

Sander Dønnum

Hisor Arulnesarajah

Klimagassberegninger av vegbruer i forskjellige materialer

Belyst gjennom livsløpsanalyser

Bacheloroppgave i ingeniørfag – bygg bærekraftig
bygging

Gjøvik, mai 2022

Bacheloroppgave

Klimagassberegninger av vegbruer i forskjellige materialer

Belyst gjennom livsløpsanalyser

FORFATTER(E)Sander Dønnum
Hisor Arulnesarajah**DATO**

18. mai 2022

OPPDRAKSGIVER(E)

Rennebu-Bjelken AS

OPPDRAKSGIVER REF.

Roger Skaret

INTERN VEILEDER

Guomin Ji

ANTALL SIDER OG VEDLEGG

77 sider og 6 vedlegg

SAMMENDRAG

En bærekraftig fremtid er viktig for å kunne ta vare på verden for de neste generasjonene. For å hjelpe til med dette vil bærekraftig tenking som drivkraft for byggebransjen være avgjørende. Byggebransjen har en stor belastning klimaet på flere måter, 40% av klimagassutslippet i verden kommer herfra.

Livsløpsanalyse (LCA) er et verktøy for å vurdere miljøpåvirkningene av et produkt eller produktsystem gjennom hele livsløpet. Det gjelder fra uttak av råvarer i naturen til produktet ender som avfall eller gjenvinnes. LCA er et viktig grunnlag for å lage Environmental Product Declaration (EPD). EPD er en miljødeklarasjon, som er et kortfattet dokument som oppsummerer miljøprofilen til en komponent, et ferdig produkt eller en tjeneste på en standardisert og objektiv måte.

Det er gjort et klimagassregnskap for Klemetfossen Bro som er produsert av Rennebu-Bjelken AS. Bruas bærebjelker er av materialet tre og kalles for tannbjelker. Tannbjelker er forspente bjelker som sørger for bedre bæreevne, og man kan derfor ha et mindre tverrsnitt på bjelkene. Noe som er materialbesparende. For Klemetfossen Bro gjennomførte vi tre forskjellige analyser med 0%, 50% og 100% karbonlagring. Etter å ha sett på veksten av ny skog etter hogst og en forventet levetid på 60 år, så kom vi frem til at resultatene for 50% karbonlagring er de mest reelle. Her viser beregningene for Klemetfossen Bro at den har et svært lavt klimagassutslipp, og at dette i stor grad er grunnet miljøvennlig materialvalg.

Videre er det gjort beregninger av klimagassutslipp av bærebjelker i forskjellige materialer som stål, betong og tre. Dette er for å sammenligne hva som er det mest miljøvennlige materialet og har minst klimagassutslipp. Her belyser oppgaven klimagassutslippene for de ulike materialene og peker ut tre som et materiale med lave utslipp.

STIKKORD

Miljø	LCA	Bru
Limtre	Betong	Stål
Karbonlagring	EPD	Bærekraft

Sander Dønnum
(Sign.)

Hisor Arulnesarajah
(Sign.)

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet av to byggingeniør studenter ved Norges tekniske-naturvitenskaplig universitet (NTNU) i Gjøvik. Bacheloroppgaven er gjennomført våren 2022, og er den avsluttende delen av treårig bachelorgrad. Oppgaven skal tilsvare 20 studiepoeng per student. Rammene for oppgaven er utformet i samarbeid med oppdragsgiver Rennebu-bjelken AS.

Vi går studieretningen bærekraftig bygging, hvor det er stort fokus på miljø. Dette var bakgrunnen for valg av oppgave. Miljøkonsekvenser måles som regel gjennom klimagassberegninger. Av Norges totale klimagassutslipp står byggebransjen for hele 40%. Dette fører til at man er nødt til å ha økende miljøbevissthet i byggenæringen og tenke mer langsiktig. Det handler om å se på bygningens samlede fotavtrykk på klima og miljø. For å skape mer bærekraftige konstruksjoner må vi bruke materialer med lengre levetid og som har mindre klimagassutslipp. Ettersom vi var så heldige som fikk samarbeide med en produsent av trebruer, så gikk problemstillingen ut på å vurdere klimaavtrykket for en forspent tannbjelkebru av limtre kontra en tilsvarende bru i stål og betong. Samtidig ønsket vi å se på de totale miljøpåvirkninger av produksjonen av en bru fra Rennebu-Bjelken. Gjennom arbeidet med oppgaven har vi tilegnet oss masse kunnskap om miljøberegninger som kan komme godt med i arbeidslivet og i byggenæringen.

Vi ønsker å rette en stor takk til vår interne veileder Goumin Ji og vår eksterne veileder Roger Skaret fra Rennebu-bjelken AS, som gjennom hele bachelorprosessen har vært tilgjengelige, og bidratt med god veiledning og godt humør.

Vi vil også takke resten av Rennebu-bjelken AS, Bård S. Solem fra Eggen Arkitekter og Idar T. Heskestad fra Norsk Spennbetong AS. De har kommet med nyttige hjelp og tilbakemelding som har kommet godt med i prosessen.

Abstract

A sustainable future is important in order to take care of the world for the next generations. To reach this goal, sustainable thinking as a driving force for the construction industry will be crucial. The construction industry is a major burden on the climate and is responsible for 40% of the world's greenhouse gas emissions.

Life cycle analysis (LCA) is a tool for assessing the environmental impact of a product or product system throughout its life cycle. This applies from the extraction of raw materials in nature until the product ends up as waste or recycled. LCA is an important basis for making an Environmental Product Declaration (EPD). EPD is an environmental declaration, which is a concise document that summarizes the environmental profile of a component, a finished product or a service in a standardized and objective way.

Greenhouse gas accounts have been prepared for the Klemetfossen bridge, which is produced by Rennebu-Bjelken AS. The bridge's supporting beams are made of the material wood and are called toothed beams. The toothed beams are prestressed beams that ensure better load-bearing capacity, and you can therefore have a smaller cross-section on the beams. Which is material-saving. For Klemetfossen bridge, we carried out three different analyzes with 0%, 50% and 100% carbon storage. After looking at the growth of new forest after felling and an expected lifespan of 60 years, we concluded that the results for 50% carbon storage are the most real. Here, the greenhouse gas calculation for the Klemetfossen bridge shows very low greenhouse gas emissions, and that this is largely due to environmentally friendly material choices.

Furthermore, calculations have been made of greenhouse gas emissions from supporting beams in various materials such as steel, concrete and wood. This is to compare what is the most environmentally friendly material and has the least greenhouse gas emissions. Here, the thesis sheds light on greenhouse gas emissions for the various materials and points out wood as a material with low emissions.

Innholdsfortegnelse

Forord	iv
Abstract	v
Innholdsfortegnelse	vi
Figurliste.....	ix
Tabelliste	x
Forkortelser	xi
1. Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling	2
1.3 Formål	2
1.4 Forutsetninger for oppgaven	2
1.5 Utførelse av oppgaven.....	3
2. Teori	3
2.1 Bærekraft.....	3
2.2 Miljøanalyse	6
2.3 Tre - miljøegenskaper.....	7
2.4 Tannbjelke	8
2.5 Materialer	9
2.5.1 Limtre	9
2.5.2 Stål.....	10
2.5.3 Betong	11
2.6 Bruklassifisering.....	12
3. Case	14
3.1 Den Høie Bro	14
3.2 Klemetfossen Bro	16
3.3 Sveivhylen bru.....	18

3.4 Stål bru	19
4. Metode.....	20
4.1 Valg av metode.....	20
4.1.1 Livsløpsanalyse (LCA)	20
4.2 Datainnsamling.....	22
4.3 Dataverktøy	23
5. Resultater.....	23
5.1 Grunnlag for verdier.....	23
5.1.1 Verdier for Klemetfossen Bro	23
5.1.2 Verdier for Sveivhylen bru.....	26
5.1.3 Verdier for HE1000B bjelker	26
5.2 Systemgrenser for Klemetfossen Bro.....	27
5.3 Klimagassberegninger for Klemetfossen Bro	27
5.3.1 Produksjonsfase.....	28
5.3.2 Byggefase	29
5.3.3 Avhending	30
5.3.4 Etter endt levetid	34
5.3.5 Total for Klemetfossen Bro.....	35
5.4 Sammenligning av bruene	38
5.4.1 Produksjonsfase.....	38
5.4.2 Avhending	39
5.4.3 Etter endt levetid	40
5.4.4 Totalt for sammenligning	41
6. Diskusjon og analyse.....	42
6.1 Karbonlagring.....	42
6.2 Drøfting av resultater	46
6.2.1 Klemetfossen Bro.....	46

6.2.2 Sammenligning.....	49
6.3 Forbruk	51
6.4 Bærekraftsmål	51
6.5 Valg av EPDer.....	52
7. Konklusjon	52
7.1 Videre arbeid	53
Litteraturliste	55
Vedlegg	59

Figurliste

Figur 1 – FNs Bærekraftsmål. Hentet fra: fn.no/tema/fattigdom/baerekraftig-utvikling	4
Figur 2 – Treets livssyklus. Hentet fra: Norsk Limtreprodusenters forening. Limtreboka.....	7
Figur 3 – Tannbjelke. Hentet fra: rennebubjelken.no	8
Figur 4 – Den Høie Bro. Hentet fra rennebubjelken.no/b/30542/gangbru-levert-til-favang ...	14
Figur 5 – Klemetfossen Bro. Hentet fra https://www.rennebubjelken.no/b/30510/bru-til-einunndalen	16
Figur 6 – Tegning av Sveivhylen Bru	18
Figur 7 – Tverrsnitt av H-bjelke. Hentet fra NS-EN 10034.....	19
Figur 8 – Marlo Bru med H-bjelker. Hentet fra https://www.fjuken.no/nyheiter/i/x8jRoX/marlo-bru-blir-opna-att-for-paske	19
Figur 9 – Graf for lagring karbonlagring. Hentet fra Bård Solem, Eggen arkitekter.....	42
Figur 10 – Graf for volum av nytt grantre.....	44
Figur 11 – Graf for CO ₂ lagring i nytt grantre	44
Figur 12 – Graf over total mengde CO ₂ oppbevart	45
Figur 13 – Søylediagram for Klemetfossen Bro ved 50% karbonlagring.....	47
Figur 14 – Søylediagram for Klemetfossen Bro ved 0% karbonlagring.....	48
Figur 15 – Søylediagram for sammenligning av bærende elementer av forskjellige materialer	49
Figur 16 – Totalt utslipp per meter bru i forskjellige materialer.....	50

Tabelliste

Tabell 1 – Krav til bru i bruksklasse 10. Verdier hentet fra håndbok R412	13
Tabell 2 – Spesifikasjoner Den Høie Bro.....	14
Tabell 3 – Materialliste Den Høie Bro	15
Tabell 4 – Spesifikasjoner Klemetfossen Bro	16
Tabell 5 – Materialliste Klemetfossen Bro	17
Tabell 6 – Materialliste Sveivhylen Bru.....	18
Tabell 7 – Verdier for en HE1000B bjelke. Verdier hentet fra NS-EN 10034	19
Tabell 8 – Fasene i en livsløpsanalyse	21
Tabell 9 – Produktverdier for Klemetfossen Bro 1	24
Tabell 10 – Produktverdier for Klemetfossen Bro 2	25
Tabell 11 – Produktverdier for Sveivhylen Bru	26
Tabell 12 – Produktverdier for HE1000B bjelker	26
Tabell 13 – Systemgrenser Klemetfossen Bro	27
Tabell 14 – Produksjonsfase Klemetfossen Bro	28
Tabell 15 – Byggefase Klemetfossen Bro	29
Tabell 16 – Transportoversikt for materialer til Klemetfossen Bro	30
Tabell 17 – Avhendingsfasen Klemetfossen Bro ved 100% karbonlagring	31
Tabell 18 – Avhendingsfasen Klemetfossen Bro ved 50% karbonlagring	32
Tabell 19 – Avhendingsfasen Klemetfossen Bro ved 0% karbonlagring	33
Tabell 20 – Etter endt levetid Klemetfossen Bro	34
Tabell 21 – Totale verdier Klemetfossen Bro ved 100% karbonlagring.....	35
Tabell 22 – Totale verdier Klemetfossen Bro ved 50% karbonlagring.....	36
Tabell 23 – Totale verdier Klemetfossen Bro ved 0% karbonlagring.....	37
Tabell 24 – Sammenligning av produksjonsfasen.....	38
Tabell 25 – Sammenligning av avhendingsfasen	39
Tabell 26 – Sammenligning av etter endt levetid.....	40
Tabell 27 – Resultater av sammenligningen	41
Tabell 28 – Vekst av grantre	44
Tabell 29 – Total mengde CO ₂ oppbevart.....	45

Forkortelser

EPD – Environmental Product Declaration (miljødeklarasjon)

CO₂ - karbondioksid

CO₂-eq – CO₂ekvivalenter

LCA – Life Cycle Assessment (livsløpsanalyse)

GWP – Global Warming Potential (Globale oppvarmingspotensialer)

kWh – Kilowatttime

kg – Kilogram

m – Meter

m² – Kvadratmeter

m³ – Kubikkmeter

km – Kilometer

MID – Modul ikke deklart

MIR – Modul ikke relevant

N – Newton (enhet)

kN – Kilonewton

BK – Bruksklasse

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

Verden står ovenfor en stor klimautfordring. Norge har satt seg mål om å redusere utslippet av klimagasser med 50-55% innen 2030. (Regjeringen, 2021) Dette bærer over til byggebransjen som står for 40% av klimautslippene. For å senke disse mørketallene er man nødt til å tenke nytt. Konstruksjoner må få lengre levetid, materialbruken må effektiviseres og man må benytte miljøvennlige materialer i større grad. Dette er bare noen av mange tiltak som kan sørge for en mer bærekraftig byggebransje.

Regjeringen kom i 2021 ut med en ny nasjonal transportplan for perioden 2022-2033. Her er Norges klima og miljømål sentralt. Målet er å halvere utslippene av klimagasser fra transportsektoren innen 2030. I transportplanen legges det stor vekt på benyttelse av strøm og biodrivstoff i fremkomstmidler. Innen 2025 skal alle nye personbiler og lette varebiler være nullutslipp. I 2030 skal også dette være målet for store deler av tungtransporten. (Det kongelige samferdselsdepartement, 2021) Det det derimot ikke legges så stor vekt på er selve byggingen av ny infrastruktur. I statsbudsjettet for 2022 ble det bevilget 84,6 milliarder kroner til samferdsel. Dette er en økning på 3,1 prosent sammenlignet med 2021. Bakgrunnen til økningen er å binde land og folk sammen. Dette skjer gjennom å bygge nytt og utbedre eksisterende vegnett. (Strand, 2021) En økning i vegbudsjettet vil føre til mer utbygging, som videre vil stå for et større klimagassutslipp. Det vil derfor være viktig å benytte klimavennlige materialer og metoder. Nasjonal transportplan bygger på FNs bærekraftsmål, som ønsker å senke klimagassutslippene og skape en mer bærekraftig fremtid. Dette vil denne bacheloroppgaven kaste lys på gjennom analyser av bruer. Bærekraftsmål 9, 11 og 13 vil være aktuelle.

Dagens brumarked over større spenn domineres av betong og stål konstruksjoner. Dette er naturlig ettersom de kan bære mye last og er relativt rimelige. Sett fra et miljøperspektiv derimot så burde benyttelsen av stål og betong reduseres. I Norge er vi heldige som har stor tilgang på trevirke med gode egenskaper for bruk i konstruksjoner. En bedrift som produserer bruer av tre er vår oppdragsgiver Rennebu-Bjelken AS. De holder til på Berkåk i Rennebu kommune. Bedriften startet opp i 2009 og spesialiserte seg på trebruer. Ved bygging av bruer benyttes forspente tannbjelker. Tannbjelkene er laget slik at de tåler vesentlig større vekt enn vanlig konstruksjonsvirke. Rennebu-Bjelken produserer bruer til gang- og sykkelveier, turstier og trafikkbruer.

1.2 Problemstilling

Som byggingeniører er vi veldig engasjert i å forme en bærekraftig og miljøvennlig byggebransje. Og ettersom vi fikk til et samarbeid med en bedrift som tenker det samme gjennom Rennebu-Bjelken AS, så satte vi oss følgende problemstillinger:

- Hvilke miljøpåvirkninger har produksjonen av en bru fra Rennebu-Bjelken?
- Hvordan er klimaavtrykket for en forspent tannbjelkebru av limtre kontra en tilsvarende bru i stål og betong?

Disse problemstillingene er langt til grunne for analyser og beregninger gjort i oppgaven.

1.3 Formål

Formålet med denne oppgaven er å belyse de positive miljøaspektene ved å benytte tre i brubygging, kontra bruk av betong og stål. Dette vil gjøres gjennom en analyse av en fullstendig bruløsning fra Rennebu-Bjelken. Og en analyse av bærekonstruksjoner for tannbjelker av limtre, betongbjelker og stålbjelker. Besvarelsen vil være en fin veileder for en grønnere utvikling av Norges infrastruktur. Oppgaven tar for seg hele livsløpet til bruene. Det vil bli sett på forskjellige materialer, gjenvinningsgrad, karbonisering og karbonklasser. Resultatene vil bli tydelig fremstilt og diskutert.

1.4 Forutsetninger for oppgaven

For å løse denne oppgaven så er det blitt tatt en rekke forutsetninger. Disse forutsetningene er satt på grunn av utilgjengelig informasjon, og for å muliggjøre beregninger og sammenligninger. Oppgaven vil dermed gi oss en sammenligning som kan være relevant i et generelt tilfelle for en enkel vegbru.

I denne oppgaven vil det kun bli sett på miljøaspektet, gjennom beregninger av klimagassutslipp for en ferdigstilt bru og bjelker av ulike materialer. For sammenligning av de ulike bruene av limtre, stål og betong er det valgt å bruke samme rekkverk/overdel for alle bruene. Dette vil føre til at overdelen av bruene vil nulle ut hverandre, på grunn av bruk av samme materiale og mengde. Dermed vil det bli enklere å fokusere og se forskjellen på sammenligningen av hoved bjelkene av limtre, stål og betong. Vi vil se på forskjellige karbonlagringsprosenter for limtre, forskjellige lavkarbonklasser for betong og forskjellige resirkulasjonsverdier for stål.

For beregninger ved klimagassutslipp for de ulike bruene trenger vi tilgjengelige informasjon om hva slags produkter som er brukt, og en miljødeklarasjon (EPD) for hvert enkelt produkt. Når det er sagt er det ikke alle produkter som har en EPD, noe som gjør at vi må ta å bruke EPDer på lignede produkter eller finne gjennomsnittsverdier. Det gjør at vi må regne med at verdiene for noen produkter ikke er helt konkret, som igjen vil videre påvirke resultatet.

1.5 Utførelse av oppgaven

For å løse oppgaven vil vi begynne med en teoridel hvor vi tar for oss aktuell teori tilknyttet problemstillingen. Dette vil legge et grunnlag for analysen og utarbeidelse av resultatene. Videre vil vi beskrive casen. Herunder alle bruene som er inkludert i beregningene. Mål, materiallister og behandling vil bli inkludert. Videre vil resultatene fremstilles gjennom tabeller og figurer. Før til slutt disse resultatene diskuteres, og ender opp med en konklusjon.

2. Teori

I teoridelen vil man legge til grunn aktuell teori for temaene i oppgaven. Hva sier annen litteratur om disse temaene? Teoridelen er med på å bygge opp et grunnlag for analysen, før man videre kan sette resultatene opp mot teorien, for så å diskutere og dra konklusjoner.

2.1 Bærekraft

Bærekraft er et begrep som er mye omtalt, blant annet i forbindelse med å bekjempe miljøproblemer og fattigdom og nød. Disse er gjerne inspirert av FNs bærekraftsmål. Vi hører ofte om bærekraft i sammenheng med bærekraftig utvikling, som beskrives som en utvikling som tilfredsstiller behovene til menneskene som lever nå, uten å ødelegge fremtidige generasjoners muligheter til å tilfredsstille sine behov. Når en beslutning, eller en aktivitet gjøres med utgangspunkt i bærekraftig utvikling kalles det for bærekraftig. (Tjernshaugen, 2022). Av de 17 FNs bærekraftsmål er det bærekraftsmål 9, 11 og 13 som er relevant på oppgaven vår.

Bærekraftsmål 9. industri, innovasjon og infrastruktur handler om å bygge solide infrastrukturer, fremme inkluderende og bærekraftig industrialisering og innovasjon. Infrastruktur er den underliggende strukturen som må være på plass for at et samfunn skal fungere. Investeringer i transport, vanningsystemer, energi og informasjonsteknologi må på plass for å få til bærekraftig utvikling. For å nå målet om innovasjon for en bærekraftig

framtid, må det investeres mer i småskala industri over hele verden. Det må puttes mer midler inn i forskning, utvikling og infrastrukturer. (FN-Sambandet, 2022)

Dette målet henger sammen med de andre bærekraftsmålene, spesielt bærekraftsmål 11. bærekraftige byer og lokalsamfunn. For å utvikle bærekraftige byer og samfunn er industri, innovasjon og infrastrukturer helt avgjørende. Bærekraftsmålet om bærekraftige byer og lokalsamfunn handler om å gjøre byer og lokalsamfunn inkluderende, trygge og robuste. Samt å gi tilgang til grunnleggende tjenester som energi, boliger og transport. Byene står for 75% av alle klimagassutslipp. I Norge bor størsteparten av befolkningen i byer hvor de har tilgang til vann, veier, tjenester, energi og søppelhåndtering. Likevel må også Norge jobbe for å lage god nok infrastruktur inn til de byene som vokser. (FN-Sambandet, 2022)

Det siste bærekraftsmålet som er relevant for oppgaven vår er mål 13 om å stoppe klimaendringene. Det vil si å handle for å bekjempe klimaendringene og konsekvensene av dem. Mengden av klimagasser fortsetter å øke og det skjer raskt, konsekvensene for dette er at den globale gjennomsnittstemperaturen øker. Dette rammer de fattige landene og er med på å smelte de to polene våre. For å forbedre dette må man finne globale løsninger på en rekke områder som gjør at det slippes ut mindre CO₂. Norge slipper ut en del klimagasser på grunn av olje- og gassutvinning, noe som fører til at det trengs en bedre klimapolitikk på dette området. Som enkeltindivid handler det også om å ta ansvar for egne handlinger hvor å spise bærekraftig, reise klimavennlig, bidra og engasjere seg i kampen mot klimaendringer blir avgjørende for å bekjempe klimaendringene. (FN-Sambandet, 2022)



Figur 1 – FNs Bærekraftsmål. Hentet fra: fn.no/tema/fattigdom/baerekraftig-utvikling

Det å tenke bærekraftig, er også viktig i byggebransjen. Byggebransjen har en stor belastning på klimaet, og det blir ikke mindre belastende med tanke på urbaniseringen og den stadige utbyggingen av samfunnet. Store deler av befolkningen flytter til byene, noe som intensifiserer klimaavtrykket for byene. Dette gjør at det blir enda viktigere å fokusere på og skape en mer bærekraftig fremtidig byggebransje. (NTI, u.d.)

Byggebransjen står også for en stor del av energibruken og klimagassutslipp i Norge. Alle typer energiproduksjon belaster miljøet i stor grad. Derfor er det potensiale for å bruke fornybar energi og bruke energien mer effektivt. I Norge er kraftbruken forventet å øke mot 2030, og energieffektivisering vil bidra til at kraftbehovet ikke blir så stort. Dermed unngå å bygge ut unødvendig ny kraftproduksjon. Ifølge NVE er det potensiale for effektivisering i bygg på opp mot 13TWh. Dette er omtrent 10 prosent av Norges strømforbruk. (Brekkehus, 2021) . For per kWh strøm som brukes er det en utslipp på 27 g CO₂-ekvivalenter (08/05/2022). (Nowtricity, 2022) Dette skyldes i hovedsak at i Norge benyttes det nesten bare fornybar energi. Men en bismak på dette gode tallet er at vi bidrar til et større utslipp i utlandet, ettersom vi eksporterer store mengder gass og olje.

Tall fra 2006 viste at klimagassutslipp knyttet til bygg- og anleggsmaterialer utgjorde 8 prosent av nasjonale utslipp. Det er også et stort utslipp knyttet til transport av maskiner og materialer til byggeplassene. For å redusere klimagassutslippet som kommer fra bygging kan man sette inn flere tiltak. Først og fremst er et tiltak å velge bygningsprodukter som gir lave klimagassutslipp under produksjon og transport. Med bygningsprodukter menes det at det er nødvendig å bruke byggematerialer med lengre levetid og mindre miljøpåvirkning. Ved å bruke mer miljøvennlige materialer vil man redusere energiomkostningene til drift og vedlikehold. Produkter med lave klimagassutslipp er ikke nødvendigvis dyrere enn tradisjonelle materialer. Materialreduksjon gjennom for eksempel slankere bjelker er et tiltak som både gir reduserte klimagassutslipp og kostnadsreduksjoner. Andre ting man kan gjøre er å ha en utslippsfri byggeplass, og transportere bygningsarbeidere og materiale til byggeplassen med fossilfri transport. Omtrent 10% av utslipp i et byggs levetid skjer på selve byggeplassen, gjennom bruk av fossildrevet utstyr og byggvarme. Ifølge SSB bidrar også transport med omtrent 30% av Norges klimagassutslipp, derfor er det viktig å tilrettelegge bygg, området og byer slik at man lettere kan velge miljøvennlige transportformer. Reiseavstandene blir kortere, og det blir lagt til rette for at reiser kan gjøres med transportmidler som forurensner lite og som bruker lite energi. (BYGG21, 2018)

2.2 Miljøanalyse

LCA står for Life Cycle Assessments og er en metode for å vurdere den totale miljø- og ressurspåvirkningen gjennom hele livsløpet til et produkt, eller produktsystem. Det gjelder fra uttak av råvarer i naturen til produktet avhendes, og blir gjenvunnet til nye produkter, eller som avfall. I livsløpsanalysen er det ikke bare materialet i produktet eller produktsystemet som undersøkes, men alle materialer og energikilder som brukes til produksjon, transport og vedlikehold. Ved hjelp av analysen får man informasjon om hvilke miljøproblemer som er de viktigste og hvor i livsløpet disse oppstår (Norsus, u.d.).

LCA er et viktig grunnlag for å lage Environmental Product Declaration (EPD). EPD er en miljødeklarasjon, som er et kortfattet dokument som oppsummerer miljøprofilen til en komponent, et ferdig produkt eller en tjeneste på en standardisert og objektiv måte. De standardiserte metodene gjør at miljøinformasjonen innen samme produktkategori kan sammenlignes fra produkt til produkt, uavhengig av region eller land. Hensikten med en EPD er at kunden skal kunne sammenligne miljøprofil, og foreta en vurdering og et valg basert på miljødeklarasjonen (EPD-Norge, u.d.).

Alt klimagassutslipp blir kategorisert i ulike miljøkategorier avhengig av hvilke miljøpåvirkninger de kan bidra til. I denne oppgaven skal vi se nærmere på miljøkategorien Global Warming Potential (GWP), siden denne typen belastning er mest vanlig i byggebransjen. For GWP er resultatene presentert i kg CO₂-ekvivalenter. (Lyng, Rønning, Vold, & Svanes, 2014)

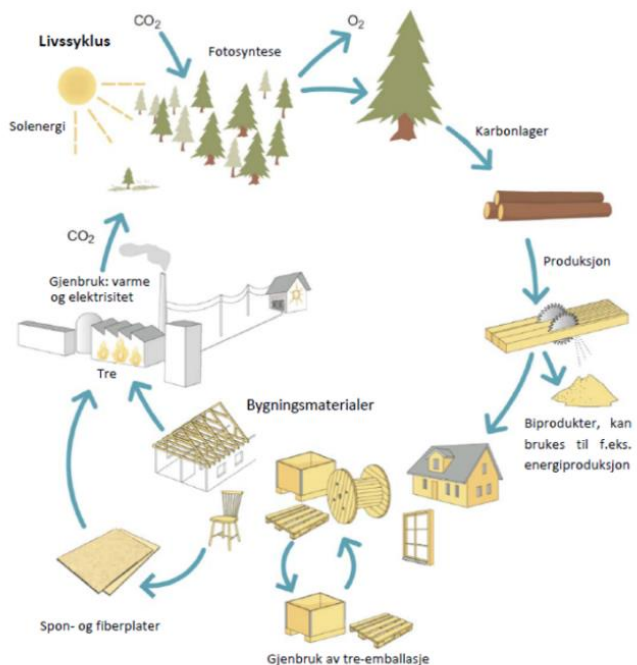
CO₂-ekvivalenter er mål for utslippsreduksjoner som omfatter karbondioksid (CO₂) og som regel gasser som metan (CH₄), lystgass (N₂O) og fluorgasser (HFK, PFK og SF₆). Alle disse gassene påvirker til klimaendringer, men har svært forskjellige oppvarmingseffekt og levetid i atmosfæren. For å kunne sammenligne dem, regnes de om til CO₂-verdier, som kalles for CO₂-ekvivalenter. (Olerud & Lahn, 2020)

I de ulike stadiene i livsløpet er det estimert en CO₂-ekvivalent verdi som representere utslippet fra dette stadiet. Denne verdien finner vi på EPDen for produktet, som senere blir brukt for klimagassberegninger for bruen. Her vil en positiv verdi vise til utslipp, og en negativ verdi vise til karbonlagring eller resirkulering. Karbonlagring betyr at produktet suger til seg klimagasser, og hindrer at de blir frigjort til atmosfæren. (Lyng, Rønning, Vold, & Svanes, 2014)

2.3 Tre - miljøegenskaper

Tre har flere gode miljøegenskaper. Tre er fornybart og har liten innvirkning på miljøet dersom det kommer fra bærekraftig forvaltet skog. Benyttelse av tre reduserer CO₂- utslippene til atmosfæren. Dette siden tre fungerer som et karbonlager. Et karbonlager er der CO₂ tas ut av atmosfæren og lagres over kort eller lang tid. Det naturlige karbonlagringen skjer via jordens karbonkretsloop, som finnes i hav, myr og skog. Naturlig karbonlagring skjer gjennom ulike biologiske prosesser, en av disse prosessene er fotosyntesen. Der planter tar til seg CO₂ ut av atmosfæren og lagres som karbon i vegetasjonen. (Myhre, 2018) Treverket holder på karbondioksidet gjennom hele sitt liv, før det slippes ut når det enten brennes eller brytes ned naturlig. Det er derfor gunstig at treverket utnyttes som bioenergi og brukes til energiformål, istedenfor at det brytes ned ute i skogen. Ved materialgjenvinning av tre kan man sørge for at treverket får et enda lengre liv og da en forlenget karbonlagring. Man kan også bruke treverk som erstatning for fossile brensler, da sparer man atmosfæren direkte for CO₂. Dersom man sørger for rask gjenvekst etter avvirkning vil man oppnå best mulig karbonlagring. Hvis det er grodd frem et nytt tre innen det gamles «liv» er over, vil man ha et positivt regnskap. I 1 m³ med bjørk lagres det 920 kg CO₂, 810 kg i furu og 700 kg i gran. (Treindustrien, 2022)

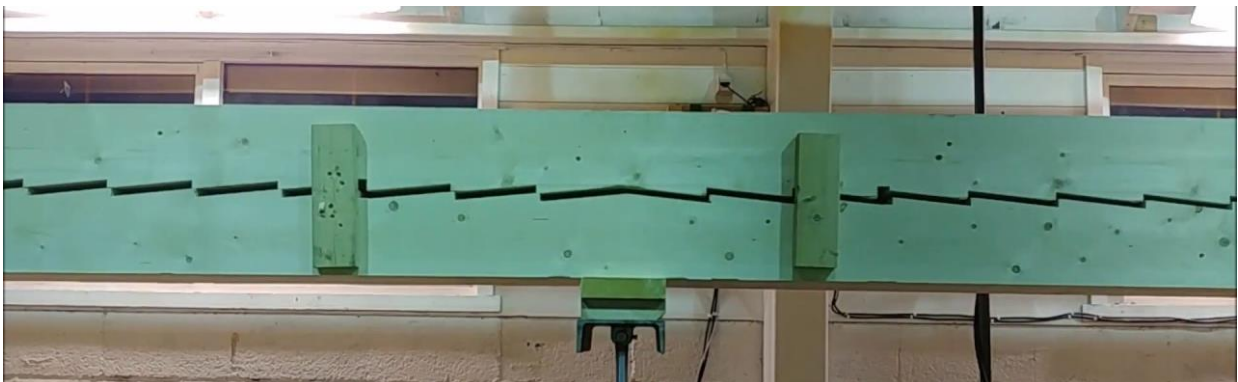
Treverk har et mye mindre CO₂-utslipp enn betong og stål. Universitetet for miljø og biovitenskap gikk i 2005 gjennom en rekke undersøkelser gjort i Sverige og Norge og kom frem til at 1 m³ tre som erstatter betong reduserer CO₂-utslippene med 0,2-2,1 tonn. For stål var det 0,2-0,5 tonn. (Treindustrien, 2022) Her er det mange parametere som spiller inn, så et helt tydelig svar for alle tilfeller blir det vanskelig å konkludere med. En av disse parameterne er transport. I Norge har vi store områder med skog som egner seg godt for bruk i bygg, konstruksjoner, møbler osv. Dette gjør at man benytte seg av kortreist treverk og unngår lange transportetapper som krever mye drivstoff eller strøm.



Figur 2 – Treets livssyklus. Hentet fra: Norsk Limtreprodusenters forening. Limtreboka.

2.4 Tannbjelke

Tannbjelke er en av mange forskjellige typer bjelker som er ut på markedet. Bjelken består av tre, og er vanligvis brukt som bærende konstruksjonsdel. En tannbjelke er basert på gamle håndverkstradisjoner der to trebjelker med utskårne tenner blir forspenning mot hverandre. De to bjelkene holdes sammen av de utskårde tennene. Tennene gjør at de oppnår samvirke, noe som fører til at man har en selvbærende bjelke med høyere bæreevne over lengre spenn, enn en lignende bjelke i heltre ville gitt. Dette gjør at man kan spare store mengder materiale ved å benytte tannbjelker kontra andre byggeskikker. Denne konstruksjonen er en gammel håndverkstradisjon som går tusen år tilbake. Den ble brukt i utbygging av langhus fra vikingtiden via gamle kirker og tradisjonelle Trønderlån. Gamle Bybru i Trondheim og Forsvarsmuseet i Oslo er eksempler på bruk av tannbjelker (Lang, 2019). Tidligere har det også blitt brukt i pakkhus og lagerbygg, før stål og betong tok over markedet. Selv om stål og betong har tatt over de siste århundrene, handler fokuset i byggenæringen nå om å bygge med tanke på miljøet. Noe som vil garantert øke interessen for denne type trebjelker.



Figur 3 – Tannbjelke. Hentet fra: rennebubjelken.no

For Rennebu-Bjelken AS er tannbjelken selve grunnsteinen i produktene deres. Den gamle håndverkstradisjonen kan gi mye kunnskap og forståelse om materialet. Dermed har Rennebu-Bjelken AS lagt ned mye arbeid med å videreutvikle denne konstruksjonen. (Kunøe, 2016) Ved hjelp av dagens teknologi og hjelpemidler er tannbjelker et enkelt produkt å produsere. Beregningene for bjelkens bæreevne blir gjort av en egenutviklet programvare fra Rennebu-Bjelken, noe som bestemmer størrelsen og posisjonen til tennene før den blir skåret ut av en datastyrt fres, altså en CNC-styrt maskin. CNC står for Computer Numerical Control og er en maskin som er automatisk styrt via et dataprogram. Ved hjelp av en hydraulisk pressbenk blir forspenning, og testing av bæreevne gjennomført (Rennebu-Bjelken, 2021).

2.5 Materialer

De tre materialene denne oppgaven vil omfatte er limtre, stål og betong. De videre punktene vil fortelle mer om egenskapene disse materialene har.

2.5.1 Limtre

Limtre har en sentral rolle i byggebransjen, og det finnes flere produsenter i landet. Limtre er bygget opp av flere styrkesorterte limtrelameller til et større massivt tverrsnitt, som regel av gran, men også av furu. Lamellene er normalt satt sammen ved fingerskjøtt og er styrkesortert etter NS-EN 14081 for konstruksjonsvirke. Antall lameller varierer, men som regel er det minst 4. Lamelltykkelsen ligger på rundt 45 mm eller mindre. Lamellene limes sammen med konstruksjonslim, hvor det er mest vanlig å benytte vannfaste, fenol- og polyuretanbaserte limtyper. I tørt klima kan det også benyttes ikke-vannfaste limtyper. Etter liming presses lamellene sammen med en hydraulisk presse mens limet herdes. (Ramstad, 2014)

Limtre blir benyttet til en rekke typer bruer, til forskjellig bruk. Forskjellige byggeteknikker blir benyttet for å nå mål til last, estetikk, spenn, høyde osv. Felles for alle typene er at de benytter lim for å oppnå bedre bæreevne, selv om limtype kan variere. Bruken av lim er derimot ikke godt for miljøet. Fremstillingen av lim begynner med råolje eller naturgass som blir brukt i mellomprodukter som videre fungerer som råvarer i lim. Dette er en meget ressurskrevende prosess, som vil si at selv om limbruken i produkter er liten, kan det likevel ha stor miljøbelastning. UF, MUF, PF og PRF er vanlige limtyper, disse blir fremstilt fra urea, fenol, melamin, og metanol, som er svært energikrevende råvarer å fremstille. Limet utgjort bare 1-2 vektprosent av limtre, men nesten 10 prosent av den totale energibruken for limtreet. For sponplater er dette enda høyere ettersom det benyttes mer lim. Behandling med lim fører derimot til at treverket får en lengre levetid og kan benyttes bedre. Dette er positivt, sett fra et miljøperspektiv (SINTEF, 2022).

Etter at limtreet har gjort sitt under bruksfasen og blir sendt til avfallsbehandling, så er det fortsatt mulighet til å utnytte det videre. Er treet eller deler av det i såpass god kvalitet så kan det gjenbrukes i nye produkter. Hvis ikke kan det benyttes i eksempelvis spon- og fiberplater. Dersom kvaliteten er såpass dårlig så kan det benyttes til brensel i for eksempel fjernvarme anlegg eller som bioenergi andre steder. (Trefokus, 2022)

Et negativt aspekt ved limtre og trevirke generelt er at det er utsatt for råte. Dersom tre blir utsatt for fukt vil det oppstå råte ved at treverket brytes ned av sopp. (Ryvarden, 2020) Dette går utover kvaliteten til treet og kan gjøre at det mister bæreevnen. Det er derfor viktig å

behandle trevirke for å unngå dette. Det skjer vanligvis gjennom impregnering eller karbonisering. Det finnes en rekke impregneringsmetoder og midler. Karbonisering foregår ved lett brenning av treverket.

2.5.2 Stål

Et annet sentral byggemateriale i byggebransjen er stål. Stål er et av de mest brukte materialene i byggebransjen på grunn av sin høye styrke, holdbarhet og relativt lave kostnader. Stål er en legering av jern og karbon som i tillegg til en rekke andre mengder med legeringselementer. (Designing Buildings, 2021)

Stålindustrien står for omtrent 7% av verdens totale CO₂-utslipp. Hovedutfordringen for stålproduksjonen er å få ned utslipp fra den energikrevende produksjonen. Det finnes to metoder for å produsere stål, enten fra masovn og oksygenkonverter eller elektrisk lysbueovn. Der forskjellen på det to metodene er at masovn og oksygenkonverter bruker malm, kalk og kull og litt skrap, mens elektriske lysbueovn bruker skrap og elektrisitet. De mest brukte metodene er malmbaserte metoden som står for omtrent 70% av verdensproduksjonen. (Norsk Stål, u.d.)

Stål har en positiv egenskap som er at den kan resirkuleres til 100% og kan også resirkuleres i det uendelige uten å miste sin kvalitet. Gjenvinning av stål sparer nesten 74% av den totale energien som brukes for produksjon av stål fra råvarer. Dette vil ha store fordeler for å minske negativ påvirkning på miljøet, og når det gjelder klimagassutslipp. (Bennette, 2020)

Stål blir benyttet i en rekke store konstruksjoner som bruer. Stålbruelementer er enkle å fremstille og er mye brukt i brukonstruksjoner på grunn av den høye strekkfastheten til stålmaterialer. Dessuten er det også veldig enkelt å montere. En av egenskapene til stål er at den har god strekk- og trykkfasthet, og evnen til å bøye seg uten å sprekke eller brette. Egenvekten er også relativt lett i forhold til andre materialer som gjør at det kan bygges bruer med lange spenn. Den er lett å inspisere for forringelse eller skade.

Ulempen med stål er at den er utsatt for korrosjon. Dette er muligens en av ståls svakeste side, noe som fører til store kostnader etter installasjon. Korrosjon er oppløsning av metalliske materialer, som hovedsakelig på grunn av spontane elektrokjemiske reaksjoner. (Haarberg, 2019). Eksempel på korrosjonsproblemer er Svinesundbrua, som etter 13 år måtte renoveres for 50 millioner kroner på grunn av rustproblemer. (Pedersen, 2018) Det er derfor viktig at stålet behandles godt dersom det skal være utsatt for fukt og regn.

2.5.3 Betong

Betong er et av de aller viktigste, og mest kjente byggematerialene i byggebransjen. Den brukes i mange ulike konstruksjoner som blant annet dammer, bruer, kaier, petroleumsplattformer og bygninger. Den lages ved å blande sement og vann med tilslag av sandmaterialer og steinmaterialer. Det oppstår da en kjemisk reaksjon når sementen reagerer med vannet. (Thue, 2019). Når sementen er blandet med vann danner det et sementlim som fyller hulrommene mellom tilslaget. Vanligvis er tilslaget omtrent 60-75 % av det totale volumet til betongen, mens resterende er sementlimen. Mengdeforholdet mellom vanninnhold, og sement beskrives med v/c - tallet (*vannmengde/sementmengde*). For å oppnå de ulike egenskapene i fersk og herdet tilstand må fordelingen av sement, vann eller tilslag justeres. Som nevnt oppstår det en kjemisk reaksjon mellom sement og vann, også kalt hydratisering. Det er under denne fasen betongen utvikler sine ulike mekaniske egenskaper. (Kontrollrådet, u.d.)

I store konstruksjoner som på bruer brukes det som regel armert betong. Dette er på grunn av at betong er sterk i kompresjon, men dårlig i strekkstyrke. Armert betong er betong som er innebygd med stålstenger, gjør at mindre betong kan brukes fordi stålstengene vil ta opp all strekk kreftene. Betongen rundt stålstengene vil beskytte stålet mot korrosjon og brann. (P.Billington, u.d.) Betong er verdens vanligste byggemateriale, og er hyppig brukt til brubygging. Betong er relativt billig og kan lett produseres hvor som helst. Det at man kan støpe betongen på arbeidsplassen gjør det enkelt med tanke på transport og gjennomføring av byggefasen.

Ulempen med betong er at den har høy CO_2 – utslipp ved produsering av sement. Sement er et av de viktigst hovedbestanddelene i betong. Det er anslått at den globale sementproduksjonen står for rundt fem prosent av alle CO_2 – utslipp, noe som gjør sementbransjen til en av de største utslippsverstingene. (Biørnstad, 2016)

På grunn av at normal betong har høyt klimagassutslipp, så kan vi enkelte tilfeller bruke lavkarbonbetong i istedenfor. Flere byggherrer fokuserer og er mer opptatt av CO_2 avtrykket som et bygg etterlater seg i miljøet. Lavkarbonbetong defineres som betong der det er gjort tiltak for å begrense klimagassutslippet. Det finnes tre ulike klasser for lavkarbonbetong, der klassene er definert med grenseverdier for deklarererte klimagassutslipp for et utvalg kombinasjoner av fasthetsklasser og bestandighetsklasser, slik disse er definert i standarden NS-EN 206. (Hokksund Betong, 2016)

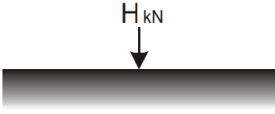
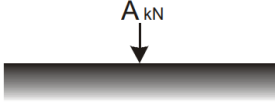
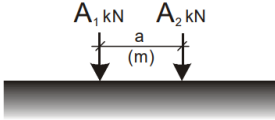
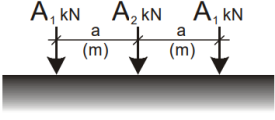
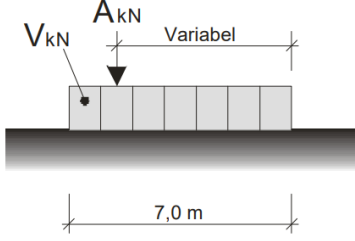
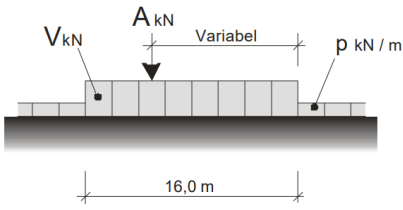
Det tre ulike klassene er:

- Lavkarbon A: strengeste klassen, bruk av spesielle tiltak
- Lavkarbon B: oppnås med ordinære resepttekniske tiltak
- Lavkarbon C: oppnås med relativt enkle resepttekniske tiltak

Innen 2020 skal 70% av bygge- og anleggsavfall gjenbrukes. Hvordan skal betongbransjen greie dette? Betong står for rundt halvparten av det totale avfallet fra bygg- og anleggsbransjen. Betong kan resirkuleres til ubundet eller sementbundet bruk. Ubundet bruk omfatter oppfylling, benyttelse i bærelag eller lignende. Sementbundet bruk betyr at betong med god nok kvalitet blir benyttet igjen i ny betong. Man anslår at 90% av den resirkulerte betongen går til ubundet bruk. (Jacobsen, 2018)

2.6 Bruklassifisering

Bruer som benyttes til trafikk fordeles inn i brukklassifiseringer. Disse klassifiseringene defineres av statens vegvesen etter håndbok R412. Det er en rekke parametere som bestemmer hvilken klasse bruene tilhører, dette kan leses nøyere om i håndboken. Bruene denne oppgaven tar for seg defineres under bruksklasse 10 (BK10). Bruksklasse er betegnelse for de vekter som de forskjellige vegene tillates for. Den angir største tillatte aksellaster, last fra akselkombinasjoner og totalvekt avhengig av avstanden mellom akslene. Tabellen under viser til kravene for BK10. Oppgitt med last målt i kilonewton samt lastens treffpunkt ved forskjellige aksler og type kjøretøy. (Statens Vegvesen, 2014)

Lasttype	Lastkonfigurasjon	Bruksklasse BK10	
Hjullast		H	80
Aksellast		A	160
Boggilast		A1	65
		A2	160
		a	1,3
Trippelboggilast		A1	70
		A2	140
		a	1,3
Kjøretøylast		A	40
		V	300
Vogntoglast		A	40
		V	500
		p	6

Tabell 1 – Krav til bru i bruksklasse 10. Verdier hentet fra håndbok R412

3. Case

Under dette punktet tar vi for oss alle de forskjellige bruene, og viser til materialene og behandlingene som gjennomføres.

3.1 Den Høie Bro

Oppgaven vil ta for seg «Den Høie Bro» som er produsert av Rennebu-Bjelken for Ringebu kommune. Bruen er en trebru som er laget for gang- og sykkelveg i Fåvang. Den Høie Bro består av forspente fortannede limtredragere tverrspent med spennstag. Med tverrtrelag og tredekke. Bruen er dimensjonert for å kunne tåle en brøytetraktor.



Figur 4 – Den Høie Bro. Hentet fra rennebubjelken.no/b/30542/gangbru-levert-til-favang

For den Høie Bro har vi konkrete tegninger av hele konstruksjonen, se vedlegg A – Den Høie Bro. Resultatene for livsløpsanalysen vil omhandle Klemetfossen Bro, men overbygget vil være det samme som fra Den Høie Bro. Dette inkluderer rekkverk og dekke, samt skruer, bolter og plater.

Spesifikasjoner	
Lengde	23 meter
Bredde gangbane	3,2 meter
Bruklassifisering	BK10

Tabell 2 – Spesifikasjoner Den Høie Bro

Materialliste		
Komponent	Materiale	Mengde
Brospenn		
Tannbjelke	Splikton limtre GL30C	12,75 m ³
Spennstag	Stål	96,05 kg
Ankerplate	Stål 30x300mm	36 stk (599,27 kg)
Tverrtre	Furu C24 CU Imp	5,57 m ³
Kubbing	Gran C24	2,38 m ³
Dekke		
Toppedekke	Furu C24 CU Imp	4,70 m ³
Skruer	Treskruer outdoor C4 6x120	2620 stk (15,72 kg)
Belegning		
Belegning	Furu C24 CU Imp	0,65 m ³
Rekkverk		
Rekkverk	Furu C24 CU Imp	5,17 m ³
M16 Bolter og muttere	Sekskantskrue M16	64 stk (1,60 kg)
	M16 mutter	64 stk (0,26 kg)
Underlagskive	Underlagskive 75mm	128 stk (28,26 kg)
Skruer	Treskrue ET-T 8,2x130	32 stk (0,22 kg)
	Treskruer outdoor C4 6x90	1292 stk (6,46 kg)

Tabell 3 – Materialliste Den Høie Bro

Behandling

- Fresing av limtre om til tannbjelker
- Kubbingen og bærebjelkene beskyttes ved karbonisering, dette skjer gjennom lett brenning ved hjelp av propangass. Det legges også på ett lag med linolje
- Konstruksjonsvirke blir kobberimpregnert (CU imp), dette skjer hos produsent

3.2 Klemetfossen Bro

Klemetfossen Bro er en landeveisbru som er produsert av Rennebu-Bjelken AS. Den er dimensjonert for 3,6 tonns vogntog. Bruen går over Klemetfossen i Folldal kommune. Bruen har 6 tannbjelker av limtre som sørger for at den holder kravene til BK10 over 22,3m spenn. For å se tegningene av Klemetfossen bro se vedlegg B – Klemetfossen bro.



Figur 5 – Klemetfossen Bro. Hentet fra <https://www.rennebubjelken.no/b/30510/bru-til-einunndalen>

Det er av underdelen (bærebjelker og kubbingen) av Klemetfossen Bro og overdelen (rekkverk, dekke og tverrtre) av den Høie Bro analysen av trebruen blir gjennomført for. Dette gir det mest nøyaktige grunnlaget for livsløpsberegningene.

Spesifikasjoner	
Lengde	23 meter (22,3m spenn)
Bredde gangbane	3,5 meter
Bruklassifisering	BK10

Tabell 4 – Spesifikasjoner Klemetfossen Bro

Materialliste		
Komponent	Materiale	Mengde
Brospenn		
Tannbjelke	Splikton limtre GL30C	18,84 m ³
Spennstag	Stål	96,05 kg
Ankerplate	Stål 30x300mm	46 stk (765,74 kg)
Tverrtre	Furu C24 CU Imp	5,57 m ³
Kubbing	Splikton limtre GL30C	3,64 m ³
Dekke		
Toppedekke	Furu C24 CU Imp	8,75 m ³
Skruer	Treskruer outdoor C4 6x120	2620 stk (15,72 kg)
Rekkverk		
Rekkverk	Furu C24 CU Imp	5,17 m ³
M16 Bolter og muttere	Sekskantskrue M16	64 stk (1,60 kg)
	M16 mutter	64 stk (0,26 kg)
Underlagskive	Underlagskive 75mm	128 stk (28,26 kg)
Skruer	Treskrue ET-T 8,2x130	32 stk (0,22 kg)
	Treskruer outdoor C4 6x90	1292 stk (6,46 kg)

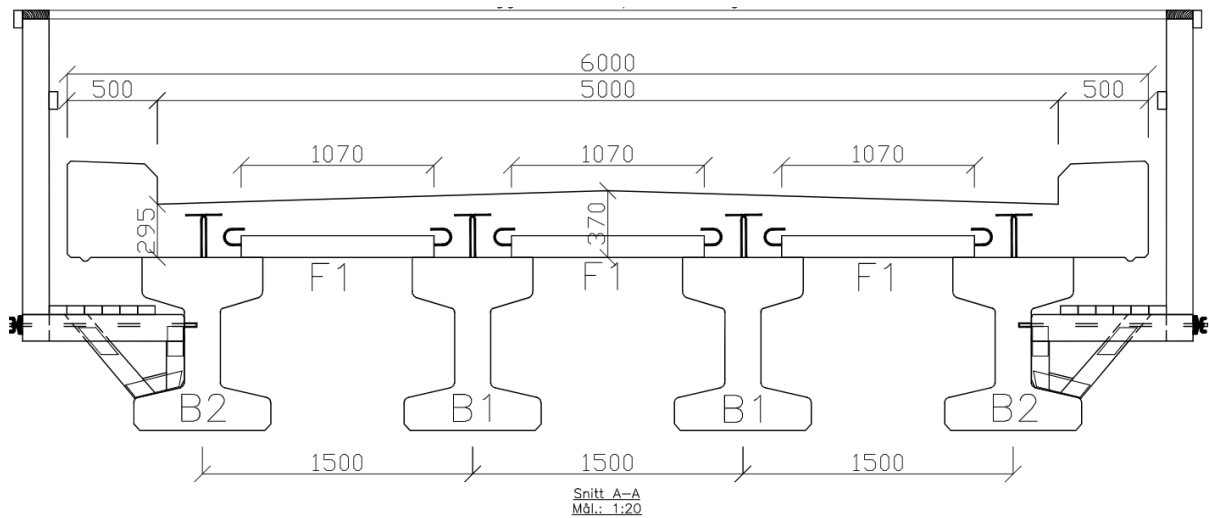
Tabell 5 – Materialliste Klemefossen Bro

Behandling

Behandlingen blir her lik som for Den Høie Bro.

3.3 Sveivhylen bru

Sveivhylen bru er en betongbru laget av Norsk Spennbetong AS (tidligere Bjørn Hansen AS). Bruen er 23,4 m lang og er bygd opp av 4 bjelker. Det er disse bjelkene som vil bli inkludert i sammenligningsprosessen mellom stål, betong og tre. Tegningene av bruene kan man se i vedlegg C – Sveivhylen bru. Ettersom hvilke materialer man benytter for dekke og rekkverk kan lett byttes ut. Analysen vil også se på forskjellige lavkarbonbetongtyper.



Figur 6 – Tegning av Sveivhylen Bru

Materialliste	
Komponent	Mengde
Betong B55	28,19 m ³
Armering	1,10 m ³

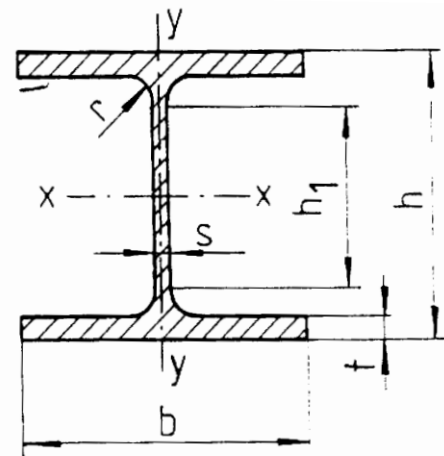
Tabell 6 – Materialliste Sveivhylen Bru

3.4 Stål bru

For stålbruen vil vi gjøre det på samme måte som for betongbjelkene. Her har vi tatt utgangspunkt i Skogkurs typetegninger på landbruksveibruer og deres landbruksvegbru type 1 – Stålbjelkebru med tredekke. Se Vedlegg F – Generelle data for landbruksvegbru type 1 stålbjelkebru med tredekke. (Bråthen, 2020) Det er fra samme kilden Rennebu-Bjelken har benyttet for sine arbeider med landeveibruer. Typetegningene viser til at det må benyttes to HE1000B bjelker av kvalitet S355. Disse legges til grunnlag for livsløpsberegninger for en stålbru. Utregninger av mengde er gjort ut ifra NS-EN 10034. (Standard Norge, 1994)

HE1000B	
Masse ($7,85\text{kg/dm}^3$) kg/m	314
h (mm)	1000
b (mm)	300
s (mm)	19
t (mm)	36
r (mm)	30
h_1 (mm)	868

Tabell 7 – Verdier for en HE1000B bjelke. Verdier hentet fra NS-EN 10034



Figur 7 – Tverrsnitt av H-bjelke. Hentet fra NS-EN 10034



Figur 8 – Marlo Bru med H-bjelker. Hentet fra <https://www.fjuken.no/nyheiter/i/x8jRoX/marlo-bru-blir-opna-att-for-paske>

4. Metode

Valg av metode er viktig for å sørge for en systematisk gjennomføring og tilegning av informasjon. Ved å følge en klar og tydelig metode sørger man også for at analysen kan etterprøves. Valg av metode er dessuten viktig for at man skal kunne besvare problemstillingene. Her vil det beskrives metodene som er benyttet for å løse oppgaven. Det forklares hvordan det har blitt jobbet for å samle informasjon, hvordan programmer er benyttet, og hvilke data som inngår i beregningene.

4.1 Valg av metode

For oppgaven har vi valgt å gjennomføre livsløpsanalyser av to scenarioer. Scenario 1 vil være en helhetlig analyse av Klemetfossen Bro. I Scenario 2 vil det sammenlignes bærebjelker på 20 m for limtre (tannbjelker), stål og betong. Bakgrunnen for valg av livsløpsanalyse som metode skyldes at man her får en helhetlig beregning hvor alle fasene til produktet er inkludert. Analysen vil bli gjennomført i Excel hvor man vil se på hvor store mengder materiale som inngår i bruken og bærebjelkene. Disse mengdene settes opp mot utslippsverdier hentet fra aktuelle EPDer, for å få verdier for totalt utslipp fra alle fasene.

4.1.1 Livsløpsanalyse (LCA)

Etter ISO 14040 så består en livsløpsanalyse (LCA) av fasene nevnt i underpunktene. (Standard Norge, 2006)

Hensikt og omfang

Den første fasen av en livsløpsanalyse skal spesifisere forventet bruksområde, hensikt og målgruppe. Omfanget skal inneholde funksjonell enhet, systemgrenser, allokeringsprosedyrer, forutsetninger og begrensninger. En funksjonell enhet skal være en enhet som alle strømmer inn og ut av systemet kan relateres i forhold til. For systemgrensene skal man vurdere hvilke faser som skal inkluderes for hvert enkelt produkt i analysen. Disse fasene er vist i tabellen under. Dersom enkelte faser ikke er relevante eller det ikke foreligger dokumentasjon inkluderes de ikke.

Produksjonsfase	A1	Råvarer – Utvinning og bearbeidelse
	A2	Transport av råvarer til produksjonssted
	A3	Produksjon
Byggefase	A4	Transport til byggeplass
	A5	Bygging/Bearbeidelse
Bruksfase	B1	Bruk
	B2	Vedlikehold
	B3	Reparasjoner
	B4	Erstatninger
	B5	Renovering
	B6	Driftsenergi
	B7	Vannforbruk
Avhending	C1	Demontering
	C2	Transport
	C3	Avfallsbehandling
	C4	Avfall til sluttbehandling
Etter endt levetid	D	Gjenbruk-gjenvinning- resirkulering-potensiale

Tabell 8 – Fasene i en livsløpsanalyse

Ved å se på alle fasene til hvert enkelt produkt som er blitt benyttet i brua så tar vi høyde for allokering. EPDer viser også til at allokering har blitt tatt hensyn til. Forutsetningene for analysen er å sørge for å få et resultat som er så likt de faktiske forholdene som mulig. Begrensninger er satt ut ifra hvilke EPDer som er tilgjengelig for benyttede produkter og hva som anses som relevant. Noen veldig små mengder av råmaterialer og energistrømmer fra produksjonsprosesser (mindre enn 1%) blir utelatt ettersom de kategoriseres som cut-off kriterier og vil ha liten til ingen betydning på endelig resultat.

Livsløpsregnskap

En livsløpsanalyse (LCA) deles vanligvis opp i en produksjons-, bygge-, bruks-, avhendings- og etter endt levetid-fase. Innenfor hver av fasene er det forskjellige underpunkter. Antallet av disse som er aktuelle vil variere fra produkt til produkt. Alle fasene legges sammen for å få et totalt livsløpsregnskap. Verdier kan være positive eller negative. Verdier som har en verdi mindre enn 0 vil ha en positiv effekt på miljøet. Slike verdier oppstår som regel gjennom

gjenvinning, resirkulasjon eller at materialene fungerer som et karbonlager. Verdier større enn 0 har et direkte klimagassutslipp.

Effektvurdering

I effektvurderingen ser man på miljøpåvirkningene fra livsløpsregnskapet. Som oftest gjennom energibruk og/eller gjennom CO₂-ekvivalenter. Her gjøres alle verdier om til en felles funksjonell enhet slik at man enkelt kan se effekten av alle faser for hvert produkt.

Tolkning

Under tolkningsfasen analyserer man resultatene og drar konklusjoner. Resultatene vil bli sammenlignet og visualisert gjennom figurer og tabeller. Dette gjøres under punktet resultater. Videre vil resultatene diskuteres under punktet diskusjon.

4.2 Datainnsamling

Datainnsamlingen for denne oppgaven vil i hovedsak omhandle EPDer. Vi ønsker å benytte troverdige og grundig gjennomførte miljødeklarasjoner. Derfor vil vi benytte nettsiden EPD-Norge for innhenting av EPDer. Her finnes det en samling av EPDer for ulike type materialer og produkter. EPDene som er brukt kan man finne i Vedlegg D-EPDer.

For resten av rapporten er databasene Oria og Google Scholar brukt, i tillegg til ordinært nettsøk. Oria gir tilgang til Universitetsbiblioteket til NTNU og Norske fagbibliotek. I Google Scholar er det enklere å finne akademisk litteratur, enn i ordinært nettsøk. Av litteraturen som er funnet, er det prioritert å bruke nyere litteratur. Dette er på grunn av at klimagassregnskap er et tema som er stadig i utvikling, og det kommer stadig ny og forbedret informasjon. I tillegg er artikler og rapporter fra Europa og Skandinavia blitt prioritert. Da det vil være store forskjeller på et klimaregnskap basert på norske forhold sammenlignet med et regnskap fra en annen klimasone. Samt kontakte personer som jobber med det aktuelle temaet ute i bransjen.

En svakhet ved noe av den anvendte litteraturen, er at den er hentet fra kommersielle aktører med interesse av å fremme et budskap som gagnar dem. Disse kildene anses ikke som objektive, og har derfor blitt vurdert mot andre kilder for å finne ut hvilken informasjon som er troverdig.

4.3 Dataverktøy

Dataverktøy som er benyttet for å hjelpe til med beregninger av klimagassutslipp er Microsoft Excel regneark. Excel er benyttet på grunn av sine egenskaper med å gjennomføre alle beregninger på en effektiv og strukturert måte. Ved eventuelle korrigeringer er det enkelt å gjøre endringer på et senere tidspunkt. Ved å sette opp gode, gjennomtenkte tabeller har vi produsert fullstendige datasett. Excel gjør det også mulig å holde på med flere forskjellige beregninger i samme fil, altså gjennom flere regneark. På den måten er det enkelt å hente ut verdier fra andre regneark. Excel gjør det mulig å bruke resultatene av beregningene til å lage visuelle grafer eller diagrammer. Noe som lar oss se resultatene på en visuell måte og ikke bare som tallverdier.

5. Resultater

Her kommer alle resultatene fra analysen vår. Utregninger og verdier ligger under Vedlegg E – Beregninger (Excel).

5.1 Grunnlag for verdier

5.1.1 Verdier for Klemetfossen Bro

Her er det samlet alle produktene som inngår i Klemetfossen Bro. For de forskjellige produktene er det funnet tilhørende EPDer. EPDene som er benyttet kan sees i vedlegg D-EPDer. For produktene som ikke har en tilhørende EPD, så har vi funnet til lignende produkter og benyttet deres EPDer. For limtreet har vi benyttet tilhørende EPD for alle faser foruten C4 og D ettersom de ikke var deklart. En inkludering av en annen EPD fra et annet limtre produkt vil lage en mer komplett analyse. Her får vi da inkludert at restene av treverket blir benyttet til oppvarming og substituerer for elektrisitet.

For stålproduktene har vi måttet benytte flere EPDer for å kunne dekke alle fasene i analysen. De benyttede EPDene er skrevet ned under.

For linolje har vi estimert et utslipp på 0. Dette ettersom det ikke finnes noe data på LCA beregninger for linolje. Siden linolje produseres av frø fra linoljeplanten så er den fornybar naturressurs og et karbonlager. Vi antar da at karbonlagringen og utslippene nuller hverandre ut.

Ved beregninger for bygging/bearbeidelse som er gjort på materialene av Rennebu-Bjelken AS, er det satt verdi for kWh strøm som brukes. Her har strøm en GWP-verdi på 27g CO₂-ekvivalent per kWh. (Nowtricity, 2022)

Produkt	Splitkon limtre GL30C	Furu C24 CU imp	Propangass
Produsent	Splitkon (importør), Martinsons Såg (produsent)	Inntre Kjeldstad	AGA
Materiale(r)	Gran, vann i trevirke, lim	Furu, vann i trevirke og impregneringsmiddel CX-8	Propangass
Opphavssted	Åmot (importør), Bygdsiljum Sverige (produsent)	Steinkjer, Selbu og Støren	Oslo
Benyttet EPD, deklarasjonsnummer	NEPD-2783-1438- NO og NEPD-1576- 605-NO	NEPD-3282-1918- NO	-
Minimum levetid	60 år	60 år	-

Tabell 9 – Produktverdier for Klemetfossen Bro 1

Produkt	Bitum membran	Stål produkter (inkludert skruer, plater og skiver)	Linolje
Produsent	Membrantak AS	Tibnor, Dywidag- Norge, Arvid Nilsson AS	Møretyri AS
Materiale(r)	Modifisert bitumen, skiferstrø, polyesterstamme og polypropylenfolie	Stål	Linolje
Opphavssted	Heimdal	Trondheim (lager) og Borlänge (produsent), Kongsvinger (lager) og Linköping (produsent), Dokka (lager) Kungälv (produsent)	Våglund
Benyttet EPD, deklarasjonsnummer	00186N	NEPD-3317-1954- EN (For fase A4, C1, C2) S-P-01918 (skruer, ankerplate og skiver), S-P-02400 (spennstag)	-
Minimum levetid	30 år	-	-

Tabell 10 – Produktverdier for Klemetfossen Bro 2

5.1.2 Verdier for Sveivhylen bru

For betongbruen er det ikke nødvendig med hvor produsenten ligger ettersom her skal det bare sees på produksjonsfasen, til sammenligningen mellom materialene. Alt av betong er i bestandighetsklasse B55. Avhending og resirkulering av betong er ikke tatt med ettersom det som regel blir brukt til fyllmasser, bærelag eller forsterkningslag som ikke har noen direkte virkning på klimagassutslipp. For armeringen derimot beregnes det med en 95% resirkulasjonsrate.

Produkt	Betong	Armering
Materiale(r)	Betong – Lavkarbonbetong klasse A, B, C og bransjereferanse	Stål
Benyttet EPD, deklarasjonsnummer	Hentet fra Norsk betongforenings lavkarbonklasser (NB37)	NEPD-3294-1938
Minimum levetid	N/A	60 år

Tabell 11 – Produktverdier for Sveivhylen Bru

5.1.3 Verdier for HE1000B bjelker

Produkt	HE1000B stål bjelke
Materiale(r)	Stål
Benyttet EPD, deklarasjonsnummer	NEPD-2843-1526-NO
Minimum levetid	50 år

Tabell 12 – Produktverdier for HE1000B bjelker

5.2 Systemgrenser for Klemetfossen Bro

Valg av systemgrenser har vært avhengig av tilgjengelige EPDer og hvilke faser som er relevant for hvert produkt. Faser markert med en X er inkludert i analysen. MID står for modul ikke deklarerert. Det betyr at det ikke ligger tilgjengelige verdier for utførte miljødeklarasjoner av produktene, selv om de kunne vært av interesse. MIR står for modul ikke relevant. Dette gjelder for faser som produktene ikke gjennomgår eller som anses som ikke relevant. Noen faser er også markert ved (X) dette viser til bearbeidelse av treverk gjort hos produsent Rennebu-Bjelken. Disse verdiene har blitt samlet under 2 faser. Bearbeidelsen av alt limtre er samlet under verdiene som tannbjelkene, og furu C4 under rekkverk (fase A5). Funksjonell enhet for analysen er kg CO₂-eq. Analysen er også innom kg, m³, km og kWh.

Klemetfossen Bro, Rennebu-Bjelken		Materialier	Produksjonsfase														Byggefase				Bruksfase							Avhending				Etter endt levetid
			A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D													
Bros penn																																
Tannbjelke	Splikton limtre GL30C		X	X	X	X	X	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	X	X	X	X	X												
Spennstag	Stål		X	X	X	X	MID	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	X	X	X	X	X												
Ankerplate	Stål 30x300 mm		X	X	X	X	MID	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	X	X	X	X	X												
Tverrtre	Furu C24 CU Imp		X	X	X	X	(X)	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	X	X	X	X	X												
Kubbing	Splikton limtre GL30C		X	X	X	X	(X)	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	X	X	X	X	X												
Dekke																																
Toppdekke	Furu C24 CU Imp		X	X	X	X	(X)	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	X	X	X	X	X												
Skruer	Treskruer C4 6x120		X	X	X	X	MID	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	X	X	X	X	X												
Membran	Bitum membran		X	X	X	X	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	X	X	X	X	MID												
Rekkverk																																
Rekkverk	Furu C24 CU Imp		X	X	X	X	X	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	X	X	X	X	X												
M16 Bolter og muttere	Sekskantskrue M16		X	X	X	X	MID	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	X	X	X	X	X												
	M16 mutter		X	X	X	X	MID	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	X	X	X	X	X												
Underlagskive	Underlagskive 75mm		X	X	X	X	MID	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	X	X	X	X	X												
Skruer	Treskrue ET-T 8,2x130		X	X	X	X	MID	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	X	X	X	X	X												
	Treskruer C4 6x90		X	X	X	X	MID	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	X	X	X	X	X												
Behandling																																
Karbonisering, svidd overflate	Propangass		MIR	MIR	MIR	MID	X	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR												
Beskyttelse for kubbing	Linolje		MIR	MIR	MIR	MID	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR												
Ferdigstilt bru																																
Klemetfossen Bro ferdigstilt			MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MIR	MID	MID	MID	MIR	MIR	MIR	MIR	MID	MIR	MIR	MIR	MIR												

Tabell 13 – Systemgrenser Klemetfossen Bro

5.3 Klimagassberegninger for Klemetfossen Bro

Beregninger for Klemetfossen Bro viser følgende klimagassutslipp for de fire ulike fasene, produksjonsfase (A1-A3), byggefase (A4-A5), avhending (C1-C4) og etter endt levetid (D). Klimagassutslipp for bruksfasen (B1-B7) som er knyttet til drift, vedlikehold osv. er ikke vurdert. Det er utført tre klimagassberegninger for Klemetfossen Bro, en med 100%, 50% og 0% karbonlagring. Påvirkningen av karbonlagringen blir vist i avhendingsfasen. Verdiene for de forskjellige materialene for de ulike fasene er hentet materiallisten og EPDer.

5.3.1 Produksjonsfase

Tabell 14 nedenfor viser til beregninger som er gjort for produksjonsfasen (A1-A3). Her er beregningen helt like for alle de tre ulike karbonlagringsprosentene. Materialene av tre som tannbjelke, tverrtre, toppdekke og rekkverk har negative verdier. Dette skyldes av karbonlagring, der tre suger til seg CO₂. Materialer av stål derimot som skruer, spennstag, ankerplate, bolter, muttere og underlagsskive har positiv verdi, ettersom disse har et utslipp.

Klemetfossen Bro, Rennebu-Bjelken		Produksjonsfase			
		A1, A2, A3			
		Produksjon A1-13			
Materialer		Enh	Mengde	kg CO ₂ -eq/enh	kg CO ₂ -eq
Brospenn					
Tannbjelke	Splikton limtre GL30C	m3	18,8357	-726,0000	-13674,7472
Spennstag	Stål	kg	96,0526	1,8700	179,6184
Ankerplate	Stål 30x300mm	kg	765,7396	2,7100	2075,1544
Tverrtre	Furu C24 CU Imp	m3	5,5660	-727,0000	-4046,4820
Kubbing	Splikton limtre GL30C	m3	3,6386	-726,0000	-2641,6236
Dekke					
Toppdekke	Furu C24 CU Imp	m3	8,7520	-727,0000	-6362,6749
Skruer	Treskruer C4 6x120	kg	15,7200	2,7100	42,6012
Membran	Bitum membran	m2	61,0000	2,8800	175,6800
Rekkverk					
Rekkverk	Furu C24 CU Imp	m3	5,1723	-727,0000	-3760,2370
M16 Bolter og muttere	Sekskantskrue M16	kg	1,6000	2,7100	4,3360
	M16 mutter	kg	0,2560	2,7100	0,6938
Underlagsskive	Underlagsskive 75mm	kg	28,2600	2,7100	76,5846
Skruer	Treskrue ET-T 8,2x130	kg	0,2240	2,7100	0,6070
	Treskruer C4 6x90	kg	6,4600	2,7100	17,5066
Behandling					
Karbonisering, svidd overflate	Propangass				
Beskyttelse for kubbing	Linolje				

Tabell 14 – Produksjonsfase Klemetfossen Bro

5.3.2 Byggefase

Beregninger for byggefasene (A4-A5) tar hensyn til transport, og bygging/bearbeidelse som er gjort for de ulike materialene. A4 fasen med transport har vi valgt å dele i to, regional transport og lokal transport. Regional transport er transport fra produksjonssted til importør, eller til bearbeidelsessted. Lokal transport vil si transport fra importør, eller bearbeidelsessted til byggeplass for Klemetfossen Bro. Det er tatt hensyn til at alle materialene blir transportert med lastebil. A5 fasen tar for seg bearbeidelsen som blir gjennomført på materialene av Rennebubjelken. Her er måleenheten kWh ettersom den viser hvor mye strøm det er brukt for å gjøre bearbeidelsen med en CNC-maskin for tannbjelkene, og kutting av andre materialer.

Klemetfossen Bro, Rennebu-Bjelken		Byggefase											
		A4, A5											
		Regional transport A4				Lokal transport A4				Bygging/bearbeidelse A5			
Materialer	Enh	km	kg CO2-eq/enh	kg CO2-eq	Enh	km	kg CO2-eq	kg CO2-eq	Enh	Mengde	kg CO2-eq/enh	kg CO2-eq	
Brosjenn													
Tannbjelke	Spliktton limtre GL30C	km	773,0000	0,4139	319,9374	km	112,0000	0,4139	46,3557	kWh	46,0000	0,0270	1,2420
Spennstag	Stål	km	370,0000	0,0492	18,1962	km	300,0000	0,0492	14,7537				
Ankerplate	Stål 30x300mm	km	570,0000	0,3921	223,4735	km	222,0000	0,3921	87,0370				
Tverrtre	Furu C24 CU Imp	km	45,0000	0,3618	16,2806	km	112,0000	0,3618	40,5205				
Kubbing	Spliktton limtre GL30C	km	773,0000	0,0800	61,8040	km	112,0000	0,0800	8,9548				
Dekke													
Toppdekke	Furu C24 CU Imp	km	45,0000	0,5689	25,5995	km	112,0000	0,5689	63,7143				
Skruer	Treskruer C4 6x120	km	412,0000	0,0009	0,3832	km	226,0000	0,0009	0,2102				
Membran	Bitum membran	km				km	212,0000	0,0310	6,5711				
Rekkverk													
Rekkverk	Furu C24 CU Imp	km	45,0000	0,3362	15,1289	km	112,0000	0,3362	37,6541	kWh	1476	0,0270	39,8520
M16 Bolter og muttere	Seksantskrue M16	km	412,0000	0,0008	0,3375	km	226,0000	0,0008	0,1851				
	M16 mutter	km	412,0000	0,0001	0,0540	km	226,0000	0,0001	0,0296				
Underlagskive	Underlagskive 75mm	km	570,0000	0,0145	8,2474	km	222,0000	0,0145	3,2121				
Skruer	Treskrue ET-T 8,2x130	km	412,0000	0,0001	0,0473	km	226,0000	0,0001	0,0259				
	Treskrue C4 6x90	km	412,0000	0,0033	1,3627	km	226,0000	0,0033	0,7475				
Behandling													
Karbonisering, svidd overflate	Propangass									kg	35,0000	3,0000	105,0000
Beskyttelse for kubbing	Linolje												

Tabell 15 – Byggefase Klemetfossen Bro

Tabell 16 nedenfor viser til avstand fra hvor, og til som en lastebil må kjøre for å transportere de ulike materialene. Avstanden er funnet ut ved hjelp av Google Maps. Her er Rennebu, et sted for bearbeidelse for Rennebubjelken AS, og Einunndal i Folledal byggeplassen for Klemetfossen Bro.

Materiale	
Brospeenn	
Tannbjelke	Splikton limtre GL30C
Spennstag	Stål
Ankerplate	Stål 30x300mm
Tverrtre	Furu C24 CU Imp
Kubbing	Splikton limtre GL30C

Dekke	
Toppdekke	Furu C24 CU Imp
Skruer	Treskrue C4 6x120
Membran	Bitum membran

Rekkverk	
Rekkverk	Furu C24 CU Imp
M16 Bolter og muttere	Sekskantskrue M16 M16 mutter
Underlagskive	Underlagskive 75mm
Skruer	Treskrue ET-T 8,2x130 Treskrue C4 6x90

Behandling	
Karbonisering ,svidd overflate	Propangass
Beskyttelse for kubbing	Linolje

Regional transport			Lokal transport		
Fra	Til	km	Fra	Til	km
Bygdsiljum, Sverige	Rennebu	773	Rennebu	Einunndal, Folledal	112
Linköping, Sverige	Kongsvinger	370	Kongsvinger	Einunndal, Folledal	300
Borlänge, Sverige	Trondheim	570	Trondheim	Einunndal, Folledal	222
Støren	Rennebu	45	Rennebu	Einunndal, Folledal	112
Bygdsiljum, Sverige	Rennebu	773	Rennebu	Einunndal, Folledal	112

Støren	Rennebu	45	Rennebu	Einunndal, Folledal	112
Kungälv, Sverige	Dokka	412	Dokka	Einunndal, Folledal	226
			Heimdal, Trondheim	Rennebu	212

Støren	Rennebu	45	Rennebu	Einunndal, Folledal	112
Kungälv, Sverige	Dokka	412	Dokka	Einunndal, Folledal	226
Kungälv, Sverige	Dokka	412	Dokka	Einunndal, Folledal	226
Borlänge, Sverige	Trondheim	570	Trondheim	Einunndal, Folledal	222
Kungälv, Sverige	Dokka	412	Dokka	Einunndal, Folledal	226
Kungälv, Sverige	Dokka	412	Dokka	Einunndal, Folledal	226

			Oslo	Rennebu	410
			Vågåland	Rennebu	136

Tabell 16 – Transportoversikt for materialer til Klemetfossen Bro

5.3.3 Avhending

Avhendingsfasen (C1-C4) handler om hvordan materialene blir håndtert etter sin levetid, som inkluderer demontering, transport til avfall, avfallsbehandling og avfall til sluttbehandling. Nedenfor er det vedlagt tre ulike tabeller for avhendingsfasen (C1-C4). De tre ulike tabellene representerer 100%, 50% og 0% karbonlagring. Stålmateriale har samme verdi for alle de tre ulike verdiene, mens for materialene av tre som tannbjelke, tverrtre, toppdekke og rekkverk kan man se forskjeller ved sammenligning.

Tabell 17 viser til klimagassberegninger for 100% karbonlagring. Når vi sammenligner de to andre tabellene, har materialene av tre mye lavere CO₂-ekvivalent verdi i tabell 17, i forhold til de andre tabellene. Dette skyldes at det blir frigjort nullutslipp av klimagasser fra karbonlagringen ved avfallsbehandling (C3).

Klemetfossen Bro, Rennebu-Bjelken		Avhending			
		C1, C2, C3, C4			
		Avhendig C1-C4			
Materialer		Enh	Mengde	kg CO ₂ -eq/enh	kg CO ₂ -eq
Bros penn					
Tannbjelke	Splikton limtre GL30C	m3	18,8357	5,7056	107,469198
Spennstag	Stål	kg	96,0526	0,0328	3,1539
Ankerplate	Stål 30x300mm	kg	765,7396	0,0169	12,9441
Tverrtre	Furu C24 CU Imp	m3	5,5660	6,0052	33,4247
Kubbing	Splikton limtre GL30C	m3	3,6386	5,7056	20,7604
Dekke					
Toppdekke	Furu C24 CU Imp	m3	8,7520	6,0052	52,5569
Skruer	Treskruer C4 6x120	kg	15,7200	0,0169	0,2657
Membran	Bitum membran	m2	61,0000	9,7640	595,6052
Rekkverk					
Rekkverk	Furu C24 CU Imp	m3	5,1723	6,0052	31,0603
M16 Bolter og muttere	Sekskantskrue M16	kg	1,6000	0,0169	0,0270
	M16 mutter	kg	0,2560	0,0169	0,0043
Underlagskive	Underlagskive 75mm	kg	28,2600	0,0169	0,4777
Skruer	Treskrue ET-T 8,2x130	kg	0,2240	0,0169	0,0038
	Treskruer C4 6x90	kg	6,4600	0,0169	0,1092
Behandling					
Karbonisering, svidd overflate	Propangass				
Beskyttelse for kubbing	Linolje				

Tabell 17 – Avhendingsfasen Klemetfossen Bro ved 100% karbonlagring

I tabell 18 er det tatt hensyn til 50% karbonlagring, og her øker CO₂-ekvivalent verdiene for materialene av tre. Dette skyldes at det er 50% utslipp av klimagasser fra karbonlagringa ved avfallsbehandling (C3). Dette beregnes ved å ta 50% av C3 verdien fra EPDen, for de ulike tre materialene.

Klemetfossen Bro, Rennebu-Bjelken		Avhending			
		C1, C2, C3, C4			
		Avhendig C1-C4			
		Materialer	Enh	Mengde	kg CO2-eq/enh
Bros penn					
Tannbjelke	Splikton limtre GL30C	m3	18,8357	384,7056	7246,21466
Spennstag	Stål	kg	96,0526	0,0328	3,1539
Ankerplate	Stål 30x300mm	kg	765,7396	0,0169	12,9441
Tverrtre	Furu C24 CU Imp	m3	5,5660	414,0052	2304,3527
Kubbing	Splikton limtre GL30C	m3	3,6386	384,7056	1399,7898
Dekke					
Toppdekke	Furu C24 CU Imp	m3	8,7520	414,0052	3623,3566
Skruer	Treskruer C4 6x120	kg	15,7200	0,0169	0,2657
Membran	Bitum membran	m2	61,0000	9,7640	595,6052
Rekkverk					
Rekkverk	Furu C24 CU Imp	m3	5,1723	414,0052	2141,3446
M16 Bolter og muttere	Sekskantskrue M16	kg	1,6000	0,0169	0,0270
	M16 mutter	kg	0,2560	0,0169	0,0043
Underlagskive	Underlagskive 75mm	kg	28,2600	0,0169	0,4777
Skruer	Treskrue ET-T 8,2x130	kg	0,2240	0,0169	0,0038
	Treskruer C4 6x90	kg	6,4600	0,0169	0,1092
Behandling					
Karbonisering, svidd overflate	Propangass				
Beskyttelse for kubbing	Linolje				

Tabell 18 – Avhendingsfasen Klemetfossen Bro ved 50% karbonlagring

I den siste tabellen er det 0% karbonlagring, noe som vil si at det er ingen karbonlagring og alt av klimagasser slippes dermed ut. Her har materialene av tre høye CO₂-ekvivalent verdier, ettersom det er satt inn nøyaktig verdi for avfallsbehandling (C3) fra EPDene for de ulike materialene.

Klemetfossen Bro, Rennebu-Bjelken		Avhending			
		C1, C2, C3, C4			
		Avhendig C1-C4			
Materialer	Enh	Mengde	kg CO ₂ -eq/enh	kg CO ₂ -eq	
Bros penn					
Tannbjelke	Splikton limtre GL30C	m3	18,8357	763,7056	14384,9601
Spennstag	Stål	kg	96,0526	0,0328	3,1539
Ankerplate	Stål 30x300mm	kg	765,7396	0,0169	12,9441
Tverrtre	Furu C24 CU Imp	m3	5,5660	822,0052	4575,2807
Kubbing	Splikton limtre GL30C	m3	3,6386	763,7056	2778,8192
Dekke					
Toppdekke	Furu C24 CU Imp	m3	8,7520	822,0052	7194,1563
Skruer	Treskruer C4 6x120	kg	15,7200	0,0169	0,2657
Membran	Bitum membran	m2	61,0000	9,7640	595,6052
Rekkverk					
Rekkverk	Furu C24 CU Imp	m3	5,1723	822,0052	4251,6289
M16 Bolter og muttere	Sekskantskrue M16	kg	1,6000	0,0169	0,0270
	M16 mutter	kg	0,2560	0,0169	0,0043
Underlagskive	Underlagskive 75mm	kg	28,2600	0,0169	0,4777
Skruer	Treskrue ET-T 8,2x130	kg	0,2240	0,0169	0,0038
	Treskruer C4 6x90	kg	6,4600	0,0169	0,1092
Behandling					
Karbonisering, svidd overflate	Propangass				
Beskyttelse for kubbing	Linolje				

Tabell 19 – Avhendingsfasen Klemetfossen Bro ved 0% karbonlagring

5.3.4 Etter endt levetid

Den siste fasen er etter endt levetid (D), som handler om gjenbruk, gjenvinning og resirkulering. I tabell 20 har alle materialene negativ verdi, som vil si at det ikke slippes ut noen klimagasser, fordi materialet gjenbrukes eller gjenvinnes.

Klemetfossen Bro, Rennebu-Bjelken		Etter endt levetid			
		D			
		Gjenbruk - gjenvinning - resirkulering - potensiale			
Materialer	Enh	Mengde	kg CO2-eq/enh	kg CO2-eq	
Brospenn					
Tannbjelke	Splikton limtre GL30C	m3	18,8357	-30,7000	-578,2572
Spennstag	Stål	kg	96,0526	-0,7720	-74,1526
Ankerplate	Stål 30x300mm	kg	765,7396	-1,4800	-1133,2947
Tverrtre	Furu C24 CU Imp	m3	5,5660	-44,0000	-244,9040
Kubbing	Splikton limtre GL30C	m3	3,6386	-30,7000	-111,7050
Dekke					
Toppedekke	Furu C24 CU Imp	m3	8,7520	-44,0000	-385,0862
Skruer	Treskrue C4 6x120	kg	15,7200	-1,4800	-23,2656
Membran	Bitum membran				
Rekkverk					
Rekkverk	Furu C24 CU Imp	m3	5,1723	-44,0000	-227,5797
M16 Bolter og muttere	Sekskantskrue M16	kg	1,6000	-1,4800	-2,3680
	M16 mutter	kg	0,2560	-1,4800	-0,3789
Underlagskive	Underlagskive 75mm	kg	28,2600	-1,4800	-41,8248
Skruer	Treskrue ET-T 8,2x130	kg	0,2240	-1,4800	-0,3315
	Treskrue C4 6x90	kg	6,4600	-1,4800	-9,5608
Behandling					
Karbonisering, svidd overflate	Propangass				
Beskyttelse for kubbing	Linolje				

Tabell 20 – Etter endt levetid Klemetfossen Bro

5.3.5 Total for Klemetfossen Bro

Her er de totale resultatene for de tre ulike klimagassberegningene for 100%, 50% og 0% karbonlagring. Ved 100% karbonlagring har materialene av tre høye negative verdier, som påvirker totalsummen av kg CO₂-ekvivalenter som slippes ut for Klemetfossen Bro. Ut ifra tabell 21, har Klemetfossen Bro en utslipp på omtrent -28741 kg CO₂-ekvivalenter.

Klemetfossen Bro, Rennebu-Bjelken		SUM
Materialer		kg CO₂-eq
Bros penn		
Tannbjelke	Splikton limtre GL30C	-13778,0001
Spennstag	Stål	141,5695
Ankerplate	Stål 30x300mm	1265,3143
Tverrtre	Furu C24 CU Imp	-4201,1602
Kubbing	Splikton limtre GL30C	-2661,8094
Dekke		
Toppdekke	Furu C24 CU Imp	-6605,8905
Skruer	Treskruer C4 6x120	20,1947
Membran	Bitum membran	777,8564
Rekkverk		
Rekkverk	Furu C24 CU Imp	-3864,1214
M16 Bolter og muttere	Sekskantskrue M16	2,5177
	M16 mutter	0,4028
Underlagskive	Underlagskive 75mm	46,6971
Skruer	Treskrue ET-T 8,2x130	0,3525
	Treskruer C4 6x90	10,1652
Behandling		
Karbonisering, svidd overflate	Propangass	105,0000
Beskyttelse for kubbing	Linolje	0,0000
TOTAL SUM		-28740,9115

Tabell 21 – Totale verdier Klemetfossen Bro ved 100% karbonlagring

Tabell 22 nedenfor viser til beregninger for 50% karbonlagring. Her er det også totalverdien negativ, men mindre enn ved 100% karbonlagring. For 50% karbonlagring har Klemetfossen Bro en totalutslipp på omtrent -12271 kg CO₂-ekvivalenter. Fra 100% karbonlagring til 50% karbonlagring, har utslippet økt med omtrent 16470 kg CO₂-ekvivalenter.

Klemetfossen Bro, Rennebu-Bjelken		SUM
Materialer		kg CO2-eq
Brospenn		
Tannbjelke	Splikton limtre GL30C	-6639,2546
Spennstag	Stål	141,5695
Ankerplate	Stål 30x300mm	1265,3143
Tverrtre	Furu C24 CU Imp	-1930,2322
Kubbing	Splikton limtre GL30C	-1282,7800
Dekke		
Toppdekke	Furu C24 CU Imp	-3035,0908
Skruer	Treskruer C4 6x120	20,1947
Membran	Bitum membran	777,8564
Rekkverk		
Rekkverk	Furu C24 CU Imp	-1753,8371
M16 Bolter og muttere	Sekskantskrue M16	2,5177
	M16 mutter	0,4028
Underlagskive	Underlagskive 75mm	46,6971
Skruer	Treskrue ET-T 8,2x130	0,3525
	Treskruer C4 6x90	10,1652
Behandling		
Karbonisering, svidd overflate	Propangass	105,0000
Beskyttelse for kubbing	Linolje	0,0000
TOTAL SUM		-12271,1246

Tabell 22 – Totale verdier Klemetfossen Bro ved 50% karbonlagring

Den siste tabellen 23 for totalsummen for utslipp for Klemetfossen Bro, er for 0% karbonlagring. Her er totalsummen en positiv verdi, som viser til at ved 0% karbonlagring har bruene en totalutslipp av klimagasser på omtrent 4200 kg CO₂-ekvivalenter.

Klemetfossen Bro, Rennebu-Bjelken		SUM
Materialer		kg CO ₂ -eq
Bros penn		
Tannbjelke	Splikon limtre GL30C	499,4908
Spennstag	Stål	141,5695
Ankerplate	Stål 30x300mm	1265,3143
Tverrtre	Furu C24 CU Imp	340,6958
Kubbing	Splikon limtre GL30C	96,2494
Dekke		
Topplekke	Furu C24 CU Imp	535,7089
Skruer	Treskruer C4 6x120	20,1947
Membran	Bitum membran	777,8564
Rekkverk		
Rekkverk	Furu C24 CU Imp	356,4472
M16 Bolter og muttere	Sekskantskrue M16	2,5177
	M16 mutter	0,4028
Underlagskive	Underlagskive 75mm	46,6971
Skruer	Treskrue ET-T 8,2x130	0,3525
	Treskruer C4 6x90	10,1652
Behandling		
Karbonisering, svidd overflate	Propangass	105,0000
Beskyttelse for kubbing	Linolje	0,0000
TOTAL SUM		4198,6622

Tabell 23 – Totale verdier Klemetfossen Bro ved 0% karbonlagring

5.4 Sammenligning av bruene

Her er resultatene for sammenligningen av de forskjellige brubjelkene. For limtre så er det sett på for tre forskjellige karbonlagringsprosenter. For betong er det sett på forskjellige lavkarbonbetongklasser og bransjereferansen. Og for stål er det sett på forskjellige resirkulasjonsprosenter.

5.4.1 Produksjonsfase

Under produksjonsfasen er det inkludert karbonlagring for limtreet. Dette gir store negative verdier. For betongen er det blitt inkludert armeringen. Det totale utslippet for armeringen er på 4069,535 kg CO₂-ekvivalenter (markert i grå). Denne verdien er lagt inn i de røde verdiene for de forskjellige betongtypene. For lavkarbonbetong A utgjør armeringen nesten halvparten av utslippet fra produksjonsfasen. For stålbjelkene er det blitt målt i vekt istedenfor volum. Resirkulasjonen har ingen påvirkning på denne fasen så verdiene blir det samme.

Sammenligning av bærende elementer for forskjellige materialer	Antall	Produksjonsfase			
		A1, A2, A3			
20m spenn bk10		Enh	Mengde	kg CO ₂ -eq/e	kg CO ₂ -eq
Tre - Tannbjelker fra Rennebu-Bjelken					
Limtre 100% karbonisering	6	m ³	16,632	-726,000	-12074,832
Limtre 50% karbonisering	6	m ³	16,632	-726,000	-12074,832
Limtre 0% karbonisering	6	m ³	16,632	-726,000	-12074,832
Betong					
Armering		kg	8640,202	0,471	4069,535
Lavkarbonbetong A (inkludert armering)	4	m ³	28,193	250,000	11117,669
Lavkarbonbetong B (inkludert armering)	4	m ³	28,193	320,000	13091,147
Lavkarbonbetong C (inkludert armering)	4	m ³	28,193	370,000	14500,774
Bransjereferanse	4	m ³	28,193	430,000	16192,326
Stål - HE1000B					
Stål 100% resirkulert	2	kg	6280,000	1,240	7787,200
Stål 50% resirkulert	2	kg	6280,000	1,240	7787,200
Stål	2	kg	6280,000	1,240	7787,200

Tabell 24 – Sammenligning av produksjonsfasen

5.4.2 Avhending

Det er verdt å merke seg at fase C2 (transport til avfallsbehandling) ikke er inkludert. Dette skyldes at denne sammenligningen foregår bare teoretisk og ikke ved en spesifikk lokasjon. Avstand til avfallsbehandling er derfor ikke tatt med. For limtreet ser vi at det blir store forskjeller. Ved 0% karbonlagring så slippes alt av oppsamlet CO₂ som var inkludert i produksjonsfasen ut igjen. Verdien for 100% karbonlagring blir vesentlig lavere. For betong er det bare inkludert avhendingsfasen for armeringen. Informasjonen om betong for denne fasen er dårlig. Det skyldes at betong kan håndteres på flere måter etter bruksfasen og det er derfor vanskelig å komme med verdier for denne fasen. Alle verdiene for stål blir det samme.

Sammenligning av bærende elementer for forskjellige materialer	Antall	Avhending			
		C1, C3, C4			
20m spenn bk10		Enh	Mengde	kg CO2-eq/er	kg CO2-eq
Tre - Tannbjelker fra Rennebu-Bjelken					
Limtre 100% karbonisering	6	m3	16,632	0,806	13,399
Limtre 50% karbonisering	6	m3	16,632	379,806	6316,927
Limtre 0% karbonisering	6	m3	16,632	758,806	12620,455
Betong					
Armering		kg	8640,202	0,022	188,045
Lavkarbonbetong A (inkludert armering)	4	m3	28,193		188,045
Lavkarbonbetong B (inkludert armering)	4	m3	28,193		188,045
Lavkarbonbetong C (inkludert armering)	4	m3	28,193		188,045
Bransjereferanse	4	m3	28,193		188,045
Stål - HE1000B					
Stål 100% resirkulert	2	kg	6280,000	0,000	1,569
Stål 50% resirkulert	2	kg	6280,000	0,000	1,569
Stål	2	kg	6280,000	0,000	1,569

Tabell 25 – Sammenligning av avhendingsfasen

5.4.3 Etter endt levetid

Etter endt levetid får vi en rekke negative verdier, dette ettersom det her skjer det gjenbruk, resirkulasjon og gjenvinning. Treverket blir brukt som biomasse og gir gode verdier. For betongen har vi inkludert resirkuleringen av armeringen, her er det beregnet at 95% av stålet går til gjenvinning. For stålet ser vi store forskjeller. Ved 100% resirkulasjon får vi en meget god miljøgevinst i forhold til ved ingen resirkulasjon.

Sammenligning av bærende elementer for forskjellige materialer	Antall	Etter endt levetid			
		D			
		Enh	Mengde	kg CO2-eq/e	kg CO2-eq
20m spenn bk10					
Tre - Tannbjelker fra Rennebu-Bjelken					
Limtre 100% karbonisering	6	m3	16,632	-30,700	-510,602
Limtre 50% karbonisering	6	m3	16,632	-30,700	-510,602
Limtre 0% karbonisering	6	m3	16,632	-30,700	-510,602
Betong					
Armering		kg	8640,202	-0,013	-109,731
Lavkarbonbetong A (inkludert armering)	4	m3	28,193		-109,731
Lavkarbonbetong B (inkludert armering)	4	m3	28,193		-109,731
Lavkarbonbetong C (inkludert armering)	4	m3	28,193		-109,731
Bransjereferanse	4	m3	28,193		-109,731
Stål - HE1000B					
Stål 100% resirkulert	2	kg	6280,000	-0,538	-3378,640
Stål 50% resirkulert	2	kg	6280,000	-0,269	-1689,320
Stål	2	kg	6280,000	0,000	0,000

Tabell 26 – Sammenligning av etter endt levetid

5.4.4 Totalt for sammenligning

Totalt så viser sammenligningen at det er treet som har det lavest totale utslippet. Hvor 100% og 50% karbonlagring bidrar til å ta opp mer CO₂-ekvivalenter enn det slipper ut.

Totalverdien for 0% karbonlagring er også relativ lav ettersom at treverket gjør god nytte etter endt levetid (sett at det ikke bare blir kastet). Etter limtreet følger stålet. Stål som ikke blir resirkulert har et ca 1,77 ganger så høyt utslipp enn stålet hvor alt blir resirkulert. Videre følger betong, hvor lavkarbonbetong A har det laveste utslippet blant betongklassene. Bransjereferanse betong har det største utslippet per meter i denne sammenligningen.

Sammenligning av bærende elementer for forskjellige materialer	Antall	SUM	
		kg CO ₂ -eq	kg CO ₂ -eq/m
20m spenn bk10			
Tre - Tannbjelker fra Rennebu-Bjelken			
Limtre 100% karbonisering	6	-12572,036	-628,602
Limtre 50% karbonisering	6	-6268,508	-313,425
Limtre 0% karbonisering	6	35,020	1,751
Betong			
Armering		4147,850	
Lavkarbonbetong A (inkludert armering)	4	11195,984	559,799
Lavkarbonbetong B (inkludert armering)	4	13169,462	658,473
Lavkarbonbetong C (inkludert armering)	4	14579,089	728,954
Bransjereferanse	4	16270,641	813,532
Stål - HE1000B			
Stål 100% resirkulert	2	4410,129	220,506
Stål 50% resirkulert	2	6099,449	304,972
Stål	2	7788,769	389,438

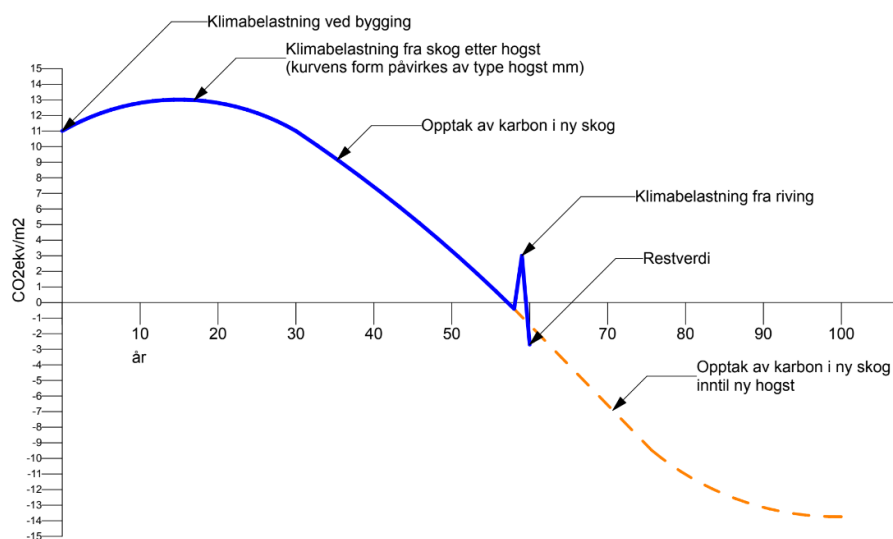
Tabell 27 – Resultater av sammenligningen

6. Diskusjon og analyse

6.1 Karbonlagring

Karbonlagringen er sentral for benyttelsen av trevirke. Treverk under sitt livsløp lagrer CO₂ noe som er ekstremt viktig for klimaet vårt. Så benyttelsen av treverk har ikke bare et lavt klimagassutslipp i produksjonsfasen, men også en lagringseffekt gjennom hele levetiden. Produkter av tre er det derfor best om har en lang levetid og forsøkes gjenvunnet. Når treverk fra bygg, møbler og lignende rives, blir dette sendt videre som brensel. Da frigjøres det CO₂, men det meste blir benyttet som bioenergi. Noe som videre fører til at behovet for å benytte fossilt brensel blir mindre.

Inkluderer man ikke den positive effekten treet har som biobrensel så vil ikke treet ha noen positiv virkning totalt sett over hele livsløpet. Den lagrer bare CO₂ over en periode slik at trykket ikke blir for stort på ozonlaget. Men hvis man tar med i betraktning at det vokser opp et nytt tre der det forrige ble hogd så kan regnskapet bli annerledes. Figuren under viser til dette. Verdiene langs y-aksen er spesifikke for et gitt eksempel, men kurvens utvikling gir et bedre mønster for generell tolkning. Grafen begynner med en klimabelastning fra byggingen. Før den når toppunktet ved klimabelastningen fra skog etter hogst. Etter dette ser vi at CO₂ ekvivalentene synker. Dette skjer som resultat av at det tas opp karbon i ny skog. Etter 60 år som her er satt for treproduktets levetid så rives det og vi får en økning i CO₂-eq igjen. Restverdien viser til den positive effekten treverket har som biomasse eller gjenbruk. Videre fortsetter den stiplede oransje linjen som viser det stadig økende karbonlagringen for det nye treet som vokser seg større. (Solem, 2022)



Figur 9 – Graf for lagring karbonlagring. Hentet fra Bård Solem, Eggen arkitekter

Hvis treproduktet (i denne sammenhengen en trebru) har en så lang levetid at det rekker å vokse frem et nytt tre som sørger for at det sammenlagt «suges til seg» mer CO₂ enn det slippes ut under prosessene, vil man sitte igjen med en positiv miljøgevinst. Vi skal se nærmere på dette.

Trær hogges vanligvis når de er mellom 60 til 100 år gamle. Dette for at de da har fått god tid til å vokse seg store og man får utnyttet de godt som karbonlager. Hogger man skogen for sent risikerer man derimot at veksten stagnerer, det oppstår råte, innsektangrep eller vindfall.

(Norges skogeierforbund, 2021)

Når vi skal se på hvor mye karbon det lagres i skogen er det flere faktorer som spiller inn:

- Hvilken type tre gjelder det?
- Hvor stort er treet når det hogges?
- Hvor fort vokser treet?
- Hvordan er vekstforholdene i hogstområdet?
- Hvor mye av treet kan brukes til konstruksjonsvirke?

Vi blir nødt til å skape et omtrentlig scenario. Hvis vi ser på gran. En gran blir omtrentlig 35-55 m høy og har en diameter på 1-1,5m ved bryst høyde. En gran vokser veldig fort de første 25 årene, opp til 1 meter i året under gode vekstforhold. Etter treet når 20 m så avtar ofte veksten. (Mitchell, 1974) Tykkelsen på stammen vil avta etter lengden. Her har vi sett på et eksempel fra Skogsnorge sine sider. (Pettersen, 2006) Her beregnet de volumet på et tre. Etter noen egne utregninger så ser vi at stammetykkelsen får en reduksjon på rundt 37%. Dette ganger vi inn for radiusen til treet. For et tre på høyde 45 m, diameter på 1,2 m og radius på 0,6 m får vi følgende volum.

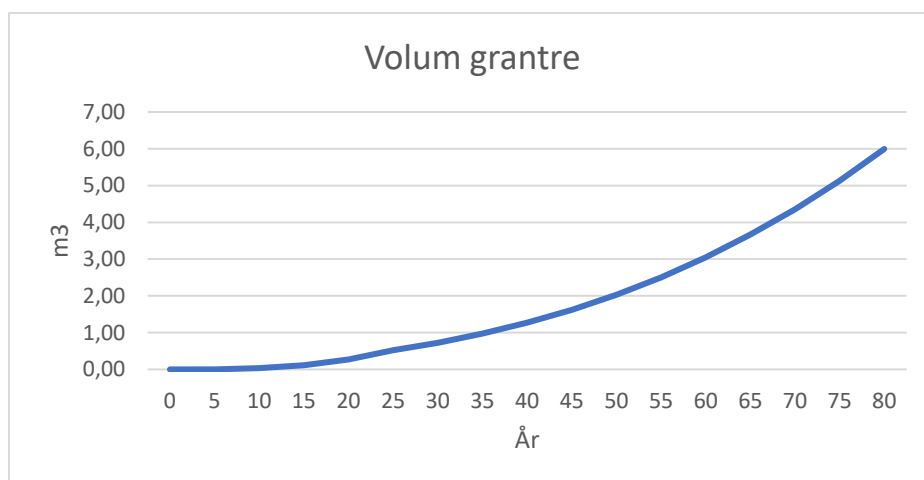
$$\pi * 0,6m^2 * 37\% * 45m = 18,83m^3$$

Dette blir volumet til granen når den hugges. Som vi kan anta vokser i 80 år. I tabellen kan man se et estimat av hvor fort treet vil vokse. Hvor volum og CO₂ lagring er inkludert. Her er det beregnet at 1 m³ gran lagrer 700 kg CO₂.

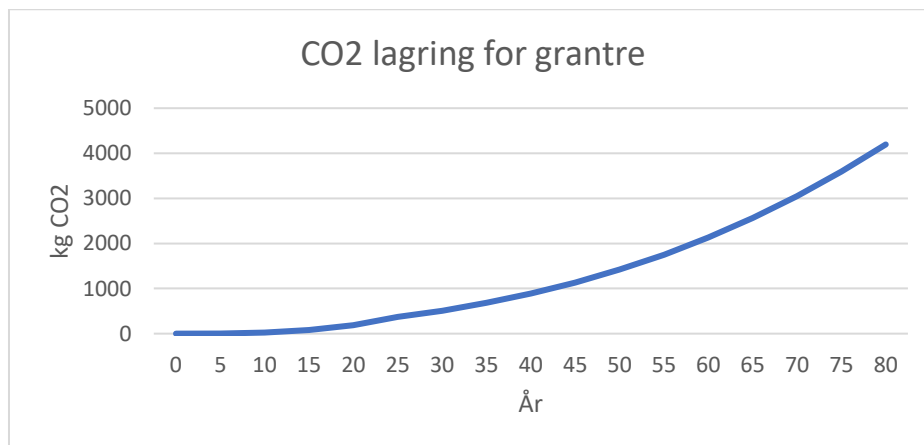
Vekst av grantre				
År	Høyde (m)	Diameter (m)	Volum (m3)	CO2 lagring (kg)
0	0	0	0,00	0,00
5	4	0,11	0,00	2,95
10	8	0,21	0,03	23,57
15	12	0,32	0,11	79,55
20	16	0,43	0,27	188,56
25	20	0,53	0,53	368,28
30	22,27	0,59	0,73	508,66
35	24,55	0,65	0,97	680,82
40	26,82	0,72	1,27	888,01
45	29,09	0,78	1,62	1133,47
50	31,36	0,84	2,03	1420,45
55	33,64	0,90	2,50	1752,19
60	35,91	0,96	3,05	2131,93
65	38,18	1,02	3,66	2562,92
70	40,45	1,08	4,35	3048,40
75	42,73	1,14	5,13	3591,61
80	45	1,2	5,99	4195,80

Tabell 28 – Vekst av grantre

Volumet og lagringen av CO₂ vil ha en tilnærmet eksponentiell vekst. Vist i grafene under.



Figur 10 – Graf for volum av nytt grantre



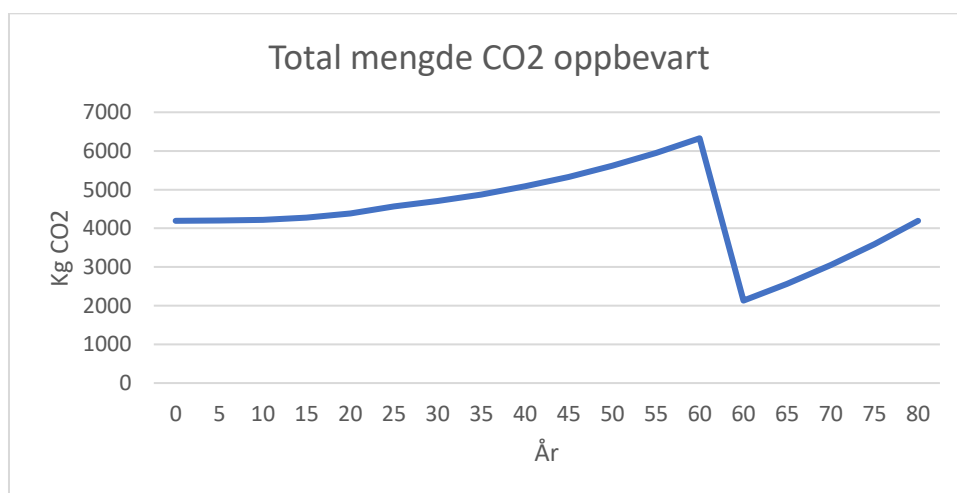
Figur 11 – Graf for CO₂ lagring i nytt grantre

Hvis vi nå ser på den totale mengden tre som tar opp CO₂ i et 80 års perspektiv. Vi antar at et tre er hugd etter 80 år og har et volum på 5,99 m³. Det totale CO₂ opptaket i treet er da på 4195,8 kg. Vi tenker oss at alt av dette treverket blir brukt til å lage en liten bru med en levetid på 60 år. Etter treet er blitt felt, regner vi med at det vokser frem et nytt tre. Dette treet vil ta til seg mer CO₂ ettersom det vokser. Etter 60 år vil vi da stå med et totalt volum (volum bru + nytt tre) på 9,04 m³ og en karbonlagring på 6327,7 kg. Dette er en økning på 50,7%, sammenlignet med karbonlagringen fra treet benyttet i brua. Tabellen under viser hvor mye volum og karbonlagring man har for et 80 års perspektiv. De røde radene viser til hvor brua blir revet.

Total mengde CO2 oppbevart				
År	Nytt tre volum (m3)	Total volum (m3)	Nytt tre CO2 lagring (kg)	Total CO2 lagring (kg)
0	0	5,99	0	4195,8
5	0,00	6,00	2,95	4198,75
10	0,03	6,03	23,57	4219,37
15	0,11	6,11	79,55	4275,35
20	0,27	6,26	188,56	4384,36
25	0,53	6,52	368,28	4564,08
30	0,73	6,72	508,66	4704,46
35	0,97	6,97	680,82	4876,62
40	1,27	7,26	888,01	5083,81
45	1,62	7,61	1133,47	5329,27
50	2,03	8,02	1420,45	5616,25
55	2,50	8,50	1752,19	5947,99
60	3,05	9,04	2131,93	6327,73
60	3,05	3,05	2131,93	2131,93
65	3,66	3,66	2562,92	2562,92
70	4,35	4,35	3048,40	3048,40
75	5,13	5,13	3591,61	3591,61
80	5,99	5,99	4195,80	4195,80

Tabell 29 – Total mengde CO₂ oppbevart

Her er en grafisk fremstilling av karbonlagringen for scenarioet. Vi ser at etter 60 år så synker verdien ettersom treverket fra bruen blir brutt ned eller benyttet som brensel.



Figur 12 – Graf over total mengde CO₂ oppbevart

Med bakgrunn i det som har blitt diskutert her så ser vi at beregninger gjort med 50% karbonlagring, gir et best mulig bilde av en reel analyse for en bru med 60 års levetid. Hvilken optimale prosent som burde benyttes avhenger derfor mye av levetiden til bruene.

6.2 Drøfting av resultater

Resultatene viser at klimagassutslippene reduseres i de fleste scenarioene, noe som sier oss at bruken av mer miljøvennlige materiale har en påvirkning på det totale utslippet. For Klemetfossen Bro er det som nevnt gjort tre ulike beregninger med 100%, 50% og 0% karbonlagring. Her er det mest reelt å fokusere på beregninger som er utført for 50% karbonlagring. Ved beregninger for sammenligning av BK10 bru for limtre, betong og stål er det mulig å se hvilket material som er mer miljøvennlig, og har minst klimagassutslipp.

6.2.1 Klemetfossen Bro

For Klemetfossen Bro er det avhendingsfasen (C1-C4) som utgjør det største utslippet, med et totalutslipp på omtrent 17330 kg CO₂-ekvivalent. Ut ifra figur 13 viser den at demontering, transport til avfall, avfallsbehandling og avfall til sluttbehandling av materiale for brospenn har størst utslipp. Årsaken til at avhendingsfasen har størst utslipp er at all den karbonlagringen som er lagret i materialene av tre, blir frigjort i denne fasen. Brospenn har størst mengde materialer, noe som gjør at det blir frigjort mer CO₂. For avhendingsfasen må det tas med i betraktningen at verdiene ikke er helt konkrete. Dette kommer av at noen EPDer for et materiale ikke har verdier for alle faser. For eksempel Limtre EPD hadde ikke en C4 verdi, som gjorde at vi måtte finne en annen EPD for limtre, og hente C4 verdi fra den nye. Når det er sagt er forskjellene så små at det vil ikke ha noe påvirkning på det endelige resultatet.

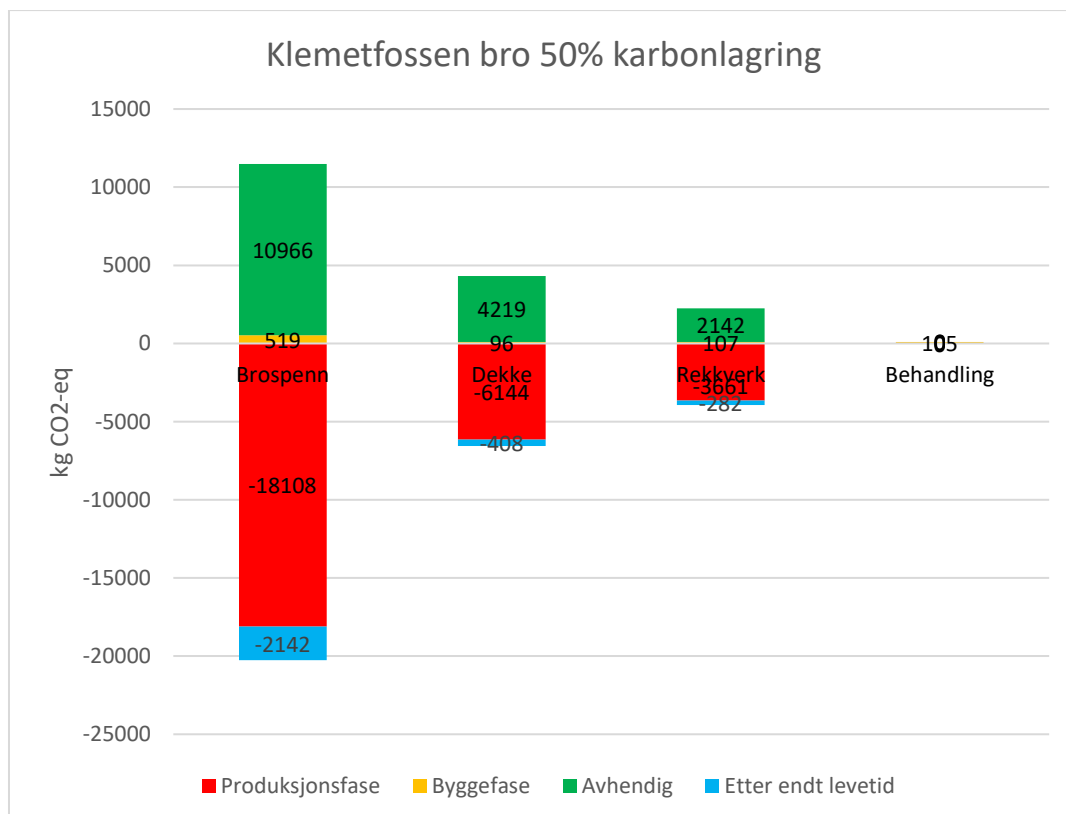
Fasen som har nest mest utslipp er byggefasen, her er utslippet veldig lavt i forhold til avhendingsfasen. Byggefasen består blant annet av transport og bearbeidelse/bygging av materialer. Totalutslippet for byggefasen ligger på omtrent 830 kg CO₂-ekvivalenter. Her har vi tatt hensyn til at alle materialene blir transportert med lastebil, og at det kommer fra både Norge, og Sverige. Når det er sagt er det vanskelig å finne ut hvor noen av skruene, boltene og mutterne ble produsert, og finne EPDer på dem. Årsaken til dette er begrenset tilgjengelig informasjon om materialene og EPDer.

Vi har valgt å ta for oss verdiene fra karbonlagring som vises i produksjonsfasen. Årsaken til at vi har valgt produksjonsfasen er at den tar for seg hele livsløpet til treet, fra det vokser opp og til det hugges for bruk av materiale. Karbonlagring fører til at det blir negative verdier av

klimagassutslipp. Figur 13 viser til karbonlagring ved produksjonsfasen med de røde søylene. Her er det brospennet som har mest karbonlagring i produksjonsfasen, på omtrent -18100 kg CO₂-ekvivalenter. Mens dekke og rekkverket har lavere verdier på omtrent -6150 kg CO₂-ekvivalenter og -3660 kg CO₂-ekvivalenter. Årsaken til at brospennet har høyere verdi er at den har mer mengde med tremateriale i forhold til dekke og rekkverket. Brospennt består av store deler av Rennebu-Bjelken sine tannbjelker som er omtrent 20 m³. Totalt sparer produksjonsfasen miljøet for omtrent -27900 kg CO₂-ekvivalenter.

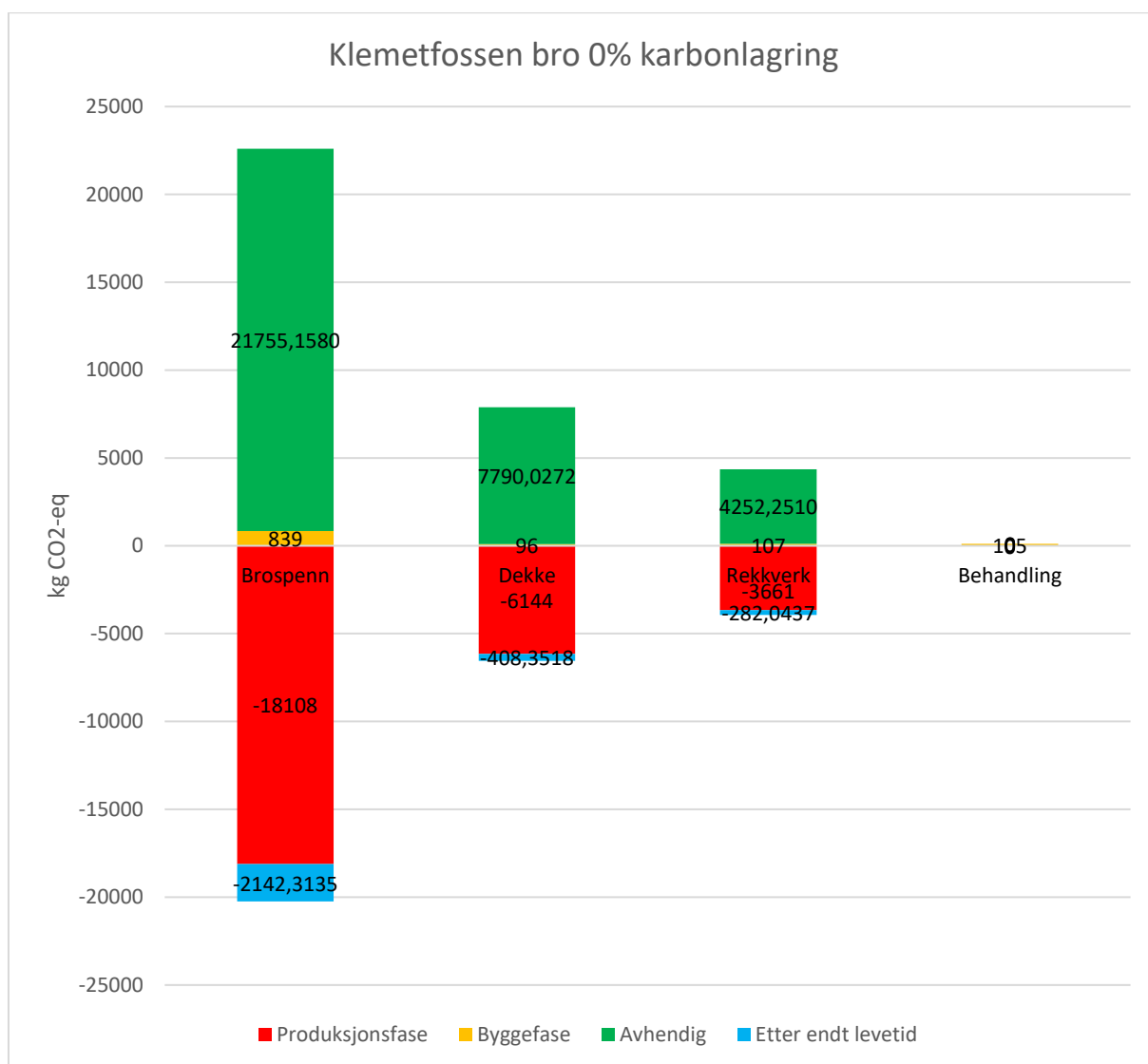
Den siste fasen på figur 13 er etter endt levetid. I forhold til produksjonsfasen er verdien for denne fasen vesentlig lavere. Etter endt levetid sparer de her miljøet for omtrent -2800 kg CO₂-ekvivalent. På grunn av det er mest mengde materialet brukt i brospennet har den størst verdi for gjenbruk, gjenvinning og resirkulering.

Totalt for Klemetfossen Bro 50% karbonlagring, sparer den miljøet for omtrent -12270 kg CO₂-ekvivalenter. Noe som gjør at å bruke tremaateriale og tannbjelker i Klemetfossen Bro er bra for miljøet ut ifra å se på utslippene for hele livsløpet.



Figur 13 – Søylediagram for Klemetfossen Bro ved 50% karbonlagring

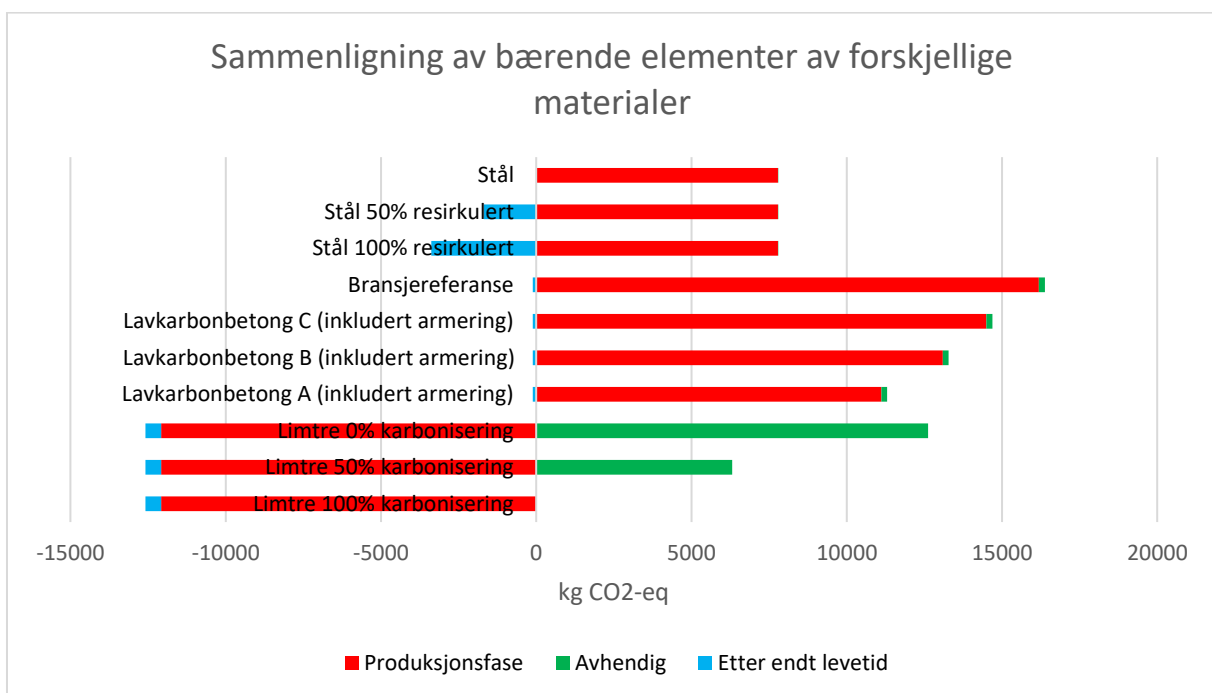
Hvis det ikke tas hensyn til noe karbonlagring, med andre ord 0% karbonlagring, så ville resultatene sett litt annerledes ut. Det hadde foresatt til at utslippene i avhendingsfasen (C1-C4) økes, noe som er mulig å se ved å sammenligne figur 13 og figur 14. Her kan man se at produksjonsfasen, byggefasen og etter endt levetid fasen har det samme verdien for begge figurene, mens for avhendingsfasen så økes utslipp for 0% karbonlagring. Bruen vil også gå fra å spare miljøet for utslipp til å ha en total utslipp på omtrent 4200 kg CO₂-ekvivalenter.



Figur 14 – Søylediagram for Klemetfossen Bro ved 0% karbonlagring

6.2.2 Sammenligning

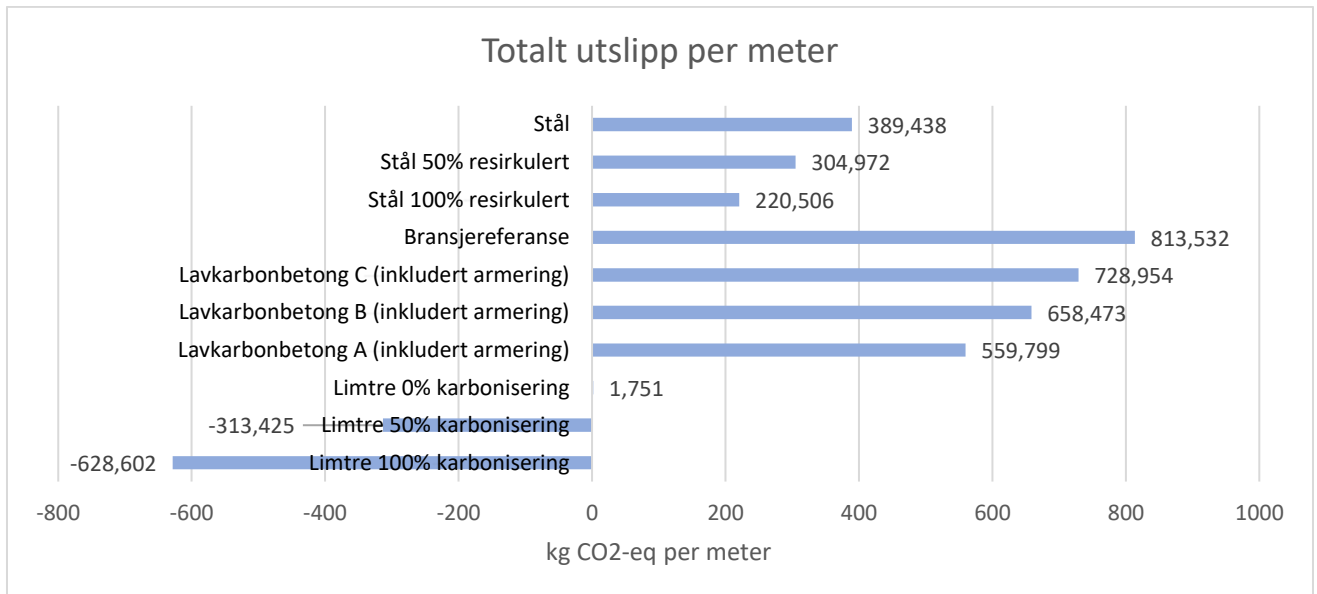
Grafen under viser utslippene fra de forskjellige fasene for hvert materiale. Det er produksjonsfasen som utgjør de største verdiene. For betong kommer nærmest alt av utslippet fra produksjonsfasen. For limtreet derimot så får man store negative verdier grunnet karbonlagring. Produksjonsfasen blir lik for alle karbonlagringsprosentene ettersom at under avhendingsfasen har vi tatt med at dette slippes ut igjen. Det er derfor den grønne delen av limtre 0% karbonlagring blir såpass stor. For stål og betong er det veldig lite utslipp i avhendingsfasen. For betong skyldes det at det bare er blitt tatt for seg armeringa. Dette siden EPDene for betong ikke inneholdt informasjon om dette. Etter endt levetid ser vi at stål for gode verdier ved resirkulering. Ved 100% resirkulasjon senkes det totale utslippet med 43,4% i forhold til ved ingen resirkulasjon. For betong var det bare tatt høyde for resirkulasjon av armeringa. Dette siden det er vanskelig å måle effekten gjenbruk av betong har etter endt levetid. Det var heller ingen data om dette i EPDene. For limtre fikk vi også litt negative verdier i form av at treverket blir brukt til bioenergi etter endt levetid.



Figur 15 – Søylediagram for sammenligning av bærende elementer av forskjellige materialer

Diagrammet under viser de totale utslippene per meter bru for de forskjellige materialene. Vi ser at limtre kommer best ut med negative verdier ved 50 og 100% karbonlagring. Ved ingen karbonlagring er det bare et utslipp på 1,75 kg CO₂ per meter. Dette er ved bruk av tannbjelke prinsippet som Rennebu-Bjelken opererer med. En bjelke med et større tverrsnitt ville nok hatt et større utslipp hvis karbonlagring ikke inkluderes. Som begrunnet under punkt 6.1 så er

det ved 50% karbonlagring vi får de mest reelle beregningene for en bru med levetid på 60 år. Etter følger stål med nest minst utslipp. Her ser vi god effekt av å resirkulere stålet. Men selv med 100% resirkulering så er utslippet drøyt 125 ganger så stort som for limtre ved 0% karbonlagring. Betong får de høyeste utslippene. Bransjereferansen har det høyeste utslippet på 813 kg CO₂-eq per meter. Utslippet synker ettersom hvor strenge krav det er til lavkarbonbetongen. Lavkarbonbetong A har et 31% lavere utslipp enn bransjereferansen. Lavkarbonbetong B og C legger seg mellom disse verdiene.



Figur 16 – Totalt utslipp per meter bru i forskjellige materialer

Det som ikke er inkludert i sammenligningen er transport, bearbeidelse og andre komponenter (skruer, skiver, muttere osv.) Dette vil kunne gi påvirkning på resultatene vi har fått. Uten at vi tror at det ville endret noe stort på utfallet. For transport så vet vi at tre og betong produseres mange steder i Norge. Det gjør at transport til byggeplass eller fabrikk blir liten i forhold til ved stål som oftest importeres. Treverket derimot nødt til å behandles i større grad enn betong og til dels stål. Det må impregneres for å unngå råte og fuktskader, kappes til riktige størrelser og i dette tilfellet freses om til tannbjelker. Det vil dessuten være et større tillegg for bruk av stålprodukter som skruer, spennstag, skiver og muttere. Stål må også behandles for å unngå rust skader. Ved større prosjekter blir det ofte brukt betong. Dette skyldes at betong er enkelt å lage og kan støpes på arbeidsplassen. Pris er også et viktig argument innenfor dette området. Prisen på trevarer har økt de siste årene og det er en felles oppfattelse av at det er dyrere enn stål og særlig betong. Selv om noen mener at dette er diskutabelt. (Larsen, 2021)

6.3 Forbruk

I Norge er tre et materiale som er lett tilgjengelig og fornybart. Fra resultatene er tre det beste materialet å bruke i forhold til stål og betong når det gjelder klimagassutslipp. Stål og betong har positiv utslippsverdi mens tre har negativ verdi som sparer miljøet for utslipp. Mer bruk av tre i konstruksjoner vil gi større minus verdier, og sparer miljøet for utslipp. Dette er på grunn av karbonlagringen som treet gjennomfører, og desto mer tre som brukes til desto mer CO₂ blir sugd opp og lagret. Tannbjelker forspennes slik at bæreevnen bedres. Dette gjør at man kan benytte mindre materiale enn ved andre byggeteknikker. Det kan derfor være gunstig å sammenligne trebruer opp mot hverandre ved 0% karbonlagring. Dette ettersom at trebruer med store tverrsnitt på bærebjelkene vil få meget høye negative verdier i form av karbonlagring. Men på den mer negative siden vil man ha et mye høyere materialforbruk som legger mer press på skognæringen, det vil koste mer å produsere og man nødt til å benytte mer stål i form av flere spennstag, plater, muttere osv. Utslippene fra selve produksjonsprosessen uten karbonlagringen tatt i betraktning blir også vesentlig høyere ettersom det skal håndteres et større volum tre. Å sammenligne ved 0% karbonlagring er derfor å foretrekke, siden skog som ikke er hogd holder på like mye CO₂ som treet brukt i en bru. Så lenge den ikke dør og brytes ned naturlig.

Hvis etterspørselen på trevirke blir større enn tilbudet, vil man slite med å dyrke frem ny skog for å dekke næringens behov. Dette skjønt man ikke kan fremskynde veksten av trær i stor grad. Det er derfor viktig at man ser an en eventuell økning i bruken av tre, slik at man får dyrket frem nok skog til enhver tid.

6.4 Bærekraftsmål

Bruk av tre i bruer er med på å nå FN's bærekraftsmål. Mål 9 om industri, innovasjon og infrastruktur er svært aktuelt. Benyttelse av trebruer sørger for en bærekraftig og solid infrastruktur. Økt bruk vil også resultere til mer forskning på området og man vil kunne komme frem til ny teknologi og bedre byggemåter. Bruk av norsk treverk fører også til at det kan bygges frem nye industrier som tilbyr arbeidsplasser og styrker norsk næringsliv.

Bærekraftsmål 11 om bærekraftige byer og lokalsamfunn påvirkes også i noen grad. Urbaniseringen kommer bare til å fortsette med årene som kommer, dette kommer til å gi et større klimagassavtrykk for byene. Det er derfor viktig å benytte bærekraftige materialer. Benyttelser av trebruer vil derfor legge lista lavere for innføring av flere bruer ettersom

utslippsnivåene er så mye lavere. Dette er bra for tilgjengeligheten til befolkningen i byen eller i lokal samfunnene. Og bedrer infrastrukturen.

Det siste og mest sentrale målet er mål 13 om å stoppe klimaendringene. Dette skjer direkte ved å benytte trebruer. Som vist sørger benyttelsen av tre for lagre mer CO₂ enn det slipper ut ved bruer på rundt 20 m spenn. Dersom flere bedrifter i byggenæringen tar i bruk tre istedenfor betong og stål vil det bidra stort med å stoppe klimaendringene.

6.5 Valg av EPDer

I denne oppgaven er EPD Norge blitt benyttet for å finne EPDer for de forskjellige produktene. På EPD Norge er det mulig å finne en samling av EPDer for ulike type produkter. EPDene som er brukt for oppgaven finner man i vedlegg D. For noen produkter er det brukt to EPDer, dette er på grunn av at noen av fasene og stadiene ikke er deklarerert, her må vi derfor bruke en EPD for et tilsvarende produkt, og bruke verdien fra den nye EPDen for den fasen som ikke er deklarerert. Dette vil medføre at beregninger som er gjort på grunnlag av EPDene ikke er helt nøyaktig, men påvirkningen av verdiene er så små at man kan se bort i fra dette. Hvilket material og hvilken EPDer som er brukt kan man se på punkt 5.1 Grunnlag av verdier.

For stålprodukter var det vanskelig å finne EPDer, siden det ikke er utviklet EPD for mange av stålproduktene. For noen av stålproduktene som ikke var mulig å finne en EPD for, er det brukt en internasjonal EPD S-P-01918 Hot rolled steel plates. Denne EPDen er brukt av mange leverandører, og flere stål EPDer har brukt denne som grunnlag.

7. Konklusjon

Hensikten med denne oppgaven var å belyse de positive miljøaspektene ved benyttelse av tre. Bruk av tre vil være med på å utvikle en mer bærekraftig og miljøvennlig byggebransje. Oppgaven har hatt et fokus på bruer. Det har blitt gjennomført en fullstendig analyse av Klemetfossen Bro produsert av Rennebu-Bjelken. Bruas bærebjelker er såkalte tannbjelker. Tannbjelker er forspente bjelker som sørger for bedre bæreevne, og man kan derfor ha et mindre tverrsnitt på bjelkene. Noe som er materialbesparende. For Klemetfossen Bro gjennomførte vi tre forskjellige analyser. Med 0%, 50% og 100% karbonlagring. Etter å ha sett på veksten av ny skog etter hogst og en forventet levetid på 60 år så kom vil frem til at resultatene for 50% karbonlagring er de mest reelle. Det totale utslippet for Klemetfossen Bro

er derfor -12271,12 kg CO₂-eq. Vi får en negativ verdi ettersom om at karbonlagringen fra bruene og den nye skogen blir til sammen større enn alle utslippene.

Når det kom til sammenligningen av bærebjelker i forskjellige materialer så kunne vi konkludere med at limtre har det minste utslippet. Ved 50% og 100% karbonlagring var utslippene negative og ved 0% var de tilnærmet miljønøytrale. Med et utslipp på 35 kg CO₂-eq for hele brua. Videre fulgte stål som hadde god nytte av å resirkuleres etter endt levetid. Miljøverstingen i sammenligningen var betong som hadde det klart største utslippet. Selv om benyttelse av lavkarbonbetong ga bedre resultater enn bransjereferansen.

Vi ser at større benyttelse av tre vil hjelpe for å nå FNs bærekraftsmål 9, 11 og 13. Ved å benytte mer tre vil vi kunne ha flere industrier som kan utvikle teknologi og tilby arbeidsplasser. Benyttelse av trebruer i vegnettet vil også direkte sørge for bærekraftig infrastruktur. Dette går under mål 9 om industri, innovasjon og infrastruktur. Mål 11 om bærekraftige byer og lokalsamfunn blir også jobbet mot at man kan bedre tilgjengeligheten ved å bygge flere bruer ettersom de har en negativ eller relativ nøytral miljøpåvirkning. Og mål 13 om å stoppe klimaendringene blir direkte arbeidet mot ved å ha et lavere klimagassutslipp enn andre materialer.

7.1 Videre arbeid

Gjennom arbeidet med oppgaven har vi sett at det ligger et potensiale for en videreføring av oppgaven. Grunnen til at vi ikke har tatt opp det skyldes arbeidsomfanget, mangel på tilgjengelig informasjon og utilstrekkelig programmeringsferdigheter.

Det første og mest aktuelle vil være å sammenligne tannbjelker opp mot andre byggeskikker for trebruer. For å gjøre dette er man nødt til å få tilgang på detaljerte tegninger av andre trebruer. Det ville vært spennende å se hvor mye materialbruk som inngår i de forskjellige bruene. Ikke bare gjennom trevirke, men også hvor mye stål som går med til skruer, bolter, spennstag osv.

En annen tanke vi hadde var å utvikle en slags miljø- kalkulator eller simulator for trebruer fra Rennebu-Bjelken. Hvor kunden kunne legge inn ønsket lengde, bredde, last (eventuelt gjennom bruksklasser) og type rekkverk. For så å kunne se klimautslippet for den egen designede brua. Dette ville vært gunstig å gjøre digitalt gjennom programmering. For så å opprette en side hvor simuleringen foregår inne på Rennebu-Bjelkens nettsider.

Litteraturliste

- Bennette, D. (2020, Oktober 8). *Steel Recycling: Processes, Benefits, and Business Solutions*. Retrieved from Rubicon: <https://www.rubicon.com/blog/steel-recycling/>
- Biørnstad, L. (2016, desember 2016). *Kan vi bruke betong med god klimasamvittighet?* Retrieved from Forskning.no: <https://forskning.no/bygningsmaterialer-klima/kan-vi-bruke-betong-med-god-klimasamvittighet/379248>
- Brekkhuis, A. (2021, April 05). *Enormt behov for energieffektivisering i norske bygg- må utnytte mulighetene dette gir*. Retrieved from Byggindustrien : <https://www.bygg.no/enormt-behov-for-energieffektivisering-i-norske-bygg-ma-utnytte-mulighetene-dette-gir/1463296/>
- Bråthen, M. (2020). *Typetegninger på landbruksveibruer*. Retrieved from Skogkurs: <https://skogkurs.no/artikkel/typetegninger-pa-landbruksveibruer/>
- BYGG21. (2018). *10 kvalitetsprinsipper for bærekraftige bygg og områder*. BYGG21.
- Designing Buildings. (2021, Desember 10). *Types of steel for construction*. Retrieved from Designing Buildings: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Types_of_steel_for_construction
- Designing Buldings. (2021, Desember 10). *Types of steel for construction*. Retrieved from Designing Buldings: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Types_of_steel_for_construction
- Det kongelige samferdselsdepartement. (2021). *Nasjonal transportplan 2022–2033*.
- EPD-Norge. (n.d.). *Hva er en EPD?* Retrieved from EPD-Norge: <https://www.epd-norge.no/hva-er-en-epd/>
- FN-Sambandet . (2022). *FNs Bærekraftsmål*. Retrieved from FN-Sambandet: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>
- FN-Sambandet. (2022, Mars 23). *Bærekraftige byer og lokalsamfunn*. Retrieved from FN-Sambandet: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/baerekraftige-byer-og-lokalsamfunn>

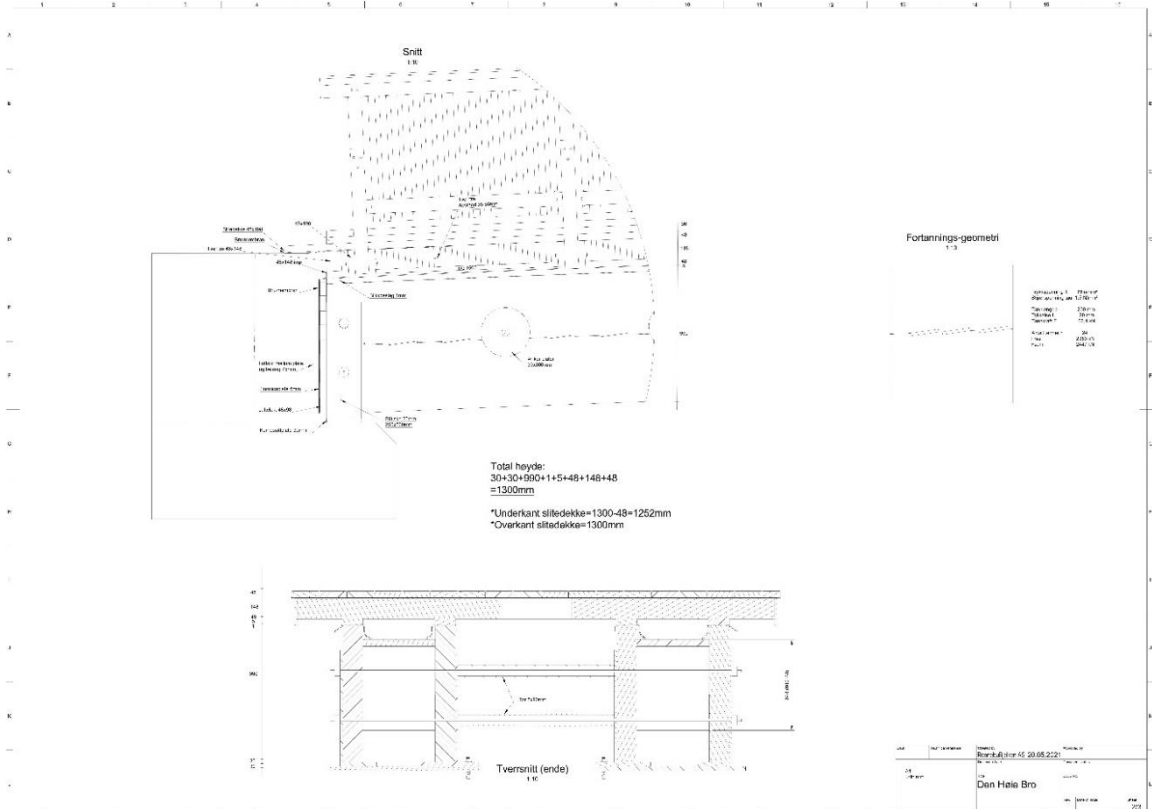
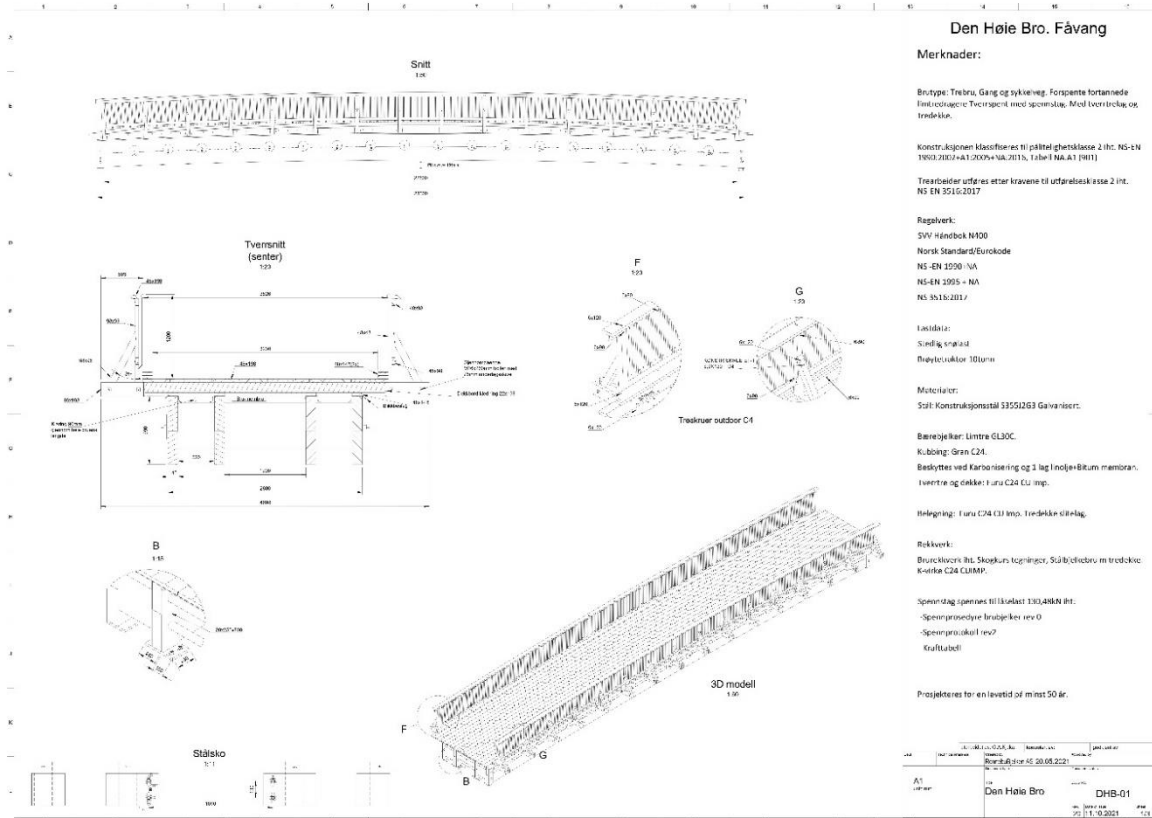
- FN-Sambandet. (2022, mars 23). *Industri, innovasjon og infrastruktur*. Retrieved from FN-Sambandet: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/industri-innovasjon-og-infrastruktur>
- FN-Sambandet. (2022, Mars 23). *Stoppe klimaendringene*. Retrieved from FN-Sambandet: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/stoppe-klimaendringene>
- Hokksund Betong. (2016, November 17). *Lavkarbonbetong*. Retrieved from Hokksund Betong: <https://hokksundbetong.no/lavkarbonbetong/>
- Haarberg, G. M. (2019). *Korrosjon*. Retrieved from Store Norske leksikon: <https://snl.no/korrosjon>
- Jacobsen, S. (2018). *Norsk betongforening*. Retrieved from Norsk Betongforening: <https://betong.net/wp-content/uploads/7-web-Resirkulering-og-gjenbruk-av-betong.pdf>
- Kontrollrådet. (n.d.). *Betongens ABC*. Retrieved from Kontrollområdet: <https://kontrollbetong.no/aktuelt/betongens-abc/>
- Kunøe, C. (2016, Mai 12). *Nye bæremuligheter med Rennebu-bjelken*. Retrieved from Byggmesteren: <https://byggmesteren.as/2016/05/12/nye-baeremuligheter-med-rennebubjelka/>
- Lang, Å. (2019, Mai 29). *Moderne tannbjelker med mange bruksområder*. Retrieved from Fagpressnytt: <https://fagpressenyt.no/artikkel/moderne-tannbjelker-med-mange-bruksomr%C3%A5der>
- Larsen, H. (2021). *Prishopp på tre kan føre til færre slike bygg: – Bra det ble bygget før prisøkningen*. Retrieved from NRK: <https://www.nrk.no/tromsogfinnmark/arkitekter-tror-prishoppet-pa-trevarer-vil-fore-til-enda-mer-betong-1.15522858>
- Lyng, K.-A., Rønning, A., Vold, M., & Svanes, E. (2014). *Karbonopptak i betong i LCA og EPD*. Østfoldforskning.
- Mitchell, A. F. (1974). *A field guide to the trees of Britain and northern Europe*.
- Myhre, T. (2018, juni 22). *Karbonlager*. Retrieved from Store Norske Leksikon: <https://snl.no/karbonlager>

- Norges skogeierforbund. (2021). *Hogst og hogstformer*. Retrieved from Norges skogeierforbund: <https://www.skog.no/skogfaglig/hogstformer/>
- Norsk Stål. (n.d.). *Grønnere - Stålproduksjon i dag*. Retrieved from Norsk Stål: <https://www.norskstaal.no/om-oss/miljoe-og-baerekraft/groennere-staalproduksjon-i-dag>
- Norsus. (n.d.). *Om livsløpsvurdering - LCA (Life Cycle Assessment)*. Retrieved from Norsus Norsk institutt bærekraftforskning: <https://norsus.no/om-livslopsvurdering/>
- Nowtricity. (2022, Mai 9). *Current emissions in Norway*. Retrieved from Nowtricity: <https://www.nowtricity.com/country/norway/>
- NTI. (n.d.). *Slik bygger vi mer bærekraftig*. Retrieved from NTI: <https://www.nti.biz/no/radgivning/losninger-og-konsepter/baerekraftig-fremtid/baerekraftig-bygg/>
- Olerud, K., & Lahn, B. (2020, januar 9). *CO2-ekvivalenter*. Retrieved from Store norske leksikon: <https://snl.no/CO2-ekvivalenter>
- P.Billington, D. (n.d.). *Britannica*. Retrieved from Bride- Concrete: <https://www.britannica.com/technology/bridge-engineering/Concrete>
- Pedersen, L. H. (2018). *Den nye Svinesundbrua er full av rust*. Retrieved from NRK: <https://www.nrk.no/osloogviken/den-nye-svinesundbrua-er-full-av-rust-1.14053226>
- Pettersen, J. (2006). *Priser for trær*. Retrieved from Skogsnorge: http://skogsnorge.no/artikkel.cfm?Id_art=13563&Tema_id=14&Id_kanal=6
- Ramstad, K. I. (2014). *Trehus*. SINTEF.
- Regjeringen . (2021). *Klimaendringer og norsk klimapolitikk*. Retrieved from Regjeringen.no: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/klimaendringer-og-norsk-klimapolitikk/id2636812/>
- Rennebu-Bjelken. (2021). *Tannbjelken*. Retrieved from Rennebu-Bjelken: <https://www.rennebubjelken.no/>
- Ryvarden, L. (2020). *Råte*. Retrieved from Store Norske Leksikon: <https://snl.no/r%C3%A5te>
- SINTEF. (2022). *Litt lim har stor miljøeffekt*. Retrieved from Sintef: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2012/litt-lim-har-stor-miljoeffekt/>

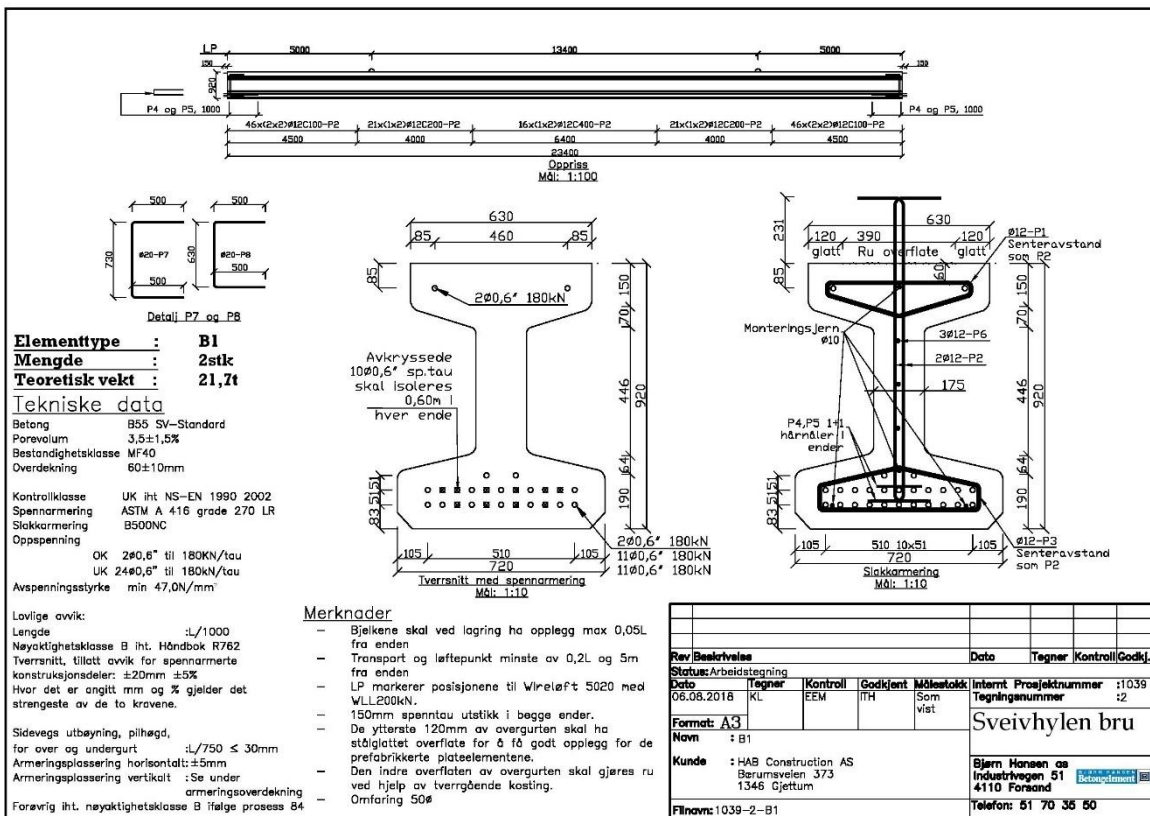
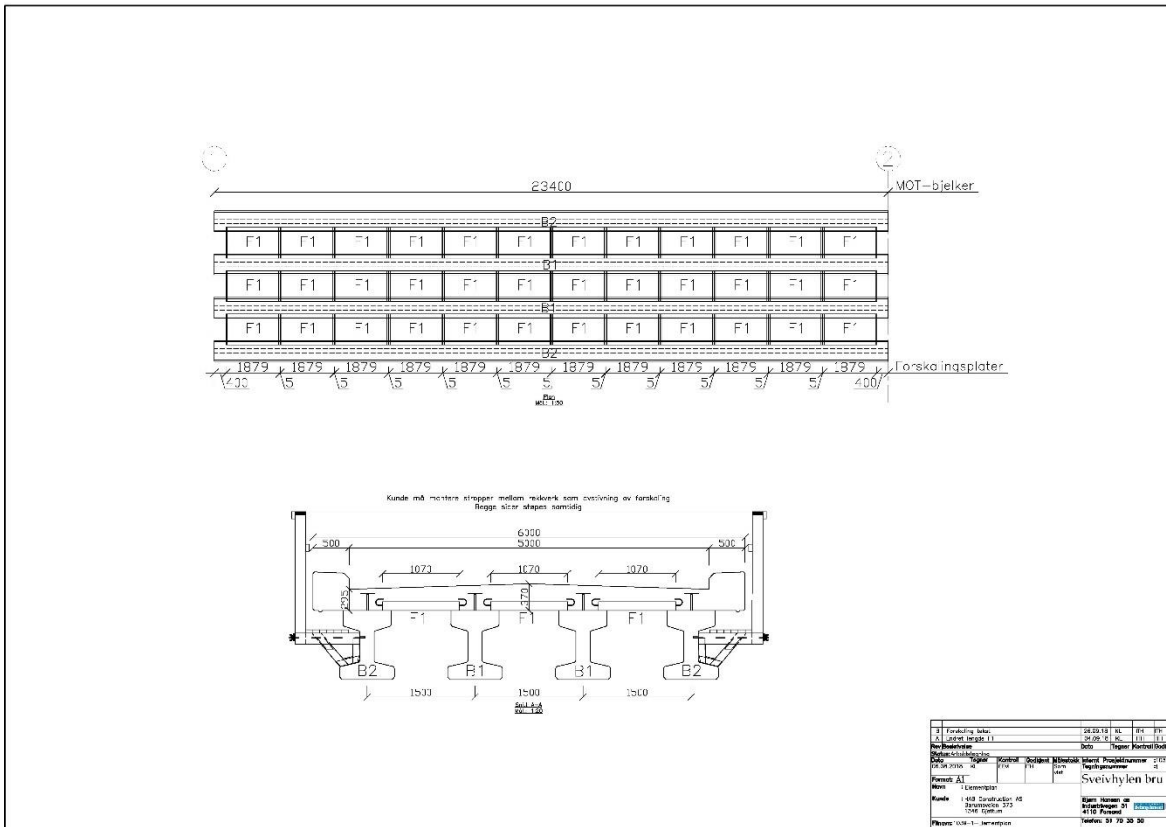
- Solem, B. S. (2022). Byggebransjen i et klima og miljøperspektiv.
- Standard Norge. (1994). *I- og H-profiler av konstruksjonsstål NS-EN 10034*.
- Standard Norge. (2006). *Miljøstyring - Livsløpsvurdering - Prinsipper og rammeverk (ISO 14040:2006)*.
- Statens Vegvesen. (2014). *Bruklassifisering - håndbok R 412*. Statens vegvesen.
- Strand, S. S. (2021). *Statsbudsjettet: 85 milliardar kroner til samferdsel i 2022*. Retrieved from Byggeindustrien: <https://www.bygg.no/statsbudsjettet-85-milliardar-kroner-til-samferdsel-i-2022/1479457/>
- Thue, J. V. (2019, Juli 16). *Betong*. Retrieved from Store Norske Leksikon: <https://snl.no/betong>
- Tjernshaugen, A. (2022). *bærekraft*. Retrieved from Store Norske Leksikon: <https://snl.no/b%C3%A6rekraft>
- Trefokus. (2022). *Kan vi redde miljøet ved å bruke tre?* Retrieved from Trefokus: <http://www.trefokus.no/aktuelt/kan-vi-redde-miljoet-ved-a-bruke-tre->
- Treindustrien. (2022). *Miljø*. Retrieved from Treindustrien: <https://www.treindustrien.no/miljo>

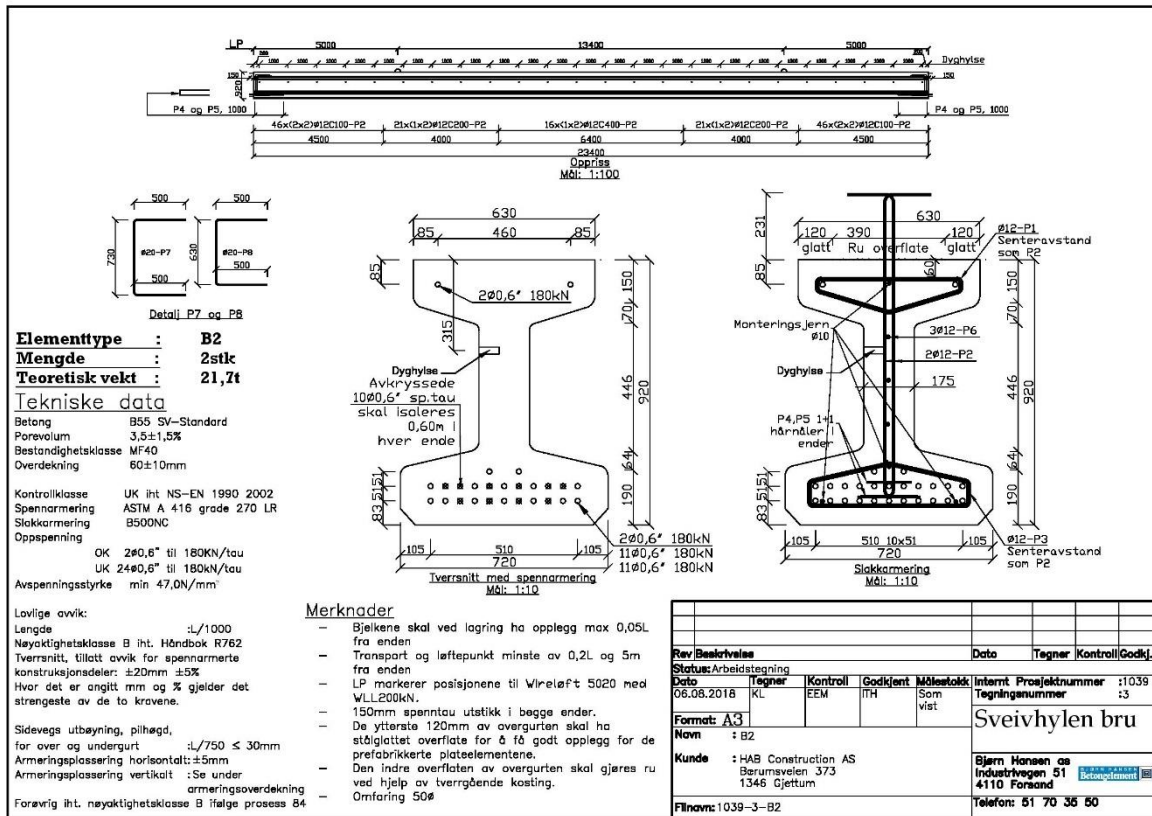
Vedlegg

Vedlegg A – Den Høie Bro



Vedlegg C – Sveivhylen Bru





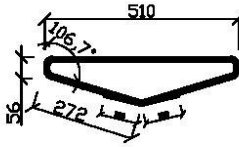
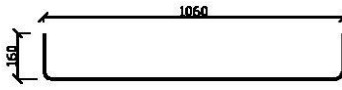
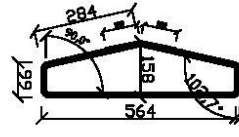
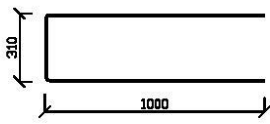
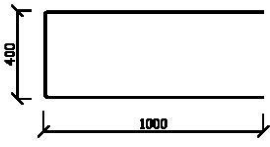
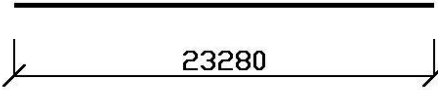
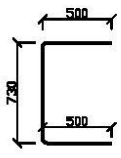
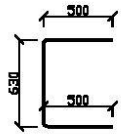
Bjørn Hansen as

Adresse: Industriveien 51
4110 Forsand
Telefon: 51 70 35 50

B Ø Y E L I S T E

Prosjekt : Sveivhylen bru
Prosjekt nr : 1039
Tegning nr : 6

Dato: 04.10.2018
Side: 1 av 1

Posi- sjon	Stål- kvalitet	Ø [mm]	Figur med ytre mål	Kapp- lengde [mm]	Mengde per element [stk]	Mengde per prosjekt [stk]
P1	B500NC	12		1366	484	1936
P2	B500NC	12		1670	484	1936
P3	B500NC	12		1532	484	1936
P4	B500NC	12		2310	2	8
P5	B500NC	12		2400	2	8
P6	B500NC	20		23280	3	12
P7	B500NC	20		1730	2	8
P8	B500NC	20		1630	2	8

Vedlegg D – EPDer

Vedlegg E – Beregninger (Excel)

Vedlegg F – Generelle data for landbruksvegbru type 1 ståbjelkebru med tredekke

