

**Kostnader og klimagassregnskap: massivtre sammenlignet med stål og sandwichpanel i en flerbrukshall.**

Cost and Carbon Accounting: CLT Compared to Steel and Sandwich Panels in a Multi-purpose Sports Hall.

**Trondheim Mai 2022**

Stian Iversen  
Rudi Bråthen Pedersen  
Willy Li Saxhaug

Intern veileder:  
Robert Storm Mortensen

Ekstern veileder:  
Jens Olav Kjærstad

Prosjektnr:  
2022 – 12

Rapporten er ÅPEN

Rapporten er ÅPEN

## **Prosjektbeskrivelse og resultatmål**

Bacheloroppgaven skal i hovedsak svare på hvordan klimagassregnskapet og økonomien i et massivtreprosjekt endres, dersom massivtre byttes ut med et alternativt konstruksjonsmateriale. Oppgaven tar utgangspunkt i en nylig oppført flerbrukshall i massivtre. For å produsere realistiske og anvendelige tall, vil det bli foretatt en vurdering av hvilke byggematerialer som er best egnet. Hallens utforming vil med visse begrensninger bli optimalisert, for å utnytte de alternative materialenes egenskaper best mulig. Optimaliseringer kan innebære blant annet ytre mål, spennvidder og akseavstander. En alternativ hall vil bli omprosjektert og modellert i Archicad.

Med en modell av det eksisterende bygget og det omprosjekterte bygget, vil mengder kunne hentes ut. Med mengder som grunnlag, vil det kunne utarbeides både et klimagassregnskap og et økonomiregnskap for begge byggene.

### Stikkord:

Massivtre, stål, sandwichelementer, klimagassregnskap og kostnadskalkyle.

## Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet våren 2022 av tre byggingeniørstudenter ved Institutt for bygg- og miljøteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet i Trondheim. Bacheloroppgaven er den avsluttende oppgaven etter et treårig studieløp som utgjør 20 studiepoeng. Backe Romerike er oppdragsgiver for denne oppgaven.

Gjennom studieløpet har gruppen utviklet en felles interesse for ulike konstruksjonsmaterialer, og det ble raskt klart at gruppen ønsket og å gjennomføre en sammenligningsstudie av ulike konstruksjonsmaterialer. Etter å ha vært i kontakt med Backe Romerike ble det foreslått å utrede et alternativ til en allerede oppført idrettshall i massivtre. Deretter ble det utarbeidet et klimagassregnskap og kostnadskalkyle for begge bygningsalternativene, før disse ble sammenlignet. Oppgaven har bidratt til tilegnelsen av kunnskap vi mener forbereder oss til arbeidslivet og videre studier.

Vi vil først og fremst rette en takk til vår interne veileder, Robert Storm Mortensen, for god hjelp og generelt god veiledning gjennom oppgaven. Videre vil vi takke vår eksterne veileder Jens Olav Kjærstad og Backe Romerike for muligheten, samt idémyldring og veiledning. Vi ønsker også å takke representanter fra Paroc, Lett-tak, SL mekaniske, Betong Øst og Splitkon som har hjulpet oss underveis, med deres fagfelt.

Til slutt ønsker vi å takke Solveig Antonette Olsen Berget og Raymond Saxhaug for hjelp med korrekturlesning av oppgaven.

Trondheim, mai 2022



Stian Iversen



Rudi Bråthen Pedersen



Willy Li Saxhaug

## Sammendrag

I likhet med de fleste bransjer forsøker også byggebransjen å kutte utslipp der det er mulig. En slik omlegging krever innovative tiltak. Klimagassutslipp bør i den grad det lar seg gjøre, prioriteres i flere steg av prosjekteringen. Samtidig kommer ofte mange klimavennlige løsninger med en høyere prislapp, enn andre alternativ. Denne rapporten tar sikte på å undersøke og beskrive kostnadsbesparende løsninger, som også resulterer i klimagasskutt.

Prosjektgruppens eksterne oppdragsgiver, Backe Romerike, har gitt gruppen tilgang til prosjektmaterialet fra byggingen av Fremtidens skole i Sør-Odal. Dette er en skole bygget i massivtre, med tilhørende flerbrukshall i samme materiale. Backe Romerike var totalentreprenør for prosjektet. Flerbrukshallen med tilhørende rom brukes som referansebygg i dette prosjektet. Gruppen har omprosjektert flerbrukshallen, med både kostnadsbesparende og klimavennlige tiltak. I denne rapporten sammenlignes og analyseres forskjeller i pris og klimagassutslipp mellom de to byggene.

For å gjøre de to byggene sammenlignbare i funksjon, er referansebyggets form og bebyggd areal beholdt. Referansebyggets bæresystem av massivtre er i det omprosjekterte bygget byttet ut med ramme i stål, der ytterveggene består av sandwichpaneler. Mengdene av bygningsdelene brukes som grunnlag for et klimagassregnskap av livssyklusstadiene A1-A5, og prisberegninger er gjort med priser hentet inn fra leverandører og priser fra Norsk Prisbok. Referansebygget slipper ut 136,77 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter mindre enn det omprosjekterte bygget i stål. På den annen side koster det omprosjekterte bygget 5 310 313 kr mindre. Optimaliseringer av det omprosjekterte bygget, som hovedsakelig går ut på å kutte ned på mengden materialer, har hatt positiv effekt på det omprosjekterte byggets pris og klimagassutslipp. Sterk prisvekst på byggematerialer utgjør en usikkerhet i prisberegningene. Ved å hente inn priser på de mest kostbare materialene direkte fra leverandører, vil noe av usikkerheten reduseres. Avvik i mengdeuttak og ugunstige valg av materialer utgjør også en usikkerhet i beregningene.

# Abstact

As in most industries, reduction of greenhouse gas emissions is important in the construction industry. Innovative measures and prioritizing climate-friendly solutions in all parts of the design process, is required to achieve reductions of greenhouse gas emissions. Many climate-friendly solutions are costly. This report covers cost-saving measures that results in reduction of emissions.

This thesis is written for Backe Romerike, who has given the project team access to the project material for Fremtidens skole in Sør-Odal, which is a school and a sports hall constructed out of cross laminated timber. Backe Romerike was the main contractor for the project. The sports hall is used as a reference building in this project. The project team have redesigned the sports hall, with cost saving and climate-friendly measures in mind. This thesis also covers comparisons and analyses of the differences in cost and greenhouse gas emissions of the two buildings.

The form and footprint of the reference building are kept for the redesigned building, to make the function of the two buildings the same. The reference building uses cross laminated timber and glue laminated timber as its construction material, and the redesigned building has a steel frame. The material quantities of the two buildings are used for greenhouse gas accounting and cost calculations. The greenhouse gas accounting covers lifecycle stages A1-A5, and the prices are found in Norsk Prisbok or obtained directly from the suppliers. The reference building emits 136,77 tons of CO<sub>2</sub>-equivalents less than the redesigned building. However, the redesigned building costs 5 310 313 kr less. Optimizations of the redesigned building mostly involves reduction of quantities, and it's had a positive effect on the cost and emissions of the redesigned building. There is an uncertainty in the cost calculations, due to a strong growth in building material prices. The uncertainty is reduced by obtaining prices of the costliest materials directly from the suppliers. Deviations in quantities and unfavourable choices of materials will also be sources of error in the calculations.

# Innholdsfortegnelse

1. Introduksjon .....	1
1.1. Motivasjon og formål .....	1
1.2. Omfang og avgrensning .....	1
1.3. Problemstilling .....	2
1.4. Resultatmål .....	2
2. Teori .....	3
2.1. Massivtre .....	3
2.1.1. Konstruksjonsegenskaper .....	3
2.1.2. Brannegenskaper .....	5
2.1.3. Termiske egenskaper .....	5
2.1.4. Miljøpåvirkninger .....	6
2.2. Stål .....	7
2.2.1. Konstruksjonsegenskaper .....	7
2.2.2. Brannegenskaper .....	8
2.2.3. Termiske egenskaper .....	9
2.2.4. Miljøpåvirkninger .....	9
2.3. Betong .....	9
2.3.1. Konstruksjonsegenskaper .....	10
2.3.2. Brannegenskaper .....	11
2.3.3. Termiske egenskaper .....	12
2.3.4. Miljøpåvirkninger .....	12
2.4. Trykkfast isolasjon .....	13
2.4.1. Termiske egenskaper .....	13
2.4.2. Branntekniske egenskaper .....	13
2.4.3. Bruksområde .....	13
2.5. Mineralull .....	14
2.5.1. Termiske egenskaper .....	14

2.5.2.	Branntekniske egenskaper .....	14
2.5.3.	Bruksområde .....	15
2.6.	Sandwichpaneler .....	15
2.6.1.	Konstruksjonsegenskaper .....	15
2.6.2.	Brannegenskaper .....	15
2.6.3.	Termiske egenskaper .....	16
2.6.4.	Miljøpåvirkninger .....	16
2.7.	LCA – Livsløpsvurdering.....	16
2.7.1.	Fase 1: fastsetting av hensikt og omfang. ....	16
2.7.2.	Fase 2: føre et regnskap for ressurser og utslipp i livsløpet.....	17
2.7.3.	Fase 3: vurdere miljøpåvirkningene produktet eller tjenesten har. ....	17
2.7.4.	Fase 4: tolke regnskapet og miljøpåvirkningene. ....	17
2.8.	EPD – Miljødeklarasjon .....	18
3.	Metode .....	19
3.1.	Litteratursøk .....	19
3.2.	Bruk av programvare.....	19
3.2.1.	Archicad .....	19
3.2.2.	Twinmotion.....	20
3.2.3.	Solibri.....	20
3.2.4.	Focus Konstruksjon .....	20
3.2.5.	StreamBIM.....	21
3.2.6.	Norsk prisbok.....	22
3.2.7.	One Click LCA .....	22
3.2.8.	SIMIEN.....	23
4.	Referansebygg.....	24
4.1.	Generelt .....	24
4.2.	Bygningsfysikk.....	26
4.2.1.	Energikrav .....	26

4.2.2.	Lydkrav .....	28
4.2.3.	Brannkrav .....	29
4.3.	Yttervegg .....	30
4.4.	Fundament .....	30
4.5.	Dekke .....	30
4.6.	Innervegger.....	31
4.7.	Takkonstruksjon .....	31
4.8.	Bæresystem .....	31
5.	Omprosjektert bygg .....	32
5.1.	Bygningsfysikk.....	33
5.1.1.	Energikrav .....	33
5.1.2.	Lydkrav .....	36
5.1.3.	Brannkrav .....	37
5.2.	Yttervegg .....	37
5.3.	Fundament .....	38
5.4.	Dekke .....	41
5.5.	Innervegg.....	43
5.6.	Takkonstruksjon .....	44
5.7.	Bæresystem .....	45
5.7.1.	Flerbrukshall .....	46
5.7.2.	Tilleggsbygget.....	47
5.8.	Tegninger .....	49
6.	Beregninger og tolkning .....	50
6.1.	Kostnad.....	50
6.2.	Tolkning av kostnadsberegninger .....	51
6.3.	Diskusjon av metode, kostnadsberegninger .....	52
6.4.	Klimagassutslipp .....	53
6.4.1.	Anvendelse av studien .....	53



6.4.2.	Avgrensninger.....	53
6.4.3.	Klimagassregnskap .....	54
6.4.4.	Tolkning av klimagassregnskap.....	54
6.4.5.	Diskusjon av metode, klimagassregnskap .....	58
7.	Diskusjon .....	60
7.1.	Prosjekteringsvalg .....	60
7.1.1.	Optimaliseringer .....	60
7.1.2.	Spennviddenes virkning på kostnader og klimagassutslipp.....	61
7.1.3.	Bruken av trevirke i omprosjektert bygg .....	62
7.1.4.	Bygningsdelenes U-verdi.....	63
7.1.5.	Bæresystemets oppbygning .....	63
7.2.	Feilkilder .....	63
7.2.1.	Kostnadsøkninger .....	63
7.2.2.	Detaljeringsnivå av mengdeuttak.....	64
8.	Konklusjon.....	65
8.1.	Videre arbeid .....	66
9.	Referanser .....	67
10.	Vedlegg .....	75

## Stikkordsliste

ARK	Arkitekt
BIM	Bygningsinformasjonsmodelleringsprogrammer
BKL	Brannklasse
BRA	Bruksareal
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
BTA	Bruttoareal
CLT	Cross-laminated timber
EL	Elektrisitet
EPD	Environmental Product Declaration/ miljødeklarasjon
EPS	Ekspandert polystyren
GWP	Global Warming Potential
HE-A	H-profil A
HE-B	H-profil B
KFHUP	Kaldformede hulprofiler
LARK	Landskapsarkitekt
LCA	Life Cycle Assessment
NS	Norsk standard
RIB	Rådgivende ingeniør bygg
RKL	Risikoklasse
TKL	Tiltaksklasse
VFHUP	Varmformede hulprofiler
VVS	Varme-, ventilasjons- og sanitærteknikk
XPS	Ekstrudert polystyren

# Figurliste

Figur 1: Kantstilt massivtreelement (Norsk Treteknisk Institutt, 2006a). .....	4
Figur 2: Krysslimt massivtreelement (Norsk Treteknisk Institutt, 2006a). .....	4
Figur 3: Hulromselement (Norsk Treteknisk Institutt, 2006a). .....	4
Figur 4: Oversikt over de mest brukte stålprofilene (Byggforsk, 2018). .....	8
Figur 5: Viser hvordan CO <sub>2</sub> – utslippet fra betongen er fordelt (Byggforsk, 2016). .....	12
Figur 6: Viser kapasitetskontroll av fagverksbjelke og søyler i den omprosjekterte hallen, (Utskrift fra Focus Konstruksjon). .....	20
Figur 7: Illustrasjonsbilde av Fremtidens skole (Norconsult, u.d.). .....	24
Figur 8: Lokalisering av referansebygg markert i rødt, (utklipp fra internt dokument). .....	25
Figur 9: Arealplan referansebygg, (utklipp fra internt dokument). .....	26
Figur 10: Beregnet energikarakter for referansebygg. .....	28
Figur 11: Lydkrav i referansebygg med tilhørende fargekoder, (internt dokument fra Backe). .....	29
Figur 12: Illustrasjon av det omprosjekterte bygget (utklipp fra Twinmotion). .....	32
Figur 13: Arealplan Omprosjektert bygg, (utklipp egenproduserte tegninger). .....	33
Figur 14: Viser den doble ringmuren benyttet mellom flerbrukshallen og tilleggsbygget (utklipp fra snittegning). .....	39
Figur 15: Utklipp fra fundamentplan, referansebygg. .....	40
Figur 16: Eksempel på lett, flytende gulv (Byggforsk, 2012). .....	42
Figur 17: Viser en 3D-modell av bæresystemet (utklipp fra Twinmotion). .....	46
Figur 18: Viser oppbygningen av fagverksbjelken (mål i mm). .....	47
Figur 19: Plassering av de ulike bjelketypene i tilleggsbygg, samt fagverksbjelker i hall. .....	48
Figur 20: Faser tilknyttet LCA-beregninger (One Click LCA). .....	54
Figur 21: GWP-verdi fordelt på materialer. .....	55
Figur 22: Massefordeling av materialer. .....	56

# Tabeller

Tabell 1: Lavkarbonklasser og maks antall kilo CO <sub>2</sub> -ekvivalenter (Byggforsk, 2016).....	11
Tabell 2: BRA referansebygg. ....	25
Tabell 3: Minstekrav iht. TEK10, (utskrift fra internt dokument).....	27
Tabell 4: Energiytelse iht. NS3701, (utskrift fra internt dokument).....	27
Tabell 5: Minstekrav enkeltkomponenter iht. passivhusstandarden 3701, (utskrift fra internt dokument). ....	27
Tabell 6: BRA Omprosjektert bygg.....	33
Tabell 7: Resultater av TEK10-evaluering, (utskrift fra SIMIEN).....	34
Tabell 8: Energiltak fra TEK10-evaluering, (utskrift fra SIMIEN). ....	35
Tabell 9: Evaluering mot NS 3701 for omprosjektert bygg, (utskrift fra SIMIEN). ....	36
Tabell 10: Minstekrav for komponenter i omprosjektert bygg, (utskrift fra SIMIEN). ....	36
Tabell 11: Energiytelse passivhus, (utskrift fra SIMIEN). ....	36
Tabell 12: Viser oppbygningen av AST-L og AST-F. ....	38
Tabell 13: Klimagassutslipp betong.....	40
Tabell 14: Viser oppbygningen av dekke. ....	41
Tabell 15: Viser oppbygningen av innerveggtype 1. ....	43
Tabell 16: Viser oppbygningen av innerveggtype 2. ....	43
Tabell 17: Viser oppbygningen av innerveggtype 3. ....	44
Tabell 18: Viser oppbygningen til takmodulen for flerbrukshallen.....	45
Tabell 19: Viser oppbygningen til takmodulen for tilleggsbygget. ....	45
Tabell 20: Viser dimensjonene til bjelkene som er brukt i tilleggsbygget. ....	48
Tabell 21: Totalsummer for referansebygg og omprosjektert bygg. ....	50
Tabell 22: Utgiftsposter referansebygg.....	50
Tabell 23: Utgiftsposter omprosjektert bygg. ....	50
Tabell 24: GWP for omprosjektert bygg og referansebygg.....	54
Tabell 25: GWP-verdi fordelt på materiale og bygningsdel. ....	57

# 1. Introduksjon

I dette delkapittelet blir oppgaven presentert, sammen med omfang, avgrensninger og problemstilling.

## 1.1.Motivasjon og formål

En av gruppemedlemmene hadde sommerjobb i Backe Romerike i 2021. I løpet av sommeren spurte han om det var mulighet for å kunne skrive bacheloroppgave for Backe Romerike, noe de stilte seg positiv til. Massivtre ble etter hvert nevnt som et spennende tema. I løpet av høsten 2021 ble gruppemedlemmene enige om å danne en bachelorgruppe, med Backe Romerike som oppdragsgiver. Etter møter med idémyndring, ble det bestemt at å sammenligne massivtre med andre konstruksjonsmaterialer kunne være et spennende tema som alle gruppemedlemmene ønsker lære mer om. I en bransje som står for høye klimagassutslipp, fremstår massivtre som et gunstig konstruksjonsmateriale. Gruppemedlemmene ønsker å tilegne seg mer kunnskap om egenskapene til massivtre i forhold til alternative konstruksjonsmaterialer, samt økonomi og klima, slik at dette kan brukes i fremtidige prosjekter. Ett interessant spørsmål som dukket opp under idémyndringen var: «hvor miljøvennlig og hvor dyrt er massivtre i forhold til andre materialer?» Etter samtaler med Backe Romerike, ble det bestemt at gruppa skulle ta utgangspunkt i et eksisterende massivtreprosjekt i Skarnes, i Sør-Odal kommune. Det var ønskelig å undersøke hvordan klimagassutslipp og økonomi påvirkes, dersom massivtre byttes ut med andre materialer.

## 1.2.Omfang og avgrensning

Fremtidens skole er et eksisterende bygg som er prosjektert i massivtre. Gruppen har gjennom Backe Romerike fått tilgang til store deler av prosjekteringsgrunnlaget for prosjektet. Samtidig har ikke all informasjon om økonomi- og klimagassberegninger fra referansebygget vært tilgjengelig, og dermed har gruppa gjort enkelte antagelser der dette har vært nødvendig. Referansebygget består av en nylig bygget flerbrukshall med tilhørende korridor, WC, lager, garasjer, teknisk rom og renholdssentral. Heretter vil disse rommene bli omtalt som tilleggsbygg. Referansebygget oppføres som en utvidelse til en allerede eksisterende flerbrukshall. Det er ikke gjort noen nye beregninger i forhold til fagområdene varme-,

ventilasjons- og sanitærteknikk (VVS), elektrisitet (EL), og landskapsarkitekt (LARK), fordi dette er utenfor gruppas fordypningsområde. Dette medfører at disse fagområdene ikke er blitt optimalisert, og dermed er ikke arealene som er avsatt til hvert fag endret.

### 1.3.Problemstilling

Denne oppgaven er en sammenligningsstudie som omhandler å undersøke forskjellen i klimagassutslipp og kostnad ved bruk av ulike materialer. Referansebygget er flerbrukshallen som er bygget i forbindelse med Fremtiden skole i Sør-Odal. Bygget er prosjektert i limtre og massivtre. Referansebygget vil bli sammenlignet med et omprosjektert bygg som benytter andre typer materialer, som stål og sandwichelementer.

### 1.4.Resultatmål

I oppgaven vil gruppa undersøke hvordan klimagassregnskapet og økonomien i et massivtreprosjekt endres, dersom massivtre byttes ut med et annet konstruksjonsmateriale. Oppgaven tar utgangspunkt i en nylig oppført flerbrukshall med et tilhørende tilleggsbygg. For å produsere realistiske og anvendelige tall, er det foretatt en vurdering av hvilke byggematerialer som er best egnet. Hallens utforming vil med visse begrensninger bli optimalisert, for å utnytte de alternative materialenes egenskaper best mulig. Optimaliseringer kan innebære: ytre mål, spennvidder, akseavstander, reduksjon av mengden byggematerialer og bruk av mer miljøvennlige byggematerialer. Med dette grunnlaget er det første resultatmålet å produsere en .ifc-modell av den omprosjekterte bygningen.

Med utgangspunkt i en modell av det eksisterende bygget og det omprosjekterte bygget, ble mengder hentet ut ved hjelp av programmer som Solibri. Med mengder som et grunnlag, er de to andre resultatmålene være å utarbeide og sammenligne et klimagassregnskap, og en kostnads kalkyle for begge byggene.

Resultatmål:

- Modell og tegninger av alternativ hall.
- Klimagassberegninger av oppføringen av eksisterende og alternativ hall.
- Økonomiberegning av oppføringen av eksisterende og alternativ hall.

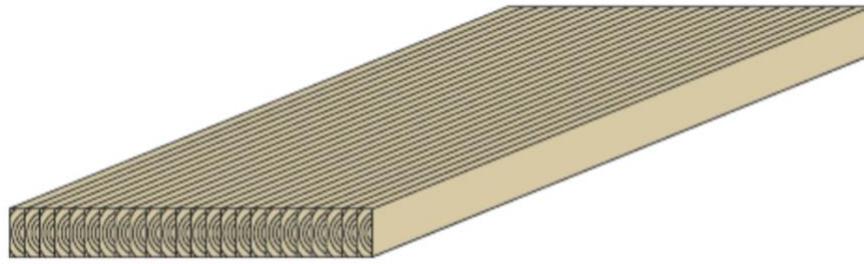
## 2. Teori

### 2.1. Massivtre

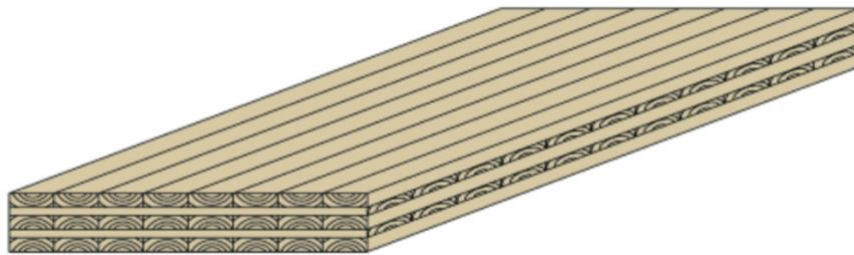
Trevirke som byggemateriale er utbredt i Norge, men selv om det er mye brukt, har det visse svakheter. I bæresystemer er trevirke mye brukt i bindingsverkskonstruksjoner. Bæresystemets begrensninger blir synliggjort av korte spennlengder, lave etasjehøyder, strenge lydkrav og avstivningsbehov. Samtidig har trevirke flere gode egenskaper, som blant annet kan brukes i massivtreelementer. Fra et miljøperspektiv er trevirke gunstig å bruke, fordi tre består av karbon som bindes i vekstfasen og frigjøres i avhendingsfasen (Alfredsen, et al., 2020). I tillegg har trevirke lav egenvekt, i forhold til sin styrke (Trefokus, u.d.). Treverk har lav varmekonduktivitet i forhold til andre konstruksjonsmaterialer (Byggforsk, 2020). Dette gjør materialet godt egnet som byggemateriale. I tillegg har det vist seg at synlig treverk i bygninger gir en positiv psykologisk effekt (Nyrud, 2019).

#### 2.1.1. Konstruksjonsegenskaper

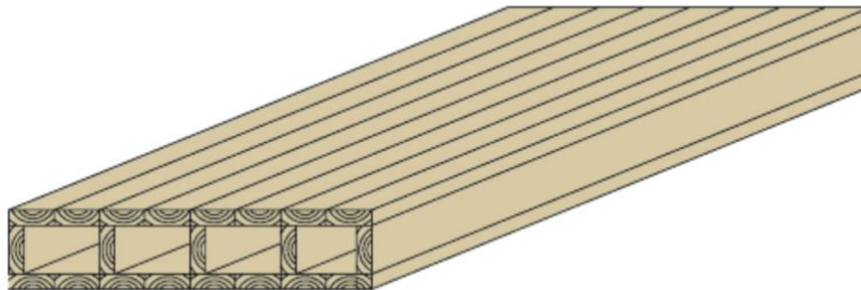
Massivtre tar med seg mange av bindingsverkskonstruksjoners gode egenskaper, samtidig som mange av begrensningene bindingsverkskonstruksjoner har, reduseres eller faller bort. Massivtreelementer produseres i hovedsak som tre typer: krysslimte elementer, kantstilte elementer og hulromselementer. Disse typene er beskrevet i Håndbok 1 – bygge med massivtreelementer (Norsk Treteknisk Institutt, 2006a). Kantstilte elementer vist i figur 1 består av trelameller som legges i lengderetningen og holdes sammen av tverrgående stålstag. Styrkesamspillet kommer fra friksjonskreftene mellom lamellene, som skapes av trykket fra stålstagene. Krysslimte elementer vist i figur 2 har lameller som legges med 45 eller 90 graders vinkel i forhold til hverandre. Hulromselementer presentert i figur 3 kan ha lameller lagt parallelt eller kryssende. Som navnet tilsier legges lamellene slik at det dannes hulrom i elementene. Hulrommene kan være gunstige for tekniske installasjoner. (Norsk Treteknisk Institutt, 2006a, s. 15).



*Figur 1: Kantstilt massivtreelement (Norsk Treteknisk Institutt, 2006a).*



*Figur 2: Krysslimt massivtreelement (Norsk Treteknisk Institutt, 2006a).*



*Figur 3: Hulromselement (Norsk Treteknisk Institutt, 2006a).*

I følge Norsk Treteknisk Institutt kan massivtreelementer bruke trelast med en lavere kvalitet enn det som tillates brukt som konstruksjonslast. Siden massivtreelementer er satt sammen av mange lameller, vil en defekt i en lamell, få en mindre betydning for hele elementets styrke. Styrkereduksjonen i den dårlige lamellen vil oppveies av at lamellene ved siden av, er av bedre kvalitet (Norsk Treteknisk Institutt, 2006a, s. 12). Oppbygningen av massivtreelementer gjør de godt egnet til å motstå dimensjonsforandringer ved fukt (Norsk Treteknisk Institutt, 2006c, s. 5).



Massivtre har mange gode egenskaper som gjør det spesielt godt egnet som byggemateriale. En fordel er den forholdsvis raske byggeprosessen. Massivtre ankommer byggeplassen som prefabrikkerte elementer, som raskt kan settes sammen til et tett bygg. Sammenlignet med andre vegg-løsninger består massivtrevegger som oftest av færre sjikt, og med veggtykkelser over 180 mm, kan massivtreelementet i seg selv stå for bæring, isolering og fuktregulering (Norsk Treteknisk Institutt, 2006c, s. 25). Dersom veggen skal isoleres, er bruk av dampsperre vanligvis ikke nødvendig når massivtreelementenes tykkelse overstiger 80 mm (Norsk Treteknisk Institutt, 2006c, s. 25). Færre sjikt reduserer kompleksiteten i byggeprosessen, forkorter byggetiden og det kan redusere sannsynligheten for byggefeil. Massivtreelementer vil i vegger, etasjeskillere og sjakter virke som avstivende skiver og plater (Norsk Treteknisk Institutt, 2006b, s. 9). Dette til forskjell fra bindingsverk, som trenger avstivning i tillegg til den bærende konstruksjonen. En av egenskapene til massivtre som må hensyntas i prosjekteringen, er at dimensjonering etter nedbøyning og vibrasjoner vil gi begrensede spennvidder.

### 2.1.2. Brannegenskaper

Norsk Treteknisk Institutt beskriver i en håndbok de branntekniske egenskaper til massivtre. Mange av de gode egenskapene kommer fra trevirkes egenskaper, mens andre skyldes oppbygningen av massivtreelementene. Det første som skjer i forbrenningen av trevirke, er at fuktigheten i materialet drives ut. Dette krever energi, og vil bidra til å holde temperaturen i trevirket på mellom 100 og 105 °C, til alt vannet har fordampet. Når vannet har fordampet, vil nedbrytningen av trevirket begynne. Et lag med kull vil dannes på den branneksponte overflaten. Kullet vil med en relativt konstant hastighet spre seg innover i materialet. Varmeledningsevnen til kull er halvparten av trevirkets allerede lave varmeledningsevne. Dette gjør at kull isolerer trevirket bak forkullingsfronten. Friskt trevirke vil i hele brannforløpet opprettholde sin styrke, frem til trevirket nedbrytes i forbrenningen. Forutsigbarheten i forkullingshastigheten, gjør at gode styrkeberegninger kan utarbeides for brannforløpet (Norsk Treteknisk Institutt, 2006d, s. 4).

### 2.1.3. Termiske egenskaper

I forhold til andre konstruksjonsmaterialer, er trevirkes varmeisolerende egenskapene gode.

$$\lambda_{massivtre} \approx 0,13 \frac{W}{mK}$$

(Norsk Treteknisk Institutt, 2006c, s. 28)

$$\lambda_{\text{mineralull}} \approx 0,033 \frac{W}{mK}$$

(Byggforsk, 2020)

Samtidig er det tydelig at mineralull har vesentlig bedre isolerende egenskaper. For at en yttervegg bestående av kun massivtre skal kunne oppnå en U-verdi på 0,22 W/(m<sup>2</sup>K), må tykkelsen være på 560 mm (Norsk Treteknisk Institutt, 2006c, s. 28). En bindingsverksvegg med 48 x 148 mm stender og 48 x 48 mm påforing, vil kunne oppnå den samme U-verdien, med under halvparten av total veggtykkelse (Byggforsk, 2012). En mindre veggtykkelse av massivtreveggen eller en lavere U-verdi, kan oppnås ved å isolere massivtreveggen på kald side (Byggforsk, 2013).

#### 2.1.4. Miljøpåvirkninger

Som nevnt vil trevirkets miljøpåvirkninger være lave på grunn av karbonkretsløpet. Treteknisk skriver i en rapport at i miljødeklarasjoner blir bundet karbon, som ofte blir omtalt som biogent karbon, hensyntatt med forskjellige beregningsmetoder. En metode regner opptak og frigjøring av karbon i hogstfasen. En annen metode er å regne karbonet som bundet i vekstfasen, og frigjort i avhendingsfasen. Hvilken av de to metodene som velges, har ingen ting å si på det totale utslippet (Tellnes, u.d., s. 4-5). I tillegg vil treprodukter ha et utslipp av klimagasser tilknyttet produksjonen av råmaterialet, transport, bearbeiding av treverksproduktet, installasjon og avhending. En lokal produksjon og bearbeiding av treverksproduktet, vil også kunne redusere miljøpåvirkningene som transport medfører. Moderne hogstmaskiner og lastebiler, vil være andre virkningsfulle tiltak.

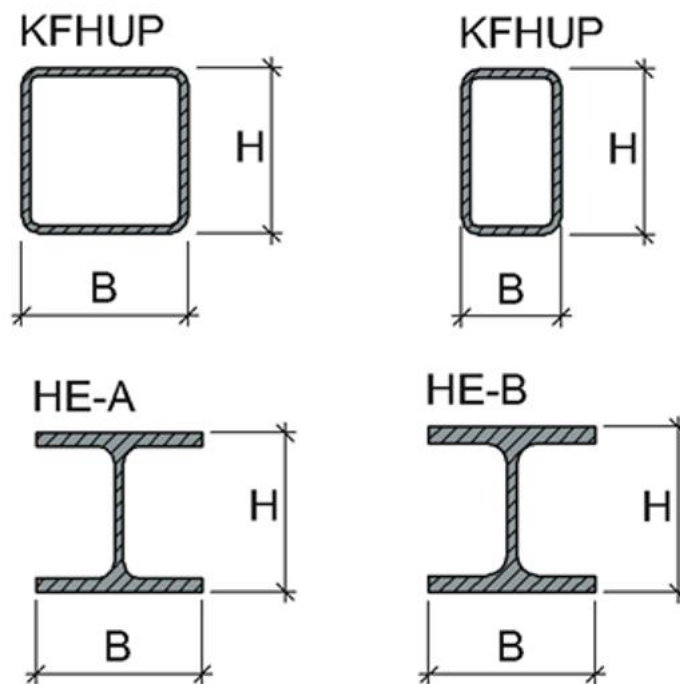
Selv om trevirke i seg selv har lave miljøpåvirkninger, er det viktig å ta hensyn til at treprodukter ofte inneholder andre materialer. Lim og impregnering er to materialer som sammen med en mer omfattende produksjonsprosess vil påvirke treprodukters totale miljøpåvirkning. Norsk institutt for bioøkonomi har utgitt en rapport om bærekraftig skogbruk der de blant annet skriver om viktigheten av et bærekraftig skogbruk, som opprettholder skogenes karbonlagre. Dette oppnås ved å ta vare på og utvikle skogressursene (Tomter, 2014).

## 2.2. Stål

Stål er legeringer av jern og karbon som samtidig kan inneholde betydelige mengder av andre legeringselementer (Solberg, et al., 2021). Legeringene og varmebehandlingene brukt i produksjonen av stål gir materialet ulike egenskaper og styrker (Total Materia, u.d.), noe som resulterer i at stålet må gjennom omfattende tester for å bestemme de endelige egenskapene, samt overensstemmelser med de gjeldende standardene. Stål kan klassifiseres på flere forskjellige måter, eksempelvis som ulegert og legert stål. Alminnelig konstruksjonsstål går under kategorien ulegert stål eller såkalt karbonstål (Solberg, et al., 2021).

### 2.2.1. Konstruksjonsegenskaper

Stål er mye brukt i byggebransjen, og det anvendes på flere forskjellige måter. Bruksområdene for stål baseres på en gunstig kombinasjon av stålets styrke, sveisbarhet, pris, seighet og formbarhet. Materialet har både gode strekk- og trykkeegenskaper, og blir blant annet brukt i bygninger, jernbaner og broer. Stål er solid og kan dimensjoneres med store lengder, og det tåler store laster. Slike konstruksjoner oppnås ofte ved å sveise stålelementer sammen. Konstruksjonsstål kan sveises uten store påvirkninger av materialets egenskaper (Johansen, 2012, s. 3). I bygninger er det mest vanlig å bruke stål i bæresystemer som søyler og bjelker, og som armering i betong. Til disse formålene blir det brukt ulike typer profiler og rør. Noen av de mest vanlige stålprofilene er H-profil A (HE-A), H-profil B (HE-B), kaldformede hulprofiler (KFHUP) og varmformede hulprofiler (VFHUP) (Byggforsk, 2018). Disse er presentert i figur 4. Både KFHUP og VFHUP kan leveres som rektangulære eller kvadratiske profiler. H-profilene består av to flenser og et steg, hvor HE-A er en profil med tynnere stålgods, men HE-B er en normalprofil (Sandaker, et al., 2016, s. 64-65).



Figur 4: Oversikt over de mest brukte stålprofilene (Byggforsk, 2018).

En av de negative sidene til stål er at det korroderer når det utsettes for vann og oksygen, noe som kan medføre ekspansjoner og svekkelser i materialet over tid. Hvilke konsekvenser utsettelsen for korrosive miljøer får for materialet, avhenger av hvilken type stålmateriale som blir brukt (Solberg, et al., 2021). Tiltak for å redusere korrosjonen kan være gjennom tildekking med bruk av annet materiale, overflatebehandling i form av lakk eller maling, katodisk beskyttelse eller anodisk beskyttelse (Haarberg, 2019).

### 2.2.2. Brannegenskaper

Stål er et materiale med begrensede brannegenskaper. Ved høye temperaturer svekkes materialets egenskaper betraktelig. Den kritiske temperaturen er avhengig av type stål og dens kapasitetsutnyttelse. Hvis materialet blir utsatt for en temperatur på 500 °C vil fastheten reduseres med ca. 50 %. Dette temperaturområdet blir sett på som kritisk for belastede stålkomponenter (Byggforsk, 2020). Ubeskyttede stålkonstruksjoner oppnår vanligvis ikke høyere brannmotstand enn 10 til 15 minutter (Byggforsk, 2020). Dette kan forbedres med ulike tiltak, som brannhemmende maling, brannisolering, overdimensjonering av stålverrsnittet, og kjølevann i lukkede rørprofiler (Sandaker, et al., 2016, s. 63).

### 2.2.3. Termiske egenskaper

I forhold til andre materialer har stål en høy varmeledningsevne. Den termiske konduktiviteten for alminnelig konstruksjonsstål er:

$$\lambda_{stål} \approx 45 \frac{W}{mK}$$

(Sandaker, et al., 2016, s. 63)

Stålets høye varmeledningsevne og gode konstruksjonsegenskaper medfører at materialet hovedsakelig brukes som bæringskomponenter, i form av søyler og bjelker.

Varmeledningsevnen til materialet medfører at stålelementer kan skape store varmetap.

Samtidig kan dette også oppstå ved sammensetning av andre materialer, i form av kuldebroer.

Dette gjør at materialet er avhengig av å bli varmeisolert, i tillegg til nøye planlegging ved sammensetning med andre materialer.

### 2.2.4. Miljøpåvirkninger

Boken Materialkunnskap skriver at stål fremstilles gjennom produksjon av flytende råjern, som renses for forurensninger og legeres opp med ønskende mengder legeringselementer.

Grunnstoffet jern er hovedbestanddelen i alle jern- og stålmaterialer. Det meste av stål som produseres, består av 98-99 vektprosent jern (Sandaker, et al., 2016, s. 56). Første fremstilling av stål er veldig energikrevende, og dette gjelder først og fremst utvinningen og fremstillingen av råjernet. Gjennomsnittsutslippet er på 1,8 tonn CO<sub>2</sub> per tonn produsert stål (Solberg, 2021).

Samtidig er materialet multiresirkulerbart, og kan smeltes om og brukes igjen flere ganger.

Dette medfører en langt bedre energiomsetning enn primærenergi behovet skulle tilsi (Sandaker, et al., 2016, s. 63). I dag står stålindustrien for omtrent 7 % av verdens totale CO<sub>2</sub> utslipp, men gjennom kontinuerlig utvikling og mer resirkulering kan den totale mengden reduseres betraktelig (Norsk stål, u.d.).

## 2.3. Betong

I dagens byggebransje er betong et av de materialene som anvendes mest (Sintef, u.d.). Det er et materiale som fremstilles ved å blande tilslag, vann, sement og tilsetningsstoffer, slik at det blir en flytende masse som herdes over tid. Blandingen av vann og sement vil fungere som lim i betongen. Ved endt herding vil betongen ha stor kapasitet og egner seg godt til å ta opp trykkrefter (Byggforsk, 2016). Betong er et bestandig materiale som krever lite vedlikehold, og

som har lang levetid. Materialet brukes i både plasstøpte konstruksjoner og i prefabrikkerte elementer.

### 2.3.1. Konstruksjonsegenskaper

Egenskapene til betongen vil variere etter blandingsforholdet mellom de ulike komponentene (Byggforsk, 2016). Tilslag er en samlebetegnelse for sand, stein, pukk og grus. Valget av tilslag påvirker betongens fasthet, E-modul og støpbarhet (Byggforsk, 2016). For å oppnå ønskede egenskaper på betongen er fordelingen av sand og stein viktig. I dagens marked finnes det en rekke ulike sementtyper, der hver type har forskjellige sammensetninger og egenskaper. I følge Byggforsk bidrar sementen til hvor raskt betongen binder seg, hvor raskt herdeprosessen i betongen går, og slutfastheten til betongen. Videre vil tilsetningsstoffer kunne endre betongens egenskaper, i tilfeller der bestemte egenskaper er ønskelig. I lavkarbonbetong er silikastøv, flygeaske og slagge viktige tilsetningsstoffer (Byggforsk, 2016).

Betong som materiale har generelt dårlig strekkstyrke. En løsning er å armere betongen ved å legge stål i strekksonen, slik at den kan ta opp strekkrefter. Denne kompositten kalles armert betong, og armeringen består som regel av stenger eller kabler av stål som omslutes av betong (Thue, 2019). Betongen rundt armeringen vil fungere som et beskyttelseslag mot korrosjon av armeringsstålet (Thue, 2019). Ut fra NS3473 stilles det krav til minimumsoverdekning som er avhengig av eksponeringsklasser og levetid (Byggforsk, 2004).

Kvaliteten på betongen angis i trykkfasthetsklasser som består av en prefikset B og et påfølgende tall, som angir trykkfastheten til betongen. Dette angis i  $\text{N/mm}^2$  eller MPa. Eksempel på ulike fasthetsklasser er B20, B30 og B55. Høyere tall betyr at betongen vil tåle høyere trykkstyrke (Betongsentrum, 2020). B30 sier for eksempel at betongen skal tåle en trykklast på  $30 \text{ N/mm}^2$  28 døgn etter støping. Trykkfastheten bestemmes i hovedsak av ett v/c-tall som angir liter vann per kilo sement i blandingen.

Lavkarbonbetong er en betongtype som benyttes i byggebransjen for å redusere  $\text{CO}_2$ -utslipp i prosjekter. Som vist i tabell 1 angir Norsk betongforening tre forskjellige klasser for lavkarbonbetong, der klasse A er den strengeste (Byggforsk, 2016).

Tabell 1: Lavkarbonklasser og maks antall kilo CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (Byggforsk, 2016).

Lavkarbon klasse	Maks tillatt kg CO <sub>2</sub> -ekvivalenter per kubikkmeter betong						
	Betongkvalitet og bestandighetsklasse						
	B20 M90	B25 M90	B30 M60	B35 M(F)45	B35 M(F)40	B45 M(F)40	B55 M(F)40
A	170	180	200	210	230	240	250
B	200	220	240	270	300	310	320
C	240	260	280	320	350	360	370

Som tidligere nevnt vil et tiltak for å oppnå klasse A være å erstatte noe av sementen med flygeaske, slagg eller silikastøv. For å holde sementmengden lav kan det også benyttes et lite vannkrevende tilslag, samtidig som det brukes betong med full steinstørrelse. Dette vil redusere CO<sub>2</sub>-utslippet (Byggforsk, 2016). I tillegg til at det er mer miljøvennlig, er dette også et materiale med liten varmeutvikling og mindre opprissing enn vanlig betong. En ulempe med lavkarbonbetong er at det har treg fasthetsutvikling, noe som vil kunne redusere framdriften i et prosjekt (Byggforsk, 2016).

### 2.3.2. Brannegenskaper

Boken Materialkunnskap betegner betong som et ikke-brennbart materiale, og det betegnes derfor som et av de mest brannsikre materialene som benyttes i dagens byggebransje. Det er derimot problematisk at armeringsstålet tåler varme dårligere enn betongen, og ved en eventuell brann vil dette kunne føre til at kapasiteten til stålet synker. Som konsekvens kan den armerte betongen, miste eller få redusert bæreevne i en brann. Det er derfor veldig viktig at armeringsstålet beskyttes godt mot brann og varme (Sandaker, et al., 2013, s. 39). Siden betong har en høy varmekapasitet, vil dette bidra til å forsinke overtenning, og en eventuell kollaps av konstruksjonen. Mengden overdekning, sammenføyningsdetaljer, betongtype og mengde armering er forskjellige faktorer som kan påvirke brannegenskapene til en betongkonstruksjon (Byggforsk, 2009). Ved oppvarming kan betongen begynne å skalle av. Det er tre hovedtyper for avskalling: overflateskalling, avbrekte hjørner og eksplosiv avskalling (Brann & redning, 2005).

### 2.3.3. Termiske egenskaper

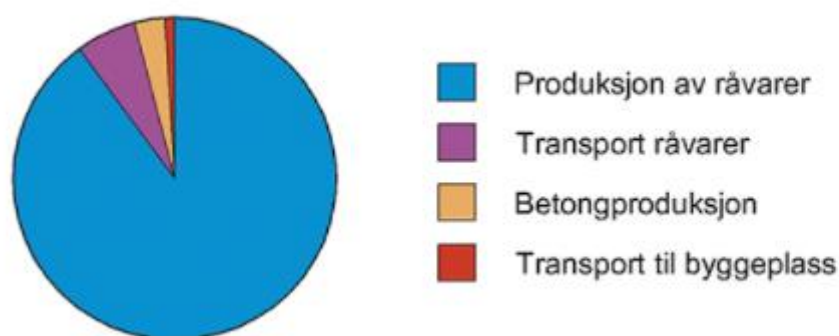
$$\lambda_{betong} \approx 2,0 - 2,5 \frac{W}{mK}$$

(Thue, 2019)

Store norske leksikon skriver at betongens tetthet, fuktinnhold, tilslag og armeringsmengde er faktorer som påvirker materialets varmekonduktivitet. Betong er et materiale som leder varme godt, og den trenger derfor ofte å varmeisolerers. Når en betongkonstruksjon bryter gjennom et varmeisolasjonslag i bygget, vil det oppstå en kuldebro. Aktuelle verdier for varme- og fukttekniske egenskaper er gitt i standarden NS-EN ISO 10456 (Standard Norge, 2010, s. 8). Vanligvis ligger varmekonduktiviteten for betong et sted mellom 2,0 til 2,5 W/(mK) (Thue, 2019).

### 2.3.4. Miljøpåvirkninger

Sintef skriver i en artikkel at betong anses som en av klimaverstingene i byggebransjen. Det er produksjonen av sement som gir de største CO<sub>2</sub>-utslippene av betong. Sementen antas å bidra til omkring 7-8 % av det totale klimagassutslippet på verdensbasis (Kvellheim, 2020). Videre antas det at sement står for omkring 90 % av all CO<sub>2</sub>-utslipp ved betongproduksjon. Andre utslippskilder er transport av råvarene, produksjon av selve betongen og deretter transport av betongen til byggeplass (Byggforsk, 2016). En oversikt over utslippene er presentert i figur 5.



Figur 5: Viser hvordan CO<sub>2</sub>-utslippet fra betongen er fordelt (Byggforsk, 2016).

Som nevnt erstattes noe av sementen med flygeaske, silikastøv og slagg i et forsøk på å redusere utslippene ved betongproduksjonen. I tillegg rettes det større fokus mot effektiv distribusjon og gjenbruk av knust betong (Sandaker, et al., 2013, s. 39). For å oppnå så lavt CO<sub>2</sub>-avtrykk i et prosjekt som mulig, er bruk av lavkarbonbetong et virkningsfullt tiltak. Ved bruk av lavkarbonbetong kan CO<sub>2</sub>-utslippet fra betongen reduseres betydelig. Det er ofte tiltakshaveren som stiller krav til det totale CO<sub>2</sub>-utslippet for prosjektet (Byggforsk, 2016).



## 2.4. Trykkfast isolasjon

Polystyren er en type termoplast der utgangspunktet er råolje. Av trykkfaste isolasjonsprodukter finnes polystyren i to varianter: ekspandert (XPS) og ekstrudert (EPS) (Sandaker, et al., 2016, s. 103). XPS har lukket porestruktur, mens EPS har en delvis åpen porestruktur, og er den rimeligste og vanligste polystyrenvarianten. Både XPS og EPS produseres med forskjellige densiteter for å tilfredsstille ulike varmetekniske krav, og krav til trykkfasthet (Sandaker, et al., 2016, s. 103-104). Isolasjonstypene støpes ut i blokker, plater eller kontinuerlige bånd, som blir kuttet opp etter avkjøling.

### 2.4.1. Termiske egenskaper

$$\lambda_{XPS} \approx 0,027 - 0,039 \frac{W}{mK}$$

$$\lambda_{EPS} \approx 0,031 - 0,041 \frac{W}{mK}$$

(Byggforsk, 2020)

XPS vil ha et lavere fuktopptak enn EPS grunnet sin lukkede cellestruktur. Dette medfører at varmeisolasjonsegenskapene til XPS vil påvirkes i mindre grad av fukt enn EPS. Dersom isolasjonen blir liggende ubeskyttet mot fukt vil XPS være det foretrukne valget (Byggforsk, 2019). Sammenliknet med mineralull, kan trykkfast isolasjon oppnå noe bedre varmekonduktivitet.

### 2.4.2. Branntekniske egenskaper

XPS og EPS tilfredsstiller vanligvis brennbarhetsklasse E eller F i henhold til NS-EN 13501-1 (Byggforsk, 2020). Videre skriver Byggforsk at maksimaltemperaturen ved bruk av materialet over lang tid er omtrent 75 °C, uten belastning. Ved temperaturer på rundt 80 °C begynner materialet å mykne opp, og det smelter like over 100 °C. Hvis det oppnås temperaturer på 450-500 °C vil polystyren selvantennes (Byggforsk, 2020). Dette kan være problematisk i enkelte bygningsdeler med brannkrav.

### 2.4.3. Bruksområde

Isolasjonstypen XPS brukes ofte der det er behov for isolasjon med stor mekanisk styrke og lavt fuktopptak (Byggforsk, 2020). Eksempler på dette er isolering av veier, gulv på grunnen,

omvendte kompakte tak og i fundamenter. EPS blir også benyttet som isolering av gulv på grunnen, tak, men også i ringmurer.

## 2.5. Mineralull

Mineralull er en fellesbetegnelse for både steinull og glassull. Materialene produseres med forskjellige densiteter. Begge typene leveres i hovedsak i form av matter eller plater, men også som blåseisolasjon. Mineralull leveres i standardtykkelser som for eksempel 100 mm eller 150 mm. Breddeformat er valgt slikt at platene skal kunne sitte fast ved hjelp av sin egen gjæring når de klemmes fast mellom stendere i bindingsverket (Sandaker, et al., 2016, s. 102).

### 2.5.1. Termiske egenskaper

$$\lambda_{glassull} \approx 0,032 - 0,042 \frac{W}{mK}$$

$$\lambda_{steinull} \approx 0,033 - 0,043 \frac{W}{mK}$$

(Byggforsk, 2020)

Mineralull er et materiale med åpen porestruktur noe som gjør det utsatt for fukt, og det vil som oftest være nødvendig å beskytte isolasjonen med en vindsperre. Det er luftpermeabiliteten til isolasjonen som avgjør hvilke materialer dette gjelder (Sandaker, et al., 2016, s. 103).

I følge byggforskblad 573.344 er mineralull med sin åpne porestruktur utsatt for naturlig konveksjon i isolasjonssjiktet, som oppstår grunnet temperaturforskjeller. Dette forekommer som oftest i vegger og skrå tak. Konveksjon medfører økt varmetap og kan føre til en uheldig omfordeling av fukt i materialet. Ved isolasjonstykkelser av mineralull større enn 200 mm er det av Byggforsk anbefalt å dele isolasjonen i to sjikt med en dampåpen konveksjonssperre (Byggforsk, 2020).

### 2.5.2. Branntekniske egenskaper

De branntekniske egenskapene vil variere om det blir benyttet steinull eller glassull. Begge typene klassifiseres vanligvis i klasse A1, og noen ganger klasse A2-s, d0, i henhold til NS-EN 13501-01 (Byggforsk, 2020). Samtidig tåler begge typer temperaturer på omtrent 250 °C, over

lengre tid. Steinull tåler over 1 000 °C uten å miste sine brannbeskyttende egenskaper, mens glassull mykner og synker sammen ved temperaturer rundt 600 °C (Byggforsk, 2020). Denne egenskapen fører til at steinull ofte blir brukt i elementer der det blir stilt strengere brannkrav.

### 2.5.3. Bruksområde

Densiteten er avgjørende når det kommer til hvor produktene blir brukt. Isolasjonsprodukter med lav densitet blir blant annet brukt i bindingsverk og etasjeskillere. Isolasjonsprodukter med en høy densitet blir brukt der isolasjonen skal bære laster, for eksempel direkte under taktekningen (Sandaker, et al., 2016, s. 103). Det er også mulig å rive opp mineralull til løssull som blir blåst inn i bygningsdeler. Metoden kan benyttes både på åpne flater og i lukkede hulrom. Dette brukes særlig til etterisolering i yttervegger og bjelkelag (Sandaker, et al., 2016, s. 102).

## 2.6. Sandwichpaneler

Byggforsk oppgir at sandwichpaneler brukes i yttervegger og tak, men panelene har også andre bruksområder. Panelene har en isolerende kjerne av mineralull, men brennbar isolasjon brukes også. På kald og varm side av kjernen, er det plater av stål, glassfiberarmert plast, eller andre materialer (Byggforsk, 2007).

### 2.6.1. Konstruksjonsegenskaper

Sandwichpaneler leveres som hovedsakelig ikke-bærende elementer (Byggforsk, 2007). Videre skriver Byggforsk at sandwichpanelene derfor må festes i et selvstendig bæresystem. Stort sett festes elementene med skruer, i det bærende elementet. Panelene kan i liten grad ta opp krefter fra utvendige laster (Byggforsk, 2007). Unntaket er enkelte paneler som kan ta opp mekaniske påkjenninger under en brann, som oppfyller brannmotstandsklasse M (Paroc Panels, u.d.).

### 2.6.2. Brannegenskaper

Paneler med mineralull kan med riktig materialvalg av utvendige og innvendige plater, betraktes som ubrennbare (Byggforsk, 2007). Spesielle sandwichpaneler oppfyller brannkrav opp til EIM 120 (Paroc Panels, u.d.). Dermed kan slike paneler, i kombinasjon med riktig dimensjonert bæresystem, oppfylle kravene til seksjoneringsvegger.

### 2.6.3. Termiske egenskaper

Varmemotstanden vil variere etter materialene som brukes, og de forskjellige sjiktene tykkelse. Fugene mellom panelene, og kuldebroer som følge av innfestingsmetoden, vil også påvirke de termiske egenskapene (Byggforsk, 2007). Selv om panelene i seg selv er lufttette, er kritiske steder for lufttetthet, i plateskjøtene og der det tas hull for gjennomføringer (Byggforsk, 2007).

### 2.6.4. Miljøpåvirkninger

Miljøpåvirkningene avhenger av materialvalg og produksjonsmetode. Panelene kan settes sammen med forskjellige materialer, noe som påvirker klimagassutslippene. Et panel med trebaserte plater, vil som regel ha et lavere klimagassutslipp enn plater av stål.

## 2.7.LCA – Livsløpsvurdering

Livsløpsvurderinger (LCA) kan foretas for å vurdere miljøpåvirkningene til et produkt eller en tjeneste. Både enkeltprodukter og bygninger kan livsløpsvurderes. Det er fire faser i arbeidet med en livsløpsvurdering:

- Fase 1: fastsetting av hensikt og omfang.
- Fase 2: føre et regnskap for ressurser og utslipp i livsløpet.
- Fase 3: vurdere miljøpåvirkningene produktet eller tjenesten har.
- Fase 4: tolke regnskapet og miljøpåvirkningene.

(Byggforsk, 2014)

### 2.7.1. Fase 1: fastsetting av hensikt og omfang.

Dette er den innledende fasen i en livsløpsvurdering. Hva livsløpsvurderingen skal brukes til og hvem som skal bruke resultatene, må bestemmes. I tillegg skal produktsystemet, systemgrenser og funksjonell enhet, fastslås (Byggforsk, 2014). Produktsystemet inneholder enhetsprosesser og produktstrømmer som skjer i et produkts livsløp (Rønning, et al., 2011, s. 8). Videre skriver Byggforsk at systemgrenser må fastsettes, noe som gjøres ved å bestemme hvilke prosesser og strømmer som tas med i produktsystemet. I en fullstendig livsløpsvurdering må funksjonell enhet bestemmes. Funksjonell enhet er en referanseenheter som definerer produkter etter hvilken

funksjon de oppfyller. Dette gjør at produkter kan sammenlignes. Dersom kun deler av livsløpet inkluderes, vil deklarerert enhet istedenfor benyttes. Til forskjell fra funksjonell enhet, sammenlignes produkter med for eksempel volum eller masse, når deklarerert enhet benyttes (Byggforsk, 2014).

#### 2.7.2. Fase 2: føre et regnskap for ressurser og utslipp i livsløpet.

I denne fasen skal mengden materialer, avfall og utslipp for alle prosesser og produktstrømmer, innenfor systemgrensene til produktsystemet, oppsummeres (Byggforsk, 2014). Dersom det skal føres et regnskap over ressursbruk og utslipp for et bygg, er det naturlig å starte med å hente ut mengdene av byggematerialene, med deklarerert enhet, som brukes. Dette kan gjøres med flere bygningsinformasjonsmodelleringsprogrammer (BIM). Solibri er et mye brukt program, til dette formålet. One Click LCA er et nettbasert verktøy som oppsummerer utslippene forbundet med byggeprosessen.

#### 2.7.3. Fase 3: vurdere miljøpåvirkningene produktet eller tjenesten har.

Et regnskap over ressursbruk og utslipp, vil inneholde utslipp av flere skadelige klimagasser, stoffer, samt forbruk av ressurser. Karbondioksid, lystgass og metan er eksempler på gasser som påvirker klimaet (Mamen, 2022). For å kunne bestemme hvordan utslipp og ressurser påvirker miljøet, deles disse inn i effektkategorier (Byggforsk, 2014). I livsløpsvurderinger av bygg, er det vanlig å bruke effektkategorien globalt oppvarmingspotensial (GWP) for å vurdere klimapåvirkning. Karbondioksid, lystgass og metan har forskjellig effekt på det globale oppvarmingspotensialet. For å kunne sammenligne de nevnte gassene, regnes de om til CO<sub>2</sub>-verdier (Lahn, 2020).

#### 2.7.4. Fase 4: tolke regnskapet og miljøpåvirkningene.

I den avsluttende fasen av arbeidet med livsløpsanalysen skal resultatene tolkes. Når resultatene tolkes, må dette gjøres med tanke på studiens hensikt (Byggforsk, 2014). Studiens begrensninger skal i denne fasen beskrives. Anbefalinger skal også gis med tanke på studiens hensikt (Byggforsk, 2014).

## 2.8.EPD – Miljødeklarasjon

Sammenligninger av ulike produkters klimagassutslipp kan gjøres med miljødeklarasjoner (EPD) for de aktuelle produktene (Byggforsk, 2014). Utarbeidelsen av en EPD gjøres basert på en LCA for produktet (Byggforsk, 2014). Funksjonell eller deklarerert enhet må oppgis i EPD-en, slik at det er mulig å hente ut riktig størrelse av miljøpåvirkningene. Vanligvis tas utslipp og ressursbruk fra alle livsløpsfaser, fra vugge til grav, med i EPD-en. Spesielt innenfor byggefasen, bruksfasen og avhendingsfasen, må ofte visse antakelser gjøres. Årsaken til at antakelser ofte er nødvendig, er at transport og bruk av produktet endrer seg fra byggeplass til byggeplass. Eksempler på miljøpåvirkninger som oppgis i en EPD er: global oppvarming, totalt energibruk og resirkulerte materialer (Byggforsk, 2014). I fase 2 av LCA for et bygg, lages et regnskap over ressursene og utslippene knyttet til bygget. EPD-er for de brukte materialene inneholder data til regnskapet.

### 3. Metode

Dette kapitlet beskriver metodene som er blitt benyttet i studien. Her blir det forklart hvordan informasjonsinnhenting er gjort, hvilke programvarer som er benyttet, og hvilke data som inngår i beregningene.

#### 3.1.Litteratursøk

Til litteratursøk er databasene Oria, Standard Norge og ordinære nettsøk, brukt. Oria gir tilgang til universitetsbiblioteket til NTNU og det Norske fagbiblioteket. Standard Norge er en privat og uavhengig medlemsorganisasjon med enerett til å utgi Norsk Standard (Hofstad, 2018). Av litteraturen som er funnet, er den nyeste prioritert av gruppa. Årsaken er blant annet oppdaterte regelverk og nyere forskning som gir ny og forbedret informasjon. Det er også innhentet informasjon fra kommersielle aktører, blant annet for sandwichpanelene og takelementene som er blitt benyttet i det omprosjekterte bygget. Disse kildene anses ikke alltid som objektive da aktørens interesse ofte er å fremme egne produkter. Litteraturen dette gjelder blir vurdert mot andre kilder for troverdighet.

#### 3.2.Bruk av programvare

Under dette delkapitlet vil de nødvendige programvarene som er benyttet for å utføre beregningene presenteres. Følgende programvare er benyttet: Archicad, Solibri, Twinmotion, Focus konstruksjon, StreamBIM, Norsk Prisbok, One Click LCA og SIMIEN. Det vil også være en kort presentasjon av hvordan hver programvare er blitt benyttet i oppgaven.

##### 3.2.1. Archicad

Archicad er et BIM-verktøy som er produsert av Graphisoft (Graphisoft, u.d.). Programmet blir brukt for å tegne tredimensjonale modeller, der blant annet plantegninger, snitt, fasader og masseberegninger er tilknyttet en 3D-modell. Graphisoft Norge er en norsk distributør og utvikler, som oppdaterer programvaren slik at lokale tilpasninger tilfredsstillers Norsk Standard (NS). Archicad 25 benyttes i denne oppgaven i hovedsak til modellering av omprosjektert modell og til detaljtegninger, men det brukes også som et supplement til Solibri, til innhenting av mengder. Det omprosjekterte bygget er i hovedsak tegnet med lik form og størrelse som referansebygget.

### 3.2.2. Twinmotion

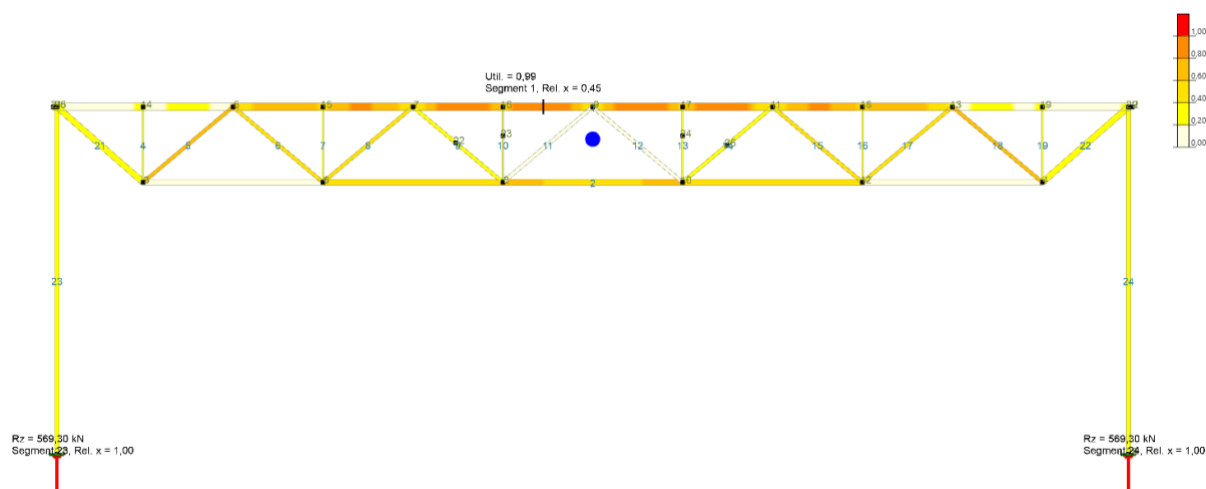
Twinmotion er et 3D- og visualiseringsprogram som benyttes for å produsere høykvalitets renderinger i form av bilder, video og panoramaer (Nordic BIM group, u.d.). Programvaren kan kobles direkte sammen med blant annet programmer som Archicad, Revit og SketchUp Pro. Samtidig støtter programmet ulike formateringstyper for import av objekter, terreng og materialer. Twinmotion benyttes i denne oppgaven til rendering av ulike 3D-bilder tilknyttet det omprosjekterte bygget.

### 3.2.3. Solibri

Solibri er en finskprodusert programvare som tilbyr regelbasert modellsjekk og masseberegninger (Nordic BIM group, u.d.). Dette gjøres gjennom sammenstilling av modeller fra alle delaktige fagområder, for deretter å kjøre en modellsjekk og kvalitetssikring av modellen. Modellsjekken gjør det enklere for alle involverte parter å samarbeide og løse eventuelle problemer. Solibri er i denne oppgaven blitt benyttet ved at .ifc-filer for referansebygget er lagt inn i programmet. Deretter benyttes verktøyet «Information TakeOff» for å hente ut mengder som trengs for å gå videre til kostnadskalkyle og LCA-beregninger.

### 3.2.4. Focus Konstruksjon

Focus Konstruksjon er utviklet av norske Focus Software. Programvaren kjører lastberegninger av stål-, betong og trekonstruksjoner med finite element method. Enkle bygningsdeler kan tegnes i 2D, mens mer komplekse deler av et bygg tegnes i 3D. Laster legges inn, og klassifiseres etter type, noe som blir hensyntatt i den endelige lastberegningen. Kapasitetskontroller kan sjekkes mot Eurokode med nasjonale tillegg.



Figur 6: Viser kapasitetskontroll av fagverksbjelke og søyler i den omprosjekterte hallen, (Utskrift fra Focus Konstruksjon).



Focus Konstruksjon har i dette prosjektet blitt brukt for å velge passende stålprofiler til takbjelker og søyler. Søyler og fagverksbjelkene ble tegnet inn i programmet. Som vist i vedlegg 4.1 og 4.2 er vindlaster og snølast beregnet for hånd, etter Eurokode 1: «Laster på konstruksjoner» (Standard Norge, 2019). I tillegg til takbjelkenes egenlast, skal bjelkene bære takelementene, vindlast og snølast. Egenvektene av takelementene er oppgitt av elementenes produsent. I tillegg til nevnte laster, skal søyler bære ytterveggenes sandwichpaneler og utvendig kledning. Minst gunstige vindlasttilfelle, snølast og materiallaster ble lagt inn i Focus Konstruksjon. Ligning 6.10a og 6.10b i tabell NA. A1.2 (B) i Eurokode: «Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner» (Standard Norge, 2016), ble lagt inn som lastfaktorer. Programvaren kjører kapasitetsberegninger, basert på lastfaktorene som gir det mest ugunstige lasttilfellet. Dette er demonstrert over, i figur 6. Videre forklaringer og datagrunnlag for beregningene i Focus Konstruksjon vises i vedlegg 4.4.

$$(6.10a) \varepsilon \gamma_{Gj,sup} * G_{kj,sup} + \gamma_{Q,1} * \psi_{0,1} * Q_{k,1} + \gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{(k,i)}$$

$$(6.10b) \varepsilon \xi \gamma_{G, sup} * G_{kj,sup} + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} + \gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{(k,i)}$$

*I tillegg oppgis:*

$$\gamma_{Gj,sup} = 1,35 \quad \xi \gamma_{Gj,sup} = 1,20 \quad \gamma_{Q,1} = 1,50$$

*Tabell NA. A1.1:*

$$- \text{Kategori C (forsamlingslokaler): } \psi_0 = 0,7 \quad \psi_1 = 0,7 \quad \psi_2 = 0,6$$

$$- \text{Snølast: } \psi_0 = 0,7 \quad \psi_1 = 0,5 \quad \psi_2 = 0,2$$

$$- \text{Vindlaster: } \psi_0 = 0,6 \quad \psi_1 = 0,2 \quad \psi_2 = 0$$

(Standard Norge, 2016, s. 38, 42, 103)

### 3.2.5. StreamBIM

StreamBIM er et nettleaserbasert BIM-verktøy. Det kan brukes til å vise 3D-modeller av bygg på mobil, nettbrett og PC. I tillegg har StreamBIM skylagring av dokumenter, tegninger og detaljer. Verktøyet er utviklet av norske Rendra AS. (Rendra AS, u.d.). Alle gruppelemmene har hatt tilgang til referansebygget i StreamBIM. Dette har muliggjort enkel tilgang til modellen i 3D, plan- og referansetegninger, i tillegg til andre relevante dokumenter. Spesielt nyttig har klippeplanfunksjonen vært, samt muligheten til å ta mål og mengder direkte fra 3D-modellen.

### 3.2.6. Norsk prisbok

Norsk Prisbok er en oppdatert prisdatabase som benyttes i den norske byggebransjen. Det ble produsert av Norconsult informasjonssystemer for første gang i 2002, og verktøyet kommer både i form av bok, nettside og app til smarttelefoner. Bøkene kommer med årlige utgivelser, mens nettsiden og appen oppdateres to ganger årlig (Norsk Prisbok, u.d.). Norsk prisbok består av omkring 1700 ferdigkalkulerte elementer, over 3500 prislinjer, samt erfaringspriser pr. kvadratmeter bruttoareal (BTA) for flere bygningstyper (Norsk Prisbok, u.d.). I samråd med veileder ble det bestemt å benytte smarttelefonprogrammet til Norsk Prisbok fra august 2018. Dette er den siste kostnadsfrie versjonen av Norsk Prisbok, som er tilgjengelig. Statistisk Sentralbyrå oppgir en økning av konsumprisindeksen på 8,2 % fra august 2018 til januar 2022. Prisene som er hentet fra Norsk Prisbok i dette prosjektets beregninger, er derfor økt med 8,2 %.

I denne studien har Norsk prisbok blitt brukt for å finne prisen på materialer og arbeid. For spesielle bygningsdeler med uvanlige dimensjoner, ble bygningsdelen med likest dimensjoner i Norsk Prisbok, valgt. For å få en så nøyaktig sluttsum som mulig, ble priser for massivtre, limtre, sandwichelementer, takmoduler, betong og stål hentet inn direkte fra produsenter. Mengdene vises i vedlegg 5. Kostnads kalkylene ble satt opp i Excel. Solibri og Archicad ble brukt for å finne mengdene for bygningsdelene som er forskjellig i referansebygget og det omprosjekterte bygget. Forskjellene i bygningsdeler kan enten være at materialet er endret, eller at mengder er redusert. Dette resulterer i at prisen i kalkylene ikke dekker byggekostnader for hele bygget, men at prisene kun reflekterer bygningsdelene med forskjellig mengde eller materiale. Mengdene som ikke tas med i kalkylene er like for begge bygg, og vil ikke påvirke differansen av byggekostnadene av de to byggene. Derfor vil differansen mellom de to kalkylene vise forskjellen i totale byggekostnader for de to byggene.

### 3.2.7. One Click LCA

One Click LCA er et nettbasert verktøy produsert av det finske programvareselskapet Bionova. Dette verktøyet skal bidra til å analysere, samt kommunisere utslippskonsekvenser ved restaurering eller oppføring av nybygg (One Click LCA, u.d.). Ved hjelp av One Click LCA kan det blant annet utføres livssyklusanalyser, bygningers karbonfotavtrykk kan beregnes og det kan utføres en optimalisering av prosjekteringen i en tidlig fase. One Click LCA Norge er godkjent for både NS 3720 og BREEAM (One Click LCA, u.d.). Den norske utgaven

inneholder oppdaterte EPD-er fra EPD Norge, og andre internasjonale EPD-er. Ved hjelp av bygningsmodeller kan det legges inn data direkte fra programvarer som for eksempel Solibri, Archicad eller Revit. Det er også mulig å legge inn data manuelt (One Click LCA, u.d.).

Utslipp i CO<sub>2</sub>-ekvivalenter brukes for å sammenligne klimagassregnskapet mellom referansebygget og det omprosjekterte bygget. Mengdene som ble brukt i kalkylene, ble også brukt som utgangspunkt for klimagassregnskapet. De to klimagassregnskapene, representerer derfor ikke klimapåvirkningen byggene har, men klimapåvirkningen bygningsdelene med forskjellig mengde eller materiale har. Mengdene som ikke tas med i klimagassregnskapene er like for begge bygg, og vil ikke påvirke differansen mellom klimagassutslippet for de to byggene. Derfor vil differansen mellom de to klimagassregnskapene vise forskjellen i totalt klimagassutslipp mellom de to byggene.

#### 3.2.8. SIMIEN

SIMIEN er et program som benyttes for energiberegninger av bygg. Det ble lansert i 2008 og har siden det blitt videreutviklet og tilpasset endingene som er gjort i byggeforskriften. SIMIEN er programmert slik at den benytter seg av beregningsmetoden beskrevet i NS 3031:2014 (Simenergi, u.d.). Programmet har en rekke bruksområder, som evaluering mot byggetekniske forskrifter, energimerking og beregning av årlig energibehov. Det er også mulig å dimensjonere oppvarming, ventilasjon og kjøling ved hjelp av dette verktøyet (Simenergi, u.d.). I dette prosjektet er SIMIEN blitt benyttet som et hjelpemiddel for å sjekke at de omprosjekterte løsningene tilfredsstiller kravene som er satt i Byggteknisk forskrift (TEK10) og passivhusstandarden. Det har også blitt brukt som et verktøy for å se hvordan varmetap kan omfordeles i bygget.

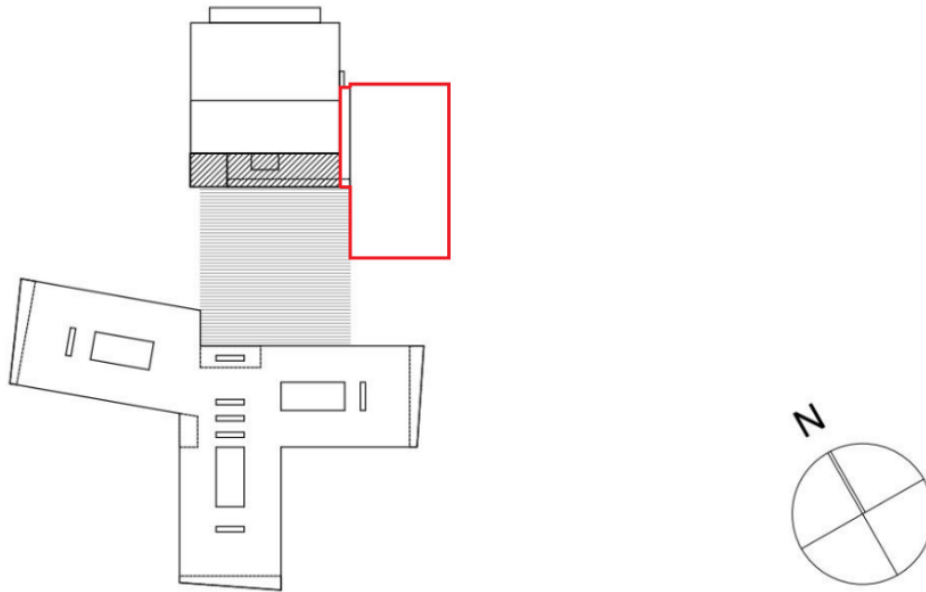
## 4. Referansebygg

### 4.1. Generelt



*Figur 7: Illustrasjonsbilde av Fremtidens skole (Norconsult, u.d.).*

Fremtidens skole er et prosjekt i massivtre over to plan, oppført på Skarnes, i Sør-Odal kommune. Illustrasjon av skolen er presentert over i figur 7. Skolen har plass til 900 elever, og er med det blant landets 10-15 største grunnskoler (Backe Romerike, 2019). Som en del av prosjektet er det bygd en flerbrukshall med tilhørende vestibyle, som en utvidelse av en allerede eksisterende idrettshall. Denne oppgaven begrenses til å kun se på flerbrukshallen med tilhørende rom. I figur 8, er referansebyggets plassering presentert i forhold til de andre byggene. Referansebygget har et BTA på 1905,0 m<sup>2</sup> og et bruksareal (BRA) på 1776,4 m<sup>2</sup> som er vist i tabell 2.



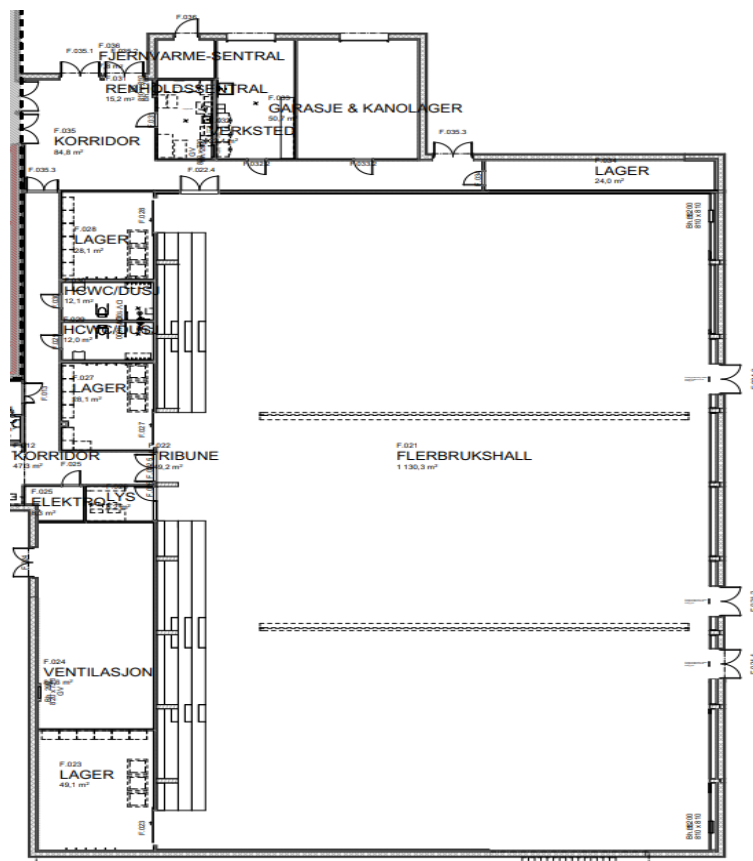
Figur 8: Lokalisering av referansebygg markert i rødt, (utklipp fra internt dokument).

Fremtidens skole ble bygget med Backe Romerike som totalentreprenør, med byggeperiode fra april 2018 til august 2019. L2 arkitekter utarbeidet tegninger som plan, snitt og IFC filer. Roar Jørgensen AS ble engasjert til å utarbeide brannkonsept med tilhørende brannrapport. Norconsult står for både lyd- og energirapporten. Rambøll ble engasjert til å utrede den geotekniske rapporten tilknyttet området.

Tabell 2: BRA referansebygg.

Type areal:	m <sup>2</sup>
Flerbrukshall	1131,7
Tribune	149,2
Korridor	133,1
Ventilasjon	84,6
Elektro	6,6
Lys	8,4
Lager	130,4
HCWC/Dusj	24,2
Renholdssentral	16,4
Fjernvarmesentral	8,0
Verksted	33,2
Garasje og kanolager	50,8
<b>Sum:</b>	<b>1776,4</b>

I tillegg til hallens baneområde, har bygget et teknisk rom, lager, WC, renholdssentral verksted og en garasje. Dette er vist i plantegningen i figur 9. Utvendige mål av bygget er 35,8 m i bredden og 54,0 m i lengderetning. Banen er 25,0 m bred og 45,0 m lang.



Figur 9: Arealplan referansebygg, (utklipp fra internt dokument).

## 4.2. Bygningsfysikk

### 4.2.1. Energikrav

Norconsult er rådgivende ingeniør bygningsfysikk, i prosjektet. All informasjon om energikravene til referansebygget i massivtre er hentet fra dokumentet om «vurdering av energieffektivitet» (Internt dokument om energieffektivitet fra Norconsult, 2019).

Prosjektet skal oppnå følgende krav:

1. Bygget skal oppnå gjeldene krav fra TEK10. Netto energibehov for bygget skal beregnes i henhold til NS 3031 med standardisert klima.
2. Prosjektet skal oppnå passivhusnivå med lokal klimadata.

Energirammekravene i TEK10 for idrettsbygg, er netto energibehov på maksimalt 145 kWh/m<sup>2</sup> BRA per år. For bygninger over 1000 m<sup>2</sup> BRA skal det være energifleksible varmesystemer, og det skal tilrettelegges for bruk av lavtemperatur varmeløsninger (Internt dokument om energieffektivitet fra Norconsult, 2019).

Norconsult har utredet simuleringer opp mot både TEK10 og mot passivhus-standard. Disse presenteres i tabellene nedenfor.

Tabell 3: Minstekrav iht. TEK10, (utskrift fra internt dokument).

Beskrivelse	FS - Idrettshall	TEK10 krav
U-verdi yttervegger [W/m <sup>2</sup> K]	0,11	0,22
U-verdi tak [W/m <sup>2</sup> K]	0,10	0,18
U-verdi gulv mot grunn og mot det fri [W/m <sup>2</sup> K]	0,08	0,18
U-verdi glass/vindu/dører [W/m <sup>2</sup> K]	1,13	1,20
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]	0,30	1,50

Tabell 4: Energiytelse iht. NS3701, (utskrift fra internt dokument).

Beskrivelse	Verdi	Krav
Netto oppvarmingsbehov	21,9 kWh/m <sup>2</sup>	23,9 kWh/m <sup>2</sup>
Netto kjølebehov	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	5,7 kWh/m <sup>2</sup>
Gjennomsnittlig effektbehov belysning	5,5 W/m <sup>2</sup>	5,5 W/m <sup>2</sup>

Tabell 5: Minstekrav enkeltkomponenter iht. passivhusstandard 3701, (utskrift fra internt dokument).

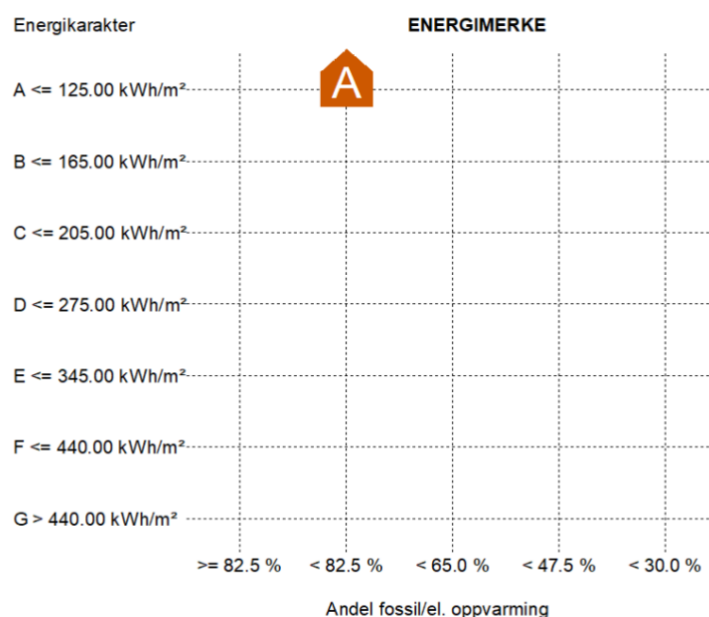
Beskrivelse	Verdi	Krav
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m <sup>2</sup> K]	1,13	0,80
Normalisert kuldebroverdi [W/m <sup>2</sup> K]	0,04	0,03
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner ventilasjon [%]	85	80
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m <sup>3</sup> /s]	1,45	1,50
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger per time]	0,30	0,60

Resultatene fra TEK10-simuleringen viser at bygget tilfredsstiller § 14-2 (1) i TEK10. Dette er presentert i tabell 3. Tabell 4 viser at bygget tilfredsstiller kravene for energiytelse i henhold til passivhusstandard. Videre er netto varmebehov planlagt 100 % dekket av fjernvarme, og dermed tilfredsstiller bygget også krav til energiforsyning i §14-4.

Simuleringene gjort mot NS3701:2012, som er «Kriterier for passivhus og lavenergibygninger», viser at bygget tilfredsstillter kravene i NS3701, med unntak av enkelte komponenter som ikke tilfredsstillter minstekravene. Disse komponentene er markert med rødt i tabell 5.

Beregnet levert energi gir grunnlag for å oppnå energikarakter A, og oppvarmingskarakter oransje, som regnes ut fra andelen fossil energi og elektrisk energi bygget mottar.

Energikarakter og oppvarmingskarakter er presentert i figur 10.



Figur 10: Beregnet energikarakter for referansebygg.

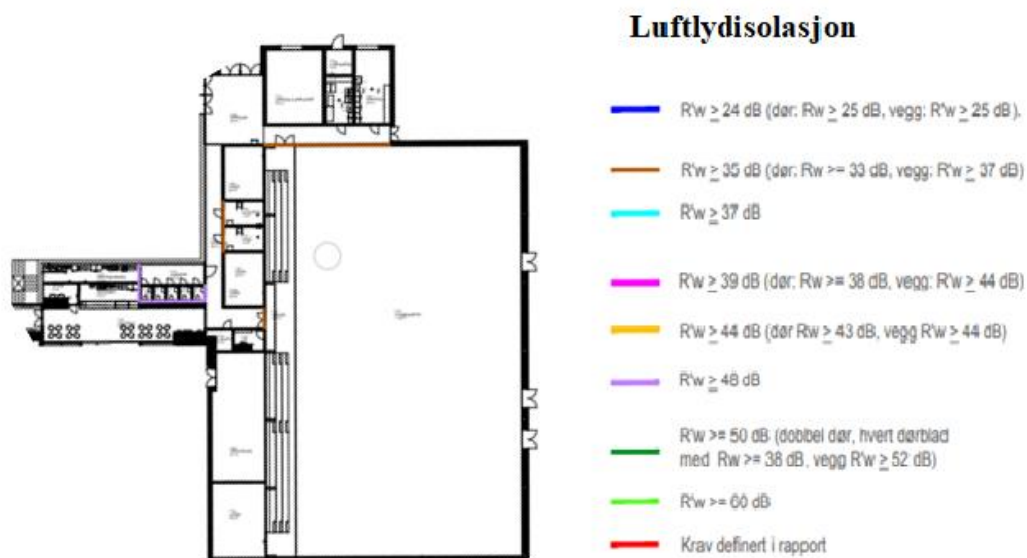
#### 4.2.2. Lydkrav

Norconsult er også engasjert som rådgivende ingeniør akustikk for referansebygget. Videre er all informasjon og løsninger hentet fra «Akustisk premissdokument for Fremtidens skole» (Internt akustisk premissdokument fra Norconsult, 2018).

Bygget skal prosjekteres etter Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM)-NOR Very Good-standard (2016) som henviser til lydklasse C i Norsk Standard NS 8175:2012 (Internt akustisk premissdokument fra Norconsult, 2018). Rapporten viser de ulike lydkravene i de forskjellige delene av referansebygget. De forskjellige lydkravene er merket i figur 11 under. Skillevegger mellom flerbrukshall og korridor uten



dørforbindelse skal holde  $R'_w \geq 48$  dB, mens vegger med dørforbindelse skal bygges med  $R'_w \geq 34$  dB og dør  $R'_w \geq 33$ . For garderober og toalett anbefales det at vegger uten dørforbindelser bygges med  $R'_w \geq 48$  dB, mens vegger med dørforbindelser skal bygges med  $R'_w \geq 34$  dB og dør  $R'_w \geq 33$  dB (Internt akustisk premissdokument fra Norconsult, 2018).



Figur 11: Lydkrav i referansebygg med tilhørende fargekoder, (internt dokument fra Backe).

#### 4.2.3. Brannkrav

Ved oppføring av referansebygg ble Roar Jørgensen AS engasjert av Backe Romerike for å utarbeide brannkonsept for prosjektet Fremtidens skole. Referansebygget er prosjektert for å tilfredsstille kravene i TEK10. Videre er all informasjon og løsninger hentet fra brannrapporten for Fremtidens skole (Internt brannkonsept av Roar Jørgensen AS, 2018).

Tiltaket vil omfatte bygging av ny flerbrukshall med tilknytning til allerede eksisterende hall og garderober. Ut fra det interne dokumentet fra Roar Jørgensen kommer det frem at flerbrukshallen plasseres i risikoklasser (RKL) 3 og 5 mens teknisk rom plasseres i RKL 2. Flerbrukshallen har kun en tellende etasje, og vil dermed plasseres i brannklasse (BKL) 1. Ut fra tiltakets risiko- og brannklasse plasseres bygget i tiltaksklasse (TKL) 3 (Internt brannkonsept av Roar Jørgensen AS, 2018).

For å skille av mot eksisterende hall har rådgivende ingeniør brann valgt å gå for et sprinklet mellombygg i R 60-klasse fremfor en skillevegg i REIM 120. Brannmotstand for bærende

konstruksjoner i hall settes til R 30 [B 30]. I § 11-6 Tiltak mot brannspredning mellom byggverk i TEK10 presenteres det preaksepterte ytelser og løsninger for å hindre brannspredning mellom byggverk. Her kommer det frem at det må gjøres tiltak, om avstanden mellom byggverk er mindre enn 8 meter (Direktoratet for byggkvalitet, 2015). Mot det nord-østre hjørnet i figur 11 er det et nabobygg innfor 8 meter, og dermed må det gjøres tiltak. Dette har rådgivende ingeniør valgt å løse ved å etablere en seksjoneringsvegg i REIM 90 i det utsatte området (Internt brannkonsept av Roar Jørgensen AS, 2018).

### 4.3. Yttervegg

Ytterveggene har massivtreelementer med 100 mm tykkelse der brannkravene er EI 30 og EI 60. Enkelte lengder av ytterveggene skal tilfredsstillere REIM 90. Disse veggelementene har 140 mm tykke massivtreelementer. Massivtreelementene hviler enten på sviller som ligger på ringmuren eller på selve ringmuren. Veggelementer sammenføres med not- og fjærprinsippet. På langsiden monteres massivtreelementene liggende. Hvert element spenner mellom søylene de skal monteres mellom. På kortsiden av bygget monteres elementene stående. To og to elementer stables på hverandre.

### 4.4. Fundament

Fundamentet i flerbrukshallen er plate på mark med ringmur og banketter rundt gulvet. Mellom gulvplaten og stripefundamentene er det en kuldebrobryter på 10 mm. Ringmurens høyde er varierende for å passe med omkringliggende terrenghøyder. Denne er prosjektert i betong B30, og er 250 mm tykk. Limtresøylene i byggets rammekonstruksjon skal stå på søylefundamenter. Bankettene er isolert med 100 mm XPS med 300 kPa trykkfasthet. Markisolasjonen er 80 mm XPS med 300 kPa trykkfasthet. Ringmuren er kun isolert på kald side, med 150 mm XPS med 200 kPa trykkfasthet.

### 4.5. Dekke

Betongdekket består av 100 mm plasstøpt betong i fasthetsklasse B30, over 250 mm EPS med minimum 80 kPa trykkfasthet. Dekket armeres med armeringsnett K257. På oversiden av betongen vil det være 45 mm kombielastisk sportsgulv i flerbrukshallen. Tilleggsbygget har vinylbelegg på oversiden av betongen, mens gulvet i garasjen og i verkstedet har klar lakk på betongoverflaten.

#### 4.6. Innervegger

I flerbrukshallen er det prosjektert innervegger av krysslimte elementer i forskjellige størrelser, med og uten påføring. Innerveggene av massivtre er bærende eller delvis-bærende med varierende tykkelse fra 100 mm til 140 mm. De forskjellige veggene påføres med ulike lag, som gipsplater, stenderverk, OSB-plater etc. for å opprettholde brann- og lydkrav. IV 100.88 er for eksempel en innervegg med brannkrav EI60 som benyttes mye. Denne påføres med 15 mm gipsplate på begge sider av 100 mm massivtre for å opprettholde kravet. Vegger med spesifikke lydkrav som for eksempel IV 161.43, er en vegg mellom WC og korridor med lydkrav på 48 dB. Denne bygges opp med 6 mm flis på membran, 13 mm gipsplate, 15 mm OSB-plate, 73 mm stenderverk tre – isolert, 100 mm massivtre, 2 x 15 mm gipsplate brann og 19 mm 1-sjiktplate.

#### 4.7. Takkonstruksjon

Massivtreelementer i kombinasjon med limtrebjelker står for bæringen i takkonstruksjonen. Massivtreelementene i taket er 120 mm tykke. Hovedsakelig er massivtreelementene 10 200 mm lange og 1250 mm brede. Disse elementene spenner over to felt og er opplagret på 3 bjelker. En bjelke i hver ende og en på midten av massivtreelementet. Annethvert massivtreelement i nord- og sørenden av hallen, spenner kun over ett felt og er omtrent halvparten så lang, som elementene som spenner over to felt. Den trykkfaste isolasjonen i taket varierer mellom 230 mm og 403 mm, for å bygge takfall. 30 mm ubrennbar isolasjon er både på over- og undersiden av den trykkfaste isolasjonen. 2 lag takpapp brukes som ytterste lag. På varm side av massivtreelementene monteres en akustisk himling av 95 mm mineralull og 25 mm treull. Den akustiske himlingen dekker ikke hele takflaten.

#### 4.8. Bæresystem

Rammen i flerbrukshallen består av søyler og bjelker av limtre. Limtresøylene er 280 x 500 mm og 280 x 1100 mm. De har en høyde på 7,14 m til 7,16 m avhengig av plassering. Limtrebjelkene som bærer taket er 28,90 m lange, 2,000 m høye og 0,280 mm brede. Mellom limtresøylen og betongen brukes en svillemembran. Limtresøylene og limtrebjelken plasseres på varm side av ytterveggene i massivtre. For å stabilisere limtresøylen og limtrebjelken, skruses disse i massivtreveggene.

## 5. Omprosjektert bygg

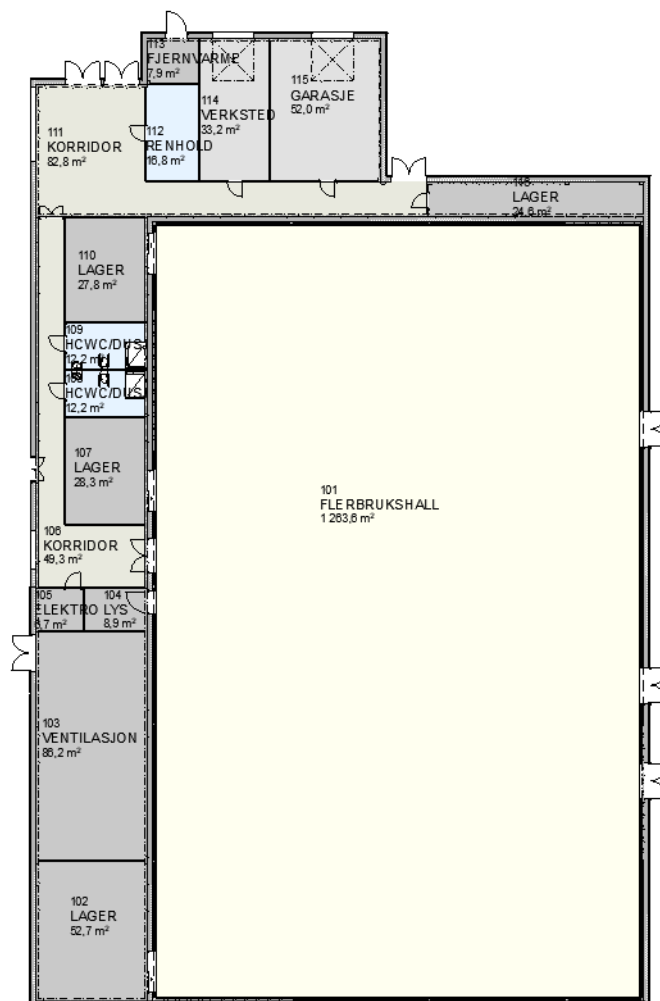
I dette delkapittelet vil løsningene i det omprosjekterte bygget presenteres. Dette er løsninger som opprettholder de samme byggetekniske kravene som referanseprosjektet tilfredsstillende. Samtidig vil det bli presentert alternative løsninger som kunne ha blitt benyttet. I omprosjekteringen er det lagt vekt på miljø- og kostnadseffektive løsninger. Figur 12 viser en 3D-modell av det omprosjekterte bygget. Arealene og planløsningen i det omprosjekterte bygget er tilnærmet likt som i referansebygget, og er presentert i figur 13 og tabell 6. En detaljert planløsning finnes i vedlegg 3.1.



*Figur 12: Illustrasjon av det omprosjekterte bygget (utklipp fra Twinmotion).*

Tabell 6: BRA Omprosjektert bygg.

Type areal:	BRA m <sup>2</sup>
Flerbrukshall	1263,6
Korridor	132,1
Ventilasjon	86,2
Elektro	6,7
Lys	8,9
Lager	133,4
HCWC/Dusj	24,4
Renholdssentral	16,8
Fjernvarmesentral	7,9
Verksted	33,2
Garasje og kanolager	52,0
<b>Sum:</b>	<b>1765,2</b>



Figur 13: Arealplan Omprosjektert bygg, (utklipp egenproduserte tegninger).

## 5.1. Bygningsfysikk

### 5.1.1. Energikrav

Ved hjelp av SIMIEN er det foretatt energisimuleringer av det omprosjekterte bygget, både mot TEK10 og passivhusstandarden. Som tidligere nevnt er det tatt utgangspunkt i verdiene som er oppgitt i «vurdering av energieffektivitet» for referansebygget (Internt dokument om energieffektivitet fra Norconsult, 2019). Det er kun gjort endringer i simuleringene der det er omprosjektert til et annet materiale, som for eksempel i ytterveggene. Det er også verdt å nevne at simuleringene utført av Norconsult er utført med arealer som inkluderer vestibylene, som er utenfor denne studiens avgrensninger. Dette medfører at energirapporten for referansebygget har et høyere oppvarmet BRA, enn energirapporten for det omprosjekterte bygget. Resultatene av simuleringene er lagt ved som vedlegg 8.1 og 8.2.

Prosjektet ligger rundt 30 kilometer nord-øst for Gardemoen, og det blir vurdert som fornuftig å benytte Gardemoen som utgangspunkt i beregningene. Årsaken for dette er at det ikke foreligger egne klimadata for Sør-Odal kommune, i SIMIEN.

Bygget skal oppnå følgende krav:

1. Gjeldende krav fra TEK10. Netto energibehov for bygget skal beregnes i henhold til NS 3031 med standardisert klima.
2. Det omprosjekterte bygget skal oppnå passivhusnivå NS 3701 med lokale klimadata.

I omprosjekteringsprosessen ble det rettet fokus mot å oppnå de samme eller forbedre U-verdiene som er oppnådd i referansebygget. En endring som er verdt å kommentere, er at det omprosjekterte bygget har yttervegger med noe høyere U-verdi, enn referansebyggets yttervegger har. For å kompensere for varmetapet dette gir, er det blant annet satt en inn 15 mm kuldebryter mellom betongdekket og ringmuren, istedenfor referansebyggets 10 mm.

TEK10 simulering:

For å gjøre en energiberegning mot TEK10-kravene benyttes standardiserte inndata for parametere som driftstimer, innetemperatur, energibelysning og minstekrav til luftmengder i ventilasjonsanlegget, dette er gitt i NS 3031.

Tabell 7: Resultater av TEK10-evaluering, (utskrift fra SIMIEN).

Resultater av evalueringen	
Evalueringsav	Beskrivelse
Energiltak	Bygningen tilfredsstiller kravene til energiltak i §14-3 (1)
Varmetapsramme	Bygningen tilfredsstiller omfordeling energiltak (varmetapstall) ihht. §14-3 (3)
Energiramme	Bygningen tilfredsstiller energirammen ihht. §14-4
Minstekrav	Bygningen tilfredsstiller minstekravene i §14-5
Luftmengder ventilasjon	Luftmengdene tilfredsstiller minstekrav gitt i NS3031:2014 (tabell A.6)
Energiforsyning	Bygningen tilfredsstiller krav til energiforsyning i §14-7
Samlet evaluering	Bygningen tilfredsstiller byggeforskriftenes energikrav

Tabell 8: Energiltak fra TEK10-evaluering, (utskrift fra SIMIEN).

Energiltak (§14-3 (1))		
Beskrivelse	Verdi	Krav
Samlet glass-, vindus og dørareal delt på bruksarealet [%]	3,7	20,0
U-verdi yttervegger [W/m <sup>2</sup> K]	0,12	0,18
U-verdi tak [W/m <sup>2</sup> K]	0,10	0,13
U-verdi gulv mot grunn og mot det fri [W/m <sup>2</sup> K]	0,08	0,15
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m <sup>2</sup> K]	1,0	1,2
Normalisert kuldebroverdi [W/m <sup>2</sup> K]	0,03	0,06
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]	0,3	1,5
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner ventilasjon [%]	81	80
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m <sup>3</sup> /s]:	1,45	2

Resultatene av simuleringen mot TEK10, vist i tabell 7, forteller at bygningen tilfredsstillter byggeforskriftens energikrav. Tabell 8 viser at kravene til energiltak opprettholdes. Samtidig viser den at samtlige bygningskomponenter er godt innenfor minstekravene satt i TEK10.

#### Passivhussimulering:

Flerbrukshallen skal oppfylle passivhuskravene. I premissdokumentet for bygningsfysikk, for referansebygget, er det gitt aksept for å avvike fra kravet til U-verdi for glass, vinduer og dører, i NS3701 (Internt dokument om energieffektivitet fra Norconsult, 2019). Premissdokumentet fastslår at kravene er spesielt utfordrende å imøtekomme for idrettshaller. Ifølge Norconsults dokument stilles det krav til røykluker og rømningsdører i idrettsbygg, noe som medfører U-verdier som er vesentlig høyere enn kravet som er satt i passivhusstandard. Dermed vil ikke prosjektet klassifiseres direkte som et passivhus. I omprosjekteringen er det besluttet å beholde røykluker og rømningsveier slikt det er prosjektert av Roar Jørgensen AS i referansebygget (Internt brannkonsept av Roar Jørgensen AS, 2018).

Resultatene av simuleringen mot NS 3701 viser at bygningen tilfredsstillter alle krav til passivhus, med unntak av den samlede U-verdien på nødutganger og røykluker. Resultatene vises i tabell 9 og tabell 10. Tabell 11 viser at bygget tilfredsstillter kravet til netto oppvarmingsbehov.

Tabell 9: Evaluering mot NS 3701 for omprosjektert bygg, (utskrift fra SIMIEN).

Resultater av evalueringen	
Evaluering mot NS 3701	Beskrivelse
Varmetapsramme	Bygningen tilfredsstillere kravet for varmetapstall
Energiytelse	Bygningen tilfredsstillere krav til energiytelse
Minstekrav	Bygningen tilfredsstillere ikke minstekrav til enkeltkomponenter
Luftmengder ventilasjon	Luftmengdene tilfredsstillere minstekrav gitt i NS3701 (tabell A.2)
Samlet evaluering	Bygningen tilfredsstillere ikke alle krav til passivhus

Tabell 10: Minstekrav for komponenter i omprosjektert bygg, (utskrift fra SIMIEN).

Minstekrav enkeltkomponenter		
Beskrivelse	Verdi	Krav
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m <sup>2</sup> K]	1,05	0,80
Normalisert kuldebroverdi [W/m <sup>2</sup> K]	0,03	0,03
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner ventilasjon [%]	100	80
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m <sup>3</sup> /s]	1,45	1,50
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]	0,30	0,60

Tabell 11: Energiytelse passivhus, (utskrift fra SIMIEN).

Energiytelse		
Beskrivelse	Verdi	Krav
Netto oppvarmingsbehov	22,5 kWh/m <sup>2</sup>	23,9 kWh/m <sup>2</sup>
Netto kjølebehov	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	5,7 kWh/m <sup>2</sup>
Gjennomsnittlig effektbehov belysning	4,0 W/m <sup>2</sup>	5,5 W/m <sup>2</sup>

### 5.1.2. Lydkrav

Det gjøres ingen endringer på lydkravene som er utarbeidet av Norconsult i referansebygget, fordi rominndelingen i det omprosjekterte bygget forblir lik referansebyggets rominndeling. Det omprosjekterte bygget er prosjektert for å tilfredsstillere de samme lydkravene som referansebygget har. Veggene mellom korridor og toalett vil ha de strengeste lydkravene i bygget. Her vil det benyttes en ikke-bærende innervegg av 48 x 48 mm isolert trestenderverk, med 15 mm branngips på hver side for å opprettholde kravet på  $R'_w \geq 37$  dB rundt toalettene.

Det vil som i referansebygget være 36 x 48 mm trespiler med 29 mm spalte i idrettshallen. Spilene vil fungere som en diffusor, mens den akustiske fiberduken og isolasjonen bak, vil absorbere lydbølgene. Sintef skriver i en artikkel at lydabsorbenter ses på som en god måte, for å redusere etterklangstiden til et bygg (Sintef, 2022).



### 5.1.3. Brannkrav

Det omprosjekterte bygget prosjekteres etter de samme brannkravene som Roar Jørgensen AS har utarbeidet til referanseprosjektet (Internt brannkonsept av Roar Jørgensen AS, 2018). Dette er beskrevet nærmere i kapittel 4.2.3. Det vil ikke foretas noen endringer av rominndelingen i bygget, og dermed beholdes også de planlagte rømningsveiene.

I det nevnte brannhjørnet i kapittel 4.2.3, vil det vanlige parocementet AST-L 300 bli erstattet med AST-F 300 for å tilfredsstille brannkravet, som er satt til REIM 90. Denne veggen vil ha en høyere U-verdi på  $0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , enn ytterveggene i resten av bygget. Etter samtaler med representanter fra Paroc kom det frem at kun det tynnere AST-F 240-panelet er testet og godkjent for REIM 90-kravet. I samråd med produsenten ble det besluttet at også AST-F 300, som er et tykkere panel, vil tilfredsstille de samme kravene og dermed kunne godkjennes for REIM 90. I brannhjørnet velges AST-F 300 over AST-F 240 for å ha en så energieffektiv løsning som mulig.

Innervegger som skal fungere som en branncellebegrensende konstruksjon, prosjekteres med brannkrav EI 60. De fleste av innerveggene i den omprosjekterte hallen skal tilfredsstille EI 60-kravet. Unntaket er innerveggene mellom hall og lager, samt veggene mellom WC og korridoren.

## 5.2. Yttervegg

Ytterveggene i det omprosjekterte bygget vil bestå av sandwichpaneler fra Paroc Panels eller leverandører av tilsvarende paneler. Det velges å legge trekledning på utsiden, for å beholde det estetiske uttrykket fra omkringliggende vestibyle og skolebygg. Sandwichelementene har en kjerne av mineralull som er mellom en 6 mm stålplate på kald side og en 5 mm stålplate på varm side. Sandwichpanelene skrues i rammens stålsøyler. Detaljtegning er lagt ved i vedlegg 3.7. For å oppnå en U-verdi på  $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  benyttes Paroc Panels AST-L 300 mm. Som nevnt i kapittel 5.1.3 benyttes AST-F 300 mm for å tilfredsstille REIM 90-kravet. Denne typen sandwichpanel har en U-verdi på  $0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Tabell 12 viser oppbyggingen av sandwichelementene.

Tabell 12: Viser oppbygningen av AST-L og AST-F.

Lag:	Tykkelse:
Utvendig kledning (stående)	19 mm
Lekt, c/c 600	36 mm
Lufting – vertikal	40 mm
Stålplate	6 mm
Mineralull	294 mm
Stålplate	5 mm

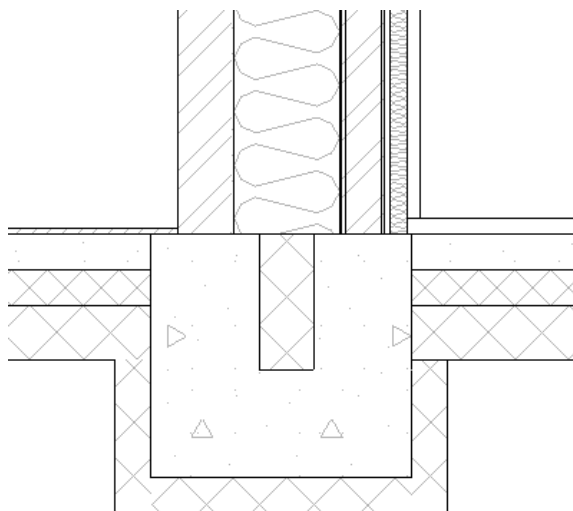
Utvalget av andre alternative ytterveggløsninger er begrenset. Høyden i flerbrukshallen, og spennet som er blitt benyttet utelukker bruken av utfyllende bindingsverk i denne delen av bygget. Betong er et alternativt ytterveggsmateriale, men CO<sub>2</sub>-utslipp, egenvekt og store elementtykkelser medfører at denne løsningen ble valgt bort. Det kunne vært mulig å benytte en kombinasjon av sandwichpaneler og bindingsverkvegger, ved å benytte sandwichelementer i flerbrukshallen og bindingsverkvegger i tilleggsbygget. Denne løsningen ble ikke valgt på grunn av manglende dokumentasjon på preaksepterte løsninger i sammensetningene av sandwichelementer og bindingsverk.

### 5.3.Fundament

I likhet med referansebygget vil det omprosjekterte bygget ha ringmur på en kontinuerlig bankett langs ytterveggene. I forbindelse med prosjekteringen av referansebygget, har Rambøll utarbeidet notatet: «Geotekniske prosjektforutsetninger» (Internt dokument Rambøll, 2018). I notatet fremkommer det at bankettbredden kan varieres mellom 0,6 m og 2,0 m, avhengig av vertikalt grunntrykk under fundamentene. Referansebygget har banketter med bredde på 2,0 m, langs hele byggets yttervegger. Byggets omkrets som dermed er bankettens lengde, på 165,2 m, gir rom for besparelser av betongvolum. Maksimalt vertikalt grunntrykk med en bankettbredde på 0,6 m, er 130 kPa (Internt dokument Rambøll, 2018). Beregningene for det omprosjekterte bygget i vedlegg 4.5 viser at vertikalt grunntrykk er 118,60 kPa. Dette åpnet for at bankettbredden ble redusert til 0,6 m.

Mellom flerbrukshallen og tilleggsbygget bærer banketten to rekker med søyler, som vist figur 14. En søylerekke bærer takbjelkene til hallen, den andre bærer takbjelkene til tilleggsbygget.

Dette fører til at ringmuren som bærer disse søylene må være bredere, sammenlignet med ringmuren i referansebygget. Høyden på ringmuren langs ytterveggene varierer med det omkringliggende terrenget. På det laveste er det 785 mm fra bunnen av ringmuren til toppen, og på det høyeste er den 1740 mm høy. Det ble vurdert å senke ringmurshøyden for å spare betong, men omkringliggende terrenghøyder endres ikke, og derfor beholdes ringmurshøyden fra referansebygget. Ringmursisolasjonen er av 150 mm XPS i på kald side, og 100 mm XPS på innsiden av ringmuren.



Figur 14: Viser den doble ringmuren benyttet mellom flerbrukshallen og tilleggsbygget (utklipp fra snittegning).

Hallen skal tilfredsstillere energikravene satt i passivhusstandarden NS 3701. Det vil være utfordrende å beholde de samme U-verdiene i veggene som referansebygget har, når sandwichpaneler benyttes. Varmetapet gjennom ytterveggene ble derfor omfordelt til andre bygningsdeler, som for eksempel ringmuren. Kuldebryter mellom betongdekket og ringmuren ble økt fra 10 mm til 15 mm, slik at varmetapet gjennom ringmuren ble redusert.

Volumet av byggets betong, og klimagassutslippene betongen står for, gir rom for optimaliseringer. For å senke klimagassutslippene fra betongen, ble betongarealet redusert og lavkarbonbetong klasse A, benyttet. Vedlegg 5.1 viser forskjeller i betongvolumet. I tabell 13 presenteres utslippsdata fra betongen som brukes i referansebygget og det omprosjekterte bygget.

Tabell 13: Klimagassutslipp betong.

Type betong:	kg CO <sub>2</sub> -ekv. pr. m <sup>3</sup> betong
Referansebygg: normal betong B30	310,00
Omprosjektet bygg: lavkarbonbetong klasse A B30	210,00

Materialegenskaper, NS-EN 1992-1-1:2004+NA:2008	
Fasthetsklasse/ Bestandighetsklasse/Eksponeringsklasse	
Fundamenter	B30/B35 / M60 / XC2
Dekker, vegger innvendig	B30/B35 / M60 / XC1
Dekker utvendig, heisgrube	B35 / MF45 / XF4
Slipt betong gulv på grunn	B35 / M40 / XC1

Figur 15: Utklipp fra fundamentplan, referansebygg.

Fundamentplanen for referansebygget spesifiserer at både B30 og B35 kan brukes i fundamentet og dekket, men B30 velges fordi denne typen betong har et lavere utslipp enn B35 (Betong Øst, 2021). Se figur 15 for utklipp av fundamentplan. Bruken av lavkarbonbetong klasse A og optimalisering av betongmengde gir en reduksjon av klimagassutslipp fra betongen på 43,51 %.

Lavkarbonbetong har et pristillegg hos de fleste betongleverandører. Gruppen har kontaktet Betong Øst, som oppga et pristillegg på 75 kr/m<sup>3</sup> betong, for lavkarbonbetong klasse A B30. Vanlig B30, med kjøring fra nærmeste blandeverk til hallens beliggenhet på Skarnes, koster 1648 kr/m<sup>3</sup> betong (Betong Øst, 2022). Dette gir byttet fra vanlig betong til lavkarbonbetong klasse A en prisøkning på 4,55 %. Den relativt lave prisforskjellen og den store besparelsen i klimagassutslipp gjør byttet av betongtype til en virkningsfull optimalisering.

Muligheten for å redusere ringmurshøyden som et alternativ til referansebyggets ringmurshøyde ble undersøkt, men omkringliggende terreng gir utfordringer. Slik terrengshøyden er prosjektert ville lasten fra terrenget, som virker mot veggene, vært for store til at sandwichelementer kunne tatt opp lastene. En løsning ville vært å planere ut tomten slik at ikke masser blir stående mot sandwichelementene. Enkle beregninger viste at en mulig besparelse av betongmengde ikke var tilstrekkelig stor, for å gjennomføre tiltaket. Samtidig vil en planering påvirke omkringliggende bygninger, skolegård og områder. Med et så stort inngrep på byggetomten ville det også krevd en ny geoteknisk rapport. En eventuell utgraving ville også medført forflytning av store masser, som igjen ville økt CO<sub>2</sub>-utslippet.

## 5.4.Dekke

Betongdekket i det omprosjekterte bygget beholder oppbygningen fra referansebygget, med unntak av endret betongtype. Oppbygningen av dekket er presentert i tabell 14.

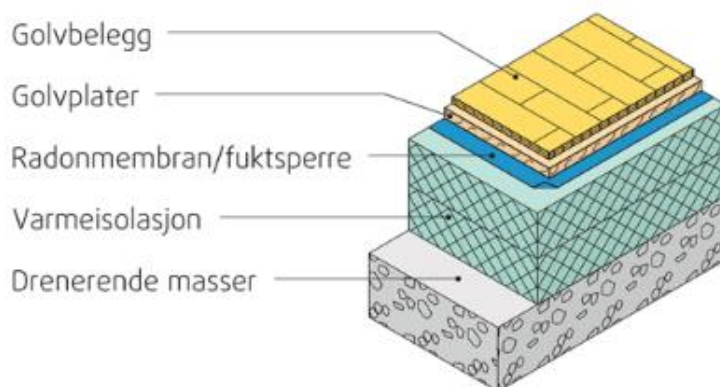
Tabell 14: Viser oppbygningen av dekke.

Lag:	Tykkelse:
Parkett / Sportsgulv gummi med 15 db trinnlydsdemping	15/ 45 mm
Lavkarbonbetong klasse A (B30 M40/ XC1)	100 mm
Trykkfast isolasjon (EPS)	100 mm
Radonsperre	0,4 mm
Trykkfast isolasjon (EPS)	150 mm

For å optimalisere for kostnader og klimagassutslipp ble fiberarmering undersøkt som et alternativ til armeringsnettene som brukes i betonggulvet i referansebygget. Bacheloroppgaven: Fiberarmert betong (Evjen & Kroksnes, 2020), beskriver blant annet hvordan fiberarmering påvirker tidsbruk, kostnad og miljø. Ved bruk av stålfiberarmering i dekket på Arena Sør, ble arbeidstimene redusert med om lag 30 %. Mengden armering kunne i det samme prosjektet reduseres. Selv om materialkostnadene av fiberarmering er høyere enn tradisjonell armering, ble betongdekket ca. 10 % billigere, på grunn av reduksjonen i arbeidstimer og mengden stål. Bacheloroppgaven viser til EPD-er som oppgir at stålfiberarmering slipper ut mer enn dobbelt så mye CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kg armering, som tradisjonell armering. Samtidig viser en utregning i bacheloroppgaven at betongdekket i Arena Sør ville gått fra 117,6 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter til 90-108 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, ved en endring fra fiberarmert betong til tradisjonell armering. Dette til tross for reduksjonen i mengden armering (Evjen & Kroksnes, 2020, s. 65). Selv om fiberarmering kunne vært kostnadsbesparende, vil det omprosjekterte bygget beholde armeringsnettene som referansebygget er prosjektert med. Fiberarmering ville sannsynligvis hatt en negativ innvirkning på klimagassregnskapet til det omprosjekterte bygget. Lavkarbonbetong klasse A vurderes av gruppen som en bedre optimalisering enn kostnadsbesparelsen fiberarmering ville stått for.

Som nevnt er U-verdien i sandwichelementene høyere enn U-verdien i ytterveggene til referansebygget. En økning av isolasjonsmengden under betongdekket ville gitt et mindre varmetap til grunnen. Dette ble vurdert som en mulig løsning på omfordelingen av varmetap, men det ble ikke gjennomført fordi energirammekravet ble oppfylt med andre tiltak.

En gulvløsning som ble vurdert var lett, flytende gulv. Et flytende gulv er en lett konstruksjon som legges direkte på trykkfast isolasjon. Gulvet kan for eksempel bygges opp med 200 mm trykkfast isolasjon. Deretter brukes fuktsperre/radonmembran før 22 mm spon- eller OSB-plate (Byggforsk, 2012). Se figur 16 for prinsipp av løsningen.



Figur 16: Eksempel på lett, flytende gulv (Byggforsk, 2012).

Fordelene med denne gulvløsningen er kort byggetid og en lite varmetreg konstruksjon som egner seg godt i kombinasjon med gulvvarme (Byggforsk, 2005). I følge Byggforsk kan lett, flytende gulv redusere byggfukt. Gulvplatene bør legges senest mulig i byggeperioden for å sikre at det blir tilført minst mulig fuktighet (Byggforsk, 2012). Ved bruk av lett, flytende gulv ville bruken av betong i prosjektet blitt redusert, som igjen ville ført til en reduksjon av CO<sub>2</sub>-utslippene.

Gulv av denne typen er spesielt godt egnet i boliger. En av ulempene med lett, flytende gulv er de begrensede bæreegenskapene. Etersom et slikt gulv kun er beregnet til å tåle vekten av lettvegger og vanlig innredning i boliger, ble løsningen utelukket i dette prosjektet (Byggforsk, 2012). I en idrettshall vil det være naturlig å ha en tribune for publikum. Ved for eksempel et fullsatt arrangement, vil dette kunne medføre store laster på tribunen og gulvet. En løsning kunne vært å støpe et eget fundament til tribunen. Ved arrangementer må også gulvet ta opp store laster fra folkemengder, noe som gir store laster på gulvet. Det finnes lite dokumentasjon på bruken av denne typen gulv i flerbrukshaller, noe som er en viktig faktor for at lett, flytende gulv ikke ble brukt i dette prosjektet.

## 5.5. Innervegg

Innerveggene er prosjektert til å være ikke-bærende vegger av utfyllende bindingsverk av tre. Bindingsverket skal ha en stenderavstand på c/c 600 mm. I tilleggsbygget skal innerveggene skjule søyler og bjelker i den grad det er mulig. Det er benyttet tre forskjellige typer innervegger.

### Veggtype 1:

Dette er en isolert innervegg som oppfyller brannkrav EI 60 og lydkrav på  $R'_w \geq 37$  dB. Denne veggtypen er benyttet i HCWC/DUSJ og mellom flerbrukshallen og korridorene. Oppbygning er presentert i tabell 15.

Tabell 15: Viser oppbygningen av innerveggtype 1.

Lag:	Tykkelse:
Branngips	15 mm
Trestender - isolert	48 x 48 mm
Branngips	15 mm

### Veggtype 2:

Dette er en uisolert innervegg som oppfyller brannkrav EI 60, uten lydkrav. Denne veggtypen benyttes i resterende innervegger tilknyttet tilleggsbygget, og er presentert i tabell 16.

Tabell 16: Viser oppbygningen av innerveggtype 2.

Lag:	Tykkelse:
Branngips	15 mm
Trestender - uisolert	48 x 48 mm
Branngips	15 mm

### Veggtype 3 (Påforing i hallen):

De utstikkende søylene i hallen kan forårsake ulykker ved sammenstøt med brukere av flerbrukshallen, og det vil være naturlig å kle inn søylene ved hjelp av en ikke-bærende innervegg for å få en jevn og slett overflate. Dette benyttes i hele høyden av idrettshallen. Grunnet hallens store takhøyde må dette bindingsverket bygges som flere etasjer. Samtidig vil

veggen ha en lyddempende effekt. Stenderverket skrur fast i stålsøylene. Se tabell 17 for oppbygning av veggtype 3.

Tabell 17: Viser oppbygningen av innerveggtype 3.

Lag:	Tykkelse:
Trestender - uisolert	98 mm
Lekt, c/c 600	48 mm
Mineralull	48 mm
Akustisk fiberduk i henhold til lydkrav	3 mm
Stående behandlet trespiler med 29 mm spalte	36 x 48 mm

En alternativ løsning for veggtype 3 er å benytte trespiler som er 4,5 m høye, og deretter benytte kryssfiner og gipsplatekledning som er overflatebehandlet, opp til taket. Denne løsningen ble ikke valgt, for å beholde spileveggenes lyddempende egenskaper. Et alternativ for alle innervegger er å benytte et stenderverk i stål istedenfor tre, men det ble ikke valgt grunnet ønsket om en klimavennlig løsning. Et alternativt materialvalg kunne vært lettklinker. Grunnet lettklinkerens høye egenvekt og krav til innerveggenes lave tykkelse ble dette utelukket. Lettklinkere skal ikke benyttes når tykkelsen på veggen er mindre enn 150 mm (Byggforsk, 2013).

## 5.6. Takkonstruksjon

Lett-Tak Systemer AS har prosjektert en takløsning bestående av takmoduler, til det omprosjektete bygget. Løsningen består av prefabrikkerte moduler, som er dimensjonert i forhold til dimensjonerende snø- og vindlast (vedlegg 4.1 og 4.2) i prosjekteringsområdet. Av hensyn til forskjellige spennvidder er det benyttet to ulike modultyper, en for flerbrukshallen og en for tilleggsbygget. Oppbygningen av takmodulene til flerbrukshallen er beskrevet i tabell 18 og for tilleggsbygget i tabell 19. Begge takmodulene oppfyller brannmostand REI 60, og U-verdi på 0,13 W/m<sup>2</sup>K.



## Takoppbygging flerbrukshall:

Tabell 18: Viser oppbygningen til takmodulen for flerbrukshallen.

Lag:	Tykkelse:
Taktekning	3 mm
Kryssfiner	18 mm
Bindingsverk – isolert	121 mm
Stenderverk stål – isolert	310 mm
Dampsperre	0,2 mm
Nedforing – isolert	50 mm
Stål – strukturell	20 mm

## Takoppbygging tilleggsbygg:

Tabell 19: Viser oppbygningen til takmodulen for tilleggsbygget.

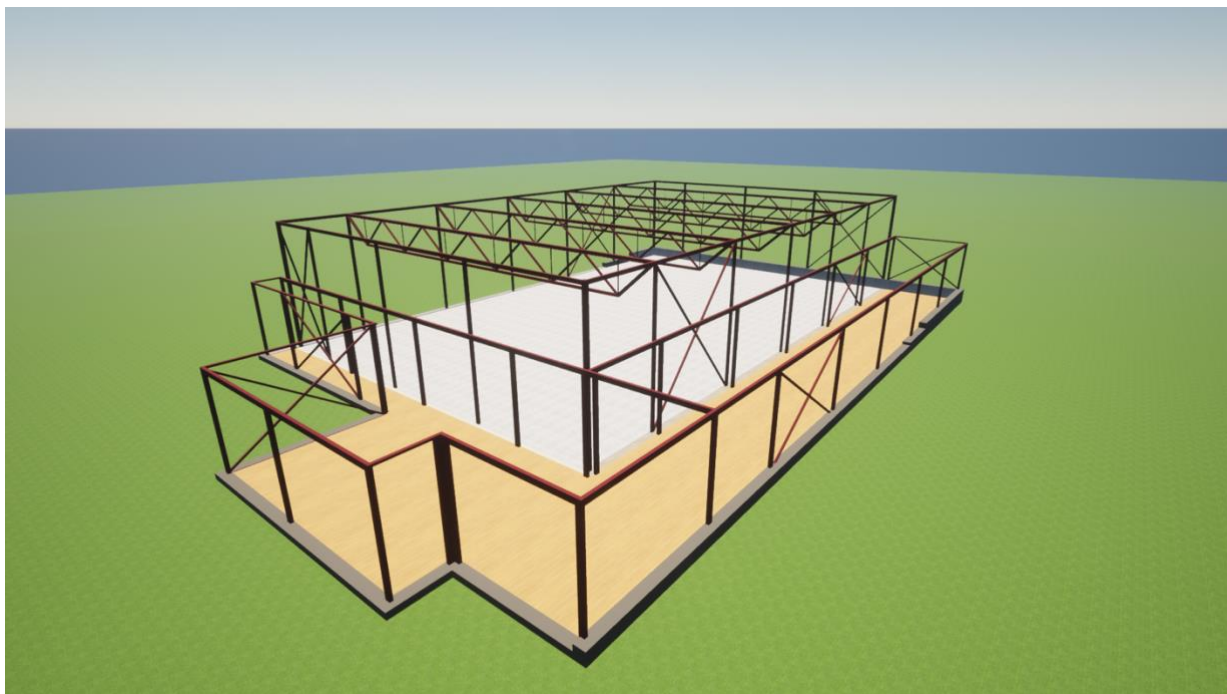
Lag:	Tykkelse:
Taktekning	3 mm
Kryssfiner	15 mm
Bindingsverk – isolert	121 mm
Stenderverk stål – isolert	210 mm
Dampsperre	0,2 mm
Nedforing – isolert	50 mm
Stål – strukturell	20 mm

Takmoduler fra andre leverandører, med annen oppbygging kan benyttes. Dette vil ha innvirkning på både kostnadene og klimagassutslippene. Samtidig er det mulig å benytte hulldekker, men dette ble valgt bort for å minimere betongbruken, med tanke på klimagassutslipp og høy egenvekt. En annen grunn til at Lett-Tak ble valgt som leverandør er de gode montasjeanvisningene for kombinasjonen av sandwichpaneler og takmodul.

### 5.7. Bæresystem

Bæresystemet er prosjektert som to rammekonstruksjoner i stål. En for flerbrukshallen og en for tilleggsbygget. Figur 17 viser en 3D-tegning av det omprosjekterte bæresystemet. Akseavstanden økes, i forhold til referansebyggets akseavstand, for å optimalisere for

stålmengder. Den begrenses av maksimal spennvidde for sandwichpanelene, som følge av vindlastene ytterveggene utsettes for. Vedlegg 4.3 viser utregningen av sandwichpanelenes maksimale spennvidde. Som vist i vedlegg 3.11 er akselavstanden hovedsakelig 8 m, men kortere enkelte steder.



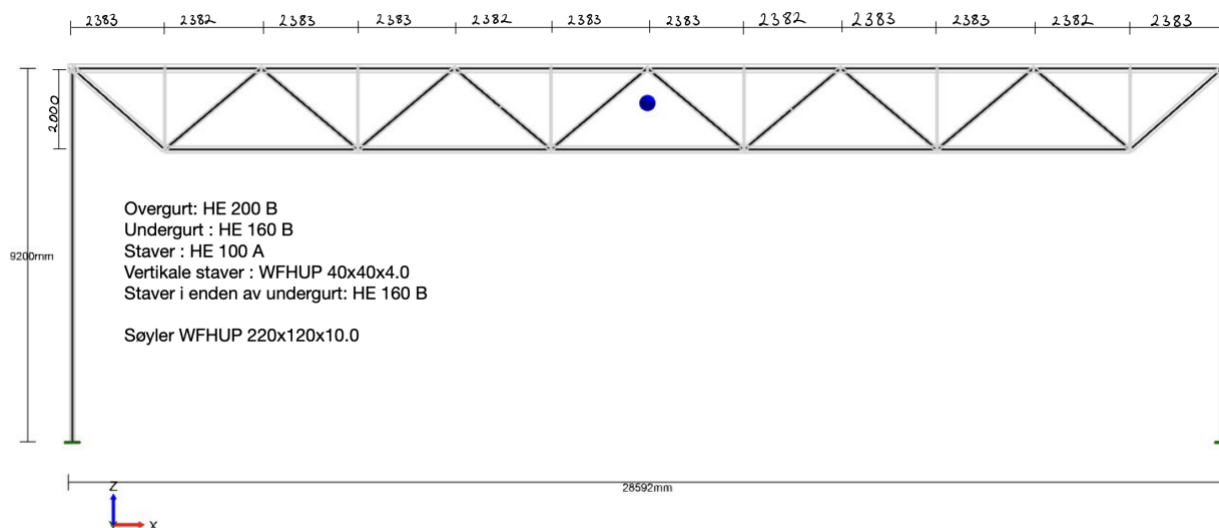
*Figur 17: Viser en 3D-modell av bæresystemet (utklipp fra Twinmotion).*

Stål er et materiale som har evne til å tåle store spenn og tunge laster, med relativt små dimensjoner. Alle bjelkene og søylene i rammeverkene er prosjektert med kvadratiske eller rektangulære hulprofiler. Utformingen av søyler og bjelker er vist i vedlegg 4.4. Plasseringen av takbjelkene vises i figur 19. Alle knutepunkt i rammene er blitt sveiset sammen. Søylefoten er dimensjonert med en høyde på 30 mm og forankres til ringmuren med bolter med diameter 24 mm (M24, klasse 8.8) og forankringslengde 16 ganger diameteren på bolten (384 mm). Takmodulene vil ha en skivevirkning i horisontal retning, men veggelementene bidrar ikke til avstivning. Dette medfører at det må plasseres flere avstivningskryss i rammekonstruksjonen. Etter råd fra forelesere ved Instituttet for konstruksjonsteknikk ved NTNU, er det plassert et avstivningskryss på hver veggside av rammeverkene. Dette kan ses i figur 17.

#### 5.7.1. Flerbrukshall

I flerbrukshallen er søylene i rammeverket etter beregninger med Focus Konstruksjon, prosjektert med to forskjellige dimensjoner. Søyylene som befinner seg i hjørnene av rammeverket har dimensjonene 220 x 220 x 10 mm, og resten av søylene har dimensjonene

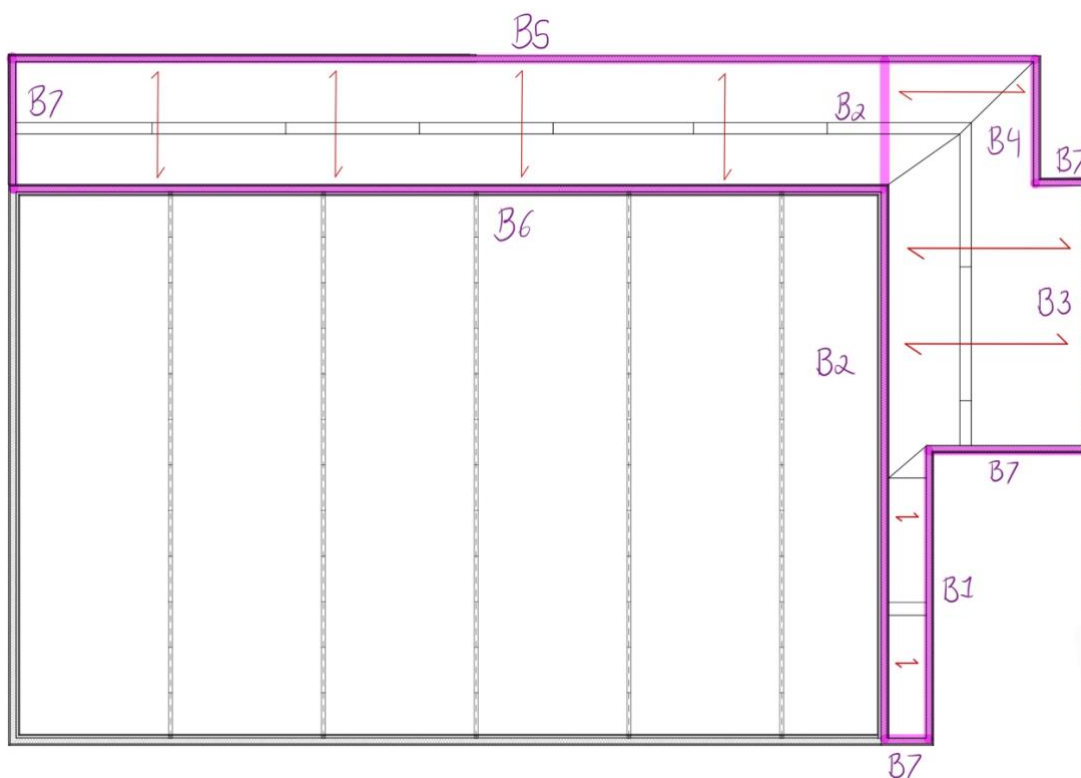
220 x 120 x 10 mm. For å avstive rammeverket er det blitt benyttet fire avstivningskryss med dimensjonen 100 x 100 x 8 mm. For bæring av takelementene har flerbrukshallen 5 fagverksbjelker, av typen vist i figur 18. Årsaken til at det er blitt benyttet fagverksbjelker, er det store spennet på 28,6 m. Fagverksbjelken består av en kombinasjon HE-B, HE-A og hule stålprofiler, med ulike typer dimensjoner. Bjelkene på hver kortside av flerbrukshallen er opplagret på fem søyler og trenger derfor ikke å være fagverksbjelker. I stedetfor er bjelkene hulprofiler med dimensjon 200 x 120 x 10 mm.



Figur 18: Viser oppbygningen av fagverksbjelken (mål i mm).

### 5.7.2. Tilleggsbygget

I rammeverket til tilleggsbygget blir det kun benyttet en type HUP-søyle, med dimensjonen 250 x 150 x 6,3 mm. I tillegg har rammeverket fem avstivningskryss med dimensjonen 100 x 100 x 8 mm. For bjelkene er det brukt syv forskjellige typer dimensjoner, som er listet opp i tabell 20 under. Plasseringen av bjelkene er vist på figur 19. Det er brukt ulike dimensjoner, for å optimalisere bjelkene for stålmengde, i best mulig grad. Alle bjelkene er bærende, utenom bjelke B7, dette er grunnet spennretningen til takmodulene.



Figur 19: Plassering av de ulike bjelketypene i tilleggsbygg, samt fagverksbjelker i hall.

Tabell 20: Viser dimensjonene til bjelkene som er brukt i tilleggsbygget.

Navn	Type	Dimensjon
B1	HUP	150 mm x 100 mm x 8 mm
B2	HUP	250 mm x 150 mm x 8 mm
B3	HUP	250 mm x 150 mm x 6,3 mm
B4	HUP	250 mm x 150 mm x 8 mm
B5	HUP	250 mm x 150 mm x 10 mm
B6	HUP	250 mm x 150 mm x 14,2 mm
B7	HUP	150 mm x 100 mm x 3,2 mm

Når det kommer til materialalternativer for rammeverk er utvalget av tradisjonelle materialer begrenset, da bæresystemer som regel blir bygget i stål eller trevirke. Ettersom ønsket med oppgaven er å belyse økonomi- og klimagassforskjeller dersom trevirke blir byttet ut med et alternativt materiale, ble stål valgt. Stål i bæresystemer har velkjente løsninger, som i haller ofte brukes med sandwichpaneler som yttervegger. En annen årsak til at stål ble valgt til fordel for trevirke i bæresystemet, er manglende dokumentasjon på preaksepterte løsninger for innfesting av sandwichpaneler til trevirke. Samtidig vil bruken av stål i mange tilfeller redusere

bjelker- og søyledimensjoner, i forhold til limtrebjelker og -søyer. Et eksempel på dette er å se på søyledimensjonene som er brukt i referansebygget, og det omprosjekterte bygget. I referansebygget er akseavstanden på 5,1 m. Halvparten av søylene som bærer takbjelkene i flerbrukshallen har en dimensjon på 1100 x 280 mm, og den andre halvparten har dimensjon på 500 x 280 mm. I det omprosjekterte bygget er det blitt benyttet en større akselavstand på 8 m, og dimensjoner på tilsvarende søyer i stål er redusert til 220 x 120 x 10 mm. Reduksjon av dimensjonene medfører blant annet plassbesparelse og redusert materialbruk. Det er også mulig å benytte et annet type bæresystem som ikke krever et rammeverk, men da må bæring løses på andre måter, for eksempel med bærende yttervegger.

## 5.8. Tegninger

Det er produsert tegninger for å vise endringene som ble gjort i omprosjekteringen. Plan-, snitt- og fasadetegninger er lagt ved for å skape et helhetlig bilde av det omprosjekterte bygget. Detaljtegningene viser de mest utslagsgivende endringene som er gjort, med tanke på problemstillingen. De produserte tegningene er listet opp under, og vedlagt under vedlegg 3.

### 3.1 Plantegning

### 3.2 Lengdesnitt

### 3.3 Tverrsnitt

### 3.4 Fasader

#### 3.4.1 Fasader kortside

#### 3.4.2 Fasader langside

### 3.5 Yttervegg (Paroc)

### 3.6 Overgang fundament – yttervegg

### 3.7 Horisontaldetalj yttervegg – yttervegg

### 3.8 Overgang yttervegg – tak

### 3.9 Overgang tak tilleggsbygg – flerbrukshall

### 3.10 Konstruksjonsdetalj søyle – fundament

### 3.11 Konstruksjonsplan

## 6. Beregninger og tolkning

### 6.1.Kostnad

Både kalkylene og prisene nedenfor, inkluderer materialkostnad, frakt og montasje. Mer detaljerte beregninger er vist i kalkylene som er lagt ved som vedlegg 6.1 og 6.2. Totalsummen på bygningsdelene som inngår i kalkylene vises i tabell 21.

Tabell 21: Totalsummer for referansebygg og omprosjektert bygg.

<b>Totalsummer</b>	
Referansebygg	16 720 406 kr
Omprosjektert bygg	11 410 093 kr
Prisforskjell	5 310 313 kr

De største postene i kalkylen for referansebygget vises i tabell 22, mens en tilsvarende oversikt for det omprosjektert bygget vises i tabell 23.

Tabell 22: Utgiftsposter referansebygg.

<b>Utgiftsposter referansebygg</b>	
Massivtre	5 861 824 kr
Limtre	2 098 598 kr
Utvendig trekledning	1 659 266 kr
Selvbærende steinull, yttervegg	1 352 959 kr
Betong	691 676 kr

Tabell 23: Utgiftsposter omprosjektert bygg.

<b>Utgiftsposter omprosjektert bygg</b>	
Takmoduler	3 560 440 kr
Stålsøyler og stålbejelker	1 803 146 kr
Sandwichpaneler	1 698 570 kr
Utvendig trekledning	1 695 959 kr
Betong	551 572 kr

## 6.2. Tolkning av kostnadsberegninger

Massivtre stikker seg ut som en stor utgiftspost i kalkylen for referansebygget. Det er viktig å bemerke at posten for massivtreelementer ikke bør sammenlignes direkte med posten for sandwichvegger. Summen for massivtreelementer inkluderer både elementene i tak, innervegger og yttervegger. Et bytte fra et bæresystem i limtre og massivtre til stål, påvirker materialvalg og løsninger i hallens øvrige bygningsdeler. Ved undersøkelse av materialkostnadene for massivtreelementer, limtre, stål og sandwichelementer, gir det derfor mer mening å se på prisdifferansen mellom de to bygningsalternativene i sin helhet eller med flere bygningsdeler samlet.

Betongen i det omprosjekterte bygget er lavkarbonbetong klasse A. Denne betongen har en merkostnad på 75 kr/ m<sup>3</sup>. Allikevel er posten for betong redusert med 140 104 kr i det omprosjekterte bygget, sammenlignet med referansebygget. Optimaliseringen av bankettbredden til det omprosjekterte bygget førte til en reduksjon av betongmengden. Som følge av dette ble stålmengden i armeringen redusert, noe som fører til en besparelse på 27 321 kr for det omprosjekterte bygget.

Prisen for utvendig kledning er 36 693 kr høyere for det omprosjekterte bygget, sammenlignet med referansebygget. Dette skyldes i all hovedsak det omprosjekterte byggets større veggareal, grunnet større gesimshøyde. Til forskjell fra det omprosjekterte byggets sandwichelementer som inkluderer isolasjon, må massivtreveggene i referansebygget isoleres med en relativt kostbar selvbærende steinull. Kostnaden av det omprosjekterte byggets ytterveggsisolasjon ligger i kostnaden av sandwichpanelene. Sandwichpanelene koster 800 kr per m<sup>2</sup>, mens den selvbærende steinullen og yttervegger i massivtre koster 2175 kr per m<sup>2</sup>. Dette gir en økning på 171,9 %.

I likhet med andre bygningsdeler, er den innvendige kledningen optimalisert.

Sandwichpanelene har på kald og varm side en stålplate, som kan benyttes som ferdig overflate, innvendig og utvendig. For å gi flerbrukshallen det samme estetiske uttrykket som resten av skolen den tilhører, brukes den samme utvendige trekledningen i både referansebygget og det omprosjekterte bygget. For å optimalisere for klimagassutslipp og kostnader, brukes sandwichpanelene som ferdig innvendig overflate. Unntaket er innvendig

kledning i den omprosjekterte hallen, som i likhet med hallen i referansebygget har trespiler. Også arealet av spilekledning er redusert, der det er mulig. I sum resulterer optimaliseringene i en besparelse på 124 214 kr for innervegger og innvendig kledning, i det omprosjekterte bygget.

Valgene som er tatt i omprosjekteringen av flerbrukshallen og tilleggsbygget for å optimalisere for kostnader og klimagassutslipp, påvirker kostnadene. Uten optimaliseringstiltakene, ville materialmengdene av betong, stål, trevirke og isolasjon med stor sannsynlighet økt. Derfor er det viktig å poengtere at kostnadsbesparelsene til det omprosjekterte bygget ikke kun er et resultat av et direkte bytte av materialer, men i stor grad kommer fra optimaliseringen av konstruksjonen.

### 6.3.Diskusjon av metode, kostnadsberegninger

Mengdeuttaket ble gjort med Solibri for referansebygget, og med Archicad for det omprosjekterte bygget. Ved eksportering av Archicad-filen til .ifc-fil oppsto det problemer med bygningsdeler som manglet nødvendig informasjon. Det ble vurdert at mengdeuttak i de to nevnte programmene gir en god nok løsning, fordi både Solibri og Archicad viser til de samme dimensjonene. Mengdene har blitt kontrollert manuelt og sjekket mot 3D-modellene, for å sikre at store mengdeavvik kan utelukkes.

Priser på arbeid, transport og materialer er hentet fra Norsk prisbok og leverandører som har blitt kontaktet. Dersom flere av prisene for materialer hadde blitt hentet fra leverandører, og installasjonskostnader hentet fra entreprenører, ville dette gitt mer presise kalkyler. Derimot ble det besluttet at for mye brukte bygningsmaterialer og tjenester, anses prisene gitt i Norsk prisbok som gode nok. Prisene hentet fra Norsk prisbok ble justert for vekst i konsumprisindeksen. Denne økningen vil ikke til enhver tid være representativ for alle byggevarene og tjenestene i kalkylen. Prisene som er hentet fra leverandører er tall for våren 2022, og utgjør en stor andel av kalkylenes totalsummer. For limtrebjelker og -søyler er priser for frakt og materialkostnad hentet fra produsent. Derimot er prisene på installasjon av disse hentet fra Norsk prisbok. Pris på installasjon av søyler og bjelker med så store dimensjoner som brukes i referansebygget finnes ikke i Norsk prisbok. I stedet for ble pris på installasjon av søyler og bjelker med så lik dimensjon som mulig, valgt. Avvik i dimensjoner mellom det som



spesifiseres i prosjektmaterialet og det som er tilgjengelig i Norsk prisbok, forekommer også for andre, mer vanlige bygningsmaterialer. I slike tilfeller vil priser velges ut fra dimensjonene og beskrivelsene som er mest lik materialene i prosjektmaterialet.

Priser på materialer og tjenester vil i prosjekter variere avhengig av leverandør, entreprenør og markedet. Dette tilsier at avvik mellom kalkyler og faktisk byggekostnad vil variere som følge av flere faktorer, enn kun samsvaret mellom dimensjoner i prosjektmaterialet og Norsk prisbok. Selv om det er brukt mye tid på å kontrollere at korrekte mengder er brukt, samt at prisene på varer og tjenester er representative, bør utslag i pris på grunn av mindre mengdeavvik og prisavvik ses i sammenheng med prisforskjellene i markedet.

## 6.4. Klimagassutslipp

### 6.4.1. Anvendelse av studien

Denne studien benytter Global Warming Potential (GWP) som et mål på klimagasspåvirkninger. Klimagassregnskapene er laget for å sammenligne GWP tilknyttet to versjoner av flerbrukshallen til Fremtidens skole på Skarnes. Resultatene av de to klimagassregnskapene viser forskjellen i GWP-verdi mellom de to versjonene av bygget, ikke de to byggenes totale GWP-verdi. Forskjellen i utslipp kommer hovedsakelig fra forskjellen i mengder og materialene som er brukt, samt forskjeller i byggeteknikker som følge av materialforskjellene. Resultatene gir ikke et stort nok sammenligningsgrunnlag for en generell sammenligning av massivtre og stål, som bæresystemer i alle bygg. Derimot synliggjør resultatene forskjellen i GWP-verdi mellom referansebygget i massivtre og det omprosjektete bygget med bæresystem i stål. Fremtidige, lignende prosjekter kan dermed dra nytte av funnene i denne studien.

### 6.4.2. Avgrensninger

Versjonen av One Click LCA som ble benyttet til klimagassberegningene tar ikke med utslipp fra bruksfase, avhendingsfase eller faser utenfor systemgrensene. Utslippene som knyttes til materialene er utslipp fra produksjonsfasen (A1-A3). Transport (A4) tas også hensyn til og varierer med mengden materialer som brukes, og avstanden til byggeplass. Utslipp under bygging som følge av svinn og avfallshåndtering (A5), regnes ut basert på mengden og type materiale som brukes. Figur 20 viser de forskjellige fasene i en LCA.

Product Stage			Construction Process Stage		Use Stage							End-of-Life Stage				Benefits and loads beyond the system boundary		
Raw material supply	Transport	Manufacturing	Transport to building site	Installation into building	Use/application	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	Deconstruction/demolition	Transport	Waste processing	Disposal	Reuse	Recovery	Recycling
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	D	D

Figur 20: Faser tilknyttet LCA-beregninger (One Click LCA).

### 6.4.3. Klimagassregnskap

Regnskapet tar som nevnt ikke utgangspunkt i de totale materialmengdene, for de to byggene. Resultatene av de to regnskapene vises i tabell 24. Omprosjekteringen gir en økning i GWP-verdi på 38,98 %.

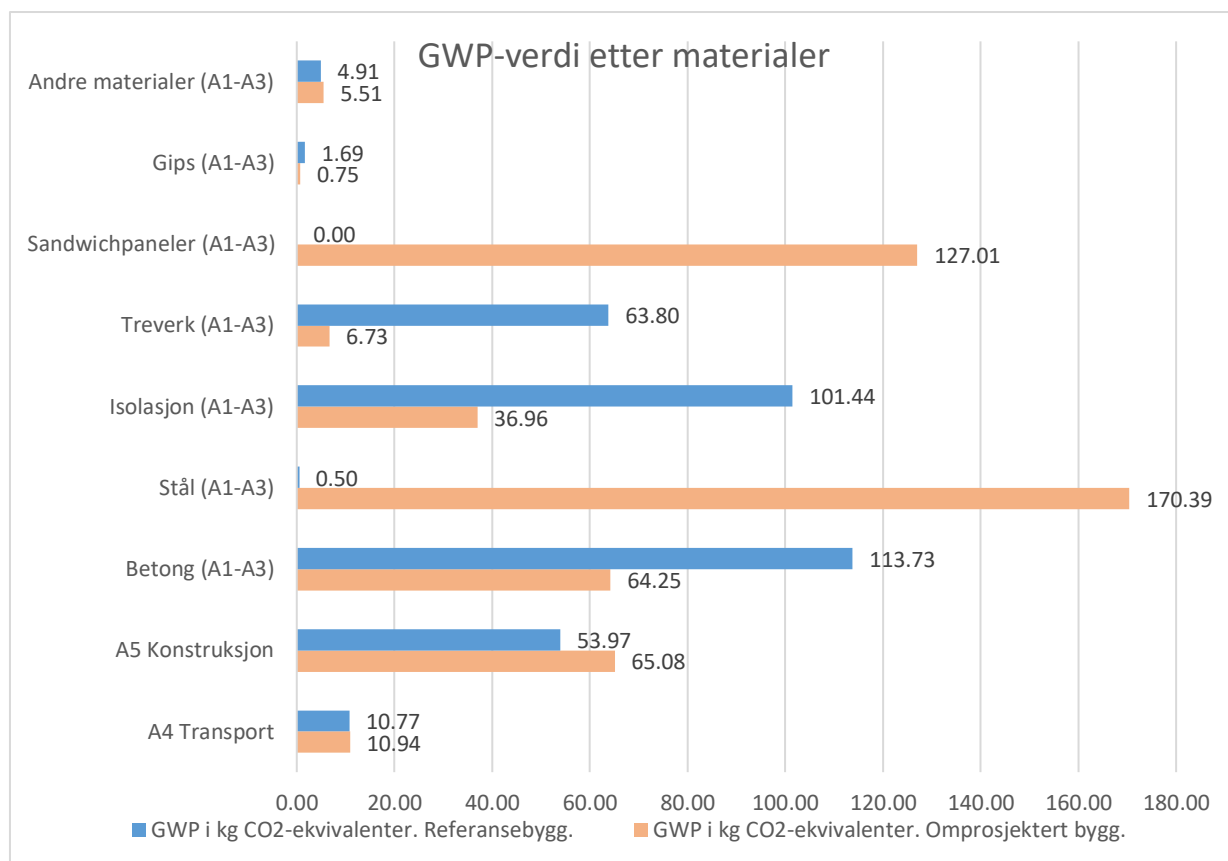
Tabell 24: GWP for omprosjektert bygg og referansebygg.

Bygg	tonn CO <sub>2</sub> -ekvivalenter
GWP: referansebygg	350,83
GWP: omprosjektert bygg	487,60
GWP: forskjell	136,77

### 6.4.4. Tolkning av klimagassregnskap

Figur 21 viser hvor mange tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter som knyttes til byggenes materialer, transport og byggeplassaktivitet. Referansebygget består i stor grad av betong og treverk. Som figuren viser, står betong for den største delen av utslippene i referansebygget, etterfulgt av isolasjon og treverk. Utslippsfordelingen er litt annerledes for det omprosjekterte bygget, enn for referansebygget. Figur 21 viser at stål har høyest GWP-verdi i det omprosjekterte bygget. Utslippene tilknyttet betong er nesten halvvert i det omprosjekterte bygget, sammenlignet med referansebygget. Figuren viser at isolasjonen i referansebygget har mye høyere utslipp, enn isolasjonen i det omprosjekterte bygget. Dette skyldes at ytterveggene i referansebygget er isolert med mineralullsplater, mens isolasjonen i det omprosjekterte byggets yttervegger er i sandwichpanelene. Dette gjør at isolasjonen i sandwichpanelene ikke telles i isolasjonskategorien av One Click LCA. Klimagassutslippene fra sandwichpanelene stammer blant annet fra isolasjon og stålplatene, som panelene består av. Uten utslippstall for

isolasjonen i sandwichpanelene blir det derfor vanskelig å sammenligne utslippene tilknyttet de to byggenes isolasjonsprodukter.

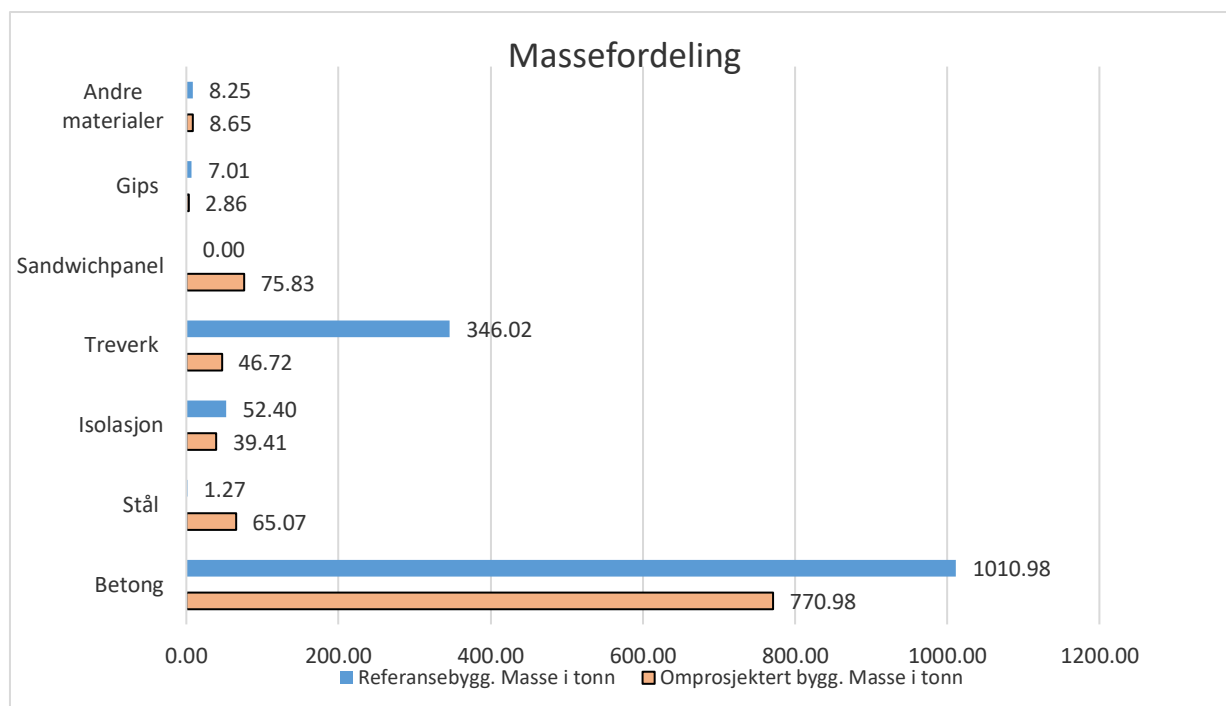


Figur 21: GWP-verdi fordelt på materialer.

Post A5 konstruksjon, dekker avfallshåndtering og svinn under byggingen. Referansebygget i massivtre har lavere utslipp tilknyttet A5 konstruksjon, enn det omprosjekterte bygget. Når det kommer til transporten av materialene, kommer det de to byggene ganske likt ut.

For å forstå utslippstallene er det viktig å ha oversikt over massefordelingen av materialene. Figur 22 viser at betongmengden er redusert med 240 tonn, noe som bidrar til en reduksjon av utslippene til det omprosjekterte bygget. En annen viktig årsak til utslippsreduksjonen er bruken av lavkarbonbetong i det omprosjekterte bygget. Store deler av referansebygget består av treverk i form av limtre og massivtre, mens det omprosjekterte bygget stort sett har treverk i kledning, samt i innervegger med trestendere. Dette medfører at referansebygget har langt høyere masse av treverk enn det omprosjekterte bygget, noe som også gjenspeiles i utslippene tilknyttet treverk. Både stål og sandwichpaneler utgjør en relativt lav del av totalvekten. Derimot er utslippene til stål og sandwichpaneler de materialene med høyest GWP-verdi i denne

studien, noe som forklares av materialenes høye klimagassutslipp per volumenhet. En oversikt over utslippsdataene for materialene, er vist i vedlegg 7.1.



Figur 22: Massefordeling av materialer.

Figurene ovenfor har et lavt inndelingsnivå. Ved å kun se på disse figurene, er det en viss risiko for å komme frem til feilaktige konklusjoner. Et eksempel på dette, er hvordan sandwichpaneler skal sammenlignes med andre materialer i referansebygget.

Sandwichpanelene er både en isolerende og adskillende bygningsdel. Utslippstallene tilknyttet treverk i referansebygget vil dekke både bæring, vegger og tak, mens sandwichelementene kun brukes i vegger. En direkte sammenligning mellom tallene, vil derfor være av liten verdi.

Tabell 25 deler inn GWP-verdi etter både bygningdel, materiale, transport og avfallshåndtering.

Tabell 25: GWP-verdi fordelt på materiale og bygningsdel.

Omprosjektert bygg i oransje. Referansebygg i blått. Måleenhet = tonn CO <sub>2</sub> -ekvivalenter.										
	A4 Transport	A5 Byggeplass	Betong (A1-A3)	Stål (A1-A3)	Isolasjon (A1-A3)	Treverk (A1-A3)	Gips (A1-A3)	Sandwich- panel (A1-A3)	Andre materialer	SUM
Fundament og gulv	4,01	2,78	64,25	0,00	1,22	0,00	0,00	0,00	0,00	72,26
Fundament og gulv	5,27	4,90	113,73	0,50	2,96	0,00	0,00	0,00	0,00	127,37
Vegger og fasade	5,74	20,97	0,00	0,00	0,07	5,25	0,75	127,01	0,00	159,78
Vegger og fasade	1,85	4,82	0,00	0,00	38,12	7,33	1,69	0,00	0,29	54,10
Vertikal bæring	0,06	1,65	0,00	49,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	51,56
Vertikal bæring	1,31	3,74	0,00	0,00	0,00	21,09	0,00	0,00	0,00	26,14
Himling, bjelker og tak	1,13	8,23	0,00	117,42	35,67	1,47	0,00	0,00	5,51	169,43
Himling, bjelker og tak	2,34	9,16	0,00	0,00	60,37	35,38	0,00	0,00	4,63	111,88
Andre materialer	0,00	0,10	0,00	3,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,21
Andre materialer	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Byggeplass-scenarier	0,00	31,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,35
Byggeplass-scenarier	0,00	31,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,35
<b>Totalt utslipp omprosjektert bygg</b>										<b>487,60</b>
<b>Totalt utslipp referansebygg</b>										<b>350,83</b>

Sandwichpanelene skal som nevnt både isolere og avgrense innsiden av hallen fra utsiden. Sammenlignet med veggelementer av massivtre, er det ikke bæring eller avstivning i sandwichpanelene. Mer riktig blir det derfor å sammenligne det sammenlagte utslippet fra kategoriene «vertikal bæring» og «vegg og fasade», som vist i utregning (1) og (2) under.

$$\text{Vegg referansebygg} = (54,10 + 26,14) \text{ tonn CO}_2 - \text{ekv.} = 80,24 \text{ tonn CO}_2 - \text{ekv.} \quad (1)$$

$$\text{Vegg omprosjektert bygg} = (159,78 + 51,56) \text{ tonn CO}_2 - \text{ekv.} = 211,34 \text{ tonn CO}_2 - \text{ekv.} \quad (2)$$

Som utregningene viser, er forskjellen i utslipp mellom ytterveggsløsningen til omprosjektert bygg og referansebygget, stor. Ytterveggsløsningen i det omprosjekterte bygget slipper ut 131,10 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter mer enn veggssystemet i referanse bygget. Dette tilsvarer en økning på 163,38 %.

Tallene for utslippene i «himling, bjelker og tak» i tabell 25 dekker alle materialer i takene fra himling til takoverflate. Det omprosjekterte bygget har en høy andel av stål i taket, fra både takbjelkene og takmodulene. Dette bidrar til høye GWP-nivåer. Treverk og isolasjon utgjør de største utslippskildene til taksystemet i referansebygget. Referansebyggets taksystem består av massivtre, limtre og trykkfast isolasjon og har et lavere GWP-nivå enn taksystemet i det omprosjekterte bygget. Forskjellen i utslipp er 57,55 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, eller en økning på 51,44%.

Det omprosjekterte bygget har ulike optimaliseringstiltak, noe som vil påvirke resultatene. Spesielt vil reduksjonen av materialmengder ha en stor innvirkning på det omprosjekterte byggets klimagassutslipp. Uten optimaliseringene som er gjort, ville det omprosjektert byggets utslippsbesparelser vært mindre. Det er derfor viktig å bemerke at utslippsdifferansen mellom de to bygningsalternativene er et resultat av forskjell i materialenes utslipp, i tillegg til utslag fra optimaliseringstiltakene. Optimaliseringene gjort i denne oppgaven begrenses av funksjonene det omprosjekterte bygget skal oppfylle, men det vil være rimelig å anta at ytterligere optimalisering kan føre til større besparelser.

#### 6.4.5. Diskusjon av metode, klimagassregnskap

Mengdene brukt i klimagassregnskapet er de samme mengdene som brukes i kalkylene, og er vist i vedlegg 5. Dette gir et godt samsvar mellom klimagassutslipp- og kostnadsresultatene. Mengdene ble lagt inn i One Click LCA, sammen med transportavstander. EPD-ene oppgir produksjonssted, og Google Maps ble brukt for å beregne transportavstand mellom produksjonssted og byggeplassen i Sør-Odal. Det største avviket mellom prosjektert bygningsdel og produktregisteret i One Click LCA var takmodulene fra Lett-Tak. Dette var den eneste bygningsdelen uten EPD-rapport, noe som resulterer i at utslippsdata for takmodulene heller ikke er tilgjengelig i One Click LCA. I stedet ble mengdene av materialene i takmodulene lagt inn som separate materialer i One Click LCA, med riktig fraktlengde. Utslipp forbundet med produksjon og transport fra enkeltmaterialenes produksjonssted til takmodulenes produksjonssted, kommer derfor ikke med i det omprosjekterte byggets klimagassregnskap. Ulempen med versjonen av One Click LCA som ble brukt, er at utslipp tilknyttet bruk (B1-B7), avfallshåndtering (C1-C4) og faser utenfor systemgrensene (D), ikke tas med i regnskapet. Inkluderingen av disse fasene av livsløpet ville ha endret resultatene. Spesielt materialer med kort levetid eller som er spesielt vanskelig å resirkulere eller gjenbruke, vil gi negative utslag i de nevnte livsløpsfasene.

Som nevnt tidligere, kan biogent karbon legges inn i livsløpsfasene til produktene i en LCA-rapport, med forskjellige metoder. Selv om det totale klimagassutslippet blir likt, uavhengig av hvilken fase opptak og utslipp av biogent karbon regnes, så vil regnemetoden for biogent karbon ha en stor innvirkning i tilfeller der kun utslipp tilknyttet A1-A5 tas med i klimagassregnskapet. Som nevnt er dette tilfellet for klimagassberegningen i denne rapporten.

One Click LCA regner biogent karbon som bundet og deretter frigjort i fasene A1-A3. I praksis medfører dette at biogent karbon ikke telles med i klimagassregnskapet, noe som sikrer at treverksprodukter kan sammenlignes med produkter i andre materialer.

Valget av leverandører ble i hovedsak bestemt av produktegenskaper. Hvilke produsenter som kunne oppgi priser og svare på spørsmål var også tellende i valget av leverandører. Forskjeller i utslipp mellom produsenter av samme type bygningsdeler, påvirkes blant annet av hvilke materialer som benyttes, transport innad i produktenes livsløp, produksjonsmetode, levetid og avhendingsløsninger. Dersom valget av produsenter først og fremst hadde blitt gjort på grunnlag av klimagassutslipp, ville resultatene av klimagassregnskapene blitt annerledes. Betong, limtre og massivtre er blant produktene der det ble lagt vekt på å velge leverandører med produksjon i nærheten av byggeplassen. Sandwichpanelene fra Paroc Panels produseres i Finland, og er bygningsdelen med lengst transportavstand.

## 7. Diskusjon

### 7.1. Prosjekteringsvalg

#### 7.1.1. Optimaliseringer

Referansebygget er en flerbrukshall med et tilleggsbygg, der de aller fleste overflater er treverk. Bygget er en del av barne- og ungdomsskolen på Skarnes, som er bygget på samme måte. Som tidligere nevnt er det visse begrensninger på hvor store optimaliseringer som kan gjøres. På den annen side gir resultatene fra denne studien derfor et godt grunnlag for analyse av klimautslipp og kostnad for flerbrukshallen.

Det omprosjekterte byggets bebygde areal er like stort som referansebyggets bebygde areal. Dette har vært et bevisst valg i omprosjekteringen, for å ta hensyn til plass på tomten og omkringliggende bygninger. En reduksjon av takhøyden i hallen ville ført til utslippsreduksjoner, som følge av en reduksjon av materialmengder. For å oppfylle krav til takhøyde i idrettshaller, ble ikke dette gjort. Flerbrukshallen som denne studien tar utgangspunkt i, bygges som en utvidelse av en eksisterende flerbrukshall. Det tidligere omtalte tilleggsbygget oppføres mellom den nye og den eksisterende flerbrukshallen. Rommene i tilleggsbygget som ligger langs flerbrukshallens langside, kunne blitt flyttet til flerbrukshallens kortside, der resten av tilleggsbyggets rom er plassert. Løst på denne måten, kan ytterveggarealet og bebygd areal reduseres.

Som klimagassberegningene viser, er sandwichpanelene en stor utslippskilde i det omprosjekterte bygget. Med en samling av tilleggsbyggets rom, kan ringmurs- og bankettvolumet reduseres. Med en slik løsning, ville både en reduksjon av betong og armering resultert i en kostnads- og klimagassbesparelse. Derimot er byggets utforming preget av at tilleggsbygget skal fungere som en tilknytning mellom den nye og den allerede eksisterende flerbrukshallen.

Treverk gir et bestemt estetisk uttrykk på tomten, noe som går igjen i tilnærmet alle byggene flerbrukshallen ligger i tilknytning til. I omprosjekteringen ble det vektlagt at utvendig trekledning, og til en viss grad innvendig kledning i hallen, skal overføres til det omprosjekterte bygget fra referansebygget. En eventuell utelatelse av utvendig trekledning i det omprosjekterte bygget, vil gi en kostnads- og klimagassreduksjon. Med tall fra kalkylen i vedlegg 6.2 og



utslippsdataene i vedlegg 7.1 gir dette en mulig besparelse på 1 695 959 kr og 3,68 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Dette utgjør en betydelig utgiftsbesparelse og en besparelse av klimagassutslipp. Viktigheten av utvendig trekledning, må vurderes opp mot tiltakshavers ønsker. I denne studien ble det vurdert at en flerbrukshall med tilsvarende estetisk uttrykk som resten av skolen, er ønskelig.

Eksempelet med utelatelse av trekledningen viser at optimaliseringer kan resultere i kostnads- og klimagassbesparelser. Hvor store og omfattende optimaliseringer som kan gjøres før resultatene blir lite sammenlignbare, og det omprosjektete bygget ikke lengre tilfredsstillende funksjonskrav og estetiske krav, blir en vurderingssak fra prosjekt til prosjekt. I dette prosjektet ble form og funksjon vektlagt. Optimaliseringene i det omprosjektete bygget har gitt gode økonomiske resultater, samtidig som de til en viss grad veier opp for utslippene fra de mindre klimavennlige materialene som ble brukt i det omprosjektete bygget.

#### 7.1.2. Spennviddenes virkning på kostnader og klimagassutslipp.

For å redusere det omprosjektete byggets stålmengder, ble akseavstanden mellom søylene økt. Aksene i det omprosjektete bygget er plassert ut etter byggets søyler. Dersom lengden mellom hver akse på langsiden av bygget økes, vil antall søyler og bjelker kunne reduseres.

Referansebygget har på tvers av takbjelkeretningen en akseavstand på 5,1 m i hallen.

Tilsvarende har den omprosjektete hallen en akseavstand på 8 m. Dersom den omprosjektete hallen skulle beholdt akseavstanden på 5,1 m fra referansebygget, ville hallen hatt 20 søyler og 10 takbjelker. Med den omprosjektete hallens akseavstand på 8 m, er det tilstrekkelig med 14 søyler og 7 takbjelker. To søyler og en takbjelke i den omprosjektete hallens dimensjoner veier 5165 kg. Dersom GWP-verdien for kaldformede hulprofiler fra Tibnor brukes, vil disse søylene og bjelken slippe ut 13 946,6 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (Vartdal, 2021). En reduksjon på 6 søyler og 3 bjelker, vil utgjøre en betydelig andel av det omprosjektete byggets totale utslipp.

Det er mange hensyn å ta når akseavstander bestemmes. Etter beregninger ble det klart at maksimal spennvidde for ytterveggens sandwichpaneler, med tomtens vindforhold, er 8 m. Se vedlegg 4.3 for mer detaljerte beregninger. Sandwichpanelenes maksimale spennvidde ble den begrensende faktoren for maksimal akseavstand. Deretter ble søyler og bjelker dimensjonert for de opptredende lastene. Klimagassutslipp og kostnader for stål henger tett sammen. En endring

i akseavstand vil hovedsakelig ha innvirkning på mengden stål. Derfor kan akseavstanden optimaliseres for stålmengde. Det skal ikke utelukkes at en kortere akseavstand ville resultert i slankere takbjelker og et lavere klimagassutslipp. Flere utregninger av laster med tilhørende stålmengder for ulike akseavstander, kunne derfor resultert i en gunstigere akseavstand.

Utslippstallene i dette delkapittelet, gir en indikasjon på mulige besparelser ved endring av akseavstand. Kortere akseavstander gir mindre spennvidder for tak og vegger. Det vil resultere i mindre last per takbjelke og søyle fra snø, vind og egenlast fra tak- og veggmoduler. Den omprosjekterte hallens søyler er dimensjonert etter sandwichpanelenes nødvendige oppleggsbredde. Søylenes dimensjoner kan derfor ikke reduseres. Derimot er takbjelkene i den omprosjekterte hallen en fagverkskonstruksjon av stål, der store deler av kapasiteten til bjelken brukes. En reduksjon av laster vil muliggjøre slankere dimensjoner og en lavere totalhøyde av fagverksbjelkene. Dette kan redusere hele byggets høyde og mengder av andre typer materialer.

### 7.1.3. Bruken av trevirke i omprosjektert bygg

I materialvalget for det omprosjekterte byggets ramme, tak og yttervegger, ble trevirke flere ganger nevnt som aktuelle materialer. Trevirke har flere gunstige tekniske egenskaper, i tillegg til å ha lave klimagassutslipp. Oppgavens problemstilling og manglende monteringsanvisninger er viktige faktorer for hvorfor materialene ikke ble brukt i det omprosjekterte bygget.

Massivtre og konstruksjonsvirke ble vurdert som materiale i yttervegger og tak. Manglende dokumentasjon på preaksepterte løsninger der sandwichpaneler møter treverk, resulterte i at bærende bindingsverksvegger av trevirke ble valgt bort i tilleggsbygget. Stor takhøyde gjorde utfyllende bindingsverksvegger uegnet i hallen. Derfor ble det besluttet å bruke sandwichvegger og stålramme både i hallen og i tilleggsbygget.

Som nevnt ville utstrakt bruk av massivtre og limtre i det omprosjekterte bygget gitt resultater fra klima- og kostnadsregnskapene som det er vanskelig å trekke klare slutninger fra. Når det er sagt, er trevirke et materiale som på mange steder i det omprosjekterte bygget ville vært et gunstig materialvalg. Samvirkekonstruksjoner der ulike materialer med ulike egenskaper brukes der de passer best, vil kunne gi gode resultater både for klimagassregnskapene og for kostnadsregnskapene.

#### 7.1.4. Bygningsdelenes U-verdi

Ved å se på resultatet av klimaberegningene av det omprosjekterte bygget, er det tydelig at sandwichveggene og takmodulene står for en stor del av utslippene i bygget. Til sammenligning utgjør isolasjonen i grunnen en liten andel av utslippene i bygget. Dersom tykkelsen av sandwichvegger og taket kan reduseres, ved å senke varmetapet i andre bygningsdeler, kan dette slå positivt ut på både klimagassberegninger og kostnadsberegninger. For å optimalisere fordelingen av varmetap mellom bygningsdeler for klimagassutslipp og kostnadsberegninger, bør flere løsninger med ulike varmetapsfordelinger, energi-, kostnads- og klimaberegnes.

#### 7.1.5. Bæresystemets oppbygning

Bæresystemet i hallen er uavhengig av tilleggsbyggets bæresystem. Dette fører til et unødvendig antall stålsøyler og unødvendig store mengder sandwichvegger og betong. Med en mer gjennomarbeidet løsning av bæresystemet kunne dette vært unngått. Løsningen med to separate bæresystemer tilrettelegger for bruk av preaksepterte løsninger, men det gir også høyere klimagassutslipp og kostnader. Ved å gå fra to separate bæresystemer til ett bæresystem, kan 11 stendere og 395 m<sup>2</sup> sandwichelementer erstattes med utfyllende bindingsverk. Endringene medfører en kostnad på 130 936 kr og en utslippsbesparelse på 28,68 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. For å sette disse tallene i perspektiv, er det omprosjekterte bygget 5 310 313 kr billigere enn referansebygget. Samtidig slipper det omprosjekterte bygget ut 136,77 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter mer enn referansebygget.

## 7.2. Feilkilder

### 7.2.1. Kostnadsøkninger

Kalkulasjonene som er gjort i forbindelse med denne studien er basert på priser hentet fra Norsk prisbok august 2018. I tidsvinduet august 2018 til juni 2022 har hendelser i verden forårsaket en ekstra prisstigning på byggevarer. Summene i kalkylene prisjusteres for økningen i konsumprisindeksen mellom august 2018 til januar 2022. Den store prisstigningen på byggevarer den siste tiden, dekkes ikke fullstendig av økningen i konsumprisindeksen for perioden. Kronesvekkelse som følge av koronapandemien, sto for en prisstigning av byggevarer på 5,2 % fra januar til juni 2020 (Strand, 2020).

I 2021 forklarte treindustrien.no at årsaken til sterk prisvekst for trelast skyldes stor internasjonal etterspørsel, kombinert med lavere tilbud enn normalt, blant annet på grunn av barkebilleangrep (Treindustrien, 2021). Maxbo varsler om ytterligere prisstigninger på flere byggevarer fra 1. juni 2022. Flere av byggevarerne som omfattes av prisstigningen er med i dette prosjektets kalkyler. Varselet viser også at ulike varer har ulik prisstigning (Maxbo, u.d.). Priser på massivtre, limtre, sandwichpaneler, takmoduler, betong og stål er hentet direkte fra leverandører, våren 2022. Prisene på disse byggevarerne utgjør store andeler av kalkylenes sluttsommer. En sterk prisstigning kombinert med ulik prisstigning for de forskjellige byggevarerne, skaper en usikkerhet i resultatene av kalkylene. Prisene i kalkylenes største utgiftsposter er tall fra våren 2022, noe som gjør kostnadsresultatene mer relevante. På den annen side vil videre prisutvikling i markedet være umulig å forutse med sikkerhet. Dette må vektlegges ved fremtidig bruk av denne studien.

#### 7.2.2. Detaljeringsnivå av mengdeuttak

Mengdeuttaket brukes som grunnlag i både kostnads- og klimagassberegningene. Avvik i mengdeuttak vil gi utslag i beregningene. I arbeidet med det omprosjektete byggets modell, ble det lagt vekt på at detaljeringsnivået skal være likt eller bedre, enn detaljeringsnivået som brukes i mengdeuttaket. Det betyr at all nødvendig informasjon for mengdeuttaket skal finnes i prosjektmaterialet for det omprosjektete bygget. Det antas også at modellen av referansebygget inneholder tilstrekkelig informasjon for et nøyaktig mengdeuttak. Selv om modellene skal ha et tilfredsstillende detaljeringsnivå, kan det ikke utelukkes feil ved bruk av mengdeberegningsverktøyene brukt i arbeidet.

## 8. Konklusjon

I denne oppgaven er klimagassutslippet og kalkylene for et referansebygg og et omprosjektert bygg, sammenlignet. Referansebygget er prosjektert i limtre og massivtre, og det omprosjekterte bygget er prosjektert i stål og sandwichelementer. Beregningene baserer seg kun på komponentene som er omprosjektert i forhold til referansebygget. Fasene som er undersøkt i klimagassberegningene er produktfasen (A1-A3), transport (A4), og utslipp under bygging (A5). Kostnadskalkylen inkluderer prisene for materialkostnader, frakt og montasje.

Det første resultatmålet ble oppnådd ved å produsere en detaljert modell og tegninger av det omprosjekterte bygget. Dette ble gjennomført tidlig i prosessen, og videre brukt som grunnlagsdata for mengdeuttak. Mengdene ble videre brukt for å utarbeide en klimagass- og kostnadsberegning for det omprosjekterte bygget, noe som var de to siste resultatmålene for prosjektet. De samme beregningene ble gjort for referansebygget. Resultatene av beregningene viser at det omprosjekterte bygget har en lavere kostnad, men samtidig høyere klimagassutslipp i forhold til referansebygget. De høye utslippene til det omprosjekterte bygget kommer i hovedsak fra stål og sandwichpanelene. Som vedlegg 7.1 viser, er utslippet per volumenhet fra disse materialene, store. Samtidig er det viktig å presisere at kostnaden og klimagassutslippet for det omprosjekterte bygget ville vært høyere om det ikke ble gjennomført optimaliseringer. Dette må vektlegges i bruken av resultatene.

Resultatene fra denne studien er ikke nødvendigvis representativ for fremtidige prosjekter. Bygg er forskjellige, og referansebygget består av flere ulike rom, i tillegg til flerbrukshallen. Ved bruk av denne studiens resultater for fremtidige byggeprosjekter, bør det tas med i betraktningen hvilke rom, mengder og løsninger som er brukt i denne studien og som kan ha overføringsverdi til det fremtidige byggeprosjektet. Samtidig er referansebygget og det omprosjekterte bygget optimalisert og prosjektert etter ønskede funksjoner. Denne studien viser at det er vanskelig å finne en løsning som er optimalisert med tanke på både kostnad og klimagassutslipp. Løsninger med lave kostnader har ofte høye klimagassutslipp, på samme måte som at løsninger med lave klimagassutslipp ofte er mer kostbare. I tillegg er det utfordrende å finne universelle løsninger som vektlegger faktorene kostnad og klimagassutslipp likt. Balansen mellom kostnader og klimagassutslipp må vurderes i hvert byggeprosjekt. Det er også andre ønsker og faktorer som spiller inn, noe som naturligvis også bør vektlegges i en prosjekteringsprosess.

## 8.1. Videre arbeid

Ved eventuelt videre arbeid med utgangspunkt i denne oppgaven, ville det vært naturlig å undersøke bruken av andre materialer med tilhørende løsninger. I denne studien ble det hovedsakelig sett på tradisjonelle byggemetoder, noe som påvirker resultatene. Det kunne som nevnt i punkt 7.1.3 også blitt sett nærmere på bruken av samvirkekonstruksjoner av ulike materialer, hvor de gode egenskapene til hvert materiale hadde blitt utnyttet. Dette krever større undersøkelser og kartlegging av hvordan ulike materialer kan brukes i en samvirkekonstruksjon, enn de få preaksepterte løsningene som i dag er tilgjengelig.

Ved en optimalisering av de tekniske fagene ville det vært naturlig å se om dette kunne medført en reduksjon av romareal. Samtidig vil det være naturlig å undersøke om planløsningen kan optimaliseres, for mer energieffektive og klimavennlige løsninger. Slike optimaliseringer ble ikke gjennomført grunnet tidsbegrensinger, og at de tekniske fagene er utenfor gruppens fagfelt.

## 9. Referanser

Backe Romerike, 2019. *Backe*. [Internett]

Tilgjengelig: <https://backe.no/prosjekter/glommasvingen-skole>

[Hentet: 27 april 2022].

Betong Øst, 2021. *Betong Øst*. [Internett]

Tilgjengelig: <https://betongost.no/wp-content/uploads/2022/03/Systembeskrivelse-DONN-Lavkarbon.pdf>

[Hentet: 27 april 2022].

Betong Øst, 2022. *Prisliste betong pr. 01.01.2022*. [Internett]

Tilgjengelig: <https://betongost.no/wp-content/uploads/2022/01/2022-Betong-Ostlandet.pdf>

[Hentet: 24 april 2022].

Betongsentrum, 2020. *Betongsentrum*. [Internett]

Tilgjengelig: <https://www.betongsentrum.no/valg-av-riktig-betongkvalitet/>

[Hentet: 22 februar 2022].

Brann & redning, 2005. *Brannredning*. [Internett]

Tilgjengelig: <https://brannredning.com/fagstoff/betong-eksplosiv-avskalling/>

[Hentet: 27 april 2022].

Byggforsk, 2004. *520.026 Viktige parametre for prosjektering og utførelse av bestandige betongkonstruksjoner*. [Internett]

Tilgjengelig:

[https://www.byggforsk.no/dokument/285/viktige\\_parametrer\\_for\\_prosjektering\\_og\\_utfoerelse\\_av\\_bestandige\\_betongkonstruksjoner](https://www.byggforsk.no/dokument/285/viktige_parametrer_for_prosjektering_og_utfoerelse_av_bestandige_betongkonstruksjoner)

[Hentet: 27 april 2022].

Byggforsk, 2005. *521.011 Valg av fundamentering og konstruksjoner mot grunnen*. [Internett]

Tilgjengelig:

[https://www.byggforsk.no/dokument/327/valg\\_av\\_fundamentering\\_og\\_konstruksjoner\\_mot\\_grunnen#i33](https://www.byggforsk.no/dokument/327/valg_av_fundamentering_og_konstruksjoner_mot_grunnen#i33)

[Hentet: 3 mai 2022].

Byggforsk, 2007. *523.285 Lette sandwichelementer i yttervegger og tak*. [Internett]

Tilgjengelig:

[https://www.byggforsk.no/dokument/364/lette\\_sandwichelementer\\_i\\_yttervegger\\_og\\_tak](https://www.byggforsk.no/dokument/364/lette_sandwichelementer_i_yttervegger_og_tak)

[Hentet: 16 mai 2022].

Byggforsk, 2009. 520.323 *Branntmotstand for bjelker og søyler av betong, mur og tre.*

[Internett]

Tilgjengelig:

[https://www.byggforsk.no/dokument/1540/branntmotstand\\_for\\_bjelker\\_og\\_soyler\\_av\\_betong\\_mur\\_og\\_tre](https://www.byggforsk.no/dokument/1540/branntmotstand_for_bjelker_og_soyler_av_betong_mur_og_tre)

[Hentet: 16 mai 2022].

Byggforsk, 2012. 471.401 *U-verdier. Vegger over terreng med bindingsverk av tre med gjennomgående stendere.* [Internett]

Tilgjengelig: [https://www.byggforsk.no/dokument/4045/u-](https://www.byggforsk.no/dokument/4045/u-verdier_vegger_over_terreng_med_bindingsverk_av_tre_med_gjennomgaaende_stendere)

[verdier vegger over terreng med bindingsverk av tre med gjennomgaaende stendere](https://www.byggforsk.no/dokument/4045/u-verdier_vegger_over_terreng_med_bindingsverk_av_tre_med_gjennomgaaende_stendere)

[Hentet: 6 mai 2022].

Byggforsk, 2012. 521.111 *Golv på grunnen med ringmur. Utførelse.* [Internett]

Tilgjengelig:

[https://www.byggforsk.no/dokument/328/golv\\_paa\\_grunnen\\_med\\_ringmur\\_utfoerelse#i57](https://www.byggforsk.no/dokument/328/golv_paa_grunnen_med_ringmur_utfoerelse#i57)

[Hentet: 4 mai 2022].

Byggforsk, 2013. 471.421 *U-verdier. Vegger over terreng – massivtre.* [Internett]

Tilgjengelig: [https://www.byggforsk.no/dokument/4100/u-](https://www.byggforsk.no/dokument/4100/u-verdier_vegger_over_terreng_massivtre)

[verdier vegger over terreng massivtre](https://www.byggforsk.no/dokument/4100/u-verdier_vegger_over_terreng_massivtre)

[Hentet: 6 mai 2022].

Byggforsk, 2013. 524.223 *Murte innevegger.* [Internett]

Tilgjengelig: [https://www.byggforsk.no/dokument/374/murte\\_innervegger](https://www.byggforsk.no/dokument/374/murte_innervegger)

[Hentet: 2 mai 2022].

Byggforsk, 2014. 470.101 *Livsløpsvurdering (LCA) av byggevarer og bygninger. Innføring og begreper..* [Internett]

Tilgjengelig:

[https://www.byggforsk.no/dokument/205/livsloepsvurdering\\_lca\\_av\\_byggevarer\\_og\\_bygninger\\_innfoering\\_og\\_begreper#i01](https://www.byggforsk.no/dokument/205/livsloepsvurdering_lca_av_byggevarer_og_bygninger_innfoering_og_begreper#i01)

[Hentet: 29 april 2022].

Byggforsk, 2014. 470.103 *Miljødeklarasjoner (EPD) av byggevarer.* [Internett]

Tilgjengelig:

[https://www.byggforsk.no/dokument/3006/miljoedeklarasjoner\\_epd\\_av\\_byggevarer](https://www.byggforsk.no/dokument/3006/miljoedeklarasjoner_epd_av_byggevarer)

[Hentet: 29 april 2022].



Byggforsk, 2016. 572.205 *Betong. Typer, egenskaper og bruksområder*. [Internett]

Tilgjengelig:

[https://www.byggforsk.no/dokument/5157/betong\\_typer\\_egenskaper\\_og\\_bruksomraader](https://www.byggforsk.no/dokument/5157/betong_typer_egenskaper_og_bruksomraader)

[Hentet: 22 februar 2022].

Byggforsk, 2018. 520.235 *Søylar av stål. Dimensjoneringstabeller*. [Internett]

Tilgjengelig:

[https://www.byggforsk.no/dokument/307/soeyler\\_av\\_staal\\_dimensjoneringstabeller](https://www.byggforsk.no/dokument/307/soeyler_av_staal_dimensjoneringstabeller)

[Hentet: februar 2022].

Byggforsk, 2019. 521.112 *Gulv på grunnen med ringmur. Telesikring og vameisolering av oppvarmede bygninger*. [Internett]

Tilgjengelig:

[https://www.byggforsk.no/dokument/1541/gulv\\_paa\\_grunnen\\_med\\_ringmur\\_telesikring\\_og\\_va\\_rmeisolering\\_av\\_oppvarmede\\_bygninger](https://www.byggforsk.no/dokument/1541/gulv_paa_grunnen_med_ringmur_telesikring_og_va_rmeisolering_av_oppvarmede_bygninger)

[Hentet: 21 april 2022].

Byggforsk, 2020. 471.010 *Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningsmaterialer*.

[Internett]

Tilgjengelig:

[https://www.byggforsk.no/dokument/209/varmekonduktivitet\\_og\\_varmemotstand\\_for\\_bygning\\_smaterialer](https://www.byggforsk.no/dokument/209/varmekonduktivitet_og_varmemotstand_for_bygning_smaterialer)

[Hentet: april 2022].

Byggforsk, 2020. 520.315 *Brannbeskyttelse av stålkonstruksjoner*. [Internett]

Tilgjengelig:

[https://www.byggforsk.no/dokument/314/brannbeskyttelse\\_av\\_staalkonstruksjoner#tab63](https://www.byggforsk.no/dokument/314/brannbeskyttelse_av_staalkonstruksjoner#tab63)

[Hentet: 16 Februar 2022].

Byggforsk, 2020. 573.344 *Varmeisolasjonsmaterialer. Typer og egenskaper*. [Internett]

Tilgjengelig:

[https://www.byggforsk.no/dokument/604/varmeisolasjonsmaterialer\\_typer\\_og\\_egenskaper](https://www.byggforsk.no/dokument/604/varmeisolasjonsmaterialer_typer_og_egenskaper)

[Hentet: 14 april 2022].

Direktoratet for byggkvalitet, 2015. *Direktoratet for byggkvalitet*. [Internett]

Tilgjengelig: <https://dibk.no/regelverk/tek/3/11/iii/11-6/>

[Hentet: 05 mai 2022].

Evjen, R. & Kroksnes, E. H., 2020. *Fiberarmert Betong*, s.l.: NTNU.

Graphisoft, u.d. *Our Story*. [Internett]

Tilgjengelig: <https://graphisoft.com/why-graphisoft/our-story>

[Hentet: 13 mai 2022].

Haarberg, G. M., 2019. Korrosjon, i *Store norske leksikon*. [Internett]

Tilgjengelig: <https://snl.no/korrosjon>

Hofstad, K., 2018. Norsk Standard, i *Store norske leksikon*. [Internett]

Tilgjengelig: [https://snl.no/Norsk\\_Standard](https://snl.no/Norsk_Standard)

[Hentet: 28 mars 2022].

Internt akustisk premissdokument fra Norconsult, 2018. *Akustisk premissdokument*, Internt dokument. Deles i fildeling Blackboard: Norconsult.

Internt brannkonsept av Roar Jørgensen AS, 2018. *Brannkonsept som bygget flerbrukshall utgave 3*, Internt dokument. Deles i fildeling Blackboard: Roar Jørgensen.

Internt dokument om energieffektivitet fra Norconsult, 2019. *Vurdering av energieffektivitet*, Intern dokument. Deles i fildeling Blackboard: Norconsult.

Internt dokument Rambøll, 2018. *Geotekniske prosjektførutsetninger - Glommasvingen skole*, Internt dokument. Deles i fildeling Blackboard: Rambøll.

Johansen, H., 2012. *NTNU*. [Internett]

Tilgjengelig:

<https://folk.ntnu.no/hennj/materialteknologi/materialteknologi/Styrkeberegning/arbeidsplan/Kompendier/Materiallaere-sveisbare%20konstruksjonsstal-kompendium-04.06.2012.pdf>

[Hentet: 16 Februar 2022].

Kvellheim, A. K., 2020. *SINTEF*. [Internett]

Tilgjengelig: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2020/-betong-er-en-del-av-klimalosningen/>

[Hentet: 22 februar 2022].

Lahn, B., 2020. CO2-ekvivalenter, i *Store norske leksikon*. [Internett]

Tilgjengelig: <https://snl.no/CO2-ekvivalenter>

[Hentet: 29 april 2022].

Mamen, J., 2022. Klimagasser, i *Store norske leksikon*. [Internett]

Tilgjengelig: <https://snl.no/klimagasser>

[Hentet: 29 april 2022].

Maxbo, u.d. *Varsel om prisendring 1. juni 2022*. [Internett]

Tilgjengelig: <https://proff.maxbo.no/artikler/prisinformasjon2>

[Hentet: 4 mai 2022].

Norconsult, u.d. *norconsult*. [Internett]

Tilgjengelig: <https://www.norconsult.no/prosjekter/fremtidens-skole-i-sor-odal/>

[Hentet: 27 april 2022].

Nordic BIM group, u.d. *Nordic BIM group*. [Internett]

Tilgjengelig: <https://www.nordicbim.com/no/loesninger/solibri>

[Hentet: 4 mars 2022].

Nordic BIM group, u.d. *Nordic BIM group*. [Internett]

Tilgjengelig: <https://www.nordicbim.com/no/loesninger/twinmotion>

[Hentet: 6 mai 2022].

Norsk Prisbok, u.d. *Norsk Prisbok*. [Internett]

Tilgjengelig: <https://www.norskprisbok.no/WhatIsNP.aspx>

[Hentet: 3 mai 2022].

Norsk stål, u.d. *Norsk stål*. [Internett]

Tilgjengelig: <https://www.norskstaal.no/om-oss/miljoe-og-baerekraft/groennere-staalproduksjon-i-dag>

[Hentet: 4 mars 2022].

Norsk Treteknisk Institutt, 2006a. *Håndbok - bygge med massivtreelementer nr. 1*. [Internett]

Tilgjengelig: <https://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/teknisk-handbok/Hefte-1-Generelt.pdf>

[Hentet: februar 2022].

Norsk Treteknisk Institutt, 2006b. *Håndbok - bygge med massivtreelementer nr. 2*. [Internett]

Tilgjengelig: <https://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/teknisk-handbok/Hefte-2-Byggeteknikk.pdf>

[Hentet: februar 2022].

Norsk Treteknisk Institutt, 2006c. *Håndbok - bygge med massivtreelementer nr. 3*. [Internett]

Tilgjengelig: <https://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/teknisk-handbok/Hefte-3-Dimensjonering.pdf>

[Hentet: februar 2022].

Norsk Treteknisk Institutt, 2006d. *Håndbok - bygge med massivtreelementer nr. 4*. [Internett]  
Tilgjengelig: <https://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/teknisk-handbok/Hefte-4-Brann.pdf>

[Hentet: februar 2022].

Nyrud, A. Q., 2019. *Helseeffekter fra trebruk - erfaringer fra Norge*. [Internett]

Tilgjengelig:

<https://www.statsforvalteren.no/contentassets/ee9d45a5b3d744a691c9b4b4e0ee06f2/anders-qvale-nyrud.pdf>

[Hentet: 4 februar 2022].

One Click LCA, u.d. *NS 3720 Klimagassverktøyet One Click LCA Norge*. [Internett]

Tilgjengelig: <https://oneclicklca.zendesk.com/hc/en-us/articles/360014964920-NS-3720-Klimagassverkt%C3%B8yet-One-Click-LCA-Norge>

[Hentet: 03 mai 2022].

One Click LCA, u.d. *Ny løsning for klimagassregnskap*. [Internett]

Tilgjengelig: <https://www.oneclicklca.com/ny-losning-for-klimagassregnskap/>

[Hentet: 26 april 2022].

Paroc Panels, u.d. *Brannsikre løsninger*. [Internett]

Tilgjengelig: <https://www.parocpanels.com/nb-no/losninger/brannsikre-l%C3%B8sninger>

[Hentet: 16 mai 2022].

Rønning, A., Lyng, K.-A. & Vold, M., 2011. *Kunnskapsplattform for beregning av klimabelastning fra bygg og byggematerialer*, s.l.: Østfoldforskning.

Rendra AS, u.d. *streambim.com*. [Internett]

Tilgjengelig: <https://streambim.com/about-us-2/>

[Hentet: april 2022].

Sandaker, B. N., Sandvik, M. & Vik, B., 2013. *Materialkunnskap*. Lillestrøm: Byggenæringens Forlag AS.

Sandaker, B. N., Sandvik, M. & Vik, B., 2016. *Materialkunnskap*. Lillestrøm: Byggenæringens Forlag AS.

Sandaker, B. N., Sandvik, M. & Vik, B., 2016. *Materialkunnskap*. Lillestrøm: Byggenæringens Forlag AS.

Simenergi, u.d. *Bergening av energibruk og inneklima*. [Internett]

Tilgjengelig: [https://simenergi.no/simien/?gclid=EAIaIQobChMIyOv-sODA9wIVFNayCh3FrAQkEAAYASAAEgKM5vD\\_BwE](https://simenergi.no/simien/?gclid=EAIaIQobChMIyOv-sODA9wIVFNayCh3FrAQkEAAYASAAEgKM5vD_BwE)

[Hentet: 2 mai 2022].

Sintef, 2022. *Slik sikrer man gode lydforhold i skolebygg*. [Internett]

Tilgjengelig: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2022/slik-sikrer-man-gode-lydforhold-i-skolebygg/>

[Hentet: 2 mai 2022].

Sintef, u.d. *Betonglaboratorier*. [Internett]

Tilgjengelig: <https://www.sintef.no/alle-laboratorier/betonglaboratorier/>

[Hentet: 22 februar 2022].

Solberg, J. K., Christensen, N. & Almar-Næss, A., 2021. Stål, i *Store norske leksikon*.

[Internett]

Tilgjengelig: <https://snl.no/stal>

[Hentet: 20 mars 2022].

Standard Norge, 2010. *Byggematerialer og -produkter - Hygrotermiske egenskaper - Tabulerte dimensjonerende verdier og prosedyrer for bestemmelse av deklarererte og praktiske termiske verdier (ISO 10456:2007)*, 1326 Lysaker: Standard Norge.

Standard Norge, 2016. *Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner*, 1326 Lysaker: Standard Norge.

Standard Norge, 2019. *Eurokode 1: Laster på konstruksjoner*. 1326 Lysaker: Standard Norge.

Strand, S. S., 2020. Så mye har prisene fra byggevarhusene steget denne våren.

*Byggeindustrien*, 16 juni, p. 1.

Tellnes, L. G., u.d. *Miljødeklarasjoner for tre og trebaserte produkter*. [Internett]

Tilgjengelig: <https://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/fokus-pa-tre/Fokus-nr-58.pdf>

[Hentet: 6 mai 2022].

Thue, J. V., 2019. Armert betong, i *Store norske leksikon*. [Internett]

Tilgjengelig: [https://snl.no/armert\\_betong](https://snl.no/armert_betong)

[Hentet: 22 februar 2022].

Thue, J. V., 2019. Betong, i *Store norske leksikon*. [Internett]

Tilgjengelig: <https://snl.no/betong>

[Hentet: 19 april 2022].

Tomter, S. M., 2014. *Bærekraftig skogbruk i Norge*, Ås: Norsk institutt for skog og landskap.

Total Materia, u.d. *Total Materia*. [Internett]

Tilgjengelig: <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=SteelProperties&LN=NO>

[Hentet: 20 mars 2022].

Trefokus, u.d. *Konstruksjonstre*. [Internett]

Tilgjengelig: <http://www.trefokus.no/proff/artikler/materialer/konstruksjonstre>

[Hentet: 6 mai 2022].

Treindustrien, 2020. *Trebasert karbonlagring i bygningsmasse*. [Internett]

Tilgjengelig: [https://nibio.brage.unit.no/nibio-](https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/bitstream/handle/11250/2689714/NIBIO_RAPPORT_2020_6_148.pdf?sequence=1)

[xmlui/bitstream/handle/11250/2689714/NIBIO\\_RAPPORT\\_2020\\_6\\_148.pdf?sequence=1](https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/bitstream/handle/11250/2689714/NIBIO_RAPPORT_2020_6_148.pdf?sequence=1)

[Hentet: 6 mai 2022].

Treindustrien, 2021. *Trelastmarkedet - årsaker til prisendringer*. [Internett]

Tilgjengelig: <https://www.treindustrien.no/aktuelt/trelastmarkedet--arsaker-til-prisendringer>

[Hentet: 4 mai 2022].

Vartdal, I., 2021. *Kaldformede hulprofiler*. [Internett]

Tilgjengelig: [https://www.epd-norge.no/getfile.php/1317123-](https://www.epd-norge.no/getfile.php/1317123-1612527617/EPDer/Byggevarer/St%C3%A5lkonstruksjoner/NEPD-2662-1369_KALDFORMEDE-HULPROFILER.pdf)

[1612527617/EPDer/Byggevarer/St%C3%A5lkonstruksjoner/NEPD-2662-](https://www.epd-norge.no/getfile.php/1317123-1612527617/EPDer/Byggevarer/St%C3%A5lkonstruksjoner/NEPD-2662-1369_KALDFORMEDE-HULPROFILER.pdf)

[1369\\_KALDFORMEDE-HULPROFILER.pdf](https://www.epd-norge.no/getfile.php/1317123-1612527617/EPDer/Byggevarer/St%C3%A5lkonstruksjoner/NEPD-2662-1369_KALDFORMEDE-HULPROFILER.pdf)

[Hentet: 13 mai 2022].

## 10. Vedlegg

I rapporten:

1. Artikkel
2. Poster

I egen mappe:

1. Artikkel
2. Poster
3. Tegninger
  - 3.1. Plantegning
  - 3.2. Lengdesnitt
  - 3.3. Tverrsnitt
  - 3.4. Fasader
    - 3.4.1. Fasader kortside
    - 3.4.2. Fasader langside
  - 3.5. Yttervegg (Paroc)
  - 3.6. Overgang fundament – yttervegg
  - 3.7. Horisontaldetalj yttervegg – yttervegg
  - 3.8. Overgang yttervegg – tak
  - 3.9. Overgang tak tilleggsbygg – flerbrukshall
  - 3.10. Konstruksjonsdetalj søyle – fundament
  - 3.11 Konstruksjonsplan
4. Beregninger
  - 4.1. Vindlastberegninger
  - 4.2. Snølastberegninger

4.3. Beregning av spennvidde sandwichpanel

4.4. Beregninger av laster til dimensjonering av bjelker og søyler

4.5. Beregning av bankettbredde

## 5. Mengdeberegninger

5.1. Forskjell i mengder av fundament

5.2. Mengder av massivtre, referansebygg

5.3. Mengder av stål, omprosjektert bygg

5.4. Mengder av innervegger og yttervegger, omprosjektert bygg

5.5. Mengder av innervegger og yttervegger, referansebygg

5.6. Mengder av tak, begge bygg

## 6. Kostnads kalkyler

6.1. Kalkyle referansebygg

6.2. Kalkyle omprosjektert bygg

## 7. LCA-beregninger

7.1. Tabell over utslipp brukt i LCA-beregningene

## 8. Beregninger bygningsfysikk

8.1. SIMIEN Passivhusevaluering

8.2. SIMEN TEK10-simulering



# Vedlegg 1: Artikkel

---

## Kostnads- og klimaeffektive bygg

---

*Forfattere: Stian Iversen, Rudi Bråthen Pedersen, Willy Li Saxhaug*

10.05.2022

**Dagens byggebransje står ovenfor et grønt skifte der bærekraft er sentralt. Materialvalg og klimavennlige prosjekteringsløsninger vil ha stor betydning for klimagassutslipp og kostnader. En gruppe ved NTNU har våren 2022 gjennomført en sammenligningsstudie som undersøker forskjeller i pris og klimagassregnskap, dersom massivtre byttes ut med stål og klimavennlige optimaliseringer.**

### **Fremtidens skole i Sør-Odal**

Rapporten skrives med Backe Romerike som ekstern veileder. De var totalentreprenør for Fremtidens skole i Sør-Odal som ble bygget i massivtre og ferdigstilt i 2019. Backe Romerike har gitt bachelorgruppen tilgang til prosjektmaterialet fra prosjektet. Flerbrukshallen i massivtre ble bygget som en del av prosjektet og brukes som referansebygg i bacheloroppgaven.



*Illustrasjonsbilde fra prosjektarbeidet.*

### **Sammenligningsstudie**

For å belyse effektene materialvalg og optimaliseringsløsninger har på totalkostnaden og klimagassutslippene av byggene, har gruppen tegnet et nytt bygningsalternativ med ramme i stål og sandwichelementer. Målet med det omprosjekterte bygget er at det skal oppfylle de samme funksjonene som referansebygget, samtidig som det beholder massivtrebyggets estetiske uttrykk.

## **Resultater**

Selv med kutt i materialmengder og bruk av klimavennlige materialvalg, slipper referansebygget i massivtre ut færre CO<sub>2</sub>-ekvivalenter enn det omprosjekterte bygget i stål. Forskjellen er på 136,77 CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Derimot er det omprosjekterte bygget i stål 5 310 313 kr billigere enn referansebygget i massivtre.

## **Optimaliseringer**

Omprosjekteringen fra massivtre til stål og sandwichelementer resulterer blant annet i at byggets vekt reduseres. Dette medfører videre at fundamentets bærende flate kunne reduseres, noe som igjen gir mulighet for en mindre mengde betong. Kostnadsbesparelsen dette gir, veier opp for merkostnaden av et bytte fra vanlig betong til lavkarbonbetong klasse A. På grunn av betongoptimaliseringene blir både kostnaden og klimagassutslippene fra betongen redusert. I motsetning til trevirke er stål et materiale som vanligvis er forbundet med store klimagassutslipp. Selv om stål brukes i det omprosjekterte byggets ramme, har bachelorgruppen lagt vekt på å redusere bruken av det forurensende materialet. Dette er gjort ved å redusere antall bjelker og søyler i bygget, samtidig som dimensjonene holdes så slanke som mulig. Slike tiltak har vært helt nødvendig for å kutte utslipp, men det har også vist seg at mange av tiltakene samtidig er kostnadsbesparende.

## **Klima eller kostnad**

Funnene i studien viser at massivtre i dette tilfellet gir et mer klimavennlig bygg, enn et tilsvarende bygg med bæring i stål. Studien er ikke bred nok til å gi et definitivt svar for alle bygg, men den gir en indikasjon for klimagassutslipp og kostnad for andre bygg med tilsvarende mål og funksjoner. Studien har vist at det er mange små og store valg i hvert prosjekt, som kan gi store utslag på resultatene. Det vil derfor være interessant å bruke samme fremgangsmåte i andre prosjekt med lignende dilemmaer.

## Vedlegg 2: Poster

## Kostnader og klimagassregnskap: massivtre sammenlignet med stål og sandwichpanel i en flerbrukshall

### *Costs and carbon accounting: CLT compared to steel and sandwich panels in a multi-purpose sports hall*

Pris referansebygg = 16 720 406 kr

Referansebygg: GWP=350,83 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter

Pris omprosjektert bygg = 11 410 093 kr

Omprosjektert bygg: GWP=487,60 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter

Prisforskjell = 5 310 313 kr

Forskjell GWP=136,77 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter

#### **Dette ble undersøkt ved å:**

- Produsere modell og tegninger av det omprosjekterte bygget
- Kun beregnet omprosjekterte elementer
- Klimagassberegninger av referansebygget og det omprosjekterte bygget
- Kostnads kalkyle av referansebygget og det omprosjekterte bygget

#### **Dette er funnene:**

- Referansebygget har lavere klimagassutslipp
- Det omprosjekterte bygget har lavere kostnad
- Kan redusere klimagassutslippet og kostnadene tilknyttet omprosjekterte bygget ved ytterlig optimaliseringer