



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2021 30 stp

Fakultet for realfag og teknologi

Sammenligning av egenskapene til prefabrikkerte ytterveggselement av massivtre i forhold til prefabrikkerte ytterveggselement av bindingsverk med hovedvekt på veggelementenes egnethet i enebolig og boligblokk

Comparison of the characteristics of prefabricated external wall of CLT element to prefabricated external wall of timber frame element with emphasis on the suitability of these elements in single and multistorey buildings

Fabian Danielsen

Byggeteknikk og arkitektur



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Ås, 31. mai 2021

Fabian Danielsen



FORORD

Denne masteroppgaven utgjør siste delen av studieprogrammet Byggeteknikk- og arkitektur ved Fakultet for realfag og teknologi (REALTEK), ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Oppgaven er skrevet våren 2021, og dets omfang er 30 studiepoeng.

Oppgavens tema er; *sammenligning av egenskapene til prefabrikkerte ytterveggselement av massivtre i forhold til prefabrikkerte ytterveggselementer av bindingsverk med hovedvekt på veggelementenes egnethet i enebolig og boligblokk*. Oppgaven er valgt fordi jeg har en bachelorgrad fra NTNU Trondheim med fordypning innen byggteknikk og ville lære enda mer. Jeg har alltid hatt stor interesse for trekonstruksjoner spesielt massivtre som er et nokså nytt produkt.

Jeg ønsker å rette en stor takk til intern veileder, Themistoklis Tsalkatidis som er førsteamanuensis ved NMBU og ekstern veileder, universitetslektor Christian Nordahl Rolfsen ved OSLOMET for god veiledning underveis i prosjektet. Jeg ønsker videre å takke Iver Frimannslund Ph.d stipendiat ved NMBU som har skaffet WUFI programmet. Prosjektet har vært svært lærerik for meg, og jeg har fått innblikk i hvordan det er å drive med massivtrekonstruksjoner og bindingsverkkonstruksjoner.



SAMMENDRAG

Denne oppgaven fokuserer på sammenligning av egenskaper til prefabrikkerte ytterveggselementer av massivtre og bindingsverk av heltre. Begge konstruksjoner har standard oppbygging. Bruk av massivtre (kl-tre) som byggemateriale er på fremmarsj i dagens samfunn som har sine fordeler og utfordringer. Bindingsverk er en tradisjonell konstruksjon som det er vanligere å bygge hus med i Norge sammenlignet med massivtre. Det er viktig at egenskapene til de to konstruksjonene kommer fram for å få mer kjennskap og oversikt over positive og negative sider.

Informasjonen er hovedsakelig hentet gjennom kvalitative fokusintervjuer med erfarne aktører i byggebransjen, forskningsinstitutter, produsenter og byggherre. Det er også brukt simuleringsberegning og matematisk beregning for å sjekke egenskapene. Resultatene er sammenlignet med hverandre for å sjekke hvor godt de korresponderer med hverandre.

Egenskapene til byggkonstruksjoner har sin innvirkning på alt fra økonomi til miljø og ressursbruk. Innsamling av erfaringer og synspunkter om disse type konstruksjoner kan benyttes som grunnlag for mer forskning slik at kunnskapshullet som finnes blir mindre.



ABSTRACT

This thesis focuses on the comparison of properties of prefabricated exterior wall of CLT (cross laminated timber) and timber frame element. Both constructions have common construction layup. The use of solid CLT as a building material is on the rise in today's society, which has its advantages and challenges. Timber frame is a traditional construction that is very common to build houses in Norway compared to CLT. It is important that the properties of constructions emerge in order to gain more knowledge and an overview of positive and negative aspects.

Information is mainly obtained through qualitative focus interviews with experienced prosecutor in the building sector, research institutes, manufacturers, and private builder. Simulation calculation and mathematical calculation have also been used to check properties of constructions. Results are compared with each other to check how corresponding they are to each other.

Properties of building structures have their impact on everything from economics to the environment and resource use. Gathering experiences and views on these types of constructions can be used as a basis for more research so that the existing knowledge gap becomes smaller.

TABELLISTE

| | |
|---|----|
| Figur 1. Oppbygging av regelverket i Norge. Bygningene eller bygningskonstruksjoner skal utføres i henhold til regelverket. | 17 |
| Figur 2. Hulromselementer av massivtre. | 20 |
| Figur 3. Kantstilte elementer av massivtre med ulike festemidler. | 20 |
| Figur 4. Krysslågt element av massivtre. Lim som feste middel [10] | 21 |
| Figur 5. Et typisk område med lineære kuldebroer [12]. | 24 |
| Figur 6. Et typisk område for geometriske kuldebroer [12]. | 25 |
| Figur 7. Historisk endring av U-verdien for yttervegg av tre med forskjellige type konstruksjoner. Det viser at bedre og nyere løsninger gir lavere u-verdier [13]. | 26 |
| Figur 8. Varmetransport på ulike måter [16]. | 28 |
| Figur 9. Vanlige fuktkilder og -transportformer, fuktmekanikk [18]. | 30 |
| Tabell 2. Brennbarhet og antennelighet deles inn i følgende klasser [trehus bok]: | 40 |
| Tabell 3. Røykeproduksjon deles inn i følgende klasser [11]: | 41 |
| Tabell 4. Dannelse av partikler eller flammende dråper deles inn i følgende klasser [11]: | 41 |
| Tabell 5. Bestemmelse av risikoklasse som er avhengige av flere faktorer. | 42 |
| Tabell 6. Brannklasse med ulike konsekvenser | 43 |
| Tabell 8. Brannmotstand til bærende bygningsdeler som er avhengige av brannklasse [29]. | 44 |
| Tabell 9. Luftlyd- og trinnlydisolasjons grense verdikrav til ulike bygninger i henhold til NS4175 | 46 |
| Figur 11. «Effekt på lydisolasjonen av sprekker og eller spalter i konstruksjon, der d er tykkelsen til spalte per lengde enhet. $d=0$ betyr at konstruksjonen er helt tett [11]. | 49 |
| Tabell 10. Forbedring av lydisoleringsevne av luftlyd til yttervegg med ytterligere innvendig tiltak. [41]. | 50 |
| Figur 13. Oppbygging av dokumentet som er delt i ulike faser | 57 |
| Tabell 11. Oversikt over gjennomførte intervjuer. Tabellen viser kompetanseområde og rolle til de forskjellige aktører. Sammendrag av intervjuene er tilgjengelig i vedlegg A. | 59 |
| Figur 14. Beregning med glaser-metoden for å sjekke kondensrisiko i bindingsverkskonstruksjonen. | 64 |
| Figur 15. En grafisk illustrasjon av damptrykkfall grense (P_{grense}) og metningstrykk (P_{sat}). Det viser at P_{grense} er mindre enn P_{sat} noe som betyr at det ikke er fare for kondens. | 65 |



| | |
|--|----|
| Figur 16. Bruk av glaser-metoden for å sjekke kondensrisiko i massivtrekonstruksjonen. | 65 |
| Figur 17. Grafisk fremstilling av glaser-metodens resultat til massivtrekonstruksjonen. Det viser at Pgrense er mindre enn Psat noe som innebærer at det ikke er fare for kondens..... | 66 |
| Figur 19. Orientering til sola, solstrålingsmengde, midlere -, maks-, min. temperatur, midlere -, maks-, min. relativ fuktighet og viser total slagregnsmengde som er mest fra sør. WUFI pro. | 69 |
| Tabell 12. Materialdata til bindingsverk som er inkludert i numerisk simulering av bindingsverkskonstruksjonen i WUFI pro. | 69 |
| Figur 20. Oppbygging av bindingsverk med et eget sjikt av tre inn i konstruksjonen for å etterligne to dimensjonalt oppbygging i WUFI [48]..... | 71 |
| Figur 21. Oppbygging av bindingsverks konstruksjonen i WUFI pro | 71 |
| Figur 22. Temperatur, vanninnhold og relativ fuktighet gjennom bindingsverks tverrsnittet..... | 72 |
| Figur 23. Det totale vanninnholdet i bindingsverk konstruksjonen i løpet av beregningsperiode. | 73 |
| Figur 24. Endring av vanninnhold i trevirke sjiktet som ligger inn i bindingsverkskonstruksjonen i løpet av beregningsperioden. | 73 |
| Tabell 13. Totalt vanninnholdet i bindingsverkskonstruksjonen og i trevirkesjiktet i konstruksjonen i starten og slutten av beregningen i WUFI. Den viser også minst og maks verdi av vanninnholdet i konstruksjonen og i trevirke sjiktet. Verdier er hentet fra beregningstabell i WUFI..... | 74 |
| Figur 25. Forholdet mellom temperatur og duggpunktstemperatur i trevirke sjiktet i konstruksjonen i løpet av beregningsperioden. | 75 |
| Figur 26. Forholdet mellom duggpunktstemperatur og temperatur for innvendig overflate til bindingsverkskonstruksjonen i løpet av beregningsperioden..... | 75 |
| Figur 27. Monitorposisjonen i trevirke sjiktet i bindingsverk konstruksjonen som viser forholdet mellom temperatur og relativ fuktighet..... | 76 |
| Figur 28. kritisk grenser for muggvekst for innvendig overflaten til bindingsverk..... | 77 |
| Tabell 14. Oppbygging og egenskaper til materialer som er involvert i massivtrekonstruksjonen og i numerisk simulering i WUFI..... | 77 |
| Tabell 15. fuktlagringsfunksjon til KLH massivholz i WUFI..... | 78 |
| Figur 29. Temperatur, vanninnhold og relativ fuktighet gjennom massivtrekonstruksjonens tverrsnitt..... | 79 |
| Figur 30. Det totale vanninnholdet i massivtrekonstruksjonen i løpet av beregning periode. | 80 |
| Figur 31. Vanninnholdet i massivtre sjikt i løpet av beregningsperioden..... | 80 |



| | |
|---|----|
| Tabell 16. Det totale vanninnholdet i massivtrekonstruksjonen og vanninnholdet i massivtre sjiktet..... | 81 |
| Figur 32. Forholdet mellom temperatur og duggpunktstemperatur i massivtresjiktet.. | 82 |
| Figur 33. Forholdet mellom temperaturen og duggpunktstemperatur i innvendig overflate..... | 82 |
| Figur 34. Forholdet mellom temperatur i [C] og relativ fuktighet i [%] i løpet av beregningsperioden for massivtre sjiktet i massivtrekonstruksjonen. | 83 |
| Figur 35. Kritiske grenser for muggvekst for innvendig overflate til konstruksjonen i massivtre. Det har ikke oppstått noen punkter over grenser, og det er ikke fare for muggvekst på innvendig overflaten..... | 84 |
| Tabell 17. Vanninnhold i trevirkesjikt og massivtre sjiktet i starten og slutten av beregninger. Den viser også reduksjon av vanninnholdet fra starten til slutten av beregninger. | 84 |
| Figur 36. Grafisk illustrasjon av vanninnholdet [kg/m ³] i start og slutt beregninger i massivtre-sjiktet og trevirke sjiktet..... | 85 |
| Tabell 18. Totallvanninnhold [kg/m ³] i starten og slutten av beregninger i bindingsverks veggkonstruksjonen og massivtre veggkonstruksjon. Den viser også reduksjoner av vanninnhold mellom starten og slutten av beregninger i de to konstruksjoner. | 85 |
| Figur 37. Illustrasjon av totalt vanninnholdet [kg/m ³] i starten og slutten av beregninger i massivtre - og bindingsverk konstruksjoner. Det viser at vanninnholdet i massivtrekonstruksjonen reduseres raskere enn vanninnholdet i bindingsverkskonstruksjonen. | 86 |
| Tabell 19. U-verdi kravene for bolig i TEK17..... | 89 |
| Tabell 20. Manuell beregning av U-verdi av bindingsverks elementet..... | 90 |
| Tabell 21. U-verdier til yttervegg av bindingsverk med ulike treandel og isolasjon andel..... | 90 |
| Figur 38. Simulering av bindingsverk i THERM verktøy som viser temperatur fordeling gjennom tverrsnittet. U-verdi = 0,161 W/m ² K..... | 91 |
| Tabell 22. Tabellen under viser manuell beregning av U-verdi av yttervegg av massivtre..... | 92 |
| Figur 39. Fordeling av temperaturer over tverrsnittet og u-verdi. Simulering THERM 7.6..... | 93 |
| Tabell 23. U-verdier til ytterveggselement av massivtre med 100 mm massivtreskive . | 93 |
| Figur 40. Simulering av bindingsverk (venstre) og massivtre (høyre) i programmet (THERM 7.6, 2017)..... | 94 |
| Tabell 24. Kuldebroverdier som resultat av forhold mellom isolasjonstykkelse i vegg og isolasjonstykkelse i forkant bjelkelag i bindingsverksvegg..... | 94 |



| | |
|---|-----|
| Figur 41. 2D simulering av massivtrekonstruksjonen (venstre) og bindingsverk (høyre) i programmet THERM 7.6, 2017..... | 95 |
| Tabell 26. Kuldebroverdier for innovervendt hjørne og utovervendt hjørne til bindingsverks og massivtre yttervegger..... | 97 |
| Tabell 27. Komponenters dimensjon, mengde, enhet, enhetstid, enhets pris og pris per m ² for massivtre vegg..... | 98 |
| Tabell 28. Komponenters dimensjon, mengde, enhet, enhetstid, enhets pris og pris per m ² for bindingsverks vegg. | 99 |
| Tabell 30. Tabellen under viser resultater av bæreevne av massivtre vegg og bindingsverks vegg mot sentrisk vertikal last..... | 105 |
| Tabell 31. Kapasitet (kN) for sentrisk belastede trykkstaver av heltre stender med dimensjon 48x198 mm og med styrkeklasse C24 og klima klasse 1 og 2. [63]..... | 106 |

FIGURLISTE

| | |
|---|----|
| Figur 1. Oppbygging av regelverket i Norge. Bygningene eller bygningskonstruksjoner skal utføres i henhold til regelverket. | 17 |
| Figur 2. Hulromselementer av massivtre..... | 20 |
| Figur 3. Kantstilte elementer av massivtre med ulike festemidler. | 20 |
| Figur 4. Krysslågt element av massivtre. Lim som feste middel [10] | 21 |
| Figur 5. Et typisk område med lineære kuldebroer [12]. | 24 |
| Figur 6. Et typisk område for geometriske kuldebroer [12]. | 25 |
| Figur 7. Historisk endring av U-verdien for yttervegg av tre med forskjellige type konstruksjoner. Det viser at bedre og nyere løsninger gir lavere u-verdier [13]. | 26 |
| Figur 8. Varmetransport på ulike måter [16]. | 28 |
| Figur 9. Vanlige fuktilder og -transportformer, fuktmekanikk [18]. | 30 |
| Figur 10. «Illustrasjon av trykkforandringer som en bølge bevegelse» [11, 35]. | 45 |
| Figur 11. «Effekt på lydisolasjonen av sprekker og eller spalter i konstruksjon, der d er tykkelsen til spalte per lengde enhet. $d=0$ betyr at konstruksjonen er helt tett [11]. | 49 |
| Figur 12. Dimensjonerende sentrisk vertikal belastning for massivtre vegg med tykkelse 80, 100 og 120 millimeter dimensjonert for sikkerhetsklasse 3, lastvarighetsklasse medium (M) for vertikal belastning og kort tid (S) for tverrlast og klimaklasse 1 eller 2. [9]. | 56 |
| Figur 13. Oppbygging av dokumentet som er delt i ulike faser..... | 57 |
| Figur 14. Beregning med glaser-metoden for å sjekke kondensrisiko i bindingsverkskonstruksjonen. | 64 |
| Figur 15. En grafisk illustrasjon av damptrykkfall grense (P_{grense}) og metningstrykk (P_{sat}). Det viser at P_{grense} er mindre enn P_{sat} noe som betyr at det ikke er fare for kondens. | 65 |
| Figur 16. Bruk av glaser-metoden for å sjekke kondensrisiko i massivtrekonstruksjonen. | 65 |
| Figur 17. Grafisk fremstilling av glaser-metodens resultat til massivtrekonstruksjonen. Det viser at P_{grense} er mindre enn P_{sat} noe som innebærer at det ikke er fare for kondens. | 66 |
| Figur 18. Temperatur(rød) og relativ fuktighet(blå) i Oslo som endrer seg i ulike årstider..... | 68 |
| Figur 19. Orientering til sola, solstrålingsmengde, midlere -, maks-, min. temperatur, midlere -, maks-, min. relativ fuktighet og viser total slagregnsmengde som er mest fra sør. WUFI pro. | 69 |



| | |
|---|----|
| Figur 20. Oppbygging av bindingsverk med et eget sjikt av tre inn i konstruksjonen for å etterligne to dimensjonalt oppbygging i WUFI [48]..... | 71 |
| Figur 21. Oppbygging av bindingsverks konstruksjonen i WUFI pro | 71 |
| Figur 22. Temperatur, vanninnhold og relativ fuktighet gjennom bindingsverks tverrsnittet..... | 72 |
| Figur 23. Det totale vanninnholdet i bindingsverk konstruksjonen i løpet av beregningsperiode. | 73 |
| Figur 24. Endring av vanninnhold i trevirke sjiktet som ligger inn i bindingsverkskonstruksjonen i løpet av beregningsperioden. | 73 |
| Figur 25. Forholdet mellom temperatur og duggpunktstemperatur i trevirke sjiktet i konstruksjonen i løpet av beregningsperioden..... | 75 |
| Figur 26. Forholdet mellom duggpunktstemperatur og temperatur for innvendig overflate til bindingsverkskonstruksjonen i løpet av beregningsperioden..... | 75 |
| Figur 27. Monitorposisjonen i trevirke sjiktet i bindingsverk konstruksjonen som viser forholdet mellom temperatur og relativ fuktighet..... | 76 |
| Figur 28. kritisk grenser for muggvekst for innvendig overflaten til bindingsverk..... | 77 |
| Figur 29. Temperatur, vanninnhold og relativ fuktighet gjennom massivtrekonstruksjonens tverrsnitt..... | 79 |
| Figur 30. Det totale vanninnholdet i massivtrekonstruksjonen i løpet av beregning periode. | 80 |
| Figur 31. Vanninnholdet i massivtre sjikt i løpet av beregningsperioden..... | 80 |
| Figur 32. Forholdet mellom temperatur og duggpunktstemperatur i massivtresjiktet.. | 82 |
| Figur 33. Forholdet mellom temperaturen og duggpunktstemperatur i innvendig overflate..... | 82 |
| Figur 34. Forholdet mellom temperatur i [C] og relativ fuktighet i [%] i løpet av beregningsperioden for massivtre sjiktet i massivtrekonstruksjonen. | 83 |
| Figur 35. Kritiske grenser for muggvekst for innvendig overflate til konstruksjonen i massivtre. Det har ikke oppstått noen punkter over grenser, og det er ikke fare for muggvekst på innvendig overflaten..... | 84 |
| Figur 36. Grafisk illustrasjon av vanninnholdet [kg/m ³] i start og slutt beregninger i massivtre-sjiktet og trevirke sjiktet..... | 85 |
| Figur 37. Illustrasjon av totalt vanninnholdet [kg/m ³] i starten og slutten av beregninger i massivtre - og bindingsverk konstruksjoner. Det viser at vanninnholdet i massivtrekonstruksjonen reduseres raskere enn vanninnholdet i bindingsverkskonstruksjonen. | 86 |



| | |
|---|-----|
| Figur 38. Simulering av bindingsverk i THERM verktøy som viser temperatur fordeling gjennom tverrsnittet. U-verdi = 0,161 W/m ² K..... | 91 |
| Figur 39. Fordeling av temperaturer over tverrsnittet og u-verdi. Simulering THERM 7.6..... | 93 |
| Figur 40. Simulering av bindingsverk (venstre) og massivtre (høyre) i programmet (THERM 7.6, 2017)..... | 94 |
| Figur 41. 2D simulering av massivtrekonstruksjonen (venstre) og bindingsverk (høyre) i programmet THERM 7.6, 2017..... | 95 |
| Figur 42. Dimensjonerende sentrisk vertikalbelastning for massivtre-vegg med tykkelse på 100 millimeter dimensjonert for sikkerhetsklasse 3, lastvarighetsklasse medium (M) for vertikal belastning og kort tid (S) for tverrlast og klimaklasse 1 eller 2. [9]...... | 106 |



Innhold

| | |
|--|-----------|
| FORORD..... | i |
| SAMMENDRAG..... | ii |
| ABSTRACT..... | iii |
| TABELLISTE..... | iv |
| FIGURLISTE..... | viii |
| INNLEDNING | xv |
| 1.1 Bakgrunn..... | xv |
| 1.2 Problemstilling..... | xv |
| 1.3 Formål..... | xv |
| 1.4 Avgrensning | xvi |
| 1.5 Begrensning..... | xvi |
| DEL A: Bakgrunnsteori..... | 17 |
| 1.6 Plan- og bygningsloven, retningslinjer og funksjonskrav | 17 |
| 1.7 Tre som byggemateriale og egenskaper..... | 18 |
| 1.8 Historie av massivtre | 19 |
| 1.9 Elementtyper..... | 19 |
| 1.10 Hulromselementer | 19 |
| 1.11 Kantstilte elementer..... | 20 |
| 1.12 Krysslaminerte elementer..... | 21 |
| 1.13 Bindingsverk | 22 |
| 1.14 Produksjon av elementer..... | 23 |
| 1.14.1 Automatisert produksjon av prefabrikkerte elementer..... | 23 |
| 1.14.2 Manuell produksjon av elementer | 23 |
| 1.15 Kuldebro | 24 |
| 1.15.1 Lineær kuldebroer | 24 |
| 1.15.2 Geometrisk kuldebroer | 24 |
| 1.15.3 Punktkuldebroer | 25 |



| | | |
|--------|---|----|
| 1.16 | Kuldebrobryter..... | 25 |
| 1.17 | U-verdi..... | 26 |
| 1.17.1 | Programvaren THERM 7.6 | 27 |
| 1.18 | Varme og Fukt..... | 28 |
| 1.18.1 | Varmetransport..... | 28 |
| 1.18.2 | Fukt..... | 29 |
| 1.18.3 | Fuktberegning med glaser-metoden | 32 |
| 1.18.4 | Programvaren WUFI ® Pro 4.1 | 32 |
| 1.18.5 | Likninger som er programmert i WUFI ® pro 4.1 | 33 |
| 1.19 | Kostnad..... | 35 |
| 1.20 | Brann | 36 |
| 1.20.1 | Generelt | 36 |
| 1.20.2 | Brann massivtre..... | 36 |
| 1.20.3 | Brannkrav | 37 |
| 1.20.4 | Brann bindingsverk | 38 |
| 1.20.5 | Brannteknisk klassifisering | 38 |
| 1.20.6 | Brannforløp | 39 |
| 1.20.7 | Brannteknisk klassifisering | 40 |
| 1.20.8 | Brannmotstand til bygningsdeler | 41 |
| 1.20.9 | Brannbestemmelse etter TEK17..... | 42 |
| 1.21 | Lyd..... | 45 |
| 1.21.1 | Tre og lyd | 45 |
| 1.21.2 | Lydkrav | 46 |
| 1.21.3 | Flanketransmisjon | 46 |
| 1.21.4 | Luftlyd..... | 47 |
| 1.21.5 | Trinnlyd..... | 47 |
| 1.21.6 | Romakustikk..... | 47 |
| 1.21.7 | To hovedtyper lyd | 48 |
| 1.21.8 | Lydisolering | 48 |
| 1.22 | Miljø..... | 51 |
| 1.22.1 | Klimagassutslipp (CO ₂ utslipp):..... | 51 |
| 1.22.2 | Inneklima..... | 52 |
| 1.23 | Bæreevne..... | 53 |



| | |
|---|-----------|
| 2 DEL B: Metode og material | 57 |
| 2.1 Kvalitativ metode..... | 57 |
| 2.2 DEL A..... | 58 |
| 2.2.1 Litteraturundersøkelse..... | 58 |
| 2.3 DEL B..... | 58 |
| 2.3.1 Valg av metode..... | 58 |
| 2.3.2 Kvalitative fokusintervjuer..... | 58 |
| 2.3.3 Simuleringsprogrammer og beregninger..... | 60 |
| 2.4 DEL C..... | 61 |
| 2.4.1 Analyse av resultater..... | 61 |
| 2.5 DEL D..... | 61 |
| 2.5.1 Diskusjon og konklusjon:..... | 61 |
| 2.6 DEL E..... | 62 |
| 2.6.1 Forslag for videre arbeid..... | 62 |
| 2.7 Refleksjoner og kvalitetssikring..... | 62 |
| 2.7.1 Validitet og Reliabilitet..... | 62 |
| 2.7.2 Kildekritikk..... | 62 |
| 3 DEL C: Resultat og funn | 64 |
| 3.1 Fukt sjekt..... | 64 |
| 3.1.1 Glaser-metode bindingsverk..... | 64 |
| 3.1.2 Glaser-metode massivtre..... | 65 |
| 3.1.3 Simulering i «WUFI ® pro 4.1 IBP», klima Oslo..... | 66 |
| 3.1.4 Faktorer som påvirker fuktigheten i veggkonstruksjoner..... | 67 |
| 3.1.5 Inputsdata..... | 67 |
| 3.1.6 Yttervegg av bindingsverk, klima Oslo..... | 69 |
| 3.1.7 Yttervegg av massivtre med utvendig kontinuerlig isolasjon, klima Oslo..... | 77 |
| 3.1.8 Vurdering..... | 86 |
| 3.1.9 Svakheter med WUFI simulering..... | 87 |
| 3.2 U-verdi..... | 89 |
| 3.2.1 U-verdikrav TEK17 for yttervegg..... | 89 |
| 3.2.2 U-verdien beregning av bindingsverk..... | 90 |
| 3.2.3 U-verdi beregning av massivtre (manuell)..... | 92 |



| | | |
|-------|--|-----|
| 3.3 | Kuldebroer | 94 |
| 3.3.1 | Lineære kuldebroer | 94 |
| 3.3.2 | Geometrisk kuldebroer | 95 |
| 3.4 | Kostnad..... | 98 |
| 3.5 | Brann | 102 |
| 3.5.1 | Brannegenskap bindingsverks konstruksjonen | 103 |
| 3.5.2 | Brannegenskap massivtrekonstruksjonen | 103 |
| 3.6 | Bæreevne..... | 105 |
| 3.7 | Lyd..... | 108 |
| 3.7.1 | Lydreduksjonstall av bindingsverksveggen | 108 |
| 3.7.2 | Lydreduksjonstall massivtre vegg | 108 |
| 3.8 | Vedlikehold og drift | 111 |
| 4 | DEL D: Diskusjon/drøfting..... | 112 |
| 4.1 | Konklusjon..... | 116 |
| 5 | DEL E: Forslag til videre arbeid..... | 118 |
| 6 | Referanseliste..... | 119 |
| | Vedlegg..... | 130 |



INNLEDNING

I innledningen vil vi se på bakgrunn, problemstilling, formål, avgrensning og begrensning.

1.1 Bakgrunn

Det er mye snakk om massivtre, og på grunn av "det grønne skiftet", vil dette bli et viktigere og viktigere byggemateriale framover. Bruken av massivtre øker for hvert år som går, og mange er interessert i å vite mer om det, for å finne ut hvordan det er hvis man velger massivtre frem for tradisjonelt bindingsverk. Massivtre som er et nytt byggemateriale er kjent for å ha et godt potensiale for å konkurrere med dagens byggematerialer, men det finnes ikke så mange standardiserte løsninger og klare retningslinjer.

Bindingsverk som er en tradisjonell byggete metode, brukes mye i dagens samfunn og spesielt i Norge. Det er viktig å vite hvordan egenskapene til massivtre ligger an i forhold til bindingsverk. Valg av byggemateriale og byggete metoder bestemmes stort sett ut fra egenskaper, begrensninger og fordeler.

1.2 Problemstilling

Masterprosjektets problemstillingen er: *Å sjekke og sammenligne egenskapene til prefabrikkerte ytterveggs element av massivtre kontra prefabrikkerte ytterveggs element av bindingsverk.* Massivtre konstruksjonen og bindingsverk konstruksjonen har standard oppbygging som er vanlig å produsere som prefabrikkerte elementer. Oppbygging og detaljtegninger av konstruksjoner finnes i «vedlegg B». Hensikten med problemstillingen er å finne ut fordeler og utfordringer med dem, og ikke minst hva som er fordeler og utfordringer fra byggesektors perspektiv

1.3 Formål

Formålet med oppgaven er å finne ut hvilken av de to konstruksjonene som har de fleste positive egenskapene. Hvis bindingsverk setter sine begrensninger, er det da mulig å bruke den unike massivtre teknologien? Massivtre har fått mye oppmerksomhet i de siste årene



som et alternativt til tradisjonelle byggematerialer. Det forskes mye på massivtre for å forstå dens egenskaper.

1.4 Avgrensning

Å løse en så stor oppgaver på noen få måneder er utfordrende. Oppgaven er derfor avgrenset litt. Planen var å sjekke hvor mye CO₂ som produseres i hvert av elementene i det digital programmet: "One Click LCA". Bindingsverk brukes både som prefabrikerte elementer og plassbygde vegger. I denne oppgaven er bindingsverk kun avgrenset til prefabrikerte ytterveggs elementer.

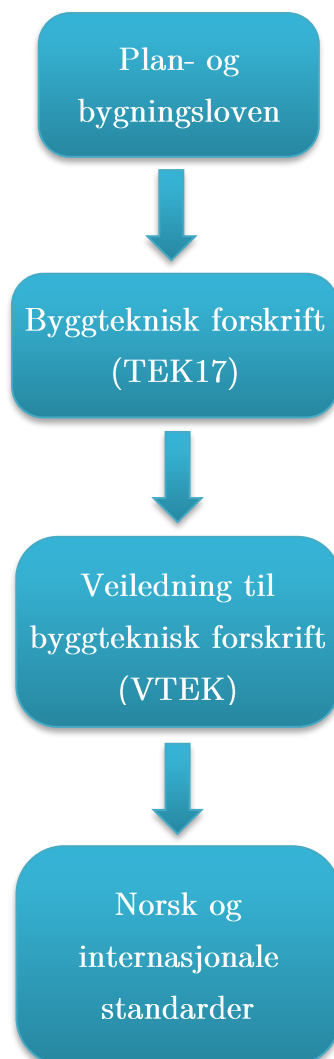
1.5 Begrensning

Oppgaven har endel begrensninger. En av de begningene er strenge restriksjoner på grunn av pandemien. Som konsekvens av restriksjonene er det ikke så lett å besøke byggeplassene eller møte ansikt til ansikt for intervjuer. Derfor er det gjennomført intervjuer via digitale plattformer. Jeg kan allerede litt om massivtre og vet at det er færre folk som har god kunnskap til det. Det finnes heller ikke standardiserte løsninger noe som er i seg selv er utfordrende.

DEL A: Bakgrunnsteori

1.6 Plan- og bygningsloven, retningslinjer og funksjonskrav

Plan- og bygningsloven sørger for hvordan oppføring av byggverk reguleres i Norge. Den sørger også for at bruk av arealene skjer på en rasjonell og effektiv måte. Hierarkisk oppbygging av regelverket i Norge:



Figur 1. Oppbygging av regelverket i Norge. Bygningene eller bygningskonstruksjoner skal utføres i henhold til regelverket.

1.7 Tre som byggemateriale og egenskaper

I dag er det stort fokus på hvordan vi kan redusere CO₂-avtrykket på en best mulig måte. Klimagassutslipp har ført til global oppvarming. Den gjennomsnittlige temperaturen på jorden har økt siden starten av den industrielle revolusjon. Høyere temperatur fører til at jordens fuktighet forsvinner, noe som medfører at mange områder på kloden tørker ut og blir ubeboelige. Fremtidig klimaendringer kan også påvirke det miljøet vi bor i. Det kan bli mer ekstremvært, noen områder på kloden blir våtere og andre områder tørrere. Parisavtalen som er en internasjonal klimaavtale regnes som en av de viktigste tiltakene som forplikter landene i verden til å redusere klimagassutslippene.

I dag er det mye forskning for å gjøre byggebransjen mer klimavennlig. Fokuset er størst innen miljøvennlig byggematerialer og at bygninger skal bruke mindre energi. Byggebransjen sto for 40% av de skadelige klimagassutslippene i 2015, og det er i seg selv et stort tall [1].

Norge er et av de landene i verden som har best tilgang på skog. Mye mer enn for eksempel landene rundt ørkenen i Sahara og landene i Midtøsten. Tre som byggemateriale har lenge vært en del av norsk byggetradisjonen. Folk har lenge brukt trematerialer til å bygge på forskjellige måter [2]. Tre er et organisk, anisotropisk og hygroskopisk materiale. Dens termiske, mekaniske, estetiske og arbeidsmessige egenskaper egner seg godt som byggemateriale.

Tre brukes blant annet til å bygge broer, idrettshaller, bolighus, barnehager og etter hvert også leilighetsblokker. Tre er et byggemateriale som er sterkt i forhold til vekten. Tre er også bra for inneklima. Svingninger i den daglige innendørs luftfuktigheten i hjemmet kan reduseres ved å påføre maling eller beis på treoverflater. Tre har en egen evne til å absorbere og avgi fuktighet. Men fuktigheten i lufta fører også til at treverket utvider seg og trekker seg sammen. Bygg av tre lagrer CO₂ og reduserer drivhuseffekten. Det regnes som et fornybart byggemateriale. Tre kan gjenbrukes eller brennes for å spare olje, gass og kull [3].



1.8 Historie av massivtre

De første moderne anvendelsene av massivtre startet i Canada på 1970-tallet. På denne tiden ble treplateelementer brukt som brodekker i Canada. Rundt 1990 begynte interessen for massivtre også i Europa. Landene i Sentral-Europa, blant annet Østerrike, Tyskland og Sveit var de første landene som begynte å forske på og ta i bruk massivtre. På slutten av 90-tallet begynte massivtre å bli populært i Norden også [4].

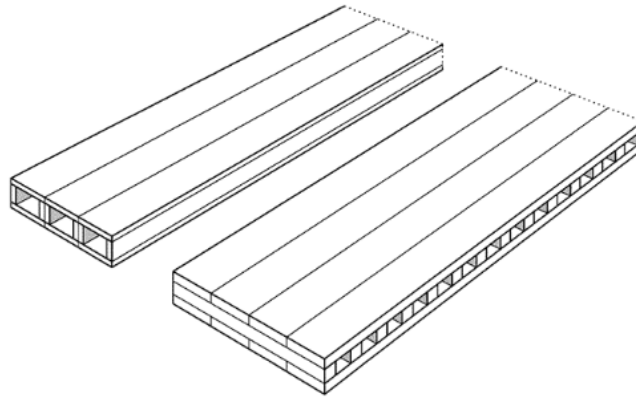
1.9 Elementtyper

Det finnes forskjellige varianter av massivtreelementer. I dag brukes ordet massivtre som en fellesbetegnelse på planker av tre som er sammensatt og holdt sammen av lim, spikker, skruer, stålstag og tredybler. Gran og furu er de vanligste treslagene som brukes til å produsere massivtreelementer. Det er også mulig å blande planker med ulike fasthetsklasser. Lameller med høyere fasthetsklasser anvendes i de ytterste sjiktene, mens lameller med lavere konstruksjonsklasse anvendes i de indre sjiktene. De vanligste fasthetsklasser som anvendes varierer fra C14 – C30. De tre forskjellige kategoriene av massivtreelementer er følgende:

- Kantstilte elementer
- Hulromselementer
- Krysslagte elementer [5].

1.10 Hulromselementer

Lameller som settes med hulrom mellom det øvre og nedre massivtreelementet kalles hulromselementer. Hulromselementer finnes i parallelle og kryssende lameller (kalles også kasseelementer). Disse hulrommene pleier å fylles med isolasjon og de egner seg til å brukes som kanaler til tekniske føringer og installasjoner [6].

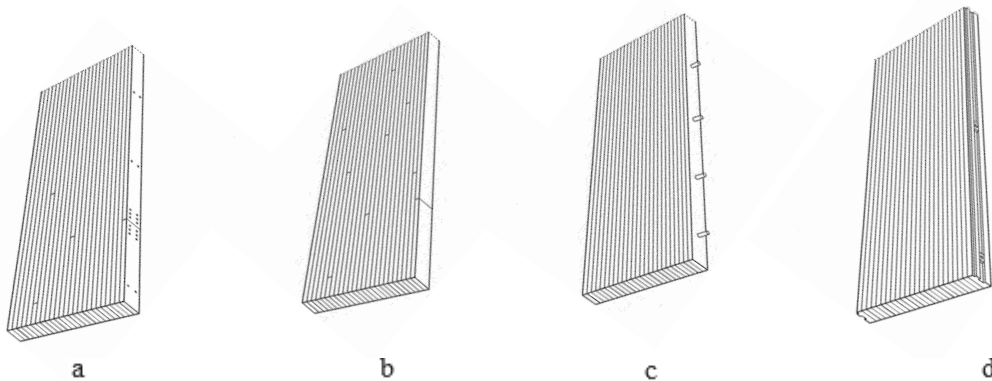


Figur 2. Hulromselementer av massivtre.

1.11 Kantstilte elementer

Lameller som blir stilt på høykant (stående) kalles kantstilte elementer. Kantstilte elementer har flere varianter og forbindelsesmidlene er lim, spiker, skruer, tredybler og tverrspent. Den varianten som spikres eller skrues er mest utbredt fordi den er enkel å lage. Den kan også lages på byggeplass ved å spikre med hammer [6].

- a. spikret bordstabelement
- b. limt bordstabelement
- c. dyblet bordstabelement
- d. tverrspent bordstabelement



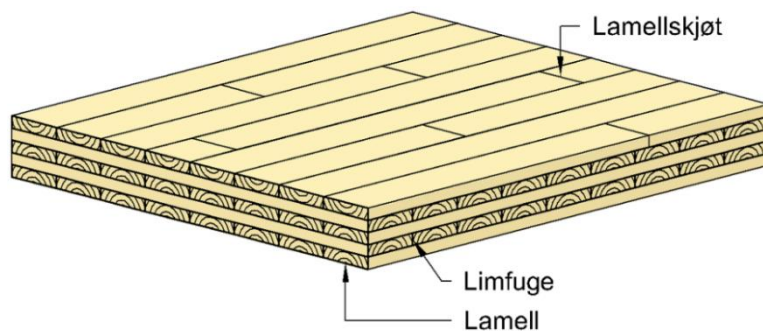
Figur 3. Kantstilte elementer av massivtre med ulike festemidler.

1.12 Krysslaminerte elementer

Krysslaminert element består av lameller som settes sammen på tvers av hverandre og festes sammen med skruer, lim, spiker, tredybler eller stålstag. Blant disse er lim det vanligste festemiddelet fordi det gir mer friksjon, noe som er gunstig med tanke på oppsprekking og krymping. Krysslagt element består av mange lag og tykkelser som prosjekteres etter bruksformål, men i Norge består et typisk KL-element av 3, 5, 7 eller 9 lag som er limt sammen. Elementtykkelser varierer fra 60 til 320 mm [7].

Krysslaminerte elementer produseres vanligvis med en bredde på opptil 3,5 meter og lengder på opptil 16 meter [8].

Krysslagte lameller heter på engelsk: «cross laminated timber (CLT)», og er den vanligste varianten til byggeformål [9].



figur 4. Krysslagt element av massivtre. Lim som feste middel [10]

I denne oppgaven siktes det til krysslagte lameller av tre når ordet massivtre brukes. På grunn av massivtreets utmerkede fysiske og mekaniske egenskaper, kan den tilby mange nye muligheter for bygninger. Spesielt muligheten for tilstrekkelig kraftoverføring i vertikale og horisontale retninger.

Massivtre har god bæreevne og brannbestandighet, dette gjør at den egner seg spesielt godt til bygninger med mange etasjer. De høye stive elementene er i stand til å tåle store krefter [26]. Yttervegger av massivtre kan også brukes som utkraget vegger [11].

Siden massivtreelementer har god bæreevne, tåler de også punktlaster veldig godt. Det kan brukes som bærende elementer i yttervegg, etasjeskiller, tak, innervegg og trappesjakt.

1.13 Bindingsverk

Bindingsverk er en form for skjelletkonstruksjon som består hovedsakelig av stendere (stolper), sviller, spikerslag, losholt og skråbånd. Åpningene i bindingsverk trenger utfylling, og disse åpningene kalles vanligvis fakk eller fag. For å få en tett konstruksjon, trenges det også utfylling på begge sider [11].

Bindingsverk begynte å bli brukt i Norge på 1600-tallet. De eldre formene for bindingsverk var nok forskjellige fra dagens versjon. Stendere gikk gjennom flere etasjer. Dette var utmurt bindingsverk, som vil si at murverk ble brukt som utfylling i åpningene. Denne formen for bindingsverk var mest utbredt i Christiania og varte helt til slutten av 1800-tallet [11].

Det kom større krav til tetthet og varmeisolering på begynnelsen av 1900-tallet. Da begynte folk å bruke rene trekonstruksjoner. Stendere med dimensjon 4x4 var mest vanlig, mens dimensjoner på losholter, skråstivere og sviller kunne variere. For å oppnå best mulig tetthet og varmeisolasjon var det vanlig å bruke to lag med panel og to lag med papp på hver side. Etter hvert ble det også vanlig å bruke sagflis, kiselgur og kutterspon for å fylle hulrommene i veggkonstruksjonene [11].

Fra 1941 begynte bindingsverk å få en mer rasjonell form. Dimensjonene begynte å bli mindre. Nye materialer ble introdusert, blant annet mineralull som varmeisolerende materiale. Løsningene på sammenføyningsdetaljer ble enklere. Alt dette førte til reduksjon av varmetap, økt komfort innendørs, men også færre skader på konstruksjoner på grunn av bedre prosjektering og utførelse [11].

Dobbelt bindingsverk ble introdusert i Norge på slutten av 1960-tallet. Dette kalles plattformkonstruksjon. Produksjon av prefabrikkerte elementer for husproduksjon begynte. Dimensjoner og tykkelser endret seg på grunn av krav til bæreevne og energieffektivitet. I dag produseres prefabrikkerte elementer av bindingsverk på fabrikker og dette reduserer tidsbruken på byggeplass. Det er også vanlig å bygge konstruksjoner av bindingsverk på byggeplass [11].



1.14 Produksjon av elementer

Produksjon av elementer skjer på forskjellige måter og ferdighetsgraden varierer fra enkeltelementer til ferdige modulbygg. Elementene kan produseres automatisert med roboter, manuelt eller med en kombinasjon av disse. Disse produksjonsmetodene har ulike fordeler og ulemper:

1.14.1 Automatisert produksjon av prefabrikkerte elementer

Med automatisert produksjon av elementer menes det at robotene gjør det meste av jobben på fabrikk. Her foregår alt fra kapping av materialer til automatisk spikring. De enkelte delene i et elementene er nummerert med blant annet prosjektnummer, etasjenummer og lengder slik at robotene forstår hva de gjør. De ulike stasjonene er bemannet for å kontrollere dataene og de enkelte delene av elementene. Det nødvendig at de ulike stasjonene er bemannet fordi robotene for eksempel ikke forstår at enkelte deler av et element er skjevt. En av de fabrikkene som har et slikt produksjonssystem er «Støren treindustri» i Trøndelag.

1.14.2 Manuell produksjon av elementer

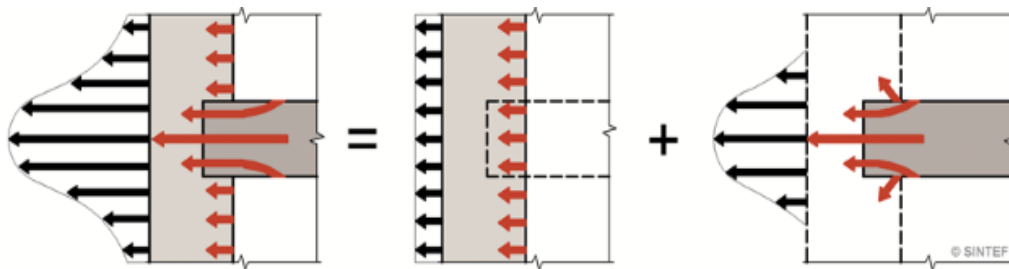
En annen måte å produsere elementene på er manuell produksjon. I en slik produksjon foregår hele produksjonen manuelt. De enkelte delene av elementene settes sammen på store arbeidsbord. På hvert av arbeidsbordene som er bemannet med tømreere foregår de ulike arbeidsoperasjoner.

1.15 Kuldebro

En kuldebro er områder med høyere varmetap enn konstruksjonen ellers. Når det gjelder varmeisolasjon, så er disse kuldebroene, områder med økt varmetap og kalde overflater. De vanligste isolasjonsmaterialene har tre til fire ganger bedre isoleringsevne enn vanlig trevirke. Det betyr at andelen av tre som går gjennom isolasjonen i trekonstruksjonen ikke bør være større enn det som gir nok bæreevne. I-profiler gir mindre kuldebror enn bjelker og stendere av massivtre. Kuldebroer kan skyldes konstruksjonen, materialet eller geometrien [11].

1.15.1 Lineær kuldebroer

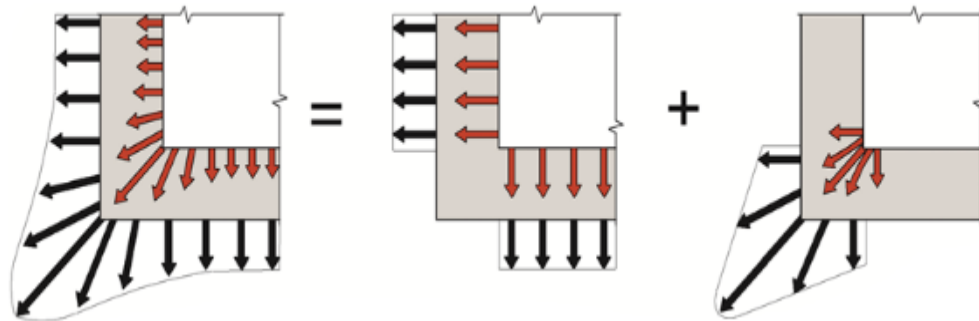
Hvis det oppstår varmetap i klimaskjermen fordi to bygningsdeler møtes eller fordi klimaskjermen brytes av en bygningsdel kalles det lineære kuldebroer. Disse pleier å ha det største varmetapet av kuldebroene i en bygning [12].



Figur 5. Et typisk område med lineære kuldebroer [12].

1.15.2 Geometrisk kuldebroer

En kuldebro som oppstår på grunn av forskjellen mellom innvendig og utvendig areal kalles geometriske kulebro. Det kan skje hvor som helt i et bygg hvis isolasjonens tykkelse blir endret eller at en vinkel i ytterkonstruksjon endrer seg. De typiske stedene som slike kuldebroer oppstår er ved hjørne, møne eller tak. Jo større arealforskjell jo større innvirkning har disse kuldebroene. [12].



Figur 6. Et typisk område for geometriske kuldebroer [12].

1.15.3 Punktkuldebroer

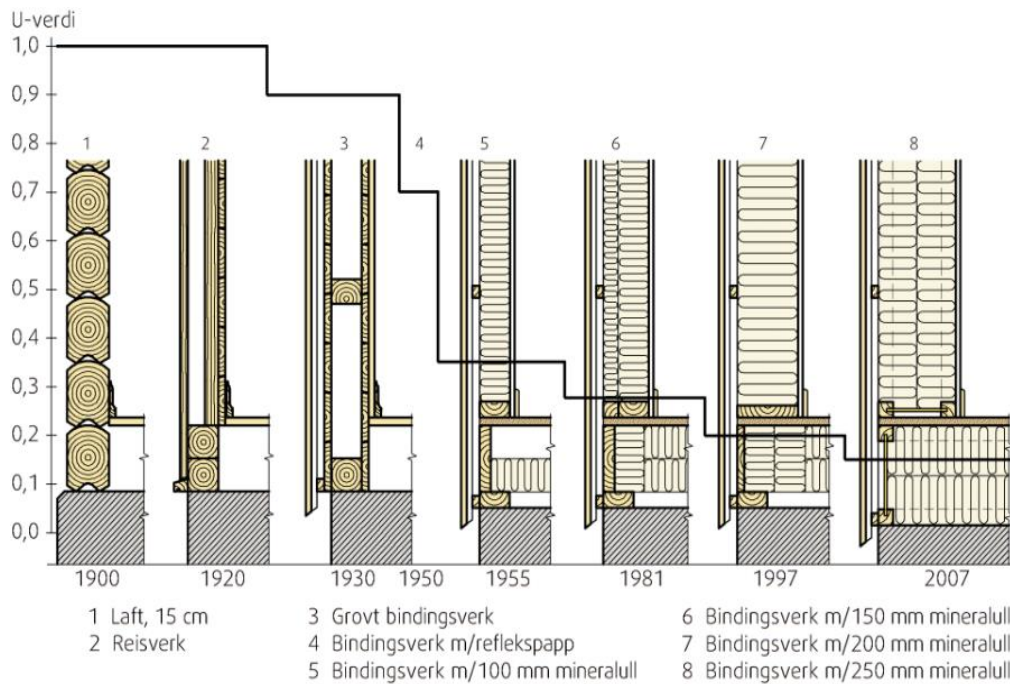
Kuldebroer som oppstår der tre bygningsdeler møtes i klimaskjermen og der en bygningsdel med liten utstrekning bryter klimaskjermen kalles punktkuldebroer. Eksempler på bygningskomponenter med liten utstrekning er skorsteiner, søyler og gjennomføringer [12].

1.16 Kuldebryter

En kuldebryter er et sjikt med isolasjonsmateriale som brukes i konstruksjoner for å bryte eller redusere virkningen av kuldebroer. Kuldebryteren sørger for at det skjer mindre varmetap. Dette har en positiv innvirkning på den totale energiberegning i et bygg. For å minske sjansen for kuldebroer bør kuldebryteren prosjekteres nøye og utføres riktig.

1.17 U-verdi

U-verdien måles med målenheten W / m^2K som er et mål på passering av varme gjennom et materiallag. Det indikerer mengden energi som strømmer per overflate når temperaturen i lufta på begge sider av konstruksjonen er forskjellig.



Figur 7. Historisk endring av U-verdien for yttervegg av tre med forskjellige type konstruksjoner. Det viser at bedre og nyere løsninger gir lavere u-verdier [13].

U-verdien (varmegjennomgangskoeffisienten), er et mål som viser mengde varme som passerer gjennom et enkelt eller flere lag med materiale hvis det er forskjellige temperaturer på hver sider av konstruksjonen. Verdien indikerer energimengden som strømmer gjennom et område på $1 m^2$ av en komponent per tidsenhet med en temperaturforskjell på $1 K$ (Kelvin). Lavere U-verdi angir at komponenten har god varmeisolerende evne. U-verdien er en viktig faktor som påvirker den totale energi beregningen i en bygning.

Beregning av U-verdi skjer i henhold til NS-EN ISO 6946.

Formellen for U-verdi er:

$$U = \frac{1}{R_{tot.}} + \Delta U \quad W / (m^2 K) \quad (1)$$

Hvor:

$R_{tot.}$ = den totale varmemotstanden (m^2K/W)

ΔU = korreksjonstillegg

Varmemotstand R beregnes etter formelen

$$R = \frac{d}{\lambda_d}$$

Hvor:

d = tykkelse til material sjiktene i [m].

Varmemotstand R indikerer graden av motstand som en komponent tilbyr for gjennomtrengning eller strømning av termisk energi: jo større termisk motstand, jo større er den isolerende effekten av et isolerende materiale.

λ_d = dimensjonerende varmekonduktivitet

Den dimensjonerende varmekonduktiviteten λ (lambda) er et mål for varmeledningsevne, [$W / m K$]. Den varmeeffekten i watt som føres gjennom et tverrsnitt på $1 m^2$ av et $1 m$ tykt lag av materiale hvis temperaturforskjellen mellom de to overflatene er $1 K$ ($1 ^\circ C$). materialets varmekonduktivitet er avhengige av temperatur, fuktinnhold, struktur og densitet. Materialer som leder varme godt (f.eks. Betong) har høy lambda-verdi og materialer med lav varmeledning (f.eks. Isolasjonsmaterialer) har lav lambda-verdi [14].

Dimensjonerende varmekonduktivitet for ulike materialsjikt finnes i Byggforskserien 471.010, tabell 32.

R_{tot} er summen av all varmemotstand i hvert enkelt sjikt inkludert R_{si} (innvendig varmemotstand) og R_{se} (utvendig varmemotstand) i et homogent sjikt. Hvis sjiktet ikke er homogent, skal legeringen også beregnes.

$$R_{tot} = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 \dots R_n + R_{se} \quad (2)$$

1.17.1 Programvaren THERM 7.6

THERM er et todimensjonalt moderne dataverktøy som er utviklet ved Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) til å brukes av produsenter av bygningsdeler, ingeniører, lærere, studenter, arkitekter og andre som er interessert i varmeoverføring gjennom bygningsdeler. Ved å bruke THERM kan vi modellere

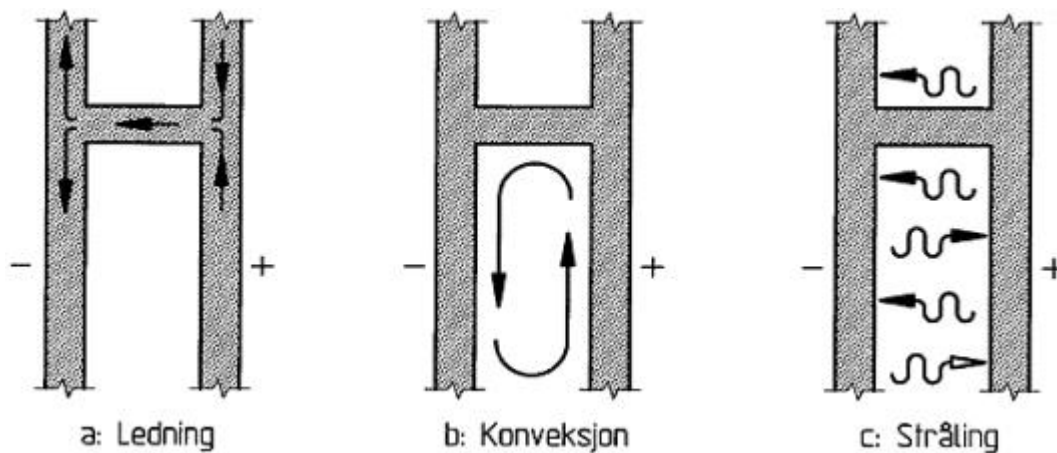
todimensjonale varmeoverføringseffekter i bygningsdeler som vinduer, vegger, fundamenter, tak, dører, apparater og andre produkter der kuldebroer er bekymringsfulle [15].

1.18 Varme og Fukt

1.18.1 Varmetransport

Drivkraften bak varmetransport er temperaturforskjellen mellom to områder. Regelen her er at varmestrømmen alltid finner sted fra høyere til lavere temperaturer. I en bygning strømmer det derfor varme fra den varmere siden av konstruksjonen i retning mot den lavere temperaturen. Selve varmetransporten kan skje på forskjellige måter.

- Varmeledning i faste materialer, væske, luft og gasser
- Konveksjon (strømning) i væske, luft og gasser
- Stråling skjer i hulrom mellom overflater



Figur 8. Varmetransport på ulike måter [16].

Varmeledning gjennom forskjellige byggelementer som yttervegg, tak og gulv skjer ved at energi i form av varme transporteres fra den varme siden og ut mot den siden med lavere temperatur. De forskjellige byggematerialene har forskjellige strukturer og har derfor forskjellige evner til å holde på varmen. Varmeledningsevnen er et mål på materialets evne til å la varmen passere gjennom seg. Et material med lav varmekonduktivitet (λ -verdi) regnes som et materiale med god



isoleringssevne, noe som er ønskelig. Den angir også mengden varme som går gjennom en meter av materialet når temperaturforskjellen på hver side er 1 K (Kelvin). Det finnes en oversikt over varmekonduktivitet til de kjente bygningsmaterialer på Byggforsk 471.010. Store sjikt av materialer med dårlig varmeisoleringssevne i bygnings komponenter som tak, vegg eller gulv vil føre til lite energieffektive løsninger og dårlige U-verdier.

Ved varmestråling kan varme overføres mellom materialoverflater. Dette kan også skje i vakuum. Det er energi av elektromagnetiske strålinger som skjer uten materielle varmeveksler. Dette vil si at det ikke kreves en masse som transportmedium. Varmestrålingen til en overflate blir større ved større emissivitet og høyere temperatur. Varmetransporten ved stråling mellom flatene bestemmes hovedsakelig av strålingsegenskapene til overflatene, overflatetemperaturene og overflatenes gjensidige posisjon i forhold til hverandre.

Strålingsintensitet E

Flatens absolutte temperatur T , [K]

Materialets emisjonsfaktor, ε

$$E = 5,68 \cdot 10^{-8} \cdot \varepsilon \cdot T^4 \quad (W / m^2), [11] \quad (3)$$

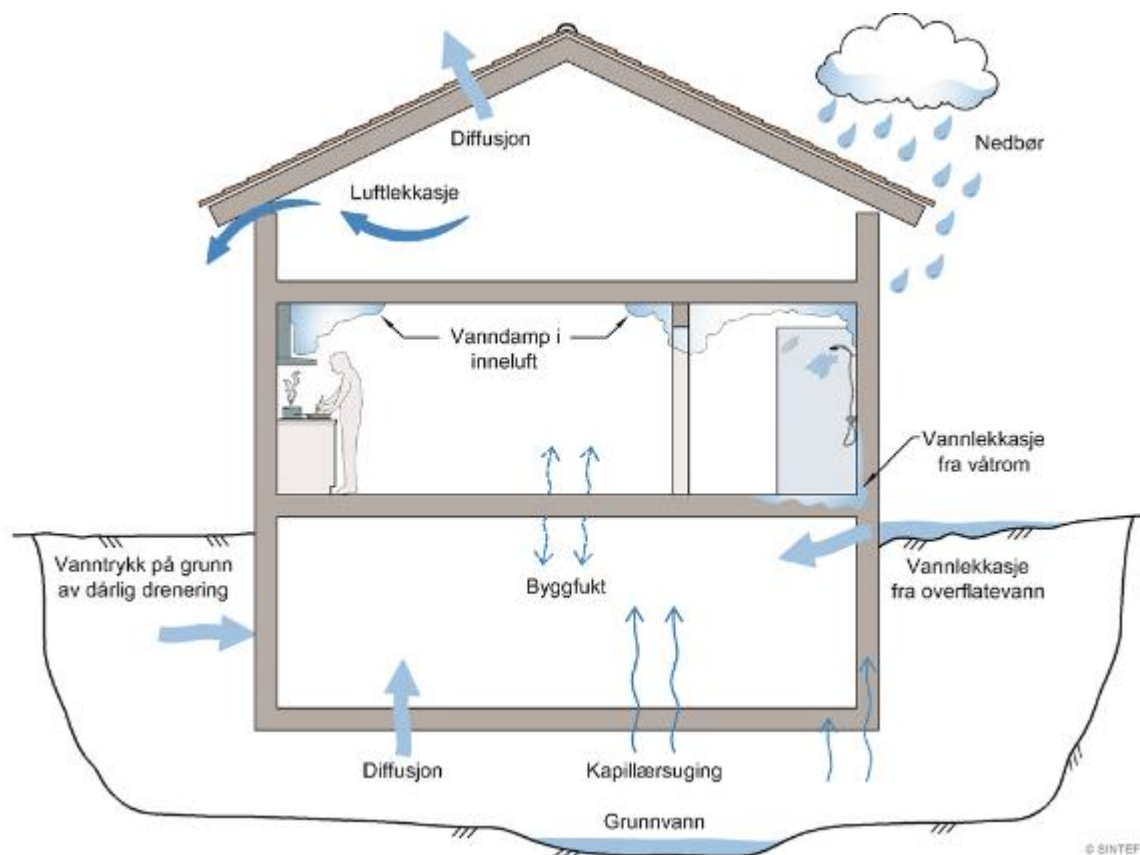
Varmeoverføring ved konveksjon kan skje mellom veggen og luften. Det er avgjørende at luften er i bevegelse. I et rom med lukkede vinduer og uten trekk, settes luftmassene i sirkulasjon hovedsakelig ved oppvarming. Når luften varmes opp i den nedre delen av rommet, blir det lettere og stiger. Da er varmekonveksjon i retning mot taket. Luften avkjøles der over tid, blir tyngre og synker ned igjen. Konveksjon oppstår ikke i faste stoffer. Varmetransport skjer også i en kombinasjon av stråling, konveksjon og varmeledning. [69].

1.18.2 Fukt

Varme- og fukttransport er prosesser som hører sammen og påvirker hverandre gjensidig. Ved varme- og fukttransport bør begge av dem betraktes med. Disse prosessene er ganske komplekse og utføres av ulike mekanismer.

Når det oppstår temperaturvariasjoner gjennom en bygningsdeler, vil det være grunnlag for fuktransport. De fleste bygningsmaterialer som blir utsatt for fuktighet i form av både væske og damp vil oppta dette. Materialer som har lukkede porer som metall og glass vil derimot ikke oppta fuktighet i form av væske eller damp [17].

Fuktskader på materialer er varierende og er avhengig av materialtype. Organiske materialer som blir utsatt for fukt gir grunnlag for sopp- og bakterievekstskader. Det er både skadelig for selve konstruksjonen og inneklime. I prosjekteringsfasen er det nødvendig å prosjektere slik at slike skader ikke oppstår. Organiske materialer som tre skal ikke havne mellom to tette sjikt ettersom at det da vil råtne. Konstruksjonen skal likevel være tett slik at damp fra inneluft ikke trenger seg inn i konstruksjonen. Hvis for mye fuktighet kommer inn i inneluften og selve konstruksjonen, kan det kondensere. Eksempel på fuktproblemer som kan oppstå er ser du i figur 9. på neste side.



Figur 9. Vanlige fuktkilder og -transportformer, fuktmekanikk [18]

- utettheter som oppstår i klimaskall
- utettheter i dampsperre kan føre til kondens (ikke gjennomgående dampsperre)
- innbygging av fukt i byggematerialer under bygging
- fukttilskudd innenfra (dusj, matlaging, klesvask osv.)
- feil drenering omkring byggverket
- utettheter i våtrom, rørsystem og sanitæranlegg

fukt kan i hovedsak forflytte seg gjennom fuktkonveksjon, kapillærsuging, damp-diffusjon og væskestrømning [18].

-Diffusjon refererer til transport av fuktighet gjennom molekyllærmigrasjon. Den molekyllære migrasjon skjer i porøse materialer fra høy til lav dampkonsentrasjon. På denne måten vandrer fukt gjennom nesten hvilket som helst materiale. Det er damptrykket og forskjellen i det absolutte fuktinnholdet i lufta som avgjør hvilken retning diffusjonen beveger seg [11].

- Ved fuktkonveksjon (luftlekkasje) er det luftstrømninger som forflytter vann-damp fra høyt lufttrykk til lavere lufttrykk. Luftlekkasjer skjer mest gjennom spalter og åpninger i sperresjiktene. Fukttransport er mye større gjennom luftlekkasje enn gjennom diffusjon. Fukttransport ved luftlekkasje utgjør store deler av kondensskader på bygningsdeler [11].

- Kapillærsuging omhandler vanntransport ved hjelp av kapillære krefter i materialporene. Materiale pleier å inneholde vann i større eller mindre grad. Over tid vil fuktinnholdet i materialet regulere seg hvis forholdene tillater det. En membran eller kjemisk behandling av materialene kan forhindre kapillærsug. Det er spesielt viktig for konstruksjoner som ligger mot grunnen [18, 19].

- Forflytting ved hjelp av tyngdekraften kalles væskestrømning.

For å unngå fukt i bygninger må konstruksjonene ha mulighet til å tørke ut overskuddsfukt. Det er også viktig at konstruksjonene ikke blir utsatt for fukt under byggetiden eller under transport for å unngå at det dannes fukt i selve konstruksjoner. Damp- og vindsperrerne må ikke punkteres, og plasseringen av dampsperran skal ikke være mer enn en tredel inn mot innsiden av konstruksjonen. Den skal

hindre at damp fra inneluften trenger seg inn i veggkonstruksjonen. En vindsperre med lav Sd-verdi anbefales.

Oppbyggingen av konstruksjonene har mye å si i forhold til fuktbestandigheten. Massivtre er mer fuktbestandig enn bindingsverk. Forskning viser at massivtre har bedre evne til å tørke ut enn bindingsverk [20].

1.18.3 Fuktberregning med glaser-metoden

Glaser-metoden er en prosedyre for å vurdere kondensrisikoen og faren for fuktinnhold i bygningsdeler. Den originale Glaser-metoden ble utviklet av den tyske ingeniøren Dr. H. Glaser og første gang utgitt i 1959. Det er en vurderingsmetode for diffusjonstransportprosesser i termiske omslag i kjølerom. Den består av forenklete beregningsmetoder som antar at fukttransport bare er ved vanndampdiffusjon som eneste transportmekanisme. Metoden beregner en dimensjonal og vurderer stasjonære (gjennomsnittlige) forhold. Med den stasjonære begrensinger menes det at materialenes varme- og fuktlagringsevne ikke tas hensyn til. Denne metoden betrakter ikke transport ved kapillærsuging og ser også bort fra fuktmenge, nedbør, solstråling og andre faktorer som kan ha innvirkning i et reelt tilfelle. Ved varierende varme- og fuktforhold og reelle klimabetingelser egner ikke metoden seg. [21, 22]

1.18.4 Programvaren WUFI ® Pro 4.1

WUFI ® pro 4.1 er en tysk standard programvare som er utviklet av «Fraunhofer Institut für Bauphysik» for å evaluere fuktighetsforhold i bygningsdeler. Ordet WUFI ® står på tysk for **W**ärme **U**nd **F**euchte **I**nstationär som betyr varme- og fuktighetstransitens. Programvaren er validert med detaljert sammenligning med målinger oppnådd i laboratoriet og ved utendørs testfelt.

Det finnes ulike typer WUFI simuleringsverktøy som tillater realistisk beregning av en- og todimensjonal varme- og fukttransport i veggkonstruksjoner og andre flerlags bygningsdeler utsatt for naturlig vær. WUFI ® Pro 4.1 er en av dem som kan utføre endimensjonale hygrotermiske (fukt- og varmeanalyse) beregninger på tverrsnitt av bygningsdeler, og tar hensyn til kapillærsuging, slagregn og luftdiffusjon, men tar ikke hensyn til blant annet konveksjon, rennende vann, luftlekkasjer

og andre lokale forhold. Dette er noe en må være oppmerksom på for å tilpasse best mulig til virkeligheten [23].

Det er flere andre metoder som i likhet med Glaser-metoden ikke tar hensyn til disse effektene og de er derfor begrenset til kun å evaluere vinterkondensasjonseffekter. WUFI ®Pro 4.1 bestemmer den hygrottermiske ytelsen til bygningsdeler under reelle klimaforhold. Denne typen omfattende dynamisk hygrottermisk analyse er nødvendig for nøyaktig prosjektering.

1.18.5 Likninger som er programmert i WUFI ® pro 4.1

Disse partielle differensiallikningene for varme og fuktighetsstrømning er programmert i dette programmet.

$$\text{Varmetransport: } \frac{\partial H}{\partial T} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda \Delta T) + h_v \nabla \cdot (\delta_p \nabla (\varphi P_{sat})) \quad (4)$$

$$\text{Fukttransport: } \frac{\partial w}{\partial \varphi} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \nabla \cdot (D_\varphi \nabla \varphi + \delta_p \nabla (\varphi P_{sat})) \quad (5)$$

Hvor:

- $D_\varphi \nabla \varphi$ væske ledning
- $\delta_p \nabla (\varphi P_{sat})$ dampdiffusjon
- $(\lambda \Delta T)$ fuktavhengig ledningsevne/konduktivitet
- $h_v \nabla \cdot (\delta_p \nabla (\varphi P_{sat}))$ damp entalpi strømnings
- $\frac{\partial H}{\partial T}$ [$J / m^3 K$] varmelagringskapasitet til fuktig material
- $\frac{\partial w}{\partial \varphi}$ [kg / m^3] fuktlagringskapasitet til materialet
- λ [w / mK] termisk ledningsevne til fuktig material



- D_φ [kg/ms] koeffisient for væskeledning
- δ_p [$kg/msPa$] gjennomtrengelighet til vanndamp
- h_v [J/kg] vannets fordampingsentalpi
- P_{zat} [Pa] metningstrykk til vanndamp
- T [C] temperatur
- φ [-] relativ fuktighet [19].



1.19 Kostnad

Pris er en av de viktigste faktorene når det gjelder kjøp og salg av varer. I mange tilfeller blir prisen sammenlignet med kvaliteten. Produkt med god kvalitet er ofte være dyrere enn produkt med lavere kvalitet. Andre faktorer som påvirker prisen, er tilgjengelighet, etterspørsel og markeds tilpasning. Det er snakk om tilgjengelighet av råvare, kunnskap, transport og utstyr. Hvis det finnes flere produsenter som produser samme produkt, kan det oppstå konkurranse. Konkurranse er gunstig for kunden med tanke på pris. Bruken av disse varene har også mye å si ettersom at det øker etterspørselen. Hvis byggemarkedet er ikke tilpasset til ny byggemetoden, kan det påvirke prisen fordi det krever kunnskap, prosjektering, produksjon, transport, planlegging, utstyr og montering. Det kreves tid og ressurser for å få alle disse på plass.

1.20 Brann

1.20.1 Generelt

Et tre trenger vann, CO₂ og solenergi for å vokse. Denne energien lagres deretter i skogen. Når tre brenner, frigjøres denne energien igjen i form av varme og lys. Tre regnes som et brennbart materiale. Tre har egenskapen til å lage et beskyttende karbonlag under brann. Dette reduserer tilførselen av både oksygen og varme, og forsinker derfor spredningen av brannen betydelig. Det vil si at «tre brenner forutsigbart». Disse egenskapene gjøre at treet kan opprettholde sin fasthet og stivhet selv om det brenner. Dette er gunstig med tanke på stabilitet og bæring i en konstruksjon [24]. Innbrenningshastigheten for tre påvirkes av densiteten til trevirket, temperaturen, treslaget, fuktinnholdet og tverrsnittstørrelsen. Innbrenningshastigheten betraktes i beregning av brannmotstanden til trevirkets komponenter [11].

1.20.2 Brann massivtre

Massivtre har bedre brannmostand enn lette trekonstruksjoner. Den solide oppbygging av massivtreet gjør den den blir enda mer brannbestandig. Oppbyggingen av massivtre gjør at den er lite antennelig. Massivtrekomponenter forkulles sakte. For at massivtreet skal begynne å brenne må fuktighetsinnholdet i treet som er på rundt 12% reduseres kraftig. Massivtre har lav varmeledningsevne som bidrar til at temperaturen i sjiktene bak det forkullede laget er betydelig lavere enn på den eksponerte siden. Lav varmeledningsevne reduser også innbrenningshastigheten. Innbrenningshastigheten til massivtre er 0,7 mm/min. Disse egenskapene bidrar at massivtreelementer opprettholder sine stivhets- og fasthetsegenskaper som igjen reduserer sjansen for sammenbrudd og kollaps under brann [25].

Hvordan elementene er limt, og valg av limtype har også en påvirkning på hvordan massivtreet oppfører seg ved et brannutbrudd. Forskninger viser at melaminureaformaldehyd-lim (MUF-lim) har lavere forkullingshastighet enn polyuretanlim (PU-lim). Elementene med MUF-lim hadde en gjennomsnittlig forkullingshastighet på 0,57 mm/min, mens den gjennomsnittlige forkullingshastigheten for PU-lim var 0.78 mm/min [26].

MUF-lim har god brannegenskap og smelter ikke under brann. Dette er spesielt viktig med tanke på delaminering av massivtre under brann, som virker positivt for å beholde stabiliteten og bæreevnen. En annen god egenskap MUF-limet har er at det ikke har en synlig farge som gjør at det virker usynlig ved bruk i massivtre-element. MUF-limet inneholder melamin og det er uløselig i vann. Den har derfor bedre fuktmotstand [27].

Tabell 1. Innbrenningshastighet til de ulike trevirke i Eurokode 5 [28].

| | β_0 mm/min | β_n mm/min |
|---|---------------------|---------------------|
| a) Softwood and beech | | |
| Glued laminated timber with a characteristic density of $\geq 290 \text{ kg/m}^3$ | 0,65 | 0,7 |
| Solid timber with a characteristic density of $\geq 290 \text{ kg/m}^3$ | 0,65 | 0,8 |
| b) Hardwood | | |
| Solid or glued laminated hardwood with a characteristic density of 290 kg/m^3 | 0,65 | 0,7 |
| Solid or glued laminated hardwood with a characteristic density of $\geq 450 \text{ kg/m}^3$ | 0,50 | 0,55 |
| c) LVL | | |
| with a characteristic density of $\geq 480 \text{ kg/m}^3$ | 0,65 | 0,7 |
| d) Panels | | |
| Wood panelling | 0,9 ^a | – |
| Plywood | 1,0 ^a | – |
| Wood-based panels other than plywood | 0,9 ^a | – |
| ^a The values apply to a characteristic density of 450 kg/m^3 and a panel thickness of 20 mm; see 3.4.2(9) for other thicknesses and densities. | | |

1.20.3 Brannkrav

Det er mange krav i TEK17 som må betraktes under prosjektering av et bygg med tanke på sikkerhet og brann rundt et brannforløp.

Prosjektering av alle byggverk skal utføres slik at liv, helse, materielle verdier og samfunnsmessige interesser blir ivaretatt. Det skal være forebyggende tiltak og krav for å forhindre at brannen sprer seg. I tillegg er det en del av brannvern som handler om å sikre at bygningsbranner kan bekjempes raskt slik at personer har mulighet til å hente seg i sikkerhet. Avstandene til eiendomsgrensen må tilfredsstillende brannkravene [29].

Som grunnlag for prosjektering og utførelse for rømning og redning blir byggverk inndelt i risikoklasser. Risikoklassen sier noe om den trusselen en brann kan innebære i form av skade på liv og helse [29].

Videre deles byggverk inn i brannklasser ut fra den konsekvensen en brann kan innebære i form av skade på liv, helse, samfunnsmessige interesser og miljøet [29]. Det kan forventes at massivtre med tykke lag skal vise en bedre brannegenskaper sammenlignet med massivtre med tynne lag. Trevirkets form og volum påvirker brannegenskapet til materialet. Tykke massivtreskiver brenner forutsigbart noe som betyr at forkullingshastigheten er tilnærmet konstant. Innbrenningshastigheten til massivtre er avhengige av hva slags trevirke den er laget av. Ulike trevirker har ulike densiteter som gjør at innbrenningshastigheten også blir forskjellig. Innbrenningshastigheten til massivtre varierer fra 0,7 - 0,8 mm/min [26, 30].

En av de viktigste fordelene med et massivtre er brannmotstanden det har. Massivtreelementer har bedre brannmotstandsegenskaper ved høye temperaturer enn f.eks. stål. Egenskapene til massivtreskiver er betydelig bedre enn konvensjonelle trekonstruksjoner. Brannmotstand refererer til materialets evne til å forhindre spredning av brann og å opprettholde bæreevnen til konstruksjoner som er utsatt for brann. Brannmotstand uttrykkes i tidsenheter fra antenning av brann til tap av materialets bæreevne. Brannmotstand rapporteres normalt i løpet av minutter: 30, 60 eller 90 minutter [31].

1.20.4 Brann bindingsverk

Bindingsverks brannmotstand er avhengige av oppbygging av konstruksjonen og materialene som er involvert i det. Hvis innvendig kledningen er av brennbart materiale slik som kledning av tre, vil den få dårligere brannmotstand. Hvis innvendig kledninger derimot er av gips, får den litt bedre brannmotstand. Motstanden er også avhengige av hvilken type gips, tykkelse og om den er branngips eller vanlig gips. Branngips pleier å gi bedre brannmotstand.

1.20.5 Brannteknisk klassifisering

Belastningsevnen, isolasjonen eller integritetsevnen blir kompromittert. Disse avhenger av tre faktorer:

- bidraget til enhver brannsikring som påføres utsiden av konstruksjonstømmeret, for eksempel gipsplater.
- oppvarming og forkulling av tømmeret

- den gjenværende bæreevnen til trekonstruksjon, integriteten og isolasjonsevnen. Selv om brannmotstanden til tre relativt lett kan økes ved å tilsette gipsplater, er dette ikke så gunstig med tanke på arkitektoniske og visjonen om synlig massivtre [32].

Brannoppførselen til tre kan beregnes. Varigheten av brannmotstand kan også økes ved å øke tykkelsen på massivtreet eller ved å bruke branngips på den innvendige overflaten slik at krav til de ulike brannklassene tilfredsstilles.

Elementer av massivtre har bedre brannmotstand enn for eksempel stål og armert betong. Trevirke brenner forutsigbart, relativt jevnt og forkulles sakte. Når en brann oppstår og temperaturen stiger, begynner stål eller armerte betongbjelker å miste sin bæreevne. Dette påvirker stabiliteten til byggverket. Oppbygging av massivtre gjør at den er mer brannbestandig. Dette skyldes et fuktighetsinnhold på rundt 12%. Før treet begynner å brenne, må vannet fordampes. Det lages i tillegg en forkullet overflate som hjelper mot brannen. [26, 11, 24].

1.20.6 Brannforløp

I de fleste standarder, inkludert International Fire Service Training Association (IFSTA), er det fire stadier av en brann. Disse stadiene er begynnende, vekst, fullt utviklet og forfall. Følgende er en kort oversikt over hvert trinn:

Antennelsesfase - Det første trinnet begynner når varme, oksygen og en drivstoffkilde kombineres og det oppstår en kjemisk reaksjon som resulterer i brann. Dette er også kjent som "tenning" og blir vanligvis representert av en liten brann som slukker av seg selv før de neste trinnene er nådd. Det å gjenkjenne en brann på dette stadiet gir den beste sjansen til å undertrykke den eller å flykte [33].

Brannutviklingsfase - Vekststadiet er der konstruksjonens brannbelastning og oksygen brukes som drivstoff for brannen. Det er mange faktorer som påvirker denne fasen, blant annet hvor brannen startet, hvilke brennbare stoffer som er i nærheten av den og tilgang på oksygen. Hvis disse forholdene er tilrettelagt, vil brannen fortsette å spre seg og temperaturen stiger. Varmeroverføring ved konveksjon på grunn av brann og stråling, stråling fra omhyllende flater og stråling fra røyksjikt gjør at temperaturen stiger [33].

Fullt utviklet - Når vekststadiet har nådd sitt maksimum og alle brennbare materialer er antent, anses en brann som fullt utviklet. I denne fasen antennes uforbrente branngasser og flammene begynner å spre seg ut gjennom åpninger. Dette er den varmeste fasen av en brann og den farligste for alle som er fanget i den. Overflatenes egenskaper har stor innvirkning på tiden det tar fra antennelse til overtenning [33].

Avkjølingsfasen – Den fasen er preget av en betydelig reduksjon i oksygen eller brensel, noe som setter en stopper for brannen [33]. Det er to vanlige farer i dette stadiet. Det er først eksistensen av ikke-flammende brennbare stoffer, som potensielt kan starte en ny brann hvis ikke alt er helt slukket. For det andre er det fare for et bakteppe når oksygen blir introdusert på nytt i et flyktig, begrenset rom.

1.20.7 Brannteknisk klassifisering

Bygningsmaterialenes egenskaper med tanke på brann klassifiseres i betraktning av brennbarhet, antennelighet, røykproduksjon og drypping av brennende materiale i overensstemmelse med klassifiseringsstandarten NS-EN 13501-1 [11].

Tabell 2. Brennbarhet og antennelighet deles inn i følgende klasser [trehus bok]:

| klasser | |
|---------|--|
| A1 | Materialer som er helt ubrennbare og ingen røykeproduksjon. |
| A2 | Materialer som er relativt ubrennbare, og kan inneholde brennbare stoffer. |
| B | Materialer med begrenset brennbarhet |
| C | Materialer som er noe mer brennbart |
| D | Brennbare materialer |
| E | Materialer med relativ brennbarhet og lett antennelige |
| F | Brennbarhet og antennelighet ikke bestemt |

Tabell 3. Røykeproduksjon deles inn i følgende klasser [11]:

| klasser | |
|---------|--|
| s1 | Røykproduksjon er veldig lav og nesten ingen røykeproduksjon |
| s2 | Noe røykproduksjon |
| s3 | Røykproduksjon er mer enn klasse s2 eller ingen ytelse bestemt |

Tabell 4. Dannelse av partikler eller flammende dråper deles inn i følgende klasser [11]:

| klasser | |
|---------|---|
| d0 | Ingen brennbare dråper eller partikler |
| d1 | Ingen brennbare dråper eller partikler som varer mer enn 10 sekunder. |
| d2 | Tilfredsstiller ikke klasse d1, eller ingen ytelse bestemt. |

Egenskapene til en vanlig trebasert bygningsplate ved brannpåvirkning klassifiseres i klasse D-s1, d0 [11].

1.20.8 Brannmotstand til bygningsdeler

Brannmotstand er evnen en konstruksjon eller en bygningskomponent (yttervegg, bjelker, dører og brannbarrierer, osv.) har til å holde på stabiliteten, integriteten og isolasjonsevnen i en bestemt tid. Tallet skal rapporteres etter merkingene R, REI, RE, EI, E og viser brannmotstandstiden i minutter (15, 20, 30, 40, 60, 90, 120, 180, 240 og 360) om den nominelle brannkurven.

REI-merkingen identifiserer en konstruksjons brannmotstand. REI-merkingen består av følgende elementer:



- R = bærende. Et konstruksjonselements evne til å bevare dets mekaniske egenskaper og den relevante lastekapasiteten under normal brann.
- E = Integritet. Konstruksjons evne til IKKE å tillate passering eller produksjon av gass eller damp til området IKKE utsatt for brannen.
- I = Varmeisolasjon. Evnen en konstruksjon har til å redusere temperaturoverføringen av varme til den ueksponerte (kalde) siden.

1.20.9 Brannbestemmelse etter TEK17

Ved brannutforming av et byggverk generelt følges byggeteknisk forskrifts (TEK 17) kapittel 11. I dette kapitlet handler det om sikkerhet ved brann og det inneholder funksjonskravene. I tillegg har forskriftene anbefalinger som skal følges. Løsningene blir ofte referert til som preaksepterte løsninger. Det finnes også retningslinjer til TEK17, også referert til som VTEK (veiledning til byggeteknisk forskrift). Denne veiledningen handler mer om forklaring av forskriftens krav og preaksepterte ytelser som skal tilfredsstillere kravene. Den konkretiserer funksjonskravene.

Ved prosjektering skal byggverket plasseres i en risikoklasse. Målet med risikoklassen er å bestemme hvor stor trusselen er for at en brann kan skade helse og liv. Dette kan leses ut ifra en tabell i TEK17. Risikoklassen for et byggverk hjelper med å bestemme hva slags tiltak og ytelser som trengs for å sikre rømning og redning ved brannutbrudd.

Tabell 5. Bestemmelse av risikoklasse som er avhengige av flere faktorer.

| Risikoklasser | «Byggverk kun beregnet for sporadisk personopphold» | «Personer i byggverk kjenner rømningsforhold, herunder rømningsveier, og kan bringe seg selv i sikkerhet» | “Byggverk beregnet for overnatting” | «Forutsatt bruk av byggverk medfører liten brannfare» |
|---------------|---|---|-------------------------------------|---|
| 1 | ja | ja | nei | ja |

| | | | | |
|---|--------|-----|-----|-----|
| 2 | ja/nei | ja | nei | nei |
| 3 | nei | ja | nei | ja |
| 4 | nei | ja | ja | ja |
| 5 | nei | nei | nei | ja |

Brannklassen bestemmes etter at risikoklassen er bestemt. Den bestemmes ut ifra en kombinasjon av antall etasjer og hvilken risikoklasse det er. Ved hjelp av brannklassen bestemmes konsekvensen en brann skaper for helse, liv, miljø og samfunnsmessige interesser. Tabell 6. viser hvor stor konsekvens de ulike brannklassene kan skape. Ut fra tabell 7. bestemmes brannklassen til et byggverk.

Tabell 6. Brannklasse med ulike konsekvenser

| Brannklasse | Konsekvens |
|-------------|-------------|
| 1 | Liten |
| 2 | Middel |
| 3 | Stor |
| 4 | Særlig Stor |

Tabell 7. Risikoklasse og brannklasse for de ulike etasje [34].

| Risikoklasse | Etasje | | | |
|--------------|--------|-------|--------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 og 4 | 5 eller flere |
| 1 | - | BKL 1 | BKL 2 | BKL 2 |
| 2 | BKL 1 | BKL 1 | BKL 2 | BKL 3 |
| 3 | BKL 1 | BKL 1 | BKL 2 | BKL 3 |
| 4 | BKL 1 | BKL 1 | BKL 2 | BKL 3 |
| 5 | BKL 1 | BKL 2 | BKL 3 | BKL 3 |
| 6 | BKL 1 | BKL 2 | BKL 2 | BKL 3 |

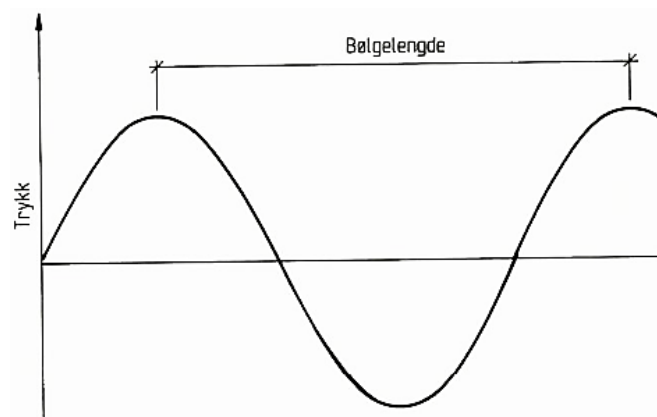
Tabell 8. Brannmotstand til bærende bygningsdeler som er avhengige av brannklasse [29].

| Risikoklasse | Brannklasse | | |
|---|----------------------|---|------------------------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Bygningsdel | | | |
| Bærende hovedsystem | R 30 [B 30] | R 60 [B 60] | R 90 A2-s1,d0 [A 90] |
| «Sekundære, bærende bygningsdeler, etasjeskillere og takkonstruksjoner som ikke er del av hovedbæresystem eller stabiliserende» | R 30 [B 30] | R 60 [B 60] | R 60 A2-s1,d0 [A 60] |
| Trappeløp | - | R 30 [B 30] | R 30 A2-s1,d0 [A 30] |
| Bærende bygningsdeler under øverste kjeller | R 60 A2-s1,d0 [A 60] | R 90 A2-s1,d0 [A 90] | R 120 A2-s1,d0 [A 120] |
| «Utvendig trappeløp, beskyttet mot flammepåvirkning og strålevarme» | - | R 30 [B 30] eller A2-s1,d0 [ubrennbart] | A2-s1,d0 [ubrennbart] |

Ifølge TEK17 §11- 4 *veiledning til tredje ledd*, kan byggverk som er i risikoklasse 4 brannklasse 1 ha hoved- og sekundærbæresystem med brannmotstand R15. Det betyr at bindingsverks veggen kan lett klare å tilfredsstille brannkravet til enebolig inntil 2 etasjer [29].

1.21 Lyd

Lyd er definert som en trykkforandring i luft som brer seg med svingetall som øret oppfatter. Menneskets høreområde er fra ca. 20 - 20000 svingninger i sekundet. Det er fortsatt mulig å merke svingninger utenfor disse grensene i form av vibrasjon og rystelser. For at øret skal oppfatte trykkvariasjoner som lyd, må den være minst sju svingninger per sekund. Svingninger i mekaniske systemer betegnes som vibrasjoner. I faste stoffer, gasser og væsker forplanter svingninger seg som bølger. Måleenheten for lyd er desibel (dB). Med denne måleenheten blir høregrensen 0 dB og smertegrensen 120 dB. Lydtrykknivå som er høyere enn 120 dB er skadelig for menneskets hørsel. [11, 36, 35].



Figur 10. «Illustrasjon av trykkforandringer som en bølge bevegelse» [11, 35].

1.21.1 Tre og lyd

Tre er et lett materiale, så lydisolasjonsytelsen er ikke særlig god. Heller ikke en tykk trekonstruksjon med tett og glatt overflate demper lyden særlig bra. Tre alene kan ikke tilfredsstillende strekke lydkrav. Lavdensitet fører til dårlig lydisolasjon mot både luftlyd og trinnlyd. En tett trekonstruksjon reflekterer lyd, og kan lett gjøres til overflater som kanalisere lydrefleksjoner. Tre har lav overflatemasse. For å øke lydegenskapen, må overflateveksten forbedres. [35].

Lydshastighet varierer i ulike materialer, men i tre er den på 3400 – 5200 m/s parallelt med fiberretning og 2400 – 3200 m/s vinkelrett på fibrene [36].

1.21.2 Lydkrav

Lydkrav i Byggteknisk Forskrift (TEK) til plan- og bygningsloven sørger for at personer i en bygning med normal følsomhet får tilstrekkelig beskyttelse mot støy fra utsiden av bygningen, fra andre deler av samme bygning og fra tilstøtende bygninger. Målet med akustisk prosjektering er å redusere forstyrrende støy i bygningen i en definert grad. Støy er definert som uønsket lyd. Brukernes behov skal vektlegges under prosjektering slik at lydforhold ved arbeid, hvile, søvn og rekreasjon tilfredsstilles. Grenseverdier for lydklasser A-D er angitt i NS 4175. Lydklasse A har strengest lydkrav. Ifølge TEK17 er den minste lydklassen som skal tilfredsstillers lydklasse C. Tabellen under viser grenseverdier for trinnlyd og luftlyd for ulike byggverk og bruksområde [36].

Tabell 9. Luftlyd- og trinnlydisolasjons grense verdikrav til ulike bygninger i henhold til NS4175

| Byggverk og brukerområder | | Luftlydisolasjon | | Trinnlydisolasjon | |
|---------------------------|--|------------------------|-----------|----------------------------|------------|
| | | $R'_{w} + C_{50-5000}$ | R'_{w} | $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ | $L'_{n,w}$ |
| | | Klasse B | Klasse C | Klasse B | Klasse C |
| Boliger | Mellom boenheter, og mellom boenheter og fellesareal | ≥ 58 | ≥ 55 | ≤ 48 | ≤ 53 |
| | Mellom rom internt i boenhet | ≥ 43 | - | ≤ 63 | - |
| Skoler | Mellom klasserom, og klasserom og fellesareal | ≥ 52 | ≥ 48 | ≤ 58 | ≤ 63 |
| Barnehager, fritidshjem | Mellom rom for søvn og hvile og andre fellesrom | ≥ 52 | ≥ 48 | ≤ 53 | ≤ 58 |
| Sykehus | Mellom sengerom, og sengerom og fellesarealer | ≥ 50 | ≥ 48 | ≤ 55 | ≤ 58 |
| Pleieanstalter | Mellom beboerrom, og beboerrom og fellesarealer | ≥ 54 | ≥ 52 | ≤ 55 | ≤ 58 |
| Overnattingssteder | Mellom gjesterom, og gjesterom og fellesarealer | ≥ 55 | ≥ 52 | ≤ 53 | ≤ 58 |
| Kontorer | Mellom kontorer, og mellom kontorer og fellesarealer | ≥ 40 | ≥ 37 | ≤ 58 | ≤ 63 |

1.21.3 Flanketransmisjon

Flanketransmisjon er et begrep som brukes av akustikkingeniører om at lyden passerer via tilstøtende konstruksjoner. Det vil si lydoverføring utenom skillekonstruksjonene. Den type lydoverføring som er plagsom er spesielt viktig å tenke på i trehus. Tre er et lett materiale som gjør at det enkelt blir satt i svingninger. Konstruksjoner av tre pleier å bestå av mange hulrom og sjikt som gjør at lyden

kan forplante seg. For å forbygge denne typen lydoverføringsproblem må konstruksjonsdetaljer utformes for å motvirke det [11].

1.21.4 Luftlyd

Denne typen lyd overføres av luft og i atmosfæren. Det kan være for eksempel radio, bjeffing av hunder, TV eller mennesker som fører samtaler. Når lydbølger som beveger seg gjennom luften når et bygningselement vil det treffe det og får det til å vibrere. Disse vibrasjonene beveger seg gjennom strukturen og stråles ut fra den andre siden av elementene.

Når lydbølgene treffer et bygningselement, blir en del av det overført gjennom det og noe av det reflektert tilbake. Differansen mellom transmittert og innfallende lydenergi kalles lydreduksjonstall. Dette tallet benyttes for å måle den luftisolerende egenskapen til konstruksjonen [11].

1.21.5 Trinnlyd

Trinnlyd (strukturlyd) refererer til overføring av lyd som oppstår fra den faktiske påvirkningen av en gjenstand på et bygningselement som vegg, gulv eller tak. Den type lyd er resultatet av en vibrasjon mot eller en innvirkning på, en del av et bygningstoff som resulterer i at lyden stråles ut fra en tilstøtende vibrerende overflate. Si for eksempel at en bor under noen andre i en flere etasjers bolig. Hver gang du hører noen fotspor over deg, hører du trinnlyd. Den type lyd oppstår fordi støtet får begge sider av bygningselementet til å vibrere og generere lydbølger [37].

1.21.6 Romakustikk

Et roms form, størrelse, samt mengden lyd som blir absorbert og reflektert fra overflater påvirker akustikken i et rom. Etterklangstiden, T er en av de viktigste parameterne som beskriver de akustiske egenskapene i et rom. Når lyd treffer overflater i et rom, blir noe av det reflektert, noe absorbert og resten overføres til andre deler. Den mengde av lyden som blir reflektert gir en etterklang. Etterklangstiden er et mål på hvor raskt lyden dør ut i et gitt rom. Dette er tiden (i sekunder) som går fra lydilden stopper til lydnivået har falt med 60 dB [35].

1.21.7 To hovedtyper lyd

Det er to hovedtyper lyd som er viktig å tenke på når det gjelder tiltak for lyd-isolering. Den ene er luftlyd og den andre er trinnlyd. Lyd fra for eksempel TV, tale og musikk kan være luftlyd. Lyd som blir dannet fra fottrinn, banking og lignende kalles trinnlyd [38, 37].

Overføring av støy i en bygning foregår på hovedsakelig to måter; luftlyd og støt. Dette kan kompliseres ytterligere ved "flankerende" lydtransmisjon, en indirekte rute gjennom tilstøtende vegger, gulv og tak.

De fire styrende faktorene for akustikkisolasjon er:

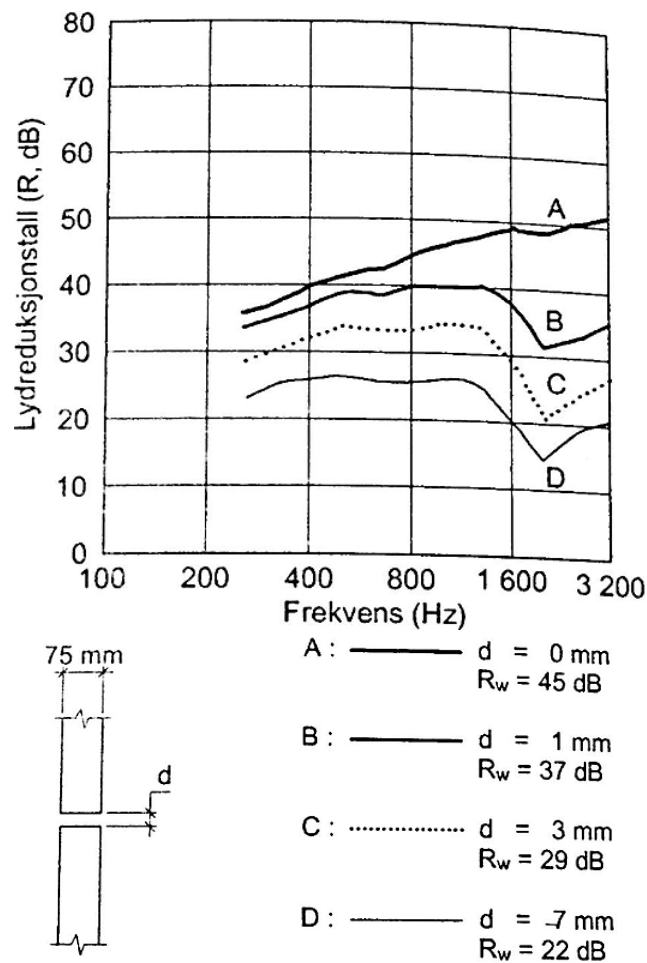
- Massen av elementet.
- Konstruksjons isolasjon.
- Lufttetthet.
- Lydabsorpsjonsegenskaper til materialene i konstruksjonen [39].

En av de viktigste funksjonene til en yttervegg er at den skal isolere mot utendørs støy slik som støy fra trafikk, industri og bygge- og anleggsvirksomhet. Den største utfordring med lydproblematikk i et byggverk er lyd fra rom til rom. Det stilles også strenge krav for lyd overføring fra rom til rom. [40].

1.21.8 Lydisolering

Å gi tilstrekkelig beskyttelse mot støyforstyrrelser er en viktig faktor for å sikre en følelse av velvære i bygninger. Derfor bør lydisolasjon være en topprioritet i byggeplanfasen.

Det totale lydisoleringsevne til elementene er avhengige av løsning i skjøtene, tetting rundt vinduskarm, dørkarm og rundt installasjonshull på yttervegger. Figur 11. viser effekten spalter/sprekker har på lydisolasjonsevne til en konstruksjon. Den viser at sprekker har mye å si for lydisoleringsevnen til bygningsdeler.

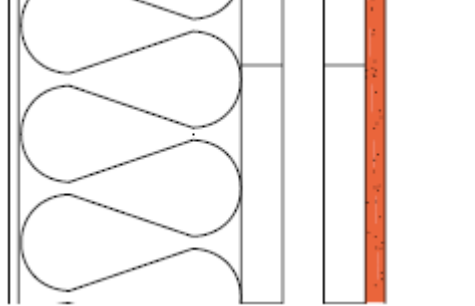
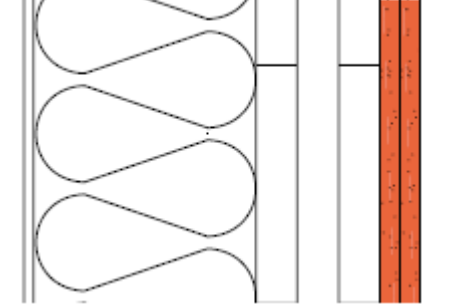
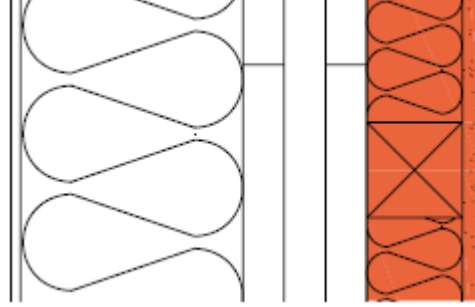
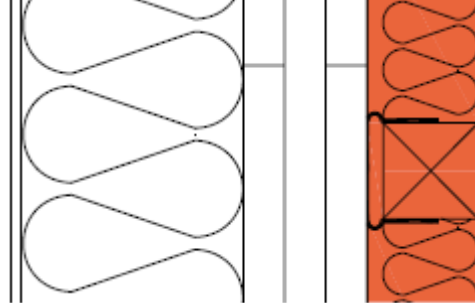


Figur 11. «Effekt på lydisolasjonen av sprekker og eller spalter i konstruksjon, der d er tykkelsen til spalte per lengde enhet. $d=0$ betyr at konstruksjonen er helt tett [11].

Hvis det er mye utendørsstøy, forsøkes det først og fremst andre tiltak enn å ha en yttervegg med god lydisoleringsevne. Tiltakene som er vanlig å gjøre er:

- Ha gode og tette løsninger i skjøtene f.eks. i skjøtene mellom dekke og yttervegg
- Tette godt rundt vindus- og dørkarm
- Tette rundt installasjonsskjøter
- Plassering av byggverk med lang avstand fra støykildene.
- Støyskjerming mellom byggverket og støykildene
- Plassere soverommene bort fra støykildene [40].

Tabell 10. Forbedring av lydisoleringsevne av luftlyd til yttervegg med ytterligere innvendig tiltak. [41].

| Yttervegg med ytterligere tiltak som er markert med rødt. | Ulike type innvendig kledning/konstruksjon | lydforbedring |
|---|---|---------------|
|  | Ett lags kledning gipsplate 12,5 mm | 0 - 1 dB |
|  | To lags kledning gipsplate 12,5 mm | 1 - 2 dB |
|  | Innvendig påføring med mineralull som isolasjon og ett lags gipsplate 12,5 mm som kledning | < 6 dB |
|  | Innvendig påføring med mineralull som isolasjon, montert lekt på lydbøyle og ett lags gipsplate 12,5 mm som kledning. | < 15 dB |

1.22 Miljø

1.22.1 Klimagassutslipp (CO₂ utslipp):

Trebaserte produkter kan redusere klimaendringene med to hovedmekanismer. Den ene er lagring av karbon og den andre er erstatning av karbon. Det å erstatte tre med byggematerialer som stål, betong og andre produkt som bruker mer energi under produksjonen unngår større forbruk av fossilt drivstoff og gir mindre CO₂-utslipp (erstatning). Bruk av sagflis til utvinning av bioenergi forbedrer også energibalansen til treproduktene. I tillegg bruker trærne CO₂ gjennom fotosyntese også lagrer karbon i trebaserte produkter i løpet av produktets livssyklus (lagring). Det meste av utslippene fra bygninger kommer når de brukes, dette er spesielt på grunn av kjøling og oppvarming.

Analyser for påvirkning ved bruk av tre i stedet for betong viser en gjennomsnittlig reduksjon på 2,1 tonn CO₂-utslipp per 1 tonn treprodukter som brukes. Ifølge de beste estimatene er det for hvert tonn treprodukter som brukes i stedet for produkter som ikke er av tre, en gjennomsnittlig utslippsreduksjon på omtrent 2 tonn CO₂. Hvis alle nye bygninger ble konstruert med en masse som var omtrent 50% av tre, ville dette kompensere for CO₂-utslippet som er forårsaket av sementproduksjon i byggesektoren (3,5% av de totale EU-utslippene) [42].

Det er også litt forskjell i hva slags trevirke som brukes. Forskjellige trevirker binder forskjellige mengder av CO₂.

- Bjørkematerialer 920 kg CO₂
- Furumaterialer 810 kg CO₂
- Granmaterialer 700 kg CO₂ [43].

Siden tre er et lett materiale sammenlignet med for eksempel betong og stål bidrar det også til å ha god effekt på miljøet. Et bygg av tre veier 20% av det en betongbygning gjør, som gjør at egenvekten til et trebygg er betydelig mindre enn en betongbygning. Da er det behov for mindre fundamenter, og det trenges ikke like store mengder betong i bakken. Stål brukes vanligvis til å danne de viktigste interne støttene eller for å armere betongen i de fleste store, moderne bygningene. Trebaserte produkter fjerner mer CO₂ fra atmosfæren enn det tilfører ved



produksjon. Ved å erstatte karbonintensive materialer som betong eller stål med tre, dobler det bidraget med å redusere CO₂ [44].

Trevirkets lave masse viser seg å være en god egenskap med tanke på miljøet. Den lave massen gjør at transporteringen blir betydelig lettere enn ved f.eks. stål og betong. Tre regnes derfor som mer klimavennlig. Men det totale regnskapet viser at klimavennligheten er avhengige av flere faktorer som avstand og drivstoff til transporten. I dag er det vanlig å bruke fossilt brensel til transportering av byggematerialer. Hvis det er stor avstand mellom skogen, fabrikken og byggeplassen, har den en dårlig effekt på klimagassutslipp [45].

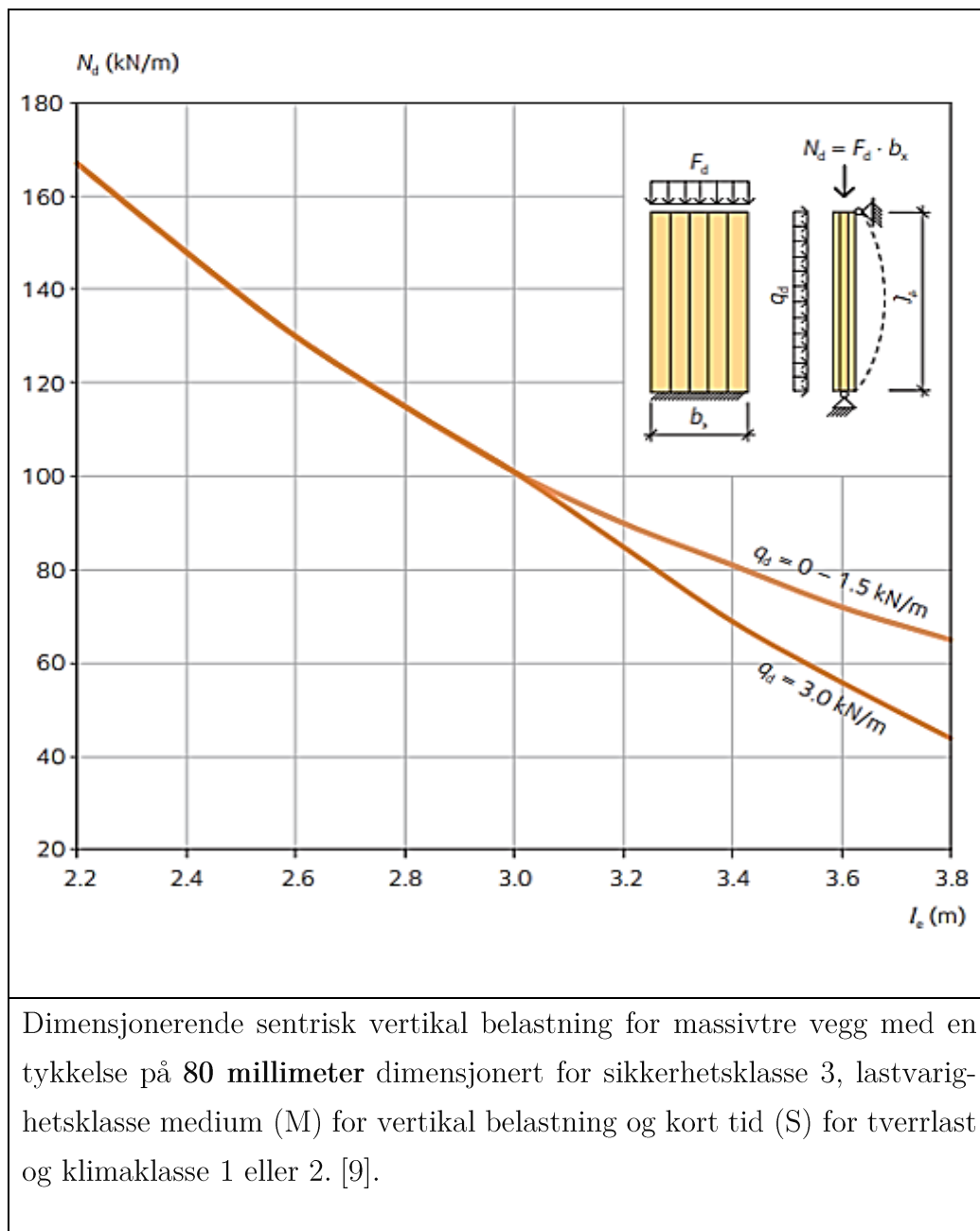
1.22.2 Inneklima

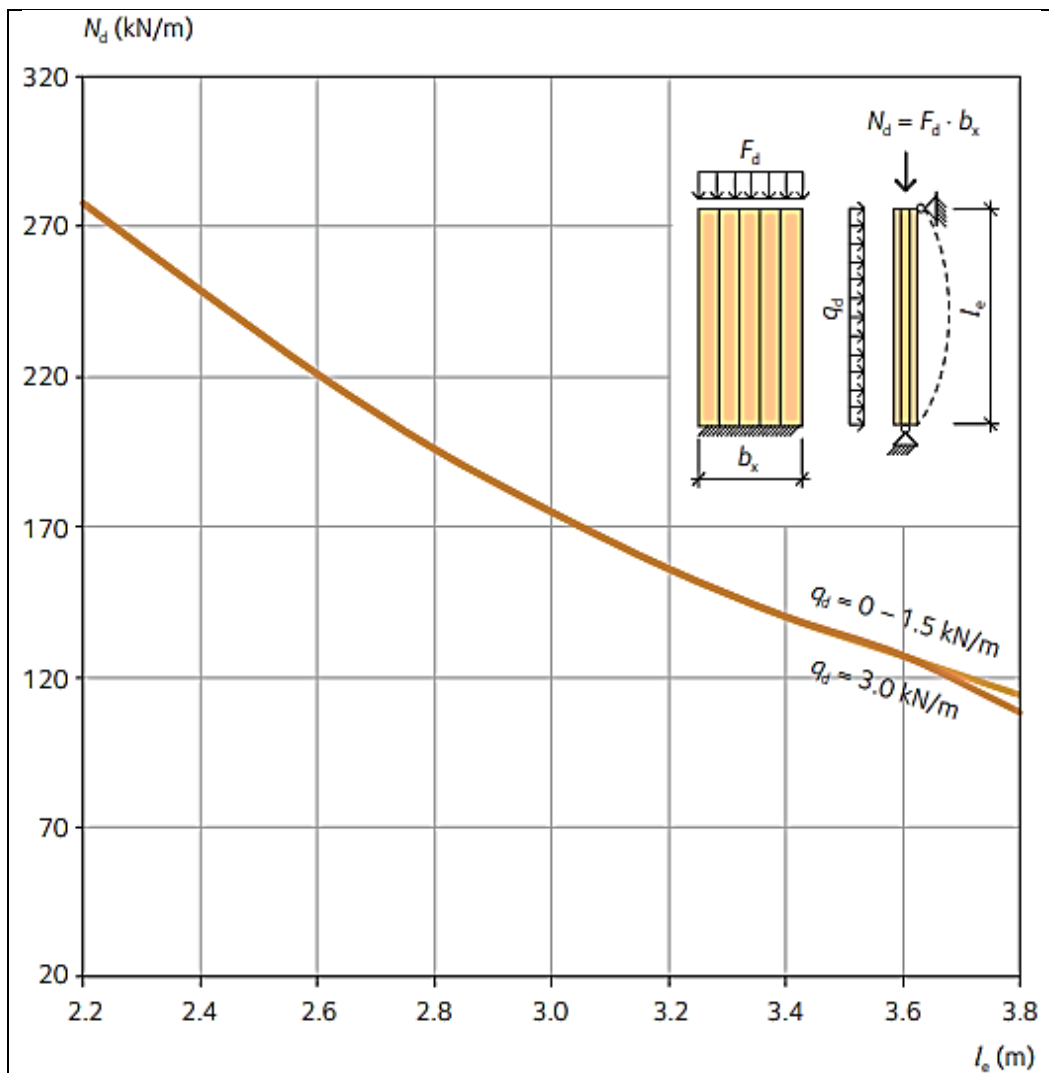
Materialene som brukes i et bygg påvirker opplevelsen til brukerne. Trebaserte materialer som er naturlige materialer er gunstigere med tanke på lukteopplevelse enn f.eks glass eller betong. Høyporøse byggematerialer gjør innemiljøet bedre for de som er følsomme. Tre- og ullfiber binder til seg parfymemolekyler i luften. Brukt av trebaserte materialer innendørs har også positiv effekt med tanke på støy. Når disse typene materialer brukes innendørs befrir de energi og fuktighet. [45].

1.23 Bæreevne

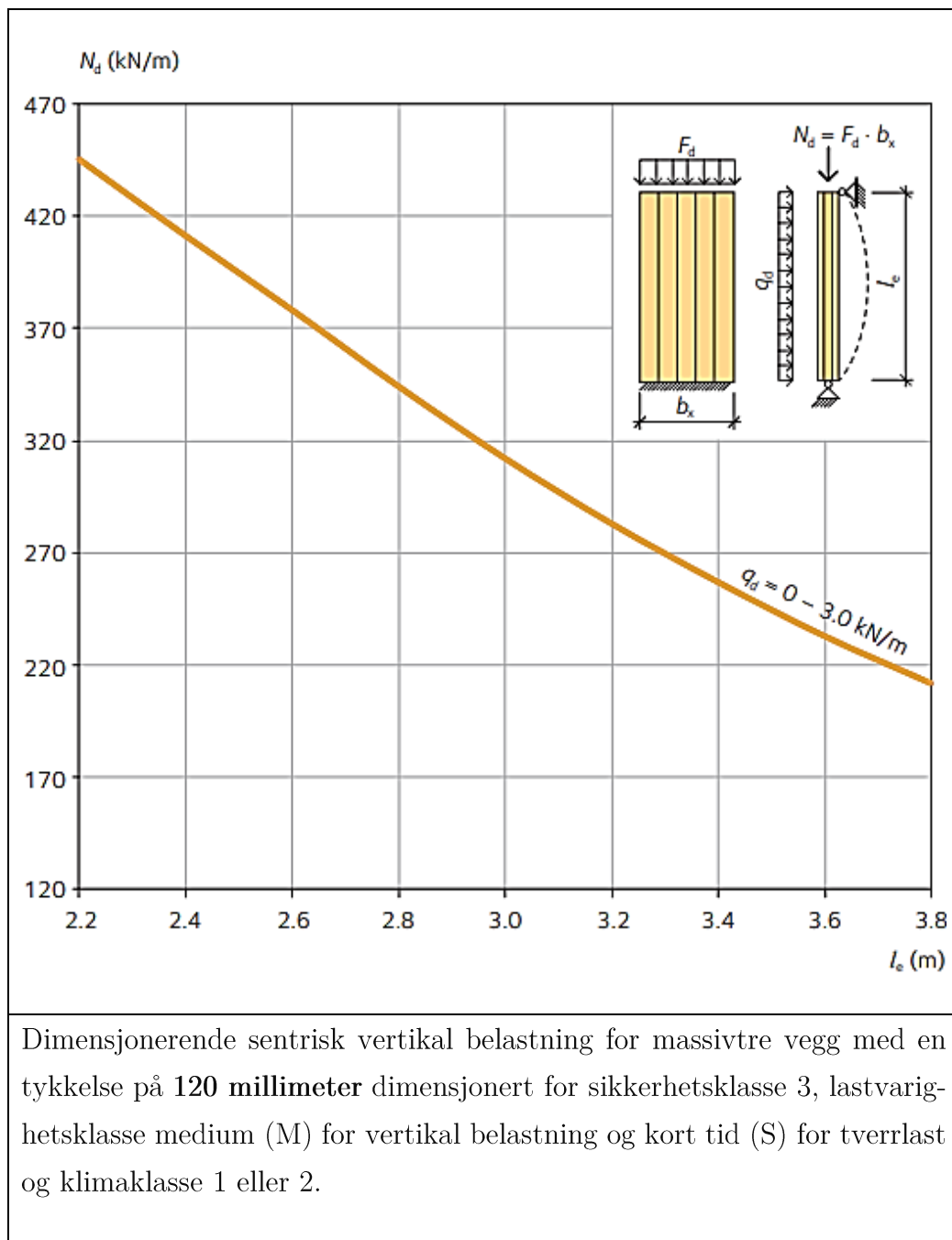
Yttervegger må ha god bæreevne. En av de avgjørende faktorene som holder bygget stabilt er bæreevnen til ytterveggene. Ytterveggene skal bære egenlast, nytte- last, snølast, vindlast og eventuelt last fra jordskjelv og øvrige etasjene. Det er spesielt viktig for bygninger som er i brannkasse 3 og 4, hvor byggverket må bevare bæreevnen og stabiliteten gjennom et brannforløp.

Diagrammene viser tillatt vertikal belastning N_d per lengdemeter under forskjellige fordelte laster q_d og for forskjellige veggøyder l_e . De dimensjonerende verdiene i diagrammene skal betraktes som tilnærminger, siden konstruksjon til KL-panelene og styrkeklassen påvirker elementenes bæreevne. Ved høy utnyttelse av bæreevnen, skal massivtreprodusenter alltid kontaktes for å få de aktuelle styrke- og stivhetsverdiene. Diagrammene gjelder for sikkerhetsklasse 3, klimaklasse 1 eller 2 og en lastvarighetsklasse medium(M). Brannbelastningsfaktoren er ikke tatt med i betraktningen [9].





Dimensjonerende sentrisk vertikal belastning for massivtre vegg med en tykkelse på **100 millimeter** dimensjonert for sikkerhetsklasse 3, lastvarighetsklasse medium (M) for vertikal belastning og kort tid (S) for tverrlast og klimaklasse 1 eller 2. [9].



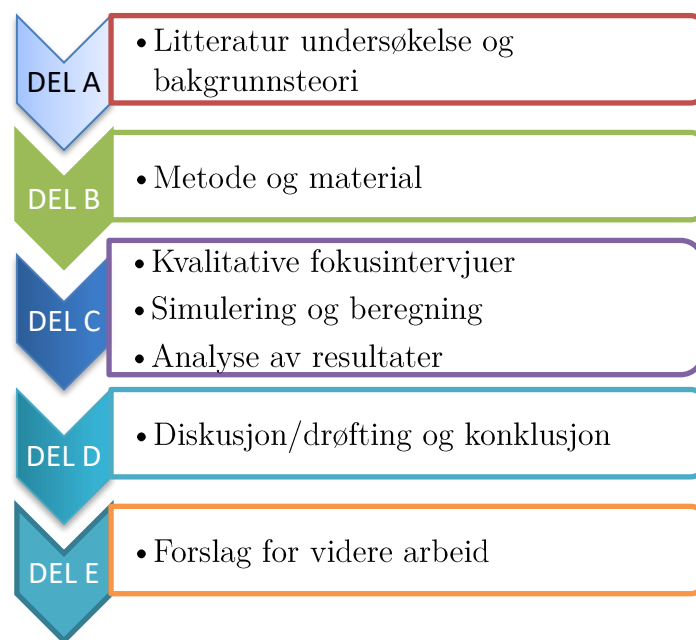
Figur 12. Dimensjonerende sentrisk vertikal belastning for massivtre vegg med tykkelse 80, 100 og 120 millimeter dimensjonert for sikkerhetsklasse 3, lastvarighetsklasse medium (M) for vertikal belastning og kort tid (S) for tverrlast og klimaklasse 1 eller 2. [9].

2 DEL B: Metode og material

I dette kapittelet presenteres metode, valg av metode, validitet, reliabilitet og kildekritikk. I masteroppgaven benyttes det kvalitative fokusintervjuer, simulering og beregning for å belyse problemstillingen. Fokusintervjuer gjennomføres med erfarne aktører som er aktuelle for problemstillingen.

2.1 Kvalitativ metode

Kvalitativ metode er en av de to vanligste forskningsmetodene og uttrykkes i ord. Den benyttes til å forstå konsept, tanker og erfaringer. Denne typen forskning gjør det mulig å samle inngående innsikt i emner som ikke er godt forstått. En vanlig kvalitativ metode er intervjuer med åpne spørsmål for å samle inn erfaringer og synspunkter [46].



Figur 13. Oppbygging av dokumentet som er delt i ulike faser.



2.2 DEL A

2.2.1 Litteraturundersøkelse

For å få mer kunnskap om elementene og for å få et godt grunnlag for fokusintervjuer, er det undersøkt mye relevant litteratur. Det meste av litteratur som er undersøkt er hentet fra treteknisk, researchgate, googlescholar, universitetenes bibliotek, sciencedirect, byggforsk SINTEF og Oria. Blant litteraturen som er undersøkt var forskningslitteratur fra forskere, tidligere studentenes prosjekter og et internasjonalt seminar om «building-in-wood» hos Trondheim kommune som var ledet av treteknisk-institutt. Lenken er sendt fra treteknisk-institutt. [47].

2.3 DEL B

2.3.1 Valg av metode

Massivtre er et produkt som det blir mye snakket om, og det et økende ønske om å benytte dette i byggebransjen. Det er et relativt nytt produkt og en ganske ny byggemåte. Det finnes heller ikke mange standardiserte løsninger av det. Det er et produkt det foregår mye forskning på i håp om å få enda mer kunnskap om. På mange områder finnes det heller ikke klare retningslinjer for bruk av massivtre. Å samle inn erfaringer, utfordringer, fordeler og synspunkter om massivtre – og bindingsverks konstruksjon er et viktig og positivt steg. Kvalitativ metode er en av metodene som egner seg best til slike tema for å belyse problemstillingen. Denne metoden er derfor valgt som hovedmetode. Et sammendrag av intervjuene er tilgjengelig i vedlegg A.

2.3.2 Kvalitative fokusintervjuer

Det ble gjennomført intervjuer med mange erfarne aktører i byggebransjen, forskningsinstitutter, produsenter og privatpersoner for å samle deres synspunkter og erfaringer rundt disse elementene.

Intervjuene er gjennomført via telefon, på teams, på zoom, epost og ansikt til ansikt. Lengden på intervjuene varierte fra noen minutter til over en time. Før intervjuene med personer fra byggebransjen, forskningsinstitutter og produsenter,

er det forsøkt å finne den personen med mest relevant kompetanseområde og erfaring. De som ble intervjuet var fra:

- Totalentreprenørselskap (prosjekterende og utførende)
- Konsulentselskap
- Produsent
- Forskningsinstitutter
- Byggherre

Tabellen 11. viser oversikten over intervjuene med de ulike aktører. Intervjuobjektene er anonymisert etter NMBUs regelverk. Før intervjuene ble gjennomført ble de godt planlagt. Det ble tenkt gjennom hvem som skulle velges til intervju ut ifra hvem som var de mest relevante aktørene med den mest relevante erfaringen og kompetansen om disse type konstruksjoner. Å holde mange intervjuer hjelper med å finne relevante erfaringer og synspunkter som konstruksjonene. Jeg fikk også tips fra bedrifter, forskningsinstitusjoner og studieveilederen min om hvem som kunne være relevante aktører til intervjuene.

Tabell 11. Oversikt over gjennomførte intervjuer. Tabellen viser kompetanseområde og rolle til de forskjellige aktører. Sammendrag av intervjuene er tilgjengelig i vedlegg

A.

| Intervjuobjekter | Bedriftstype | Lokalisering | Kompetanseområde | Rolle |
|-------------------|---------------------|--------------|--|--------------------------------------|
| Intervjuobjekt #1 | Totalentreprenør | Trøndelag | Teknisk rådgiver | Leder, teknisk sjef, forsker og Eier |
| Intervjuobjekt #2 | Forskningsinstitutt | Oslo | Rådgiver innen trekonstruksjoner og massivtre | Rådgiver |
| Intervjuobjekt #3 | Konsulentselskap | Fredrikstad | Rådgivning og prosjektering innen bygningsfysikk | Rådgiver |

| | | | | |
|--------------------|------------------|-----------|---|---------------------------|
| Intervjuobjekt #4 | Produsent | Åmot | Rådgivende ingeniør bygg | Rådgiver og selger |
| Intervjuobjekt #5 | Konsulentfirma | Oslo | RIB limtre- og massivtre-konstruksjoner | Forsker og rådgiver |
| Intervjuobjekt #6 | Totalentreprenør | Rygge | Prosjektering | Teknisk sjef |
| Intervjuobjekt #7 | Konsulentselskap | Trøndelag | Bygningsfysikk | Rådgiver |
| Intervjuobjekt #8 | Konsulentselskap | Oslo | Varme- og fukttransport i bygg | Rådgiver |
| Intervjuobjekt #9 | Konsulentselskap | Oslo | Forsker innen varme- og fukttransport | Seniorrådgiver og forsker |
| Intervjuobjekt #10 | Konsulentselskap | Bergen | Akustikk | Gruppeleder akustikk |
| Intervjuobjekt #11 | Konsulentselskap | Oslo | Varme- og fukttransport i bygg | Senior rådgiver |
| Intervjuobjekt #12 | Privatperson | Ås | Byggherre | Privatperson |

2.3.3 Simuleringsprogrammer og beregninger

I tillegg til kvalitative intervjuer er det gjennomført numerisk dynamisk simuleringsberegning med WUFI Pro. WUFI pro er et simuleringsverktøy som egner seg til hygrotermisk analyse av bygningsdeler. Programmet er allerede tilpasset norske forhold. Klimaparameterene og materialdata finnes allerede i programmets bibliotek og er verifisert fra forskere. Siden programmet simulerer endimensjonalt, er det lagt inn et eget materialsjikt av trevirke i isolasjonssjiktet i bindingsverkskonstruksjonen for å etterligne en todimensjonal simulering, slik som det er gjort hos Sintef byggforsk [48].



Konstruksjonene er sjekket for fukt både med glaser-metoden og med WUFI pro for å øke sikkerheten. Glaser-metoden er en enklere metode for å sjekke fukt i stasjonære forhold, og kan ikke beregne dynamiske forhold.

THERM 7.6 programmet er et todimensjonalt simuleringstøytøy som blir brukt for å bestemme U-verdier og varmestrømningen i bygningskonstruksjoner [15].

I tillegg til THERM-simulering og kvalitative intervjuer er det utført manuelle U-verdiberegning for å dobbeltsjekke informasjonen.

- Kuldebruer er både beregnet og hentet fra Byggforskserien
- Priser er hentet fra totalentreprenøren intervjuobjekt#1 og produsenten intervjuobjekt#4 som gjelder for 2021.
- Brann- og lydegenskaper til elementene er hentet fra dataholz.eu som totalentreprenøren intervjuobjekt#1 har anbefalt gjennom intervjuene. Dataholz.eu er en katalog om trekonstruksjoner som blir testet i henhold til europeiske standarder.
- Vedlikehold og drift for konstruksjoner er hentet fra intervjuobjekt#1

2.4 DEL C

2.4.1 Analyse av resultater

I denne fasen ble resultater fra intervjuene, simuleringene og beregningene analysert og sammenlignet med hverandre for å sjekke hvor godt de korresponderte med hverandre.

2.5 DEL D

2.5.1 Diskusjon og konklusjon:

I diskusjonsdelen diskuteres resultatene fra intervjuene, simuleringene og beregningene i lys av teorien som har blitt beskrevet i teorikapitlet.



2.6 DEL E

2.6.1 Forslag for videre arbeid

I dette kapitlet skal det presenteres forslag for videre arbeid.

2.7 Refleksjoner og kvalitetssikring

2.7.1 Validitet og Reliabilitet

For å sjekke i hvilken grad resultatene er riktige og kan stoles på, bør kvalitative kriterier bli tilfredsstillt. De viktigste kravene er validitet og reliabilitet. Reliabilitet (pålitelighet) og validitet (gyldighet) er begreper som brukes til å evaluere kvaliteten på forskningen. De indikerer hvor godt en metode, teknikk eller test måler noe [49].

For å bevare validiteten må intervjuobjektene være basert på spørsmål som er relevante og riktige. Det som er enda viktigere er at intervjuene gjennomføres med flere aktører som har erfaring med prosjektering, forskning og utførelse. Svarene fra intervjuene, simuleringene og beregningene blir sammenlignet med hverandre for å øke troverdigheten. Det er også viktig at eventuelle feilmarginer kommer fram.

For å ha god reliabilitet bør de kvalitative spørsmålene være nøyaktige i forhold til problemstillingen slik at responsen som vi får vil være mer konsekvent.

2.7.2 Kildekritikk

Kildekritikk er en metode for å bedømme troverdigheten til informasjonen og avsenderen av det. For informasjonsevaluering er det fire verdier som benyttes som kriterier:

- Troverdighet
- Objektivitet
- Nøyaktighet
- Egnethet [50].



For å evaluere dataen etter disse kriteriene, ble det hentet inn informasjon fra mange ulike firmaer i byggebransjen, forskningsinstitutter, produsenter og privatpersoner. Under intervjuene ble det stilt spørsmål om hvor godt han eller hun kan temaene, hva kompetanseområdet er og hvor mye erfaring aktøren har. Til slutt ble informasjonen/dataen fra de ulike aktørene sammenlignet med hverandre for å vurdere om de er i samsvar med hverandre.

De fleste intervjuene som ble gjennomført hadde aktører som var forskere, tekniske sjef, seniorrådgivere og rådgivere som hadde disse temaene innen sitt kompetanseområde.

3 DEL C: Resultat og funn

I dette kapitlet presenteres resultater fra intervjuene, beregning og simuleringer. Det analyseres om funnene gjennom intervjuer og resultater gjennom simuleringer og beregninger er korresponderende, eventuelle avvik og svakheter blir kontrollert.

3.1 Fukt sjekt

3.1.1 Glaser-metode bindingsverk

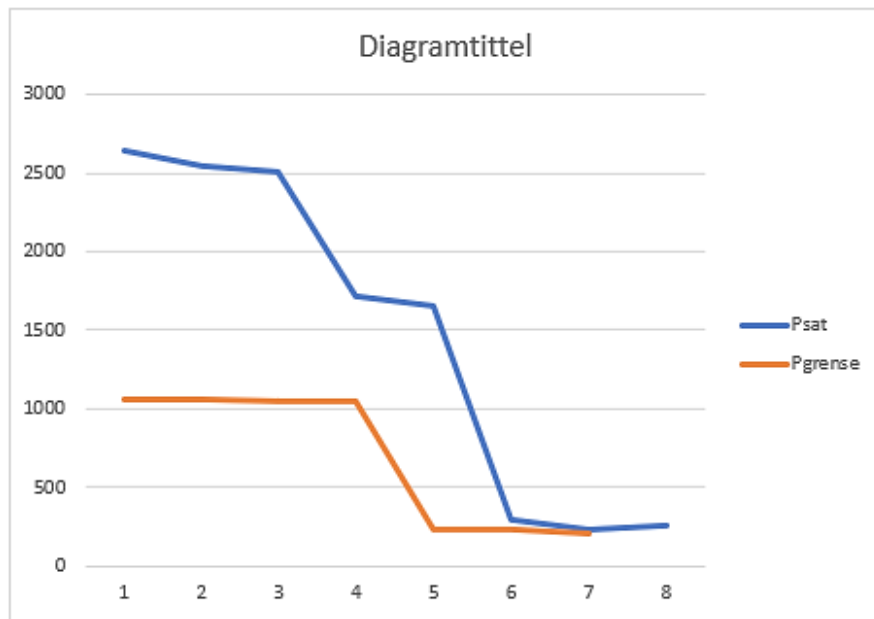
For å sjekke om konstruksjoner er utsatt for kondens er det gjennomført en manuell beregning av såkalt glaser-metode. Denne metoden tar kun hensyn til konstante betingelser. Resultatene, fra glaser-metoden av konstruksjoner, er fremstilt grafisk. [51].

| Sjikt | Varmemotstand $R=d/\lambda$ (m ² K/W) | Temperatur i sjikt $\Delta\theta$ (c)= $\Delta R \cdot T/Rt$ | Temperatur i sjikt grense θ grense (c) | Metningstrykk p_{sat} (Pa) | Permeans K (g/m ² hPa) | Dampmotstand Z (m ² hPa/g) | Damptrykkfall i sjikt Δp_v (Pa) | Damptrykkfall grense, p_{grense} (Pa) |
|--------------------|--|--|---|------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|---|---|
| Innvendig overgang | 0,13 | 0,52 | 22,00 | 2640 | | 0 | 0 | 1055,60 |
| Gipsplate 13 mm | 0,06 | 0,24 | 21,48 | 2542 | 0,00366 | 274 | 2,24 | 1055,60 |
| Mineralull 50mm | 1,52 | 6,14 | 21,23 | 2512 | 0,00123 | 93 | 0,76 | 1053,36 |
| Polyetylenfolie | 0,03 | 0,12 | 15,10 | 1714 | 0,00001 | 100 000 | 819,20 | 1052,59 |
| Mineralull 200mm | 6,01 | 24,27 | 14,97 | 1651 | 0,00493 | 371 | 3,04 | 233,39 |
| Vindsperre GU 9 mm | 0,05 | 0,18 | -9,29 | 293 | 0,00253 | 189,7 | 1,55 | 230,35 |
| Utvendig overgang | 0,13 | 0,52 | -9,48 | 234 | | 0 | | |
| R-Total | 7,925 | 32,00 | -10,00 | 260 | | 100 928 | 826,8 | 228,80 |

| Har funnet damptrykkfall Δp_v (Pa) fra diagram, $\Delta p_v = P1 - P2$ | | | | | |
|--|----------------|-----------------|---------------------------------|-------------------|----------------------|
| Tar utgangspunkt i: | | | | | |
| P1 = innvendig damptrykk | | | | | |
| P2 = utvendig damptrykk | | | | | |
| | Temperatur, °C | Fuktighet, RF % | Metningstrykk, N/m ² | Damptrykkfall, Pa | Damptrykk differanse |
| Inne | 22 | 40 | 2640 | 1055,6 | 826,8 |
| Ute | -10 | 80 | 260 | 228,8 | |

Beregninger viser at $P_{grense} < P_{sat}$
 → ikke fare for kondens
 P_{grense} = damptrykkfall i sjiktgrense
 P_{sat} = metningstrykk

Figur 14. Beregning med glaser-metoden for å sjekke kondensrisiko i bindingsverkskonstruksjonen.



Figur 15. En grafisk illustrasjon av damptrykkfall grense (P_{grense}) og metningstrykk (P_{sat}). Det viser at P_{grense} er mindre enn P_{sat} noe som betyr at det ikke er fare for kondens.

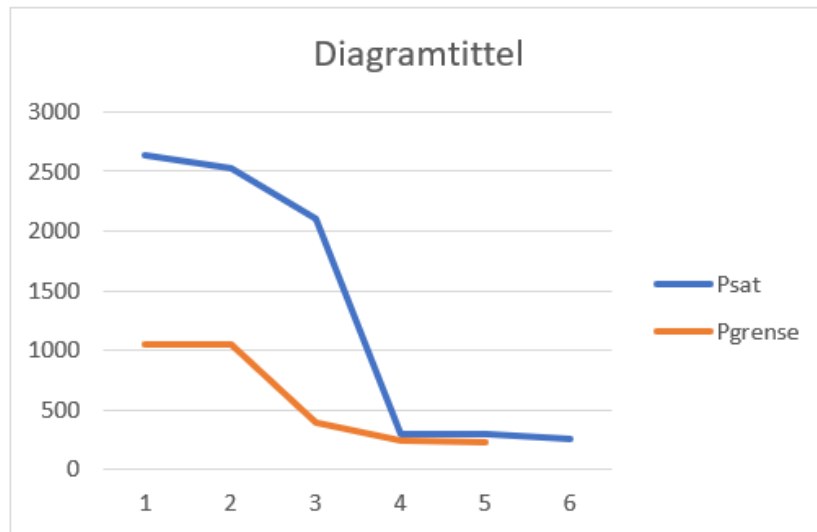
3.1.2 Glaser-metode massivtre

| Sjikt | Varmemotstand $R=d/\lambda$ (m^2K/W) | Temperatur i sjikt $\Delta\theta$ (c) | Temperatur i sjikt grense θ_{grense} (c) | Metningstrykk p_{sat} (Pa) | Permeans K (g/m^2hPa) | Dampmotstand Z (m^2hPa/g) | Damptrykkfall i sjikt Δp_v (Pa) | Damptrykkfall grense, p_{grense} (Pa) |
|--------------------|--|--|---|---------------------------------|------------------------------|----------------------------------|--|---|
| Innvendig overgang | 0,13 | 0,59 | 22,00 | 2640 | | 0 | 0 | 1055,60 |
| Massivtre | 0,67 | 3,04 | 21,41 | 2533 | 0,022 | 1616 | 660,70 | 1055,60 |
| Minerull 200mm | 6,06 | 27,64 | 18,37 | 2102 | 0,004931 | 370,27 | 151,38 | 394,90 |
| Polyetylenfolie | 0,03 | 0,14 | -9,27 | 292,5 | | | 14,72 | 243,52 |
| Utvendig overgang | 0,13 | 0,59 | -9,41 | 296,9 | | 36 | | |
| R-Total | 7,02 | 32,00 | -10,00 | 260 | | 2 022 | 826,80 | 228,80 |

| Har funnet damptrykkfall Δp_v (Pa) fra diagram, $\Delta p_v = P_1 - P_2$ $P_1 =$ innvendig damptrykk $P_2 =$ utvendig damptrykk | | | | | |
|---|----------------|-----------------|------------------------|-------------------|----------------------|
| Tar utgangspunkt i: | Temperatur, °C | Fuktighet, RF % | Metningstrykk, N/m^2 | Damptrykkfall, Pa | Damptrykkdif feranse |
| Inne | 22 | 40 | 2640 | 1055,6 | 826,8 |
| Ute | -10 | 80 | 260 | 228,8 | |

Beregninger viser at $P_{grense} < P_{sat}$
 → ikke fare for konsens
 $P_{grense} =$ damptrykkfall i sjiktgrense
 $P_{sat} =$ metningstrykk

Figur 16. Bruk av glaser-metoden for å sjekke kondensrisiko i massivtrekonstruksjonen.



Figur 17. Grafisk fremstilling av glaser-metodens resultat til massivtrekonstruksjonen. Det viser at P_{grense} er mindre enn P_{sat} noe som innebærer at det ikke er fare for kondens

Resultatene fra glaser-metoden viser at metningstrykk (P_{sat}) er større enn grensen for damptrykkfall (P_{grense}). Dette betyr at konstruksjoner ikke er utsatt for kondens. Disse resultatene representerer konstruksjoner i stasjonære forhold. I realiteten er det de dynamiske forholdene som gjelder. For å sjekke mer realistisk, gjennomføres det numeriske dynamiske simulering i WUFI pro.

3.1.3 Simulering i «WUFI ® pro 4.1 IBP», klima Oslo

Det utføres dynamiske simuleringer for de to konstruksjonene. Dette er for å sjekke vanninnhold, uttørkingsevne og ikke minst om det er fare for kondens og muggvekst. Det er spesielt interessant å sjekke uttørkingsevnen til trevirkesjiktet i konstruksjoner. Dette er et organisk materiale som har potensialet til å råtne og bruker lang tid på å trøke. Simuleringsresultatene for de to konstruksjoner presenteres nedenfor.

- Simuleringer vurderer en-dimensjonal varme- og fuktoverføring.
- Beregningene inkluderer ikke mulig rennende vann og konveksjon, men diskusjonene gjør det.
- Værdata samles inn fra Norges Byggforskningsinstitutt (NBI)

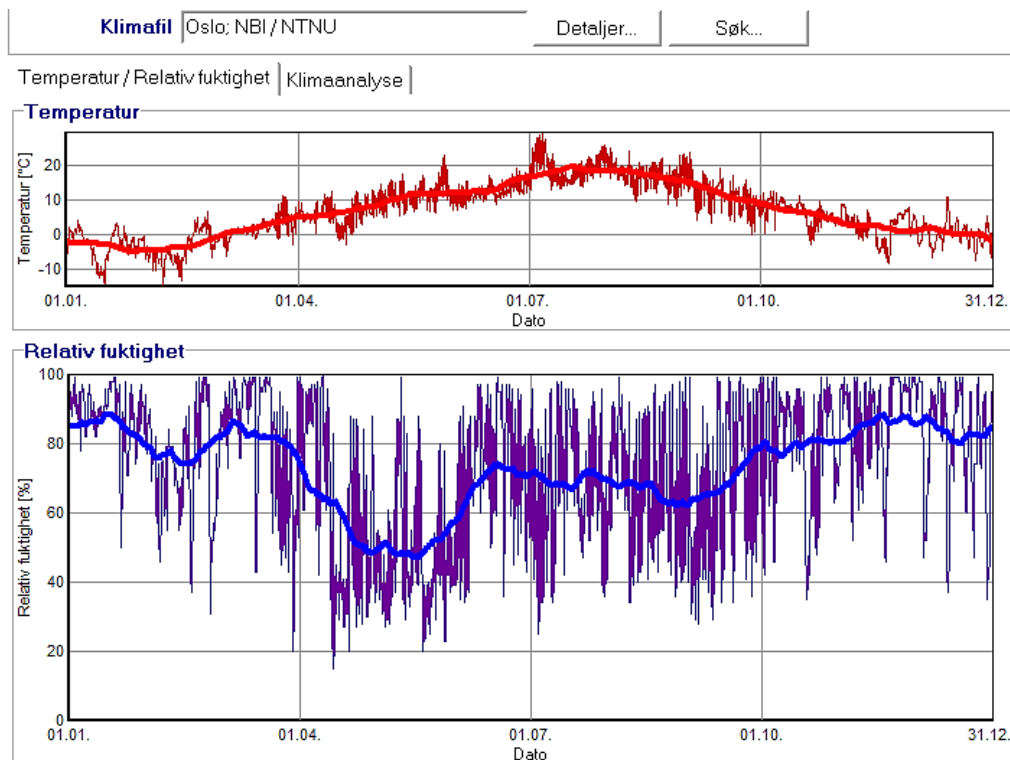
En beskrivelse av materialene som brukes, kan sees i tabellene 12 og 14.

3.1.4 Faktorer som påvirker fuktigheten i veggkonstruksjoner

Isolasjonstykkelse påvirker fuktigheten i veggkonstruksjoner. Vegger med tykt isolasjonssjikt pleier å være mer utsatt for fukt enn vegg med tynnere isolasjonssjikt. Utendørs klima har en del å si for fukt i bygningsdelen. Områder med mye fuktighet, regn og kulde gjør at konstruksjoner blir mer utsatt for fukt enn områder med lite fuktighet, regn og kulde. En annen faktor som er veldig viktig for å gjøre en konstruksjon mer fuktbestandig er riktig prosjektering. Slik som riktig plassering av dampsperre, vindsperre med lav Sd-verdi og ikke minst konstruksjonens mulighet for å tørke. Dampspennen skal plasseres på innsiden, ikke mer enn en tredjedel ut i veggkonstruksjonene. Det er viktig at vindspennen og dampspennen ikke punkteres. Hvis dette skjer, kan det oppstå fare for fukt i konstruksjoner. Utettheter i konstruksjonen kan føre til fukt, og det er derfor viktig å holde konstruksjoner helt tette. Trevirke er et organisk material, som betyr at den kan råtne hvis den havner mellom to tette sjikt. Dette kan også påvirke bæreevnen til konstruksjonen. Oppbygging av vegg har mye å si for uttørkingsevnen til konstruksjonen.

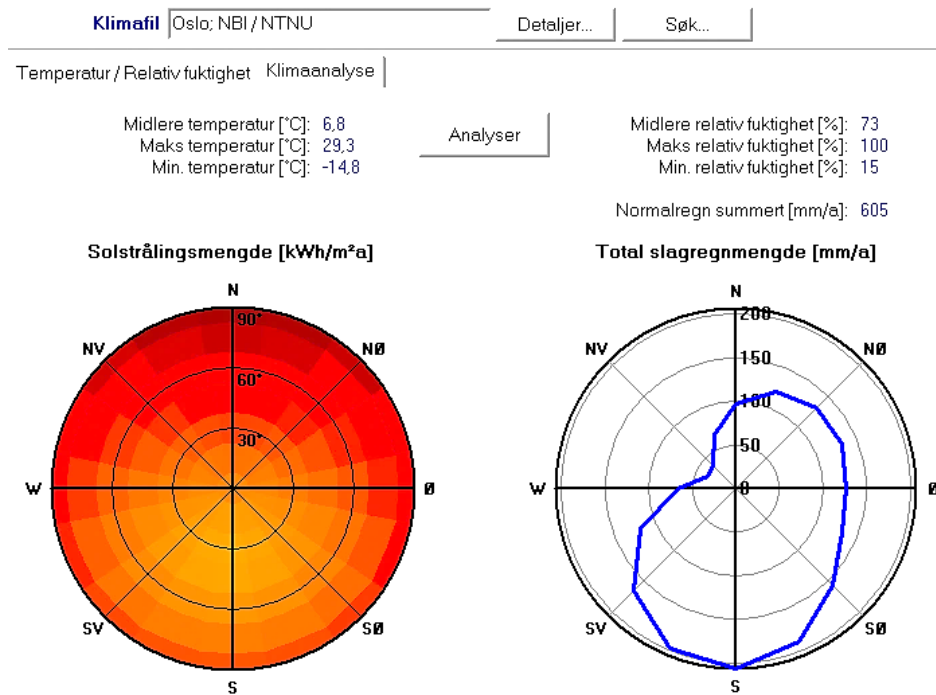
3.1.5 Innputsdata

For å analysere om det er fare for kondens eller muggvekst ble det gjennomført simulering for de to konstruksjoner. Simuleringsprogrammet WUFI pro, som er tilpasset norske forhold, ble brukt som simuleringsverktøy. Alle komponentenes materialer og materialdata som er involvert, er hentet fra materialdatabasen til WUFI. Disse er allerede testet i laboratoriene. Elementene skal simuleres ut ifra klimaforholdene i Oslo, og beregningsperioden er valgt til å være fire år. Grunnen til at det er valgt fire år som simuleringsperiode er for å sjekke konstruksjonens evne over lengere tid. Ved start skal den relative fuktigheten i konstruksjonene være 80%, og den innvendige starttemperaturen er valgt til 22 °C. Det er valgt normal fuktbelastning, men den relative fuktigheten for inneklime varierer fra 40 – 60% i ulike årstider.



Figur 18. Temperatur(rød) og relativ fuktighet(blå) i Oslo som endrer seg i ulike årstider.

I Oslo er slagregnpåkjenninger fra sør. I WUFI er pilen orientert mot syd for å ta hensyn til dette. Helning til byggverk er satt til 90 grader. Simuleringen tar også hensyn til solstråling og vindpåvirkning. Disse dataene er nødvendige for å bestemme regnslag og beregner strålingsbelastningen på konstruksjonens overflate. Regnvannsabsorpsjonstall er satt til 0.7, og simuleringen er valgt til å simulere numerisk.



Figur 19. Orientering til sola, solstrålingsmengde, midlere -, maks-, min. temperatur, midlere -, maks-, min. relativ fuktighet og viser total slagregnmengde som er mest fra sør. WUFI pro.

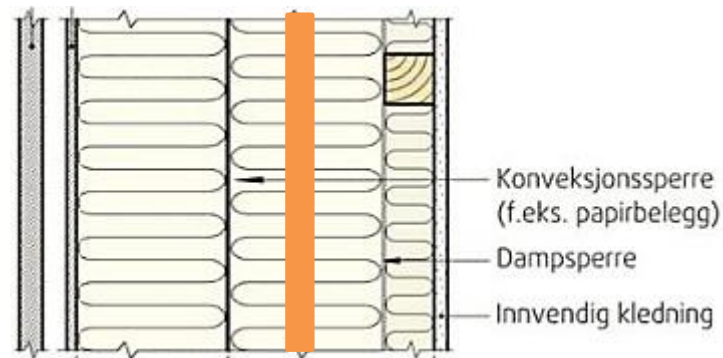
3.1.6 Yttervegg av binidningsverk, klima Oslo

Tabell 12. Materialdata til bindingsverk som er inkludert i numerisk simulering av bindingsverkskonstruksjonen i WUFI pro.

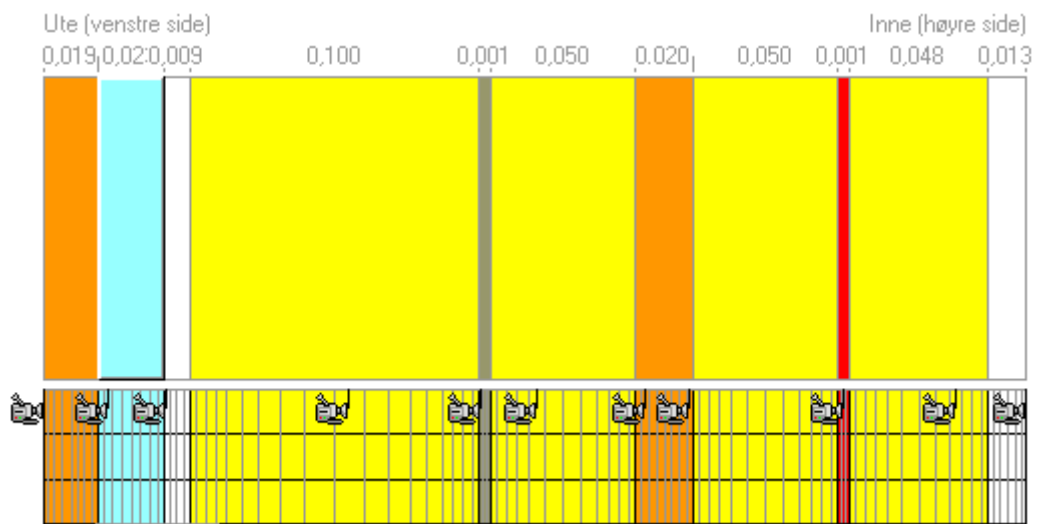
| Sjiktens navn | Densitet ρ Kg/m ³ | Dimensjonerende varme- konduktivitet λ W/(mK) | Spesifikk var- mekapasitet Cp J/(kgK) | Relativ vann- dampmotstand μ [-] |
|-------------------|--------------------------------------|---|---|--|
| Utvendig kledning | | | | |
| tre, 19 mm | 420 | 0,12 | 1600 | 50 |

| | | | | |
|-----------------------------|--------|-------|------|-------|
| Vertikal | | | | |
| lufting, 23 mm | 1,3 | 0,155 | 1000 | 0,51 |
| GU, 9 mm | 850 | 0,2 | 850 | 8,3 |
| Isolasjon, 100 mm | 60 | 0,033 | 1030 | 1,3 |
| Konvek- sonss- perre | 268,25 | 0,046 | 1880 | 9,05 |
| Isolasjons, 100 mm | 60 | 0,033 | 1030 | 1,3 |
| Damp- sperre | 130 | 2,2 | 2200 | 70000 |
| Mine- ralull, 50 mm | 60 | 0,033 | 1030 | 1,3 |
| Innvendig gips, 13 mm | 850 | 0,2 | 850 | 8,3 |

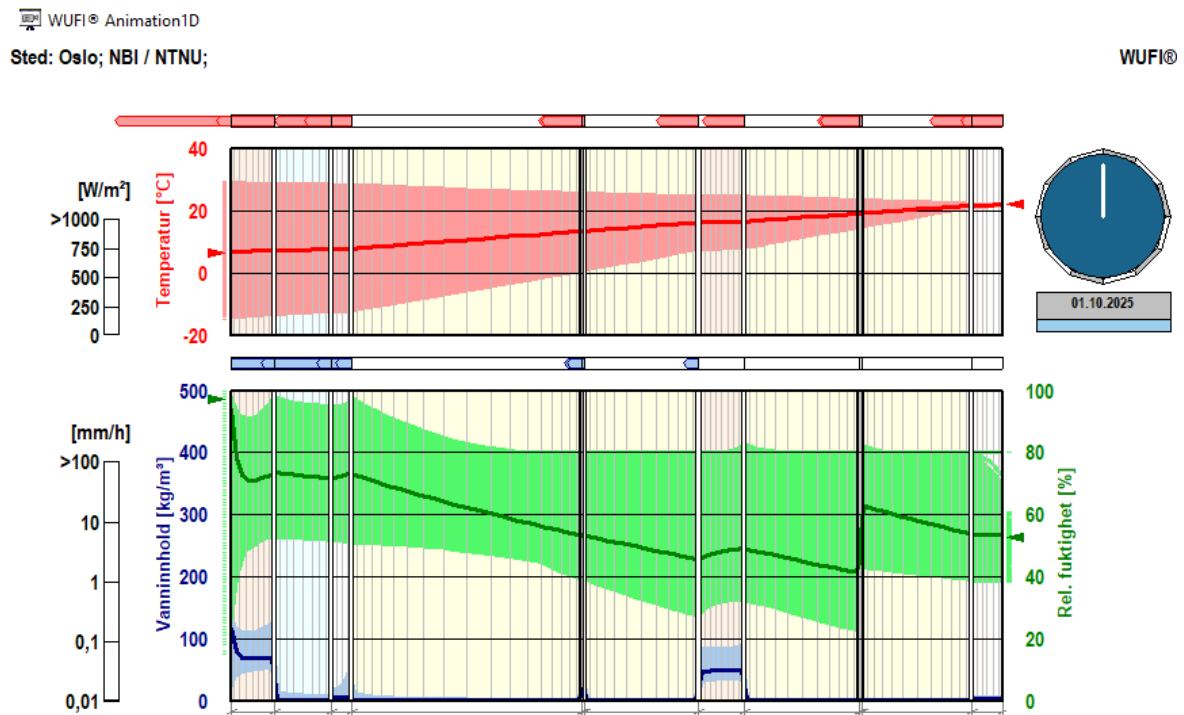
Siden WUFI pro simulerer en-dimensjonalt er det lagt inn et eget 20 mm materialsjikt av trevirke (gran) i isolasjonssjikt for å etterligne en to-dimensjonal simulering, som kan ses i figuren 20. [48].



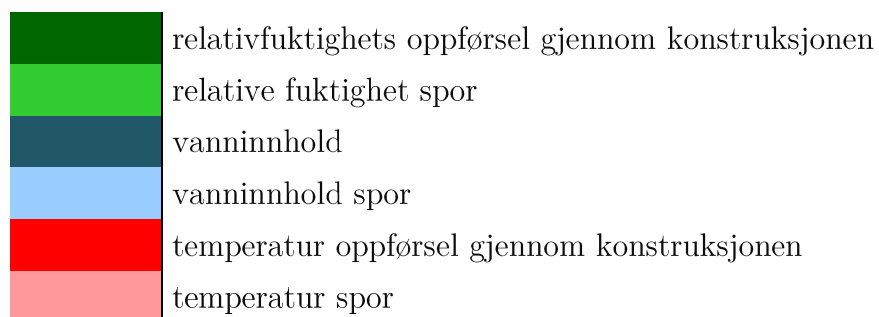
Figur 20. Oppbygging av bindingsverk med et eget sjikt av tre inn i konstruksjonen for å etterligne to dimensjonalt oppbygging i WUFI [48].



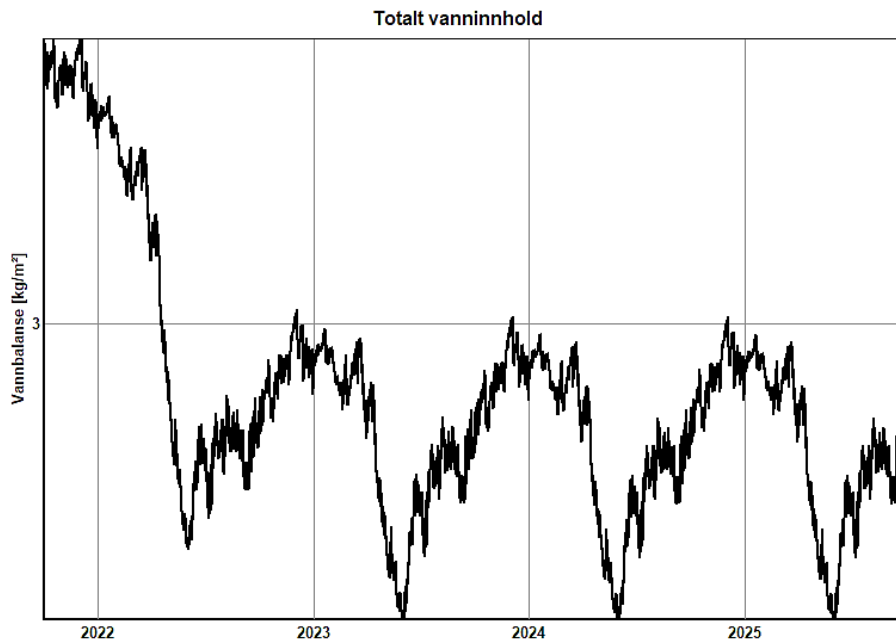
Figur 21. Oppbygging av bindingsverks konstruksjonen i WUFI pro



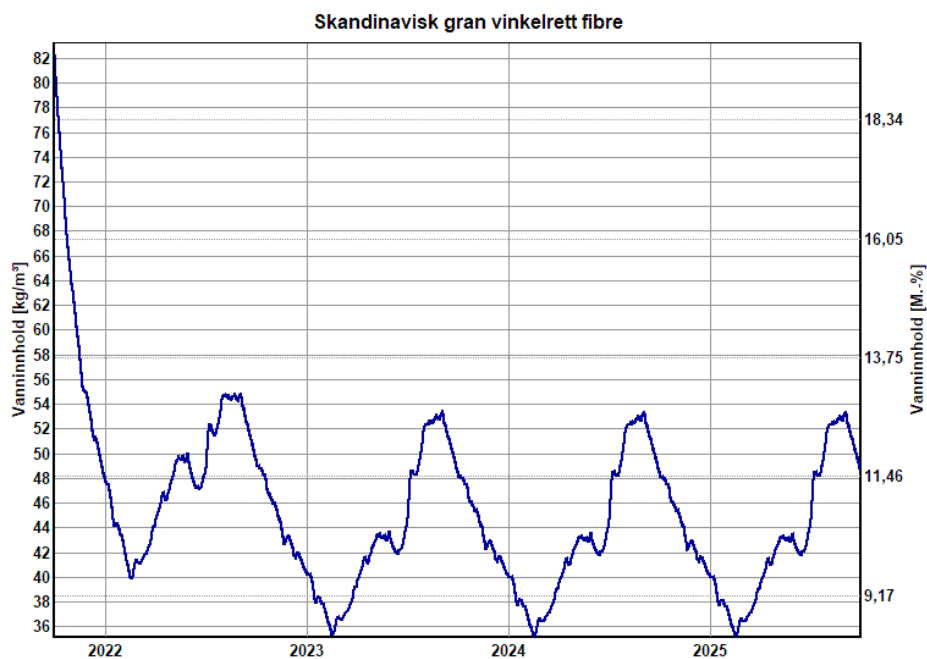
Figur 22. Temperatur, vanninnhold og relativ fuktighet gjennom bindingsverks tverrsnittet.



Figuren 22. viser oppførsel til temperatur, vanninnhold og relativ fuktighet fra utsiden (venstre side) til innesiden (høyre side) av bindingsverks vegg. Denne modellen viser termisk energi og fuktighet som beveger seg gjennom de ulike materialsjiktene i tverrsnittet. Over tid varmeenergi og vanninnhold fra utsiden og inne klima endrer stadig gjennom materialene i konstruksjonen. Dette gir en advarsel på forholdene som kan føre til muggvekst og fare for kondens hvis relativt fuktigheten er høy over lengere periode.



Figur 23. Det totale vanninnholdet i bindingsverk konstruksjonen i løpet av beregningsperiode.

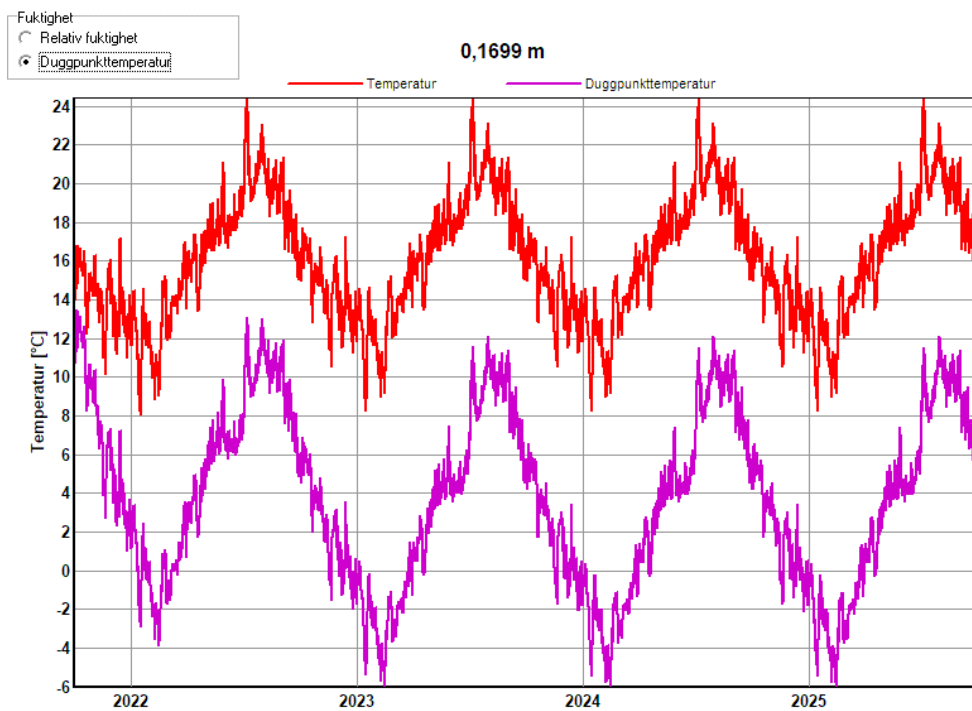


Figur 24. Endring av vanninnhold i trevirke sjiktet som ligger inn i bindingsverkskonstruksjonen i løpet av beregningsperioden.

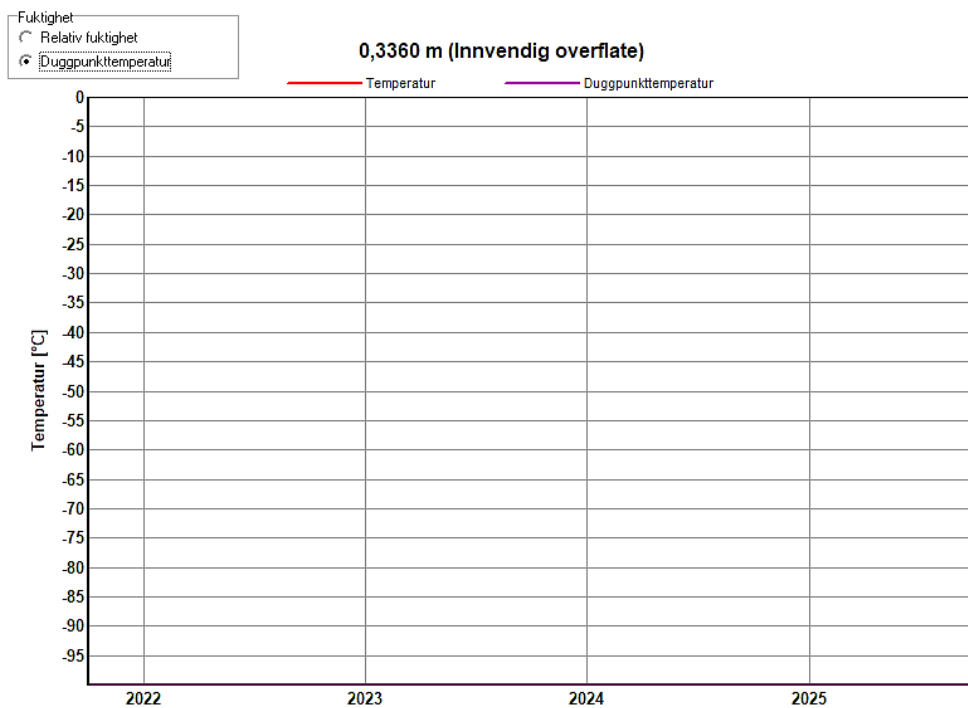
Tabell 13. Totalt vanninnholdet i bindingsverkskonstruksjonen og i trevirkesjiktet i konstruksjonen i starten og slutten av beregningen i WUFI. Den viser også minst og maks verdi av vanninnholdet i konstruksjonen og i trevirke sjiktet. Verdier er hentet fra beregningstabell i WUFI.

| Vanninnhold [kg/m ³] | | | | |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|-------|-------|
| Sjikt/material | Start beregning | Slutt beregning | minst | maks |
| Trevirke sjikt (gran) | 83,27 | 48,63 | 35,13 | 83,27 |
| Totalt vanninnhold | 3,91 | 2,67 | 2,01 | 3,95 |

Figur 23 viser grafen til det totale vanninnholdet i veggkonstruksjonen av bindingsverket. Det minker de første månedene, men den kraftigste nedgangen er i den varmeste tiden av året. Etter hvert begynner det å jevne seg ut. Om sommeren reduseres det totale vanninnholdet, men om vinterne øker det igjen. Ved starten av beregningne er det totale vanninnholdet i konstruksjonen 3,91 kg/m³ og i slutten av beregninger ligger det totale vanninnholdet på 2,67 kg/m³. Det totale vanninnholdet reduseres 1,24 kg/m³ i løpet av beregningsperioden. Den minste grenseverdien for vanninnhold er 2,01 kg/m³, og maks grenseverdi er 3,95 kg/m³. Figur 24 viser at vanninnholdet i trevirkesjiktet i konstruksjonen minker kraftig helt i starten, men øker litt igjen når de kalde månedene kommer. I løpet av de kalde månedene øker vanninnholdet og minker igjen i løpet av de varme månedene. Samtidig faller grafen litt i løpet av de kalde månedene for hvert år som går. Vanninnholdet i trevirkesjiktet faller fra 83,27 kg/m³ til 48,63 kg/m³, noe som tilsvarer 34,64 kg/m³ i reduksjon. Den minste grenseverdien for vanninnholdet er 35,13 kg/m³ og maks grenseverdi er 83,27 kg/m³. Vanninnholdet er mindre enn 20 vektprosent, som tilfredsstiller kravet i NS 3512:2014.

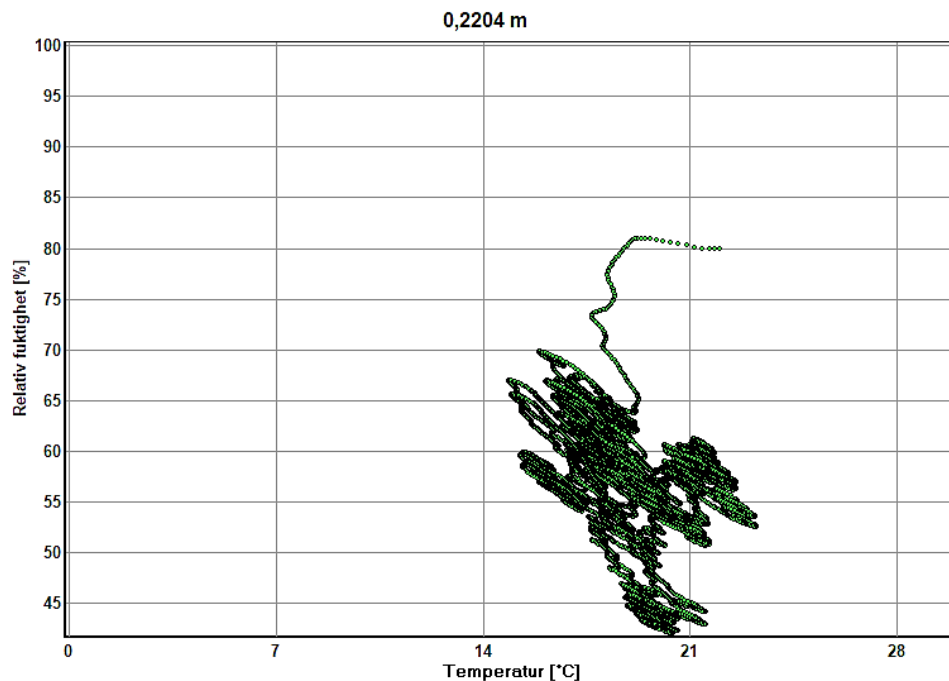


Figur 25. Forholdet mellom temperatur og duggpunktstemperatur i trevirke sjiktet i konstruksjonen i løpet av beregningsperioden.

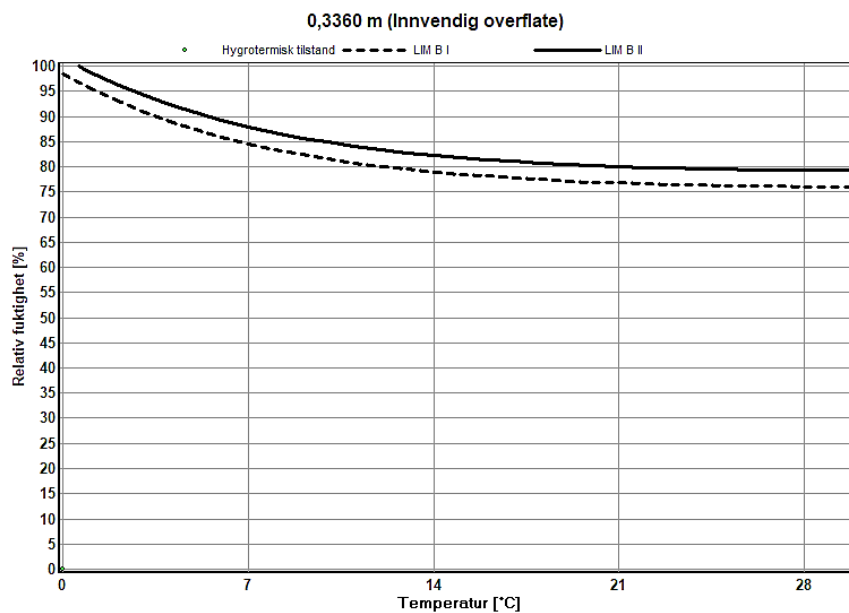


Figur 26. Forholdet mellom duggpunktstemperatur og temperatur for innvendig overflate til bindingsverkskonstruksjonen i løpet av beregningsperioden.

Figur 25 viser temperatur og duggpunkt ved monitorposisjon. Forholdet mellom de to grafene i figurene 25 og 26 indikerer om det er fare for kondens. Figur 25 viser at temperaturgrafene (rød) havner over duggpunkt (lilla). Dette vil si at den relative fuktigheten er mindre enn 100% som indikerer at det ikke er fare for kondens i trevirkesjiktet. Figur 26, som representerer den innvendige overflaten, viser at duggpunktstemperaturen ligger på $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ mens temperaturgrafene ligger over $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Det betyr at det ikke er risiko for kondens.



Figur 27. Monitorposisjonen i trevirke sjiktet i bindingsverk konstruksjonen som viser forholdet mellom temperatur og relativ fuktighet.



Figur 28. kritisk grenser for muggvekst for innvendig overflaten til bindingsverk.

Figur 27 inneholder prikker, og hver av disse prikkene representerer en time. Hvis det oppstår mange prikker over kritiske grenser over lengere tid, er det fare for muggvekst i konstruksjonen. Figur 28 viser at det ikke er noe prikke over kritiske grenser, og det innebærer at det ikke er fare for muggvekst på innvendigoverflaten.

3.1.7 Yttervegg av massivtre med utvendig kontinuerlig isolasjon, klima Oslo

Tabell 14. Oppbygging og egenskaper til materialer som er involvert i massivtrekonstruksjonen og i numerisk simulering i WUFI.

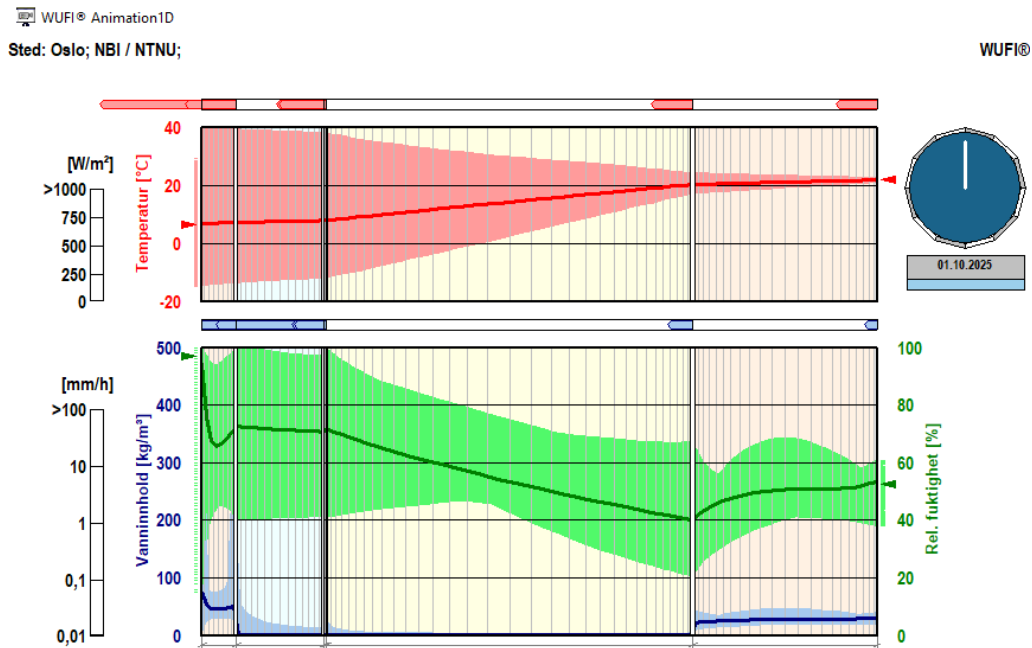
| Sjiktens navn | Densitet ρ Kg/m ³ | Dimensjonerende varme- konduktivitet λ W/(mK) | Spesifikk varmekapasitet C_p J/(kgK) | Relativ vanndampmotstand μ [-] |
|------------------------------|--------------------------------------|---|---|---------------------------------------|
| Utvendig kledning tre, 19 mm | 420 | 0,12 | 1600 | 50 |

| | | | | |
|-------------------------------|-----|-------|------|------|
| Vertikal lufting, 48 mm | 1,3 | 0,18 | 1000 | 0,46 |
| Vinds- perre av duk | 130 | 3 | 1500 | 14 |
| Isolasjon, 200 mm | 60 | 0,033 | 850 | 1,3 |
| Mas- sivtre, 100 mm | 480 | 0,13 | 1600 | 51 |

Tabell 14 viser densitet, dimensjonerende varmekonduktivitet, spesifikk varmekapasitet og relativ vanndampmotstand til materialer som er involvert i oppbygging av massivtrekonstruksjonen i WUFI. Dataene til materialet er hentet fra databibliotek i WUFI programmet.

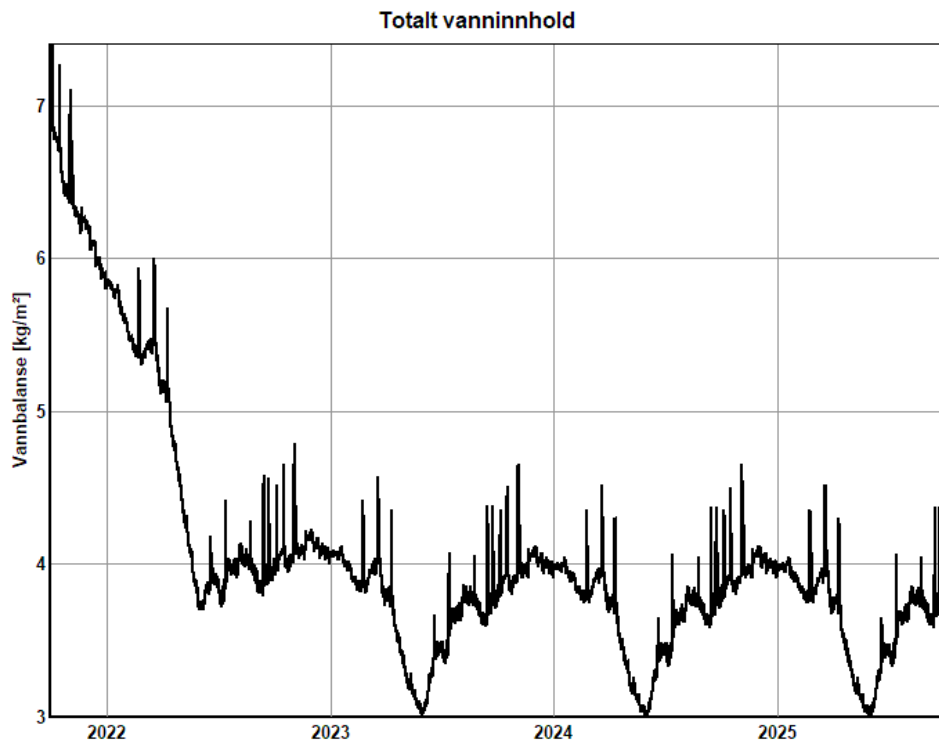
Tabell 15. fuktlagringsfunksjon til KLH massivholz i WUFI

| Nummer | RF [-] | Vanninnhold [kg/m ²] |
|--------|----------|-------------------------------------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 0.5 | 27,1 |
| 3 | 0.65 | 41,6 |
| 4 | 0,8 | 56,1 |
| 5 | 0,97 | 94,4 |
| 6 | 0,99 | 400 |
| 7 | 1 | 550 |

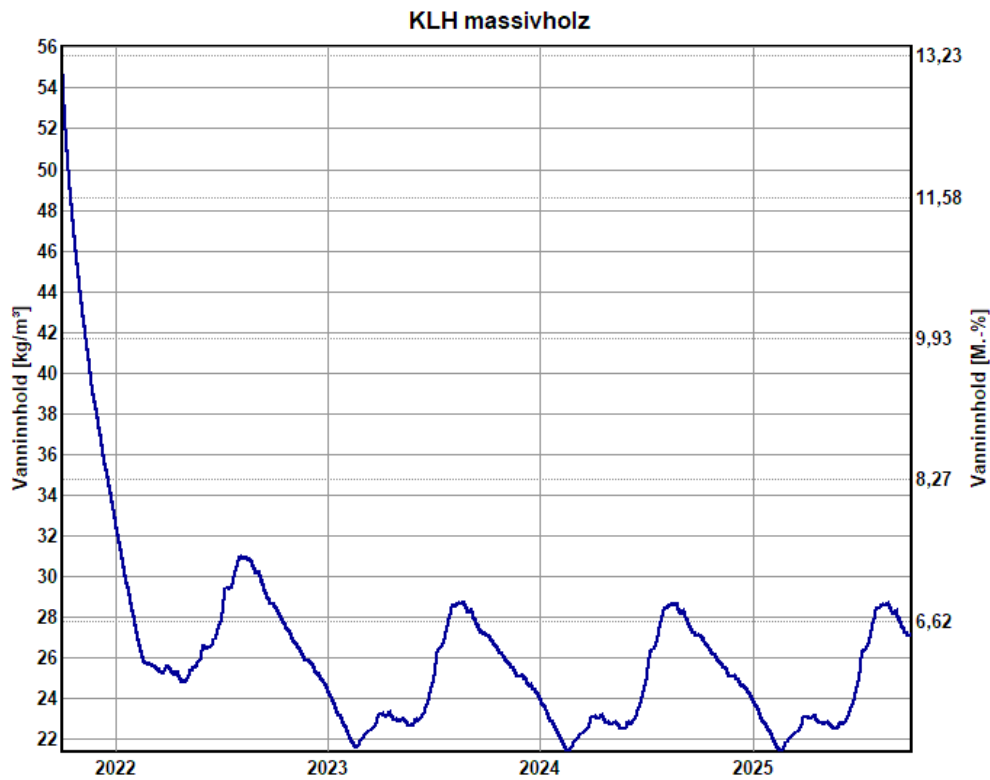


Figur 29. Temperatur, vanninnhold og relativ fuktighet gjennom massivtrekonstruksjonens tverrsnitt.

WUFI-filmen viser oppførselen til temperatur, relativfuktighet og vanninnhold i profiler. De mørke kurvene er de nåværende profilene mens de lyse fargene viser rekkevidden (sporene) av profilene. Den øvre delen av filmskjermen viser temperaturen i rødt. Den nedre del viser relativ fuktighet i grønt og vanninnhold i blått. Den røde og blå pilen over hver graf, representerer strømmen av varme og fuktighet gjennom konstruksjonens tverrsnitt. På den venstre siden av skjermen er den aktuelle mengder av solstråling og regn angitt.



Figur 30. Det totale vanninnholdet i massivtrekonstruksjonen i løpet av beregning periode.



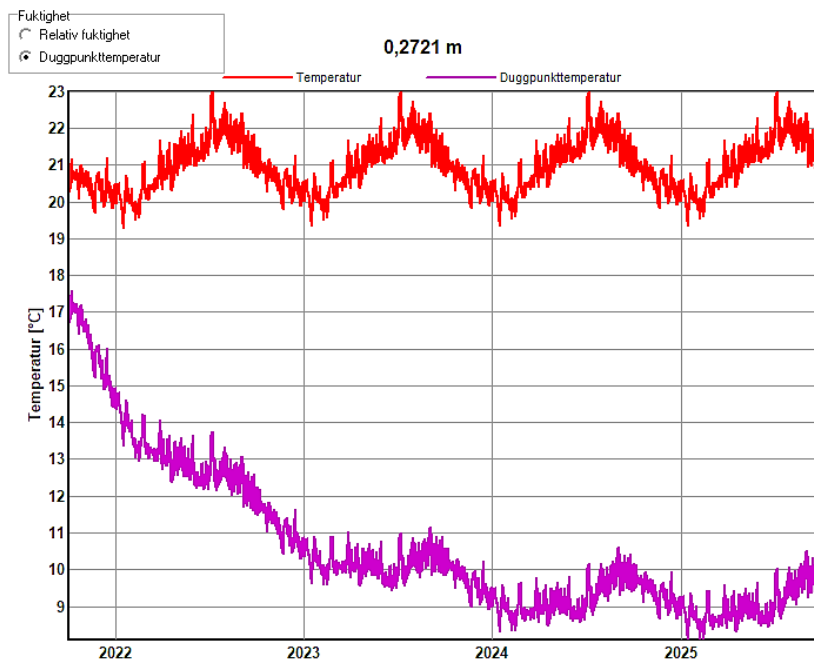
Figur 31. Vanninnholdet i massivtre sjikt i løpet av beregningsperioden.

Tabell 16. Det totale vanninnholdet i massivtrekonstruksjonen og vanninnholdet i massivtre sjiktet.

| Vanninnhold [kg/m ³] | | | | |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|-------|-------|
| Sjikt/material | Start beregning | Slutt beregning | minst | maks |
| Vanninnhold massivtre | 56,10 | 26,05 | 23,09 | 56,10 |
| Totalt vanninnhold | 7,17 | 3,68 | 3,01 | 7,48 |

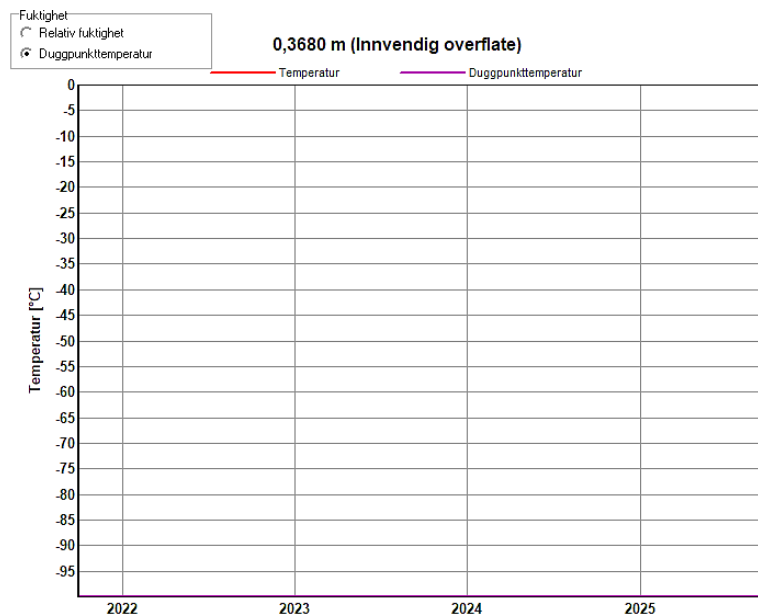
Figur 30 viser oppførselen til det totale vanninnholdet i massivtrekonstruksjonen i løpet av beregningsperioden. Den viser at det totale vanninnholdet reduseres kraftig i de første månedene. Etter hvert begynner vanninnholdet å stabilisere seg. Det totale vanninnholdet er 7,17 kg/m³ i starten av beregningene og reduseres til 3,68 kg/m³ i slutten. Det er 3,49 kg/m³ i reduksjon mellom start- og slutt i beregningene av vanninnholdet.

Figur 31 viser at vanninnholdet i massivtresjikt faller kraftig i starten. Den øker litt igjen når de kalde månedene kommer, men stabiliserer seg over tid. Økningen eller minskningen av vanninnholdet blir påvirket av årstider, men samtidig faller også grafen litt i de kalde månedene for hvert år som går. Vanninnholdet i massivtresjiktet faller fra 56,10 kg/m³ til 26,05 kg/m³, noe som tilsvarer 30,05 kg/m³ i reduksjon. Den minste grenseverdien for vanninnholdet er 23,09 kg/m³, og den maks grenseverdien er 56,10 kg/m³. Den gjennomsnittlige vektprosenten er lavere enn 20, noe som er i samsvar med NS 3512:2014.



Figur 32. Forholdet mellom temperatur og duggpunktstemperatur i massivtresjiktet

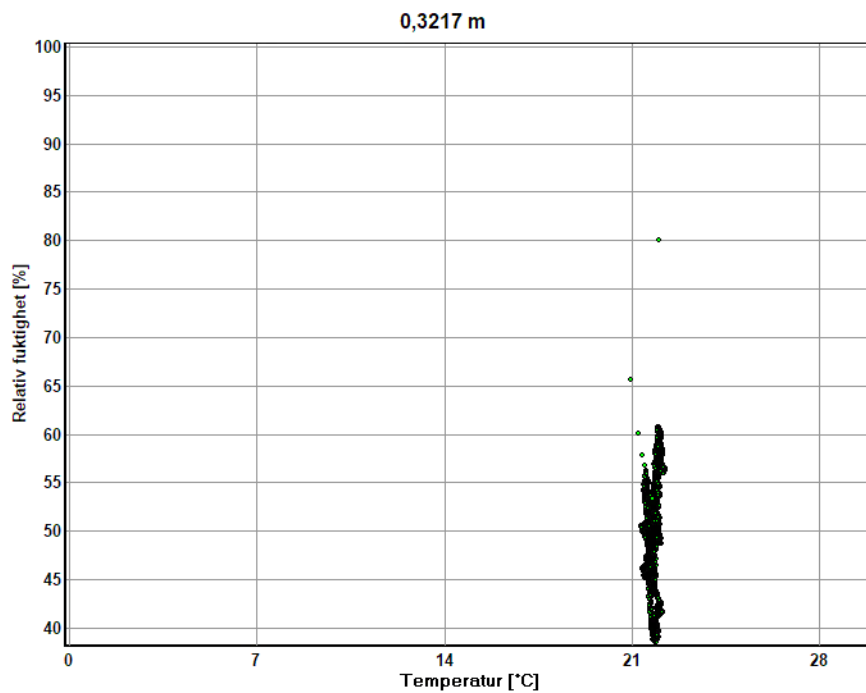
Figur 32 viser Forholdet mellom temperatur og duggpunktstemperatur i massivtresjiktet. Temperaturgrafene (rød) ligger over temperaturen til duggpunktet (lilla), noe som indikerer at det ikke er fare for kondens i massivtresjiktet.



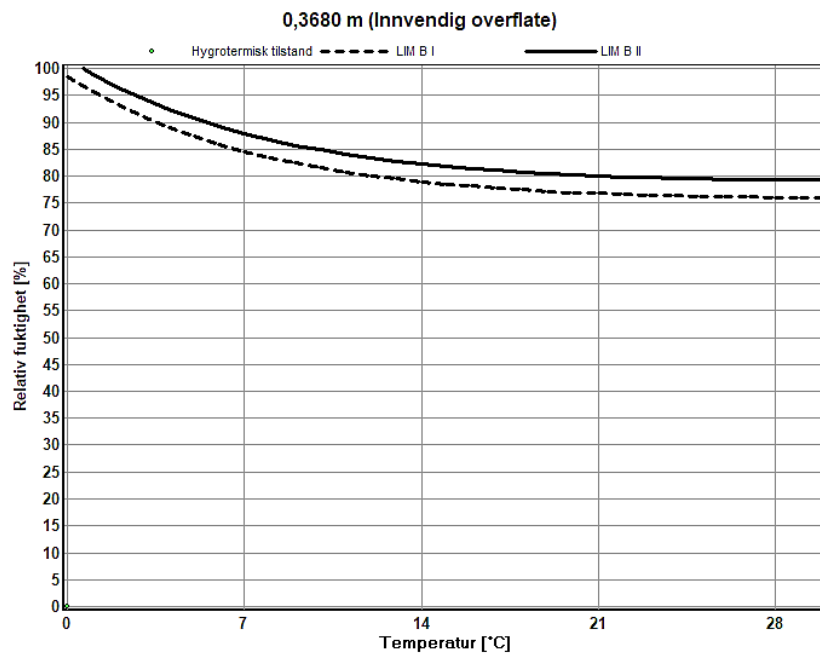
Figur 33. Forholdet mellom temperaturen og duggpunktstemperatur i innvendig overflate.

Figur 33 viser forholdet til temperatur og duggpunktstemperaturen for innvendigoverflaten. Det viser at duggpunktstemperaturen er $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$, og det ligger under temperaturgrafene. Det indikerer at det ikke er fare for kondens på innvendigoverflaten.

Hvis temperaturgrafene havner over duggpunktet er den relative fuktigheten mindre enn 100%. Det utelukker derfor risiko for kondens. Hvis det hadde vært motsatt er det fare for kondens.



*Figur 34. Forholdet mellom temperatur i [°C] og relativ fuktighet i [%] i løpet av be-
regningsperioden for massivtre sjiktet i massivtrekonstruksjonen.*

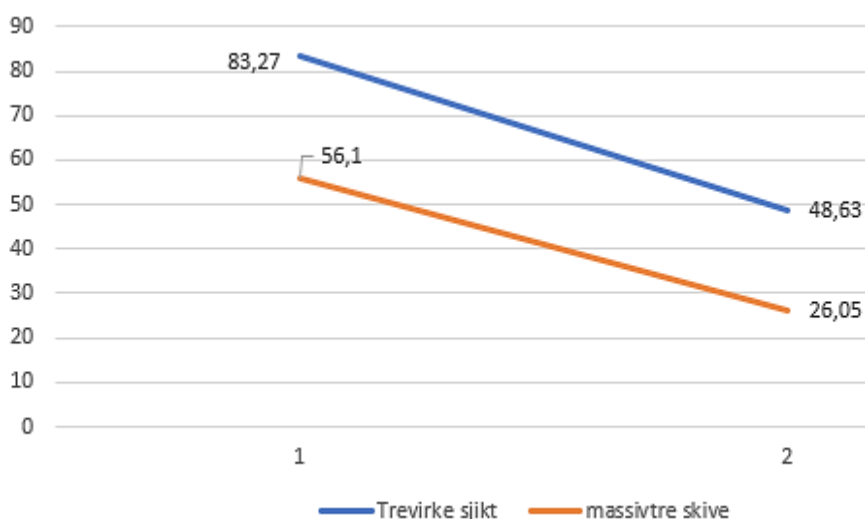


Figur 35. Kritiske grenser for muggvekst for innvendig overflate til konstruksjonen i massivtre. Det har ikke oppstått noen punkter over grenser, og det er ikke fare for muggvekst på innvendig overflaten..

Figur 35 viser kritiske grenser for innvendig overflate. Hvis forholdene (prikker som finnes i figur 34) overskrider disse grensene i lengere perioder kan ikke fare for muggvekst ekskluderes, men det betyr ikke nødvendigvis at mugg vil oppstå. I dette tilfelle er det ikke fare for muggvekst.

Tabell 17. Vanninnhold i trevirkesjikt og massivtre sjiktet i starten og slutten av beregninger. Den viser også reduksjon av vanninnholdet fra starten til slutten av beregninger.

| Vanninnhold [kg/m ³] | | | |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|
| Sjikt/material | Start beregning | Slutt beregning | Reduksjon i kg/m ³ |
| Trevirke sjikt (gran) | 83,27 | 48,63 | 34,64 |
| Massivtre sjikt | 56,1 | 26,05 | 30,05 |

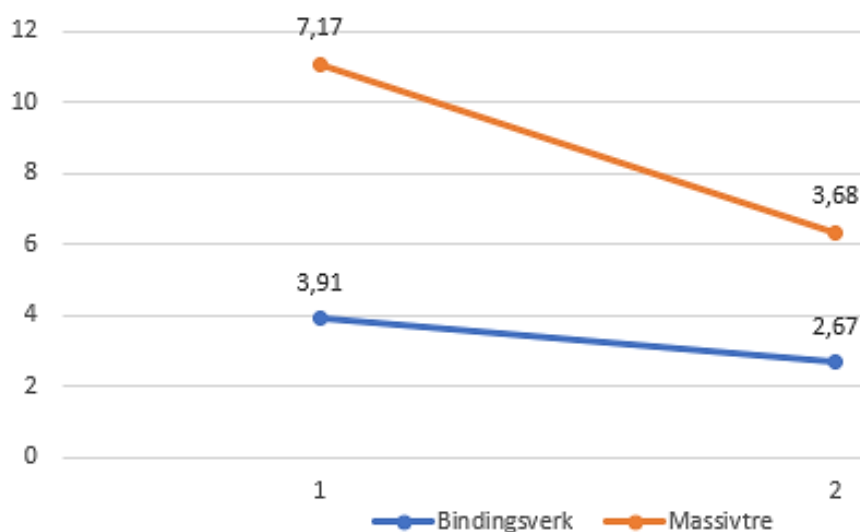


Figur 36. Grafisk illustrasjon av vanninnholdet [kg/m^3] i start og slutt beregninger i massivtre-sjiktet og trevirke sjiktet.

Figur 36 viser en grafisk illustrasjon av vanninnholdet i sjiktene, trevirke og massivtre. Det viser at vanninnholdet i sjiktet med massivtre reduseres med $56,1 - 26,05 = 30,05 \text{ kg}/\text{m}^3$ selv om sjiktet til massivtre er mye tykkere enn trevirkesjiktet i bindingsverkskonstruksjonen. Vanninnholdet i trevirkesjiktet i bindingsverkskonstruksjonen reduseres med $83,27 - 48,63 = 34,64 \text{ kg}/\text{m}^3$ selv om det er mye tynnere enn massivtresjiktet. Det indikerer at sjiktet av massivtre har bedre uttørkingsevne, og det er gunstig i forhold til fukt i massivtrekonstruksjonen.

Tabell 18. Totaltvanninnhold [kg/m^3] i starten og slutten av beregninger i bindingsverks veggkonstruksjonen og massivtre veggkonstruksjon. Den viser også reduksjoner av vanninnhold mellom starten og slutten av beregninger i de to konstruksjoner.

| Vanninnhold [kg/m^3] | | | |
|--|-----------------|-----------------|------------------------------------|
| Sjikt/material | Start beregning | Slutt beregning | Reduksjon i kg/m^3 |
| Totalt vanninnhold bindingsverk | 3,91 | 2,67 | 1,24 |
| Totalt vanninnhold massivtre | 7,17 | 3,68 | 3,49 |



Figur 37. Illustrasjon av totalt vanninnholdet [kg/m³] i starten og slutten av beregninger i massivtre - og bindingsverk konstruksjoner. Det viser at vanninnholdet i massivtrekonstruksjonen reduseres raskere enn vanninnholdet i bindingsverkskonstruksjonen.

Grafer fra monitorposisjoner viser at ingen av konstruksjonene er utsatt for kondens og muggvekst i løpet av simuleringsperioden, forutsatt at konstruksjonen ikke blir utsatt for rennende vann og luftlekkasje. Ved feil i prosjekteringen eller feil utførelse i programmet kan en ikke ta hensyn til de nevnte faktorene.

Dette er i samsvar med intervjuobjekt#8 som sier at ingen av konstruksjonene er utsatt for fukt hvis de blir prosjektert - og utført riktig.

3.1.8 Vurdering

Numerisk simulering fra WUFI Pro viser at konstruksjonen i massivtre har bedre uttørkingsevne enn bindingsverk. Dette er i samsvar med en vanntestundersøkelse som er utført av mycoteam. Der viste det seg at gips og bindingsverk hadde dårligere evne mot muggvekst enn massivtre. I undersøkelsen ble bindingsverk som innhold gips senket ned i vann. Det samme gjorde de også med massivtre. Uttørking ble overvåket i tre måneder. Denne undersøkelsen viste at bindingsverk som innhold gips var langt mer utsatt for muggvekst enn massivtre. Resultater fra undersøkelsen er også presentert på «Nordisk Vattenskadeseminar».

[20, 52, 53, 54]



Resultatene er også i samsvar med seniorrådgiver og forsker i intervjuobjekt#9 som sier at «hvis de to elementene blir utsatt for samme fukt mengde, så vil det være større risiko for muggsoppvekst i bindingsverk først og fremst fordi bindingsverk inneholder gips. I gipsen er det veldig lett at det mugger. Vi hadde et prosjekt hvor vi har sett en vegg av massivtre og en vegg av bindingsverk, og da var det veldig stor forskjell på at bindingsverks veggen mugget mye før enn massivtre». Resultatene fra WUFI-simuleringen og undersøkelsen fra mycoteam korresponderer med intervjuobjektobjekt#11 som hevder at konstruksjonen i massivtre har en større mengde trevirke enn konstruksjonen i bindingsverk har. Det pleier å ha innvirkning på uttørkingsevnen til konstruksjonen fordi uttørking av trevirke pleier å ta lengere tid. Men oppbygging av yttervegg av massivtre er slik at massivtresjiktet ligger på den varme siden av isolasjonen. Det gjør det mulig for konstruksjonen å tørke raskere fordi den får varme fra den innvendig siden. I intervjuet med intervjuobjektobjekt#8 kom det fram synspunkter som er i harmoni med de andre intervjuobjektene, vanntestundersøkelse og resultatene fra WUFI-simuleringer. Det kom frem at sjikt i massivtre får varme fra innvendig side, noe som får den til å tørke raskt og blir ikke utsatt for kondensering. Forutsetningen er at konstruksjonen ikke blir utsatt for direkte fuktbelastning.

3.1.9 Svakheter med WUFI simulering

WUFI tar ikke hensyn til konveksjon, rennende vann, bygge- og prosjekteringsfeil og eventuelt andre lokale forhold som kan påvirke konstruksjoners hydrotermiske evnen. I virkeligheten finnes disse forholdene, og det er en svakhet i forhold til det reelle verden.

WUFI pro simulerer en dimensjonalt, men i virkeligheten er det to dimensjonalt. For å etterligne en to dimensjonalt simulering, er det lagt inn et eget material sjikt av trevirke (gran) i isolasjonssjikt i bindingsverk. Det er fortsatt en del svakhet her enn den reelle verden.

Programmet regner mer realistisk for en kjent konstruksjonen, men med en ukjent konstruksjon kan simulering beregning mindre realistisk.

Antall konvergensfeil påvirker hvor pålitelig resultater er. Antall konvergensfeil er 10 for bindingsverk simulering og 15 for massivtre simulering. Det er fortsatt



mye lavere enn 40-50 konvergensfeil som regnes som grensen. Det viser at påliteligheten og troverdigheten er ganske god.



3.2 U-verdi

3.2.1 U-verdikrav TEK17 for yttervegg

I følge byggt teknisk forskrift (TEK17), er kravet til yttervegg for småhus og boligblokk U-verdi $\leq 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Minimumskrav til energieffektivitet for yttervegg er U-verdi $\leq 0,22 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.

Tabell 19. U-verdi kravene for bolig i TEK17

| Energiltak | Småhus | Boligblokk |
|---|-------------|-------------|
| U-verdi yttervegg [$\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$] | $\leq 0,18$ | $\leq 0,18$ |
| Minimumskrav [$\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$] | $\leq 0,22$ | $\leq 0,22$ |

3.2.2 U-verdien beregning av bindingsverk

Tabell 20. Manuell beregning av U-verdi av bindingsverks elementet.

| Veggens oppbygging | Tykkelse d og varmekonduktivitet λ | | Beregning: $R=d/\lambda$ [m^2K/W] | | Nedre grenseverdi |
|--|--|-----------|---------------------------------------|---------|-------------------|
| | d | λ | Isolasjon | Bjelker | |
| | | | 88 % | 12 % | R [m^2K/W] |
| Innvendig overgangsmotstand | 0,13 | | 0,13 | 0,13 | 0,13 |
| Gips 13 mm | 0,013 | 0,2 | 0,07 | 0,07 | 0,07 |
| Trevirke (48x48) | 0,048 | 0,12 | | 0,40 | 1,105 |
| Isolasjon (48) = 0,033 kvalitet | 0,048 | 0,033 | 1,45 | | |
| Dampsperre | 0,03 | | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| Trevirke (48x198) | 0,198 | 0,12 | | 1,65 | 4,558 |
| Isolasjon (198) = 0,033 kvalitet | 0,198 | 0,033 | 6 | | |
| Vindsperre GU, 9 mm | 0,009 | 0,2 | 0,045 | 0,045 | 0,045 |
| Trepanel (19mm) + utvendig overgangsmotstand | 0,13 | | 0,13 | 0,13 | 0,13 |
| SUM motstand | | | 7,85 | 2,45 | 6,063 |
| | | | 6,21 | | 6,13676105 |

| L legering1 | | L legering2 | | U-verdi |
|---------------|---------|---------------|---------|---------|
| 0,04344 | | 0,04344 | | 0,162 |
| $\backslash/$ | | $\backslash/$ | | |
| R legering1 | R-total | R legering2 | R-total | |
| 1,105 | 6,211 | 4,558 | 6,211 | |

| | |
|--|------------------------|
| | Trevirke |
| | isolasjon |
| | Legering varmemotstand |

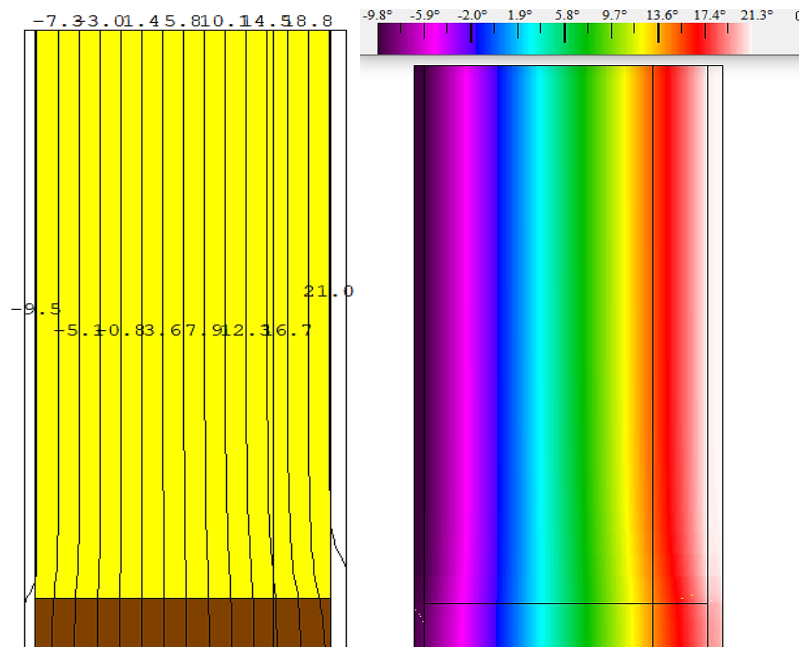
Tabell 21. U-verdier til yttervegg av bindingsverk med ulike treandel og isolasjon andel

| | Yttervegg uten dør- og vindu åpning | Yttervegger i enebolig | Yttervegger i fleretasjes boliger |
|------------------------------|-------------------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| Treandel per m^2 veggareal | 12 % | 17 % | 22 % |

| | | | |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|
| U-verdier i THERM, W/m ² K | 0,161 | 0,175 | 0,189 |
| U-verdi manuelt, W/m ² K | 0.162 | 0,176 | 0,19 |

3.2.2.1 U-verdi beregning av bindingsverk med THERM

Det er gjennomført beregninger av U-verdier både ved hjelp av THERM verktøyet og manuelt. Resultatene er vist i tabellen over. U-verdien til ytterveggenes tverrsnitt med 17% treandel og 83% isolasjon er 0,162 (W/m²K) med manuell beregning og 0,161 (W/m²K) med THERM verktøyet. På samme måte med 22% treandel og 78% isolasjon fikk 0,19 (W/m²K) med manuell beregning og 0,189 med THERM verktøy. Det er litt forskjell i U-verdier med THERM og manuell. Det er ikke så stort avvik mellom de beregningsmetodene, men det skyldes at digitalverktøy beregner mer nøyaktig. En annen kilde til avvik kan være at det er tatt flere eller færre desimaler.



Figur 38. Simulering av bindingsverk i THERM verktøy som viser temperaturfordeling gjennom tverrsnittet. U-verdi = 0,161 W/m²K.

Resultatene viser at treandel i veggkonstruksjonen påvirker U-verdier. Trevirke har dårligere isolasjonsevne enn mineralull fordi tre har høyere varmeledningsevne enn mineralull-isolasjon. I tabell 21 ser vi at høyere treandel har negative innvirkning på U-verdien.

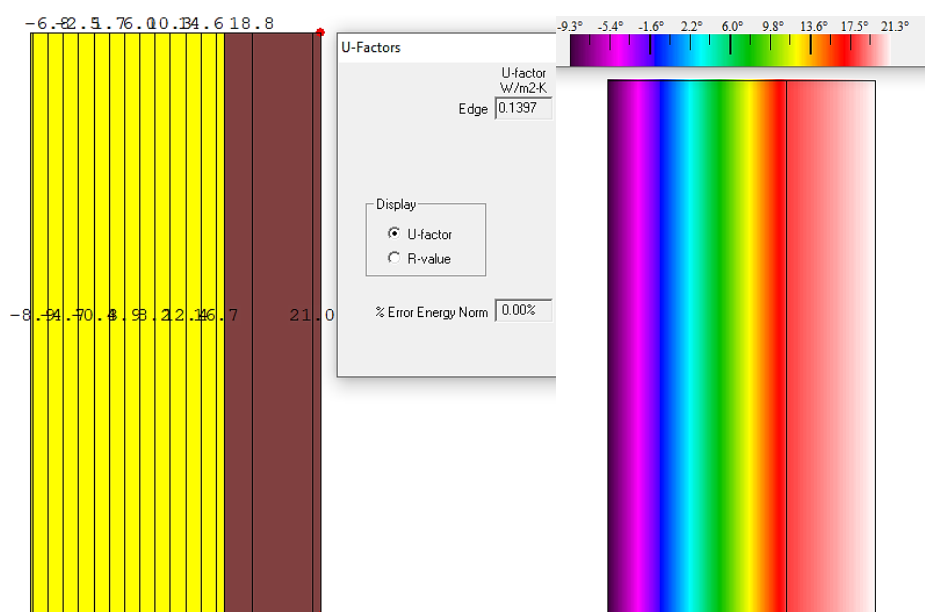
Isolasjonskvaliteten påvirker også U-verdien. Isolasjon med lavere varmekonduktivitet gir lavere U-verdier på grunn av god varmeisoleringssevne.

3.2.3 U-verdi beregning av massivtre (manuell)

Beregning av u-verdi i yttervegg av massivtre med kontinuerlig utvendig isolasjonsjikt med isolasjonskvalitet 0,033 og 100 mm massivtre.

Tabell 22. Tabellen under viser manuell beregning av U-verdi av yttervegg av massivtre

| U-verdi beregning av yttervegg i massivtre med påliggende isolasjon | | | |
|--|---------------------------|---|--|
| Material sjikt | tykkelse d [m] | varmekonduktivitet λ [w/mk] | $R=d/\lambda$ [m²K/W] |
| Ventilert kledning og utvendig varmemotstand | | | 0,13 |
| Vindsperre | | | 0,03 |
| skrue | 0,0002 | 50 | 0,000004 |
| Mineralull | 0,2 | 0,033 | 6,061 |
| Dampsperre | | | 0,030 |
| Massivtre | 0,100 | 0,13 | 0,769 |
| Innvendig varmemotstand | | | 0,13 |
| Sum | | | 7,15 |
| U-verdi | | | 0,13986 |



Figur 39. Fordeling av temperaturer over tverrsnittet og u -verdi. Simulering THERM

7.6

For konstruksjonen i massivtre med 200 mm homogent isolasjonssjikt med isolasjonskvalitet 0,033 og 100 mm tykk massivtresjikt på innsiden av isolasjonen. Det beregnet U -verdi = 0,139 (W/m^2K) både med THERM verktøy og med manuell beregning.

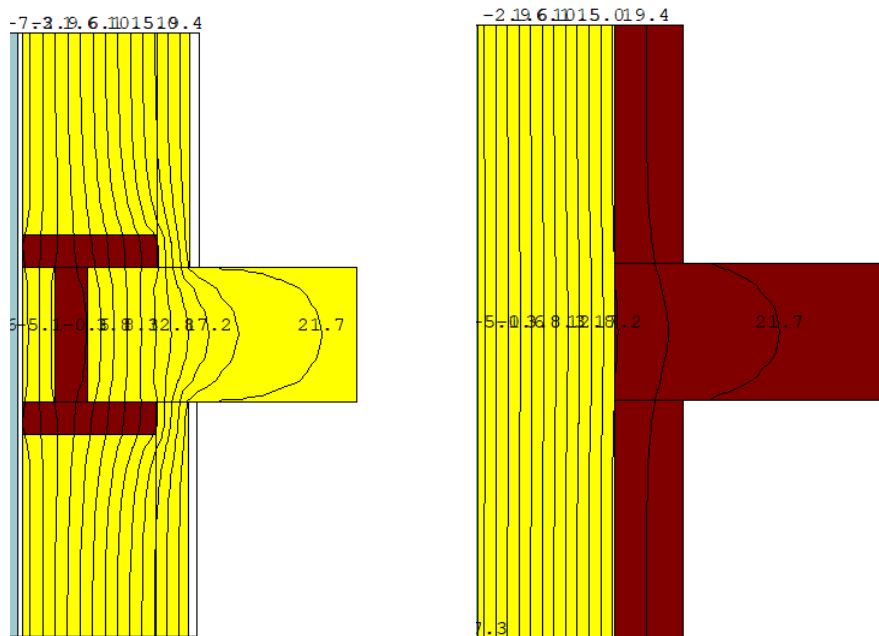
Tabell 23. U -verdier til ytterveggselement av massivtre med 100 mm massivtreskive

| | Massivtre, 100 mm |
|----------------------------------|-------------------|
| U -verdier i THERM, W/m^2K | 0,139 |
| U -verdi med manuelt, W/m^2K | 0.139 |

Resultatene av U -verdi beregning i THERM verktøy og manuell beregning er korresponderende med bygningsfysikker i intervjuobjekt#3. Der ble det sagt at normalt vil massivtre ha bedre U -verdi. Hvis treandel i bindingsverk er høy, vil massivtreveggen med homogent isolasjonssjikt komme svært godt ut.

3.3 Kuldebroer

3.3.1 Lineære kuldebroer



Figur 40. Simulering av bindingsverk (venstre) og massivtre (høyre) i programmet (THERM 7.6, 2017).

Tabell 24. Kuldebroverdier som resultat av forhold mellom isolasjonstykkelse i vegg og isolasjonstykkelse i forkant bjelkelag i bindingsverksvegg.

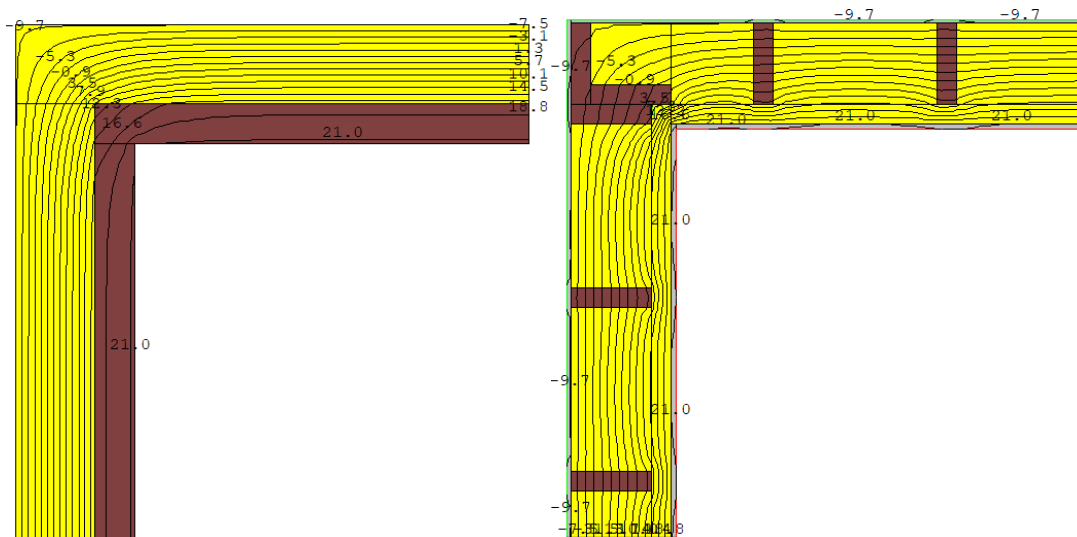
| Isolasjon i vegg, d [mm] | Kuldebroverdi, ψ (W/mK) | | | | | |
|--------------------------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-----|
| | Isolasjon i forkant bjelkelag, b [mm] | | | | | |
| | 0 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 |
| 200 | 0,014 | 0,006 | – | – | – | – |
| 250 | 0,012 | 0,007 | 0,002 | – | – | – |
| 300 | 0,011 | 0,007 | 0,004 | 0,001 | – | – |
| 350 | 0,010 | 0,007 | 0,004 | 0,002 | 0,000 | – |

Kuldebroverdiene til bindingsverket er avhengige av isolasjonstykkelsen i vegg og isolasjonstykkelsen i forkant av bjelkelaget. Jo tykkere isolasjonen foran bjelkelaget er, jo gunstigere er det for kuldebro verdien. Dette er fordi isolasjonen i



forkant av bjelkelag virker som kuldebrobryter. I vår tilfelle er kuldebroverdien 0,007 W/(mK) med 50 mm isolasjon i foran bjelkelaget og 250 mm isolasjon i vegg. Siden toppsvillen og bunnsvillen er av tre, og tre har bedre varmeledningsevne enn minerallull isolasjonen, så påvirker den varme transmisjonen i konstruksjonen. [55].




Massivtrekonstruksjonen har kontinuerlig isolasjonsjikt på utsidne av massivtresjiktet, og den virker som kuldebro-bryter og eliminerer kuldebroer. Massivtrekonstruksjonen regnes som et kuldebrofri konstruksjon.

3.3.2 Geometrisk kuldebroer



Figur 41. 2D simulering av massivtrekonstruksjonen (venstre) og bindingsverk (høyre) i programmet THERM 7.6, 2017

| | |
|---|--------------------|
|  | massivtre |
|  | minerall isolasjon |

| | |
|---|------------------------|
|  | bjelker av heltrevirke |
|  | minerall isolasjon |
|  | gips |

Formelen for beregning av ψ -verdi:

$$\psi = \frac{\Phi}{\Delta T} - U_1 \cdot b_1 - U_2 \cdot b_2$$

Hvor:

ΔT = temperatur forskjell mellom innvendig og utvendig overflate

Φ = Varmestrøm som strømmer gjennom en bestemt overflatelinje

U_1 = U-verdi for bygningskomponent 1

U_2 = U-verdi for bygningskomponent 2

b_1 = overflateareal, 1

b_2 = overflateareal, 2

3.3.2.1 ψ -verdi massivtre

Den geometriske kuldebroverdien for vegg i massivtre med 100 mm massivtre og 200 mm kontinuerlig isolasjon, er beregnet for innovervendt hjørne $\psi = -0,057$ W/(mK) og for utovervendt hjørne $\psi = 0,035$ W/(mK).

3.3.2.2 ψ -verdi bindingsverk

Geometriske kuldebroverdier for bindingsverksvegg av tre med 250 mm isolasjonstykkelser er $\psi = -0,061$ W/(mK) for innovervendt hjørne og $\psi = 0,037$ W/(mK) for utovervendt hjørne [56].

Tabell 25. Kuldebro verdier for innovervendt og utovervendt hjørne til bindingsverksvegg av heltre med ulike isolasjonstykkelser [56].

| | «Innovervendt hjørne mellom bindingsverkvegger av tre» | «Utovervendt hjørne mellom bindingsverkvegger av tre» |
|-----------------------------|--|---|
| Isolasjon i bindingsverk, d | Kuldebroverdi, ψ | Kuldebroverdi, ψ |
| mm | (W/(mK)) | (W/(mK)) |
| 200 | -0,061 | 0,040 |
| 250 | -0,061 | 0,037 |
| 300 | -0,061 | 0,035 |
| 350 | -0,061 | 0,033 |

Tabell 26. Kuldebroverdier for innovervendt hjørne og utovervendt hjørne til bindingsverks og massivtre yttervegger.

| Veggtype | Isolasjonstykkelse e [mm] | Innovervendt hjørne | Utovervendt hjørne |
|---------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | | Kuldebro- verdi, ψ | Kuldebro- verdi, ψ |
| | | (W/(mK)) | (W/(mK)) |
| Bindingsverk | 250 | -0,061 | 0,037 |
| Massivtre | 200 | -0,057 | 0,035 |

Det er ikke så stor forskjell mellom de geometriske kuldebroverdiene til de to konstruksjonene, men konstruksjonen i massivtre viser seg til å ha bedre kuldebroverdi enn konstruksjonen i bindingsverk. Mindre ψ -verdi indikerer mindre varmetap gjennom veggjørner. Disse resultatene er i samsvar med bygningsfysikeren i intervjuobjekt#3 som hevder at det ikke er så stor forskjell i geometriske kuldebroer mellom de to konstruksjoner.

3.4 Kostnad

Prisen per m² vegg vil være avhengig av prosjektet og ulike faktorer som frakt-kostnad, kvalitet på produkter, mengde prefabrikkering som kreves i prosjektet og tilgjengelighet. Pris er en av de viktigste faktorene som påvirker valg av konstruksjonstype i et prosjekt.

Faktorer som har ganske stor påvirkning på kostnad, er transportkostnad over lange avstander og vekten til elementene. Mange aktører i Norge produserer elementer i utlandet fordi det er billigere. Hvis elementene veier mye, lastes lastebiler eller andre transport midler med færre elementer. Hvis elementene veier mindre, lastes ofte lastebiler med flere elementer.

Tilgjengelighet og kunnskap påvirker prisen. Hvis vi sammenligner bindingsverk med massivtre, er bindingsverk en veldig kjent konstruksjon med mye kunnskap og erfaring. Det er mer etterspørsel og mer produksjon av bindingsverk, noe som gjør den mer tilgjengelig på markedet enn massivtre.

Massivtre er et ganske nytt produkt og er samtidig anerkjent i byggesektoren. Bruken av det øker hvert år. Vi får mer og mer kunnskap om det for hvert år som går. Å ha mer kunnskap om konstruksjoner og spesielt hvis det finnes preaksepterte løsninger, er det lettere å jobbe med det. Å ha klare retningslinjer gjøre det enklere å tilfredsstille kravene i et byggverk.

Kostnad massivtre vegg:

Tabell 27. Komponenters dimensjon, mengde, enhet, enhetstid, enhets pris og pris per m² for massivtre vegg.

| Fag | NS-Kode | Beskrivelse | Dimensjon i mm | Mengde | Enhet | Enhetstid i time | Enhets.pris i Kr. | Kr. Pris per m ² |
|--------------------------|---------------|---------------------------------------|----------------|--------|----------------|------------------|-------------------|-----------------------------|
| malerarbeid | TB6.424146 | 2 strøk beis, utvendig | 91 | 1,13 | m ² | 0,113 | 136,29 | 153,33 |
| tømrerarbeid | QK2.111211000 | Tømmermannspanel | 19x148 | 1,13 | m ² | 0,473 | 417,16 | 469,3 |
| tømrerarbeid | QK1.111221 | Utlekking på fasade c/c 600 | 48x48 | 1,13 | m ² | 0,169 | 99,69 | 112,15 |
| tømrerarbeid | PN4.2361 | Musebånd | 125 cm | 0,42 | m | 0,008 | 33,12 | 13,91 |
| tømrerarbeid | SF1.221 | Vindspærre-remse, tape | 15 cm | 0,06 | 1m | 0,001 | 26,88 | 1,61 |
| tømrerarbeid | SF1.221 | Vindspærresjikt på vegg, etasjehøy | 2,8x50m | 1,13 | m ² | 0,034 | 54,67 | 61,35 |
| tømrerarbeid | SB1.11161 | Mineralull A-plate-vegg | 200 | 1 | m ² | 0,09 | 190,8 | 190,8 |
| tømrerarbeid | QT2.133 | Massivtre 100 mm | 100x2700 | 1 | m ² | 0,10 | 1030,00 | 1030,00 |
| malerarbeid | TB6.22241299 | Ett strøk beis/2 strøk lkk innv. Pnel | 31 | 1 | m ² | 0,2 | 137,49 | 137,49 |
| tømrerarbeid | QM5.41202 | Taklist furu, ferdig malt | 21x45 | 0,42 | 1m | 0,046 | 88,18 | 37,04 |
| tømrerarbeid | QM5.11232 | Gulvlist furu, ferdig malt | 12x58 | 0,42 | 1m | 0,042 | 81,66 | 34,3 |
| Sum ny veggresept | | | | | | 1,276 | | 2241,28 |

Pris bindingsverks vegg:

Tabell 28. Komponenters dimensjon, mengde, enhet, enhetstid, enhets pris og pris per m² for bindingsverks vegg.

| Fag | NS-Kode | Beskrivelse | Dimensjon i mm | Mengde | Enhet | Enhetstid i time | Enhets.pris i Kr. | Kr. Pris per m ² |
|--------------|---------------|---|----------------|--------|----------------|------------------|-------------------|-----------------------------|
| malerarbeid | TB6.424146 | 2 strøk beis, utvendig | 91 | 1,13 | m ² | 0,113 | 136,29 | 153,33 |
| tømrerarbeid | QK2.111211000 | Tømmermannspanel | 19x148 | 1,13 | m ² | 0,473 | 417,16 | 469,3 |
| tømrerarbeid | QK1.11521 | Utlekking | 23x48 | 1,13 | m ² | 0,045 | 47,19 | 53,09 |
| tømrerarbeid | PN4.2361 | Musebånd | 125 cm | 0,42 | m | 0,008 | 33,12 | 13,91 |
| tømrerarbeid | SF1.221 | Vindspærre-remse, tape | 15 cm | 0,06 | 1m | 0,001 | 26,88 | 1,61 |
| tømrerarbeid | QK5.212212 | GU. 9 mm | 9,5 | 1,13 | m ² | 0,169 | 143,42 | 161,35 |
| tømrerarbeid | QB2.121158 | Enkelt bindingsverk heltre u/spikerslag | 48x198 | 1 | m ² | 0,28 | 269,48 | 269,48 |
| tømrerarbeid | SB1.11161 | Mineralull A-plate-vegg | 200 | 1 | m ² | 0,09 | 190,8 | 190,8 |
| tømrerarbeid | SF1.121 | Diffusjonstett plast (Vegg) | 0,20 mm | 1 | m ² | 0,04 | 31,42 | 31,42 |
| tømrerarbeid | QK1.1221 | Utlekking for innv. Kledning c/c 600 | 48x48 | 1 | m ² | 0,15 | 104,15 | 104,15 |
| tømrerarbeid | TB1.11126 | Mineralull | 50 | 1 | m ² | 0,08 | 75,6 | 75,6 |
| tømrerarbeid | QK5.31222 | Gipsplate innv. Kledning | 13mm | 1 | m ² | 0,2 | 139,38 | 139,38 |
| tømrerarbeid | QK4.324.1122 | Sparkling, grunning, 2 strøk maling | | 1 | m ² | 0,25 | 212,91 | 212,91 |
| tømrerarbeid | QM5.41202 | Taklist furu, ferdig malt | 21x45 | 0,42 | 1m | 0,046 | 88,18 | 37,04 |
| tømrerarbeid | QM5.11232 | Gulvlist furu, ferdig malt | 12x58 | 0,42 | 1m | 0,042 | 81,6 | 34,3 |
| | | Sum | | | | 1,987 | | 1947,67 |

Prisene til veggelementene er hentet fra «totalintreneren#1» bortsett fra prisen på massivtreskiven element på 100 mm som er hentet fra «Produsent#4». Prisen som er hentet fra «Produsent#4» er en gjennomsnittlig pris som gjelder for april/mai 2021. Massivtreet er overflatebehandlet. Ifølge «totalentreprenør#1» inneholder bindingsverkselementet dobbelt så mange komponenter som en massivtrevegg. Det tar derfor lengre tid å sette sammen de komponentene, noe som påvirker den totale kostnaden. Det tar i snitt 1,987 timer å bygge per m² yttervegg av bindingsverk av tre, sammenlignet med yttervegg av massivtre som tar 1,276 timer. Hvis vi ser på priser, koster m² vegg av bindingsverk kr 1967,47 sammenlignet med massivtrevegg som koster 2241,28 kr per m². Selv om bindingsverksvegg inneholder flere komponenter enn massivtrevegg som tar ekstra tid å sette sammen, men den totale prisen av per m² bindingsverk er fortsatt lavere. Det viser at komponentene i bindingsverk er billigere. Det er spesielt massivtrekomponenten som bruker mye tremateriale sammenlignet med stender av heltre noe som øker den totale prisen for massivtrevegg. Yttervegg av massivtre koster 293,61 kr og er dyrere enn yttervegg av bindingsverk av heltre.



Pris i intervjuobjekt#1: Når det gjelder prosjekteringskostnad er det stor utfordring. Det er mange som har kunnskapshul i forhold til massivtre som gjør at dem prosjekterer feil eller har ikke nok kunnskap og dermed ikke tør å prosjektere. Prisen er veldig høy for prosjektering fordi dem må gå to år på kurs for å forstå og prosjektere. Det finnes ikke preaksepterte løsninger.

Pris i intervjuobjekt#2: Når det gjelder pris er mange faktorer som spiller inn slik som hvor materialer kommer fra, tilgjengelighet og om konstruksjonens byggemåte er tilpasset i byggesektoren. Det krever mer trematerial i massivtre, men produksjonen av massivtre pleier å være mer industrialisert med store maskiner som gjør at produksjonen er raskere. Da henter man igjen inn den kostnaden som går i råmateriale. Det er ikke så stor forskjell i pris, men problemet er at massivtre ikke er like kjent som bindingsverk, og det finnes heller ikke like mange kompetente folk innenfor massivtre enn det som finnes innenfor bindingsverk som gjør det litt dyrere å drive med massivtre.

Pris i intervjuobjekt#4: «Det er ikke dyrere å bygge med elementer hvor massivtre er den lastbærende delen av elementet sammenlignet med elementer hvor man bruker bindingsverk. Flere produsenter av bindingsverkselementer bruker dårlige og ufullstendige regnemodeller som gir elementer av massivtre dårligere økonomi, men disse modellene tar ikke hensyn til besparelsene man oppnår ved frakt og montasje av massivtre. For og etterarbeider får store priskonsekvenser for bindingsverk, mens massivtre er ferdig dirkete fra montasjen».

Pris i intervjuobjekt#5: Bindingsverk er en mer tradisjonell byggemåte, og den er allerede tilpasset markedet. Det er mange som har kunnskap og kjennskap om det mens massivtre er et ganske nytt produkt. Det er større etterspørsel etter bindingsverk og større produksjon av det, noe som gjør prisen litt billigere. Hvis massivtre blir mer og mer vanlig og produksjonen økes, så sikker prisen kommer til å endre seg.

Pris i intervjuobjekt#7: Vi har jo holdt med bindingsverk i veldig mange år, og vi har mye kunnskap, utstyr og standardiserte løsninger som gjør at mange entreprenører vil jobbe med det. Når det kommer til massivtre som er en ganske ny byggemåte som krever kunnskap om prosjektering og spesielle utstyr for å montere, og det utfordrer mange entreprenører som ikke tør å satse noe som gjør det dyrere enn bindingsverk. Det finnes ikke standardiserte løsning innenfor massivtre, og



da krever det at man har god kunnskap for å prosjektere noe som mange ingeniører ikke har. Det pådrar seg ekstra kostnader.

Pris i intervjuobjekt#12: Jeg hadde plan å bygge eneboligen min med massivtre, men det viste seg til slutt at det blir dyrt, og jeg ga meg. Det er ikke så utbredt som tradisjonelt bindingsverk, og det er også vanskeligere for å få tak i det for et så lite prosjekt. Folk er generelt ikke så vant med massivtre, og dyrere pris gjør det enda vanskeligere å bygge så små prosjekter med det. Det er nokså vanligere å bygge store bygg med massivtre slik som skole, kontorbygg og store studentboliger.

De fleste aktører i byggebransjen og produsenter gjennom intervjuene hevder at den totale prisen for massivtrekonstruksjonen er litt dyrere, noe som korresponderer med prisen som er hentet fra «totalintreneren#1 og produsent#4». Det skyldes hovedsakelig at innkjøpskostnad er høyere for massivtre, men når det kommer til produksjonskostnad, så er bindingsverks veggen som er dyrere og massivtre billigere. Massivtreelementet inneholder færre komponenter noe som betyr at produksjonstiden blir kortere og det reduserer produksjonskostnaden.

3.5 Brann

Faktorer som påvirker konstruksjoner under brann:

Det er flere faktorer som påvirker hva slags brannegenskaper en trebasert-vegg kommer til å ha. Formen og volumet til treverk påvirker brannegenskapene til en vegg. Jo mer kompakt form og stort volum materialet har, desto gunstigere er det ved eksponering for brann. Densiteten er også veldig viktig fordi den påvirker innbrenningshastigheten. Trevirke med høydensitet pleier å ha lavere innbrenningshastighet. Når innbrenningshastighet går sakte, vil konstruksjonen stå lenger mot brann. Materialets brennbarhet og evnen til brannspredning påvirker dramatisk brannforløpet.

Tabell 29. Teknisk forskrifts krav for ulike etasjer, brannklasse, risikoklasse og brannmotstand til bærende systemer [29].

| Byggverk | Antall etasjer | Risikoklasse | Brannklasse | Brannmotstand til Primære og sekundære bærende system |
|-------------------------------------|----------------|--------------|-------------|---|
| Bolig | 1- 2 | 4 | 1 | REI 15 ¹ |
| Bolig | 3 og 4 | 4 | 2 | REI 60 |
| Bolig | 5 eller flere | 4 | 3 | REI 90 |
| Bolig for hel-døgns pleie og omsorg | 1 - 4 | 6 | 2 | REI 60 |

- 1) Ifølge TEK17 §11- 4 *veiledning til tredje ledd*, kan et byggverk som er i risikoklasse 4 og brannklasse 1 ha hoved- og sekundærbæresystem med minst brannmotstand R15. Ut ifra det kan vi si at bindingsverks veggen kan lett klare å tilfredsstille brannkravet til enebolig med opptil to etasjer som havner i risikoklasse 4 og brannklasse 1. [29].

3.5.1 Brannegenskap bindingsverks konstruksjonen

Ytterveggen i bindingsverk av treverk har bærende brannmotstand REI30 fra innsiden som hoved bærende system. [57, 58, 59, 60].

Det betyr at konstruksjonen ikke klarer å tilfredsstillende bærende brannmotstands-krav for byggverk høyere enn brannklasse 1. I brannklasse 1 havner bolig opptil to etasjer med risikoklasse 4.

3.5.2 Brannegenskap massivtrekonstruksjonen

Massivtrekonstruksjonen har bærende brannmotstand REI60 fra innsiden av konstruksjonen.[61]. Ifølge dataholze.eu oppfyller veggen REI60 krav hvis den skal ha minst 94 mm tykkelse med minst tre lags panel, og topplaget skal ha minst 30 mm tykkelse. Med den egenskapen kan konstruksjonen klare å tilfreds-tille bærende brannmotstand for boliger opptil fire etasjer, og bolig for heldøgns pleie og omsorg opptil fire etasjer.

Brannegenskap intervjuobjekt#1: Massivtre er mer kompakt, og hvis vi bruker riktig lim som tåler varme, så deles den ikke opp av varmetvikling. Det gjør at den er veldig sent i reaksjon på påvirkning av brann. Vi har testet på laboratorier og massivtre viser seg til å være ganske god mot brann. Melaminureaformaldehyd-lim (MUF-lim) er best å bruke på massivtre.

Brannegenskap intervjuobjekt#2: Massivtreelementer har bedre brannegenskap fordi dem er mer massiv og har større tverrsnitt. Bindingsverk mister raskere kapasitet under brann, og da krever det å beskytte mer mot brann.

Brannegenskap intervjuobjekt#5: Massivtre har en mer kompakt form som gjør det mer brannbestandig enn bindingsverk. Jeg tror at massivtre er litt bedre enn bindingsverk.

Brannegenskap intervjuobjekt#6: Erfaringsmessig har massivtre bedre branne-genskap enn bindingsverk, men det kommer an på hva slags materialet det er brukt i konstruksjoner. Ifølge vårt teknisk godkjente element kan bindingsverks elementet klare REI30. Når det gjelder massivtre, så har vi verken preaksepterte løsninger eller testet selv. Jeg tror at massivtre har bedre brann egenskap enn bindingsverk.



Resultatene om brann fra kvalitative fokusintervjuer bekrefter at massivtre er mer brannbestandig enn bindingsverk. Brannegenskapene til massivtrekonstruksjonen er funnet fra dataholz.eu som jeg fikk lenken fra totalentreprenører i intervjuobjekt#1.

Som vi ser har massivtreveggen bedre brannegenskaper enn bindingsverksveggen. Dette gjelder hvis veggene blir eksponert for brann på samme måte.

Massivtre har stor styrke og kompakt form noe som gir større holdbarhet under brann. For å oppnå høyere bærendebrannmotstand enn REI60 kan tykkelsen til massivtreskiven økes, og ubrennbare materialer slik som branngipsplate brukes som innvendig kledning. Brannmaling og overflate behandling er også nødvendig i mange tilfeller. Innvendig isolering og sprinkelanlegg har en veldig positiv effekt mot brann.

Bindingsverk-konstruksjonen kan tilfredsstillere REI60 hvis det brukes minst 15 mm branngipsplate som innvendig kledning og 9,5 mm Gyproc vindsperreplate med 48x198 mm stendere av tre. [62].

3.6 Bæreevne

Bæreevne til yttervegg er viktig for at byggverk klare å stå mot ulike belastninger. Ytterveggen skal klare å stå både mot vertikal last og horisontal last.

Figur 42 viser kapasitet for sentrisk vertikallast per meter vegg for ulike knekk-lengde for massivtrevegg med en tykkelse på 100 mm. Fra diagrammet ser vi at jo større knekk-lengde, jo lavere sentrisk vertikalbelastning per lengde enhet. Med en vegg høyde på 2,4 meter blir den sentriske vertikallastbelastningen 250 kN/m.

Hvis vi ser på en vegg av bindingsverk som består av stendere 48x198 mm, med plassering C/C 600 mm, styrkeklasse C24 og knekk-lengde 2,4 m, får vi sentrisk vertikal last 111 kN fra tabellen 31. For å finne linjelastkapasiteten til konstruksjonen deles vertikallasten kapasiteten på C/C avstanden som er 0,6 m. Da får vi $111 \text{ kN} / 0,6 \text{ m} = 185 \text{ kN/m}$.

På grunn av at massivtreveggens krysslågt paneler, kan veggen også motta høyere horisontale laster. Den kan derfor brukes samtidig som avstivende for byggverk. Stor styrke og stivhet for massivtreskiven gjør det økonomisk mulig å bruke i høyere boliger og industribygg med flere etasjer.

Når det gjelder bindingsverksveggen, så bør den avstives. Den tar mest vertikale laster og er svak mot horisontale laster. Avstiving mot vindlast er spesielt viktig. Det er spesielt viktig i områder med mye vind.

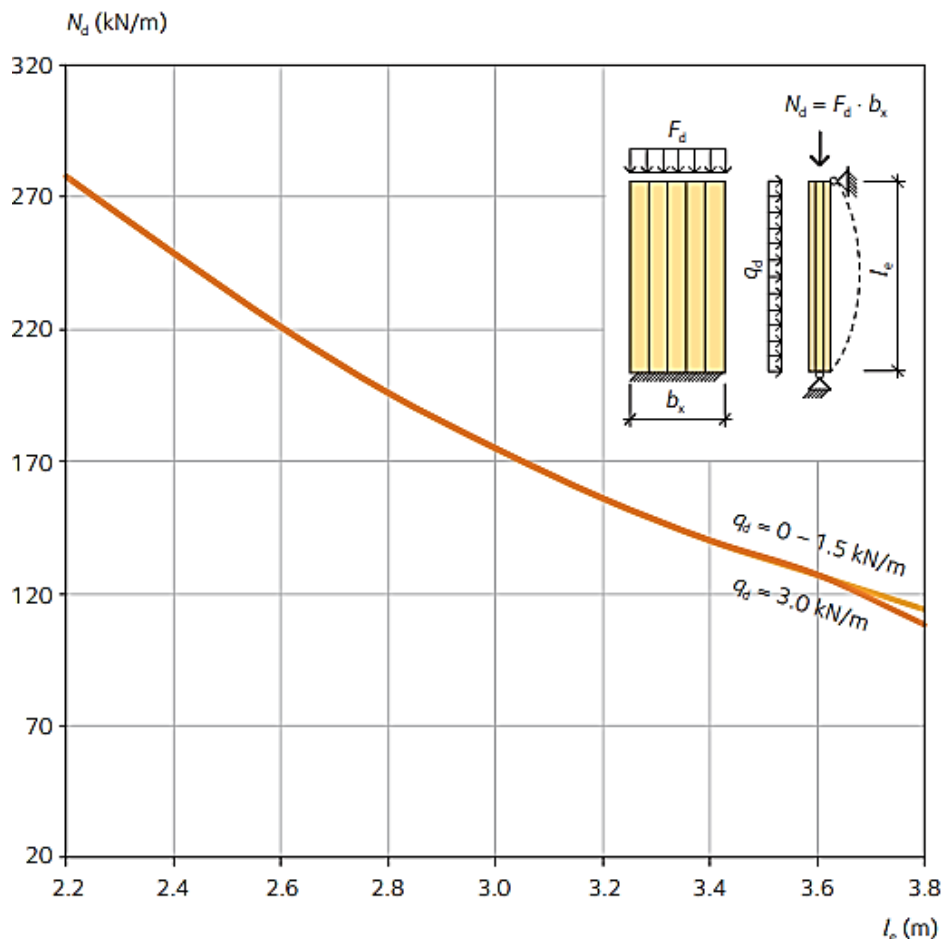
Tabell 30. Tabellen under viser resultater av bæreevne av massivtre vegg og bindingsverks vegg mot sentrisk vertikal last.

| | Massivtre-vegg | Bindingsverk-vegg |
|---------------------|--|--|
| Knekk-lengde [m] | Sentrisk vertikal belastning [kN/m] | Sentrisk vertikal belastning [kN/m] |
| 2,4 | 250 | 185 |

Tabell 31. Kapasitet (kN) for sentrisk belastede trykkstaver av heltre stender med dimensjon 48x198 mm og med styrkeklasse C24 og klima klasse 1 og 2. [63]

| Dimensjon mm x mm | Akse | Lengde (m) | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|------|------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| | | 0,3 | 0,6 | 0,9 | 1,2 | 1,5 | 1,8 | 2,1 | 2,4 | 2,7 | 3,0 | 3,3 | 3,6 | 3,9 | 4,2 | 4,5 | 4,8 |
| 48 x 198 | Z | 133 | 131 | 129 | 126 | 123 | 120 | 116 | 111 | 105 | 98 | 90,1 | 81,7 | 73,5 | 65,9 | 59,1 | 53,1 |
| | Y | 126 | 110 | 78,6 | 50,4 | 33,8 | 24,1 | 17,9 | 13,9 | 11,1 | 9,0 | 7,5 | 6,3 | 5,4 | 4,7 | 4,1 | 3,6 |

Figuren 42 viser en laboratoriet testet undersøkelse av massivtre veggskive med 100 mm tykkelse. Det viser at tillatt vertikal belastning N_d per meter lengde for forskjellige fordelte last q_d og for de ulike veggghøyder l_e .



Figur 42. Dimensjonerende sentrisk vertikalbelastning for massivtre-vegg med tykkelse på 100 millimeter dimensjonert for sikkerhetsklasse 3, lastvarighetsklasse medium (M) for vertikal belastning og kort tid (S) for tverrlast og klimaklasse 1 eller 2. [9].



Intervjuobjekt #1: En av de viktigste fordelene med massivtre er at den er veldig stiv, og den har god bæreevne. Det er også lett med massivtre å få den stiv mot vind enn bindingsverk. Med massivtre kan man bygge mye større bygg.

Intervjuobjekt#5: Det er klart massivtreelementet som har større styrke og stivhet som gjør at det egner også til både større og høye hus. Hvis vi øker tykkelsen til massivtre, kan vi bygge høye bygg med det. Bindingsverk egner seg best for de mindre og lavere byggene fordi vi kan ikke bruke det som bærende elementer i de veldig høye byggene.

Bæreevne-resultatene til de to konstruksjonene som er funnet, er samsvarende med det som er funnet gjennom intervjuene. Resultatene fra de to konstruksjonene viser at massivtrekonstruksjonen med 100 mm tykkelse har større sentrisk vertikallast bæreevne enn bindingsverk med stender 48x198.

3.7 Lyd

Lydforholdet i hver eneste bygg er i stor grad med for å påvirke materialvalg og oppbygging av konstruksjonene. Lydkrav til ulike områder i et bygg og bygningsdeler finnes i NS 8175. Når det gjelder yttervegg er det ikke noe særlig krav bortsett fra krav mot utendørstøy, noe som varierer fra område til område. Derfor burde det prosjekteres for hvert enkelt bygg.

3.7.1 Lydreduksjonstall av bindingsverksveggen

For å sjekke lydreduksjonstallet til de to konstruksjonene er det brukt dataholz.eu som er en nettbasert katalog innenfor tre- og trebaserte konstruksjoner, byggematerialer, komponenter og komponentforbindelser for trekonstruksjoner. Alle bygningsdelene som finnes i denne nettbaserte katalogen, er testet og beregnet i henhold til europeiske standarder. [61].

Ifølge datahold.eu varianten «awrhhi01a-03» som har samme oppbygging som den valgte bindingsverkelementet. Varianten «awrhhi01a-03» inneholder en ekstra gipsplate og 8 mm mindre isolasjonstykkelse i innvendig påføring. Den har lydreduksjonstall $R_w (C, C_{tr}) = 51 (-3, -10)$ dB. [64].

Ifølge tabellen 10 reduserer en vanlig gipsplate luftlyden gjennom veggen med 0 – 1 dB. Dette viser at en vanlig gipsplate ikke har så mye å si for lydreduksjonstallet. Det er også 8 mm forskjell i isolasjonstykkelse i innvendig påføring. Det har lite å si, men bør testes for å finne hvor mye innvirkning den har på lydreduksjonstallet. R_w er lydreduksjonstall som indikerer hvor mye dB som reduseres når lyd passerer gjennom veggelementet. C og C_{tr} er korreksjonsfaktorer, nemlig C for det middels frekvensområdet (f.eks. vanlig tale) og C_{tr} for det lave frekvensområdet (f.eks. Trafikk). Den reelle verdien ($R_w + C_{tr}$) av støyreduksjon av varianten ved en trafikkvei er derfor 41 dB (51-10 dB). Hvis vi tar med korreksjonsfaktoren C blir reduksjonstallverdien $R_w = 37$ dB

3.7.2 Lydreduksjonstall massivtre vegg

Ifølge dataholz.eu er varianten «awmoho05a-01» med betingelse at massivtre-ski-ven skal være mellom 94-105 mm tykk ytterveggselementet lydreduksjonstall $R_w (C, C_{tr}) = 41$ dB. [65].

Intervjuobjektene respons på lyd:

Intervjuobjekt #1: Ingen av dem er noe særlig gode i seg selv på lyd løsning. Styrken ligger i kombinasjon av materialene, men svakheten er at dem er for lette. Materialer som er for lette settes lett i vibrasjon akkurat som boksen på gitar. Samarbeid mellom ulike materialer som gjør at lydegenskapen blir god. Likheten mellom dem er ganske stor. Du kan også studere lyd egenskap og brann egenskap til massivtre og bindingsverk på dataholz.eu.

Intervjuobjekt #2: Før det første er det veldig sjeldent at man har lydkrav for yttervegg. Jeg tipper at bindingsverks element er bedre fordi den er en veldig kjent byggemåte, og det finnes dokumenterte løsninger, men forskjellen er ikke så stor for akkurat de to ytterveggselementene. Når det gjelder ytterveggselementer er det mange andre faktorer slik som vinduer og dører som spiller store roller. Det er viktig at rundt vinduer og dører blir godt tett.

Intervjuobjekt #5: Det er ikke noe problem for de to elementene når det gjelder lyd fra ut mot inne og inne mot ute. Problemet ligger lyd gjennom skjøtene. Vi har mer kunnskap om bindingsverk enn massivtre, og det finnes mer preaksepterte løsninger med bindingsverk enn massivtre som gjør at det er tryggere å arbeide med bindingsverk. Når det gjelder massivtre yttervegg, så brukes det elastomerlist (en type gummi) mellom vegg skiver og etasjeskiller skive for å tette mot lyd. Jeg ser ikke så stor forskjell mellom akkurat de to elementene.

Intervjuobjekt #6: Når det gjelder yttervegg er det ikke lyd som er den største utfordringen. I Noen spesielle områder med mye utendørsstøy skal det gjøres noe med. Begge av dem klarer å stoppe lyd gjennom selve elementet, men problemet er større med lydoverføring gjennom skjøtene og vindus karm og dørs karm. Hvis vi har like mye kunnskap om begge av dem, så er det ikke noe problem med tanke på lyd. Vi har mer erfaring med bindingsverk, og det er litt lettere med bindingsverk enn massivtre.

Intervjuobjekt #7: Jeg hadde selv mange intervjuer med erfarne aktører. Lydegenskapen til massivtre trektes frem som en av hovedutfordringene. Det gjelder spesielt etasjeskillene og rom til rom vegg. Yttervegger har ikke noe særlig lyd krav, men i områder med mye utendørsstøy kreves det å skjerme mot utendørsstøy. Da må det være tett rundt vinduer og dører for å få godt inn klima. Jeg antar at

bindingsverk er litt bedre med tanke på lyd. Det er sikkert fordi vi kan mye mer om det enn massivtre.

Intervjuobjekt#10: (Det finnes ikke fast tallverdi for yttervegg, men hvis det er mye utendørsstøy så skal det skjermes mot det. Det kommer også an på hvor mye støy det er i det område. Hvis vi ser på lydegenskap til de to elementene, så tipper at det er omtrentlig likt. Det er ikke så stor forskjell.

Massivtre-vegg elementet kan overføre lyd gjennom veggen til naboens sin boenhet. Dette skjer hvis ikke knutepunkt mellom dekke og yttervegg gjøres på en god måte. Vi kan for eksempel elastomere mellom ytterveggselement av massivtre og dekke for å eliminere stiv koblingen.

Hvis vi tenker generelt, er det mer å tenke ved å bygge med massivtre. Det er sikkert fordi vi ikke har like mye erfaring med massivtre som vi har med bindingsverk. Det er fremdeles et relativt nytt materiale og byggemåte. En må tenke seg godt om når man bygger, men man klarer kravene til slutt med tanke på lyd).

Vurdering av lyd resultater

Gjennom intervjuene dukket det opp ulike synspunkter og erfaringer, men de fleste av dem hevder at det ikke er så stor forskjell mellom massivtre og bindingsverk når det gjelder lyd som passerer gjennom selve elementet. Problemet ligger der lyd passerer gjennom skjøtene/knutepunkter.

Når det gjelder lydoverføring gjennom knutepunkter, har bindingsverkelementet bedre lyd egenskap ifølge gruppeleder akustikk i intervjuobjekt#10. Det kan skyldes at vi har mindre kunnskap om massivtre noe som gjør det mer utfordrende. En annen faktor er at massivtre gir generelt stivere koblinger uten ytterligere tiltak, og stive kobling overfører lyden lettere. Massivtre-vegg elementet kan overføre lyd gjennom ytterveggen til naboens sin boenhet, hvis knutepunktet mellom dekke og yttervegg ikke gjøres på en god måte ifølge intervjuobjekt #10.



3.8 Vedlikehold og drift

Ifølge teknisk sjef i intervjuobjekt#1 viser erfaringer med trehus av massivtre at det krever mindre drift og vedlikehold enn trehus av bindingsverk. Mengde energi som det er lov å beregne i teorien er forskjellig fra mengde energi som blir brukt i realiteten. Effekt av energibruken i byggene regnes som den hoved årsaken.

Påstanden i intervjuobjekt#1 i forhold til energiberegning i teorien og energiforbruk i virkeligheten stemmer resultatene fra studenthuset av massivtre i Oslo. Der ble energien beregnet til 82 kWh per kvadratmeter, men etter at bygget sto ferdig viste det seg at det er 46 kWh per kvadratmeter. Alle bæresystemer i den studentboligen er av massivtre i motsetning til de fleste studentboliger. De fleste blir bygd med hovedbæresystemer av limtre og sekundære bæresystemer av massivtre [66]. Det er fortsatt behov for mer forskning i stor skala for å finne ut enda mer.

Intervjuobjekt #1: *«Mine kunder gir tilbakemelding om at trehus av massivtre er mindre krevende for drift og vedlikehold enn bindingsverks husene. Grunnen er at det har noen effekter av energi bruk på de byggene som vi har ikke lov til å regne med når vi bygger husene som gjør at energi bruken er vesentlig lavere enn det vi teoretisk har lov til å regne. Det gjør at driftsøkonomien blir særdeles gunstig. Vi beregner kanskje 90 KW per kvadrat per år, men det brukes i realiteten kanskje bare 50 KW per kvadrat.»*

4 DEL D: Diskusjon/drøfting

I denne delen diskuteres de ulike temaene mot egne beregninger og relevant litteratur nevnt i teorikapittelet. Her kommer det egne refleksjoner og tolkninger.

Begge elementene er trebaserte konstruksjoner, og det er derfor viktig å sjekke fuktgenskapene deres. Fuktskader i trebaserte konstruksjoner har både økonomiske og helsemessige konsekvenser. En undersøkelse av 10 000 boliger utført av firmaet Anticimex som samarbeider med FHI (folkehelseinstituttet) er det fuktproblemer hos 3 av 10 boliger [67]. Muggsopp og fukt er regnet som de viktigste helseskadelige faktorene på innemiljøet. Elementene som ble sjekket med glasermetoden og WUFI Pro viste at ingen av konstruksjonene var utsatt for fukt eller kondens.

Massivtresjiktet i massivtrekonstruksjonen viste seg å ha bedre uttørkingsevne, dette ble også påpekt av intervjuobjekt #8, intervjuobjekt #11 og kom også frem i en undersøkelse utført av Mycoteam. Intervjuobjekt #8 og #11 påpekte spesielt at oppbyggingen av konstruksjonen var en positiv faktor mot fukt og kondens. I vann-testundersøkelsen viste det seg også at massivtre var mer effektivt mot muggvekst enn bindingsverk [20]. Dette er fortsatt et område som krever mer forskning. Disse konstruksjonene bør undersøkes i realistiske forhold og bli utsatt for ulike fuktighetsgrad, innvendig og utvendig. Når konstruksjonene blir prosjektert i realistiske forhold blir de utsatt for fukt under transport, montasje, ulike værforhold, eventuelt luftlekkasje og ikke minst fukt på grunn av innvendig aktivitet over lang tid. Disse faktorene vil ha en påvirkning på konstruksjonenes evner mot fukt.

U-verdiberegningene med manuellberegning og programmet THERM viste at massivtrekonstruksjonen gir en lavere U-verdi enn bindingsverk. Gapet mellom u-verdiene blir enda større når treandelen øker i bindingsverkskonstruksjonen. Funnene gjennom intervjuene er også kompatible med det som kom frem med beregninger. Lave U-verdier betyr mindre passering av varme gjennom konstruksjonen, som bidrar med at et bygg bruker mindre energi. Dette er både bra for miljøet og økonomien.

En kuldebro påvirker energibruken og inneklimaet i en bygning. Områder som skaper kuldebro, kan gi kondens på overflater som kan føre til fuktskader. Fukt har en negativ påvirkning på både helse og inneklima. Derfor er det en stor fordel med konstruksjoner som kan eliminere kuldebroer. Funnene fra intervjuene og beregningene viser at massivtrekonstruksjonen gir mindre kuldebroer.

Når det gjelder lineære kuldebroer, regnes massivtrekonstruksjonen som fri for kuldebroer. Det utvendige isolasjonssjiktet i massivtrekonstruksjonen brytes ikke av dekke, og den virker som en kontinuerlig og kraftig kuldebroyter. Når det kommer til geometriske kuldebroer, blir forskjellen mellom de to konstruksjoner veldig liten. Lineære kuldebroer har det største varmetapet og har derfor også den største innvirkningen på energibruken. Det er ikke så overraskende at de eldre byggene etterisolerers utvendig når utvendig etterisolering gir lite kuldebroer.

Kostnad har en stor påvirkning, enten direkte eller indirekte. Kostnaden påvirker valg av kvalitet på materialer og kvaliteten påvirker den totale prisen til en bygningsdel. Prisene som er hentet fra totalentreprenør #1 viser at massivtre elementet koster litt mer enn bindingsverk. Dette skyldes hovedsakelig at massivtre konstruksjonen bruker mer materiale. I en massivtrekonstruksjon er det massivtre komponenten som øker kostnaden mest. I mange tilfeller er overflatebehandling av massivtre nødvendig for å øke ytelsen, dette har også sin påvirkning på kostnaden. Synspunkter og erfaringer som dukket opp gjennom intervjuene peker på at det er prisen som er en av de viktigste faktorene for at folk ikke bygger små bygninger av massivtre. Andre faktorer som påvirker, er at de ikke er tilpasset markedet ordentlig. Det finnes ikke like mange produsenter av massivtre som det finnes for bindingsverk, noe som gjør massivtre mindre synlig og indirekte utilgjengelig. Manglende kunnskap, planlegging, spesialutstyr og nye byggemåter gjør det litt mer utfordrende for både privatpersoner og byggselskaper å håndtere massivtre på like linje som bindingsverk. Massivtre er et område det forskes mye på, og bruken av massivtre øker for hvert år som går.

Massivtre er et byggemateriale med svært god bæreevne. Det kan ta fysiske krefter fra flere retninger som gjøre det til et populært byggemateriale. Stivheten og styrken gjør at den egner seg til bruk på store og kompliserte bygninger. Dets unike flerdimensjonale styrke gjør at den regnes som et gunstig materiale i områder med mye vind. Det kan ta vindlasten og det er da mindre behov for vindavstiving.

Vindavstiving er spesielt viktig for høye bygninger. Bindingsverk er også en god bygningskonstruksjon, men den har mindre bæreevne og har ikke like god evne til å ta krefter i flere retninger. Den egner seg best som et bærende system i mindre bygninger. Den egner seg ikke like godt som bærende bygningsdel i høye bygninger. Mjøstårnet i Brumunddal som er verdens høyeste trebygning i dag er et godt eksempel på bindingsverkselement som ikke er bærende. Der er bæresystemet hovedsakelig av limtre, men bindingsverkselementer er brukt som klimaskjerm. I dag blir massivtre ansett som et godt byggemateriale som kan konkurrere med betong på mange områder. Det er mye snakk om at det er behov for en reduksjon av klimagassutslipp på grunn av global oppvarming. Under produksjon av sement slippes det ut mye CO₂. Byggesektoren sto for 40 % av klimagassutslippene i 2015 [1]. Treets styrke og stivhet i forhold til vekt gjør det til et godt alternativ som erstatter til betong og stål. Bygninger av tre har lavere vekt, og lavvektbygninger krever mindre betong i fundamentet som igjen reduserer utslippet. Lav vekt er også bra for transport. Klimagassutslipp under transport regnes som en av hovedkildene til CO₂ utslipp. [68]. Med trebaserte produkter kan vi både lagre karbon og erstatte karbon.

Brannegenskapene til trebaserte byggkonstruksjoner er en av de mest kontroversielle temaene. Ved flere etasjer i et bygg blir brann- og lydkravene strengere og vanskeligere å tilfredsstille. Under seminaret «bygninger av trekonstruksjon» var brann- og lydkrav et av de temaene som ble snakket en del om. Det ble evaluert hvordan brann- og lydkrav blir løst. Det var også snakk om prosjekter hvor de hadde mislykket i å tilfredsstille brann- og lydkrav, og hva vi kan lære av byggene som allerede er bygd [47]. Det finnes ikke mange norske standardiserte løsninger for massivtre og det viser at det er et stykke å gå. Funnene gjennom intervjuene viser at massivtre har ganske gode brannegenskaper, men problemet er at regelverket ikke er tilrettelagt for det, og gjør det derfor vanskeligere å bruke. Det jobbes for at standarder skal tilpasses massivtre.

Lyd er et komplisert tema. Dette blir enda viktigere når det gjelder trebaserte konstruksjoner ettersom at det er et ganske lett materiale i forhold til f.eks. betong. Lette materialer har lav overflatemasse som gjør at den lett blir satt i svingninger. Det er enda verre for trekonstruksjoner som gir stive koblinger og mer kontaktflate fordi de da overfører lyden ganske lett [40]. Et eksempel på dette er vertikal



lydoverføring gjennom veggkonstruksjonen (flanketransmisjon) til naboens boenhet i etasjen over eller etasjen under. Den typen lydoverføring er massivtre mer utsatt for, enn bindingsverk på grunn av de stive/harde koblingene og store kontaktflatene. Det bør da gjøres tiltak som reduserer eller eliminerer helt denne typen lydproblematikk. Ifølge intervjuobjekt #10 er et av de vanligste tiltakene at det benyttes elastomerlist mellom ytterveggen og etasjeskiller. Ifølge intervjuobjekt #6 skal det ikke være noe problem når det gjelder lydpassering direkte gjennom veggkonstruksjoner. Ifølge dataholz.eu har de to konstruksjonene ganske like lydegenskaper når det kommer til lydpassering gjennom konstruksjoner. For å få en konkret lydreduksjonstallverdi for bindingsverk bør det testes i laboratoriet. Grunnen er at varianten «awrhhi01a-03» avviker fra bindingsverkskonstruksjonen med en ekstra gipsplate og har 8 mm mindre isolasjon. Tabell 10 viser at en vanlig gipsplate har 0-1 dB lydforbedringsevne. Dette har ikke stor betydning for den totale konstruksjonen. Hvor stor betydning det har med 8 mm mineralull som isolasjon er ikke testet i laboratoriet. Ifølge SINTEF's tekniske godkjenning, kan boligens lydkrav som er 55 dB (ved ferdig utbygd), tilfredsstilles med bindingsverkskonstruksjonen. [57].

Bygninger som er gode på drift og vedlikehold har i utgangspunktet et godt grunnlag for lengre levetid. Hvis det kreves mer vedlikehold, betyr dette at det kreves mer arbeid, som medfører en økonomisk belastning. På den andre siden er vedlikehold helt nødvendig for å øke levetiden. Massivtre er et relativt nytt materiale, og de første observasjoner i forhold til drift og vedlikehold er ganske grunnleggende. For å få det reelle bildet av behovet er forskning over lang tid nødvendig.



4.1 Konklusjon

Hensikten med oppgaven var å undersøke og sammenligne egenskapene til to typer prefabrikkerte ytterveggselementer av massivtre og bindingsverk med hovedvekt på veggelementenes egnethet i enebolig og boligblokk.

Resultatene av de kvalitative intervjuene, numeriske simuleringene og matematiske beregningene viser at massivtrekonstruksjonen har bedre egenskaper på flere områder enn bindingsverkskonstruksjonen.

Resultatene gjennom de kvalitative intervjuene, vanntestundersøkelsene og numeriske simuleringene viser at ingen av konstruksjonene er utsatt for fukt, men oppbyggingen av massivtrekonstruksjonen gjør den litt mer bestandig mot fukt og muggvekst enn tradisjonelt bindingsverk. Forutsetningen er at konstruksjonene blir utsatt for samme mengde fukt og på lik måte.

Massivtrekonstruksjonen gir lavere U-verdier og kan også eliminere lineære kuldebroer. Kontinuerlig utvendig isolasjonen viser seg å være svært gunstig i forhold til lineære kuldebroer. Når det gjelder geometriske kuldebroer blir forskjellen minimal mellom dem, men massivtreet viser fortsatt et bedre resultat.

Byggene som er bygd med massivtre er mindre krevende å vedlikeholde. Hovedgrunnen er at det regnes som lavere energibruk enn det som er lov til å beregne i teorien.

Innkjøpsprisen på massivtrekonstruksjoner er dyrere enn innkjøpsprisen på bindingsverk, og det skyldes stort sett mengden tremateriale i massivtrekonstruksjonen, men produksjonskostnaden til bindingsverk er høyere fordi det inneholder flere komponenter. Den totale prisen til massivtre er likevel litt høyere. Prisene gjelder våren 2021, og kan endre seg.

Massivtrekonstruksjonen har god styrke og stivhet som gjør at det har bedre bæreevne både vertikalt og horisontalt og kan også ha stabiliserende og avstivende effekt. I massivtrekonstruksjonen fordeles lasten kontinuerlig i motsetning til bindingsverkskonstruksjonen som blir påkjent med punktlaster. Fordelen med kontinuerlig last er at man unngår lokale påkjenninger.

Massivtreets solide oppbygging, mengde tre og treets oppførsel under brann gjør at det er tregt i reaksjon ved branneksporing som får det til å være mer brannbestandig enn bindingsverkskonstruksjoner. Bindingsverkskonstruksjonen klarer



ikke å tilfredsstille mer enn REI30 noe som resulterer at det ikke kan benyttes på eneboliger med mer enn to etasjer uten ytterligere tiltak. Massivtre elementet tilfredsstiller REI60, og det egner seg for boliger opptil 4 etasjer.

Massivtre gir større vertikale lydoverføringer gjennom veggens konstruksjon enn bindingsverk. Dette skyldes hovedsakelig at konstruksjonen har stive/harde koblinger og mer kontaktoverflate. Det kan være problematisk for boenheter i underetasjen eller overetasjen. Det er også mer utfordrende å løse knutepunkter som er hensiktsmessige mot lyd med massivtre enn bindingsverk. Når det gjelder lydpassering direkte gjennom konstruksjoner har disse konstruksjonene ganske jevnt lydreduksjonstall.



5 DEL E: Forslag til videre arbeid

Forslag til videre studier er hvordan man kan sette sammen disse konstruksjons-elementer med andre type bygningselementer til store bygningsmoduler for å undersøke hvor effektivt og produktivt det er å bygge med moduler i høye og store bygninger.

Det kan også undersøkes hvor gunstig det er å kombinere disse type konstruksjoner med andre type bygningskonstruksjoner og materialer for å se eventuelle endringer i egenskapene.

6 Referanseliste

Det er benyttet Vancouver stilen for referanse listen i denne oppgaven.

[1] TU Bygg, Bygg står for 40% av verdens utslipp - slik skal det reduseres: 2015 lest 23.01.2021 tilgjengelig fra: <https://www.tu.no/artikler/bygg-star-for-40-av-verdens-utslipp-slik-skal-det-reduseres/223922>

[2] Flatland, Roar. Fokus på tre-tradisjonsbasert trebruk . Oslo: Norsk Treteknisk Institutt; lest 23.01.2021 Tilgjengelig fra <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/41-Tradisjonsbasert-trebruk.pdf>

[3] Trefokus, Hvorfor er tre et miljøvennlig byggemateriale? Oslo. Lest 24.01.2021 Tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/treveilederen/temaer/miljo-og-bere-kraft/hvorfor-er-tre-et-miljovennlig-byggemateriale->

[4] Bugge Lars, bruk av tre i offentlige bygg Asplan Viak : 2016 lest 23.01.2021 Tilgjengelig fra: <https://d21dbafykfdck9.cloudfront.net/1481729588/bruk-av-tre-i-offentlige-bygg.pdf>

[5] Asheim E. Bygge med massivtreelementer, hefte 1 - generelt, Oslo: Norsk Treteknisk Institutt; 2006. Lest 28.01.2021. Tilgjengelig fra: <http://www.tretek-nisk.no/resources/filer/publikasjoner/teknisk-handbok/Hefte-1-Generelt.pdf>

[6] SINTEF Byggforsk 520.205: Massive treelementer. Typer og bruksområder, 2018 lest 28.01.2021 tilgjengelig fra: <https://www.byggforsk.no/dokument/3009/massive-treelementer-typer-og-bruksomraader>

[7] Asheim E. Bygge med massivtreelementer, hefte 3 – dimensjonering , Oslo: Norsk Treteknisk Institutt; 2006. Lest 03.02.2021. Tilgjengelig fra: <http://www.tretek-nisk.no/resources/filer/publikasjoner/teknisk-handbok/Hefte-3-Dimensjonering.pdf>



- [8] CLT by Stora Enso : Technical brochure: 2017 Lest 03.02.2021 Tilgjengelig fra: https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/product-brochures/wood-products/clt-by-stora-enso-technical-brochure-en.pdf?fbclid=IwAR0-RZuHRCfT3VIHsdLK9ua6em-0VmYrbw3oMX-iP_t4JB4gCOR8VU5BR54
- [9] Borgström og Fröbel: KL-trähandbok- Fakta och projektering av KL-träkonstruksjoner Stockholm: 2017 lest 05.02.2021 Tilgjengelig fra : <https://www.svenskttra.se/siteassets/5-publikationer/pdfer/svt-kl-trahandbok-2017.pdf>
<https://www.woodcampus.co.uk/wp-content/uploads/2019/05/Swedish-Wood-CLT-Handbook.pdf>
- [10] SINTEF. Unngå skadekonstruksjoner i massivtre, SINTEF: 2017 lest 10.02.2021 Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/community/fagblogg/poster/unnga-skadekonstruksjoner-i-massivtre/>
- [11] Edvardsen og Ramstad Trehus, håndbok 5. Oslo: SINTEF akademiske forlag; 2014 Lest 10.02.2021
- [12] SINTEF Byggforsk 472.001 Kuldebroer. Typer, konsekvenser og bruk av normalisert kuldebroverdi, 2019 lest 12.02.2021 Tilgjengelig fra: <https://www.byggforsk.no/dokument/5206/kuldebroer-typer-konsekvenser-og-bruk-av-normalisert-kuldebroverdi>
- [13] SINTEF. Er huset ditt klart for en ny vinter?, SINTEF: 2017 lest 12.02.2021 Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2017/er-huset-ditt-klart-for-en-ny-vinter/>
- [14] SINTEF Byggforsk 471.010 Varmekonduktiviteten og varmemotstand for bygningsmaterialer: september 2020 lest 13.02.2021 Tilgjengelig fra:

https://www.byggforsk.no/dokument/209/varmekonduktivitet_og_varmemotstand_for_bygningsmaterialer

[15] Windows and Envelope Group. THERM. THERM's two-dimensional conduction heat-transfer analysis is based on the finite-element method, which can model the complicated geometries of building products: Tilgjengelig fra : <https://windows.lbl.gov/software/therm>

[16] Gustavsen Arild. Nye isolasjonsmaterialer i verneverdige bygg - muligheter og begrensninger. Trondheim: NTNU Forskningscenter for nullutslippsbygg: 2016 Lest 14.02.2021 Tilgjengelig fra : https://www.trondheim.kommune.no/globalassets/10-bilder-og-filer/10-byutvikling/miljoenheten/byantikvaren/vitalisering-av-kjopmannsgatebryggene/brygger-og-andre-kaldhus/arild-gustavsen_nye-isolasjonsmaterialer-i-verneverdige-bygg.pdf

[17] Gustavsen Arild. Bygningsfysikk. Trondheim: NTNU Lest 14.02.2021 Tilgjengelig fra: <http://bygningfysikk.no/index.php>

[18] SINTEF Byggforsk 421.132 Fukt i bygninger. Teorigrunnlag: juni 2018 lest 15.02.2021 Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/184/fukt_i_bygninger_teorigrunnlag

[19] Friland Ivar, Doktorgrad stipendiat. forelesning i TBA331 (bygningfysikk simulering). ÅS: NMBU; 2019

[20] Kunøe, Christopher. Massivtre slo bindingsverk og gips. Oslo: Byggmesteren; 2017. Lest 18.02.2021. Tilgjengelig fra: <https://byggmesteren.as/2017/09/25/massivtre-slo-bindingsverk-gips/>

[21] Gustavsen Arild. Glaser metoden. Trondheim: NTNU Lest 22.02.2021 Tilgjengelig fra: <http://www.wufi.no/Introduksjon.php3>

[22] Little Joseph med flere . Assessing Risks in Insulation Retrofits Using Hygrothermal Software Tools. Dublin : Technological University Dublin 2015: lest 22.02.2021 Tilgjengelig fra: <https://arrow.tudublin.ie/cgi/viewcontent.cgi?article=1005&context=bescharcrep>

[23] WUFI® Team. Department Hygrothermics at the Fraunhofer IBP. lest 25.02.2021 Tilgjengelig fra: <https://wufi.de/en/>

[24] Asheim E. Bygge med massivtrelementer, hefte 4- brann, Oslo: Norsk Treteknisk Institutt; 2006. Lest 29.02.2021. Tilgjengelig fra: <http://www.tretek-nisk.no/resources/filer/publikasjoner/teknisk-handbok/Hefte-4-Brann.pdf>

[25] Norsk Massivtre. Elementer. Nettside: lest 29.02.2021. Tilgjengelig fra: <https://norskmassivtre.no/elementer/>

[26] Wormdahl E.D med flere. Brannsikkerhet i bygg med massivtre – Litteraturstudium, SP Fire Research AS: 2016 lest 30.02.2021 Tilgjengelig fra: https://dibk.no/globalassets/02.-om-oss/rapporter-og-publikasjoner/spfr-a16-20229-brannsikkerhet-i-bygg-med-massivtre_spfr-2017.pdf

[27] Synnes. R.O.J. Styrkerelaterte eigenskapar til to trelimssystem ved ulike temperaturar – eit metodestudie ved bruk av dynamisk mekanisk analyse (DMA) [masteroppgave]. NMBU : 2019 lest 31.02.2021 Tilgjengelig fra: <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/2652757/Synnes2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[28] The European Union. Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-2: General - Structural fire design: 2009 lest 01.03.21 tilgjengelig fra: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1995.1.2.2004.pdf>

[29] DiBK. Generelle krav til sikkerhet ved brann lest 01.03.21 Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/11/i/11->
<https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/11/i/11-2/>
<https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/11/i/11-3/>



- [30] Dørum Joakim. Green advisers 2021
- [31] Greenspec. Crosslam timber / CLT- Fire resistance and rating tilgjengelig fra: <https://www.greenspec.co.uk/building-design/crosslam-timber-fire-resistance-and-rating/>
- [32] Bartlett Alastair med flere. Analysis of cross-laminated timber upon exposure to non-standard heating conditions. Edinburgh . The University of Edinburgh : 2015 Lest 04.03.2021 Tilgjengelig fra: https://www.researchgate.net/profile/Luke-Bisby/publication/270875737_Analysis_of_cross-laminated_timber_upon_exposure_to_non-standard_heating_conditions/links/55dde1a308ae45e825d392eb/Analysis-of-cross-laminated-timber-upon-exposure-to-non-standard-heating-conditions.pdf
- [33] Steen-Hansen, Anne med flere. brann tekniske krav til materialer, Trondheim, Sintef: november 2008 lest 05.03.2021 Tilgjengelig fra: <https://risefr.no/media/publikasjoner/upload/nbl-a08122.pdf>
- [34] BYGGTEKNISK FORESKIRFT. Kapittel 11 Sikkerhet ved brann . lest 05.03.2021 Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/Templates/DIBK/Pages/Veiledninger/Print/PrintChapter.aspx?chapterId=20619>
- [35] Aanensen, Preben. Bygge med massivtreelementer, hefte 5 - lyd, Oslo: Norsk Tre-teknisk Institutt; 2016. Lest 05.02.2020. Tilgjengelig fra: <http://www.tretek-nisk.no/resources/filer/publikasjoner/teknisk-handbok/Hefte-5-Lyd.pdf>
- [36] Glasø, Geir. Fokus på tre-tre og lyd. Oslo: Norsk Treteknisk Institutt; 2011 lest 08.03.2021 Tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/36-Tre-og-lyd.pdf>
- [37] Designingbuildings. Structure-borne sound. Lest 10.03.2021 tilgjengelig fra: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Structure-borne_sound

- [38] Tyssen. N.Å. Hvordan dempe støy fra naboen. 2020: lest 12.03.2021 tilgjengelig fra: <https://www.ifi.no/hvordan-dempe-stoy-fra-naboen?var=b#>
- [39] URSA. Acoustic Insulation (floors and walls). Lest 12.03.2021 tilgjengelig fra : <https://www.ursa-uk.co.uk/applications/acoustic-insulation-floors-and-walls>
- [40] SINTEF Byggforsk 523.422 Lydisolerende egenskaper for yttervegger : mai 2016 lest 13.02.2021 Tilgjengelig fra: <https://www.byggforsk.no/dokument/366/lydisolerende-egenskaper-for-yttervegger>
- [41] Teibinger og Novacek. construction with cross laminated timber in multi storey buildings-Focus on building physics. Vienna: 2013 lest 15.02.2021 Tilgjengelig fra: http://www.mm-holz.com/fileadmin/user_upload/Downloads/Folder/Sonstige/Planungsbroschuere-Brettsperrholz_en.pdf
- [42] Hurmekoski Elias. How can wood construction reduce environmental degradation?. Research Council at the Academy of Finland. European Forest Institute 2017 Lest 18.03.2021 Tilgjengelig fra: https://efi.int/sites/default/files/files/publication-bank/2018/efi_hurmekoski_wood_construction_2017_0.pdf
- [43] Treindustrien, Bruk av tre har flere miljømessige fordeler lest 20.03.2021 tilgjengelig fra: <http://www.treindustrien.no/miljo>
- [44] BBC. Could wooden buildings be a solution to climate change?. BBC : 2019 lest 21.03.2021 tilgjengelig fra: <https://www.bbc.com/future/article/20190717-climate-change-wooden-architecture-concrete-global-warming>
- [45] Glosli Cathrine. Så miljøvennlige er trebygg- ÅS: NMBU: 2018 Lest 22.03.2021 tilgjengelig fra: <https://forskning.no/nmbu-norges-miljo-og-biovitenskapelige-universitet-miljo-jord-og-skog/sa-miljovennlige-er-trebygg/266554>
- [46] Streefkerk Raimo. Kvalitativ vs. kvantitativ forskning- scribbr: 2019 lest 25.04.2021 tilgjengelig fra: <https://www.scribbr.com/methodology/qualitative-quantitative-research/>



[47] Skatvedt og Bertelsen. BiW WP7 Trondheim workshop 1- Trondheim: 2021
Sett 23.04.2021 tilgjengelig fra: https://www.youtube.com/watch?v=ZMQn2Et-NXJE&ab_channel=KnutAmundSkatvedt

[48] Geving og Holme. Høyisolerte konstruksjoner og fukt- Analyse av fukttekniske konsekvenser av økt isolasjonstykkelse i yttervegger, tak, kryperom og kalde loft, Sintef Byggforsk 2010 lest_ 25.04.2021 Tilgjengelig fra: [https://www.sintef-bok.no/book/index/568/hoeyisolerte konstruksjoner og fukt](https://www.sintef-bok.no/book/index/568/hoeyisolerte_konstruksjoner_og_fukt)

[49] Middelton Fiona. Reliability vs validity: what's the difference?- scribbr: 2019
lest 26.04.2021 tilgjengelig fra: <https://www.scribbr.com/methodology/reliability-vs-validity/>

[50] Skare Kristin. Kildekritikk, Store norske leksikon, Olsomet :2021 lest
28.04.2021 tilgjengelig fra: <https://snl.no/kildekritikk>

[51] Cascione Valeria med flere. Hygrothermal analysis of technical solutions for insulating the opaque building envelope - konferanseartikkel, Italia: 2017 lest
29.03.2021 Tilgjengelig fra: [https://www.researchgate.net/publication/319996999 Hygrothermal analysis of technical solutions for insulating the opaque building envelope](https://www.researchgate.net/publication/319996999_Hygrothermal_analysis_of_technical_solutions_for_insulating_the_opaque_building_envelope)

[52] Bjørheim Knut. Mindre mugg med massivtre, buildingsupply 2017 lest
28.04.2021 tilgjengelig fra: [https://www.buildingsupply.no/article/view/557726/mindre mugg med massivtre](https://www.buildingsupply.no/article/view/557726/mindre_mugg_med_massivtre)

[53] Austigard S.M. Fuktskader og massivtre – erfaringer og forskningsprosjekt, Mycoteams AS: 2018 Lest 30.04.2021. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/globalassets/project/nasjonalt-seminar-om-fuktskader/dokumenter/2018-pres/12-massivtre-erfaringer-og-forsoksresultater.pdf>



[54] Sprenger Mona. Massivtre overbeviste, VVS aktuelt: 2017 Lest 30.04.2021.
Tilgjengelig fra: <https://www.vvsaktuelt.no/massivtre-overbeviste-115556/nyhet.html>

[55] SINTEF Byggforsk 472.301 Kuldebroverdier. Bindingsverk av tre og trebjelkelag: mars 2013 lest 31.04.2021 Tilgjengelig fra: <https://www.byggforsk.no/dokument/4066/kuldebroverdier-bindingsverk-av-tre-og-trebjelkelag>

[56] SINTEF Byggforsk 472.711 Kuldebroverdier. Hjørne mellom bindingsverksvegger av tre. november 2013 lest 31.04.2021 Tilgjengelig fra: <https://www.byggforsk.no/dokument/4089/kuldebroverdier-hjoerne-mellom-bindingsverksvegger-av-tre>

[57] Jatak element- og precutsystem. brannmotstand REI30, SINTEF Certification lest 01.05.2021 tilgjengelig fra: <https://docplayer.me/156289108-Sintef-byggforsk-bekrefter-at-jatak-element-og-precutsystem.html>

[58] Econdo trehuselementer. brannmotstand REI30, SINTEF Certification lest 01.05.2021 tilgjengelig fra: <https://docplayer.me/55824154-Sintef-byggforsk-bekrefter-at-econdo-trehuselementer.html>

[59] MesterGruppen elementsystem. brannmotstand REI30, SINTEF Certification lest 01.05.2021 tilgjengelig fra: <https://docplayer.me/199415956-Sintef-bekrefter-at-mestergruppen-elementsystem.html>

[60] Global Hus elementer. brannmotstand REI 30, SINTEF Certification lest 01.05.2021 tilgjengelig fra: <https://docplayer.me/108230806-Sintef-byggforsk-bekrefter-at-global-hus-elementer.html>

[61] Dataholz. brannmotstand REI60, Dataholz, lest 03.05.2021 tilgjengelig fra: <https://www.dataholz.eu/en/components/external-wall/detail/kz/aw-moho05a.htm>



[62] GLAVA. Bindingsverk med innvendig påføring og 12 mm trefiberplate, Glava AS lest 05.05.2021 tilgjengelig fra: <https://www.glava.no/losninger/bindingsverk-med-innvendig-paforing-og-12-mm-trefiberplate>

[63] SINTEF Byggforsk 520.233 Søyler av tre. Dimensjonering: mai 2011 lest 08.05.2021 Tilgjengelig fra: <https://www.byggforsk.no/dokument/306/soeyler-av-tre-dimensjonering#i252>

[64] Dataholz. : external wall awrhh01a- external wall timber frame construction, ventilated, with dry lining, with cladding , Dataholz lest 03.05.2021 tilgjengelig fra:<https://www.dataholz.eu/en/components/external-wall/detail/kz/awrhh01a.htm>

[65] Dataholz. : external wall awmoho05a- external wall timber frame construction, ventilated, with dry lining, with cladding , Dataholz lest 03.05.2021 tilgjengelig fra: <https://www.dataholz.eu/en/components/external-wall/detail/kz/awmoho05a.htm>

[66] Fantoft Sissel. Bor i Oslos høyeste studenthus av massivtre: Oslo: 2018, lest 09.02.2021 tilgjengelig fra: <https://www.klimaoslo.no/2018/01/25/bor-i-oslos-hoyeste-studenthus-av-massivtre/>

[67] FHI. Fukt og fuktskader i norske boliger- folkehelseinstituttet: 2016 lest 07.05.2021 tilgjengelig fra: <https://www.fhi.no/publ/2016/fukt-og-fuktskader-i-norske-boliger/>

[68] Elster Kristian. Mener biff blir tre-fire kroner dyrere med høyere CO₂-avgift , NRK lest 07.05.21 tilgjengelig fra: <https://www.nrk.no/norge/beregninger-viser-sma-prisendringer-pa-mat-med-hoyere-co-avgift-1.15431690>

[69] SINTEF Byggforsk . 471.008 Beregning av U-verdier etter NS-EN ISO: september 2018 lest 15.02.2021 Tilgjengelig fra: <https://www.byggforsk.no/dokument/208/beregning-av-u-verdier-etter-ns-en-iso-6946>

Kildehenvisning til detaljtegninger:

[1] SINTEF Byggforsk 521.111 Golv på grunnen med ringmur. utførelse, juni 2012 lest 02.05.2021 Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/328/golv_paa_grunnen_med_ringmur_utfoerelse

[2] SINTEF Byggforsk 522.511 Lydisolerende etasjeskillere med trebjelkelag i boliger. februar 2017 lest 03.05.2021 Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/338/lydisolerende_etasjeskillere_med_trebjelkela

[3] SINTEF Byggforsk 525.106 Skrå tretak med kaldt loft. April 2020 lest 02.05.2021 Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/385/skraa_tretak_med_kaldt_loft

[4] SINTEF Byggforsk 523.701 Innsetting av vindu i vegger av bindingsverk . mars 2018 lest 27.05.2021 Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/369/innsetting_av_vindu_i_vegger_av_bindingsve

[5] SINTEF Byggforsk 522.891 Etasjeskillere i massivtre. November 2009 lest 22.05.2021 Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/3367/522891_etasjeskillere_i_massivtre

[6] Time Berit med flere. Tak basert på massivtreelementer -Sintef Byggforsk : 2008 lest 21.05.2021 Tilgjengelig fra: https://www.sintef.no/globalassets/upload/byggforsk/publikasjoner/sb_prrapp-30_nettt.pdf

[7] [Teibinger og Novacek. construction with cross laminated timber in multi storey buildings-Focus on building physics. Vienna: 2013 lest 15.02.2021 Tilgjengelig fra : http://www.mm-holz.com/fileadmin/user_upload/Downloads/Folder/Sonstige/Planungsbroschuere-Brettsperrholz_en.pdf



[8] SINTEF Byggeforsk 522.891 Etasjeskillere i massivtre, november 2009 lest 22.05.2021 Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/3367/522891_etasjeskillere_i_massivtre

[9] Rothoblaas, Handbook for CLT buildings. Lest 20.05.2020. Tilgjengelig fra: <https://www.rothoblaas.com/catalogues/10-handbook-for-clt?action=download&lang=en>

[10] KLH Massivholz GmbH. Component catalogue for cross laminated timber structures , Austria , 2012 Lest 25.05.2020. Tilgjengelig fra: <https://www.klh.at/wp-content/uploads/2019/09/klh-construction-en.pdf>

Vedlegg

Vedlegg A:

Denne delen viser en oversikt over sammendragene av intervjuene

Sammendrag av intervjuobjekt #1

14. februar 2021

Type bransje: Totalentreprenør

Intervju form: Zoom

Rolle: leder, teknisk sjef, forsker og eier av bedrift

Kompetanseområde: Teknisk sjef

Hva som er svakheten med massivtreelement?

Ulempen med massivtre er at sol og skygge forhold gjør at den mister sin farge hvis den blir utsatt for sol stråling og regn. De områdene som ikke blir utsatt for sol holder på sin farge. Det gjør at det koster en del penger. En annen ulempen er at den får flekker på synlige overflater når man leverer hus med ferdig overflate, og man må være veldig forsiktig med slike flekker. En annen ulempen er at det sprekker opp på synlige overflaten når den blir tørt slik som synlig innvendig overflate.

Hva som er fordelene med massivtre?

En av de viktigste fordelene med massivtre er at den er veldig stiv, og den har god bæreevne. Monteringstiden er også veldig kort med massivtre. Det er også



lett med massivtre å få den stiv mot vind enn bindingsverk. Med massivtre kan man bygge mye større bygg.

Er det raskere med bindingsverk å prefabrikkere enn massivtre?

Utfordring med produksjon av prefabrikking av element er antall komponenter. Bindingsvekr krever langt flere komponenter enn massivtre. Det brukes lengere tid å prefabrikkere bindingsverk.

Er massivtre dyrere enn bindingsverk totalt sett?

På de byggene vi har bygd er det litt dyrere med bindingsverk enn massivtre. Det har noe med totaløkonomien mellom material innkjøp og arbeidstid å gjøre. Grunnen er at bindingsverks elementer inneholder flere komponenter enn massivtre, og det krever mer arbeidstid, men det totale materialet kostnad er det billigere enn massivtre. Det er mye mindre arbeid med massivtre, men høyre material kostnad. Den totale kostnaden er ikke så stor forskjell.

Hvilken av de elementene har bedre brannegenskap?

Massivtre er mer kompakt, og hvis vi brukes riktig lim som tåler varme, så deles den ikke opp av varmeutvikling. Det gjør at den er veldig sent i reaksjon på påvirkning av brann. Vi har testet på laboratorier og massivtre viser seg til å være ganske god mot brann. Melaminureaformaldehyd-lim (MUF-lim) er best å bruke på massivtre.

Hvilken av dem har bedre lydegenskap?

Ingen av dem er noe særlig god i seg selv på lyd løsning. Styrken ligger i kombinasjon av materialene, men svakheten er at dem er for lett. Materialer som er for lett settes lett i vibrasjon akkurat som boksen på gitar. Samarbeid mellom ulike materialer som gjør at lydegenskapen blir god. Likheten mellom dem er ganske stor. Du kan også studere lyd egenskap og brann egenskap til massivtre og bindingsverk på dataholz.eu.



Hvilken av dem har bedre miljøegenskap?

Forskjellen er der også veldig liten. En studie i Sverige viser at det er veldig lite forskjell. Jeg kan dessverre ikke dele med deg den studien fordi den er kun tilgjengelig for forretningsaktører. Når det kommer til miljø, handler det mer hvor ting kommer fra.

Er noe forskjell mellom de elementene når det kommer til forvaltning og vedlikehold?

Mine kunder gir tilbakemelding om at trehus av massivtre er mindre krevende for drift og vedlikehold enn bindingsverks husene. Grunnen er at det har noen effekter av energi bruk på de byggene som vi har ikke lov til å regne med når vi bygger husene som gjør at energi bruken er vesentlig lavere enn det vi teoretisk har lov til å regne. Det gjør at driftsøkonomien blir særdeles gunstig. Vi beregner kanskje 90 KW per kvadrat per år, men det brukes i realiteten kanskje bare 50 KW per kvadrat.

Hvordan er med tanke på prosjektering og prosjekteringskostnad?

Når det gjelder prosjekteringskostnad er det stor utfordring. Det er mange som har kunnskaps hul i forhold til massivtre som gjør at dem prosjekterer feil eller har ikke nok kunnskap og dermed ikke tør å prosjektere. Prisen er veldig høy for prosjektering fordi dem må gå to år på kurs for å forstå og prosjektere. Det finnes ikke preaksepterte løsninger.

Er bindingsverk gunstig med tanke på fundamentering siden den er litt lettere i forhold til massivtre?

Lav vekt er både bra for transport og fundamentering, men ikke for områder med mye vind. Lav egenvekt er bra på Østlandet fordi der er ikke så mye vindt i forhold til Vestlandet og Nord-Norge, men det bør være en del egen vekt på Vestlandet og Nord-Norge for å motstå vind lasten.

Betyr det at fundamentering for massivtre bygg bruker mer betong enn fundamentering for bindingsverk fordi de er forskjell i egenvekt? Det påvirker CO₂ utslippet.

Egentlig ikke fordi vi har en type fundamentering som bruker mindre betong.

Sammendrag av intervjuobjekt #2

14. februar 2021

Type bransje: forsknings-institutt

Intervju form: telefon

Rolle: rådgiver

Kompetanseområde: Rådgiver innen trekonstruksjoner og massivtre

Hva som er fordelene med massivtre enn bindingsverk?

Fordelen med massivtre er at den kan ta større laster, og en annen fordel er at krysslåst tre paneler gjør at vi får kapasitet i flere retninger. I bindingsverk elementer får man kapasitet fra en retning. Når det gjelder vindlaster på bindingsverk, får man dårligere skjærkapasitet enn massivtre. Man kan ha større vinduer hull på massivtre skiver uten at den mister sin styrke kapasitet enn bindingsverk. Hvis vi skal ha større vindus hull i bindingsverks, så trenger man mye forsterkning.

Hva som er fordelene med bindingsverk enn massivtre?

Fordelen med bindingsverk er at vi har holdt med det veldig lenge som gjør at det finnes bedre grunnlag for hvordan man kan dimensjonere det, og hvordan man beskytte mot brann, fukt osv, men massivtre er et ganske nytt produkt som finnes færre standardiserte løsninger, og det er ikke mange entreprenører som prosjekter og har like mye erfaring som gjør at det er en større utfordring.

Hvilken av dem elementene har bedre brannegenskap?

Massivtreelementer har bedre brannegenskap fordi de er mer massive og har større tverrsnitt. Bindingsverk mister raskere kapasitet under brann, og da krever det å beskytte mer mot brann.

Hvilken av de elementene har bedre lydegenskap?

For det første er det veldig sjeldent at man har lydkrav for yttervegg. Jeg tipper at bindingsverks element er bedre fordi den er en veldig kjent byggemåte, og det finnes dokumenterte løsninger, men forskjellen er ikke så stor for akkurat de to ytterveggselementene. Når det gjelder ytterveggselementer er det mange andre ting slik vinduer og dører som spiller store roller. Det er viktig at rundt vinduer og dører blir godt tett.

Hvilken av de elementene er god med tanke på pris?

Når det gjelder pris er mange faktorer som spiller inn slik som hvor materialer kommer fra, tilgjengelighet og om konstruksjonens byggemåte er tilpasset i byggesektoren. Det krever mer trematerial i massivtre, men produksjonen av massivtre pleier å være mer industrialisert med store maskiner som gjør at produksjonen er raskere. Da henter man igjen inn den kostnaden som går i rå material. Det er ikke så stor forskjell i pris, men problemet er at massivtre er ikke like kjent som bindingsverk, og det finnes heller ikke like mange kompetente folk innenfor massivtre enn det som finnes innenfor bindingsverk som gjør det litt dyrere å drive med massivtre.

Sammendrag av intervjuobjekt #3

15. mars 2021

Type bransje: Konsulentselskap

Intervju form: e-post

Rolle: rådgiver

Kompetanseområde: Rådgivning og prosjektering innen bygningsfysikk

Hvilken av de elementene har bedre U-verdi?

I bindingsverksveggs elementet med standard isolasjon og 16% trevirke vil gjennomsnittlig lambdaverdi for bindingsverket ligger rundt 0,050 W/mK. 100 mm



massivtre kan dermed erstatte ca 41 mm bindingsverk. Tilsvarende vil f.eks Rock-wool Redair Flex med 3xØ8 mm skruer pr m² har en gjennomsnittlig lambdaverdi på 0,039 W/mK. Om vi skal oppnå normale U-verdier, i sjiktet 0,18-0,22 W/m²K vil normal oppbygging med massivtreelementer komme noe bedre ut om vi ser på totaltykkelse for veggen. I vegger med langt lavere U-verdi vil normalt massivtreoppbyggingen komme bedre ut. I bygg som normalt vil få svært høy treandel i bindingsverket (opp mot 35-40 %) vil en massivtrevegg med homogent isolasjonssjikt komme svært godt ut.

Hvilken av de elementene har bedre kuldebroer?

Om massivtreet ivaretar statikken og bindingsverket må suppleres med stål- og betongkonstruksjoner som helt- eller delvis bryter isolasjonssjiktet, så vil massivtreløsningen komme bedre ut. Geometriske kuldebroer, som hjørner, gesims etc. vil derimot være ganske likt.

Hvordan ligger disse to elementene med tanke på fukt?

Massivtreet kan lagre langt større fuktmengder enn gips og vil kunne buffre en del fuktighet gjennom døgnvariasjoner og til en viss grad årstidsvariasjoner. Ved tykkelser over 80 mm er det ikke noe problem å la massivtreet ivareta vanndampmotstanden så lenge det i tillegg settes fokus på luftlekkasjer i elementskjøter og overganger. I miljøer med svært høy fuktbelastning må andre forhold vurderes.

Sammendrag av intervjuobjekt #4

27. februar 2021

Type bransje: Produsent

Intervju form: e-post

Rolle: Rådgiver og selger

Kompetanseområde: rådgivende ingeniør bygg



Skaper massivtre i elementer noen utfordringer/begrensninger som man ikke ser i bindingsverks elementer?

Nei. Vi har ingen kjente praktiske begrensninger på massivtreelementer sammenlignet med bindingsverkselementer. Det er mye enklere å prefabrikkere elementer i massivtre sammenlignet med bindingsverk ettersom det hovedsakelig skjer i store CNC-anlegg, med robotteknikk.

Skaper tradisjonell bindingsverks elementer utfordringer/begrensninger som man ikke ser i massivtreelementer?

Bindingsverkselementer krever stabiliserende tiltak og forsterkninger for å opprettholde konstruktiv integritet. Massivtre eliminerer denne problemstillingen og forenkler montasjen. Bindingsverk krever også mer omfattende etterarbeid for et korrekt resultat, mens massivtre gir en ferdig interiørfinish direkte fra montasjen

Er det dyrt å produsere massivtreelementer sammenlignet med elementer av bindingsverk?

Det er ikke dyrere å bygge med elementer hvor massivtre er den lastbærende delen av elementet sammenlignet med elementer hvor man bruker bindingsverk. Flere produsenter av bindingsverkselementer bruker dårlige og ufullstendige regnemodeller som gir elementer av massivtre dårligere økonomi, men disse modellene tar ikke hensyn til besparelsene man oppnår ved frakt og montasje av massivtre. For og etterarbeider får store priskonsekvenser for bindingsverk, mens massivtre er ferdig direkte fra montasjen

Hva anser dere som den største fordelen med bindingsverks elementer kontra massivtreelementer?

Ser ingen fordeler med bruk av bindingsverk i veggelementer kontra massivtre

Hvor lett er det å ha tilgang til massivtre i Norge?

Produsenten kan produsere opp mot 150000 m³ massivtreelementer i året. Dette avhenger av typen elementer som skal produseres. Per i dag er det tilstrekkelig for å mette det norske markedet



Hvor raskt er det å bygge med massivtreelementer kontra bindingsverk elementer? Dette kan ikke sammenlignes. Råbygget til et bolighus av massivtre kan ferdigstilles på 1-2 dager med korrekt planlegging og bruk av de beste løsningene. Elementer av bindingsverk tar mye lengre tid enn bruk av massivtre

Hvor stor er kostnadene for prosjektering, produksjon og forvaltning av massivtre kontra bindingsverk elementer?

Dette er sammensatt, men med bruk av konsulentene som har mest erfaring med massivtre er det fullt mulig å bygge billigere med massivtre enn bindingsverk. Dette krever normal kompetanse og erfaring med både montasje og produksjon av massivtre for å oppnå. Akkurat som det kreves for å gjøre gode prosjekter med bruk av bindingsverk.

Hvor mye koster en 100 mm massivtre? (nytt spørsmål:13.04.2021)

Prisen per m2 vil avhenge av prosjekt og ulike faktorer som fraktkostnad, kvalitet på overflate og hvor mye prefabrikkering som kreves på prosjektet. Jeg antyder i dag (april/mai 2021-pris) en snittpris på **1030kr/m2** ferdig montert vegg med **100mm med 5-lags** oppbygging. Denne prisen kan øke senere i 2021, men vil reduseres dramatisk. Prisen inkluderer en komplett leveranse av bæresystem, festemidler, nødvendige stålkomponenter, prosjektering og montasje.

Sammendrag av intervjuobjekt #5

8. mars 2021

Type bransje: Konsulentfirma

Intervju form: zoom

Rolle: Forsker og rådgiver

Kompetanseområde: RIB limtre- og massivtrekonstruksjoner

Hvilken av de elementene er gunstigere med tanke på pris?

Bindingsverk er en mer tradisjonell byggemåte, og den er allerede tilpasset markedet. Det er mange som har kunnskap og kjennskap om det mens massivtre er et ganske nytt produkt. Det er større etterspørsel etter bindingsverk og større produksjon av det noe som gjør prisen litt billigere. Hvis massivtre blir mer og mer vanlig og produksjonen økes, så sikker prisen kommer til å endre seg.

Hvilken av de elementene er mer lydbestandig?

Det er ikke noe problem for de to elementene når det gjelder lyd fra ut mot inne og inne mot ute. Problemet ligger lyd gjennom skjøtene. Vi har mer kunnskap om bindingsverk enn massivtre, og det finnes mer preaksepterte løsninger med bindingsverk enn massivtre som gjør at det er tryggere å arbeide med bindingsverk. Når det gjelder massivtre yttervegg, så brukes det elastomerlist (en type gummi) mellom vegg skiver og etasjeskiller skive for å tette mot lyd. Jeg ser ikke så stor forskjell mellom akkurat de to elementene.

Hvilken av de elementene har større bæreevne?

Det er klart massivtreelementet som har større styrke og stivhet som gjør at det egner også til både større og høye hus. Hvis vi øker tykkelsen til massivtre, kan vi bygge høye bygg med det. Bindingsverk egner seg best for de mindre og lavere byggene fordi vi kan ikke bruke det som bærende elementer i de veldig høye byggene.

Hvordan er de to elementene med tanke på brannbestandighet?

Massivtre har en mer kompakt form som gjør det mer brannbestandig enn bindingsverk. Jeg tror at massivtre er litt bedre enn bindingsverk.

Sammendrag av intervjuobjekt #6**15. mars 2021****Type bransje: Totalentreprenør****Intervju form: zoom****Rolle: Teknisk sjef****Kompetanseområde: prosjektering**

Hvor brannbestandig er de to elementene?

Erfaringsmessig har massivtre bedre brannegenskap enn bindingsverk, men det kommer an på hva slags material det er brukt i konstruksjoner. Ifølge vårt teknisk godkjente element kan bindingsverks elementet klare REI30. Når det gjelder massivtre, så har vi verken preaksepterte løsninger eller testet selv. Jeg tror at massivtre har bedre brann egenskap enn bindingsverk. Sender deg lenken til vår vegg element av bindingsverk.

Hvilken av de elementene er billigere?

Det er mer vanlig med bindingsverk, og den er mer tilgjengelig som gjør det lettere og billigere å skaffe. Jeg tror at bindingsverk er litt billigere. Det kommer sikkert til å endre seg i fremtiden.

Hvilken av de elementene har bedre bæreevne?

Massivtre har definitivt bedre bæreevne. Den tar i tillegg last fra forskjellig retning noe som er krevende med bindingsverk. Bindingsverk egner seg til de litt mindre bygg fordi det kreves mindre bæreevne. Det er vanlig å bruke bindingselement som klima skall, og da er det ikke bærende.

Hvordan er de med tanke på lyd?

Når det gjelder yttervegg er det ikke lyd som er den største utfordringen. I Noen spesielle områder med mye utendørsstøy skal det gjøres noe med. Begge av dem klarer å stoppe lyd gjennom selve elementet, men problemet er større med lyd overføring gjennom skjøtene og vindus karm og dørs karm. Hvis vi har like mye kunnskap om begge av dem, så er det noe problem med tanke på lyd. Vi har mer



erfaring med bindingsverk, og det er ganske litt lettere med bindingsverk enn massivtre.

Hvilken av de elementene har bedre U-verdi?

Erfaringsmessig viser massivtre med homogent isolasjonssjikt til å ha lavere U-verdi enn bindingsverk med gjennomgående stender. Hvis treandelen i bindingsverk øker, så får vi enda dårligere U-verdier. Det er fordi tre har dårligere isole-ringsevne enn isolasjon.

Sammendrag av intervjuobjekt #7

24. februar 2021

Type bransje: Konsulentselskap

Intervju form: teams

Rolle: rådgiver

Kompetanseområde: Bygningsfysikk

Hvilken av de elementene er rimeligere i pris?

Vi har jo holdt med bindingsverk i veldig mange år, og vi har mye kunnskap, utstyr og standardiserte løsninger som gjør at mange entreprenører vil jobbe med det. Når det kommer til massivtre som er en ganske ny byggemåte som krever kunnskap om prosjektering og spesielle utstyr for å montere, og det utfordrer mange entreprenører som ikke tør å satse noe som gjør det dyrere enn bindingsverk. Det finnes ikke standardiserte løsning innenfor massivtre, og da krever det at man har god kunnskap for å prosjektere noe som mange ingeniører ikke har. Det pådrar seg ekstra kostnader.

Hvilken av de elementene er bedre med tanke på lydegenskap?

Jeg hadde selv mange intervjuer med erfarne aktører. Lydegenskapen til massivtre var trakk frem som en av de hoved utfordringene. Det gjelder spesielt etasjeskillere og rom til rom vegg. Yttervegger har ikke noe særlig lyd krav, men i områder med



mye utendørsstøy kreves det å skjerme mot utendørsstøy. Da må det være tett rundt vinduer og dører for å få godt inneklima. Jeg antar at bindingsverk er litt bedre med tanke på lyd. Det er sikkert fordi vi kan mye om det enn massivtre. Under intervjuer fant jeg ut at brann og lyd ble trakt fram som største utfordringer fordi regelverket er ikke tilrettelagt for massivtre. Regelverket gjør det veldig vanskelig å bruke massivtre med tanke på lyd og brann. Massivtre i seg selv har god nok egenskaper, men regelverket gjør det litt ekstra vanskelig.

Hvilken av dem bidrar med godt inneklima?

Synlige massivtre overflater er veldig bra for inneklima fordi det regulerer fuktigheten. Tre er et naturlig organisk material som bidrar med god lukt. Hvis overflaten er av gips, så blir det ikke helt det samme. Vi i Norge vil ha også synlig overflate, og det har noe med arkitektonisk å gjøre.

Hva er de største utfordringene med massivtre?

De største utfordringer med massivtre er at vi ikke har klare retningslinjer. Foreksempel plassering av dampsperre. Noen sier at det kreves ikke å ha dampsperre for massivtreelementer som er tykkere enn 80 mm, men andre sier at det kreves dampsperre. Andre utfordring er at det ikke finnes preaksepterte løsninger for lyd, brann og fukt osv. Da må man ha god kunnskap for å prosjektere for å dokumentere disse kravene. Det krever også mye planlegging og tar mye tid, og mange opplever det utfordrende.

Hvordan er de med tanke på vedlikehold?

Hvis man har synlig innvendig overflate, så vil det sprekke opp. Det er mange som synes er ikke så fine. Jeg at i starten på den første massivtre bygg i Norge var det en liten sak om at det ser ikke ut slik ut som vi trodde fordi det mange sprekker. Da var det noen som ville overflate behandle om, men det er et veldig robust material som tåler veldig mye. Hvis man har gipsplate på bindingsverksvegg, så kan man slå hol i den noe som ikke er mulig med massivtre fordi den er robust. Entreprenører må oftere på byggeplass for å utbedre gipsplater i bindingsverksvegg enn massivtre. Det er mindre servise og vedlikehold antageligvis med

massivtre enn med bindingsverk.

Sammendrag av intervjuobjekt #8

25. Mars 2021

Type bransje: Konsulentselskap

Intervju form: teams

Rolle: Rådgiver

Kompetanseområde: Varme og fukttransport i bygg

Hvilken av de elementene har bedre fuktbestandighet?

Ingen av dem egner til å ha en direkte fuktbelastning. Det som er bra med massivtre er dets oppbygging med homogent sjikt. Den har ikke dampsperre for tykkere massivtre skive noe som gir det mulighet for å tørke ut. Hvis det er fukt der lenge, så vil det oppstå soppskade. En annen fordel med massivtre vegg er at massivtre skiven ligger på den varme siden av isolasjon som gjør at den ikke er noe særlig utsatt for kondensering. Hvis de to type elementer prosjekteres riktig og utføres riktig, så skal det ikke være noe problem i forhold til fukt.

Hvilken av de elementene er god med tanke på kuldebro?

Massivtreelementet som ha homogent isolasjonssjikt på utsiden av massivtre skiven eliminerer kuldebroer. Bindingsverks element er ikke like god på kuldebro som massivtre. Det er snakk om kuldebro der etasjeskiller møter ytterveggen. Kuldebro blir enda dårligere hvis etasjeskiller er av betong møter ytterveggs elementet av bindingsverk fordi de er forskjellige materialer. Når det gjelder geometriske kuldebroer rundt hjørner, så vil de ikke være så stor forskjell.

Hvor realistisk er WUFI pro program for å sjekke fukt egenskaper til de to konstruksjoner?

Det er ganske realistisk, men den tar ikke hensyn til hvis det skjer noe feil for. Eks. å få vann inn i konstruksjonen. Hvis man oppbygger riktig, så er det god og



realistisk. Vår erfaring viser i hvert fall av det programmet er realistisk og gir gode resultater. Det er uansett en teoretisk simulering som tar hensyn til et perfekt resultat både på utførelsen og prosjektering. Hvis det skjer noe feil med utførelsen, så kan den ikke ta hensyn.

Sammendrag av intervjuobjekt #9

Dato: 25. februar 2021

Type bransje: Konsulentselskap

Intervju form: telefon

Rolle: seniorrådgiver og forsker

Kompetanseområde: Forsker innen varme- og fukttransport

Hvor realistisk er det å simulere med WUFI pro for å sjekke fuktegenskapen til yttervegg?

Den er veldig god på konstruksjoner som er kjent. Det som er ikke bra med det programmet er at vi kan ikke regne luftlekkasje slik som konveksjon. Den kan heller ikke ta hensyn til rennende vann og feil i prosjektering.

Du forsker mye om de to type elementene, så hva er erfaringen med tanke på fukt? Hvis de blir utsatt for samme fukt mengde, så vil det være større risiko for muggsoppvekst i bindingsverk først og fremst fordi bindingsverk inneholder gips. I gipsen er det veldig lett at det mugger. Vi hadde et prosjekt hvor vi har sett en vegg av massivtre og en vegg av bindingsverk, og da var det veldig stor forskjell på at bindingsverks vegg mugge mye før enn massivtre.

Sammendrag av intervjuobjekt #10

Dato: 25. februar 2021



Type bransje: teknisk konsultentselskap

Intervju form: ZOOM

Rolle: Gruppeleder akustikk

Kompetanseområde: akustikk

Hvilken av de elementene har bedre lydegenskap?

Det finnes ikke fast tallverdi for yttervegg, men hvis det er mye utendørsstøy så skal det skjermes mot det. Det kommer også an på hvor mye støy det er i det område. Hvis vi ser på lydegenskap til de to elementene, så tipper at det er omtrentlig likt. Det er ikke så stor forskjell.

Massivtre vegg elementet kan overføre lyd gjennom veggen til naboens sin boenhet hvis det er knutepunkt der mellom dekke og yttervegg ikke gjøres på en god måte. Vi kan for eksempel elastomere mellom ytterveggselement av massivtre og dekke for å eliminere stiv koblingen.

Hvis vi tenker generelt så er det mer å tenke på massivtre i hvert fall. Det er sikkert fordi vi ikke har like mye erfaring med massivtre som vi har med bindingsverk.. Det er fremdeles et relativt nytt material og byggemåte. Man må tenke seg godt om når man bygger, men man klarer kravene til slutt med tanke på lyd.

Sammendrag av intervjuobjekt #11

Dato: 26. mars 2021

Type bransje: Konsultentselskap

Intervju form: Teams

Rolle: seniorrådgiver

Kompetanseområde: Varme- og fukttransport i bygg

Hvilken av de elementene er mer fuktbestandig hvis de blir utsatt for like mengde fukt?

Oppbygging av ytterveggselementet gjør at massivtre er mer fuktbestandig fordi massivtreelementet som får varme fra innvendig side og isolasjon sjikt som ligger på utvendig siden. Hvis det står oppvarmet, så vil hele massivtreelementet være



varmt hele tiden. Det dytter fuktigheten utover. Så lenge det ikke utsettes for direkte fuktighet slik som lekkasje, så vil det ikke være noe problem. Bindingsverk vil også fungere ganske godt hvis den er riktig prosjektert og utført. Man må være mer oppmerksom på massivtre i byggefasen fordi den inneholder mye mer treverk. Hvis dette blir utsatt for fuktighet over lenge tid, så vil det ta lengere tid å tørke opp.

Hvor pålitelig er WUFI pro for å sjekke fuktbestandigheten til de to elementene? WUFI verktøyet er kjempebra hvis man bruker den riktig. WUFI er en av de beste programmene som finnes innenfor hygrotermisk analyse.

Sammendrag av intervjuobjekt #12

Dato: 4. mars 2021

privatperson

Intervju form: ansikt til ansikt

Dette intervju er med en privatperson som bygget en enebolig med prefabrikkerte elementer av bindingsverk i Ås kommune i februar 2021. Intervjuet ble gjennomført rett etter at montasjen av eneboligen var ferdig.

Hvor langt tok det å montere elementene på huset ditt?

Det tok ikke så lang tid, Jeg tipper at det tok ca to uker.

Har du hørt om massivtre produkt?

Ja, Det er skiver av trevirke. Jeg hadde plan å bygge eneboligen min med massivtre, men det viste seg til slutt at det blir dyrt, og jeg ga meg. Det er ikke så utbredt som tradisjonelt bindingsverk, og det er også vanskeligere for å få tak i det for et så lite prosjekt. Folk er generelt ikke så vant med massivtre, og dyrere pris gjør det enda vanskeligere å bygge med det så små prosjekter. Det er nokså vanligere å bygge store bygg med massivtre slik som skole, kontorbygg og store studentboliger.



Hvor fornøyd er du med din enebolig som er bygd av bindingsverk?

Jeg er ganske fornøyd med det, men jeg ønsket at den var av massivtre. Grunnet er at man får en solid bygg med massivtre. Jeg er spesielt mest fornøyd med det i forhold til prisen. Jeg kjøpte tomten i 2011, og det var billigere i den tida. Selve huset var ikke så dyrt.

Vedlegg B

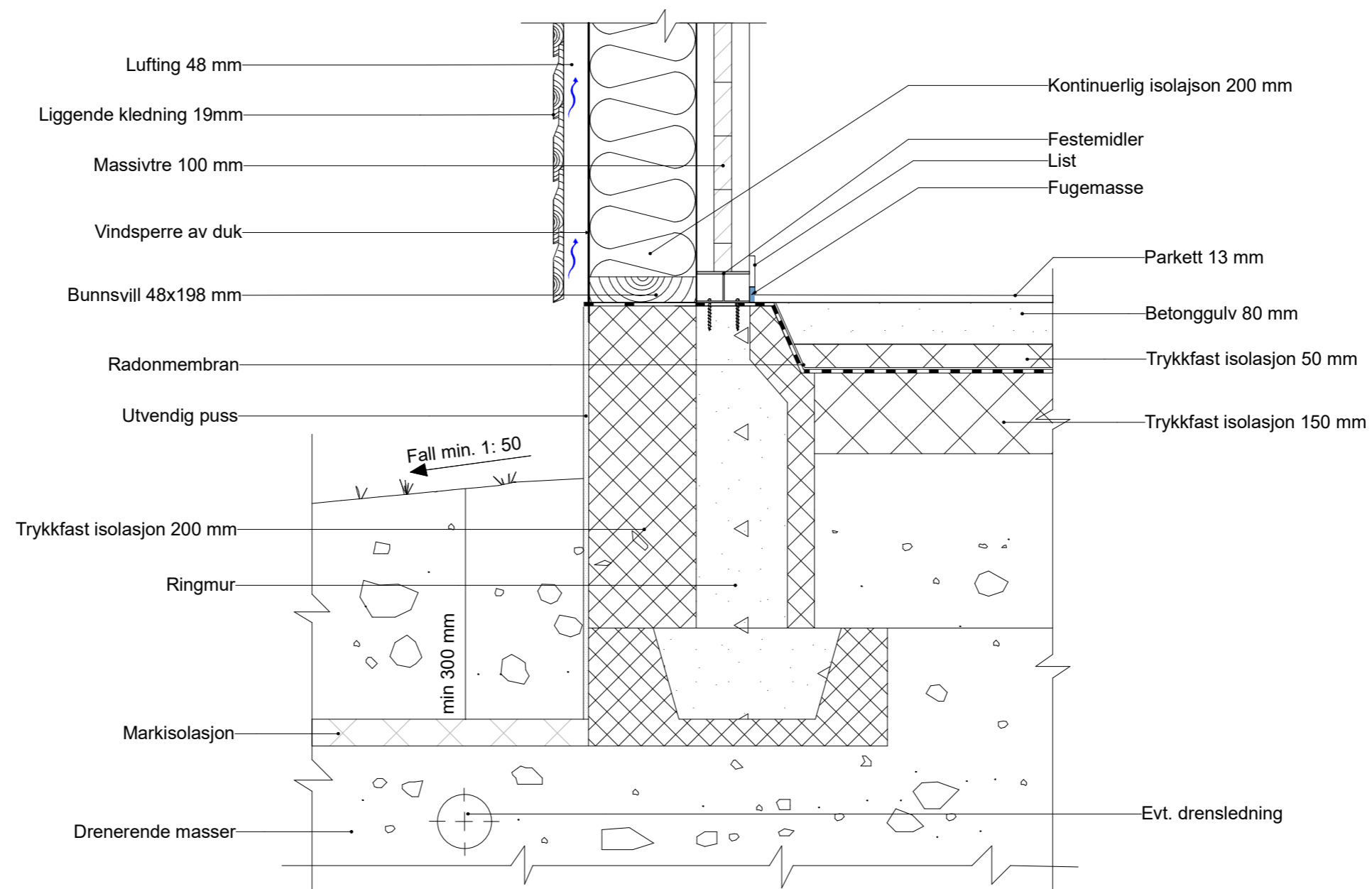
Tekst til detaljtegninger

Alle detaljtegninger er tegnet i DAK-programmet *Archicad 23*.

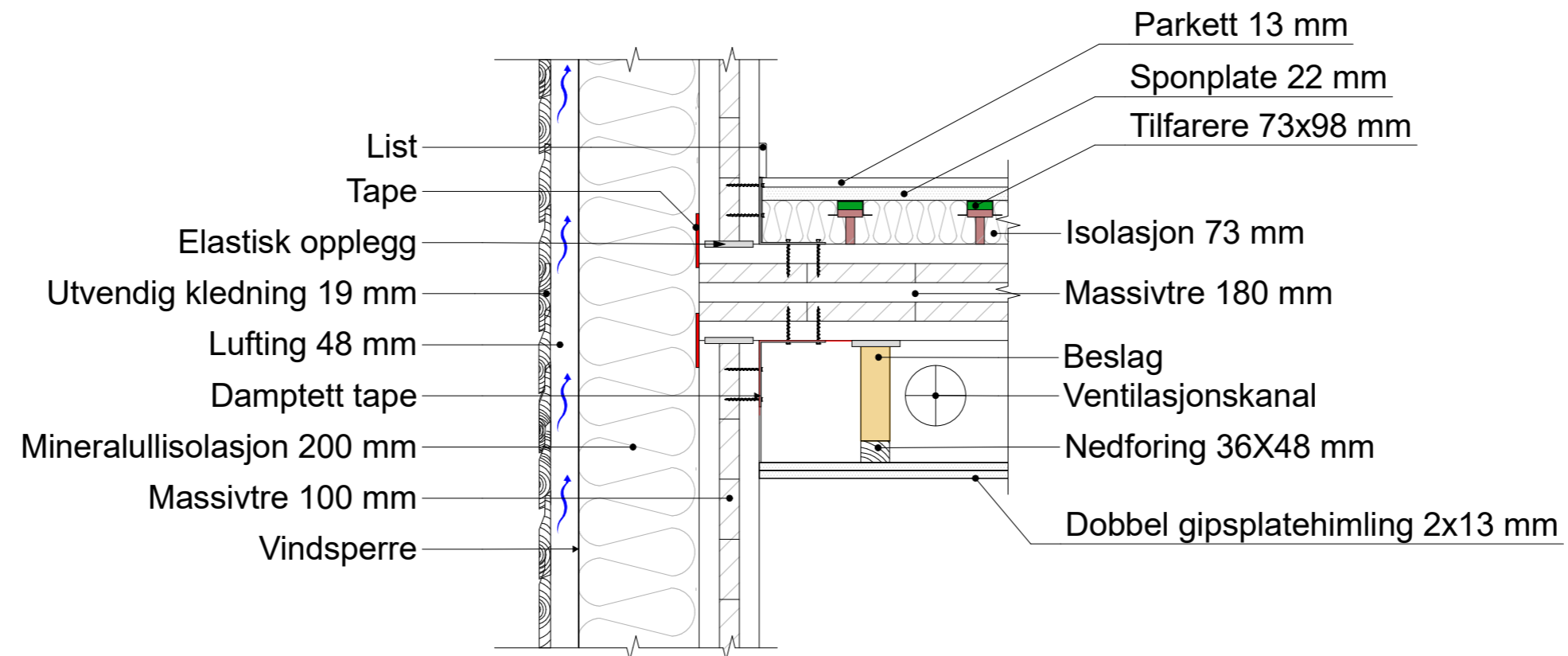
Det er brukt blant annet Byggforskansvisninger, figurer fra KLH, Rothoblaas og Holzforschung Austria. Aktuelle referanser er listet opp under «kildehenvisning til detaljtegninger».

Det er valgt en plate på mark til begge konstruksjonstypene. Da denne fundament typen er en fuktsikker og energieffektiv løsning. Radonmembranen legges mellom betongen og den trykkfaste isolasjonen. Ytterveggselementen av massivtre festes til en metallplate på fundamentet som tettes med fugemasse. Det er valgt flytende gulv til begge konstruksjonene. Det er brukt GU som vindsperre på bindingsverkselementet for å forbedre brann- og lydegenskaper. På massivtreelementet er det benyttet vindsperre av duk fordi det har lav vekt, noe som er gunstig å benytte på kontinuerlig isolasjon på massivtre. Videre er det ikke benyttet dampsperre på massivtre konstruksjonen. I rapporten kommer det fram til at massivtre er i seg selv «tett nok» hvis massivtre-sjiktet er 80 mm eller tykkere. I skjøtene til massivtre konstruksjonen er det valgt å bruke damp tett teip for å sikre tilstrekkelig tetting. Isolasjonen skal monteres ved hjelp av lange skruer som skrues kontinuerlig inn fra utlekting og inn i massivtreelementet for å minimalisere kuldebruer.

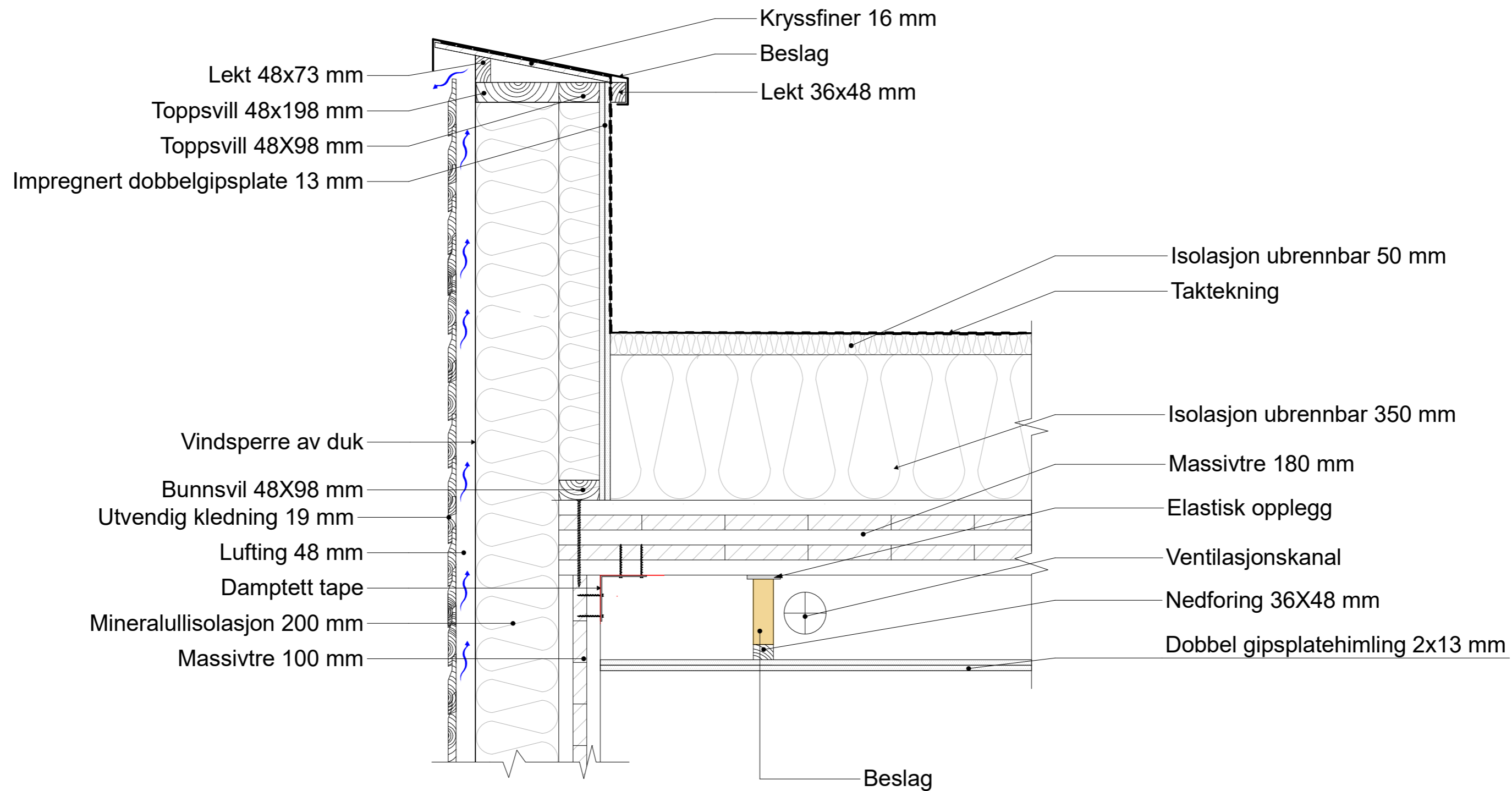
For å tilfredsstillende lydkrav er det valgt tilfaresystem i begge etasjeskillere. Tilfaresystemet er bra med tanke på lydisolering og gir også plass til tekniske installasjoner som rør og ledninger. Mellom ytterveggen av massivtre og etasjeskiller er det benyttet elastisk opplegg for å eliminere stive koblinger og redusere vertikal lydoverføring gjennom konstruksjoner. Det er vist detalj løsning for både to og tre lagsglass i vinduene henholdsvis bindingsverk- og massivtre konstruksjoner.



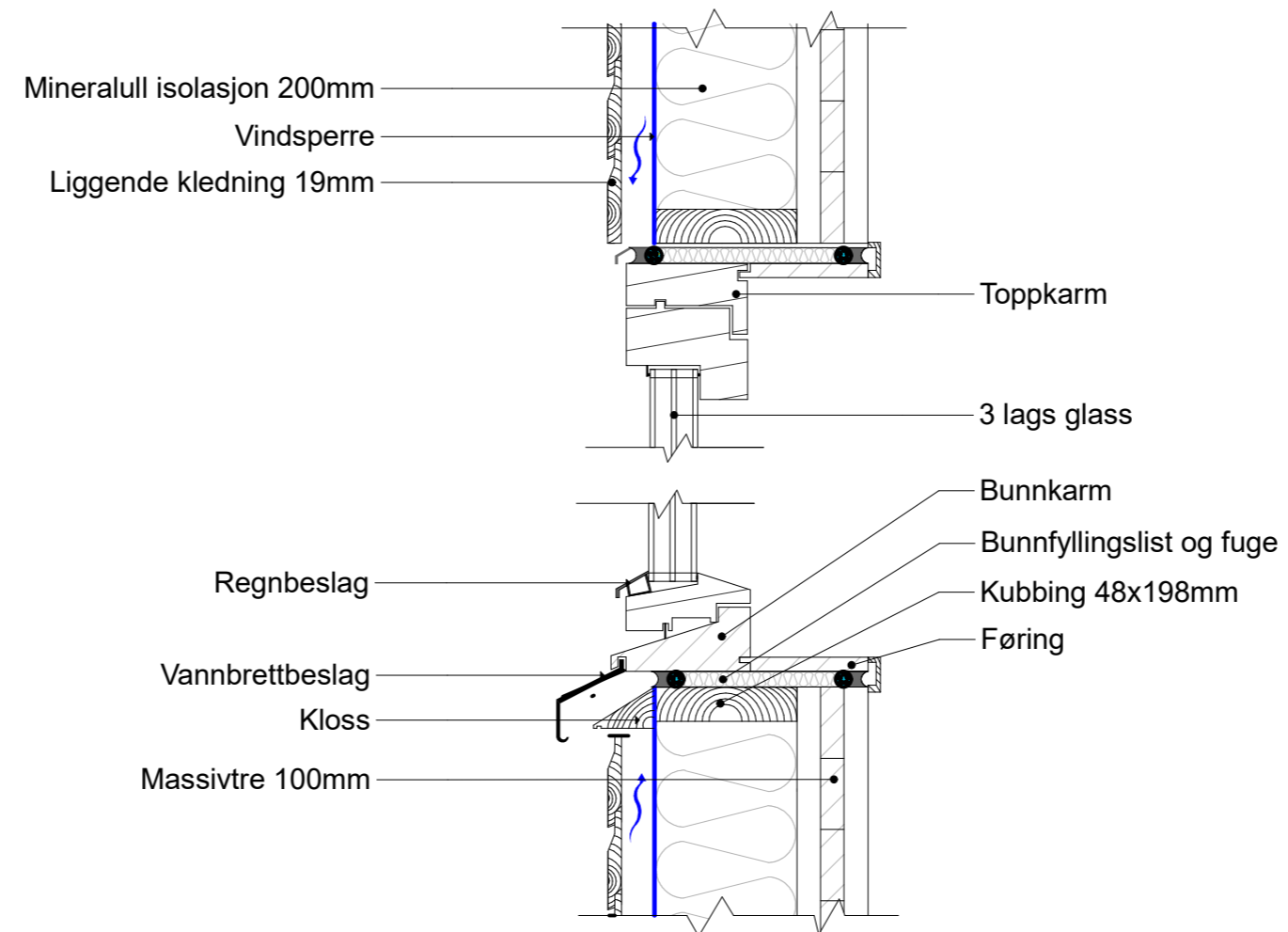
| | | |
|---|--------------------------|---------------------------|
| Prosjekt Masteroppgave 2021 | | |
| Tegnet av.: Fabian Danielsen | Tegningsnr.: 1 | Dato 27.05.2021 |
| Tegningsnavn: Fundament/Yttervegg | | Målestokk: 1:10 |



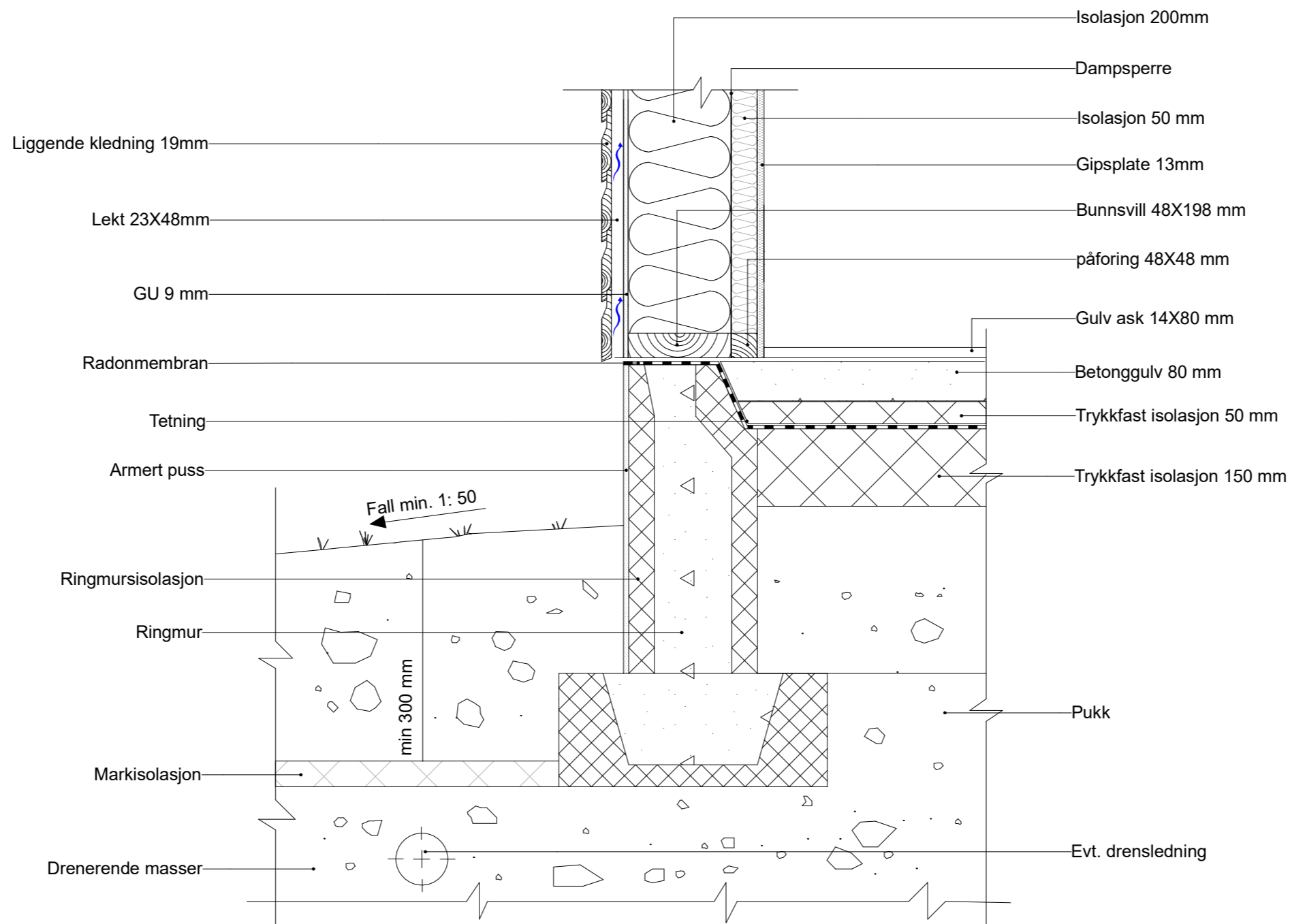
| | | |
|--|--------------------------|---------------------------|
| Prosjekt Masteroppgave 2021 | | |
| Tegnet av.: Fabian Danielsen | Tegningsnr.: 2 | Dato 27.05.2021 |
| Tegningsnavn: ytervegg/etasjeskiller | | Målestokk: 1:10 |



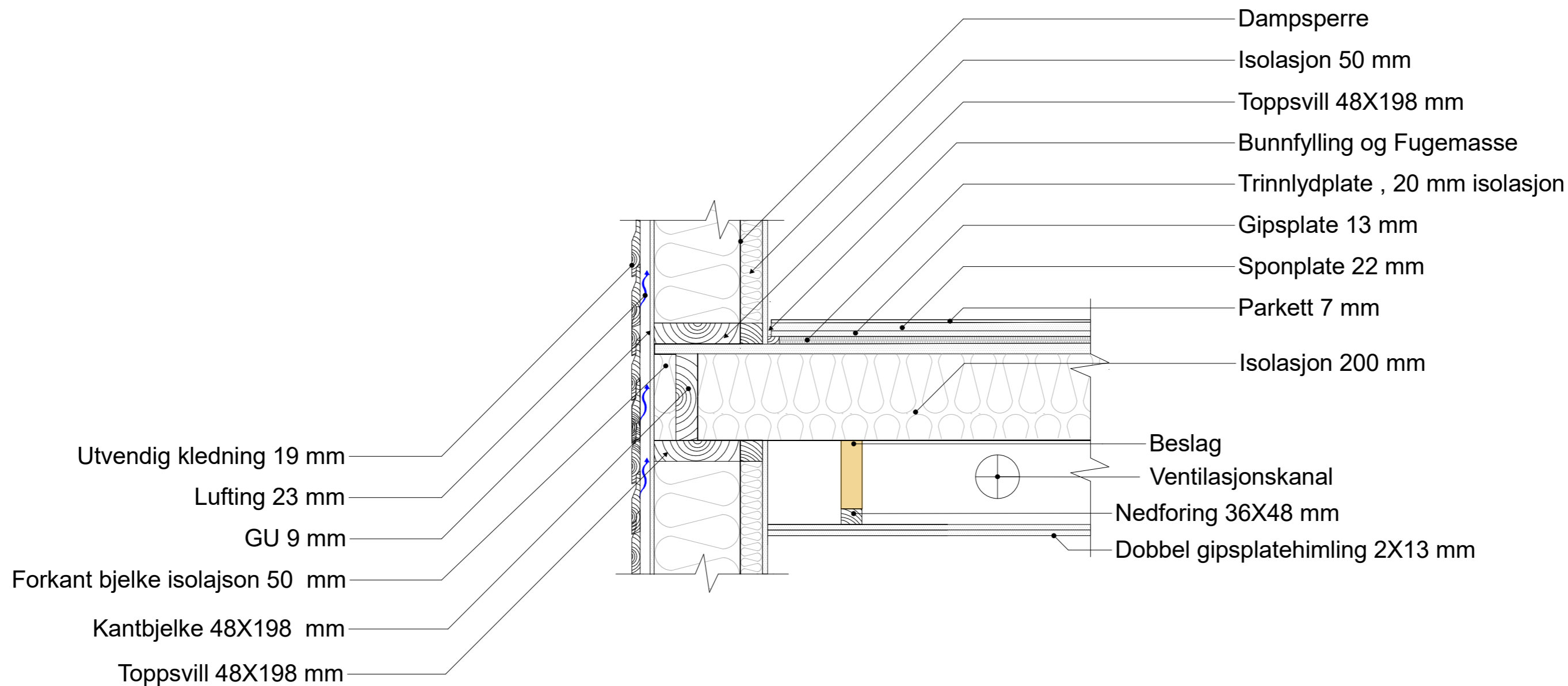
| | | |
|---|--------------------------|---------------------------|
| Prosjekt Masteroppgave 2021 | | |
| Tegnet av.: Fabian Danielsen | Tegningsnr.: 3 | Dato 27.05.2021 |
| Tegningsnavn: Overgang Yttervegg og tak | | Målestokk: 1:10 |



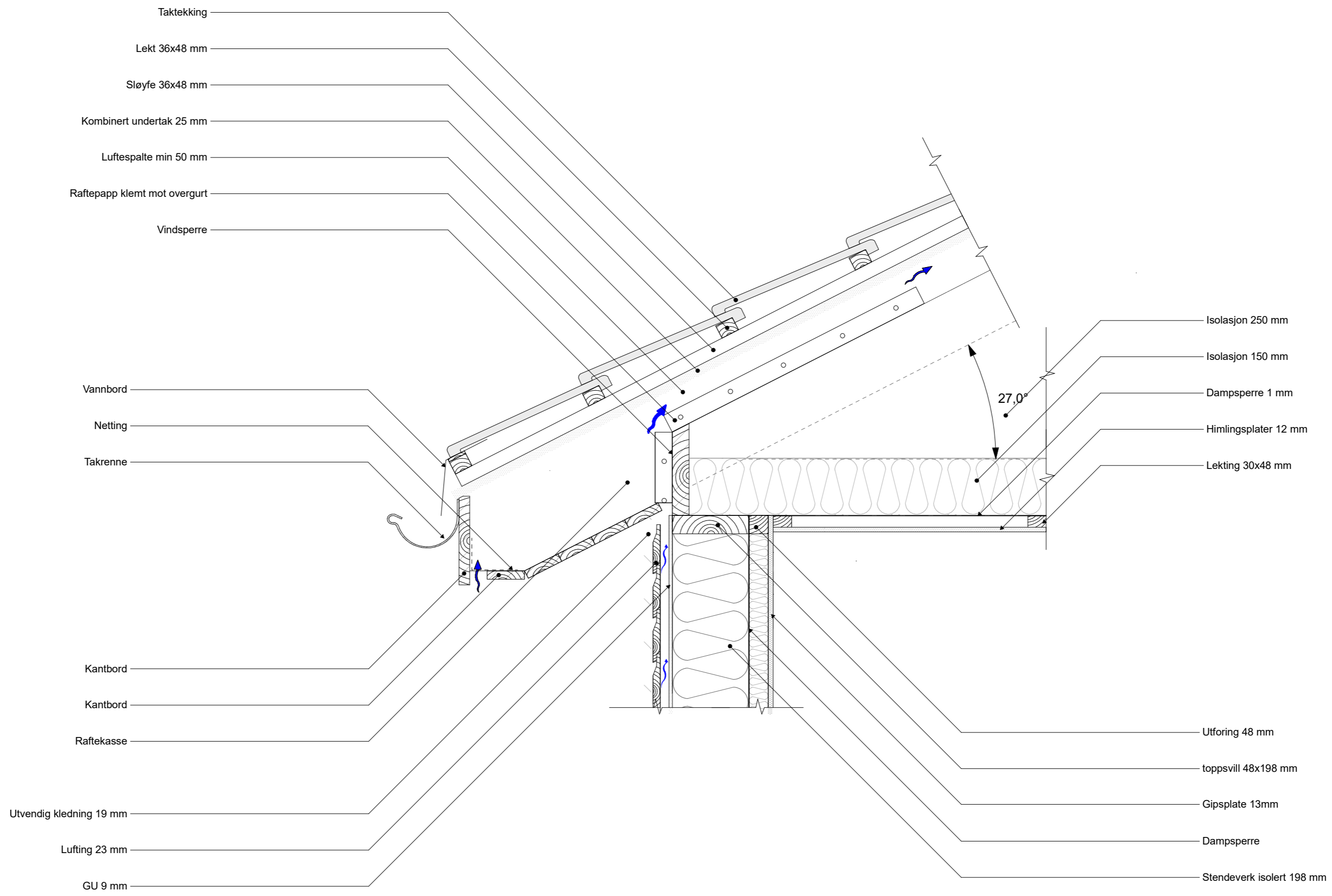
| | | |
|--|--------------------------|---------------------------|
| Prosjekt Masteroppgave 2021 | | |
| Tegnet av.: Fabian Danielsen | Tegningsnr.: 4 | Dato 24.05.2021 |
| Tegningsnavn: Yttervegg og etasjeskiller | | Målestokk: 1:10 |



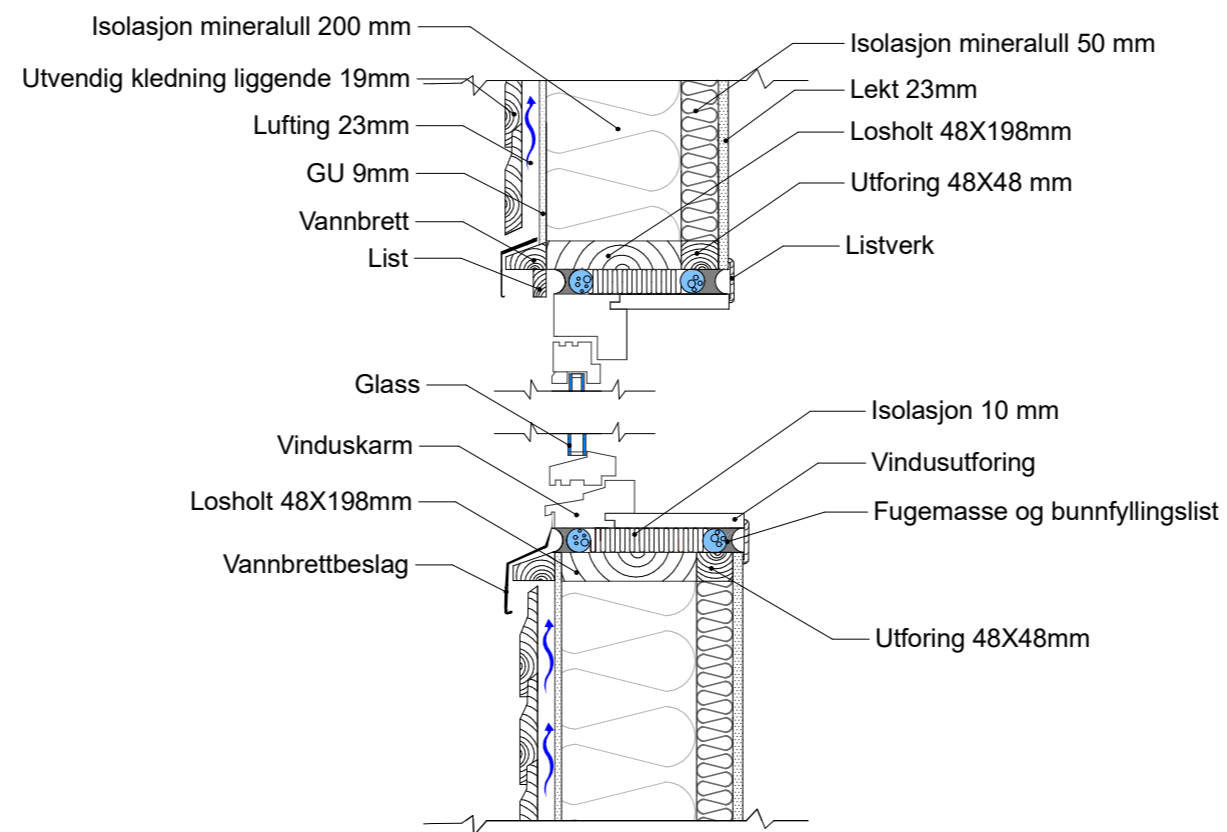
| | | |
|---|--------------------------|---------------------------|
| Prosjekt Masteroppgave 2021 | | |
| Tegnet av.: Fabian Danielsen | Tegningsnr.: 5 | Dato 02.05.2021 |
| Tegningsnavn: Fundament/Yttervegg | | Målestokk 1:10 |



| | | |
|---|--------------------------|---------------------------|
| Prosjekt Masteroppgave 2021 | | |
| Tegnet av.: Fabian Danielsen | Tegningsnr.: 6 | Dato 22.05.2021 |
| Tegningsnavn: Overgang Yttervegg og tak | | Målestokk: 1:10 |



| | | |
|--|--------------------------|---------------------------|
| Prosjekt Masteroppgave 2021 | | |
| Tegnet av.: Fabian Danielsen | Tegningsnr.: 7 | Dato 02.05.2021 |
| Tegningsnavn: Tak/Yttervegg | | Målestokk 1:10 |



| | | |
|--|--------------------------|---------------------------|
| Prosjekt Masteroppgave 2021 | | |
| Tegnet av.: Fabian Danielsen | Tegningsnr.: 8 | Dato 30.05.2021 |
| Tegningsnavn: Vinduoppsetting bindingsverk | | Målestokk: 1:10 |



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway