO₂ eq.**

The study shows that the circular economy can affect greenhouse gas emissions in the building industry significantly. Even if the knowledge within reusing materials must improve and the economy barriers needs to be solved, these results show a great potential for reducing greenhouse gas emissions. This is why material reuse of load-bearing components, could be an essential strategy for achieving the international climate and sustainability goals.

Innholdsfortegnelse

| | |
|--|------------|
| Forord | i |
| Sammendrag | ii |
| Summary | iii |
| Forkortelser | vi |
| 1. Innledning | 1 |
| 1.1 Bakgrunn..... | 1 |
| 1.2 Problemdefinering..... | 2 |
| 1.3 Avgrensninger..... | 2 |
| 1.4 Prosjekt | 3 |
| 2. Teori | 4 |
| 2.1 Bruksmuligheter for gjenvinnende og ombrukte materialer..... | 4 |
| 2.1.1 Ombruk av stål..... | 6 |
| 2.1.2 Ombruk av tre | 8 |
| 2.1.3 Ombruk av betong..... | 10 |
| 2.1.4 Ombruk av isolasjon | 12 |
| 2.2 LCA (Livsløpsanalyse)..... | 14 |
| 2.2.1 Fastsetting av hensikt og omfang..... | 14 |
| 2.2.2 Livsløpsregnskapsfasen | 15 |
| 2.2.3 Livsløpseffektvurderingen | 15 |
| 2.2.4 Tolkningsfasen..... | 16 |
| 2.2.5 EPD..... | 16 |
| 2.3 Miljøsertifiseringssystem og innovasjonsprogram | 17 |
| 2.3.1 BREEAM-NOR | 17 |
| 2.3.2 FutureBuilt | 18 |
| 3. Metode | 20 |
| 3.1 Litteratur | 20 |
| 3.1.1 Kontaktlogg..... | 20 |
| 3.2 Programvarer..... | 21 |
| 3.3 Beregningsmetode..... | 21 |
| 3.3.1 Stålkonstruksjonsmengder | 21 |
| 3.3.2 Klimagassutslipp for stål..... | 22 |
| 3.3.3 Innhenting av stålpriser..... | 22 |
| 3.3.4 Ulike dekkeløsninger | 22 |
| 3.3.5 Mengder av massivtre- og hulldekker..... | 24 |
| 3.3.6 Klimagassutslipp for dekkene..... | 24 |
| 4. Resultat | 25 |
| 4.1 Stål | 25 |

| | |
|--|-----------|
| 4.1.1 Mengdelister | 25 |
| 4.1.2 Utslipp..... | 27 |
| 4.1.3 Kostnader | 27 |
| 4.2 Dekke | 28 |
| 4.2.1 Tekniske løsninger | 28 |
| 4.2.2 Mengdeliste..... | 29 |
| 4.2.3 Utslippstall for massivtredekke..... | 29 |
| 4.2.4 Utslippstall for ombrukt hulldekke | 30 |
| 4.3 Sammenligning | 30 |
| 4.3.1 Sammenligning av stålet | 30 |
| 4.3.2 Sammenligning av dekkeløsningene..... | 32 |
| 5. Diskusjon | 33 |
| 5.1 Forskning og utvikling..... | 33 |
| 5.2 Vurdering av studien..... | 34 |
| 6. Konklusjon | 35 |
| 7. Veien videre | 36 |
| Vedlegg..... | 37 |
| Referanser..... | 38 |

Forkortelser

| Forkortelser | Betydning |
|---------------------|---|
| BIM | Building information modeling. |
| BRE | Building Research Establishment. |
| CCA | Kobber, krom og arsen-salter. |
| CE-merking | Produktet anses å oppfylle krav fra myndighetene. |
| CLT | Massivtre/krysslaminert tre. |
| DIBK | Direktoratet for byggkvalitet. |
| DOK | Forskrift om dokumentasjon av byggevarer. |
| EPD | Environmental product declaration/Miljødeklarasjon. |
| EPI | Emulsjonspolymerisert isocyanat-lim. |
| Eq | Ekvivalenter. |
| GWP | Global warming potential (kg CO ₂ eq). |
| HD | Huldekke. |
| LCA | Livsløpsanalyse/livsløpsvurdering. |
| MUF lim | Melamin-urea-formaldehyd lim (varmebestandig lim). |
| NG12 | Nordre Gate 12. |
| NIBIO | Norsk institutt for bioøkonomi. |
| PCR | Product Category Rules. |
| PUR-lim | Polyurethane (reaktiv smeltelim). |
| PVAc | Polyvinylacetat (Trelim). |
| TEK17 | Byggeteknisk forskrift. |
| TIM | Transulente isolasjonsmaterialer. |

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

I Norges byggebransje er sirkulærøkonomi en sentral faktor for å redusere uttak av råvarer og for å oppnå en klimanøytral bransje innen 2030. Hele 40 % av Europas materialforbruk går til bygging, og alle materialer er utvunnet fra naturen (Linnås, 2021). Samtidig øker de tekniske kravene til byggene, som fører til økt materialbehov og gjør det mer utfordrende å bruke materialer om igjen. Derfor blir det viktig å finne løsninger for å redusere uthenting av nye materialer og heller benytte fornybare alternativer.

Endringene i Byggevareforeskriften fra 1. juli 2022 innebærer at det ikke lenger er krav om å resertifisere ombrukte byggematerialer i Norge, men man må dokumentere at materialet oppfyller tekniske krav i henhold til TEK 17 (DIBK, 2021). En utfordring med å utvikle systemer for ombruk av materialer er å skaffe riktig dokumentasjon, og det er en kostbar prosess å demontere og lagre brukte ressurser slik at de kan ombrukes. Derfor kreves det et høyt samarbeidsnivå mellom bedrifter og institutter med kompetanse på tekniske kravene.

Fokuset økes stadig på å bruke ombrukbare materialer og å finne utslippstall for bygningsdeler og -komponenter i byggebransjen. Byggeforskriften TEK 17 krever at bygninger som blir oppført skal ha minimum levetid på 50 år (Byggteknisk forskrift TEK 17, 2021). Noen materialer har mye lengre levetid enn dette, og det er derfor fordelaktig å lage monteringsløsninger for enkel demontering av komponenter.

SINTEF har gjennomført studier innenfor området ombruk, hvor de ser nærmere på metoder, muligheter og utfordringer knyttet til ombruk av konstruksjonsmaterialer. De største utfordringene med å ombruke materialer er kostnadene, da det vanligvis vil være billigere å kjøpe nytt materiale enn å bruke gammelt materiale. I tillegg er det enklere å kjøpe nytt materiale fordi man slipper å mellomlagre, flytte og demontere materialer forsiktig for å ombruke dem (Sandberg & Kvellheim, 2021).

Denne studien tar utgangspunkt i et rehabiliteringsprosjekt med Veidekke, der ombruk står i fokus. Videre vil denne rapporten gå nærmere inn på hvordan ombruk av bærende

konstruksjoner kan utnyttes. På grunn av dette er det viktig å se på konsekvensene av konstruksjonsvalgene Veidekke har gjort for utslipp av CO₂, kostnad og arbeidsmengde.

1.2 Problemdefinering

Formålet med denne rapporten er å undersøke problemene knyttet til bruken av ombruksmaterialer i byggebransjen i dag, samt gjennom et casestudie belyse hvor stor klimapåvirkning dette kan ha for et prosjekt. Byggebransjen representerer en betydelig andel av materialforbruket i samfunnet, og det er derfor et stort potensial for å redusere miljøbelastningen ved å øke ombruket av materialer. I samarbeid med Veidekke Bygg Trondheim undersøker denne rapporten hvordan man kan innføre ombruk av konstruksjonsmaterialer i et av deres byggeprosjekt på en teknisk forsvarlig måte, samtidig som kvaliteten og sikkerheten til byggene opprettholdes.

Ombruk i byggebransjen er en forholdsvis ny problemstilling, likevel er det gjort noen studier på hvilke byggematerialer som har potensial for dette (Grønn Byggallianse, 2021). Videre er det gjennomført studier på anbefalinger ved ombruk av byggematerialer av SINTEF (Sandberg & Kvellheim, 2021). I bransjen i dag er det flere nye og gamle firma, som jobber med å utvikle programvarer og bedre system for de problematiske områdene rundt dette. Loopfront og Resiquel jobber aktivt med å finne, lagre og videreformidle brukte ressurser, som vil ligge inne i en database (Kilvær et al., 2019) (Loopfront, 2023). Gruppens oppfatning er at ombruk blir en viktig del av framtiden til bransjen, samtidig som de fleste studiene konkluderer med at ombruk nesten alltid er mer kostbart enn å kjøpe nytt. Det skal derfor i denne rapporten svares på følgende forskningsspørsmål:

Hvilke alternative løsninger for bærende konstruksjoner kan bedre klimagassutslippet, og hva er utfordringene med disse?

1.3 Avgrensninger

Etttersom prosjektet i NG12 (Nordre gate 12) allerede er langt fremme på ombruksdelen av inventar og «lettere» byggematerialer, er det i denne studien satt søkelys på tyngre konstruksjonsmaterialer som stål, tre og betong. For å få en overkommelig arbeidsmengde i faget, samt sette seg dypere inn i enkelte materialer er det gjort avgrensninger ved å bare se på 7.

og 8. etg. Videre er valgt å ikke gå inn i beregninger av ny stålkonstruksjon som følge av større egenlast ved bruk av HD (hulldekke) i betong. Dette fordi en slik beregning vil være svært omfattende og derfor tatt for stor del av rapportens innhold.

Ettersom at ombruksmulighetene til isolasjon er minimale, grunnet problematikk rundt konstruksjonssikkerhet ble det ikke sett nærmere på dette. Det er heller ikke utført LCA i prosjektet eller ombruksmuligheter for trekomponenter, for å spare tid og begrense omfanget av rapporten.

1.4 Prosjekt

Utgangspunktet for rapporten er et rehabiliteringsprosjekt i Trondheim sentrum, med EC Dahls Eiendom som byggherre og Veidekke som entreprenør. Byggetrinn 1 ble ferdigstilt i 1956 og byggetrinn 2 ble ferdigstilt i 1961 (HUS arkitekter, 2023). Bygningen skal bli oppgradert med søkelys på ombruk av materialer og bygningskomponenter. Den eksisterende betongkonstruksjonen vil bli beholdt som den bærende konstruksjonen i bygningen. Figur 1 er en illustrasjon av hvordan prosjektet skal bli til slutt. På bildet er det vist den nye 7- og 8 etg. som skal bli til et nytt friområde i byen.



Figur 1: Referansebygg, Nordre gate 12 (HUS arkitekter, 2023).

Prosjektet har som mål å oppnå BREEAM-Nor sertifisering, og for å oppnå dette er det nødvendig å fokusere på ombruk av byggematerialer. Dette er en praksis som skal være en driver for nyteknisk i bygging for miljø og økt bærekraft (Grønn Byggeallianse, 2021). Videre skal FutureBuilt kriteriesett for sirkulærebygg oppfylles, som innebærer at 50 % av byggets totalvekt over bakken skal være ombrukt, og 10 % av tilførte byggevarer skal være ombrukt eller ombrukbare (FutureBuilt, 2022).

Kort oppsummert kan det sies at rehabiliteringsprosjektet i Trondheim sentrum vil være et eksempel på hvordan bærekraftige prinsipper og ombruk av materialer kan brukes i byggebransjen. Prosjektet vil ikke bare være mer miljøvennlig, men det vil også bidra til å bevare historiske og kulturelle verdier i bygningen.

2. Teori

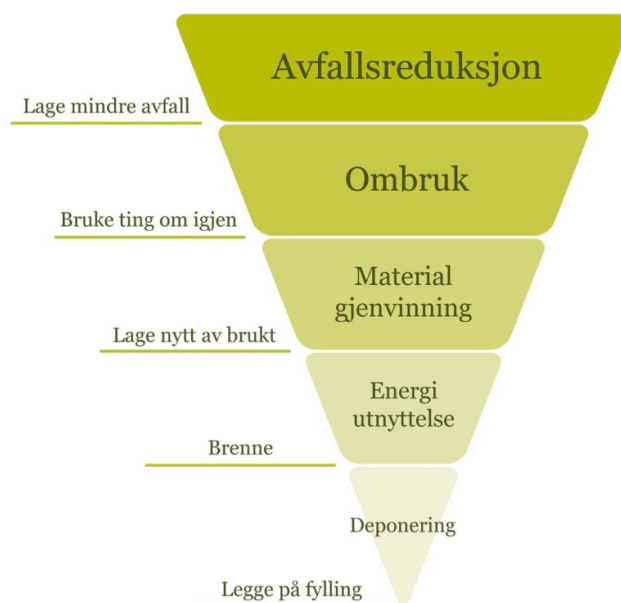
2.1 Bruksmuligheter for gjenvinnende og ombrukte materialer

Begrepet ombruk i denne sammenhengen betyr at materialer eller produkter brukes på nytt til samme formål som opprinnelig, uten at det må bearbeides i større grad. Vanlige eksempler på dette er stålbeiler, teglmurstein, vinduer og dører. Gjenvinning brukes ofte som en samlebetegnelse for materialgjenvinning og utnyttelse av energi. Avfall som omdannes til nye produkter, for eksempel plastmaterialer som smeltes om til plastpellets og deretter brukes til å lage nye plastprodukter, kalles materialgjenvinning. Dette er kjent som resirkulering. Gjenbruk kan ofte bli brukt litt upresist om ombruk, energiutnyttelse og materialgjenvinning (Miljødirektoratet, 2022). Gjenbruk og ombruk er to forskjellige ord med samme betydning, men det er viktig presisere at gjenvinning ikke er det samme.

Ombruk er en svært energi- og ressursbesparende måte å utnytte avfall på. Dette er derfor et sentralt element i de forskjellige strategiene innen sirkulærøkonomi i tråd med FNs bærekraftsmål nr 12; sikre bærekraftige forbruks- og produksjonsmønstre (Rosvold, 2023). Ombruk er høyt prioritert i avfallshierarkiet, også kalt avfallspyramiden, som er en figur som illustrerer prioriteringene i norsk avfallspolitikk og EUs direktive rammer for avfall. Ombruk står som trinn to i pyramiden og er derfor den nest «grønneste» og ønskelige måten å behandle avfall på.

Figur 2, illustrerer de fem ulike nivåene for hvordan avfall skal håndteres:

- *Avfallsreduksjon*: Redusere avfall og sikre at veksten i avfallsmengdene er mindre enn den økonomiske veksten.
- *Ombruk*: Bruke ting om igjen i stedet for å kaste. Reparere, miljømerke og finne bruksområder for brukte ting for å forlenge levetiden dens.
- *Materialgjenvinning*: gjenvinne avfall slik at ulike materialer kan brukes som råvarer i produksjon av nye produkt.
- *Energiutnyttelse*: Å brenne avfall, for så bruke varmen til å for eksempel skape varmtvann og strøm.
- *Deponering*: Å gi avfall en forsvarlig sluttbehandling. Deponier var lenge den vanligste måten å behandle avfall på. Nå er det derimot forbud mot deponering av nedbrytbart avfall i Norge. Avfall som har høyt innhold av tungmetaller og dermed ikke bør gjenvinnes av miljøårsaker, legges i deponi for farlig avfall. Da sikrer man at miljøgifter blir tatt hånd om på en sikker måte, og ikke skader mennesker og natur. (LOOP, 2022)



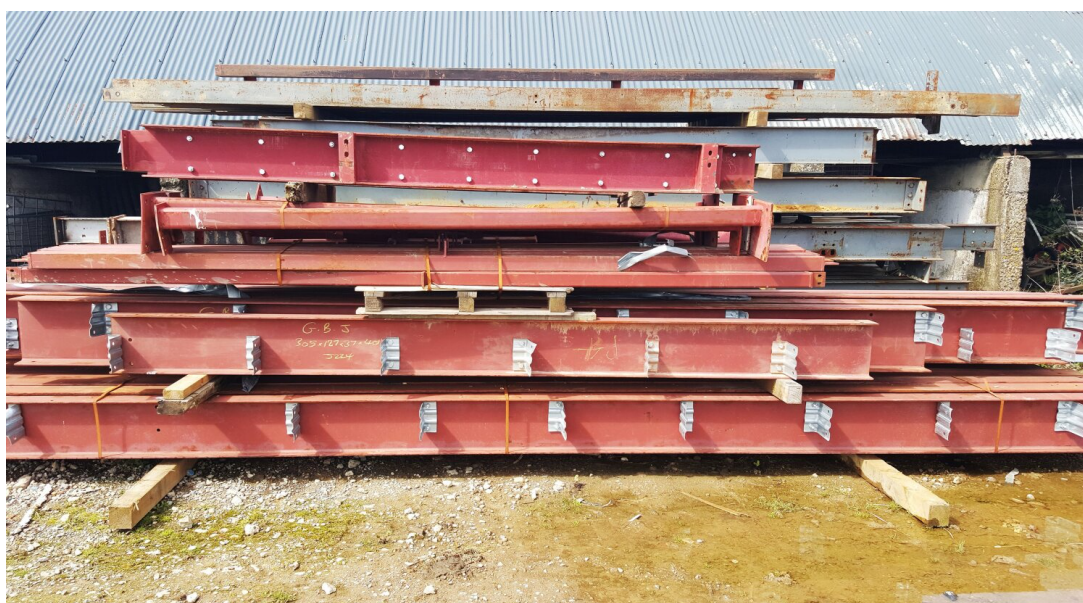
Figur 2: Avfallshierarkiet (LOOP, 2022).

For å øke interessen og ønsket om å ombruke materialer kan intensiver til ombruk være en av løsningene. Regjeringen ga ut en nasjonal strategi for sirkulærøkonomi våren 2021, der det fremmes et konkret mål om at 70 % av bygg- og anleggsavfallet skal forberedes for ombruk

eller materialgjenvinning. Regjeringen ønsker også å legge til rette for økt ombruk ved å vurdere endringer i nasjonale krav (Sandberg & Kvellheim, 2021). Endringer ble gjennomført da byggevareforskriften ble endret 1. juli 2022. Der ble det bestemt at det ikke stilles krav lenger til dokumentasjon ved omsetting (salg eller gi bort) av brukte byggematerialer. Det vil si at det er ingen krav til at ombrukte materialer skal sertifiseres eller godkjennes. Dette er noe som vil gjøre det enklere for entreprenører å ombruke materialer i prosjekter. Det som ofte likevel er utfordringen, er at gjenbrukte materialer skal på samme måte som nye materialer ha egenskaper som er tilstrekkelig for at bygningen oppfyller de tekniske kravene i TEK17 (Byggteknisk forskrift TEK 17, 2021). Det er denne dokumentasjonen som kan bli kostbar å få gjennomført for entreprenørene (Forskrift om dokumentasjon av byggevarer (DOK), 2022).

2.1.1 Ombruk av stål

Stål er et av materialene som er mye brukt i byggebransjen og dermed veldig interessant når det kommer til ombruk. Det å kunne ombruke lastbærende stålkomponenter ses på som «lavthengende frukt» når det kommer til materialombruk. I Nord-Europa er stålbransjen i ferd med å utvikle prosedyrer og systemer for ombruk av bærende stålkonstruksjoner, men det viser seg å være en gjenganger at det mangler praktiske eksempler på gjennomførte prosjekter, selv om at problemstillingen rundt CE-merking blir ansett som løst gjennom regelverkene som gjelder (Kilvær et al., 2019). Figur 3 viser mellomlagrede stålbejler som kan egne seg godt til ombruk.



Figur 3: Stabilede stålbejler (DOGA, 2023).

Det er også en rekke andre stål/metallkomponenter som er egnet for ombruk enn bare lastbærende stålkonstruksjoner. Komponenter som rekkverk, dørvidere, trapper, beslag og hengsler er produkter som fint kan ombrukes dersom de er lette å demontere og fri for skader. I en takkonstruksjon er det mest bølgeblekkplater, stålbjelker, rør, stålprofiler, kabelkanaler, beslag o.l. som er mest interessant. En annen produktgruppe som viser seg å ha stort potensial for ombruk er ventilasjonskanaler av forsinket stål. (Sørnes et al., 2014)

Bearbeiding av ombrukt stål, dvs. kapping, sveising, oppretting av lange produkt, rustfjerning, overflatebehandling (galvanisering, maling osv.), hulltaking og lignende, bør foregå på verksted. Dette er alle operasjoner som endrer vesentlige egenskaper på produktet, og krever derfor teknisk godkjenning etter TEK 17, illustrert i figur 4 (DIBK, 2022). Tidligere- og ny bruk av stålkomponenter vil avgjøre hvilke bearbeidinger som vil være nødvendig. Dersom en stålbjelke skal brukes til nøyaktig samme bruk, der spennet er det samme, bjelken ikke har deformasjoner som krever oppretting, overflatebehandlingen ikke innehar miljøskadelige stoffer, er intakt, møter brann- og designkrav i nybygg og er skrudd fast og ikke sveiset, trengs det ingen bearbeiding (Kilvær et al., 2019). Det må likevel dokumenteres for at komponentene innehar de tekniske egenskapene som kreves i TEK 17 (DIBK, 2022).



Figur 4: CE-merkede stålbjelker (Rådgivende ingeniørers forening, 2014).

For nytt stål som er produsert fra malm er det tilknyttet et utslipp på ca. 2,8 kg CO₂ eq/kg stål. Stål som er laget bare på nedsmeltet, gjenvunnet stål, er det beregnede utslippet på omtrentlig

1,35 kg CO₂ eq/kg stål. Med disse tallene er produksjon, fabrikasjon, montering og rivning, inklusiv transporter tatt i betraktning. Til sammenligning vil ombrukt stål ha et utslipp på ca. 0,24 kg CO₂ eq/kg stål. Hvis man sammenligner dette med resirkulert stål, er det en reduksjon på ca. 82 %. Sammenligner man med malmbasert stål vil det være en reduksjon på rundt 91 %. Stålbygg består som oftest av en blanding av malmbasert og gjenvunnet konstruksjonsstål, men dette vil avhenge av stålverk. (Kilvær et al., 2019)

Den store utslippsforskjellen gjør stål til et attraktivt ombruksmaterial, noe som har resultert i at flere bedrifter har begynt å se på hvordan det kan ombrukes i praksis. Etter regelendringen 1. juli 2022 er det ikke lenger krav om resertifisering av konstruksjonsstål. Selv om det fortsatt må inn til teknisk godkjenning for dokumentasjon i henhold til TEK 17, er det enklere å ombruke stål i dag.

2.1.2 Ombruk av tre

Til forskjell fra eksempelvis USA, blir trevirke ombrukt i liten grad i Norge i dag. «The reclaimed lumber industry» har helt siden 1980-tallet vært en sentral bransjeaktør, der flere amerikanske firmaer har spesialisert seg på å selge trevirke fra større bygg, til bruk i konstruksjon og innredning i kommersielle og private bygninger (Sørnes et al., 2014). Her har Norge mye å lære, da dette viser at ombruk av trevirke er fullt gjennomførbart. Ombruk er normalt sett mulig for alle typer trevirke og trefiberprodukter, og siden trevirke ofte utgjør omtrent 30-40 % av samlet avfall ved rivning og nybygging, bør muligheten for ombruk av materialet utforskes nærmere. I figur 5 er det illustrert hvor mye avfall tre kan utgjøre (Sørnes et al., 2014).



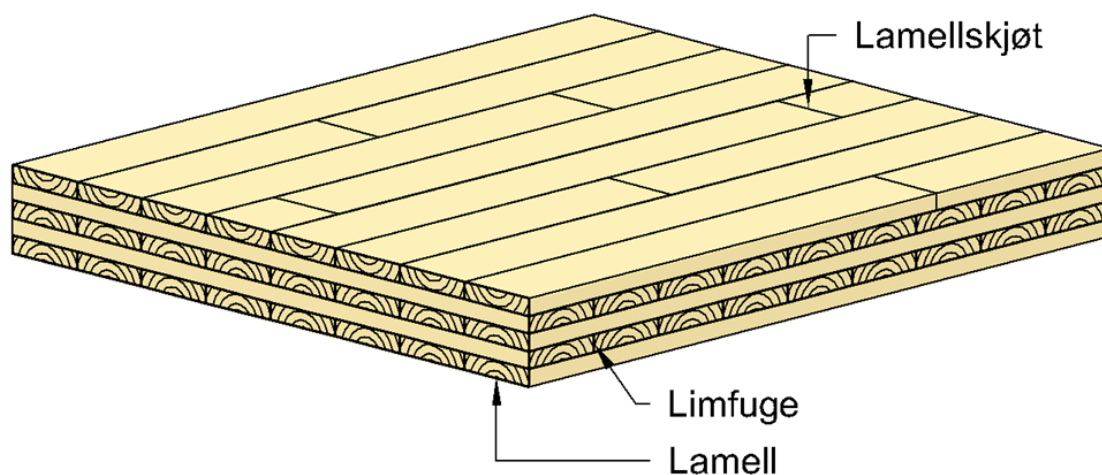
Figur 5: Treavfall (NIBIO, 2019).

Den største interessen for trevirke til ombruk er stemplede, hele lengder der det foreligger merking eller på annen måte dokumentert fasthet på bygningsdelene. Dette vil vanligvis være produkter som takstoler, bjelker, tømmerammer, massivtre-elementer, stendere, søyler, dragere av limtre osv. Kryssfinerplater og andre trefiberplater som er intakt og fortsatt har gode egenskaper og form kan også være gode til ombruk. Foruten om avstivede og bærende konstruksjoner kan innvendig og utvendig kledning også brukes på nytt, som utgjør store arealer på konstruksjoner. Videre kan dører, vinduer, karmer, innredninger og overflateplater være produkter som er enkle å demontere for bruk i andre konstruksjoner. God merking og system ved montering kan være en av de viktige løsningene for at det skal la seg gjøre å raskt demontere konstruksjonen, for så skille de forskjellige bygningsdelene som kan bli levert til lager for ombruk eller direkte i nytt byggeprosjekt. (Sørnes et al., 2014)

En av de større utfordringene for å få fart på ombruket av tre, er at det nærmest alltid er mer kostnadseffektivt å kjøpe nytt treverk fremfor å ombruke fra rivningsobjekter. Det må også tas hensyn til hvordan treproduktene er blitt behandlet og hva de er blitt utsatt for gjennom levetiden før treet kan vurderes som ombrukbart. Spørsmålene man kan stille seg er om den funksjonelle kvaliteten er forringet av fukt eller annen ødeleggelse. Er det forringelse av den strukturelle kvaliteten? Er trevirket CCA- eller kreosotimpregnert og dermed regnet som farlig avfall, eller er den estetiske kvaliteten ødelagt av festemidler, hakk, maling eller hull? Hvis noen av disse spørsmålene er tilfelle, vil ombruk være en dårlig løsning og materialet bør heller gjenvinnes. (Sørnes et al., 2014)

I Norge er det økende produksjon av massivtreelementer. Dette er kompakte elementer som bygges opp av bord eller annet konstruksjonsvirke. Disse limes, spikres, skrues eller bindes sammen med tredybler (mer miljøvennlig), se figur 6. Limet som brukes er vanligvis MUF-lim (melamin-urea-formaldehyd), men det brukes også PUR (polyuretan), PVAC (polyvinylacetat) og EPI (emulsjonspolymerisert isocyanat). Massivtre kan benyttes i bæresystemer, vegger, dekker og tak, og med en knutepunktløsning som gjør det enkelt å montere/demontere, kan det være interessant å se på hvordan denne typen tre-element kan ombrukes. Råmaterialene er fornybare, og det fins rikelig av det (Grønn Byggallianse, 2021). Selv om det finnes nok skog å ta av, bør det stilles krav til sertifisert trevirke fra en bærekraftig skogdrift. Massivtre blir for det meste gjenvunnet slik som vanlig treavfall. Ca. 90 % av retrurtreet i Norge går direkte til forbrenning. Når trematerialene forbrennes til energigjenvinning, vil treet slippe ut CO₂ innholdet treet har lagret. Ved å ombruke i stedet for å gjenvinne, vil materialet holde på

karbonet lengre. Forlengt levetid gir dermed økt lagring av karbon, noe som er positivt for miljøet og klimaet (Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO), 2019).



Figur 6: Krysslaminert massivtre (SINTEF, 2020).

Når det kommer til CO₂-utslippet for tre, vil det ved ombruk gi en positiv gevinst siden tre lagrer på karbon. Hvis man ser på prosjektnivå, vil ombruk kunne gi en reduksjon per tonn med 94 %. Disse tallene er basert på antakelsen at man kun får klimagassutslipp fra transport og noe prosessering ved ombruk (prosessering for ombruk er antatt 5 % av produksjonsutslippet, samt ved ombruk er transport antatt 25 km). Det er ikke inkludert separat resultat for lagring av biologisk karbon i trevirke på prosjektnivå, men tas dette hensyn til vil reduksjonspotensialet øke. (Kilvær et al., 2019)

2.1.3 Ombruk av betong

Betong er et av verdens mest anvendte byggemateriale og står for om lag 8 % av klimautslippene på verdensbasis (Kvellheim, 2020). utfordringen med betong er at når den først er produsert og herdet, er det ikke mulig å nytte den på samme måte slik som stål blir smeltet om igjen. De tekniske egenskapene gjør at betong ofte kan ha svært lang levetid uten at kvaliteten avtar, noe som fører til at ombruksfaktoren til betong er høy (Hagen et al., 2021). Problemet er at den ofte blir plass-støpt, noe som fører til vanskeligheter for ombruk. Det er fordi den er spesialtilpasset konstruksjonen og kostnaden av å demontere, flytte, tilpasse og montere på nytt blir så høy at kostnaden ofte trumfer miljøgevinsten. Som vist i figur 7 er det per dags dato mest vanlig å skille ut stålet fra betongen, knuse den, for så å bruke dette til

fyllmasse. Det gjør at det blir mindre transport av fyllmasse til byggeplassen ettersom den kan knuses der den er. Mulighetene for ombruk av betong er derfor mest aktuell i form av prefabrikkerte betongelementer.



Figur 7: Betong knuses (Biørnstad, 2016).

Det har vært gjennomført prosjekter der det har vist seg at demontering av prefabrikkerte betongelementer er mulig (SINTEF, 2005). Her spiller vekt en stor rolle på hvor gunstig det er å ombruke slike elementer, der relativ lav volumvekt er mest tilrettelagt med tanke på demontering og transport. Et annet alternativ er ombruk av betongbaserte bygg, der eksisterende betong blir ombrukt slik det står i sin helhet. I et slikt tilfelle kan den eksisterende betongen brukes som den er til nytt bygg, enten som bærende konstruksjon eller andre formål (Sørnes et al., 2014).

Prefabrikkerte betongelement, lik figur 8, kan skaffes i mange forskjellige former. Det kan lages søyler, bjelker, veggelementer, dekker, hulldekker, svalgang, balkonger, kai-elementer og mye mer. Mulighetene for å gjenbruke betong er derfor absolutt gjennomførbart, og med god planlegging og prosjektering av nybygg, kan det tilrettelegges for at betongen som benyttes skal bli ombrukt i fremtiden. Det har lenge vært mangel på norske standarder som kan brukes som retningslinjer for ombruk av betong, men i februar 2022 kom standarden NS 3682. NS 3682 er norsk standard for hulldekker av betong til ombruk, og angir de krav som stilles for verifisering av ytelser. Dette dokumentet ble bygget på erfaringer og sjekklister delt av Skanska

Norge og deres arbeid med Oslo Storbylegevakt (Standard Norge, 2023). Det er foreløpig ingen andre norske standarder for ombruk av betong.



Figur 8: Hulldekke i betong (Loe Betongelementer AS, 2023).

Potensialet for å ombruke betong er stort. Betong og tegl danner den største avfallsfraksjonen i bygge- og anleggsektoren. Her står også produksjonen av sement for store CO₂-utslipp. Ved å sørge for å ombruke bygningselementer eller hele betongkonstruksjoner, vil mindre betongmasser gå til deponier, og det vil dermed brukes mindre energi og materialer for ny produksjon (Sørnes et al., 2014). En av de mest klimavennlige betongtypene har et CO₂ utslipp på 210-250 kg CO₂ eq/m³ og er til sammenligning ca. 50 % større en utslippet til massivtre (Hagen et al., 2021).

2.1.4 Ombruk av isolasjon

Ombruksfaktoren til isolasjon er særlig lav da det er et skjørt materiale, og det har store konsekvenser om produktet ikke overholder de tekniske kravene eller på noen måte blir skadet eller fuktig, lik figur 9. Ifølge grønn materialguide har steinull og trykkfast isolasjon høyest mulighet for materialgjenvinning (Hagen et al., 2021). Noen translucente isolasjonsmaterialer har lang levetid og kan være mulig å ombruke. TIM (transulente isolasjonsmaterialer) er en gjennomskinnelig isolasjon. Noen eksempler på disse er aerogel, cellulose og isolerende polykarbonat plater (kanalplast). Noen av disse materialene må kombineres med glass for bygningsmessig bruk. Siden den gjennomskinnelige isolasjonen slipper inn lys, brukes denne ofte der det er behov for naturlig lys, men samtidig gode termiske egenskaper. Skumglass er også en isolasjonstype som er egnet for ombruk. Dette materialet har ubegrenset levetid, og består av nytt eller gjenvunnet glass som smeltes og skummes til en homogen porestruktur som gir god isolerende effekt. Isolasjonen lages i kuleform og i blokkform, der kuleformisolasjonen brukes i byggegropen under veier, vann og avløp, mens i blokkform kan brukes som

trykkfastisolasjon, for eksempel i kompakttak. Skumglass i kuleform produseres i Norge og i Europa, men i plateform produseres det kun utenfor Norden. En ombruksisolasjon vil være med på å minske ressursbruken, da det ikke brukes opp nye ressurser (Grønn Byggallianse, 2021).



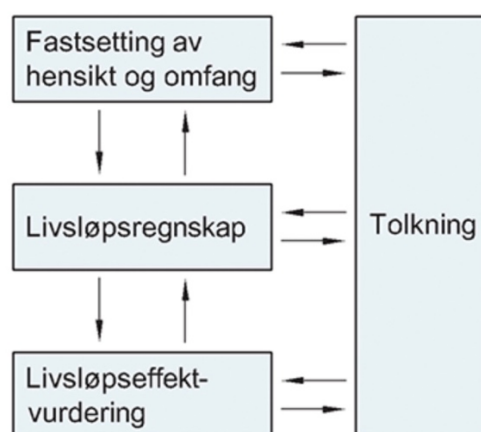
Figur 9: Fuktskadet isolasjon (Byggebolig, 2021)

Isolasjonsmaterialer kan ha flere forskjellige bruksformål. Noen isolasjonsprodukter inneholder helse- og miljøfarlige stoffer og må derfor behandles deretter. Disse kan i verste fall være ubruktar for ombruk. På grunn av de mange utfordringene med ombruk av isolasjon, er det først og fremst gjenvinning av isolasjonsmaterialene som er mest relevant per dags dato. Det er flere avfallsaktører som jobber med produsenter for å finne løsninger som kan redusere deponi (Kilvær et al., 2019). Ifølge Rockwool sine nettsider, tilbyr de nå å returnere gammel steinull til materialgjenvinning. Deres nye ordning for resirkulering, Rockcycle, er en av deres globale strategier for bærekraft og frontes i Norden og EU. Denne ordningen skal sørge for at steinullen kan smeltes om og om igjen og resirkuleres mange ganger, uten å miste den gode kvaliteten og ytelseegenskapene som isolasjonen hadde opprinnelig (ROCKWOOL, 2023). Glava fokuserer også på gjenvinning, da de påstår at deres glassull lages med 60 til 80 % resirkulert glass (Glavagruppen, 2023).

2.2 LCA (Livsløpsanalyse)

LCA er en metode man bruker for å kunne beregne miljøbelastningen til et produkt eller tjeneste gjennom hele sitt livsløp. Med livsløp menes alt fra råvareutvinning, produksjon og transport, til bruksfase og avhending. Typiske beregninger er «vugge til (fabrikk)port» eller «vugge til grav», som ofte brukes som benevnelse for delvis eller hele utregninger av livsløpet. Det kan beregnes flere miljøbelastningskategorier i en LCA, der global oppvarming, forsuring, toksisitet, overgjødning og nedbrytning av ozonlaget er noen av dem (Multiconsult, 2023). En livsløpsanalyse tar ikke utgangspunkt i bare selve materialet i et produkt eller produktsystem, men undersøker alle materialer og energikilder som brukes til transport, produksjon og vedlikehold, som deretter vurderes.

Ved å gjennomføre livsløpsvurderingen av et produkt vil man få informasjon om hvilke miljøproblemer som er de mest vesentlige, og hvor disse oppstår. Resultatene brukes til produktutvikling, utforming av politikk eller miljøvennlig innkjøp, for eksempel ved valg av produkter eller systemer for håndtering av avfall. En livsløpsanalyse består av fire faser, vist i figur 10: Fastsetting av hensikt og omfang, livsløpsregnskapsfasen, livsløpseffektvurderingsfasen og tolkningsfasen (SINTEF Byggforsk, 2014).



Figur 10: Faser i en livsløpsvurdering (SINTEF Byggforsk, 2014).

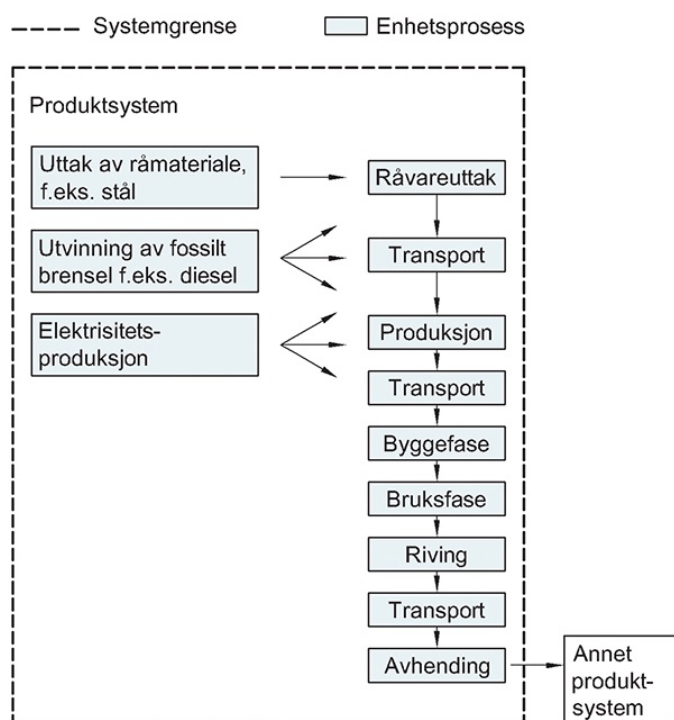
2.2.1 Fastsetting av hensikt og omfang

For å gjennomføre en LCA fastsettes først den tiltenkte bruken av studiet, deretter den tiltenkte målgruppen. Hensikten kan være å utarbeide en miljødeklarasjon (EPD, mer om det senere i

rapporten), eller sammenligne analyser mellom ulike produkter eller løsninger. Omfanget av en livsløpsvurdering skal fastsette produktsystem, systemgrenser og funksjonell enhet. Dette kan for eksempel være å se på en byggevare, eller en bygnings miljøbelastning fra vugge til grav. (SINTEF Byggforsk, 2014)

2.2.2 Livsløpsregnskapsfasen

Fasen utbredt i figur 11 dreier seg om innsamling av hvor mye materialer og energi som går med til produksjonen. Her samles det også inn avfalls- og utslippsmengde under produksjon. Alle data som inngår i produktsystemet innsamles for hver enhetsprosess. Enhetsprosessen kan representere en enkelt arbeidsoperasjon, eller en hel industriprosess. (SINTEF Byggforsk, 2014)



Figur 11: Produktsystem for en LCA av en byggevare (SINTEF Byggforsk, 2014).

2.2.3 Livsløpseffektvurderingen

Ved livsløpseffektvurderingen som er den tredje fasen, er hensikten å synliggjøre mulige miljømessige konsekvenser med forbruk av energi, materialer og ulike utslipp. Her brukes dataene fra livsløpsregnskapsfasen, og forbruket regnes om til utslipp. Utslipp og ressursforbruk tilordnes en eller flere effektkategorier. Så omregner karakteriseringsfaktoren utslippet til en felles faktor for hver enkelt effektkategori (for eksempel CO₂-ekvivalenter).

Effektvurderingen resulterer i en sum av miljøpåvirkningene for alle enhetsprosessene i et produktsystem, og summeres innenfor hver effektkategori. (SINTEF Byggforsk, 2014)

2.2.4 Tolkningsfasen

Den siste fasen dreier seg om å tolke resultatene fra livsløpsregnskapsfasen og livsløpseffektvurderingen. Det lages så et sammendrag, der resultatene ses på i sammenheng med hensikten med studiet. Her vil man trekke konklusjoner, gi anbefalinger og forklare begrensinger, for så å rapportere resultatene. (SINTEF Byggforsk, 2014)

2.2.5 EPD

For å utrykke resultatene som presenterer produktets miljøegenskaper på en standardisert måte, lages det gjerne en EPD (Environmental Product Declaration), også kalt miljødeklarasjon. Dette er spesielt etterspurt i byggebransjen som et grunnlag for innkjøpskriterier, men som også i stadig økende grad etterspørres i andre næringer. For utvikling av bærekraftige produkter og tjenester er livløpsvurderinger helt sentrale, og utgjør et viktig kunnskapsgrunnlag for næring og samfunnsutvikling der det stilles krav til miljø- og ressursforbedringer (NORSUS, 2023). En miljødeklarasjon skal dokumentere miljøegenskapene til et produkt, og gjør det mulig å sammenligne to produkter i samme produktkategori etter samme PCR (Product Category Rules) (SINTEF Byggforsk, 2014).

Det finnes en rekke standarder som skal sørge for at livløpsvurderinger gjøres på riktig måte. Relevante LCA-standarder for byggevarer og bygninger er angitt i byggforskblad 470.101, se tabell 1.

Tabell 1: Relevante standarder for livløpsvurderinger av byggevarer og bygninger (SINTEF Byggforsk, 2014).

| Type standard | Navn |
|---|--|
| Generelle standarder for livløpsvurderinger (LCA) | NS-EN ISO 14040 NS-EN ISO 14044 |
| Standarder for miljødeklarasjoner (EPD) | NS-EN 15804 (produktkategoriregler for byggevarer) NS-EN 15942 (format for miljødeklarasjoner) NS-EN ISO 14025 (miljødeklarasjoner, generell) ISO 21930 (miljødeklarasjoner for byggevarer) |
| Standard for bygningers miljøpåvirkning | NS-EN 15643-2 (rammeverk for vurdering av miljøprestasjon) NS-EN 15978 (beregningsmetode for bygningers miljøpåvirkning) |

NS-EN 15804 og NS 15978 utdyper og baserer seg på de generelle standardene for livsløpsvurderinger og NS-EN ISO 14025. Disse standardene gir rom for tolkning, og for byggevarer brukes PCR som utdypende metodiske dokumenter. Det foreligger ikke slike dokumenter for hele bygninger eller større konstruksjoner per i dag, noe som gjør at resultatene vil være avhengig av at det tas metodiske valg i analysene (SINTEF Byggforsk, 2014).

2.3 Miljøsertifiseringssystem og innovasjonsprogram

2.3.1 BREEAM-NOR

BREEAM-NOR er Norges fremste og mest brukte miljøsertifiseringssystem for nybygg og større rehabiliteringsprosjekt. BREEAM-NOR er en norsk tilpasning av BREEAM, og er sertifiseringsordninger som forvaltes av BRE (Building Research Establishment) i Storbritannia. Bærekraft blir mer og mer sentralt i byggeprosjekter, og som byggherre eller utvikler må mulighetene utforskes. Byggeprosjekter vil bli målt på disse faktorene, både med tanke på finansiering, mulige kjøpere eller leietakere. Ved å bygge etter sertifiseringsordningene fra BREEAM-NOR, viser dette at prosjektet har kvaliteter ut over minstekravene til byggeforskriftene, og har tatt hensyn til verdier som samfunnet er opptatt av. Målene for BREEAM-NOR er å gjenspeile gjeldende «beste praksis» i Norge og være en driver for planlegging og bygging på en nytenkende måte, samt være en driver for miljø og økt bærekraft. Utviklingsprosessen skal sikre bred forankring og engasjement, og nasjonale tilpasninger skal gjennomarbeides godt. (Grønn Byggallianse, 2023)

Sertifiseringen man kan oppnå i et bygg har fem ulike nivåer. Disse nivåene er Pass, Good, Very Good, Excellent og Outstanding, se tabell 2. BREEAM-NOR skal sikre at alle de viktigste aspektene ved bærekraft er tatt hensyn til for å få en slik sertifisering, der forskjellige nivå kan oppnås ved å skaffe seg BREEAM-NOR-poeng. Kategoriene dette innebærer er ledelse, energi, helse- og innemiljø, transport, vann, materialer, avfall, arealbruk og økologi og til slutt forurensning. Alle kategoriene har forskjellige kriterier eller tiltak som kan gjøres for å redusere miljøpåvirkningen fra bygget. Det er også forskjellig vektning på de forskjellige kategoriene, der i hovedsak material- og arealbruk og økologi er høyst vektet i prosent. Vektingen varierer med tanke på om det er innredet, uinnredet eller råbygg som skal klassifiseres. Flere tiltak som gjennomføres, gir prosjektet flere poeng og derav høyere sertifiseringsnivå. Det er ikke mulig å snakke seg til poeng. Det er bare der prosjektet kan

dokumentere for at kriteriene er innfridd, at BREEAM-poeng kan tildeles. (Grønn Byggallianse, 2023)

I prosjektet på NG12 har Veidekke satt seg som mål å innfri det høyeste nivået på BREEAM-NOR skalaen, BREEAM-NOR Outstanding. For at bygningen skal få denne sertifiseringen, kreves en poengsum på over eller lik 85 %, se tabell 2 fra (Grønn byggallianse, 2022).

Tabell 2: Klassifiseringsnivåer for BREEAM-NOR (Grønn byggallianse, 2022).

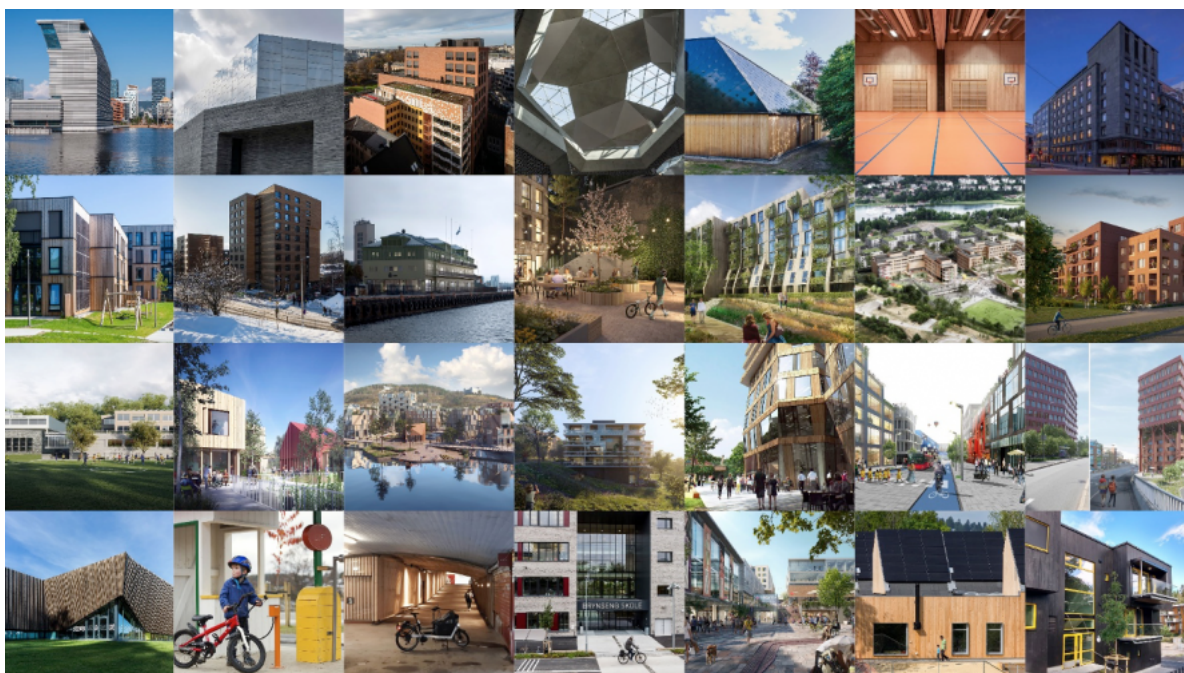
| BREEAM-klassifisering | Poengsum i % |
|-----------------------|--------------|
| OUTSTANDING | ≥ 85 |
| EXCELLENT | ≥ 70 |
| VERY GOOD | ≥ 55 |
| GOOD | ≥ 45 |
| PASS | ≥ 30 |
| UKLASSIFISERT | < 30 |

I tillegg til kategoriene nevnt tidligere, kan man også skaffe seg «innovasjonspoeng». Ett av BREEAM-NOR sine mål er å fremme innovasjon i byggebransjen. Derfor gis det ekstrapoeng dersom det forekommer bærekraftsrelaterte fordeler eller ytelsesnivåer som for øyeblikket ikke blir anerkjent av standardemnene i BREEAM-NOR. Disse poengene kan tildeles på to måter. Det ene er «mønstergyldig nivå». Dette vil si at kriteriene for mønstergyldig nivå er oppfylt i et eksisterende emne, og at prosjektet overgår de satte standardkriteriene og dermed beste praksis. Det er vel og merke ikke alle emnene som har slike kriterier. Den andre måten er «innovasjon». For å få poeng her, må revisoren levere inn en søknad til Grønn Byggallianse om å få en bygningsteknologi, prosjekterings- eller byggemetode eller prosess anerkjent som «innovativ». Hvis denne søknaden innvilges og det bekreftes at bygget oppfyller kravene, kan det tildeles innovasjonspoeng. (Grønn byggallianse, 2022)

2.3.2 FutureBuilt

I tillegg til å innføre BREEAM-NOR Outstanding, skal prosjektet i NG12 også innføre kriteriene i innovasjonsprogrammet FutureBuilt. Dette er et utstillingsvindu for byggenæringens mest ambisiøse aktører. Med sin visjon, vil de vise at det er mulig å lage «den bærekraftige og attraktive nullutslippsbyen». De har som mål å realisere 100 forbildeprosjekter, der noen av dem er vist i figur 12. Dette er både byområder og enkeltbygg, som skal

overoppfylle FNs bærekraftsmål, Parismålene og alltid kutte klimagassutslipp med minst 50 % i forhold til vanlig praksis (FutureBuilt, 2023).



Figur 12: Forbildeprosjekt i FutureBuilt (FutureBuilt, 2023).

FutureBuilt har utviklet en rekke nye kriterier som dekker et stort spekter av temaer, og angir et ambisjonsnivå som ligger godt i forkant av dagens praksis. Dette er en veiviser mot et bærekraftig og inkluderende lavutslippssamfunn. Blant de temaene disse kriteriene omfatter er klima og energi, sirkulære bygg og bydeler, sosial bærekraft, naturmangfold og klimatilpasning, grønn mobilitet, kvalitet i bymiljø og arkitektur og urban klimainnovasjon. Fra 2010 til 2022 har FutureBuilt vært med på å realisere 71 forbildeprosjekter. Disse har vært under kategoriene barnehager og skoler, kulturbygg, boligprosjekter, kontorbygg, idrettsanlegg, byområder og transport- og sykkelanlegg. Disse forbildeprosjektene skal gjenspeile byens og byggevirksomhetens bredde av programmer og prosjekttyper. Dette omfatter nybygg, områder og enkeltbygg, samt rehabilitering og transformasjon (FutureBuilt, 2023). Målene som er nedfelt i prosjektets kvalitetsprogram og aktuelle FutureBuilt kvalitetskriterier, skal dokumenteres oppfylt og leveres ved følgende milepæler: Ved tidspunkt for den politiske behandlingen av planen (bare for områdeprosjekt), ved tidspunkt for rammesøknad/avslutning av forprosjektet (som prosjektet), ved ferdigstilling av bygget og to år etter ferdigstilling (altså i drift) (FutureBuilt, 2022).

3. Metode

I oppgaven er det brukt litteraturstudier, BIM-verktøy samtidig som det er gjort beregninger for å framstille resultatene i rapporten på en oversiktlig måte. I metode vil det bli gjennomgått hvordan og hvorfor ting har blitt gjort. Dette for å gi et innblikk i hvordan gruppen har jobbet med oppgaven.

3.1 Litteratur

Som søkemotor for rapporten er det brukt ordinært nettsøk, rapporter fra næringen og datasider som SINTEF Byggforsk og DIBK. Gruppen har også fått tilgang til deler av Veidekkes SharePoint-mappe, som har blitt brukt til informasjonsinnhenting av tegninger og ombruksbibliotek til prosjektet. Denne tilgangen har gitt gruppen mulighet til å beregne klimagassutslipp og finne ombruksmaterialer som kan erstattes med det som er planlagt fra før, samt gjøre vurderinger på bakgrunn av dette.

Deler av informasjonen i rapporten er hentet fra ulike aktører i bransjen, der gruppen har hentet inn informasjon gjennom e-post og møter. For eksempel er noen av CO2 utslippstallene hentet fra aktører som jobber med salg av produktene. Disse kildene vil da bli ansett som subjektive ettersom de kan ha kommersielle grunner for å fremme deres produkt. Likevel er det valgt å bruke disse tallene i rapporten da de enkelt kan vurderes opp mot objektive kilder. Metoder for ombruk av bærende konstruksjoner er lite utbredt, og det har derfor vært tidkrevende og utfordrende å finne god informasjon. Det er viktig med et bevisst forhold til kildekritikk, noe som har vært vesentlig i et relativt lite utvalg av litteratur.

3.1.1 Kontaktlogg

Denne rapporten bygger mye på enkeltpersoner og kontakter som er opprettet i løpet av prosessen. Derfor er det valgt å sette opp en kontaktlogg, se vedlegg 6. Listen vil inneholde navn på vedkommende som gruppen har vært i kontakt med, samt hvilken rolle den har hatt i prosjektet og til slutt en liten oppsummering av hva som har kommet ut av kontaktene.

3.2 Programvarer

I prosjektet er det brukt flere forskjellige programvarer for å framstille informasjon, samt hente ut informasjon fra tegninger som Veidekke har gitt oss tilgang til. Programmene som er brukt er Solibri, Archicad og Excel.

Archicad har blitt brukt som visualisering tidlig i prosjektet for å få en forståelse for hvordan bygget er sammensatt, og hvilke endringer som er mulige å gjøre. Etter valget om å endre dekkene, ble nye tekniske løsninger framstilt i Archicad. Dette er gjort for å vise endringen til konstruksjonen etter byttet dekke.

I Veidekkes Sharepoint var det flere tegninger vi fikk tilgang til, deriblant en sammensatt Solibri-fil. Disse tegningene ble i hovedsak brukt til mengdeuttak for å finne areal, volum og antall på ulike deler av konstruksjonen. Måten dette ble hentet ut på var å sortere det i oversiktlige mengder, for så å justere tabellene slik at de ønskelige verdiene ble med. Videre ble tabellene overført til Excel og bearbeidet derfra.

For framstilling i rapporten har Excel vært et viktig verktøy, da alle tabellene og diagrammene til prosjektet er produsert der. Etter å ha hentet ut tabeller fra Solibri inn i Excel, brukes programmet til å utforme, endre og gjøre nødvendige kalkuleringer. Det ble utformet et Gantt-diagram til forprosjektet, men etter større endringer i oppgaven ble det lite hensiktsmessig å bruke diagrammet som en fremdriftsplan. Gruppen har også brukt programmet til å lage en timeliste som viser en oversikt over totalt antall brukte timer og merknader på hva som er gjort og når.

3.3 Beregningsmetode

I oppstartsfasen til prosjektet var det spesielt viktig å lese tidligere studier på temaet for å hente inn relevant informasjon, samt skaffe seg overblikk. Ettersom det er viktig å forstå problematikken rundt ombruk, må man vite hvilke hindre som står i veien for at bransjen skal kunne bruke flere ressurser om igjen.

3.3.1 Stålkonstruksjonsmengder

Gruppen startet en prosess med å kontakte mange forskjellige stålleverandører. Dette for å se om noen hadde bjelker eller søyler av stål til ombruk. Det viste det seg at Norsk Stål hadde

ombruksstål liggende inne til godkjenning i Horten. Ved å sammenligne materialisten fra prosjektet, se vedlegg 2, med listen som ble tilsendt på ombruksstål, fant gruppen flere bjelker som potensielt kunne byttes ut. Det ble sammenlignet typer, lengder og vekt av bjelkene for å se hva som kunne brukes til prosjektet.

3.3.2 Klimagassutslipp for stål

For å finne reelle tall som kunne brukes til framstilling av resultatene ble det brukt en ombrukfaktor på 0,24 kg CO₂/kg stål og en gjenvunnet faktor på 1,35 kg CO₂/kg stål (Kilvær et al., 2019). Videre var faktoren for nytt stål 2,2 kg CO₂/kg stål. Disse tallene ble hentet fra Trondheim Stål og regnet direkte til NG12.

3.3.3 Innhenting av stålpriser

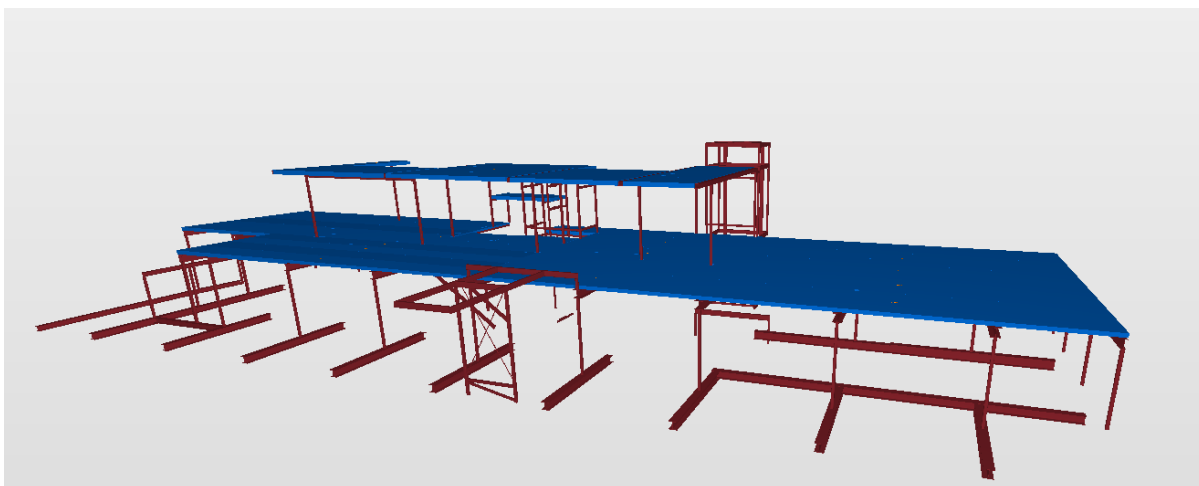
I flere studier er det funnet ut at ombruk av materialer nesten alltid vil være mere kostbart enn å kjøpe nytt (Kilvær et al., 2019) (Sandberg & Kvellheim, 2021) (Nordby & Bugge, 2018). Grunnen til dette er merkostnader som demontering, ekstra frakt, mellomlagring og at komponentene må kunne dokumenteres for at de oppfyller de tekniske kravene til TEK 17. Derfor må produktet inn til testing hos produsent for å sikre at egenskapene overholder alle krav. For å framstille kostnadene er det gjennomført utregninger som viser prisene for stålet til den bærende konstruksjonen både med og uten ombrukt stål. Senere i rapporten vil sammenligningen fortelle hvor mye det koster per sparte tonn CO₂ eq.

Prisene på ferskt og ombrukt stål har gruppen fått hos Norsk Stål via kontakt på e-post. Priser på stål er i stadig endring og kan variere for forskjellige leverandører. Tallene i rapporten er hentet den 02.05.2023. Videre blir disse prisene brukt til å regne ut ekstrakostnader for det ombrukte stålet. Ifølge Norsk Stål er prisen på ombrukt stål rundt 50 % mer enn nytt stål. Dette er kostnader som følge av demontering og dokumentering. Transportkostnader fra Horten til Trondheim er tatt med i beregningene, der det er tatt utgangspunkt i Norsk Stål sin frakttabell (Norsk Stål, 2023). Transportens vekt og avstand tilsvarer en pris valgt ut fra sone 8 i tabellen. Det resterende stålet har relativ liten frakt, da leverandøren har lager i Trondheim.

3.3.4 Ulike dekkelsesninger

Bærekonstruksjonen av nybygget består i hovedsak av tre og stål, se figur 13. Det er derfor lagt ekstra vekt på mulighetene for å ombruke produkt av denne kvaliteten, samtidig som det har blitt sett på andre løsninger for konstruksjonen. Etter nærmere undersøkelse over hva som er

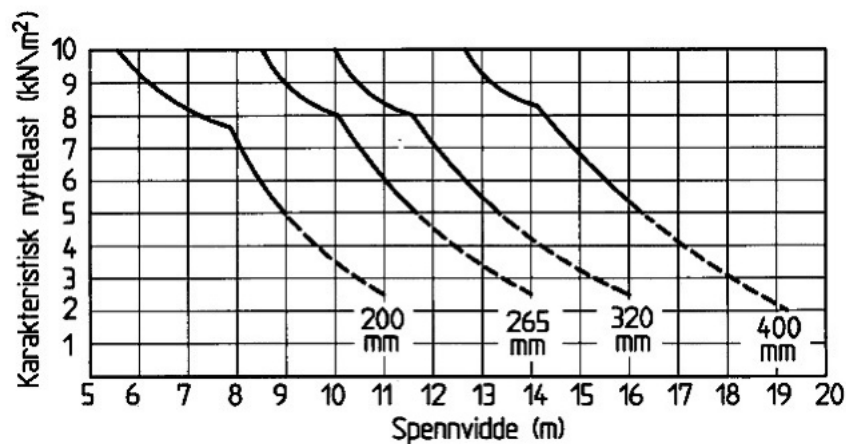
hensiktsmessig og mulig med tanke på ombruk i dag, er det også valgt å se på bruk av hulldekke i betong fremfor massivtre. I henhold til reguleringsplanen viser det seg at bruk av HD kan føre til problemer med totalhøyden til bygningen. Likevel er det så gode muligheter for å redusere klimagassutslippet med ombruk av hulldekke, at det er valgt å se nærmere på denne løsningen.



Figur 13: Illustrasjon av bærende konstruksjon, hentet fra Veidekke sine tegninger.

Det er flere grunner til at å sammenligne HD og CLT direkte kan være misvisende. Ettersom det er stor forskjell på materialenes konstruksjonsegenskaper, vil bæresystemene for dekkene være ulike. Hovedproblemet rundt å sammenligne dekkene er vektforskjellen, da det viser seg at et HD er 3 ganger tyngre enn tilsvarende i CLT i dette prosjektet. Alt dette vil være med på å endre utseende på bærekonstruksjonen for dekket, og ettersom konstruksjonen vil være unik vil utslippstallene potensielt også bli svært ulike.

Dimensjonen til HD er hentet fra figur 14 (SINTEF Byggforsk, 1996). Dette er for å finne et standard hulldekke som kan brukes som erstatning til massivtre. Maksimalt spenn i stålkonstruksjonen er 6,2 meter, som fører til at betongdekket blir 200 mm da dette er nærmeste standard.



Figur 14: Spennvidde for hulldekke (SINTEF Byggforsk, 1996).

3.3.5 Mengder av massivtre- og hulldekker

For å kunne sammenligne forskjellen mellom mengdene på de ulike dekkene, er det valgt å lage en mengdeliste som framstilling av dette. Tabellen vil også bli brukt til å beregne differansen på vektene og det totale CO₂-utslippet til dekkene. Til slutt er også den ulike høyden til dekkene vist i tabellen og framstilt visuelt som tegning.

3.3.6 Klimagassutslipp for dekkene

Hensikten med å finne utslippet på trekonstruksjonen var for å kunne avgjøre konsekvensene dette har opp mot å bruke et ombrukt hulldekke. Dekket dimensjoneres for samme spennvidde og nyttelast. Dette gjør at man til slutt kan sammenligne utslippene.

Etttersom det er et lite utbredt marked å jobbe med ombrukt hulldekke i Norge, er det ikke funnet ombrukte hulldekker som kan brukes til dette prosjektet. For å finne nøyaktige tall på hvor mye CO₂ som slippes ut ved frakt av hulldekkene, er man avhengig av å vite hvor de ombrukte dekkene hentes fra. Siden det ikke ble funnet hulldekker som kunne bli brukt til prosjektet NG12, er det hentet miljøpåvirkningstall fra Spenncon hulldekke miljø fra EPD-Norge (Spenncon AS, 2021). For å finne et utslippstall for ombrukt HD i betong, som vist i tabell 3 er det valgt å fjerne bidrag fra A1 og A2 (råmaterialer og transport til fabrikk), da disse ikke vil være relevant for et ombrukt produkt. Verdien A3 (tilvirkning) er en litt usikker faktor ved ombruk, da det vil bli noe tilvirkning. Det er derfor valgt å ta med hele A3-verdien for å regne på høyeste utslippsverdi. A4 og A5 (transport og montasje) vil bli relativ lik som ved nytt materiale, men transportdistansen bør settes lik reell transportdistanse for nøyaktige beregninger.

Tabell 3: Systemgrenser EPD hulldekke.

| Systemgrenser | GWP [kg CO2-eq] |
|---|-----------------|
| A1 Råmaterialer | 91,40 |
| A2 Transport | 2,01 |
| A3 Tilvirkning | 2,25 |
| A4 Transport | 4,36 |
| A5 Konstruksjons/installasjonsfase | 14,10 |
| SUM | 20,71 |

Siden det ikke funnet en reell distanse, ble de valgt å sette denne lik som i EPDen, 50 km på lastebil med henger, EURO 5 (Spenncon AS, 2021). Det antas at hulldekket er ferdig demontert fra tidligere bygg, og ligger ferdig teknisk godkjent hos leverandør. Derfor er utslipp for prosessene ved demontering, transport, mellomlagring og teknisk godkjenning tilhørende dette ikke tatt med i beregningene. Det understrekes at disse utslippstallene bør medfølge for nøyaktige resultat, og må tilpasses hvert enkelt prosjekt etter relevans.

4. Resultat

I resultatdelen fremstilles utslipp ved ombruk for ulike konstruksjonsmaterialer. Her redegjøres muligheten ved å bruke om deler av den bærende stålkonstruksjonen, samt hvilke kostnader dette medfører. Videre har gruppen gjennomført en sammenligning av ombrukt hulldekke og massivtre med tanke på utslipp i kg CO₂ eq.

4.1 Stål

4.1.1 Mengdelister

Den bærende stålkonstruksjonen har en total mengde på rundt 28,8 tonn og tilsvarer 595,2 lengdemeter med stål. Dette er framstilt i tabell 4. Inkludert i beregningene er søyler og bjelker som er nye i konstruksjonen.

Tabell 4: Mengdeliste stål, hentet fra vedlegg 3.

| Etasje | Lengde [m] | Vekt [kg] |
|----------------|--------------|----------------|
| 7. etg | | |
| Stålbjelker | 104,9 | 7981,1 |
| Stålsøyler | 47,6 | 1109,4 |
| 8. etg | | |
| Stålbjelker | 165,0 | 11840,6 |
| Stålsøyler | 97,3 | 2256,8 |
| Takplan | | |
| Stålbjelker | 90,6 | 3808,0 |
| Stålsøyler | 89,9 | 1880,8 |
| Totalt | 595,2 | 28876,7 |

Gjennom å sammenligne materialistene ble det stadfestet at 18 % av stålet kunne byttes ut til dette ombruksstålet. I tabell 5 ser man at det bare var bjelker som kunne byttes ut. De fleste av kvalitet HEA 300, som utgjør store deler av konstruksjonsstålet i 7 etg. Produktet som kommer fra Norsk Stål er teknisk godkjent, er ubehandla og innehar de samme kvalitetene for stål som om det hadde vært nytt. Totalt kan man bytte ut 5,2 tonn stål fra konstruksjonen.

Tabell 5: Utbyttbare stålbjelker i prosjektet.

| Utbyttbare bjelker NG12 | | | Ombrukte bjelker fra Norsk stål | | | | | |
|-------------------------|---------------|----------------|---------------------------------|---------|----------|------|------------|---------------|
| 7.etg | Lengde [m] | Vekt [kg] | Varenr. | Produkt | Kvalitet | Dim1 | Lengde [m] | REST lgd |
| HEA 300 | 4,621 | 406,63 | AA01 | HEA | S355J2 | 300 | 7,880 | 3,259 |
| HEA 300 | 4,621 | 406,63 | AA02 | HEA | S355J2 | 300 | 7,780 | 3,159 |
| HEA 300 | 4,621 | 406,63 | AA03 | HEA | S355J2 | 300 | 7,700 | 3,079 |
| HEA 300 | 4,845 | 426,36 | AA04 | HEA | S355J2 | 300 | 7,050 | 2,205 |
| HEA 300 | 4,845 | 426,36 | AA05 | HEA | S355J2 | 300 | 7,000 | 2,155 |
| HEA 300 | 4,845 | 426,36 | AA06 | HEA | S355J2 | 300 | 5,870 | 1,025 |
| HEA 300 | 4,845 | 426,36 | AA07 | HEA | S355J2 | 300 | 5,770 | 0,925 |
| HEA 300 | 4,845 | 426,36 | AA09 | HEA | S355J2 | 300 | 5,680 | 0,835 |
| HEA 300 | 6,280 | 552,64 | AA10 | HEA | S355J2 | 300 | 6,750 | 0,470 |
| HEA 300 | 6,390 | 562,32 | AA12 | HEA | S355J2 | 300 | 6,500 | 0,110 |
| 8.etg | | | | | | | | |
| HEA 320 | 8,390 | 738,32 | | HEA | S355J2 | 320 | 9,840 | 1,450 |
| Sum | 59,147 | 5204,96 | | | | | | 18,673 |

4.1.2 Utslipp

Det er i tabell 6 beregnet hvor mye CO₂ som slippes ut av nytt og ombrukt stål. Dette er gjort ved å multiplisere vekten av de utbyttbare bjelkene med utslippsfaktoren. Ettersom faktoren for ombrukt stål er godt under 1, blir utslippet betraktelig mindre enn for nytt med over 2 i utslippsfaktor. Med i beregningene til ombrukt stål, er det lagt til 531 kg CO₂ eq, som utgjør utslippet til frakten.

Tabell 6: Utslipp for ulike stålkonstruksjon.

| Utslipp nytt- og ombrukt stål | | |
|--|-----------------|----------------|
| Ombrukt stål [kg] | 5204,96 | |
| | Nytt stål | Ombrukt stål |
| Utslippsfaktor [kg CO ₂ eq/kg stål] | 2,20 | 0,24 |
| Utslipp [kg CO ₂ eq] | 11472,91 | 1780,19 |

4.1.3 Kostnader

I tabell 7 vises kostnadene til hele 7. og 8. etasje for ferskt stål, slik det er planlagt i prosjektet. Prisen for stålet ble gitt fra leverandør i kr per kg, hvor gruppen har regnet ut kostnadene med stålmengdene tatt ut fra modellen Solibri.

Tabell 7: Pris for nytt stål.

| Pris ferskt stål | | | |
|-------------------------------------|-----------|-------|------------------|
| Materiale | Vekt [kg] | Kr/kg | Pris [kr] |
| Ferskt stål (pris med frakt) | 28876,70 | 14,00 | 404273,80 |

Prisene for stålet der deler av den bærende konstruksjonen til dekket er byttet ut med ombrukt stål, vises i tabell 8. Videre ser man at fraktprisen utgjør nesten 10 % av prisen for ombrukt stål.

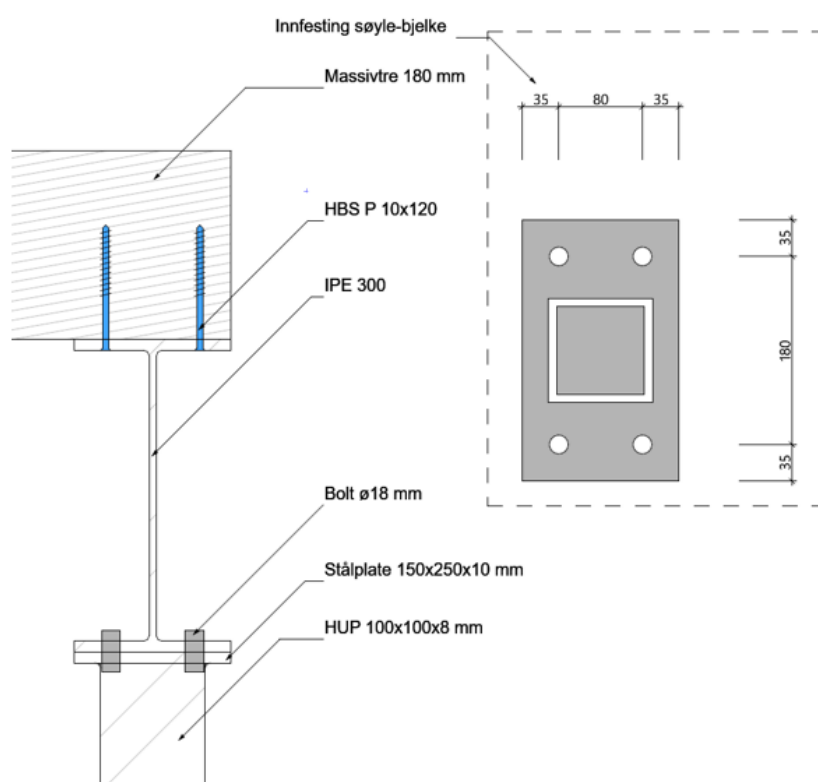
Tabell 8: Pris ombrukt stål.

| Pris med ombrukt stål | | | |
|-------------------------------------|-----------------|-------|------------------|
| Materiale | Vekt [kg] | Kr/kg | Pris [kr] |
| Ferskt stål (pris med frakt) | 23671,70 | 14,00 | 331403,80 |
| Ombrukt-stål | 5205,00 | 21,00 | 109305,00 |
| Frakt ombrukt-stål | 5205 | 2,07 | 10774,35 |
| Sum | 28876,70 | | 451483,15 |

4.2 Dekke

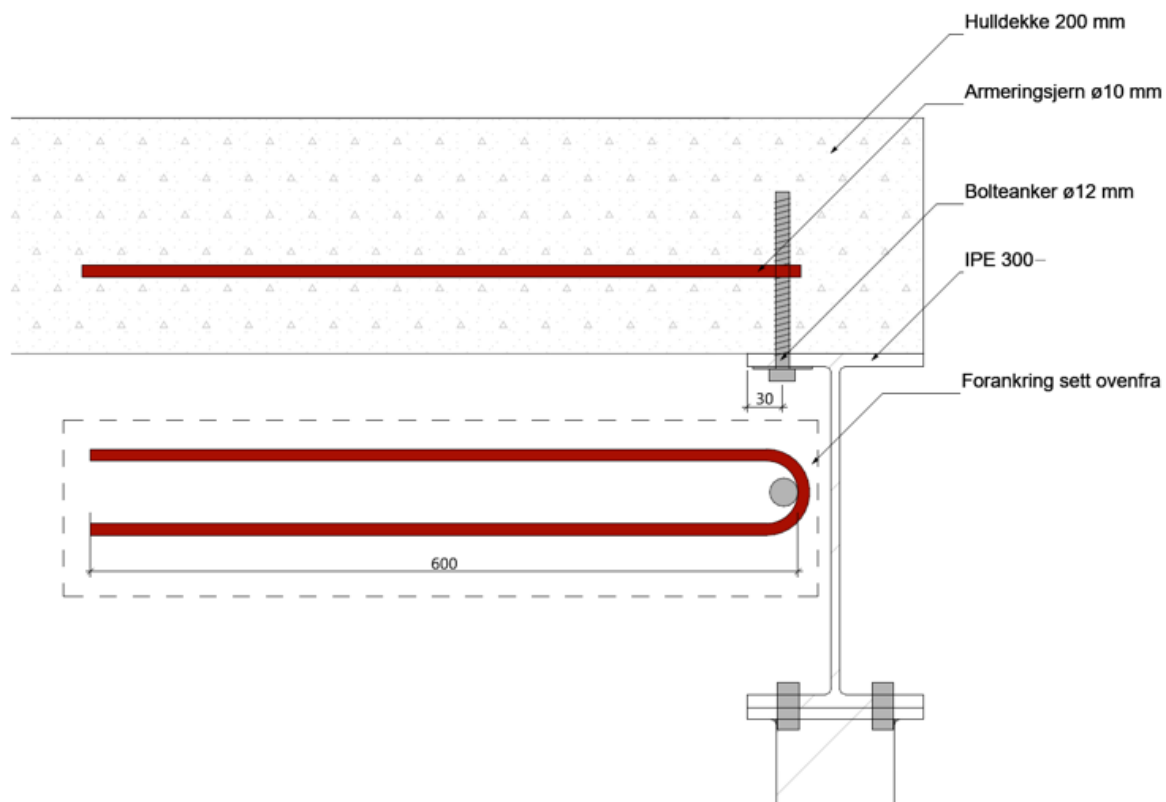
4.2.1 Tekniske løsninger

I figur 15 er det illustrert hvilken innfestningsløsning det er valgt til prosjektet. Både hvordan de skal feste inn CLT-elementet og hvordan feste mellom bjelke til søyle blir gjort. Det som er viktig å ta i betraktning er at ved innfestning bjelke-søyle er det valgt å sveise en plate i søylen, for å bolte disse sammen. Dette begrunner Veidekke med at det enkelt kan demonteres slik at det øker ombruksmuligheten til materialet for framtiden. Det samme gjelder demonteringen av CLT-elementet, da det er valgt å bruke skruer som innfestning mot stålbjelken.



Figur 15: Tegning av innfesting massivtre. Tegningen er basert på Veidekke sin detaljtegning.

Når det gjelder innfestningen for hulldekke er dette en detalj som er tatt utgangspunkt i fra «Hulldekker på bæresystemer av stål», en rapport av Betongelementforeningen og Norsk Stål (Reiersen et al., 2008). Figur 16 viser snittet av et betongelement der det skal være fugemørtel for å holde elementene på plass. Bolten og armeringsjernet vil da bli støpt fast i elementene. Dette er en detalj som gjør det vanskeligere å demontere HD ved ombruk i framtiden. Gruppen antar at innfestningen av bjelken til søylen ikke blir endret, som følge av at HD blir vesentlig tyngre enn massivtreelementene.



Figur 16: Tegning av innfestningsdetalj til hulldekke (Reiersen et al., 2008).

4.2.2 Mengdeliste

Tabell 9 viser arealet, høyden og det totale volumet av dekkene i 7. og 8. etasje. Disse tallene er blitt brukt i beregningene til klimagassutslippene massivtredekket utgjør. I teorien kan hulldekke i betong ha en god del mindre høyde enn dekke av massivtre, men siden HD 200 er den minste hulldekketypen på markedet, ble det tatt denne som utgangspunkt.

Tabell 9: Mengdeliste for massivtre og hulldekke.

| Komponent | Areal [m ²] | Høyde [m] | Volum [m ³] |
|-----------|-------------------------|-----------|-------------------------|
| Massivtre | 611,49 | 0,18 | 110,07 |
| Hulldekke | 611,49 | 0,20 | 122,30 |

4.2.3 Utslippstall for massivtredekke

Utslippstallene til beregningene for massivtre er hentet fra EPD-Norge (Splitcon AS, 2020). I tabell 10 vises klimagassutslippet til massivtreelementene i konstruksjonen.

Tabell 10: Utslippstall for massivtre

| Utslippstall for massivtredekke | | |
|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|
| | Enhet | Massivtre |
| Densitet | [kg/m ³] | 500 |
| Totalt volum | [m ³] | 110,07 |
| Totalvekt | [t] | 55,04 |
| Utslipp massivtre | [CO ₂ eq /m ³] | 106,67 |
| GWP | [kg CO ₂ eq] | 11741,2 |

4.2.4 Utslippstall for ombrukt hulldekke

Det er nødvendig med ny, fersk fugemørtel mellom og inni HD-elementene, noe som utgjør ca. 34 % av klimagassutslippet til dekket, og er dermed en vesentlig faktor å ha med i utregningen. Tabell 11 viser de forskjellige verdiene brukt i beregningene og resultatene på utslippet fra ombrukt HD.

Tabell 11: Utslipp for ombrukt hulldekke.

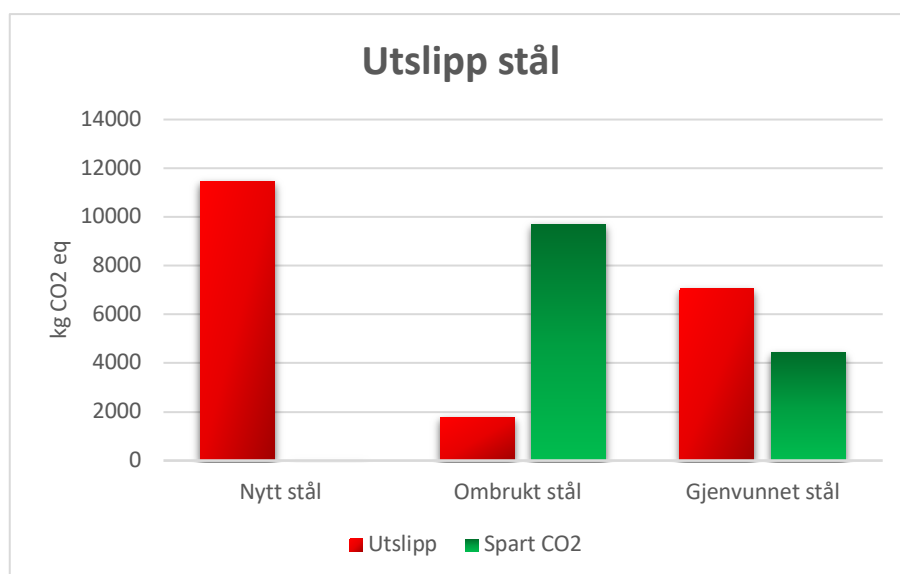
| Utslippstall for ombrukt hulldekke i betong | | | |
|---|-------------------------|-----------|------------|
| | Enhet | Hulldekke | Fugemørtel |
| Vekt forhold | [kg/m ²] | 255,00 | 16,00 |
| Totalvekt | [t] | 155,93 | 9,78 |
| Utslipp | [kg CO ₂ /t] | 20,71 | 113,64 |
| GWP | [kg CO ₂ eq] | 3229,31 | 1111,80 |
| GWP totalt | [kg CO ₂ eq] | 4341,11 | |

4.3 Sammenligning

4.3.1 Sammenligning av stålet

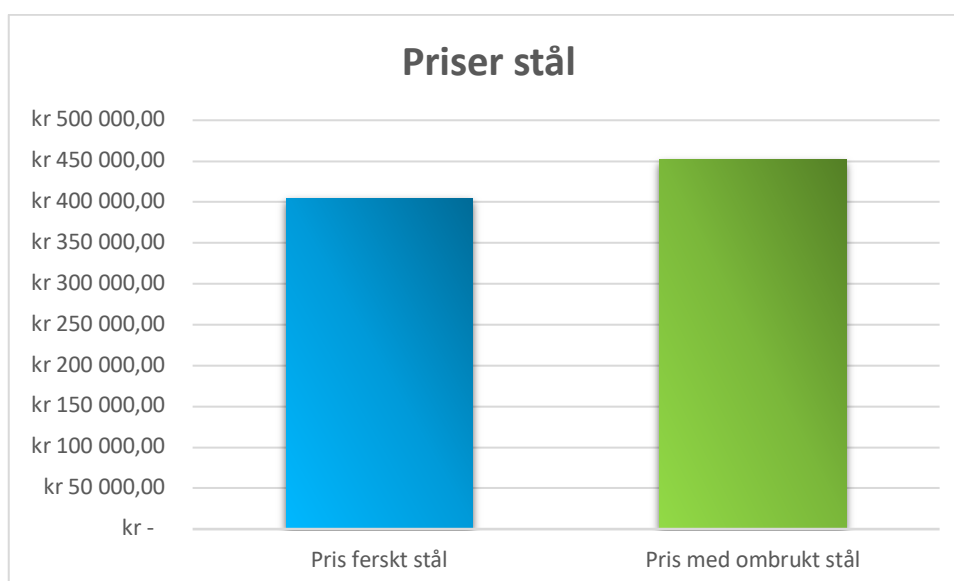
Diagrammet i figur 17 presenterer forskjellen på utslipp mellom nytt-, ombrukt- og gjenvunnet stål fra råvareproduksjon til levert på byggeplass i NG12. Her vises den store forskjellen på klimagassene til ståltypene, og at man kan spare hele 9,7 tonn CO₂ eq. Det er enkelt å se at ombruk av stål er meget gunstig, og at det ikke bare er mye mer miljøvennlig enn nytt stål, men

også i forhold til gjenvunnet. Beregningen viser at ca. 39 % av CO₂-utslippet reduseres ved bruk av gjenvunnet stål, mens ca. 89 % reduseres ved bruk av ombrukt stål fremfor nytt.



Figur 17: Utslippsforskjell for stålkonstruksjonen.

Da det er Norsk Stål som har gitt prisene på det ombrukte stålet, er det valgt å bruke deres priser på ferskt stål som sammenligning. Figur 18 illustrerer forskjellen på prisene med og uten ombrukt stål. Totalt sett er det en prisøkning på ca. kr: 47 209,-. Dette tilsvarer en prisøkning på rundt 12 % av prisen til ferskt stål.



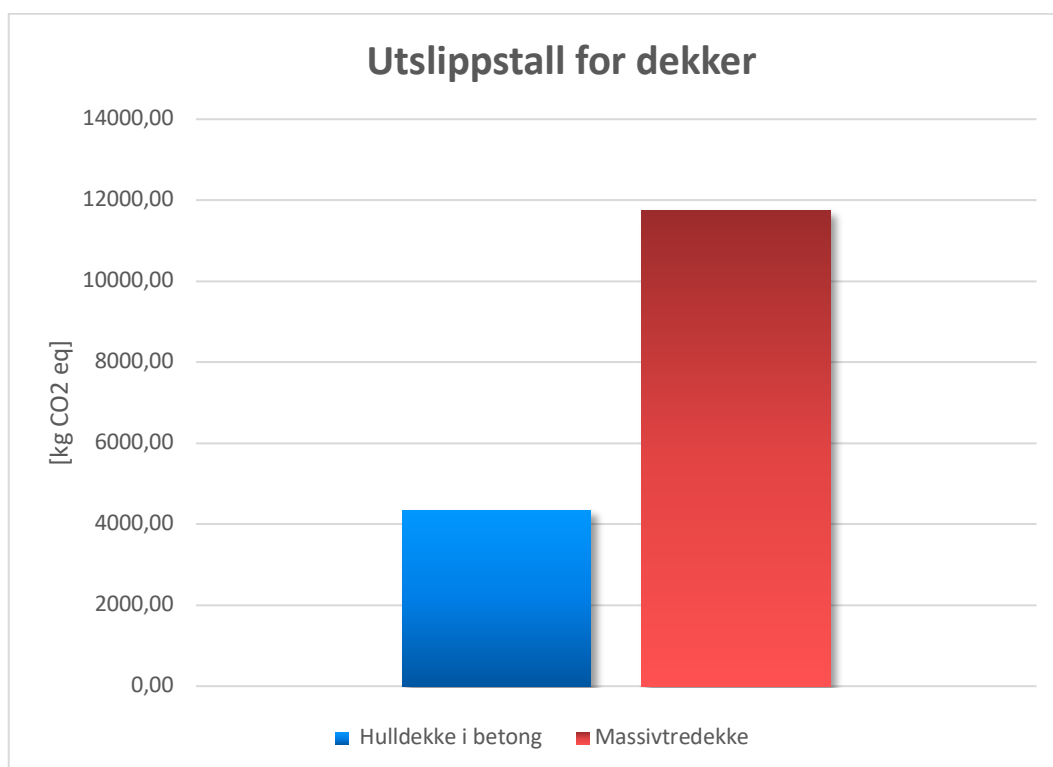
Figur 18: Prisforskjell på stål.

For at byggherre skal kunne ta stilling til om det er verdt å investere i en slik CO₂-utslippbesparelse, vil det være hensiktsmessig å oppgi verdiene i kostnad per spart tonn CO₂ ekvivalenter.

Dette gir en kostnad på kr: 4871,- pr spart tonn CO₂ eq.

4.3.2 Sammenligning av dekkeløsningene

Til slutt i resultatdelen viser figur 19 differansen mellom CO₂-utslippet fra de to forskjellige dekke-typene. Her er det helt tydelig store forskjeller på utslippet. Ved bruk av ombrukt HD fremfor CLT, vil dette redusere utslippet med ca. 7,4 tonn CO₂ eq og tilsvarer omtrent 63 % av utslippet. For den ekstra egenvekten til HD i betong, vil det være behov for å endre den bærende stålkonstruksjonen. Dette er ikke gjort i disse beregningene, og vil derfor ikke gi helt nøyaktige tall på redusert utslipp, men er en indikasjon på hvor mye CO₂ man kan spare med å kun bytte ut dekket.



Figur 19: Sammenligning utslipp for ombrukt hulldekke og massivtre

5. Diskusjon

I dette kapittelet vil forskningsspørsmålene tilknyttet resultatdelen i oppgaven diskuteres. Det vil også gjøres en vurdering av påliteligheten og gyldigheten til oppgaven, som samlet vil bygge opp mot en besvarelse av problemstillingen.

5.1 Forskning og utvikling

Hvilke alternative løsninger for bærende konstruksjoner kan bedre klimagassutslippet, og hva er utfordringene med disse?

Valget om å bruke stål i konstruksjonen ble begrunnet med kostnadsbesparelser og kort transportvei til byggeplass. Veidekke ønsket imidlertid å vurdere muligheten for alternative materialer i prosjektet. Den største fordelen med å ta i bruk ombrukte bjelker fra Norsk Stål er den betydelige reduksjonen i klimagassutslipp på **9,7 tonn CO₂ eq**. En av utfordringene knyttet til bruk av stål, var å finne ombrukt stål av tilstrekkelig kvalitet i nærområdet for å minimere utslipp og transportkostnader. De eneste ombruksklare stålbjelkene ble funnet hos Norsk Stål i Horten, og fraktkostnaden var på over 10 000 kr levert til Trondheim. Med vanlig lastebil førte dette til et utslipp på 531 kg CO₂ eq (Statistisk sentralbyrå, 2016). Dette kunne i stor grad vært unngått dersom ombruksstålet hadde blitt funnet lokalt.

Ombrukt stål har en høy pris og koster omtrent 50 % mer enn vanlig nytt stål (I. Aase, personlig kommunikasjon, 14.02.2023). Dette gjør at byggherren må vurdere om det er verdt å investere penger i ombrukt stål og spare CO₂ på den måten, eller om det blir for kostbart i forhold til avkastningen. Som det kommer frem av resultatdelen, vil det koste ca. 47 209 kr ekstra å erstatte 5,2 tonn nytt stål med ombrukt stål. For å nå de høye kriteriesettene som er satt via BREEAM-NOR og FutureBuilt, kan det være nødvendig å ta denne kostnaden for å øke andelen ombrukte materialer i bygget.

I motsetning til bruk av massivtre vil hulldekke kunne beregnes med en større spennvidde enn planlagt, ettersom HD 200 tåler en nyttelast på 5 kN for spennvidder opp til 9 meter (SINTEF Byggforsk, 1996). På den ene siden kunne det også vært brukt enda tykkere HD og brukt større spennvidde om ønskelig. Dette ville medført større endringer i stålkonstruksjonen, både med tanke på plassering, antall søyler og bjelker. På den andre siden ble det utfra e-postsamtaler med rådgivende ingeniører for NG12, fastslått at dimensjoneringen av hulldekkeløsningen ga

for stor makshøyde med hensyn på reguleringsplanen (N.Løkken, personlig kommunikasjon, 28.04.2023). Dersom ombruk blir mer anvendt i framtiden, vil det være enklere å demontere massivtreelementene, noe som kan være positivt med tanke på en fremtidig sirkulær økonomi. I lys av dette kan man argumentere for at ombrukt hulldekke allerede unngår uthenting av nye råmaterialer.

Gjennom hele sin levetid vil massivtre gi et lavt CO₂ utslipp. Til tross for dette vil avfallshåndtering av massivtre stå for den største andelen. Ettersom denne studien har tatt med hele livsløpet til CLT, vil det med bruk av EPD for massivtre bli gitt ut et totalt utslipp på 11,7 tonn CO₂ eq. Dette vil være et mye lavere utslipp enn ved bruk av nytt hulldekke. Hvis man derimot benytter et ombrukt hulldekke reduseres utslippet med ca. **7,4 tonn CO₂ eq** i prosjektet. Et viktig argument for ombruk av materialer er pris. I studien ble det ikke funnet noen reelle kostnader, men likevel kan man anta at det som med stål også vil være dyrere å ombruke hulldekke fremfor å kjøpe nytt massivtredekke.

5.2 Vurdering av studien

Selv om det er utført flere studier på ombruksmuligheter i bransjen i dag, er det likevel krevende å få nøyaktige svar ettersom det er knyttet stor usikkerhet til utslippstall for ulike materialer. Med tanke på tidsbruken prosjektet skal ha er det ikke alt som kan gjennomgås like nøyaktig, og derfor er det knyttet usikkerhet til enkelte resultat. For utslippet er det ikke brukt One Click LCA eller andre lignende livsløpsanalyse-program for beregningene. Det er i stedet tatt utgangspunkt i utslippstall fra EPD-dokumenter og tidligere rapporter, som deretter er brukt i beregningene ut fra vekten til tilsvarende produkt. Dette kan føre til avvik og begrense nøyaktigheten, da det fører til mer generelle tall.

I resultatet er det hentet ut pris for det ombrukte stålet. Her bør man presisere at prisen er et estimat for denne sorteringen av stålbejelker. Priser vil variere med tanke på demontering, samt kostnader for teknisk godkjenning. Fraktkostnadene som er brukt er hentet fra Norsk Stål sine sonepriser. Dette vil det også være noe feilmargin på, ettersom en nøyaktig pris vil bli gitt per forespørsel.

Den største utfordringen med å sammenligne dekkelsesningene er at bæresystemet til et HD vil være ganske ulikt i forhold til CLT-dekket. Dette gjør at usikkerheten til resultatet i studien vil øke, ettersom forskjellige bæresystem vil ha ulikt utslipp. Veidekke var også inne på å bruke

hulldekker, men sa fra seg dette fordi bygningens høyde ble for stor. Det vil være besparelser på klimagassutslipp ved å bytte direkte, men problemet i praksis vil være mengden og grovheten på det totale bæresystemet. På grunn av tidsbruk er det valgt å ikke gjennomføre beregninger av ny stålkonstruksjon. For å få nøyaktige tall over utslippsbesparelsene for HD fremfor CLT-dekke, er gruppen klar over at dette er vesentlig for å få et helt nøyaktig resultat. Dette er fordi store deler av den bærende konstruksjonen må endres som følge av hulldekkens egenvekt.

For utslippstallene til hulldekke er det etter anbefalinger fra Spenncon tatt utgangspunkt i å fjerne GWP-en som er fra A1 (råmaterialer) og A2 (transport) (Ø.Rønningen, personlig kommunikasjon, 14.04.2023). Dette fører til at utslippstallet for dekkene bare er et estimat, ettersom at det vil være transportutslipp til ny byggeplass og at verdi A3 (tilvirkninger) vil reduseres noe. Grunnen til usikkerheten for utslippstallene på HD er at dette er lite testet ut i bransjen, og det er heller ikke noe godt marked i skrivende stund for ombrukte dekker. Ettersom gruppen ikke fant ombrukt hulldekke tilgjengelig for nytt bruk, må man mest sannsynlig beregne den bærende konstruksjonen etter hulldekkene som finnes på markedet. Det er flere utfordringer knyttet til at gruppen ikke har funnet ombrukt HD. Uten informasjon om lokasjon og hvilken type hulldekke som kan være tilgjengelig, er det vanskelig å si noe om hva dette vil koste. Det samme gjelder utslipp og kostnader knyttet til frakt av dekket til byggeplass.

6. Konklusjon

Da hele 40 % av Europas materialforbruk går til byggenæringen, er det enorme mengder råmaterialer som hentes ut (Linnås, 2021). For å redusere dette må næringen sørge for bedre praksis innenfor ombruk av materialer. Dessverre er det ikke alle materialer som er like enkle å bruke om igjen. Bærende konstruksjonsmaterialer viser seg å være ekstra krevende, da disse er avhengig av teknisk godkjenning og bearbeiding.

Resultatet til prosjektet viser at for å redusere klimagassutslipp er det viktig å se på mulighetene for ombrukte materialer. Denne og tidligere studier viser at ombruk av materialer vil være mer kostbart (Kilvær et al., 2019) (Sandberg & Kvellheim, 2021) (Nordby & Bugge, 2018). Dette gjør at å gjennomføre det i praksis blir vanskeligere, selv om reglene for ombruk av byggematerialer ble endret i 2022. Det er ingen tvil om at ombruk av stålkomponenter har et

stort potensial, ettersom utslippsfaktoren nesten er 10 ganger større for nytt stål. For dette prosjektet ble prisen per tonn spart CO₂ på hele **kr: 4 871,-**, noe som kan konkluderes med å være en høy kostnad.

Massivtre er et godt alternativ som valg av dekke til prosjektet, men sammenligningen med HD i betong viser at man kan unngå ytterlige klimagassutslipp dersom det tas i bruk ombrukte materialer. Nyprodusert betong slipper ut store mengder klimagasser, og det vil derfor ha høy verdi å bruke om et slikt materiale. Årsaken til at HD i betong er valgt som alternativ er at betongelementene inneholder gode bærende egenskaper og har veldig lang levetid. Dette gjør at selv om man bruker gammel betong i et nytt bygg, vil hulldekke opprettholde de tekniske egenskapene gjennom hele nybyggets levetid. Selv om man ut fra resultatene i oppgaven ser at det er store utslipp å spare ved ombruk av hulldekke, er det ikke gitt at dette vil lønne seg. Det vil alltid være positivt for å redusere uthenting av nye materialer, men markedet for dette er foreløpig dårlig utviklet.

7. Veien videre

Det er liten tvil om at sirkulærøkonomi og ombruk av byggematerialer er veien å gå for bransjen. Selv om kunnskapsnivået må økes og de økonomiske barrierene må løses, ser man av resultatene at potensialet for å redusere forbruket og utslippet til bransjen er stort.

Først å fremst trengs det et løft i markedet slik at brukte materialer kommer tilbake for salg i større kvantum. Dette for å kunne skape en priskonkurranse mellom aktører som vil føre til lavere kostnader. Det kan også være hensiktsmessig med gode støtteordninger til prosjekter med ombruk av materialer i fokus, for å få mer fart på ombruksmarkedet. Regjeringen ønsker å vurdere endringer i nasjonale krav for å øke ombruket i Norge (Sandberg & Kvellheim, 2021), og gruppen mener dette kan være en av de avgjørende faktorene for at byggebransjen skal få en positiv utvikling innenfor ombruk. Selv om krav til resertifisering av ombrukte materialer ikke lenger gjelder etter 01.juli.2022, viser det seg at det fortsatt er store utfordringer med tanke på kostnader og marked.

Vedlegg

1. Artikkel.
2. Mengdeliste stål fra Danielsen AS.
3. Beregninger av stålkonstruksjon.
4. Detalj CLT.
5. Detalj HD.
6. Kontaktlogg.
7. Plakat.

Referanser

- Biørnstad, L., 2016. *Forskning.no*. [Internett]
Available at: <https://forskning.no/bygningsmaterialer-klima/kan-vi-bruke-betong-med-god-klimasamvittighet/379248> (hentet: 16.02.23)
- Byggebolig, 2021. *Gammel isolasjon*. [Internett]
Available at: <https://byggebolig.no/trearbeider-konstruksjoner-isolering/gammel-isolasjon-kaste-eller-gjenbruke> (hentet: 03.03.23)
- Byggteknisk forskrift TEK 17, 2021. *Byggteknisk forskrift TEK 17 med veiledning*. [Internett]
Available at: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/3/3-1/> (hentet: 10.02.23)
- DIBK, 2021. *3-1. Dokumentasjon av byggevarer til byggverk*. [Internett]
Available at: [3-1. Dokumentasjon av byggevarer til byggverk](#) (hentet: 09.03.23)
- DIBK, 2022. *Krav til byggevarer som ikke er CE-merket*. [Internett]
Available at: <https://dibk.no/regelverk/dok/iii/9> (hentet: 03.04.23)
- DOGA, 2023. *Design og arkitektur Norge*. [Internett]
Available at: <https://doga.no/aktuelt/ombrukt-stal-kan-halvere-byggekostnader/> (hentet: 23.03.23)
- Forskrift om dokumentasjon av byggevarer (DOK), 2022. *Forskrift om dokumentasjon av byggevarer (DOK)*. [Internett]
Available at: <https://dibk.no/regelverk/dok/iii/9> (hentet: 30.01.23)
- FutureBuilt, 2020. *FutureBuilts kriterier for sirkulære bygg*, Oslo: FutureBuilt. (hentet: 06.02.23)
- FutureBuilt, 2022. *Kriterier FutureBuilt 2.0*, 0164 Oslo: FutureBuilt. (hentet: 06.02.23)
- FutureBuilt, 2023. *FutureBuilt*. [Internett]
Available at: <https://www.futurebuilt.no/Om-oss> (hentet: 07.03.23)
- Glava, 2023. *Glava isolasjon*. [Internett]
Available at: <https://www.glava.no/aktuelt/isolasjon-produktguide> (hentet: 09.03.23)
- Glavagruppen, 2023. *Glavagruppen*. [Internett]
Available at: <https://www.glava.no/aktuelt/gronnere-byggebransje> (hentet: 09.03.23)
- Grønn Byggallianse, 2021. *Grønn Materialguide*, Oslo: Grønn Byggallianse. (hentet: 25.01.23)
- Grønn byggallianse, 2022. *BREEAM-NOR v6.0 for nybygg*, 0164 Oslo: Grønn Byggallianse. (hentet: 30.01.23)
- Grønn Byggallianse, 2023. *Byggalliansen*. [Internett]
Available at: <https://byggalliansen.no/sertifisering/om-breeam/nysgjerrig-pa-breeam-nor/> (hentet: 30.01.23)

- Grønn Byggeallianse, 2021. *Nye BREEAM-NOR v6.0 for nybygg er på vei*. [Internett]
Available at: <https://byggalliansen.no/sertifisering/om-breeam/breeam-nor-2021-for-nybygg-arbeidet-er-i-gang/#1622105512623-0f24d984-f221> (hentet: 30.01.23)
- Hagen et al., R., 2021. *Grønn Materialguide*, Oslo: Grønn Byggeallianse, Context AS. (hentet: 16.03.23)
- HUS arkitekter, 2023. *Nordre gate 12*. [Internett]
Available at: <https://www.husark.no/nordre-gate-12/> (hentet: 15.02.23)
- Kilvær et al., L., 2019. *Forsvarlig ombruk av byggevarer*, Oslo: Team Resirqel. (hentet: 23.02.23)
- Kvellheim, A. K., 2020. *Betong er endel av klimaløsningen*. [Internett]
Available at: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2020/-betong-er-en-del-av-klimalosningen/> (hentet: 09.02.23)
- Linnås, G.-E., 2021. *Sirkulær økonomi i byggebransjen*. [Internett]
Available at: <https://svanemerket.no/sirkulaer-okonomi/byggebransjen/> (hentet: 27.01.23)
- Loe Betongelementer AS, 2023. *Loe Betongelementer AS*. [Internett]
Available at: <https://loe-betong.no/transport-og-montasje/> (hentet: 09.03.23)
- LOOP, 2022. *Avfallshierarki*. [Internett]
Available at: <https://snl.no/avfallshierarki> (hentet: 10.02.23)
- Loopfront, 2023. *Loopfront*, Oslo: Loopfront. (hentet: 16.02.23)
- Miljødirektoratet, 2022. *Sirkulær økonomi*. [Internett]
Available at: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/avfall/sirkular-okonomi/> (hentet: 20.02.23)
- Moelven MassivTre AS, 2009. *Miljødeklarasjon ISO 14025 / ISO 21930*. [Internett]
Available at: https://www.sintef.no/globalassets/project/mikado/epder/epd-massivtre_norsk.pdf (hentet: 03.03.23)
- Multiconsult, 2023. *Multiconsult*. [Internett]
Available at: <https://www.multiconsult.no/tjenester/lca-og-klimagassregnskap/> (hentet: 24.02.23)
- NIBIO, 2019. *NIBIO*. [Internett]
Available at: <https://www.nibio.no/prosjekter/fremtre> (hentet: 02.03.23)
- Nordby, A. S. & Bugge, L., 2018. *Utredning av barrierer og muligheter for ombruk av byggematerialer og tekniske installasjoner i bygg*, Sandvika: Asplan Viak. (hentet: 15.02.23)
- Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO), 2019. *Ombruk av tre*. [Internett]
Available at: <https://www.nibio.no/prosjekter/fremtre> (hentet: 27.02.23)
- Norsk Stål, 2023. *Pris - Tjenester og fraktsoner*. [Internett]
Available at: <https://www.norskstaal.no/tjenester/pris-tjenester-og-fraktsoner> (hentet: 06.03.23)

NORSUS, 2023. *NORSUS Norges institutt for bærekraftsforskning*. [Internett]

Available at: <https://norsus.no/om-livslopsvurdering/> (hentet: 25.02.23)

Rådgivende ingeniørers forening, 2014. *Rådgivende ingeniørers forening*. [Internett]

Available at: <https://rif.no/ce-krav-for-stalkonstruksjoner/> (hentet: 10.02.23)

Reiersen et al., J. E., 2008. *Hulldekker på bæresystemer av stål*, Oslo :

Betongelementforeningen og Norsk Stålforbund. (hentet: 03.04.23)

ROCKWOOL, 2023. *ROCKWOOL*. [Internett]

Available at: <https://www.rockwool.com/no/radgivning-og-inspirasjon/resirkulering-program/> (hentet: 07.03.23)

Rosvold, K. A., 2023. *Gjenbruk*. [Internett]

Available at: <https://snl.no/gjenbruk> (hentet: 13.02.23)

Sandberg, E. & Kvellheim, A. K., 2021. *Ombruk av byggematerialer*, Oslo: SINTEF. (hentet: 27.01.23)

Sørnes et al., K., 2014. *Anbefalinger ved ombruk av byggematerialer*, Oslo: Sintef Fag. (hentet: 01.02.23)

SINTEF Byggforsk, 1996. *Byggforsk*. [Internett]

Available at:

https://www.byggforsk.no/dokument/346/dekker_av_betong_og_lettbetongelementer# (hentet: 14.02.23)

SINTEF Byggforsk, 2014. *Byggforsk*. [Internett]

Available at:

https://www.byggforsk.no/dokument/205/livsloepsvurdering_lca_av_byggevarer_og_bygninge_r_innfoering_og_begreper# (hentet: 21.02.23)

SINTEF Byggforsk, 2014. *Byggforsk*. [Internett]

Available at:

https://www.byggforsk.no/dokument/3006/miljoedeklarasjoner_epd_av_byggevarer (hentet: 10.02.23)

SINTEF, 2005. *Betonginformasjonsdag 2005*, Trondheim: SINTEF. (hentet: 24.02.23)

SINTEF, 2020. *SINTEF*. [Internett]

Available at: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2020/trygt-a-bruke-massivtre-i-barekonstruksjoner/> (hentet: 24.02.23)

Spenncon AS, 2021. *epd-norway*. [Internett]

Available at: <https://www.epd-norge.no/betongvarer/spenncon-hulldekke-article3294-316.html> (hentet: 08.02.23)

Splitcon AS, 2020. *Krysslimt tre*. [Internett]

Available at: https://splitkon.no/wp-content/uploads/2021/05/nepd-2042-902_krysslimt-tre.pdf (hentet: 07.02.23)

Standard Norge, 2023. *Standard Norge*. [Internett]

Available at: <https://www.standard.no/fagomrader/bygg-anlegg-og-eiendom/byggevarer/norsk-standard-for-hulldekker-av-betong-til-ombruk--ns-3682/> (hentet: 27.01.23)

Statistisk sentralbyrå, 2016. *Statistisk sentralbyrå*. [Internett]

Available at: <https://www.ssb.no/318322/drivstofforbruk-og-utslipp-per-kjorte-kilometer-for-et-utvalg-av-trafikksituasjoner-og-kjoretoygrupper.2016.g-km> (hentet: 30.03.23)