

HØGSKOLEN I OSLO  
OG AKERSHUS

**Institutt for Bygg- og energiteknikk**  
Postadresse: Postboks 4 St. Olavs plass, 0130  
Oslo  
Besøksadresse: Pilestredet 35, Oslo

GRUPPE NR.  
18

TILGJENGELIGHET  
Åpen

Telefon: +47 67 23 50 00  
www.hioa.no

# BACHELOROPPGAVE

BACHELOROPPGAVENS TITTEL	DATO
<b>Bygningsfysikk, klimagassregnskap og byggeprosess ved bruk av massivtre i to skolebygninger</b>	24.05.17
	ANTALL SIDER / ANTALL VEDLEGG
	98 / 6
FORFATTERE Mathilde Skeide Sophie Ness Thøgersen Jonas Bertelsen Sveindal	VEILEDER  Dimitrios Kraniotis
UTFØRT I SAMMARBEID MED Ø.M. Fjeld AS HENT AS	KONTAKTPERSONER Odd Anders Amdahl Fredrik Victorzon Moss

## SAMMENDRAG

Interessen for bruk av massivtre er økende, men flere er skeptiske til massivtre som byggemateriale i store bygninger. I denne rapporten var fokuset på hvordan massivtre ble brukt i byggingen av to skoler og hvordan det påvirket innemiljø og klimagassutslipp. De to byggeprosjektene som ble studert var Bjørkelangen skole med Hent som entreprenør og Kongsvinger ungdomsskole med Ø.M. Fjeld som entreprenør. Det oppstod utfordringer knyttet til eksponert massivtre i forhold til brann og lyd. Konklusjonen fra LCA var at de totale klimagassutslippene for trebygget hadde økt med 62 % på Bjørkelangen og 51 % på Kongsvinger, dersom bygget hadde blitt bygget med betong og stål. I WUFI Plus ble det i hovedsak sammenliknet massivtre mot gips, men her ble det ikke gjort noen betydningsfulle funn i forhold til energibesparelser. Bygging med massivtre gir kort montasjetid, redusert klimagassutslipp og godt inneklima, men er fortsatt ikke førstevalget hos entreprenørene på grunn av utfordringer knyttet til brann, lyd og økonomi.

## 3 STIKKORD

Massivtre

Bygningsfysikk

Livssyklusanalyse

## Forord

Denne rapporten er resultatet av den avsluttende bacheloroppgaven på linjen byggingeniør ved Høgskolen i Oslo og Akershus, 2017. Rapporten er utført i samarbeid med Ø.M. Fjeld AS og Hent AS.

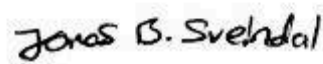
Bruk av massivtre er i kraftig vekst, og det er et byggemateriale som er kommet for å bli. Stadig flere boliger, fleretasjesbygg, og offentlige bygg bygges nå i massivtre. Gruppen erfarte tidlig i prosjektet at entreprenørene som regel ønsker å bruke betong og stål som byggemateriale. Dette fordi det er her det ligger mest kunnskap, og av den grunn vil det være i disse tilfellene entreprenørene kan tilby de mest effektive løsningene. Hensikten med oppgaven er å bevisstgjøre samfunnet på hvorfor det bør brukes massivtre som byggemateriale. Samtidig skal rapporten være til hjelp for entreprenørene ved at det nevnes de største utfordringene, og hvordan de kan løses. Forhåpentligvis kan byggebransjen dra nytte av erfaringer og observasjoner som er nevnt i denne rapporten.

I løpet av prosjektet har vi mottatt god hjelp fra flere hold. Vi vil gjerne rette en stor takk til vår veileder ved HiOA, Dimitrios Kraniotis, som har hjulpet oss veldig mye i løpet av prosjektet. Spesielt takk for all hjelp med hygrotermiske simuleringer og energiberegninger. Takk til Odd Anders Amdal og Jonas Ekholm fra Ø.M. Fjeld som har gitt oss tilgang til og informasjon om byggeprosjektet Kongsvinger ungdomsskole. Vi vil også takke Fredrik Victorzon Moss og Jan Egil Trøen fra Hent, samt Jørgen Tycho fra OsloTre, for tilgang til og informasjon om byggeprosjektet Bjørkelangen skole. Videre vil vi takke Ann Karina Lassen og Eirini Vogiatzi fra HiOA for veldig god hjelp med livssyklusanalysen. En takk rettes også til Norsk Treteknisk Institutt for mye nyttig informasjon og hjelp.

Oslo, Mai 2017

  
Mathilde Skeide

  
Sophie Ness Thøgersen

  
Jonas Bertelsen Sveindal

## Sammendrag

Interessen for bruk av massivtre er økende, men flere er skeptiske til massivtre som byggemateriale i store bygninger. I denne rapporten var fokuset på hvordan massivtre ble brukt i byggingen av to skoler og hvordan det påvirket innemiljø og klimagassutslipp. Utnyttelsen av egenskapene til massivtre ble presentert, samt utfordringer ved bruk av massivtre i skolene. Denne informasjonen ble samlet inn ved intervjuer, e-poster og møter. De to byggeprosjektene som ble studert var Bjørkelangen skole med Hent som entreprenør og Kongsvinger ungdomsskole med Ø.M. Fjeld som entreprenør.

Det oppstod utfordringer knyttet til eksponert massivtre i forhold til brann og lyd. Begge skolene hadde 15 fravik fra TEK10 for brann, de fleste grunnet eksponerte massivtreoverflater. På begge skolene var det utfordrende å tilfredsstille de strenge lydkravene som stilles i skoler når så mye massivtre var ønsket eksponert. For å redusere flanketransmisjon og tilfredsstille krav til trinnlydisolasjon kunne ikke etasjeskillerne være synlige fordi de var gjennomgående. Der hvor krav til luftlyd ikke kunne overholdes ble det benyttet betong.

Det ble gjennomført en livssyklusanalyse (LCA) av begge skolene med utgangspunkt i to scenarioer. Scenario 1 var bygningene med bæresystem i massivtre og limtre. Scenario 2 var et realistisk forslag til bygging med bæresystem i betong og stål. LCA tok for seg produktfasen (A1 - A3) og transport fra fabrikk til byggeplass (A4). I produktfasen var utslippet for betong- og stålbygget 539 463 kg CO<sub>2eq</sub> mer enn trebygget på Bjørkelangen og 365 273 kg CO<sub>2eq</sub> mer på Kongsvinger. Dette tilsvarer omtrent en dobling av utslippet ved bruk av betong i stedet for massivtre i produktfasen. I scenario 1 var transportutslippet 2 ganger høyere for Bjørkelangen og 1,7 ganger høyere for Kongsvinger. Konklusjonen fra LCA var at de totale klimagassutslippene for trebygget hadde økt med 62 % på Bjørkelangen og 51 % på Kongsvinger, dersom bygget hadde blitt bygget med betong og stål. Siden det åpnes ny massivtrefabrikk på Kongsvinger i juni 2017, vil utslippet til fremtidige massivtreprosjekter i Norge kunne reduseres ytterligere.

Det er brukt en diffusjonsåpen overflatebehandling på massivtreoverflatene på begge skolene. Dette gir MBV-klasse *Begrenset* og, i kombinasjon med at det ikke anvendes et fuktbasert ventilasjonssystem, begrenser energibesparelsene tilknyttet fuktbufring og latent varme. I WUFI Plus ble det i hovedsak sammenliknet massivtre mot gips, men her ble det ikke gjort noen betydningsfulle funn i forhold til energibesparelser. Det ble registrert litt høyere fuktopptak ved bruk av massivtre, men dette ga ikke noen betydelig effekt.

Bygging med massivtre gir kort montasjetid, redusert klimagassutslipp og godt inneklima, men er fortsatt ikke førstevalget hos entreprenørene på grunn av utfordringer knyttet til brann, lyd og økonomi.

## Abstract

The interest for use of massive wood is increasing, but many are skeptical to massive wood as a building material in large buildings. This report has focused on how CLT was used in two schools and how this affected the indoor environment and greenhouse gas emissions. The utilization of CLT's properties was presented, as well as the challenges with the use of CLT in schools. This information was gathered through interviews, e-mails and meetings. The two building projects that were studied were *Bjørkelangen skole*, with Hent as entrepreneur and *Kongsvinger ungdomsskole*, with Ø.M. Fjeld as entrepreneur.

Challenges associated with exposed CLT occurred in relation to fire safety and acoustic performance. Both schools had 15 deviations from TEK10 in relation to fire safety, and most of these occurred due to exposed CLT. It was a challenge in both schools to satisfy the strict acoustic performance requirements that apply to school buildings, because of the desire of having as much exposed massive wood. To reduce flanking transmission and satisfy the impact sound insulation requirements, the separating floor could not have exposed CLT because it was continuous. Concrete was used in those cases where the airborne sound insulation requirement could not be satisfied.

A life cycle assessment (LCA) of both schools was conducted based on two scenarios. Scenario 1 was the two buildings with the superstructure in CLT and glulam. Scenario 2 was a realistic suggestion of the buildings with the superstructure in concrete and steel. The LCA included the product stage (A1 - A3) and transport to building site (A4). In the product stage, the emissions from the concrete and steel building was 539,463 kg CO<sub>2eq</sub> more than the emissions from the wooden building in Bjørkelangen and 365,273 kg CO<sub>2eq</sub> more in Kongsvinger. This was almost a doubling of emission when concrete and steel was used, instead of CLT and glulam. The transport emissions in scenario 1 from Bjørkelangen was 2 times greater than the transport emissions in scenario 2, and the transport emissions in scenario 1 from Kongsvinger was 1,7 times greater. The conclusion from the LCA was that the total greenhouse gas emissions in the wooden buildings would increase by 62 % in Bjørkelangen and 51 % in Kongsvinger, if they had been built with concrete and steel. Since a new production site for massive wood is opening in Kongsvinger in June 2017, the emissions from future buildings with massive wood in Norway could be reduced even further.

In both schools the CLT was treated with diffusion open surface treatment. This leads to the MBV class *Limited*, and in combination with none of the schools using ventilation systems based on relative humidity, the energy savings related to moisture buffering is limited. In the WUFI Plus simulation, it was not experienced any significant change of the energy need for the building with surfaces of massive wood compared to gypsum. In the building with massive wood, it was registered a small increase in moisture uptake, but this did not make any significant difference.

Building with CLT reduce assembly time and greenhouse gas emissions, and gives a good indoor climate, but it is still not the preferred material by entrepreneurs.

# INNHOLDSFORTEGNELSE

<b>FORSIDE</b> .....	<b>I</b>
<b>FORORD</b> .....	<b>II</b>
<b>SAMMENDRAG</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>IV</b>
<b>FIGURLISTE</b> .....	<b>VII</b>
<b>TABELLISTE</b> .....	<b>X</b>
<b>1 INNLEDNING</b> .....	<b>1</b>
1.1 BAKGRUNN .....	1
1.2 HENSIKT .....	1
1.3 PROBLEMSTILLING.....	2
1.4 AVGRENSNINGER .....	2
1.5 PRESENTASJON AV SKOLENE .....	2
<b>2 TEORI</b> .....	<b>7</b>
2.1 TRE SOM BYGGEMATERIALE.....	7
2.1.1 Trehusbygging i Norge.....	7
2.1.2 Generelt om tre.....	8
2.1.3 Egenskaper til tre.....	9
2.1.4 Klimaets påvirkning av treets fuktighet .....	11
2.1.5 Materialer og komponenter .....	14
2.2 MASSIVTRE .....	16
2.2.1 Generelt .....	16
2.2.2 Bruksområder .....	18
2.3 ESTETISKE FORHOLD.....	20
2.4 EMISJONER FRA MASSIVTRE .....	22
2.5 BRANN .....	24
2.6 LYD .....	27
2.7 LIVSLØP TIL MASSIVTRE .....	28
2.8 LUFT- OG DAMPTETTHET I MASSIVTRE .....	32
2.9 TERMISKE OG HYGRISKE FORHOLD .....	33
<b>3 METODER</b> .....	<b>41</b>
3.1 VURDERING AV KRAV I FORHOLD TIL BRANN.....	41
3.2 LYD .....	43
3.3 LIVSSYKLUSANALYSE.....	44
3.3.1 Fremgangsmåte .....	45

3.3.2	<i>LCA scenarioer</i> .....	48
3.4	LUFT- OG DAMPTETTHET OG TERMISKE EGENSKAPER .....	50
3.4.1	<i>Energiberegninger</i> .....	51
3.5	REFLEKSJON OG KVALITETSSIKRING .....	57
<b>4</b>	<b>RESULTAT OG DISKUSJON</b> .....	<b>58</b>
4.1	BRUK AV CLT I SKOLENE .....	58
4.2	ESTETISKE FORHOLD.....	64
4.3	EMISJONER.....	65
4.4	ERFARINGER FRA PLANLEGGING OG BYGGING.....	66
4.5	BRANN .....	72
4.6	LYD .....	76
4.7	LIVSSYKLUSANALYSE.....	79
4.8	LUFTGJENNOMGANG OG DAMPTETTHET .....	83
4.9	TERMISKE OG HYGRISKE FORHOLD .....	83
<b>5</b>	<b>KONKLUSJON</b> .....	<b>88</b>
<b>6</b>	<b>REFERANSER</b> .....	<b>89</b>
<b>7</b>	<b>VEDLEGG</b> .....	<b>98</b>

## FIGURLISTE

- Figur 1. Prosentvis endring av elever i grunnskolen 2015-2016 fordelt etter fylke [5].
- Figur 2. Illustrasjon av Bjørkelangen skole fra utsiden [4].
- Figur 3. Illustrasjonsbilder som viser Bjørkelangen skole sett utenfra og innvendig ved kunnskapstrapp [5].
- Figur 4. Illustrasjonsbilder av Kongsvinger ungdomsskole sett utenfra [10].
- Figur 5. Illustrasjonsbilder av kunnskapstrapp ved Kongsvinger ungdomsskole [11].
- Figur 6. Treets kretsløp [14].
- Figur 7. Utnyttelse av tømmerstokk [15].
- Figur 8. Fiberstruktur i trevirket [16].
- Figur 9. Fuktinnhold,  $u$ , i trevirkets celler [16].
- Figur 10. Forholdet mellom relativ fuktighet og trefuktighet [19].
- Figur 11. Variasjon i relativ fuktighet over året i ute og inneklime på Østlandet [19].
- Figur 12. Variasjon i trevirkets likevektsfuktighet over året for Gardermoen (og Sola) [19].
- Figur 13. Variasjon i trevirkets likevektsfuktighet og fuktighet over året i inneklime på Østlandet (med en angivelse av ideell trefuktighet ved montasje) [19].
- Figur 14. Ulsmåg skole i Bergen bygges i massivtre under plasttelt, 2014 [24].
- Figur 15. Dimensjoner for justert skurlast. Felt merket med punkt angir de vanligste dimensjonene [12].
- Figur 16. Konstruksjonsvirke, parallellfinér, limtre og I-bjelke (Redigert fra [25]).
- Figur 17. Kantstilt element [27].
- Figur 18. Hulromselement [27].
- Figur 19. Krysslågt element [27].
- Figur 20. VOC-emisjoner. Sammenlikning av konstruksjonsmaterialer [3].
- Figur 21. Massivtreelement med hull til føringer (Foto: Privat, Bjørkelangen skole)
- Figur 22. Livsløpssyklus for råvarer, materialer og produkter.
- Figur 23. Målt luftgjennomgangs innvirkning på lekkasjetall i bygning med grunnflate 16 x 36 m i tre etasjer med etasjehøyde 2,7 m [51].
- Figur 24. U-verdi for CLT tykkelse 100 mm, med varierende isolasjonstykkelse [55].
- Figur 25. MBV-resultater av ulike materialer som ble testet i forbindelse med Nordtest prosjektet [59].
- Figur 26. Grafisk fremstilling av MBV-klassifiseringen fra Nordtest prosjektet [59].

Figur 27. Potensielle direkte (a) oppvarmings- og (b) nedkjølingsenergiparing ved bruk av hygroskopiske materialer, grunnet sorpsjonsvarme. De prosentvise besparelsene er relative til den totale oppvarmings- og nedkjølingsenergien [61].

Figur 28. Eventuelle energibesparelser når temperaturen i det hygroskopiske tilfellet (a) senkes mens innendørs RF er lik som i det ikke-hygroskopiske tilfellet, og (b) økes mens komforten og oppfattet luftkvalitet er lik som i det ikke-hygroskopiske tilfellet [61].

Figur 29. Utklipp fra Excel-dokument som viser oppsettet for LCA-beregningene, her med eksempel fra fane 22 Superstructure.

Figur 30. CO<sub>2</sub>-utslipp under transportarbeid [77].

Figur 31 a og b. Figur a) viser kontrollområde 4 (Skjerm bilde fra Google Sketchup) og Figur b) viser bygningens orientering (Skjerm bilde fra WUFI Plus)

Figur 32. Værdata for Gardermoen (Skjerm bilde fra WUFI Plus)

Figur 33. Klimadata for grunnen (Skjerm bilde fra WUFI Plus)

Figur 34. Oversikt over CLT-elementer i Bjørkelangen skole [86].

Figur 35. Bærende og ikke-bærende vegger i Bjørkelangen skole [86].

Figur 36. Viser bæreprinsippet og ulike materialer i Bjørkelangen skole [87].

Figur 37. Generell oppbygning av yttervegger på Kongsvinger ungdomsskole (Kilde: Ø.M. Fjeld).

Figur 38. Kassedekke på Kongsvinger ungdomsskole (Kilde: Ø.M. Fjeld).

Figur 39. Illustrasjon av to ulike måter å orientere CLT-elementene på, henholdsvis **liggende** og **stående**, med avrundede verdier i henhold til de to leverandørene av massivtre.

Figur 40. Bilde fra et uferdig klasserom på Bjørkelangen skole. Store vinduer og gode lysforhold (Foto: Privat, Bjørkelangen skole)

Figur 41. Bilde fra et uferdig klasserom på Bjørkelangen skole. Stor takhøyde og stående treverk (Foto: Privat, Bjørkelangen skole)

Figur 42. Utgangspunkt i betong, bygget i betong eller massivtre.

Figur 43. Utgangspunkt i massivtre, bygget i betong eller massivtre.

Figur 44. Tribune i kontrollområde 3. Hentet fra Oslo Tres presentasjon hos Tekna, 23. Mars 2017 [86].

Figur 45. En vegg av massivtre heises på plass under byggingen av Bjørkelangen skole [5].

Figur 46. Bilde av en etasjeskiller i massivtre utsatt for nedbør under byggingen av Bjørkelangen skole. (Foto: Privat, Bjørkelangen skole)

Figur 47. To ulike måter å kombinere prosjektering og bygging på med tanke på tidsbruk.

Figur 48. Bestemmelse av brannklasse for skoledelen (VTEK10 § 11-3 tabell 1) [57].



Figur 49. Bestemmelse av brannklasse for flerbrukshallen (VTEK10 § 11-3 tabell 1) [57].

Figur 50. Elastisk opplegg av etasjeskiller (Foto: Privat, Bjørkelangen skole).

Figur 51. Dobbelteggkonstruksjon av massivtre (Foto: Privat, Bjørkelangen skole).

Figur 52. Søylediagram som viser forskjellene mellom de ulike bygningsmaterialene i produktfasen, transportfasen og totalt for Bjørkelangen skole.

Figur 53. Søylediagram som viser forskjellene mellom de ulike bygningsmaterialene i produktfasen, transportfasen og totalt for Kongsvinger ungdomsskole.

Figur 54. Massivtre med synlig overflate, Kontrollområde 4, 2. Etasje. De gule overflatene er synlig massivtre. (Kilde: Oslo Tre)

Figur 55. Oppvarmingsbehov og avfukting for simulering A.

Figur 56. Varmekomfort og luftkvalitet for simulering A, scenario 1 (massivtre).

Figur 57. Varmekomfort og luftkvalitet for simulering A, scenario 2 (betong/stål).

## TABELLISTE

Tabell 1. Oversikt over informasjon om skolene på Bjørkelangen og Kongsvinger (Kilde: Hent og Ø.M. Fjeld).

Tabell 2. Totale VOC-verdier i inneluft (Oversatt fra engelsk fra tabell i[3]).

Tabell 3. De ulike fasene i en livssyklus for en bygning, ifølge NS-EN 15978:2011 [43] (oversatt fra engelsk med tilleggsinformasjon om D1-D4 fra [42]).

Tabell 4. C-verdier for utvalgte materialer [27].

Tabell 5. MBV-klassifisering for treoverflater med og uten overflatebehandling (Oversatt fra engelsk fra tabell i [3]).

Tabell 6. Potensiell reduksjon i det totale forbruket av oppvarmings- og nedkjølingsenergi ved bruk av hygroskopiske materialer, grunnet fuktbufring (Oversatt fra engelsk fra tabell i [61]).

Tabell 7. Laveste grenseverdi for luftlydisolasjon i ulike rom i henhold til NS 8175 [40].

Tabell 8. Høyeste grenseverdi for trinnlydisolasjon i ulike rom i henhold til NS 8175 [40].

Tabell 9. Høyeste grenseverdi for etterklangstid i ulike rom i henhold til NS 8175 [40].

Tabell 10. Minstekrav for U-verdi og lekkasjetall (Fra TEK10 før 2015 [57])

Tabell 11. Varme-, fukt-, og CO<sub>2</sub>-påvirkning pr person. Verdiene er basert på WUFI Plus sin database.

Tabell 12. Grenser for innendørs forhold NS-EN 15251:2007+NA:2014 [83].

Tabell 13. Oversikt over de to simuleringene og ventilasjonssystemets egenskaper.

Tabell 14. Nøkkelopplysninger om CLT-elementer fra Skonto Cross Timber Systems [48].

Tabell 15. Nøkkelopplysninger om CLT-elementer fra Stora Enso [55].

Tabell 16. Bestemmelse av risikoklasse (TEK10 § 11-2 og VTEK10 tabell 1) [57].

Tabell 17. Bygningsdelers branntekniske krav på Bjørkelangen skole (TEK10) [57], hentet fra [92].

Tabell 18. Generelle resultater fra simuleringene i WUFI Plus.

Tabell 19. Energibalanse for simulering A, scenario 1 (massivtre og limtre).

Tabell 20. Energibalanse for simulering A, scenario 2 (betong/stål)

# 1 INNLEDNING

## 1.1 Bakgrunn

Byggebransjen kan ofte oppfattes som konservativ. Etter samtaler med fagpersoner i byggebransjen, fremkommer det en viss skepsis til bruk av massivtre i byggeprosjekter. Massivtre er vanligvis ikke førstevalget når noe skal bygges. Generelt foretrekkes bruk av betong og stål fremfor tre i større bygg. Enkelte påstår at dette skyldes kunnskapsmangel. Entreprenørene har ofte ikke tid eller kapasitet til å forske på nye materialer, og velger derfor det de kjenner godt og er vant med å bruke. Ved bygging av offentlige bygg, for eksempel skoler, pålegger ofte byggherren entreprenørene å bygge i tre. Noen vegrer seg for å bruke massivtre, på grunn av at det enda ikke er en veldig utbredt byggemetode her til lands. Det er likevel voksende interesse for å bygge i massivtre. I Norge skyldes dette blant annet lange byggetradisjoner med tre, miljøhensyn og påstandene om at tre gir et godt inneklima. En av de største utfordringene samfunnet står ovenfor i dag er klimaendringer. For å dempe disse endringene må de globale klimagassutslippene reduseres med 50 til 85 % i løpet av de neste 40 til 50 år [1]. Byggenæringen har mye potensiale for å bidra til denne reduksjonen da den står for mer enn en tredjedel av de globale klimagassutslippene [2]. Massivtre kan være en del av løsningen for å redusere byggebransjens klimagassutslipp.

Tre er et fornybart materiale og erfaring tilsier at trehus har lang levetid. Forskning har vist at tre innendørs har god helseeffekt [3]. I forhold til forbedring av innemiljø påstås det at tre kan påvirke blant annet temperatur og luftkvalitet.

## 1.2 Hensikt

Hensikten med denne oppgaven var å undersøke hvordan to entreprenører har brukt massivtre i to forskjellige byggeprosjekter, samt hvilken påvirkning massivtre hadde på bygningsfysikk, klimagassutslipp og byggeprosess. For å gjøre dette ble det undersøkt hvordan de fordelaktige egenskapene til massivtre ble utnyttet og hvilke utfordringer som oppstod. Ved å samarbeide med to forskjellige entreprenører med ulike leverandører av massivtre gis det et bedre bilde på hvordan massivtre brukes i byggeprosjekter i Norge.

### **1.3 Problemstilling**

På bakgrunn av fremtidens utfordringer knyttet til klimautslipp og massivtres påståtte påvirkning på innemiljø og helse er denne oppgaven basert på følgende problemstilling:

- Hvordan påvirker massivtre bygningsfysikk, klimagassregnskap og byggeprosess ved bygging av skoler?

Det er ulike temaer som ligger under denne problemstillingen, derfor har følgende delspørsmål blitt formulert:

- På hvilken måte påvirker bruken av massivtre klimagassutslippet?
- Hvilke bygningsfysiske egenskaper har massivtre?
- Hva slags erfaringer har de utvalgte entreprenørene med bruk av massivtre i de to skolebyggene?

### **1.4 Avgrensninger**

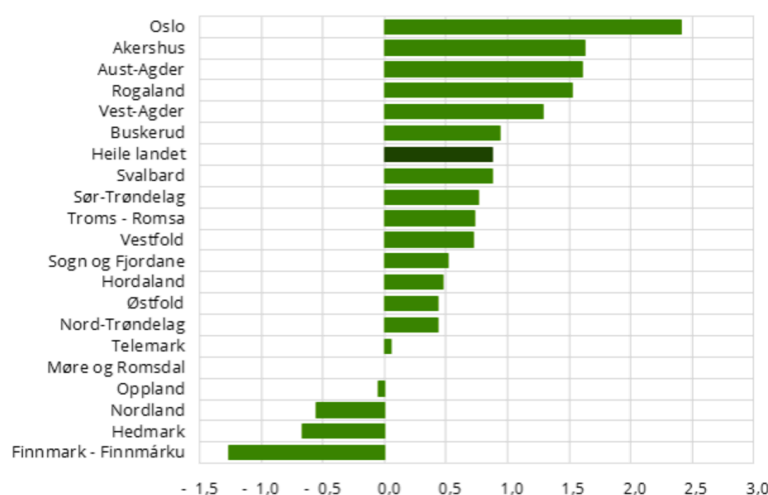
Oppgaven er begrenset til bruk av massivtre i skolebygg. Temaer knyttet til statikk, dimensjonering og økonomi er utelatt. Fokuset har vært på miljøaspektet ved massivtre, hvor det ble gjennomført deler av en livssyklusanalyse. De delene som ble gjennomført var produktfasen og transport fra fabrikk til byggeplass. Det ble også sett på bygningsfysikk for å finne ut om skoler i massivtre gir et bedre innemiljø enn mer tradisjonelle skoler i betong og stål. Siden de to ungdomsskolene ikke er ferdigstilt før bacheloroppgavens leveringsfrist, ble det ikke gjennomført noen eksperimenter for å validere resultatene fra energiberegningsprogrammet WUFI Plus.

### **1.5 Presentasjon av skolene**

#### **Generelt om skoler**

Skoler er viktig for byutvikling. En skole er en lokal samlingsplass, spesielt når det kombineres med idrettsbygg og/eller kulturskole. Barn, unge og deres foreldre får en møteplass. Skoler har derfor viktige samfunnsoppdrag [4]. I utbygging av skoler er kommunen byggherre og bestemmer dermed hvor store skolene i kommunen skal være og hvordan de skal bygges.

På landsbasis viser prognoser at elevtallet har økt de siste ti årene [5], som vist i Figur 1. Tallene fra 2015 - 2016 viser at i seks fylker øker elevtallet mer enn gjennomsnittet i hele landet for samme periode. Fire fylker opplevde nedgang i elevtallet denne perioden. Det er i Oslo økningen er størst, mens Finnmark har størst nedgang.



Figur 1. Prosentvis endring av elever i grunnskolen 2015-2016 fordelt etter fylke [5].

Det er viktig med et godt arbeidsmiljø på skolen for å forebygge sykdom, utstøting og frafall. Inneklima er en viktig faktor i forbindelse med hvordan arbeidsmiljøet oppleves. Både nasjonal og internasjonal forskning viser at skolenes bygningsstandard har innvirkning på elevenes læring [6]. Det fysiske miljøet, læring og trivsel henger nøye sammen. Blant annet mugg, fuktighet og dårlig luft gir dårlig inneklima og dermed dårlig læringsmiljø. Dette er konsekvenser ved skolebygg som ses i flere land [6]. Ved bygging av nye skoler, er det viktig å finne gode løsninger for å skape et godt og trygt inneklima.

### **Bjørkelangen skole**

I Aurskog-Høland kommune, i Hedmark fylke, bygges det en ny skole på Bjørkelangen (Figur 2). Skolen blir for elever fra 1. - 10. klasse, barne- og ungdomsskole i ett. Det blir blant annet fritidsklubb, en flerbrukshall på størrelse med en håndballbane og egen kultursal med undervisningslokaler for kulturskolen. Fokuset er at skolen, kunnskaper og læring skal bli en positiv del av elevenes liv [7]. Dette vil kommunen fremme gjennom et godt innemiljø og gode fellesløsninger. Skolen er planlagt å være klar til skolestart i 2018 [8].



Figur 2. Illustrasjon av Bjørkelangen skole fra utsiden [4].

Den nye Bjørkelangen skole bygges på tomten til den eksisterende skolen. Den gamle barneskolen ble revet og byggingen foregår på denne tomten. Under byggingen blir midlertidige paviljonger og den gamle ungdomsskolen benyttet. Når den nye skolen er tatt i bruk, skal også den gamle ungdomsskolen rives.

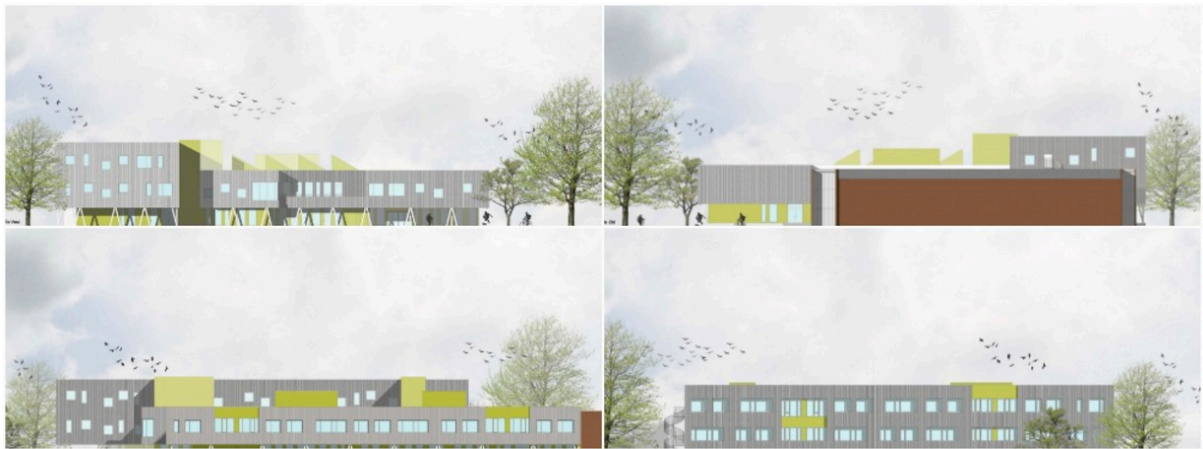
Kommunen sitt mål i miljøplanen er å bygge energieffektivt og klimavennlig [7]. Det er ønsket en miljøvennlig skole med energikrav satt til passivhusnivå. Den nye skolen skal derfor benytte fornybare energikilder og solceller. Aurskog-Høland kommune er en skogbrukskommune, og av den grunn er det fokus på tre. Skolen var først planlagt med bæresystem i betong og stål, men det ble senere bestemt at det skulle bygges med massivtre i de bærende konstruksjonene. Det blir brukt tre både innvendig og utvendig til kledning, som vist i Figur 3. I følge prosjektlederen i Aurskog-Høland kommune, Jens Kristian Waaler, er det gjort beregninger som viser at byggekostnadene for Bjørkelangen skole er på samme nivå for tre sammenliknet med betong og stål [5].



Figur 3. Illustrasjonsbilder som viser Bjørkelangen skole sett utenfra og innvendig ved kunnskapstrapp [5].

## Kongsvinger Ungdomsskole

I Kongsvinger kommune bygges det en ny ungdomsskole i massivtre (Figur 4). Gamle Tråstad ungdomsskole ble revet før byggingen av nye Kongsvinger ungdomsskole begynte. Den nye ungdomsskolen vil ha en kapasitet på 720 elever og skal være klar til skolestart høsten 2018 [8]. Professor i pedagogikk, Thomas Nordahl, har lang erfaring med forskning som omhandler skoler og barnehager, og han hevder at små skoler ikke kan gi samme tilbud som store [9]. Dette er en av grunnene til at kommunen har tro på en felles storskole på Tråstad.



Figur 4. Illustrasjonsbilder av Kongsvinger ungdomsskole sett utenfra [10].

Tråstad idrettshall ble ikke revet samtidig med den gamle skolen. Denne skal være i drift under byggeperioden. Kommunen ønsker seg en liten idrettshall i forbindelse med den nye skolen, i nærheten av den eksisterende Tråstadhallen, men dette har kommet til byggeprosjektet som en opsjon mot slutten av bacheloroppgaven.

Den nye skolen skal tilfredsstillere krav til universell utforming. Byggherren krever bruk av miljøvennlige produkter, og det stilles spesielle krav til hensiktsmessige materialer og overflater. Figur 5 viser hvordan det er planlagt. Bygget skal minimum tilfredsstillere lavenerginivå for nybygg.

Skolen var først designet som et bygg i betong og stål, med noen elementer i massivtre. Etter flere runder består nå de endelige planene av massivtre og limtre i bærekonstruksjonen. Det var viktig for kommunen at det ble brukt massivtre og tre generelt både i konstruksjon og i kledning. Ordfører i Kongsvinger kommune, Sjur Strand, mener det er viktig at det offentlige går foran ved bruk av tre.



Figur 5. Illustrasjonsbilder av kunnskapstrapp ved Kongsvinger ungdomsskole [11].

## Kort oppsummering av skolene

Tabell 1 viser en kort oppsummering av nøkkelopplysninger om de to skolene. Skolenes plassering, involverte entreprenører og underentreprenører, samt leverandører av massivtre og fabrikklokasjon er oppgitt. Det presenteres også elevkapasitet, bruttoareal og budsjett, som sammen kan gi en indikasjon på byggeprosjektene størrelse.

Tabell 1. Oversikt over informasjon om skolene på Bjørkelangen og Kongsvinger (Kilde: Hent og Ø.M. Fjeld).

Lokasjon	Bjørkelangen	Kongsvinger
Klassetrinn	1 – 10	8 – 10
Elevkapasitet	660	720
Samlet bruttoareal	13 300 m <sup>2</sup>	8400 m <sup>2</sup>
Grunnflate bruttoareal	7500 m <sup>2</sup>	3300 m <sup>2</sup>
Budsjett eks. mva.	300 MNOK	223 MNOK
Ferdig til skolestart	2018	2018
Totalentreprenør	Hent AS	Ø.M. Fjeld AS
Underentreprenør massivtre	Oslo Tre AS	WoodCon AS
Produsent/leverandør massivtre	Skonto, Cross Timber Systems SIA	Stora Enso AB
Fabrikk massivtre	Latvia	Østerrike



## 2 TEORI

### 2.1 Tre som byggemateriale<sup>1</sup>

#### 2.1.1 Trehusbygging i Norge

Trehus er alle bygninger hvor bærekonstruksjonen er av tre. I Norge er det lang tradisjon med bygging av trehus. Landet har store skoger, derfor er råmaterialet lett tilgjengelig. På grunn av at tre er lett å bearbeide, ble det tidlig tatt i bruk som byggemateriale til blant annet husbygging. Gjennom tidene har mange forskjellige konstruksjonstyper blitt utviklet. Fra steinalderen og frem til i dag har de mest brukte konstruksjonstypene i Norge vært langhus, laftehus, reisverk og bindingsverk. Laftehus forbindes av mange som gammel trehustradisjon når det gjelder bygging og brukes i dag spesielt til hytter. Etter mange hundre år har både konstruksjons- og byggeteknikk utviklet seg til hva det er i dag. Norges varierende klima og ulike bruksforhold har påvirket utviklingen. Varierende stilarter og monteringer har satt preg på byggeskikkene, noe som igjen gjenspeiler økonomi og levestandard [12].

Ettersom trehusbyggingen har utviklet seg, har kjennskap til bygningsfysikk blitt enda viktigere. Bygninger har blitt mer følsomme for skader på grunn av varmeisolasjon og tettesjikt. En industrialisering av husproduksjon med prefabrikkerte elementer begynte å bli populært på slutten av 1960-tallet. På grunn av velstandsutviklingen på 1980 - 1990-tallet avtok dette. Det ble mer individuell tilpassing og systembygging på byggeplass, i stedet for fabrikkproduserte enheter [12].

I dag blir tre i størst grad benyttet til konstruksjon og kledning. Det er særlig utstrakt bruk av innvendig- og utvendig kledning i tre som er karakteristisk for Norge. Dette preger den norske kulturen og byggeskikken i landet. I dag er det trehus i bindingsverk som dominerer for bolighus. Nærings- og servicebygninger på én til to etasjer bygges også gjerne i tre. Det er vanlig med innervegger i tre i bygninger med bærekonstruksjon av betong og/eller stål. I dag finnes det laftehus, reisverkshus og bindingsverkshus. Mest vanlig er trehus som bygges i lett bindingsverk, men massivtre i bærekonstruksjonen blir også brukt. Som et alternativ kan massivtre supplere en bindingsverkskonstruksjon med for eksempel etasjeskiller i massivtre. Hybride løsninger av tre i kombinasjon med betong og/eller stål finnes også, og utvikles fremdeles. Foruten Norge, er det bare USA og Canada som har like stor andel trehus i forhold til resten av boligmassen [12].

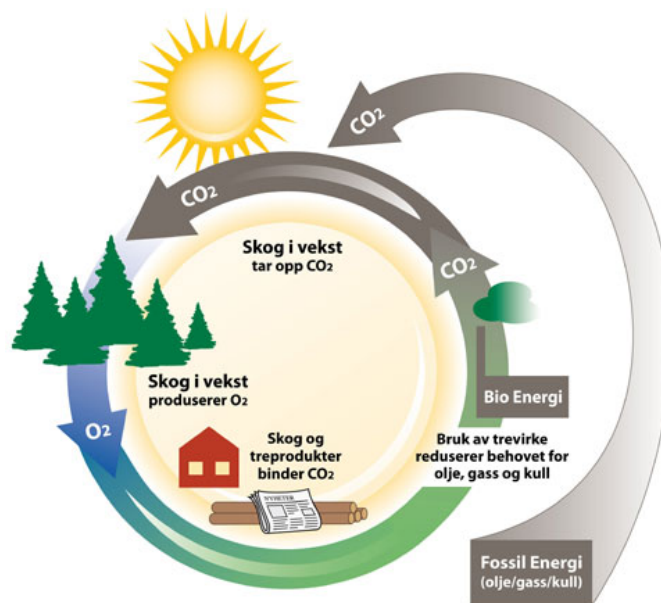
---

<sup>1</sup> Del 2.1 *Tre som byggemateriale* er inspirert og i stor grad basert på SINTEF Byggforsk sin bok *Håndbok 5 Trehus* [12].

Det er nå fornyet interesse for fabrikkproduksjon. Argumentene for å velge prefabrikkerte elementer er mange. Dette har ført til at interessen for massivtre har økt. Stadig flere velger å benytte massivtre i de bærende elementene både for store og små byggeprosjekter. Massivtre gir robuste konstruksjoner som gjør det mulig for tre å konkurrere med betong- eller murkonstruksjoner. Søken etter å oppnå bedre løsninger når det gjelder mer rasjonelle konstruksjoner, krav til synlige overflater, tekniske anlegg med varmegjenvinning, redusering av energiforbruket, samt optimalt innneklima, er hele tiden i utvikling. Å kombinere materialer slik at de forskjellige bygningsmaterialene utnyttes best mulig er viktig, både økonomisk og bruksmessig [12].

### 2.1.2 Generelt om tre

Tre er en fornybar ressurs så lenge det kommer fra en bærekraftig forvaltet skog. Omtrent 90% av norsk skogsareal er sertifisert i henhold til internasjonale standarder for bærekraftig skogbruk [13]. Treets gjenbruks- og gjenvinningsmuligheter er store. Etter treets levetid som byggemateriale kan det brukes direkte om igjen, resirkuleres til papir- og plateindustri eller bli brukt som alternativ til fossilt brensel som vist i Figur 6.

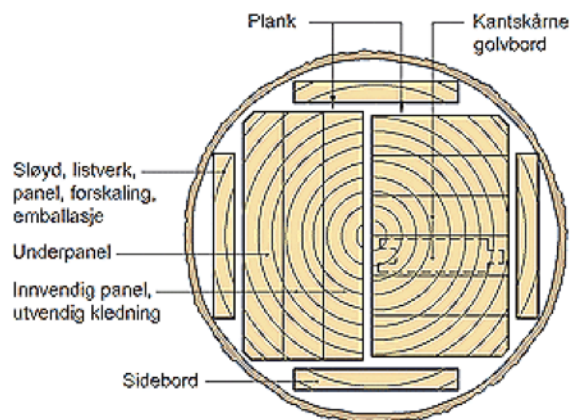


Figur 6. Treets kretsløp [14].

Tre gir god miljøeffekt, fordi det ved fotosyntesen tar opp karbon fra CO<sub>2</sub> og dermed reduserer karboninnholdet i luften. Karbonet blir lagret i treet i hele dets levetid. Treets bruksområder er mange. Noen av dem er konstruksjon, kledning, papirproduksjon og brensel. Treindustrien i Norge utnytter råstoffer fra tre opp mot 100 % [12].

Tre egner seg godt som byggemateriale på grunn av god tilgjengelighet og sin lave vekt i forhold til styrke, og er i senere tid også foretrukket på grunn av materialets fine overflater. Tresortene kan ha store variasjoner rundt om i verden, noe som avhenger av klima og utvikling. Gran og furu er de tresortene som brukes oftest i Norge, og har en omtrentlig densitet på henholdsvis  $430 \text{ kg/m}^3$  og  $490 \text{ kg/m}^3$  [12].

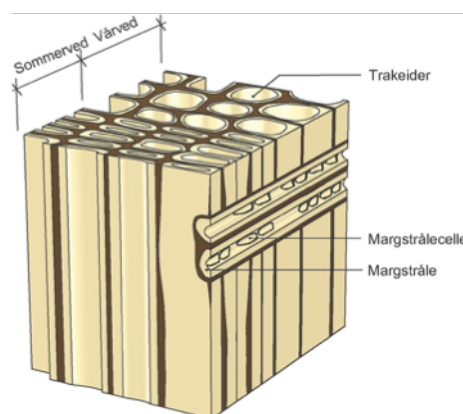
Når tre utvinnes ønskes det mest mulig utnyttelse av tømmerstokken. Trelast er en fellesbetegnelse på materialer som utvinnes fra stammen. I Figur 7 er det illustrert eksempler på utnyttelse av treet [12].



Figur 7. Utnyttelse av tømmerstokk [15].

### 2.1.3 Egenskaper til tre

Cellene i trevirket er langstrakte og har en fiberstruktur, som vist i Figur 8. Cellene er vanligvis 2 - 6 mm lange og 0,02 - 0,05 mm brede. Celleveggene består i hovedsak av cellulose og lignin [12].

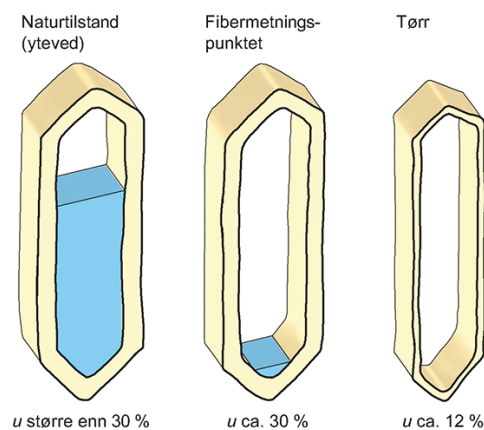


Figur 8. Fiberstruktur i trevirket [16].

Tre er et anisotrop materiale. Det vil si at det har ulike egenskaper avhengig av retning. Alle endringer i trevirkets fiberstruktur fører til lavere stivhet og styrke. Kvist er den største årsaken til endring av fiberretning. Dette gjør at ingen trær er identiske, som fører til at trevirker med like dimensjoner kan ha forskjellig styrke [12].

Tre har gode egenskaper når det kommer til varme. Varmekapasiteten,  $C$ , til tørt trevirke ligger på rundt  $1300 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$  [17]. Varmeledningsevnen,  $\lambda$ , til tre er  $0,12 \text{ W/mK}$  [18]. Varmeledningsevnen er lavest på tvers av fiberretningen, og synker i takt med fuktinnhold og tetthet [12].

Tre er også et hygroskopisk materiale. Det vil si at det kan trekke til seg fuktighet fra omgivelsene. I et fuktig rom vil trevirket trekke til seg fuktighet og utvide seg, mens i et tørt rom vil det gi fra seg fuktighet og krympe. Endringer i fuktinnhold vil også gi utslag på vekt og styrke. Et trevirke inneholder to ulike typer fukt. Fritt vann i hulrommene i cellene, og bundet vann som er knyttet til cellulosen i celleveggene (Figur 9). Bundet vann tørker ikke ut før alt det frie vannet er borte. Dette kalles fibermetningspunktet. Fibermetningspunktet ligger på ca. 30 % fuktinnhold [12].



Figur 9. Fuktinnhold,  $u$ , i trevirkets celler [16].

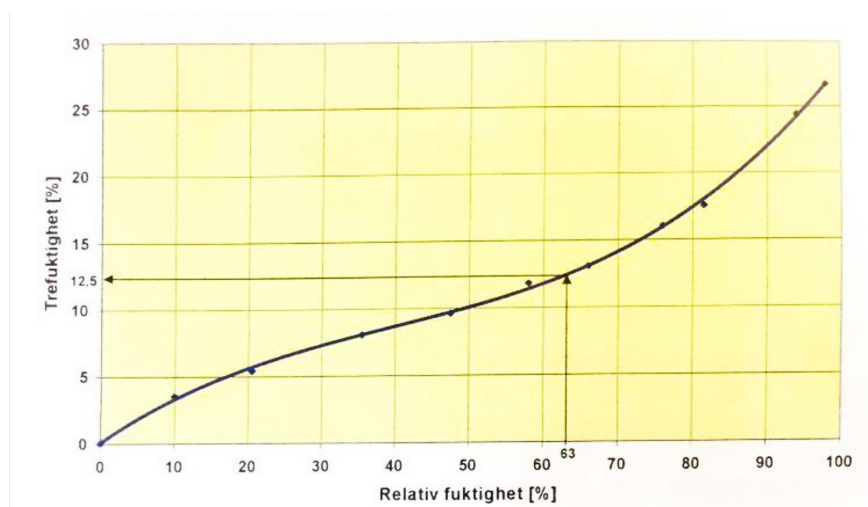
Det optimale fuktinnholdet for produkter laget av tre er i området 5 - 20 %. Dette gir de beste egenskapene [19]. Fuktighet påvirker trevirkets egenskaper på mange måter, deriblant varmeledningsevne, bestandighet mot sopp og råte, og feste for maling og lakk. En positiv egenskap ved tre er at varmeledningsevnen til tørt trevirke er ca. 35 % lavere enn rått trevirke. Rått trevirke er svært utsatt for sopp- og råteangrep, og lar seg heller ikke overflatebehandle. Det er minimal fare for soppangrep hvis fuktighetsnivået i treet holdes under 20 %, med en varierende temperatur fra - 10 grader til + 25 grader [19]. Relativ luftfuktighet bør være under 70 % [20].

Blir det påvist en fuktskade må den tørkes ved hjelp av utluffing, siden varme alene kan øke risikoen for muggsopp. Fuktskader har dokumentert negativ påvirkning på astma, allergi og luftveisinfeksjoner [21]. Hodepine, tretthet, uopplagthet og konsentrasjonsvansker er generelle plager som flere opplever i områder med fukt og muggsopp.

Under byggeperioden er bygninger svært utsatt for fukt i form av regn, snø og høy relativ fuktighet når de settes opp under åpen himmel. Det er derfor av stor betydning at bygget lukkes så raskt som mulig. Så fort taket er på plass, vil det beskytte underliggende konstruksjonsdeler og materialer mot fukt. Ved lukking av bygget er det viktig å påse at trelasten ikke blir kledd inn mens den har for høy fuktighet. Dette kan gi alvorlige problemer i ettertid hvis det utvikler seg sopp- og råteskader.

#### 2.1.4 Klimaets påvirkning av treets fuktighet

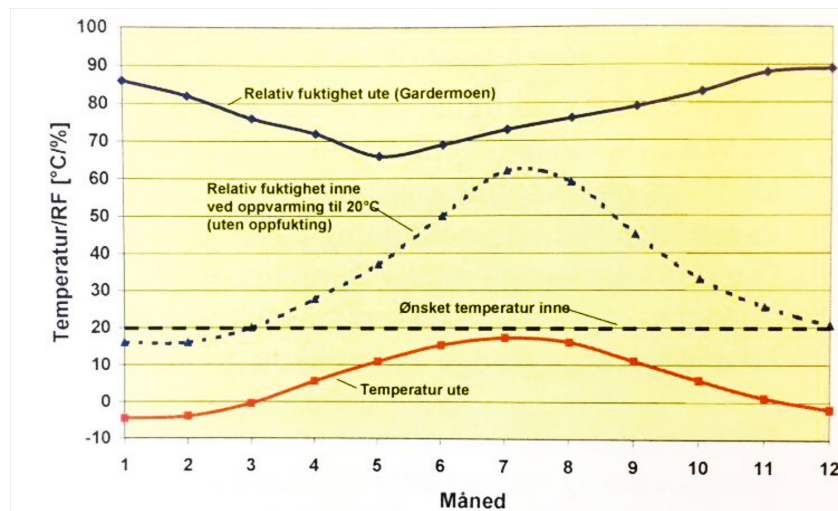
Norge har et variert klima, med store variasjoner i temperatur og luftfuktighet. Figur 10 viser forholdet mellom relativ fuktighet og trefuktighet.



Figur 10. Forholdet mellom relativ fuktighet og trefuktighet [19].

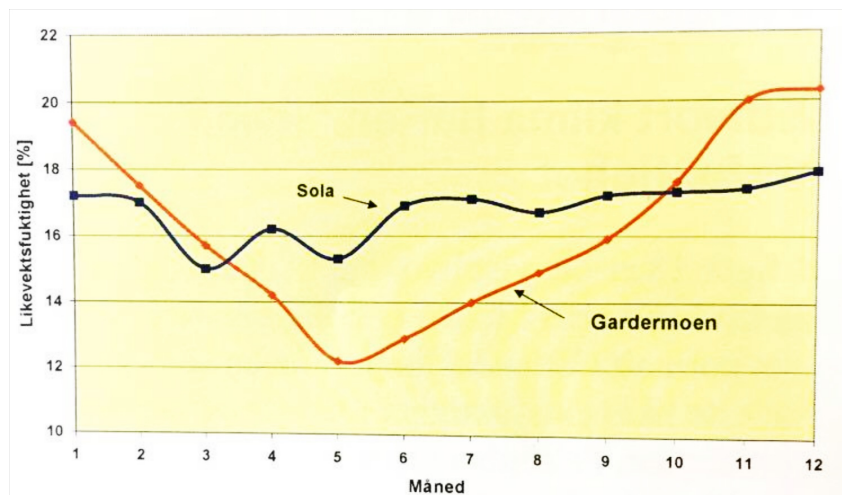
På vinterstid er temperaturene lave og luften inneholder lite vanndamp. Når denne luften varmes opp til rundt 20 °C blir den veldig tørr og kan ha en relativ fuktighet helt ned til 15 %. Den relative fuktigheten får et omvendt forløp sammenliknet med uteklimaet [19]. Dette kommer tydelig frem i Figur 11. Siden det er lite oppvarming om sommeren, vil inne- og uteluftens relative fuktighet nærme seg hverandre på denne årstiden. Likevel vil den relative fuktigheten i inneluften ligge litt lavere enn uteluften, siden døgntemperaturen i gjennomsnitt

er høyere inne enn ute. Om sommeren avgir luften fuktighet til trevirket rundt, noe som fører til litt tørrere luft enn beregnet. Luften om vinteren blir litt fuktigere enn beregnet, fordi trevirket da tørker ut og avgir fuktighet til luften. Den relative fuktigheten og temperaturen på luften ute og inne påvirker hverandre.

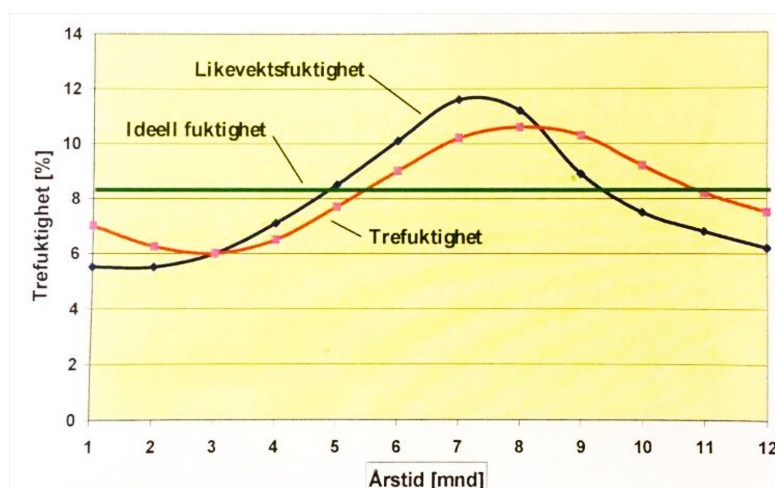


Figur 11. Variasjon i relativ fuktighet over året i ute og inneklime på Østlandet [19].

Klimastatistikken for Bjørkelangen [22] og Kongsvinger [23] er lik når det gjelder temperatur og nedbør. Dette er et typisk innlandsklima på Østlandet, og derfor sammenliknbart med Gardermoen. For et år varierer trevirkets likevektsfuktighet for Gardermoen slik som Figur 12 viser. Fuktigheten i trevirket innendørs vil tilpasse seg likevektsfuktigheten og variere i takt med den. Trefuktigheten følger en syklisk svingning, men er faseforskjøvet i forhold til likevektsfuktigheten, slik som i Figur 13. Faseforskyvningen avhenger av tykkelse og overbehandling på trevirket. Laveste likevektsfuktighet vil opptre rundt januar, mens høyest omkring juli/august. På grunn av faseforskyvningen vil trefuktigheten på det laveste være rundt 6 % i februar/mars, og høyest på rundt 11 % i august/september [19].



Figur 12. Variasjon i trevirkets likevektsfuktighet over året for Gardermoen (og Sola) [19].



Figur 13. Variasjon i trevirkets likevektsfuktighet og fuktighet over året i inneklime på Østlandet (med en angivelse av ideell trefuktighet ved montasje) [19].

Et godt tiltak for å forhindre fukt i trevirket, er å bygge under telt. Et plasttelt settes over byggeprosjektet og vil fungere som et klimaskall. Et eksempel er vist i Figur 14. Trelast og andre byggematerialer vil holdes tørre under hele byggeperioden, uansett vær. I tillegg skaper plastteltet et hyggeligere arbeidsmiljø for arbeiderne på byggeplassen. Dette kan virke positivt på produktiviteten. Det muliggjør å arbeide parallelt med flere oppgaver samtidig, fordi det for eksempel ikke er nødvendig å vente på at taket er på plass. Kostnad og logistikk på byggeplass er med på å avgjøre om plasttelt er nødvendig i et byggeprosjekt. Byggeprosjekter som krever store plasttelt kan være svært kostbart [24]. Hvilke besparelser og fordeler som oppnås ved kortere byggetid, mindre reklamasjoner og sunnere hus må vurderes i hvert enkelt prosjekt.



Figur 14. Ulsmåg skole i Bergen bygges i massivtre under plasttelt, 2014 [24].

## 2.1.5 Materialer og komponenter

### Konstruksjonsvirke

Konstruksjonsvirke er trelast som kan brukes i bærende konstruksjoner som bjelker, stendere, takstoler og taksperrer (Figur 16). Det brukes også i ikke-bærende skillevegger, spikerslag, sviller, påføringer og lignende. Konstruksjonsvirke brukes som basis i produksjon av limtre og massivtreelementer. Gran er treslaget som brukes mest i Norden, men det produseres også konstruksjonsvirke i furu. Konstruksjonsvirke leveres vanligvis som justert skurlast, med dimensjoner som vist i Figur 15 [12].

Tykkelse (mm) ↓	Bredde (mm) →								
	36	48	73	98	123	148	173	198	223
23	•	•		•	•	•			
30		•		•	•	•			
36		•	•	•	•	•	•	•	•
42									
48		•	•	•	•	•	•	•	•
61								•	
73								•	•
98				•					

Figur 15. Dimensjoner for justert skurlast. Felt merket med punkt angir de vanligste dimensjonene [12].

Konstruksjonsvirke er styrkesortert og de vanligste fasthetsklassene brukt i Norge er C14, C18, C24 og C30. Virket kan være fingerskjøtt for å oppnå større lengder enn vanlig trelast, og eventuelt for å utnytte trevirke bedre ved å kappe vekk virkesfeil og skjøte delene sammen igjen [12].



## **Parallellfinér**

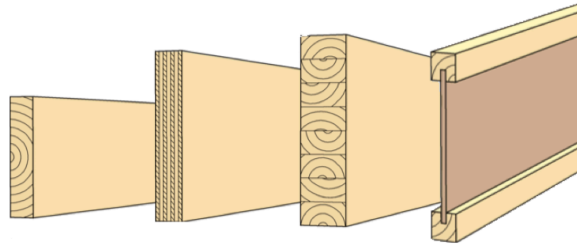
Parallellfinér består av mange finérlag limt sammen med fiberretningen samme vei, som vist i Figur 16. Den vanligste oppbygningen er styrkesortert finér av gran eller furu med tykkelse på ca. 3 mm, limt sammen med vannfast konstruksjonslim. Parallellfinér kan leveres i store tverrsnittdimensjoner, og har større fasthet og dimensjonsnøyaktighet enn konstruksjonsvirke. Standard dimensjoner på bjelker er tykkelse fra ca. 20 til 90 mm, høyde opp til 600 mm og lengder opp til ca. 15 m. For å øke styrke og stivhet vinkelrett på tverrsnittet, og redusere fuktbevegelser kan varianter med enkelte finérlag på tvers benyttes [12].

## **Limtre**

Limtre bygges opp av styrkesorterte limtrelameller til større tverrsnitt, som vist i Figur 16. Det produseres mest limtre av gran, men furu benyttes også. Limtre består normalt av minimum fire lameller og lamellene er vanligvis fingerskjøtt. Lamelltykkelsen er omtrent 45 mm eller mindre, og limes sammen med konstruksjonslim. Vannfaste, fenol- og polyuretanbaserte limtyper er mest vanlige. I Norge anvendes primært en fasthetsklasse kalt CE L40C som standard limtrekvalitet. Rektangulære limtreprofiler leveres i ulike standarddimensjoner med tykkelser på 90, 115 og 140 mm, og høyder fra 90 mm til 600 mm. Limtre kan produseres i større dimensjoner enn konstruksjonsvirke. Det kan ha høyere fasthet, fordi virkesfeilene blir fordelt og får mindre effekt på det totale tverrsnittet. Limet i limtrevirke gjør det mer dimensjonsstabilt i forhold til variasjoner i fuktinnhold [12].

## **I-bjelke**

En I-bjelke består av to flenser i konstruksjonsvirke eller parallellfinér, med et steg i midten bestående av trefiber- eller OSB-plater. Dette er vist i Figur 16. Tverrsnittet limes sammen med vannfast konstruksjonslim. Profilene lages i mange varianter, og brukes både som bjelker og som stendere i trehus. Standard flensbredde varierer fra 45 mm til 90 mm og høyde varierer fra 200 mm til over 400 mm. I-bjelker har lavere vekt enn massive tverrsnitt med samme bæreevne, og steget gjør det enklere å ta ut åpninger for gjennomføringer av tekniske installasjoner [12].



Figur 16. Konstruksjonsvirke, parallellfinér, limtre og I-bjelke (Redigert fra [25]).

## Massivtre

Massivtre er bord eller lameller satt sammen til massive elementer ved bruk av spiker, skruer, tredybler, lim eller stålstag. Lamellene består oftest av styrkesortert konstruksjonsvirke av gran eller furu. Et element kan bestå av lameller med ulike fasthetsklasser og tref typer, basert på ulike faktorer som styrke eller utseende. Massivtreelementer deles inn i tre kategorier: Kantstilte, krysslagte og hulromselementer, der krysslagt er den mest brukte i Norge. Massivtreelementer kan brukes som bærende elementer i gulv, vegger og tak, både i boliger, fleretasjesbygg og næringsbygg. Massivtre kan utgjøre hele bæresystemet, eller det kan kombineres med andre materialer og konstruksjonstyper. Elementer brukt i trehus leveres vanligvis i tykkelser fra ca. 50 mm til ca. 250 mm [12].

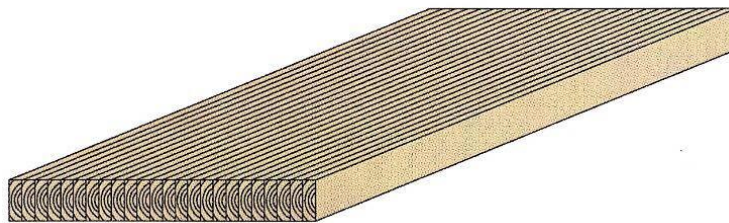
## 2.2 Massivtre<sup>2</sup>

### 2.2.1 Generelt

#### Kantstilte elementer

Kantstilte elementer er satt sammen av stående lameller, som vist i Figur 17. Lamellene er forbundet med enten skruer, lim, tredybler eller stålstag. Bøyestivheten på tvers av elementene er noe lavere ved spikrede elementer i forhold til limte og tverrspente elementer. Dette på grunn av begrenset friksjon mellom lamellene ved bruk av spiker. Krymping av treverket vil gjøre at spikerforbindelsene vil gi etter og det vil oppstå bevegelse i elementene. Ved bruk av stålstag som forbindelsesmiddel kalles det gjerne tverrspente elementer. Denne typen elementer har flere bruksområder blant annet som etasjeskiller, tak og balkong [26]. I Norge benyttes de ofte i tverrspente brodekke [27].

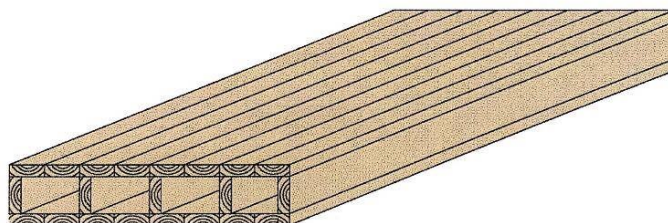
<sup>2</sup> Del 2.2 Massivtre er inspirert av og i stor grad basert på [27].



Figur 17. Kantstilt element [27].

### Hulromselementer

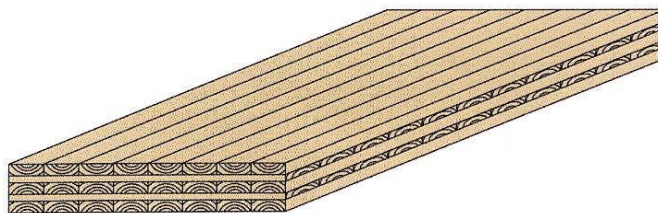
Massivtreelementer med innlagte hulrom kalles hulromselementer. Figur 18 viser et eksempel på dette. Hulrommene øker elementenes varmegjennomgangsmotstand [12] og kan i mange tilfeller fylles med isolasjon eller brukes til tekniske føringer [27].



Figur 18. Hulromselement [27].

### Krysslagte elementer

Forbindelsesmidlene brukt i produksjon av krysslagte elementene er lim eller mekaniske forbindelser som spiker/skruer og tredybler. Mekanisk forbunnede elementer har dårligere statisk samvirke i forhold til limte elementer. Lufttettheten, og dermed brannegenskapene, er også noe lavere ved mekaniske forbindelser grunnet eventuelle luftspalter mellom bord og sjikt. Krysslagte, limte elementer er den typen som er mest brukt til bygningsformål i Norge og Mellom-Europa. Figur 19 viser oppbygningen av krysslagte massivtreelementer [27].



Figur 19. Krysslagt element [27].

## Krysslagte, limte elementer

*Cross laminated timber* (CLT) er den typen krysslagte elementer som dominerer det norske markedet. CLT-Elementene består av lameller i flere sjikt, som vanligvis er lagt 90 ° i forhold til hverandre. Et element skal bestå av minst tre ortogonale sjikt (0 – 90 – 0), og vanligvis ligger yttersjiktene i bæreretningen. Elementer med tre, fem eller syv sjikt er det mest vanlige. Tykkelse og kvalitet på hvert sjikt kan variere ut i fra bruksområde, statiske funksjoner og krav til utseende. Det er vanlig å bruke ulike fasthetsklasser i ytter- og innersjiktene. Yttersjiktene gir det største bidraget til bøyestivheten og derfor kan det brukes lavere fasthetsklasser i innersjiktene uten at dette har stor påvirkning på elementets bøyestivhet. Dette er en mulighet til å utnytte lavkvalitetsvirke som ikke er god nok til å brukes som konstruksjonsvirke, og dermed øke råstoff-forbruket. Det finnes flere varianter av krysslagte elementer, og en av variantene er elementer med doble yttersjikt. CLT-elementer kan bære i to retninger, og ut i fra type belastning kan de både fungere som plater og skriver [27].

Limtyper som brukes ved produksjon av elementene er [28]:

- Fenol- og aminoplast-lim (MF, MUF, PRF, UF)
- En komponent polyurethan (PUR)
- Emulsjonspolymer-isocyanat-lim (EPI)

Dette gjelder liming av lameller, kantliming, liming mellom sjiktene og fingerskjøting av hele elementer. For å oppnå ønsket lengde på elementene brukes fingerskjøting. Maksimal produksjonslengde er vanligvis rundt 15 m, og maksimal bredde er omtrent 3 m. Disse begrensningene er grunnet transport, men det er mulig å spesialbestille større elementer fra enkelte leverandører. Kantliming er liming mellom lameller/bord i samme sjikt. Kantliming er ikke alltid nødvendig, men det gjør elementene mer lufttette og dimensjonsstabile. Fingerskjøting av hele elementer er ikke veldig vanlig, og her kan ikke EPI benyttes [28]. Valg av limtype vurderes ut fra flere faktorer. En av faktorene i forhold til brann er om elementene skal være synlige eller ikke [27].

### 2.2.2 Bruksområder

Massivtreelementer har mange bruksområder, både som vegger, etasjeskillere og tak. Elementene kan utgjøre hele bæresystemet alene eller benyttes i kombinasjon med andre konstruksjonstyper og materialer. Elementene kan brukes i både bolighus og næringsbygg, bestående av en eller flere etasjer. Eneboliger bygget i massivtre er gunstig fordi de monteres raskt og har ingen spesielle krav i henhold til lyd. Massivtre brukt i skoler er mer utfordrende, fordi det er strengere brann- og lydkrav, samt at byggene er større og mer kompliserte [27].

## **Bæresystem**

Bæresystemet i et bygg kan bestå av et bærende veggssystem, søyle-/bjelkesystem eller en kombinasjon av disse to. Et bærende veggssystem består av bærende yttervegger i massivtre, som kan suppleres med bærende innervegger om nødvendig. Veggelementene kan gå over en eller flere etasjer. Ved valg av etasjehøye vegger kan etasjeskillerne være fritt opplagt og spenne fra yttervegg til yttervegg. Dette gir mulighet for store åpne flater innvendig og det reduserer flanketransmisjonen når veggelementene ikke er gjennomgående. Gjennomgående vegger bør kun brukes i bygninger hvor det ikke er spesielle krav til lydisolering. Dersom det ikke er for store spenn og bærende innervegger unngås, er denne måten gunstig om det er ønske om fleksibilitet i systemet og mulighet til å gjøre om planløsningen [27].

Et bærende søyle-/bjelkesystem i limtre, betong eller stål, kombinert med massivtreelementer i vegger og/eller etasjeskiller er en annen mulighet. Dette systemet vil ha innvendige bærende søyler i stedet for vegger, noe som kan gi en fleksibel planløsning om antallet søyler begrenses. En fordel med dette systemet er at man med gode detaljer i sammenføyningene kan redusere flanketransmisjonen [27].

## **Vegger**

Massivtreelementer brukt som yttervegger vil ha stor styrke i forhold til vertikale laster, samt ved horisontale krefter i veggens lengderetning. Skjerming av massivtreelementene mot sol og nedbør er viktig utvendig. Derfor er en klimaskjerm viktig, i tillegg vil den jevne ut vindtrykket. Installasjoner i yttervegg bør plasseres på utvendig side [27].

Elementer brukt som vegger kan enten være stående eller liggende. Liggende elementer kan utgjøre hele vegg lengden og kan være etasjehøye. Innervegger i massivtre kan være både bærende og ikke-bærende. Rom som har spesielle lydkrav, for eksempel klasserom, kan utføres som dobbelveggkonstruksjon [27].

## **Etasjeskiller**

En etasjeskiller i massivtre vil generelt kunne brukes ved spennvidder opptil 7,5 m. Det er mulig å oppnå større spennvidder om elementene kombineres med for eksempel limtrebjelker. Massivtre kan brukes som etasjeskiller i alle typer bygg, men i bygg med spesielle lydkrav må det gjøres visse tiltak [27].

## Tak

Massivtreelementer kan brukes i kompakte (varme) tak og luftede (kalde) tak. Luftede tak må ha lufting under taktekingen, i motsetning til kompakte tak. Massivtreelementer er godt egnet hvis isolasjonen legges på oversiden av bærekonstruksjonen, som ifølge SINTEF Byggforsk er den beste konstruksjonsmetoden for begge taktypene [29]. Det er gjort studier ved SINTEF Byggforsk som dokumenterer at denne løsningen gir god varmeisolasjon uten kuldebroer og gir god sikkerhet mot fuktproblemer [30]. Ved å legge massivtreelementene nederst, kan man ha en eksponert treoverflate og utnytte treverkets hygroskopiske egenskaper [27].

I kompakte tak i massivtre kan det oppstå problemer angående fukt. Det er risiko for kondens og fuktakkumulering i isolasjonssjiktet, samt høy relativ fuktighet i ytre del av dette sjiktet. På ytre overflate av massivtreelementet er det også risiko for høy relativ fuktighet, som kan føre til muggvekst. Luftede, skrå tak bygget med massivtreelementer har lik risiko for byggfukt som ordinære takkonstruksjoner, men kan kreve mer beskyttelse mot nedbør under montasjen [29].

### 2.3 Estetiske forhold

Estetiske forhold er i hvilken grad vi liker å ha det pent og ryddig rundt oss. Trevirke kan ha innvirkning på de estetiske forholdene, men det er veldig individuelt. Tre kan gi trygghet og nærhet til naturen. Noen foretrekker mye tre, mens andre lite. Enkelte kan også oppfatte tre som uryddig, spesielt hvis det er brukt mye ulikt trevirke om hverandre [31].

En undersøkelse gjort blant både lekfolk og fagpersoner innen byggebransjen i flere europeiske land, angående deres syn på bygningsmaterialer og velvære innendørs, har blitt utført som en del av et Wood2New forskningsprosjekt [31]. I rapporten diskuteres det valg av innendørs materiale, naturlighet, naturlighet for byggematerialer, velvære i innendørs miljø, trematerialer, vaskbarhet, etikk og miljø.

Noen oppfatninger av hva naturlige materialer er:

- Eksisterer i naturen, og bør ikke være bearbeidet for mye (spesielt ikke kjemisk)
- Synlig opprinnelse
- Gjerne fra lokalområdet
- Unikt, kan ikke reproduseres
- Mindre energi brukt i produksjonsprosessen
- Nedbrytbar eller resirkulerbar

- Miljøvennlig, ikke skadelig for menneskers helse
- Noen tolker naturlig som vanlig, dvs. mye brukt i bygninger

Fra rapporten [31] fremkommer det at produkter og materialer som brukes i bygninger bør passe inn i omgivelsene der de brukes. Materialer som er fra det stedet eller området hvor de blir brukt, regnes som mer naturlig enn de materialene som ikke er så lokale. Kortreiste materialer og produkter anses å være naturlig. Det samme gjelder nedbrytbare og resirkulerbare produkter.

Lite bruk av tre kan gi en institusjonsfølelse av miljøet innendørs. Offentlige bygg kan ofte oppleves som kalde, sterile og minimalistiske. En grunn til at det er slik kan være med tanke på enklere rengjøring. Overflatene er som regel glatte og dermed lette å holde rene. Betong og glass forbindes gjerne med rene og sterile kontorlokaler. Lyse farger, åpenhet, høye tak og mindre rette vinkler og hjørner er noen faktorer som påvirker innemiljøet positivt. Tre kan gi et eksklusivt uttrykk, virke varmt, gi en god følelse og for noen gi en hjemmefølelse. Naturlige materialer kan være vanskeligere å rengjøre på grunn av ujevne, mindre bearbejdede overflater [31].

Å bruke tre slik som det ble gjort på 1980 - 1990-tallet er ikke populært i dag, fordi det forbindes med gamle trehytter. Eksponert tre har lenge vært en tradisjon i Norden, mens det i dag nesten regnes som en ny trend. Bærekraftighet, varighet og ikke-forurensende materialer er også svært aktuelle trender. Når et materiale blir for vanlig, eller en ny teknologi tar over for den gamle, kan trenden stoppe. Trenden varer helt til alle har det, eller hvis alle kan ha råd til å ha det. Enkelte ganger vil levestil, familie, karriere og alder påvirke mer enn trender [31].

Kunder har ofte ingen eller svært begrenset kunnskap om byggematerialer. Profesjonelle innen byggebransjen må derfor vise og informere om mulighetene til å vurdere andre alternativer enn det de ser i populære medier. Messer, magasiner, TV-program, venner eller reklamekataloger inspirerer og har innflytelse på valg av byggemateriale. Likevel er det de profesjonelle innen byggebransjen som definerer trender. Kunder som interesserer seg for miljøvennlige byggematerialer blir sett på som en nisje-kategori av kunder. I områder med mye tre/treindustri er det gjerne mer konkurranse om bruk av tre. Her spiller også politikk en viktig rolle [31].

Et eksperiment utført på St. Olavs Hospital i Trondheim viser at bruk av ulike materialer i pasientenes rom påvirker hvor fort smerten etter en operasjon avtar, og til en viss grad hvor mye stress pasientene opplever [3]. 210 pasienter deltok i studien hvor de ble plassert i et av tre rom med følgende interiør: eksponerte treoverflater, et stort landskapsbilde og et kunstverk. Resultatet viste at pasientene i rommet med eksponert tre ble raskere friske enn

pasientene i de andre rommene. Eksperimentet indikerer at det er en sammenheng mellom arkitektur, materialer og helse. Undersøkelser utført på elever viser også at bruk av tre innendørs senker stressnivået og fører til lavere hjertefrekvens i forhold til hos elever i tradisjonelle skoler i betong [5].

## 2.4 Emisjoner fra massivtre

Tre avgir emisjoner som oppfattes som lukten av tre. Disse emisjonene ligger vanligvis langt under grenseverdier som anbefales i et arbeidsmiljø. Et menneske puster inn omtrent 10 - 15 kg luft per døgn [32]. Forskning viser at flere risikoforhold i inneklimasammenheng kan føre til uønskede helseeffekter. Noen av disse risikoforholdene er fuktproblemer, kilder til flyktige organiske forbindelser, partikkelforurensning, radon og allergener. Dette kan gi negative helseeffekter, vanligvis luftveissykdommer, irritasjon av slimhinner og hodepine. For å oppnå godt inneklima er det viktig med god ventilasjon og rengjøring, men også å forhindre kilder til disse risikoene.

Barn og unge kan ofte være høysensitive for uren luft, og er spesielt i faresonen for å utvikle luftveissykdommer. Det vil derfor være ekstra viktig at skoler og barnehager har en luftkvalitet som ikke setter barna i faresonen for dette. I tillegg ble det i et forsøk [33] konkludert med at læringsmiljøet forklarer 16 % av variasjonen i elevenes læringsutvikling. Det ble funnet syv faktorer som ga betydelige effekter på elevenes læringsutvikling i barneskolen, blant disse var luftkvalitet. Dette gjør det selvsagt enda mer aktuelt med ren inneluft og godt innemiljø i skoler.

### Flyktige organiske forbindelser

Flyktige organiske forbindelser, eller *volatile organic compounds* (VOC), kan påvirke det atmosfæriske innemiljøet. Mange innemiljøer kan inneholde et stort antall flyktige organiske forbindelser. Hvilke som finnes, og mengde, kan variere med kilder og ventilasjonseffekten i de ulike lokalene. Det finnes både innendørs- og utendørskilder til flyktige organiske forbindelser. Konsentrasjonen er høyest innendørs, og det er her de fleste kildene ligger. Dette kan være viktig å ta hensyn til dersom man ser på internasjonal forskning og målinger. I varmere land har uteluften større påvirkning inne, fordi det luftes mer enn i Norge. Utslippskildene innendørs kan deles inn i stasjonære kilder, herav avgassing fra byggematerialer, og variable kilder, som for eksempel røyking, rengjøringsartikler og kosmetikk. Stoffgruppen flyktige organiske forbindelser vurderes samlet, fordi



detalj-kunnskaper om mange av stoffene mangler og fordi konsentrasjonsnivået innendørs av de stoffene som er kjent, ligger langt under nivåer som forventes å utløse helseeffekter [34].

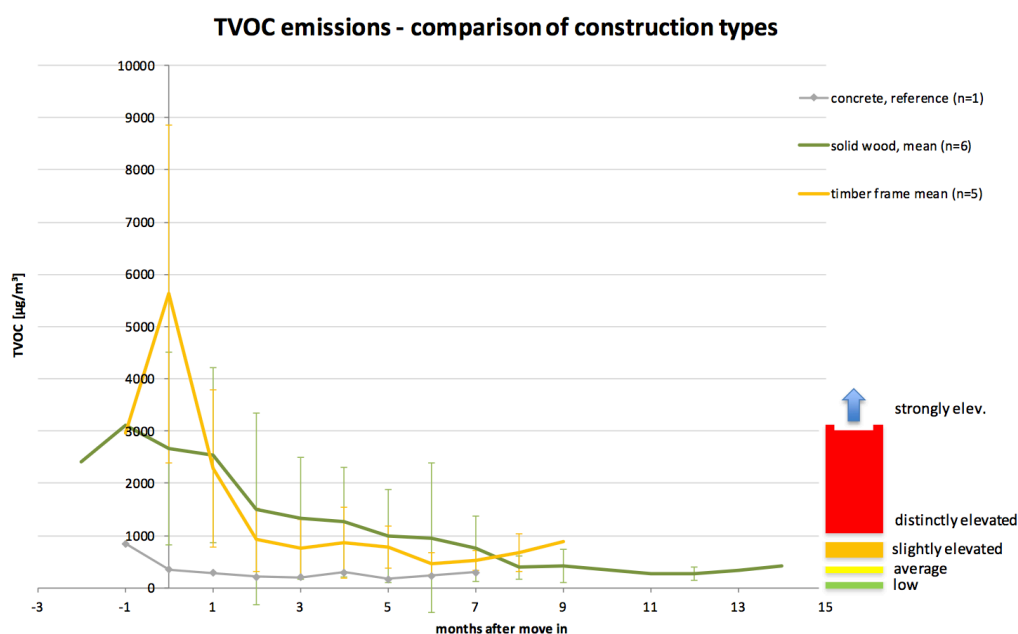
I en rapport [35] ble det gjort forsøk med hensyn på flyktige organiske forbindelser. Her ble en gruppe mennesker utsatt for ubehandlet furu og gran i et lite rom. Furu har et høyere utslipp av VOC enn gran. Gruppen som ble testet ble ansett som friske, ikke-allergiske, ikke-røykende og var i alderen fra 20 til 40 år. Parameterne det ble forsket på var irritasjon i øynene, pustevansker, redusert prestasjon i nevropsykologiske tester og om noen av forsøkspersonene opplevde vond lukt eller hadde andre negative opplevelser. Rapporten henviste til tidligere forsøk [36] som har vist at terpenener kan forårsake irritasjoner i øynene. Det ble også nevnt at formaldehyd og terpenener fra rengjøringsmidler øker faren for å utvikle astma [37].

Resultatene fra forsøket [35] viser ingen forskjeller på målinger eller nevropsykologiske tester fra de som var eksponert for furu i forhold til de som var eksponert for gran. Noen av de som var utsatt for furu rapporterte om mer trøtthet og konsentrasjonsvansker, men dette var ikke statistisk signifikant hevdes det. Rapporten konkluderte med at det ikke fantes noen betydelig forskjell på furu og gran angående de parameterne som ble forsket på. De fant derimot ut at forskjeller i luftfuktigheten vil påvirke utslipp av VOC, men dette ikke har praktisk betydning.

I en annen rapport [3], ble det gjort et forsøk med 13 nybygde boliger. Seks av boligene var bindingsverkskonstruksjoner av tre, seks var av massivtre, og én var bygget av betong. Her ble det lagt vekt på helsen til forsøkspersonene over en periode på 12 måneder. Tabell 2 viser en oversikt over ulike nivåer av VOC-konsentrasjoner i inneluft. Testresultatene viste at VOC-verdiene for trehusene var meget høye i starten, men etter omtrent syv måneder var verdiene balansert, og på samme nivå som betongbygget (Figur 20). Det ble ikke rapportert om noen negative helseeffekter eller irritasjoner i øynene, selv da nivåene av VOC i luften var på det høyeste. Test-personene rapporterte om en meget bra livskvalitet og velvære, og det var ingenting som tydet på negative helseeffekter.

Tabell 2. Totale VOC-verdier i inneluft (Oversatt fra engelsk fra tabell i[3]).

Konsentrasjon [mg/m <sup>3</sup> ]	Vurdering	Kommentar	Bemerkninger fra den tyske komiteén på veiledningsverdier innendørs
< 0,25	Lav	Oppnåelig når passende materialer brukes	
0,25-0,5	Gjennomsnittlig		
0,5-1	Litt forhøyet	VOC-kilder er sannsynlig, og forventes etter konstruksjonsarbeid med løsningsmiddelbaserte materialer	
1-3	Tydlig forhøyet	VOC-kilder tilstede	Tolerabelt å bo i opp til 12 måneder
>3	Sterkt forhøyet	Forventes etter konstruksjonsarbeid med løsningsmiddelbaserte materialer	3-10 mg/m <sup>3</sup> Tolerabelt å bo i opp til 1 måned



Figur 20. VOC-emisjoner. Sammenlikning av konstruksjonsmaterialer [3].

## 2.5 Brann

Per definisjon er tre brennbart, men det er et forutsigbart materiale når det gjelder brann. Trekonstruksjoner betraktes ofte som sikre å bekjempe mot brann og har lav risiko for sammenbrudd og kollaps, spesielt massivtre.

## **Brannmotstand**

Mest avgjørende for brannmotstanden er konstruksjonens bæreevne og stabilitet. Innbrenningshastigheten for massivtreelementer varierer fra produsent til produsent. Som regel er den relativt lav. Dette gjør at bæreevnen til elementene kan opprettholdes i lang tid ved brannpåvirkning. Tre forkuller med tilnærmet konstant hastighet. Forkullingslaget som dannes på trevirket vil beskytte bakenforliggende lag slik at de tilnærmet får uendrede fasthets- og stivhetsegenskaper. Elementtypen avgjør hvor raskt denne prosessen utvikler seg. Som oftest vil innbrenningshastighet være omkring 0,6 - 0,8 mm/min [38].

Noen av faktorene som påvirker brannmotstand i massivtre [28]:

- Oppbygging (antall sjikt, tykkelser på sjikt, styrkeklasser osv.)
- Treslag
- Sprekker
- Limtyper og hvordan lamellene er limt sammen
- Trefuktighet

Limtypen som velges i massivtreelementet avhenger av om treet skal være eksponert eller tildekket. Mellom tverrgående og langsgående sjikt kan limtypen ha innvirkning på innbrenningshastigheten. Ved temperaturøkning kan limtypene EPI og PUR føre til at hele sjikt faller av. I slike tilfeller svikter limsjiktet. Dette er ikke observert ved bruk av PRF og MUF. Disse to limtypene forkuller på samme måte som trevirket, som betyr at det beskyttende kullsjiktet som dannes ved brannpåvirkning holdes intakt [28].

Type massivtreelementer rangert fra lav til høy innbrenningshastighet [27]:

1. Limte krysslagte elementer (både flat- og kantlimt)
2. Limte krysslagte elementer (bare flatlimt)
3. Dyblede/spikrede krysslagte elementer
4. Kantstilte elementer

## **Installasjoner og føringer**

Plasseringen av installasjonsløsninger i en bygning må hensynstas i forhold til brannkrav. Bygningen er delt opp i brannceller, hvor sikkerhet ved rømning er viktig å ivareta. Hull til installasjoner kan gi utfordringer når det gjelder brannsikring. En brann sprer seg raskt via rør- og kanalgjennomføringer. Hull til rørføringer og liknende skjæres ut på fabrikken, slik som vist i Figur 21. Derfor må det tidlig planlegges hvilke installasjoner og føringer som skal inn. Mindre hull kan skjæres ut i massivtreelementene på byggeplass ved behov. Dette er ikke like enkelt i betong [27].



Figur 21. Massivtreelement med hull til føringer (Foto: Privat, Bjørkelangen skole)

Brannklassifisering ifølge NS-EN 13501-1 som følger [39]:

Antennelighet og brennbarhet (Euroklasser):

A1, A2, B, C, D, E, F (kriterier: antennelighet, flammespredning, varmeavgivelse)

Røykproduksjon:

s1, s2, s3 (s1 betyr lavest røykproduksjon)

Dannelse av flammende dråper eller partikler:

d0, d1, d2 (d0 betyr ingen dråpesmitte)

Brannklassifisering for massivtre:

CLT er normalt D-s2,d0 ( $D_{fl}$ -s1 for gulv)

### **Brannsikringstiltak**

I større bygg, som for eksempel skoler, er brannkravene strengere enn for bolighus. Dette kan medføre at minst én av sidene til et massivtreelement ikke blir synlig. Eksponerte massivtreelementer kan beskyttes for brannbelastning. Det kan være aktuelt å velge høyere fasthetsklasse på yttersjikt og/eller innersjikt, eventuelt samtidig å øke tykkelsen på yttersjiktet. Et annet alternativ er å øke fasthetsklassen og/eller tykkelsen på innersjiktet, i tilfelle yttersjiktet forkulles, eventuelt dobbelt yttersjikt. Elementene kan også tildekkes med andre materialer for selv ikke å bli direkte eksponert for brannpåkjenning. Egenskapene til overflater i vegger og tak har stor betydning for tiden det tar før overtenning, altså tilgjengelig rømningstid. Alle overflater og brennbart materiale vil ved overtenning inngå i brannen. Deretter vil brannen være fullt utviklet. Hvor mye luft som strømmer til brannen gjennom ventilasjonsåpninger påvirker temperaturen og spredningen av brannen. Den branntekniske

utformingen til bæreevne, stabilitet, samt materialer og dets egenskaper bestemmes i henhold til brannklassen bygningen faller under [27].

Sprinkelanlegg gir større trygghet i bygninger, fordi utviklingen av en brann vil bli forsinket. Sprinkelanlegg muliggjør også for bredere valg av fasademateriale. Generelt sett blir ikke trefasader sett på som problematiske, så lenge bygningen ikke er mer enn 4 etasjer. Dette er grensen for slukking fra gatenivå (ca. 12 m). En brann kan også spre seg via vinduer [27].

## 2.6 Lyd

Svingninger som ligger innenfor et visst frekvensområde er det som oppfattes som lyd. Mennesker kan også oppfatte svingninger som ligger utenfor dette frekvensområdet. Dette er ofte lavfrekvente svingninger, som vibrasjoner og skjelvninger. Både lyd og vibrasjoner må tas hensyn til når et bygg skal prosjekteres. Støy i et bygg er uønsket, fordi det sjenerer brukeren. For å skape gode lydforhold er det viktig å ta forutsetninger for nærliggende støykilder som trafikk og lekeplasser så tidlig som mulig i prosjekteringsfasen [27].

Følgene faktorer er viktige for å gi en oppfattelse av et godt lydmiljø:

- Luftlydisolasjon
- Trinnlydisolasjon
- Lydoverføring
- Romakustikk

Med luftlydisolasjon menes isolasjon mot luftbåren lyd. Luftbåren lyd kan komme fra for eksempel tale, TV og høyttalere. Luftlydisolasjon angis ved et lydreduksjonstall,  $R$ , og er angitt i dB. Lydreduksjonstallet angir hvor godt en skillekonstruksjon isolerer mot luftlyd. Dersom et rom har en lydkilde og et nærliggende rom, vil reduksjonstallet angi forskjellen på lydintensiteten i rommene. Et høyt lydreduksjonstall vil altså bety god luftlydisolasjon [27].

Trinnlyd er svingninger som oppstår i konstruksjonen, og deretter utstråles som lyd. Trinnlyd oppstår i praksis vanligvis fra gangtrafikk, basslyder fra musikkanlegg eller vaskemaskiner. Trinnlydnivået,  $L$ , angir hvor høyt lydtrykket blir i mottakerrommet, og er også angitt i dB. Denne verdien ønskes lavest mulig [27].

Lydoverføring kan forekomme enten ved direktetransmisjon eller som flanketransmisjon. Ved direktetransmisjon overføres lyd direkte gjennom etasjeskillere eller vegger. Flanketransmisjon vil si at lyden beveger seg gjennom eller via tilstøtende bygningsdeler. Faktorer som her kan være av betydning er for eksempel kanaler i gulv eller himling og

utettheter generelt. Lydoverføringen som oppfattes vil alltid være en blanding av flanketransmisjon og direktetransmisjon. Lydoverføringer vil i praksis gi betydelig utslag på luftlyd og trinnlyd, og det er viktig at det tas hensyn til [27].

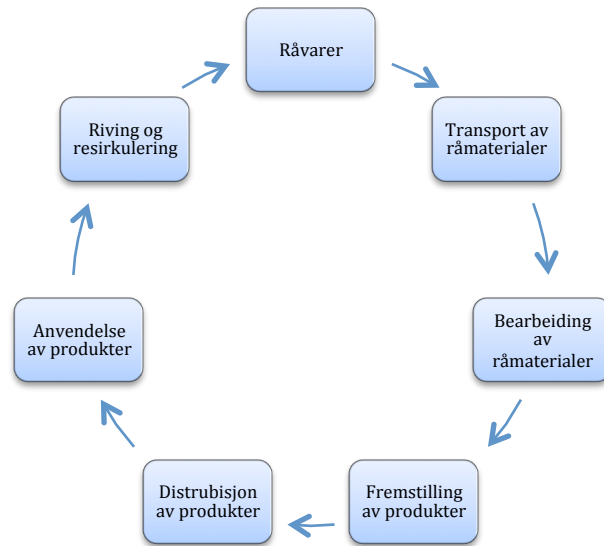
Faktorer som påvirker romakustikk er form, størrelse og overflateegenskapene på vegger og etasjeskillere. Etterklangstiden er en av de viktigste parameterne når det kommer til akustikk. Etterklangstiden forteller hvor lang tid det tar for lydtryknivået å avta 60 dB etter at lydkilden er stoppet [40]. Ønskede akustiske egenskaper bestemmes av hva rommet skal brukes til. For eksempel ønsker man som regel lenger etterklangstid i konserthaller og stadionanlegg i forhold til kontorer og møterom [27].

Tre som er et lett materiale i forhold til for eksempel betong, vil kreve flere tiltak for å opprettholde samme kvalitet på lydforholdene i en bygning. Massivtreelementer har høy egenvekt og tetthet, og vil i motsetning til en vanlig bindingsverksvegg ha gode muligheter for luftlydisolasjon. utfordringer som generelt oppstår når det kommer til massivtre er lydoverføring. Flanketransmisjon kan gi betydelig utslag [27] enten ved at lyden sprer seg mellom konstruksjonsledd dersom skjøter og himlinger/kanaler ikke er tette nok, eller ved at svingninger vandrer langt i konstruksjonselementene og eventuelt overføres til andre ledd. På grunn av materialets jevne overflater vil massivtre også kunne gi uønskede akustiske utslag, for eksempel ved lang etterklangstid. Derfor vil det noen plasser være hensiktsmessig å dekke til materialene [27].

## **2.7 Livsløp til massivtre**

### **Livssyklusanalyse**

En livssyklusanalyse, også kalt *Life Cycle Assessment* (LCA), er en metode som brukes for å vurdere miljøkonsekvensene ved et byggeprosjekt. Hvert produkt eller hver løsning som blir brukt analyseres gjennom hele dets livsløpet. Et slikt livsløp er vist i Figur 22. Ved å se på flere miljøaspekter ved et byggeprosjekt oppnås en mer helhetlig vurdering av de miljømessige konsekvensene.



Figur 22. Livsløpsyklus for råvarer, materialer og produkter.

En LCA omfatter fem ulike faser i en livssyklus for en bygning (Tabell 3). Produksjons- og sluttfasen kan utgjøre halvparten av all energi et nytt energieffektivt hus bruker over hele dets levetid [41]. Dette betyr at konstruksjonsmaterialene utgjør en stor prosentandel av de totale utslippene fra hele en bygnings levetid. 1 m<sup>2</sup> oppvarmet bruksareal blir som regel analysert i forhold til utslipp for hele bygningen. Det vanligste er å anta 60 års levetid på produkter [42].

Tabell 3. De ulike fasene i en livssyklus for en bygning, ifølge NS-EN 15978:2011 [43] (oversatt fra engelsk med tilleggsinformasjon om D1-D4 fra [42]).

A1-A3 Produkt- fasen			A4-A5 Konstruksjons- fasen		B1-B7 Bruksfasen							C1-C4 Sluttfasen				D1-D4 Fordeler og ulemper utenfor systemgrensene			
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	D4
Råvareforsyning	Transport av råmaterialer	Produksjon av produkter og pakking	Transport til byggeplass	Montering på byggeplass	Bruk	Vedlikehold	Reparasjon	Utskiftning	Oppussing	Operasjonell energibruk	Operasjonell vannbruk	Rivning	Transport til avfallsplass	Avfallshåndtering	Avhending	Gjenbruk	Gjenoppretting	Resirkulering	Potensiell energi

Europakommisjonen har bestemt at alle nye offentlige bygg skal være nesten null-energi bygg (*nearly zero-energy buildings*) innen 2018 [44]. I en LCA blir drivhusgasser konvertert til kWh ved å bruke CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (CO<sub>2eq</sub>). Siden karbondioksid (CO<sub>2</sub>) er den dominerende drivhusgassen blir CO<sub>2eq</sub> brukt som indikator. Alle andre drivhusgasser omgjøres til CO<sub>2eq</sub> ut fra hvor mye de bidrar til drivhuseffekten. Alle utslipp som kan knyttes til sanking av materialer, behandling, oppbevaring, transport, distribusjon og leveranse av energi tas i betraktning [42].

Det er relevant å betrakte karbonopptak og CO<sub>2</sub>-utslipp ved bruk av trematerialer. Grunnen er at treets midlertidige opptak av karbon forsinker drivhusgassene. Mengden biogent karbon (kg CO<sub>2eq</sub>) fra tre gir en negativ verdi til det globale oppvarmingspotensialet (*global warming potential*, GWP) i A1. Den samme mengden biogent karbon blir frigjort (positiv verdi) etter at bygget er revet, i forbindelse med avfallshåndtering og avhending av materialer, henholdsvis C3 og C4. I henhold til at tre anses som nøytralt når det gjelder biogent karbon [45], gir resultatet ved en helhetlig livssyklusanalyse av tre dermed null CO<sub>2</sub>-utslipp. For å kunne betrakte karboninnholdet i tre, anbefales det å ta for seg A1 - A3 og C1 - C4 som et minimum i en LCA av en bygning. Dersom slutfasen ikke inkluderes i en LCA, bør biogent karbon utelukkes fra analysen, ifølge ZEB Research Centre [42].

Et komposittmateriale som betong består hovedsakelig av sement, vann, sand, stein og tilsetningsstoffer. Produksjonen av sement utgjør den største delen av CO<sub>2</sub>-utslippet ved betongproduksjon. Kalsinasjon er en kjemisk prosess hvor CO<sub>2</sub> slippes ut ved at kalkstein varmes opp til høy temperatur. Denne prosessen utgjør omtrent 70 % av CO<sub>2</sub>-utslippet fra sementproduksjon. Sementproduksjonen utgjør 90 % av det totale utslippet ved en ferdig produsert betong [46]. Under byggets brukstid foregår det karbonatisering av betongen. Det betyr at CO<sub>2</sub> binder seg til kalsiumoksidet i sementen og danner kalsiumkarbonat. Karbonatisering går sakte, og opptaket av CO<sub>2</sub> er lite i forhold til utslippene fra sementproduksjonen. Ved ZEB Research Centre blir opptaket av CO<sub>2</sub> i betong utelatt ved LCA på grunn av manglende data [42].

I en LCA legges miljøvaredeklarasjoner til grunn. En miljøvaredeklarasjon, *Environmental Product Declaration* (EPD) [47], er en verifisert dokumentasjon fra en uavhengig tredjepart som viser hvilken påvirkning på miljøet produkter har gjennom hele livssyklusen. Informasjonen i en EPD er transparent og sammenliknbar. EPD-Norge er en uavhengig part som publiserer miljødeklarasjoner i Norge.



## **Produksjon**

Massivtreelementer produseres innendørs og leveres klare til montering på byggeplass. Produksjon av massivtreelementer slipper ut mindre CO<sub>2</sub> enn for eksempel betong. I Produktfasen i en livssyklusanalyse for massivtreelementer slippes det ut 140 kg CO<sub>2eq</sub> per kubikkmeter, uten å ta biogent karbon i betraktning [48]. Basert på et gjennomsnitt av utslippsfaktorer hentet fra flere ulike betongleverandører, slipper ferdigbetong ut omtrent 200 kg CO<sub>2eq</sub> per kubikkmeter.

Det finnes fabrikker som produserer massivtre i Norge, men det benyttes vanligvis til boligutbygging. Ved større byggeprosjekter hentes massivtre fra utlandet, fordi de norske leverandørene av massivtre ikke har kapasitet til å levere til større byggeprosjekter. Etterspørselen av massivtre har ikke vært stor nok til at produksjonen av massivtre har vært lønnsom [49]. Nordisk Massivtre AS er en ny massivrefabrikk i Kongsvinger med planlagt oppstart i juni 2017. Hunton Fiber AS, Stangeskovene AS og Massiv Lust AS står sammen om denne satsingen, fordi de mener massivtre er i fremvekst. Fabrikken vil bruke kortreist skog i produksjon av byggelementer [50].

## **Transport**

Transportmetoden av byggematerialer kan variere stort, og vil gi utslag på det totale CO<sub>2</sub>-utslippet i et byggeprosjekt. Parametere som er betydelige for CO<sub>2</sub>-utslippet ved transport er i hovedsak materialvekt, distanse, transportmiddel og drivstoff.

Materialene og elementenes vekt gir utslag på CO<sub>2</sub>-utslippene ved transport. At massivtreelementer har lavere egenvekt enn betong gjør utslippene lavere ved transporten. For eksempel ved at det trengs færre kjøretøy, eller at hvert kjøretøy bruker mindre drivstoff.

Siden massivtre importeres fra utlandet blir avstanden fra fabrikk til byggeplass stor. Dette gir et mye større CO<sub>2</sub>-utslipp enn dersom elementene var produsert i Norge. Ved bygging i betong velges gjerne en lokal leverandør og fraktavstanden blir mindre. Det samme gjelder prefabrikkerte betongelementer produsert i Norge.



Transportmiddele som brukes har også stor betydning for utslippene. Det som vanligvis brukes er jernbane, trailer og skip. De ulike transportmidlene kan bruke forskjellig drivstoff, og dette kan ha innvirkning på CO<sub>2</sub>-utslippet. For eksempel kan strømdrevne tog brukes som transportmiddel, men betyr ikke nødvendigvis at transporten er miljøvennlig. Strømmen kan utvinnes fra ikke-bærekraftige kilder eller fra kilder som slipper ut CO<sub>2</sub>.

## 2.8 Luft- og damptetthet i massivtre

Under prosjektering av bygninger er blant annet lufttetthet og damptetthet viktig å ta hensyn til. Prosjektering og utførelse av et bygg skal gjøres slik at faren for byggfukt minimeres. Fukt kan transporteres ut i konstruksjonen ved diffusjon eller konveksjon (luftlekkasje). Massivtreelementer i seg selv har relativt god damp- og lufttetthet, men skjøtene byr på utfordringer.

Luftlekkasje gjennom konstruksjoner i massivtre er først og fremst et problem i skjøtene mellom massivtreelementene både i vegger, etasjeskille og tak. Elementer i massivtre kan ha grove kanter og tilskjæringer, grunnet store dimensjoner og ulik kvalitet på treverket. Avhengig av fuktinnholdet i omgivelsene vil treverket i elementene krympe og swelle, noe som kan påvirke luftgjennomgangen. I en rapport fra SINTEF Byggforsk ble det gjort et forsøk for å se hvordan krymping i treverket påvirket luftgjennomgangen i en massivtrekonstruksjon [51]. Resultatene fra dette forsøket viser først og fremst at CLT-elementer brukt i vegg eller etasjeskiller *uten* kantliming har grovt sett dobbelt så store luftlekkasjer som elementer *med* kantliming. Dette skyldes at mer lim hindrer treverket i å krympe når det tørker ut. Figur 23 viser luftgjennomgangens innvirkning på en bygnings lekkasjetall, ved fuktinnhold på 14 % og fuktinnhold mindre enn 10 %. Ulike elementer har ulike tilpasninger og skjøteløsninger, så resultatene er bare et eksempel på hvilke luftlekkasjer en massivtrekonstruksjon med CLT kan ha. Målingene bekrefter at det behøves egne tiltak for lufttetthet i skjøtene.

Luftlekkasjer innenfra og ut fører til økt energibruk og gir større fare for at fukt fra inneluften blir tilført konstruksjonen. Lekkasje utenfra og inn fører til økt energibruk. Lufttettheten har også innvirkning på eventuell brannspredning og lydoverføring.

Massivtre elementbredde 1,2 m	Fuktinnhold % (kg)	Lekkasje vegg m <sup>3</sup> /h	Lekkasje gulv m <sup>3</sup> /h	Bidrag til lekkasjetall h <sup>-1</sup>
 Ikke kantlimt	14	899	5200	1,3
	< 10	8986	5408	3,1
 Kantlimt	14	899	2912	0,8
	< 10	1797	3744	1,2

Figur 23. Målt luftgjennomgangs innvirkning på lekkasjetall i bygning med grunnflate 16 x 36 m i tre etasjer med etasjehøyde 2,7 m [51].

Damp tetthet er hvor god motstand en konstruksjon har mot damp. Vanndamp permeabiliteten,  $\delta_p$ , til et materiale er evnen et materiale har til å slippe gjennom vanndamp. Vanndampmotstanden,  $Z_p$ , er motstanden et materialsjikt har mot gjennomtrengning av vanndamp når vanndamptrykket varierer. Denne beregnes ut fra materialets vanndamp permeabilitet og tykkelse. Ekvivalent luftlagstykkelse, også kalt  $S_d$ -verdi, angir hvor tykt et stillestående luftlag må være for å gi samme vanndampmotstand som materialsjiktet [52].

Det er vanlig å bruke dampsperre på varm side av konstruksjonen, etter anbefalinger fra SINTEF Byggforsk. Men det finnes spesialprodukter som hevdes å kunne være så dampåpne at de kan gi uttørring innover mot inneluft, samtidig som de er tilstrekkelig dampette til å hindre kondensproblemer [53]. Produktene betegnes ofte dampbremsere.

## 2.9 Termiske og hygriske forhold

### Varmekapasitet og magasinerende egenskaper ved massivtre

Tunge bygningsmaterialers termiske masse gjør at de kan ta opp energi om dagen, og avgi den senere når utetemperaturen reduseres. Dette kalles magasinerings. Den termiske massen fungerer som et energireservoar som er avhengig av materialets varmekapasitet, varmekonduktivitet og hvordan disse to harmonerer med døgnsyklusen til ytre påvirkninger av rommet. Materialers varmekapasitet,  $C$ , uttrykker et stoffs evner til å magasinere opp energi/varme. Tabell 4 viser varmekapasitet for ulike materialer.

Tabell 4.  $C$ -verdier for utvalgte materialer [27].

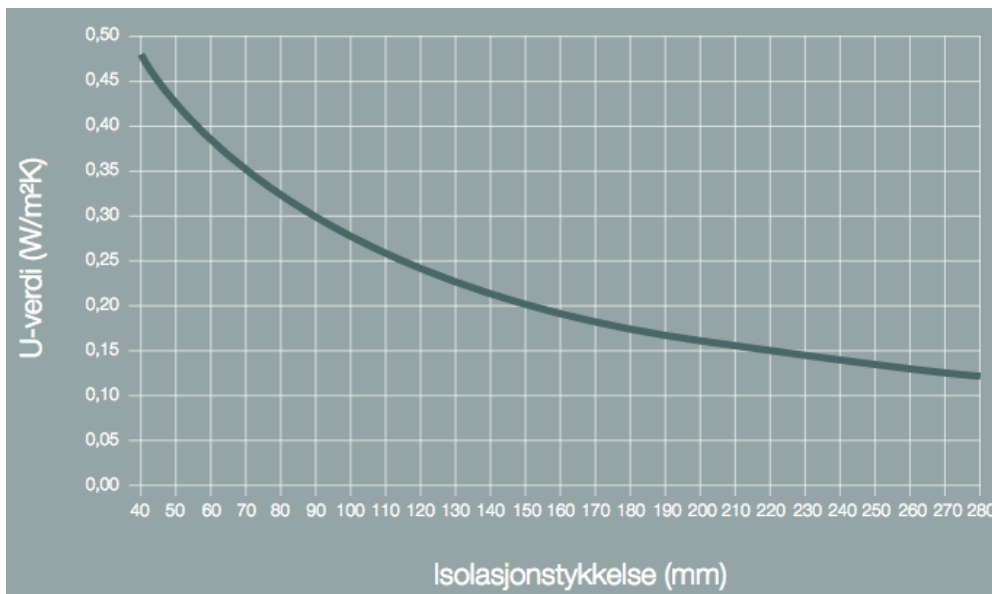
Material	$C$ kJ/(m <sup>3</sup> K)
Betong	2230
Lettbetong	485
Stål	3925
Aluminium	2375
Massivtreelementer	1050

Tre har relativt god varmekapasitet, men leder varmen dårlig. Dette gjør at energireservoaret lades og tømmes for langsomt i forhold til døgnsyklusen [54]. Trekonstruksjoners magasinerende egenskaper er derfor små sammenliknet med tunge konstruksjoner som betong.

## Varmeisolasjon

De varmeisolerende egenskapene til et bygningselement bestemmes av varmegjennomgangskoeffisienten, også kalt U-verdi. Verdien forteller hvor mye varme per tidsenhet som strømmer gjennom  $1 \text{ m}^2$  av en konstruksjon når det er en temperaturforskjell på  $1 \text{ K}$  på hver side. U-verdien er avhengig av den totale varmemotstanden,  $R_T$  og et tillegg,  $\Delta U$ , som må vurderes i hvert tilfelle. Den totale varmemotstanden består av materialets varmemotstand,  $R$ , samt innvendig- og utvendig overgangsmotstand. Innvendig- og utvendig overgangsmotstand kan henholdsvis settes til  $0,13 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  og  $0,04 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  når veggen er vertikal og varmestrømmen horisontal [27].

For treverk er det først og fremst romvekten (volumvekten) og fuktinnholdet som bestemmer varmeledningsevnen, og for massivtre er denne verdien lik  $0,13 \text{ W}/\text{mK}$ . Avhengig av bygningstype, type element og tykkelse er det ofte nødvendig å tilleggisolere massivtreelementer. Figur 24, hentet fra den tekniske brosjyren til Stora Enso, viser U-verdien til CLT-elementer med ulik tykkelse på tilleggisolasjonen.



Figur 24. U-verdi for CLT tykkelse 100 mm, med varierende isolasjonstykkelse [55].

## Påvirkning på innemiljø

Termiske og hygriske forhold kan påvirke innemiljøet i en bygning. Dette gjelder blant annet temperatur og varmestråling, luftfuktighet, trekk og ventilasjon. Trivsel og komfort er avhengig av at disse størrelsene har riktig verdi i forhold til hverandre. Temperaturen innendørs bør ligge på rundt  $20 - 22 \text{ }^\circ\text{C}$  for å gi et sunt inneklima [56]. I følge TEK10 § 13-4

[57] vil varig opphold i et miljø med for høy eller for lav lufttemperatur kunne føre til redusert muskelfunksjon og arbeidsprestasjon, samt økt ulykkesrisiko [57]. Luftfuktigheten innendørs er viktig for å bestemme hvordan brukerne av en bygning oppfatter luftkvaliteten, samt en viktig parameter som kan forårsake mikrobiell vekst på materialers overflate. Fuktigheten i et rom eller bygg kan variere både fra sesong til sesong, og fra dag til dag.

Trevirke kan påvirke det termiske miljøet positivt. På grunn av at tre er et hygroskopisk materiale, fungerer det både fukt- og temperaturregulerende. Materialets evne til å ta opp fuktighet og avgi den senere når luftfuktigheten er lavere, gir en buffereffekt som gir et behagelig inneklima. Treoverflater har potensiale til å bidra til forbedring av innendørs luftkvalitet og reduksjon av mekaniske ventilasjonsbelastninger, og følgelig energibehov og forbruk [58]. Fuktbufring og latent varmesorpsjon gjør at bruk av massivtre i bygningskroppen kan være en passiv måte å moderere variasjoner i fuktighet og temperatur innendørs.

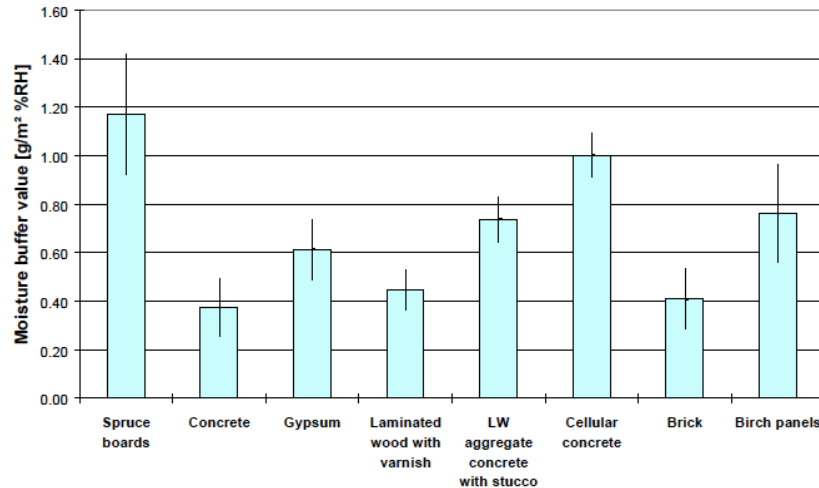
### **Fuktbufring**

Begrepet *moisture buffer value* (MBV) ble introdusert i Nordtest prosjektet ”Moisture Buffering of Building Materials” [59]. Både en teoretisk og praktisk definisjon blir beskrevet. Verdien karakteriserer bygningsmaterialers evne til å moderere variasjoner i luftfuktigheten. Den indikerer hvor mye fuktighet et materiale utveksler med omgivelsene når den relative fuktigheten varierer. En praktisk anvendelse av denne verdien er at den kan gi et estimat for fuktbalansen i et rom.

Nordtest prosjektet introduserer en standardisert testmetode som er representativ for materialtykkelse, overflatens overføringsforhold og overflatebehandlinger brukt i bransjen. Den teoretiske, ideelle MBV-verdien vil kun være representativ for basismaterialet om tykkelsen er lik eller større enn inntrengningsdybden til materialet. Inntrengningsdybden til et materiale forteller hvor langt inn i materialet det kan registreres fuktvariasjoner på overflaten. Ut ifra det, bestemmes mengden av materialet og fuktighet som er involvert i fuktutvekslingen.

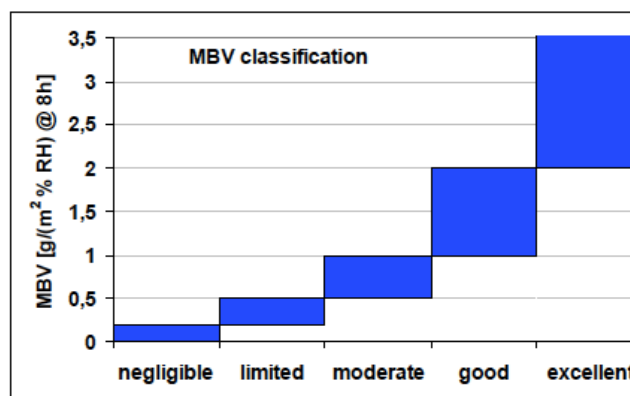
Ved bruk av den praktiske definisjonen kan MBV-verdien til systemer med materialkombinasjoner og materialer som er tynnere enn inntrengningsdybden, defineres. Da kan ikke den praktiske og den teoretiske MBV-verdien sammenlignes. De to vil kun ha samme verdi dersom materialet er homogent og har tykkelse lik eller større enn inntrengningsdybden. MBV-verdien som beskrives videre er den praktiske, som er bestemt ut i fra dynamiske målinger.

Resultater fra Nordtest prosjektet viser at tre har en MBV-verdi som er tre ganger større enn betong og tegl, to ganger større enn gips og omtrent 20 % større enn porøs betong. Det betyr at tre har en større fuktbufring-effekt sammenliknet med de andre materialene. Dette er vist på Figur 25.



Figur 25. MBV-resultater av ulike materialer som ble testet i forbindelse med Nordtest prosjektet [59].

Det optimale for fuktbuffereffekten vil være at den er så høy og rask som mulig. Det må være i forhold til fastsatte MBV-verdier for ulike bygningsmaterialer for å vurdere de realistiske områdene. Noen av materialene uten overflatebehandling som ble testet i løpet av Nordtest prosjektet hadde en moderat fuktbuffereffekt, mens andre materialer hadde relativt høy. Hvis MBV-verdien er mindre enn 10 % av virkningen fra ventilasjonen, har den (nær) ubetydelig effekt på hele bygningens ytelsesaspekt. Nordtest prosjektet presenterte derfor en type klassifisering av materialer basert på MBV-verdier. Dette var det første forsøket på en klassifisering og den består av fem kategorier som vises i Figur 26.



Figur 26. Grafisk fremstilling av MBV-klassifiseringen fra Nordtest prosjektet [59].

Tester gjort ved Aalto University i Helsingfors baserer seg på resultatene fra Nordtest prosjektet [3]. De har undersøkt hvor stor påvirkning overflatebehandling og belegg har på fuktbufring og MBV-verdien. Både diffusjonsåpen og diffusjonstett overflatebelegg ble testet. Slik Tabell 5 viser, vil et diffusjonstett overflatebelegg redusere fuktbuffereffekten.

Tabell 5. MBV-klassifisering for treoverflater med og uten overflatebehandling (Oversatt fra engelsk fra tabell i [3]).

Overflate	MBV-klasse
Ubehandlet	Moderat
Diffusjonsåpen	Begrenset
Diffusjonstett	Ubetydelig

En rapport fra Danmarks Tekniske Universitet viser at bruk av fuktbufrende materialer i bygningskroppen og møbler kan påvirke luftfuktigheten innendørs betraktelig [60]. Men hvor stor påvirkning et hygroskopisk materiale har, avhenger av flere faktorer: type og mengde materiale i et gitt rom, utendørs klima, utendørs ventilasjonsrate og fuktighetsproduksjonen i rommet, som også er avhengig av innendørs temperatur og relativ fuktighet [61]. Selve materiales damppermeabilitet og fuktlagringskapasitet har også betydning.

### Latent varme

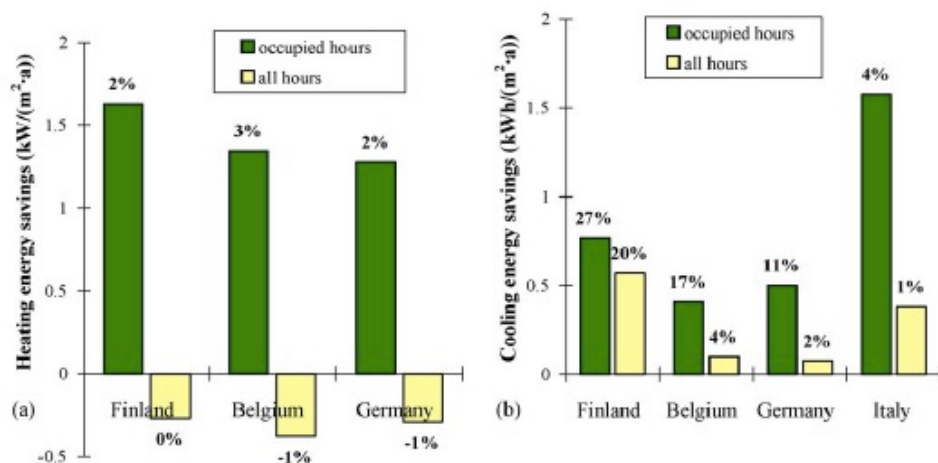
Bygninger er utsatt for både fukt- og varmevariasjoner, og den termiske og hygroskopiske oppførselen til et bygningselement er tett forbundet. En økning i fuktinnholdet påvirker varmetapet, og omvendt. Transporten av vann gjennom tresjiktet i bygningskroppen genererer varme på grunn av konvertering av latent varme når fuktighet absorberes eller desorberes av trecelleveggene. Denne prosessen fører til en økning eller reduksjon i temperaturen i treverket. Latent varme er den varmemengden som er nødvendig for å få til en tilstandsending i et stoff uten noen temperaturendringer i stoffet [62]. Når vanndamp fra fuktighet i luften forandres til vann som bindes opp i trecelleveggene, oppstår det en faseending og energi (varme) frigis [63]. For hvert kilogram vann som bindes opp, frigjøres det 2500 kJ energi [64]. Denne varmen frigis i forbindelse med fuktbufring og kalles sorpsjonsvarme.

Norsk Treteknisk Institutt undersøkte overflatetemperaturen til en eksponert gran-overflate under ulike inneklimateforhold, og sammenliknet den med en tildekket granoverflate [65]. Resultatene viste at overflatetemperaturen til den eksponerte granoverflaten økte med 2,1 °C på grunn av fuktabsorpsjon, mens referanseprøven bare økte med 0,9 °C.

## Energibesparelser knyttet til hygriske og termiske forhold

Hygroskopiske materialer, som tre, har potensialet til å påvirke energiforbruket om det kombineres med fuktighetsregulert ventilasjon [58]. Denne positive påvirkningen på energiytelsen er begrenset. Effekten fra sorpsjonsvarme som frigis kan redusere energibruk tilknyttet oppvarming og nedkjøling av et bygg. Fuktbufring gjør at ventilasjonsraten kan reduseres når bygget er i bruk dersom den er styrt basert på relativ fuktighet, noe som fører til energisparing. Men dette kan igjen føre til høyere konsentrasjoner av CO<sub>2</sub> i luften og dermed lavere luftkvalitet [60].

En rapport om fuktbufring og energiinnvirkning [61] undersøkte energibesparelser i et soverom med hygroskopiske overflater, ved bruk av værdata fra byer i Finland, Belgia, Italia og Tyskland. De sammenliknet resultatene med et tilfelle uten hygroskopiske overflater. De deler energisparingen fra hygroskopiske materialer inn i direkte og indirekte besparelser. De direkte besparelsene fra sorpsjonsvarme gjør at det trengs mindre oppvarming og nedkjøling i en bygning. Simuleringsresultatene fra denne rapporten er vist i Figur 27. De potensielle direkte besparelsene er små for oppvarming (2 - 3 % av total oppvarmingsenergi), men større for nedkjøling (5 - 30 % av total nedkjølingsenergi). Disse resultatene krever integrering av hygroskopiske materialer og et velkontrollert ventilasjonssystem.

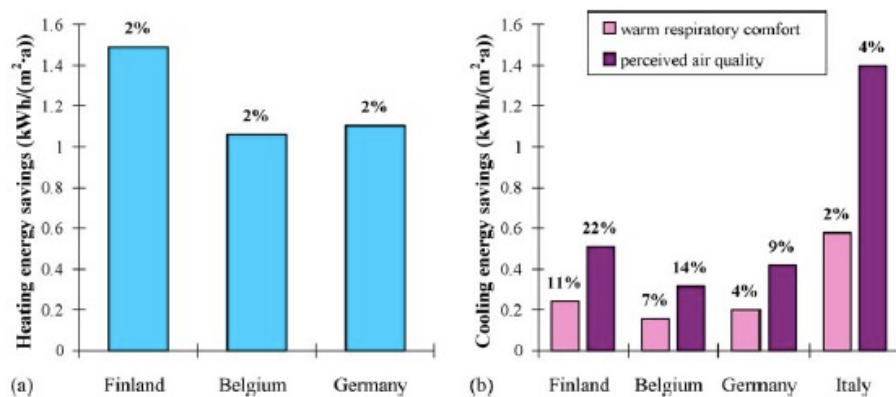


Figur 27. Potensielle direkte (a) oppvarmings- og (b) nedkjølingsenergisparring ved bruk av hygroskopiske materialer, grunnet sorpsjonsvarme. De prosentvise besparelsene er relative til den totale oppvarmings- og nedkjølingsenergien [61].

De indirekte besparelsene fra fuktbufringseffekten er definert som sparing ved å justere ventilasjonsraten og innetemperatur, samtidig som den oppfattede komforten og luftkvaliteten opprettholdes. Rapporten [61] tok for seg en reduksjon av ventilasjonsraten på 15 %. De potensielle indirekte besparelsene for oppvarmings- og nedkjølingsenergi på grunn av denne



reduksjonen er på 5 %. Det ble også undersøkt energibesparelsene ved justering av innetemperaturen på sommer- og vinterstid. Ved å la temperaturen være lavere om vinteren, men fortsatt opprettholde samme innendørs relativ fuktighet som i det ikke-hygroskopiske tilfellet, lå varmeenergibesparelsene rundt 2 %. Ved å la temperaturen øke på sommeren, samtidig som komfort og luftkvalitet som det ikke-hygroskopiske tilfellet ble opprettholdt, ble kjøleenergiforbruket redusert. I tilfellet hvor de fokuserte på å opprettholde komforten ble energiforbruket redusert med 2 – 10 %. Når luftkvaliteten var lik som i det ikke-hygroskopiske tilfellet ble energiforbruket redusert med 5 – 20 %. Resultatene er vist i Figur 28.



Figur 28. Eventuelle energibesparelser når temperaturen i det hygroskopiske tilfellet (a) senkes mens innendørs RF er lik som i det ikke-hygroskopiske tilfellet, og (b) økes mens komforten og oppfattet luftkvalitet er lik som i det ikke-hygroskopiske tilfellet [61].

Siden det kreves energi for å tørke ut de hygroskopiske materialene når bygningen ikke er i bruk, betraktes energibesparelsene i forhold til det totale energiforbruket. Dette omfatter både periodene bygningen er i bruk og ikke. Forsøkene og resultatene er basert på flere antagelser og forutsetninger. En av forutsetningene for de indirekte besparelsene er at det må benyttes et velkontrollert HVAC-system, helst styrt av den relative fuktigheten i luften. Det er anbefalt at den relative fuktigheten i et bygg er under 70 % på sommeren og 40 % på vinteren [66]. Relativ fuktighet er sjeldent lavere enn 20 % i skoler. Et fuktregulerende ventilasjonssystem vil holde den relative fuktigheten mellom de anbefalte verdiene. Ved å bruke et fuktbasert ventilasjonssystem sammen med hygroskopiske materialer, vil ventilasjonsraten reduseres i forhold til systemer basert på CO<sub>2</sub>-konsentrasjon og temperatur. Dette er fordi fuktreguleringen gjøres av de hygroskopiske materialene, og luften trengs derfor ikke å reguleres av ventilasjonssystemet. Denne rapporten, samt en annen rapport [67] som

omhandler samme tema, understreker kompleksiteten rundt denne prosessen og at temaet må forskes mer på. Tabell 6 viser en oversikt over de totale mulige besparelsene fra både direkte og indirekte besparelser.

*Tabell 6. Potensiell reduksjon i det totale forbruket av oppvarmings- og nedkjølingsenergi ved bruk av hygroskopiske materialer, grunnet fuktbufring (Oversatt fra engelsk fra tabell i [61]).*

	<b>Oppvarming</b>	<b>Nedkjøling</b>
<b>Direkte energibesparelser</b>		
Optimalisert kontroll av HVAC system	2-3 %	5-30 %
Ingen kontroll av HVAC system	0 %	0-20 %
Reduksjon av energibehov	0 %	10-30 %
<b>Indirekte energibesparelser</b>		
Redusert ventilasjonsrate	5 %	5 %
Endret temperatur innendørs	2 %	2-10 % (opprettholdt komfort) 5-20 % (opprettholdt oppfattet luftkvalitet)

### 3 METODER

Metode er en sentral del av prosessen i en rapport og det er viktig å velge en metode som kan belyse problemstillingen best mulig. Metode er det redskapet som brukes for å løse problemer og komme frem til ny kunnskap [68].

For å besvare den valgte problemstillingen i denne oppgaven er det benyttet en kombinasjon av kvalitative og kvantitative metoder. Kvalitative metoder er benyttet ved intervjuer, samtaler og mailer med de to entreprenørene og andre aktuelle aktører. Ut i fra dette har vi fått vite hvordan CLT har blitt brukt i skolene og hvilke erfaringer de har fått av å bygge med CLT. Denne informasjonen har blitt sett i forhold til forskrifter og standarder. Kvantitative metoder er brukt for å gjennomføre beregninger i deler av en livssyklusanalyse, samt hygrotermiske beregninger i et simuleringsverktøy i forhold til en inneklimatesting av et område på Bjørkelangen skole.

#### 3.1 Vurdering av krav i forhold til brann

Ved brannteknisk prosjektering legges Byggteknisk forskrift til plan- og bygningsloven – 2010 (TEK10) [57] og Veiledning til byggteknisk forskrift til plan- og bygningsloven – 2010 (VTEK10) [57] til grunn. TEK10 stiller krav i forhold til sikkerhet ved brann. Regelverket er funksjonsbasert, det vil si at man fritt kan velge materialer og utførelse så lenge kravene i forskriften oppfylles. Kravene i forskriften omhandler de grunnleggende funksjonene bæreevne (R), integritet (E) og isolering (I), som sammen forkortes REI. Myndighetene stiller i svært liten grad krav til løs innredning og inventar. Dette har imidlertid vesentlig betydning for initieringsfasen i en brann.

#### Gjeldende Byggteknisk forskrift (TEK10)

Preaksepterte ytelser for overflater og kledninger (TEK10 § 11-9) [57]:

- Innvendige overflater og kledninger på vegger og i himling/tak i brannceller mindre enn 200 m<sup>2</sup> skal minimum tilfredsstillende henholdsvis D-s2,d0 [In 2] og K<sub>2</sub>10 D-s2,d0 [K2].
- Innvendige overflater og kledninger på vegger og i himling/tak i brannceller større enn 200 m<sup>2</sup> skal tilfredsstillende henholdsvis D-s2,d0 [In 2] og K<sub>2</sub>10 D-s2,d0 [K2].
- Overflate og kledning på vegger og i himling/tak i trapperom og rømningsveier skal tilfredsstillende henholdsvis D-s2,d0 [In 2] og K<sub>2</sub>10 D-s2,d0 [K2].
- Overflate på gulv i rømningsvei skal tilfredsstillende D<sub>fl</sub>-s1 [G].
- Isolasjon skal tilfredsstillende A2,s1-d0
- Overflate på ytterkledning skal tilfredsstillende D-s3,d0 [Ut2]

## **Massivtre og brann**

For å bestemme brannmotstand i et massivtreelement benyttes Eurokode 5 [69]. Revidert versjon er forventet å komme nærmere 2020. Foreløpig baseres brannmotstanden til massivtre på limtre, med noen tilpasninger for CLT. Hver enkelt produsent oppgir innbrenningshastighet, innbrenningsdybde, resttversnitt, oppbygning av elementet i form av sjikt, retning og tykkelse, samt fasthetsegenskaper må også legges til grunn for å bestemme brannmotstanden [28].

Det kan benyttes massivtreelementer i gulv, vegger og tak for brannceller inntil 200 m<sup>2</sup> som ikke er rømningsvei. Er branncellene over 200 m<sup>2</sup> kan eksponerte massivtreelementer brukes som gulv, men brannimpregnert trevirke må benyttes i vegger og tak. For rømningsveier i brannklasse 3 gjelder det samme som for brannceller over 200 m<sup>2</sup> [57].

Et laboratorieforsøk [27] utført av Norsk Treteknisk Institutt dokumenterer at en etasjeskiller i krysslangt massivtre bestående av 5 sjikt (160 mm) med eksponert massivtre på over- og underside tilfredsstiller kravene til REI90. Temperaturen på hver side av etasjeskilleren i forsøket var etter en 90 minutters standard brannpåkjenning på 1000 °C og 20 °C, henholdsvis i brannområdet under etasjeskilleren og kald ueksponert side over. Dette skyldes treets lave varmegjennomgang. Det forkullede laget som oppstår på undersiden av etasjeskilleren har enda lavere varmeledningsevne enn tre (ca. 0,07 W/m°C for kull [27] og 0,12 W/m°C for tre [70]). Dette laget beskytter og isolerer det upåvirkede trevirket i etasjeskilleren. Massivtreelementer har derfor gode egenskaper med hensyn til isolasjon og integritet. Forsøk har vist at brannforløpet hele tiden følger en standard tid/temperaturkurve i henhold til Eurocode 1 [71], uavhengig av om det er eksponert massivtre eller massivtre med gipsplater utenpå [72]. Gipsplatenes innvirkning på brannmotstanden til massivtreelementet har derimot betydning, fordi det forsinker at overflatetemperaturen blir 300 °C slik at forkullingsprosessen starter.

## **Fremtidens byggtekniske forskrift (TEK17)**

Forutsatt at det installeres et automatisk sprinkelanlegg, blir det foreslått i kommende TEK17 [73] at vegger i brannceller over 200 m<sup>2</sup> kan ha samme krav til ytelse som brannceller inntil 200 m<sup>2</sup>. Dette forslaget gir mulighet for økt bruk av trematerialer i og med at ytelsen til innvendig overflate og kledning reduseres. Økt bruk av trematerialer kan igjen ha positiv effekt på CO<sub>2</sub>-regnskapet.

## 3.2 Lyd

TEK10 (§13-6 til §13-12) [57] angir krav som skal beskytte brukerne av en bygning mot støy- og vibrasjons-plager. Det legges særlig vekt på å tilfredsstille lydforhold ved arbeid, søvn og hvile. I NS 8175:2012 [40] er det angitt grenseverdier for lydklasse A til D for ulike bygningstyper. Klasse A har de strengeste kravene og klasse D har de mildeste. Grenseverdiene bestemmes av type rom og er avhengig av rommenes bruksområder. Standarden angir verdier for luftlydisolasjon, trinnlydisolasjon, etterklangstid, samt støy fra tekniske installasjoner og utendørs kilder.

Kapittel 7 i NS 8175:2012 [40] viser verdier for skolebygg og bygninger til undervisningsformål. Tabell 7, 8 og 9 viser noen grenseverdier fra standarden. Det vil ikke bli listet opp alle krav, men strenge krav og gjentakende bygningsdeler vil bli gjennomgått. I tillegg vil det bli sett på krav som omhandler massivtreets egenskaper. Støy fra tekniske installasjoner og utendørs kilder blir ikke gjennomgått. Klasse C angir laveste godkjente grenseverdi for lydklasser for TEK10 § 13-6 [57], og det er disse som angis i tabellene. (Merk: Revisjon av NS 8175 startet i 2015, og er planlagt å vare i 3 år) [74].

Tabell 7. Laveste grenseverdi for luftlydisolasjon i ulike rom i henhold til NS 8175 [40].

Område	Luftlydisolasjon ( $R'_w$ ) i dB
Mellom undervisningsrom uten dørforbindelse	48
Mellom undervisningsrom og fellesgang/korridor med dørforbindelse	35
Mellom musikkrom/kroppsøvingsrom/andre rom for støyende aktiviteter og undervisningsrom/personalrom	60
Mellom musikkrom/kroppsøvingsrom/andre rom for støyende aktiviteter og gang/korridor med dørforbindelse	50
Mellom elektrisk forsterket musikkrom eller slagverksrom og undervisningsrom ol.	70

Tabell 8. Høyeste grenseverdi for trinnlydisolasjon i ulike rom i henhold til NS 8175 [40].

Område	Trinnlydisolasjon ( $L'_{n,w}$ ) i dB
Mellom undervisningsrom	63
Mellom undervisningsrom og fellesgang/korridor	58
Mellom spesialrom som musikkrom, kroppsøvningsrom eller sløydrom og undervisningsrom	53
Mellom større undervisningsrom eller auditorium og undervisningsrom	48

Tabell 9. Høyeste grenseverdi for etterklangstid i ulike rom i henhold til NS 8175 [40].

Område	Etterklangstid (T) i sekunder
Undervisningsrom, sløydrom og møterom	0,5
Trapperom	0,8
Større undervisningsrom/Auditorier	0,20×høyde

Det er viktig å ta i betraktning at feltmålte og laboratoriemålte verdier ikke alltid gir samme resultat. For eksempel betegnes laboratoriemålt luftlydisolasjon med  $R_w$ , men feltmålt verdi betegnes med  $R'_w$ . Dette er ofte på grunn av lydoverføring og utettheter. Standarden angir krav for feltmålte verdier. Verdien skal gjelde for hele konstruksjonsdelen. Dersom veggene har en dørforbindelse, er det viktig at dette prosjekteres for. Trinnlyd overholdes som regel på grunn av de strenge kravene til luftlyd, ifølge NS 8175:2012 [40].

Tiltak for å sikre lydkrav vil være en blanding av løsninger. For eksempel vil isolasjon mot luftlyd også ha innvirkning på trinnlydisolasjonen. Det vil være av entreprenørens interesse å finne de løsningene som ivaretar kravene på den mest effektive måten.

### 3.3 Livssyklusanalyse

For å ta med det biogene karboninnholdet i LCA anbefales det at analysen minimum omfatter A1 - A3 og C1 - C4 [42]. Analysen som gjennomføres i denne oppgaven tar kun for seg fasene A1 - A4 og derfor har det biogene karbonet som tas opp i trevirket ikke blitt inkludert.

Både LCA og EPD er basert på internasjonale standarder. Dette er blant annet ISO 14040-14044, ISO-standarden 14025 Environmental Labels and Declarations Type III og ISO 14020 (Miljømerker og deklarasjoner - Generelle prinsipper).

### **3.3.1 Fremgangsmåte**

#### **Produktfasen (fase A1 - A3)**

Fasen A1 til A3 tar for seg forvaltning av råmateriale, transport til fabrikk og produksjon på fabrikk. For å regne ut hvor mye CO<sub>2</sub> som slippes ut i de tre første fasene av LCA, er det benyttet et Excel-dokument (Figur 29). Merk at kolonne J og K ignoreres i denne oppgaven. Dette dokumentet er basert på Ecoinvent v3.3 og EPD Norge. Disse databasene legger grunnlaget for informasjon om produktene som brukes i livsløpsanalysen. Nederst i dokumentet er det flere faner. Den første fanen viser alle fasene i en LCA og viser hvilke faser den aktuelle analysen omfatter. Andre fane viser et sammendrag av alle utregningene i dokumentet, altså resultatet. Resultatene vises for hver bygningsdel i forhold til NS 3451:2009 [75] og for hver livssyklusmodul i forhold til NS-EN15804:2012 [76]. De resterende fanene representerer ulike bygningsdeler, deriblant bærekonstruksjon, yttervegger, innervegger og etasjeskiller. I disse fanene legges informasjon inn og beregninger utføres. Den utførte livssyklusanalysen i denne rapporten omfatter fanene:

*22 Superstructure*

*23 Outer walls*

*24 Inner walls*

*25 Floor structure*

Ved å velge et materiale fra kolonne A i en av disse fanene, dukker det opp alternativer for produkter i kolonne B, samt referansenummer for produktet i EPD Norges database i kolonne C. For produktene som ligger inne i databasen kommer utslippsfaktor i kolonne G, samt annen informasjon automatisk opp i dokumentet i kolonne D og F. For de produktene som ikke har registrert en EPD i EPD-Norges database, må all informasjonen fylles inn manuelt. De fleste produkter har EPD-er på produsentens nettside.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	22 Superstructure						A1 - A3			B4				
2	MATERIAL CATEGORY	PRODUCT	REFERENCE	UNIT	AMOUNT	Estimated Service Lifetime	Emission Factor	EE kgCO <sub>2</sub> eq		Lifetime Factor	EE kgCO <sub>2</sub> eq		Area (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
3														
4	ChooseCategory	Choose Product	blank	blank	0,00	60	0,0	0,00		0	0			
5	ChooseCategory	Choose Product	blank	blank	0,00	60	0,0	0,00		0	0			
6	ChooseCategory	Choose Product	blank	blank	0,00	60	0,0	0,00		0	0			
7														
8							A1 - A3	0,00		B4	0,00			
9							per FU	0,00		per FU	0,00			

Figur 29. Utklipp fra Excel-dokument som viser oppsettet for LCA-beregningene, her med eksempel fra fane 22 Superstructure.

For å finne hvor mye CO<sub>2eq</sub> hvert produkt slipper ut multipliseres mengden av produktet, *Amount*, med utslippsfaktoren til materialet (GWP) i kolonne G. Denne utslippsfaktoren finnes i EPD-en til produktet og forteller hvor mye CO<sub>2eq</sub> som slippes ut per kilogram, kvadratmeter eller kubikkmeter materiale. Hvilken enhet av produktet som utslippsfaktoren relaterer til kommer automatisk opp i kolonne D for de produktene som ligger inne i databasen. For de som legges inn manuelt, finnes denne enheten i EPD-ene, ofte omtalt som deklarerert enhet. Siden enheten utslippsfaktoren relaterer til varierer fra produkt til produkt, representerer mengden av produktet, *Amount* i kolonne E, ulike ting. For de produktene som har enhet kilogram, fylles vekten av produktet inn som *Amount*. For produktene hvor utslippsfaktoren relaterer til kvadratmeter, er det arealet av produktet som er *Amount*. Arealet ble funnet fra IFC-filer og opplysninger fra entreprenører. Dersom utslippsfaktoren relaterer til kubikkmeter, fylles volumet av produktet inn som *Amount*. Ved å gange mengden med den aktuelle utslippsfaktorene fremkommer det totale utslippet av CO<sub>2eq</sub> for den mengden av produktet som er brukt, gitt i kolonne H. Denne utregningen gjøres for alle produktene og verdiene summeres for å gi totalt utslipp CO<sub>2eq</sub> for hele bygningen i kolonne H, ved A1 - A3, som i følgende likning (3.1):

$$Utslipp CO_{2eq} = Amount \times GWP \quad (3.1)$$

### Transport (fase A4)

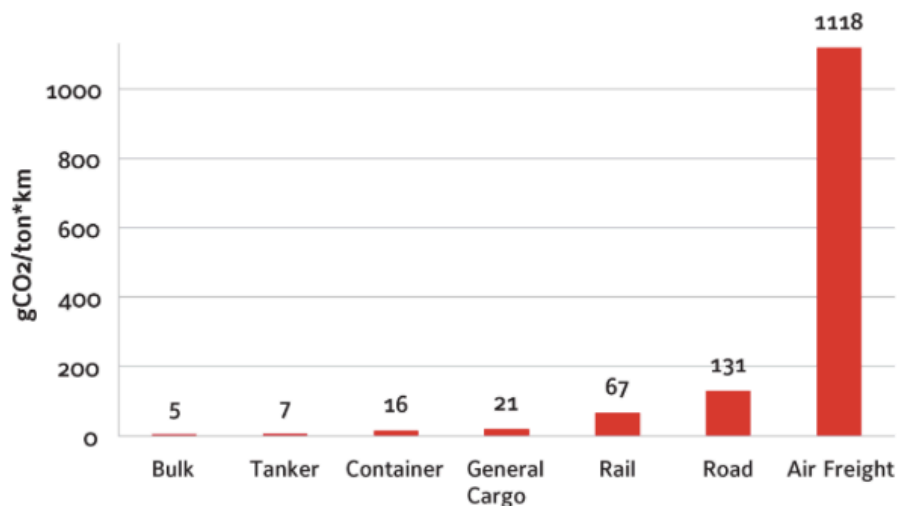
Fase A4, transport, ble regnet ut i et eget Excel-dokument. For å regne ut utslipp ved transport fra fabrikk til byggeplass er tre opplysninger nødvendig. En utslippsfaktor for det valgte transportmiddelet, avstanden materialet transporteres og vekten av produktet. Tykkelse, tetthet og arealet av et produkt benyttes for å regne ut vekten til produktet. Tykkelse og tetthet finnes i EPD-en til produktet. Arealet ble funnet fra IFC-filer og opplysninger fra



entreprenørene. Disse tre verdiene ganges sammen for å finne vekten av produktet. Det er brukt tykkelse i meter, areal i kvadratmeter og tetthet i kilogram per kubikkmeter, noe som gir vekten i enheten kilogram. Vekten må gjøres om til tonn fordi utslippsfaktoren gjelder utslipp av CO<sub>2eq</sub> for 1 tonn produkt transportert 1 km. Vekt kan beregnes med likning (3.2):

$$Vekt = Tykkelse \times Tetthet \times Areal \quad (3.2)$$

Utslippsfaktoren fra transport varierer i forhold til hvilket transportmiddel som brukes. Det er antatt at alle materialene som er valgt i denne livsløpsanalysen transporteres med lastebil. Unntaket er CLT-elementene som fraktes med båt og lastebil til Bjørkelangen, og på tog til Kongsvinger. Utslippsfaktoren for lastebil er hentet fra Ecoinvent v2.2, som er en eldre versjon av databasen som produktfasen er basert på, Ecoinvent v3.3. Det ble valgt en verdi fra en gammel versjon grunnet mangel på informasjon om faktoren. Basert på kilder som hevder at båt slipper ut seks ganger mindre CO<sub>2</sub> enn lastebil, antas det at utslippsfaktoren for båt er en sjettedel av utslippsfaktoren for lastebil [77], som vist i Figur 30. Det samme gjelder utslippsfaktoren for tog, som ifølge Figur 30 slipper ut omtrent halvparten så mye CO<sub>2</sub> forhold til lastebil.



Figur 30. CO<sub>2</sub>-utslipp under transportarbeid [77].

Avstanden produktet fraktes og informasjon om produksjonssted er hentet fra EPD-ene. De fleste av avstandene er funnet ved å legge inn adressen til fabrikken og byggeplassen på Google Maps. Noen EPD-er oppgir ikke produksjonssted, men oppgir i stedet en

gjennomsnittsavstand som produktet vanligvis fraktes. I slike tilfeller har denne avstanden blitt benyttet. Disse tre verdiene ganges sammen for å finne kg CO<sub>2eq</sub> sluppet ut ved transport, som vist i likning (3.3):

$$Utslipp CO_{2eq} = Vekt \times Avstand \times GWP \quad (3.3)$$

### 3.3.2 LCA scenarioer

Det ble utført to scenarioer av LCA:

- 1) Tre (slik den faktisk ble bygget)
- 2) Betong og stål (realistisk forslag til hvordan skolen kunne blitt bygget dersom det ikke var krav om bruk av tre)

Kun bygningsdeler som antas å ha ulik oppbygning i de to scenarioene ble vurdert i LCA. I dette tilfellet omfatter det de bygningsdelene der det ble benyttet CLT eller limtre, det vil si yttervegger, innervegger, etasjeskiller og søyler.

#### Scenario 1 – Tre

Antall limtredragere og –søyler ble funnet i IFC-filer og summert manuelt. Dimensjoner var oppgitt i IFC-filene.

Arealet av ytterveggene er regnet ut fra en IFC-fil og summert manuelt. Veggarealet er derfor ikke eksakt, men et realistisk estimat. Siden dette ble gjort manuelt, kan det ha oppstått regnefeil. Ytterveggene har flere ulike oppbygninger, men det er antatt generelle oppbygninger i LCA. De generelle oppbygningene er basert på informasjon funnet i IFC-fil, informasjon fra entreprenør samt ulike byggerapporter. Det har benyttet tilsvarende produkter i de tilfeller hvor spesifikke produkter ikke finnes i EPD Norges database. Noen tykkelser og materialer er antatt, basert på tilgjengelighet i databasen til EPD Norge og andre tilgjengelige EPD-er.

Kun innervegger av CLT ble inkludert i LCA. Omtrentlig areal av innerveggene i massivtre ble oppgitt fra entreprenør. Det ble også oppgitt generell oppbygning av veggene. Alle andre vegger antas å være av bindingsverk, og ble ikke inkludert i LCA. Det er antatt 73 x 36 påføring, med stendere i senteravstand 600 mm.

Arealet av grunnflaten og gulvareal i etasjeskiller er regnet ut fra plantegninger og IFC-fil. Gulvavrettingen som benyttes oppga verdier i EPD basert på tykkelse 20 mm. I gulvet skal det benyttes tykkelse 40 mm avretting og derfor er GWP-verdien ganget med to.

### **Særskilt for Bjørkelangen**

Noe av ytterveggene i flerbrukshallen er kledd innvendig med trespilekledning. Alle andre yttervegger av CLT antas å har eksponert massivtre innvendig. Disse antagelsene er gjort på bakgrunn av tegninger mottatt på mail fra prosjektleder for massivtre, Jørgen Tycho. Utvendig kledning er oppgitt som malmfuru fra entreprenør. Det fantes ingen EPD på et slikt produkt, og det ble derfor valgt varmebehandlet furukledning.

Det er antatt at alle innervegger av CLT har én side eksponert og én side med påfôret bindingsverk med gips som kledning.

Oppbygningen av etasjeskilleren i CLT er hentet fra lyd rapporten om skolen. Gulvbelegget varierer fra de ulike rommene. Det er brukt fem ulike gulvbelegg, men det ble antatt bruk av linoleum på alle gulvflater.

### **Særskilt for Kongsvinger**

Idrettshallen som fremkommer av IFC-filen for RIB er ikke tatt med i LCA. Grunnen er at ARK IFC-filen, som det er tatt utgangspunkt i, ikke inkluderte idrettshallen. Det ble antatt at alle yttervegger av CLT hadde gips som innvendig kledning. Alle etasjeskillere ble antatt å ha avretting som overflate.

### **Scenario 2 – Betong og stål**

For å gjøre om bygget fra CLT som bærekonstruksjon til et bygg med betong og stål, ble det antatt betonghulldekker, stålsøyler/bjelker og bindingsverksvegger. Det fantes en IFC-fil som viste bærekonstruksjon for skolen i Kongsvinger da den var planlagt å bli bygget med limtresøyler og massivtredekker. En tilsvarende fil fantes ikke for Bjørkelangen. Med utgangspunkt i denne filen ble antall søyler og bjelker summert manuelt. Dette antallet limtrebjelker og –søyler ble valgt som antallet stålsøyler/bjelker. Mengde stål på Bjørkelangen ble regnet ut ved prosentregning av størrelsesforholdet på de to skolene. Valget av stålbjelker/søyler ble gjort ut fra ståltabeller [78] hvor også kilogram stål per meter ble oppgitt. Mengden med stål, antall bjelker og søyler, ble gjort om til antall meter stål, og ble multiplisert med massen for å finne antall kilogram stål benyttet. Alle stålsøyler ble valgt som HUP 200 x 200 x 6,3 med masse lik 37,8 kg/m. Stålbjelkene i skolebygningen ble valgt som IPE 300 med masse lik 42,2 kg/m. Mengden stål som ble benyttet her vil ikke være helt representativt for hvordan det ville blitt bygget i virkeligheten. Både stålbjelkene og betonghulldekket som erstatter de opprinnelige limtrebjelkene og massivtredekke, har større

bæreevne. Det betyr at det ville blitt brukt mindre stål enn hva som er antatt i denne beregningen.

Med hjelp fra Ø.M. Fjeld ble det valgt en oppbygning av ytterveggene som ikke-bærende bindingsverksvegger. Videre ble det antatt bindingsverk med stendere 198 x 48 og utlekting 48 x 48, med senteravstand cc 600 mm. Hulrommene ble antatt fylt med 200 + 50 mm glassull. Utvendig og innvendig kledning ble beholdt fra bygningen i massivtre, men der det før var eksponert massivtre ble det nå overflater av gips.

Alle innervegger av CLT ble gjort om til ikke-bærende bindingsverksvegger med stendere 73x36 og senteravstand cc600 mm. Hulrommene fylt med 70 mm glassull. Veggene ble dekket med to lag gips på hver side.

Etasjeskilleren av CLT ble byttet ut med betonghulldekker med tykkelse 320 mm. Videre oppbygning av etasjeskilleren ble antatt basert på eksempler funnet i bøker og rapporter.

### **Særskilt for Bjørkelangen**

Stålbjerkene som skulle erstatte limtredegerne i flerbrukshallen ble valgt som fagverk i stål. Bjelketype valgt var HUP 300 x 300 x 10 med masse lik 89,9 kg/m. Det ble antatt samme høyde på stålbjerkene som de i limtre. I realiteten kunne de nok vært litt mindre siden stål har større bæreevne.

### **Særskilt for Kongsvinger**

På grunn av usikkerhet om idrettshallen skulle omfattes i prosjektet ble den ikke vurdert i LCA.

## **3.4 Luft- og damptetthet og termiske egenskaper**

### **Vanndampmotstand**

SINTEF Byggforsk anbefaler dampspærre på varm side av isolasjonen av tre, for å opprettholde damptettheten i konstruksjonen [79].

SINTEF Byggforsk anbefaler en vanndampmotstand som tilsvarer en ekvivalent luftlagstykkelse,  $S_d > 10$  m på innvendig side av bygningselementet [80]. Størrelsen kan beregnes ut fra vanndampmotstandsfaktoren,  $\mu$  og den aktuelle materialtykkelsen,  $d$ , som vist i likning (3.4):

$$S_d = \mu \times d \quad (3.4)$$

Vanndampmotstandsfaktoren er en dimensjonsløs størrelse som beregnes ut fra vanndamppermeabiliteten til luft dividert på materialets vanndamppermeabilitet. Massivtre har en vanndampmotstandsfaktor lik 200.

### Varmemotstand og lufttetthet

TEK10 § 14-2 og § 14-3 stiller krav og minimumskrav til energieffektivitet og lekkasjetall [57]. Bjørkelangen skole skal holde passivhusnivå og dette vil i praksis si at det plukkes ut enkelte krav fra passivhusstandarden som skal overholdes. Det har i enkelte tilfeller oppstått fravik fra standarden. Disse tilfellene har da blitt behandlet og godkjent på andre måter.

I henhold til gjeldene versjon av TEK10 § 14-2 [57] er energikravet for et helt år 110 kWh/m<sup>2</sup> for skolebygninger. For å opprettholde dette kravet må minstekrav fra NS 3031 [81] og NS 3701 [82] følges. Siden prosjekteringen Bjørkelangen skole startet før revideringen av TEK10 i 2015, er minstekravene som gjelder vist i Tabell 10. Den samlede U-verdien for alle ytterveggene på Bjørkelangen skal være maksimalt 0,15 W/(m<sup>2</sup>K).

Tabell 10. Minstekrav for U-verdi og lekkasjetall (Fra TEK10 før 2015 [57])

U-verdi yttervegg [W/(m <sup>2</sup> K)]	U-verdi tak [W/(m <sup>2</sup> K)]	U-verdi gulv på grunn og mot det fri [W/(m <sup>2</sup> K)]	U-verdi vindu og dør, inkludert karm/ramme [W/(m <sup>2</sup> K)]	Lekkasjetall ved 50 Pa trykkforskjell (luftveksling per time)
≤ 0,22	≤ 0,18	≤ 0,18	≤ 1,6	≤ 3,0

Konstruksjonenes U-verdi på Kongsvinger ungdomsskole skal beregnes etter gjeldende byggeforskrifter TEK10 (Mars 2016). Bygget skal minimum tilfredsstillende lavenerginivå for nybygg etter NS 3701 [82] (energibehov < 100 kWh/m<sup>2</sup>/år). Ø.M. Fjeld har presentert U-verdi for ytterveggene som 0,13 W/(m<sup>2</sup>K).

### 3.4.1 Energiberegninger

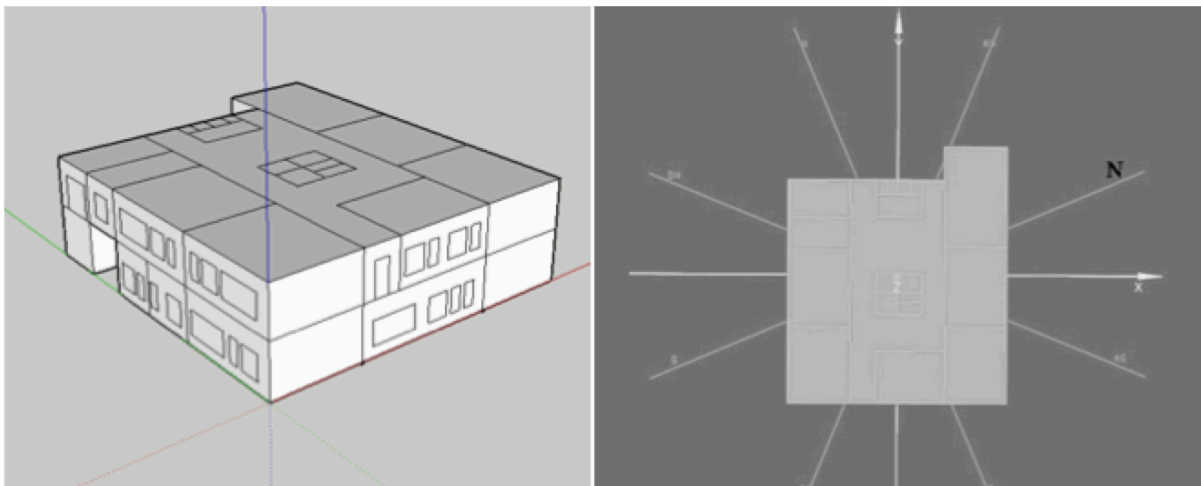
#### WUFI Plus

På grunn av at inn klima i skoler er spesielt viktig, ble det utført en simulering for å demonstrere trevirkets påvirkning på inn klimaet. For å finne hygrotermiske forhold i bygningen ble det brukt dataprogrammet WUFI Plus V.3.0.3.0. WUFI Plus er et verktøy som

simulerer de hygrotermiske forholdene i en bygningskomponent i tillegg til inneklimate. Det benytter informasjon som elementtyper og oppbygning, faktorer knyttet til VVS, utendørsklima, grad av okkupasjon, i tillegg til krav til temperatur, CO<sub>2</sub>-konsentrasjon og relativ fuktighet. Sammen med informasjon om bygningsgeometrien kan dette blant annet gi resultater om energibehov knyttet til oppvarming og kjøling, samt fuktighets- og avfuktningsbehovet. Med utgangspunkt i disse resultatene er det mulig si noe om blant annet fuktbufferkapasiteten og latent varme i bygningen.

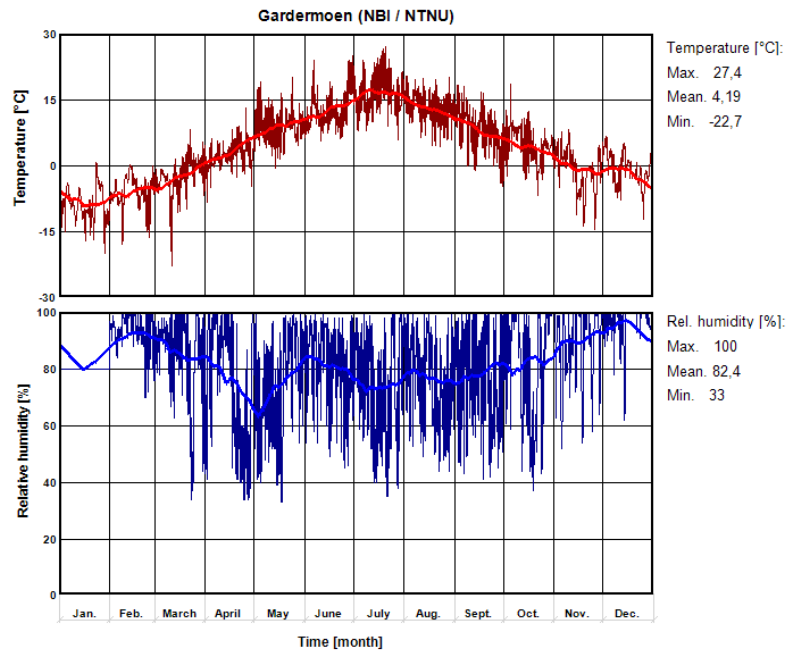
### Gjennomføring

En modell ble laget med utgangspunkt i kontrollområde 4 på Bjørkelangen skole. Det ville vært svært tidkrevende å modellere hele skolen. Som følge av en gunstig geometri, ble simuleringen i WUFI Plus kun gjort for ett kontrollområde med antakelser om at resultatet ville vært tilsvarende i kontrollområdene 5, 6 og 7. Bygningsgeometrien er reell for skolen og er modellert i programmet Google Sketchup (Figur 31 a). Lokaliseringen er satt til Gardermoen fordi dette var det nærmeste mulige alternativet i WUFI Plus, og gir et tilnærmet likt klima (innlandsklima på Østlandet). Det er antatt at nordretningen er rotert 23 ° mot klokken i forhold til X-aksen (Figur 31 b).

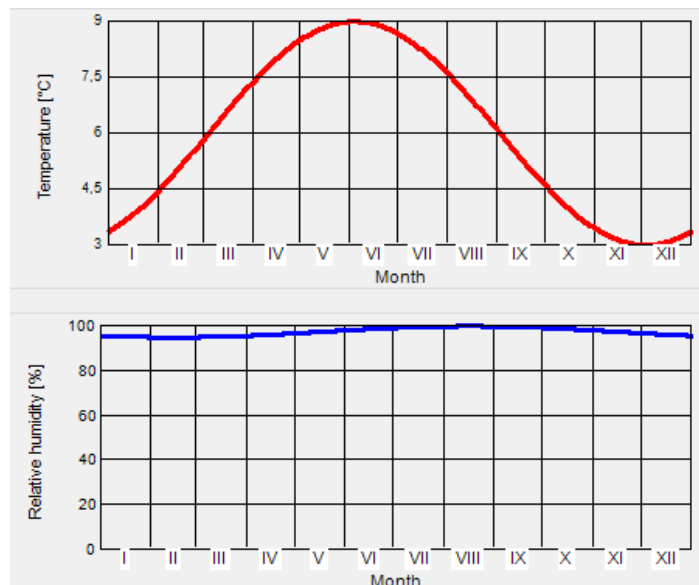


Figur 31 a og b. Figur a) viser kontrollområde 4 (Skjerm bilde fra Google Sketchup) og Figur b) viser bygningens orientering (Skjerm bilde fra WUFI Plus)

Simuleringen er gjennomført i perioden fra 01.01.2017 - 01.01.2018. Klimadata for Gardermoen i denne perioden er vist i Figur 32. Verdier for klima i grunnen måtte defineres av bruker. Her er det gjort antakelser på en gjennomsnittstemperatur på 6°C, og gjennomsnittlig relativ fuktighet på 97,5 % (Figur 33).



Figur 32. Værdedata for Gardermoen (Skjermbilde fra WUFI Plus)



Figur 33. Klimadata for grunnen (Skjermbilde fra WUFI Plus)

Det er undersøkt to ulike scenarioer av bygningen. I scenario 1 er skolen bygget med bæresystem i massivtre og limtre, mens i scenario 2 er den bygget i betong (betonghulldekker, stålsøyler og bindingsverksvegger). Scenario 2 for betong, er bygget opp med utgangspunkt i LCA. Alle materialer er hentet fra WUFI sin database. U-verdiene til vinduer er antatt å ha en samlet verdi på  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ , men dette vil ikke ha noen betydning fordi dette er tilsvarende for begge scenarioene. I tillegg er grunnen og taket bygget opp på lik måte, så dette vil heller ikke ha betydning. Ytterveggene er ikke bygget opp på samme måte, men de er gitt dimensjoner for å gi lik U-verdi ( $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ ). Himlingen for begge scenarioene er av gips, fordi det ikke fantes riktig type himling i WUFI Plus sin database. Veggene som er festet til resten av skolen betraktes som innervegg, og har ikke varmetap.

Ved valg av data ble det brukt verdier beregnet eller hentet fra NS3031:2014 [81]: Beregninger av bygningers energiytelse, og NS-EN 15251:2007+NA:2014 [83]: Inneklimaparametere for dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse inkludert inneluftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk. Noen av verdiene er antakelser og tilnærminger.

### **Scenarioer**

For scenario 1 er alle innerveggene bygget opp på samme måte, og har én side eksponert massivtre. I alle tilfeller er motsatt side dekket med gips. Alle ytterveggene har eksponert massivtre på innsiden. Etasjeskilleren er i massivtre, men ikke eksponert. Oppbygningen skal på best mulig måte representere skolen slik den er virkeligheten. På grunn av manglende materialer i databasen til WUFI Plus vil ikke alle materialegenskapene være identiske til virkeligheten. Vedlegg 3 viser oppbygning.

Scenario 2 skiller seg fra scenario 1 med ulike yttervegger, innervegger og etasjeskiller. Yttervegger og innervegger er bygget opp som bindingsverksvegger. I etasjeskilleren er det benyttet hulldekker av betong der det opprinnelig var massivtre. Konstruksjonen er gjort mest mulig lik LCA. Vedlegg 4 viser oppbygning.

### **Inputdata**

Skolen er beregnet å være i bruk 10 timer om dagen, fra klokken 08:00 - 18:00, 5 dager i uka, 44 uker i året. Uke 26 - 32 og 52 er utelatt [81]. Det valgte kontrollområdet er anslått å være i bruk for 150 personer, basert på antall klasserom. Ved valg av faktorer knyttet til påvirkning fra elevene ble det gjort et anslag basert på WUFI sin database for barn i alderen fra 3 - 6 år og barn i alderen fra 14 - 16 år. Kontrollområde 4 brukes av elever rundt alderen 10 - 12 år. Tabell 11 viser parametere som er brukt.



Tabell 11. Varme-, fukt-, og CO<sub>2</sub>-påvirkning pr person. Verdiene er basert på WUFI Plus sin database.

Varmekonveksjon [W]	Varmestråling [W]	Fukt [g/h]	CO <sub>2</sub> [g/h]	Aktivitetsnivå [met]
50	30	65	70	1,4

Tabell 12 viser hvilke grenser som er satt for innendørs forhold. Tallene er hentet fra og beregnet fra tabell A.2, B.4 og B.6 i NS-EN 15251:2007+NA:2014 [83].

Tabell 12. Grenser for innendørs forhold NS-EN 15251:2007+NA:2014 [83].

	I brukstid		Utenfor brukstid	
	Min.	Max	Min	Max
Temperatur [°C]	21	26	19	26
Relativ fuktighet [%]	25	60	25	60
CO <sub>2</sub> konsentrasjon [ppmv]	-	900	-	900

En forutsetning ved simuleringen er at det ikke er tatt hensyn til naturlig ventilasjon fra vinduer eller dører. Infiltrasjonen er beregnet til 0,03 ved hjelp av likningen [84] (3.5):

$$\frac{ACH_{50}}{N} \quad (3.5)$$

Hvor:

$ACH_{50}$ : Lekkasjetall ved 50 Pa = 0,6 [81] (For passivhusnivå)

$$N = C \times H \times S \times L \quad (3.6)$$

Hvor:

$C$  = Klimafaktor = 18

$H$  = Høydekorreksjonsfaktor = 0,8

$S$  = Vindskjermingskorreksjonsfaktor = 1,0

$L$  = Lekasjekorreksjonsfaktor = 1,4

(Alle verdier er beregnet fra [84])

Ved bruk av likning (3.5) og (3.6) gir dette likning (3.7):

$$\frac{ACH_{50}}{N} = \frac{0,6}{18 \times 0,8 \times 1,0 \times 1,4} \approx 0,03 \quad (3.7)$$

Mekanisk ventilasjon er beregnet med hensyn på antall kvadratmeter for bygningsdelen. Ved tabell A.6 i NS3031:2014 [81], som vist under, er kontrollområdets luftutskiftningsbehov beregnet å være 2509,6 m<sup>3</sup>/h utenfor brukstiden. I kontrollområdets brukstid er behovet beregnet å være 12548 m<sup>3</sup>/h.

Luftutskiftningsbehov utenfor driftstid fås ved likning (3.8):

$$\frac{10m^3}{h \times m^2} = 2 \times 1254,8m^2 \frac{m^3}{h \times m^2} = \frac{2509,6m^3}{h} \quad (3.8)$$

Likning (3.9) gir luftutskiftningsbehovet i driftstid:

$$\frac{10m^3}{h \times m^2} = 10 \times 1254,8m^2 \frac{m^3}{h \times m^2} = \frac{12548m^3}{h} \quad (3.9)$$

Egenskapene til HVAC-systemet er ikke realistiske, men er satt til en høy verdi fordi det antas at skolens ventilasjonssystem kan overholde grensene som er satt. Målet ved simuleringen er ikke å kontrollere om skolens ventilasjonssystem er godt nok, men forhåpentligvis å kunne vise noe om treets egenskaper.

Startverdiene er satt opp etter mest mulig realistiske nivåer, som vil være representativt for resten av perioden. Følgende startverdier er valgt:

- Temperatur: 20 °C
- Relativ fuktighet: 55 %
- ppmv: 400 [85]

### Simuleringer

Det ble gjennomført 2 simuleringer for de to scenarioene. Tabell 13 viser de ulike simuleringene og egenskapene til ventilasjonssystemet. Fra Figur 32 kan det antas at temperaturen ikke overskrider maksgrensen for inneluft på 26°C særlig mange dager i året. Derfor er enhet for nedkjøling utelatt. Oppvarming vil være nødvendig. Forskjellen på simulering A og B er at fuktinnholdet i simulering B ikke reguleres av ventilasjonssystemet. Dette vil ikke være realistisk, men det kan være interessant å se om det blir en forskjell i innendørs relativ fuktighet.

Tabell 13. Oversikt over de to simuleringene og ventilasjonssystemets egenskaper.

Simulering	Oppvarming	Kjøling	Befuktning	Avfuktning	Ventilasjonskontroll
<b>A</b>	Ja	Nei	Ja	Ja	CO <sub>2</sub>
<b>B</b>	Ja	Nei	Nei	Nei	CO <sub>2</sub>

### 3.5 Refleksjon og kvalitetssikring

Oppfatninger knyttet til massivtre er i stor grad påvirket av enkeltpersoners vurderinger og tolkninger, og dermed vil resultatene samlet inn om skolene også bli påvirket av dette. De innsamlede opplysningene og resultatene er begrenset til å gjelde bygging av skoler med CLT. Resultatene fra LCA og WUFI Plus gjelder for de spesielle bygningene som er undersøkt, men det kan trekkes allmenngyldige konklusjoner basert på resultatene.

Mange av verdiene benyttet i LCA er lagt sammen manuelt, noe som muliggjør regnefeil og unøyaktighet. Ved LCA er det gjort forutsetninger og antagelser som fraviker fra bygningenes virkelige oppbygning. Dette er gjort med bakgrunn i den oppgitte informasjonen fra entreprenørene, tilgjengelighet i EPD Norges database og for å begrense omfanget av beregningene siden dette kun er en del av bacheloroppgaven. Scenarioene der byggene er bygget i betong og stål er en av mange mulige måter å bygge på. Valg av betong- og stålleverandør for disse scenarioene er valgt med hensyn på korteste transportavstand til byggeplass. Utrekningene har blitt gjort med veiledning fra Eirini Vogiatzi, praktikant ved HiOA, som tidligere har gjort en masteroppgave om LCA. De ansvarlige i gruppen for LCA har kontrollsjekket og gjort beregningene flere ganger.

I forhold til energiberegningene i programmet WUFI Plus tas det ikke med energibesparelser og beregninger tilknyttet latent varme. Verdier fra beregningene i programmet benyttes til å utføre håndberegninger av energibesparelser knyttet til latent varme.

## 4 RESULTAT OG DISKUSJON

### 4.1 Bruk av CLT i skolene

#### Bjørkelangen

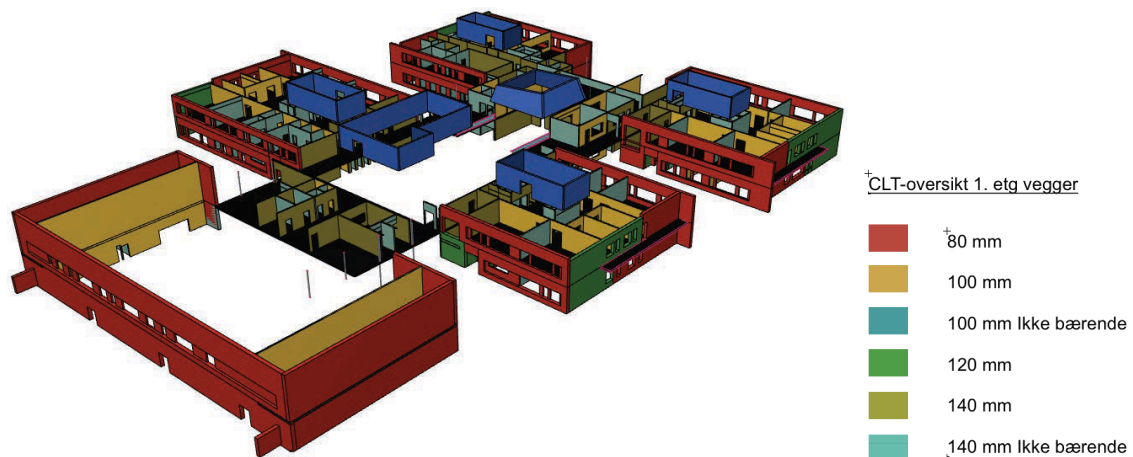
CLT-elementene som brukes på Bjørkelangen skole er krysslagte, limte elementer (CLT), med egenskaper som beskrevet i Tabell 14. Elementene er brukt som yttervegger, innervegger og etasjeskiller. Orienteringen på veggelementene er både stående og liggende. Det er ikke benyttet CLT i takkonstruksjonen, selv om produsenten presenterer dette som en av bruksområdene elementene kan benyttes til. SINTEF Byggforsk hevder [29] at massivtre er godt egnet både som kompakte og luftede tak dersom isolasjonen legges på oversiden.

Limtypen brukt i elementene er en komponent polyurethan, PUR, uten formaldehyd. Produktdatabladet [48] opplyser om at elementene kantlimes. Dette vil gjøre elementene mer lufttette og dimensjonsstabile. Slik som rapporten fra SINTEF Byggforsk [51] viste, er elementer med kantliming grovt sett dobbelt så lufttette som elementer uten. For å opprettholde kravet til lekkasjetall viser Figur 23 at kantlimte elementer bidrar minst til øking av lekkasjetallet.

Tabell 14. Nøkkelopplysninger om CLT-elementer fra Skonto Cross Timber Systems [48].

Skonto Cross Timber Systems Bjørkelangen skole	
Type massivtreelement	CLT
Bruksområde	Hovedsakelig som vegg-, etasjeskiller- og takelement i alle typer bygninger
Maksimale dimensjoner	Bredde 3,1 m Lengde 13,8 m Tykkelse 400 mm
Plateoppbygning	Krysslimte ettlagsplater, med kantliming
Treslag	Gran, furu og lerk
Sorteringsklasse	C24 (for statiske beregninger)
Fukttinnhold	12 % ± 2 %
Lim	PUR- Lim uten formaldehyd
Optisk kvalitet/overflate	Fabrikk-pusset overflate Klasse C eller A/B i henhold til EN 13017-1
Egenvekt	For Beregninger: 5,0 kN/m <sup>3</sup>
Brannklasse i henhold til kommisjonsvedtak 2003/43/EF:	Euroklasse D-s2, d0
Varmeledsevne	0,13 W/(mK) i henhold til EN 12524
Lufttetthet	Effektiv lufttett. Ble testet i henhold til EN 12114
Bruksklasser/bruksområder	Bruksklasse 1 og 2 i henhold til EN 1995-1-1
Transport	Lastebil og båt

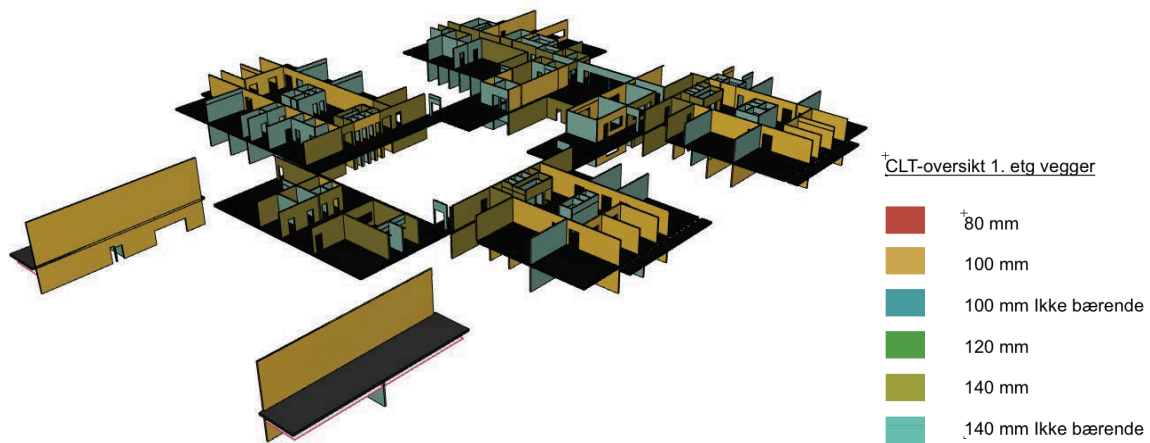
Bæresystemet i bygget består av en kombinasjon av ulike materialer og konstruksjonstyper, som varierer noe i de ulike kontrollområdene i bygget. De delene av undervisningsbygget som er i massivtre har bærende yttervegger, med noen få innslag av stålsøyler. Stålsøylene er brukt under sløydrom som har tunge maskiner og utstyr. Flerbrukshallen består av bærende limtredragere i kombinasjon med CLT-elementer i ytterveggene. Det er brukt seks ulike veggelementer, med varierende tykkelse på CLT-elementene. Figur 34 viser en oversikt over de ulike veggene og hvor de befinner seg.



Figur 34. Oversikt over CLT-elementer i Bjørkelangen skole [86].

De utvendige veggene i massivtre består i hovedsak av CLT-elementer med tykkelse 80 mm, samt noen med tykkelse 120 mm. Alle massivtrevegger er isolert med et 250 mm fasadesystem med steinullisolasjon på utsiden, hvor fasadesystemet er vindtett, slik at vindsperre ikke er nødvendig. Det er brukt teip i skjøtene mellom CLT-elementene for å tilfredsstille krav til damp tetthet. Alle yttervegger på plan 3 er vanlige bindingsverksvegger.

Blant de innvendige veggene er det både bærende og ikke-bærende massivtrevegger, som vist på Figur 35. Inneveggene har CLT-elementer med tykkelse 100 mm eller 140 mm.



Figur 35. Bærende og ikke-bærende vegger i Bjørkelangen skole [86].

Kommunen ønsker en diffusjonsåpen løsning når det gjelder de eksponerte massivtreveggene innvendig. Vaskbarhet, vedlikehold og slitasje har blitt vurdert opp mot diffusjonsåpenhet, og overflatebehandlingen som skal brukes er lut og grønnsåpe.

Oppbygning av etasjeskiller mellom 1. og 2. etasje varierer i de ulike kontrollområdene. Figur 36 viser bæreprinsippet i bygget. Områder med betonghulldekker er vist i brun farge, mens CLT er vist i turkis. I områdene hvor det benyttes CLT som etasjeskiller suppleres det med tilleggskonstruksjoner på over- og undersiden. Det benyttes gjennomgående CLT-elementer i skillekonstruksjonen mellom de to etasjene i undervisnings- og administrasjonsfløyene. Dette er noe som kan føre til dårligere lydforhold. Elementene har en tykkelse på 240 mm og en spennvidde på omtrent 12 m. De har opplegg på fasadevegg og limtrebjelker med dimensjon 190 x 585 mm. Limtrebjelkene er vist med rødt på Figur 36.



Figur 36. Viser bæreprinsippet og ulike materialer i Bjørkelangen skole [87].

## Kongsvinger

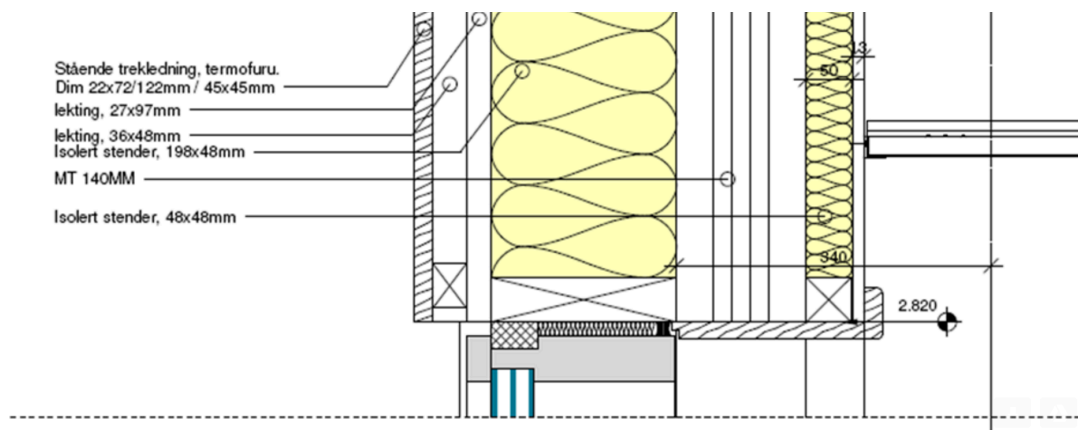
CLT-elementene som er brukt er tre ulike typer limte, krysslagte elementer (CLT), med varierende antall sjikt. Elementene brukt har 3, 4 eller 5 lag [55] og egenskaper som vist i Tabell 15. CLT-elementene brukes som yttervegger, innervegger og etasjeskiller i bygningen. Ved produksjon av elementene er det benyttet en limtype uten formaldehyd. Elementene er i hovedsak kantlimte, men dersom de har fem sjikt eller mer, kantlimes ikke innersjiktene. Dette er fordi Stora Enso's tekniske brosjyre henviser til forsøk som hevder at CLT er lufttett fra og med tre sjikt. Ifølge dette forsøket vil elementene være lufttette og dimensjonsstabile.

Tabell 15. Nøkkelopplysninger om CLT-elementer fra Stora Enso [55].

Stora Enso Kongsvinger ungdomsskole	
Type massivtreelement	CLT
Bruksområde	Hovedsakelig som vegg-, etasjeskiller- og takplater i boliger og andre bygninger
Maksimal dimensjoner	Bredde 2,95 m Lengde 16,0 m Tykkelse 320 mm
Plateoppbygning	Minst tre sjikt med krysslimte ettlagsplater. Fra og med fem sjikt kan elementene også inneholdeindre sjikt (tverrsjikt) uten limt smalside
Treslag	Gran (Furu, lerk og sølvgran på forespørsel, inder sjikt kan inneholde furu)
Sorteringsklasse	C24 (i henhold til godkjenning kan opptil 10 % av lamellene tilsvare C16; og andre sorteringsklasser på forespørsel)
Fukttinnhold	12 % ± 2 %
Lim	Lim uten formaldehyd for liming av smalsider, fingerskjøting og flateliming
Optisk kvalitet/overflate	Kvalitetsklassene: ikke-synlig kvalitet, synlig industrikkvalitet og synlig kvalitet. overflatene er alltid slipt på begge sider.
Egenvekt	For beregning av transportvekt: ca. 490 kg/m <sup>2</sup>
Brannklasse i henhold til kommisjonsvedtak 2003/43/EF:	Trelementer (unntatt gulv): Euroklasse D-s2,d0 Gulv: Euroklasse Dfl-s1
Varmeledsevne	0,13 W/(mK)
Lufttetthet	Svært lufttette. Ble testet i henhold til EN 12 114, og volumstrømmen lå utenfor det målbare området
Bruksklasser/bruksområder	Bruksklasse 1 og 2 i henhold til EN 1995-1-1
Transport	Tog [88]

Byggherren på Kongsvinger skole ønsket å ha en fleksibel planløsning, med få innvendige, bærende søyler. Bæresystemet består derfor av en kombinasjon av bærende søyle-/bjelkesystem og bærende veggssystem. De bærende ytterveggene er etasjehøye, noe som er bra i forhold til lydforholdene i bygget. De utvendige søylene er limtresøyler med dimensjon 240 x 280 mm.

Oppbygningen av de utvendige veggene er stor sett 140 mm CLT-elementer, med 200 mm fasadesystem med steinullisolasjon på utsiden. Fasadesystemet brukt er vindtett, noe som gjør at det ikke er behov for vindsperre. Veggene er påfôret med 50 mm mineralull på innsiden. Det er forskjellig kledning på ytterveggene i 1. etasje og 2. og 3. etasje. I 1. Etasje er det brukt fasadeplater av glassfiberarmert polymerkompositt, med en glatt, elektronherdet akryloverflate [89]. I 2. og 3. etasje er det benyttet varmebehandlet furupanel [90]. Noen områder, ca. 70 m<sup>2</sup> har en tradisjonell 250 mm klimavegg. Den generelle oppbygningen av ytterveggene er vist i Figur 37. Innvendige vegger i CLT er i utgangspunktet påfôret med isolert bindingsverk og 13 mm gips på en side.



Figur 37. Generell oppbygning av yttervegger på Kongsvinger ungdomsskole (Kilde: Ø.M. Fjeld).

Generelt er etasjeskillene oppbygd med 180 mm CLT med lydgulv over. Et kassedekke er brukt ved lange spenn fordi CLT i kombinasjon med limtrebjelker muliggjør spenn over 7,5 meter. Kassedekke består av CLT-elementer og limtrebjelker. Det er sammensatt av 100 mm CLT øverst, limtrebjelker med dimensjon 160 x 280 mm i midten og 120 mm CLT nederst. Kassedekke som er benyttet fører til mindre behov for søyler og bærende innervegger, og resultatet blir en mer fleksibel planløsning. Dette var et ønske fra kommunen. Kassedekke er vist i Figur 38. Takoverflatene innendørs blir en kombinasjon av systemhimling og trespilehimling.

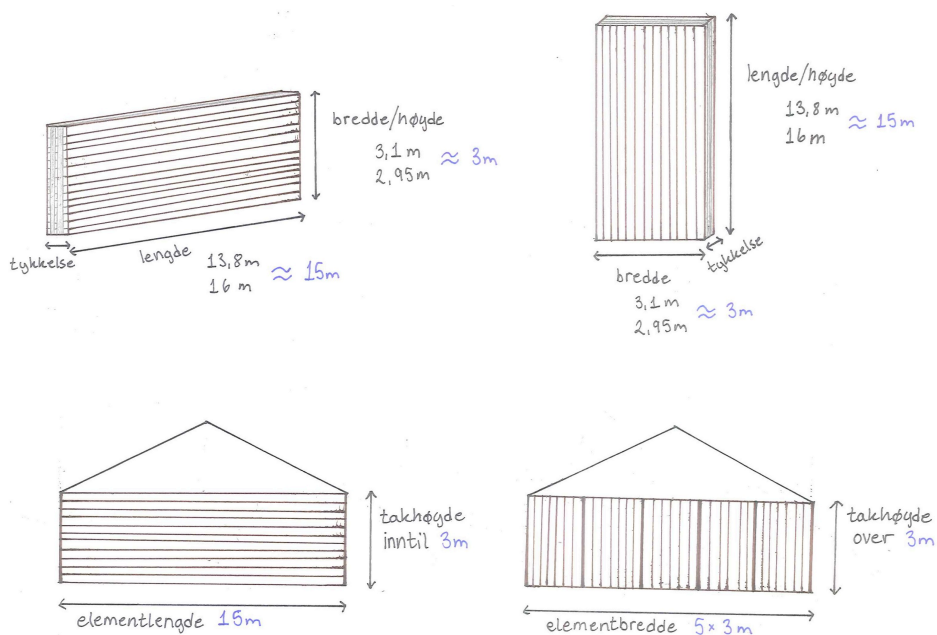




Figur 38. Kassedekke på Kongsvinger ungdomsskole (Kilde: Ø.M. Fjeld).

### Elementenes orientering

Elementenes orientering kan være liggende eller stående. Dette fremkommer i Figur 39. Om takhøyden i en bygning begrenses til 3 meter, kan hele element utgjøre en vegg på eksempelvis 15 meter uten skjøting av elementer. Dersom bygningen prosjekteres med en takhøyde over 3 meter, blir elementorienteringen stående og det blir som illustrert i Figur 39 fem elementer som må skjøtes for å utgjøre en 15 meter lang vegg. Liggende elementer vil ha et horisontalt yttersjikt som påvirker elementets integritet i forhold til brann. De vertikale sjiktene vil ha betydning for bæreevnen. Liggende elementer er vanligvis etasjehøye. Slike elementer vil være en lang kontinuerlig vegg, før det skjøtes med et nytt element. Stående elementer har vertikale yttersjikt. I dette tilfellet bestemmer yttersjiktet både bæreevnen og integriteten til CLT-elementet. Stående elementer brukes for eksempel der det ønskes større takhøyde enn høyden et CLT-element blir produsert i. Elementene blir stående på høykant og må skjøtes oftere.



Figur 39. Illustrasjon av to ulike måter å orientere CLT-elementene på, henholdsvis **liggende** og **stående**, med avrundede verdier i henhold til de to leverandørene av massivtre.

Etter et møte hos Tekna 23.03.17 forteller Geir Glasø fra Norsk Treteknisk Institutt at måten CLT-elementene er orientert på har innvirkning på brannmotstanden. Ved en brannpåkjenning vil det ytterste laget straks bli påvirket. Er elementet liggende vil det ytterste laget fungere som et offersjikt som beskytter det bakenforliggende laget som er vertikalt og bærende. For å øke brannmotstanden ytterligere, kan et dobbelt yttersjikt vurderes. Når det ytterste sjiktet i stående elementer blir utsatt for en brannpåkjenning, vil det vertikale og bærende yttersjiktet bli skadet. I slike tilfeller vil CLT-elementet raskere miste både bæreevne og integritet ved en brann. Å øke dimensjonen på elementet kan bedre brannmotstanden, men tykkelsen på elementet kan da bli større enn hva som er nødvendig for bæreevnen, oppta mer plass i konstruksjonen og bli mer kostbart. Å montere et annet brannbeskyttende materiale, for eksempel gips, utenpå CLT-elementet kan være en mulig løsning. Et annet alternativ er en brannhemmende overflatebehandling som vil bevare egenskapene til tre i inneklime. Det er også viktig å få sammenføyningene tette. Dersom det blir en synlig skjøl, kan den lille sprekken ses på som et hjørne som brannen kan omslutte. Derfor kan skjøtene bli utsatte punkter når det gjelder brann.

Fredrik Victorzon Moss, arbeidsleder i Hent, opplyste på et møte 08.05.17 at det blir brukt både liggende og stående elementer på Bjørkelangen skole. Etter en telefonsamtale 19.05.17 med Odd Grøthe, RIB for massivtre ved Kongsvinger ungdomsskole (WSP Engineering/Høyer Finseth), fremkommer det at det kun blir brukt stående elementer i skolen. Begrunnelsen er at takhøyden er over 3 meter. Det ytterste sjiktet er dermed vertikalt og Grøthe sier dette har blitt vurdert i forhold til brann, men at det for eksempel ikke er valgt å bruke doble yttersjikt. På grunn av at alle elementene er stående, vil montasjetiden bli lenger enn om elementene var liggende.

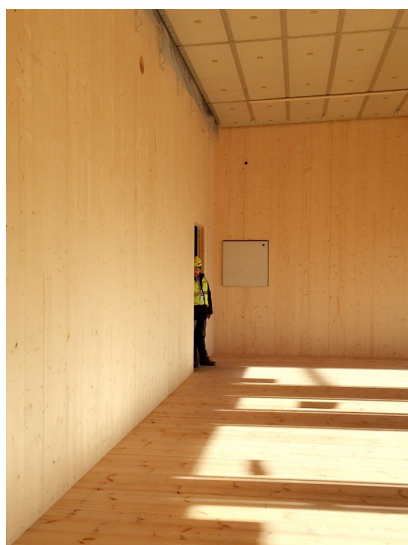
## **4.2 Estetiske forhold**

Begge skolene ligger landlig til i kommuner med skogbruk. Å bruke materialer som er vanlig i området blir ofte tatt godt imot av brukerne. Tre er en fornybar resurs som kommunene ønsker å benytte seg av i byggeprosjekter, for eksempel skolene. Å bygge med massivtre har blitt populært på grunn av de mange fordelene. Det skyldes også at det er ettertraktet med bærekraftige, miljøvennlige og naturlige materialer. Forskning [3] har også vist at tre innendørs har godt helseeffekt. Med bakgrunn i dette kan det gjøres forhåpninger om mindre sykdom og fravær i skolen.

I mange av rommene på Bjørkelangen skole vil det være en eller flere vegger med eksponert massivtre. Det eksponerte treet har en relativt lys farge. Med en takhøyde på 3,5 m og store vinduer, blir rommene åpne og lyse (Figur 40 og Figur 41). Rommet vil føles større der hvor det synlige treverket er stående. Slike klasserom gir en mer hjemmekoselig følelse enn det institusjonelle som normalt forbindes med et offentlig bygg.



Figur 40. Bilde fra et uferdig klasserom på Bjørkelangen skole. Store vinduer og gode lysforhold (Foto: Privat, Bjørkelangen skole)



Figur 41. Bilde fra et uferdig klasserom på Bjørkelangen skole. Stor takhøyde og stående treverk (Foto: Privat, Bjørkelangen skole)

### 4.3 Emisjoner

Det er ikke gjort noen forsøk som omhandler atmosfærisk miljø i denne bacheloroppgaven siden ingen av samarbeidsprosjektene er ferdigstilt. Det er bevist at massivtre er en kilde til flyktige organiske forbindelser, som kan ha en negativ påvirkning på det atmosfæriske miljøet. På grunn av manglende detaljkunnskap til VOC vil det midlertidig være for tidlig å si

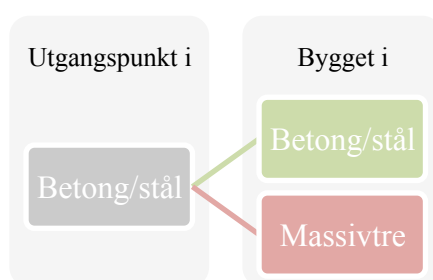
noe om emisjoner fra tre har påvirkning på innemiljøet. Fra forsøkene som er presentert i teorien er det ingenting som tyder på at VOC-utslipp fra tre skal ha negativ innvirkning på elevenes læring. Fra et møte 12.05.17 med Odd Anders Amdahl, ansvarlig for kompetanse og forbedring i Ø.M. Fjeld, ga han inntrykk av at de fleste treprodusenter i bransjen har fått lavere VOC-verdier for treproduktene sine i løpet av de siste årene grunnet økt miljøfokus gjennom for eksempel miljøsertifiseringer og generell etterspørsel i markedet.

Siden Bjørkelangen skole er i byggefasen, vil store deler av bygget være er reist i god tid før skolen tas i bruk. VOC-nivåene er høyest i nye massivtrebygg, men faller raskt. Derfor vil nivåene trolig stabilisere seg på et lavt nivå innen skolestart 2018. Ut ifra tidligere rapporter kan det antas at VOC-nivåene ikke vil true det atmosfæriske miljøet på Bjørkelangen skole.

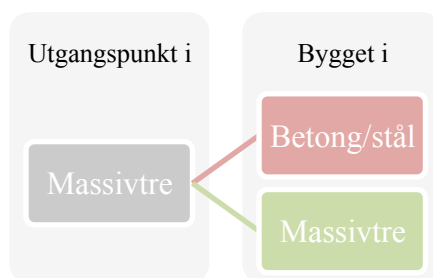
Byggingen av Kongsvinger ungdomsskole startet senere enn på Bjørkelangen, derfor vil bygget mest sannsynlig være ferdigstilt nærmere skolestart 2018. VOC-nivåene vil i dette tilfellet være høyere enn på det stabile, lave nivået som oppstår noen måneder etter bygget er tatt i bruk. Basert på tidligere forsøk, vil konsentrasjonen av VOC i inneluften reduseres raskt de første månedene etter innflytting.

#### 4.4 Erfaringer fra planlegging og bygging

Det er viktig å ta hensyn til hva slags materiale som skal brukes tidlig i planleggingsfasen. Ved å velge materiale tidlig, designe bygget deretter og forlenge prosjekteringsfasen, får man utnyttet fordelene ved materialet på en bedre måte. Med utgangspunkt i fire forskjellige planleggings- og byggescenarier i Figur 42 og 43 vil dette bli forklart.



Figur 42. Utgangspunkt i betong, bygget i betong eller massivtre.



Figur 43. Utgangspunkt i massivtre, bygget i betong eller massivtre.

Bygg som i utgangspunktet designes og bygges i betong/stål er veldig utbredt (Figur 42). Betong og stål som bærekonstruksjon, samt tradisjonelle bindingsverksvegger er den metoden som benyttes mest ved bygging av store bygninger. Å prosjektere slik har bransjen mye erfaring med og det finnes mye kunnskap på dette feltet. Etter samtaler med flere personer i byggebransjen er inntrykket at de foretrekker den metoden de er kjent med.

Å designe et bygg med utgangspunkt i betong/stål og deretter bygge i massivtre kan by på flere utfordringer (Figur 42). Begge skolene som har blitt studert var i utgangspunktet planlagt med bærekonstruksjon i andre materialer enn massivtre, men ble senere endret. Dersom aksesystemet er basert på et bæresystem i betong og stål, oppstår det problemer ved bruk av massivtre. Aksesystemet settes med utgangspunkt i spennviddene til betonghulldekker. Massivtredekker har kortere spennvidder enn betonghulldekker. For å løse dette er det nødvendig med ekstra søyler eller bærende innervegger. Dette går på bekostning av planløsning. I verste fall må hele bygget tegnes på nytt med et aksesystem som er beregnet på spennviddene til massivtredekker. Takhøyde kan også være et problem om det ikke er tatt hensyn til massivtre. Dersom takhøyden er tiltenkt et bygg i betong og stål, er høyden ofte større enn standard maksimale bredde for CLT-elementer. Da kan ikke et element benyttes som veggbredde siden bredden på elementet ikke tilsvarer den tiltenkte takhøyden. Elementene må derfor kappes, settes på høykant og skjøtes mye oftere, noe som er mer resurskrevende. På grunn av høy takhøyde i skoler blir dette ofte tilfellet.

Et bygg som designes i massivtre og bygges i betong er mulig, men tungvint (Figur 43). Denne kombinasjonen gjør at betong ikke kan utnyttes til det fulle i forhold til spennvidder og takhøyder.

Et bygg som prosjekteres med hensyn til massivtre og bygges i massivtre, er en god løsning (Figur 43). Selv om dette er en god kombinasjon, er det ikke den mest brukte, fordi bruken av massivtre er mindre enn bruken av betong i store bygninger. Det er lange tradisjoner å bygge med tre i Norge, men det benyttes oftest i mindre bygninger. Det er mulig å bruke tre som bærekonstruksjon i store bygninger, men det krever mer planlegging. Massivtre egner seg bra i mange typer bygg og er konkurransedyktig i forhold til betong og stål i store bygninger [91]. Massivtreelementenes lave vekt i forhold til betongelementer reduserer behovet for store kraner ved montering. I tillegg kan dimensjonene på fundamentene reduseres og det vil være fordelaktig i forhold til ustabil byggegrunn [27]. Den lave vekten til et massivtreelement har ikke bare positiv effekt på et bygg. Hvis bygget er høyt, kan det bli ustabil med tanke på vindkrefter og det kan oppstå større svingninger i bygget.

## Bjørkelangen

Arbeidsleder Fredrik Victorzon Moss svarer på spørsmål på mail 15.05.17 om hvordan erfaringer entreprenøren Hent har hatt med byggeprosjektet Bjørkelangen skole. Han svarer generelt med tanke på selve byggefasen og hans personlige erfaringer. Han var ikke involvert i prosjekteringen og kan derfor ikke uttale seg om dette.

Moss mener de positive erfaringene har vært rask montasje, enkel innfesting på påfølgende konstruksjoner og hulltaking som er ferdig tidlig, noe som låser plassering av tekniske føringsveier tidlig. Dette gir mindre kollisjoner i byggeperioden. De negative erfaringene hevder han er strengere krav til underlag, i dette tilfellet betong. Innfestingspunktene til CLT-elementene ble støpt med for stor unøyaktighet, fordi betongleverandøren ikke var informert om at monteringen av CLT-elementene krevde svært stor nøyaktighet. Enkelte av innfestingspunktene hadde en avvikende avstand på opp mot 10 cm, ifølge Nicklas Berg Sørensen i Oslo Tre på møte 25.01.17. Løsningen ble å fjerne alle innfestingspunktene og montere dem på nytt. Dette skapte ekstra arbeid og forsinket monteringen av CLT-elementene. Selve monteringen gikk raskt. Det ble brukt både liggende og stående elementer i skolen. Monteringen av liggende elementer går som regel raskere enn for stående på grunn av færre skjøter av elementene. Flerbrukshallen betegnes som kontrollområde 8 og er omtrent 1400 m<sup>2</sup>. Hallen er bygd opp av CLT-elementer i kombinasjon med limtredragere. Montasjen av dette området tok 10 dager. Kontrollområde 3, på litt over 900 m<sup>2</sup>, ble ferdig montert på 15 dager. Dette er inkludert montasje av tribune og trapper, som vist i Figur 44.



Figur 44. Tribune i kontrollområde 3. Hentet fra Oslo Tres presentasjon hos Tekna, 23. Mars 2017 [86].

En negativ ting som Moss påpeker er at overflatene ble tidlig ferdige, og derfor svært utsatt for skader i byggeperioden. Moss mener også at risikoen for fuktskader var tilstede. Det ble ikke bygget under telt (Figur 45), selv om Moss trodde dette var helt nødvendig ved bygging med massivtre. CLT-elementene ble levert til byggeplass med et tilpasset fuktnivå slik at de var klare for montering med en gang de ble pakket ut av plast på byggeplassen. Elementene blir derfor utsatt for varierende klima under byggeprosessen. Flere av CLT-elementene var i direkte kontakt med is, snø og vann under byggeperioden. I områder hvor etasjeskiller var montert, ble det observert partier med vann eller snø (Figur 46). Disse områdene ble senere forsøkt tørket ved hjelp av oppvarming på svak varme, det vil si 10 - 12 °C, og god utlufting før bygget kunne tettes.



Figur 45. En vegg av massivtre heises på plass under byggingen av Bjørkelangen skole [5].



Figur 46. Bilde av en etasjeskiller i massivtre utsatt for nedbør under byggingen av Bjørkelangen skole. (Foto: Privat, Bjørkelangen skole)

Det ble erfart at selv om etasjeskillere av massivtre var i direkte kontakt med vann, opptok det ikke fuktighet i betydelig grad. Vann på overflaten kunne enkelt tørkes bort og elementet tørket raskt. Ved målinger ble det oppdaget at områdene rundt partier med vann ikke indikerte fukt. Dette var oppsiktsvekkende funn.

Veggelementene av CLT ble montert på en bunnsvill av konstruksjonsvirke. Det ble erfart at bunnsvillen opptok mye mer fukt enn veggelement og etasjeskiller av CLT. Jan Egil Trøen, (ansvarlig for helse, miljø, sikkerhet (HMS) og kvalitetssikring (KS)) i Hent, fortalte på et møte 08.05.17 at han hadde erfart at CLT-elementene tørket overraskende raskt. Det ble spekulert i grunnen til dette. Trevirket som brukes i massivtre og limtre tørkes ned til 12 % fuktighet før det benyttes i produksjon. Når trevirket tørkes så mye, forsvinner vannet fra celleveggene og det kan oppfattes som at cellene i trevirket trekker seg sammen. Senere når trevirket utsettes for fukt fylles først celleveggene med vann, og dermed kan det betraktes som at tre trekker til seg mindre vann, og tørker dermed raskere. Konstruksjonsvirke behøver en relativt lang tørkeperiode, noe som er vanskelig å gjennomføre i praksis. Et godt alternativ for å løse dette problemet er å benytte limtre som bunnsvill, noe som trolig vil bli gjort i fremtiden ifølge Trøen. Svillen vil da oppta mindre fukt, på nivå med massivtre, slik at risikoen for innebygd fukt blir mindre.

På spørsmål angående bæresystemet i en ny skole uten spesifikasjoner til materialer, svarer Moss på hvor sannsynlig det ville vært å bruke massivtre som bærekonstruksjon. Han er ikke sikker, men formulerer følgende på mail 15.05.17: «Så lenge pris er viktigste tildelingskriteria (noe det som regel er) tror jeg ikke det, enda. Foreløpig er nok tradisjonelle råbygg av stål og betong ansett som en tryggere løsning med tanke på økonomi. Men med mer erfaring med bruk av massivtre er jeg imidlertid ikke så sikker på at dette er tilfelle når man gjør en totalvurdering av økonomien til slutt. Raskere fremdrift kan også påvirke økonomien positivt, eller være viktigere enn pris i enkelte prosjekt. Utstrakt bruk og mer konkurranse vil sannsynligvis også senke prisen på massivtre. Foreløpig nei, altså, men dette kan fort endre seg». Moss mener i tillegg at beskrivelsen av et prosjekt er avgjørende for om massivtre vil bli vurdert. Erfaringene Hent har fått ved Bjørkelangen skole gjør dem tryggere på at det ikke er noe problem å utføre bygg i massivtre.

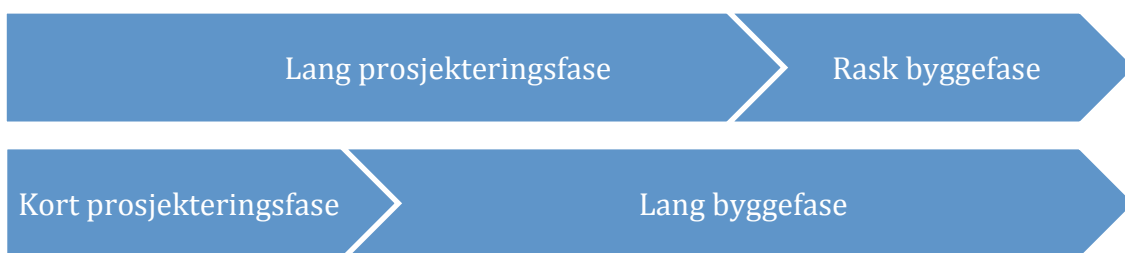
### **Kongsvinger**

I et møte 12.05.17 med Odd Anders Amdahl (ansvarlig for kompetanse og forbedring) og Jonas Ekholm (prosjektutvikler og kalkulator) i Ø.M. Fjeld fremkommer det en del meninger og erfaringer etter arbeid med Kongsvinger ungdomsskole.



Positive erfaringer har vært rask montasje av råbygget, og dermed at fagarbeidere kommer raskt til og kan starte videre arbeid. Brann og lyd har vært utfordrende. Amdahl og Ekholm påstår at de var forberedt på utfordringer, men ble overrasket over omfanget. Det er uvandt for Ø.M. Fjeld at det er så mye utfordringer med brann, derfor har arbeidet med dette prosjektet vært en bratt læringskurve for dem.

Å bygge med massivtre krever en mer detaljert prosjekteringsfase enn ellers. I følge Amdahl og Ekholm oppfatter de prosjekterende det som utfordrende at alt må være ferdig og korrekt prosjektert før bygging. Vanligvis prosjekteres det litt underveis i byggeprosessen, men ved bruk av massivtre må alt prosjekteres tidlig. Derfor kreves det mer ressurser tidlig i prosjektet. Dette er uvandt og det kan skyldes lite kompetanse med denne måten å prosjektere på. Samlet sett er det ikke sikkert et prosjekt blir raskere ferdigstilt selv om monteringen er rask. En lang prosjekteringsfase kombinert med en rask byggefase kan være like tidkrevende som en kort prosjekteringsfase og lang byggefase (Figur 47).



Figur 47. To ulike måter å kombinere prosjektering og bygging på med tanke på tidsbruk.

Ved en lang og detaljert prosjekteringsfase stilles det høyere krav til arkitekten og de andre prosjekterende, men dette er ikke nødvendigvis negativt. Amdahl og Ekholm mener det er bra at arkitekten og de andre prosjekterende blir tidlig ferdig med prosjekteringsgrunnlaget, fordi de ofte opplever i andre tradisjonelle byggeprosjekter at tegninger leveres ut sent til det utførende leddet av prosjektet. I tillegg må byggherre og brukere ta avgjørelser tidligere i prosjektet enn ellers.

På spørsmål om hvor sannsynlig det ville vært å bruke massivtre som bærekonstruksjon i en ny skole uten spesifikasjoner til materialer, svarer Ekholm at han ikke tror det ville vært særlig aktuelt. I konkurranse med andre hvor pris er avgjørende, ville han valgt betong og stål. Men han legger til at kravene som blir satt av byggherren vil spille inn. For eksempel ved spesielle krav til klimagassutslipp og miljø, ville Ø.M. Fjeld trolig vurdert å bruke tre, deriblant massivtre, men uten tre som synlig overflate. Han mener at den største utfordringen med massivtre oppstår på grunn av ønsket om synlig tre. De innvendige overflatene i

massivtre skal overleve anslagsvis et år under byggefasen uten å få skader. Dette er svært vanskelig siden CLT-elementene er sårbare for hakk og flekker. I tillegg er det uvant for arbeiderne at veggene må behandles med spesiell varsomhet. Hvis veggene kunne hatt kledning, ville det vært enklere.

#### **4.5 Brann**

Det optimale i et byggeprosjekt er null dispensasjoner fra brann- og eksplosjonsvernlovgivningen, også kalt fravik. Fem fravik regnes som høyt i et vanlig byggeprosjekt, ifølge Ø. M. Fjeld. De fleste fravik i disse prosjektene skyldes bruk av synlig treverk.

Grunnen til at det oppstår mange fravik i prosjekter med massivtre er på grunn av ønsket om synlig treverk. Massivtre utgjør bærekonstruksjonen i begge skolene. Med andre ord er det ønske om synlig bærekonstruksjon. Når bærekonstruksjonen skal være synlig oppstår det utfordringer i forhold til brann og lyd. Å bruke massivtre som bærekonstruksjon er uproblematisk så lenge det ikke er eksponert. I Norge er det et stort ønske, og noen tilfeller et krav fra byggherre, om synlig treverk innvendig.

Odd Anders Amdahl og Jonas Ekholm i Ø. M. Fjeld fortalte på et møte 12.05.17 at rådgivende ingeniører for brann er ofte skeptiske til mye eksponert tre i rømningsveier. For at eksponert massivtre innendørs skal være brannsikkert, kan det overflatebehandles med en spesiell type lakk som beskytter mot brann eller tildekkes fullstendig. Dersom overflaten behandles med lakk, blir den ikke diffusjonsåpen og noen av trevirkets positive egenskaper forsvinner. Det samme gjelder om den tildekkes fullstendig. Et alternativ er å bygge opp veggen slik at den tilfredsstiller brannkravene og velge innvendig kledning av tre. Da blir ikke bærekonstruksjonen synlig, men ønsket om synlig overflate innvendig blir likevel oppfylt.

Utvendig kledning har ikke avgjørende betydning tidlig i brannforløpet så fremt kledningen ikke antennes utvendig. Erfaring tilsier at skolebygninger er spesielt utsatt for utvendig påsatte branner [92]. Ofte skjer det i forbindelse med lett tilgang på brennbart materiale i søppelkontainere som står for nære skolebygningen. Ved å sette søppelkontainerne innelåst i søppelrom eller ubrennbare søppelkonteinerne i god avstand fra bygningen kompenseres det for redusert ytterkledning ved skolen. Samtidig forteller Kristine Nore, seniorforsker på Norsk Treteknisk Institutt, i et møte 08.02.17 at vaktmestere rapporterer om mindre hærverk på treverk enn andre materialer.

På sørsiden av flerbrukshallen på Bjørkelangen, samt sørsiden av teknisk rom på tak erstatter solcellepanel utvendig kledning i tre [92]. Som oftest er solcellepanel utført av silisium, som har vesentlig bedre branntekniske egenskaper enn kravet til utvendig kledning. Totalt sett er det derfor tenkelig at kledningen til skolen på Bjørkelangen er mer utsatt for brann enn hærverk.

På Kongsvinger er det valgt fasadeplater av glassfiberarmert polymerkompositt, med en glatt, elektronherdet akryloverflate i 1. etasje. I 2. og 3. etasje er det varmebehandlet furukledning. Siden det er valgt fasadeplater på bakkenivå er det tenkelig at hærverk er sannsynlig her. Siden erfaring viser at skoler med trekledning har en tendens til å bli påtent, er sannsynligheten for dette mindre med fasadeplater som kledning på bakkenivå. Kledningen på skolen i Kongsvinger kan derfor tenkes å ha større sannsynlighet for å bli utsatt for hærverk enn brann.

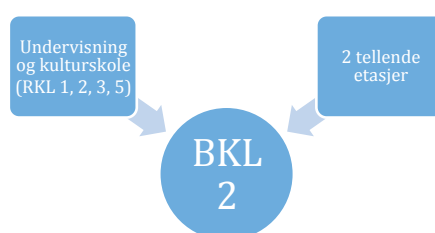
### **Bjørkelangen**

BrannSafe AS utførte brannteknisk prosjektering for Hent ved Bjørkelangen skole. Resultatene som presenteres i dette kapittelet er skrevet ut fra *Brannkonsept utgave 07* [92] av BrannSafe AS, datert 21.03.17. Eventuelle endringer etter dette er ikke vurdert. De beskrevne konseptene ble videre detaljprosjektert av respektive fagområder. Prosjekteringen ble utført som en blandingsmodell. Det ble brukt både preaksepterte ytelser og fravik som ble verifisert ved analyse. 15 fravik ble planlagt prosjektert, men kun et utvalg blir diskutert i denne rapporten. Alle fravik må beskrives og forsvares av rådgivende ingeniør brann (RIBr). I noen tilfeller er det nødvendig med ekstra gode løsninger som kompenserer for fravikene. Rådgivende ingeniør bygg (RIB) utførte dokumentasjon og beregning av bæreevne ved brann. Dette diskuteres ikke nærmere, og anses som ivaretatt.

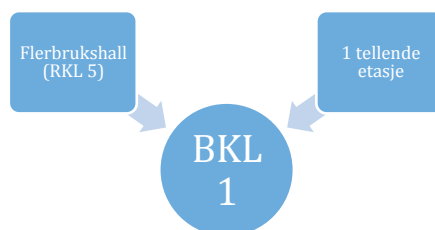
I skoledelen er det forutsatt vanlig undervisning på dagtid. Kultursalen vil derimot ha undervisning og forestillinger i deler av bygningen også på kveldstid. Det samme gjelder flerbrukshallen. Skolen benytter hallen på dagtid, mens på ettermiddagstid kan den benyttes i forbindelse med arrangementer. Bestemmelse av risikoklasse er vist i Tabell 16, mens brannklasse for henholdsvis skoledelen og flerbrukshallen er vist i Figur 48 og Figur 49 [92].

Tabell 16. Bestemmelse av risikoklasse (TEK10 § 11-2 og VTEK10 tabell 1) [57].

Virksomhet	Risikoklasse
Kontor	RKL 2
Skole	RKL 3
Kulturskole	RKL 5
Flerbrukshall	RKL 5
Takplan (kun tekniske rom)	RKL 1



Figur 48. Bestemmelse av brannklasse for skoledelen (VTEK10 § 11-3 tabell 1) [57].



Figur 49. Bestemmelse av brannklasse for flerbrukshallen (VTEK10 § 11-3 tabell 1) [57].

Det stilles ingen krav til brannvegg fordi avstanden til nabobyggverk er større enn 8 m. Mellom flerbrukshallen og skoledelen er det en seksjoneringsvegg. Denne må utføres selvstendig slik at den blir stående selv om bygget på en av sidene raser. Seksjoneringsveggen må kun bestå av materialer som tilfredsstillende klasse A2-s1,d0 (det vil si ubrennbart materiale) og må kunne motstå en mekanisk påkjenning. Mekanisk motstandsevne (M) må dokumenteres ved prøving, hvis ikke må brannveggen utføres i tunge materialer, for eksempel betong [92]. Seksjoneringsveggen skiller skolen fra flerbrukshallen. Den preaksepterte ytelsen er REI120 M A2-s1,d0. På grunn av BKL 2 (Figur 48) (fordi kultursalen med RKL 5 plasseres inn i skolen) må seksjoneringsveggen ha en brannmotstand på 120 min, men blir kun oppført med en brannmotstand på 90 min. Dette har ikke innvirkning på

personsikkerheten, og begrunnes med at seksjoneringsveggen ikke skal benyttes til rømming verken den ene eller andre veien. Dersom skolen hadde blitt utført uten kultursal (BKL 1 i et slikt tilfelle), ville kravet til seksjoneringsveggen blitt REI90 M A2-s1,d0, slik som vist i Tabell 17. Seksjoneringsveggen ivaretar hovedsakelig materiell sikkerhet, mens et sprinkleranlegg har positiv innvirkning på både person- og materiell sikkerhet [92].

Tabell 17. Bygningsdelers branntekniske krav på Bjørkelangen skole (TEK10) [57], hentet fra [92].

Bærende konstruksjoner i skole og flerbrukshall	Krav til branntekniske egenskaper
Bærende hovedsystem	R60 [B60]/R15 [B15]
Sekundære, bærende bygningsdeler, takkonstruksjon	R60 [B60]/R15 [B15]
Trappeløp	R30 [B30]
Seksjoneringsvegg	REI90 M A2-s1,d0 [A90] ( <i>fravik</i> )
Branncellebegrensende bygningsdeler	EI60 [B60]
Røykskillende konstruksjoner	E30 [F30]

Automatisk slukkeanlegg vil gi mer tid til rømning og redning enn en preakseptert løsninger med kun seksjoneringsvegger. Det er ikke krav om sprinkling av flerbrukshallen siden den er avskilt fra skolen. Sprinkleranlegget skal kobles til brannalarmanlegget, slik at utløste sprinkler gir alarm. I oppholdsrom etableres hurtigutløsende sprinklere (QR-quick response). I oppholdsrom hvor det er hurtigutløsende sprinklere anses forholdet å være bedre enn hva som er preakseptert. Et slikt tiltak vil derfor kompensere for prosjekterte fravik. Et sprinkleranlegg kan imidlertid gi vannskader på bygget ved tekniske feil som ikke oppdages tidnok [92].

Brannspredning vertikalt mellom brannceller, brannceller i ulike plan og horisontalt mellom vinduer er ivaretatt ved sprinkling, bortsett fra vinduer som beskytter rømningsvei. På grunn av at massivtreveggene er ført opp til underkant av dekke, blir ikke hulrommet over himlingen sprinklet. Denne unnlattelsen er ikke et direkte fravik fra VTEK, men likevel et fravik fra normativ standard som VTEK henviser til [92].

Både i plan 1 og 2 er rom avgrenset som egne brannceller. For eksempel er hvert klasserom, trapperom, kultursal, samt rømningsveier med tilhørende funksjoner egne brannceller (med flere). En enkelt branncelle er ikke sterkere enn dets svakeste ledd. Med

sprinkleranlegg ligger det til rette for å kontrollere og slokke en brann i startbranncellen. Hadde skolen vært prosjektert med seksjoneringsvegger anslås brannsikkerheten i bygget som lavere [92].

## **Kongsvinger**

Brannrapporten fra byggingen av Kongsvinger ungdomsskole var ikke ferdigstilt tidsnok til å bli vurdert i denne oppgaven. Odd Anders Amdahl i Ø.M. Fjeld opplyste likevel om at Kongsvinger ungdomsskole hadde 15 fravik fra preaksepterte brannløsninger per 12.05.17.

## **4.6 Lyd**

### **Bjørkelangen**

For Bjørkelangen skole hadde Rambøll rollen som rådgivende ingeniør akustikk. Av rapporten [87], datert 11.01.2017, fremkommer følgende: «Rapporten vil angi akustiske krav, anbefalinger og vurdering for å tilfredsstillende «Teknisk forskrift etter Plan- og bygningsloven» med videre henvisning til NS 8175:2012 og NS 8178:2014 (Akustiske kriterier for rom og lokaler til musikkutøvelse).»

Generelle tiltak for å sikre lydkrav:

- Gulv på grunn må splittes rundt rom for tresløyd, musikkrom og kultursal
- Overgulv i plan 2 og 3 må splittes alle steder med lydkrav
- Alle massivtrevegger med lydkrav må opplagres på elastiske lagre.
- For å oppnå tilfredsstillende etterklangstid i alle rom må det påregnes heldekkende himling, klasse A, i tillegg til veggabsorbenter som utgjør en bestemt andel av gulvareal.

Mellom klasserom vil det ikke bli brukt CLT, men heller en isolert lettvegg. For veggene mellom korridor og klasserom er det foreslått følgende oppbygning:

- 100 mm CLT
- 70 mm isolert stålstender
- 15,5 mm gipsplater

I sløydrom og tekstilrom skal det bygges en dobbel veggkonstruksjon, som skal overholde krav på  $R'_w \geq 50\text{dB}$ :

- 100 mm CLT
- 50 mm mineralull
- 100 mm CLT
- 10 - 20 mm luftespalte

- 70 mm isolert stålstender
- 15,5 mm gipsplater

Tilleggskonstruksjonen på dekkeelementene i massivtre skal ha følgende oppbygning fra underside og opp for å ivareta luft- og trinnlydisolasjon vertikalt og horisontalt. Oppbygningen beskriver alle områder med unntak av kultursalen og musikkrommene i kultursalen:

- Min 200 mm nedforet 50 mm kombiplate med lydisolerende og absorberende egenskaper
- 240 mm CLT
- 50 mm hard mineralull
- 50 mm EPS
- 40 mm avretting

### **Kongsvinger**

Brekke & Strand Akustikk fikk ansvaret for akustikkprosjektering og utarbeidet en foreløpig rapport [93], datert 28.02.2017. Det heter i rapporten: «Alle våre prinsippsnitt og skisser er utarbeidet for å oppnå så gode lydforhold som mulig i forhold til lydkrav. Andre fag som f.eks. bygningsteknikk, bygningsfysikk, brann mm. er ikke ivaretatt i våre detaljer. Prinsippsnitt og skisser må derfor bearbeides av øvrige fag før utførelse».

Generelle tiltak for å sikre lydkrav:

- Flytende gulv splittes rundt alle rom med lydkrav
- Rundt rom med ekstra strenge lydkrav, vil det bli splitt i gulv på grunn
- Alle massivtrevegger som står på massivtredekker må hvile på elastiske lagre
- Alle rom for personopphold, som korridor, fellesområder, undervisningsrom, trapperom, mm må ha en lydabsorberende himling. Undervisningsrom, flerbrukshall, musikkrom mm må i tillegg ha veggabsorbenter

Musikkrom, kultursal og sløydrom vil bli bygget som boks-i-boks-løsninger. Alle rommene skal utføres i CLT, bortsett fra rundt musikkrom, hvor det brukes betong. Boks-i-boks vil si at det bygges et rom inne i det opprinnelige rommet, med en luftspalte mellom veggene. På denne måten vil muligheten for flanketransmisjon bli sterkt redusert.

Rapporten foreslår eksempler på veggoppbygginger avhengig av verdi for luftlydreduksjon. For å oppnå en verdi på  $R'_w \geq 48$  dB, som er tilstrekkelig for vegg mellom to klasserom, vil oppbyggingen være som følger:

- 100 mm CLT
- 20 mm hulrom

- 70 mm frittstående isolert stenderverk
- 13 mm gips

For å oppfylle kravet mellom klasserom og korridor, som er  $R'_w \geq 35$  dB, kan veggen ha denne oppbygningen:

- 80 mm CLT
- 70 mm isolert stenderverk
- 13 mm gips

Dekkekonstruksjonen mellom plan 1 og 2 for klasserom og fellesområder. Gjelder ikke over musikkrom. En foreslått oppbygning gjøres slik:

- 40 - 45 mm avretting
- $\geq 30$  mm mineralull
- $\geq 200$  mm massivtre
- 2 x 13 mm gips, 70 mm isolert hulrom, elastisk opplegg
- 45 mm mineralull
- 35 mm treullsement

### **Akustisk inneklima for begge skolene**

Fordi lydforhold bestemmes av flere forskjellige faktorer vil det være vanskelig å foreslå endringer. I tillegg er som nevnt laboratoriemålte og feltmålte verdier som regel ikke de samme. Tiltak for å sikre lydkrav vil alltid være en kompleks løsning.

Typiske tiltak som går igjen er flytende gulv, splitt i overgulv/gulv på grunn, og opplagring på elastiske lagre. Dette er tiltak som stopper flanketransmisjoner og videre lydoverføringer. Elastisk opplagring er vist i Figur 50. Dette er en effektiv, men også dyr løsning og brukes helst ikke dersom det ikke er nødvendig.



*Figur 50. Elastisk opplegg av etasjeskiller (Foto: Privat, Bjørkelangen skole).*



Splitt i overgulv/undergulv brukes mye. Dette gir en mulighet for å stenge inne lydkildene, og er en effektiv måte å forhindre at flanketransmisjoner sprer seg langt i konstruksjonen. Dobbel veggkonstruksjon (Figur 51) eller boks-i-boks-løsninger er også noe som går mye igjen, særlig rundt sløydrom, musikkrom og auditorier. Dette er god løsning, som reduser lyd- og vibrasjons-spredninger seg til nærliggende rom, men gir selvsagt også høyere utgifter på grunn av den store økningen av materialbruk.



Figur 51. Dobbelveggkonstruksjon av massivtre (Foto: Privat, Bjørkelangen skole).

Krav om synlige massivtreelementer vil gi vanskelige prosjekteringsforhold ved lydkrav. Veggene kan bygges opp med en side eksponert massivtre som lar seg gjøre. Dersom det er ønsket synlige overflater på begge sider, vil dette være gjennomførbart med en dobbel veggkonstruksjon, men det sier seg selv at dette er en dyr løsning. I tillegg vil det noen plasser være hensiktsmessig med lydabsorberende overflater på vegger. Når det gjelder dekker vil det være vanskelig å synliggjøre massivtre. På oversiden bør det tildekkes for å unngå trinnlyd og flanketransmisjoner. Undersiden må tildekkes for å oppfylle krav til etterklangstid. Etasjeskillerne er ikke synlige i noen av skolene.

#### 4.7 Livssyklusanalyse

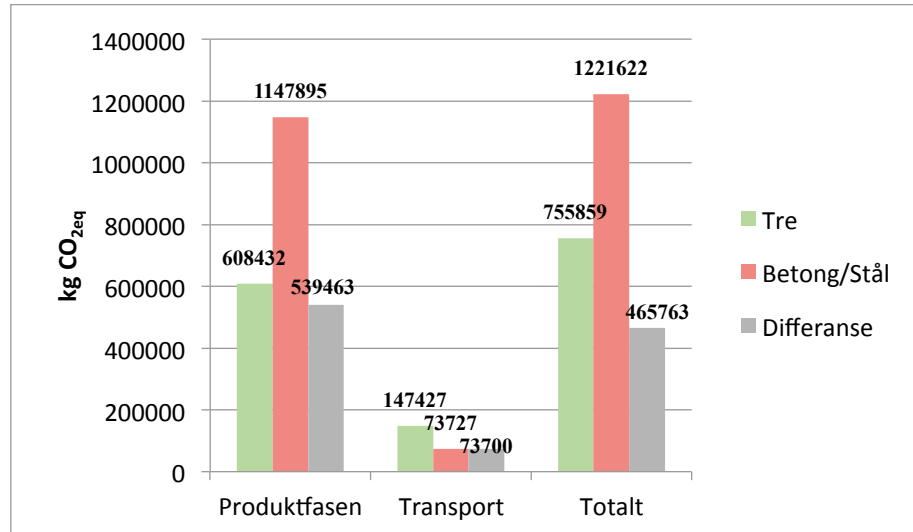
Resultatene fra livssyklusanalysen forteller hvor mye kg CO<sub>2eq</sub> som slippes ut i produktfasen (A1 - A3) og ved transport fra fabrikk til byggeplass (A4), som vist i Figur 52 og 53. Vedlegg 1 og 2 viser fullstendige resultater.

## Bjørkelangen

I scenario 2 på Bjørkelangen skole er utslippene i produktfasen 1,9 ganger høyere enn i scenario 1. Utslippene fra bærekonstruksjonen i betong og stål utgjør alene 75 % av de totale utslippene i produktfasen, altså 861 781 kg CO<sub>2eq</sub> (Vedlegg 1 betong Bjørkelangen). I scenario 1 utgjør bærekonstruksjonen i massivtre og limtre omtrent 48 % av de totale utslippene i produktfasen, altså 292 047 kg CO<sub>2eq</sub> (Vedlegg 1 tre Bjørkelangen). Denne mengden massivtre omfatter også noen innvendige ikke-bærende vegger. Det betyr at selve bærekonstruksjonen utgjør mindre enn 48 % av de totale utslippene i produktfasen.

I forhold til transportutslippene fra fabrikk til byggeplass er utslippene av CO<sub>2eq</sub> 2 ganger større i scenario 1 sammenliknet med scenario 2. Dette er fordi massivtre blir fraktet fra Latvia på lastebil og båt. Transporten av CLT-elementene i scenario 1 utgjør 81 % av de totale transportutslippene på Bjørkelangen (Vedlegg 1 transport Bjørkelangen). For samme scenario utgjør transportutslippene 22 % av de totale utslippene av CO<sub>2eq</sub>. For scenario 2 utgjør transportutslippene kun 6 % av de totale utslippene.

Differansen mellom de totale utslippene i scenario 1 og 2, er 465 763 kg CO<sub>2eq</sub>. Dette betyr at bygget med massivtre ville fått 62 % høyere utslipp hvis det hadde vært bygget i betong og stål i istedenfor.



Figur 52. Søylediagram som viser forskjellene mellom de ulike bygningsmaterialene i produktfasen, transportfasen og totalt for Bjørkelangen skole.

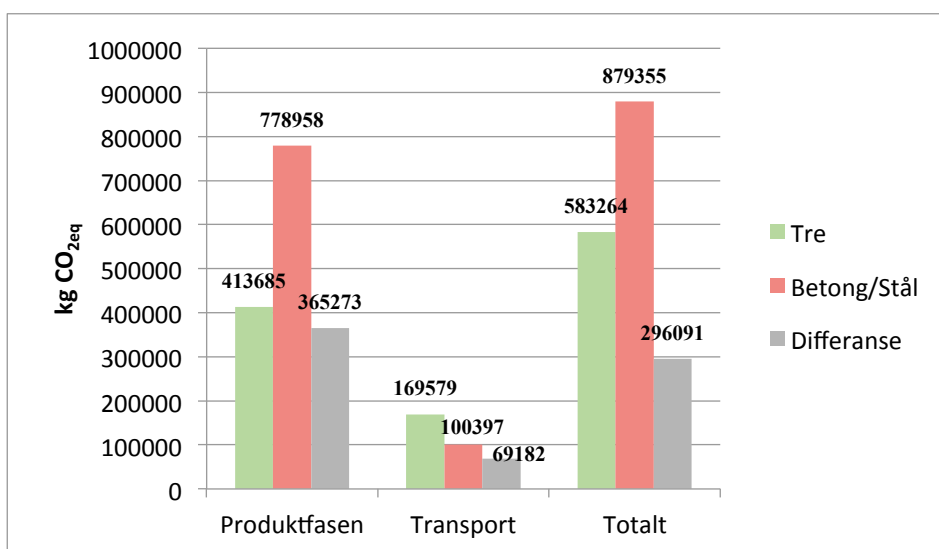
## Kongsvinger

På Kongsvinger ungdomsskole er utslippet av CO<sub>2eq</sub> i produktfasen 1,9 ganger større i scenario 2 enn i scenario 1. Utslippene fra betong og stål i scenario 2 utgjør alene 69 % av de totale utslippene i produktfasen, altså 537 481 kg CO<sub>2eq</sub> (Vedlegg 2 betong Kongsvinger). For bygget i tre utgjør bærekonstruksjonen i massivtre og limtre 48 % av de totale utslippene i

produktfasen, altså 198 569 kg CO<sub>2eq</sub> (Vedlegg 2 tre Kongsvinger). Denne verdien omfatter ikke-bærende innervegger, noe som gjør at bærekonstruksjonen i realiteten har enda lavere utslipp enn det som fremkommer her.

Utslippene fra transport mellom fabrikk og byggeplass er størst i scenario 1, hvor det blir benyttet massivtre. Transporten i scenario 1 er 1,7 ganger større enn i scenario 2. Dette er fordi CLT-elementene som benyttes blir fraktet på tog fra Østerrike, mens de fleste andre produkter kommer fra lokale leverandører. Transportutslippene fra massivtre utgjør 77 % av de totale transportutslippene (Vedlegg 2 transport Kongsvinger). I samme scenario utgjør transportutslippene 29 % av de totale klimagassutslippene, mens i scenario 2 utgjør transportutslippene kun 11 %.

Betong- og stålbygget slipper til sammen ut 296 091 kg CO<sub>2eq</sub> mer enn bygget i tre. Dette betyr at bygget, slik som det er med massivtre, ville fått en økning av klimagassutslippene på 51 % dersom det hadde blitt bygget i betong og stål.



Figur 53. Søylediagram som viser forskjellene mellom de ulike bygningsmaterialene i produktfasen, transportfasen og totalt for Kongsvinger ungdomsskole.

### LCA for begge skolene

Som vist i søylediagrammene for begge skolene i Figur 52 og Figur 53 kan byggene i scenario 2 nesten halvere utslippene i produktfasen ved å erstatte bærekonstruksjonen i betong og stål med massivtre og limtre. Bærekonstruksjonen i betong og stål som står for omtrent 70 % av klimagassutslippene i produktfasen ved begge skolene i scenario 2. Grunnen til at utslippene i produktfasen er høyere for scenario 2 enn scenario 1 ved begge skolene er de store utslippene ved produksjon av betong og stål som benyttes i scenario 2. Hulldekkeelementene som ble valgt i begge tilfellene av scenario 2 var av tykkelse 320 mm og har en utslippsfaktor på 55 kg

CO<sub>2eq</sub> per kvadratmeter. Dette tilsvarer 172 kg CO<sub>2eq</sub> per kubikkmeter. De valgte stålbjelkene og stålsøylene har til sammenlikning en lav utslippsfaktor på henholdsvis 1,3 - 2,3 kg CO<sub>2eq</sub> per kilogram stål. Siden den samlede vekten av stålet som blir benyttet var stor, ble utslippene også store. CLT-elementene som benyttes i de ulike bygningsdelene har ulik tykkelse, fra 80 mm i vegger til 240 mm i etasjeskilleren. Utslippene fra massivtre og limtre utgjør 48 % av utslippene i produktfasen på begge skolene. Utslippsfaktoren til CLT-elementene uten å betrakte biogent karbon er 140 kg CO<sub>2eq</sub> per kubikkmeter for elementene på Bjørkelangen og 129 kg CO<sub>2eq</sub> per kubikkmeter for elementene på Kongsvinger. Utslipet fra betong er høyere per kubikkmeter enn utslippet for massivtre. Ved å bytte bæresystem fra betong og stål til massivtre og limtre vil utslippene i produktfasen kunne reduseres med 47 % på både Bjørkelangen og på Kongsvinger.

Bærekonstruksjonen i massivtre og limtre ikke utgjør like mye som bærekonstruksjonen i betong og stål i forhold til de totale utslippene i produktfasen. Det kan være fordi massivtre har behov for flere tilleggskonstruksjoner for å tilfredsstille krav til brann og lyd, noe som fører til bruk av flere produkter og høyere klimagassutslipp.

For et bygg hvor det anvendes massivtre er det verdt å vurdere transportmiddel og avstand. Dette er fordi de lange avstandene fra fabrikker i utlandet til byggeplass gir utslag på de totale utslippene. Transporten av kun betong og stål i forhold til de totale transportutslippene anses ikke som relevant, fordi det antas bruk av lokale leverandører på samme måte som med de fleste andre materialene og produktene. Siden transporten av massivtre for begge skolene utgjør så mye som 81 % og 77 % av de samlede transportutslippene, vil det være hensiktsmessig å vurdere endringer av transportmiddel og avstand for massivtre dersom de samlede utslippene skal reduseres. Ett alternativ er å bytte leverandør. I Norge har det ikke vært så mange alternativer for leverandører av massivtre. Massivtrefabrikken Nordisk Massivtre AS som har planlagt oppstart i juni 2017 i Kongsvinger vil endre tilgjengeligheten av massivtre. Dette vil gjøre at klimagassutslippene for bygg med bæresystem i massivtre reduseres enda mer i forhold til betong og stål på grunn av kortere transportavstand.

På begge skolene hadde de totale klimagassutslippene økt med 62 % og 51 % dersom bæresystemet i trebygget hadde blitt erstattet med et bæresystem i betong og stål. For fremtidige store massivtrebygg i Norge vil utslippene kunne reduseres ytterligere. Forholdet mellom de totale utslippene vil være nærmere det som vises for produktfasen, fordi transportutslippene vil være ganske like. Dette vil være tilfellet fordi massivtre ikke importeres fra utlandet, men kan hentes lokalt fra Nordisk Massivtre AS, slik som de andre produktene.

## 4.8 Luftgjennomgang og damptetthet

### Vanndampmotstand

Enkle beregninger avkrefter at bruk av dampsperre er nødvendig med massivtre. En elementtykkelse på 80 mm vil gi god nok vanndampmotstand til å overholde anbefalingene fra SINTEF Byggforsk, som vist ved bruk av likning (3.4) fra metode:

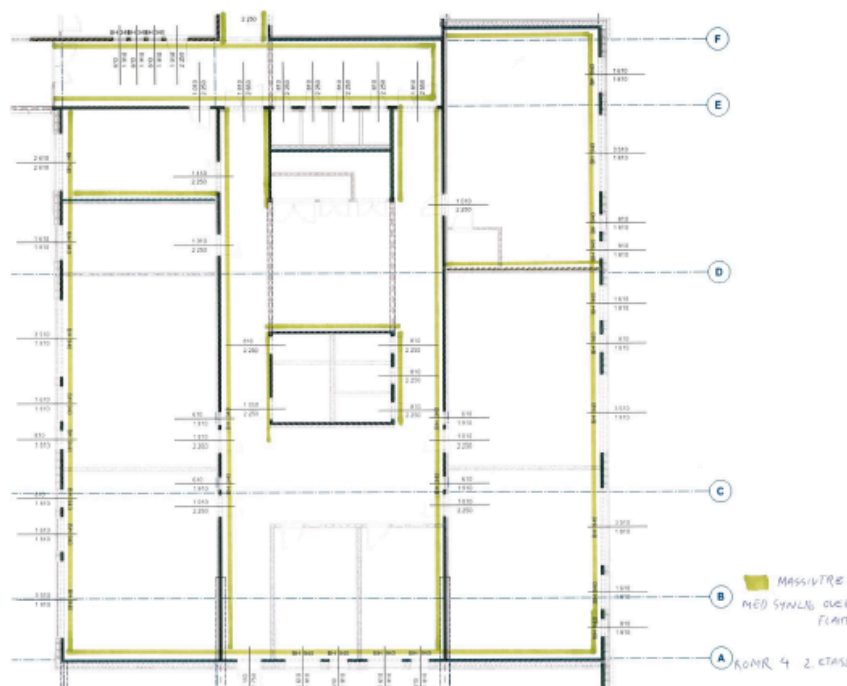
$$S_{d,massivtre} = 200 \times 0,08 = 16 m \quad (5.1)$$

CLT-elementene som benyttes i yttervegger på begge skolene har tykkelse 80 mm eller mer. Det betyr at vanndampmotstanden er god nok uten bruk av dampsperre.

## 4.9 Termiske og hygriske forhold

Som presentert i teorien er massivtre mindre egnet til å magasinere opp varme enn betong. Magasinering av varme kan ha positiv effekt på miljøet på en skole ved at temperatursvingningene over døgnet reduseres. Det vil være mindre energikrevende å opprettholde en jevn temperatur ved bruk av tunge materialer.

Figur 54 viser hvor mye synlig massivtre det er på veggene i 2. etasje i kontrollområde 4 på Bjørkelangen skole. Dette kontrollområdet er en del av undervisningsbygget og mange av rommene er klasserom, hvor elevene tilbringer mye tid. Mengden synlige massivtreoverflater er omtrent det samme i de andre kontrollområdene. De fleste massivtreveggene innvendig er kun dekket med gips på en side. I noen tilfeller er de dekket på begge sider.



Figur 54. Massivtre med synlig overflate, Kontrollområde 4, 2. Etasje. De gule overflatene er synlig massivtre. (Kilde: Oslo Tre)

På Bjørkelangen er de synlige overflatene behandlet med en diffusjonsåpen overflatebehandling. Basert på MBV-klassifiseringen fra Nordtest Prosjektet [59] og resultatene fra Aalto Universitetet i Helsingfors [3], vil de synlige massivtreoverflatene ha MBV-klasse *Begrenset*. Det vil si en MBV-verdi fra omtrent 0,2 til 0,5 g/(m<sup>2</sup>%RH). Bjørkelangen skole skal ha et behovsstyrt ventilasjonssystem (VAV) som styres i sekvens med romtermostat, bevegelsesføler eller CO<sub>2</sub>.

På Kongsvinger er det, basert på den generelle oppbygningen av yttervegg, ingen av ytterveggene som har synlige massivtreoverflater innvendig. De fleste av innerveggene i massivtre er eksponert på en side og dekket til med gips på andre siden. Det er ikke bestemt type overflatebehandling av de eksponerte massivtreoverflatene, men en diffusjonsåpen lakk eller olje er under vurdering. Denne diffusjonsåpne overflatebehandlingen vil gi samme MBV-verdi og klasse som ved Bjørkelangen, klasse *Begrenset*. Luftbehandlingsanlegget skal være behovsstyrt og det vil ikke benyttes mekanisk kjøling. Kjøling foregår ved hjelp av kald uteluft på vinterhalvåret og nattdrift av aggregat i sommerhalvåret.

Begge skolene har mulighet til å utnytte de positive egenskapene massivtre har i forhold til fukt- og temperaturregulering, samt de eventuelle direkte og indirekte besparelsene i energiforbruket. Et fuktkontrollert ventilasjonssystem som er antatt å være nødvendig for å oppnå de eventuelle indirekte energibesparelsene er ikke veldig vanlig å benytte i Norge [67]. Siden ingen av ventilasjonssystemene på de to skolene styres av fuktinnholdet i luften begrenser dette de indirekte energibesparelsene.

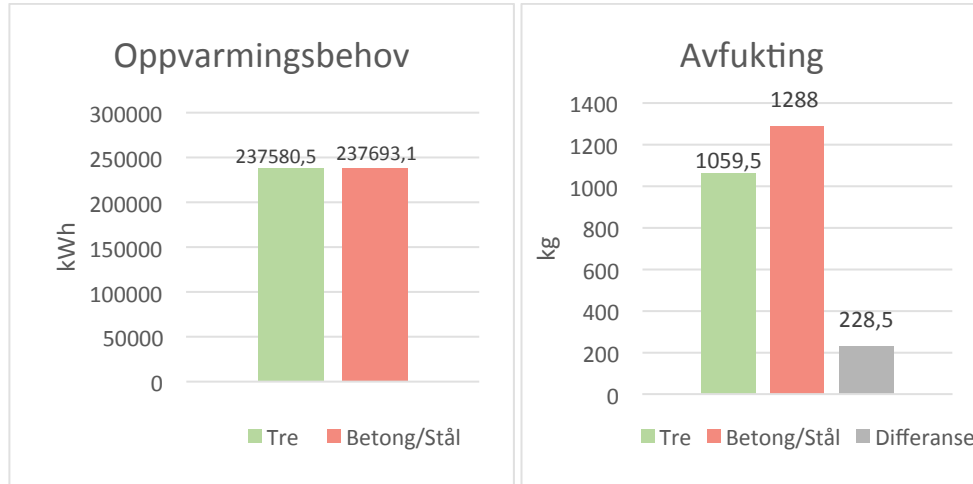
## Energiberegninger fra WUFI Plus

Tabell 18 viser nivåene for oppvarmingsbehov, fukt-behov, avfuktningsbehov, høyeste og laveste målte temperatur og relativ fuktighet, for de ulike simuleringene målt i WUFI Plus.

Tabell 18. Generelle resultater fra simuleringene i WUFI Plus.

Simulering	A		B	
	1 (Tre)	2 (Betong/stål)	1 (Tre)	2 (Betong/stål)
<b>Oppvarmingsbehov [kWh]</b>	<b>237580,5</b>	<b>237693,1</b>	237786,9	237866,1
Befukting [kg]	19473,2	20125,8	0	0
<b>Avfukting [kg]</b>	<b>1059,5</b>	<b>1288</b>	0	0
Minstetemperatur [°C]	19	19	19	19
Makstemperatur [°C]	25,7	26,3	25,7	26,3
Maksimumsnivå	25	25	9,1	8,6
Relativ Fuktighet [%]				
Minimumsnivå	60	60	69,5	71,3
Relativ Fuktighet [%]				

Figur 55 viser oppvarmingsbehovet og avfuktingen for simulering A. Verdiene er hentet fra Tabell 18, markert med uthevet skrift.



Figur 55. Oppvarmingsbehov og avfukting for simulering A.

Resultatene fra simuleringene viste ingen store forskjeller for de to scenarioene. Oppvarmingsbehovet var omtrent tilsvarende for begge bygningene. Det kan nevnes at høyeste målte temperatur, for scenario 2 i dette tilfellet overskrider kravet på 26 °C, men dette var kun for en kort periode. I simulering B, uten avfuktning og befuktning, varierte relativ fuktighet litt mindre for trebygget enn betongbygget. I tillegg passerte høyeste målte verdi for relativ fuktighet 70 %, for betongbygget, som er et kritisk punkt for dannelse av muggsopp. Selv om bygget med massivtre kom ut litt bedre her, var ikke dette noe som kan ses på som en betydelig differanse. Sum avfukting i simulering A har en differanse på 228,5 kg for de to scenarioene. Dette vil si at bygget med massivtre tok opp 228,5 kg fuktighet mer enn bygget i betong. Dette kan knyttes til latent varme, som WUFI Plus ikke tar hensyn til. 228,5 kg avfuktning kan spare bygningen for et oppvarmingsbehov på 158 kWh som vist i likning (5.2):

$$228,5 \text{ kg} \times 2500 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 571250 \text{ kJ} = 158 \text{ kWh} \quad (5.2)$$

Sammenliknet med det totale oppvarmingsbehovet gir ikke dette noen signifikant effekt. Dette var midlertidig den verdien som var mest interessant. Som kjent er både tre og gipsplater fuktabsorberende materialer, og dette var kanskje grunnen for at resultatene ble så like. Tabell 19 og Tabell 20 viser utfyllende energibalanse for simulering A, scenario 1 og scenario 2. Som vist i tabellene er de fleste verdiene omtrent tilsvarende for bygget i tre og bygget i stål og betong.

Tabell 19. Energibalanse for simulering A, scenario 1 (massivtre og limtre).

Energy balance [kWh/a]			
Specification	Total period	Heating period	Cooling period
Ventilation	82,9	0	0
Solar gains	23402,4	15225,1	0
Windows	16,6	0	0
Opaque areas	25098,6	11321,6	0
Int. gains rad.	9945	9684	0
Int. gains conv.	16575	16140	0
Heating	237580,5	237580,5	0
Windows	14799,8	13194,8	0
Opaque areas	27357,3	27051,3	0
Ventilation	239529,9	226318,5	0

Tabell 20. Energibalanse for simulering A, scenario 2 (betong/stål)

Energy balance [kWh/a]			
Specification	Total period	Heating period	Cooling period
Ventilation	61,3	0	0
Solar gains	23402,4	15394,3	0
Windows	13,2	0	0
Opaque areas	23541,5	10513,5	0
Int. gains rad.	9945	9643,5	0
Int. gains conv.	16575	16072,5	0
Heating	237693,1	237693,1	0
Windows	14802,7	13294	0
Opaque areas	25757,3	25499,4	0
Ventilation	239652,5	227025,2	0



Varmekomfort og luftkvalitet var også innenfor normale verdier i begge simuleringene, for scenario 1 og scenario 2 (Figur 56 og Figur 57).

**Zone 1: Quality of indoor environment in % of time in four categories (prEN 15251:2006)**

Percentage	8	92
Thermal environment	I	II
Percentage		100
Indoor air quality		II

Figur 56. Varmekomfort og luftkvalitet for simulering A, scenario 1 (massivtre).

**Zone 1: Quality of indoor environment in % of time in four categories (prEN 15251:2006)**

Percentage	10	90
Thermal environment	I	II
Percentage		100
Indoor air quality		II

Figur 57. Varmekomfort og luftkvalitet for simulering A, scenario 2 (betong/stål).

Som vist ble resultatene svært like, og det kan ikke påvises noen klar tendens for scenarioene. Forskjellen på innvendige overflater for de to scenarioene er kun veggene som er av enten massivtre eller gipsplater. Kanskje ville resultatene blitt annerledes om overflateegenskaper ble definert, da de sannsynligvis ikke er samsvarende med de virkelige egenskapene. Det så likevel ut til at det var en liten tendens til at avfuktningen var litt lavere i massivtrebygget, som kan relateres til latent varme. For Scenario 1 er ikke alle overflater av massivtre, og dermed kan ikke treets egenskaper utnyttes. Det kan også nevnes at totalt energiforbruk er noe høyt i forhold til krav fra TEK10 - Kapittel 14 [57], men dette er ikke noe som undersøkes nærmere ettersom forsøket er basert på mange antakelser.

For videre forskning anbefales det å sammenlikne hvordan overflatebehandlinger påvirker fuktbufferkapasiteten, og om resultatet for spart energi har noe å si for det totale energiforbruket. Denne rapporten fokuserte på energibesparelser ved oppvarming, da det ikke var behov for energi til kjøling. Det kan være interessant å se på energibesparelser ved bygninger i varmere klima, hvor nedkjøling har større betydning.

## 5 KONKLUSJON

Resultatene i rapporten kan generaliseres og brukes som inspirasjon til bygging av nye skoler i massivtre. På begge skolene som ble undersøkt ble CLT-elementer anvendt som bærende og ikke-bærende yttervegger og innervegger, i tillegg til etasjeskillere. Det kan være interessant å forske videre på hybrider mellom massivtre og andre byggematerialer. Elementenes orientering kan påvirke montasjetiden. Uansett orientering var montasjetiden kort sammenliknet med tradisjonelle byggemetoder. Dette var noe entreprenørene så på som positivt i begge byggeprosjektene, men det var lite sannsynlig at de ville velge massivtre i et nytt prosjekt dersom pris var avgjørende. Dersom krav om klimagassutslipp og miljø var avgjørende, kunne massivtre vært et alternativ. Videre forskning kan ta for seg økonomiaspektet ved sammenlikning av massivtre og andre byggematerialer.

Det er mangel på preaksepterte løsninger for bruk av eksponert tre i forhold til brannsikkerhet og det førte til mange fravik fra TEK10. Brannrådgiveren måtte da kompensere med andre løsninger som var mer enn tilfredsstillende. Når det gjelder brannsikring av massivtre, kan det forskes på muligheten for å utvikle en brannhemmende overflatebehandling som også er diffusjonsåpen. Synlige massivtreoverflater ga også utfordringer i forhold til akustikk, fordi lydkravene for skoler er strenge. Det er mulig å bruke massivtre i alle bygningsdeler, men der det er ekstra strenge lydkrav er det mer hensiktsmessig å bruke tyngre materialer.

Livssyklusanalysene viste at de totale klimagassutslippene for trebyggene (scenario 1) hadde økt med 62 % på Bjørkelangen og 51 % på Kongsvinger, dersom byggene hadde blitt bygget med betong og stål (scenario 2). Trebyggene hadde størst utslipp i transportfasen. Dersom massivtre hentes fra en norsk leverandør i fremtiden, vil de totale utslippene for bygg i massivtre vil reduseres ytterligere.

Begge skolene har brukt en diffusjonsåpen overflatebehandling, noe som gir MBV-klasse *Begrenset* i henhold til tidligere forskning presentert i teorien. Eventuelle energibesparelser fra fuktbufring var begrenset siden ingen av skolene anvendte et fuktbasert ventilasjonssystem. Resultatene fra simuleringene i WUFI Plus viste ingen stor forskjell på bygget med innvendige flater av massivtre i forhold til gips. I scenario 1 var fuktopptaket noe større, som kan relateres til latent varme. Energibesparelsene i dette tilfellet var ikke signifikante, men dersom det hadde vært flere massivtreoverflater kunne kanskje forskjellene blitt større. Dette er midlertidig noe som trenger videre forskning.

Selv om bygging med massivtre gir kort montasjetid, redusert klimagassutslipp og godt inneklima er det fortsatt ikke førstevalget hos entreprenørene. Utfordringer knyttet til brann, lyd og økonomi er grunner til hvorfor massivtre ikke blir valgt.

## 6 REFERANSER

- [1] Statsbygg, "Klimagassregnskap.no/Versjon 3 - en modell for livsløpsberegning av klimagassutslipp fra bygg. Karbon fotavtrykks- og livssyklusvurderinger," Statsbygg, Ukjent sted, Analysedokument fra Strategi- og utviklingsavdelingen, Nr. 7 2011.
- [2] Siv Ellen Omland. (2015, June) "Statsbygg: Statens bygninger får klimagassregnskap", Standard Norge, [Hentet 21.05.17]. [Online].  
<https://www.standard.no/standardisering/suksesshistorier/suksesshistorie-statsbygg1/>
- [3] Yrsa Cronhjort et al., "Competitive wood-based interior materials and systems for modern wood construction Wood2New," Wood2New, Forskningsprosjekt 2017.
- [4] Aurskog-Høland kommune. (2015, Dec.) "Ny Bjørkelangen skole ut på anbud", Aurskog-Høland kommune, [Hentet 16.03.17]. [Online]. <http://www.aurskog-holand.kommune.no/nyheter/ny-bjorkelangen-skole-ut-pa-anbud/>
- [5] Stian Sandbekkbråten and Steinar Ottesen. (2015, May) "Ny miljøvennlig skole i tre", Aurskog-Høland kommune, [Hentet 21.03.17]. [Online]. <http://www.aurskog-holand.kommune.no/nyheter/ny-miljovennlig-skole-i-tre/>
- [6] Utdanningsforbundet. (Ukjent årstall) "Skolebygg", Utdanningsforbundet, [Hentet 17.03.17]. [Online]. <https://www.utdanningsforbundet.no/Hovedmeny/Vi-mener/Skolebygg2/>
- [7] Database for offentlige innkjøp (DOFFIN). (2015, Dec.) "Kunngjøring om konkurranse", DOFFIN, [Hentet 16.03.17]. [Online].  
<https://www.doffin.no/Notice/Details/2015-179782>
- [8] Database for offentlige innkjøp (DOFFIN). (2016, Oct.) "Kunngjøring om kontraktstildeling", DOFFIN, [Hentet 17.03.17]. [Online].  
<https://www.doffin.no/Notice/Details/2016-148236>
- [9] Øystein Østgaard. (Ukjent årstall) "Ny ungdomsskole - mye mer enn bare et bygg", Kongsvinger kommune, [Hentet 21.05.17]. [Online].  
<http://www.kongsvinger.kommune.no/PageFiles/41733/kk-magasinet-nyungdomsskole-web.pdf>
- [10] Iren Carlstrøm. (2017, Feb.) "Den nye skolen bygges i massivtre og tre", Mitt Kongsvinger, [Hentet 21.03.17]. [Online]. <http://mittkongsvinger.no/politikk/nye-skolen-bygges-massivtre-tre/>
- [11] Kongsvinger Kommune, "Ny Kongsvinger ungdomsskole, Tilbudsgrunnlag mars 2016

- , " Kongsvinger Kommune, Kongsvinger, Arkitektfag 2018.
- [12] Knut Ivar Edvardsen and Trond Ø. Ramstad, *Håndbok 5 Trehus*, SINTEF Byggforsk, Ed. Oslo: SINTEF akademisk forlag, 2014.
- [13] TreFokus AS. (Ukjent årstall) "Kan vi redde miljøet ved å bruke tre?", TreFokus AS, [Hentet 22.05.17]. [Online]. <http://trefokus.no/aktuelt/kan-vi-redde-miljoet-ved-a-bruke-tre->
- [14] Viken Skog. (Ukjent årstall) "Skogen - en viktig del av klimaløsningen", Viken Skog, [Hentet 11.05.17]. [Online]. <http://www.viken.skog.no/skog-og-miljo/skog-og-klima/>
- [15] SINTEF Byggforsk. (2015, Sep.) "Trelast.Typer og egenskaper", Byggforskserien 571.524, [Hentet 21.05.17]. [Online]. [https://www.byggforsk.no/dokument/3236/trelasttyper\\_og\\_egenskaper](https://www.byggforsk.no/dokument/3236/trelasttyper_og_egenskaper)
- [16] SINTEF Byggforsk. (2015, Aug.) "Trevirke. Treslag og materialeegenskaper", Byggforskserien 571.523, [Hentet 21.05.17]. [Online]. [https://www.byggforsk.no/dokument/578/trevirke\\_treslag\\_og\\_materialeegenskaper](https://www.byggforsk.no/dokument/578/trevirke_treslag_og_materialeegenskaper)
- [17] Kährs Norge A/S, "Tre og treslag," Kährs Norge A/S, Oslo, Informasjonsblad 2008.
- [18] Cappelen Damm. (Ukjent årstall) "Fysikk forkurs, 7 Termofysikk", Cappelen Damm, [Hentet 21.05.17]. [Online]. <http://fysikkforkurs.cappelendamm.no/binfil/download.php?did=73747>
- [19] Sverre Tronstad, "Håndbok Tre og fuktighet - fra produsent til forbruker," Norsk Treteknisk Institutt og Teknologiringen Tørkeklubben, Oslo, Håndbok fra Treteknisk, 4. utgave 2013.
- [20] Johan Mattsson, Ellen Hole, and Tone Olstad. (2008, Nov.) "Muggsopp", Klimagasstilpassninger i norske kommuner, Norsk Institutt for Kulturminneforsikring,[Hentet 23.05.17]. [Online]. <http://www.klimakommune.no/kulturarv/Muggsopp.shtml>
- [21] Norges Astma- og Allergiforbund. (2016, Oct.) "Fukt og mugg", Norges Astma- og Allergiforbund, [Hentet 15.03.17]. [Online]. <http://www.naaf.no/fokusomrader/inneklima/inneklima-i-skoler/fuktmugg/>
- [22] Yr (NRK og Meteorologisk institutt). (Ukjent årstall) "Været som var (klima), Bjørkelangen, Aurskog-Høland (Akershus)", Yr, [Hentet 21.03.17]. [Online]. <https://www.yr.no/sted/Norge/Akershus/Aurskog-H%C3%B8land/Bj%C3%B8rkelangen/klima.html>

- [23] Yr (NRK og Meteorologisk institutt). (Ukjent årstall) "Været som var (klima), Kongsvinger (Hedmark)", Yr, [Hentet 21.03.17]. [Online].  
<https://www.yr.no/sted/Norge/Hedmark/Kongsvinger/Kongsvinger/klima.html>
- [24] Joachim Seehusen. (2014, Jan.) "Bygg i tre - Dette er fremtidens byggemateriale", Teknisk Ukeblad, [Hentet 21.03.17]. [Online]. <https://www.tu.no/artikler/dette-er-fremtidens-byggemateriale/225109>
- [25] SINTEF Byggforsk. (2011, Aug.) "Trebjelkelag. Dimensjonering og utførelse", Byggforskserien 522.351, [Hentet 22.05.17]. [Online].  
[https://www.byggforsk.no/dokument/334/trebjelkelag\\_dimensjonering\\_og\\_utfoerelse](https://www.byggforsk.no/dokument/334/trebjelkelag_dimensjonering_og_utfoerelse)
- [26] Norsk Massivtre. (Ukjent årstall) "Kantstilte element", Norsk Massivtre, [Hentet 27.03.17]. [Online]. <http://www.norskmassivtre.no/elementer/kantstilte-elementer/>
- [27] Treteknisk, ""Håndbok - bygge med Massivtreelementer", 6 hefter i ringperm. Generelt, Byggeteknikk, Dimensjonering, Brann, Lyd og Byggeprosjekter," Norsk Treteknisk Institutt, (Hefte 5 Lyd er revidert i 2016), Oslo, Oslo, Treteknisk håndbok nr. 1 2006.
- [28] Geir Glaso, "Presentasjon "Branntekniske egenskaper massivtre" (Treteknisk)," in *Møte hos Tekna*, Oslo, 23.03.17.
- [29] Berit Time et al., "Tak basert på massivtreelementer, Klimapåkjenninger, bygningsfysiske og bygningstekniske forhold," SINTEF Byggforsk, Oslo, Prosjektrapport nr. 30 2008.
- [30] Kim Robert Lisø and Vidar Stenstad, "Fuktsikre isolerte skrå tretak (FIST) - Forstudie," Norges byggforskningsinstitutt, Oslo, Prosjektrapport nr. 266 2000.
- [31] Kristian Bysheim, Anders Nyrud, and Kristen Strobel, "Building materials and well-being in indoor environments. Project Wood2New Competitive wood-based indoor materials and systems for wood construction," Alto University, BRE, Holzforschung Austria, LiU, Treteknisk, Oslo, Rapport nr. 88, Wood2New project 2016.
- [32] Norges Astma- og Allergiforbund. (2016, Oct.) "Luft og ventilasjon", Norges Astma- og Allergiforbund, [Hentet 19.03.17]. [Online].  
<http://www.naaf.no/fokusomrader/inneklima/inneklima-i-skoler/ventilasjonluftskifte/>
- [33] Peter Barrett, Fay Davies, Yufan Zhang, and Lucinda Barrett, "The impact of classroom design on pupils' learning: Final results of a holistic, multi-level analysis," School of the Built Environment, Maxwell Building, University of Salford, Salford, Forskningsrapport, Building and Environment 89 2015.

- [34] Rune Becher, Marianne Bjerke, Finn Mathisen, and Johan Øvrevik, "Inneklima i skoler og barnehager Helsemessig betydning for barn og unge," Folkehelseinstituttet, Rapport 2016.
- [35] Dimitrios Kraniotis, Anders Q. Nyrud, Finn Englund, and Kristine Nore, "Moisture buffering, energy potential and VOC emissions of wood exposed to indoor environments," Norwegian Institute of Wood Technology og SP Technical Research Institute of Sweden, Dalian, Conference paper 2015.
- [36] Richard Gminski et al., "Sensory irritations and pulmonary effects in human volunteers following short-term exposure to pinewood emissions," The Japan Wood Research Society , Freiburg/Braunschweig, Original Article 2011.
- [37] Peder Wolkoff, Peder Skov, Carsten Franck, and Lisbeth N. Petersen, "Eye irritation and environmental factors in the office environment - Hypotheses, causes and a physiological model," Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, Scandinavia, Article 2003.
- [38] Standard Norge, "Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner - Del 1-2: Brannteknisk dimensjonering," Standard Norge, NS-EN 1995-1-2:2004+NA:2010, 2010.
- [39] Norsk Standard, "Brannklassifisering av byggevarer og bygningsdeler - Del 1: Klassifisering ved bruk av resultater fra prøving av materialers egenskaper ved brannpåvirkning," Standard Norge, Ukjent sted, Standard NS-EN 13501-1:2007+A1:2009, 2009.
- [40] Standard Norge, "Lydforhold i bygninger - Lydklasser for ulike bygningstyper," Standard Norge, Standard NS 8175:2012, 2012.
- [41] Torhildur Kristjansdottir et al., "A Norwegian ZEB-definition embodied emission," SINTEF Academic Press og Norwegian University of Science and Technology, Oslo/Trondheim, ZEB Project report nr. 17 2014.
- [42] Selamawit Mamo Fufa, Reidun Dahl Schlanbusch, Kari Sørnes, Marianne Inman, and Inger Andersen, "A Norwegian ZEB Definition Guideline," SINTEF Academic Press, Norwegian University of Science and Technology, ZEB Project report 29 2016.
- [43] Standard Norge, "Bærekraftige byggverk - Vurdering av bygningers miljøprestasjon - Beregningsmetode," Standard Norge, Standard NS-EN 15978: 2011 , 2012.
- [44] European Commission. (2017, May) "Nearly zero-energy buildings", European

- Commission, [Hentet 21.03.17]. [Online]. <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings/nearly-zero-energy-buildings>
- [45] Standard Norge, "Tømmer og skurlast - Miljødeklarasjoner - Produktkategoriregler for tre og trebaserte produkter til bruk i byggverk," Standard Norge, NS-EN 16485:2014, 2014.
- [46] Consolis Spenncon. (Ukjent årstall) "Betong og miljø", Consolis Spenncon, [Hentet 24.04.17]. [Online]. <http://spenncon.no/spenncon/om-spennccon/enok-losninger/betong-og-miljo/>
- [47] EPD-Norge. (Ukjent årstall) "EPD-Norge", [Hentet 24.04.17]. [Online]. <http://epd-norge.no/>
- [48] Skonto Cross Timber Systems, "Meet the CLT technology," Cross Timber Systems, Skonto Enterprises, Latvia, Produktdatablad Ukjent årstall.
- [49] Grete Kristin Hennissen. (2010) "Moelven Massivtre mot styrt avvikling", Arkitektnytt, [Hentet 20.05.17]. [Online]. <https://www.arkitektnytt.no/nyheter/moelven-massivtre-mot-styrt-avvikling>
- [50] Hunton. (2017, Jan.) "Nytt massivt selskap", Hunton, [Hentet 05.04.17]. [Online]. <http://www.hunton.no/nyheter/hunton-stifter-nordisk-massivtre-as/>
- [51] Hans Boye Skogstad, Lars Gullbrekken, and Sivert Uvsløkk, "Massivtre – Luftgjennomgang og behov for sperresjikt," SINTEF akademisk forlag, SINTEF Byggforsk, Oslo, Prosjektrapport nr. 81 2011.
- [52] SINTEF Byggforsk. (2003) "Materialdata for vanndamptransport", Byggforskserien 573.430, [Hentet 22.05.17]. [Online]. [https://www.byggforsk.no/dokument/606/materialdata\\_for\\_vanndamptransport](https://www.byggforsk.no/dokument/606/materialdata_for_vanndamptransport)
- [53] Stig Geving, Jonas Holme, and Sivert Uvsløkk, "Alternative dampsperrer med uttørkingsmulighet mot innelufta," SINTEF akademisk forlag, SINTEF Byggforsk, Oslo, Prosjektrapport nr. 65 2010.
- [54] SINTEF Byggforsk.
- [55] Stora Enso Wood Products, "Stora Enso CLT Teknisk brosjyre ," Stora Enso Wood Products GmbH, Teknisk brosjyre 2015.
- [56] Norges Astma- og Allergiforbund. (2016, Oct.) "Temperatur", Norges Astma- og Allergiforbund, [Hentet 19.03.17]. [Online].

- <http://www.naaf.no/fokusomrader/inneklima/inneklima-i-skoler/temperatur/>
- [57] Direktoratet for byggkvalitet. (2010, July) "Byggteknisk forskrift (TEK 10)", Direktoratet for byggkvalitet, [Hentet 22.05.17]. [Online].  
<https://dibk.no/byggeregler/tek/>
- [58] Carey J. Simonson, Mikael Salonvaara, and Tuomo Ojanen, "Improving Indoor Climate and Comfort with Wooden Structures," VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo, VTT Publications 431 2001.
- [59] Carsten Rode, "Moisture Buffering of Building Materials," Department of Civil Engineering Technical University of Denmark og Nordic Innovation Centre, Prosjektnummer 04023, Rapportnummer R-126 2005.
- [60] Carsten Rode and Karl Grau, "Moisture Buffering and its Consequence in Whole Building Hygrothermal Modeling," Department of Civil Engineering (Technical University of Denmark) og Danish Building Research Institute (Aalborg University), Lyngby/Hørsholm, Forskningsrapport 2007.
- [61] Olalekan F. Osanyintola and Carey J. Simonson, "Moisture buffering capacity of hygroscopic building materials: Experimental facilities and energy impact," Department of Mechanical Engineering, University of Saskatchewan, Saskatoon, Forskningsrapport, Energy and Buildings 38 2006.
- [62] Stéphane Hameury, "Moisture buffering capacity of heavy timber structures directly exposed to an indoor climate: a numerical study," Department of Civil and Architectural Engineering, Division of Building Materials, KTH—The Royal Institute of Technology, Stockholm, Forskningsrapport, Building and Environment 40 2005.
- [63] Dimitrios Kraniotis, Nathan Langouet, Thomas Orskaug, Kristine Nore, and Geir Glasø, "Moisture Buffering and Latent Heat Sorption Phenomena of a Wood-Based Insulating Sandwich Panel," World Conference on Timber Engineering (WCTE), Vienna, Forskningsrapport 2016.
- [64] Kristine Nore. (2014, Nov.) "Treoverflater gir energisparing – effekt av hygrotermisk masse", Norsk Treteknisk Institutt, [Hentet 22.05.17]. [Online].  
[http://www.bygningsfysikk.no/NorskBygningsfysikkdag2014/08\\_Nore.pdf](http://www.bygningsfysikk.no/NorskBygningsfysikkdag2014/08_Nore.pdf)
- [65] Dimitrios Kraniotis, Kristine Nore, Christoph Brückner, and Anders Q. Nyrud, "Thermography measurements and latent heat documentation of Norwegian spruce (*Picea abies*) exposed to dynamic indoor climate," Norwegian Institute of Wood



- Technology (Norsk Treteknisk Institutt), Oslo, Forskningsrapport 2015.
- [66] SINTEF Byggforsk. (2005) "Inneklima og ventilasjon i skoler", Byggforskserien 552.311, [Hentet 21.05.17]. [Online].  
[https://www.byggforsk.no/dokument/532/inneklima\\_og\\_ventilasjon\\_i\\_skoler](https://www.byggforsk.no/dokument/532/inneklima_og_ventilasjon_i_skoler)
- [67] Silje Kathrin Asphaug et al., "Kunnskapsstatus – Fuktbufring i materialer og påvirkning på energibehov," SINTEF Academic Press og Norwegian University of Science and Technology, ZEB Project Report nr. 22 2015.
- [68] Idar Magne Holme and Bernt Krohn Solvang, *Metodevalg og metodebruk.*: Tano Aschehoug, 1996.
- [69] Standard Norge, "Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner - Del 1-2: Brannteknisk dimensjonering," Standard Norge, Standard NS-EN 1995-1-2:2004+NA:2010, 2010.
- [70] SINTEF Byggforsk. (2014) "U-verdier for vegger over terreng. Grunnlag for beregninger", Byggforskserien 471.231, [Hentet 21.05.17]. [Online]. [https://www-byggforsk-no.ezproxy.hioa.no/dokument/4044/u-verdier\\_for\\_vegger\\_over\\_terreng\\_grunnlag\\_for\\_beregninger](https://www-byggforsk-no.ezproxy.hioa.no/dokument/4044/u-verdier_for_vegger_over_terreng_grunnlag_for_beregninger)
- [71] Standard Norge, "Laster på konstruksjoner. Del 1-2: Allmenne laster - laster på konstruksjoner ved brann," Standard Norge, 1. utgave NS-EN 1991-1-2, 2003.
- [72] Tuula Hakkarainen, "Post-Flashover Fires in Light and Heavy Timber Construction Compartments," VTT Building and Transport, Fire Research, Finland, Vol. 20 2002.
- [73] Direktoratet for byggkvalitet. (2016, Nov.) "Høringsnotat. Forslag til ny byggteknisk forskrift (TEK17)", saksnummer 16/6053, [Hentet 10.05.17]. [Online].  
[https://dibk.no/globalassets/aktuelle-horinger/101116\\_tek17/horingsnotat-forslag-til-ny-byggtknisk-forskrift\\_.pdf](https://dibk.no/globalassets/aktuelle-horinger/101116_tek17/horingsnotat-forslag-til-ny-byggtknisk-forskrift_.pdf)
- [74] Standard Norge. (2016, Sep.) "Lydklasser", Standard Norge, [Hentet 10.05.17]. [Online]. <https://www.standard.no/fagomrader/bygg-anlegg-og-eiendom/akustikk-og-stoy/lydklasser/>
- [75] Standard Norge, "Bygningsdelstabell," Standard Norge, Standard NS 3451:2009, 2009.
- [76] Standard Norge, "Bærekraftige byggverk - Miljødeklarasjoner - Grunnleggende produktkategoriregler for byggevarer," Standard Norge, Standard NS-EN 15804:2012+A1:2013, 2014.

- [77] Norges Rederiforbund. (Ukjent årstall) "Klima", Norges Rederiforbund, [Hentet 10.04.17]. [Online]. <https://www.rederi.no/om-oss/fagomrader/sikkerhet-miljo-og-innovasjon/miljo/strategi/klima/>
- [78] Per Kr. Larsen, Arild H. Clausen, and Arne Aalberg, "Stålkonstruksjoner, profiler og formler," Institutt for Konstruksjonsteknikk, NTNU & Fagbokforlaget Vigmostad & Bjørke AS, Formelsamling og profiltabell, 3. utgave 2014.
- [79] SINTEF Byggforsk. (2007) Bindingsverk av tre. Varmeisolering og tetting, Byggforskserien 523.255, [Hentet 23.05.17]. [Online]. [https://www.byggforsk.no/dokument/361/bindingsverk\\_av\\_tre\\_varmeisolering\\_og\\_tetting](https://www.byggforsk.no/dokument/361/bindingsverk_av_tre_varmeisolering_og_tetting)
- [80] Sivert Uvsløkk. (2015, Oct.) "Én dampspærre er nok", SINTEF Byggforsk - Byggeblogg, [Hentet 24.03.17]. [Online]. <http://www.sintef.no/byggforsk/fagblogg/poster/en-dampspærre-er-nok/>
- [81] Standard Norge, "Beregning av bygningers energiytelse - Metode og data," Standard Norge, Standard NS 3031:2014, 2014.
- [82] Standard Norge, "Kriterier for passivhus og lavenergibygninger - Yrkesbygninger," Standard Norge, Standard NS 3701:2012, 2012.
- [83] Standard Norge, "Inneklimaparametere for dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse inkludert inneluftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk," Standard Norge, Standard NS-EN 15251:2007+NA:2014, 2014.
- [84] The Energy Conservatory, "Minneapolis Blower Door - Operation Manual for Model 3 and Model 4 Systems," The Energy Conservatory, Minneapolis, Operation Manual 2012.
- [85] Astrid Rommetveit. (2016, Oct.) "Dette markerer en ny æra av klimaendringer", Yr.no, [Hentet 21.05.17]. [Online]. <http://www.yr.no/artikkel/-dette-markerer-en-ny-aera-av-klimaendringer-1.13193066>
- [86] Jørgen Tycho, "Er store trekonstruksjoner brannsikre?," Oslo Tre, Oslo, Presentasjon hos Tekna 2017.
- [87] Christian Magnusson and Lars Boberg Hov, "Bjørkelangen skole, akustisk prosjektering," Rambøll, Oslo, Lydrapport 2017.
- [88] Woodcon. (Ukjent årstall) "Solution", Woodcon, [Hentet 23.05.17]. [Online]. <http://woodcon.no/#solution>

- [89] Steni. (Ukjent årstall) "Velg din egen farge", Steni, [Hentet 08.04.17]. [Online]. <http://www.steni.no/produkter/fasadeplater/steni-colour/>
- [90] Moelven. (Ukjent årstall) "Rhombus furu varmebehandlet", Moelven, [Hentet 08.04.17]. [Online]. <http://www.moelven.com/no/Produkter-og-tjenester/Bygge-og-bo/Produktvelger/Fasade-og-utemiljo/Termotre/Kledning/Rhombus-furu/>
- [91] Aurskog-Høland kommune. (2016, Jan.) "Prosessen om ny skole går videre", Aurskog-Høland kommune, [Hentet 15.05.17]. [Online]. <http://www.aurskog-holand.kommune.no/nyheter/prosessen-om-ny-skole-gar-videre/>
- [92] Susanne Pallesen, Vigdis Eidan, and Roger Trasop, "Brannkonsept Bjørkelangen skole," BrannSafe AS, Jessheim, Revisjon 07, Prosjektnummer 1037 2017.
- [93] Tore Moen and V. Lars Strand , "Kongsvinger ungdomsskole Foreløpige utkast – premissrapport akustikk ," Brekke & Strand, Rapport (Intern bruk) 2017.

## **7 VEDLEGG**

Vedlegg 1. LCA Bjørkelangen

Vedlegg 2. LCA Kongsvinger

Vedlegg 3. Oppbygging for energiberegninger i WUFI Plus for scenario 1

Vedlegg 4. Oppbygging for energiberegninger i WUFI Plus for scenario 2

Vedlegg 5. Plantegning Bjørkelangen – kun 1. etasje

Vedlegg 6. Plantegning Kongsvinger – kun 1. etasje

# Vedlegg 1

## LCA Bjørkelangen - Scenario 1) TRE

Scope	
Databases Used	EPDs, Ecolnvent v3.1
Lifetime of Construction (years)	60
AREA BRA (sqm)	100
Functional Unit	1sqm over a 60 yr lifetime

**e.g. Quantity (kg of material) x Emission Factor (kgCO<sub>2</sub>eq/kg) = CO<sub>2</sub> Emissions (kgCO<sub>2</sub>eq)**

Building Element	A1 - A3	B4	Total EE kgCO <sub>2</sub> eq	kgCO <sub>2</sub> eq per yr	kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> 60yrs	kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> /yr
2 Building						
21 Groundwork and Foundations	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22 Superstructure	6813,92	0,00	6813,92	113,57	68,14	1,14
23 Outer walls	138835,69	0,00	138835,69	2313,93	1388,36	23,14
24 Inner walls	70531,89	0,00	70531,89	1175,53	705,32	11,76
25 Floor Structure	392250,88	0,00	392250,88	6537,51	3922,51	65,38
26 Outer Roof	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28 Stairs and Balconies	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3 Heating, Ventilation and Sanitation						
32 Heating	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
36 Ventilation and Air Conditioning	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4 Electric Power						
44 Lighting	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
45 Electric Heating	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
49 Electric Other	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6 Other Installations						
61 Prefabricated Unit	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
62 Person and Goods Transport	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>TOTAL</b>			<b>608432</b>	<b>10141</b>	<b>6084</b>	<b>101,41</b>

Merknad:  
Områdene som er markert i lysegrått er ikke inkludert i LCA.

Det er kun følgende bygningselementer som er vurdert:  
 22 Superstructure  
 23 Outer walls  
 24 Inner walls  
 25 Floor Structure

LCA omfatter heller ikke de to siste kolumnene.

22 Superstructure						A1 - A3		B4		Area (m2)		Volum (m3)	
MATERIAL CATEGORY	PRODUCT	REFERENCE	UNIT	AMOUNT	Estimated Service Lifetime	Emission Factor	EE kgCO2eq	Lifetime Factor	EE kgCO2eq	Area (m2)	Volum (m3)		
Wood	Moelven: Standard Glue Laminated Timber Beam excl. Biogenic CO2	NEPD nr.: 336-222-NO (2015)	m3	25,95	60	92,0	2387,40	0	0	Limtre bjelker	25,95		
Wood	Cross Timber Systems: Cross Laminated Timber Panels	NEPD-1269-410-EN	m3	21,36	60	140,0	2990,40	0	0	massivtre søyler	21,36		
Wood	Moelven: Standard Glue Laminated Timber Beam excl. Biogenic CO2	NEPD nr.: 336-222-NO (2015)	m3	15,61	60	92,0	1436,12	0	0	limtre bjelker	15,61		

A1 - A3	6813,92	B4	0,00
per FU	1,14	per FU	0,00

23 Outer Walls						A1 - A3		B4		Area (m2)		Volum (m3)	
MATERIAL CATEGORY	PRODUCT	REFERENCE	UNIT	AMOUNT	Estimated Service Lifetime	Emission Factor	EE kgCO2eq	Lifetime Factor	EE kgCO2eq	Area (m2)	Volum (m3)		
Wood	Moelven Wood Prosjekt: Termotre Pine, cladding, decking excl. Biogenic CO2	NEPD nr.: 259N (2014)	m3	52,12	60	528,3	27534,47	0	0	stående kledding	52,12		
Insulation	Rockwool: RedAir Flex ventilated facade system	EN 15804:2012	m2	2482,00	50	15,3	37974,60	0	0	RedAir	2482	198,56	
Wood	Cross Timber Systems: Cross Laminated Timber Panels	NEPD-1269-410-EN	m3	198,56	60	140,0	27798,40	0	0	CLT	198,56		
Wood	Moelven Wood Prosjekt: Termotre Pine, cladding, decking excl. Biogenic CO2	NEPD nr.: 259N (2014)	m3	22,18	60	528,3	11717,47	0	0	stående kledding	22,18		
Insulation	Rockwool: RedAir Flex ventilated facade system	EN 15804:2012	m2	1056,00	50	15,3	16156,80	0	0	RedAir	1056	84,48	
Wood	Cross Timber Systems: Cross Laminated Timber Panels	NEPD-1269-410-EN	m3	84,48	60	140,0	11827,20	0	0	CLT	84,48		
Insulation	Glava: Glass wool insulation (35mm) 16.5kg/m3, R=1m2K/W	NEPD nr.: 221N (2013) rev2	m2	1056,00	60	5,3	5617,92	0	0	isolasjon	1056		
Wood	Trendustrien: Structural Pine or Spruce Timber excl. Biogenic CO2 (average)	NEPD nr.: 308-179-NO (2015)	m3	3,94	60	53,0	208,82	0	0	tresplekledning	3,94		

A1 - A3	138835,69	B4	0,00
per FU	23,14	per FU	0,00

24 Inner Walls						A1 - A3		B4		Area (m2)		Volum (m3)	
MATERIAL CATEGORY	PRODUCT	REFERENCE	UNIT	AMOUNT	Estimated Service Lifetime	Emission Factor	EE kgCO2eq	Lifetime Factor	EE kgCO2eq	Area (m2)	Volum (m3)		
Wood	Cross Timber Systems: Cross Laminated Timber Panels	NEPD-1269-410-EN	m3	396,20	60	140,0	55468,00	0	0	CLT	396,2		
Insulation	Glava: Glass wool insulation (35mm) 16.5kg/m3, R=1m2K/W	NEPD nr.: 221N (2013) rev2	m2	3962,00	60	1,5	5824,14	0	0	isolasjon	3962		
Coverings	Notigips: Standard Plasterboard Type A (STD) (13mm)	NEPD nr.: 113-17-EN (2015)	m2	3962,00	60	2,1	8320,20	0	0	gips	3962		
Wood	Trendustrien: Structural Pine or Spruce Timber excl. Biogenic CO2 (average)	NEPD nr.: 308-179-NO (2015)	m3	17,35	60	53,0	919,55	0	0	konstruksjonsvirke	17,35		

A1 - A3	70531,89	B4	0,00
per FU	11,76	per FU	0,00

25 Floor Structure						A1 - A3		B4		Area (m2)		Volum (m3)	
MATERIAL CATEGORY	PRODUCT	REFERENCE	UNIT	AMOUNT	Estimated Service Lifetime	Emission Factor	EE kgCO2eq	Lifetime Factor	EE kgCO2eq	Area (m2)	Volum (m3)		
Flooring	Armstrong: Linoleum	EFD-0001	m2	5782,00	60	5,6	32379,20	0	0	belegg linoleum armstrong	5782		
Flooring	Weber Floor 140 Nova	S-P-00651	m2	5782,00	60	10,1	58398,20	0	0	40 mm avretting	5782		
Insulation	EPS Gruppen: Expanded Polystyrene Rigid Foam insulation 80 (38mm) R=1m2K/W (average)	NEPD nr.: 322-185-NO (2015)	m2	5782,00	60	2,6	15364,48	0	0	50 mm EPS	5782		
Insulation	Paroc: Insulation >120kg/m3, R=1m2K/W	NEPD nr.: 266f (2014)	m2	5782,00	50	6,8	39317,60	0	0	50 mm hard mineralull	5782		
Wood	Cross Timber Systems: Cross Laminated Timber Panels	NEPD-1269-410-EN	m3	1387,68	60	140,0	194275,20	0	0	240 mm CLT	1387,68		
Coverings	Rockwool Rockfon: Ceiling Tiles (151-173 kg/m3)	NEPD nr.: 338-229-EN (2015)	m2	5782,00	60	9,1	52616,20	0	0	komplett rockfon soner db 44	5782		

A1 - A3	392250,88	B4	0,00
per FU	65,38	per FU	0,00

# LCA Bjørkelangen - Scenario 2) BETONG/STÅL

Scope	
Databases Used	EPDs, Ecolnvent v3.1
Lifetime of Construction (years)	60
AREA BRA (sqm)	100
Functional Unit	1sqm over a 60 yr lifetime

e.g. Quantity (kg of material) x Emission Factor (kgCO<sub>2</sub>eq/kg) = CO<sub>2</sub> Emissions (kgCO<sub>2</sub>eq)

Building Element	A1 - A3	B4	Total EE kgCO <sub>2</sub> eq	kgCO <sub>2</sub> eq per yr	kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> 60yrs	kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> /yr
2 Building						
21 Groundwork and Foundations	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22 Superstructure	543771,16	0,00	543771,16	9062,85	5437,71	90,63
23 Outer walls	86505,93	0,00	86505,93	1441,77	865,06	14,42
24 Inner walls	40024,49	0,00	40024,49	667,07	400,24	6,67
25 Floor Structure	477593,20	0,00	477593,20	7959,89	4775,93	79,60
26 Outer Roof	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28 Stairs and Balconies	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3 Heating, Ventilation and Sanitation						
32 Heating	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
36 Ventilation and Air Conditioning	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4 Electric Power						
44 Lighting	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
45 Electric Heating	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
49 Electric Other	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6 Other Installations						
61 Prefabricated Unit	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
62 Person and Goods Transport	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>TOTAL</b>			<b>1147895</b>	<b>19132</b>	<b>11479</b>	<b>191,32</b>

Merknad:  
Områdene som er markert i lysegrått er ikke inkludert i LCA.

Det er kun følgende bygningselementer som er vurdert:  
22 Superstructure  
23 Outer walls  
24 Inner walls  
25 Floor Structure

LCA omfatter heller ikke de to siste kolumnene.

22 Superstructure

MATERIAL CATEGORY	PRODUCT	REFERENCE	UNIT	AMOUNT	Estimated Service Lifetime	A1 - A3 Emission Factor kgCO2eq	B4 Emission Factor kgCO2eq	Area (m2)	Volume (m3)
Metals	Norwegian Steel Association: Cold Formed Welded Structural Hollow sections CFSHS (average)	NEPD nr.: 259N (2014)	kg	75363,00	60	2,3	173334,90	0	0
Metals	Contiga: I, H, U, L, T and Wide Flats Hot Rolled Sections	NEPD nr.: 081E (2013) rev1	kg	177391,90	60	1,3	234157,31	0	0
Metals	Norwegian Steel Association: Cold Formed Welded Structural Hollow sections CFSHS (average)	NEPD nr.: 259E (2014)	kg	8662,25	60	2,3	19923,18	0	0
Metals	Contiga: Cold Formed Structural Hollow sections CFSHS	NEPD nr.: 079E (2013) rev1	kg	44410,60	60	2,6	116355,77	0	0
						A1 - A3 per FU	B4 per FU		
						543771,16	0,00		
						90,63	0,00		

23 Outer Walls

MATERIAL CATEGORY	PRODUCT	REFERENCE	UNIT	AMOUNT	Estimated Service Lifetime	A1 - A3 Emission Factor kgCO2eq	B4 Emission Factor kgCO2eq	Area (m2)	Volume (m3)
Wood	Moelven Wood Prosjekt: Termotre Pine, cladding, decking excl. Biogenic CO2	NEPD nr.: 259N (2014)	m3	52,12	60	528,3	27534,47	0	0
Coverings	Knauf: Danogips Clima Board Plasterboard (12,5mm) excl. Biogenic CO2	NEPD nr.: 355-246-EN (2015)	m2	2482,00	60	1,8	4566,88	0	0
Insulation	Gjæva: Glass wool insulation (35mm) 16.5kg/m3, R=1m2K/W	NEPD nr.: 221N (2013) rev2	m2	2482,00	60	5,3	13204,24	0	0
Wood	Treindustrien: Structural Pine or Spruce Timber excl. Biogenic CO2 (average)	NEPD nr.: 308-179-NO (2015)	m3	39,31	60	53,0	2083,43	0	0
Wood	Treindustrien: Structural Pine or Spruce Timber excl. Biogenic CO2 (average)	NEPD nr.: 308-179-NO (2015)	m3	9,53	60	53,0	505,09	0	0
Plastics	Beca Plastindustri: Polyethylene PE Waterproofing Membrane (0,20mm)	NEPD nr.: 273N (2014)	m2	2482,00	60	0,5	1295,60	0	0
Coverings	Norgips: Standard Plasterboard Type A (STD) (13mm)	NEPD nr.: 113-177-EN (2015)	m2	2482,00	60	2,1	5212,20	0	0
Wood	Moelven Wood Prosjekt: Termotre Pine, cladding, decking excl. Biogenic CO2	NEPD nr.: 259N (2014)	m3	22,18	60	528,3	11717,47	0	0
Coverings	Knauf: Danogips Clima Board Plasterboard (12,5mm) excl. Biogenic CO2	NEPD nr.: 355-246-EN (2015)	m2	1056,00	60	1,8	1943,04	0	0
Insulation	Gjæva: Glass wool insulation (35mm) 16.5kg/m3, R=1m2K/W	NEPD nr.: 221N (2013) rev2	m2	1056,00	60	5,3	5596,80	0	0
Wood	Treindustrien: Structural Pine or Spruce Timber excl. Biogenic CO2 (average)	NEPD nr.: 308-179-NO (2015)	m3	16,73	60	53,0	886,69	0	0
Wood	Treindustrien: Structural Pine or Spruce Timber excl. Biogenic CO2 (average)	NEPD nr.: 308-179-NO (2015)	m3	4,06	60	53,0	215,18	0	0
Plastics	Beca Plastindustri: Polyethylene PE Waterproofing Membrane (0,20mm)	NEPD nr.: 273N (2014)	m2	1056,00	60	0,5	551,23	0	0
Wood	Treindustrien: Structural Pine or Spruce Timber excl. Biogenic CO2 (average)	NEPD nr.: 308-179-NO (2015)	m3	211,20	60	53,0	11193,60	0	0
						A1 - A3 per FU	B4 per FU		
						86505,93	0,00		
						14,42	0,00		

24 Inner Walls

MATERIAL CATEGORY	PRODUCT	REFERENCE	UNIT	AMOUNT	Estimated Service Lifetime	A1 - A3 Emission Factor kgCO2eq	B4 Emission Factor kgCO2eq	Area (m2)	Volume (m3)
Coverings	Norgips: Standard Plasterboard Type A (STD) (13mm)	NEPD nr.: 113-177-EN (2015)	m2	7924,00	60	2,1	16640,40	0	0
Insulation	Gjæva: Glass wool insulation (35mm) 16.5kg/m3, R=1m2K/W	NEPD nr.: 221N (2013) rev2	m2	3962,00	60	1,5	5824,14	0	0
Wood	Treindustrien: Structural Pine or Spruce Timber excl. Biogenic CO2 (average)	NEPD nr.: 308-179-NO (2015)	m3	17,35	60	53,0	919,55	0	0
Coverings	Norgips: Standard Plasterboard Type A (STD) (13mm)	NEPD nr.: 113-177-EN (2015)	m2	7924,00	60	2,1	16640,40	0	0
						A1 - A3 per FU	B4 per FU		
						40024,49	0,00		
						6,67	0,00		

25 Floor Structure

MATERIAL CATEGORY	PRODUCT	REFERENCE	UNIT	AMOUNT	Estimated Service Lifetime	A1 - A3 Emission Factor kgCO2eq	B4 Emission Factor kgCO2eq	Area (m2)	Volume (m3)
Flooring	Armstrong: Linoleum	EPD-0001	m2	5782,00	60	5,6	32579,20	0	0
Flooring	Weber: Floor 140 Nova	S-P-00051	m2	5782,00	60	10,1	58398,20	0	0
Insulation	Gjæva: Glass wool insulation (35mm) 16.5kg/m3, R=1m2K/W	NEPD nr.: 221N (2013) rev2	m2	5782,00	60	2,8	16189,60	0	0
Concrete	Contiga: Concrete Hollow Core Slab H0320 (m2)	NEPD nr.: 160N (2013)	m2	5782,00	60	55,0	318010,00	0	0
Coverings	Rockwool Rockfon: Ceiling Tiles (151-173 kg/m3)	NEPD nr.: 338-229-EN (2015)	m2	5782,00	60	9,1	52616,20	0	0
						A1 - A3 per FU	B4 per FU		
						477593,20	0,00		
						79,60	0,00		



### Transport Bjørkelangen - Scenario 1) TRE

Bygningsdel	Vekt (tonn)	Avstand (km)	GWP (kg CO <sub>2</sub> -eqv/km*tonn)	Utslipp CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> -eqv)
CLT båt	877,0776	280	0,0311	7637,591741
CLT lastebil	877,0776	659	0,194	112130,8628
limtrebjelker	17,86721	284	0,194	984,4118022
Trekledning	33,4341	893	0,194	5792,190352
Isolasjon RedAir	56,33381	103	0,194	1125,662191
Isolasjon Glava	1,21968	56	0,194	13,25060352
Trespjellekledning	1,65396	100	0,194	32,086824
Isolasjon Glava	4,57611	56	0,194	49,71485904
Gips	35,6576	108	0,194	747,0980352
påføring/konstruksjonsvirke	7,28784	100	0,194	141,384096
linoleum	16,1896	804	0,194	2525,18905
avretting	196,588	327	0,194	12471,14954
EPS	4,3365	56	0,194	47,111736
Hard mineralull Paroc	41,6304	58	0,194	468,4252608
Kombiplate Rockfon	26,55094	633	0,194	3260,508534
<b>Totalt</b>				<b>147426,6375</b>

### Transport Bjørkelangen - Scenario 2) BETONG/STÅL

Bygningsdel	Vekt (tonn)	Avstand (km)	GWP (kg CO <sub>2</sub> -eqv/km*tonn)	Utslipp CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> -eqv)
stål søyler/bjelker	305,82775	78	0,194	4627,785513
Trekledning	33,4341	893	0,194	5792,190352
windsperre	7,6297	150	0,194	222,02427
Isolasjon Glava	14,59425	56	0,194	158,551932
Konstruksjonsvirke	29,24369	100	0,194	567,327586
Dampsperre	0,65453	508	0,194	64,50524056
Gips	22,33775	108	0,194	468,020538
Trespjellekledning	8,8704	100	0,194	172,08576
Gips	142,6304	108	0,194	2988,392141
Isolasjon Glava	4,57611	56	0,194	49,71485904
Konstruksjonsvirke	7,28784	100	0,194	141,384096
linoleum	16,1896	804	0,194	2525,18905
avretting	196,588	327	0,194	12471,14954
trinnydplate Glava	16,65216	56	0,194	180,9090662
huldekker	2172,36678	95	0,194	40036,71976
kombiplate Rockfon	26,55094	633	0,194	3260,508534
<b>Totalt</b>				<b>73726,45824</b>

Merknad:

Fargekoder i forhold til bygningsdeler:

- 22 Superstructure\* lys rød
- 23 Outer walls blå
- 24 Inner walls oransj
- 25 Ground Structure lilla

\*Massivtre fra alle bygningsdelene er slått sammen under CLT i 22 Superstructure.

Den siste kolumnen i grønt viser resultatene for hver enkelt del, mens den nederste linjen viser det totale resultatet.

Scope	
Databases Used	EPDs, EcoInvent v3.1
Lifetime of Construction (years)	60
AREA BRA (sqm)	100
Functional Unit	1sqm over a 60 yr lifetime

e.g. Quantity (kg of material) x Emission Factor (kgCO<sub>2</sub>eq/kg) = CO<sub>2</sub> Emissions (kgCO<sub>2</sub>eq)

Building Element	A1 - A3	B4	Total EE kgCO <sub>2</sub> eq	kgCO <sub>2</sub> eq per yr	kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> 60yrs	kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> /yr
2 Building						
21 Groundwork and Foundations	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22 Superstructure	1199,08	0,00	1199,08	19,98	11,99	0,20
23 Outer walls	139876,27	0,00	139876,27	2331,27	1398,76	23,31
24 Inner walls	38892,52	0,00	38892,52	648,21	388,93	6,48
25 Floor Structure	233717,27	0,00	233717,27	3895,29	2337,17	38,95
26 Outer Roof	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28 Stairs and Balconies	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3 Heating, Ventilation and Sanitation						
32 Heating	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
36 Ventilation and Air Conditioning	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4 Electric Power						
44 Lighting	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
45 Electric Heating	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
49 Electric Other	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6 Other Installations						
61 Prefabricated Unit	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
62 Person and Goods Transport	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>TOTAL</b>			<b>413685</b>	<b>6895</b>	<b>4137</b>	<b>68,95</b>

Merknad:

Områdene som er markert i lysegrått er ikke inkludert i LCA.

Det er kun følgende bygningselementer som er vurdert:

- 22 Superstructure
- 23 Outer walls
- 24 Inner walls
- 25 Floor Structure

LCA omfatter heller ikke de to siste kolumnene.

MATERIAL CATEGORY	PRODUCT	REFERENCE	UNIT	AMOUNT	Estimated Service Lifetime	A1 - A3 Emission Factor kgCO2eq	B4 Lifetime Factor	EE kgCO2eq	Area (m2)	Volum (m3)
Wood	Moelven: Gluelam beams and pilars, excl. Biogenic carbon	NEPD-456-318-EN	m3	19,34	60	62,0	0	0	74 søyler ute	19,34
						A1 - A3 1199,08 per FU	B4 0,00 per FU			

22 Superstructure

MATERIAL CATEGORY	PRODUCT	REFERENCE	UNIT	AMOUNT	Estimated Service Lifetime	A1 - A3 Emission Factor kgCO2eq	B4 Lifetime Factor	EE kgCO2eq	Area (m2)	Volum (m3)
Wood	Moelven Wood Prosjekt: Termotre Pine, cladding, decking excl. biogenic CO2	NEPD nr.: 259N (2014)	m3	47,01	60	528,3	0	0		47,01
Insulation	Rockwool: REBair Flex ventilated faced system	EN 15804:2012	m2	1808,22	50	15,3	0	0	1808,22	
Wood	Stora Enso: Cross-laminated timber (K-lam) (51-300mm) excl. biogenic CO2	NEPD nr.: 308-179-NO (2015)	m3	253,15	60	129,2	0	0	253,15	140 mm
Wood	Treindustrien: Structural Pine or Spruce Timber excl. Biogenic CO2 (average)	NEPD nr.: 308-179-NO (2015)	m3	6,94	60	53,0	0	0	6,94	48x48
Insulation	Glava: Glass wool insulation (35mm) 16.5kg/m3, R=1m2K/W	NEPD nr.: 221N (2013) rev2	m2	1808,22	60	1,1	0	0	1808,22	
Coverings	Norgrips: Standard Plasterboard Type A (STD) (13mm)	NEPD nr.: 113-177-EN (2015)	m2	1808,22	60	2,1	0	0	1808,22	
Cladding	Stem: Colour Facade Panel (6mm)	NEPD nr.: 097E (2014) rev1	m2	888,91	60	16,8	0	0	888,91	
Wood	Meica Wood: Spruce Plywood, excl. Biogenic CO2	http://www.meicawood.com/	m3	8,00	60	121,0	0	0	8	
Insulation	Rockwool: REBair Flex ventilated faced system	EN 15804:2012	m2	888,91	50	15,3	0	0	888,91	
Wood	Stora Enso: Cross-laminated timber (K-lam) (51-300mm) excl. biogenic CO2	NEPD nr.: 308-179-NO (2015)	m3	12,45	60	129,2	0	0	12,45	140 mm
Wood	Treindustrien: Structural Pine or Spruce Timber excl. Biogenic CO2 (average)	NEPD nr.: 308-179-NO (2015)	m3	3,41	60	53,0	0	0	3,41	48x48
Insulation	Glava: Glass wool insulation (35mm) 16.5kg/m3, R=1m2K/W	NEPD nr.: 221N (2013) rev2	m2	888,91	60	1,1	0	0	888,91	
Coverings	Norgrips: Standard Plasterboard Type A (STD) (13mm)	NEPD nr.: 113-177-EN (2015)	m2	888,91	60	2,1	0	0	888,91	

23 Outer Walls

MATERIAL CATEGORY	PRODUCT	REFERENCE	UNIT	AMOUNT	Estimated Service Lifetime	A1 - A3 Emission Factor kgCO2eq	B4 Lifetime Factor	EE kgCO2eq	Area (m2)	Volum (m3)
Wood	Stora Enso: Cross-laminated timber (K-lam) (51-300mm) excl. biogenic CO2	NEPD nr.: 221N (2013) rev2	m3	1200,00	60	129,2	0	0		120
Insulation	Glava: Glass wool insulation (35mm) 16.5kg/m3, R=1m2K/W	NEPD nr.: 308-179-NO (2015)	m2	1200,00	60	5,5	0	0	1200,00	
Wood	Treindustrien: Structural Pine or Spruce Timber excl. Biogenic CO2 (average)	NEPD nr.: 308-179-NO (2015)	m3	5,26	60	178,78	0	0	5,26	
Coverings	Norgrips: Standard Plasterboard Type A (STD) (13mm)	NEPD nr.: 113-177-EN (2015)	m2	1200,00	60	2,1	0	0	1200,00	
Wood	Stora Enso: Cross-laminated timber (K-lam) (51-300mm) excl. biogenic CO2	NEPD nr.: 221N (2013) rev2	m3	1000,00	60	129,2	0	0		100
Insulation	Glava: Glass wool insulation (35mm) 16.5kg/m3, R=1m2K/W	NEPD nr.: 308-179-NO (2015)	m2	1000,00	60	1,5	0	0	1000,00	
Wood	Treindustrien: Structural Pine or Spruce Timber excl. Biogenic CO2 (average)	NEPD nr.: 308-179-NO (2015)	m3	4,38	60	53,0	0	0	4,38	
Coverings	Norgrips: Standard Plasterboard Type A (STD) (13mm)	NEPD nr.: 113-177-EN (2015)	m2	2000,00	60	2,1	0	0	2000,00	

24 Inner Walls

A1 - A3 139876,27 per FU	B4 0,00 per FU
A1 - A3 38892,52 per FU	B4 0,00 per FU

25 Floor Structure

MATERIAL CATEGORY	PRODUCT	REFERENCE	UNIT	AMOUNT	Estimated Service Lifetime	A1 - A3 Emission Factor kgCO2eq	B4 Lifetime Factor	EE kgCO2eq	Area (m2)	Volum (m3)
Binders	Saint Gobain Weber: floor 120 Reno	VAHEPD-2015-106	m2	3704,44	50	14,8	0	0	3704,44	
Insulation	Glava: Glass wool insulation (35mm) 16.5kg/m3, R=1m2K/W	NEPD nr.: 221N (2013) rev2	m2	3704,44	60	1,1	0	0	3704,44	2x20 mm
Wood	Stora Enso: Cross-laminated timber (K-lam) (51-300mm) excl. biogenic CO2	EPD-SHL-2012211-EN	m3	666,80	60	129,2	0	0	666,80	
Coverings	Norgrips: Standard Plasterboard Type A (STD) (13mm)	NEPD nr.: 113-177-EN (2015)	m2	7408,88	60	2,1	0	0	7408,88	
Insulation	Glava: Glass wool insulation (35mm) 16.5kg/m3, R=1m2K/W	NEPD nr.: 221N (2013) rev2	m2	3704,44	60	1,1	0	0	3704,44	
Binders	Saint Gobain Weber: floor 120 Reno	VAHEPD-2015-106	m2	1277,80	50	14,8	0	0	1277,80	
Insulation	Rockwool: insulation (37mm) 29kg/m3, R=1m2K/W	NEPD nr.: 131E (2013) rev1	m2	1277,80	60	1,3	0	0	1277,80	
Wood	Stora Enso: Cross-laminated timber (K-lam) (51-300mm) excl. biogenic CO2	EPD-SHL-2012211-EN	m3	127,78	60	129,2	0	0	127,78	
Wood	Moelven: Gluelam beams and pilars, excl. Biogenic carbon	NEPD-456-318-EN	m3	91,20	60	62,0	0	0	91,20	
Wood	Stora Enso: Cross-laminated timber (K-lam) (51-300mm) excl. biogenic CO2	NEPD nr.: 221N (2013) rev2	m3	153,34	60	129,2	0	0	153,34	
Insulation	Glava: Glass wool insulation (35mm) 16.5kg/m3, R=1m2K/W	NEPD nr.: 221N (2013) rev2	m2	1277,80	60	1,1	0	0	1277,80	
Coverings	Norgrips: Standard Plasterboard Type A (STD) (13mm)	NEPD nr.: 113-177-EN (2015)	m2	2555,60	60	2,1	0	0	2555,60	

A1 - A3 233717,27 per FU	B4 0,00 per FU
--------------------------	----------------

# LCA Kongsvinger - Scenario 2) BETONG/STÅL

Scope	
Databases Used	EPDs, Ecolnvent v3.1
Lifetime of Construction (years)	60
AREA BRA (sqm)	100
Functional Unit	1sqm over a 60 yr lifetime

**e.g. Quantity (kg of material) x Emission Factor (kgCO<sub>2</sub>eq/kg) = CO<sub>2</sub> Emissions (kgCO<sub>2</sub>eq)**

Building Element	A1 - A3	B4	Total EE kgCO <sub>2</sub> eq	kgCO <sub>2</sub> eq per yr	kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> 60yrs	kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> /yr
2 Building						
21 Groundwork and Foundations	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22 Superstructure	273834,44	0,00	273834,44	4563,91	2738,34	45,64
23 Outer walls	59906,00	0,00	59906,00	998,43	599,06	9,98
24 Inner walls	22224,92	0,00	22224,92	370,42	222,25	3,70
25 Floor Structure	422992,18	0,00	422992,18	7049,87	4229,92	70,50
26 Outer Roof	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28 Stairs and Balconies	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3 Heating, Ventilation and Sanitation						
32 Heating	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
36 Ventilation and Air Conditioning	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4 Electric Power						
44 Lighting	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
45 Electric Heating	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
49 Electric Other	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6 Other Installations						
61 Prefabricated Unit	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
62 Person and Goods Transport	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>TOTAL</b>			<b>778958</b>	<b>12983</b>	<b>7790</b>	<b>129,83</b>

Merknad:  
Områdene som er markert i lysegrått er ikke inkludert i LCA.

Det er kun følgende bygningselementer som er vurdert:  
 22 Superstructure  
 23 Outer walls  
 24 Inner walls  
 25 Floor Structure

LCA omfatter heller ikke de to siste kolumnene.

22 Superstructure

MATERIAL CATEGORY	PRODUCT	REFERENCE	UNIT	AMOUNT	Estimated Service Lifetime	A1 - A3 Emission Factor kgCO2eq	EE kgCO2eq	B4 Lifetime Factor	EE kgCO2eq	Area (m2)	Volume (m3)
Metals	Norwegian Steel Association: Cold Formed Welded Structural Hollow Sections CFSHS (average)	NEPD nr.: 238 (2014)	kg	50644,00	60	2,3	116481,20	0	0	0	0
Metals	Contiga: J, H, U, L, T and Wide Flats Hot Rolled Sections	NEPD nr.: 081E (2013) rev1	kg	119207,00	60	1,3	157353,24	0	0	bjelker	

A1 - A3 per FU	273834,44	B4 per FU	0,00
A1 - A3 per FU	45,64	B4 per FU	0,00

23 Outer Walls

MATERIAL CATEGORY	PRODUCT	REFERENCE	UNIT	AMOUNT	Estimated Service Lifetime	A1 - A3 Emission Factor kgCO2eq	EE kgCO2eq	B4 Lifetime Factor	EE kgCO2eq	Area (m2)	Volume (m3)
Wood	Moelven Wood Prosjekt: Temotte Pine, cladding, decking excl. biogenic CO2	NEPD nr.: 259N (2014)	m3	47,01	60	528,3	24834,91	0	0	1808,22	47,01
Coverings	Knauf: Danogips Gips Board Plasterboard (12,5mm) excl. Biogenic CO2	NEPD nr.: 355-246-EN (2015)	m2	1808,22	60	1,8	3254,80	0	0	1808,22	
Insulation	Rockwool: Insulation (37mm) 29kg/m3, R=1m2K/W	NEPD nr.: 131E (2013) rev1	m2	1808,22	60	1,3	2296,44	0	0	1808,22	
Wood	Treindustrien: Structural Pine or Spruce Timber excl. Biogenic CO2 (average)	NEPD nr.: 308-179-NO (2015)	m3	28,65	60	53,0	1518,45	0	0	28,65	198x48
Wood	Treindustrien: Structural Pine or Spruce Timber excl. Biogenic CO2 (average)	NEPD nr.: 308-179-NO (2015)	m3	6,94	60	53,0	367,82	0	0	6,94	48x48
Plastics	Tommen Gram: Polyethylene PE Membrane	NEPD nr.: 341-230-NO (2015)	m2	1808,22	60	0,5	904,11	0	0	1808,22	
Insulation	Glava: Glass wool Insulation (35mm) 16,5kg/m3, R=1m2K/W	NEPD nr.: 113-177-EN (2015)	m2	1808,22	60	2,1	3797,26	0	0	1808,22	
Coverings	Norgips: Standard Plasterboard Type A (STD) (13mm)	NEPD nr.: 097E (2014) rev1	m2	888,91	60	16,8	14969,24	0	0	888,91	
Cladding	Stent: Colour Facade Panel (6mm)	NEPD nr.: 355-246-EN (2015)	m2	888,91	60	1,8	1600,04	0	0	888,91	
Insulation	Knauf: Danogips Gips Board Plasterboard (12,5mm) excl. Biogenic CO2	NEPD nr.: 355-246-EN (2015)	m2	888,91	60	1,3	1128,92	0	0	888,91	
Wood	Treindustrien: Structural Pine or Spruce Timber excl. Biogenic CO2 (average)	NEPD nr.: 308-179-NO (2015)	m3	14,08	60	53,0	746,24	0	0	14,08	198x48
Wood	Treindustrien: Structural Pine or Spruce Timber excl. Biogenic CO2 (average)	NEPD nr.: 308-179-NO (2015)	m3	3,41	60	53,0	180,73	0	0	3,41	48x48
Plastics	Tommen Gram: Polyethylene PE Membrane	NEPD nr.: 341-230-NO (2015)	m2	888,91	60	0,5	444,46	0	0	888,91	
Insulation	Glava: Glass wool Insulation (35mm) 16,5kg/m3, R=1m2K/W	NEPD nr.: 221N (2013) rev2	m2	888,91	60	0,7	657,79	0	0	888,91	
Coverings	Norgips: Standard Plasterboard Type A (STD) (13mm)	NEPD nr.: 113-177-EN (2015)	m2	888,91	60	2,1	1866,71	0	0	888,91	

A1 - A3 per FU	59906,00	B4 per FU	0,00
A1 - A3 per FU	9,98	B4 per FU	0,00

24 Inner Walls

MATERIAL CATEGORY	PRODUCT	REFERENCE	UNIT	AMOUNT	Estimated Service Lifetime	A1 - A3 Emission Factor kgCO2eq	EE kgCO2eq	B4 Lifetime Factor	EE kgCO2eq	Area (m2)	Volume (m3)
Coverings	Norgips: Standard Plasterboard Type A (STD) (13mm)	NEPD nr.: 113-177-EN (2015)	m2	4400,00	60	2,1	9240,00	0	0	4400	x2
Insulation	Glava: Glass wool Insulation (35mm) 16,5kg/m3, R=1m2K/W	NEPD nr.: 221N (2013) rev2	m2	2200,00	60	1,5	3234,00	0	0	2200	
Wood	Treindustrien: Structural Pine or Spruce Timber excl. Biogenic CO2 (average)	NEPD nr.: 308-179-NO (2015)	m3	9,64	60	53,0	510,92	0	0	9,64	
Coverings	Norgips: Standard Plasterboard Type A (STD) (13mm)	NEPD nr.: 113-177-EN (2015)	m2	4400,00	60	2,1	9240,00	0	0	4400	x2

A1 - A3 per FU	22224,92	B4 per FU	0,00
A1 - A3 per FU	3,70	B4 per FU	0,00

25 Floor Structure

MATERIAL CATEGORY	PRODUCT	REFERENCE	UNIT	AMOUNT	Estimated Service Lifetime	A1 - A3 Emission Factor kgCO2eq	EE kgCO2eq	B4 Lifetime Factor	EE kgCO2eq	Area (m2)	Volume (m3)
Flooring	Armstrong: Linoleum	EPD-0001	m2	4982,24	60	8,8	43843,71	0	0	4982,24	
Flooring	Weber.Flor 140 Nova	S-P-00051	m2	4982,24	50	14,8	73737,15	0	0	4982,24	
Insulation	Glava: Glass wool Insulation (35mm) 16,5kg/m3, R=1m2K/W	NEPD nr.: 221N (2013) rev2	m2	4982,24	60	2,8	13950,27	0	0	4982,24	
Concrete	Contiga: Concrete Hollow Core Slab HD320 (m2)	NEPD nr.: 160N (2013)	m2	4982,24	60	55,0	274023,20	0	0	4982,24	
Coverings	Rockwool Rockfon: Ceiling Tiles (91-131kg/m3)	NEPD-338-229-EN	m2	4982,24	60	3,5	17437,84	0	0	4982,24	

A1 - A3 per FU	422992,18	B4 per FU	0,00
A1 - A3 per FU	70,50	B4 per FU	0,00

### Transport Kongsvinger - Scenario 1) TRE

Bygningsdel	Vekt (tonn)	Avstand (km)	GWP (kg Co2-equiv/km*tonn)	Utslipp CO2 (kg Co2-equiv)
CLT Tog	759,8517	1732	0,099	130290,2513
limtre søyler	8,3162	284	0,194	458,1893552
termofuru kledding	21,15617	888	0,194	3644,615718
RedAir Flex isolasjon	49,08776	718	0,194	6837,532266
konstruksjonsvirke	4,34851	100	0,194	84,361094
mineralull	2,225	142	0,194	61,2943
gips	24,27425	108	0,194	508,594086
krystfinner	3,68009	63	0,194	44,97805998
stenplater kledding	10,66692	250	0,194	517,34562
mineralull	2,541	142	0,194	69,999468
konstruksjonsvirke	4,04611	100	0,194	78,494534
gips	28,80014	144	0,194	804,560711
webergulv	338,79232	321	0,194	21097,95294
mineralull	6,14425	142	0,194	169,261799
gips	89,68062	144	0,194	2505,3178
steinull/lydplate rockwool	1,48225	154	0,194	44,283701
limtreblekker	42,864	284	0,194	2361,634944
<b>Total</b>				<b>169578,6677</b>

### Transport Kongsvinger - Scenario 2) BETONG/STÅL

Bygningsdel	Vekt (tonn)	Avstand (km)	GWP (kg Co2-equiv/km*tonn)	Utslipp CO2 (kg Co2-equiv)
Stål	169,851	78	0,194	2570,185332
Termofuru kledding	21,15617	893	0,194	3665,137203
Isolasjon Steinull	15,64336	150	0,194	455,221776
Vindsperre	21,57691	512	0,194	2143,191316
Konstruksjonsvirke	22,29337	100	0,194	432,491378
dampsperre	0,49897	536	0,194	51,88489648
isolasjon glava	2,222513	142	0,194	61,22578812
gips	24,27425	144	0,194	678,125448
steniplater	10,66692	250	0,194	517,34562
gips	142,6304	144	0,194	3984,522854
isolasjon glava	2,541	142	0,194	69,999468
konstruksjonsvirke	4,04712	100	0,194	78,514128
linoleum	122,34389	804	0,194	19082,71059
webergulv	169,39616	321	0,194	10548,97647
steinull/lydplate rockwool	12,34885	154	0,194	368,9342426
hulldekker	1871,88735	148	0,194	53745,62959
Kombiplate Rockton	13,9503	718	0,194	1943,165188
<b>Total</b>				<b>100397,2613</b>

Merknad:

Fargekoder i forhold til bygningsdeler:

- 22 Superstructure\* lys rød
- 23 Outer walls blå
- 24 Inner walls oransj
- 25 Ground Structure lilla

\*Massivtre fra alle bygningsdelene er slått sammen under CLT i 22 Superstructure.

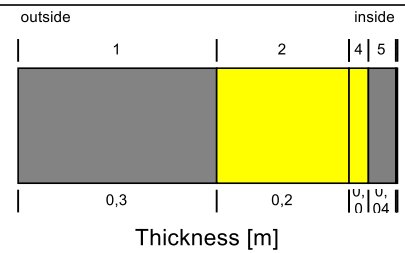
Den siste kolumnen i grønt viser resultatene for hver enkelt del, mens den nederste linjen viser det totale resultatet.

# Vedlegg 3

## Assemblies – Scenario 1

### Assembly (Id.1): First Floor

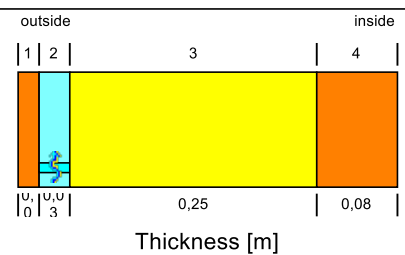
Homogenous layers  
 Thermal resistance: 5,996 m<sup>2</sup>K/W (without R<sub>si</sub>, R<sub>se</sub>)  
 Heat transfer coefficient( U-value): 0,16 W/m<sup>2</sup>K  
 Thickness: 0,573 m



Nr.	Material/Layer (from outside to inside)	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]	Thickness [m]	Color
1	Concrete	2104	776	1,373	0,3	Grey
2	EPS (heat cond.: 0.04 W/mK - density: 15 kg/m <sup>3</sup> )	15	1500	0,04	0,2	Yellow
3	PE-Membrane (Poly; 0.07 perm)	130	2300	2,3	0	Blue
4	EPS (heat cond.: 0.04 W/mK - density: 15 kg/m <sup>3</sup> )	15	1500	0,04	0,03	Yellow
5	Concrete Screed, top layer	1890	850	1,6	0,04	Grey
6	Linoleum carpet, untreated	1200	900	1	0,003	Green

### Assembly (Id.2): External Wall

Homogenous layers  
 Thermal resistance: 7,245 m<sup>2</sup>K/W (without R<sub>si</sub>, R<sub>se</sub>)  
 Heat transfer coefficient( U-value): 0,13 W/m<sup>2</sup>K  
 Thickness: 0,381 m



Nr.	Material/Layer (from outside to inside)	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]	Thickness [m]	Color
1	Scandinavian spruce transverse direction II	390	1600	0,13	0,021	Orange
2	Air Layer 30 mm	1,3	1000	0,18	0,03	Cyan
3	Mineral Wool (heat cond.: 0,04 W/mK)	60	850	0,04	0,25	Yellow
4	KLH Massivholz	423	1500	0,12	0,08	Orange

Layer 2, Air Layer 30 mm, Air change source	
Air change source type	Constant value
Air exchange rate [1/h]	10
Mix with air from	Outside

### Assembly (Id.3): Second Floor

<p>Homogenous layers</p> <p>Thermal resistance: 5,041 m<sup>2</sup>K/W (without R<sub>si</sub>, R<sub>se</sub>)</p> <p>Heat transfer coefficient( U-value): 0,19 W/m<sup>2</sup>K</p> <p>Thickness: 0,696 m</p>	
---	--

Nr.	Material/Layer (from outside to inside)	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]	Thickness [m]	Color
1	Gypsum Board	850	850	0,2	0,013	Light Yellow
2	Air Layer 100 mm	1,3	1000	0,59	0,3	Cyan
3	KLH Massivholz	423	1500	0,12	0,24	Orange
4	Wood-Fibre Insulation Board	155	2000	0,042	0,05	Olive Green
5	EPS (heat cond.: 0.04 W/mK - density: 15 kg/m <sup>3</sup> )	15	1500	0,04	0,05	Yellow
6	Concrete Screed, top layer	1890	850	1,6	0,04	Grey
7	Linoleum carpet, untreated	1200	900	1	0,003	Dark Green

### Assembly (Id.8): Door

<p>Homogenous layers</p> <p>Thermal resistance: 0,667 m<sup>2</sup>K/W (without R<sub>si</sub>, R<sub>se</sub>)</p> <p>Heat transfer coefficient( U-value): 1,08 W/m<sup>2</sup>K</p> <p>Thickness: 0,06 m</p>	
--	--

Nr.	Material/Layer (from outside to inside)	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]	Thickness [m]	Color
1	Softwood	400	1500	0,09	0,06	Orange



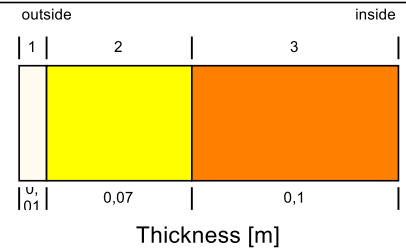
#### Assembly (Id.4): Inner Walls

Homogenous layers

Thermal resistance: 2,648 m<sup>2</sup>K/W (without R<sub>si</sub>, R<sub>se</sub>)

Heat transfer coefficient( U-value): 0,34 W/m<sup>2</sup>K

Thickness: 0,183 m



Nr.	Material/Layer (from outside to inside)	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]	Thickness [m]	Color
1	Gypsum Board	850	850	0,2	0,013	
2	Mineral Wool (heat cond.: 0,04 W/mK)	60	850	0,04	0,07	
3	KLH Massivholz	423	1500	0,12	0,1	

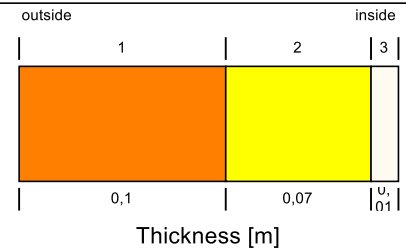
#### Assembly (Id.7): Inner Walls reverse

Homogenous layers

Thermal resistance: 2,648 m<sup>2</sup>K/W (without R<sub>si</sub>, R<sub>se</sub>)

Heat transfer coefficient( U-value): 0,34 W/m<sup>2</sup>K

Thickness: 0,183 m



Nr.	Material/Layer (from outside to inside)	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]	Thickness [m]	Color
1	KLH Massivholz	423	1500	0,12	0,1	
2	Mineral Wool (heat cond.: 0,04 W/mK)	60	850	0,04	0,07	
3	Gypsum Board	850	850	0,2	0,013	

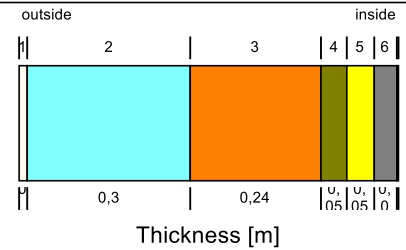
### Assembly (Id.5): Second Floor

Homogenous layers

Thermal resistance: 5,041 m<sup>2</sup>K/W (without R<sub>si</sub>, R<sub>se</sub>)

Heat transfer coefficient( U-value): 0,19 W/m<sup>2</sup>K

Thickness: 0,696 m



Nr.	Material/Layer (from outside to inside)	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]	Thickness [m]	Color
1	Gypsum Board	850	850	0,2	0,013	
2	Air Layer 100 mm	1,3	1000	0,59	0,3	
3	KLH Massivholz	423	1500	0,12	0,24	
4	Wood-Fibre Insulation Board	155	2000	0,042	0,05	
5	EPS (heat cond.: 0.04 W/mK - density: 15 kg/m <sup>3</sup> )	15	1500	0,04	0,05	
6	Concrete Screed, top layer	1890	850	1,6	0,04	
7	Linoleum carpet, untreated	1200	900	1	0,003	

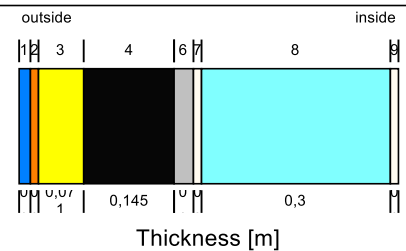
### Assembly (Id.6): Roof

Homogenous layers

Thermal resistance: 6,546 m<sup>2</sup>K/W (without R<sub>si</sub>, R<sub>se</sub>)

Heat transfer coefficient( U-value): 0,15 W/m<sup>2</sup>K

Thickness: 0,603 m



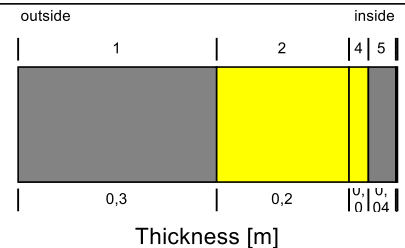
Nr.	Material/Layer (from outside to inside)	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]	Thickness [m]	Color
1	PA-Membrane	65	2300	2,9	0,016	
2	Plywood	560	1500	0,13	0,015	
3	Mineral Wool (heat cond.: 0,04 W/mK)	60	850	0,04	0,071	
4	Cellular Glass	120	850	0,045	0,145	
5	PE-Membrane (Poly; 0.07 perm)	130	2300	2,3	0	
6	ROXUL FacadeRock	135	1030	0,038	0,03	
7	Gypsum Board	850	850	0,2	0,013	
8	Air Layer 100 mm	1,3	1000	0,59	0,3	
9	Gypsum Board	850	850	0,2	0,013	

## Vedlegg 4

### Assemblies – Scenario 2

#### Assembly (Id.1): First Floor

Homogenous layers  
 Thermal resistance: 5,996 m<sup>2</sup>K/W (without R<sub>si</sub>, R<sub>se</sub>)  
 Heat transfer coefficient( U-value): 0,16 W/m<sup>2</sup>K

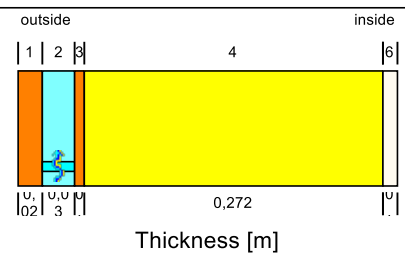


Thickness: 0,573 m

Nr.	Material/Layer (from outside to inside)	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]	Thickness [m]	Color
1	Concrete	2104	776	1,373	0,3	Grey
2	EPS (heat cond.: 0.04 W/mK - density: 15 kg/m <sup>3</sup> )	15	1500	0,04	0,2	Yellow
3	PE-Membrane (Poly; 0.07 perm)	130	2300	2,3	0	Blue
4	EPS (heat cond.: 0.04 W/mK - density: 15 kg/m <sup>3</sup> )	15	1500	0,04	0,03	Yellow
5	Concrete Screed, top layer	1890	850	1,6	0,04	Grey
6	Linoleum carpet, untreated	1200	900	1	0,003	Green

#### Assembly (Id.12): Copy of External Wall

Homogenous layers  
 Thermal resistance: 7,246 m<sup>2</sup>K/W (without R<sub>si</sub>, R<sub>se</sub>)  
 Heat transfer coefficient( U-value): 0,13 W/m<sup>2</sup>K



Thickness: 0,346 m

Nr.	Material/Layer (from outside to inside)	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]	Thickness [m]	Color
1	Scandinavian spruce transverse direction II	390	1600	0,13	0,021	Orange
2	Air Layer 30 mm	1,3	1000	0,18	0,03	Cyan
3	Wood fibre board, hard - wind barrier	800	1700	0,18	0,01	Orange
4	Mineral Wool (heat cond.: 0,04 W/mK)	60	850	0,04	0,272	Yellow
5	PE-Membrane (Poly; 0.07 perm)	130	2300	2,3	0	Blue
6	Gypsum Board	850	850	0,2	0,013	White

Layer 2, Air Layer 30 mm, Air change source	
Air change source type	Constant value
Air exchange rate [1/h]	10
Mix with air from	Outside

### Assembly (Id.10): Copy of Second Floor

<p>Homogenous layers</p> <p>Thermal resistance: 6,241 m<sup>2</sup>K/W (without R<sub>si</sub>, R<sub>se</sub>)</p> <p>Heat transfer coefficient( U-value): 0,15 W/m<sup>2</sup>K</p> <p>Thickness: 0,776 m</p>	
---	--

Nr.	Material/Layer (from outside to inside)	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	Thickness [m]	Color
1	Gypsum Board	850	850	0,2	0,013	
2	Air Layer 100 mm	1,3	1000	0,59	0,3	
3	Aerated Concrete (density: 400 kg/m <sup>3</sup> )	400	850	0,1	0,32	
4	Wood-Fibre Insulation Board	155	2000	0,042	0,05	
5	EPS (heat cond.: 0.04 W/mK - density: 15 kg/m <sup>3</sup> )	15	1500	0,04	0,05	
6	Concrete Screed, top layer	1890	850	1,6	0,04	
7	Linoleum carpet, untreated	1200	900	1	0,003	

### Assembly (Id.8): Door

<p>Homogenous layers</p> <p>Thermal resistance: 0,667 m<sup>2</sup>K/W (without R<sub>si</sub>, R<sub>se</sub>)</p> <p>Heat transfer coefficient( U-value): 1,08 W/m<sup>2</sup>K</p> <p>Thickness: 0,06 m</p>	
--	--

Nr.	Material/Layer (from outside to inside)	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	Thickness [m]	Color
1	Softwood	400	1500	0,09	0,06	

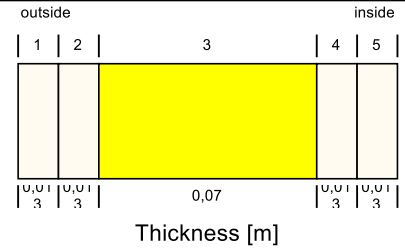
### Assembly (Id.13): Copy of Inner Walls

Homogenous layers

Thermal resistance: 2,01 m<sup>2</sup>K/W (without R<sub>si</sub>, R<sub>se</sub>)

Heat transfer coefficient( U-value): 0,44 W/m<sup>2</sup>K

Thickness: 0,122 m



Nr.	Material/Layer (from outside to inside)	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	Thickness [m]	Color
1	Gypsum Board	850	850	0,2	0,013	Yellow
2	Gypsum Board	850	850	0,2	0,013	Yellow
3	Mineral Wool (heat cond.: 0,04 W/mK)	60	850	0,04	0,07	Yellow
4	Gypsum Board	850	850	0,2	0,013	Yellow
5	Gypsum Board	850	850	0,2	0,013	Yellow

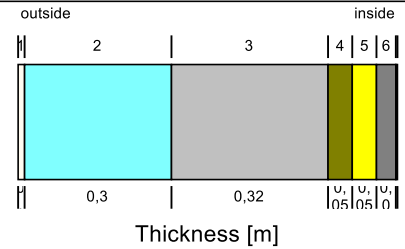
### Assembly (Id.11): Copy of Second Floor

Homogenous layers

Thermal resistance: 6,241 m<sup>2</sup>K/W (without R<sub>si</sub>, R<sub>se</sub>)

Heat transfer coefficient( U-value): 0,15 W/m<sup>2</sup>K

Thickness: 0,776 m



Nr.	Material/Layer (from outside to inside)	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	Thickness [m]	Color
1	Gypsum Board	850	850	0,2	0,013	Yellow
2	Air Layer 100 mm	1,3	1000	0,59	0,3	Cyan
3	Aerated Concrete (density: 400 kg/m <sup>3</sup> )	400	850	0,1	0,32	Grey
4	Wood-Fibre Insulation Board	155	2000	0,042	0,05	Olive
5	EPS (heat cond.: 0.04 W/mK - density: 15 kg/m <sup>3</sup> )	15	1500	0,04	0,05	Yellow
6	Concrete Screed, top layer	1890	850	1,6	0,04	Grey
7	Linoleum carpet, untreated	1200	900	1	0,003	Green

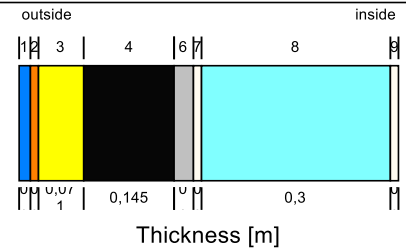
### Assembly (Id.6): Roof

Homogenous layers

Thermal resistance: 6,546 m<sup>2</sup>K/W (without Rsi, Rse)

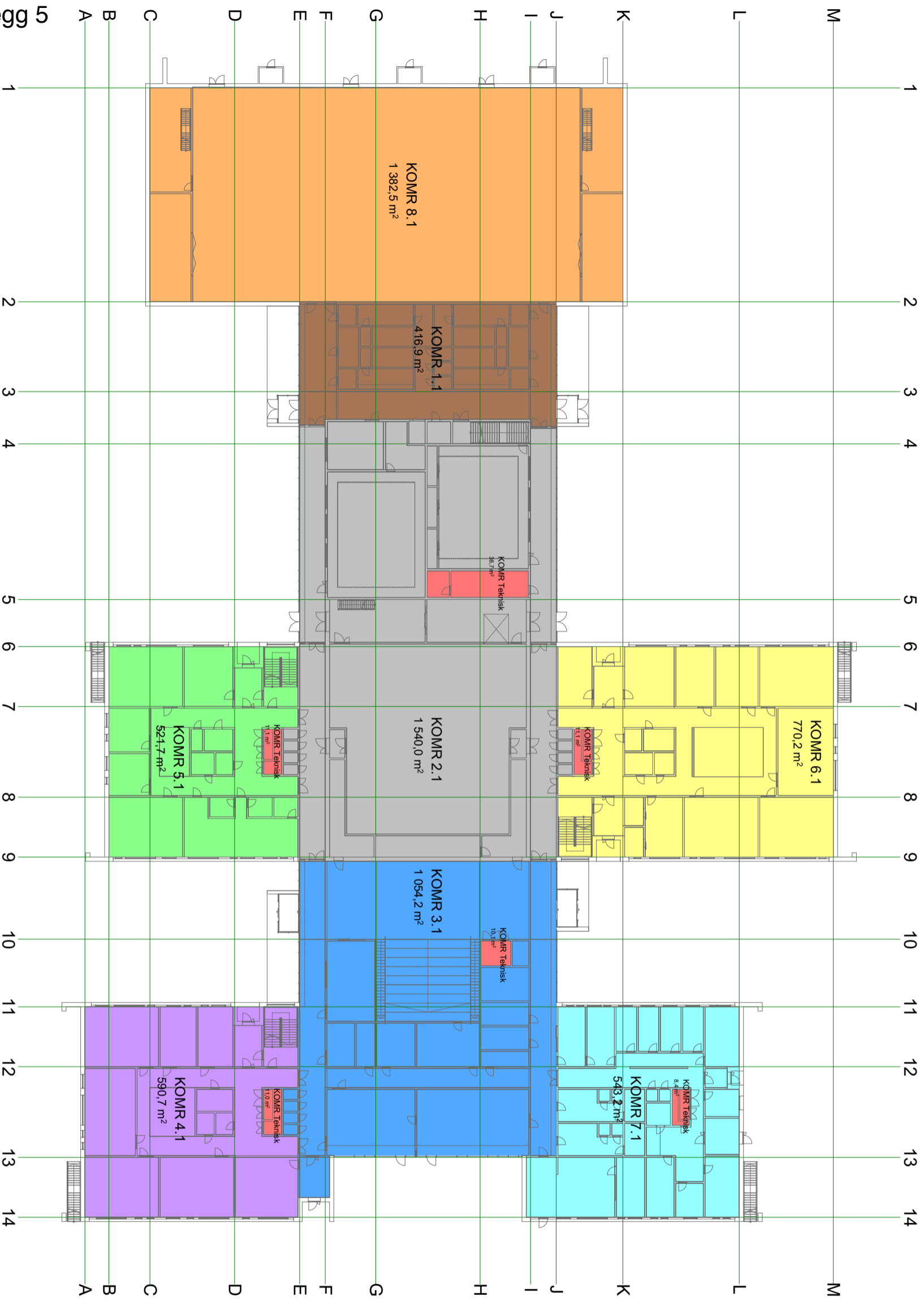
Heat transfer coefficient( U-value): 0,15 W/m<sup>2</sup>K

Thickness: 0,603 m



Nr.	Material/Layer (from outside to inside)	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	c [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]	Thickness [m]	Color
1	PA-Membrane	65	2300	2,9	0,016	Blue
2	Plywood	560	1500	0,13	0,015	Orange
3	Mineral Wool (heat cond.: 0,04 W/mK)	60	850	0,04	0,071	Yellow
4	Cellular Glass	120	850	0,045	0,145	Black
5	PE-Membrane (Poly; 0.07 perm)	130	2300	2,3	0	Blue
6	ROXUL FacadeRock	135	1030	0,038	0,03	Grey
7	Gypsum Board	850	850	0,2	0,013	Light Yellow
8	Air Layer 100 mm	1,3	1000	0,59	0,3	Cyan
9	Gypsum Board	850	850	0,2	0,013	Light Yellow

# Vedlegg 5



Prosjekt:	
Bjørkelangen Skole	
Plan 01	Målestokk 1:500
Type tegning: KOMR	
Dato opprettet: 09.05.2016	
A3	

Entreprenør: HENT AS, Oslo

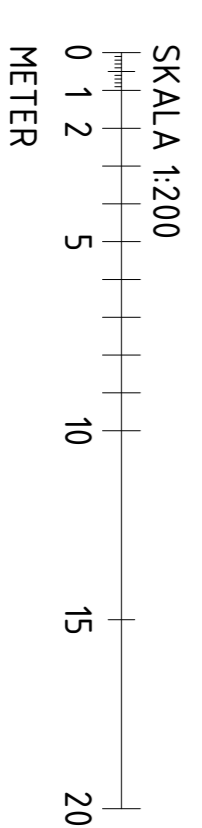
**HENT**

Vestre Rosten 79  
7075 Triller

Tlf: 72 90 17 00  
Fax: 72 90 17 01

# Romfunksjon

- 1 adm
- 2 bibliotek
- 3 felles
- 4 idrett
- 5 kunst og håndverk
- 6 lager
- 7 mat og helse
- 8 musikk
- 9 musikk/felles
- 10 naturfag
- 11 personal
- 12 spes. ped
- 13 teknisk
- 14 trapp



**Vedlegg 6**

1. etasje 3260 m<sup>2</sup>

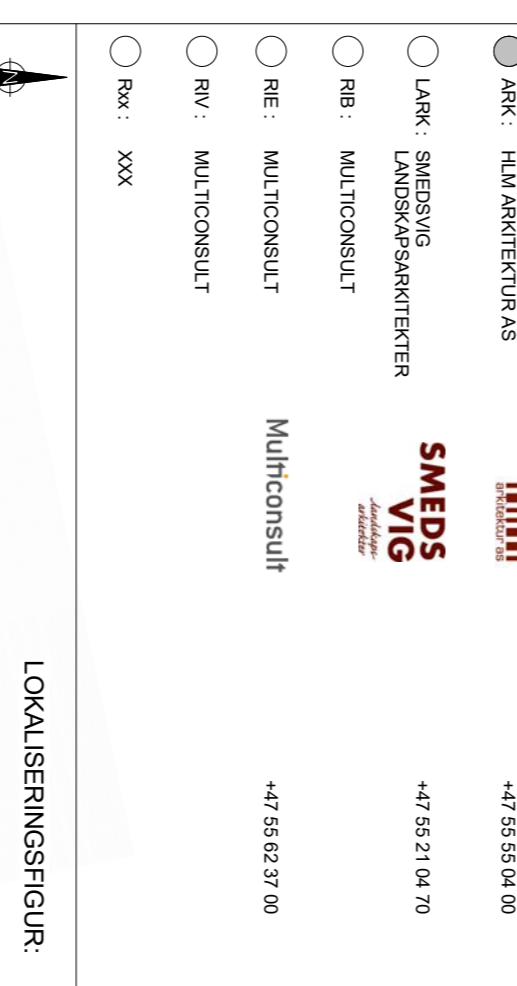
2. etasje 3800 m<sup>2</sup>

3. etasje 1330 m<sup>2</sup>

Sum bruttoareal: 8390 m<sup>2</sup>

REV.	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kont.
01	ARKK 200	20 01		XXX

Prosjektetingsgruppen:	TELEFON
ARKK - HLM ARKENTUR AS	+47 55 55 64 00
LARKK - SÆBØ SVING LANSKAPSRÅDENTER	+47 55 21 04 70
HB - MULTIKONSULT	
RE - MULTIKONSULT	Multiconsult +47 55 52 37 00
RV - MULTIKONSULT	
Rxx - xxx	



Fase: ANBUDSTEGNING

**Kongsvinger kommune**

Titel:		Dokument:	
Ny ungdomsskole		Konsult forslag	
Plan 1. etasje		Sign. IK IK	
Dato: 23.01.2016		Fram. xx	
Skala: 1:200		Kontrollert av: xxx	
Tegningens nummer: 01 - ARKK 200		Rev. 20 01	
Tegningens tittel: Ny ungdomsskole		Kontrollert av: xxx	