

Notat		SUSTAINABLE INNOVATION
Til:	John-Erik Reiersen, Betongelementforeningen	
Kopi:		
Fra:	Anne Rønning og Lars G. F. Tellnes	
Dato:	22.02.2018	

# Blir det bedre bygg ved bruk av LCA? Gjennomgang av noen utvalgte LCA-studier

## 1 Innledning

I løpet av de siste 25 årene har livsløpsvurderinger (LCA) blitt anvendt i byggenæringen som et metodisk fundament for å vurdere miljøprestasjonen av bygg og byggematerialer. Gjennom hele denne perioden har det pågått en diskurs som vi velger å omtale som «materialkrigen» eller i Norge mer som «tre og betongkrigen», Rønning (2017). I løpet av 2017 ble dette på nytt presentert i media der LCA-studier som sammenligner bygg i tre mot betong lå til grunn for diskusjon om hva som er det beste byggematerialet.



Figur 1 Eksempler på medieoppslag.

Østfoldforskning ble engasjert av Betongelementforeningen til å gjøre en enkel gjennomgang av disse studiene. Fokuset har vært på å vurdere noen metodiske aspekter som er viktig for kvalitet og relevans av LCA som grunnlag for å vurdere miljøprofilene for de bygg som er analysert i ulike studier. Herunder er det foretatt en vurdering av om byggene er sammenlignbare og om de er representative for det gitte byggeprosjektet? I tillegg er det forsøkt klarlagt hvorvidt det er benyttet representative data og datakilder.

Studier som er vurdert her, er relativt nye og i utgangspunktet relevant for norske/nordiske forhold. De har alle blitt referert til i populærvitenskapelige artikler og dermed offentlig kjent i Norge.

- Strekerud, I. M. (2017), Forskjeller i miljøpåvirkninger gjennom livsløpet til Ullerud Helsebygg som følge av valg mellom bærende konstruksjon i massivtre eller stål og betong, Masteroppgave, Ås: NMBU.
- Hofmeister, T. B., Kristjansdottir, T., Time, B., Wiberg, A. H. (2015), Life Cycle GHG Emissions from a Wooden Load-Bearing Alternative for a ZEB Office Concept, ZEB Project report 20-2015, Oslo: SINTEF Academic Press.
- Kurkinen, E.-L., Norén, J., Al-Ayish, D. P. N., During, O. (2015), Energi och klimateffektiva byggsystem. Miljövärdering av olika stomalternativ, SP Rapport 2015:70, Göteborg: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.
- Skullestad, J. L., Bygging av høyhus i tre som et klimatiltak. En sammenliknende LCA av bæresystemer i tre og betong for bygg med varierende antall etasjer, Masteroppgave, Trondheim: NTNU.
- Skaar, C., Solem, B. Rütther, P. (2017), Composite floors in urban buildings: Options for a low carbon building design, Conference paper, Trondheim: Proceedings from Forum Wood Building Nordic 2017.

Utgangspunktet for vår gjennomgang har vært rapportene og den informasjonen som der er tilgjengelig, samt artikler publisert i media. Det er dermed ikke mulig basert kun på dette underlaget å slå fast om en studie er «riktigere» enn en annen, men vi har sett på noen LCA-metodiske valg som er lagt til grunn, her under valg av data. En viktig premisse for sammenlignende studier er at de to objektene fyller samme funksjon og at de valgte konstruksjonene i studiene er representative for dagens teknologi og kunnskap om bygningsfysikk.

Østfoldforskning har derfor hatt dialog med Steinar Røine, Spenncon, om hvorvidt de valgte betong/stål konstruksjonene er representative eller ikke. I tillegg har Røine bistått i å vurdere hvorvidt type og mengde betong anvendt er representativ. Vi vil presisere at vi ikke har hatt tilsvarende dialog med spesialister på trekonstruksjoner, noe som ville vært helt nødvendig hvis dette arbeidet hadde vært en omfattende critical review av studiene.

Vi presiserer at Østfoldforskning ikke ønsker å ta stilling til hvorvidt et material er bedre enn et annet, men vi vil gjennom dette bidraget synliggjøre viktigheten av at LCA-studier blir designet og gjennomført i henhold til standardisert metodikk.

## 2 Kort om LCA-metodikk for bygg

Norske byggevareprodusenter er underlagt europeisk nærings- og miljøpolitikk gjennom EØS-avtalen. I den grad politikktutformingene bidrar til behov for standardiserte analysemetoder, er det den europeiske standardiseringsorganisasjonen CEN som pålegges ansvar for dette arbeidet. Målet med standardisering er å gjøre komplekse analysemetoder håndterbare gjennom å skape konsensus blant ulike aktører for felles metodikk.

I dag foreligger det de europeiske standardene EN 15978 (LCA av hele bygg) og EN 15804 (EPD for produkter). Det er flere aktører som setter egne krav til LCA av hele bygg, hvor BREEAM-NOR, Statsbygg og FutureBuilt er eksempler på dette. En norsk standard for klimagassberegninger av bygg er også under utvikling og som skal baseres på EN 15978, samt norsk praksis.

Byggenæringen i Norge som i resten av Europa, forholder seg til disse standardene og anvender disse aktivt der en bl.a. anvender EPD for å dokumentere miljøegenskaper til byggevarer i henhold til EN 15804. En EPD må sees på som informasjonsbærer av byggevarens miljøegenskaper som igjen anvendes på bygningsnivå som datakilde for LCA. EPDene er ikke ment som et verktøy for vurdering og sammenligning av byggevarer uten at dette gjøres i en byggverkskontekst.

Gjennom standardiseringsarbeidene har man erfart at det er noen aspekter som er viktige for LCA av bygg og disse blir her forklart nærmere.

### 2.1 Hensikt og omfang av en studie

Det finnes ulike grunner til at en LCA-studien gjennomføres. I noen sammenhenger ønsker man å utforske en LCA-metode eller et byggekonsept, mens i andre sammenhenger er det miljøprestasjon av et konkret byggeprosjekt som skal dokumenteres og/eller optimaliseres. Dette gjør at ulike studier ikke nødvendigvis er sammenlignbare. Det kan også være at konstruksjonene som sammenlignes i studiene ikke er like godt utredet eller fyller samme funksjon.

Standardene er tydelig på at en ikke skal sammenligne byggematerialer eller byggevarer direkte, men at det skal skje i en bygningskontekst og at det skal sikres at sammenligningen tar høyde for følgende faktorer:

- Type bygning
- Relevante tekniske og funksjonelle krav (for eksempel lovbestemte og bestillers spesifikke krav)
- Bruksmønster
- Påkrevd levetid.

Standardene gir likevel rom for å sammenligne deler av et byggverk under gitte forutsetninger. Da stilles det krav blant annet til at:

- produktene/systemene skal ha samme funksjonelle ytelse;
- sammenligningen er basert på samme funksjonelle enhet;

- miljøytelsen og den tekniske ytelsen til de utelatte elementer (for eksempel bygningselementer, byggevarer eller tjenester) er de samme;
- type og mengde materiale som er utelatt, er nøyaktig like;
- utelatte prosesser og livsløpstrinn er de samme;
- scenario som anvendes er ekvivalente.

## 2.2 Livsløpsmoduler og levetid

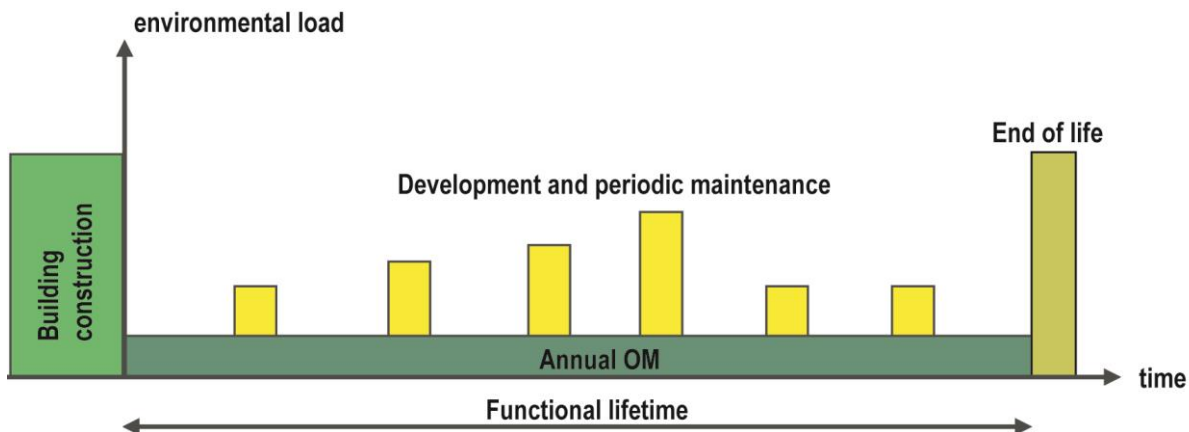
Figur 2 viser hvilke livsløpstrinn og informasjonsmoduler som inngår i en LCA av et bygg (EN 15804:2012+A1:2013). Denne modellen er gjeldende både i internasjonale og europeiske standarder.

BUILDING ASSESSMENT INFORMATION																
Building life cycle information																Supplementary information building life cycle
Product stage			Construction process stage		Use stage							End-of-life stage				Benefits and loads beyond the system boundary
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Raw material supply	Transport	Manufacturing	Transport to site	Construction - installation process	Use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	Deconstruction, demolition	Transport	Waste processing	Disposal of waste	Reuse, recovery and recycling potential

**Figur 2 Livsløpstrinn og informasjonsmoduler for bygningsvurdering, EN 15804:2012+A1:2013.**

Et særtrekk ved LCA for bygg, er at ressursbruk og utslipp deklarerer i de respektive informasjonsmodulene gitt i Figur 1.

Det er allment kjent at bruksfasen bidrar betydelig når det gjelder energibruk gjennom byggets levetid. Her har det vist seg at en i mange LCA-studier benytter begrepet bruksfase kun i sammenheng med energibruk til oppvarming og kjøling. Vedlikehold, behov for ombygging etc. er i veldig liten grad inkludert i LCA av byggverk. Figur 3 viser et eksempel på hvordan miljøbelastninger gjennom et byggverks levetid kan fordeles på ulike faser; FDVU - Forvaltning, Drift, Vedlikehold og Utvikling. I tillegg er avhendingsfasen (End of life) inkludert.



**Figur 3 Livsløpsfaser for et bygg over dets levetid. Kilde: Rønning et al. 2007.**

Hvis en i LCA-studier utelater fasene vedlikehold, utskifting og utvikling av bygget gjennom dets levetid, vil det bidra til at de totale miljøbelastninger underestimeres. Det er derfor viktig at disse fasene inkluderes når en skal utarbeide miljøvurderinger av byggverk.

Nytten av materialer etter endt levetid kan ha en stor betydning for resultatene, men skal ikke inkluderes på lik linje med utslipp i levetiden av bygget, se Figur 2. Dette blir i EN 15978 inkludert i Modul D og vil typisk være substitusjon av energi ved energigjenvinning eller substitusjon av råmaterialer ved materialgjenvinning.

Levetid for et bygg kan variere mye avhengig av helt andre ting enn materialene, slik som anvendelsen og beliggenhet. Forretningsbygg som butikker som har sentral beliggenhet har som regel en mye kortere levetid enn bolighus på landet. Hvordan vedlikehold og utskiftninger skal håndteres på bygg blir således behandlet som et scenario, der det er opp til det gitte prosjektet å avgjøre hva som skal inkluderes i LCAen.

Med dette som bakteppe, er det en erkjennelse at en LCA-studie designes for å representere det prosjektet man til enhver tid forholder seg til og der de metodiske valgene tilpasses formålet med hver enkelt studie. Dette innebærer at resultatene fra en studie ikke direkte kan overføres til et annet byggeprosjekt.

## 2.3 Biogent karbon og karbonatisering

Vi vil spesielt trekke fram to faktorer som har betydning for klimafotavtrykket for tre og betongprodukter; biogent karbon og karbonatisering.

### Biogent karbon

Under trevirkets vekst tar trær opp karbondioksid og som blir lagret som karbon i trevirket, men ved forbrenning eller forråtnelse kan deler eller alt av dette karbonet slippes ut igjen som karbondioksid. Mange LCA-studier forenkler dette ved å regne bidraget fra biogent karbon med null påvirkning klimaendringer. Denne tilnærmingen brukes også av mange land i nasjonale

klimagassregnskap og kalles umiddelbar oksidasjon da siden man regner utslipp av karbondioksid ved avvirkning av skog. Det har dog de siste ti årene vært et aktivt tema i forskning og mange studier viser til at biogent karbon har en reel klimaeffekt selv om det bare er midlertidig lagring, men det finnes ingen konsensus nå på hvordan dette skal beregnes. Innen standardisering, så skiller man behandlingen av biogent karbon i hovedsakelig to aspekter:

1. Inkludering av biogent karbon og modularitet
2. Tidsjustering av utslipp

Juli 2017 ble en revidert versjon av den internasjonale standarden for EPD ISO 21930 publisert og som bestemmer hvordan dette skal gjøres. Her skal biogent karbon regnes med som bidrag til klimapåvirkning i den modulen hvor det skjer. Dette medfører typisk en negativ klimaeffekt i råvarefasen, mens et tilsvarende utslipp oppstår i avfallshåndteringen. Over livsløpet vil dette i mange tilfeller i sum gi null bidrag til klima, men det finnes noen unntak:

- Trevirke fra ikke bærekraftig skogbruk (ingen opptak i råvarefasen)
- Deponering som ikke gir fullstendig utslipp innenfor livsløpet (tradisjonelt deponi og karbonfangst og lagring)
- Lang levetid over 100 år? (PEF)

Tidsjustering av klimagassutslipp har i ISO 21930 ikke blitt inkludert i beregning av indikatoren for klima, men kan beregnes som miljømessig tilleggsinformasjon. Tidsjustering av utslipp kan gjøres på to nivå:

- Nytte av å utsette utslipp
- Tidsjustering av både opptak og utslipp

Den første tilnærmingen gir en bedre klimaprestasjon hvis utslipp skjer i fremtiden sammenlignet med nå og har blitt brukt i PAS 2050:2008 for beregning av klimagassutslipp fra produkter, men ble tatt ut igjen i PAS2050:2012. Denne metoden vil da alltid være fordelaktig for materialer som trevirke, hvor utslipp hovedsakelig skjer i livsløpets slutfase. Tidsjustering av både opptak og utslipp ble først aktuell i LCA av bioenergi, men har også nylig blitt anvendt på byggematerialer. Rotasjonsperiode for skog og levetid vil da blir avgjørende for klimapåvirkning til produktene og kan gi både bedre og dårligere prestasjon.

### **Karbonatisering**

Karbonatisering av betong er en kjemisk reaksjon der karbondioksid ( $\text{CO}_2$ ) i atmosfæren reagerer med  $\text{CaO}$  og blir til kalsiumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). Hvor mye karbon som tas opp og i hvilket tempo dette skjer avhenger av en rekke faktorer som type betong, areal på overflate til betongproduktet, overflatebehandling og miljøet rundt. Overflater som er i direkte kontakt med karbondioksid fra luften karbonatiserer raskt, mens belagt betong karbonatiserer i et mye saktere tempo (Engelsen og Justnes, 2014).

I bruksfasen (modul B), se figur1, avhenger  $\text{CO}_2$ -opptaket av type betong og eksponering. En innendørs betong med lav styrke vil absorbere mer  $\text{CO}_2$  i bruksfasen enn en høyfast betong utsatt for utendørs klima. Overflatebehandlinger vil mest sannsynlig begrense karboneringen. Ved «endte levetid» (modul C) vil karbonatisering avhenge av hva som skjer med betongavfallet. Mest effektivt en knusing av betongen hvor partikkelstørrelsen er viktig.

Det er utviklet en standard for LCA-regneregler for betongprodukter, EN 16757:2017 som beskriver hvordan karbonatisering skal inkluderes i beregninger. I tillegg er karbonatisering inkludert i utkastet til den norske standarden for klimagassberegninger for bygg, prNS 3720.

## 3 Utvalgte studier

### 3.1 Ullerud Helsebygg

#### 3.1.1 Innledning

Denne studien er en masteroppgave med NMBU, Strekerud (2017). Studien har tatt utgangspunkt i det nylig ferdigstilte sykehjemmet Ullerud Helsebygg i Frogn Kommune og tilhørende anbudsgrunnlag fra prosjekteringen som case.

Forskningsspørsmålet i denne oppgaven var:

*Hva er forskjeller i miljøpåvirkninger gjennom livsløpet til Ullerud Helsebygg som følge av valg mellom bærende konstruksjon i massivtre eller stål og betong ved likt krav til funksjonalitet?*

Det vises i oppgaven til at «materialet omfatter anbudene fra to økonomisk konkurrerende byggeløsninger med bærende konstruksjon i massivtre eller stål og betong». Det er noe uklart hva dette innebærer. Er det basert på faktiske mengder og materialer eller er det benyttet andre kilder? Strekerud (2017:7) sier følgende:

*I dette avsnittet presenteres bærekonstruksjoners mulige sammensetning og oppbygning på generelt grunnlag. Fordi oppgaven tar utgangspunkt i bærende konstruksjoner av stål og betong eller massivtre, er det beskrevet et kortfattet utdrag for å gi forståelse av hvordan slike konstruksjoner kan se ut. Byggeteknikkene er beskrevet i annen litteratur.*

Vi antar derfor at for begge konstruksjonene er det et potensiale til å optimalisere de to konstruksjonene i forhold til materialtyper og mengder for det faktiske bygget i dialog med produsenter og utbyggere. I det videre er det kun betong-/stålkonstruksjonen vi fokuserer på.

#### 3.1.2 Design av studien

Det to konstruksjonene som er analysert er illustrert noe forenklet i Figur 4.


**Alt. A**

Fundament:	Betong, armert ( <i>kun deler av bebyggt areal</i> )
Gulv på grunn:	Betong
Vegger:	Massivtre
Yttertak:	Massivtre
Kjeller:	Betongvegger, -søyler og -bjelker ( <i>ekskd. en seksjoneringsvegg annet sted i bygget</i> )
Etasjeskiller/dekker:	Massivtre og betong hulldekker


**Alt. B**

Fundament:	Betong, armert ( <i>alt bebyggt areal</i> )
Gulv på grunn:	Betong
Vegger:	Stålsøyler og -bjelker, betong og armering
Yttertak:	Betong hulldekker
Etasjeskiller/dekker:	Betong hulldekker, armering

**Figur 4 Grov inndeling av materialer til den bærende konstruksjonen i hvert alternativ fordelt på bygningsdeler (Strekerud, 2017:26).**

I masteroppgavens del B oppgis materialistene over de ulike materialer som inngår. Vi vil her trekke fram noen valg – ikke alle - som vil påvirke resultatene betydelig:

Hulldekelementer til gulv:

Det benyttes HD320 fra Contiga på et areal tilsvarende 7901 m<sup>2</sup>. Det oppgis at det er forutsatt at 1 tonn/m<sup>2</sup>. Riktig svar for HD320 er 392 kg/m<sup>2</sup>. På den annen side ser det ut som mengde armering er for lavt. Armering i dekker er oppgitt til en vekt på 16.532 kg som tilsier 2,092 kg/m<sup>2</sup>. Dette tilsvarer kun 3,82 armeringstau /m<sup>2</sup>. Normal armering i HD 320 er ca. 15 kg/tonn.

Basert på dette, ser det ut som et mer korrekt materialforbruk for hulldekker vil være ca. 40% av anvendt mengde:

$$7901 \text{ m}^2 \times 0,392 \text{ tonn/m}^2 = 3.097 \text{ tonn hulldekker}$$

Et annet viktig moment for bestemmelse av total mengde betong som er anvendt, er utskifting av materialer i løpet av de 60 år som studien omfatter. Det oppgis at utskifting av blant annet materialer, kledning, vinduer og dører, gulvbelegg og ny overflatebehandling skjer en gang i løpet av byggets levetid ved år 30.

Dette innebærer at det for hulldekke er antatt at de skiftes ut etter 30 år og dermed dobles mengde betong som anvendes. Klimagassutslippene knyttet til «vedlikehold» utgjør ca. 37 prosent av de totale klimagassutslippene for alt. B. Sett i lys av byggetekniske løsninger i denne typen bygg, er det ingenting som tilsier at hulldekkene (eller andre betongvarer) vil skiftes ut i løpet av 60 år.



### 3.1.3 Datakilder

Det påpekes i rapporten at for alt. A er det hentet inn EPDer for noen materialer grunnet ønske om å BREEAM-sertifisere bygningen. Der det har foreligget slik dokumentasjon knyttet til materialer, har miljøinformasjon eller ressursbruk herfra blitt benyttet i analysen. Det presiseres av forfatteren at det ikke ble innhentet EPDer til alt. B i anbudsrunderen.

Der det ikke foreligger spesifikke EPDer, har forfatteren benyttet data i Simapro. Forfatteren har påpekt at materialprosessene knyttet til stålprofilene i SimaPro er basert på jomfruelig råjern og hvis stålprodukter i realiteten består av en større andel resirkulert stål, vil det knyttes færre miljøpåvirkninger til disse enn resultatet tilsier.

## 3.2 ZEB Office Concept

### 3.2.1 Innledning

Denne studien av Hofmeister et al. (2015) har på ingen måte vært trukket fram i media av forfatterne som et bidrag i diskusjonen om «hva er det beste materialet». Men den er trukket fram av andre forfattere i media.

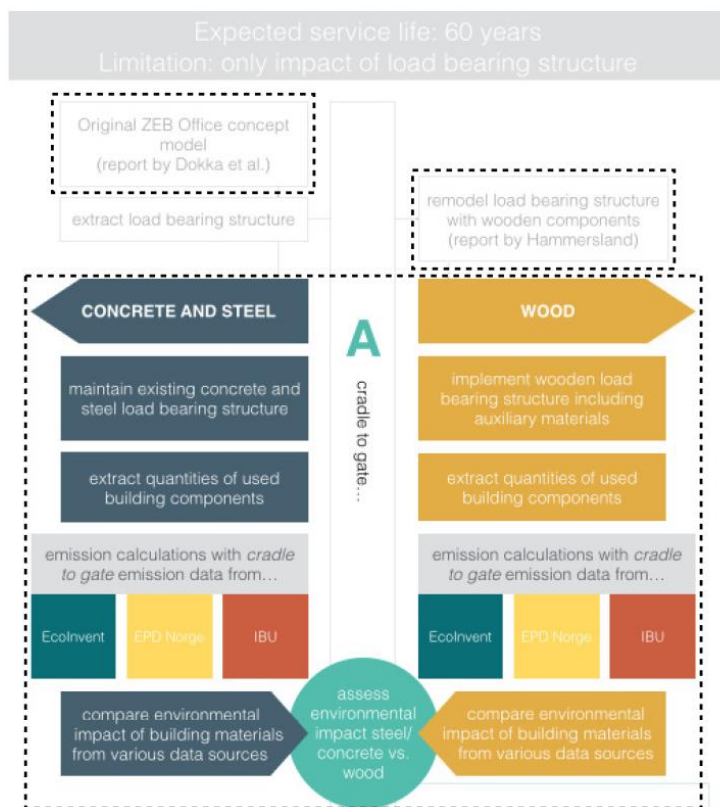
Rapporten er utviklet innen Research Centre on Zero Emission Buildings (ZEB), som er et langvarig forskningsprogram med mange aktører involvert.

### 3.2.2 Design av studien

Studien tar utgangspunkt i en tidligere studie for et konseptbygg for kontorbygg, med fokus på løsninger for lavt energiforbruk og produksjon av elektrisitet fra solcellepaneler (Dokka et al., 2013). I denne studien ble stål og betong bæresystemet sammenlignet med et bæresystem av tre med lik teknisk ytelse (oppfyller samme lyd og brann krav).

Trekonstruksjonen tar utgangspunkt i den samme konseptstudien, men er optimalisert i forhold til de faktiske planene for bygget av Hammersland (2013), se Figur 5. Her gis det rom for å velge de beste løsninger i dialog med produsent (Hammersland, 2013:11). Betong-/stålkonstruksjon er basert på konseptstudien (Dokka et al., 2013) og er en «tradisjonell» løsning som muligens kan optimaliseres også denne i dialog med produsenter og bygningsfysikere.

Hofmeister et al (2015) skriver at hensikten med studien er å sammenligne bærekonstruksjon av stål og betong mot tre for et konsept for kontorbygg med nullutslipp over livsløpet. Siden fokuset er på bærekonstruksjon, er andre bygningskomponenter (for eksempel indre og ytre vegger) og energibruk i drift utelatt fra studien. Modulene som er inkludert omfatter A1-A3, C3-C4, samt modul D. Modul D for betongprodukter er ikke inkludert. Ei heller er effekt fra karbonatisering av betong inkludert.



## PREVIOUS WORKS

1. Creation of ZEB office concept model (Dokka et al.)
2. Changed load bearing structure (Hammersland)
3. Comparison of emission data sources (Barnes Hofmeister and Thorkildsen)

Figur 5 Tidligere arbeid som grunnlag for denne studien (Hofmeister et al., 2015:7).

### 3.2.3 Datakilder

I denne studien er det brukt massivt betongdekke med tykkelse 200 mm og 265 mm. Korresponderende mengde betong benytter er 467 m<sup>3</sup>. Det vises til at det benyttes hulldekelementer i studien (Hofmeister, 2015:8). Det oppgis et forbruk på 457 m<sup>3</sup> betong som tilsvarer et forbruk av massiv betong. Dersom man benytter riktige data for hulldekker, vil en redusere betongmengden fra 457 m<sup>3</sup> til 274 m<sup>3</sup> for det samme arealet. Dette indikerer at en ikke har benyttet en optimal betongkonstruksjon i denne analysen.

## 3.3 Riksbyggen bostadsområde Viva

### 3.3.1 Innledning

Riksbyggen er en svensk utbygger som ønsket å oppnå en bærekraftig utbygging av et leilighetsprosjekt. Kurkinen et al. (2015) ble gjennomført for at Riksbyggen skulle velge hvilke materialer de skulle bruke i et boligprosjekt med høye bærekraftsmål. Dette er en spesifikk analyse av et faktisk byggeprosjekt hvor en har gått i dialog med produsenter for å sikre optimale løsninger. De sammenlignende konstruksjonene ansees å være representative både for tre og betong.

### 3.3.2 Design av studien

Studien omfatter alle moduler i henhold til EN 15978 og konkluderer at forskjellen mellom betong og massivtre er mindre enn usikkerheten. Ser man dog bare på A1-A3, som det ofte gjøres, så ligger massivtreløsningen cirka 40-45% lavere mht. klimapåvirkning enn betongalternativene. Legger man til transport av materialer (A4), vedlikehold (B2) og utskiftning (B4), så vil scenarioet for utskiftning være avgjørende. Det beste trescenarioet vil da gi cirka 25 % reduksjon og det andre scenarioet vil gi cirka 5% høyere klimapåvirkning sammenlignet med betongalternativene. Scenario 2 inkluderer tre utskifting av fasade og eksponerte bjelker, en utskifting av eksponert og 10 ganger maling med både grunning og toppstrøk. I dette scenarioet legges det opp til påføring av en helt ny dekkende grunning hvert 10. år. Dette kan det være grunn til å stille spørsmål ved, all den tid takutstikk har en stor betydning for å sikre lang levetid. Karbonatisering av betong er ikke inkludert i resultatet direkte, men med en kommentar om at det reduserer utslippet med 10 kg CO<sub>2</sub>-ekv./m<sup>2</sup> og som tilsvarer cirka 5 %.

Det vises til at den *svenske studien representerer altså en situasjon som i utgangspunktet er svært fordelaktig for betong*, Skullestad et al. (2017). Den svenske studien benytter et hulldekkement hvor betongen har en klinkerandel på 301 kg/m<sup>3</sup>. Hulldekkproducenter i Norge bruker betongsammensetninger i hulldekker med tilsvarende klinkerandeler. Noen produsenter oppgir at de har en klinkerandel på 299 kg/m<sup>3</sup> som standard til hulldekker. Tabell 1 viser oversikt over forutsetninger fra Viva-studien med kommentarer fra Spenncon om relevans i forhold til norske betongprodukter.

**Tabell 1 Betongkvalitet og klimagassutslipp fra betongvarer i Viva-studien med kommentar fra Spenncon om norske forhold**

Material Transport Energi	Deklarerad enhet	Klimatpåverkan [kg CO <sub>2</sub> -ekv./enhet]	Primärenergi [MJ/enhet]	Referens ( <b>Spenncons kommentarer i rødt</b> )
Betong prefab, innemiljø	1 m <sup>3</sup>	214,2	1680	Receipt enligt Strängbetong Vår typiske innervegg er B35,( Kl. A=210 og B = 270). Spenncon har standard 276,62, men vi er i ferd med å justere til at standard vegg klarer klasse B
Betong prefab, utemiljø	1 m <sup>3</sup>	242,1	1790	Receipt enligt Strängbetong Vår typiske yttervegg har samme betong som innervegg.
Betong prefab, håldäck	1 m <sup>3</sup>	260,2	1390	Receipt enligt Strängbetong Vår standard for HD 200 til 340 = 238,7, . Hd 400 til 520 = 257,44
Betong prefab, C 25/30 (20 % flygaska)	1 m <sup>3</sup>	223,3	1610	Receipt enligt Betonghandboken (NB37 kl A = 200, kl B = 240). Vi bruker normalt B35 (=C35/45) pga tidligfasthet.
Betong platsgjuten, Innemiljø FBLC 50	1 m <sup>3</sup>	125,8	1692	Receipt enligt Thomas Betong Miljøcement + GGBS Usikker på hva FBLC 50 betyr. Epd fra Skedsmo betong på Lavvarmebetong B45M40 med utslipp 119,81 (halvpart av kl A i NB37) viser at vi kan når vi må!
Betong platsgjuten, C25/30 30%, slagge grund	1 m <sup>3</sup>	176,2	1591	Receipt enligt Betonghandboken NB37 B25(=C25/30); kl A = 180, kl B = 220. C25 er sjelden benyttet, fant kun en fra Betong Øst på epd-norge.no med utslipp 189,9.
Betong C28/35, Plattbärlag	1 m <sup>3</sup>	213,2	2330	Receipt enligt Betonghandboken NB37 har ikke tabell for denne fastheten

I dette studien er det tatt høyde for reelle transportavstander som innebærer en kort transportavstand for betong, mens trematerialene må transporteres hele 1050 km. Transportens betydning vil bli redusert for byggeprosjekter lokalisert nærmere produksjonssted for trematerialer.

Et annet funn er at det i denne studien er en fordeling mellom massiv betong og hulldekke på 80% vs. 20%. Mest sannsynlig vil en kunne redusere massiv betongandel og øke andel hulldekker, og dermed benytte mindre betong totalt sett.

Det påpekes også at studien ikke vurderer klimagassutslipp som oppstår under avhending av materialene. Det pågår et oppfølgingsarbeid i dette prosjektet der en skal beregne og dokumentere de faktiske utslippene etter at bygget er oppført og satt i drift.

### 3.3.3 Datakilder

I denne studien er det benyttet EPD og BVD (Byggvarudeklarasjon) for produsentspesifikke data og Ecoinvent 3.0 for andre data. Datakildene ansees som relevante i denne sammenheng.

## 3.4 Høyhus i tre

### 3.4.1 Innledning

Denne studien er gjort som en del av en masteroppgave, Skullestad (2016). Den overordnede problemstillingen for masteroppgaven har vært *å undersøke potensialet for å redusere klimagassutslipp fra byggesektoren ved å bygge fleretasjes bygg og høyhus i tre.*

LCA benyttet for å beregne klimapåvirkning bærekonstruksjoner i tre og armert betong for bygg på 3, 7, 12 og 21 etasjer. LCAen er gjennomført med ulike beregningsmetoder med varierende antakelser om systemgrenser, biogent CO<sub>2</sub>, karbonatisering av betong og allokeringregler for fordeling av utslipp mellom bi-produkter og i resirkuleringskretsløp.

### 3.4.2 Design av studien

Studien er basert på tegninger fra flere bygg hvor hensikten er forskning på LCA-metode og byggekonsept. Studien omfatter en rekke scenarioer for ulike høyder og livsløpsmoduler, samt inkludering av karbonatisering og tidsjustering av biogent karbon. Studien er også vitenskapelig publisert (Skullestad et al., 2016).

Det er vanskelig å vurdere hvorvidt disse konstruksjonene er representative uten tilgang til konstruksjonstegninger. Det samme gjelder for å vurdere materialmengdene som er benyttet.

## 3.5 Composite floors in urban buildings

### 3.5.1 Innledning

Denne presentasjonen er basert på resultater fra på et prosjekt der forfatterne i utgangspunktet så på dekkeløsninger i tre (WoodSol), Skaar et al. (2017). For å sette tallene i perspektiv, så forfatterne i tillegg på en dekkeløsning i betong. Det er foretatt en vurdering av fire ulike dekker. Det ble valgt dekker som oppfylte et sett med funksjonelle krav:

spenn (7,2 meter), lyd (53 dB) og brann (REI 90).

Med begrunnelse i lydkravene, ble det valgt HD 320mm for betong. Det er antatt 5 cm påstøp for alle materialene i studien.

### 3.5.2 Design av studien

Det er valgt et hulldekke HD320 med begrunnelse med at var det lydkravene som har gjort at man måtte opp til 320mm for betong. Her mener betongekspertene at et hulldekke HD200 vil beregningsmessig tilfredsstillende både kravet til bæreevne og brann. Avhengig av oppbygging vil også lydkravet være innen rekkevidde. Den valgte hulldekkedimensjon HD320 er dermed ikke optimal.

Det er to ting som er spesielt interessant ved resultatene. Det ene er at det ikke er så voldsomt stor forskjell i klimafotsprett, når man også inkluderer lyd- og brannkrav. De er alle omtrent i samme størrelsesorden.

Det har av forfatterne blitt påpekt at dette er innledende resultater. Det er foreløpig ikke sett på andre funksjonelle krav (f.eks. økt spennvidde) eller konsekvenser for resten av bærestrukturen (det er stor forskjell i vekt per m<sup>2</sup> for de fire dekkene). For betongdekket vil jo spennvidden kunne økes betydelig, uten at konstruksjonen må endres. For tredekkene må det nok inn mer materialer hvis spennvidden økes, for eksempel i bjelkene. Her er det behov for ytterligere studier.

Ser en bort fra valg av HD320 kontra HD 200 er dette en godt designet studie innenfor det scope forfatterne har valgt. Derimot er ikke studien egnet til å generalisere og være allmenngyldig for materialvalg i dekker. Det har av forfatterne blitt påpekt at dette er innledende resultater. Denne studien viser innledende resultater, hvor forfatterne har påpekt at de ikke har sett på andre funksjonelle krav (f.eks. øket spennvidde) eller konsekvenser for resten av bærestrukturen (det er stor forskjell i vekt per m<sup>2</sup> for de fire dekkene). For betongdekket vil spennvidden kunne økes betydelig, uten at konstruksjonen må endres. For tredekkene må det nok inn mer materialer hvis spennvidden økes, for eksempel i bjelkene. Her er det behov for ytterligere studier ifølge forfatterne.

### 3.5.3 Datakilder

I denne studien er det benyttes EPD for betong. Datakildene ansees som representative i denne sammenhengen. Resultatene er basert på publiserte EPDer hos EPD-Norge, hvor det er regnet ut et snitt, funnet maks/min.-verdier og regnet ut en sannsynlig fordeling med tilhørende standardavvik.

Et spesielt interessant funn i denne studien er betydningen av spesifikke datasett for produktene (spesifikke EPDer). Resultatene viser at det er stor forskjell på sluttresultatet for alle de fire dekkene, avhengig av hvilke spesifikke produkter som velges. Valg av produkt og produsent kan halvere eller doble klimagassutslippet i forhold til generiske verdier.

## 4 Sammenligning av metodikk i studier

De ulike LCA aspektene som ble drøftet innledningsvis i kapittel 2 og for hver casestudie i kapittel 3 er her oppsummert i Tabell 2.

**Tabell 2: Oppsummering av utvalgte LCA-aspekter i noen av de casestudiene**

Studie	Hensikt og omfang bygg	Systemgrenser, like moduler	(Overordnet) samsvar med EN 15978	Materialdata	Karbonatisering og biogent karbon
Hofmeister (2015)	Bærekonstruksjon	A1-A3, C3-C4, D (D kun for tre)	Varierende grad. Svak på modularitet og rapportstruktur	Bare generisk - Ecoinvent v2.2	Verken karbonatisering eller biogent karbon
Kurkinen et al (2015)	Bærekonstruksjon, ytre- og innervegger, fundamentering, svalganger og balkonger	A1-A3, A4, A5, B2, B4, B6, C1	Meget bra rapportstruktur og modularitet.	Mye spesifikt - Byggevaredeklarasjoner	Karbonatisering i bruk (B1) beregnet for seg.
Skullestad (2016)	Bærekonstruksjon, fundament	A1-A3. Scenario med D. B1 karbonatisering i scenario 1 og 2.	Mer forskningsorientert rapport. Modularitet i resultater. Lite transparent LCI. Ett av casene bruker konsekvens-LCA	Blandet spesifikt og generisk – EPD og Ecoinvent	Scenarioer med og uten karbonatisering og tidsjustering av biogent karbon
Strekerud (2017)				Blandet spesifikt og generisk – EPD og Ecoinvent	Scenario for tre med biogent karbon nøytralt og

Tabell 2 viser at materialdata varierer med de ulike studiene og siden disse kan ha stor effekt på resultatene. Data brukt for produksjon av hovedmaterialer kan ha stor betydning for resultatene. Slike data kommer i studiene stort sett fra EPD eller databasen Ecoinvent. Få av studiene viser hvilken betydning usikkerheten i materialdata har for resultatene.

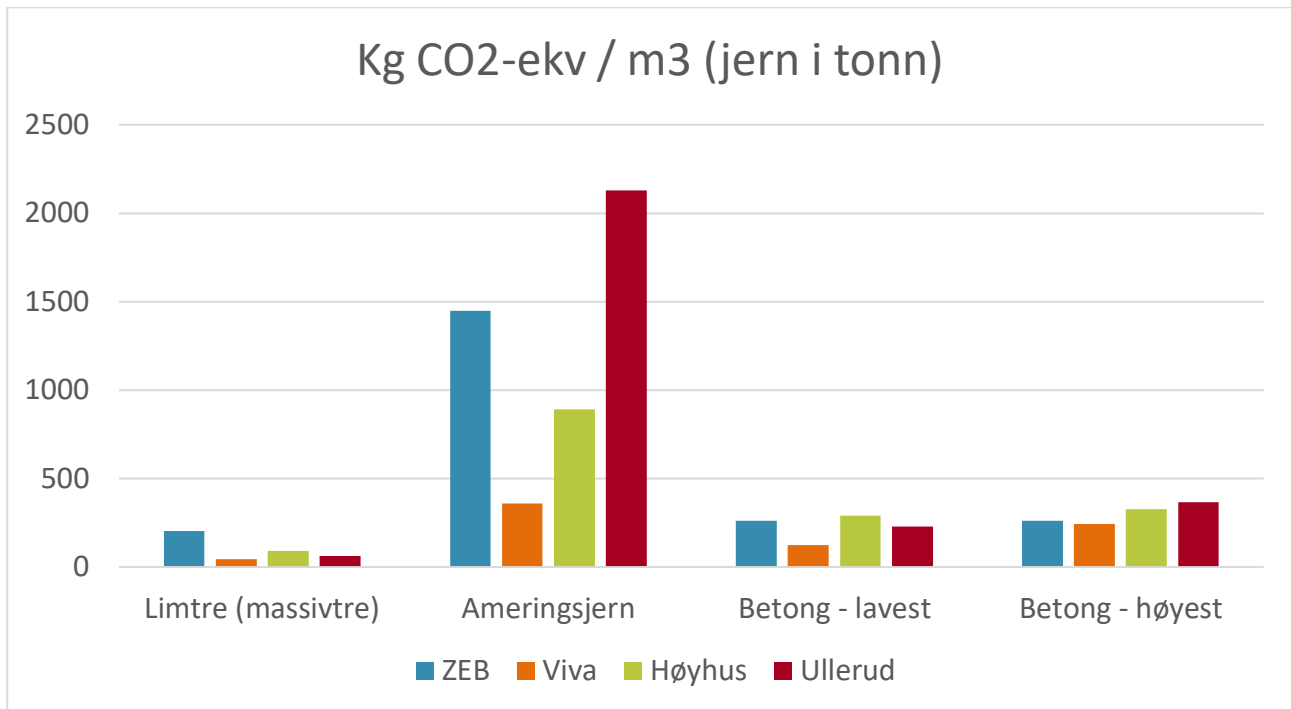
I Tabell 3 er det foretatt en sammenligning av klimagassutslipp fra hovedmaterialene i noen utvalgte studier og hvor Figur 6 viser variasjon for noen ulike studier.

**Tabell 3: Sammenligning av data brukt for klimagassutslipp fra hovedmaterialer**

Materiale	Studie	GWP A1-A3*	Enhet	Kilde	Kommentar
Konstruksjonsvirke	Hofmeister (2015)	104	kg CO <sub>2</sub> -ekv./m <sup>3</sup>	Ecoinvent	
	Kurkinen et al (2015)	17,6		Miljöfakta om trä (1999)	
	Skullestad (2016)				
	Strekerud (2017)				
Limtre	Hofmeister (2015)	205	kg CO <sub>2</sub> -ekv./m <sup>3</sup>	Ecoinvent	
	Kurkinen et al (2015)	45		BVD Martinsons	
	Skullestad (2016)	91		EPD MLT	
	Strekerud (2017)				
Massivtre	Hofmeister (2015)	-	kg CO <sub>2</sub> -ekv./m <sup>3</sup>		
	Kurkinen et al (2015)	57		BVD Martinsons	
	Skullestad (2016)	104			
	Strekerud (2017)	62		EPD BSP Holz	Tyskland
Armeringsjern	Hofmeister (2015)	1450	kg CO <sub>2</sub> -ekv./tonn	Ecoinvent	
	Kurkinen et al (2015)	360		EPD Celsa	
	Skullestad (2016)	890			Norden
	Strekerud (2017)	2130		Ecoinvent v3	Globalt
Huldekker	Hofmeister (2015)		kg CO <sub>2</sub> -ekv./m <sup>3</sup>		
	Kurkinen et al (2015)	260			
	Skullestad (2016)				
	Strekerud (2017)				
Betong prefab	Hofmeister (2015)		kg CO <sub>2</sub> -ekv./m <sup>3</sup>		
	Kurkinen et al (2015)	214-242			
	Skullestad (2016)				
	Strekerud (2017)				
Betong plasstøpt	Hofmeister (2015)	261	kg CO <sub>2</sub> -ekv./m <sup>3</sup>	Ecoinvent	
	Kurkinen et al (2015)	125-213			
	Skullestad (2016)	291-326			C25/30-C35/45
	Strekerud (2017)	228-367		Ecoinvent v3	Normal/fundament

\* for trematerialer er biogent karbon beregnet med umiddelbar oksidasjon siden kun A1-A3 er med.





**Figur 6** Variasjon i utslipp for ulike byggematerialer i noen utvalgte studier.

## 5 Oppsummering

Vi som jobber med miljøanalyser av bygg daglig, ser at LCA-studier ofte legges til grunn for å forfekte at et material er bedre enn et annet og medieoppslagene bekrefter dette. I denne gjennomgangen av de valgte studiene viser noen analyser at bygg i tre gir betydelig lavere klimapåvirkninger enn bygg i betong, noen konkluderer med at betong og tre gir omtrent samme resultat for klimagassutslipp, mens andre viser til svært store potensielle forbedringer for klimagassutslipp knyttet til betongbygg hvis man tar i bruk oppdaterte verdier i beregningene.

Gjennomgangen viser at det er viktig å velge de forutsetningene som er mest representative for prosjektet man vurderer. Som regel er studiene knyttet til konkrete bygg hvor man ønsker å vurdere avgrensede problemstillinger. Hva som regnes som de mest miljøvennlige valgene avhenger både av konteksten for hvert enkelt bygg, og hvordan beregningene gjøres. For å vurdere dette, trengs solide fagvurderinger og diskusjon rundt hvordan vi skal stille gode spørsmål for å få svar på det vi ønsker å vite.

Diskusjonene i media viser at det er et ønske om å trekke generelle konklusjoner på bakgrunn av eksisterende studier. Det kan være mange grunner til det. Det som er spesielt problematisk er at det etterlatte inntrykket av studier som legges til grunn for å forfekte et bestemt standpunkt er at konklusjonene er allmenngyldige. Det kreves grunnleggende kompetanse knyttet til LCA for å kunne vurdere resultatene i sin kontekst. Skullestad et al. (2016) påpekte i artikkelen at *svarene i en enkelt LCA er ikke gyldige for alle sammenhenger, og derfor er det risikabelt å trekke generelle slutninger basert på enkeltstående vurderinger.*

Det å utføre LCA av byggverk krever grunnleggende kompetanse. LCA anvendes til å vurdere miljøprofilen for hele bygget og som igjen gjør det mulig å simulere konsekvenser ulike valg/endringer kan ha sett i lys av å redusere miljøbelastning. Derfor er tilgjengelig kunnskap om konstruksjoner, objektet som skal vurderes, en forutsetning for gode LCA-studier. LCA-studien må inkludere de tekniske og taktiske vurderinger av designet slik at en kan optimalisere bygget også når det gjelder klimagassutslipp. Ved hjelp av LCA kan man finne den mest optimale kombinasjonen av ulike byggematerialer som gir lavest mulig total miljøpåvirkning for spesifikke bygg. Det er ingen tvil om at kompetanse om bygningsfysikk er særs viktig for å utforme relevante LCA-studier.

Vår hensikt er ikke først og fremst å argumentere for at et av materialene bør ha forrang foran et annet og derigjennom å bidra til å forsterke «materialkrigen» i byggenæringen, men vil påpeke at det er et mangelfullt og lite omforent kunnskapsgrunnlag for vurdering av miljø- og klimagode bygg og herunder byggematerialer. Alle materialene kan benyttes på måter som gir gode og miljøvennlige bygg, og ved hjelp av LCA kan man finne den mest optimale kombinasjonen av ulike byggematerialer som gir lavest mulig total miljøpåvirkning. For å få dette til, må man involvere LCA-kompetanse i det faktiske byggeprosjektet og i tverrfaglig samarbeid. Dette støttes av Skullerud et al. som i artikkelen i bygg.no trekker fram følgende:

*Vi ønsker å trekke debatten videre i retningen artikkelen på bygg.no også er inne på, nemlig at hva som regnes som de mest miljøvennlige valgene avhenger både av konteksten for hvert enkelt bygg, og hvordan beregningene gjøres. For å vurdere dette, trengs solide fagvurderinger og diskusjon rundt hvordan vi skal stille gode spørsmål for å få svar på det vi ønsker å vite.*

Forskningsrådet utlyser til høsten ut 48,5 millioner kroner til 1-3 kunnskapsplattformer for klimapolitiske virkemidler (KKV) med varighet fire år. Kunnskapsplattformene skal bidra til å redusere usikkerhet om hvilken klimapolitikk som fører til reduksjon av utslipp og opptak av klimagasser. Slik sett er det en tydelig forventning om at de skal bidra til å oppfylle regelverket i Klimaloven. Vi anbefaler at det forsøkes etablert en slik kunnskapsplattform bredt i byggenæringen for å sikre faktabasert kunnskap til utforming av virkemidler knyttet til klimapolitikken overfor byggenæringen og det bygde miljø.

## 6 Litteraturliste

Dokka, T.H. et al. (2013), *A zero emission concept analysis of an office building*. Oslo: SINTEF Academic Press

Engelsen, C. J., Justnes H. (2014): CO<sub>2</sub> binding by concrete. Summary of the state of the art and an assessment of the total binding in by carbonation in the Norwegian concrete stock, Sintef Byggforsk, SINTEF report SBF2014A0019.

Hofmeister, T. B., Kristjansdottir, T., Time, B., Wiberg, A. H. (2015), Life Cycle GHG Emissions from a Wooden Load-Bearing Alternative for a ZEB Office Concept, ZEB Project report 20-2015, Oslo: SINTEF Academic Press.

Kurkinen, E-L., Norén, J., Peñaloza, D., Al-Ayish, N., During, O. (2015). Energi och klimateffektiva byggsystem. Miljövärdering av olika stomalternativ. SP Rapport 2015:70, Borås: Sp Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

Nordby, A. S., Solli, C., Dahlstrøm, O. (2015), *Husbanken. Helhetlig miljøvurdering av byggematerialer*, Oppdrag 536607, Asplan Viak, Oslo.

Rønning, A. (2017). Travels with LCA. The evolution of LCA in the construction sector. PhD thesis. University of Aalborg.

Rønning, A.; Nereng, G.; Vold, M.; Bjørberg S.; Lassen, N. (2007): "JOMAR - A Model for Accounting the Environmental Loads from Building Constructions", OR.07.07, STØ, Fredrikstad.

Skullestad, J. L. (2016). *Bygging av høyhus i tre som et klimatiltak. En sammenliknende LCA av bæresystemer i tre og betong for bygg med varierende antall etasjer*, Masteroppgave, Trondheim: NTNU.

Skullestad, J. L., Bohne, R. A., Lohne, J. (2016). High-Rise Timber Buildings as a Climate Change Mitigation Measure – A Comparative LCA of Structural System Alternatives. *Energy Procedia*, 96, pp. 112-123.

Skullestad, Fuglseth, M., Dahlstrøm, O. (2017), Tre og betong ikke alltid like gode, lastet fra <http://www.bygg.no/article/1323407>

Strekerud, I. M. (2017), *Forskjeller i miljøpåvirkninger gjennom livsløpet til Ullerud Helsebygg som følge av valg mellom bærende konstruksjon i massivtre eller stål og betong*, Masteroppgave, Ås: NMBU.