

# **Svartlamon mulighetsstudie; bærekonstruksjon og ombruk**

Svartlamon Feasibility Study; Support Structure  
and Reuseable Materials

**Trondheim Mai 2021**

Charlotte K. Hay  
Elise J. Frivoll  
Maia D. Ackre

Intern veileder:  
Robert Mortensen

Ekstern veileder:  
Bjørnar Hamstad og Elisabeth Wærnes

Prosjektnr:  
2021- 10

Rapporten er ÅPEN



Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for bygg- og miljøteknikk

## **Problemdefinering/prosjektbeskrivelse og resultatmål**

I samarbeid med Multiconsult skal gruppen utarbeide modeller for bærekonstruksjoner. Klimagassregnskap skal utarbeides for de ulike konstruksjonssystemene og kostnaden knyttet til de ulike systemene tas i betraktning. Her skal muligheter for ombruk av materialer vurderes og hvordan dette kan påvirke klimagassregnskapet, økonomien og mulighet for selvbygging. Det blir også gjort rede for hvilken dokumentasjon som er nødvendig ved ombruk av materialer innenfor og utenfor samme organisasjon. Til sist presenteres en «beste løsning» basert på de ulike aspektene vurdert i oppgaven.

### Resultatmål:

- *Prosjektare bæresystemet til Strandveien 27A i bindingsverk, massivtre og stål/betong, med to alternativer til betong; prefabrikkert betonghulldekkje og plasstøpt betong. Prosjekteres i henhold til TEK17, med fokus på krav til brann og lyd. Prosjekteres i samarbeid med Multiconsult, men eget og andres arbeid skal skilles.*
- *Beregne klimagassregnskap for overnevnte valg, som dekker fasene A1-A3 og B4, ved hjelp av NS3720 Metode for klimagassregnskap i bygninger.*
- *Utføre livsløpsanalyse av bygget for alternativene bindingsverk, massivtre og alternativene med stål/betong ved å bruke klimagassregnskap som nevnt over. Resultatene sammenlignes og kommenteres. Livsløpsanalysen utføres ved bruk av OneClick LCA.*
- *Prissette bæresystemet for bindingsverk, massivtre, stål/betong. Prissettes på samme «nivå», f.eks. ved bruk av Norsk Prisbok eller lignende databaser. Resultatene sammenlignes og kommenteres.*
- *Resultatene fra livsløpsanalysen og prisberegning presenteres sammen og kommenteres med en anbefaling av «beste løsning».*

### Stikkord:

Konstruksjon, klimagassregnskap, ombruk, sirkulær økonomi, livsløpsanalyse (LCA), kostnad, Svartlamon byøkologisk forsøksområde

### Keywords:

Construction, carbon accounting, reusable materials, circular economy, life cycle analysis (LCA), economy, Svartlamon urban ecological research area

## Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet som den avsluttende oppgaven for en bachelorutdanning ved Institutt for bygg- og miljøteknikk (IBM) ved Norges teknisk-naturvitenskaplige universitet (NTNU) i Trondheim. Oppgaven er utarbeidet av studenter som har gått studieretningen husbygningsteknikk. Arbeidet er utført i perioden fra januar til mai 2021, og oppgaven tilsvarer 20 studiepoeng.

Oppdragsgiver for bacheloroppgaven er Multiconsult Norge AS. Bakgrunn for valg av oppgave er først og fremst interesse for bærekraftige og miljøvennlige bygg, og å få ta del i et innovativt prosjekt. Videre har interessen for sirkulær økonomi og ombruk vært avgjørende for valg av oppgave. For gruppen var målet å komme med et godt bidrag i prosessen mot en mer bærekraftig bransje. Gjennom prosjektet har gruppen tilegnet seg god faglig forståelse og fått innsyn i et tema som har et økende fokus i dagens samfunn. Dette er noe vi tar med oss videre.

Det rettes en stor takk til våre eksterne veiledere i Multiconsult; Elisabeth Wærnes og Bjørnar Hamstad, som har inkludert oss i dette prosjektet og gitt oss et innblikk i sin arbeidshverdag. Vi takker Robert Mortensen, vår interne veileder ved NTNU, for gode råd og tilbakemeldinger gjennom hele prosessen. Videre ønsker gruppen å takke Eirik Rudi Wærner (RIM, miljørådgiver i Multiconsult) som tok seg tid til et utdypende intervju. Gruppen vil også gi en takk til Alise Plavina (miljørådgiver i PIR2 og involvert i Strandveien 27A), Erla Christine Gudding (sivilingeniør konstruksjonsteknikk i Multiconsult), Arne Mathias Selberg (universitetslektor for institutt for konstruksjonsteknikk) og Kathrine E. Standal (daglig leder i Svartlamon boligstiftelse). Til slutt vil gruppen takke hverandre for et godt samarbeid. Det har vært utfordrende å ikke kunne møte hverandre i like stor grad i løpet av hele perioden på grunn av Covid-19, men har likevel fått til et godt samarbeid og synes vi har kommet fram til et resultat som vi er stolte av å presentere.

Trondheim, 18. Mai 2021.

Charlotte Sol K. Hay

Charlotte Sol K. Hay

Elise J. Frivoll

Elise J. Frivoll

Maia D. Ackre

Maia D. Ackre



## **Abstract**

The construction industry today accounts for large proportions of greenhouse gas emission. In recent years there has been an increased interest in sustainable buildings and a shift towards a circular economy.

This bachelor thesis involves a feasibility study surrounding the supporting construction on Strandveien 27A. The plot is situated in an alternative district, Svartlamon, in Trondheim. Five different models are presented; Solid Wood, Construction Timber, I-beams, Concrete and Precast Concrete Slabs with Steel Columns and Beams in which reuse of concrete and/or steel is considered in the last stated.

The models are weight against each other based on greenhouse gas emission, cost and requirements presented by the residents. The residents' requirements concern the possibility for involvement in the construction process and use of reused or environmentally friendly materials. The project also relies on support from Enova.

Results from this study show that the timber constructions have considerably less greenhouse emission than the Concrete construction. Using reused concrete and/or steel also lowers the environmental impact. Solid Timber has the highest cost followed by Construction Timber, I-beams and the concrete constructions.

The recommendation is a supporting construction using I-beams, with glulam columns and beams. However, if there is a possibility to reuse precast concrete slabs or steel, this should be strongly considered.

# Innhold

<b>Forord .....</b>	<b>i</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>iii</b>
<b>Kapittel 1 Introduksjon .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Bakgrunn .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Problemstilling.....</b>	<b>2</b>
1.2.1 Forutsetninger og avgrensning.....	3
<b>Kapittel 2 Teoretisk grunnlag .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Klima .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Regelverket .....</b>	<b>5</b>
<b>2.3 Ombruk .....</b>	<b>6</b>
2.3.1 Regelverket ved ombruk av byggevarer .....	6
2.3.2 Tre.....	7
2.3.3 Stål .....	7
2.3.4 Betong.....	8
<b>2.4 Sirkulær økonomi.....</b>	<b>8</b>
2.4.1 EPD.....	9
<b>Kapittel 3 Konstruksjonsprinsipper.....</b>	<b>10</b>
<b>3.1 Sammenlikningsgrunnlag .....</b>	<b>10</b>
3.1.1 Grunnlagsdata .....	10
3.1.2 Laster .....	11
3.1.3 Avstivning .....	11
3.1.4 Fundament.....	12
3.1.5 Limtre.....	13
3.1.6 Stenderverk .....	13
3.1.7 Lydkrav.....	13
3.1.8 Brannkrav.....	13
<b>3.2 Konstruksjonsalternativer .....</b>	<b>14</b>
3.2.1 Massivtre .....	14
3.2.2 Konstruksjonsvirke.....	16
3.2.3 I-bjelker.....	18

3.2.4	Plasstøpt betong.....	19
3.2.5	Hulldekke og stål.....	20
<b>Kapittel 4</b>	<b>Programvare .....</b>	<b>22</b>
4.1	Autodesk Revit .....	22
4.2	Simplebim .....	22
4.3	Excel.....	22
4.4	One Click LCA.....	23
4.5	Colbeam EC3.....	24
4.6	Norsk prisbok.....	24
<b>Kapittel 5</b>	<b>Resultater .....</b>	<b>25</b>
5.1	LCA.....	25
5.2	Prisberegning.....	26
5.3	LCA resultater .....	27
5.3.1	Massivtre .....	27
5.3.2	Konstruksjonsvirke.....	28
5.3.3	I-bjelker .....	29
5.3.4	Plasstøpt betong.....	30
5.3.5	Hulldekke og stål.....	31
<b>Kapittel 6</b>	<b>Diskusjon .....</b>	<b>33</b>
6.1	Diskusjon av resultater.....	33
6.1.1	Klimagassberegninger.....	33
6.1.2	Kostnad .....	34
6.1.3	Sammenlikning av kostnad og klimagassutslipp .....	35
6.2	Diskusjon av metode.....	35
6.2.1	Sammenlikning av bæresystemene.....	36
6.3	Feilkilder.....	41
6.3.1	Beregninger .....	41
6.3.2	One Click LCA .....	41
6.3.3	Norsk Prisbok.....	42
<b>Kapittel 7</b>	<b>Konklusjon .....</b>	<b>43</b>
<b>Kapittel 8</b>	<b>Veien videre.....</b>	<b>44</b>

<b>Kapittel 9</b>	<b>Avvik.....</b>	<b>45</b>
9.1	AVVIK 1 .....	45
9.2	AVVIK 2 .....	45
<b>Kapittel 10</b>	<b>Figurer .....</b>	<b>47</b>
<b>Kapittel 11</b>	<b>Referanser .....</b>	<b>49</b>
<b>Kapittel 12</b>	<b>Vedleggsliste .....</b>	<b>54</b>



# Kapittel 1      Introduksjon

## 1.1 Bakgrunn

I 2001 ble Svartlamon boligstiftelse opprettet av Trondheim Kommune som en non-profit stiftelse (Rosvold, 2020). For å unngå rivning av området var det en pågående kamp gjennom 90-årene ledet av eldre beboere og godt støttet av studenter. Protestaksjonene trakk også med seg flere kulturpersonligheter som Håkon Bleken og Håkon Gullvåg. I 1996 dekorerte de en hel gavlvegg og flere sjablonger, noe som gjorde husene verneverdige. Prosessen som var i gang endte med at området ble omregulert til boligformål (Kortreist kvalitet, 2019).

Stiftelsens høyeste organ er styret, som består av tre personer som er valgt av formannskapet og to som er valgt av beboerforeningen. For å sikre medvirkning er beboerforeningens representanter svært viktige, og deres innspill vektlegges svært høyt. Fellesskapsfølelsen står i sentrum, og de har stor grad av brukerinvolvering. Svartlamon har en egen reguleringsplan som definerer området som et byøkologisk forsøksområde, vedlegg 3. Reguleringsplanen er utarbeidet i samarbeid mellom Trondheim kommune og beboerforeningen, der all grunn og de fleste husene eies av Trondheim kommune. Området hadde stått i 70 år med forfall og manglende vedlikehold da stiftelsen overtok. Alt av ansvar for brann, offentlige pålegg, rehabilitering og vedlikehold fraskrev Trondheim kommune seg (Kortreist kvalitet, 2019).

I Svartlamon sine vedtekter står det at det skal utvikles og utprøves nye bærekraftige og energieffektive løsninger innen forvaltning, rehabilitering og nybygg slik at områdets egenart ivaretas. Videre står et lavt kostnadsnivå i fokus, som gir mulighet for at flest mulig kan bo der. Også på velferdsområdet jobber de aktivt med å prøve ut ulike løsninger og modeller for å sikre området som byøkologisk forsøksområde. Vedtektene understreker at formålet om å utvikle bærekraftige løsninger gjelder kulturelt, økologi, forvaltningsmessig, historisk, økologi, sosialt, boligmessig og brukermedvirkning (Kortreist kvalitet, 2019).

Svartlamon har tiltrukket seg mye oppmerksomhet og vunnet en rekke priser for sine prosjekter gjennom sine forsøk på å demonstrere verdien av nøysom ressursbruk, samarbeid i byggeprosessen og kreativitet i ombruk. Prosjektene er bærekraftige, består av lite ressursløsende løsninger og bidrar til inkluderende omgivelser (Lien, 2014).

Høyhuset som ble ferdigstilt i 2005 på Svartlamon, var det første norske bygget med tittelen «verdens høyeste trehus». Brendeland & Kristoffersen arkitekter (Nordbø, 2018) tok i bruk en ny byggeteknologi og skapte en ny generasjon trehus. Et annet eksempel er de fem selvbygde eksperimentboligene. Tilrettelegging for selvbygging og egeninnsats under hele prosessen resulterte i fem boliger med en kvadratmeterpris på under en femtedel av markedspris og et rikt og variert bomiljø (NØYSOM arkitekter, u.d.).

Tomten som ønskes utviklet er regulert til boligformål med forretning og kontor i 1.etg/sokkel ut mot Strandveien. Bygget er et høyere og mer kompleks bygg enn andre prosjekter på Svartlamon. Det er dermed behov for å utrede mulige løsninger som kan muliggjøre utviklingen av tomten ved å senke materialkostnader ved ombruk og/eller selvbygg, samtidig som bygget får et lavt klimagassutslipp. I denne forbindelse ble det sendt søknad til Enova om midler til å utrede ulike konsepter for prosjektet innen de tre emnene energisystem, materialer og arealeffektivitet. Energisystem tar for seg energiløsninger og deling av fornybar energi mot nabobygg. I material-emnet, som denne bacheloroppgaven er knyttet til, ses det på utslippsreducerende tiltak i kombinasjon med selvbygg og hvordan man kan løse dette når konstruksjonen krever profesjonelle aktører. Areal-gruppen tar for seg arealeffektive boformer og brukermedvirkning i utforming av bygget.

## 1.2 Problemstilling

I samarbeid med Multiconsult skal gruppen utarbeide modeller for bærekonstruksjoner basert på volumstudie laget av arkitekt Johanna Gullberg. Med utgangspunkt i dette volumstudiet, Figur 1, ble et mulig volum laget i BIM-verktøy. Modellene til gruppen tok utgangspunkt i denne.

Klimagassregnskap skal utarbeides for de ulike konstruksjonssystemene ved bruk av One Click LCA. I tillegg til dette skal kostnaden knyttet til de forskjellige systemene tas i betraktning. Her skal



Figur 1: Volumstudie av Strandveien 27A. Laget av Johanna Gullberg

muligheter for ombruk av materialer vurderes og hvordan dette kan påvirke klimagassregnskapet, økonomien og mulighet for selvbygging. Det blir også gjort rede for hvilken dokumentasjon som er nødvendig ved ombruk av materialer innenfor og utenfor samme organisasjon. Til sist presenteres en «beste løsning» basert på de ulike aspektene vurdert i oppgaven.

### **1.2.1 Forutsetninger og avgrensning**

I prosjektet har gruppen valgt å begrense oppgaven ved å se på bæresystemet, og utelukker dermed andre elementer som fasader, innervegger etc. Det antas at valg av bærekonstruksjon ikke påvirker videre bruk av materialer. Selv uten tilgang til geoteknisk rapport fra Rambøll, er det antatt at oppgitt tegningsgrunnlag, målinger og geoteknisk informasjon er tilstrekkelig.

Ved utforskning av muligheten til ombruk fra Granåsen og Institutt for Marin Teknikk er det gjort antakelser når det gjelder mengder, dimensjoner og kvalitet ved modellering. Selv om ombruk fra Granåsen og Institutt for Marin Teknikk ikke er en reel mulighet på grunn av prosjektenes forløp, gir mulighetsstudien nyttig informasjon om potensialet som ligger i ombruk av materialer.

Avgrensningene og antakelsene er gjort for å få en mest mulig realistisk sammenlikning av de ulike bærekonstruksjonene i tidligfasen av prosjektet. Det er antatt at beregningene som er lagt til grunn for dimensjonering, og dermed materialforbruk, er realistiske og gir et virkelighetsnært grunnlag for videre miljø- og kostnadsberegninger. Da hensikten med oppgaven er å sammenligne konstruksjonsprinsipper, vil forenklinger som er gjort konsekvent gjennom hele oppgaven ikke ha stor påvirkning på resultatet. Merk at forenklingene må tas hensyn av hvert enkelt konstruksjonsprinsipp.

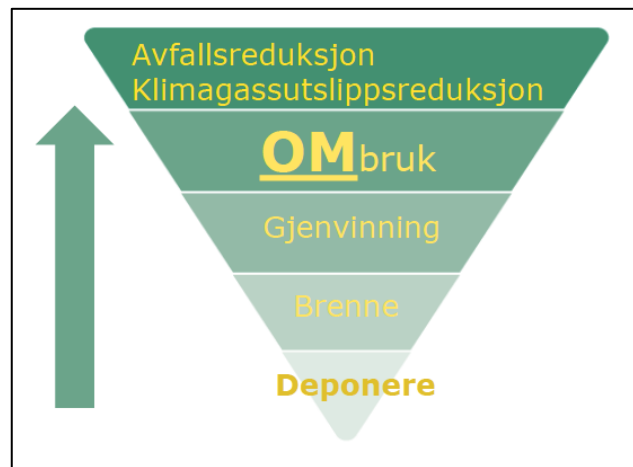
## Kapittel 2 Teoretisk grunnlag

### 2.1 Klima

Verden står ovenfor store klimautfordringer, og bygg- og anleggsbransjen bidrar med opptil 40% av verdens klimagassutslipp (Norsk klimastiftelse, u.d.). I Norge er 80% av utslippene fra byggesektoren knyttet til materialbruk og byggearbeid. Halvparten av disse skyldes import. Dersom satsningen går i en sirkulær retning, byggeplassene blir fossilfrie og det brukes materialer med lavt klimafotavtrykk, så kan utslippene reduseres med 50% (Haanes, 2021).

Bygningsmassene i verden ekspanderer raskere enn noen gang før (Norsk klimastiftelse, u.d.). Byggenæringen genererer enorme mengder avfall, og er blant enkeltnæringene som utgjør størst samlet andel av utslippene i Norge (Hegnes & Walbækken, 2020). Dagens avfallshåndtering medfører store utslipp og forurensning. Bygg har et langt livsløp, likevel kommer størsteparten av utslippene til et bygg allerede før det er ferdigstilt (Stiftelsen for Kildesortering og Gjenvinning, 2018). Figur 2 viser avfallshierarkiet og prioriteringen i norsk avfallspolitik. Målet er at avfallet skal behandles så nære toppen som mulig.

Som et skritt i riktig retning mot et grønt skifte har Norge satt som klimamål å redusere utslippene med minst 50% innen 2030 (Klima- og miljødepartementet, 2020). Innen 2050 skal klimagassutslippene reduseres ytterligere til 80-95%. Prosenttallene er basert på utslippene i referanseåret 1990 (Miljødirektoratet, 2021). Bygg og anlegg er en sentral del av vårt moderne samfunn.



Figur 2: Avfallspyramide (Venås, 2021).

Byggebransjen må derfor være mer bevisst i sine klima- og miljøbidrag. Klimakrav til bygg har et økende fokus, og EPD'er og annen miljø-sertifisering som BREEAM er viktige bidrag i dagens utvikling og veien mot en sirkulær bransje (Larsen, 2019).

## 2.2 Regelverket

Senioringeniør i Direktoratet for byggkvalitet (DiBK), Ingunn Marton (2019), viser til at dagens regelverk skal sikre god kvalitet på bygg og at byggverk skal være trygge å oppholde seg i. Dette innebærer krav til konstruksjonssikkerhet, brannmotstand, innhold av helse- og miljøskadelige stoffer, inneklima og bærekraftighet. Det er hovedsakelig to regelverk som skal følges; Teknisk forskrift (TEK17) og Byggevareforskriften (Forskrift om dokumentasjon om byggevarer, DOK).

TEK17 stiller tekniske krav til byggverket og omhandler blant annet konstruksjonssikkerhet, brannmotstand og U-verdi. Disse kravene må etterkommes i prosjektering- og byggfase. TEK17 gjelder altså de som bygger eller prosjekterer.

DOK stiller krav til dokumentasjon og omsetning av byggevarer og må etterkommes av produsentene. Med omsetning menes bytte av eier. Altså gjelder DOK dersom byggevaren selges eller gis bort. Byggevareforordningen, kapittel 2 i DOK, er innført i norsk rett og fastsetter krav til CE-merkede byggevarer. CE-merkede byggevarer kan fritt omsettes i EU og EØS og viser til at byggevaren samsvarer med byggevareforordningen.

Ifølge byggevareforordningen er det to måter å oppnå CE-merking:

(1) CE-merket er obligatorisk for alle byggevarer som er dekket av en harmonisert produktstandard. De harmoniserte standardene beskriver hvilke egenskaper som er relevante for byggevaren og hvordan dette skal dokumenteres. Dette omfatter blant annet takstoler, betongelementer, vinduer og gipsplater.

(2) For byggevarer som ikke dekkes av en harmonisert produktstandard er CE-merking frivillig og kan oppnås ved å skaffe en europeisk teknisk vurdering (ETA).

Kapittel 3 i DOK stiller også krav til byggevarer som ikke er CE-merket. Disse er noe enklere å oppfylle enn ved krav om CE-merking. Det stilles ingen kvalitetskrav, men det kreves dokumentasjon av vesentlige egenskaper ved bytte av eier. DOK § 10 oppgir 7 egenskaper:

1. Mekanisk motstandsevne og stabilitet
2. Brannsikkerhet
3. Hygiene, helse og miljø
4. Sikkerhet og tilgjengelighet ved bruk
5. Vern mot støy

6. Energiøkonomisering og varmeisolering
7. Bærekraftig bruk av naturressurser

Et produkt trenger kun å dokumentere de egenskapene som er vesentlige for bruken. Det er i utgangspunktet tilstrekkelig å kun dokumentere en egenskap, men da vil denne byggevaren ha begrenset bruk (Direktoratet for byggkvalitet, 2010).

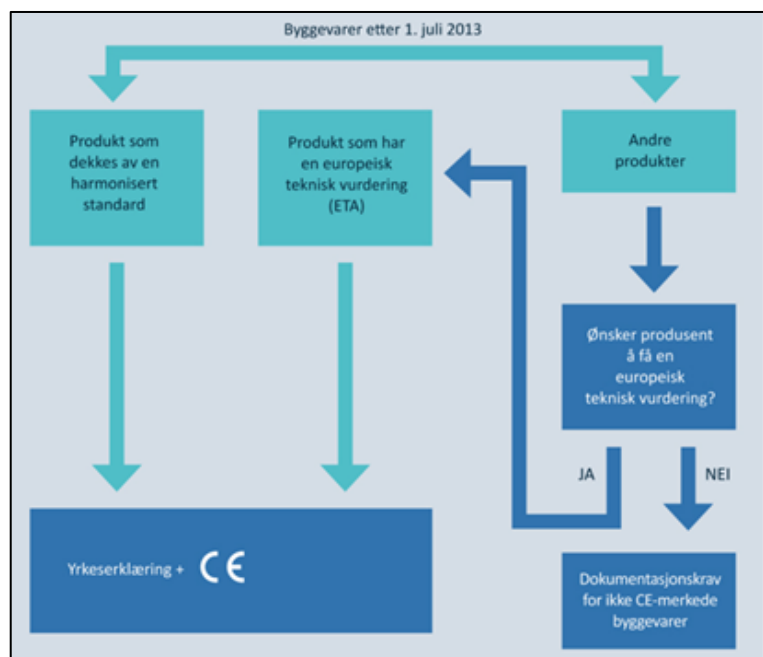
Det finnes unntak hvor det ikke er nødvendig med CE-merking og ytelseserklæring. Dette gjelder byggevarer produsert etter tradisjonelle metoder (som offentlig vernede byggverk), spesialproduserte byggevarer eller byggevarer produsert på byggeplass (Marton, 2019). I reguleringsplanen for området, vedlegg 3, åpnes det for fravik av regelverket dersom dette ikke går ut over konstruksjonssikkerhet og brannsikkerhet. Her kan det derfor være mulig å få fritak for dokumentasjon på ombruksmaterialer.

## 2.3 Ombruk

### 2.3.1 Regelverket ved ombruk av byggevarer

Regelverket krever dokumentasjon til alle byggevarer som omsettes. Byggevareforskriften som gjelder i dag, ble først vedtatt i 2013 og erstattet byggevaredirektivet som stilte andre krav til dokumentasjon. Eldre dokumentasjon fra en byggevare kan brukes dersom byggevaren ikke har endret egenskaper og produktet omsettes under samme produktnavn. Dette gjør det mulig å dokumentere ved å benytte dokumentasjon fra opprinnelig produksjonsår ved ombruk. Figur 3 viser ulike metoder for dokumentasjon av byggevarer (Kilvær, Sunde, Eid, Fjeldheim, & Rydningen, 2019).

Dokumentasjon for eksisterende byggevarer kan være vanskelig å finne og det finnes lite som er lagret digitalt (Kilvær et al., 2019). Dersom en byggevare



Figur 3: Oversikt over dokumentasjonskravene (Direktoratet for byggkvalitet, 2010, § 3).

ikke har dokumentasjon, må det utarbeides en bygdokumentasjon basert på en harmonisk standard. Da de harmoniske standardene ikke er ment til å brukes på brukte byggevarer kan dette by på utfordringer. Et eksempel på dette er ved ombruk av hulldekker, der en ikke kan dokumentere ferdigherdet betong på samme måten som nye dekker (Marton, 2019).

Nevnt i Avsnitt 2.2 kan en oppnå CE-merkning ved å skaffe en europeisk teknisk vurdering (ETA). Dette kan gjøres dersom det ikke finnes harmoniserte produktstandarder. Beskrivelse av hvilke egenskaper som er relevante å dokumentere er gitt i harmoniserte tekniske spesifikasjoner; European Assessment Document (EAD) eller europeiske bedømmelsesdokumenter. EAD-er skal inneholde en generell beskrivelse av byggevaren. De skal også liste opp vesentlige egenskaper relevant for bruken, samt metoder og kriterier for å vurdere disse (Direktoratet for byggkvalitet, 2010).

### **2.3.2 Tre**

Trevirke er rimelig sammenlignet med andre byggematerialer, noe som gjør det enkelt å kjøpe nytt. Omløpet av trevirke, utgjør en stor andel avfall knyttet til bygging i Norge (Direktoratet for byggkvalitet, 2019). Per dags dato er det kravet til dokumentasjon av egenskapene som hindrer økt ombruk av tre. Det er derimot ikke sagt at det egner seg. Ved å synliggjøre hva som bidrar til å forkorte levetiden, er det mulig å legge strategier for ombruk av trevirke i større grad (Norsk institutt for bioøkonomi, 2019).

### **2.3.3 Stål**

Ombruk av stål kan gi stor reduksjon i utslipp. Stålbransjen er på god vei i utvikling av systemer og prosedyrer for ombruk av bærende stålkonstruksjoner. Jomfruelig stål fra malm vil gi 2,8 kg CO<sub>2</sub> ekv./kg stål, mens ombrukt stål til sammenligning vil gi et utslipp på 0,24 kg CO<sub>2</sub> ekv./kg stål. Hvis man sammenligner nytt med resirkulert stål, vil dette utgjøre en reduksjon på ca. 82% (Direktoratet for byggkvalitet, 2019).

### **2.3.4 Betong**

Betong er en av de mest brukte byggematerialene i verden grunnet sine gunstige egenskaper. Dette medfører også at betong i volum, vekt og masse står for en stor andel av klimagassutslipp i byggebransjen (Kilvær et al., 2019).

Mye forskning foregår innenfor betong, og det vil helt klart være et stort konkurransefortrinn om det kommer opp en løsning som har minimalt med klimagassutslipp (E.R. Wærner, personlig kommunikasjon, 22.april 2021). De fleste betongkomponenter er ikke-reversible og vanskelige å demontere. Store deler av betongen som rives i dag kan ikke ombrukes, og mesteparten krever nedstrømsløsninger som deponi. Hulldekker egner seg derimot til ombruk. Betonghulldekker krever ingen etterarbeid for å oppnå nødvendig lastbærende funksjon, og har nødvendige iboende egenskaper ved levering. Ved ombruk av hulldekker kommer man derfor høyere opp på avfallspyramiden som vist i Figur 2 (Kilvær et al., 2019).

## **2.4 Sirkulær økonomi**

Sirkulær økonomi i praksis er et kretsløp der minst mulig går tapt, og handler om effektivisering av ressursene. Verdens naturressurser er under økt press, og med hensyn på klima og natur er det nødvendig at behovet for å ta ut nye ressurser blir redusert. I sirkulær økonomi prøver man å ha en langsiktig tankegang der man reparerer, oppgraderer og ombruker produkter så langt det lar seg gjøre. Materialavfallet kan gjenvinnes når elementene ikke kan ombrukes. Avfallet kan på denne måten brukes som råvarer i ny produksjon, og ressursene blir utnyttet flere ganger (Miljødirektoratet, 2020).

Veien til en sirkulær byggesektor har i dag mange barrierer. Bygg lever lenge, og de som er opp til 70-80 år kan derfor inneholde materialkvalitet og uønskede stoffer som ikke tilfredsstillers dagens krav og TEK17. De fleste bygg er heller ikke bygd med tanke på at de skal kunne demonteres og ombrukes etter rivning. Omstillingen til sirkulær økonomi innebærer endringer i design, produksjon, valg av produksjonsmetoder og forbruksmønstre. Forbrukerne får mulighet til å påvirke og ta de miljøriktige valgene. Delingsøkonomi og samhandling mellom digitale verktøy vil spille en sentral rolle. Ved å fremme og tilrettelegge for sirkulær økonomi kan det offentlige påvirke omstillingen fra lineær til sirkulær økonomi gjennom sine innkjøp (Miljødirektoratet, 2020).



I et intervju gruppen hadde med Eirik Rudi Wærner, miljørådgiver i Multiconsult (personlig kommunikasjon, 22.april 2021), ble det presisert at regelverket i seg selv er et hinder. Wærner viser til at veilederen Direktoratet for byggkvalitet (DiBK) utarbeider ikke er egnet til ombruk. Han har gått gjennom alle 450 harmoniserte EU-standardene for byggevarer, og funnet at det er ca. 270 byggevarer som er relevante for ombruk. Det vil si at det er 270 standarder som en må kjøpe og sette seg inn i for å finne ut om byggevaren er aktuell i det gitte tilfellet. Problemet er at det uttrykkelig i disse standardene står at de ikke er laget for ombruk, men for serieproduserte byggevarer i en fabrikk. Wærner mener derfor at det ikke henger på grep at DiBK lager en veileder som sier at ombrukte byggevarer skal dokumenteres i henhold til disse harmoniserte standardene. Å lese seg opp på slike standarder, som i tillegg henviser til andre standarder, er svært tidkrevende. Det er en stor jobb som mange ikke er villige til å ta, og som derfor blir et hinder i mange prosjekter.

Videre i intervjuet med Wærner ble det spurt om hvilke tiltak som kunne bidra til en mer bærekraftig utvikling i byggebransjen. Her ble det foreslått at prisen på CO<sub>2</sub> bør være så høy at byggevarer som er CO<sub>2</sub>-intensive må bli så dyre at markedet velger noe annet. Wærner mener det er nødvendig å endre avskrivningsreglene og det økonomiske systemet. Avskrivningsreglene gjør at bygningen etter en viss tid mister sin verdi, noe som senker terskelen for å deponere fremfor å bruke ting om igjen.

Skånsom, tids- og kostnadseffektiv demontering er en annen praktisk utfordring knyttet til ombruk. Her er bransjen usikker på hvordan de skal gå fram. Wærner legger vekt på at det vil være nyttig å dele kunnskap og erfaring for å heve kompetansen i næringen, da det er mye som må oppklares. Inspirerende referanseprosjekt som Kristian Augusts gate 13 i Oslo viser at det er mulig å lykkes med ombruk. Bransjen er også avhengig av løsninger og et system som tilrettelegger for mellomagring og transport av byggematerialer. Her vil kortreiste materialer gi minst klimagassutslipp. Videre vil det være nyttig at byggeier har oversikt over materialflyt i egen organisasjon.

#### **2.4.1 EPD**

Environmental Product Declaration (EPD) er et kortfattet dokument som beskriver miljøprofilen til en komponent, en tjeneste eller et produkt. Miljødeklarasjonen er oppsummert på en objektiv og standardisert måte (The Norwegian EPD Foundation, 2021).

## Kapittel 3      Konstruksjonsprinsipper

### 3.1 Sammenlikningsgrunnlag

#### 3.1.1 Grunnlagsdata

Rammene ble bestemt av Multiconsult og gruppen har jobbet ut fra disse. Alle modellene er prosjektert ut fra samme volum. Bygget har et fotavtrykk på ca. 464m<sup>2</sup>, og kjeller i plastøpt betong. Det er 5 etasjer i tillegg til kjeller, der etasjehøyde i 1. etasje er 3,5m og øvrige etasjer 2,9m.

Det som skiller de forskjellige konstruksjonsmodellene er materialer; dette gir forskjell i spenn, antall søyler og dekketykkelser. Modellene som utforskes er:

1. **Massivtre:** Konstruksjonen består av bærende limtresøyler og krysslaminerte massivtrevegger. Bjelkene består av limtre og dekkene er av krysslaminerte massivtreelementer, side 14.
2. **Konstruksjonsvirke:** Konstruksjonen har søyler og bjelker av limtre, men har også noen bærende vegger. Dekkene består av konstruksjonsvirke, side 16.
3. **I-bjelker:** Konstruksjonen består av bærende limtresøyler og limtrebjelker. Dekke består av I-bjelker, side 18.
4. **Plastøpt betong:** Konstruksjonen består av plastøpt betongsøyler og dekker, side 19.
5. **HD og stål:** Konstruksjonen består av bærende stålsøyler og stålbjelker. Dekker består av prefabrikkerte hulldekker. Denne modellen utforskes videre med ulik grad av ombruk, side 20:
  - a. HD og stål: ingen av materialene er ombrukt.
  - b. HD og ombrukt stål: Alle søyler og deler av bjelkene er ombruk fra Granåsen
  - c. Stål og ombrukt HD: Hulldekker er ombrukt.

Videre i teksten vil modellene bli referert til ved bruk av nummer.

### 3.1.2 Laster

De dimensjonerende lastene i bygget er egenlast, nyttelast, snølast og vindlast. Hvor de tre sistnevnte er oppgitt i Tabell 1. Egenlasten er avhengig av konstruksjonen, og er derfor beregnet individuelt for hvert tilfelle.

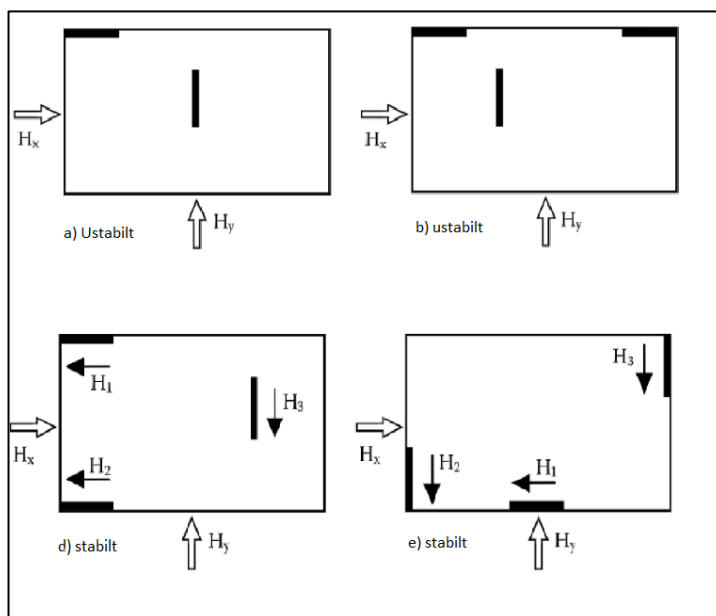
Nyttelasten som ble brukt i beregningene var nyttelast for kontorbygg, lik  $3 \text{ kN/m}^2$ . Dette ble bestemt etter samtale med Multiconsult. Denne nyttelasten ble brukt i alle etasjene samt på tak da dimensjonerende nyttelast oversteg dimensjonerende snølast. Dette ble gjort på alle modellene for å få et likt sammenlikningsgrunnlag.

Last type	Karakteristisk [ $\text{kN/m}^2$ ]	Dimensjonerende [ $\text{kN/m}^2$ ]
Nyttelast, $q_n$	3,0	4,5
Snølast, $s$	2,8	4,2
Vindlast, $q_v$	-2,7	-2,43

Tabell 1: Oversikt over laster. Kilder: snølast Byggforsk 471.041 (Sintef, 2003a), vindlast Byggforsk 471.043 (Sintef, 2003b), karakteristisk nyttelast NS-EN 1991 (Standard Norge, 2019) og dimensjonerendelaster NS-EN 1990, tabell NA.A1.2(A) (Standard Norge, 2016).

### 3.1.3 Avstivning

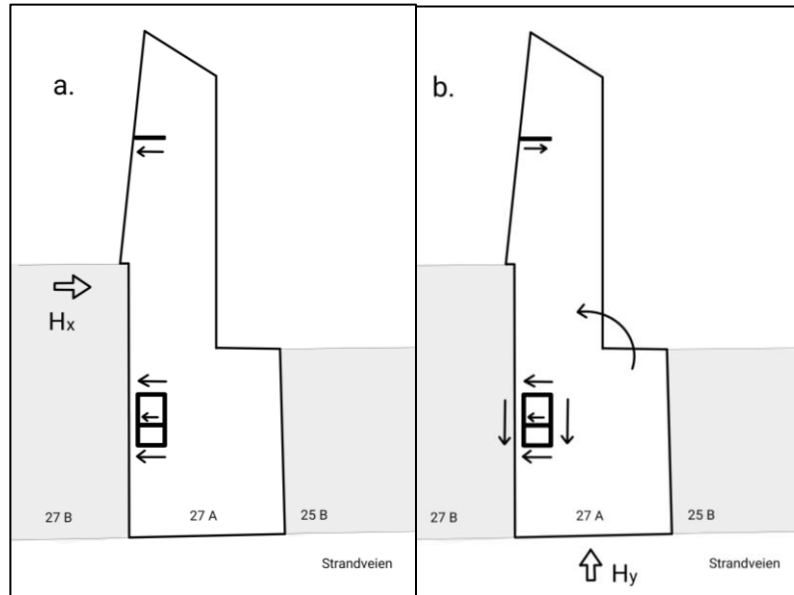
Kapittel 12 i Betongelementboken bind B (Vinje, 2016) beskriver avstivning ved hjelp av skivesystem slik som blir brukt i Strandveien 27A. Bygget blir belastet av horisontalkrefter som fører til deformasjon. Denne deformasjonen kan deles inn i translasjon ( $\delta$ ) og rotasjon ( $d\phi$ ). Avstivningssystemet skal være stabilt og det skal vurderes om systemet er statisk bestemt eller ikke.



Figur 4: Oversikt over stabile og ustabile avstivningssystem. Figurene er hentet fra Betongelementboken B12.4, s.101-102 (Vinje, 2016).

For å oppnå et stabilt system kreves minst tre vertikale skiver plassert i ulike akser for å ta opp horisontal last i begge akseretninger, som vist i Figur 4. Skivene plasseres med størst mulig avstand for å kunne motstå vridning av bygget. Ved å plassere sjakt og skive som vist i Figur 5 vil elementene ta opp translasjon og rotasjon fra horisontal last.

Avstivningssystemet er likt i alle modeller og består av en sjakt som er plassert i fremre del av bygget samt en stiv skive som er plassert i bakre del av bygget. I tillegg til dette er bygget plassert mellom to eksisterende bygg. For modell 4, 5 (a, b og c) samt i kjeller for modell 1, 2 og 3 består avstivningssystemet av



Figur 5: Avstivningssystem Strandveien 27A.

betong. I overbygg for modell 1, 2 og 3 er det benyttet avstivningssjakt og -skive av massivtre.

### 3.1.4 Fundament

Grunnen i Strandveien 27A antas å bestå av ca. 3m fyllmasser over leire, da dette går igjen i området rundt. Dette gjør at direktefundamentering med hel bunnplate antas å være den beste fundamenteringsformen når kostnad også tas i betraktning. Kjelleren i de ulike konstruksjonsmodellene har samme oppbygning. Grovberegningene av kjellerkonstruksjonen er gjort ved hjelp av *Kompendium Konstruksjonslære* (Høgskolen i Sør-Trøndelag, 2010). Deretter ble verdier satt inn i programmet Coolbeam EC3 av Multiconsult. Kjeller består av en bunnplate, vegger mot grunn, avstivende sjakt og plate, samt bærende søyler og dekke mellom kjeller og 1. etasje. Alle disse bygningselementene er av plastøpt betong. Bunnplata er 450mm tykk og alle vegger er 250mm tykke. Det som varierer fra modell til modell er diameter på søylene, deres plassering og antall, samt tykkelsen på dekket mellom kjeller og 1. etasje. Dekke tykkelsen varierer ettersom spennet mellom søylene er ulike.

### **3.1.5 Limtre**

Ved kontakt med Moelven Industrier ASA bekreftet John Grantangen (personlig kommunikasjon, 12. april 2021) at limtredimensjonene brukt i denne oppgaven kan produseres ut fra standarddimensjoner.

### **3.1.6 Stenderverk**

Stenderverket i yttervegg har også blitt tatt med i klimagassregnskapet samt prisberegningen for å kunne sammenlikne konstruksjon som bruker yttervegg som bæring og de som ikke gjør det.

### **3.1.7 Lydkrav**

I følge §13-6. Lyd og vibrasjoner (Direktoratet for byggkvalitet, 2017) vil bygget oppfylle krav til lydforhold ved å tilfredsstille lydklasse C i Norsk Standard NS 8175 (Standard Norge, 2019). Gruppen har ut ifra denne standarden valgt oppbygning av dekke. Oppbygningen av dekke er relevant da det gir sammenlikningsgrunnlag av lette og tunge konstruksjoner. F.eks vil dekke av konstruksjonsvirke trenge flere komponenter for å tilfredsstille krav enn det et plasstøpt betongdekke vil trenge.

### **3.1.8 Brannkrav**

Ut fra §11-2. Risikoklasser (Direktoratet for byggkvalitet, 2017) er bygget i risikoklasse 4, og etter §11-3 Tabell 1: Brannklasse (BKL) for byggverk er bygget i brannklasse 3 (Direktoratet for byggkvalitet, 2017).

Brannmotstand til bærende bygningsdeler er gitt av §11-4 Tabell 1: Bærende bygningsdelers brannmotstand avhengig av brannklasse (Direktoratet for byggkvalitet, 2017):

- Bærende hovedsystem: R90 A2-s1, d0 [A 90]
- Sekundære, bærende bygningsdeler, etasjeskillere og takkonstruksjoner som ikke er del av hovedbæresystem eller stabiliserende: R 60 A2-s1, d0 [A 60]

### 3.2 Konstruksjonsalternativer

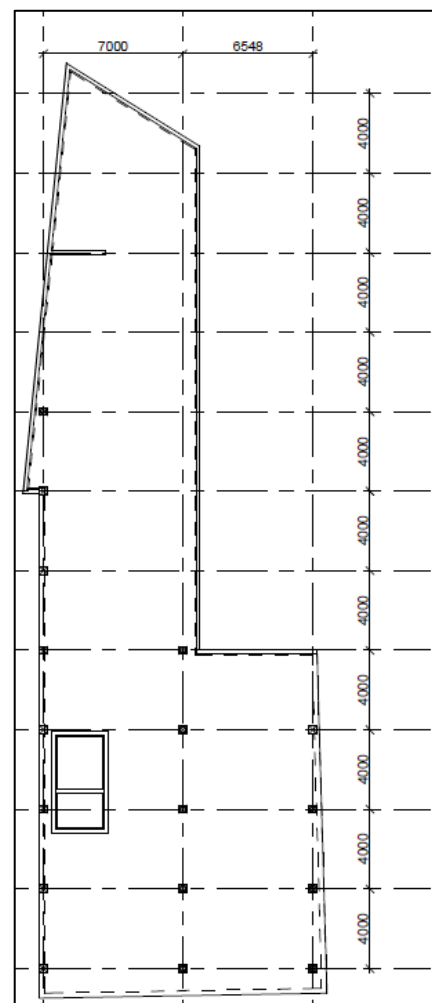
Bærekonstruksjonene er dimensjonert etter tabeller og preaksepterte løsninger der denne informasjonen har vært tilgjengelig. Bygget har store spenn ettersom det er ønskelig med et fleksibelt bygg. Dette har ført til at dimensjonene i de tilgjengelige tabellene for trevirke ikke er tilstrekkelig. I disse tilfellene er beregningene gjort for hånd.

Alle beregninger er beskrevet i vedlegg 5, søyleberegninger utført av Multiconsult er beskrevet i vedlegg 6.

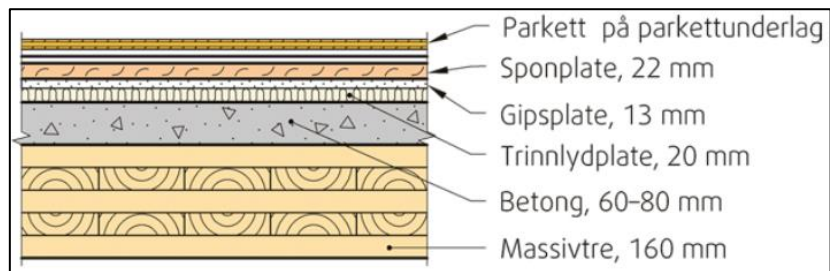
#### 3.2.1 Massivtre

Dimensjoneringen av modell 1 ble utført ved bruk av tabeller i *Solid Wood Scandinavia AB*, vedlegg 7. I denne modellen er det brukt en kombinasjon av bærende yttervegger av massivtre og søyler av limtre. Figur 6 viser aksesystemet der bjelkene ligger på langs og massivtredekket er satt på tvers av konstruksjonen. Største spennet for massivtredekket er 7,7 meter. For kontroll av brannkrav ble forkullingsdybde beregnet etter punkt 42 og 43 i Byggforsk 520.323 (Sintef, 2009a). Her ble det valgt å ikke dekke til bærekonstruksjonen med gipsplater, men heller ha treverket synlig. Dette har også ført til noe større dimensjoner.

**Figur 7** viser hvilke elementer som er satt inn i One Click LCA og Excel for å kunne sammenlikne den lette trekonstruksjonen med de tyngre av hulldekke og prefabrikkert betong. Dimensjonene på konstruksjonselementene er vist i Tabell 2.



Figur 6: Aksesystem konstruksjon av massivtre



Figur 7: eksempel på oppbygging av massivtreelement. Her er luftlydisolasjonen  $R_w$  lik 55-58dB og Trinnlydisolasjonen  $L_{n,w}$  lik 53-50dB. Figuren og verdier er hentet fra Byggforsk 522.891, Tabell 62 (Sintef, 2009b).

Element	Dimensjon [mm]
Massivtre dekke	8ss 320
Limtre bjelker	280 × 495
Limtre søyler	400 × 400
Massivtre vegg	180
Betong dekke bunnplate	450
Betongdekke 1.etg	250
Betong søyler sirkulære	315
Betong vegger	250

Tabell 2: Dimensjoner bærekonstruksjon av massivtre

### 3.2.2 Konstruksjonsvirke

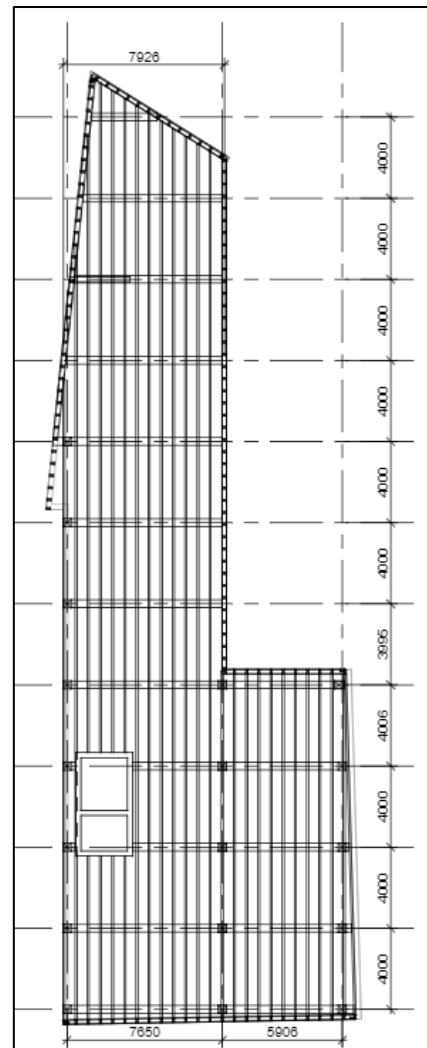
Det bærende dekket består av konstruksjonsvirke i langsgående retning av bygget, som vist på Figur 8. Det er et spenn på 4 m mellom bærebjolkene, og bærebjolkene har et spenn på ca. 5,9-8 m. I beregningene er det brukt 8 m da denne er dimensjonerende.

Hovedbæringen i bygget består av søyler og bjelker i limtre. I bakre del av bygget benyttes også yttervegg som bærende element. Dimensjonene på konstruksjonselementene er vist i

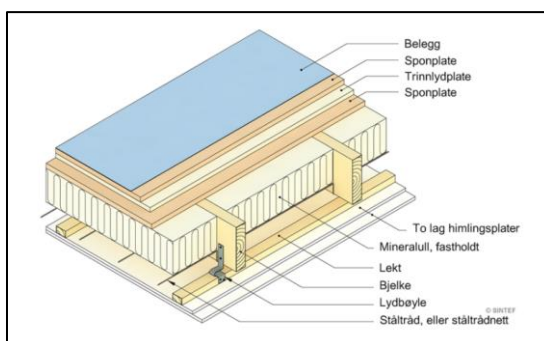
Tabell 3. Som avstivning er heis- og trappesjakt, samt avstivende plate i massivtre tatt i bruk.

Selv om oppbygningen av etasjeskiller ikke inngår som bærekonstruksjon, er det tatt med i modellene da oppbygningen påvirker hovedbærekonstruksjonens evne til å oppfylle brann- og lydkrav.

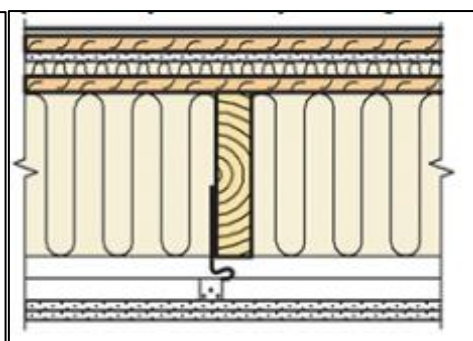
Det er brukt preaksepterte løsninger for å oppfylle disse kravene, ifølge Byggforsk 522.512 (Sintef, 2016) og 520.321 (Sintef, 2020) er en oppbygning som vist på Figur 9 og Figur 10, er tilstrekkelig for å tilfredsstille kravene.



Figur 8: Aksesystem konstruksjon av konstruksjonsvirke



Figur 9: Eksempel på oppbygning av konstruksjonsvirkeelement. Her er brannmotstand lik REI 60. Figuren og verdier er hentet fra Byggforsk 520.321, fig 53a og tabell 53a (Sintef, 2020)



Figur 10: Eksempel på oppbygningen av bindingsverkselement. Her er luftlydisisolasjonen  $R_w$  lik 54-57dB og Trinnydisisolasjonen  $L_{n,w}$  lik 59-54dB. Figuren og verdier er hentet fra Byggforsk 522.512, tabell 71 (Sintef, 2016)



Tilsvarende som for modell 1, er ikke søyler eller bjelker av limtre kledd inn. Konstruksjonen må derfor dimensjoneres for brann, som medfører krav til større dimensjoner.

<b>Element</b>	<b>Dimensjon [mm]</b>
<b>Konstruksjonsvirke dekke</b>	98 × 223
<b>Limtre bjelker</b>	380 × 495
<b>Limtre søyler</b>	400 × 400
<b>Bærende konstruksjonsvirke vegg</b>	98 × 198
<b>Betong dekke bunnplate</b>	450
<b>Betongdekke 1.etg</b>	290
<b>Betong søyler sirkulære</b>	350
<b>Betong vegger</b>	250

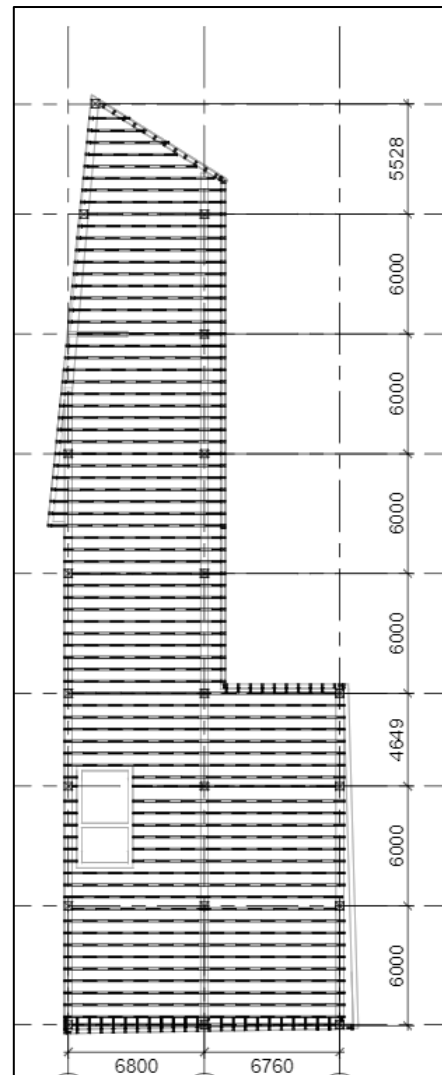
*Tabell 3: Dimensjoner bærekonstruksjon konstruksjonsvirke*

### 3.2.3 I-bjelker

For modell 3 går dekke av I-bjelker på tvers av bygget, som vist på Figur 11. Det gir spenn på 6,8 m mellom bærebjolkene, der bærebjolkene spenner 6 m. I-bjolkene er dimensjonert ut fra tabell fra Masonite Beams (Bovim, 2017).

Også her består hovedkonstruksjonen av søyler og bjelker av limtre. I denne modellen benyttes ingen av ytterveggene som bærende konstruksjon. Dimensjoner på konstruksjonselementene er oppgitt i Tabell 4.

Vetikal avstivning samt dekets oppbygning er lik som for modell 2 og er nærmere forklart i Avsnitt 3.2.2.



Figur 11: Aksesystem konstruksjon av I-bjelke

Element	Dimensjon [mm]
I-bjelke dekke	HB – 450
Limtre bjelker	380 × 495
Limtre søyler	400 × 400
Betong dekke bunnplate	450
Betongdekke 1.etg	350
Betong søyler sirkulære	395
Betong vegger	250

Tabell 4: Dimensjoner bærekonstruksjon I-bjelker

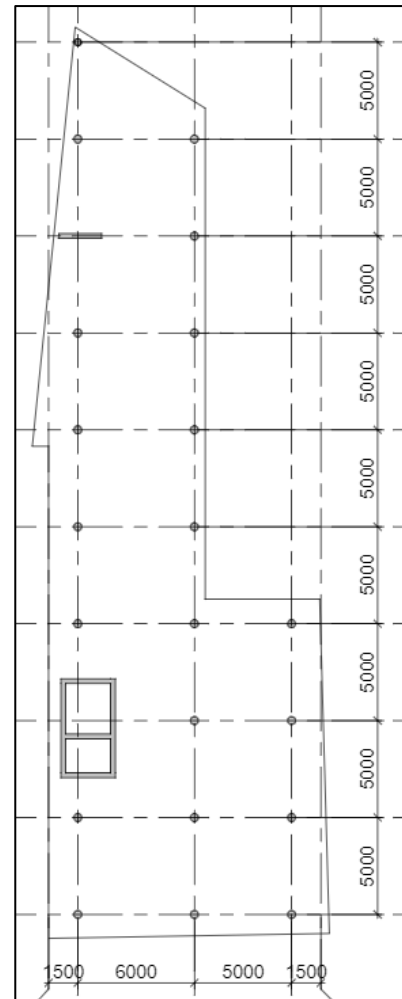
### 3.2.4 Plasstøpt betong

I denne konstruksjonsmodellen er alle bærende elementer av plasstøpt betong. Det bærende konstruksjonssystemet, som vist på Figur 12, består av søyler og dekke. Dekke er opplagt på søylene og får spenn på 5 og 6 meter mellom hvert opplegg.

Gruppen fikk tilsendt *kompedium konstruksjonslære* (Høgskolen i Sør-Trøndelag, 2010) av foreleser Arne Mathias Selberg. Dette ble brukt til grovberegningene gjort ut fra etasjehøyder, satt av Multiconsult, og antatte spenn. Disse beregningene ble sent til Multiconsult som la tallene inn i Colbeam EC3 og ut fra dette programmet fikk gruppen sine endelige dimensjoner, som oppgitt i Tabell 5, på søyler, dekker og vegger som tilfredsstillende de norske standardene.

For å oppnå lydkrav på dekke vil det bygges opp av plasstøpt betong med trinnlyddempende belegg og parkett eller laminatgulv på tynne dempesjikt dette gir  $L'_{n,w}=53-50\text{dB}$  og  $R'_w=55-60\text{dB}$  (Sintef, 2015).

I tabell 63 i Byggforsk 520.321 (Sintef, 2020) oppgis det at brannmotstand REI90 kan oppnås med dekketykkelse på 200mm plasstøpt betong og armerings dybde på 25mm, siden konstruksjonen har en dekketykkelse på 250mm er det antatt at det tilfredsstillende kravene.



Figur 12: Aksesystem konstruksjon av plasstøpt betong

Element	Dimensjon [mm]
Betong dekke	250
Betong søyler sirkulære	415
Betong dekke bunnplate	450
Betong vegger	250

Tabell 5: Dimensjoner bærekonstruksjon plasstøpt betong.

### 3.2.5 Hulldekke og stål

Det var ønskelig å se på hvordan ombruk kunne påvirke klimagassregnskapet. I prosjektet ble muligheten for både ombruk av stål fra Granåsen hoppbakke og hulldekker fra Institutt for Marin Teknikk i Trondheim diskutert. Ettersom byggestart av Strandveien 27A er usikker er det ikke nødvendigvis mulig å ta i bruk disse materialene. Kostnadmessig er det heller ikke lønnsomt å lagre store mengder byggemateriale i en lengere periode. Både Multiconsult og bachelorgruppen syntes dette ville være en interessant vinkling å ta med i prosjektet ettersom det kan være nyttig til en senere anledning.

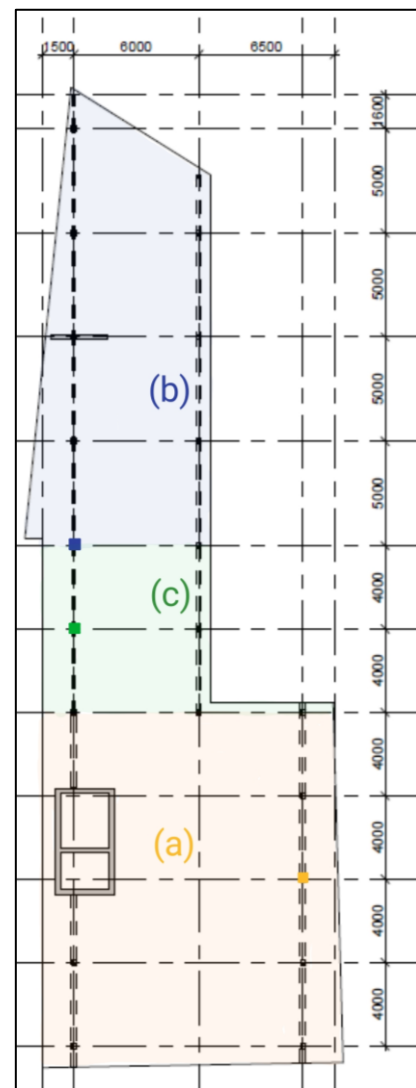
For å videre utforske denne muligheten dro gruppen på befarings til Granåsen, for å finne dimensjonene på stålet som ville blitt brukt. Målene ble sammen med en tegning av Hoppbakke K123 brukt til å lage en oversikt over stålet tilgjengelig på fra Granåsen, vedlegg 8. Ettersom det kun var en tilgjengelig tegning, er denne informasjonen for det meste basert på antakelser og øyemål. Det er blant annet antatt at bjelkene og søylene som er brukt har en stål kvalitet på s355 og at søylene er kaldformede.

Muligheten for ombruk av hulldekker fra Institutt for Marin

Teknikk ble ikke videre undersøkt. Modellen med ombrukt hulldekke blir likevel tatt med.

Ut ifra dette grunnlaget blir det sett på tre muligheter for konstruksjon av hulldekke og stål, der det første ikke tar hensyn til ombruk. De andre to ser på ombruk av enten stål eller hulldekker. Alle disse konstruksjonene er dimensjonert likt som vist i Tabell 6 og på Figur 13.

Den foreslåtte modellen har hulldekker med et maksimalt spenn på 14 m, inkludert utkraging, og er dimensjonert etter Byggforsk 522.881 (Sintef, 1996). Modellen er delt inn i tre seksjoner, på grunn av ulikt spenn og antall etasjer. Nødvendig bjelkedimensjon ble beregnet ved hjelp av tabeller fra Norsk Stål produktkatalog (Norsk Stål AS, u.d.). Multiconsult fant nødvendig



Figur 13: Aksesystem konstruksjon av HD og stål.

dimensjon på søyler ved hjelp av programmet Colbeam EC3 og oppgitte beregnede laster utført av gruppen.

Ut ifra befaring (13.03.2021) og den ene tilgjengelige tegningen fra Granåsen hoppbakke, vedlegg 8, kan det antas at alle søyler og deler av bjelker i bygget kan være ombruk. Nødvendig bjelkedimensjon for seksjon a er HEA 220. For seksjon b og c er nødvendig bjelkedimensjon HEA 180. Fra Granåsen kan HEA 340 tas i bruk i seksjon a, men det er også nødvendig med noe nyprodusert stål. I seksjon c og b benyttes HEA 200 fra Granåsen sammen med nyproduserte HEA 180 bjelker.

Hulldekker tilfredsstillende automatisk brannkrav på R60, men kan i tillegg tilfredsstillende krav om R90 ved økt dekketykkelse (Dekkesystemer AS, u.d.). For å tilfredsstillende brannkrav for bjelker og søyler er beregningsprogrammet CONLIT brannsikring brukt (ROCKWOOL International A/S, u.d.) og dimensjonert i henhold til dette.

I følge tabell 53 i Byggforsk 522.514 (Sintef, 2015) vil et hulldekke på 320mm med trinnlyddempende belegg og laminatgulv ha luftlydsisolasjonen  $R_w$  lik 51-56dB og trinnlydsisolasjonen  $L_{n,w}$  lik 58-53 dB.

Element	Dimensjon [mm]					
<b>Hulldekke</b>	320					
<b>Stålbjelker HEA S355J2</b>	<b>Seksjon</b>					
	<b>a</b>	340				
	<b>b</b>	200 og 180				
	<b>c</b>	200 og 180				
<b>Stålsøyler KF HUP s355J2H</b>	<b>Seksjon /etasje</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	
	<b>a</b>	250x250x8	250x250x8	200x200x8	150x150x8	150x150x8
	<b>b</b>	250x250x8	200x200x8	150x150x8	150x150x8	150x150x8
<b>c</b>	250x250x8	200x200x8	150x150x8	150x150x8	100x100x6	
<b>Betong dekke bunnplate</b>	450					
<b>Betongdekke 1.etg</b>	250					
<b>Betong søyler sirkulære</b>	315					
<b>Betong vegger</b>	250					

Tabell 6: Dimensjoner; bærekonstruksjon av Hulldekke og stål.

## **Kapittel 4      Programvare**

### **4.1    Autodesk Revit**

For å modellere de forskjellige bærekonstruksjonene ble Autodesk Revit 2021 tatt i bruk. Revit er en BIM-programvare som er utbredt i byggebransjen. BIM står for bygningsinformasjonsmodellering. For å ha tilgang til Revit fikk gruppen studentlisens. Da prosjektet omhandler mulige bærekonstruksjoner ble verktøyene under «Structure» tatt mest i bruk. Programmet gir mulighet for å hente ut IFC-filer av modeller som kan brukes til andre data program, som f.eks. Simplebim, dersom dette skulle være nødvendig i et prosjekt. IFC-filer er et format for utveksling av bygningsinformasjons modellering.

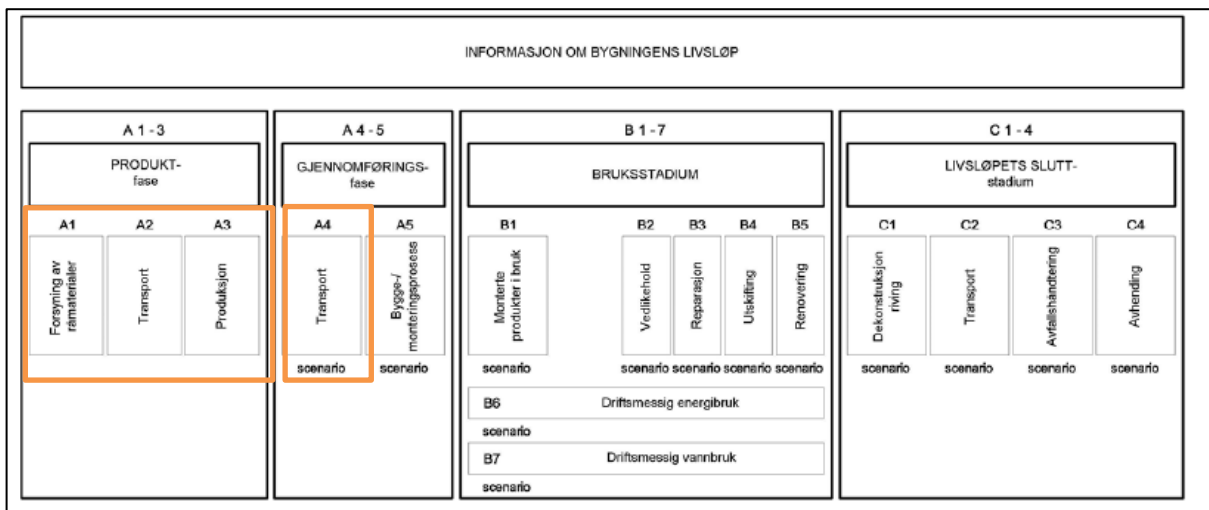
### **4.2    Simplebim**

Simplebim er en programvare som kan brukes til å konvertere informasjonen i en IFC-fil over til et Excel-ark. Gruppen prøvde ut Simplebim i en periode, men valgte å ikke ta i bruk denne da de skulle ta ut verdier fra modellene og inn i One Click LCA.

### **4.3    Excel**

Excel ble brukt til å gjøre prisberegninger, samt gi en oversikt over mengdene fra modellene. I tillegg til dette har Excel blitt brukt til å lage diagrammer. Ved å bruke Excel kunne gruppen enkelt finne riktige verdier å legge inn i One Click LCA og Norsk prisbok.

## 4.4 One Click LCA



Figur 14: LCA-faser. (EN 15978)

LCA står for Life Cycle Assessment, eller livssyklusanalyse. LCA gir et helhetsbilde av et produkts livssyklus, fra råvare til avfallshåndtering og alle ledd imellom. Hvordan LCA deles inn vises på Figur 14. I denne oppgaven blir kun livsfasene A1-A3 Produkt og A4 Transport utredet. Grunnen til dette er at det ikke var ønskelig fra Multiconsult sin side å ta inn andre faktorer da oppgaven kun omhandler bærekonstruksjonen. At oppgaven kun tar for seg bærekonstruksjonen gjorde også at B4 Utskifting var så liten at den ikke kom med på diagrammene laget med One Click LCA.

One Click LCA er et nettbasert program som bruker EPD'er til å beregne og fremstille livsløpsanalyser og klimagassberegninger for bygg. One Click LCA følger standardene NS3720 og EN-15978. Gruppen fikk kun tilgang til studentlisens på One Click LCA og hadde derfor ikke tilgang til NS3720.

One Click LCA ble brukt til å utføre en livsløpsanalyse og klimagassberegninger for de forskjellige konstruksjonsmodellene. I utgangspunktet skulle klimagassberegningen foregå etter den nye standarden NS 3720 «Metode for Klimagassberegninger for bygninger», men denne var ikke tilgjengelig i studentversjonen av programmet. Den internasjonale standarden EN 15978 «Bærekraftige byggverk – Vurdering av bygningers miljøpåvirkning» ble brukt istedenfor, Avvik 2 i avsnitt 9.2. Forskjellen mellom standardene er i hovedsak at den norske standarden har høyere krav til hva som skal inkluderes i vurderingen slik at en enklere skal kunne sammenlikne løsninger (Byggevarerindustrien, 2018). I denne sammenheng kan det argumenteres for at dette ikke er vesentlig da det kun ses på bæresystemet. I den betalte

versjonen av programmet skal det også være mulig å endre ressurs fra EN 15978 til NS 3720, men i denne sammenlikningen blir ikke dette gjort.

Modellene for de forskjellige bærekonstruksjonene ble laget i Revit structure. Excel ble brukt for å overføre data fra modellen og inn på One Click LCA, vedlegg 10. Ettersom det i hovedsak er bærekonstruksjonen som er interessant for sammenlikningen, er det lite data og det ble ikke ansett som nødvendig med bruk av annen programvare. Prosessen videre gikk ut på å se på forskjellige EPD'er for å deretter gjøre en vurdering av hvilken som var mest gunstig. One Click LCA har flere generiske materialer som viser en mer gjennomsnittlig miljøpåvirkning når lokale eller produktspesifikke data ikke er tilgjengelig eller ikke er bestemt. For materialer brukt i One Click LCA og beskrivende tabeller se vedlegg 11.

#### **4.5 Colbeam EC3**

Colbeam EC3, versjon 1.3.0, er et søyle- og bjelkeprogram som følger standard EN 1990. Studentene hadde ikke tilgang til dette programmet personlig, men gjennom sine veiledere i Multiconsult ble det gjort beregninger på betong- og stålsøylene i bygget for å sjekke at disse var korrekt dimensjonert.

#### **4.6 Norsk prisbok**

Norsk Prisbok er en oppdatert prisdatabase på nett, mobil og i bokform som inneholder prisinformasjon om kostnader for et byggeprosjekt i ulike faser, samt livssyklus-kostnader per år og verdier for karbonekvivalenter. I prosjektet er utgave 2020 02 benyttet med et demo-abonnement, da dette programmet i utgangspunktet ikke er tilgjengelig for studenter. Norsk prisbok ble brukt på samme måte som One Click LCA ved bruk av mengder hentet fra modellene, vedlegg 12. Ved innsetning i Excel ble det utført interpolering for å få riktige dimensjoner og brannklasser.



## Kapittel 5 Resultater

Nr.	Modell	Utslipp [tonn CO <sub>2</sub> e]	Kostnad [Mill. kr]
1	Massivtre	251	16,982
2	Konstruksjonsvirke	174	10,113
3	I-bjelker	224	9,502
4	Plasstøpt betong	286	9,211
5a	HD og Stål	271	8,524
5b	HD og ombrukt stål	232	7,608
5c	Stål og ombrukt HD	164	6,039

Tabell 7: Oversikt over resultater for de ulike konstruksjonene.

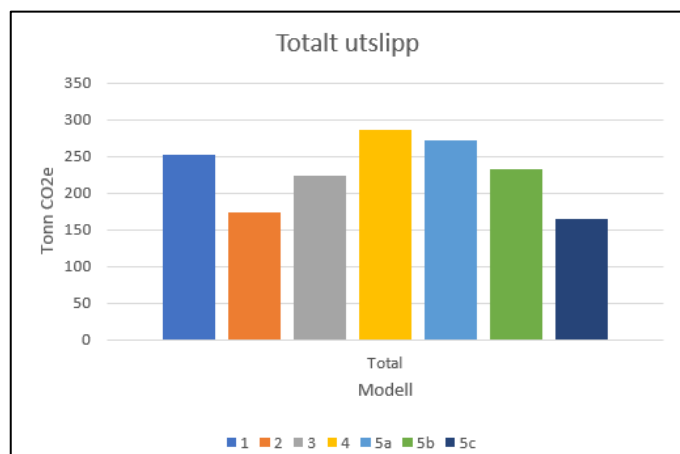
Tabell 7 viser en oversikt av resultatene for klimagass- og kostnadsberegning for de forskjellige bæresystemene. Videre i kapittelet blir klimagassutslippet for hver enkelt modell sett nærmere på.

### 5.1 LCA

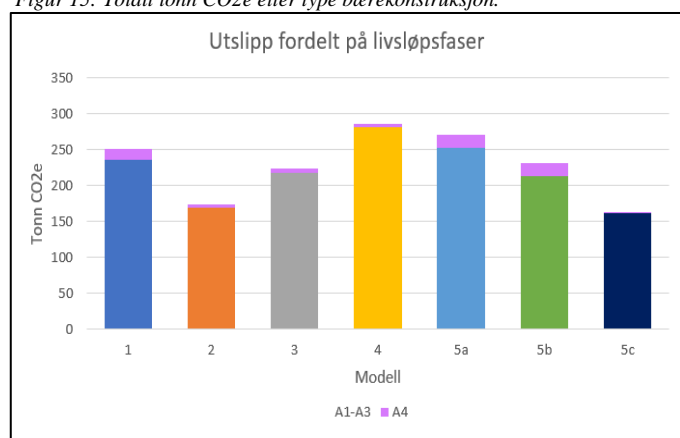
Figur 15 viser fordelingen av totalt tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter for de enkelte modellene. Her vises det tydelig at modell 2 og 5c er de konstruksjonene som har minst klimagassutslipp, og at modell 4 har høyest utslipp.

Livsløpsfasene i et bygg kan ses på Figur 16. *A1-A3 Material*, er den fasen som påvirker klimagassutslippet i høyest grad. Det vil si at valg av materialet og muligheten for ombruk av materiale har mye å si når et bygg skal prosjekteres.

*A4 Transport* varierer fra modell til modell. Hvor materialet er produsert



Figur 15: Totalt tonn CO<sub>2</sub>e etter type bærekonstruksjon.



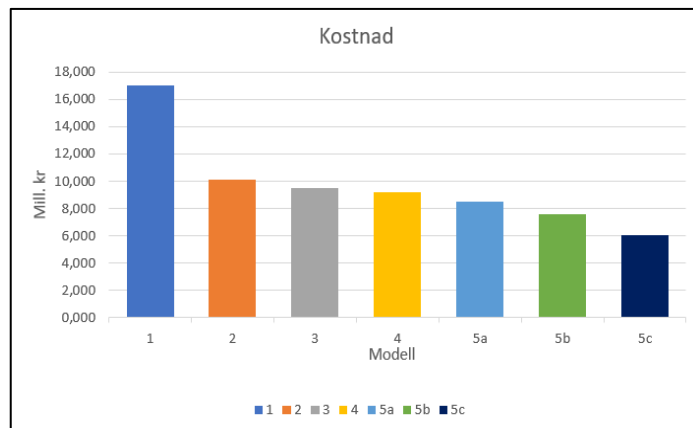
Figur 16: Tonn CO<sub>2</sub>e fordelt på livsløpsfaser etter type bærekonstruksjon.

kan altså utgjøre en betydelig forskjell for klimagassregnskapet til et bygg.

## 5.2 Prisberegning

Figur 17 viser fordelingen av kostnad for de ulike konstruksjonsmodellene, se vedlegg 12 for kostnadsberegning. Ut fra diagrammet er det tydelig at modell 1 er det alternativet med høyest kostnad på over 16 millioner kroner.

Konstruksjonsmodellen med lavest kostnad er modell 5c med i overkant av 6 millioner kroner. Ved beregning av pris for bærekonstruksjon 5 er prisen beregnet med ulik grad av ombruk for a, b og c, se avsnitt 6.1.2.



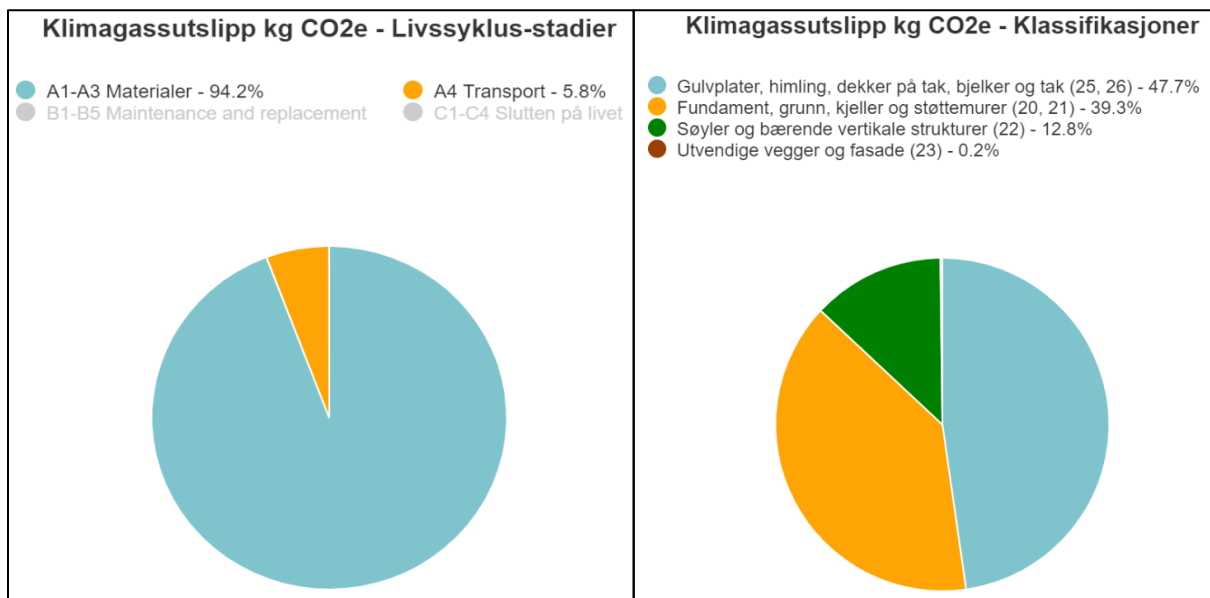
Figur 17: Kostnad for hver enkelt av konstruksjonsmodellene

## 5.3 LCA resultater

### 5.3.1 Massivtre

Fra Figur 19 kommer det frem at det er *A1-A3 Materialer* som står for den største delen av klimagassutslippet med 94,2% av totalen. Og at *A4 Transport* utgjør minst av klimagassutslippet med kun 5,8%.

Fordelingen av klimagassutslipp for de ulike bygningsdelene i konstruksjonen er fremstilt på Figur 18. Det er de horisontale elementene som utgjør den største andelen av utslipp med 47,7% og fundament/kjeller kommer like bak med 39,3%. Resterende 13% er vertikale elementer. Det vil si at kun fundament/kjeller står for ca. to femtedeler av alt utslippet til konstruksjonen.



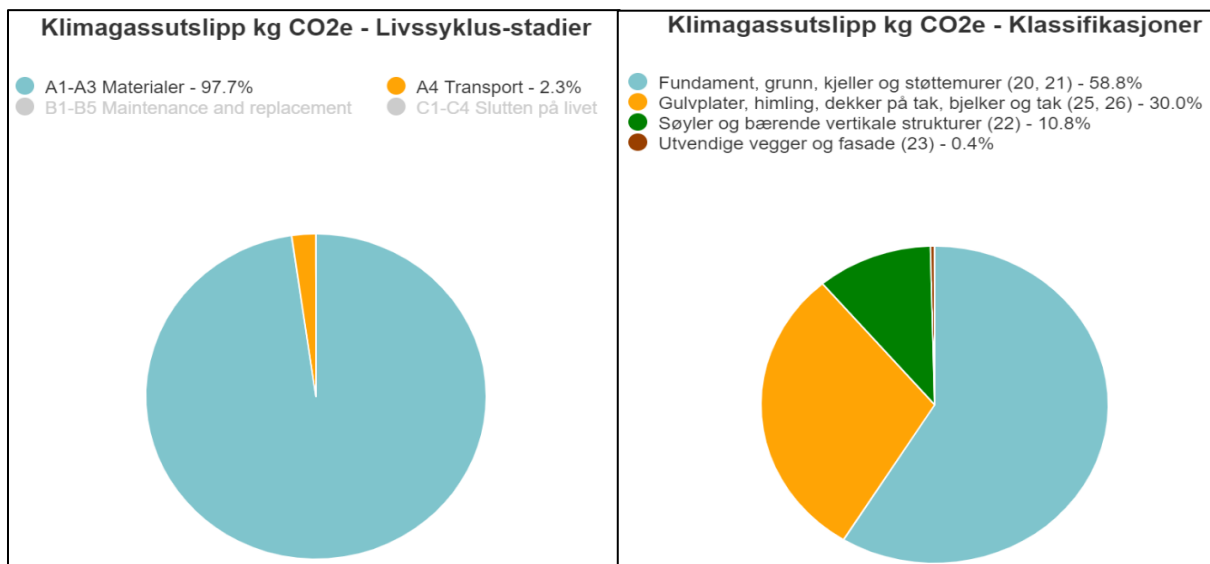
Figur 19: Fremstilling av CO<sub>2</sub>e til livssyklus-stadier hentet fra One Click LCA. Modell 1.

Figur 18: Fremstilling av CO<sub>2</sub>e for klassifikasjoner hentet fra One Click LCA. Modell 1.

### 5.3.2 Konstruksjonsvirke

For modell 2 vistes det på Figur 21 at *A1-A3 Materialer* utgjør hele 97,7% av alt utslippet og at *A4 Transport* kun utgjør 2,3%.

Figur 20 viser fordelingen av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter fordelt på de forskjellige bygningsdelene i konstruksjonen. Fundament/kjeller står for hele 58,8% av utslippet. Horisontale elementer står for 30%, og vertikale elementer står for de resterende 11,2%.



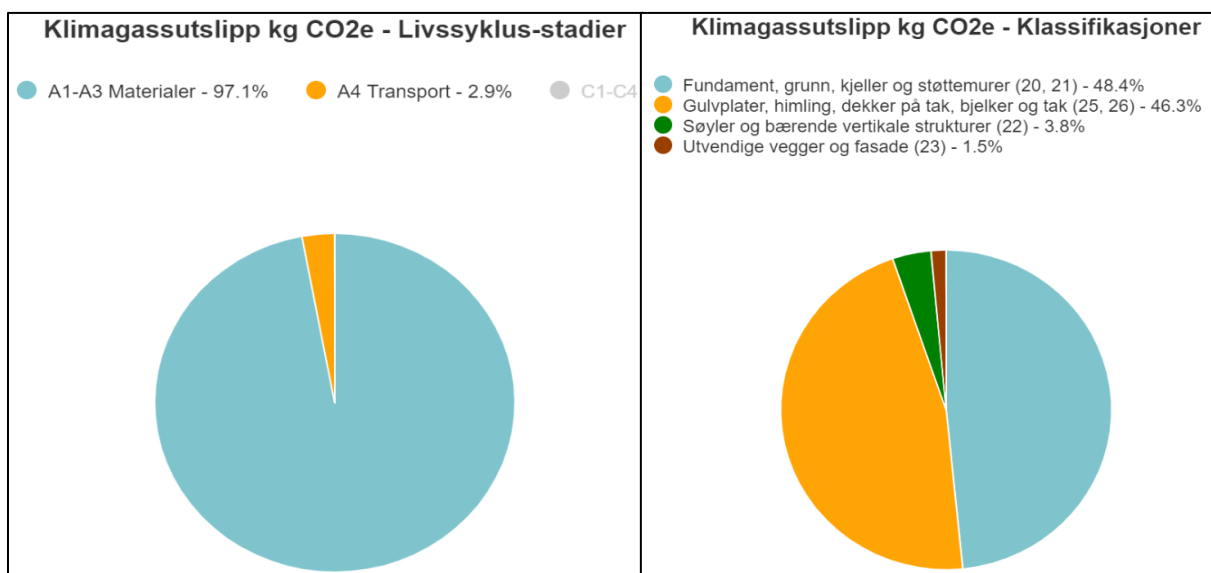
Figur 21: Fremstilling av CO<sub>2</sub>e til livssyklus-stadier hentet fra One Click LCA. Modell 2

Figur 20: Fremstilling av CO<sub>2</sub>e for klassifikasjoner hentet fra One Click LCA. Modell 2

### 5.3.3 I-bjelker

For modell 3 kan det ses på Figur 23 at *A1-A3 Materialer* utgjør 97,1% av alt utslippet og at *A4 Transport* utgjør 2,9%.

Figur 22 viser fordelingen av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter fordelt på de forskjellige bygningsdelene i konstruksjonen. Fundament/kjeller står for 48,4% av utslippet. Horisontale elementer står for 46,3%, og vertikale elementer står for de resterende 5,3%.



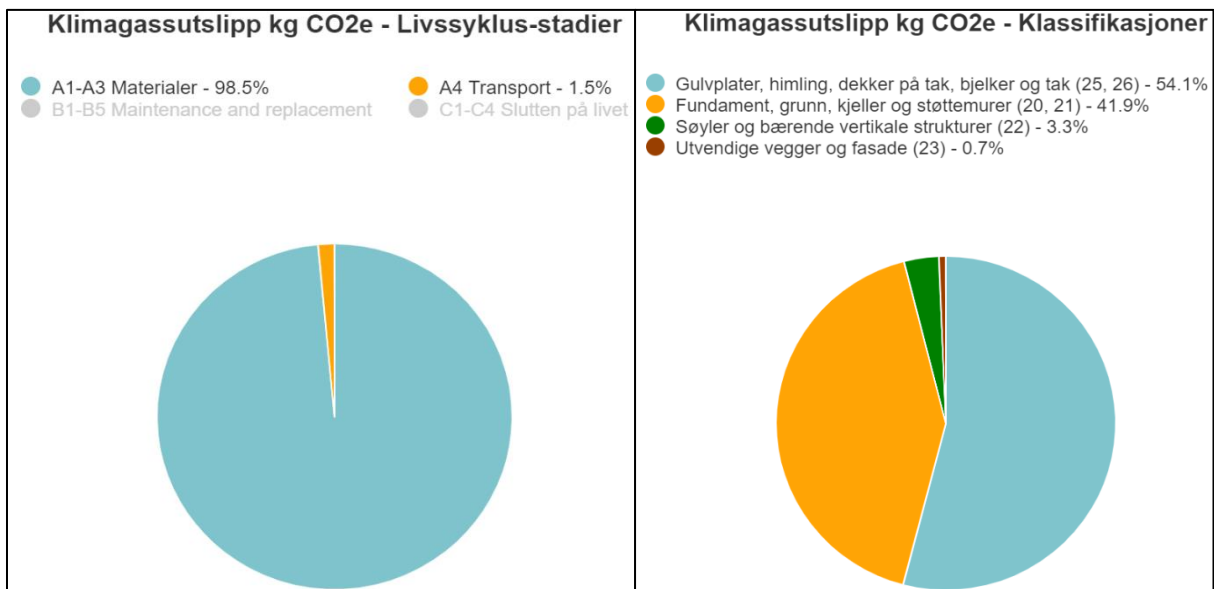
Figur 23: Fremstilling av CO<sub>2</sub>e til livssyklus-stadier hentet fra One Click LCA. Modell 3

Figur 22: Fremstilling av CO<sub>2</sub>e for klassifikasjoner hentet fra One Click LCA. Modell 3

### 5.3.4 Plasstøpt betong

Figur 25 viser at 98,5% av utslippene kommer fra A1-A3 og at A4 står for 1,5%.

Fordelingen av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter for de ulike bygningsdelene er fremstilt i Figur 24. Horisontale elementer står for 54,1%, etterfulgt av fundament/kjeller med 41,9% og resterende 4% er fordelt på vertikale elementer.

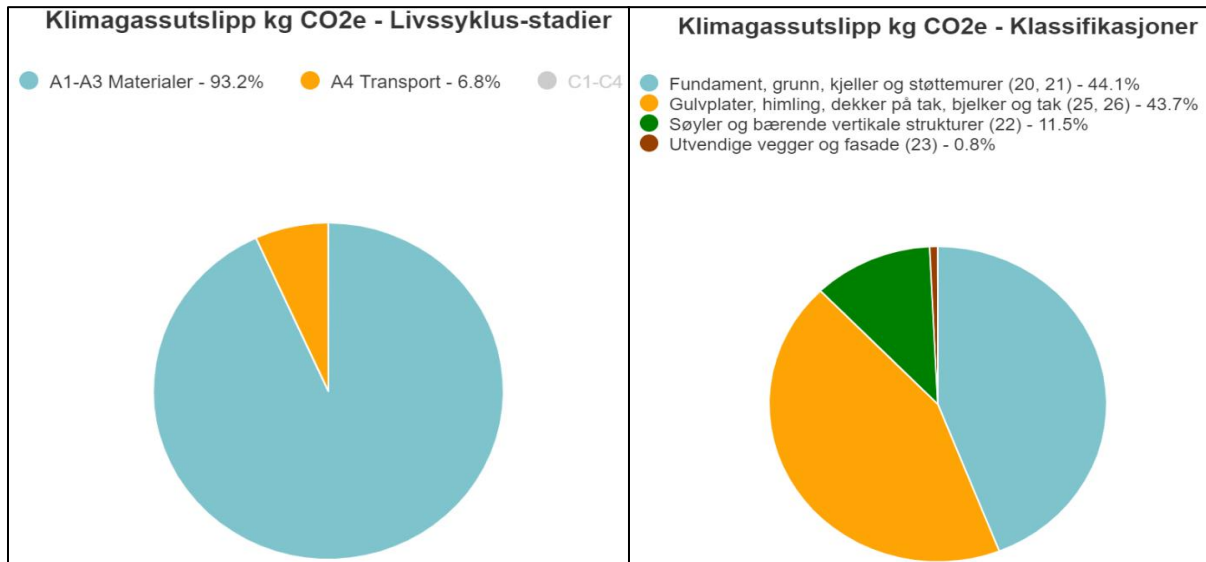


Figur 25: Fremstilling av CO<sub>2</sub>e til livssyklus-stadier hentet fra One Click LCA. Modell 4

Figur 24: Fremstilling av CO<sub>2</sub>e for klassifikasjoner hentet fra One Click LCA. Modell 4

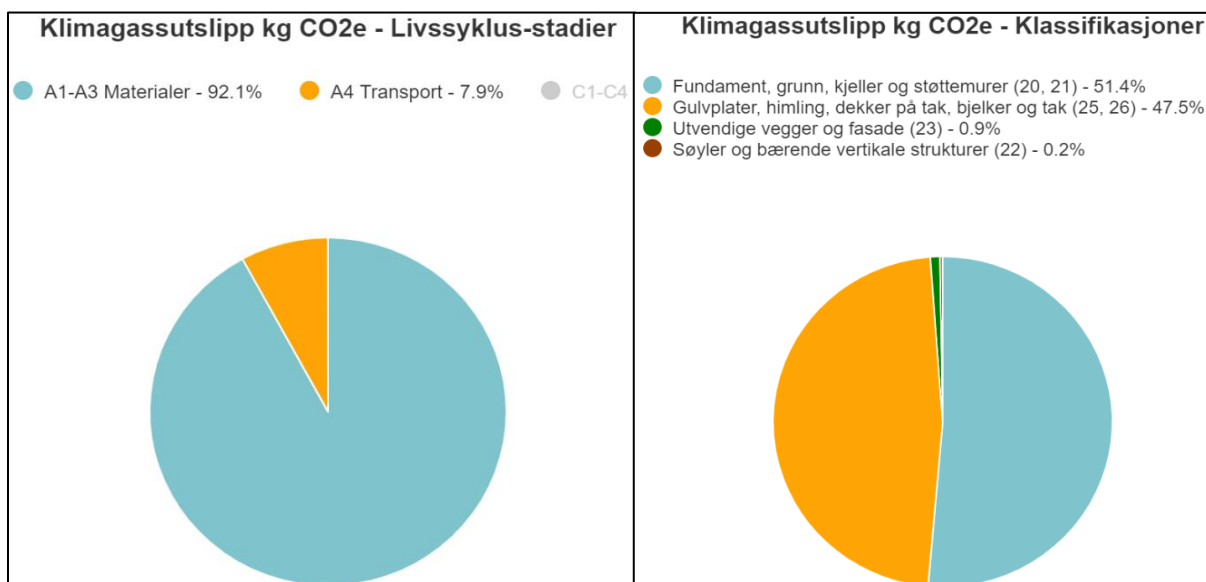
### 5.3.5 Hullekke og stål

På Figur 26 kommer det fram at A1-A3 står for 93,2% av utslippene for modell 5a. Hovedutslippet kommer fra fundament/kjeller og horisontale elementer. 11,5% kommer fra søyler og bærende vertikale strukturer.



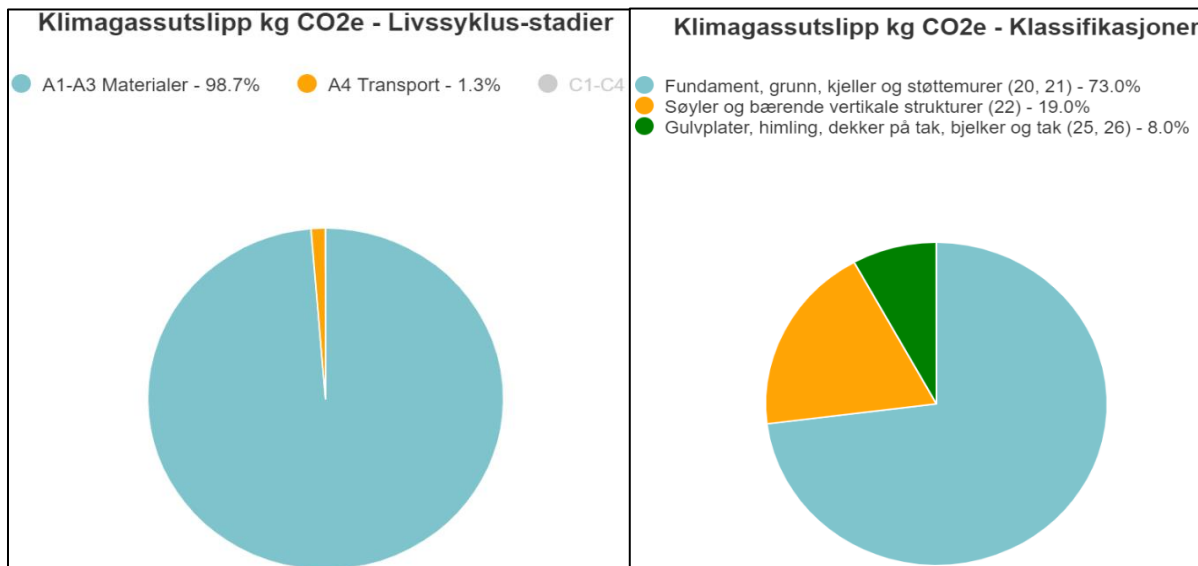
Figur 26: Fremstilling av CO2e til livssyklus-stadier og for klassifikasjoner hentet fra One Click LCA. Modell 5a

For modell 5b viser Figur 27 at fordelingen av utslipp på A1-A3 og A4 er nesten tilsvarende lik for 5a, men at søyler og bærende vertikale strukturer og horisontale elementer har blitt mye lavere da det her er tatt i bruk ombrukt stål.



Figur 27: Fremstilling av CO2e til livssyklus-stadier og for klassifikasjoner hentet fra One Click LCA. Modell 5b.

I modell 5c utgjør A1-A3 høyest andel av utslippet, se Figur 28. 5c er også den modellen der fundament/kjeller utgjør mest da hulldekkene er ombrukt.










Figur 28: Fremstilling av CO2e til livssyklus-stadier og for klassifikasjoner hentet fra One Click LCA. Modell 5c.



# Kapittel 6      Diskusjon

## 6.1    Diskusjon av resultater

1	2	3	4	5a	5b	5c
						
Massivtre	Konstruksjonsvirke	I-bjelke	Plasstøpt betong	HD og stål	HD og ombrukt stål	Stål og ombrukt HD
<b>Kostnad [Mill. kr]</b>						
16,982	10,113	9,502	9,211	8,524	7,608	6,039
<b>Utslipp [Tonn CO2e]</b>						
251	174	224	286	271	232	164

Tabell 8: Oversikt av modeller og tilhørende resultater.

Prosjektet, Strandveien 27A, er et særegent prosjekt. Svartlamon har en egen reguleringsplan, og beboere skal høres og føle seg involvert i prosjektet. Kostnad og klimagassutslippet, oppsummert i Tabell 8, er derfor ikke de eneste faktorene som påvirker hvilken bærekonstruksjon som er «beste løsning». I dette prosjektet vil også mulighet for selvbygging spille inn på hva som kan anses som beste løsning.

For å få et sammenlikningsgrunnlag valgte gruppen å inkludere yttervegger og oppbygning av dekker i klimagassberegningene. Grunnen til dette var at for eksempel et plasstøpt betongdekke lettere vil tilfredsstille brann og lydkravene til konstruksjonen, enn et bindingsverksdekke.

### 6.1.1 Klimagassberegninger

Resultatet viser at A1-A3 er den delen av livssyklusen som står for den største delen av klimagassutslippet til bærekonstruksjonene. A1-A3 omhandler råvareuttak, transport fra uttaks

sted til produsent og selve produksjonen av varen. Det vil si at valg av råvare, produsent og lokasjon spiller en stor rolle når klimagassutslippet beregnes. Resultatet viser at det er betongen i konstruksjonene som står for største delen av klimagassutslippet. Her er det stor mulighet for å redusere klimaavtrykket.

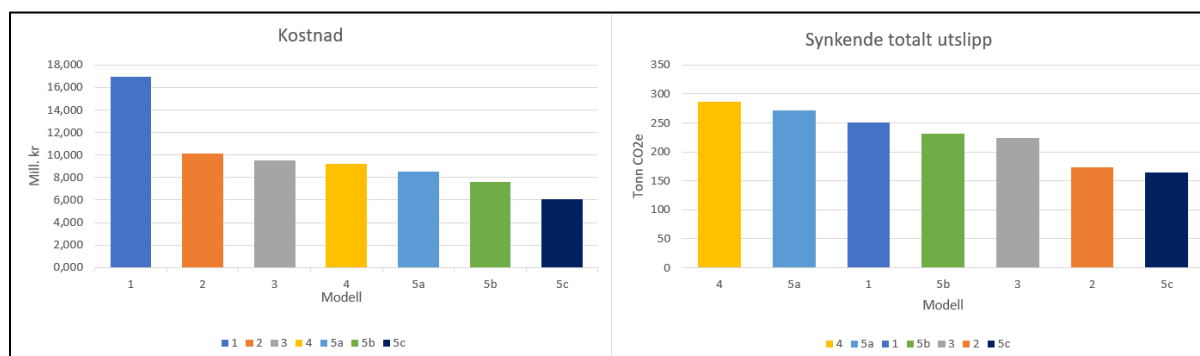
Ved ombrukt stål og/eller hulldekkeelementer, vil  $A1-A3$  for den delen av konstruksjonen være lik 0. Fra resultatene er det mulig å se at modell 5c gir det minste klimaavtrykket da hulldekkene er ombrukt. Denne blir etterfulgt av modell 2 og modell 5b. Ombruk av materialer har derfor stor betydning.

### **6.1.2 Kostnad**

Resultatene viser som forventet at modell 1 er den mest kostbare med en pris på ca. 17 millioner kroner. Dette er i underkant av 7 millioner kroner mer enn modell 2, som er den nest dyreste. Med tanke på pris er det betongkonstruksjonene som er mest gunstig. Særlig konstruksjonene med ombruk.

Merk at ombruk utgjør en risiko for entreprenører som skal bygge med ombruksmaterialene. Potensielle utfordringer tilleggskostnader knyttet til usikkerhet ved ombruk burde derfor også tas med i vurderingen. Hvordan materialene skal hentes ut fra eksisterende konstruksjon er også en utfordring. Arbeidskraft for å demontere konstruksjonen medfører økt kostnad som vil kunne påvirke resultatet av kostnadsvurderingen. Dersom det ikke er samme eier som skal ta i bruk materialene vil også testing av kvalitet og sikkerhet føre til økte kostnader.

### 6.1.3 Sammenlikning av kostnad og klimagassutslipp



Figur 29: Diagram oversikt for kostnad og utslipp i synkende rekkefølge for alle modellene.

Figur 29 viser en oversikt over kostnad og klimagassutslipp for de ulike modellene. Diagrammene viser modellene sortert fra venstre etter hhv. synkende pris og utslipp. Det fremgår ingen tydelig korrelasjon mellom kostnad og klimagassutslipp. For eksempel ser man av figuren at modell 2 har høy kostnad, men lavt utslipp, og at modell 5c både har lavest kostnad og lavest utslipp. At bygningsmaterialet er velbrukt og kjent, påvirker prisen. Sammenlignet med massivtre, som kommer dårligst ut av kostnadsberegningene, har plasstøpt betong i mye lengre tid vært brukt i bygningskonstruksjoner.

Dersom trenden i bransjen knyttet til sirkulær økonomi fortsetter, vil det trolig komme strengere krav til CO<sub>2</sub> fotavtrykk og karbonpris i nær fremtid. Dette er avgjørende for at næringen skal redusere utslippene sine betydelig. Kostnad og klimagassutslipp vil på dette tidspunktet bli mye mer sammenkoblet enn det de er i dag.

Dimensjonering av betong, per dags dato, utnytter ikke betongen til sitt fulle potensiale (A. M. Selberg, personlig kommunikasjon, 19. april 2021). Dersom dette blir endret og alle betongelementer i et bygg blir fullt utnyttet, kan det benyttes mindre dimensjoner. Dette vil ha stor betydning for klimagassutslippet.

## 6.2 Diskusjon av metode

Gjennom oppgaven har det blitt satt søkelys på klimagass- og kostnadsberegninger av ulike bæresystemer. Hele miljø- og klimaaspektet for en konstruksjon blir tatt i betraktning, er det

ikke kun materialforbruk, men også levetiden til materialene som er av betydning. Dersom et materiale har kort levetid, så må utslippet ganges med antall utbytninger i løpet av byggets levetid. Hvis dette er tilfelle, vil klimagassutslippet til konstruksjonen øke.

Det er i oppgaven brukt programvarer som i utgangspunktet var ukjente for gruppen. Mye tid har derfor gått med til å lære programmene. Selv om Revit er ganske intuitivt dersom man allerede kan f.eks. ArchiCAD, kunne det vært fordelaktig å ha gjennomgått et grunnkurs før oppgavestart. Det samme gjelder One Click LCA. Da oppgaven var avhengig av begge programmene kunne det vært en del tidsbesparelser dersom gruppen hadde hatt noen forkunnskaper.

Tidligere er det nevnt at programvaren Simplebim ble vurdert, men at det ikke ble brukt videre. Grunnen til dette var at det viste seg å være mer effektivt å hente ut mengder direkte fra Revit. Dette var mulig da konstruksjonene i denne oppgaven er relativt enkle, med kun bærende elementer. Gruppen ser at Simplebim likevel kan være et godt hjelpemiddel ved mere intrikate modeller.

I beregningene for limtre, Vedlegg 5, er søylene og bjelkene valgt ut fra standard limtredimensjoner, og er derfor noe overdimensjonert (Norske Limtreprodusenters Forening, 2015). Limtreet kunne blitt høvlet ned til nødvendig dimensjon, men dette ville ført til økte kostnader. Det vil heller ikke i praksis spare materialer med mindre avhøvlingen brukes til noe annet. Alternativet er spesialproduserte limtrebjelker, men dette blir også dyrere.

For bindingsverk har gruppen valgt å se på både I-bjelker og konstruksjonsvirke. Konstruksjonsvirke er den mest tradisjonelle av disse. Materialet er enkelt å få tak i og krever ikke så mye å produsere. En ulempe med konstruksjonsvirke er spennlengden. I-bjelker krever noe mer å produsere, men har til gjengjeld lavere vekt og større spennlengde.

### **6.2.1 Sammenlikning av bæresystemene**

Samset (2008) viser i boken Prosjekt i tidligfasen til flere metoder for konseptvurdering. Eksempler på viktige elementer som bør tas hensyn til er kostnadsanalyser, lønnsomhetsvurderinger, fremdriftsanalyse og risikoanalyse. Videre vises det til at Organisasjonen for økonomisk samarbeid og utvikling (OECD) og EU-kommisjonen anbefaler å vurdere prosjektets effektivitet, måloppnåelse, virkninger, relevans og levedyktighet. Dette er

i utgangspunktet en vurdering som skal tas i en såkalt «ex post situasjon», men kan også være nyttig i tidligfasen. Det er mulig å vurdere disse bæresystemene etter slike kriterier:

*Effektivitet* viser til hvilken grad ressursene som er benyttet har bidratt til å oppnå resultatet. Disse ressursene kan for eksempel være penger, arbeidskraft, materialer etc. I oppgaven er det funnet estimater på både klimagass og pris på bærekonstruksjonene som skal bli vektlagt i vurderingen.

*Måloppnåelse* viser til brukerresponsen; en vurdering som viser om effektmålet er oppnådd eller ikke. Dette prosjektet har flere mål. Å få videre støtte fra Enova anses som et mål for dette prosjektet, da Svartlamon har økonomiske begrensninger. Svartlamon boligstiftelse ønsker et kombinert næring- og boligbygg, men arealfordelingen er enda ikke avklart. Det er likevel ønskelig at bygget skal ha flere bruksmuligheter. Forskjellen mellom måloppnåelse for konstruksjonene vil derfor handle om fleksibiliteten, og sannsynlighet for at forslaget blir støttet av Enova. Muligheten for oppdeling av bygget blir mye friere når det er få søyler i bygget. På den andre siden, for fundamentet sin del vil færre søyler føre til mindre fordeling av last og fare for større setninger. Dermed kan det også argumenteres for at konstruksjonene med flere søyler og kortere spenn er mer tilpasset tomten og grunnforholdene der.

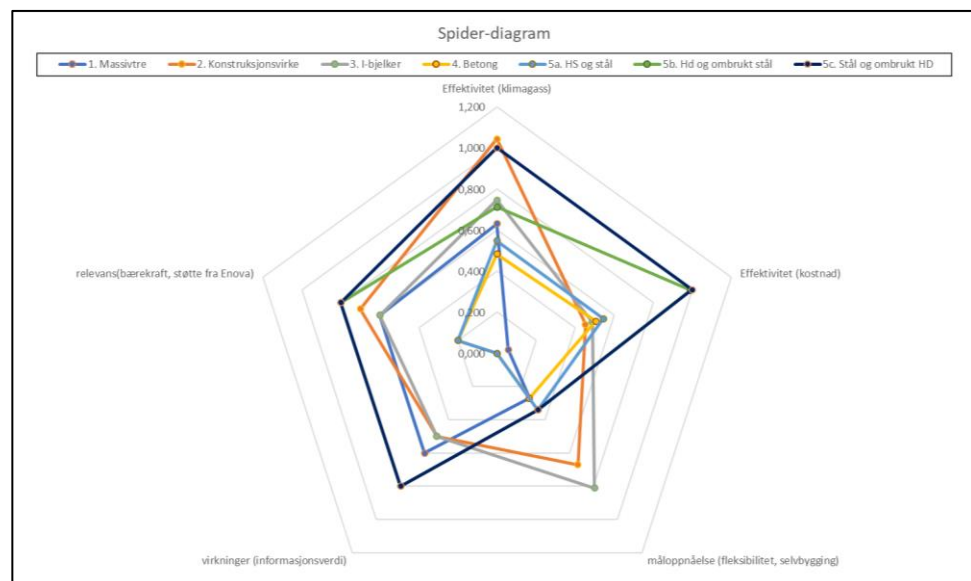
*Virkninger* viser til positive og negative virkninger som kan tilbakeføres til prosjektet. Dette kan for eksempel være økonomiske, miljø- eller samfunnsmessige virkninger, og gruppen har valgt å legge vekt på miljø- og samfunnsmessige virkninger. Med dette menes ikke de umiddelbare, men heller ettervirkningene av prosjektet. Etersom det kun er bærekonstruksjonen i fokus og ikke fasadeelementer, isolasjon, energi etc. blir det ikke sett på fremtidig energiforbruk. Det antas heller at den største miljømessige og samfunnsmessige konsekvensen av prosjektet involverer informasjonsverdi. Det vil si til hvilken grad prosjektet kan fremme informasjon om mer bærekraftige bygninger. Samset (2008) viser også her til hvordan virkninger kan «predikeres» ved å se på lignende prosjekter. Under omvisning på Svartlamon indikerte Kathrine E. Standal (personlig kommunikasjon, 17.februar 2021) at selv om «nyhuset» i Trondheim fikk tittelen som «*verdens høyeste trehus*» og en rekke norske og internasjonale priser, var bygget ikke kun godt mottatt av beboerne. Dette ettersom det ble oppfattet at beboerne ikke fikk være med på avgjørelser om bygget. For at beboerne skal få et

slags eierskap til bygget ble det derfor nevnt at en viktig faktor var muligheten for selvbygging, dette går også under måloppnåelse.

*Relevans* viser til om prosjektet er relevant i samfunnet; «på rett sted, til rett tid, med riktig anvendelse». Byggeprosjektets bærekraft står høyt i fokus nå, og det er mulig å anta at fokuset på klima bare kommer til å stige. De mest relevante byggene i denne sammenhengen vil være konstruksjonene av tre og konstruksjonene med ombrukt hulldekke og ombrukt stål. Bærekonstruksjonen av plasstøpt betong vil i denne sammenhengen være svært lite relevant, ikke minst ettersom det er søkt om støtte fra Enova. Det er mulig å vurdere om bærekonstruksjonen ved bruk av I-bjelker og konstruksjonsvirke er mer relevante ettersom det er ønskelig å ta i bruk selvbygging. Dette vil i mindre grad være mulig med massivtre eller hulldekke og stål. Ombruk er også svært relevant med tanke på mer innovative løsninger for bærekonstruksjoner som også oppfyller krav fra DiBK.

*Levedyktighet* viser til om effektene av prosjektet vedvarer etter at prosjektet er fullført. Dette kan være vanskelig å predikere, men kan knyttes nært opp mot relevans og vil ikke bli vurdert i denne sammenhengen.

Figur 30 gir en visuell fremstilling av kriteriene som ble introdusert ovenfor i form av et spider-diagram. Jo større areal, desto mer samsvarer modellen med de gitte kriteriene. Diagrammet viser ikke hvilke kriterier som vektlegges mest, og i denne oppgaven vil for eksempel selvbygging og ombrukt bli vektlagt mer da dette fører til mer engasjement fra beboerne. Figuren viser at modell 1, 4 og 5a har minst areal, og kommer dårligst ut totalt sett. Modell 2, 3, 5b og c har størst areal, og oppfyller kriteriene i større grad hvor modell 5c kommer best ut.



Figur 30: Spider-diagram for de ulike konstruksjonene.

## SWOT-analyse

SWOT står for Strength, Weaknesses, Oppurtunities og Threats (Samset, 2008). I denne sammenheng brukes matrisen for å gjøre en enkel, kvalitativ sammenlikning av resultatene. Under ligger matrisene for de gjeldende bærekonstruksjonene.

### 1. Massivtre

---

<b>Styrke</b>	<b>Svakhet</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Stiv og lett konstruksjon</li><li>- Godt inneklime m. treverk</li><li>- Relativ rask konstruksjon å sette opp</li><li>- Egnet for skånsom demontering</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Høyest kostnad 16,982 mill.kr</li><li>- Høyt utslipp, 251 tonn CO<sub>2</sub>e</li></ul>

---

<b>Mulighet</b>	<b>Trussel</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- «på møte» i tiden vi er i</li><li>- Mulighet for støtte fra Enova</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Beboere får ikke vært involvert nok</li><li>- Mindre vanlig konstruksjon; derfor større usikkerhet/risiko</li></ul>

---

### 2. Konstruksjonsvirke

---

<b>Styrke</b>	<b>Svakhet</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Lavt utslipp, 174 tonn CO<sub>2</sub>e</li><li>- Mange søyler → bra for fundament</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Nest dyrest, 10.113mill.kr</li><li>- Ikke en veldig stiv konstruksjon</li><li>- Lite fleksibelt</li></ul>

---

<b>Mulighet</b>	<b>Trussel</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Beboere får vært involvert</li><li>- Stor mulighet for selvbygging</li><li>- Mulighet for støtte fra Enova.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Ikke nyskapende nok</li></ul>

---

### 3. I-bjelker

---

<b>Styrke</b>	<b>Svakhet</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Lavt utslipp, 224 tonn CO<sub>2</sub>e</li><li>- Ok kostnader, 9.502 mill.kr</li><li>- Fleksibelt bygg</li><li>- Lett konstruksjon</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Ikke en veldig stiv konstruksjon</li><li>- Få søyler → mindre fordeling av last</li></ul>

---

<b>Mulighet</b>	<b>Trussel</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Beboere får vært involvert</li><li>- Mulighet for støtte fra Enova</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Ikke nyskapende nok</li></ul>

---

#### 4. *Plasstøpt betong*

---

<b>Styrke</b>	<b>Svakhet</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Billig, 9,211 mill.kr</li><li>- Godt kjent materiale</li><li>- Lett utførelse</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Høyest utslipp, 286 tonn CO2e</li><li>- Tung konstruksjon → setninger</li><li>- Dårlig for sirkulær økonomi</li></ul>
<b>Mulighet</b>	<b>Trussel</b>
	<ul style="list-style-type: none"><li>- Beboere får vært lite involvert</li><li>- Passer ikke inn i kulturen</li></ul>

---

#### 5a. *Hulldekke og stål*

---

<b>Styrke</b>	<b>Svakhet</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Billig, 8.524 mill.kr</li><li>- Egned for skånsom demontering</li><li>- Store spenn → god fleksibilitet</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Høyt utslipp, 271 tonn CO2e</li><li>- Bruk av betong</li></ul>
<b>Mulighet</b>	<b>Trussel</b>
	<ul style="list-style-type: none"><li>- Beboere får vært lite involvert</li></ul>

---

#### 5b. *Hulldekke og ombrukt stål*

---

<b>Styrke</b>	<b>Svakhet</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Billig, 7.608 mill.kr</li><li>- Egned for skånsom demontering</li><li>- Store spenn → god fleksibilitet</li><li>- Middels utslipp, 232 tonn CO2e</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Bruk av betong</li><li>- Usikkerhet rundt materiale</li><li>- Usikkerhet rundt kostnad</li></ul>
<b>Mulighet</b>	<b>Trussel</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Nyskapende, baner vei</li><li>- Støtte fra fylkeskommunen</li><li>- Støtte fra Enova</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Beboere får vært lite involvert</li></ul>

---

#### 5c. *Stål og ombrukt hulldekke*

---

<b>Styrke</b>	<b>Svakhet</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Minst kostnad, 6.039 mill.kr</li><li>- Egned for skånsom demontering</li><li>- Store spenn → god fleksibilitet</li><li>- Lavest utslipp, 164 tonn CO2e</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Usikkerhet rundt materiale</li><li>- Usikkerhet rundt kostnad</li></ul>
<b>Mulighet</b>	<b>Trussel</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Nyskapende, baner vei</li><li>- Støtte fra fylkeskommunen</li><li>- Støtte fra Enova</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Beboere får vært lite involvert</li></ul>

---



## **6.3 Feilkilder**

### **6.3.1 Beregninger**

Ved dimensjonering av modell 1, 4 og 5 er det blitt tatt i bruk forskjellige tabeller. Dette vil ofte føre til overdimensjonering, noe som kan påvirke resultatet. Som gjort rede for i Avsnitt 3.1.3 er det i alle konstruksjonene tatt i bruk likt avstivningssystem. Dette er ikke det mest realistiske med tanke på at for eksempel massivtre med bærende massivtrevegger og plasstøpt betong vil ha en høyere stivhet enn bindingsverk.

### **6.3.2 One Click LCA**

I den betalte versjonen av One Click LCA kommer det opp forslag til hvilke elementer og materialer som kan byttes ut for å gjøre konstruksjonen mer bærekraftig. Studentversjonen har ikke denne funksjonen og det er derfor mulig at klimagassutslippet kan reduseres noe ved bruk av EPD'er fra andre leverandører. Videre var det i noen tilfeller utfordrerne å finne EPD'er til de materialene som skulle tas i bruk. Et eksempel på dette var Conlit isolasjon som ble brukt for isolering av stålsøyler og bjelker i modell 5. EPD'en som ble brukt i dette tilfelle kommer fra produsenten Rockwool i Spania, men det ble antatt at EPD'en for norskprodusert Conlit isolasjon var noe lik. Ved bruk av One Click LCA var det også i noen tilfeller brukt utdaterte EPD'er ettersom disse i større grad samsvarer med materialene og dimensjonene på de materialene som skulle brukes.

Ettersom det kun var bærekonstruksjonen som skulle vurderes, ble årlig energiforbruk satt til 0 kWh. Det er mulig at det er forskjeller på de forskjellige bærekonstruksjonene, men disse blir ikke tatt med i beregningen ved sammenlikning.

Det er ikke tatt hensyn til bearbeiding av ombrukt stål (for eksempel kapping, sveising, rustfjerning og overflatebehandling). Dette kan gjøre klimagassutslippet og kostnaden for modell 5b blir noe høyere.

I modellene 5a og 5c vil mengden stål være noe mindre. Dette ettersom det ikke er tatt hensyn til at dimensjonene er noe mindre dersom en ikke bruker ombrukt stål fra Granåsen. Disse forskjellene antas å være minimale.

### **6.3.3 Norsk Prisbok**

I bærekonstruksjonene er det blitt brukt lavkarbonbetong klasse A i One Click LCA. Ved bruk av Norsk Prisbok, var lavkarbonklasse A ikke et alternativ. Her er det brukt lavkarbonklasse C. Dette vil si at prisen til kjellerkonstruksjonene samt betongkonstruksjonen er undervurdert og den realistiske prisen vil være noe høyere. For alle konstruksjonene er det brukt samme betongkvalitet i kjellerkonstruksjon sammenlikningsgrunnlaget er derfor likt. I hovedsak vil betongkvaliteten kun påvirke prisen til plasstøpt betong og muligens hulldekker.

For modellene 5b og 5c, med ombrukt stål og betong, vil det være mye usikkerhet i prisen. Norsk prisbok har ikke tall på ombruk og dette kan være en mulig feilkilde.

Det mye usikkerhet knyttet opp mot prisen til ombrukt materiale. Dette gjelder blant annet lagring, dokumentasjon og bearbeiding. I et møte med Gard Hopsdal Hansen, fra Trøndelag fylkeskommune, og Chin-yu Lee, fra Trondheim Kommune (personlig kommunikasjon, 03.03.2021), ble det foreslått at fylkeskommunen kunne bidra med dekking av kostnadene for resertifisering av materialer ved ombruk ettersom dette blir ansett som et viktig satsningsområde.

## **Kapittel 7      Konklusjon**

Ved å se på resultatene er det modell 2, 3, 5b og 5c som skiller seg ut. Modell 2 har høy kostnad, men skårer godt på både klimagass og relevans. Modellen har ikke lange spenn og er derfor ikke den mest fleksible konstruksjonen. Lastfordelingen er derimot bedre enn for eksempel i modell 3. Modell 3 har høyere utslipp enn modell 2, men skårer bedre på kostnad og fleksibilitet. Modell 5b og c ligger i toppsjiktet på vurderingskriteriene, men er avhengig av tilgjengelighet på ombrukte materialer.

Dersom kun arealet fra spider-diagrammet hadde avgjort hvilken konstruksjon som er beste løsning ville gruppen valgt modell 2: konstruksjonsvirke. Men når alle aspekter skal tas i betraktning lander gruppen på modell 3: I-bjelker som «beste løsning». Dette kommer av at forskjellen i spenn ikke er så stor at lastfordelingen vil bli betydelig, men stor nok til at fleksibiliteten og dermed engasjementet fra beboerne blir større. Forskjellen i utslipp er heller ikke så dramatisk at dette er avgjørende.

Selv om modell 3: I-bjelker velges som «beste løsning» per dags dato, skal ikke konstruksjonene med ombrukt stål og ombrukte hulldekker utelukkes. Resultatene indikerer at dersom muligheten for ombruk av blant annet stål og hulldekker er mulig i senere faser av prosjektet, vil dette være høyst aktuelt. Stål og ombrukt hulldekke skiller seg ut som den «beste løsning» ved tilgang til riktig rivingsprosjekt, materialer og sertifiseringer. I denne fasen av prosjektet vil ikke stål fra Granåsen og hulldekker fra Institutt for Marin teknikk være et reelt valg da demontering, lagring og sertifiseringer, samt kostnad for dette er utfordrende per dags dato.

## **Kapittel 8      Veien videre**

I denne oppgaven har gruppen kun sett på konstruksjoner der alle etasjene over bakken består av samme type materiale. En kombinasjon av de ulike materialene kunne vært interessant å se nærmere på, for eksempel en hybrid mellom hulldekke og stål sammen med bindingsverk. Det kan eksempelvis bli gjort ved at annethvert dekke består av hulldekker og alle bærende søyler og bjelker av stål settes opp av en entreprenør. Dette gir også mulighet for selvbygging, der beboere selv kan sette opp lettvegger og dekker av bindingsverk.

## **Kapittel 9      Avvik**

### **9.1   AVVIK 1**

Avvik gjelder varmegjennomgang delen av resultatmålet;

«Prosjektore bæresystemet til Strandveien 27A i bindingsverk, massivtre og stål/betong, med to alternativer til betong; prefabrikkert betonghulldekke og plasstøpt betong. Prosjekteres i henhold til TEK17, med fokus på krav til brann, lyd og varmegjennomgang. Prosjekteres i samarbeid med Multiconsult, men eget og andres arbeid skal skilles.»

Avviket skyldes at gruppen ikke har tatt for seg varmegjennomgang i prosjektet da dette ikke var tiltenkt fra starten av.

Resultatmålet endres derfor til følgende;

«Prosjektore bæresystemet til Strandveien 27A i bindingsverk, massivtre og stål/betong, med to alternativer til betong; prefabrikkert betonghulldekke og plasstøpt betong. Prosjekteres i henhold til TEK17, med fokus på krav til brann og lyd. Prosjekteres i samarbeid med Multiconsult, men eget og andres arbeid skal skilles».

Trondheim, 19.04.2021

### **9.2   AVVIK 2**

Avvik gjelder bruk av standarden NS3720 i resultatmålet;

*«Beregne klimagassregnskap for overnevnte valg, som dekker fasene A1-A3 og B4, ved hjelp av NS3720 Metode for klimagassregnskap i bygninger».*

Avviket kommer av at gruppen bruker programmet OneClick LCA for å utføre klimagassregnskap for konstruksjonsmodellene i sin bacheloroppgave.

I utgangspunktet skulle klimagassberegningen foregå etter den nye standarden NS 3720 *«Metode for Klimagassberegninger for bygninger»*. Denne standarden er derimot ikke tilgjengelig i studentversjonen av programmet. Den internasjonale standarden EN 15978 *«Bærekraftige byggverk – Vurdering av bygningers miljøpåvirkning»* blir brukt istedenfor. Forskjellen mellom disse er i hovedsak at den norske standarden har høyere krav til hva som skal inkluderes i vurderingen slik at en enklere skal kunne sammenlikne løsninger.

Dette avviket gjelder alle modellene som studentene tar for seg i oppgaven. Sammenlikningsgrunnlaget og valg av «beste løsning» vil derfor ikke påvirkes i stor grad av denne endringen av standarder.

Resultatmålet endres derfor til følgende;

*«Beregne klimagassregnskap for overnevnte valg, som dekker fasene A1-A3 og B4, ved hjelp av EN-15978 Vurdering av bygningers miljøprestasjon- Beregningsmetode».*

Trondheim, 29.04.2021

## Kapittel 10      Figurer

<i>Figur 1: Volumstudie av Strandveien 27A.</i> .....	2
<i>Figur 2: Avfallspyramide.</i> .....	4
<i>Figur 3: Oversikt over dokumentasjonskravene</i> .....	6
<i>Figur 4: Oversikt over stabile og ustabile avstivningssystem.</i> .....	11
<i>Figur 5: Avstivningssystem Strandveien 27A.</i> .....	12
<i>Figur 6: Aksestystem konstruksjon av massivtre</i> .....	14
<i>Figur 7: eksempel på oppbygging av massivtreelement.</i> .....	15
<i>Figur 8: Aksestystem konstruksjon av konstruksjonsvirke</i> .....	16
<i>Figur 9: Eksempel på oppbygning av konstruksjonsvirkeelement.</i> .....	16
<i>Figur 10: Eksempel på oppbygningen av bindingsverkselement.</i> .....	16
<i>Figur 11: Aksestystem konstruksjon av I-bjelke</i> .....	18
<i>Figur 12: Aksestystem konstruksjon av plasstøpt betong</i> .....	19
<i>Figur 13: Aksestystem konstruksjon av HD og stål.</i> .....	20
<i>Figur 14: LCA-faser.</i> .....	23
<i>Figur 15: Totalt tonn CO<sub>2e</sub> etter type bærekonstruksjon.</i> .....	25
<i>Figur 16: Tonn CO<sub>2e</sub> fordelt på livsløpsfaser eter type bærekonstruksjon.</i> .....	25
<i>Figur 17: Kostnad for hver enkelt av konstruksjonsmodellene</i> .....	26
<i>Figur 19: Fremstilling av CO<sub>2e</sub> for klassifikasjoner hentet fra One Click LCA. Modell 1.</i> ....	27
<i>Figur 18: Fremstilling av CO<sub>2e</sub> til livssyklus-stadier hentet fra One Click LCA. Modell 1.</i> ...	27
<i>Figur 21: Fremstilling av CO<sub>2e</sub> for klassifikasjoner hentet fra One Click LCA. Modell 2.</i> ....	28
<i>Figur 20: Fremstilling av CO<sub>2e</sub> til livssyklus-stadier hentet fra One Click LCA. Modell 2</i> ...	28
<i>Figur 23: Fremstilling av CO<sub>2e</sub> for klassifikasjoner hentet fra One Click LCA. Modell 3.</i> ....	29
<i>Figur 22: Fremstilling av CO<sub>2e</sub> til livssyklus-stadier hentet fra One Click LCA. Modell 3</i> ...	29
<i>Figur 25: Fremstilling av CO<sub>2e</sub> for klassifikasjoner hentet fra One Click LCA. Modell 4.</i> ....	30

<i>Figur 24: Fremstilling av CO<sub>2</sub>e til livssyklus-stadier hentet fra One Click LCA. Modell 4 ...</i>	30
<i>Figur 26: Fremstilling av CO<sub>2</sub>e til livssyklus-stadier og for klassifikasjoner hentet fra One Click LCA. Modell 5a.....</i>	31
<i>Figur 27: Fremstilling av CO<sub>2</sub>e til livssyklus-stadier og for klassifikasjoner hentet fra One Click LCA. Modell 5b.....</i>	31
<i>Figur 28: Fremstilling av CO<sub>2</sub>e til livssyklus-stadier og for klassifikasjoner hentet fra One Click LCA. Modell 5c. ....</i>	32
<i>Figur 29: Diagram oversikt for kostnad og utslipp i synkende rekkefølge for alle modellene.</i>	35
<i>Figur 30: Spider-diagram for de ulike konstruksjonene. ....</i>	38



## Kapittel 11 Referanser

- Bovim, N. I. (2017). Retrieved April 2021, from Masonite-tabell: Lett lydbjelkelag:  
<https://www.masonite.no/media/4677/6-lett-lydbjelkelag.pdf>
- Byggevareindustrien. (2018). *Ny standard NS 3720 - Metode for Klimagassberegninger for bygninger*. Retrieved April 2021, from <https://www.byggevareindustrien.no/nyheter-2018/ns-3720-klimagassberegninger/>
- COWI. (2019, Mars 20). *Fortsatt mange barrierer i veien for en sirkulær byggsektor*. Retrieved from cowi.no: <https://www.cowi.no/om-cowi/nyheter-og-presse/kan-byggsektoren-bli-mer-sirkulaer>
- Dekkesystemer AS. (u.d.). *Dekkesystemer*. Retrieved mai 2021, from <https://dekkesystemer.no/>
- Direktoratet for byggkvalitet. (2010). *Forskrift om dokumentasjon av byggevarer (DOK)*. Retrieved 7. februar, 2021, from <https://dibk.no/regelverk/dok/>
- Direktoratet for byggkvalitet. (2017). *Byggteknisk forskrift (TEK 17) med veiledning*.
- Direktoratet for byggkvalitet. (2019, 4 desember). *dibk.no*. Retrieved from Ombruk er krevende, men ikke umulig: <https://dibk.no/om-oss/Nyhetsarkiv/ombruk-er-krevende-men-ikke-umulig/>
- EØS-notat. (2020, Mai 04). *Handlingsplan for sirkulær økonomi, 2020*. Retrieved from regjeringen.no: <https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2020/jan/veikart-for-sirkular-okonomi-2019/id2691183/>
- Hegnes, A. W., & Walbækken, M. M. (2020). *Samfunnsøkonomisk analyse av redusert avfall i byggebransjen*. Oslo. Retrieved Mai 2021, from [https://evalueringsportalen.no/evaluering/samfunnsokonomisk-analyse-av-reduisert-avfall-i-byggebransjen/samfunnsokonomisk-analyse-av-reduisert-avfall-i-byggebransjen\\_nibio-og-samfunnsokonomisk-analyse-2020.pdf/@@inline](https://evalueringsportalen.no/evaluering/samfunnsokonomisk-analyse-av-reduisert-avfall-i-byggebransjen/samfunnsokonomisk-analyse-av-reduisert-avfall-i-byggebransjen_nibio-og-samfunnsokonomisk-analyse-2020.pdf/@@inline)
- Høgskolen i Sør-Trøndelag. (2010). *Kompendium Konstuksjonslære, Grunnkurs høsten 2010*. (G. H. Svarliaunet, Ed.) Trondheim: Program for bygg og miljø.

- Haanes, H. (2021). *Hvordan kan ombruk og annen klimavennlig materialbruk redusere klimafotavtrykk fra bygg*. Retrieved from <https://www.tekna.no/contentassets/e0575281227b4baa88ef772fe1cbf0ed/hvordan-kan-ombruk-og-annen-klimavennlig-materialbruk-reducere-klimafotavtrykk-fra-bygg-asplan-viak-lang-versjon.pdf>
- Kilvær, L., Sunde, O. W., Eid, M. S., Fjeldheim, H., & Rydningen, O. (2019). *Forsvalig ombruk av byggevarer*. Direktoratet for byggkvalitet (DiBK). Retrieved from [https://dibk.no/globalassets/02.-om-oss/rapporter-og-publikasjoner/forsvarlig-ombruk-av-byggevarer\\_resirqel-2019.pdf](https://dibk.no/globalassets/02.-om-oss/rapporter-og-publikasjoner/forsvarlig-ombruk-av-byggevarer_resirqel-2019.pdf)
- Klima- og miljødepartementet. (2020). *Norge forsterker klimamålet for 2030 til minst 50 prosent og opp mot 55 prosent*. Retrieved from Regjeringen.no: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/norge-forsterker-klimamalet-for-2030-til-minst-50-prosent-og-opp-mot-55-prosent/id2689679/>
- Kortreist kvalitet. (2019, 12. november). *Svartlamon - et byøkologisk forsøksområde*. Retrieved april 2021, from kortreistkvalitet.no: [https://www.kortreistkvalitet.no/wp-content/uploads/2019/12/8-Svartlamon\\_2019.11.13\\_reduisert.pdf](https://www.kortreistkvalitet.no/wp-content/uploads/2019/12/8-Svartlamon_2019.11.13_reduisert.pdf)
- Larsen, H. N. (2019). *Bygg- og anleggssektorens klimagassutslipp*. Retrieved from [https://www.bnl.no/siteassets/dokumenter/rapporter/klimautslipp\\_bae\\_2019.pdf](https://www.bnl.no/siteassets/dokumenter/rapporter/klimautslipp_bae_2019.pdf)
- Lien, M. E. (2014, 29. oktober). *Bærekraftig byggeprosjekt på Svartlamoen*. Retrieved april 2021, from underdusken.no: <https://underdusken.no/nyhet/baerekraftig-byggeprosjekt-pa-svartlamoen/131602>
- Marton, I. (2019, 4 desember). *Hva er det med ombruk – gjennomgang av regelverket*. Innlegg presentert ved Brød & Miljø: Industriell ombruk av byggevarer, Oslo. Retrieved 3 mars, 2021, from <https://kurs.arkitektur.no/1256665>
- Miljødirektoratet. (2020, Mars 10). *Hva er sirkulær økonomi*. Retrieved from miljødirektoratet.no: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/avfall/sirkular-okonomi/>
- Miljødirektoratet. (2021). *Norge har lovfestet et mål om å bli et lavutslippssamfunn i 2050*. Retrieved from Miljøstatus: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/miljomal/klima/miljomal-5.4/>

- Nordbø, N. (2018, 19 september). *Er det mulig å bygge så høye hus i tre?* Retrieved from <https://www.nrk.no/>: <https://www.nrk.no/kultur/ni-hoye-trehus-i-norge-1.14049440>
- Norsk institutt for bioøkonomi. (2019, 26 september). *nibio.no*. Retrieved from Ombruk av tre: <https://www.nibio.no/prosjekter/fremtre>
- Norsk klimastiftelse. (n.d.). *Bygninger må bli mer energieffektive*. Retrieved from Energi og Klima: <https://energiogklima.no/klimalosninger/bygg/>
- Norsk Stål AS. (u.d.). *Produktkatalog - byggvare*. Retrieved april 2021, from <http://norskstaal.staging.dynamicweb-cms.com/Files/Files/Norsk-Stal-Brosjyre-Bbyggvarer.pdf>
- Norske Limtreprodusenters Forening. (2015, Juni). *Limtreboka*. Retrieved from Moelven: [https://www.moelven.com/globalassets/moelven-limtre/limtreboka\\_2015\\_el2.pdf](https://www.moelven.com/globalassets/moelven-limtre/limtreboka_2015_el2.pdf)
- NØYSOM arkitekter. (u.d.). *eksperimentboliger*. Retrieved april 2021, from Experimental housing at Svartlamon 2013-2017: <http://www.eksperimentboliger.no/>
- ROCKWOOL International A/S. (n.d.). *CONLIT Brannsikring*. Retrieved mars 2021, from <https://www.rockwool.no/teknisk-service/beregningsprogram/conlit-brannsikring/>
- Rosvold, K. A. (2020, april). *Svartlamon*. Retrieved from STORE NORSKE LEKSIKON: <https://snl.no/Svartlamon>
- Samset, K. (2008). *Prosjekt i tidligfasen - valg av konsept*. Trondheim: Tapir Akademisk Forlag.
- Sintef. (1996). Byggforsk. In 522.881 *Dekker av betong- og lettbetongelementer*. Oslo. Retrieved from Byggforsk 522.881 .
- Sintef. (2003a). *Snølast på tak. Dimensjonerende laster*. Retrieved from Byggforsk: [https://www.byggforsk.no/dokument/216/snoelast\\_paa\\_tak\\_dimensjonerende\\_laster](https://www.byggforsk.no/dokument/216/snoelast_paa_tak_dimensjonerende_laster)
- Sintef. (2003b). *Vindlast på bygninger*. Retrieved from Byggforsk: [https://www.byggforsk.no/dokument/3118/vindlaster\\_paa\\_bygninger](https://www.byggforsk.no/dokument/3118/vindlaster_paa_bygninger)
- Sintef. (2009a). Byggforsk. In 520.323 *Brannmotstand for bjelker og søyler av betong, mur og tre*. Oslo.
- Sintef. (2009b). Byggforsk. In 522.891 *Etasjeskillere i massivtre*. Oslo.

- Sintef. (2015). Byggforsk. In t. e. 522.514 Lydisolerende, *Byggforsk*.
- Sintef. (2016). Byggforsk. In 522.512 *Lydisolerende etasjeskillere med trebjelkelag. Målte verdier*. Oslo.
- Sintef. (2020). Byggforsk. In 520.321 *Brannmotstand for etasjeskillere av tre og betong*. Oslo.
- Standard Norge. (2016). *Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner (NS-EN 1990:2002+A1:2005+Na:2016)*.
- Standard Norge. (2019). *Allmenne laster Tetthet, egenvekt og nyttelaster i bygninger (NS-EN 1991-1-1:2002+NA:2019)*.
- Standard Norge. (2019). *Lydforhold i bygninger Lydklasser for ulike bygningstyper (NS 8175:2012)*.
- Stiftelsen for Kildesortering og Gjenvinning. (2018). *avfallshierarki*. Retrieved from Store norske leksikon: <https://snl.no/avfallshierarki>
- Sørnes, K., Nordby, A. S., Fjeldheim, H., Hashem, S. M., Mysen, M., & Dahl, R. (2014). *Anbefalinger ved ombruk av byggematerialer*. Oslo: SINTEF akademisk forlag. Hentet fra [https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2365072/SINTEF\\_Fag\\_18.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2365072/SINTEF_Fag_18.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Tenk Tre. (2020, 03 juni). *tenktre.no*. Retrieved from Det nytter ikke bare å plante, vi må også hogge: [https://www.tenktre.no/a/vi-maa-ogsaa-hogge?gclid=CjwKCAjw7diEBhB-EiwAskVilyBinRiXHCgNCJHPzUHRM-4BzmvRun\\_kDjmkHMAZni-ewRa8dIElxBoC6x4QAuD\\_BwE](https://www.tenktre.no/a/vi-maa-ogsaa-hogge?gclid=CjwKCAjw7diEBhB-EiwAskVilyBinRiXHCgNCJHPzUHRM-4BzmvRun_kDjmkHMAZni-ewRa8dIElxBoC6x4QAuD_BwE)
- The Norwegian EPD Foundation. (2021, Mai). *Hva er en EPD*. Retrieved from [epd-norge.no: https://www.epd-norge.no/hva-er-en-epd/](https://www.epd-norge.no/hva-er-en-epd/)
- Venås, R. (2021). *Sirkulærøkonomi i bygge- og eiendomsbransjen*. Retrieved from [rif.no: https://rif.no/wp-content/uploads/2021/04/Sirkulaerokonomi-160420.pdf](https://rif.no/wp-content/uploads/2021/04/Sirkulaerokonomi-160420.pdf)
- Vinje, L. (2016). *Betongelementboken bind B, Avstivning og kraftoverføring*. Oslo: Betongelementforeningen. Retrieved April 2021, from

<https://betongelementboka.betongelement.no/betongapp/BookB.asp?isSearch=0&liID=Forord&DocumentId=BindB/Forord.pdf&BookId=B>

## Kapittel 12 Vedleggsliste

1. Plakat	s. 1
2. Artikkel	s. 2
3. Reguleringsplan	s. 4
4. Søknad til Enova	s. 15
5. Beregninger	s. 30
6. Søyte beregninger utført av Multiconsult	s. 106
7. KLH-massivtre	s. 130
8. Granåsen	s. 150
a. Granåsen befarings	
b. Granåsen K123	
c. Granåsen mengde	
9. Arbeidstegninger	s. 162
10. Mengder	s. 177
11. One Click LCA	s. 180
12. Kostnadsberegninger	s. 197