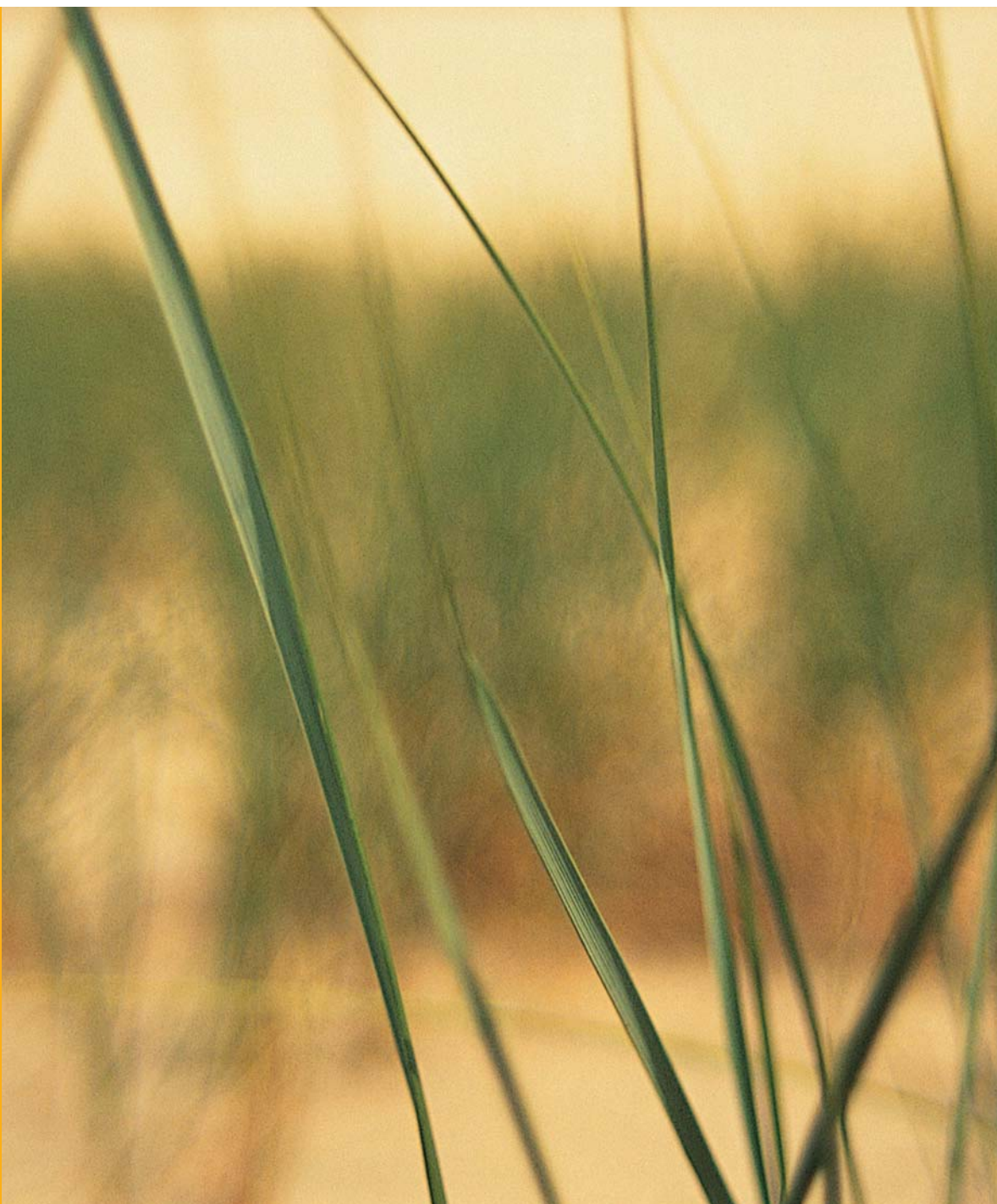


LCI for ei trebru med referanseprosjekt i stål og betong:
En analyse av energibruk og klimagassutslipp

LCI for a wooden bridge with reference projects in steel and
concrete: An analysis of energy use and greenhouse gas
emissions

Håvard Hjelmtvedt

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP
INSTITUTT FOR NATURFORVALTNING
CAND. AGRIC. RESSURSØKONOMI OG PLANLEGGING. 30 STP. 2007



FORORD

Denne hovedoppgaven avslutter mine studier ved tidligere Institutt for Skogfag, Ressursøkonomi og planlegging på Norges Landbrukshøgskole.

Jeg vil gjerne takke mine to veiledere, Ann-Kristin Petersen og Birger Solberg for deres hjelp med arbeidet. Per Kristian Ekeberg ved Norconsult AS har også vært til stor hjelp ved fremskaffelse av materiale for analysen.

Re, 14.05.2007

Håvard Hjelmtvedt

SAMMENDRAG

Analysen har som mål å sammenlikne miljøparameterne ressursbruk, energibruk og utslipp av klimagassene CO₂, CH₄ og N₂O for ei moderne trebru sammenliknet med konvensjonelle bruer i stål og betong. Det er tatt utgangspunkt i byggingen av ny bru på Tynset i 2001. Tidlig i prosjektfasen ble ei trebru vurdert kostnadsmessig mot alternative bruer i stål og betong, og tekniske data foreligger derfor for i alt 4 forskjellige brukonstruksjoner. Konstruksjonene oppfyller samme funksjon og har likeverdige systemgrenser. Funksjonell enhet i analysen er hele brukonstruksjonen.

Analysen viser at trebrua er mest miljøvennlig, dersom det antas samme opphav for de materialer som inngår i konstruksjonene. Forskjellen ligger hovedsakelig i bruk av mindre materialer og større bruk av bioenergi ved framstilling av tre, enn for andre store materialmengdene som inngår i en brukonstruksjon. Energibruken knyttet til framstilling og transport av materialene er om lag to tredjedeler av de alternative bruene, og klimagassutslippet om lag halvparten. Flere effektkategorier bør imidlertid studeres for å kunne gi et endelig resultat.

SUMMARY

This analysis compares environmental factors for a modern wooden bridge design to more conventional bridges made of concrete and steel. Factors included are use of resources, use of energy and emissions of the greenhouse gases CO₂, CH₄ and N₂O. The building of a new bridge in Tynset, Norway in 2001 is used as a case study. In an early stage of this project a wooden bridge design was compared by costs to steel and concrete bridge designs, hence technical data is available for a total of 4 different bridge constructions. These constructions have similar function and system boundaries. Functional unit of this analysis is the bridge construction itself.

The wooden bridge design comes across as the most ecofriendly of the bridge designs, assuming similar origin of the materials included in these constructions. Use of less construction materials, and a larger amount of bioenergy used when processing wooden materials, are key factors in explaining the differences. Considering production and transportation of the materials used, the wooden bridge design consumes roughly two thirds of energy, and total emissions of greenhouse gases is about half that of the three alternative bridges studied. However, a number of other environmental factors needs to be assessed before a final answer could be presented.

FORORD.....	1
SAMMENDRAG	2
SUMMARY	2
1 INNLEDNING	4
1.1 BAKGRUNN	4
1.2 FORMÅL	5
2 METODE & KARTLEGGING	5
2.1 METODE	5
2.1.1 LIVSLØPSANALYSE.....	6
2.1.2 AVGRENSNING	6
2.1.3 FUNKSJONELL ENHET	7
2.1.4 SYSTEMGRENSER.....	7
2.1.5 DATAKVALITET	8
2.1.6 DATAMANGLER (DATA GAPS)	10
2.1.7 SAMMENLIKNING MELLOM SYSTEM.....	10
2.1.8 EFFEKTKATEGORIER.....	11
2.2 KARTLEGGING	12
2.2.1 PRESENTASJON AV BRUENE I ANALYSEN	12
2.2.2 MATERIALER	23
3 RESULTAT	31
3.1 RESSURSBruk	31
3.2 ENERGIBruk & KLIMAGASSUTSLIPP	33
3.2.1 ENERGIBruk VED FRAMSTILLING OG TRANSPORT	33
3.2.2 KLIMAGASSUTSLIPP VED FRAMSTILLING OG TRANSPORT	36
3.2.3 ENERGIBruk OG KLIMAGASSUTSLIPP VED BYGGING.....	39
3.2.4 ENERGIBruk OG KLIMAGASSUTSLIPP VED VEDLIKEHOLD.....	40
3.2.5 ENERGIBruk OG KLIMAGASSUTSLIPP VED BRUK.....	40
3.2.6 ENERGIBruk OG KLIMAGASSUTSLIPP VED RIVING	40
3.2.7 ENERGIBruk OG KLIMAGASSUTSLIPP VED AVFALLSHÅNDTERING..	41
3.3 KOSTNADSEFFEKTIVITET	42
4 DISKUSJON	44
4.1 VALG AV FUNKSJONELL ENHET (FE):.....	44
4.2 USIKRE DATA:	44
4.3 ANDRE MILJØASPEKTER:	52
5 KONKLUSJON	52
REFERANSER	54
VEDLEGG 1: Materialmengder	58
VEDLEGG 2: Energiinnhold og utslippsfaktorer	59
VEDLEGG 3: LCI for asfalt	61
VEDLEGG 4: LCI for betong.....	64
Tillegg: Cd-rom	

1 INNLEDNING

1.1 BAKGRUNN

Som en følge av menneskelig aktivitet genereres klimagassutslipp og avfall i en mengde som kan gi konsekvenser vi ikke helt har oversikt over. Bygg- og anleggsnæringen er en av landets store næringer og står for en stor andel klimabelastingene, og produserer om lag 14 % av de totale avfallsmengdene nasjonalt (SSB (2004)). Det er derfor et behov for å konstant forbedre produksjonsprosesser knyttet til byggematerialer, men valg av materialer kan også ha stor innvirkning på et byggverks samlede miljøbelastning.

Problemer knyttet til endringer i klima kan være den største miljøutfordring verden står overfor i dag. En global innsats initiert gjennom FNs rammekonvensjon om klimaendringer, Klimakonvensjonen, har som mål å stabilisere konsentrasjonen av klimagasser på et nivå som er lavt nok til å hindre skadelig menneskeskapt påvirkning av klimasystemet. FNs klimapanel, IPCC, la nylig frem en tredje delrapport (IPCC (2007)) til en fjerde hovedrapport som vil komme i løpet av 2007. Her vurderes tiltak og virkemidler for å redusere utslipp. Det konkluderes med at det er mulig å gjøre noe med problemet og at kostnadene er moderate, men at det må handles raskt om vi ønsker å stanse klimaendringene. Disse rapportene er ansett som det viktigste faglige grunnlaget for den internasjonale klimapolitikken.

Kyotoprotokollen fra 1997, som ble juridisk bindende for deltakende land i 2005, er det første konkrete steg på veien. Norge har i Kyotoprotokollen forpliktet seg til at klimagassutslipp ikke skal øke med mer enn 1 % i perioden 2008-2012 i forhold til utslippene i 1990. Som et tillegg til nasjonale tiltak er det åpnet for at deltakende land kan gjennomføre utslippsreduksjoner eller kjøpe kvoter i andre land, kjent som Kyoto-mekanismene. En rapport fra Det europeiske miljøbyrået (EEA (2006)) konkluderer med at Norge ikke kan nå målet uten å ta i bruk disse mekanismene.

Kjøp av kvoter og tiltak i andre land kan være en kostnadseffektivt måte å nå målet for klimagassutslipp. Denne kostnadseffektiviteten har imidlertid å gjøre med kvotehandel og er ikke reelle kostnader ved reduksjon av utslipp. Norge har som mål at samfunnet skal følge en bærekraftig utvikling, dette innebærer at miljøhensyn bør implementeres innen alle sektorer og for alle typer prosjekt også på et nasjonalt plan.

I et miljøperspektiv har trevirke flere fordeler sammenliknet med alternative konstruksjonsmaterialer. Tre er en fornybar ressurs, krever oftest mindre energi ved industriell prosessering, og så lenge skogen skjøttes på en bærekraftig måte er det ikke knyttet CO₂-utslipp til forbrenning av tre.

1.2 FORMÅL

Analysen har som formål å sammenlikne miljøparameterne ressursbruk, energibruk og klimagassutslipp for ei moderne bru bygget i limtre med tilsvarende bruer bygget i stål og betong. Det har også vært et mål å vurdere på hvor stor effekten og usikkerheten er ved valg av trevirke som hovudkonstruksjonsmateriale. Som et grunnlag er det tatt utgangspunkt i byggingen av ny bru over Glomma ved Tynset i 2001. Forut for bygginga av brua ble det utført et forprosjekt med tre alternative bruer i stål og betong, og det er foretatt en sammenlikning mellom limtrebrua og alternativene.

Ei bru består av mange ulike materialer, for eksempel inneholder alle de fire bruene som presenteres i analysen ulike mengder av materialene stål, betong og armeringsjern selv om konstruksjonene varierer. Dette er materialer med høyst ulike egenskaper og funksjon og som sammen virker for å lage ei sikker og varig bru, der hvert materiale har sin funksjon og ikke uten videre kan erstattes av et annet. Det er derfor også et mål å vise hva det er viktig å tenke på ved valg av materialer til en brukonstruksjon.

2 METODE & KARTLEGGING

2.1 METODE

Denne analysen fokuserer på kartleggingsdelen av en livsløpsanalyse (LCA-Life Cycle Assessment) for 4 ulike brukonstruksjoner. Kartleggingen innebærer å kvantifisere ressursbruk, energibruk og utslipp for konstruksjonene. Endelig resultat vil slik være summen av input og output til det systemet som studeres, kalkulert per funksjonell enhet. Det er tatt utgangspunkt i et basisscenario vurdert som det mest sannsynlige for bruene, senere er forutsetningene endret for å se hva de betyr for resultatet.

Videre er det tatt utgangspunkt i basisscenarioet for å gjennomføre en enkel kostnadseffektivitetsanalyse. Her er det beregnet hvor store klimagassutslipp som unngås ved å substituere en av de alternative bruene med trebrua, samt hvor mye dette kan koste.

Avfallsbehandlingen av bruene er ikke kvantifisert, hvert materiale belastes kun med miljøbelastning i forbindelse med framstillingen, det vil si såkalt "cut off". Cut off-allokering innebærer at dersom for eksempel stål utvunnet fra malm gjenvinnes, er det det nye stålet som må ta miljøbelastningen fra avfallsbehandling og omsmelting, samtidig som det ikke belastes

noe for utvinningen av malm. Cut off er en enkel og mye brukt metode (Ekvall & Tillman (1994)).

2.1.1 LIVSLØPSANALYSE

Metoden som er brukt for å kartlegge energiforbruk og klimagassutslipp kalles Life Cycle Assessment (LCA), eller livsløpsanalyse på norsk, og metodikken er beskrevet i blant annet ISO-standarder i 14040-serien, SETAC (1993) og Guinée et al. (2001). Prinsippet bak metodikken er å enten kvalitativt eller kvantitativt kartlegge alle trinn i et produkts livsløp, slik at produktets totale påvirkning på miljøet kan estimeres. En økt forståelse av hvor i et produkts livsløp de største miljøbelastningene opptrer kan slik gi grunnlag for en miljømessig forbedring av produktet som analyseres.

2.1.2 AVGRENSNING

En komplett livsløpsanalyse for bruene er ikke realistisk å gjennomføre med stor grad av sikkerhet. Alternativene for trebrua eksisterer kun på papir, de er kun prosjektert og er ikke bygget. I en slikt forprosjektering vil ikke detaljnivået være spesielt høyt, og derfor kan ikke alle inngående material som ville inngått i ei virkelig bru studeres. Mengdeberegningene av materialene vil dessuten være anslag og ikke målte, faktiske tall. I en komplett livsløpsanalyse er det anledning ta ut materialer som inngår med mindre enn 1 % av produktets totale vekt, dersom de ikke antas å ha avgjørende innvirkning på produktets miljøpåvirkning. Det er dessuten ikke alltid mulig å kunne finne fullstendige data.

I en fullstendig livsløpsanalyse undersøkes vanligvis flere faktorer enn i denne analysen, der kun miljøparameterne energibruk og klimagassutslipp er undersøkt. Bruene som er omhandlet her er dessuten prosjektert til å vare i 100 år, og det er ikke mulig å få kvantitative data for bruas livsfaser etter at den er bygget uten å måtte anta forskjellige scenario. Det er i beste fall kun mulig å ane hvilke metoder og teknikknivå man har tilgang til ved f.eks avfallsbehandlingen av bruene.

Arbeidet er derfor begrenset til det som er vesentlig for analysens formål.

Følgende aktiviteter inngår i analysen:

- Produksjon, transport (inklusive utvinning og distribusjon av drivstoff) og ressursuttak av inngående material.

Følgende aktiviteter er ikke kvantifisert i analysen:

- Energibruk på byggeplass
- Avfall generert ved bygging
- Miljøpåvirkning ved bruk
- Vedlikehold av bru
- Energibruk og utslipp knyttet til produksjon av utstyr og bruk av arbeidskraft ved produksjon av inngående materialer.
- Energibruk ved riving
- Behandling av restprodukter etter riving

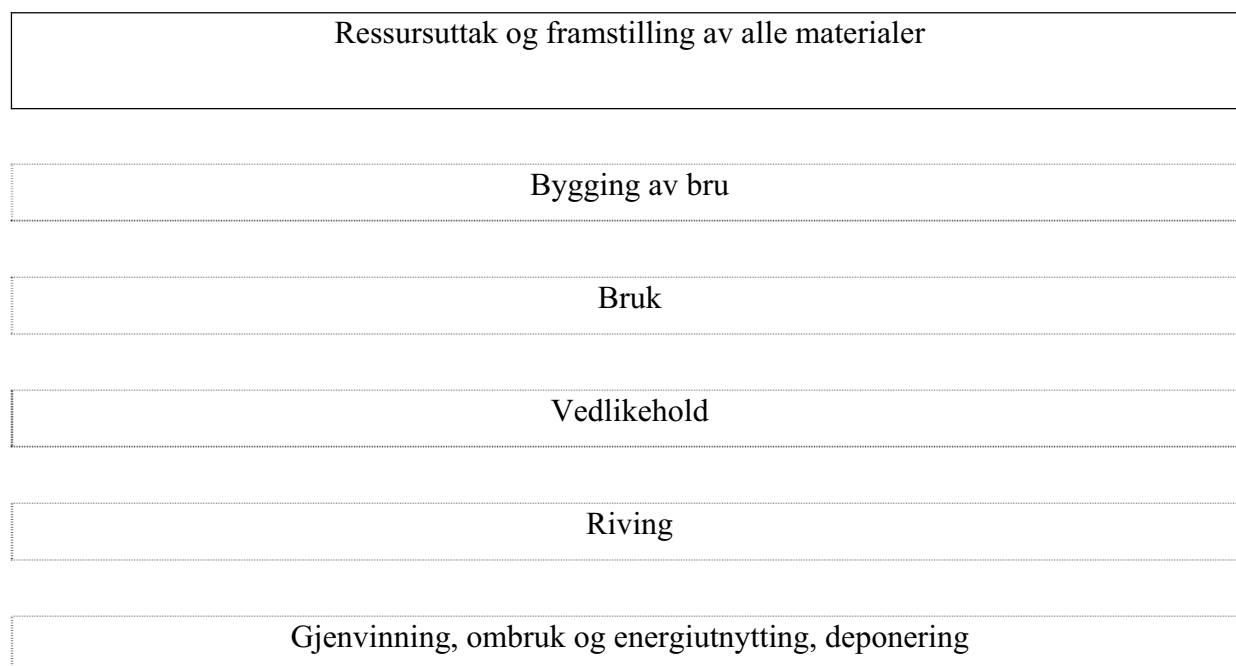
Energibruk og klimagassutslipp ved bygging, bruk, vedlikehold, riving og avfallshåndtering av bruene er generelt vurdert for alternativene i kapittel 3.

2.1.3 FUNKSJONELL ENHET

Funksjonell enhet er den fordelingsenhet som fungerer som regnebasis for analysen, og det er viktig at denne enheten fyller samme funksjon. Den funksjonelle enheten som er valgt er hele brua. Bruas funksjon er å gi trafikanter og fotgjengere mulighet til å krysse Glomma, og funksjonen er den samme uavhengig av materiale og konstruktive utforminger. Ei bru består av fundamentering, brukar, pilarer og overbygning. Bruk av lette materialer muliggjør en mindre omfattende fundamentering, slik at for funksjonen må hele konstruksjonen vurderes.

2.1.4 SYSTEMGRENSER

Likeverdige systemgrenser utgjør en forutsetning for sammenliknende analyser. Alle inngående materialer som er undersøkt er forsøkt fulgt helt fra utvinning og til brusedet. Samtidig er grensene avhengig av de kilder som velges for datamaterialet, og tiden som er til rådighet for analysen. Viktig for resultatenes troverdighet er at avgjørende elementer av et produkts livsløp ikke blir satt utenfor systemgrensene. I dette tilfellet har fire ulike system med samme systemgrenser blitt undersøkt.



Figur 1: Generelt flytskjema.

Figur 1 viser et generelt flytskjema for bruene. Stiplede streker angir at prosessene ikke er kvantifisert nærmere. I tillegg kommer transport, både mellom fasene og innen hver fase. Det har ikke vært mulig å trekke ut bidrag fra transport i produksjonen for alle inngående materialer, for å få konsistens i analysen er derfor bidragene fra transport som er presentert kun relatert til transport av den ferdige råvaren. Når det gjelder geografisk avgrensning antas det at alle materialer er av norsk opphav, så nær som stål og kobber som importeres fra verdensmarkedet. Stålet i analysen er antatt å ha sitt opphav i Norden.

2.1.5 DATAKVALITET

Om datakvalitet sier Nordic Council of Ministers (1995): "LCA Data Quality Goals are the level of uncertainty acceptable in the final results". ISO-standardene beskriver ingen standard for datakvalitet. Man er derfor nødt til å gjøre valg basert på analysens hensikt, tiden til rådighet og ikke minst hvilke data som er tilgjengelige.

Å hente data for å gjennomføre en livsløpsanalyse er åpenbart et svært viktig element, siden disse dataene vil avgjøre analysens kvalitet. Ei bru bygges gjennom mange prosesser og genererer mye transport, og alt dette forårsaker skadelige utslipp, utarming av ressurser etc. Å samle alle disse data er sjelden mulig, og litteraturdata må derfor brukes i stor utstrekning.

Ved bruk av litteraturredata kommer man fort over problemet med ulik angivelse og kvalitet på data. Forskjellige databaser og deklarasjoner oppgir til dels svært forskjellige utslipp, data aggregeres eller er for kun et produkt, forskjellige allokeringemetoder og systemgrenser brukes, varians angis forskjellig eller dataene er kun gyldige i visse kontekster. Data i denne analysen er brukt som de er oppgitt i kilden, og data er ikke angitt i datakvalitetsklasser eller angitt med variasjonsområde.

En begrenset følsomhetsanalyse er dog gjennomført. I en følsomhetsanalyse varieres en parameter og det undersøkes på hvilken måte resultatet påvirkes.

Det er svært forskjellige prosesser knyttet til produksjon og foredling av materialene i analysen, og systemgrensene kan derfor variere i kildegrunnlaget. Generelt er det lagt vekt på å finne data for byggematerialene der uttak av råvarer, produksjon av sekundære innsatsfaktorer (f.eks lim i limtre) og transport inngår. For noen material har det ikke vært mulig å fremskaffe spesifikke data innenfor de praktiske og tidsmessige begrensninger analysen er skrevet under. Det er derfor gjort tilnærmelser med utgangspunkt i liknende prosesser, eksempelvis ved å anta transportavstander og utvinningsdata for material som betong og asfalt. Forutsetningene er de samme for alle de beskrevne bruene. Data som er spesifikke for produsent av materialer er brukt i størst mulig grad for limtrebrua, men siden brualternativene er "papirbruer" finnes ingen slike data for leverandører og transportmetoder. Usikkerheten blir slik stor og spranget i resultatene er nokså vidt. De samme antagelser er imidlertid gjort for transport og framstilling av materialer for alle de fire bruene, og dette hjelper til å forbedre påliteligheten av resultatene.

2.1.5.1 Tidsperspektiv

Beregningsperioden som er valgt er 100 år, som er den livslengde bruene er prosjektert for. Dersom det antas at bruene rives, er 100 år lang tid og det er vanskelig å forutse hvordan avfallet fra riving behandles fordi det er mulig å anta et vesentlig forskjellig teknikknivå enn dagens. Bruenes endeligt behandles derfor ikke nærmere i denne analysen, men materialmengder som er egnet til gjenbruk, resirkulering eller energiutnytting gjøres rede for.

2.1.5.2 Geografisk dekning

Det er forutsatt norsk elektrisitetsproduksjon ved produksjon av inngående materialer der produksjonsstedet er ukjent. Dette gjelder material som kobber og stål. For stål er materialet forutsatt å komme fra Norden. Data for fabrikker og utstyr avhenger mer av teknikknivå og type enn sted. Et lokalt geografisk aspekt er ivaretatt ved valg av transportdistanser relatert til Tynset i analysen.

2.1.5.3 Teknikknivå

Brua ble ferdigstilt i 2001, mens data som er brukt mer beskriver dagens teknikknivå. Flere av referansene er imidlertid fra perioden rundt tidspunktet brua ble bygget, da det ikke alltid er mulig å skaffe datagrunnlag som er helt oppdatert. Datakilder er det redegjort for i kapittel 4. Vanlig brukte metoder for framstilling av materialene er valgt.

2.1.5.4 Fullstendighet (completeness)

Det har av praktiske årsaker ikke vært mulig å samle data under byggingen av ny bru på Tynset. Litteraturdata er derfor brukt i stor utstrekning. Resultatet er beregnet ut fra materialbruken, og det er ikke inkludert data knyttet til produksjon av utstyr (lastebiler, asfaltfabrikker et cetera).

Stål som inngår i en konstruksjon vil oftest leveres av en rekke underleverandører, som igjen handler sine produkter på verdensmarkedet. Data som omhandler stål er vanskelig tilgjengelige, og det er i denne analysen antatt samme leverandør av alle ståldetaljer. Usikkerheten er derfor stor for denne parameteren.

2.1.6 DATAMANGLER (DATA GAPS)

Impregnering av betong er ikke vurdert. For impregnering av tre er kun kobberet som inngår i cca-impregneringen tatt med, data for krom og arsen var ikke mulig å innhente og energibruk ved impregnering inngår heller ikke. Det samme gjelder for kreosot.

2.1.7 SAMMENLIKNING MELLOM SYSTEM

Datakvalitetskravene øker for en analyse som involverer sammenlikning, og dataenes presisjon, konsistens og reproduserbarhet må studeres.

Presisjonen, også kalt varians, er som nevnt ikke vurdert. Ellers følger metodikken i størst mulig grad standard fremgangsmåte.

2.1.8 EFFEKTKATEGORIER

Effektkategorier som er undersøkt i denne analysen er gitt under:

2.1.8.1 Ressursbruk:

I analysen er det undersøkt materialmengder for de ulike bruene.

2.1.8.2 Energibruk:

I analysen er energiforbruket ved produksjon og transport av materialer undersøkt.

2.1.8.3 Klimagassutslipp:

I analysen er klimagassutslipp ved produksjon og transport av materialer undersøkt. Effekten kan fremstilles som GWP (Global Warming Potential):

Drivhusgasser som CO₂, CH₄ og vanndamp absorberer langbølget stråling fra solen og er en del av grunnlaget for liv på jorden. Industrialisering og en øket forbrenning av fossile brennstoff, særlig i forbindelse med transport og energiproduksjon, har ført til økede konsentrasjoner av drivhusgasser i atmosfæren. Drivhuseffekt er et naturlig fenomen, men det er stor uro for konsekvensene en økning av drivhuseffekten kan føre til. Effekten kan måles i CO₂-ekvivalenter, hvilket innebærer at CO₂ er valgt som et utgangspunkt og andre drivhusgasser er vektet i forhold til denne. Tidshorisonten for utslippene er 100 år. Strålingspådrivet som er valgt i denne analysen er anerkjente faktorer fra IPCC:

Tabell 1: Undersøkte klimagasser, levetid og Global Warming Potential (GWP). Kilde:IPCC (1996).

Gass	Levetid i atmosfæren (år)	GWP 100 år
CO ₂	50-200	1
CH ₄	12	21
N ₂ O	120	310

Tabell 1 viser levetid og GWP for klimagassene som er undersøkt. En kort beskrivelse av gassenes virkning på miljøet:

CO₂ (Karbondioksid):

CO₂ i atmosfæren vil slippe igjennom kortbølget energi i sollyset. På jordens overflate omdannes lysenergi til langbølget varmestråling, som stråler ut mot verdensrommet. CO₂ vil absorbere noe av denne langbølgete infrarøde strålinga og sende en del av den tilbake mot jorden igjen. Slik vil en høyere konsentrasjon av gassen gi en større absorpsjon av energi, og

føre til en oppvarming av jordoverflaten. Av norske klimagassutslipp bidro CO₂ til nærmere 80 % i 2005 (SSB (2006))

CH₄ (Metan):

CH₄ dannes ved nedbrytning av organisk materiale av mikroorganismer, og de største mengdene kommer fra naturlige kilder som våtmarksområder, myrer etc. Gassen dannes også ved nedbrytning av avfall, og slippes ut ved produksjon og bruk av fossile brensler. Det følger av tabell 1 at CH₄ absorberer varmestraler bedre enn CO₂, men langt lavere konsentrasjoner gjør at bidraget til drivhuseffekten er mindre. I tillegg bidrar CH₄ til dannelsen av bakkenær ozon. Av norske klimagassutslipp bidro CH₄ til 9 % i 2005 (SSB (2006)).

N₂O (Lystgass):

N₂O har som CO₂ og CH₄ både naturlige og menneskeskapte kilder. Den viktigste naturlige kilden er mikrobiologisk aktivitet i jordsmonnet. Viktige menneskeskapte kilder er bruk av nitrogenholdig gjødsel og forbrenning av fossile brensler og biomasse. Tabell 1 viser at N₂O har en langt større effekt for drivhuseffekten enn CO₂ isolert sett, men som for CH₄ er konsentrasjonene lavere og samlet bidrag er derfor mindre. Av norske klimagassutslipp bidro N₂O til 9 % i 2005 (SSB (2006)).

2.2 KARTLEGGING

2.2.1 PRESENTASJON AV BRUENE I ANALYSEN

2.2.1.1 Bakgrunn

Før brukonstruksjoner i betong og stål tok over var det vanlig å bygge bruer i tre i Norge, og bruk av tre har senere hovedsakelig begrenset seg til gangbruer. Utviklingsarbeid, både for spennlengde og knutepunkt, gjorde at det igjen ble aktuelt å bygge større bruer i tre. En rekke norske og nordiske programmer og prosjekter er utført, og et konsept for trebruer på nordisk basis har utvikles.

Vegkontoret i Hedmark kom tidlig inn i dette samarbeidet, og fra Moelven Limtre AS ble ny bru ved Tynset tidlig utpekt som ”-et ideelt prosjekt for å vise at veibruer i tre ikke bare var mulig, men at det også kunne være et godt alternativ estetisk og økonomisk til bruer i stål og betong”. (Intervju Åge Holmestad, adm. dir for Moelven Limtre AS, i Moelven (2005).

Prosjektet ble imidlertid utsatt, og i stedet ble penger bevilget til ei bru over Glomma ved Evenstad i Østerdalen. Evenstad Bru ble derfor den første store kjørebru i Norge basert på

limtrekonstruksjoner. Brua har 5 buespenn på 36 meter, til sammen 180 meter lengde. Etter starten med Evenstad er det levert et titalls store bruer av limtre i Norge.

For ny Tynset bru var Statens vegvesen Hedmark byggherre, og Vegvesenets utbyggingsavdeling sto for planlegging og byggeledelse av prosjektet. Forprosjektet er utarbeidet av en arbeidsgruppe nedsatt av Statens vegvesen Hedmark. Selskapene Plan Arkitekter AS og Norconsult AS var engasjert til å utføre beregninger, vurderinger og laget tegninger, og har vært representert i arbeidsgruppen. Trebru-byggesettet ble levert av Moelven Limtre. Moelven monterte trebrua sammen med Vegvesenets produksjonsavdeling. Underentreprenører ble brukt på spesielle jobber. Det ble også leid inn maskiner, lastebiler og en del utstyr. Innleie og varekjøp ble i alt overveiende gjort i området.

En redegjørelse for valg av bruløsning samt et oppdatert kostnadsoverslag for forprosjektet samt byggekostnad for trebrua er gitt av Isaksen (2001), siv.ing i Norconsult. Ved valg av bruløsninger er byggekostnader (se Tabell 2) gjerne et hovedkriterium, selv om estetikk og levetidskostnader er faktorer som også kan veie tungt i mange tilfelle. Som tallene viser framstår stålplatebæreren som det billigste alternativet, men kostnadene er beregnet som rene byggekostnader. Det vil oftest være den totale brukostnaden som er interessant for byggherren, og da kom trebrua best ut (Isaksen 2001). I totale kostnader ligger blant annet kostnader vedrørende riving av eksisterende bru, trafikkavvikling i byggetiden og arbeider på tilstøtende veg. Siden trebrua ble bygget som bue og fagverk, og den nye brua har større bredde enn den gamle, kunne fundamentene bygges ferdig før riving av den gamle brua. Rask monterings- og trekonstruksjon kombinert med ferdige fundamenter før riving av gammel bro reduserte varigheten av trafikkomleggingen i anleggsperioden. For Tynset bru gjaldt det 6 måneder med omlegging med interimsbru i stedet for 1 år. Kostnadene knyttet til trafikkulemping ble derfor redusert.

Alternativene for ny Tynset bru var stålplatebærer, buebru, skråstagbru og trebru. Et kostnadsoverslag for bruene er vist i tabell 2:

Tabell 2 Kostnadsoverslag for Tynset bru (Isaksen (2001)).

Brualternativ	Oppdatert kostnadsoverslag i 2001
1. Stålplatebærer	18,9 mill.
2. Buebru	27,0 mill
3. Skråstagbru	24,0 mill
	Byggekostnad pr. 31.01.01
4. Trebru	20,6 mill

Forutsetningene for konstruksjonen krevde at det ble valgt en "monumental" løsning da elveløpet ikke kunne innsnevres på grunn av problemer med flom. Krav til flomhøyder medførte at veglinja måtte heves ved valg av stålplatebærer som ga økte kostnader på tilstøtende veg. Flom medførte også at mye av arbeidet måtte skje om vinteren, noe som er vanskelig å kombinere ved støping av blant annet dekket. På bakgrunn av prosjekteringsforutsetningene, ble derfor trekonstruksjonen kostnadseffektiv i forhold til alternative stål- og betongbruer. Det ble valgt en bukonstruksjon, noe som både sørget for tilstrekkelig høyde over maksimalt flomnivå og en konstruksjon som fungerer som et landemerke, slik den gamle brua var.

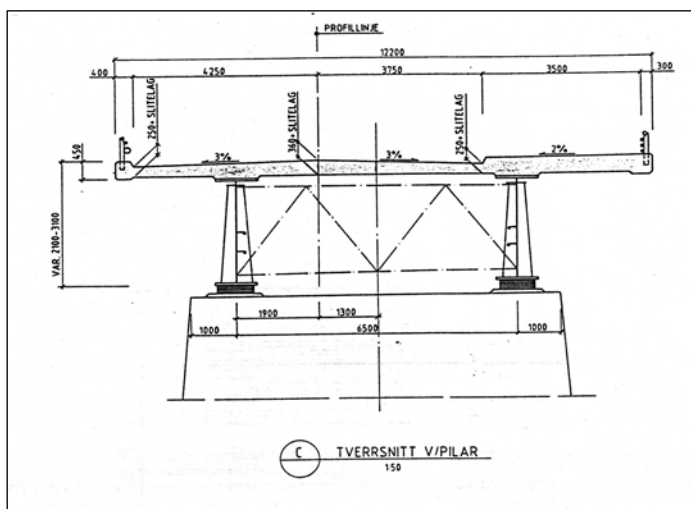
Prosjekteringen er utført i henhold til følgende dokumenter:

- Statens vegvesens håndbok nr 184. Lastforskrifter for bruer og ferjekaier i det offentlige vegnett
- Statens vegvesens håndbok nr 185. Prosjekteringsregler for bruer
- NS 3470 Prosjektering av trekonstruksjoner. Beregning og dimensjonering
- NS 3472 Prosjektering av stålkonstruksjoner. Beregning og dimensjonering
- NS 3473 Prosjektering av betongkonstruksjoner. Beregning og dimensjonering

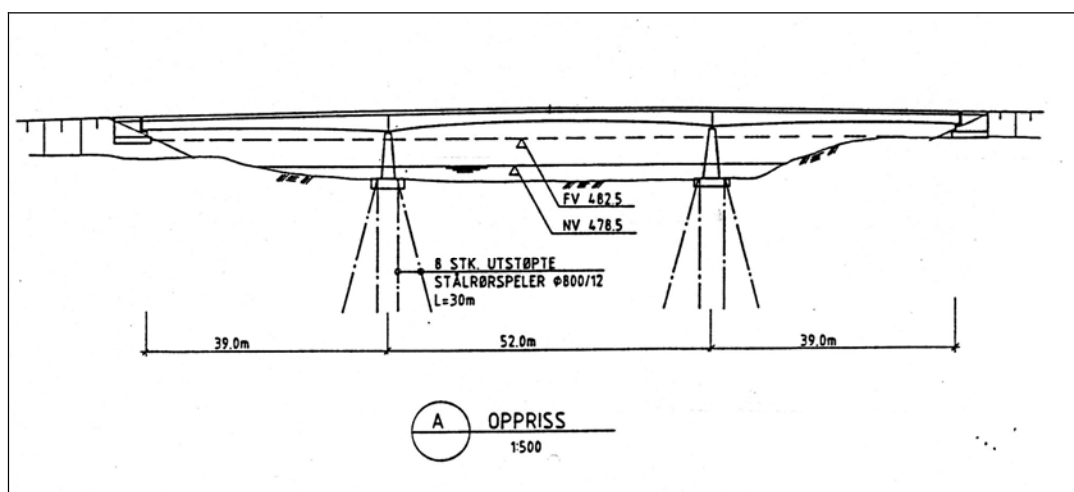
2.2.1.2 Alternativ 1, stålplatebærer

Tekniske data:

Tverrsnitt ved pilar og profil vises i figur 2 og 3. Brua er prosjektert ved utarbeidelse av planer for ny Tynset bru, men er ikke bygget. Brua har fri trafikerbar bredde på 11,5 meter, og en total bredde på 12,2 meter. Spenninndeling er fordelt på to spenn på 39 meter og et hovedspenn på 52 meter, hvilket gir en total lengde på 130 meter.



Figur 2: Tverrsnitt stålplatebærer (Tegning: Dr.Ing A.Aas-Jacobsen A.S).

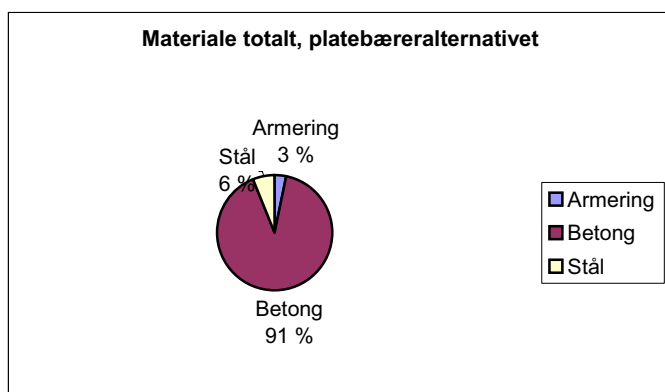


Figur 3: Profil stålplatebærer (Tegning: Dr.Ing A.Aas-Jacobsen A.S).

Et underliggende bæresystem gir en gunstig bærevirkning for brudekket, hvilket er en teknisk og kostnadmessig fordel, og er enklere i utførelse enn fagverk. Dette er den billigste av bruene i rene byggekostnader.

Materialmengder:

Materiale for platebærer er regnet ut fra forprosjekt bygningskonstruksjoner, kostnadsoverslag datert og tegninger datert 01.04.92 fra Dr.Ing A.Aas-Jacobsen A.S, senere Norconsult.



Figur 4: Materiale totalt (vekt%), stålplatebærer.

Figur 4 viser fordelingen av byggematerialer etter vektprosent. Hele brua, inkludert peler, pelehoder, pilarer og overbygning, veier om lag 6577 tonn. Av dette utgjør (regnet som vekt) armeringsjern 3,3 %, betong 90,7 % og ståldetaljer 6,0 %. Øvrig materiale er antatt å utgjøre mindre enn 2 % og er ikke tatt med i beregningene. Brua veier om lag 4,4 tonn per m² trafikerbar overflate.

Byggekostnader:

Tabell 3: Byggekostnader (NOK) stålplatebærer.

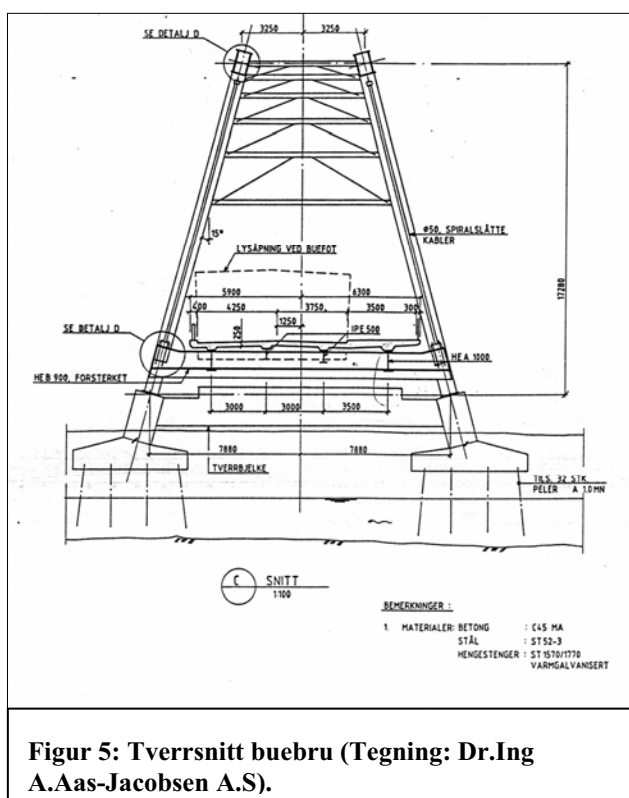
Platebærer	Verdi	Enhet
Pr løpemeter bru	145384,62	NOK
Pr m ² bru	11916,77	NOK
Pr m ² trafikerbar bru	12642,14	NOK

Tabell 3 viser kostnader for stålplatebærer pr løpemeter bru, pr m² bru og pr m² trafikerbar bru, etter kostnadsoverslag fra Isaksen (2001).

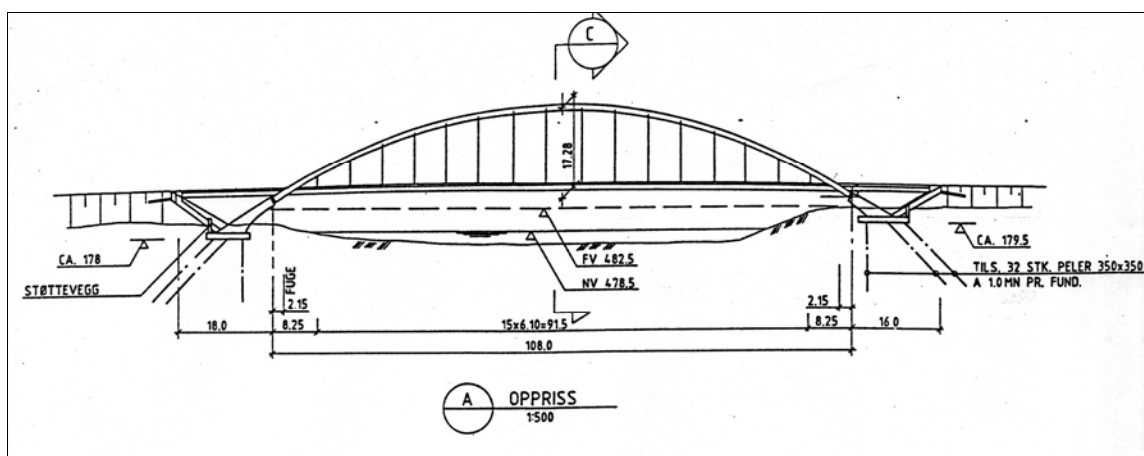
2.2.1.3 Alternativ 2, buebru

Tekniske data:

Konstruksjonen er formet som ei buebru, som gir brua god visualitet og et lavere materialforbruk enn de andre alternativene i stål og betong. Tverrsnitt og profil vises i figur 5 og 6. Brua er prosjektert ved utarbeidelse av planer for ny Tynset bru, men er ikke bygget. Bruplata har fri trafikerbar bredde på 11,5 meter, og en total bredde på 12,2 meter. Spenninndeling er fordelt på to sidespenn på 16 og 18 meter og et hovedspenn på 108 meter, hvilket gir en total lengde på 142 meter. Den armerte bruplata henger i stålstag og hviler på tverrbærere av stål.



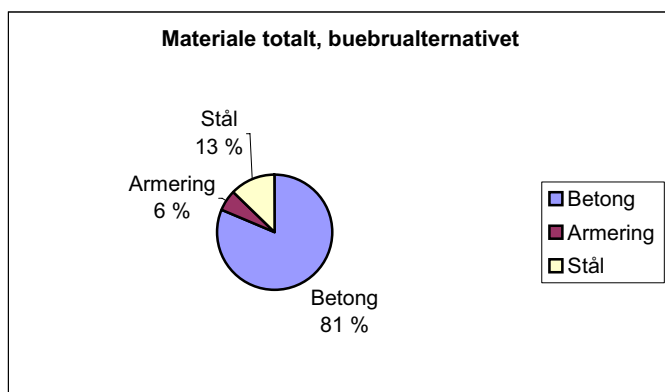
Figur 5: Tverrsnitt buebru (Tegning: Dr.Ing A.Aas-Jacobsen A.S).



Figur 6: Profil buebru (Tegning: Dr.Ing A.Aas-Jacobsen A.S).

Materialmengder:

Materiale for buebru er regnet ut fra forprosjekt bygningskonstruksjoner, kostnadsoverslag og tegninger datert 01.04.92 fra Dr.Ing A.Aas-Jacobsen A.S, senere Norconsult.



Figur 7: Materiale totalt (vekt%), buebru.

Figur 7 viser fordelingen av byggematerialer etter vektprosent. Buebrua har mest stål i mengde av de 4 bruene. Hele brua, inkludert peler, fundamenter, bue med hengestenger og overbygning, veier om lag 4440 tonn. Av dette utgjør (regnet som vekt) armeringsjern 5,8 %, betong 81,5 % og ståldetaljer 12,7 %. Øvrig materiale er antatt å utgjøre mindre enn 2% og er ikke tatt med i beregningene. Brua veier om lag 2,7 tonn pr m² trafikerbar overflate.

Byggekostnader:

Tabell 4: Byggekostnader (NOK), buebru.

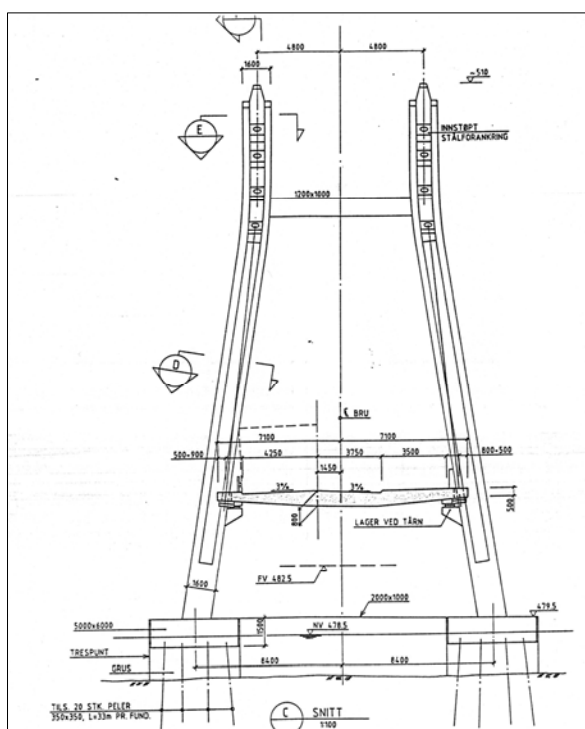
Buebru	Enhet	Verdi
Pr løpemeter bru	190141	NOK
Pr m2 bru	15585	NOK
Pr m2 trafikerbar bru	16534	NOK

Tabell 4 viser kostnader for buebru pr løpemeter bru, pr m² bru og pr m² trafikerbar bru, etter kostnadsoverslag fra Isaksen (2001).

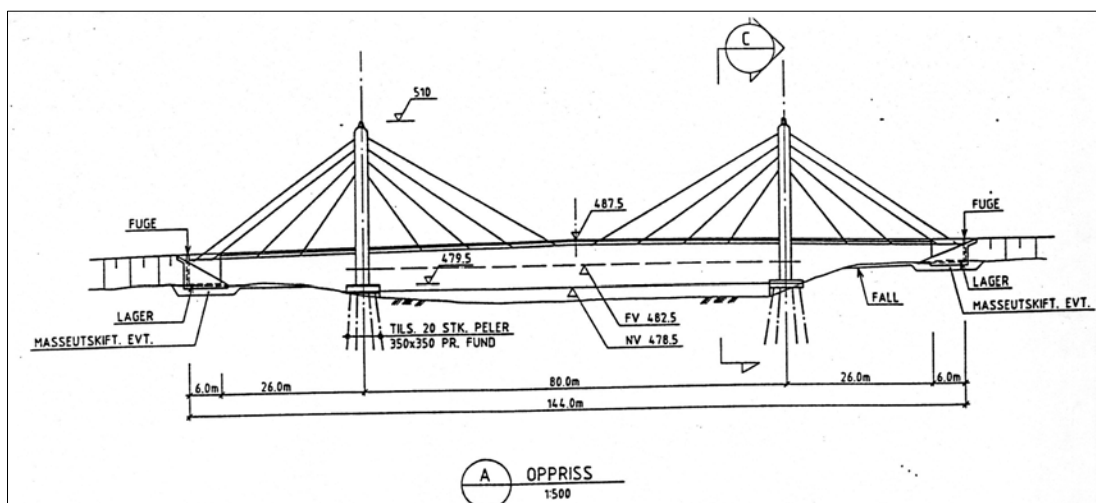
2.2.1.4 Alternativ 3, skråstagbru

Tekniske data:

Konstruksjonen er formet som ei skråstagsbru, det vil si en type hengebru der brubanen bæres av kabler innfestet i høye tårn. Kablene er i realiteten skråstilte ståltag som spenner fra toppen av tårnene til brubanen som i seg selv er en bjelkekonstruksjon. Tverrsnitt og profil vises i figur 8 og 9. Brua er prosjektert ved utarbeidelse av planer for ny Tynset bru, men er ikke bygget. Bruplata har fri trafikerbar bredde på 11,5 meter, og en total bredde på 14,4 meter. Hovedspennet er på 80 meter, og den totale brulengden er 144 meter.



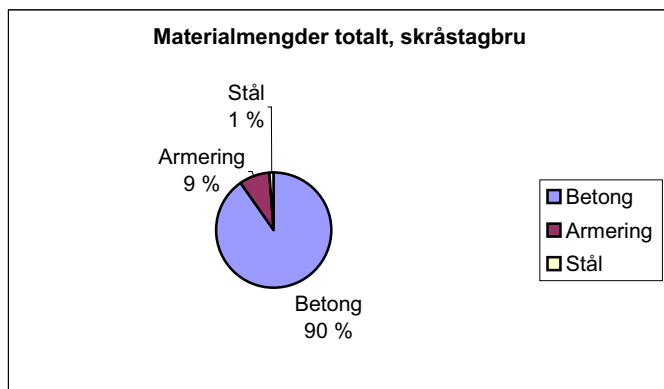
Figur 8: Tverrsnitt skråstagbru (Tegning: Dr.Ing A.Aas-Jacobsen A.S).



Figur 9: Profil skråstagbru (Tegning: Dr.Ing A.Aas-Jacobsen A.S).

Materialmengder:

Materiale for platebærere er regnet ut fra forprosjekt bygningskonstruksjoner, kostnadsoverslag datert og tegninger datert 01.04.92 fra Dr.Ing A.Aas-Jacobsen A.S, senere Norconsult.



Figur 10: Materialmengder (vekt%) totalt, skråstagbru.

Figur 10 viser fordelingen av byggematerialer etter vektprosent. Hele brua, inkludert landkar og ballastkasser, peler og fundamenter, tårn og brubjelke, veier om lag 6727 tonn. Av dette utgjør regnet som vekt) armeringsjern 8,7 %, betong 90,2 % og ståldetaljer 1,1 %. Brua veier om lag 4,0 tonn pr m² trafikerbar overflate.

Byggekostnader:

Tabell 5: Byggekostnader (NOK), skråstagbru.

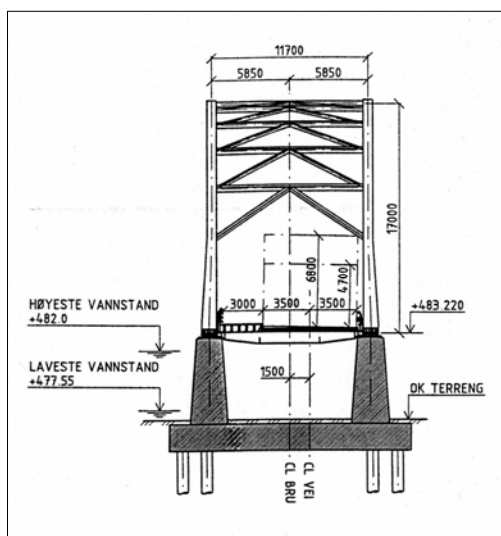
Skråstagbru	Verdi	Enhet
Pr løpemeter bru	166667	NOK
Pr m ² bru	13661	NOK
Pr m ² trafikerbar bru	14493	NOK

Tabell 5 viser kostnader for skråstagbru pr løpemeter bru, pr m² bru og pr m² trafikerbar bru, etter kostnadsoverslag fra Isaksen (2001).

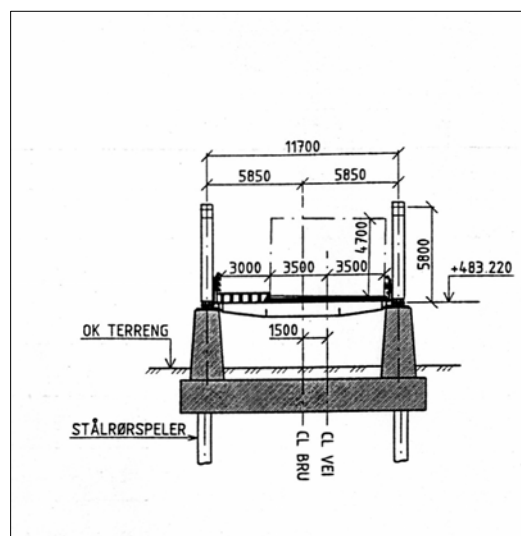
2.2.1.5 Ny Tynset bru, trebru

Tekniske data:

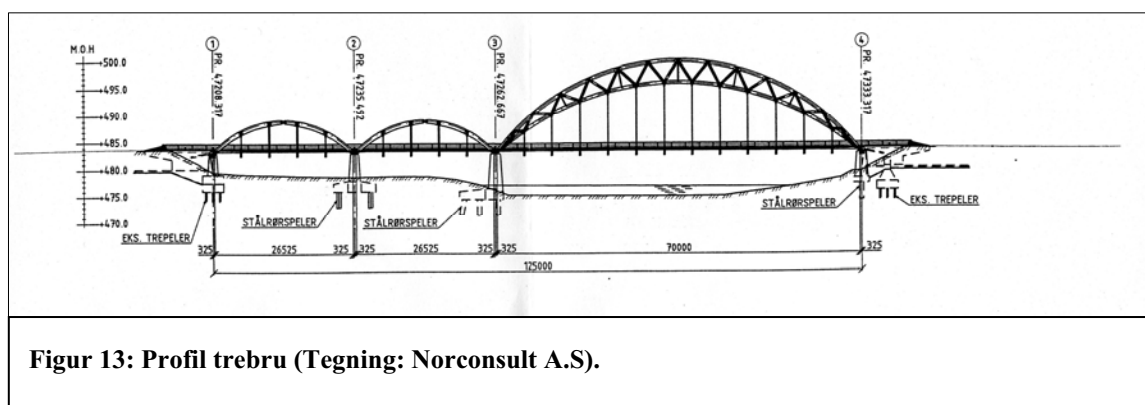
Hovedkonstruksjonen av brua består av en fagverksbue i limtre som spanner 70 m, og 2 mindre 3-leddsbuer hver på 27 m. Tverrsnittet av brua ved hovedspennet er vist i figur 11, tverrsnitt ved et av de små spennene vises i figur 12, mens profil er vist i figur 13. Brukarene og pilarene ble konstruert for å motstå horisontalkreftene fra buene uten å bruke strekkstag. Det tverrspente tredekket henger i stålstag og hviler på tverrbærere av stål.



Figur 11: Tverrsnitt ved fagverksbue (Tegning: Norconsult A.S).



Figur 12: Tverrsnitt ved bue (Tegning: Norconsult A.S).



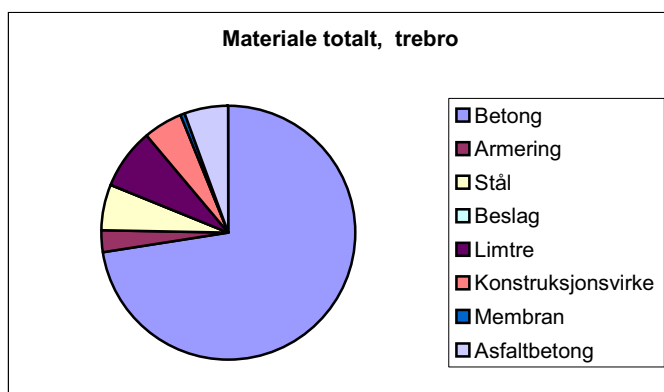
Figur 13: Profil trebru (Tegning: Norconsult A.S).

Det er brukt asfaltdekke på kjøreveien og trebord på gangveien. Rekkverket er dimensjonert for hastigheter opp mot 60 km/t. Alle treelementer i hovedkonstruksjonen ble dobbelt impregnert, først med CCA, så med kreosot med redusert opptak. Dekkeplanken er impregnert med kreosot til klasse A. Delene til hovedkonstruksjonen ble hovedsakelig prefabrikkert hos limtreleverandøren, Moelven Limtre AS. Fagverkene ble prøvemontert på fabrikk, tatt fra hverandre igjen for impregnering og transport, for så å bli montert sammen

igjen på Tynset. Alle ståldeler er galvanisert med sink. Limtrebuene, tverrbærere og ståltag ble montert ved hjelp av kraner. Brudekket og rekkverket ble bygget på stedet. Total konstruksjonsperiode var 10 måneder, inkludert demontering og riving av den gamle hengebrua. Kjørebanelen ble hevet noe i forhold til eksisterende bru, og ligger nå på et nivå som er ansett som en forsvarlig ut fra observasjoner av tidligere flomnivå.

Materialmengder:

Materialmengder for trebrua er regnet ut fra ferdigbrutegninger datert 13.10.2001 fra Norconsult, samt anbudsdokumentet for brua.



Figur 14: Materiale totalt (vekt%), trebru.

Figur 14 viser fordelingen av byggematerialer etter vektprosent. Hele brua, inkludert peler, fundamenter, buer med hengestenger og overbygning, veier om lag 3611 tonn. Av dette utgjør (regnet som vekt) armeringsjern 2,9 %, betong 72,4 %, ståldetaljer 5,8 % og limtre inngår med 7,8 %. Videre inngår konstruksjonsvirke med 5,1 %, og membran og asfalt med til sammen 6,1 %. Beslag av kobber inngår med bare 0,05 % men er likevel tatt med. Øvrig materiale antas å utgjøre mindre enn 2% og er ikke tatt med i beregningene. Brua veier omlag 3,0 tonn pr m² trafikerbar overflate.

Byggekostnader:

Tabell 6: Byggekostnader (NOK), trebru.

Trebru	Verdi	Enhet
Pr løpemeter bru	166129	NOK
Pr m ² bru	14199	NOK
Pr m ² trafikerbar bru	16613	NOK

Tabell 6 viser kostnader for trebru pr løpemeter bru, pr m² bru og pr m² trafikerbar bru, etter kostnadsoverslag fra Isaksen (2001). Trebrua er senere beregnet å koste 25 mill. kr (Norconsult (2007)).

2.2.2 MATERIALER

LCI (Life Cycle Inventory)-data er i denne analysen samlet fra eksisterende livssyklusanalyser og miljødeklarasjoner. Det er utført en LCI for asfalt og betong med utgangspunkt i brustedet (se vedlegg 3 og 4). For limtre brukes bedriftsspesifikke data, mens for andre materialer brukes litteratordata. Precombustion, utvinning av olje og produksjon av diesel, er inkludert for transport av ferdige materialer.

2.2.2.1 Asfalt:

Asfalt består av to hovedkomponenter, tilslag og bitumen, som er framstilt av jordolje. Om produksjon av asfalt skriver ATI (2007) "Egenskapene til asfalten kan varieres ved å variere styrken og kornfordelingen til steinmaterialet og mengden og hardheten til bindemidlet. Asfalt kan produseres "varmt" eller "kaldt". Ved varmproduksjon gjøres bindemidlet flytende ved å varme steinmaterialet og bindemidlet fra 140 til 180 °C. Asfalten kan mellomlagres i isolerte siloer på produksjonsstedet fra noen timer og opp til flere døgn uten vesentlig temperaturfall. Det er pr i dag ca 100 asfaltblandeverk i Norge".

Häkkinen & Mäkelä (1996) angir en blanding for asfaltbetong (ABK) slik: Bitumen 4,4 % og steinmateriale 95,6 %, hvorav knust masse utgjør 95 % og sand 5 %. Strippel (2000) oppgir tall for slitelag med bruk av 6 % bitumen og 94 % steinmateriale.

Det er utført en LCI for asfalt. I denne analysen er det antatt 5 % bitumen og 95 % steinmateriale, hvorav knust masse utgjør 95 % og sand 5 %. Forutsetningene er vist i vedlegg 3. Bruk av tilsetnings- og fyllmidler er ikke inkludert i analysen. Varm produksjon brukes gjerne for slitelag i hovedvegnettet, og er forutsatt i denne analysen. Kald produksjon brukes oftest for veier i det sekundære vegnettet.

LCI-data for asfalt:

Tabell 7: LCI-data for asfalt, energibruk og klimagassutslipp per tonn (Se vedlegg 3 for forutsetninger).

Asfalt	Verdi	Enhet
Fossil energi	497,38	MJ/tonn
Elektrisk energi	44,66	MJ/tonn
CO ₂	34384,46	g/tonn
CH ₄	3,22	g/tonn
N ₂ O	2,67	g/tonn

Tabell 7 viser energibruk og klimagassutslipp for produksjon av asfalt i et tenkt asfaltverk nær Tynset. Funksjonell enhet er ett tonn asfalt. Tallene inkluderer framstilling, transport og produksjon av råvarer, samt framstilling av asfalt. Precombustion av diesel for transport er inkludert i analysen.

Transport av asfalt:

For transport av ferdig produkt brukes lett lastebil. I Hedmark finnes verk i Sør-Odal, Hamar og Elverum, i Oppland på Lillehammer. Varm asfalt produseres enten fra stasjonære anlegg eller fra mobile anlegg. Mobile anlegg gir mulighet til varmasfaltproduksjon hvor markedet er periodisk. De mest mobile anleggene kan effektivt flyttes flere ganger i sesongen.

Med dette som bakgrunn er avstand fra asfaltfabrikk til Tynset bru satt til 60 km. Transport er forutsatt utført med lett lastebil, precombustion av diesel er med i analysen.

2.2.2.2 Membran

Tettingsmembranen som er brukt er Topeka 4S. Topeka 4S er en finkornig masse med mye bindemiddel, og det er mulig å produsere membranen i tradisjonelle asfaltverk (Veidekke (2007)).

LCI-data for membran:

Det har i arbeidet med denne analysen ikke kunnet fremskaffes spesifikke data for Topeka 4S. Membranens vekt har derfor blitt tatt med som asfalt. Det er det samme som Pousette (1998) antok.

Transport av membran:

Som for asfalt.

2.2.2.3 Betong C 45

Betong består av tre hovedkomponenter, sement, tilslag (pukk, grus, sand) og vann. Ulike tilsetningsstoffer kan tilsettes for å variere betongens egenskaper. Bestanddelene blandes på et blandeverk, før den ferske betongen lastes i en betongbil for transport.

Sjunneson (2005) angir et blandingsforhold for frostresistent betong C45 slik: Sement 18 %, knust masse 40 %, naturgrus 35 %, superplasticizer 0,04 %, Air-entraining admixture 0,1 % samt vann 7 %. Total vekt for 1 m³ betong c45 oppgis til 2384,25 kg.

Betongen som brukes i bruene har et noe høyere andel av sement enn det tilgjengelige miljødeklarasjoner for ferdigbetong opererer med, det er derfor utført en LCI for betong. Forutsetninger er vist i vedlegg 4.

LCI-data for betong C 45:

Tabell 8: LCI-data for betong, energibruk og klimagassutslipp pr m³ (Se vedlegg 4 for forutsetninger).

Betong C45	Verdi	Enhet
Fossil energi	1032,97	MJ/m ³
Elektrisk energi	291,30	MJ/m ³
Bioenergi	16,49	MJ/m ³
Energi fra avfall	320,73	MJ/m ³
CO ₂	287516,71	g/m ³
CH ₄	215,14	g/m ³
N ₂ O	2,39	g/m ³

Tabell 8 viser energibruk og klimagassutslipp for produksjon av betong C45 i et hypotetisk betongverk nær Tynset, der sementen kommer fra Norcem Brevik AS. Funksjonell enhet er 1 m³ ferdigblandet betong. Tallene inkluderer framstilling, transport og produksjon av råvarer, samt miksing av betong. Precombustion av diesel for transport er inkludert i analysen.

Forutsetninger for transport av ferdig betong:

For transport av betong fra betongverk til bru brukes egne spesialkonstruerte betongbiler. En typisk betongbil tar om lag 6 m³ betong (UNICON 2007), hvilket vil si om lag 15 tonn. I denne analysen brukes tall som for lett lastebil, og avstand fra betongverk til bru er satt til 20 km.

2.2.2.4 Trelast

I miljødeklarasjonen for trelast i NTI (1997) står det følgende om framstilling av trelast: ”Avvirkning skjer i hht. nasjonal lovgivning for skogbruk. System for miljøsertifisering av nordisk skogbruk er under utvikling innen prosjektet ”Levende skog” og FSC (Forest Stewardship Council). Tømmeret sages til trelast som tørkes i konvensjonelle kammer- eller kanaltørker med varme produsert av eget biobrensel. CO₂ fra biobrensel inngår i skogens CO₂-kretsløp uten å bidra til å forsterke drivhuseffekten, og er slik CO₂-nøytralt. Vifter, sagmaskiner mv. drives av elektrisk kraft.”

LCI- data for trelast:

Tabell 9: LCI-data for trelast, energibruk og klimagassutslipp per fm³ (NTI (1997)).

Trelast	Verdi	Enhet
Elektrisk energi	285	MJ/fm ³
Fossil energi	270	MJ/fm ³
Bioenergi	1170	MJ/fm ³
CO ₂	20000	g/m ³
CH ₄	Ikke oppgitt	g/m ³
N ₂ O	Ikke oppgitt	g/m ³

Tabell 9 viser energibruk og klimagassutslipp for trelast, der analysen er fra NTI (1997).

Tallene gjelder for trelast av gran og furu produsert i Sverige og Norge. Funksjonell enhet er 1 fm³ trelast. Tall for energiforbruk gjelder trelast tørket til 18 %. Tallene omfatter trelastproduksjon inklusive intern transport, skogbruk samt tømmertransport til sagbruk. All energibruk og utslipp fra impregnering av treet er ikke tatt med i denne analysen, det er kun energibruk og utslipp knyttet til kobberet i impregneringen som er tatt hensyn til.

Transport av trelast:

Trelast antas å kjøpes fra Forestia Våler i Braskereidfoss, for så å dobbelimpregneres ved Moelven Industrier AS. Deretter fraktes virket fra Moelv til Tynset. Transport skjer med vogntog, fra Braskereidfoss til Moelv er det 100 km, fra Moelv til Tynset er det 220 km.

2.2.2.5 Limtre

Limtre produseres ved at tørket og spesialsortert trelast fingerskjøtes til passende lengder, før lamellene høvles og påføres lim før tverrsnittet presses og herdes. Ferdige dimensjoner blir vanligvis kanthøvlet.

LCI-data for limtre:

Tabell 10: LCI-data for limtre, energibruk og klimagassutslipp pr m³ (Petersen & Solberg (2002)).

Limtre	Verdi	Enhet
Energi (Uspesifisert)	997	kWh/m ³
CO ₂ -ekvivalenter	47	kg/m ³

Tabell 10 viser energibruk og klimagassutslipp for produksjon av limtre, der analysen er fra Petersen & Solberg (2002). Funksjonell enhet er 1 m³ limtre. Tallene gjelder for limtre produsert ved Moelven Limtre AS, som kjøper trelast fra Forestia Sokna og Forestia Våler. Dataene er basert på opplysninger fra disse tre bedriftene, og gjelder heltreprofiler limt

sammen med et fenol-resorsinol konstruksjonslim. Data inkluderer precombustion, trelastproduksjon (inklusive intern transport, skogbruk samt tømmertransport til sagbruk), og limtreproduksjon (inklusive intern transport).

Energibruk og utslipp fra impregnering av limtrebjelker og rekkverk er ikke tatt med i denne analysen.

Transport av limtre:

Limtre fraktes fra Moelv til Tynset. Transport skjer med vogntog, fra Moelv til Tynset er det 220 km.

2.2.2.6 Armeringsstål

Framstilling av armeringsstål er i denne analysen forutsatt skjedd ved Celsa Armeringsstål AS (Tidligere Fundia Armeringstål AS) i Mo i Rana. Anlegget består av et stål- og valseverk, der produksjonen foregår slik (Fundia (2005)): "Stålverket har hovedsaklig skrapjern som råstoff. Skrapet smeltes i en elektrisk lysbueovn og det flytende stålet støpes ut til lange emner (billets) i et kontinuerlig støpeanlegg. Mesteparten av emnene går til eget valseverk, men en del eksporteres også til valseverk i utlandet. Kombiverket er et varmvalseverk hvor stålemnene vales til armeringsstål i stang og i kveil samt ståltråd i kveil".

LCI-data for armeringsstål:

Tabell 11: LCI-data for armeringsstål, energibruk og klimagassutslipp pr kg (Björklund et al (1996)).

Armeringsstål	Verdi	Enhet
Elektrisk energi	2,68	MJ/kg
Fossil energi	12,03	MJ/kg
CO ₂	6,97E+02	g/kg
CH ₄	2,05	g/kg
N ₂ O	1,22	g/kg

Tabell 11 viser energibruk og klimagassutslipp ved produksjon av armeringsstål, der analysen er fra Björklund et al (1996). Funksjonell enhet er 1 kg ferdig armeringsstål. Armeringsstål produseres av skrapjern. Armeringsstål antas å ikke resirkuleres etter riving av betongkonstruksjoner, slik at dataene gjelder for 50 % malmbasert og 50 % skrapjernbasert produksjon. Kull brukes som reduksjonsmiddel i produksjonen av jern fra jernmalm,

brennverdien fra dette er regnet med. Det er også fra denne prosessen mye av CO₂-utslippene fra produksjonen oppstår (IISI 1999).

Transport av armeringsstål:

Armeringsjern antas å fraktes fra Fundias anlegg i Mo I Rana med jernbane. Fra Mo til Tynset er det 645 km.

2.2.2.7 Konstruksjonsstål

Stålproduksjon involverer flere komplekse prosesser, der råvarene kan komme enten fra resirkulert stål eller fra malm. Produksjonsprosessen ved bruk av skrap er hovedsakelig tilsvarende som for armeringsjern. For malm må malmen først anrikes før videre foredling, og blir slik støpejern som går i flytende form til stålverket. Eventuelle legeringer tilsettes, og stålet går igjennom ulike prosesser for å oppnå ønsket kvalitet og egenskaper. Stålet bearbeides siden til det ferdige produktet (Jernkontoret (2007))

LCI-data for stål:

Tabell 12: LCI-data for konstruksjonsstål, energiforbruk og klimagassutslipp pr kg (Contiga (2004)).

Konstruksjonsstål	Verdi	Enhet
Fossil energi	10,6900086	MJ/kg
Elektrisk energi	1,43	MJ/kg
Bioenergi	1,03	MJ/kg
Varme	0,00000319	MJ/kg
CO ₂	773	g/kg
CH ₄	0,12	g/kg
N ₂ O	0,0026	g/kg

Tabell 12 viser energibruk og klimagassutslipp fra produksjon av konstruksjonsstål, der analysen er fra Contiga (2004). Funksjonell enhet er 1 kg ferdig kappet og lakkert stålbjelke 500 mm, der uttak av råmaterialer, produksjon og transport av bjelke til Contiga på Kongsvinger inngår, samt lakking av stålbjelken på Kongsvinger. Datasettet inkluderer kreditering for resirkulering av stålskrapp på 90 %, der alt ressursforbruk og alle ressurser er belastet det system som opprinnelig brukte det jomfruelige stålet og produksjon av dette er ikke inkludert.

Transport stål:

Fra Kongsvinger til Tynset er det 275 km, transporten er forutsatt skjedd med vogntog.

2.2.2.8 Kobber

Ved framstilling av kobber finknuses malm og kobbermineralene anrikes ved flotasjon.

Metallet framstilles ved en sammensatt prosess som omfatter tørking, smelting og raffinering.

2.2.2.8.1 Kobber til tekking

LCI-data for kobberplater:

Tabell 13: LCI-data for kobberplate, energibruk og klimagassutslipp pr m² (DKI (2005)).

Kobberplate	Verdi	Enhet
Energi (Uspesifisert)	0,17	GJ/m ²
CO ₂ -eqv	11,1	kg/m ²

Tabell 13 viser energibruk og klimagassutslipp ved produksjon av kobberplater, der analysen er fra DKI (2005). Funksjonell enhet er 1 m² 0,6 mm kobberplate for tekking.

Transport av kobberplater:

Antar at kobber kjøpes på verdensmarkedet. Transportavstand og transportmetode er derfor ukjent.

2.2.2.8.2 Kobber til impregnering:

LCI-data for kobber:

Tabell 14: LCI-data for kobber, energibruk og klimagassutslipp pr kg (Norgate & Rankin (2000)).

Kobber	Verdi	Enhet
Energi (Uspesifisert)	33	MJ/kg
CO ₂ -eqv	3,3	kg/kg

Tabell 14 viser energibruk og klimagassutslipp ved produksjon av kobber, der analysen er fra Norgate & Rankin (2000). Funksjonell enhet er 1 kg kobber fra hydrometallurgisk framstilling. Tallene gjelder for framstilling av vanlig kobber, og det antas at tallene er overførbare til kobberet som er brukt i impregneringssaltene.

Transport av kobber:

Antar at kobber kjøpes på verdensmarkedet. Transportavstand og transportmetode er derfor ukjent.

2.2.2.9 Sink

Sink produseres i Norge av selskapet Boliden Odda AS. Uttak av mineralske ressurser kan skje enten som underjordsdrift, uttak i dagen eller en kombinasjon av disse. Sink produseres fra konsentrat fra gruver ved å løse sink sulfider i svovelsyre og en elektrolyseprosess (Boliden (2005)). Alternativt kan sink skilles fra malm ved flotasjon og reduseres ved oppvarming sammen med karbon. Sink brukes ved galvanisering av stål for å hindre korrosjon.

LCI-data brukt for galvanisering:

Tabell 15: LCI-data for galvanisering, energibruk og klimagassutslipp pr kg (Metalzinko (2001)).

Galvanisering	Verdi	Enhet
Energi (Uspesifisert)	78,2	MJ/kg
Elektrisk energi	11,5	MJ/kg
CO2-equiv	4,737	kg/kg

Det å finne anvendbare data for galvanisering viste seg vanskelig, og de tall som her presenteres er fra et italiensk selskap som driver med galvanisering av stålprodukter. Det er antatt at data er overførbare til norske forhold. Tabell 15 viser energibruk og klimagassutslipp ved galvanisering, der analysen er fra Metalzinko (2001). Funksjonell enhet er 1 kg ”useful zink”, og dette begrepet innebærer bruk av sinken som påføres stålet og et av biproduktene ved fabrikken, ”hard zink”. Hard zink leveres til en ekstern produksjon. Produksjonsdata er fra 2001, og tallene inkluderer utvinning, transport og produksjon av sink, samt energibruk ved forsinkingsprosessen. Produktdeklarasjonen er ennå ikke godkjent, slik at tallene må betegnes som relativt usikre.

Transport av sink:

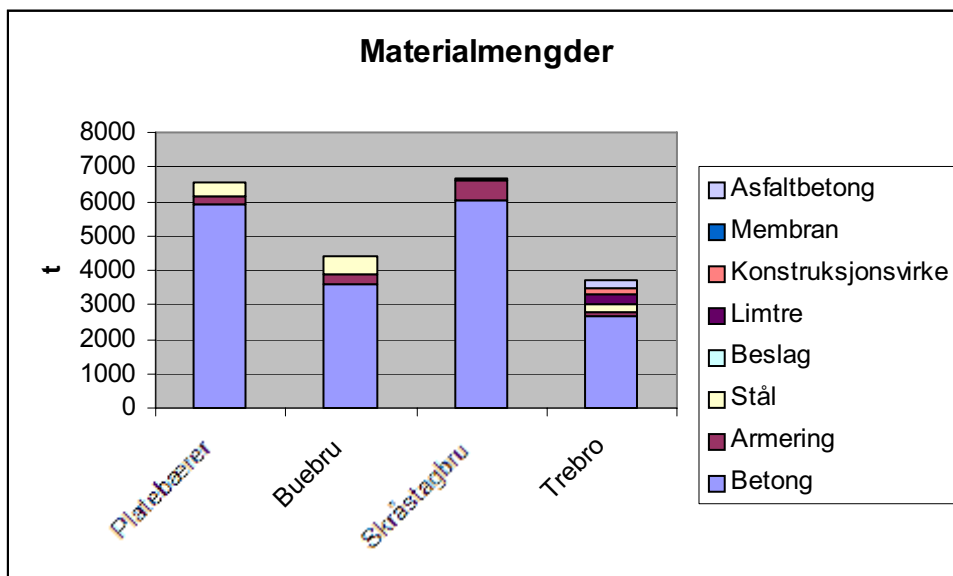
Transportavstand og transportmetode for sink er ukjent.

3 RESULTAT

Det kan være verdt å minne om at hver bru er unik, der spennvidde, konstruksjon og bredde varierer mellom bruene. Dette innebærer at de ikke er direkte sammenlignbare, og resultatene er egentlig kun gyldige for hver enkelt bru. Bruene er imidlertid prosjektert ut fra samme forutsetninger og skal fylle samme funksjon, og er derfor valgt som et utgangspunkt. Resultatene som her presenteres blir å regne som et basisscenario i analysen.

3.1 RESSURSBRUK

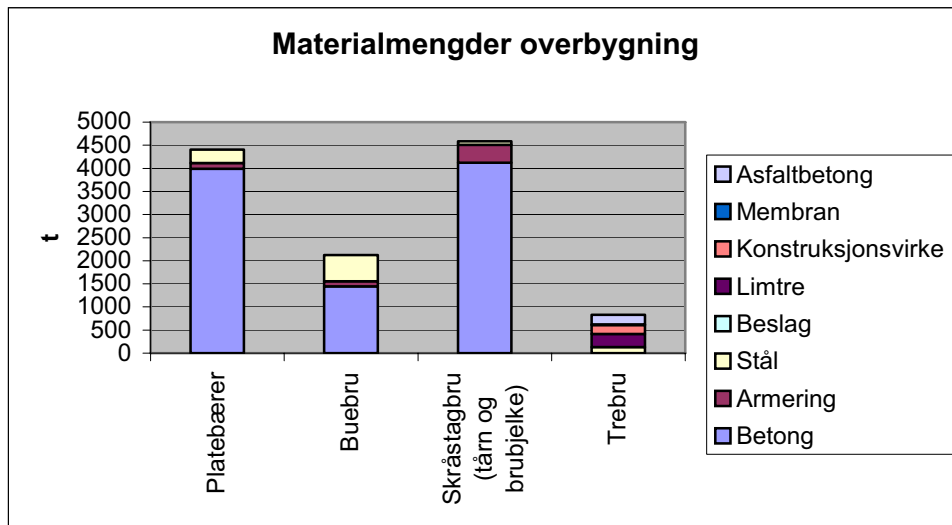
Som en oversikt er materialmengder for alle bruene sammenstilt i figur 16. Ressursbruken for hver enkelt bru er dessuten nærmere omtalt i kapittel 2.



Figur 15: Materialmengder (tonn) totalt, alle bruene.

Figur 15 viser at konstruksjonsmåtene gir et forbruk av mengden materiale som er svært forskjellig. De to konstruksjonene formet som buer gir det laveste materialforbruket. Hoveddelen av materialet er for alle bruene først og fremst betong, stål og armering. Alle materialer må fraktes til brustedet, og generelt vil lavere materialmengder innebære mindre energibruk og utslipp knyttet til transport. Forskjellen for overbygningen er enda tydeligere, se figur 16. Der er vekten av overbygningen presentert, altså er vekten av fundamenter, brukar og pilarer tatt bort. Generelt veier stålfagverket i buebrua praktisk talt det samme som

fagverket av limtre i trebrua, i buebrua er det imidlertid valgt en brubjelke i armert betong som veier betraktelig mer enn det tverrspente tredekket i trebrua.

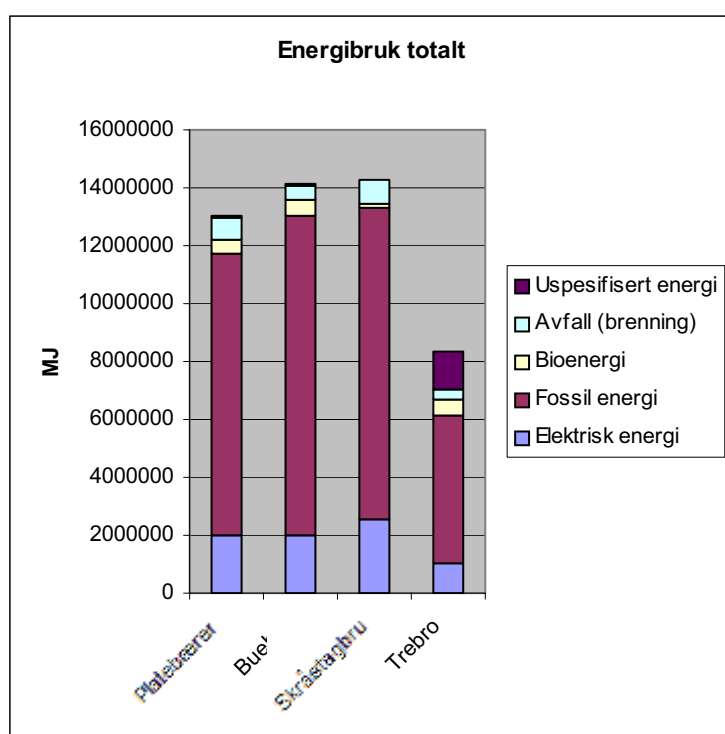


Figur 16: Materialmengde (tonn) i overbygning, alle bruene.

3.2 ENERGIBRUK & KLIMAGASSUTSLIPP

3.2.1 ENERGIBRUK VED FRAMSTILLING OG TRANSPORT

Energibruk totalt i MJ ved fremstilling av bruene, fordelt på energikilder, er sammenstilt i figur 17 og tabell 16. Mengden uspesifisert energi for trebrua kommer hovedsakelig fra materialet limtre, der det er angitt at over halvparten av denne energien kommer fra bioenergi (Petersen & Solberg (2002)). Fornybar energi som tre, spon og flis brukes ofte ved sagbruk og annen treforedling. Energien fra avfall kommer hovedsakelig fra produksjonen av sement, der Norcem har gått fra å bruke kull i sementovnene til også å bruke avfall og bioenergi (Nyland & Vold (2005)).



Figur 17: Energibruk (MJ) totalt ved framstilling og transport av materialer for brualternativene.

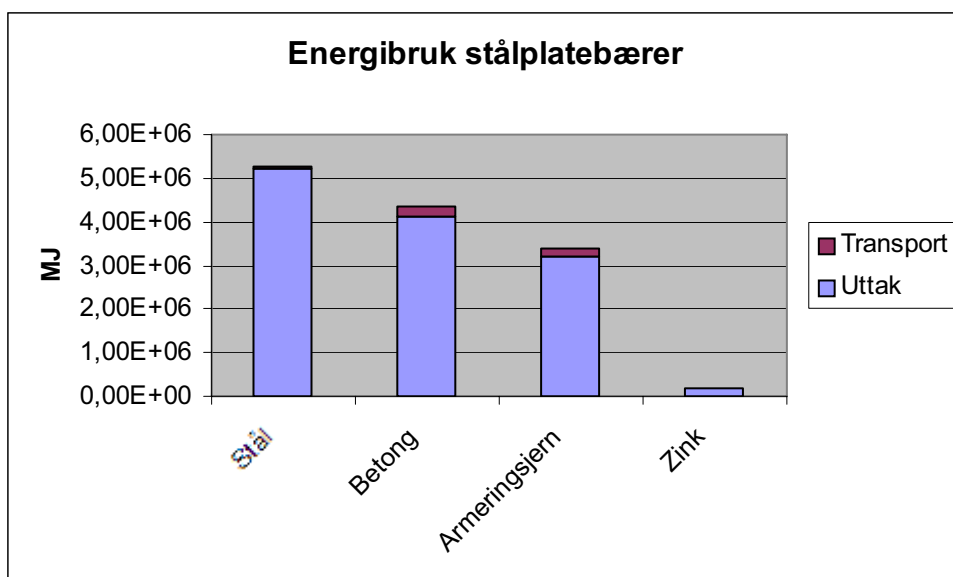
Tabell 16: Energibruk (MJ) totalt ved framstilling og transport av materialer for brualternativene.

Energi Total	Platebærer	Buebru	Skråstagbru	Trebro	Enhet
Elektrisk energi	1996208	2013027	2585235	1017187	MJ
Fossil energi	9756901	10989203	10758909	5143911	MJ
Bioenergi	449526	605595	121162	508428	MJ
Avfall (brenning)	796855	484738	811611	359218	MJ
Uspesifisert energi	15511	22045	3016	1345584	MJ

Figur 17 og tabell 16 viser tydelig at energien som er gått med til å produsere byggematerialene bruene består av hovedsakelig kommer fra fossile energikilder. Fossile brensler er en samlebetegnelse på en rekke forskjellige energibærere, som kull, olje og gass. I denne analysen er disse samlet til en betegnelse for å kunne beholde en viss oversikt. Forbrenningen av dem produserer først og fremst store mengder CO₂, selv om en rekke andre gasser og partikler også genereres. Energimengdene som ligger i produksjon av materiale og totale klimagassutslipp henger derfor nøye sammen.

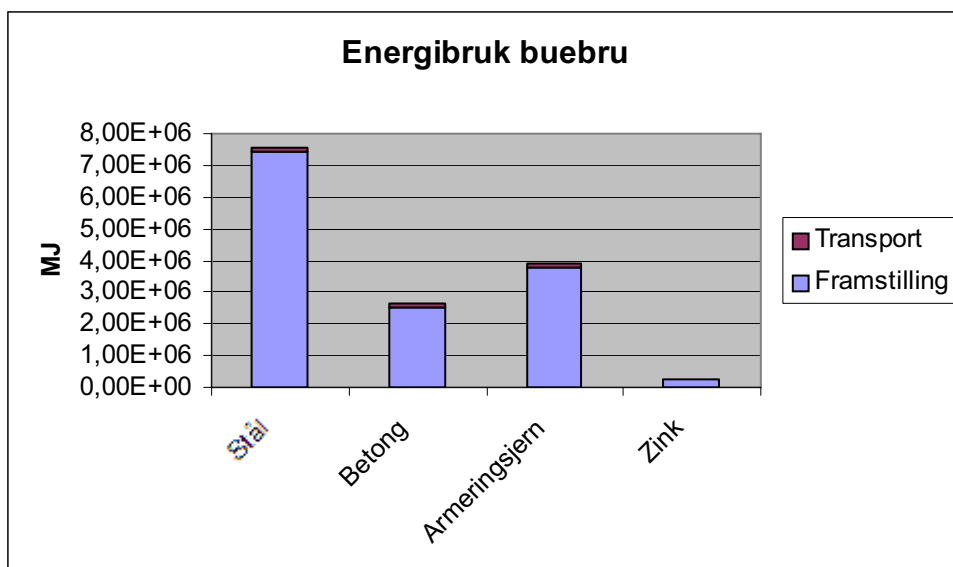
Resultatet viser at det går med om lag dobbelt så mye fossil energi og om lag 1/3 mer total energi for å produsere materiale til de alternative bruene enn til limtrebrua.

Resultatene for energibruk ved transport og framstilling av materialer for de enkelte bruene er vist i figurene 18 til 21. Bidrag for transport som er vist i figurene inkluderer kun transport av den ferdige råvaren, totale bidrag fra transport er derfor høyere enn det gis inntrykk av her. Dette er gjort for å få konsistens i analysen, siden datagrunnlaget for noen materialer ikke ga grunnlag for å trekke ut transportdata. Bidrag fra transport ved produksjon er derfor ikke skilt ut, men er fortsatt tatt med.



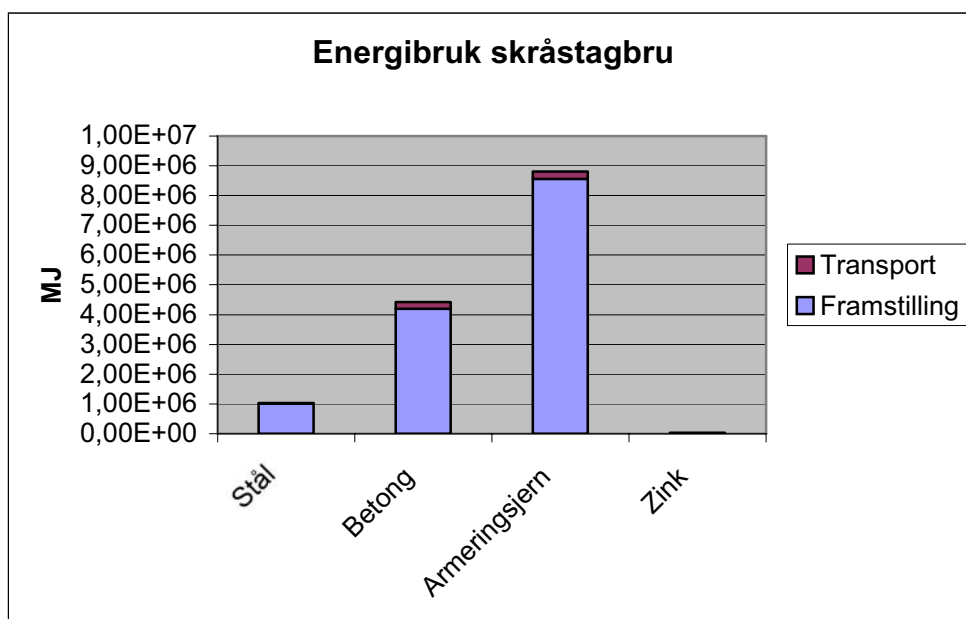
Figur 18: Energibruk (MJ) totalt ved framstilling og transport av materialer, stålplatebærer.

Figur 18 viser at stålplatebæreren har den jevneste fordelingen av energibruk fordelt på hovedmaterialer av de fire bruene.



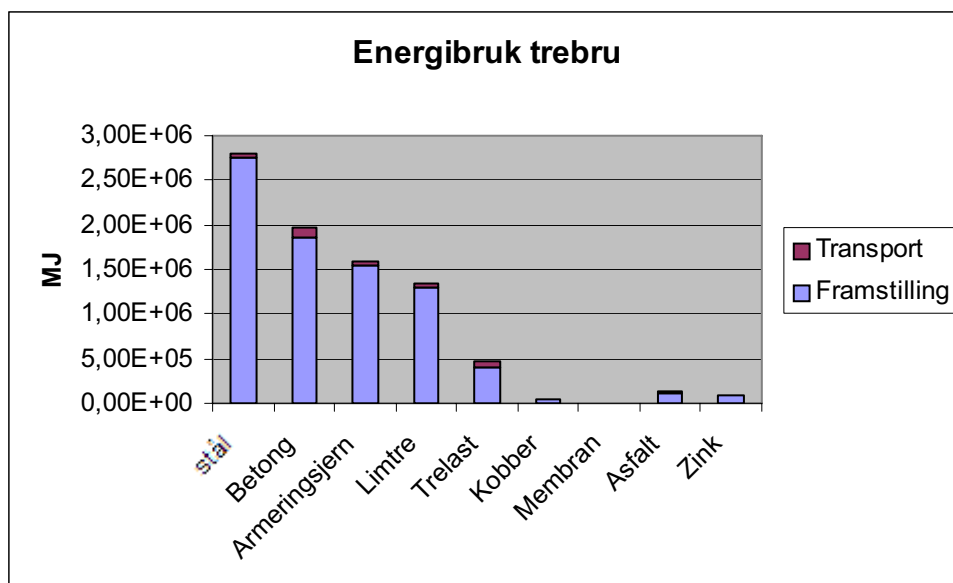
Figur 19: Energibruk (MJ) totalt ved framstilling og transport av materialer, buebru.

Figur 19 viser at mye stål i overbygningen setter sitt preg på energibruken ved framstilling og transport av materialer til buebrua.



Figur 20: Energibruk (MJ) totalt ved framstilling og transport av materialer, skråstagbru.

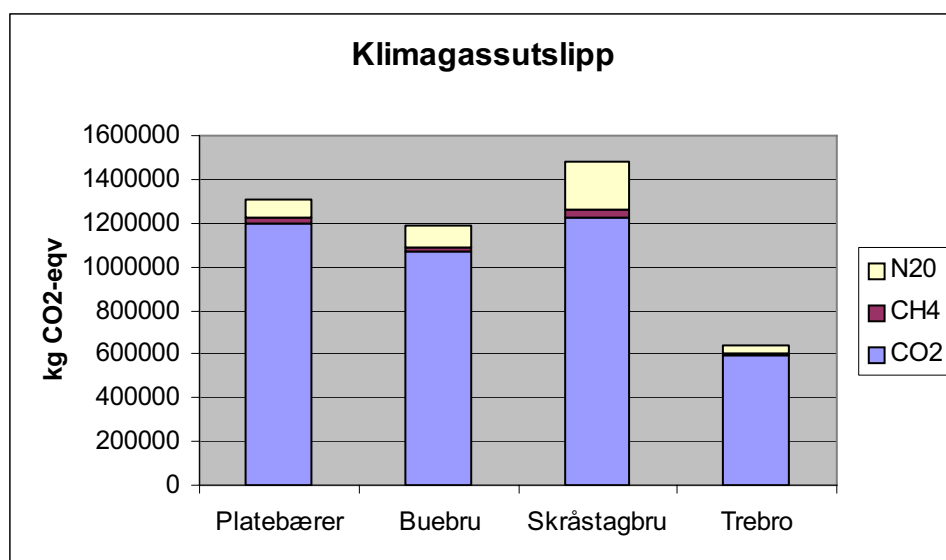
Figur 20 viser at den store mengden armeringsjern som finnes i denne brua bidrar til over halvparten av den totale energibruken ved framstilling og transport av materialer. Særlig brubjelken i denne brua er tungt armert.



Figur 21: Energibruk (MJ) totalt ved framstilling og transport av materialer, trebru.

Figur 21 viser at det er stål som har det største bidraget til energibruken for brua, samlet energibruk for tre er også betydelig. Bidrag fra mindre materialmengder som kobberbeslag og slitelag av asfalt har mindre å si for total energibruk.

3.2.2 KLIMAGASSUTSLIPP VED FRAMSTILLING OG TRANSPORT

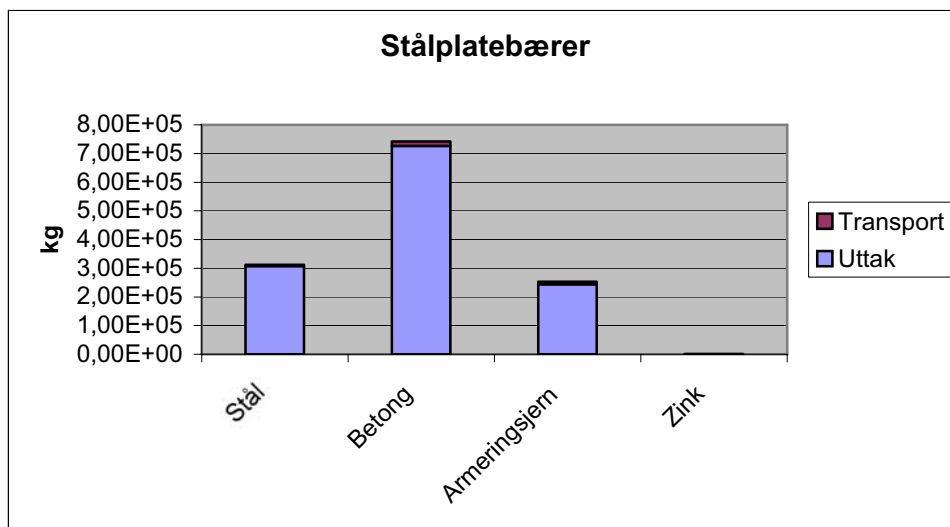


Figur 22: Klimagassutslipp (kg CO₂-eqv.) totalt ved framstilling og transport av materialer.

Figur 22 viser de totale utslippene i CO₂-ekvivalenter knyttet til produksjon og transport av materiale som inngår i bruene. Det er hovedsakelig CO₂ som bidrar til drivhuseffekten. Den relativt store andel N₂O for skråstagbrua skyldes hovedsakelig produksjon av armeringsjern,

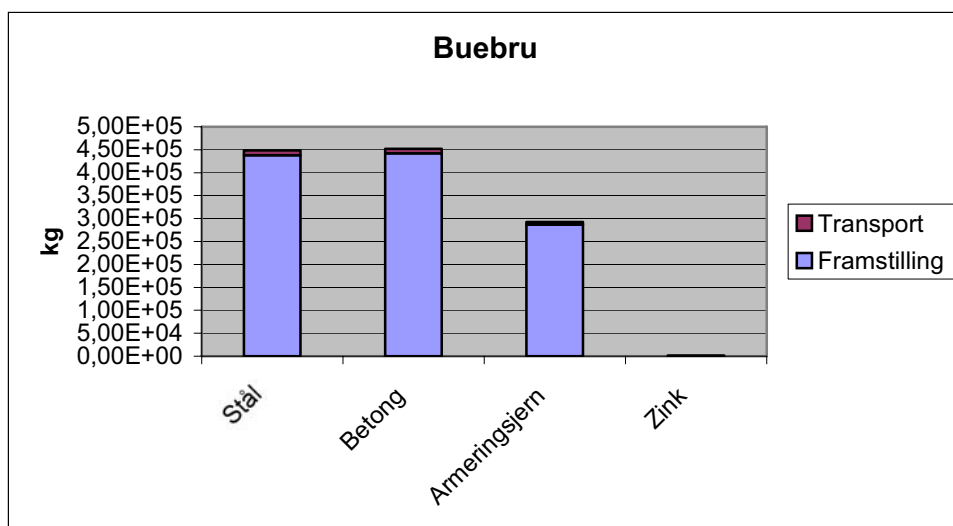
som det er svært mye av i denne brua. Skråstagbrua har størst utslipp knyttet til produksjon og transport av materiale, men forskjellene er ikke store for de tre bruene i stål og betong. Trebrua ligger klart lavere enn de andre bruene, og er her beregnet til å slippe ut bare om lag halvparten så mye CO₂-ekvivalenter.

Figurene 23-26 viser utslippet knyttet til produksjon og transport av materiale for de enkelte bruene i analysen. Som for energibruk er utslippene kun knyttet til transport av det ferdige produktet, samlede bidrag er derfor høyere enn det gis inntrykk av her.



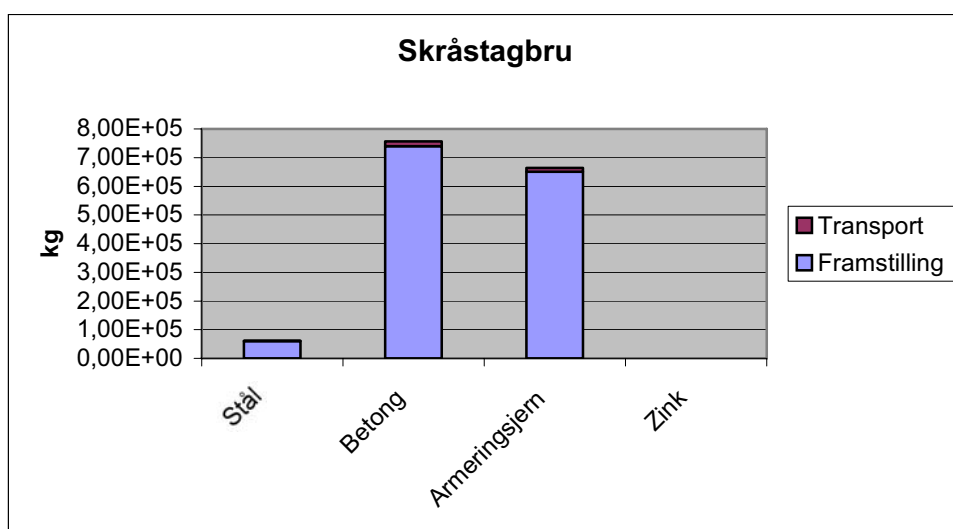
Figur 23: Klimagassutslipp (kg CO₂-eqv.) totalt ved framstilling og transport av materialer, stålplatebærer.

Figur 23 viser at selv om stålet sto for en stor del av energibruken, er det betongen i stålplatebæreren som har mest å si for utslipp av klimagasser. Stål krever svært mye energi ved framstilling, men betong inngår som en større andel av totale materialmengder.



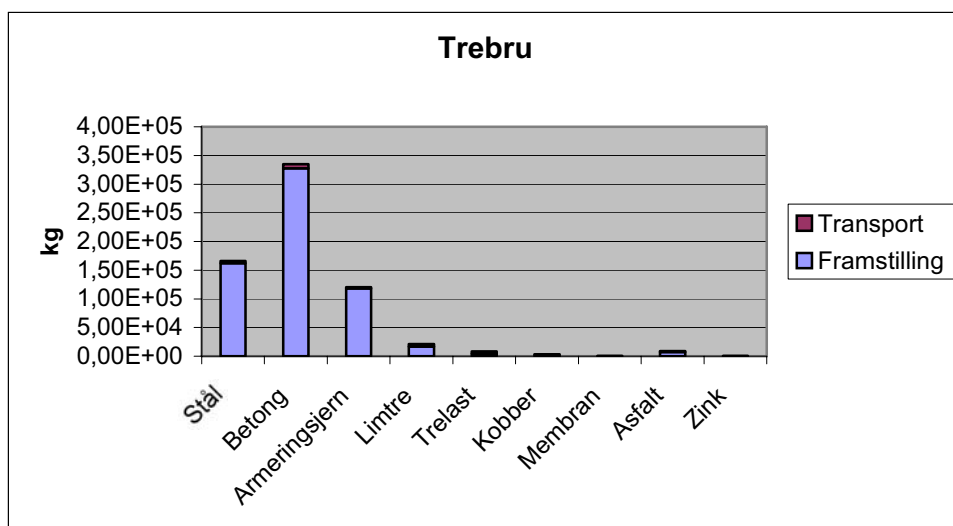
Figur 24: Klimagassutslipp (kg CO₂-eqv.) totalt ved framstilling og transport av materialer, buebru.

Figur 24 viser at for buebrua er utslippene relativt jevnt fordelt på materialer. Fagverket i overbygningen for denne brua er prosjektert i stål slik at andelen stål er høyere relativt sett for buebrua enn de andre bruene i analysen.



Figur 25: Klimagassutslipp (kg CO₂-eqv.) totalt ved framstilling og transport av materialer, skråstagbru.

Figur 25 viser en nokså jevn fordeling av utslipp på materialene betong og armeringsjern. Andelen konstruksjonsstål i brua begrenser seg til rekkverk samt skråstag og innfesting av disse, slik at bidraget fra stål er beskjedent for denne brua.



Figur 26: Klimagassutslipp (kg CO₂-eqv.) totalt ved framstilling og transport av materialer, trebru.

Figur 26 viser treandelen i brua bidrar i beskjeden grad til utslipp av klimagasser, det er utslipp knyttet til fundamentering samt andelen stål i overbygningen som er mest framtreddende.

3.2.3 ENERGIBRUK OG KLIMAGASSUTSLIPP VED BYGGING

Det har vist seg å ikke være mulig å kvantifisere energibruken ved selve byggingen i denne analysen. Naturlig nok finnes ingen spesifikke tall for de tre alternative broene på dette feltet, det er dessuten tvil om slike data lar seg fremskaffe med noen grad av presisjon da energibruk vil variere betraktelig mellom ulike prosjekt. Björklund et al. (1996, s 91-93) sammenlikner energibruk på byggeplass for bærende konstruksjoner av stål og betong i bygg, der det oppgis et nær dobbelt forbruk av energi (110MJ/Funksjonell enhet(FE) mot 60 MJ/FE) forbruk ved bruk av plasstøpt betong enn for stål og prefabrikkerte betongelementer. Mye av energien går til å tørke plasstøpt betong i et bygg som skal bli kontor eller bolig, slik at tallene er ikke direkte sammenliknbare.

Björklund et al. (1997 s 79) sammenlikner to av de samme betongkonstruksjonene med en tilsvarende trekonstruksjon, og der er energiforbruket for tre det samme som for stål og prefabrikkerte betongelementer.

Det er grunn til å anta at energibruk og klimagassutslipp ved bygging av pilarer og brukar er noenlunde lik for broene, selvsagt noe avhengig av graden av fundamentering. Mye av de samme arbeidene er beskrevet i anbudsdokumentet og forhåndsrapporten. For oppføring av

overbygningen vil det være naturlig å anta at trebrua og buebrua vil være minst energikrevende på byggeplass, da de er prefabrikkert i langt større grad enn de to andre alternativene. Ferdige elementer kan monteres raskt ved hjelp av kraner, mens stålplatebæreren og skråstagbrua må plasstøpes i sin helhet.

3.2.4 ENERGIBRUK OG KLIMAGASSUTLIPP VED VEDLIKEHOLD

Jernbaneverket Region Nord, Prosjektavdelingen (1999) gir i en rapport blant annet en vurdering av vedlikehold av trebrukonstruksjoner. Her konkluderes med at ”strukturelt vedlikehold vil bli tilsvarende som for andre brutyper”, der strukturelt vedlikehold er definert som ”daglig ettersyn og oppfølging”. For tyngre vedlikehold konstateres at trebruene vil være varige konstruksjoner pga impregneringen av treverket, og i tillegg fremheves at ved eventuelle utskiftninger av deler i brukonstruksjonene vil dette være enklere i mange tilfeller enn for bruer i stål og betong.

Häkkinen & Mäkelä (1996) sammenlikner veidekker av asfalt og betong, der dekkene kommer nokså likt ut i et perspektiv på 50 år. Forutsetningene som legges til grunn har imidlertid mye å si.

Det har i arbeidet med denne analysen ikke fremkommet spesifikke data for vedlikehold av forskjellige brutyper, slik at energibruk og klimagassutslipp antas likt for vedlikeholdet.

3.2.5 ENERGIBRUK OG KLIMAGASSUTSLIPP VED BRUK

Det er i denne analysen antatt at trafikkmengden på brua vil være den samme uavhengig av konstruksjon. Energibruk og klimagassutslipp fra bruk vil dermed også være likt.

3.2.6 ENERGIBRUK OG KLIMAGASSUTSLIPP VED RIVING

Björklund et al. (1996) gjengir et resultat for en undersøkelse fra AHCP (1979) der det oppgis energiforbruk for riving av et 5000 m² stort bygg. Tallene ble vurdert som usikre, men de tenderer i alle fall til et høyere energibruk ved riving av betong enn stål, og et høyere energibruk for stål enn tre.

Riving av et bygg er imidlertid ikke umiddelbart det samme som riving av ei bru, på grunn av de store mengdene armering som finnes i bruene. Det er naturlig å anta et noe høyere

energibruk ved riving av stålplatebæreren og skråstagbrua, og dermed et større utslipp av klimagasser, enn for buebrua og trebroa som er noe lettere konstruksjoner.

3.2.7 ENERGIBRUK OG KLIMAGASSUTSLIPP VED AVFALLSHÅNDTERING

Ei bru er en konstruksjon med lang livslengde, og det er usikkert hvordan de kan komme til å gjenbrukes eller gjenvinnes om 50-100 år eller enda lenger tid. Det er flere måter å håndtere problemet på i en slik studie. Et alternativ er den såkalte cut-off-metoden, der hvert produkt belastes bare med den miljøbelastning som det direkte gir opphav til, og er brukt i denne analysen. Det er en svakhet ved metoden at bruens endelikt ikke inngår i en analyse, men avfallshåndtering av rivningsmaterialer er et område under stadig utvikling. Avfall sluttbehandles ved deponering eller forbrenning, og disse to behandlingsformene gir ulike miljøproblemer. Avfall inneholder dessuten material- og energiresurser som kan utnyttes ved gjenvinning. Ved materialgjenvinning kan materialer brukes som råstoff i ny produksjon av produkter samtidig som energiforbruket kan reduseres i forhold til produksjon av jomfruelig råstoff.

I dag går en relativt liten del av bygg- og anleggsavfallet til ombruk, materialgjenvinning eller energiutnyttelse. Det er et stort potensial for å øke denne mengden og dermed redusere mengden bygg- og anleggsavfall til deponi.

CCA-impregnerte materialer er å klasse som spesialavfall. Limtretragerne må derfor om de skal energiutnyttes fraktes til et spesialanlegg for røykgassrensing, hvilket det kun finnes to av i dag i Norge. (I oktober 2002 kom forbud mot omsetning og bruk av CCA-impregnert virke, og det brukes i dag en kobberløsning til å impregnere limtreet i trebruene).

PLATEBÆRER

Det antas lite trolig at pelene til fundamentering trekkes opp. Materiale til avfallsbehandling av brua vil dermed bestå av 3415 tonn betong, 174 tonn stål og 106 tonn armering.

BUEBRU

Det antas lite trolig at pelene til fundamentering trekkes opp. Materiale til avfallsbehandling av brua vil dermed bestå av 2482 tonn betong, 563 tonn stål og 184 tonn armering.

SKRÅSTAGBRU

Det antas lite trolig at pelene til fundamentering trekkes opp. Materiale til avfallsbehandling av brua vil dermed bestå av 5254 tonn betong, 77 tonn stål og 530 tonn armering.

TREBRU

Det antas lite trolig at pelene til fundamentering trekkes opp. Materiale til avfallsbehandling av brua vil dermed bestå av 2241 tonn betong, 129 tonn stål, 87 tonn armering, 1,4 tonn kobber (beslag), 287 tonn limtre, 188 tonn konstruksjonsvirke og 224 tonn asfalt og membran.

3.3 KOSTNADSEFFEKTIVITET

Det kan være interessant å knytte et økonomisk resonnement til utslippet av klimagasser mellom bruene, for å se på kostnads effektiviteten av en slik måte å spare klimagassutslipp på. Berge (2004) beregner substitusjonseffekter i sin sammenlignende analyse, definert som "et uttrykk for hvor stor klimagassbesparelse man kan få pr kg økt treforbruk".

Substitusjonseffekten vil da framkomme ved at man regner differansen i klimagassutslipp fra de alternative bruene med trebrua, og fordeler differansen (målt i CO₂-eqv/FE) med forbruket av tre i trebrua (målt i kg/FE). Dette forutsetter imidlertid at forskjellen i klimagassutslippene for trebrua kontra alternativene kun tilskrives bruken av tre, og er således ikke helt uproblematisk siden konstruksjonene varierer så vidt mye. For trebrua kan det slik regnes en klimagassbesparelse på 1,4 kg CO₂-ekv/kg treinnsats i forhold til om stålplatebæreren var valgt. Tilsvarende tall for buebrua er 1,1 kg og for skråstagbrua 1,7 kg. Det må understrekes at forutsetningene for tallene er høyst usikre.

Det er derfor som utgangspunkt valgt forskjeller i klimagassutslipp mellom brukonstruksjonene. Forskjellene i GWP indikerer at ved å velge trebrua framfor stålplatebæreren unngås utslipp av 663 tonn CO₂-ekvivalenter ved produksjon og transport av materialer. Dersom buebrua erstattes spares 544 tonn, og dersom skråstagbrua erstattes vil 837 tonn CO₂-ekvivalenter unngås.

Med utgangspunkt i basisscenarioet og kostnadsoverslagene fra Isaksen (2001), er det mulig å beregne prisen på sparte klimagassutslipp ved å dele differansen i klimagassutslipp på forskjellene i byggekostnader. Prisen på sparte klimagassutslipp er vist i tabell 17. Negativt tall vil si at alternativet er billigere enn trebrua og betegner slik kostnaden pr tonn CO₂-ekvivalenter. Et positivt tall innebærer at alternativet er dyrere enn trebrua, og betegner slik

det man vil "tjene" på hvert tonn spart CO₂-ekvivalent. Trebrua er senere beregnet til en total kostnad på 25 mill. kr (Norconsult 2007), det er derfor også beregnet tall for denne verdien.

Tabell 17: Kostnad(negativt tall)/inntekt(postivt tall) pr tonn sparte CO₂-eqv. ved substitusjon.

	Kostnad trebru 20,6 mill	Kostnad trebru 25 mill
Trebru erstatter stålplatebærer	-2564	-9200
Trebru erstatter buebru	11763	3676
Trebru erstatter skråstagbru	4060	-1194

Tabell 17 viser et stort spenn, og illustrerer at kostnadseffektiviteten er svært avhengig av prisene på bruene. Stålplatebæreren ble ansett som det mest nærliggende alternativet å velge av de tre alternative bruene (Ekeberg (2002)). Stålplatebæreren er beregnet til å koste 18,9 mill kr, trebrua kostet 20,6 mill kr. Differansen i klimagassutslipp er i denne analysen beregnet til å være 663 tonn i favør av trebrua ved produksjon og transport av materialer. Hvert tonn spart CO₂ vil således koste 2564 kr.

En annen tilnærming er å se på hvor mye dyrere trebrua kan være før prisen på sparte CO₂-ekvivalenter ved substitusjon blir høyere enn den nåværende CO₂-avgiften på bensin (jfr. Petersen & Solberg (2002)). I 2007 er avgiften på 345 kr pr tonn (NP (2007)). Man beregner da hvor mye dyrere trebrua kan være før prisen på sparte klimagassutslipp blir lik avgiften på CO₂. Slik vil prisen på trebrua ikke kunne være mer enn 1,25 % høyere enn for stålplatebæreren før dette blir en dyr måte å spare klimagassutslipp på, sett i forhold til CO₂-avgiften på bensin. Tilsvarende tall for prisforskjell mellom trebru og buebru er 0,70 % , og mellom trebru og skråstagbru 0,95 % .

Alternative måter å kvantifisere miljøkostnaden for ett tonn CO₂ er i senere år kommet fram ved prisen på kvoter i Kyoto-samarbeidet. I EU er systemet kollapset og det omsettes for tiden kvoter for ett tonn CO₂ til under 1 Euro (Bjørndal (2007)). Private aktører finnes også, på Naturvernforbundets hjemmesider kan man for tiden kjøpe seg en kvote for utslipp av et tonn CO₂ for 100 kr (Naturvernforbundet (2007)). Som man skjønner vil, dersom disse prisene legges til grunn, miljøargumenter knyttet til CO₂-utslipp for valg av tre i realiteten ikke være gyldige dersom trebrua er prosjektert til en høyere dyrere enn alternative bruer.

4 DISKUSJON

Analysen har flere svakheter i kildegrunnlaget, og en utstrakt bruk av skjønnsmessige vurderinger har ikke vært mulig å unngå. Her undersøkes derfor noen av faktorene det knytter seg størst usikkerhet til.

4.1 VALG AV FUNKSJONELL ENHET (FE):

Broene er noe forskjellige med hensyn på lengde og bredde. Det er derfor mulig å argumentere for valg av andre funksjonelle enheter som regnebasis for analysen, som for eksempel antall meter bru, antall m² bruoverflate eller antall m² trafikkerbar bruoverflate. Her undersøkes den valgte funksjonelle enheten, som er hele brua, med valg av antall m² trafikkerbar overflate som funksjonell enhet:

Tabell 18: Endring av total energibruk i % i forhold til trebru, ved valg av annen funksjonell enhet.

I % av trebru, energi (MJ)	Energi, valgt FE	Energi, pr m ² trafikkerbar
Platebærer	155,4	128,9
Buebru	168,5	128
Skråstagbru	170,5	127,7

Tabell 19: Endring av utslipp av CO₂-Eqv i % i forhold til trebru, ved valg av annen funksjonell enhet.

I % av trebru, CO ₂ -eqv	CO ₂ -eqv, valgt FE	CO ₂ -eqv, pr m ² trafikkerbar
Platebærer	196,8	163,2
Buebru	179,6	136,4
Skråstagbru	223,0	166,9

Tabell 18 og 19 viser store utslag. Stålplatebæreren har f.eks gått fra å kreve om lag 155,4 % mer energi enn trebrua ved valgt funksjonell enhet til bare 128,9 % mer ved valg av m² trafikkerbar overflate som funksjonell enhet. Dette understreker hvor lett resultatet påvirkes av valg av funksjonell enhet. Ved sammenlikning av bruer bør det derfor tas hensyn til spennvidde og overflate, dersom disse varierer.

4.2 USIKRE DATA:

Som resultatene viser er det materialene betong, stål og armeringsjern som har mest å si for resultatet. Her undersøkes derfor hva noen valg av forutsetninger har å si for resultatet.

Stål:

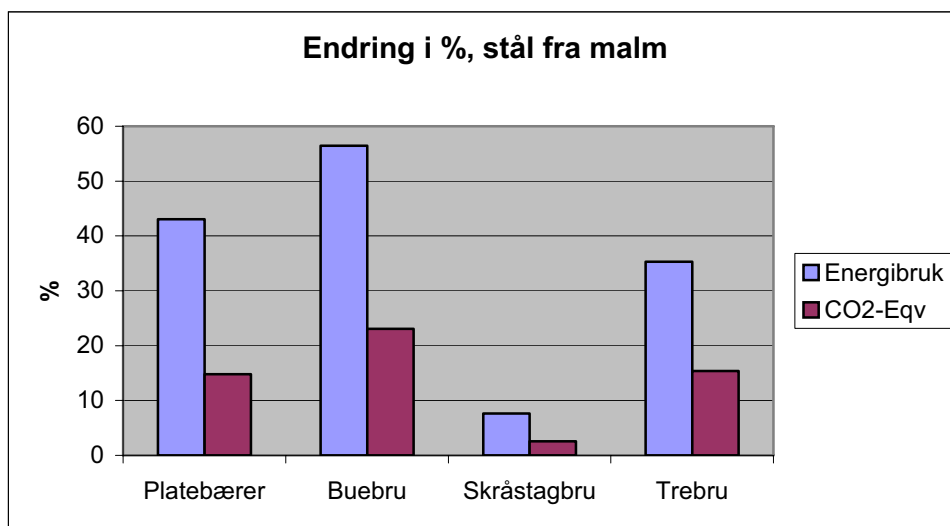
Det største usikkerhetsmomentet i denne analysen er data knyttet til produksjon av stål. Stålet som inngår i bruene kan produseres av malm eller fra skrapjern, eller også kan man velge å anta ulike resirkuleringsgrader for stål slik at data er en kombinasjon av disse.

Tabell 20: LCI-data for skrapbasert og malmbasert stål, energibruk og klimagassutslipp pr kg (Bjørklund et al. (1996)).

Stål plater	Skrapbasert	Malmjernsbasert	Enhet
Elektrisk energi	2,06	3,29	MJ/kg
Fossil energi	2,0963	21,98606	MJ/kg
CO ₂	214	1180	g/kg
CH ₄	0,0639	4,04	g/kg

Tabell 20 viser energibruk og klimagassutslipp knyttet til produksjon av skrapbasert og malmjernsbasert stål, der analysen er fra Bjørklund et al. (1996). Tallene gjelder for produksjon av stål i tynnplater, og funksjonell enhet er 1 kg ferdig produkt. Kull brukes som reduksjonsmiddel i produksjonen av jern fra jernmalm, brennverdien fra dette er regnet med. Tallene viser at energiforbruk og klimagassutslipp er svært forskjellige avhengig av om stålet kommer fra skrapbasert eller malmbasert produksjon.

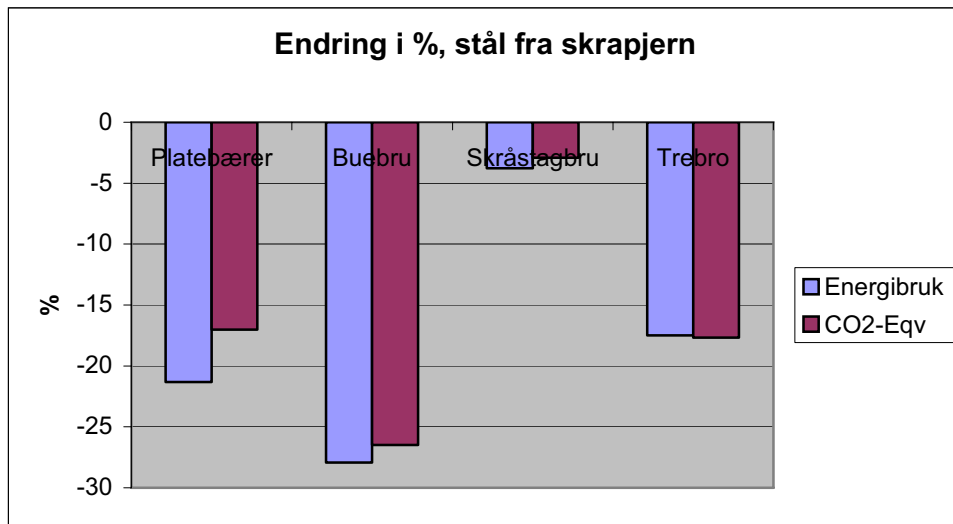
Stål i plater blir kuttet, bøyd og sveiset for å brukes i bærende konstruksjoner. Råmaterialet til bæring er gjerne stål i plater over 10 mm, men det er her antatt at energiforbruk og klimagassutslipp er likt som tynnplateproduksjon. Bjørklund et al. (1996) anslo energiforbruk for konvertering av plater til bærende konstruksjoner i stål til 2,0 MJ/kg, der data var fra Skanska Stålteknikk i Kalmar. Dette er også brukt i denne analysen.



Figur 27: Endring i resultat (%) fra basisscenario, bruk av malmbasert stål.

Figur 27 viser endring i resultatet i prosent fra basisscenarioet dersom det antas at stålet i bruene kommer fra malm. Skråstagbrua inneholder lite stål slik at utslagene blir ikke så store for denne brua. Resultatet, og da særlig for bruk av energi, for de andre bruene påvirkes

imidlertid mye. For buebrua, som har mye stål i overbygningen, brukes mer enn en halv gang så mye energi dersom stålet antas å komme fra malmbasert utvinning. Utslipp av klimagasser påvirkes i mindre grad, men også her er endringene store.

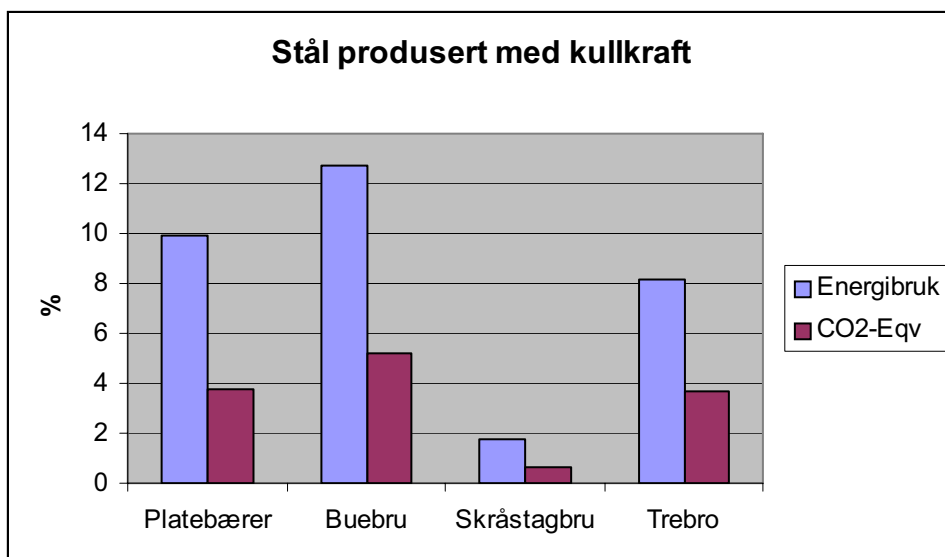


Figur 28: Endring i resultat (%) fra basisscenario, bruk av skrapjernsbasert stål.

Figur 28 viser tilsvarende utslag for bruene som figur 27, men med motsatt fortegn. Endringen i klimagassutslippene påvirkes dessuten i sterkere grad ved at stål fra skrapjern benyttes enn for stål fra malm.

Som man ser er resultatet for energibruk og klimagassutslipp svært ømfindtlig for resirkuleringsgraden av stål, som krever mye energi ved produksjon. Det er derfor avgjørende for et troverdig resultat at opprinnelsen til stålet er kjent ved utførelser av en livssyklusanalyse. Dersom man antar lik opprinnelse for stålet for alle bruene det fortsatt trebrua som forbruker minst energi og har det laveste utslippet av klimagasser.

Stål kjøpes fra verdensmarkedet, og det kan derfor antas forskjellige opprinnelser for den elektrisitet som inngår i produksjonsprosessen. Dersom opprinnelsen er kjent brukes data for det aktuelle stedet stålet er produsert, eller man kan f.eks velge å bruke tall for en gjennomsnittlig europeisk elektrisitetsproduksjon. Her undersøkes et scenario der elektrisiteten ved åroduksjon av stål er antatt å komme fra kullkraft (geografisk systemgrense utvides). For varmekraft fra kull er det her regnet en virkningsgrad på 30 %. For utslipp av CO₂ er det regnet med 82,7 kg pr produsert GJ (SFT (1994)).

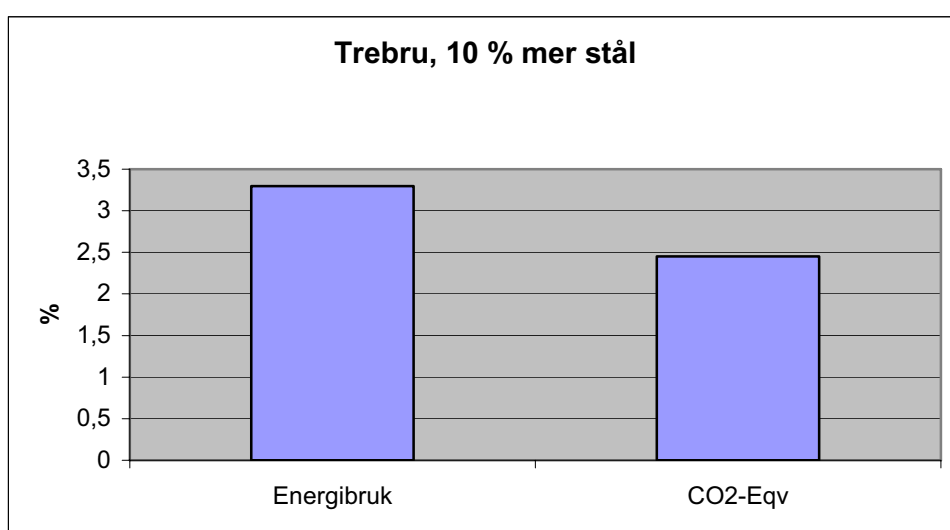


Figur 29: Endring i resultat (%) fra basisscenario, bruk av kullkraft ved produksjon av stål.

Figur 29 viser at dersom produksjon av elektrisitet til produksjon av stål forutsettes å komme fra kullkraft gir det relativt store utslag i modellen. Endringen i energibruk kommer av overføringstap fra produksjonen av kullkraft, slik at det brukes mer primærenergi for hver enhet elektrisk kraft.

Stål i trebru:

Det er noe usikkerhet forbundet med anslaget av stål i trebrua, antar derfor en økning i stålmengden på 10 %



Figur 30: Endring i resultat (%) for energibruk og klimagassutslipp, 10 % mer stål i trebru .

Figur 30 viser endringen i energibruk og klimagassutslipp for trebrua. Sammenliknet med den prosentvise variasjonen i forutsetningen er endringen i resultatet relativt stort.

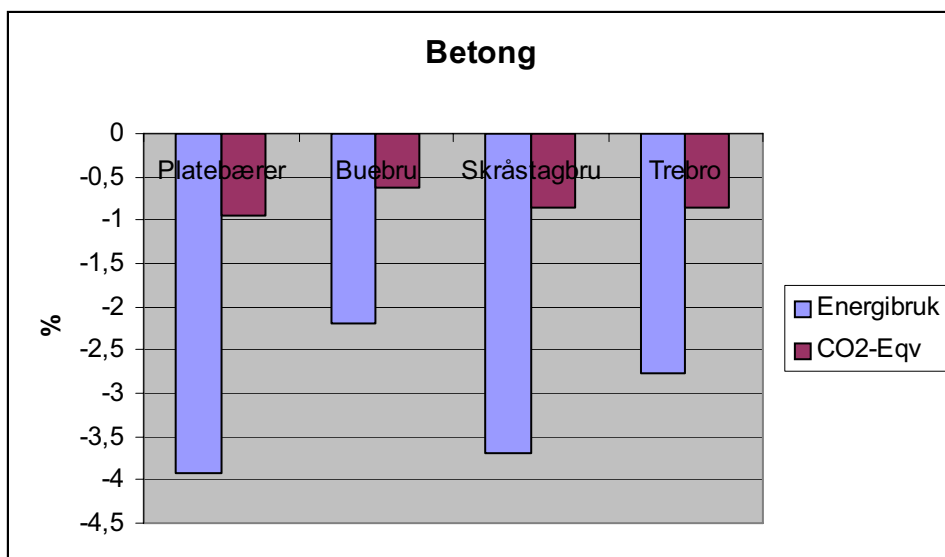
Vi ser igjen at mengden stål er en nøkkelparameter for energibruken, mens en økning av stålmengden har noe mindre effekt på samlet klimagassutslipp.

Betong: Det er noe usikkerhet forbundet med LCI- data for betong som er valgt i basisscenarioet. Betong utgjør en stor mengde av materialene som inngår i bruene, og det er her valgt å se hvor mye resultatet påvirkes ved å velge tall fra en miljødeklarasjon, utført av Stiftelsen Østfoldforskning, fra selskapet Unicon AS i Sandvika:

Tabell 21: LCI-data for betong, energibruk og klimagassutslipp pr m³ (Unicon (2004)).

Betong Unicon	Verdi	Enhet
Elektrisk energi	183,3116	MJ/m ³
Fossil energi	1018,7	MJ/m ³
Bioenergi	16	MJ/m ³
Avfall (brenning)	317	MJ/m ³
Uspesifisert energi	7,1	MJ/m ³
CO ₂	289	kg/m ³
NH ₄	0,209	kg/m ³
N ₂ O	1,31	kg/m ³

Tabell 21 viser energibruk og klimagassutslipp ved produksjon og transport av ferdigbetong, der analysen er fra Unicon (2004). Funksjonell enhet er 1 m³ ferdigbetong, der tallene inkluderer produksjon og distribusjon av betong til byggeplass i Oslo. Betongen er oppgitt å ha et innhold av sement på 15 %, og råvaredata er fra 2003. Det er antatt at produksjonsforhold er overførbare til Tynset.

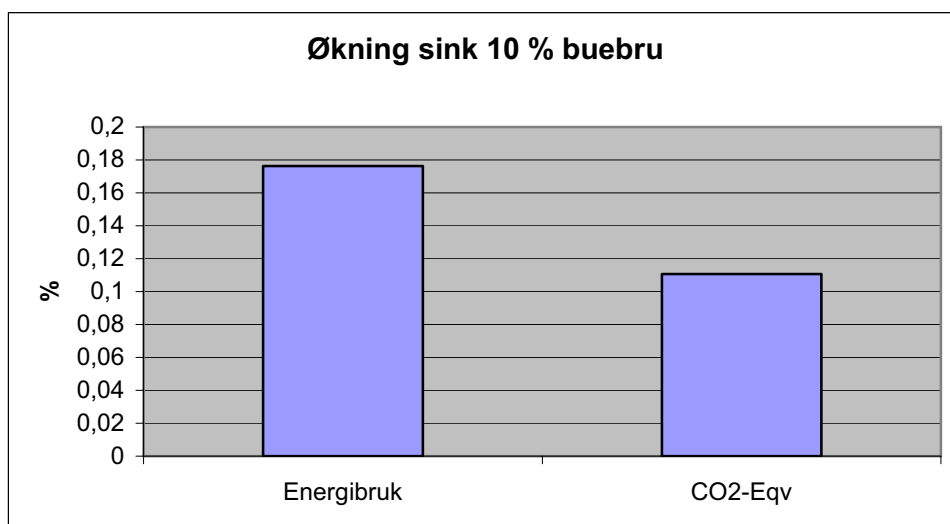


Figur 31: Endring i resultat (%) for energibruk og klimagassutslipp, ved betong fra Unicon.

Figur 31 viser at tallene påvirkes noe i positiv retning, men endringen er ikke stor. Betongen fra Unicon er dessuten oppgitt å ha et noe lavere innhold av sement enn betongen som er brukt i basisscenarioet.

Sinkmengde:

Mengdene for sink er anslått som en prosentsats av stålinnholdet i broene, og er derfor en parameter det hefter noe usikkerhet ved. Her undersøkes derfor hva en økning av sinkmengden på 10 prosent har å si for buebrua, som er den brua med mest stål i analysen

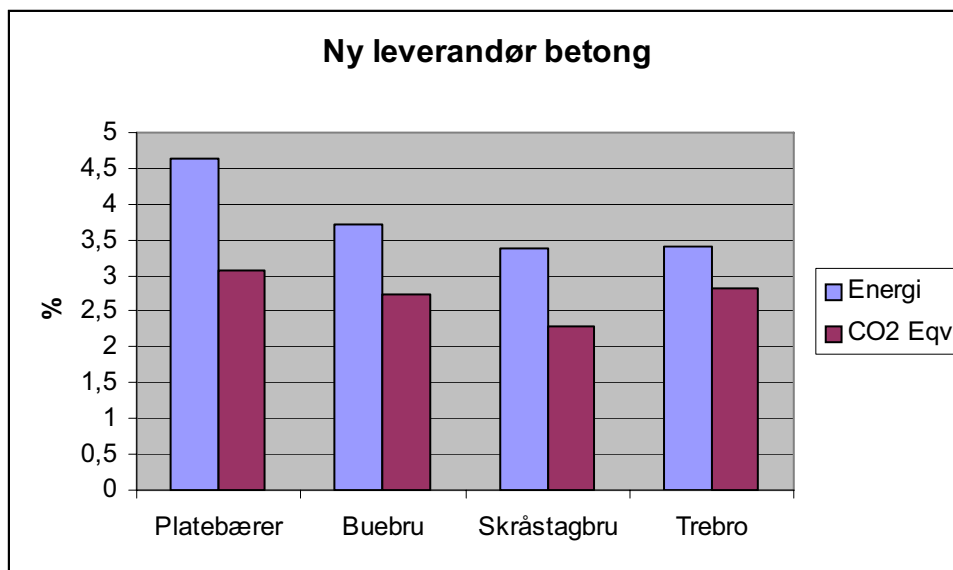


Figur 32: Økning av sinkmengde på 10 % for buebru, endring av resultat i % fra basisscenario.

Figur 32 viser at en økning av mengden sink gir svært små utslag i modellen, sammenliknet med den prosentvise endringen av forutsetningen.

Transportavstander:

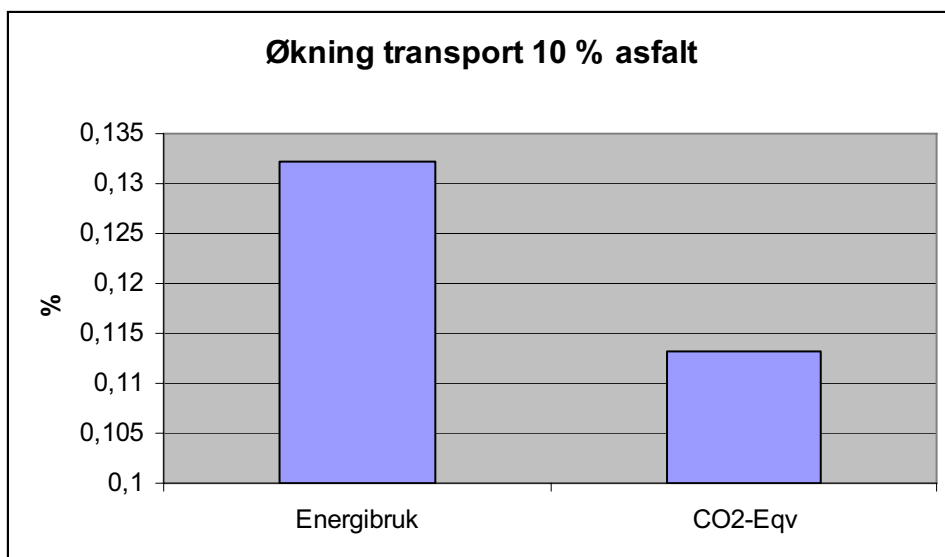
I ei bru inngår store materialmengder og mange av materialene er fraktet langt. I Figur 33 undersøkes effekten av å øke transportavstanden av ferdigbetong fra betongverk til brustedet med 300 %, hvilket vil simulere valget av en annen leverandør.



Figur 33: Simulering av transportavstand, endring av resultat i % for samlet resultat fra basisscenario.

Figur 33 viser at valg av en annen leverandør av betong vil ha mye å si for resultatet. Valg av leverandør kan derfor ha nokså stor innvirkning på resultatet, og da særlig for store materialmengder som betong.

Det er også noe usikkerhet knyttet til transport ved produksjon av asfaltdekket til trebrua. Antar en 10 % økning av transport for alle materialer asfalten består av, og for transport av ferdig asfalt:

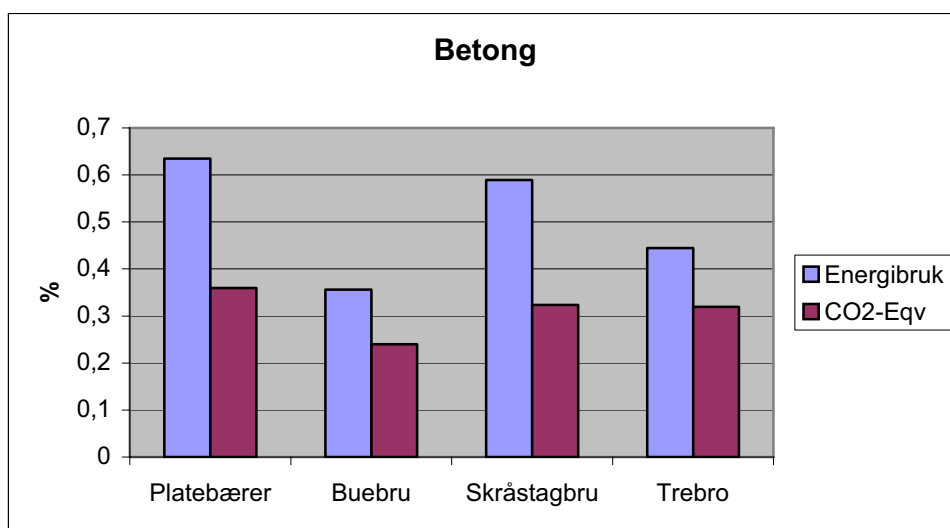


Figur 34: Endring i % av resultat fra basisscenario for trebru, 10 % økning av transportlengder asfalt

Figur 34 viser at endringer i transportavstander på 10 % for asfalt har svært lite å si for samlet resultat for trebrua. Asfalt inngår da også som en liten andel av totale materialer.

Betong:

Det er usikkerhet vedrørende transportavstander for betong. Her undersøkes effekten av å øke alle transportavstander involvert i produksjon og distribusjon av betong med 10 %.



Figur 35: Endring av resultat i % fra basisscenario, ved økning av transportlengder for betong med 10 %.

Figur 35 viser at en økning av transporten gir lite utslag i resultatet, sammenliknet med den prosentvise endringen av forutsetningen.

4.3 ANDRE MILJØASPEKTER:

Det vil være en risiko for sub-optimalisering når man som i denne analysen kun tar for seg enkelte effektkategorier uten å ivareta helheten. For trebrua er bruken av impregneringsmidler til beskyttelse av treet en faktor som gjerne skulle vært utredet nærmere, likeledes kunne risikoen for skader på biologisk mangfold ved et mer intensivt skogsbruk vært analysert nærmere.

Analysen har dog ikke til hensikt å gi absolutte svar på klimatiske og energimessige gevinster ved valg av en konstruksjon framfor en annen, kompleksiteten i materialet gir ikke grunnlag for slike slutninger. Skal et resultat kunne presenteres må likevel ulike materialer veies opp mot hverandre.

5 KONKLUSJON

Bruene er svært forskjellige i materialsammensetning og konstruksjon, og dette gir seg store utslag i energibruken og klimagassutslippene som kan relateres til byggingen av bruene. Ved å anta samme opphav for inngående materialmengder kan det vises at trebrualternativet i analysen forbruker mindre energi ved bygging, gir et mindre bruk av fossile brensler og gir mindre utslipp av klimagass, enn de alternative bruene i stål og betong. Mye av forskjellen ligger i at stål, betong og armeringsjern er energikrevende å framstille, med utstrakt bruk av fossile brensler i produksjonsprosessene, mens det for tre og limtre brukes mye bioenergi i produksjonsfasen. Utslippene følger derfor i stor grad energiforbruket. Klimagassutslippene kommer hovedsakelig fra CO₂. Flere effektkategorier bør imidlertid studeres før det kan gis et endelig svar på hvilken av bruene som er best i miljøsammenheng.

Særlig stor er effekten på energibruk og klimagassutslipp for varmforsinket stål. Stål er imidlertid det materialet som i størst grad har mulighet til å bedre resultatet, ved å velge produkter som i størst mulig grad er resirkulert.

Energibruk og klimagassutslipp er i stor grad knyttet til materialmengden i bruene. Store gevinster kan derfor oppnås ved å velge brutyper som gir et lavt forbruk av materialer. Transport av ferdige materialer er funnet å ha liten effekt på resultatet, men gir likevel utslag og det bør derfor streves etter å minimere transportavstander ved å velge mest mulig lokale råvarer og velge mest mulig miljøvennlige transportmetoder. Prefabrikkering kan være gunstig med hensyn på energiforbruket på byggeplass. Forutsetninger vedrørende systemgrenser til naturen, produksjon av materialer, valg av funksjonell enhet og grad av resirkulering har alle stor innvirkning på det endelige resultatet. Usikkerheten i datamaterialet har mindre effekt.

Trebrua er i basisscenarioet beregnet til å slippe ut om lag halvparten så mye CO₂-ekvivalenter som de andre bruene i analysen. Sammenliknet med CO₂-avgiften på bensin kan likevel ikke trebrua være mer enn om lag 1 % dyrere enn de alternative bruene før dette blir en dyr måte å spare klimagassutslipp på. Velges dagens prisnivå med hensyn på klimakvoter kan det i prinsipp ikke være forskjell på pris i det hele tatt.

REFERANSER

AHCP, Advisory Council on Historic Preservation, 1979: Assessing the Energy Conservation benefits of Historic Preservation: Methods and Examples. ACHP, 1979

Andrias A., Z. Samaras, & K-H Zierock, 1994: Corinairs Emission Inventories Guidebook, The estimation of the emissions of 'other mobile sources and machinery', subparts 'Off-road vehicles and machines', 'Railways' and 'Inland waterways' in the European Union. An EU study

ATI, Asfaltteknisk Institutt, 2007: Kort om asfalt. Tilgjengelig på internett: http://www.asfaltteknisk.no/Kort_om_asfalt (Sist besøkt 02.03.2007)

Berge, B., 2004: Reduksjon av klimabelastninger fra byggebransjen – ved økt bruk av tre og annen biomasse. Forprosjekt 1. Aktiv substitusjonseffekt av økt treforbruk i nybygg. NAL/NABU/Gaia Lista.

Björklund, T., Å. Jönsson, & A-M. Tillman, 1996: LCA of Building Frame Structures. Environmental Impact over the Life Cycle of Concrete and Steel Frames, Technical Environmental Planning Report 1996:8 Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden.

Björklund, T., & A-M. Tillman, 1997: LCA of Building Frame Structures. Environmental Impact over the Life Cycle of Wooden and Concrete Frames, Technical Environmental Planning Report 1997:2 Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden

Bjørndal, J., 2007: Leder, s 3. Norsk Skogbruk. Nr 4/4B-2007-53. årgang.

Blomberg, T., 1999: Partial Life Cycle Inventory or "Eco-profile" for paving grade bitumen., Eurobitume report 99/007.

Boliden, 2005: Boliden Odda AS. Årsrapport 2005. Helse, Miljø og Sikkerhet.

Byggforsk, 1997: Egenlaster for bygningsmaterialer, byggevarer og bygningsdeler. Byggforskserien. Byggdetaljer 471.031

Contiga, 2004: Environmental Declaration ISO/DIS 14025 Type III. Stålbjelke 500 mm. NEPD nr. 08N.

DKI, Deutsches Kupferinstitut, 2005: Life Cycle Assessment Data Copper Sheet.

EEA, European Environment Agency, 2006: Greenhouse gas emissions trends and projections in Europe 2006. EEA Report No 9/2006.

EFCA, European Federation of Concrete Admixture Associations, 2006: Environmental Declaration Superplasticising admixtures – March 2006.

EFCA, European Federation of Concrete Admixture Associations, 2005: Environmental Declaration Air-entraining admixtures – December 2005.

Ekeberg, P. K., 2002: Ansatt i Norconsult. Pers. med.

Ekvall, T., & A-M. Tillman, 1994: Open-loop recycling: Criteria for allocation procedures. Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden

Energilink, 2007: Bitumen. Tilgjengelig på internett:
<http://www.energilink.no/leksikon/bitumen.aspx> (Sist besøkt 04.04.2007).

Evans, F.G, 2001: Forslag til klassifisering og disponering av impregnert treavfall. NTI, Norsk Treteknisk Institutt, 2001.

Fossdal, S., 1995: Energi- og miljøregnskap for bygg. Fremstilling av byggematerialer. Regnskap for boliger og kontorbygg. Byggforsk. Norges byggforskningsinstitutt. Prosjektrapport 173-1995.

Fundia, 2005: Miljørapport for år 2005. Fundia Armeringstål AS. Mo I Rana. Tilgjengelig på internett: <http://miljo.mip.no/mbild/FundiaMiljoN-05.pdf> (Sist besøkt 06.03.2007)

Guinée, J.B., H. de Bruijn, A. de Konig, M. Gorée, R. Heijungs, M.A.J. Huijbregts, G. Huppes, R. Kleijn, A.W. Sleeswijk, S. Suh, H.A. Udo de Haes, R. van Duin, L. van Oers, E. Lindeijer, A.A.H. Roorda, B.L. van der Ven, B.P. Weidema, 2001: An Operational Guide to the ISO Standards. Leiden University (CML), 2001.

Holtskog, S., & K. Rypdal, 1997: Energibruk og utslipp til luft fra transport i Norge. Rapporter 97/77. Statistisk Sentralbyrå.

Häkkinen, T., & K. Mäkelä, 1996: Environmental adaptation of concrete. Environmental impact of concrete and asphalt pavement. VTT Research Notes 1752, Technical Research Centre of Finland.

IISI, International Iron and Steel Institute, 1999: Policy statement. UN Framework Convention on Climate Change.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, 1996: Revised Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007: IPCC Fourth Assessment Report, Working Group 3. Summary for Policymakers.

Isaksen, H. R., 2001: Hva koster ei trebru? Norconsult-notat. 21.05.2001. Trebrukonferansen 2001

ISO 14040: Principle and framework

ISO 14041: Goal and scope definition and inventory analysis

ISO 14042: Life cycle impact assessment

ISO 14043: Life cycle interpretation

Jernbaneverket Region Nord, Prosjektavdelingen, 1999: Utviklingsprosjekt: Overgangsbruer i tre på Dovrebanen. Rapport August 1999

Jernkontoret, 2007: Processer. Tilgjengelig på internett:
http://www.jernkontoret.se/stalets_kretslopp/processer/index.php (Sist besøkt 06.05.2005)

Metalzinko, 2001: Environmental Product Declaration, Hot Dip Zink Galvanizing. Pre-Certification S-EP-00013.

Moelven, 2005: Moderne eventyr om trebroer. pp 22-26. Moelven Magasinet 1/2005

Naturvernforbundet, 2007: Kjøp av klimakutt. Tilgjengelig på internett:
<http://www.naturvern.no/klimakutt/> (Sist besøkt 13.05.2007)

Norcem, 2002: Environmental Declaration ISO/CD 14025 Type III. NEPD nr.24N.

Nordic Council of Ministers, 1995: Nordic Guidelines on Life-Cycle Assessment. Nord 1995:20

NP, Norsk Petroleumsinstitutt, 2007: Avgifter. Tidsserie. Tilgjengelig på internett:
<http://www.np.no/ktml2/files/uploads/Statistikk/Avgifter%20-%20tidsserie.xls>
(Sist besøkt 10.05.2005)

NTI, Norsk Treteknisk Institutt, 1997: Miljødeklarasjon av treindustriens produkter. Bilag til hovedrapport. Rapport nr 37.

Norconsult, 2007: Tynset bru. Prosjektark. Tilgjengelig på internett:
http://www.norconsult.no/arch/_img/9053669.pdf (Sist besøkt 13.05.2007)

Norgate, T., & W. Rankin, 2000: Life Cycle Assessment of Copper and Nickel Production. Paper presented at Minprex 2000-International Congress on Minerals Processing and Extractive Metallurgy. Melbourne 11-13 September 2000.

Nyland, C. A. & M. Vold, 2005: Documentation of the Environmental Benefits to Society of Using Waste-based Fuels at Norcem Brevik. Oestfold Research Foundation, OR.15.05.

Petersen, A. K., & B. Solberg, 2002: Limtre eller stål? En analyse av energiforbruk, klimagassutslipp og kostnadseffektivitet. Rapport fra skogforskningen 1/02:1-60.

Pousette, A., 1998: Livscykelanalys av to träbroar. Träteck, Rapport P 9812093.

Rypdal, K., 1993: Anthropogenic emissions of the greenhouse gases CO₂, CH₄ and N₂O in Norway- A documentation of methods of estimation, activity data and emission factors. Rapport 93/23, Statistisk sentralbyrå.

SETAC, Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 1993: Guidelines for Life-Cycle Assessment. A "Code of practice".

SFT, 1994: Greenhouse gas emissions in Norway. Inventories and estimation methods. Report 94:02.

Sjunneson, J., 2005: Life Cycle Assessment of Concrete. Master Thesis. Lund University. Department of Technology and Society. Environmental and Energy Systems Studies. Lund, Sweden.

SSB, Statistisk Sentralbyrå, 1999: Naturressurser og miljø 1999.

SSB, Statistisk Sentralbyrå, 2004: Avfall fra byggvirksomhet, 2004. Foreløpige tall. Tilgjengelig på internett: <http://www.ssb.no/emner/01/05/avfbygganl/> (Sist besøkt 05.05.2007).

SSB, Statistisk Sentralbyrå, 2006: Naturressurser og miljø 2006.

Stripple, H., 2000: For the European Asphalt Pavement Association (EAPA) and Eurobitume. Life Cycle Inventory of Asphalt Pavements. IVL Swedish Environmental Research Institute. Gothenburg, Sweden.

Stripple, H., 2001: Life Cycle Assessment of Road –A Pilot Study for Inventory Analysis, 2nd revised Edition, IVL-report B1210E, March 2001, Gothenburg, Sweden. Tilgjengelig på internett: <http://www.ivl.se/rapporter/pdf/B1210E.pdf> (Sist besøkt 02.02.2007)

Unicon, 2004: Environmental Declaration ISO/DIS 14025 Type III. Ferdigbetong. NEPD nr. 47N

Unicon, 2007: Levering/Biler. Tilgjengelig på internett: <http://www.unicon.no/cca231c5-6abf-45cf-a955-08bb412b3941.W5Doc?mid=536F681E-4B9D-4260-AA33-1D017BF0CA6A> (Sist besøkt 02.04.2007)

Veidekke, 2007: Mer om produksjonsformer. Tilgjengelig på internett: <http://www.veidekke.no/norge/produkter/asfalt/article1261.ece?tipAFriend=true> (Sist besøkt 15.04.2007)

VEDLEGG 1: Materialmengder

Dette vedlegget viser forutsetninger som er brukt ved beregning av broenes tyngde.

Tabell 22 viser egenvekt for betong og egenlaster for stål og kobber:

Tabell 22: Egenvekt for betong og egenlaster for stål og kobber

Materiale	Kilde	
Uarmert betong	Sjunneson (2005)	2384,25 kg/m ³
Stål/Armeringsstål	Byggforsk (1997)	77 kN/m ³
Kobber	Byggforsk (1997)	87 kN/m ³

For treverk er antatt en egentynge på 800 kg/m³, basert på at trelast som leveres byggeplass vanligvis er tørket til 18 % fuktighetsinnhold, og senere impregnert med kreosot. Merk at vekten kun har betydning ved frakt av materialet, energibruk og klimagassutslipp er i analysen beregnet pr fm³.

For limtre er antatt en egentynge på 800 kg/m³ basert på at lasten som inngår i treverk vanligvis tørkes til et fuktighetsinnhold på 12-15 %, og senere er impregnert med CCA og kreosot. Merk at vekten kun har betydning ved frakt av materialet, energibruk og klimagassutslipp er i analysen beregnet pr m³.

Mengden kobber i limtre er beregnet ut fra Evans (2001). Der oppgis at i CCA-impregnert virke klasse AB inngår Cu med 285 g/m³, Cr med 460 g/m³ og As med 415 g/m³.

For sink er antatt en mengde som tilsvarer 0,5 % av stålets vekt, etter Stripple (2001)

Standardisert kjøreburekkverk i stål: 90 kg/m (Ekeberg (2002)).

Standardisert kjøreburekkverk i tre: Stål stolper 22 kg/m (Ekeberg (2002)).

Spennstag: 30 kg/m³ tre i dekket (Ekeberg (2002)).

Bolteledd, slisseplater og dybler: 100 kg/m³ (Ekeberg (2002)).

Det er antatt samme overflatebehandling for korrosjonsbeskyttelse av stålet i alternativene som for limtrebru.

VEDLEGG 2: Energiinnhold og utslippsfaktorer

ENERGIINNHold DIESEL

For energiinnhold av diesel er brukt 36,2 MJ per liter. (SSB (1999)). Tetthet for diesel ved 15 grader C er 0,84 kg pr liter.

PRODUKSJON AV ELEKTRISITET

For varer som er produsert i Norge nyttes elektrisitet hovedsakelig i form av vannkraft, selv om noe kraft utveksles med naboland. Vannkraft og atomkraft er antatt ikke å forårsake utslipp av klimagasser, dog kan slik kraftproduksjon ha andre negative effekter.

PRECOMBUSTION

Data for precombustion, utvinning av olje og produksjon av diesel, kan variere signifikant mellom ulike analyser og må derfor antas å være relativt usikre. I denne analysen er det brukt data fra Strippel (2000). Der er energiforbruk til precumbustion oppgitt å være 0,1 MJ pr MJ diesel, utslipp av CO₂ 3,22 g per MJ, utslipp av N₂O 0,00303 g pr MJ og utslipp av CH₄ 0,00207 g pr MJ.

TRANSPORT LASTEBIL

Tabell 23: Energibruk (MJ) og klimagassutslipp (g) for lett lastebil og vogntog, pr km (Strippel (2000))

Transport	Lett lastebil	Vogntog	Enhet
Fossil energi	13,1	14,7	MJ/km
CO ₂	9,33E+02	1,04E+03	g/km
CH ₄	2,54E-02	2,84E-02	g/km
N ₂ O	2,47E-02	2,76E-02	g/km

Tabell 23 viser energibruk og klimagassutslipp for lett lastebil og vogntog, der analysen er hentet fra Strippel (2000). Funksjonell enhet er 1 km, og tallene inkluderer precombustion av diesel. For transport er det brukt to typer lastebiler, lett lastebil med nyttelast opp til 14 tonn og vogntog med nyttelast opp til 32 tonn. Energieffektiviteten til dieselmotoren er estimert til 40 %. Tallene er basert på at vekten er begrensningen for nyttelast og ikke volum, det vil si at full nyttelast brukes. Forbruket er regnet ved full nyttelast ved levering og tom returlast.

Dieselforbruk er oppgitt til 0,34 l/km for lett lastebil og 0,38 l/ km for vogntog, hvilket gir et energiforbruk på henholdsvis 11,9 og 13,3 MJ/km uten precombustion av diesel.

TRANSPORT JERNBANE

For transport med jernbane er det viktig om tog er drevet med elektrisitet eller diesel. Det er i denne analysen brukt et gjennomsnitt, dvs 50 % elektrisitet og 50 % diesel, samt et gjennomsnitt i tabell 24 av tallene fra Fossdal (1995) og Holtskog & Rypdal (1997).

Tabell 24: Energibruk (MJ/tonnkm) ved togtransport.

Kilde	Elektrisk drevne tog (MJ/tonnkm)	Dieseldrevne tog (MJ/tonnkm)
Fossdal (1995)	0,25	0,62
Holtskog & Rypdal (1997)	0,51	1,1

Tabell 25: Utslippsfaktorer for klimagasser (i kg per tonn brensel), jernbane (Rypdal (1993)).

Jernbane	Verdi	Enhet
CO ₂	3170	kg/tonn diesel
CH ₄	0,1	kg/tonn diesel
N ₂ O	0,2	kg/tonn diesel

Tabell 25 viser utslippsfaktorer ved transport med jernbane.

ANLEGGSMASKINER

LCI –data er tatt fra Corinairs (The Core Inventory of Air Emissions in Europe) EU level 1 for dieselmotorer i anleggsmaskiner (Andrias et al. (1994), gjengitt i Strippel (2000)). En netto effekt på 130-560 kW og et sulfatinnhold i diesel på 0,05 % er forutsatt.

Energieffektiviteten til dieselmotoren er estimert til 40 %.

FYRINGSOLJE

Ved forbrenning av fyringsolje i energiproduksjon er tall fra SFT (1994) benyttet. Utslipp er her beregnet til 72,4 kg/GJ for CO₂, og 0,01 kg /GJ for CH₄ og N₂O.

VEDLEGG 3: LCI for asfalt

LCI-data brukt for bitumenproduksjon:

Bitumen er en samlebetegnelse for faste eller flytende hydrokarboner framstilt primært fra raffinering av jordolje (Energilink (2007)). I norsk raffineringsindustri framstilles ikke bitumen, og bitumen vil derfor være importert.

Tabell 26: LCI-data for bitumen, energibruk og klimagassutslipp pr kg (Blomberg et al. (1999)).

Bitumen 50/70	Verdi	Enhet
Fossil energi	4,34	Mj/kg
CO ₂	280	g/kg

Tabell 26 viser energibruk og klimagassutslipp fra produksjon av bitumen, der tallene er tatt fra Blomberg et al (1999). Funksjonell enhet er 1 kg bitumen. Analysen gjelder produksjon og transport av bitumen til depot. Precombustion er ikke inkludert.

LCI-data brukt for produksjon av knust materiale:

Tabell 27: LCI-data for knust masse, energibruk og klimagassutslipp pr tonn (Strippel (2001)).

Knust materiale	Verdi	Enhet
Fossil energi	16,99	MJ/tonn
Elektrisk energi	17	MJ/tonn

Tabell 27 viser energibruk og klimagassutslipp fra produksjon av knust masse, der analysen er fra Strippel (2001). Funksjonell enhet er ett tonn knust masse. Tallene er basert på produksjon av knust materiale fra fjell, og er fra et svensk selskap. Råstoffet tas ut fra fjell ved sprengning og fraktes med en dieseldrevet anleggsmaskin til en steinknuser. Produksjon og forbruk av sprengstoff inngår ikke, heller ikke sortering av massen.

LCI-data brukt for produksjon av sand:

Tabell 28: LCI-data for sand, energibruk og klimagassutslipp pr tonn (Strippel (2000)).

Sand	Enhet	Verdi
Fossil energi	16	MJ/tonn
Elektrisk energi	11	MJ/tonn

Tabell 28 viser energibruk og klimagassutslipp fra produksjon av sand, der analysen er fra Strippel (2000). Funksjonell enhet er uttak og sortering av ett tonn sand. Tallene er fra Storbritannia, men er antatt å være overførbare til norske forhold.

LCI-data for asfaltverk:

Tabell 29: LCI-data for asfaltverk, energibruk og klimagassutslipp pr tonn (Stripple (2000)).

Asfaltverk	Enhet	Verdi
Fossil energi	251	MJ/tonn
Elektrisk energi	25	MJ/tonn

Tabell 29 viser energibruk og klimagassutslipp fra produksjon av asfalt, der analysen er fra Stripple (2000). Funksjonell enhet er produksjon av ett tonn asfalt. Tallene er fra Skandinavia, og betegner et moderne anlegg. For beregning av utslipp er det benyttet tall for forbrenning av fyringsolje fra SFT (1994), se vedlegg 1. Precombustion av fyringsolje er ikke inkludert i denne analysen.

Forutsetninger produksjon/transport:

For produksjon av knust masse og sand brukes anleggsmaskiner. Precombustion av diesel er inkludert i analysen.

For transport av knust masse og sand til asfaltverk er det forutsatt brukt lett lastebil.

Precombustion av diesel er inkludert i analysen. Avstand fra produksjonssted til asfaltverk er satt til 2 km.

For transport av bitumen brukes vogntog. Avstand fra depot til asfaltfabrikk er satt til 200 km.

Precombustion av diesel er inkludert i analysen.

VEDLEGG 4: LCI for betong

Betong produseres av sement, tilslag, vann og eventuelle tilsetningsstoffer.

LCI-data for sement:

Sement er et hydraulisk bindemiddel (kan herde også under vann). Sementen i broene er forutsatt å komme fra Norcem Brevik AS. Om produksjonen heter det (Norcem (2002)):

”Hovedprosessene ved Norcem er uttak av kalkstein fra to felt i nærheten av bedriften: Dalen gruve og Bjørntvet dagbrudd. Kalksteinen tilsettes korreksjonsmaterialer, som kisavbrann, kvarts, oxiton, bauxitt og gips, og males og brennes ved høye temperaturer (1450 grader C) til klinker. Klinkeren finmales til sement. I maleprosessen tilsettes mindre mengder kalkstein, gips og jernsulfat.”

Tabell 30: LCI-data for sement, energibruk og klimagassutslipp pr tonn (Norcem (2002)).

Sement	Verdi	Enhet
Fossil energi	1959	MJ/tonn
Elektrisk energi	442,22	MJ/tonn
Bioenergi	38	MJ/tonn
Avfall (brenning)	739	MJ/tonn
CO ₂	634	kg/tonn
CH ₄	484	g/tonn
N ₂ O	3	g/tonn

Tabell 30 viser energibruk og klimagassutslipp fra produksjon av sement, der analysen er fra Norcem (2002). Tallene gjelder for sement framstilt ved Norcem A.S, Brevik. Funksjonell enhet er 1 tonn Norcem Standardsement FA. Deklarasjonen er utført av Stiftelsen Østfoldforskning, råvaredata er hentet fra 2001, og betegner produksjon av sement fra råvareuttak til ferdig sement.

LCI-data for framstilling av knust masse:

For denne analysen er det valgt data for framstilling av knust masse tilsvarende som for framstilling av asfalt (se vedlegg 3).

Precumbustion for diesel til produksjon og transport er inkludert i analysen.

LCI-data for naturgrus:

For denne analysen er det valgt data for framstilling av naturgrus tilsvarende som for framstilling av asfalt, der data for sand er presentert (se vedlegg 3). For sand og grus

forutsettes samme energiforbruk. Precumbustion for diesel til produksjon og transport er inkludert i analysen.

LCI-data for superplastifiserende stoffer (superplasticiser):

Superplasticiser brukes på grunn av sin evne til å redusere mengden vann i betongen, samtidig som man fortsatt beholder betongens konsistens i uherdet tilstand. Mindre vann betyr større styrke, og gir en betong som har lavere permeabilitet og større slitestyrke (EFCA (2006)).

Tabell 31: LCI-data for superplasticiser, energibruk og klimagassutslipp pr kg (EFCA (2006)).

Superplasticiser	Verdi	Enhet
Energi (Uspesifisert)	18,3	MJ/kg
CO ₂	0,72	kg/kg
CH ₄	1,2	g/kg
N ₂ O	0,067	mg/kg

Tabell 31 viser energibruk og klimagassutslipp fra produksjon av superplasticiser, der analysen er fra EFCA (2006). Funksjonell enhet er 1 kg superplasticiser. Miljødeklarasjonen bygger på et datagrunnlag fra 8 europeiske produsenter, der datagrunnlaget er fra år 2000-2001. Deklarasjonen gjelder fra ”vugge til fabrikkport”.

LCI-data for luftinnførende stoffer (air-entraining agent):

Air-entraining agent lager en mengde små luftlommer i betong, som gir størst fordel når betongen har herdet ved at vann har større rom å fryse på og slik forhindres betongen fra å sprekke. En mer frostbestandig betong oppnås derfor. For betong i uherdet tilstand vil stoffet kunne hindre vannseparasjon, og betongen blir også lettere å arbeide med (spesielt for betong med lite sement eller lite innhold av vann) EFCA (2005).

Tabell 32: LCI-data for air-entraining agent, energibruk og klimagassutslipp pr kg (EFCA (2005)).

Air-entraining agent	Verdi	Enhet
Energi (Uspesifisert)	2,1	MJ/kg
CO ₂	86	g/kg
CH ₄	0,62	g/kg
N ₂ O	8,6	mg/kg

Tabell 32 viser energibruk og klimagassutslipp fra produksjon av air-entraining agent, der analysen er fra EFCA (2005). Funksjonell enhet er 1 kg air-entraining agent.

Miljødeklarasjonen bygger på et datagrunnlag fra 4 europeiske produsenter, der datagrunnlaget er fra år 2005. Deklarasjonen gjelder fra ”vugge til fabrikkport”.

LCI-data for vann:

Det er forutsatt at vann som brukes ved produksjon av betong tas fra det kommunale nettet, og intet energibruk eller klimagassutslipp er allokert til framstilling av vann i denne analysen.

LCI-data for produksjon (miksing) av betong:

Tabell 33: LCI-data for miksing av betong, energibruk og klimagassutslipp pr kg (Sjunneson (2005)).

Betongverk	Verdi	Enhet
Fossil energi	1,51E-05	MJ/kg
Elektrisk energi	32,7	MJ/kg

Tabell 33 viser energibruk og klimagassutslipp fra produksjon av betong, der analysen er fra Sjunneson (2005). Funksjonell enhet er blanding av 1 kg betong. Tallene betegner produksjon ved to svenske betongverk tilhørende Sydsten AB i Malmö og Skurup, der elektrisitet brukes til å blande betong og olje er brukt kun til å varme opp fabrikken. For beregning av utslipp er det benyttet tall for forbrenning av fyringsolje fra SFT (1994), se vedlegg 1. Precombustion av fyringsolje er ikke inkludert i denne analysen.

Forutsetninger produksjon/transport av råvarer til betong:

-For produksjon av knust masse og naturgrus brukes anleggsmaskiner. Precombustion av diesel er inkludert i analysen.

-For transport av knust masse og naturgrus til betongblandeverk er det forutsatt brukt lett lastebil. Precombustion av diesel er inkludert i analysen. Avstand fra produksjonssted til betongverk er satt til 2 km.

- For transport av sement brukes jernbane og vogntog. Avstand fra Norcem til betongverk er satt til 480 km, av dette er 30 km med vogntog. Precombustion av diesel er inkludert i analysen.

-For transport av superplasticiser og air-entraining agent brukes vogntog. Avstand fra fabrikk til betongverk er satt til 50 km.