

**Sammenligning av forskjellige byggteknikker
med tanke på bygningsfysiske utfordringer
ved prosjektering av komplekse bygg**

**Comparison of Different Construction Techniques
in the Context of Challenges Related to Building
Physics in the Design of Complex Buildings**

Trondheim Mai 2024

Ingri Helen Fagerbakk
Kristin Grøtte
Serina Kalseth Sjøhaug

Intern veileder:
Ayca Sentop Dumen
Bozena Hrynyszyn

Ekstern veileder:
Ragnhild Godø Slørdal - Norgeshus

Prosjektnr:
2024 - 13

Rapporten er ÅPEN



Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk

Problemdefinering, prosjektbeskrivelse og resultatmål

«Det stilles stadig strengere krav til nye bygninger både fra myndighetene og brukere. Framtidas bygninger må være energieffektive, ha et godt inneklima, være materialeffektive og bygges med færre byggskader» [1]. Dette danner grunnlaget for prosjektoppgaven, der en generasjonsbolig fra Norgeshus er utgangspunktet. Det vil bli lagt vekt på å sammenligne ulike byggtekniske løsninger som inneholder elementer av massivtre, betong og stål, med fokus på å tilfredsstille krav til bygningsfysiske aspekter. Med bygningsfysiske aspekter menes faktorer som lyd, varme- og fukttransport.

For å svare på problemstillingen vil det utarbeides detaljer som viser de ulike byggtekniske løsningene. Dette vil være grunnlaget for en sammenligning av de ulike løsningene som til slutt skal resultere i å finne løsningen som egner seg best i forhold til lyd, varme- og fukttransport.

Resultatmål: Finne den mest gunstige løsningen for ulike byggteknikker i forhold til lyd, varme-, og fukttransport.

Stikkord fra prosjektet:

- Generasjonsbolig
- Lydforhold
- Fukt
- U-verdi
- Kuldebro

Forord

Denne bacheloroppgaven er utarbeidet våren 2024, og er en avsluttende oppgave for det treårige bachelorprogrammet Byggingeniør ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet i Trondheim. Bacheloroppgaven utgjør 20 studiepoeng og er utarbeidet i samarbeid med Norgeshus.

Denne rapporten er utarbeidet av Ingri Fagerbakk, Kristin Grøtte og Serina Kalseth Sjøhaug, som alle har spesialisering innenfor byggteknikk. Problemstillingen baserer seg på fagområder som gruppen har erfaring med fra tidligere i studieløpet. For å oppnå resultatene gruppen har tilstrebet har det vært nødvendig å fordype seg ytterligere. Hovedfokuset har vært på lyd, varme-, og fukttransport. Arbeidet med denne oppgaven har vært krevende og lærerikt, og gruppen håper å kunne dra nytte av erfaringene i senere arbeidsliv.

Vi ønsker å rette en stor takk til Norgeshus og eksterne veiledere Ragnhild Godø Slørdal og Monica Moum for muligheten til å gjennomføre oppgaven, samt veiledning og hjelp underveis.

Vi ønsker å takke våre interne veiledere Bozena Hrynyszyn og Ayca Sentop Dumen for gode tilbakemeldinger og innspill. Til slutt vil vi takke alle som har vært behjelpelige med å svare på spørsmål og henvendelser via e-post og telefon.

Trondheim 21.05.2024


Kristin Grøtte Ingri Fagerbakk Serina Kalseth Sjøhaug

Sammendrag

Denne bacheloroppgaven tar for seg en omfattende sammenligning av forskjellige byggteknikker med fokus på bygningsfysiske utfordringer ved prosjektering av komplekse bygg. Utgangspunktet for studien er en generasjonsbolig fra Norgeshus, hvor konstruksjoner med elementer av massivtre, stål og betong blir analysert i forhold til lyd, varme- og fukttransport

THERM ble brukt til å modellere og simulere varmetransport gjennom bygningsdeler. Programmet beregner U-verdier, som angir hvor godt en bygningsdel isolerer mot varmetap. Ved hjelp av THERM kan man også identifisere og analysere kuldebroer, som er områder med høyere varmeledning enn omkringliggende materialer. Dette er avgjørende for å forstå varmetapet i bygningen og for å optimalisere isolasjonsegenskapene til de ulike konstruksjonene.

WUFI pro ble anvendt for å simulere fukttransport og vanninnhold i bygningskonstruksjonene. WUFI-modellene ble brukt til å analysere hvordan fuktighet beveger seg gjennom konstruksjonene over tid, og til å identifisere potensielle problemer med fuktinntrengning og muggvekst. Dette er spesielt viktig for å sikre byggets holdbarhet og et sunt innemiljø.

INSUL ble brukt til å analysere lydisolasjonsegenskapene til de forskjellige byggteknikkene. Programmet ble brukt til å evaluere luftlydisolasjon, og bidro til å forstå hvordan de forskjellige materialene og konstruksjonene påvirker lydkomforten i bygningen. Denne analysen er viktig for å sikre at bygget oppfyller kravene til lydisolasjon, som er avgjørende for beboernes trivsel og komfort.

Detaljerte tegninger for hver byggteknikk ble utviklet, inkludert overgangene mellom ulike bygningsdeler som yttervegger, etasjeskillere og tak. Disse tegningene fungerte som grunnlag for simuleringene. Ved å modellere konstruksjonene i de digitale verktøyene, kunne man vurdere hvordan de ulike materialene oppfører seg under forskjellige forhold.

Abstract

This bachelor's thesis conducts a comprehensive comparison of different construction techniques, focusing on building physics challenges in the design of complex buildings. The starting point for the study is a generational house from Norgeshus, where constructions of cross-laminated timber, steel and concrete are analyzed to meet the requirements for sound, heat and moisture transport.

THERM was used to model and simulate heat transport through building details. The program calculates U-values, which indicate how well a building component insulates. With the help of THERM, thermal bridges, which are areas with higher heat conduction than the surrounding materials, can also be identified and analyzed. This is crucial for understanding heat loss in the building and for optimizing the insulation properties of the different constructions.

WUFI Pro was used to simulate moisture transport and water content in the building constructions. WUFI models were used to analyze how moisture moves through the constructions over time and to identify potential problems with moisture penetration and mold growth. This is especially important to ensure the durability of the building and a healthy indoor environment.

INSUL was used to analyze the sound insulation properties of the different construction techniques. The program was used to evaluate airborne sound insulation, helping to understand how the different materials and constructions affect acoustic comfort in the building. This analysis is important to ensure that the building meets sound insulation requirements, which are crucial for the residents' well-being and comfort.

Detailed drawings for each construction technique were developed, including the transitions between different building components such as exterior walls, floor separators, and roofs. These drawings served as the basis for the simulations. By modeling the constructions in the digital tools, it was possible to assess how the different materials behave under various conditions.

Stikkordliste/definisjoner

TEK17	Byggteknisk forskrift med veiledning. Regulerer tekniske og veilende krav til bygg
Pbl	Plan- og bygningsloven. Regulerer arealplanlegging, byggesaker og byggevirksomhet
RF	Relativ fuktighet referer til mengden vanndamp i luften inne i en bygning
U-verdi	Varmegjennomgangskoeffisienten er et mål på hvor godt et materiale isolerer mot varmetap
Kuldebro	Del av bygningskallet med dårligere isolasjonsevne enn omkringliggende områder
dB	Desibel er enhet for å måle lydstyrke
Hz	Hertz er en enhet for frekvens som måler antall svingninger per sekund
Luftlyd	Luftbåren lyd
Trinnlyd	Strukturlyd
FoU	Forskning og videre utvikling

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	1
1.1	Bakgrunn	1
1.2	Motivasjon og formål	1
1.3	Omfang, avgrensing	2
2	Prosjektbeskrivelse	3
2.1	Norgeshus	3
2.2	Sammen er vi mindre alene	3
3	Teori	5
3.1	Lov, forskrift, norm	5
3.2	Minimumskrav i TEK17	5
3.3	Fukttransport	6
3.4	Varmetransport	9
3.4.1	U-verdi	10
3.4.2	Kuldebro	10
3.5	Lyd	12
3.5.1	Lysklassifisering	12
3.5.2	Luftlydisolasjon	13
3.5.3	Trinnlydisolasjon	14
3.5.4	Lydisolering for yttervegg og skillevegg	15
3.6	Materialer	15
3.6.1	Massivtre	15
3.6.2	Betong	18
3.6.3	Stål	19
3.6.4	Bindingsverk av tre	20
4	Metode	21
4.1	Innhenting av informasjon	21

4.2	Programvarer	21
4.2.1	ArchiCAD	21
4.2.2	THERM	22
4.2.3	WUFI	23
4.2.4	Insul	25
5	Detaljer med beskrivelse	26
5.1	Overgang yttervegg/sedumtak	26
5.1.1	Massivtre	28
5.1.2	Betong	29
5.1.3	Stål	30
5.2	Overgang yttervegg/etasjeskiller	31
5.2.1	Massivtre	32
5.2.2	Betong	33
5.2.3	Stål	34
5.3	Overgang vegg mellom leilighet/etasjeskiller	35
5.3.1	Massivtre	36
5.3.2	Betong	37
5.3.3	Stål	38
6	Analyse og resultat	39
6.1	THERM	39
6.1.1	U-verdi	39
6.1.2	Kuldebro	41
6.2	WUFI	43
6.2.1	Yttervegg	43
6.2.2	Grønt tak ubrennbar isolasjon	47
6.2.3	Grønt tak brennbar isolasjon	50
6.3	INSUL	53
6.3.1	Yttervegg	54

6.3.2	Vegg mellom leilighet	55
7	Diskusjon	57
7.1	Feilkilder	57
7.1.1	THERM	57
7.1.2	WUFI	57
7.1.3	INSUL	59
7.2	Sammenligning	59
7.2.1	Varmetransport	59
7.2.2	Kuldebro	60
7.2.3	Fukttransport	61
7.2.4	Lyd	62
8	Konklusjon	64
9	FoU	66
	Referanseliste	67
	Figurliste	71
	Tabelliste	74
10	Vedleggsliste	75

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Bakgrunnen for dette prosjektet er gruppens egeninteresse for digitale verktøy, spesielt med tanke på den digitaliserte fremtiden som er og vil fortsette å utvikle seg. Digitalisering spiller en stadig større rolle i byggebransjen, hvor avanserte digitale verktøy og teknologier blir essensielle for å møte de økende kravene til effektivitet, nøyaktighet og bærekraft.

Ved prosjektering av bygg er lyd, varme-, og fukttransport viktige aspekter. Det stilles stadig strengere krav i forhold til fukt og varme for å sikre bærekraftige, komfortable og energieffektive bygg. Myndigheter og byggebransjen legger vekt på å redusere energiforbruket, forbedre innemiljøet og forlenge byggets levetid gjennom strengere forskrifter og standarder.

Med denne bakgrunnen er fokus satt på å sammenligne forskjellige byggteknikker ved hjelp av digitale verktøy som THERM, WUFI og INSUL. Disse verktøyene gir muligheten til å utføre detaljerte analyser av varme-, fukt- og lydisolasjon i ulike konstruksjoner, og dermed bidra til å forbedre prosjektering og bygging av komplekse bygg. Ved å integrere digitale verktøy i tilnærmingen, kan både nøyaktigheten og påliteligheten av analysene forbedres, samt effektiviteten i design- og byggeprosessen økes.

Ved å vise hvordan digitale verktøy kan bidra til å løse komplekse bygningsfysiske utfordringer, fremheves fordelene ved digitalisering i byggeprosjekter, med mål om å forme fremtidens byggemetoder. Gjennom å undersøke konstruksjoner med elementer av massivtre, stål og betong, gis konkrete anbefalinger som kan bidra til å utvikle mer energieffektive, materialeffektive og holdbare bygg.

1.2 Motivasjon og formål

Motivasjonen for denne oppgaven kommer fra de stadig strengere kravene som stilles til nye bygninger fra både myndigheter og brukere. Framtidens bygninger må være energieffektive, ha et godt inneklima, være materialeffektive og bygges med færre byggskader. Disse kravene danner grunnlaget for prosjektet. Gjennom å undersøke tre forskjellige byggteknikker med elementer av massivtre, stål og betong ønskes det å bidra med verdifull innsikt til byggebransjen og hjelpe bedrifter som Norgeshus med å utvikle bærekraftige og effektive bygninger. Gruppen håper at resultatene fra denne oppgaven kan være nyttige for å forbedre prosjektering og utførelse av generasjonsboliger og andre komplekse bygg.

1.3 Omfang, avgrensning

Dette prosjektet, som er initiert av Norgeshus, befinner seg i en forprosjektfase. Per nå er det ikke utarbeidet tegninger som omfatter bærekonstruksjoner og tykkelser på bygningsdeler. Dette begrenser oppgaven i forhold til detaljtegningene som skal utarbeides, da det foreløpig ikke finnes konkrete utgangspunkt. Det er derfor tatt utgangspunkt i detaljer fra Byggforsk.

Ettersom oppgaven er basert på å sammenligne massivtre, betong og stål, settes avgrensningene deretter. Det vil kun gjennomføres analyser der det er relevant å sammenligne de ulike byggteknikkene. Hovedarbeidet med rapporten vil ligge i å utføre og analysere de ulike analysene.

I forhold til tidsperspektiv og arbeidsmengde er det blitt gjort en del avgrensninger. Oppgaven tar kun for seg lyd, varme-, og fukttransport. Andre bygningsfysiske aspekter som brann er ikke inkludert. Analyser av etasjeskiller er ikke gjennomført på grunn av den tidkrevende prosessen dette medfører. Økonomiske vurderinger i forhold til de ulike byggteknikkene ble også vurdert, men det var ikke tid til å inkludere dette i oppgaven.

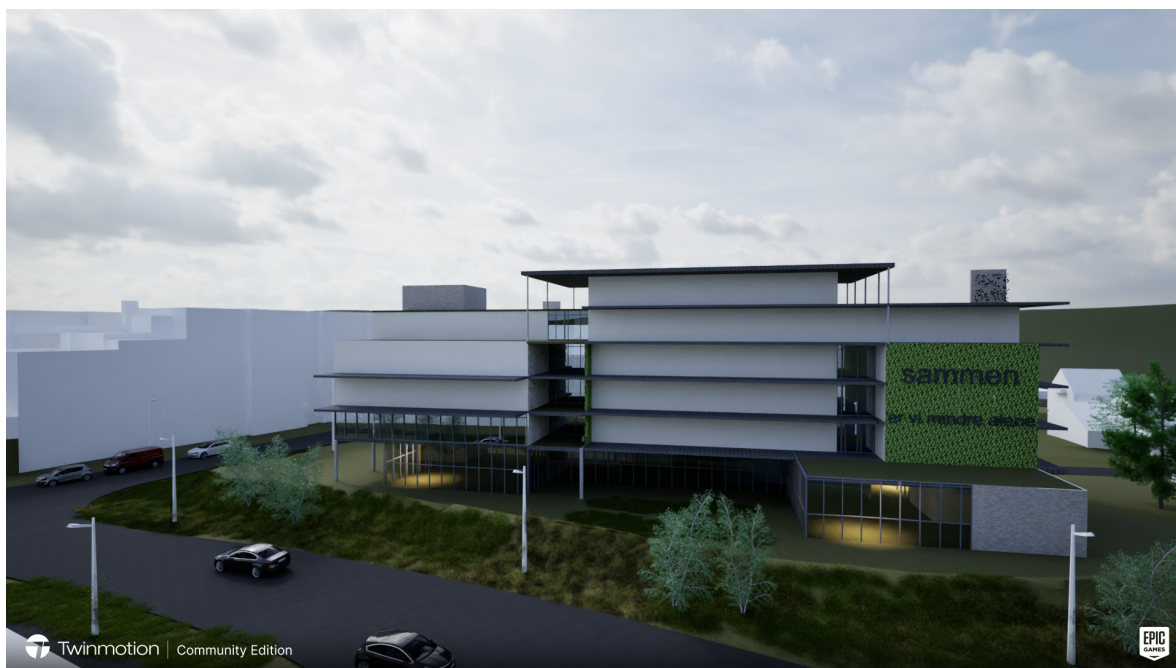
2 Prosjektbeskrivelse

Prosjektbeskrivelsen vil gi et innblikk i bakgrunnen for prosjektet og fremtidige mål. Her vil også både oppdragsgiver og samarbeidspartner for prosjektet presenteres.

2.1 Norgeshus

Norgeshus er en landsdekkende husleverandør som i over 35 år har bygget 25 000 boliger helt fra Kristiansund til Svalbard. Ved å samle både arkitekter og ingeniører under samme tak, følger Norgeshus kunden fra start til slutt på din boligdrøm. De hjelper med flere forskjellige oppgaver, og tar på seg alt av ansvar fra regulering til ferdigstillelse av boligen. Norgeshus har forhandlere over hele landet som bygger leiligheter, hus, hytter, fritidsboliger, offentlige bygg og næringsbygg. [2]

2.2 Sammen er vi mindre alene



Figur 2.1: Pottenveien. Illustrasjon: Norgeshus

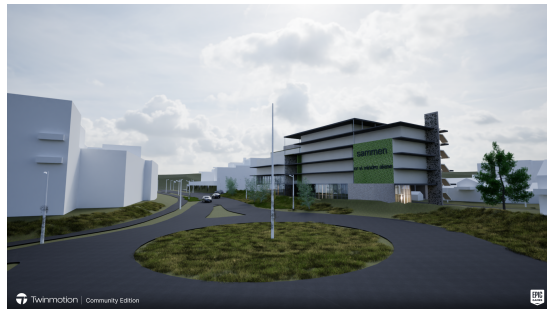
«Sammen er vi mindre alene» er et boligkonsept under utvikling av Norgeshus i samarbeid med husbanken og Melhus kommune. Prosjektet vil befinne seg i Melhus sentrum, og skal resultere i en generasjonsbolig. Dette prosjektet har som mål å kunne legge til rette for at innbyggerne skal kunne bo hjemme så lenge som mulig, uansett mestringsnivå.

Norgeshus og Melhus kommune eier sammen eiendommen i Pottenveien i Melhus sentrum. Det er et tomteareal på 3,8 mål, som består av 4 eiendommer med eldre boliger. Tre av eiendommene ligger på sør/vestsiden, mens den siste ligger på nord/østsiden av veien. Dette prosjektet er i en forprosjektfase og er fortsatt under utvikling for videre arbeid. Inntil videre er det planlagt inntil 50 boenheter, med 4 etasjer over bakkeplan og parkeringskjeller under bakkenivå. På hovedplan er det planlagt næringsarealer og fellesarealer som vil legge til rette for forskjellige aktiviteter og møtepunkter med sosiale arenaer. Slike plasser kan være kafe, bibliotek, butikker og andre lokaler med fokus på helse og velvære [3].

Norgeshus og Melhus kommune har en visjon om at beboerne kan knytte bånd på tvers av alder og ulikheter, og har derfor fokus på ulike målgrupper. Prosjektet ligner på «Generationernes Hus» i Aarhus kommune i Danmark. Her bor det flere generasjoner sammen, hvor hver av beboerne er til ressurs for hverandre. Andelen eldre vil øke i årene fremover, og det vil på sikt mangle kapasitet til å ta vare på alle innbyggerne. Ofte må eldre flytte til en mer egnet leilighet, men opplever ofte at leilighetene er for dyre. Det vil derfor være et fokus på å holde kostnadene nede i prosjektet, slik at leilighetene kan være tilgjengelig for alle [3].



Figur 2.2: Pottenveien. Illustrasjon: Norgeshus



Figur 2.3: Pottenveien. Illustrasjon: Norgeshus



Figur 2.4: Pottenveien. Illustrasjon: Norgeshus



Figur 2.5: Pottenveien. Illustrasjon: Norgeshus

3 Teori

For å løse prosjektoppgaven på en tilfredsstillende måte er det avgjørende med et solid teorigrunnlag. Dette kapitlet vil derfor presentere informasjonen og de kildene som er benyttet i utarbeidelse av denne rapporten.

3.1 Lov, forskrift, norm

Det stilles en rekke krav og regler ved oppføring av nye bygg i Norge, både i forhold til prosjektering og gjennomføring. Plan- og bygningsloven (pbl) er en norsk lov som regulerer arealplanlegging, byggesaker og byggevirksomhet [4]. På bakgrunn av Plan- og bygningsloven er det utarbeidet byggt teknisk forskrift (TEK) med tilhørende veiledning (VTEK), som regulerer tekniske og veiledende krav til bygg. Forskriften bidrar til å sikre at byggverk oppfyller nødvendige krav til sikkerhet, helse, miljø og energieffektivitet. I tillegg til lover og forskrifter, er det også nødvendig å følge standarder og kommunale retningslinjer. [5]

Byggforserien som er utviklet av SINTEF kan være nyttig for detaljløsninger og byggt tekniske utfordringer. Dette er en anvisning som inneholder dokumenterte ytelser, løsninger og anbefalinger for prosjektering, utførelse og forvaltning av bygninger. [6]

3.2 Minimumskrav i TEK17

Kapittel 14 i byggt teknisk forskrift fokuserer på energikravene til et bygg. Kravene er satt opp under ulike bygningskategorier. Bygget i denne oppgaven går under bygningskategorien boligblokk, og skal følge kravene deretter.

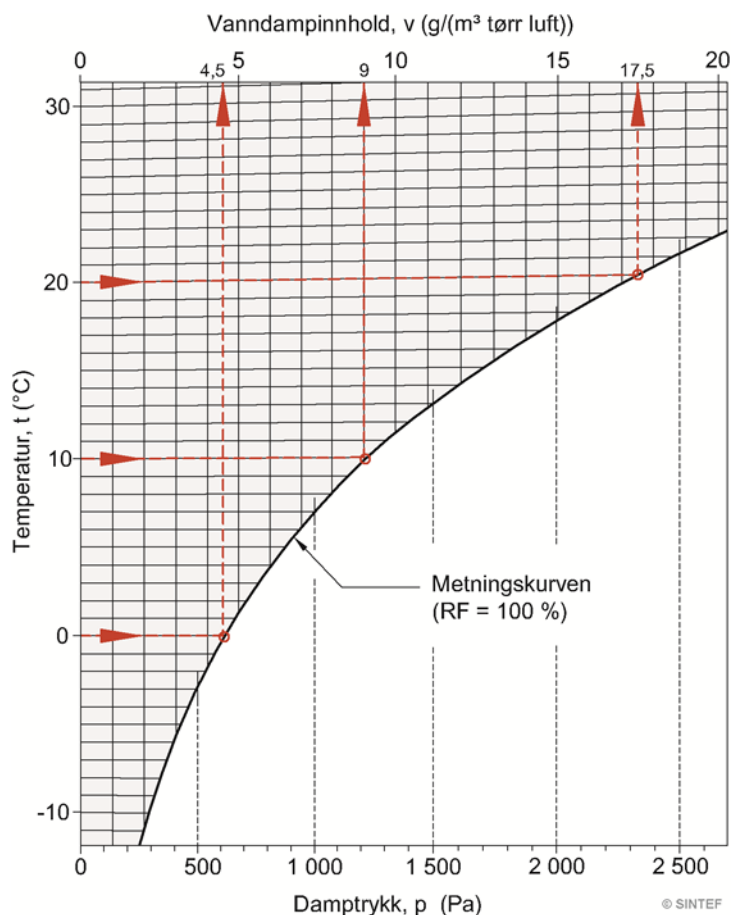
U-verdi yttervegg [W/(m²K)]	U-verdi tak [W/(m²K)]	U-verdi Gulv på grunn og mot det fri [W/(m²K)]	U-verdi vindu og dører inkludert karm/ramme [W/(m²K)]	Luftlekkasjetall ved 50 Pa trykkforskjell (Luftveksling per time)
≤ 0,22	≤ 0,18	≤ 0,18	≤ 1,2	≤ 1,5

Tabell 3.1: Minstekrav for energieffektivitet iht. §14-3 [7]

3.3 Fukttransport

Byggenæringen står overfor betydelige utfordringer knyttet til et økende antall byggska-der. Hvorav 75% av byggskadene er relatert til fuktskader. For høyt innhold av fukt kan forårsake direkte eller indirekte fuktskader eller problemer i bygningen. Fukt kan måles ved å se på relativ fuktighet (RF), og uttrykkes ved vanninnhold (g/m^3) eller ved vann-damptrykk (Pa). [8]

Fukt oppstår når høy luftfuktighet kombineres med lav overflatetemperatur. Ved 100% RF er luften mettet med fuktighet ved den gjeldene temperaturen. Dette vil si at når den relative fuktigheten når 100% og temperaturen synker, vil det oppstå kondens eller dugg. Dette på grunn av at lufta ikke klarer å holde på like mye vanndamp, og over-skuddet går over til væskeform. Figur 3.1 viser et luftfuktighetsdiagram med kurve for vanndampinnhold og damptrykk ved fuktmetning i luft ved ulike temperaturer. [9]

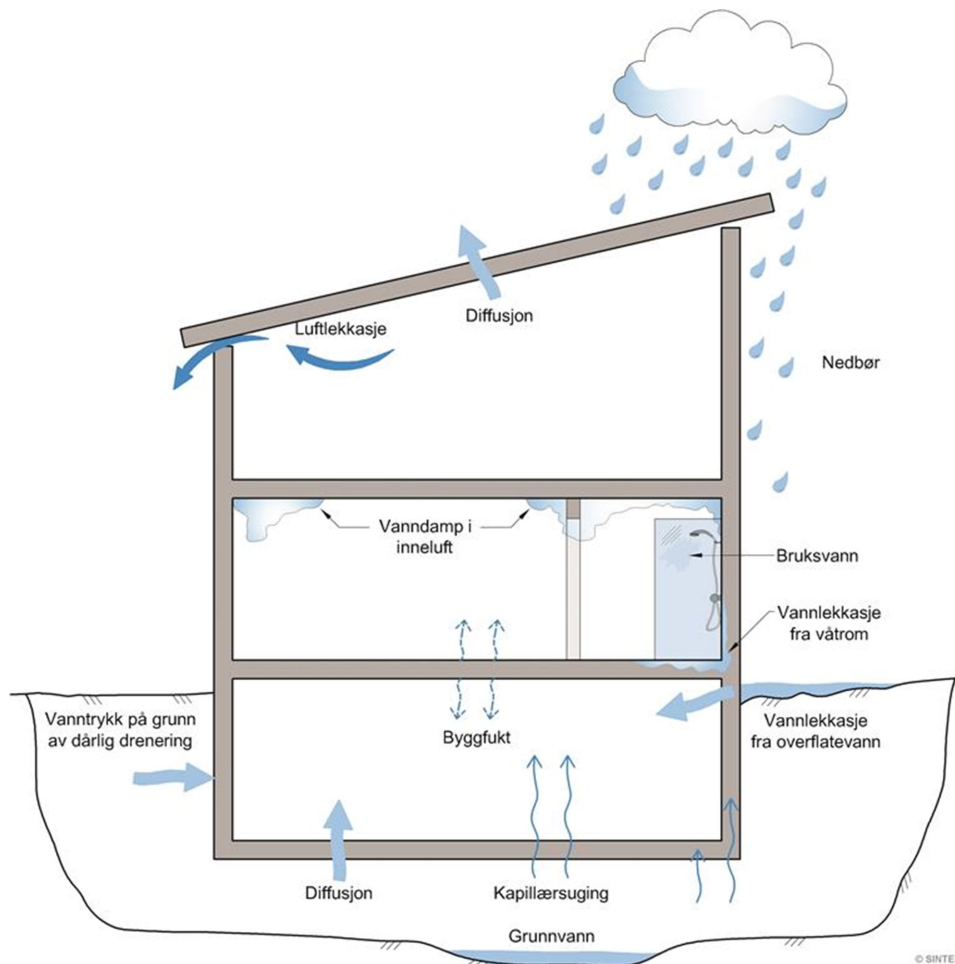


Figur 3.1: Luftfuktighetsdiagram [9]

Kondens og høy RF kan føre til muggvekst, råte og andre strukturelle skader. Byggforsk trekker frem fem hovedregler som skal hjelpe til med å oppnå god sikkerhet mot fuktskader [10]:

- Begrens tilførselen av fukt utenfra (regn, slagregn, snøinndrev, fukt i grunnen).
- Begrens tilførselen av fukt innenfra (vanndamp ved luftlekkasjer eller diffusjon, vann fra installasjoner eller fuktbelastede rom).
- Begrens og kontroller byggfukten (byggematerialenes fuktinnhold både ved mottak på byggeplass og ved lukking av konstruksjoner).
- Gi konstruksjonen god uttørkningsevne.
- Hvis ikke de overnevnte punktene er tilstrekkelig, bruk materialer som tåler høy fuktighet.

Figur 3.2 viser typiske fuktkilder og transportformer. Ved utforming av detaljtegninger er det viktig at det legges ekstra vekt på de utsatte punktene.



Figur 3.2: Typiske fuktkilder og transportformer [10]

Det er fire hovedmetoder for fukttransport. Disse er vanndampdiffusjon, fuktkonveksjon, kapillærsuging og væskestrømning [9]. Disse metodene er viktig å forstå for å kunne kontrollere fuktighet i bygninger.

Vanndampdiffusjon er vanndamptransport på grunn av forskjeller i vanndamptrykk [9]. Vanndampdiffusjon er en potensialstrøm, og transporten skjer fra høyere til lavere energipotensial. Dette vil si at vanndampdiffusjon i et materiale vil alltid gå fra høyt damptrykk til lavere damptrykk [11]. Ulike materialer har ulik porøsitet, og hvor stor dampstrømmen gjennom et materiale er, vil dermed kunne variere.

Fuktkonveksjon forekommer når varm luft fra oppvarmede områder stiger og fører med seg fuktighet mot kjøligere områder. Fuktttransport ved konveksjon kan føre til transport av store luftmengder og dermed også av damp [12]. Det skilles mellom naturlig konveksjon og påtvunget konveksjon. Naturlig konveksjon foregår i luftrom eller luftpermeable materialsjikt i konstruksjonen og fører til en omfordeling av fukt inne i konstruksjonen. Påtvunget konveksjon kan oppstå ved at vind, ventilasjon og temperaturforskjeller skaper trykkforskjeller og transporterer vanndamp. [11]

Kapillærsuging vil si vanntransport på grunn av kapillærkrefter i materialporene. Det kapillære området befinner seg der hvor RF er over 98% og væskestrømning ved kapillærsuging vil da kunne oppstå. Kapillærsuging forårsakes av at vann trekkes oppover i materialet, slik som for eksempel betong, murstein og treverk. Dette er spesielt et problem i grunnmur og kjellervegger ettersom fukt fra grunnen kan trekkes oppover gjennom kapillær fuktttransport. [9]

Ved bygging inneholder de fleste materialene mer fukt, enn når bygningen er i bruk, dette kalles byggfukt. Stenges byggfukt inne i konstruksjonen, eller ikke tørker raskt nok ut, vil det ha store konsekvenser for blant annet inneklima, bygningskader og forsinkelser i framdrift av bygging. Alle materialer med porer kan inneholde fuktighet, men hvor mye og hvordan fukten tas opp avhenger av materialet. Trebaserte og andre organiske byggematerialer krymper når det tørkes ut og sveller opp når de fuktes opp. Materialene kan da få en formendring, særlig om det tørker for raskt. Dette kan gi permanente skader på materialet, slik som sprekker og permanent formendring. [13]

Kritisk fuktnivå er en grenseverdi for når fuktrelaterte skader vil inntreffe. Bli fuktnivået større enn det kritiske fuktnivået er det fare for at skader slik som muggvekst kan inntreffe i konstruksjonen. For å unngå skader som muggvekst er det viktig at overflatene tørkes ned til 75-80 %, helst i løpet av et par dager. For tre er det kritiske fuktnivået på 18% . For betong vil det kritiske fuktnivået bestemmes av type overfaltebelegg som legges. [14]

Det er fins flere dataprogrammer for beregninger av fukt. I denne oppgaven vil WUFI Pro 6.7 bli anvendt for beregninger. WUFI regner med både vanndampdiffusjon og kapillærtransport i de forskjellige materialene [9].

3.4 Varmetransport

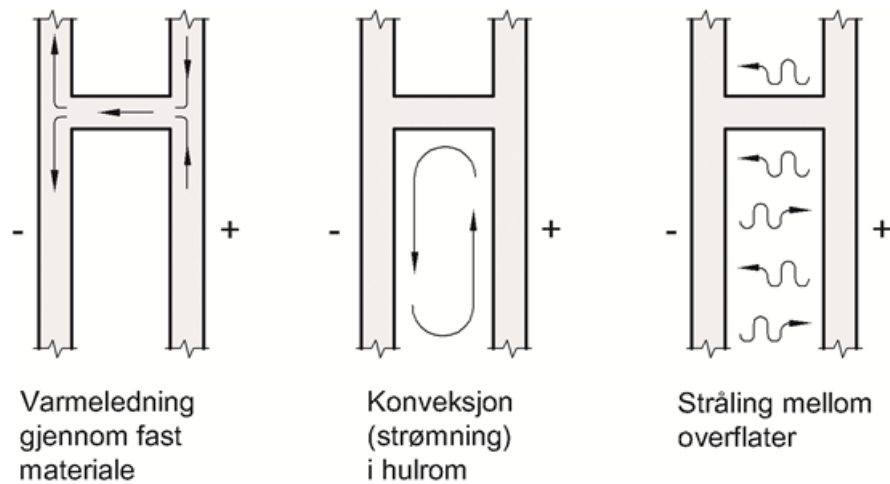
Varmetransport vil alltid oppstå i en bygningskonstruksjon hvor det er en temperaturforskjell mellom innsiden og utsiden. Varmetransport gjennom materialer kan skje på tre måter [15]:

- Varmeledning i faste materialer, væsker, luft og gasser.
- Konveksjon i væsker, luft og gasser.
- Stråling mellom overflater i hulrom med bare luft eller annen gass.

Varmeledning er transport av termisk energi hvor varmen ledes gjennom materialet fra molekyl til molekyl. Den termiske energien får molekylene til å vibrere, som igjen fører til at energi overføres til nabomolekylene. Varmeledning kan oppstå i faste materialer, væsker, luft og gasser. Ulike stoff har ulike evner til å lede varme, og dette uttrykkes vanligvis som varmeledningsevne eller varmekonduktivitet. Den greske bokstaven lambda (λ) brukes som symbol for varmekonduktivitet og har benevnelsen W/mK. [16]

Konveksjon, også kalt strømning, oppstår ved at partikler eller molekyler beveger seg fra et sted med høyere temperatur til et sted med lavere temperatur. Temperaturdifferansen fører til at luften sirkulerer og frakter så varme fra den varme siden ut til den kalde. Konveksjon kan oppstå i væsker, luft og gasser. Det er hovedsakelig konveksjon i luft som har interesse, og hvor stor del av varmetapet som skyldes konveksjon er avhengig av retning til varmestrømmen og tjukkelsen på luftespalte. [16]

Stråling er transport av varmeenergi som elektromagnetiske bølger. Alt som er varmt sender ut varmestråling. Dette gjelder for alt fra objekter til væsker og gasser, så lenge de er varmere enn det absolutte nullpunktet. Det kan for eksempel være sola, mennesker og andre varmekilder. Hvor mye varmestråling et objekt sender ut avhenger av temperatur og emisjonsfaktoren. Lav emisjonsfaktor stråler ut lite varme, mens høy faktor stråler ut mye varme. Blanke, reflekterende flater har lav emisjonsfaktor, mens mørke, grove flater har høy emisjonsfaktor. Dette vil si at mørke, grove overflater er mer effektive til å sende ut varmestråling og absorberer mer av den termiske strålingen, i motsetning til blanke, reflekterende flater som heller reflekterer mesteparten av den termiske strålingen. [16]



Figur 3.3: Tre former for varmetransport [15]

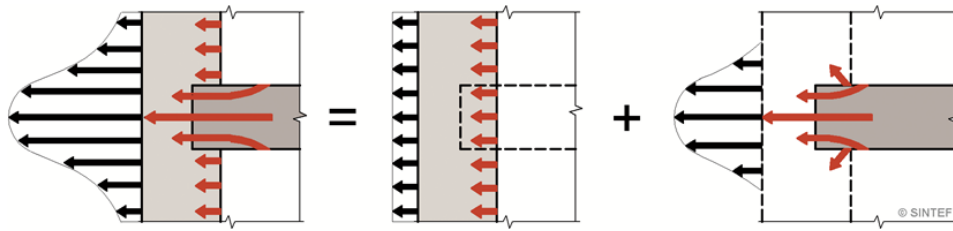
3.4.1 U-verdi

U-verdi eller varmegjennomgangskoeffisient sier noe om hvor mye varme som trenger gjennom en bygningsdel. U-verdi måles i $W/(m^2K)$ og angir hvor mye varme som strømmer gjennom en kvadratmeter av en bygningsdel for hver grad temperaturforskjell på hver side av bygningsdelen. En lav U-verdi indikerer god isolasjonsevne, og en høy U-verdi indikerer dårligere isolasjonsevne. I oppgaven er programvaren THERM brukt for å regne ut U-verdien til de ulike bygningsdelene. [15]

3.4.2 Kuldebro

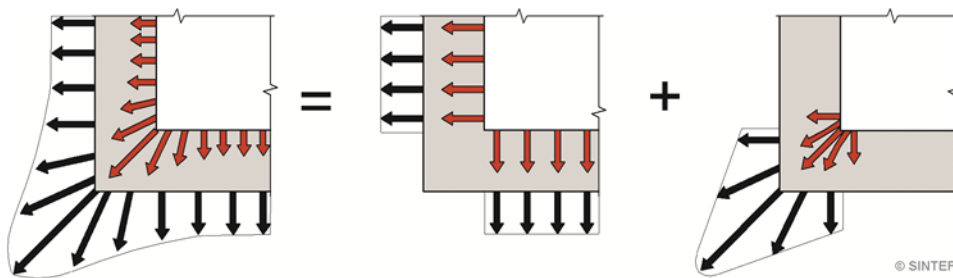
En kuldebro er et område i en eller flere deler av bygningen der varme ledes ut gjennom bygningsdelene. For å redusere kuldebroen er det viktig å etablere en kuldebryter. Dette gjør man ved å isolere på utsiden av bygningsdelen som skaper kuldebroen. [17]

Det skilles mellom lineær kuldebro og punktkuldebro. Den greske bokstaven psi (ψ) blir vanligvis brukt som symbol for kuldebroverdi med benevnningen $W/(mK)$. For punktkuldebro blir benevnningen W/K brukt. En lineær kuldebro oppstår når to forskjellige bygningsdeler møtes eller ved at en bygningsdel trenger delvis eller helt gjennom klimaskjermen. Punktkuldebroer oppstår når en liten utstrekning bryter gjennom et isolasjonssjikt eller der tre bygningsdeler i klimaskjermen møtes. Dette kan være en søyle eller en skorstein. [18]

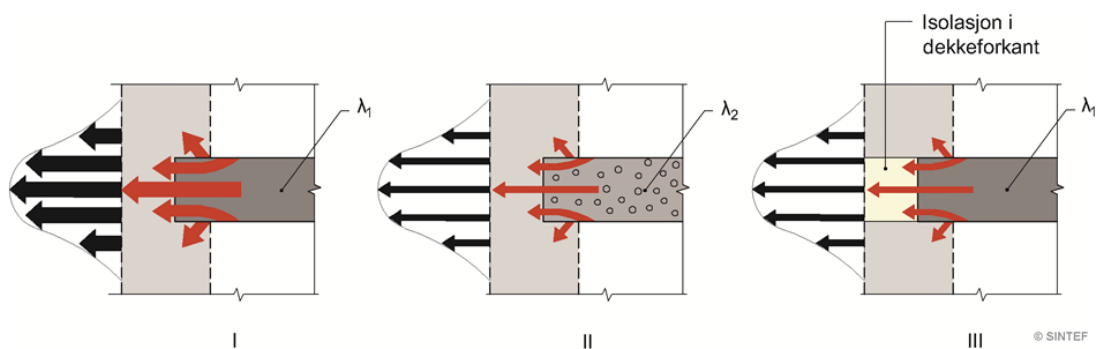


Figur 3.4: Varmestrøm gjennom en kuldebro [18]

Det er to bidrag til kuldebroverdi; geometrisk bidrag og materialbidrag. Det geometriske bidraget skyldes endringer i tykkelse eller vinkel i ytterkonstruksjonen. Dette kan for eksempel være hjørne, møne og tilslutning mellom yttervegg og gulv eller tak. Figur 3.5 viser kuldebro som oppstår for et hjørne. Materialbidrag referer til egenskapene til materialer og komponenter som er brukt i tilslutningen og deres varmeledningsevne. Figur 3.6 viser hvordan et dekke med høy varmeledningsevne gir høyere kuldebroverdi sammenlignet med dekker med lav varmeledningsevne. [18]



Figur 3.5: Tilslutning der kuldebro oppstår grunnet forskjell mellom utvendig og innvendig overflateareal for et hjørne [18]



Figur 3.6: Eksempel på kuldebro der et dekke trenger gjennom klimaskjermen [18]

TEK17 stiller krav til energieffektivitet og krav om at energibehov og varmetap skal beregnes i samsvar med NS3031:2014 for bygninger. Dette inkluderer også vurdering av varmetap gjennom kuldebroer, som inngår i det totale varmetapet for bygninger. [18]

Beregninger av varmestrøm gjennom en kuldebro er en omstendelig prosess, og svært tidkrevende. Det er derfor valgt å ikke regne på dette i oppgaven. I stedet er det valgt å utføre analyser av overganger i THERM, hvor man undersøker temperaturfordelingen i bygningsdelen.

3.5 Lyd

Lyd referer til lydbølger i luft som kan oppfattes av hørselen. Dette er en form for energi som overføres gjennom vibrasjoner i et legeme. Øret oppfatter lyd ved at en lydkilde vibrerer og setter luften rundt seg i bevegelse. Deretter spres luftvibrasjonene seg gjennom luften som bølger og får trommehinnen til å vibrere. Vibrasjonene omdannes til elektriske signaler som registreres som lyd. [12]

3.5.1 Lysklassifisering

Krav til lyd i bygninger er gitt i NS8175 «Lydforhold i bygninger – Lydklasser for ulike bygningstyper». Standarden kategoriserer lydkravene i forhold til bruksområde, type rom og lydklasser. De forskjellige lydklassene er A, B, C, og D, der klasse A er den strengeste [12]. Ifølge TEK17 skal lydforhold være «*tilfredsstillende for personer som oppholder seg i byggverk og på uteoppholdsarealer avsatt for rekreasjon og lek*» [19]. For å oppfylle dette gjelder lydklasse C, som også er den laveste lydklassen som tillates i nybygg. Hensikten med kravene er ifølge TEK17 at «*personer skal ha mulighet for arbeid, hvile, rekreasjon, søvn, konsentrasjon, kommunikasjon, god taleforståelse, oppfattelse av faresignaler og mulighet til orientering*» [19].

3.5.2 Luftlydisolasjon

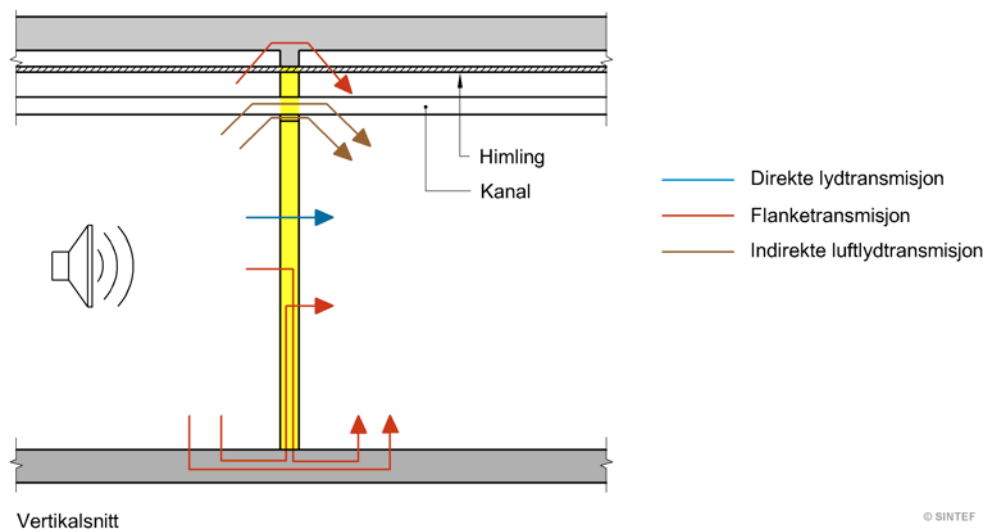
Type brukerområde	Målestørrelse	Klasse A dB	Klasse B dB	Klasse C dB	Klasse D dB
Mellom boenheter	$R'_w + C_{50-5000} \geq$ $R'_w \geq$	62 -	58 -	54 -	- 50
Mellom boenheter og fellesareal/kommunikasjonsvei, som fellesgang, trapperom, trapp o.l	$R'_w \geq$	62	58	54	50
Mellom boenhet og svalgang/utvendig trapp Fra garasje/carport og utvendig bod til oppholdsrom i en annen bolig	$R'_w \geq$	58	54	50	46
Mellom rom i boenhet og svalgang/utvendig trapp med vindu direkte mot disse	$R'_w \geq$	52	48	44	40
Mellom en boenhet og nærings- og servicevirksomhet, garasjeanlegg o.l	$R'_w + C_{50-5000} \geq$ $R'_w \geq$	68 -	64 -	- 60	- 56
Mellom oppholdsrom uten dørforbindelse i samme boenhet (til minst ett av rommene i boenheten)	$R'_w \geq$	48	44	-	-

Tabell 3.2: Lydklasser for boliger: Luftlydisolasjon [20]

Luftlydisolasjon er isolasjon fra en lydkilde til en mottaker gjennom luft. Dette kan være lyd fra stereoanlegg, TV og tale. Luftlyd oppstår ved at lydbølger treffer en skillekonstruksjon og skaper svingninger. Noe av den innfallende lyden vil så stråle ut på baksiden. Konstruksjonens lydisolerende evne blir oppgitt av lydreduksjonstallet, R , og måles i desibel (dB). Desto høyere lydreduksjonstall, desto bedre isolerer konstruksjonen mot luftlyd. [21]

Flanketransmisjon er et prinsipp for luftlydisolasjon og byggforsk beskriver det som «*energi som overføres mellom rom som strukturlyd*». Dette vil si lyd som overføres gjennom tilstøtende bygningsdeler som ikke er den direkte skilleflaten mellom to rom. Dette kan inkludere lyd som reiser gjennom kanaler, utettheter eller andre overføringsveier. Selv om vegg mellom to rom har god lydisolasjon, kan fortsatt lyd finne veien gjennom disse

flanketransmisjonsveiene. Figur 3.7 viser en illustrasjon av flanketransmisjonsveier. [22]



Figur 3.7: Flanketransmisjonsveier [22]

3.5.3 Trinnlydisolasjon

Type brukerområde	Målestørrelse	Klasse A dB	Klasse B dB	Klasse C dB	Klasse D dB
Mellom boenheter	$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	46	50	54	-
I en boenhet fra felleareal/kommunikasjonsvei, som fellesgang, svalgang, trapperom, trapp o.l	$\leq L'_{n,w} \leq$	-	-	-	56
I en boenhet fra nærings- og servicevirksomhet, garasjeanlegg, felles takterrasse o.l	$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	40	44	48	-
I en boenhet fra toalett, bad, bod o.l. samt fra balkong o.l. i en annen boenhet	$\leq L'_{n,w} \leq$	-	-	58	62
Mellom oppholdsrom uten direkte dørforbindelse i samme boenhet	$L'_{n,w} \leq$	54	58	-	-

Tabell 3.3: Lydklasser for boliger: Trinnlydisolasjon [20]

Trinnlyd er konstruksjonslyd og oppstår som følger av lyd fra fottrinn og dunking på en etasjeskiller. Dette fører til at lyd overføres fra en etasje til en annen. Trinnlydisolasjonen

blir oppgitt i trinnlydnivå og har benevnelsen L og måles i desibel (dB). Et gulv som er godt isolert mot trinnlyd skal ha lavt trinnlydnivå. [21]

3.5.4 Lydisolering for yttervegg og skillevegg

Ytterveggen i en bygning har som funksjon å skjerme mot trafikk-, bygg- og anleggsstøy. Pbl og TEK17 stiller krav om at lyd i og utenfor bygningen skal være tilfredsstillende. Hvor godt en yttervegg isolerer mot lyd avhenger av hvilken motstand veggen har i forhold til å overføre lyd fra den ene siden til den andre. Byggforsk beskriver at overføring av støy skjer ved at «*utsiden av ytterveggen «plukker opp» svingningene i lufta og overfører svingningene til innsiden av veggen*». [23]

TEK17 stiller krav til lydisolasjon for skillekonstruksjoner. Skilleveggen i en bygning har som funksjon å hindre eller redusere støy mellom leiligheten, slik at beboere ikke blir forstyrret av hverandres aktiviteter. Dette inkluderer luftbåren lyd og trinnlyd.

Trafikkstøy domineres av lavfrekvent lyd. For å ta hensyn til dette brukes en omgjøringsfaktor for spektrum, som legges til verdien for lydreduksjon. C50-5000 er benevnelsen for omgjøringsstall for spektrum, og er korreksjonsfaktoren som justerer veid reduksjonstall for å ta hensyn til lavfrekvente lyder mellom 50 Hz og 5000 Hz. R_w er benevnelsen for veid reduksjonstall og beskriver konstruksjonens evne til å isolere mot luftlyd. Det er spesielt viktig for områder hvor utendørs støyspekter inneholder mye lavfrekvent lyd å inkludere $R_w + C50-5000$, som best beskrives lydisolasjon mot støy fra veitrafikk. Det er viktig å sikre mot lavfrekvente lyder både for yttervegg og skillevegg. [23]

3.6 Materialer

3.6.1 Massivtre

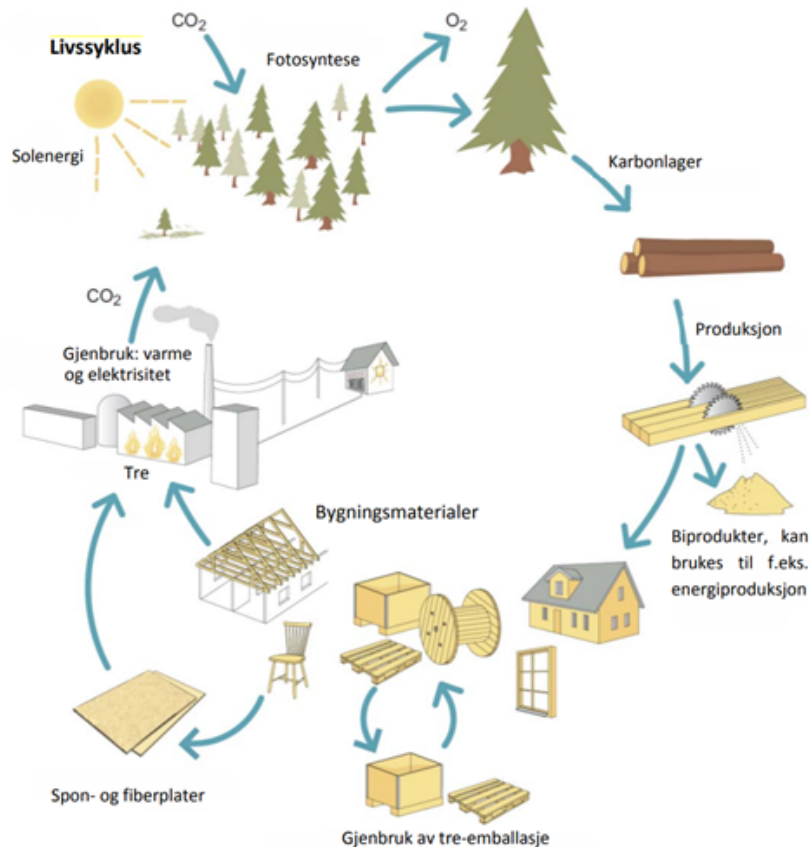
Utviklingen av massivtre startet allerede tidlig på 1990-tallet, og har siden blitt en anerkjent byggeteknikk. Bruk av massivtre samsvarer også med dagens behov for mer miljøvennlige konstruksjonsløsninger. Massivtre er et konstruksjonsmateriale som er laget av lameller satt sammen av spiker, tredybler, lim eller stålstag. Massivtre er også kjent som KLT (Kryss-Laminert-Tømmer) eller CLT (Cross-Laminated-Timber). Massivtre har flere fordeler. Trefokus trekker frem følgende [24]:

- Stor fleksibilitet ved formgivning, planløsning og konstruksjon.

- Kort byggetid og god totaløkonomi
- Enkelt å kombinere med andre materialer.
- Lav vekt og enkel montering av tekniske installasjoner.
- Godt arbeidsmiljø og ryddig arbeidsplass.
- Positive miljøegenskaper.
- God råstoffutnyttelse

Massivtre brukes i dag til alle typer bærekonstruksjoner, slik som eneboliger, fleretasjes bygg, haller, sportsarenaer og vegbruer. Massivtre har bedre egenskaper når det kommer til styrke og stivhet i forhold til annet konstruksjonsvirke av samme dimensjon. På grunn av at massivtre har stor styrke i forhold til vekt er det mulig å prosjektere konstruksjoner med spenn opp mot 150m. [25]

Massivtre har sammenlignet med andre materialer flere miljømessige fordeler. Massivtre er en fornybar ressurs som er bærekraftig så lenge dette kombineres med et bærekraftig skogbruk. Dette inkluderer at det sørges for at uttaket ikke er større enn tilveksten. Tre binder CO₂ og vil kunne fungere som et karbonlager. Dette vil ha en positiv effekt i forhold til utslipp av drivhusgasser, selv om en slik løsning er tidsbegrenset for en periode mellom 50-100 år. Figur 3.8 viser livssyklusen til treprodukter. [25]



Figur 3.8: Livssyklusen til treprodukter [26]

Massivtre har høy termisk masse, som vil si at det kan lagre og frigi store mengde varme. Dette vil kunne bidra til å stabilisere innendørs temperatur ved å absorbere overskuddsvarme på varme dager og frigjøre den på kalde dager. Dette vil redusere behovet for oppvarming og nedkjøling, samt gi et bedre inneklima. Massivtre har også relativt lav varmeledningsevne. Dette gjør massivtre til et godt isolasjonsmateriale. [27] [28]

I forhold til fukt er det spesielt viktig å tenke på fuktsikring i byggeprosessen for å unngå at massivtreelementene blir utsatt for regn, snø og høy relativ fuktighet. Dette kan føre til vekst av sopp og råte. For å unngå dette er det viktig at bygget reises og tettes raskt [24]. I følge norsk standard skal det nevnes ut en fuktsikringsansvarlig som skal sørge for at fuktsikkerhetsstrategien blir fulgt i prosjektet. For massivtreelementer kan fuktsikkerhetsstrategien innebære [29]:

- Tørr lagring av elementene før lagring
- Værebekyttet bygging/montering
- Fjerne snø og vann på dekker raskt
- Beskyttelse av endevend

- Midlertidig teiping eller tildekking av utsparinger som kan bli eksponert for fukt
- Fuktmålinger før tildekking og lukking av konstruksjoner

Lydisolasjonegenskapene til massivtre er moderate og tykkere massivtrevegger vil isolere bedre mot lyd sammenlignet med tynnere vegger. Strukturlyd, støy som overføres gjennom bygningens struktur, som fottrinn og slag, kan være en utfordring for massivtre. Dette løses ofte med å bruke elastiske lag, som sylomer, mellom vegger og dekker av massivtre for å dempe vibrasjoner. I tillegg vil det ofte være nødvendig med tilleggskonstruksjon på oversiden og/eller undersiden for etasjeskiller. For yttervegg vil det alltid være tilleggskonstruksjon på utsiden, men det kan også være nødvendig med tilleggskonstruksjon på innsiden for å oppfylle lydkrav. [29]

3.6.2 Betong

Betong er et populært byggematerialet på grunn av lite behov for vedlikehold gjennom levetiden. Det fremstilles ved å blande sement og vann med tilslag av sand- og steinmaterialer. På grunn av betongens lave strekkstyrke må den forsterkes med armering, men grunnet dens høye styrke, formbarhet og fleksibilitet er det et av de viktigste byggematerialene.[30]

Det er mange fordeler ved å bygge med betong. Betong er ikke brennbart og avgir verken røyk eller giftige gasser, noe som kan redde menneskeliv ved at betongstrukturen opprettholder sin bæreevne under en brann. Dette bidrar også til å gjøre sløkkearbeidet tryggere for brannvesenet.[31]

Betong har høy varmeledningsevne, og i forhold til andre varmeisolerende materialer vil betongen lede varmen vesentlig bedre. Det kan derfor ofte oppstå kuldebroer der betongelementer bryter gjennom varmeisolasjonen i bygninger. Betong er også egnet for lagring av varmeenergi, da det har en kombinasjon av egenskaper som høy varmeledningsevne og god termisk kapasitet. Dens evne til å lagre overskuddsvarme gjør det varmebestandig.[31]

Betong er et materiale som er kjent for sin motstandsdyktighet mot fuktighet og dets uforgjengelighet i forhold til råte. Dette skyldes betongens egenskaper som gjør det motstandsdyktig mot vanninntrengning, spesielt når det er riktig blandet og herdet. Betong kan til og med produseres for å være nærmest vanntett ved hjelp av spesifikke tilsetningsstoffer og blandingsteknikker. Likevel er det avgjørende å beskytte betongen mot langvarig eksponering for fuktighet for å forhindre skader som følge av for eksempel kjemiske reaksjoner eller frostsprengning. Beskyttelse mot fukt kan være påføring av overflatebehandlinger, bruk av fuktbarrierer og regelmessig vedlikehold for å sikre betongens

langvarige integritet og funksjonalitet.[31][30]

Betong er et utmerket materiale for lydisolering i bygninger. Den høye massen og tettheten til betong bidrar til effektiv isolasjon mot både utvendig støy og forstyrrende lyder innenfor bygningen, som støy fra trapperom og mellom leiligheter. Betong er spesielt effektiv ved å dempe lave frekvenser, noe som ofte er utfordrende for andre materialer. Denne lydisolerende egenskapen gjør betong til et foretrukket materiale i urbane områder og flerfamilieboliger, hvor støyreduksjon er en viktig faktor for beboernes komfort. Betong kan oppnå betydelig lydisolasjon selv uten tilleggskonstruksjoner, som ekstra lydisolerende paneler eller lag.[32]

3.6.3 Stål

Stål er en blanding av jern og karbon og har et bredt spekter av egenskaper som kan tilpasses ulike typer bruksområder, og er mest sannsynlig en av de mest anvendelige konstruksjonsmaterialene. Stål spiller derfor en stor rolle innenfor en rekke områder, og har bidratt mer enn noe annet metall til den moderne sivilisasjonen. Det er det mest brukte materialet gjennom mange år i strukturelle og lastbærende anvendelser, blant annet i byggkonstruksjoner og bruer. [33]

Stål er kjent for sin høye strekkstyrke og holdbarhet, noe som gjør det ideelt for konstruksjoner som broer, høyhus og industribygg. Det er også formbart, noe som gir arkitekter frihet til å skape innovative og komplekse design. En stor fordel med stål er også dets bærekraft, da det kan resirkuleres uten å miste kvalitet, noe som reduserer behovet for nye råmaterialer og er dermed miljøvennlig. [34] [35]

Stål har høy termisk konduktivitet, noe som betyr at det raskt leder varme. Dette kan være fordelaktig i visse sammenhenger, da det hindrer lokal oppvarming av komponenter. Men i kaldere klima kan dette også føre til varmetap, som kan øke energibehovet for oppvarming av bygninger. For å motvirke varmetap brukes ofte isolasjon og termiske brudd i stålkonstruksjoner. [36]

En utfordring med stål er dets følsomhet for korrosjon når det utsettes for fukt og oksygen. For å beskytte stål mot rust, benyttes teknikker som galvanisering, maling eller bruk av rustfritt stål, som inneholder krom og nikkel for økt korrosjonsbestandighet. Effektiv drenering og ventilasjon er også viktig for å minimere fuktansamling i stålkonstruksjoner. [35] [34]

Stål har begrensede lydisolerende egenskaper på grunn av dets høye tetthet og stivhet, noe som kan føre til effektiv overføring av lyd og vibrasjoner. For å forbedre lydisolasjonen

i bygninger med stålkonstruksjoner brukes ofte lydisolerende materialer som gipsplater og mineralull. Konstruksjonsteknikker som flytende gulv, doble vegger og elastiske festemidler kan også bidra til å redusere lyd- og vibrasjonsproblemer. [23]

3.6.4 Bindingsverk av tre

Bindingsverk av tre er en utbredt byggemetode og har flere fordeler. Det er kostnadseffektivt, noe som gjør det til et attraktivt valg for mange byggeprosjekter. I tillegg er det lett tilgjengelig og enkelt å arbeide med, som kan redusere byggetiden. Tre har gode isolasjonsegenskaper, som bidrar til bedre energieffektivitet i bygninger. Dessuten er bindingsverk av tre en bærekraftig løsning, ettersom tre er et fornybart materiale og har lavere karbonavtrykk sammenlignet med mange andre byggematerialer. Det gir også mulighet for fleksibilitet, slik at det enkelt kan tilpasses ulike byggetyper og krav. [37]

Tre har gode isolasjonsegenskaper sammenlignet med mange andre byggematerialer. Dette betyr at bindingsverk av tre kan bidra til å holde bygninger varme om vinteren og kjølige om sommeren. For å forbedre varmeisolasjonen ytterligere, brukes ofte isolasjonsmaterialer som mineralull i hulrommene mellom stenderne.

Fukt er en av de største utfordringene ved bruk av tre i konstruksjoner. For å beskytte bindingsverket mot fuktighet, er det avgjørende å bruke dampsperrer på innsiden av veggene og en dampåpen vindsperre på utsiden. Dette bidrar til å hindre fuktighet fra å komme inn i konstruksjonen, samtidig som det tillater eventuell innestengt fukt å tørke ut. Det er også viktig med god ventilasjon og riktig drenering for å unngå fuktskader og råte.[38]

Tre har naturlige lydabsorberende egenskaper, men i mange tilfeller er det nødvendig med ekstra tiltak for å sikre tilstrekkelig lydisolasjon. Dette kan inkludere bruk av isolasjonsmaterialer i veggene, samt gipsplater eller andre lydisolerende plater. Dobbelt veggkonstruksjon og flytende gulv kan også bidra til å redusere lydgjennomgang mellom rom. [39]

4 Metode

Dette kapitlet beskriver metodene som er benyttet i utarbeidelen av rapporten. Det vil inneholde en redegjørelse for hvordan informasjon har blitt samlet inn, og hvilke programvarer som har blitt brukt. Det er også beskrevet hvilke spesifikke data som inngår i beregningene, og hvordan disse behandles og analyseres.

4.1 Innhenting av informasjon

Norgeshus har bidratt med en pln-fil som viser referansebygget, og denne har dannet grunnlaget for valg av detaljer i oppgaven. Filen inneholder informasjon som utvendig kledning og forslag til mulig planløsning, samt en 3D modell som viser hvordan bygget skal se ut utvendig.

Det har blitt gjennomført omfattende litteratursøk. Dette inkluderer blant annet kilder som SINTEF Byggforsk og tidligere bacheloroppgaver. Prosjektet har også dratt nytte av fagbøker for å sikre et grundig og oppdatert teoretisk grunnlag.

All informasjon er nøye kontrollert opp mot andre uavhengige kilder for å sikre at rapporten inneholder mest mulig pålitelig og nøyaktig informasjon.

4.2 Programvarer

4.2.1 ArchiCAD

ArchiCAD er et BIM-verktøy som er utviklet av det ungarske firmaet Graphisoft. Programmet kan brukes til å modellere og konstruere bygninger og detaljer i både 2D og 3D. I prosjektet er ArchiCAD 27 blitt anvendt for å utvikle detaljtegninger. [40]

Tegninger som er produsert:

- Yttervegg/sedumtak
- Yttervegg/etasjeskiller
- Vegg mellom leiligheter

4.2.2 THERM

THERM er et program som er utviklet av Lawrence Berkeley National Laboratory. Programmet brukes til å modellere og simulere varmetransport gjennom bygningsdetaljer. THERM kan brukes til å analysere varmetap, kuldebroer og kondens eller muggvekst, og fremstiller U-verdier, varmefluks og temperaturendring. Materialets egenskaper, grenseverdier og ytre forhold er bakgrunnen for simuleringen. En kan modellere bygningsdelen via en importert DXF-fil eller tegne geometrien ut i fra en dimensjonert tegning. Hvor siste metode er blitt brukt i analysen. [41]

I programmet er det flere bibliotek med data. I THERM velges det overflatetemperatur inne og ute, for å se temperaturfordelingen i bygningsdelen. Det er valgt at utetemperatur skal være $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ inne. Dette er ofte brukte temperaturer, altså forhåndsinnstilte verdier som er tilgjengelige i programmet. Det er også et material bibliotek der det enkelt kan legges inn nye materialer ved å gi navn, og legge til varmekonduktiviteten. Flere av materialene ligger allerede i programmet, noe som kan være nyttig dersom man ikke finner dataene på internett. Tabell 4.1 viser materialene som er brukt og hvilken varmekonduktivitet de har.

Ved å modulere bygningsdelens oppbygning med varmekonduktiviteten til de ulike materialene, blir det regnet ut U-verdi. THERM kan lage et visuelt bilde av hvordan temperaturen opptrer i forhold til farge, men også strekersom forteller temperaturen igjennom konstruksjonen. Da ser man visuelt hvordan varmen flyter gjennom materialer som isolasjon, stender, dekker osv.

Materialdata	Varmekonduktivitet	Hentet fra
Massivtre	0,12	[42]
Betong	2	[42]
Hulldekke	2	[42]
Stål	17	[42]
Vindsperreplate	0,05	[42]
Isolasjon + treverk	0,042	Figur 4.1
Isolasjon vegg	0,034	[43]
Isolasjon tak brennbar	0,034	[43]
Isolasjon tak ubrennbar	0,03	[43]
Gips	0,21	[42]
Luft(stillestående)	0,034	Figur 4.2
Trestender	0,12	[42]

Tabell 4.1: Materialer og varmekonduktivitet i THERM

Det er nødvendig å beregne bindingsverk av tre med isolasjon for å vise den samlede termiske konduktiviteten. Det er 9 % treandel i bindingsverket. Figur 4.1 viser hvordan det er blitt gjort.

- $\lambda_{\text{trevirke}} = \lambda t = 0,12 \text{ W/m}$	- $At = 0,09$
- $\lambda_{\text{isolasjon}} = \lambda i = 0,034 \text{ W/m}$	- $Ai = 0,91$
$Ai \cdot \lambda i + At \cdot \lambda t = 0,91 \cdot 0,034 + 0,09 \cdot 0,12 = \underline{0,042 \text{ W/m}}$	

Figur 4.1: Beregning varmekonduktivitet bindingsverk av tre med isolasjon

Det er også nødvendig å gjøre beregninger i forhold til varmekonduktiviteten til bindingsverket med stillestående luft. Dette vises i figur 4.2.

- $\lambda_{\text{trevirke}} = \lambda t = 0,12 \text{ W/m}$	- $At = 0,09$
- $\lambda_{\text{luft(stillestående)}} = \lambda l = 0,025 \text{ W/m}$	- $Al = 0,91$
$Al \cdot \lambda l + At \cdot \lambda t = 0,91 \cdot 0,025 + 0,09 \cdot 0,12 = \underline{0,034 \text{ W/m}}$	

Figur 4.2: Beregning varmekonduktivitet bindingsverk av tre og stillestående luft

4.2.3 WUFI

WUFI er et program, utviklet av det tyske forskningsinstituttet Fraunhofer Institute for Building Physics, for simuleringer av varme- og fuktighetstransport i bygninger og bygningskomponenter. Programmet er utviklet for norske forhold, og regner med både vandampdiffusjon og kapillærtransport [44]. Det en-dimensjonale programmet baserer seg på fukt og varmetransportberegning ved gitte klimadata over tid på enkelte punkter i forskjellige bygningsdeler. Programmet egner seg best til å kjøre vurderinger av kondesfarer i bygningskonstruksjoner og uttørkningstid for byggfukt [45].

For å simulere data i WUFI pro må de ulike materialene i konstruksjonen settes inn. WUFI har et eget materialbibliotek, hvor det i hovedsak ble brukt materialer fra Fraunhofer-IBP og NTNU. Materialdataene som har blitt lagt inn i simuleringen har blitt oppgitt i tabellen under. Her er det blitt prøvd å holde materialene så lik som mulig, slik at det kun er selve bærelementet som skal utgjøre en forskjell.

Materialdata	Navn i databasen	Hentet fra
Betong	Betong B45	Fraunhofer-IBP
Hulldekke	Betong B45	Fraunhofer-IBP
Massivtre	Stora Enso CLT	Fraunhofer-IBP
Kledning	Skandinavisk gran vinkelrett fibre	NTNU
Lekt, Sløyfe	Luftsjiikt 30 mm Furu, densitet 510	Generelt materiale NTNU
Vindsperreplate	Hard trefiberplate, belagt, vindsperre	NTNU
Isolasjon vegg	Rockwool curtainrock	Nordamerikansk database
Isolasjon tak brennbar	XPS-kjerne (varmekonduktivitet 0,03 W/mK)	Fraunhofer-IBP
Isolasjon tak ubrennbar	Rockwool curtainrock	Nordamerikansk database
Gipsplate	Gipsplate	Fraunhofer-IBP
Takmembran	Takmembran V13	Fraunhofer-IBP
Migreringssperre	Adolf Würth, Wütop Trio/-Trio 2SK	Fraunhofer-IBP
Sedumtak	Optigreen Light-weight Roof 1 (sedum planting) 1-3	Fraunhofer-IBP
Dampsporre	PE-Folie (Sd = 50 m)	Fraunhofer-IBP

Tabell 4.2: Materialdata hentet fra WUFI

I WUFI har det blitt sett på et snitt av ytterveggen og taket, hvor det i taket har blitt sett på både brennbar isolasjon og ubrennbar isolasjon. De forskjellige sjiktene for vegg og tak legges i oppbyggingsdelen. Videre velger man ulike parametere som er med på å kontrollerer hvordan simuleringen går. Her kan det velges mellom blant annet orientering av bygget, overflater, tid, klima osv. Når alle beregninger er kjørt får man ut ulike grafer som viser hvordan fukten opptrer gjennom en satt tid.

Det er en del avgrensinger som må gjøres i WUFI. Avgrensninger som kan gjøres i WUFI bestemmes av de ulike parameterne man velger å sette inn. Uteklimate som er valgt i WUFI, er ut ifra lokasjon. Generasjonsboligen skal ligge i Melhus kommune. Valgt klimadata for beregning er derfor satt til Trondheim; NBI/NTNU. Dette er fordi det er det nærmeste geografiske punktet til Melhus. Inneklima i WUFI blir valgt etter standard EN13788. Her

vil innvendig temperatur bli satt til en middelvei på 20 °C som holder seg fast gjennom valgt periode. RF blir valgt ut ifra fuktclasser, hvor det i dette prosjektet er satt til fuktclass 3. Videre vil orienteringen på bygningsdelene som analyseres vil være på sørvestsiden av bygget, og vil bli analysert ut ifra dette i WUFI

WUFI beregner temperatur og fuktinnhold gjennom konstruksjonen time for time. I dette prosjektet har det blitt gjort beregninger for et år, fra 31.05.2024 til 01.06.2025. På denne måten kan fuktinnholdet i konstruksjonen bli sett på i sammenheng med de ulike årstidene vår, sommer, høst og vinter.

4.2.4 Insul

Insul er et program som analyserer lydisoleringen i vegg, gulv, tak, himling og vinduer. Programmet estimerer parametere som overføringstap, støy fra slaglyd, vektet lydreduksjonsindeks og støyvurdering. Programmet krever enkel tilgang til byggtknisk informasjon og gir mulighet til å kombinere ulike materialer og sammenstille forskjellige typer rammer. [46] [47]

I INSUL er yttervegg og vegg mellom leilighet blitt analysert for å undersøke hvordan lydisolasjon varierer mellom konstruksjoner av massivtre, betong og stål. De fleste nødvendige verdier for å estimere resultatene er allerede tilgjengelig i programmet. I tilfeller der spesifikke materialer ikke er inkludert i databasen, er det brukt materialer med tilsvarende densitetsverdier for å sikre nøyaktige estimater.

5 Detaljer med beskrivelse

Dette kapitlet viser de ulike overgangene yttervegg/etasjeskiller, vegg mellom leilighet/-etasjeskiller og yttervegg/sedumtak. Inspirasjon for de ulike detaljene er hentet fra Byggforsk.

5.1 Overgang yttervegg/sedumtak

Generasjonsboligen skal utføres med flate tak, med en kombinasjon av sedumtak og kompakte tak. Det er for oppgaven valgt å se på oppbyggingen av sedumtak.

Sedumtak, også kalt grønne tak, utføres som oftest som kompakt tak med sedum som ytre tekningsjikt. Byggforsk beskriver sedum som *”vannsamlende (sukkulentaktige) planter som åpner spalteåpningene bare om natta, når fordampningen er minst”* [48]. Dette gjør at sedum holder lengre på vannlagringen i forhold til andre vekster. Det har de senere årene blitt mer vanlig med sedumtak. Dette på grunn av klimaendringer, som fører til større mengder nedbør og større risiko for ekstremnedbør og flommer. Dermed vil Sedumtak bli stadig viktigere da de kan bidra til å håndtere overvann. Sedumtak har også andre positive effekter som CO_2 - og støvbinding, samt at det kan redusere energiforbruk og øke biologisk mangfold. [48]

Kompakte tak, også kalt varme tak, består av ett eller flere lag som ligger så tett inntill hverandre som overhodet mulig. Dette resulterer i at varme fra innsiden varmer opp utsiden av konstruksjonen, og fører til at snø og is smelter. Det er derfor nødvendig med innvendig nedløp for å unngå at smeltevannet fryser og skaper isdannelse. Kompakte tak er designet for å være lufttett, og kan derfor være mer utsatt for fuktproblemer. Det må derfor anvendes materialer som ikke er fuktømfintlige eller råtefarlige. [49] [50]

Det stilles krav til avrenning og fall i flate, kompakte tak. Byggforsk nevner at for god avrenning fra takflaten kreves [51]:

- Fall på minst 1:40 på ferdig takflate
- Fall i renner på minst 1:60
- Isfrie renner og sluk
- Gjennomtenkt slukplassering og antall sluk
- Nedoverløp

Kompakt tak utføres alltid med parapet. Takbelegget føres over parapet for å sikre vann-tetthet og et prefabrikkert nedoverløp med påsveist kappe for å hindre ovebelastning. Ned-overløpet bør plasseres så lavt som mulig over takflaten, slik at det gir synlig avrenning hvis takslukene ikke fungerer [48].

Sedumtaket er bygd opp av sedummatter, dreneringslag, beskyttelsessjikt og migrerings-sperre. Under sedummatten er det et dreneringslag som sikrer god vanddrenering, samt et beskyttelsessjikt mot rotskader. Ettersom det er valgt å benytte XPS for deler av takflaten er det nødvendig med migreringssperre for å forhindre fuktinntrengning.

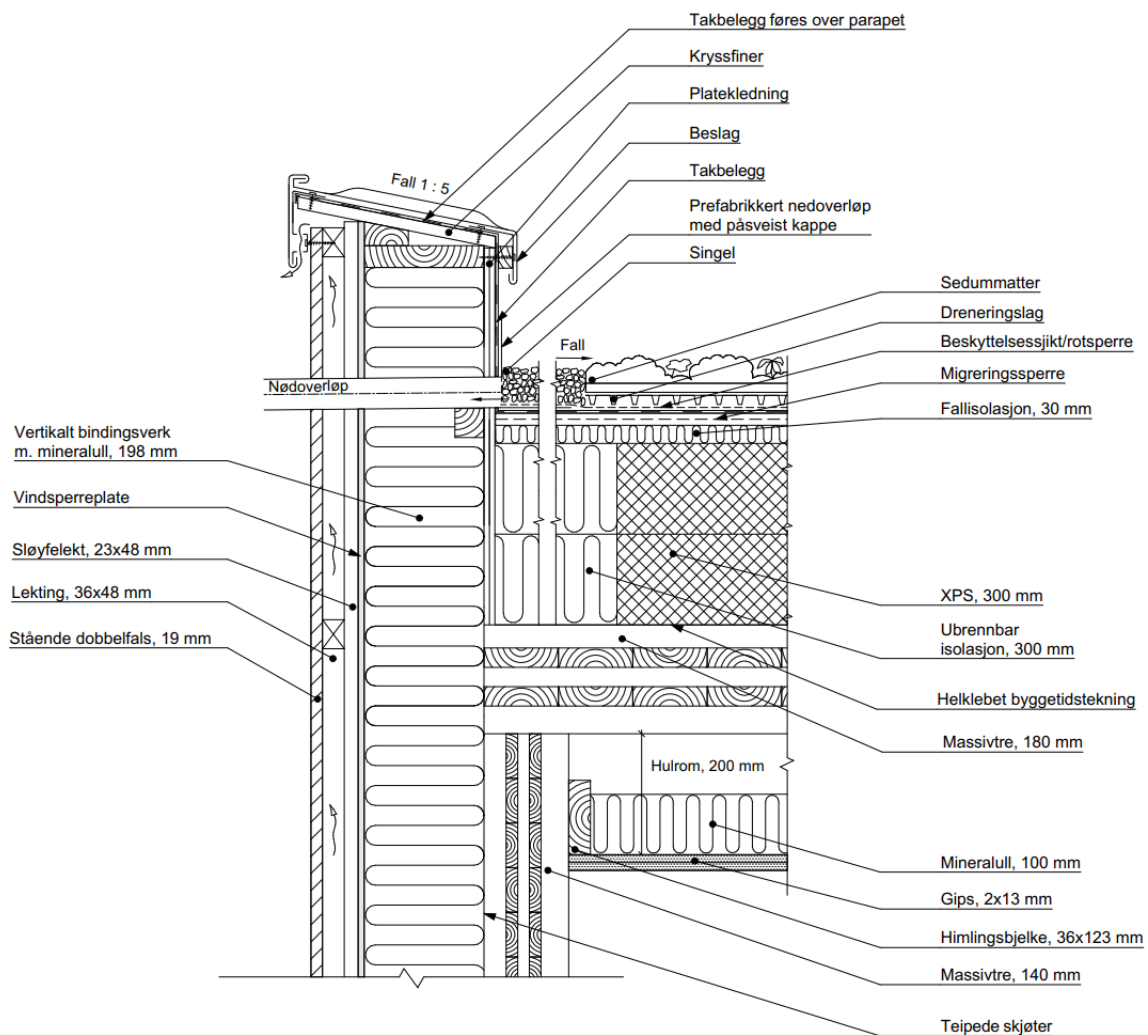
I forhold til brannspredning bør det legges singel i en bredde på 500 mm og ubrennbar isolasjon i en bredde på 600 mm mot tilstøtende vegg, gjennomføring og sluk.

5.1.1 Massivtre

Detaljen i figur 5.1 viser overgangen mellom yttervegg og sedumtak av massivtre. Bærekonstruksjonen for taket er 180 mm massivtre, etterfulgt av 300 mm ubrennbar isolasjon, 300 mm XPS og 30 mm fallisolasjon.

Massivtreelementene bør leveres med en helklebet byggetidstekning for å sikre mot nedbør i byggefasen. Denne monteres mellom massivtreelement og isolasjon, og kan fungere som sperresjikt etter montering. Skjøtene mellom massivtreelementene må teipes. [29]

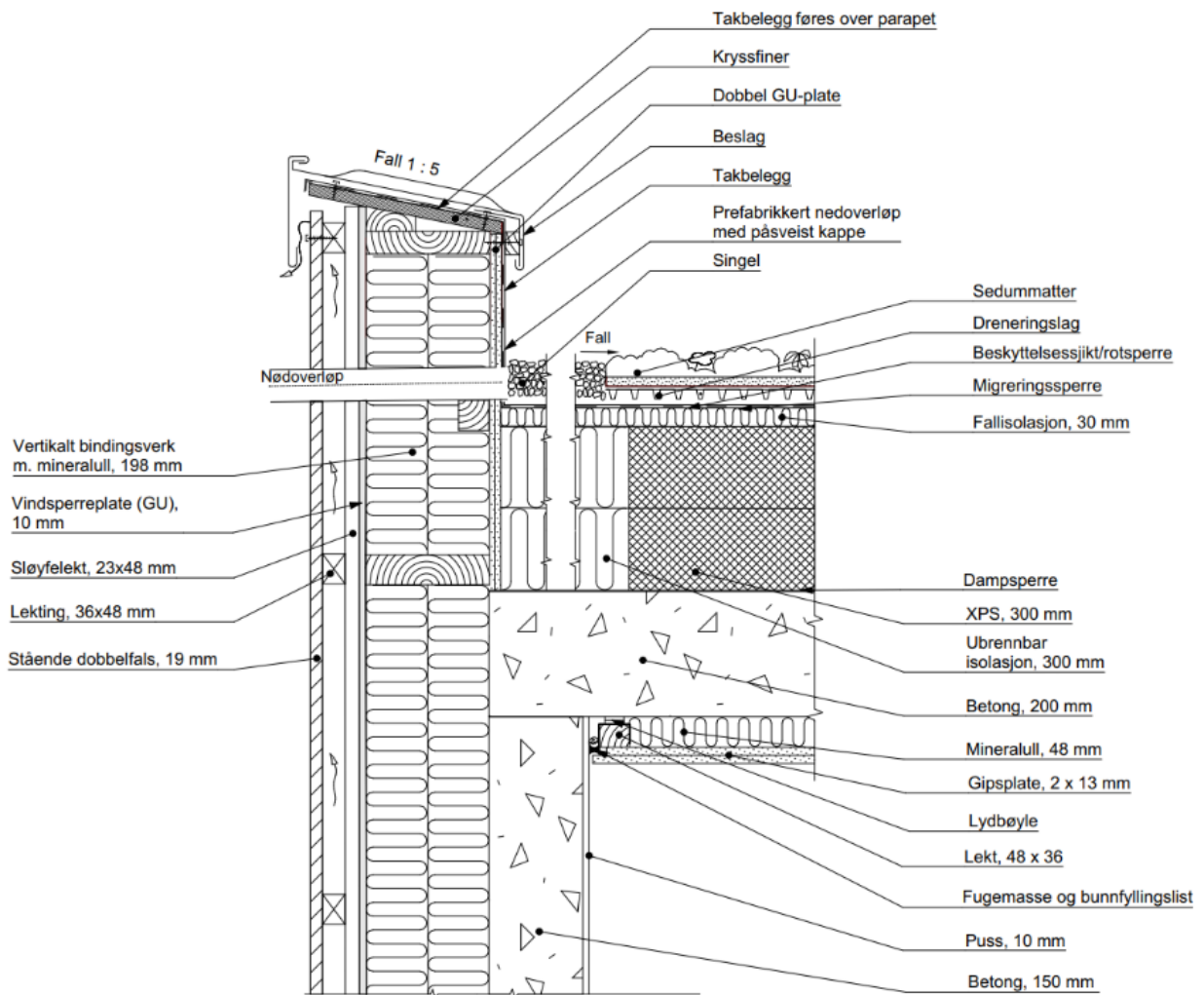
Ytterveggen er bygd opp av femsjikts massivtreelementer med tykkelsen 140 mm. Et alternativ til sperresjikt mellom massivtreelement og isolasjonssjikt kan være å teipe elementskjøtene. Dette bør kun brukes som lufttetting for fem-sjiktselementer og tykkelse ≥ 100 mm. Vindsperre bør være mest mulig dampåpen med sd-verdi $\leq 0,1$. [29]



Figur 5.1: Overgang yttervegg/sedumtak

5.1.2 Betong

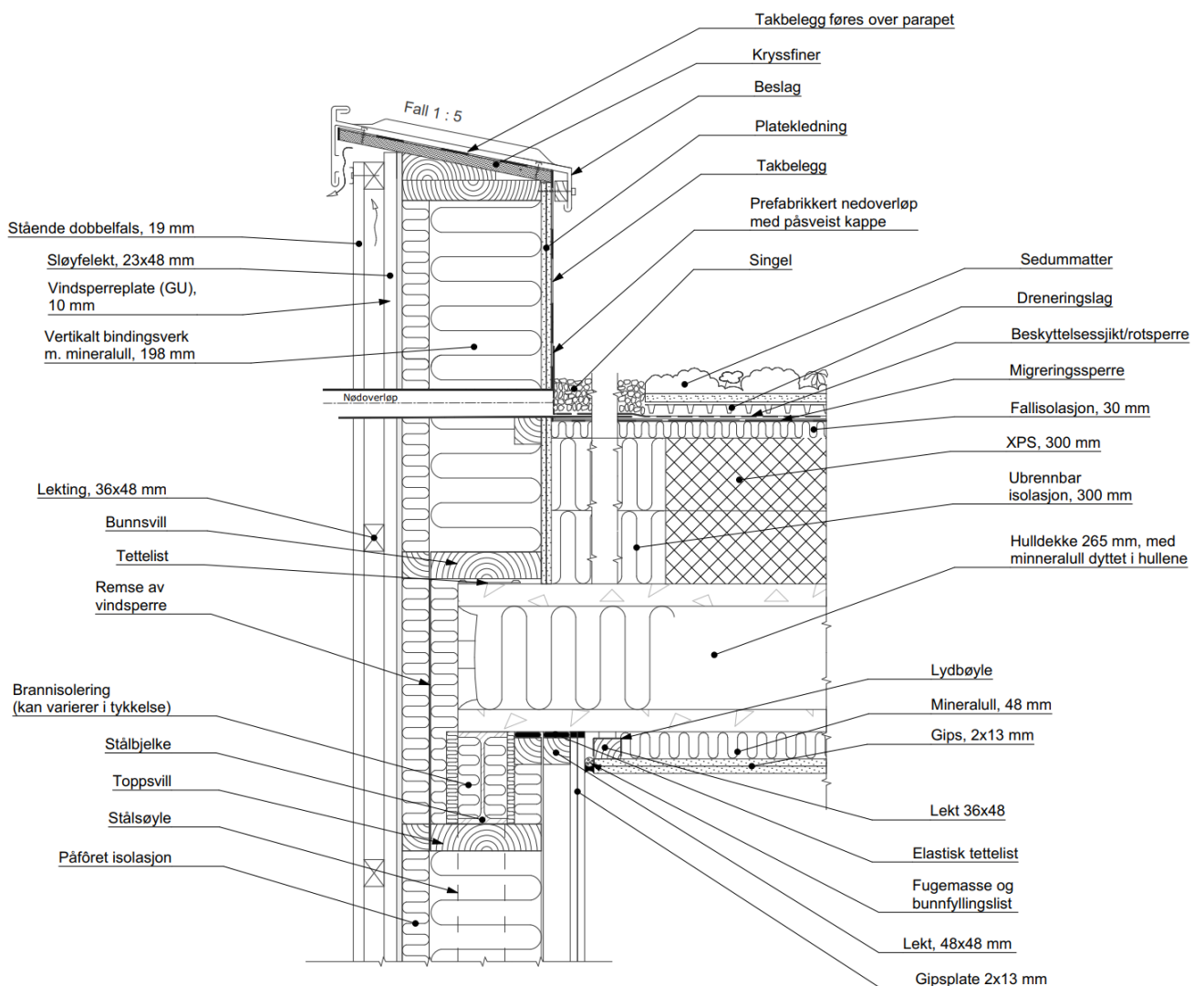
Detaljen i figur 5.2 viser overgangen mellom yttervegg og sedumtak av betong. Taket består av et betongdekke som har en tykkelse på 200 mm, og 330mm isolasjon med dampsperre mellom hulldekke og isolasjonen. Ytterveggen av betong består av 150 mm og er isolert utvendig med bindingsverk av tre med isolasjon på 200 mm. Den bærende ytterveggen av betong og betongdekke henger sammen med armeringsstål som gir strukturen god styrke og stabilitet.



Figur 5.2: Overgang yttervegg/sedumtak betong

5.1.3 Stål

Detaljen i figur 5.3 viser overgangen mellom yttervegg og sedumtak med bærende søyler av stål og hulldekke. Bærekonstruksjonen for taket er 265 mm hulldekke med mineralull dyttet inn i starten av hullene. Mellom isolasjonen og hulldekket er dampsperran. Over er det 300 mm ubrennbar isolasjon, 300 mm XPS og 30 mm fallisolasjon. Ytterveggen består av søyler av stål som er kledd i brannisolasjon. Mellom stålsøylene vil det være 198 mm utfyllende isolert bindingsverk og 48 mm påføret isolert bindingsverk utvendig. Innvendig er det lektet ut 48 mm, for tekniske installasjoner, hvor dampsperran er plassert mot bindingsverket av tre 198 mm. Stålbjerkene vil være kledd igjen med brannisolasjon,



Figur 5.3: Overgang yttervegg/sedumtak bærende søyler av stål og hulldekke

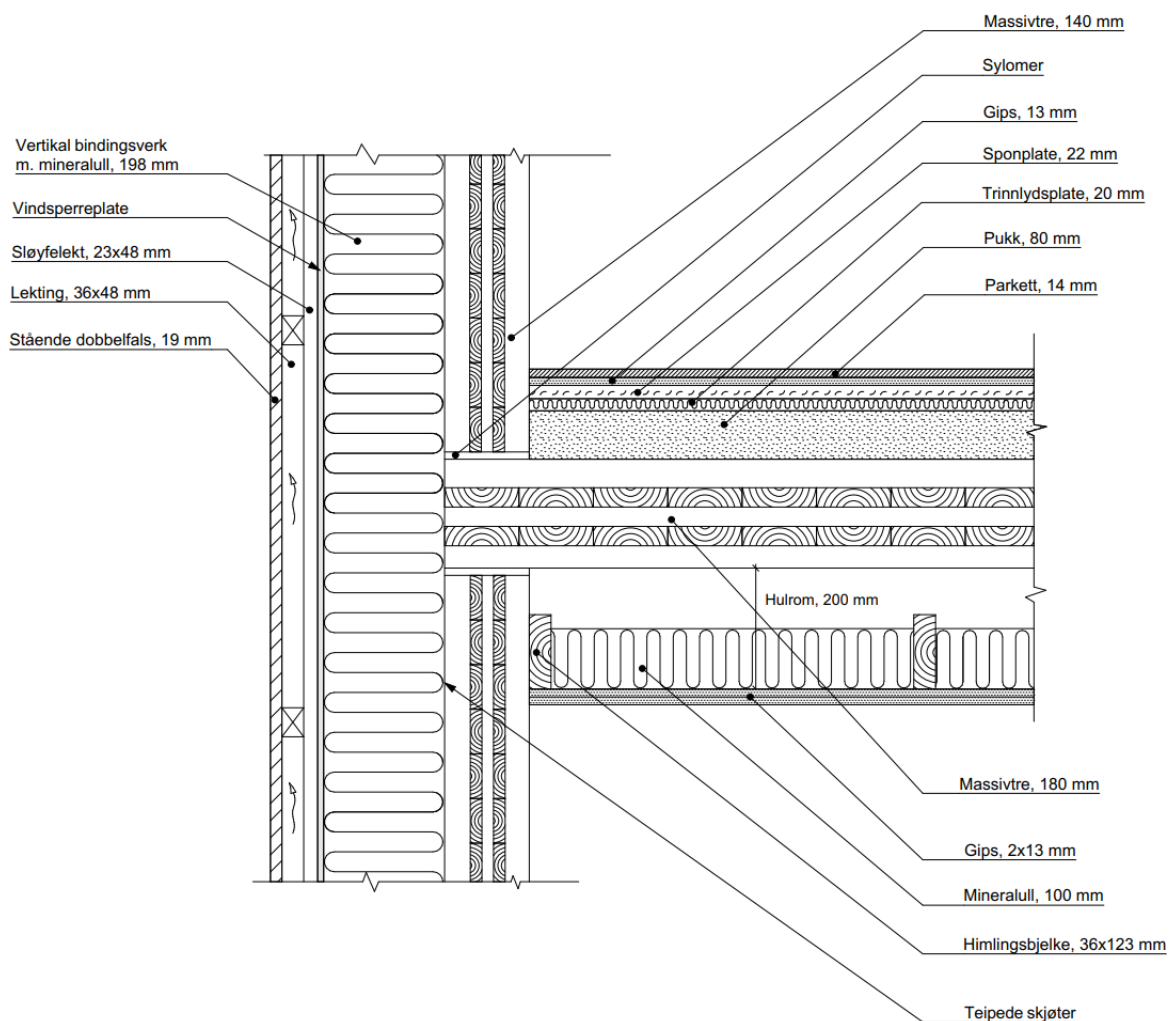
5.2 Overgang yttervegg/etasjeskiller

Det er tatt utgangspunkt i lydklasse C for etasjeskiller i massivtre, stål og betong. Etasjeskiller kan bygges opp på flere måter, typene anvendt for oppgaven er massivtredekke, betongdekke og hulldekke. Detaljene viser hvordan etasjeskiller er plassert mellom etasjene i bygget.

5.2.1 Massivtre

Detaljen i figur 5.4 viser overgangen mellom yttervegg og etasjeskiller av massivtre. For bedre trinnlyd og flanketransmisjon er det montert sylomer på både over- og undersiden av massivtredekket. Dette fungerer som et elastisk mellomlag som reduserer strukturlyd og vibrasjoner.

Etasjeskilleren er bygd opp av massivtreelement på 180 mm. Løsningen har elementer med tilleggskonstruksjon på både oversiden og undersiden. Det legges pukkk på oversiden av dekket for å skape tyngde til gulvkonstruksjonen, som sammen med trinnlydsplate vil redusere trinnlyd. Himlingen er bygd opp med separat himlingsbjelke med hulrom på 200 mm. Dette gir bedre lydisolasjon og frigir også rom for tekniske installasjoner. Himlingen inneholder også 100 mm mineralull for å forbedre lydisolasjon og redusere støy mellom etasjene. Oppbyggingen med dobbel gips vil også bedre lydisoleringen. ytterveggen består av 140 mm massivtre og 198 mm vertikalt bindingsverk med mineralull.

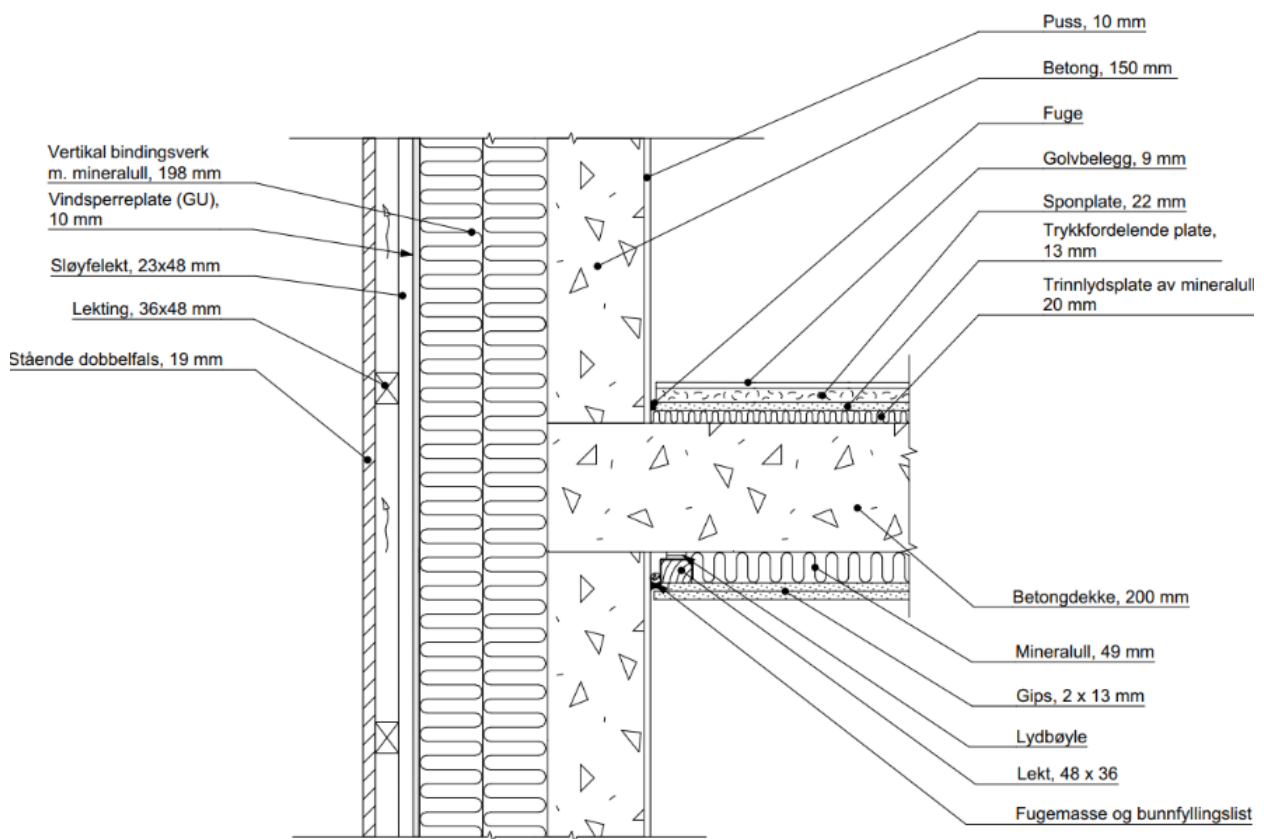


Figur 5.4: Overgang yttervegg/etasjeskiller

5.2.2 Betong

Detaljen i figur 5.5 viser overgangen mellom yttervegg og etasjeskiller av betong. Ytterveggen er bygd opp av betong med en tykkelse på 150 mm og bindingsverk av tre med mineralull med en tykkelse på 200 mm. Veggen og dekke av betong henger sammen og er støpt sammen med armeringsjern. Betongens høye trykkfasthet gjør det mulig for veggen å være bærende. Ytterveggenes bindingsverk med mineralull gir termisk isolasjon som også bidrar til å holde bygningen energieffektivt.

Etasjeskilleren er bygd opp av 200 mm med betongdekke. Under betongdekke er det en lydhimling med lydbøyler som reduserer luftsløydisisoleringen ved å skape en fysisk avstand mellom etasjen over og himlingen.



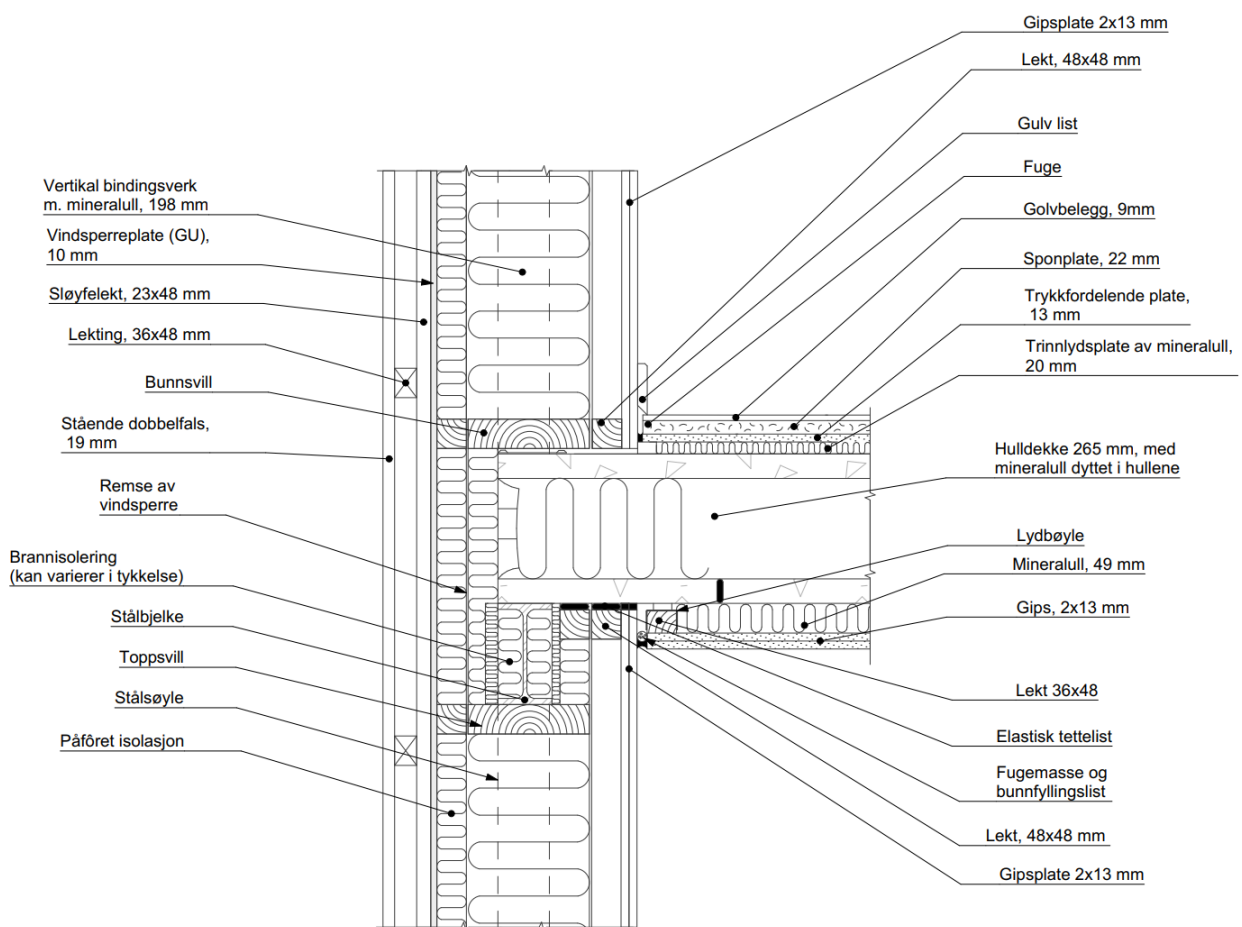
Figur 5.5: Overgang yttervegg/etasjeskiller: Betong

5.2.3 Stål

Detaljen i figur 5.6 viser overgangen mellom yttervegg og etasjeskiller med bærende søyler av stål og hulldekke. Bærekonstruksjonen i bygget vil bestå av stålsøyler med hulldekke som hviler oppå. Her er stålsøylene kledd igjen med en brannisolasjon for beskyttelse.

For konstruksjoner med et underliggende bæresystem bestående av stålbjelker og -søyler, kan tetting mellom dekket og den utfyllende bindingsverksveggen utføres ved å etablere en lufttett forbindelse mellom dampsperran og underkanten av dekket. Dette kan oppnås ved å bruke teip eller ved å legge en elastisk tetningslist mellom lekten og betongoverflaten. [52]

I elementskjøtene kan det være en utfordring å sikre god lufttetthet. Ved bruk av hulldekkeelement bør det gjennomføres tett tiltak ved åpningene i ytterkant av dekkene. Viktig å også få drenert ut vann i kanalene, hvor også drenshull blir tettet for å unngå luftlekkasjer ut i kanalene. [52]



Figur 5.6: Overgang yttervegg/etasjeskiller

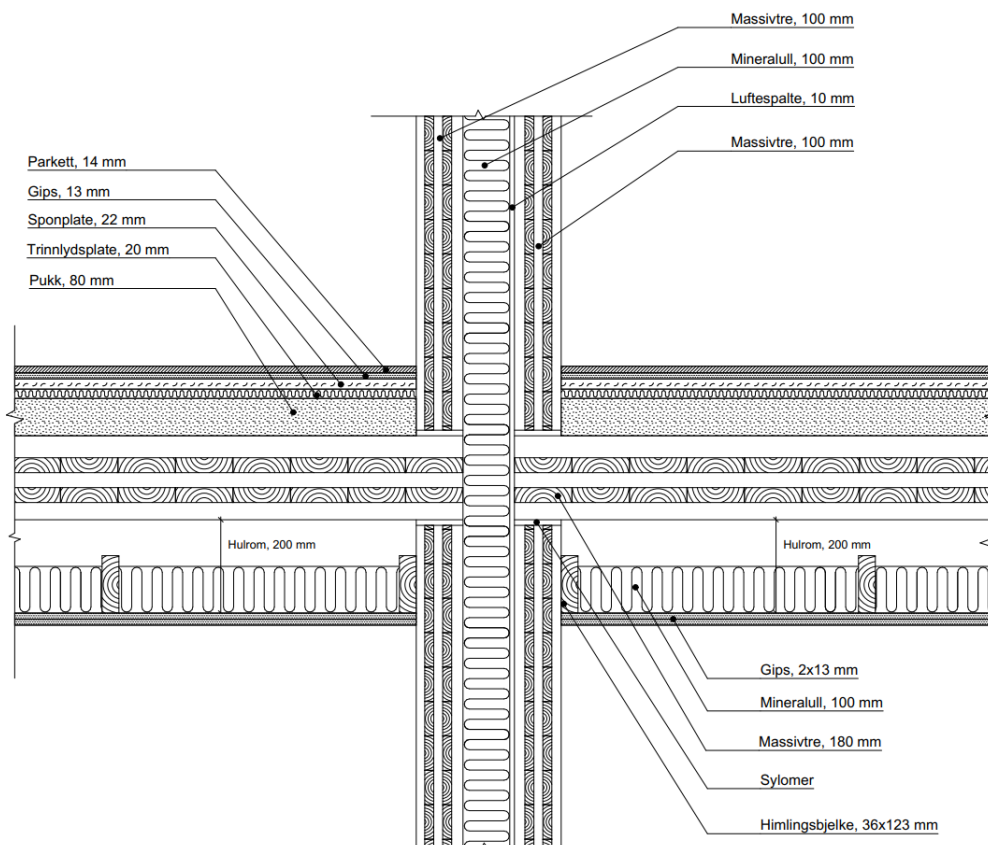
5.3 Overgang vegg mellom leilighet/etasjeskiller

Støy fra naboer, trafikk, og tekniske installasjoner kan ha en negativ innvirkning for menneskers helse og trivsel. En av de viktigste funksjonene til vegg mellom leilighet er å forhindre lydoverføring. De ulike løsningene består av betongvegg, massivtrevegg og bindingsverk av tre med stålsøyler. En typisk vegg mellom leilighet bør ha en lydisolasjon på minst 54 dB for å sikre god bokomfort.

5.3.1 Massivtre

Detaljen i figur 5.7 viser en løsning for lydvegg mellom leiligheter med massivtreelementer på 100 mm. I mellom massivtreelementene er det 100 mm isolasjon, samt luftespalte på 10 mm. Denne løsningen skal sikre gode lydforhold mellom leilighetene. Veggene er bygd opp av to lag massivtre på 100 mm. Mellom disse er det et 100 mm tykt lag med mineralull. Det er plassert en luftespalte på 10 mm mellom massivtre og mineralull, som fungerer som en lyddempende spalte.

Sylomer, et elastisk materiale, er plassert på over- og undersiden av massivtreelementet for å dempe strukturlyd og vibrasjoner som kan overføres mellom etasjene. Himlingen er nedfelt for å frigi rom til tekniske installasjoner, samt redusere støy.

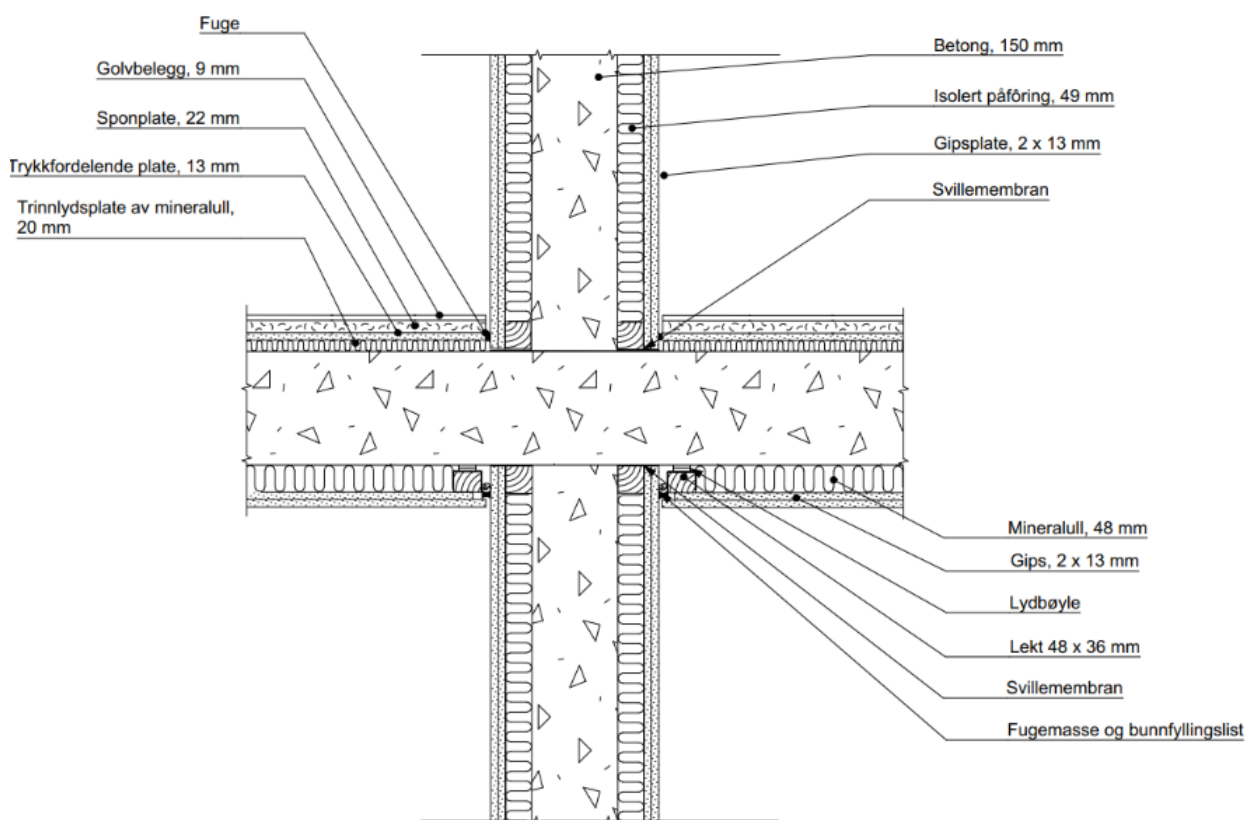


Figur 5.7: Overgang vegg mellom leilighet/etasjeskiller

5.3.2 Betong

Figur 5.8 viser detalj av overgangen av vegg mellom leilighet og knutepunktet med etasjeskilleren. Innerveggen består av 150 mm betong. På begge sider av betongen er det bindingsverk av tre med isolasjon som har en tykkelse på 50 mm. Utenpå der er det dobbel gipsplate for å øke lydisolasjonen.

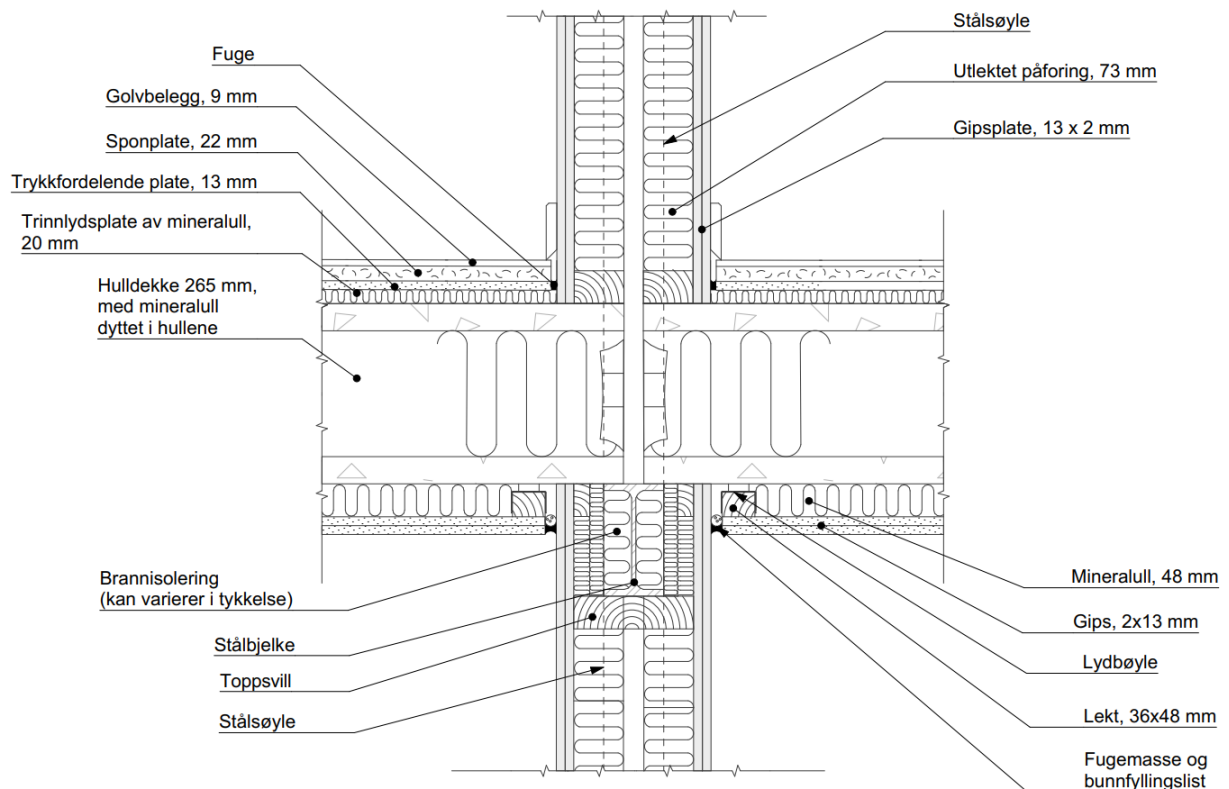
Etasjeskilleren er bygd opp av 200 mm med betongdekke. Under betongdekke er det en lydhimling med lydbøyler som reduserer luftslidisolaseringen ved å skape en fysisk avstand mellom etasjen over og himlingen.



Figur 5.8: Overgang vegg mellom leilighet/etasjeskiller

5.3.3 Stål

Figur 5.9 viser detalj av overgang av vegg mellom leilighet og etasjeskiller. Innerveggen består av 2 x 73 mm isolert lekter med 30 mm luftesjikt mellom. Etasjeksilleren er bygd opp av hulldekke. Det er viktig å tette alle overganger mellom etasjeskiller og vegger, for maksimal utnyttelse av de lydisolerende egenskapene til konstruksjonen. Dette kan gjøres ved å bruke en fuge. Det blir lag flytende gulv over betongdekke. Mellom Bunnsvill og hulldekket vil det være en svilemembran, for å unngå fuktskader.



Figur 5.9: Overgang vegg mellom leilighet/etasjeskiller

6 Analyse og resultat

Dette kapitlet presenterer analysene utført med hensyn til fukt, varme og lyd ved bruk av THERM, WUFI og INSUL. Resultatene for hver bygningsdel vil bli diskutert. I THERM og WUFI er det gjennomført analyser av yttervegg og sedumtak, mens i INSUL er det gjort analyser av yttervegg og vegg mellom leilighet.

Byggeteknikkene i massivtre og betong, vil være hele elementer, mens stål vil bestå av stålsøyler. Veggene som består av stålsøyler vil derfor ha bindingsverk av tre mellom hver søyle. Når det skal kjøres analyser vil det derfor bli sett nærmere på oppbygging av vegg med bindingsverk av tre, siden det er dette mesteparten av veggene vil være bygd opp av.

6.1 THERM

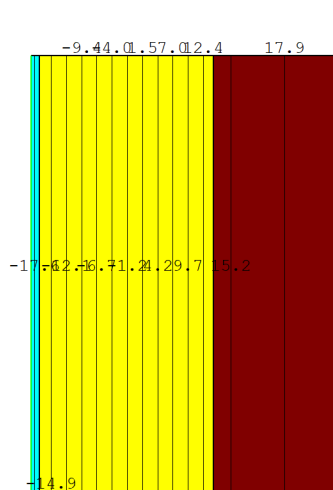
For å finne U-verdien til de forskjellige byggeteknikkene i de ulike bygningsdelene er det brukt THERM. De spesifikke verdiene for varmekonduktivitet som er benyttet er vist i tabell 4.1. Tabell 6.1 viser resultatene fra analysene. Det er også lagt til bilde av de ulike bygningsdelene og ulike løsningene, som viser temperaturfordelingen.

6.1.1 U-verdi

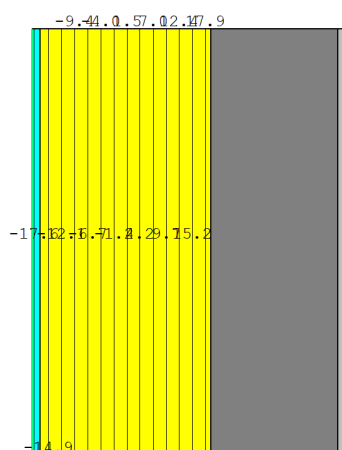
Minimumskrav i TEK17 for U-verdi yttervegg er $\leq 0,22$, dermed er alle resultatene innenfor kravet. Resultatene er vist i tabell 6.1. Det benyttes mellom 200-250 mm isolasjon på hver av løsningene, som er et krav for å oppnå minimumskravet i TEK17. Ytterveggen med bindingsverk av tre har den laveste U-verdien som er på $0,1249 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Byggeteknikk	Isolasjon	Uverdi
Massiv tre	200	$0,1359 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Betong	200	$0,1865 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Bindingsverk av tre	250	$0,1249 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

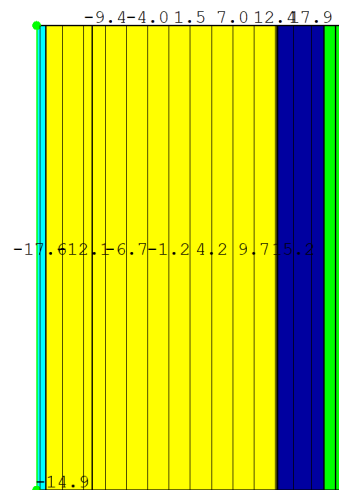
Tabell 6.1: U-verdi for yttervegg



Figur 6.1: Yttervegg med massive tre



Figur 6.2: Yttervegg med betong

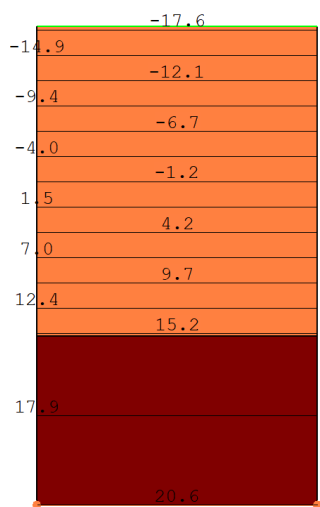


Figur 6.3: Yttervegg med stål

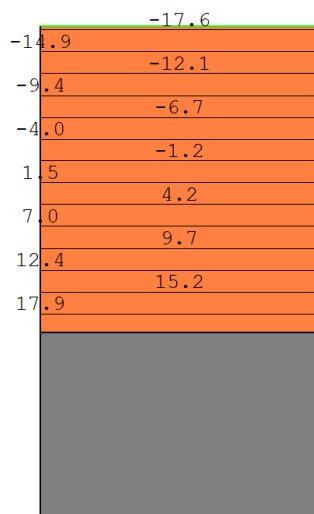
Resultatene av U-verdi tak for alle løsningene er innenfor TEK17 kravet som er $\leq 0,18$. Resultatene er vist i tabell 6.2. Det er benyttet 330 mm med isolasjon på hver av takene, som er et minimum for å oppnå TEK17. Taket med massivtre har lavest U-verdi, som er på 0,0884 W/(m²K).

Byggteknikk	Isolasjon	U-verdi
Massiv tre	330	0,0884 W/(m ² K)
Betong	330	0,1011 W/(m ² K)
Hulldekke	330	0,1005 W/(m ² K)

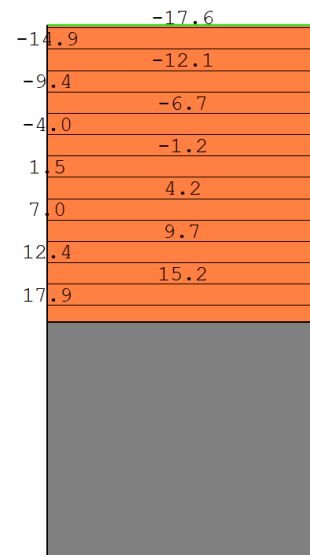
Tabell 6.2: U-verdi for tak



Figur 6.4: Kompakt tak med massiv tre



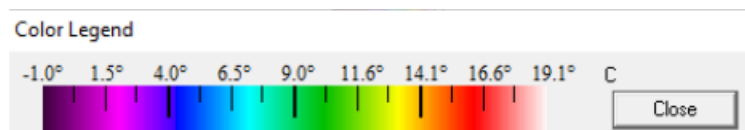
Figur 6.5: Kompakt med betong



Figur 6.6: Kompakt med betong

6.1.2 Kuldebro

For å sammenligne kuldebroene er det blitt brukt THERM for å se på temperaturfordelingen. I disse analysene vil det kun blir sett på fargene av hvor varmt og kaldt det er.



Figur 6.7: Fargeskala i forhold til temperatur i THERM

Tak / yttervegg:

Figur 6.8 viser at massivtreelementene effektivt reduserer temperaturovergangen gjennom konstruksjonen. Massivtreets naturlige isolasjonsegenskaper bidrar til en gradvis temperaturendring fra innsiden til utsiden. I tillegg viser figuren hvordan isolasjonssjiktet utenpå massivtreet ytterligere minimerer varmetapet. Dette isolasjonssjiktet fungerer som en ekstra barriere mot varmetap.

Figur 6.9 viser at overgangen med betong. Selv om betong har høy varmeledningsevne, viser figuren at det er et jevnt varmetap gjennom hele overgangen. Dette indikerer at selv om betongen leder varme effektivt, bidrar designet til å opprettholde en stabil varmeoverføring uten store tapspunkter.

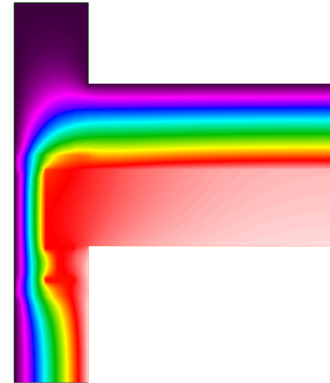
Figur 6.10 viser at overgangen med bindingverk av tre, stålsøyle og hulldekke. Resultatet viser at det vil bli et punkt med varme rundt stålbjelke. Figuren viser også høyere varmestrøm ved områdene med trestender og hulldekke, men det ser ut til at disse elementene ikke forårsaker betydelige varmetap



Figur 6.8: Overgang tak/yttervegg: Massiv tre



Figur 6.9: Overgang tak/yttervegg: Betong



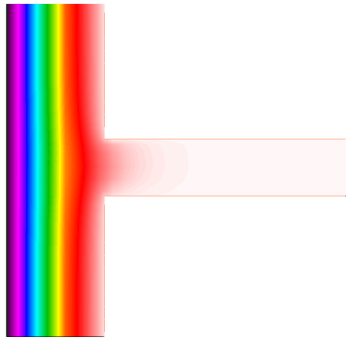
Figur 6.10: Overgang tak/yttervegg: Stål

Yttervegg / etasjeskiller:

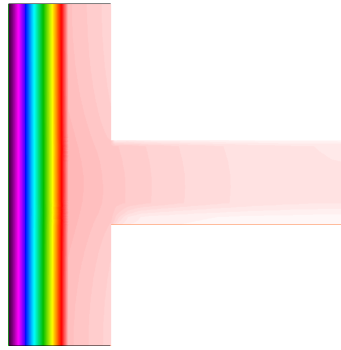
På figur 6.11 kan man se at massivtre har lav varmeledningsevne, noe som resulterer i høyest temperatur nærmest innsiden. Resultatet viser også at etasjeskilleren ikke skaper noen kuldebro der den er integrert, og at det er et jevnt varmetap nedover hele veggen.

Figur 6.12 viser overgangen med betong. Betongens høye varmeledningsevne transporterer varmen raskt ut av bygningsdelen, mens bindingsverket av tre med isolasjon gjør at temperaturen avtar etter hvert gjennom bindingsverket.

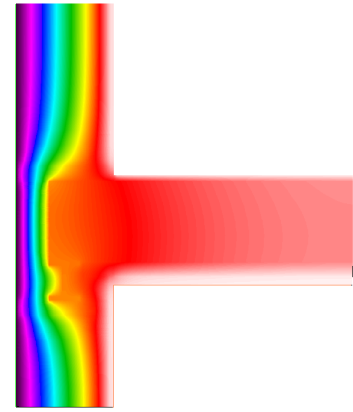
Figur 6.13 viser en potensiell kuldebro ved etasjeskilleren der betongdekket bryter inn i klimaskjermen. Betongens høye varmeledningsevne er tydelig, da det er en merkbar varmestrøm gjennom dekket. Dette skaper et kritisk punkt for varmetap, noe som forsterker behovet for effektiv isolasjon i dette området. Stålsøylen i ytterveggen er godt isolert, noe som minimerer varmetap til tross for dens ledende egenskaper. Isolasjonen som er plassert foran dekket fungerer som en kuldebryter, og reduserer varmetapet betydelig, og det bidrar til å opprettholde energieffektiviteten i bygningen.



Figur 6.11: Overgang yttervegg/etasjeskiller: Massiv tre



Figur 6.12: Overgang yttervegg/etasjeskiller: Betong



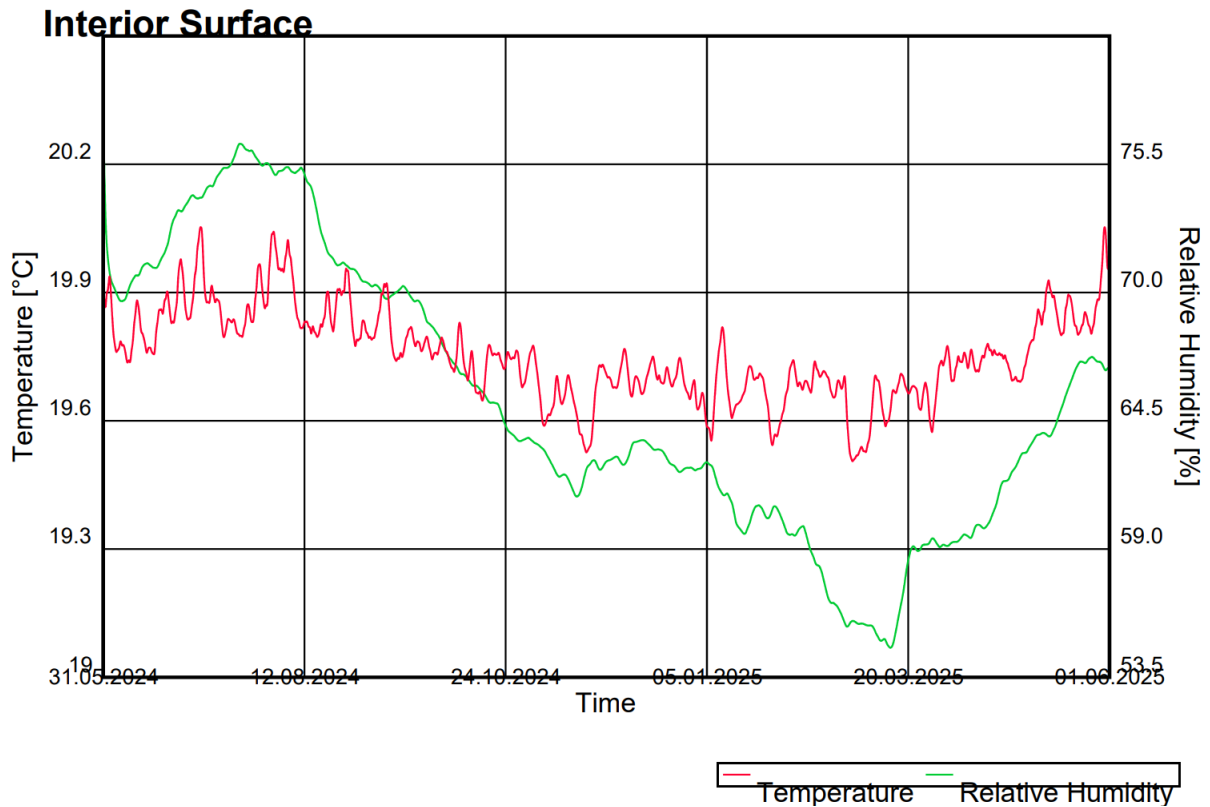
Figur 6.13: Overgang yttervegg/etasjeskiller: Bindingsverk av tre

6.2 WUFI

Resultatene vil i denne delen bli presentert ved bruk av forskjellige grafer for relativ fuktighet, temperatur og det totale vanninnholdet i konstruksjonene.

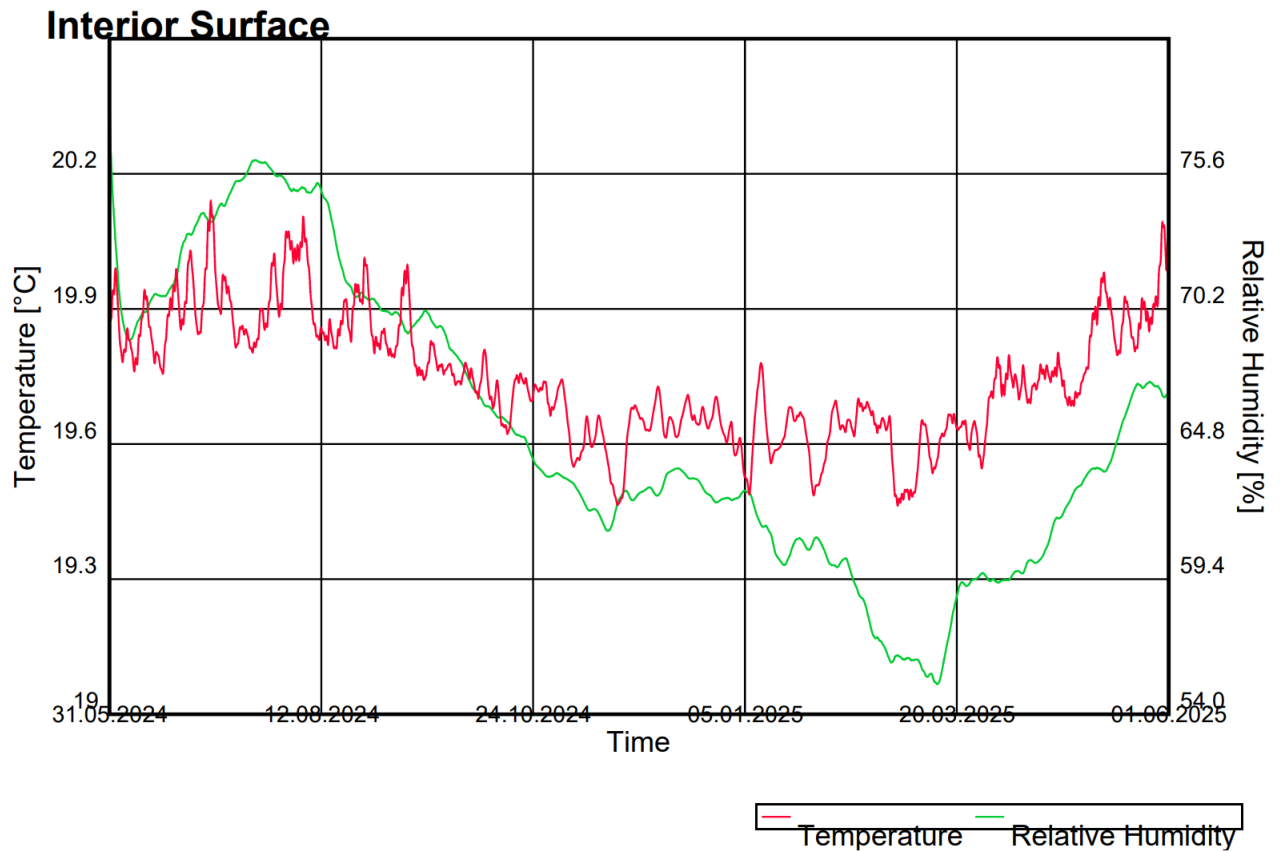
6.2.1 Yttervegg

Figurene under viser den relative fukten i ytterveggene til massivtre, betong og bindingsverk av tre. Det er valgt å se på den innvendige overflaten i en periode på ett år.



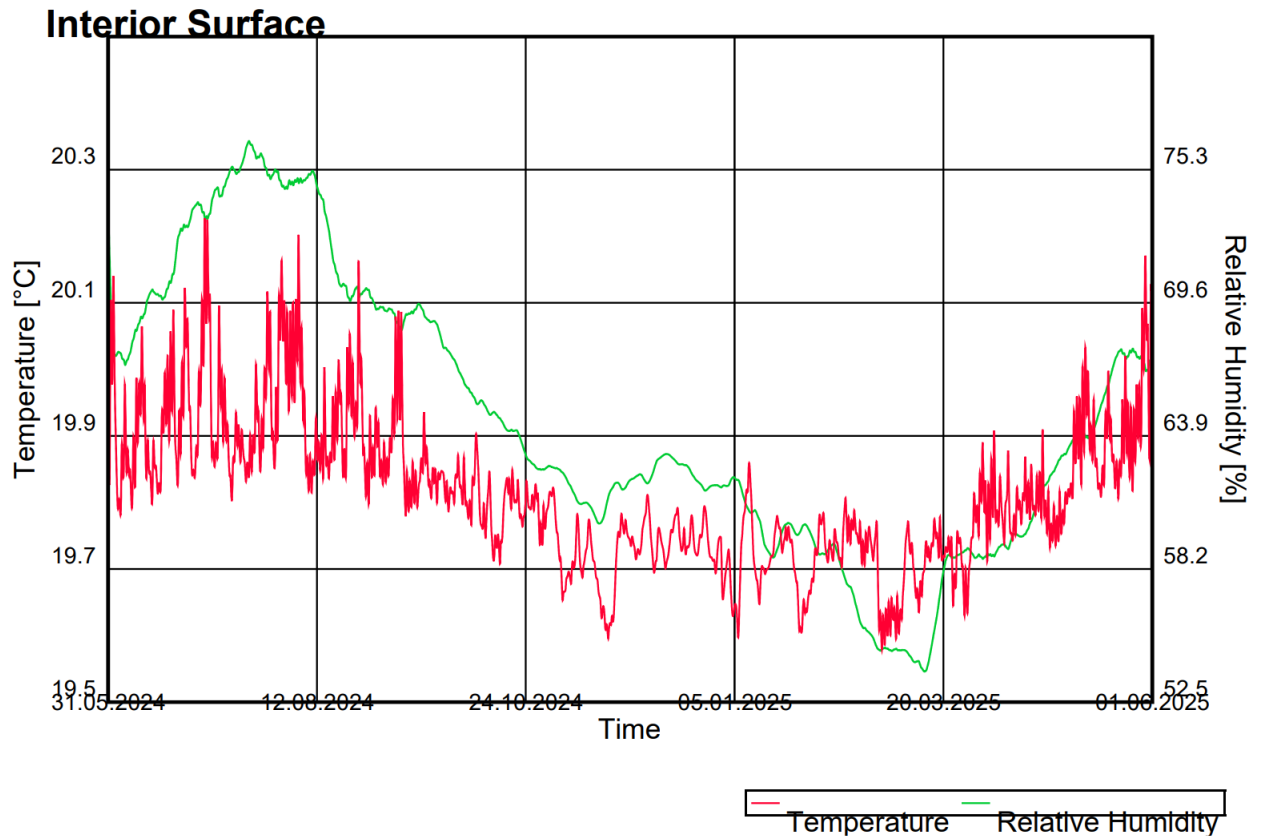
Figur 6.14: Relativ fuktighet yttervegg massivtre

Figur 6.14 ovenfor viser hvordan temperaturen og RF på innvendig side av yttervegg med massivtreelement. Fra grafen holder temperaturen seg rimelig jevn gjennom året, men stiger over 20 °C i løpet av sommerhalvåret. Temperaturen synker gradvis gjennom høsten og vinteren med laveste temperatur på rundt 19,6 °C i februar/mars. RF starter på rundt 72% i juni 2024, hvor den stiger til rundt 76% i sommerhalvåret. Mot høsten og vinteren synker den med laveste verdi på rundt 54% i februar/mars. Høy relativ fuktighet i sommerhalvåret kan føre til problemer med mugg og råte i massivtrekonstruksjonen, hvis ikke tilstrekkelig ventilasjon og fuktighetskontroll er på plass.



Figur 6.15: Relativ fuktighet yttervegg betong

Figur 6.15 ovenfor viser temperatur og RF i innvendig side av yttervegg med betong-element. Litt som i massivtre holder temperaturen seg jevn gjennom året, men har litt lavere temperaturer i vinterhalvåret. RF starter på 75% i juni 2024 og har et topppunkt på rundt 76%. Fuktigheten synker gjennom høsten og vinteren, med laveste punkt på rundt 55% i februar/mars.

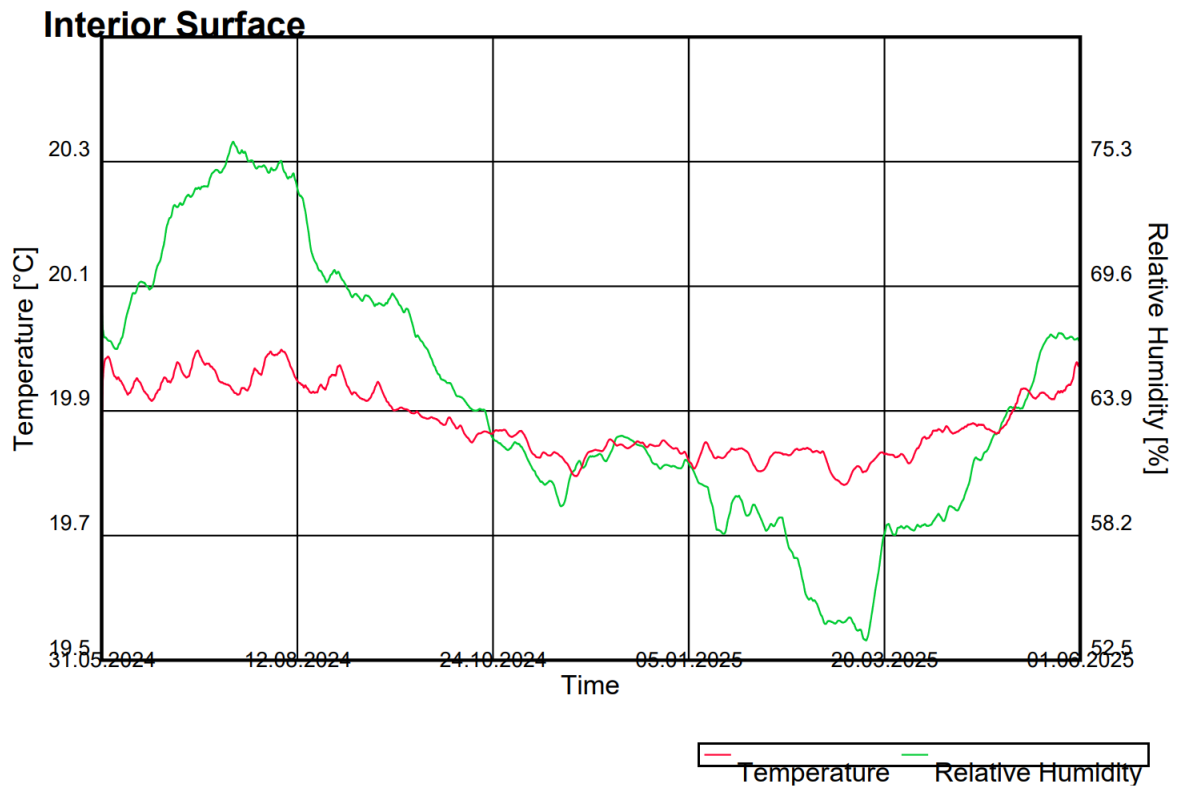


Figur 6.16: Relativ fuktighet yttervegg bindingsverk av tre

Figur 6.16 ovenfor viser temperatur og RF på innvendig side av yttervegg av bindingsverk av tre. Temperaturen ligger på rundt 19-20 °C i løpet av perioden. Det er en økning til over 20°C i sommerhalvåret, før det synker i løpet av høsten og vinterhalvåret. RF starter på rundt 66% i juni og synker i løpet av høsten og vinteren. Her er laveste punkt på rundt 53% i februar/mars.

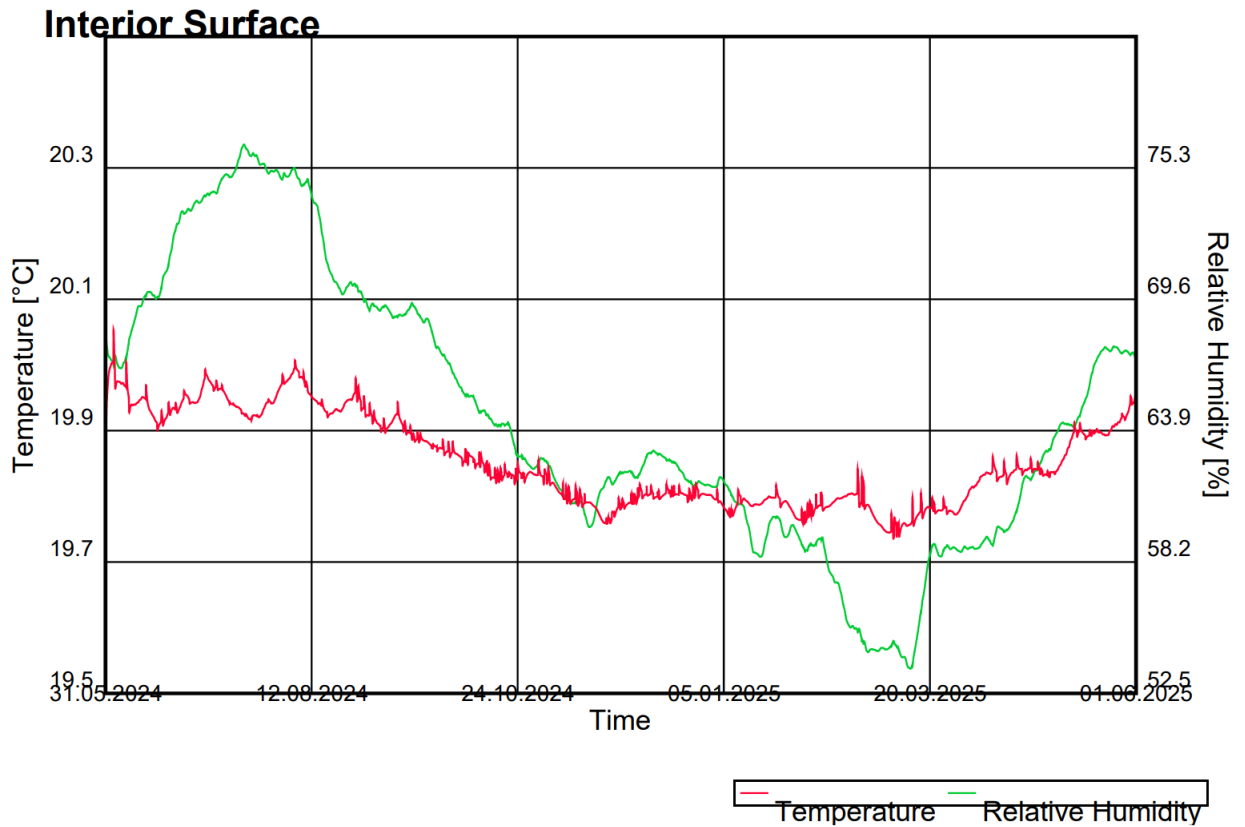
6.2.2 Grønt tak ubrennbar isolasjon

Figurene under viser RF, temperatur og muggvekst på innvendig side ved kompakt tak med ubrennbar isolasjon.



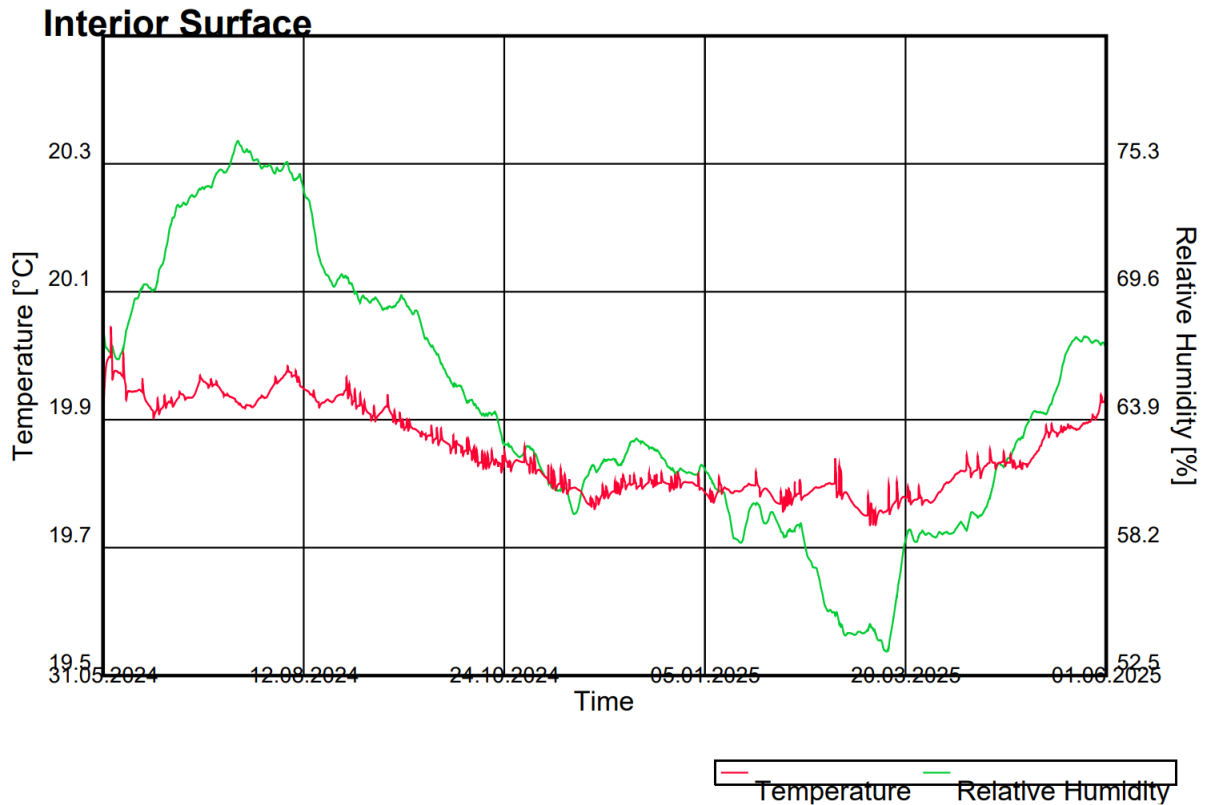
Figur 6.17: Relativ fuktighet, tak ubrennbar isolasjon, massivtre

Figur 6.17 viser RF og temperatur av ubrennbar isolasjon på med massivtreelement. Her holder temperaturen seg jevn gjennom året, hvor den ligger på rundt 20 °C om sommeren, men detter ned til runt 19,8 °C i vinterhalvåret. RF starter på runndt 66% og øker gjennom sommeren, hvor det har et toppunkt på 75,5%. Om vinteren synker RF og har et bunnpunkt på rundt 53%.



Figur 6.18: Relativ fuktighet, tak ubrennbar isolasjon, betong

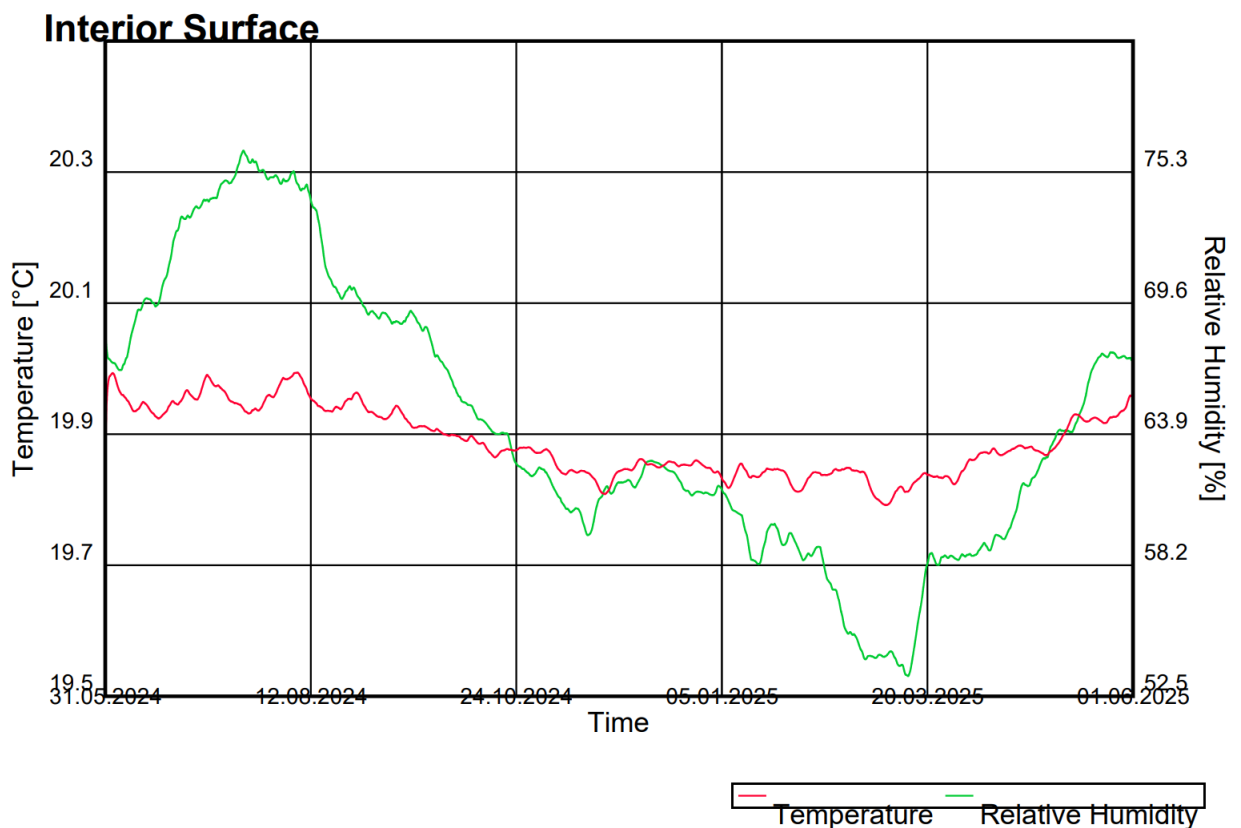
Figur 6.18 viser RF og temperature av ubrennbar isolasjon på tak ved helt betongelement. Her er temperaturen på rundt 20 °C i sommer halvåret og synker ned mot 19,8 °C i vinterhalvåret. RF starter på rund 66%, slik som i massivtre og stiger opp til sitt toppunkt på rundt 76% i juni/juli og synker ned til sitt laveste punkt på rundt 53% i februar/mars.



Figur 6.19: Relativ fuktighet, tak ubrennbar isolasjon, stål

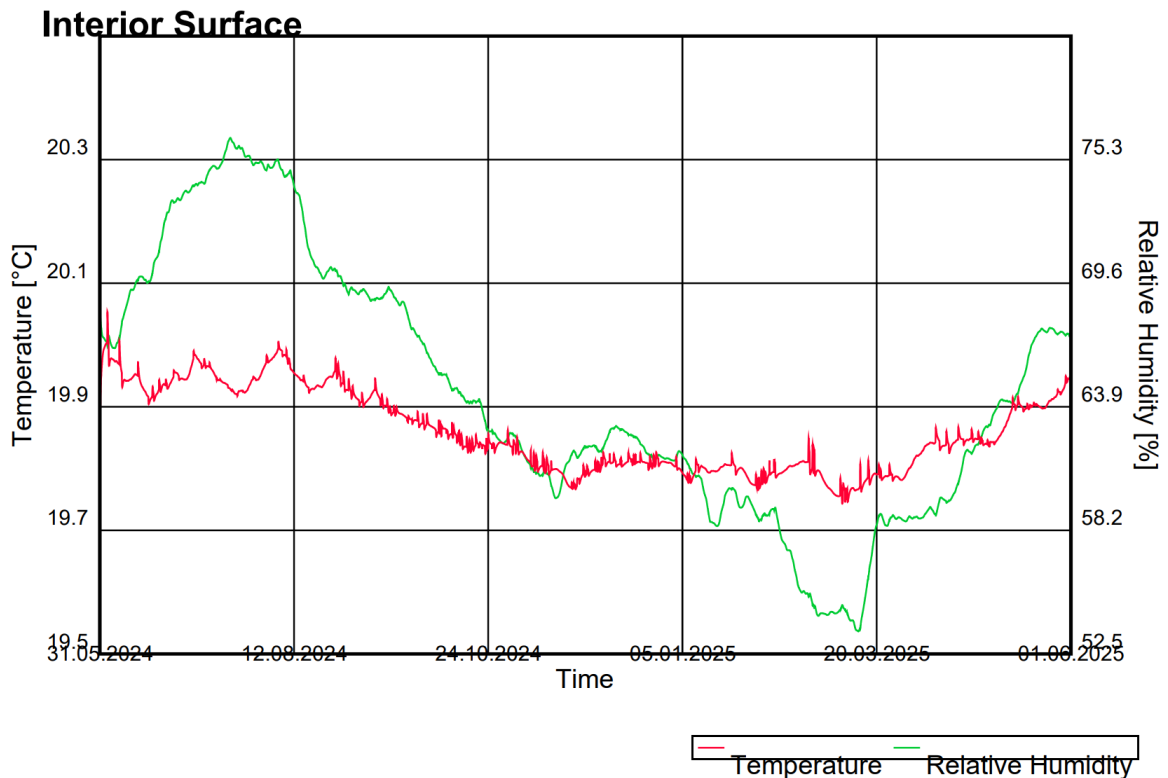
Figur 6.19 viser RF og temperatur av ubrennbar isolasjon på tak med hulldekke. Slik som i massivtre og betong, er temperaturen på innvendig side stabil på rundt 19-20 °C gjennom året. RF starter på rundt 66%, stiger opp til sitt toppunkt på 75,5%. RF synker videre til det laveste punktet på grafen på rundt 53% i februar/mars.

6.2.3 Grønt tak brennbar isolasjon



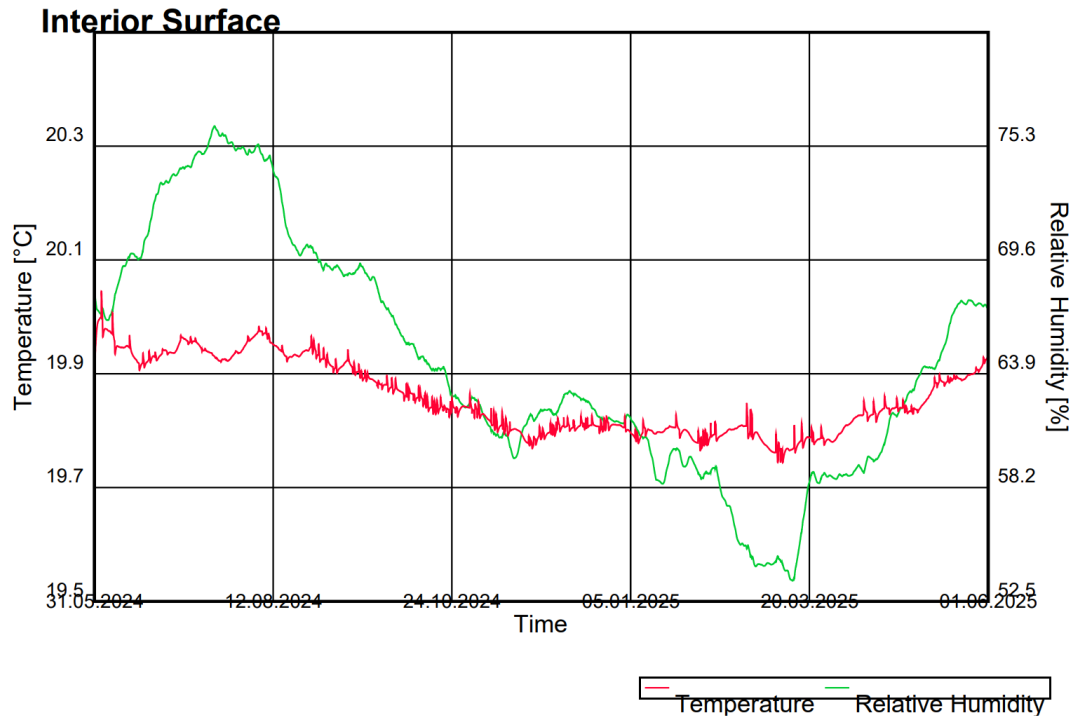
Figur 6.20: Relativ fuktighet, tak brennbar isolasjon, massivtre

Figur 6.20 viser RF og temperatur av brennbar isolasjon på tak med massivtreelement. Slik som i tak for ubrennbar isolasjon holder temperaturen seg jevn gjennom året på rundt 19-20 °C. RF starter på rundt 66%, stiger opp til sitt toppunkt på rundt 75,5%, før den synker til det laveste punktet på rundt 53% i februar/mars.



Figur 6.21: Relativ fuktighet, tak brennbar isolasjon, betong

Figur 6.21 viser RF og temperatur av brennbar isolasjon på tak med betongelement. Slik som tidligere grafer, vil temperatur holde seg jevn gjennom året og ligge mellom 19-20 °C. RF starter på rundt 66%, stiger opp til sitt toppunkt på rundt 75,5%, før den synker til det laveste punktet på rundt 53% i februar/mars.



Figur 6.22: Relativ fuktighet, tak brennbar isolasjon, stål

Figur 6.22 viser RF og temperatur av brennbar isolasjon på tak med betongelement. Slik som tidligere grafer, vil temperatur holde seg jevn gjennom året og ligge mellom 19-20 °C. RF starter på rundt 66%, stiger opp til sitt toppunkt på rundt 75,5%, før den synker til det laveste punktet på rundt 53% i februar/mars.

I tabellen under er en oversikt over det totale vanninnholdet i hver bygningskomponent. I tabellen er det lagt inn det totale vanninnholdet fra starten til slutten av perioden, samt det maksimale og minste vanninnholdet. Grafene for det totale vanninnholdet er lagt med som vedlegg, se vedlegg E.

Materiale	Tot. vann			
	Start	Slutt	Maks	Min
Yttervegg				
<i>Massivtre</i>	14,28	13,66	13,62	14,47
<i>Betong</i>	16,89	15,44	15,41	16,92
<i>Stål</i>	5,71	5,16	5,11	5,91
Tak ubrennbar isolasjon				
<i>Massivtre</i>	11,82	11,75	11,65	14,84
<i>Betong</i>	15,29	14,41	14,37	18,1
<i>Stål</i>	20,17	19,26	19,22	22,99
Tak brennbar isolasjon				
<i>Massivtre</i>	12,16	11,95	11,9	15,01
<i>Betong</i>	15,82	14,91	14,87	18,63
<i>Stål</i>	20,7	19,75	19,71	23,52

Tabell 6.3: Totalt vanninnhold i alle konstruksjoner

6.3 INSUL

Programmet INSUL er brukt for finne omgjøringsstall for spektrum (korreksjonsverdi) og veid reduksjontall. Det har blitt gjennomført analyser for både yttervegg og vegg mellom leiligheter for ulike byggteknikker med elementer av stål, massivtre og betong. Resultatene er gitt i tabell 6.4 og 6.5.

Grafene i figur 6.23 til 6.28 viser lydreduksjonsindeksen i dB som funksjon av frekvens i Hz. Den grønne linjen representerer den faktiske lydreduksjonen, den blå stiplede linjen representerer den veide lydreduksjonsindeksen (R_w -verdi), og den lilla linjen representerer flankeoverføringsgrense.

Lydreduksjon viser hvor mye lyd som blir redusert ved forskjellige frekvenser gjennom konstruksjonen, mens lydreduksjonsindeksen viser den generelle lydisolasjonsytelsen til konstruksjonen. Flankeoverføringsgrensen er begrensningen i lydreduksjon på grunn av flankoverføring.

6.3.1 Yttervegg

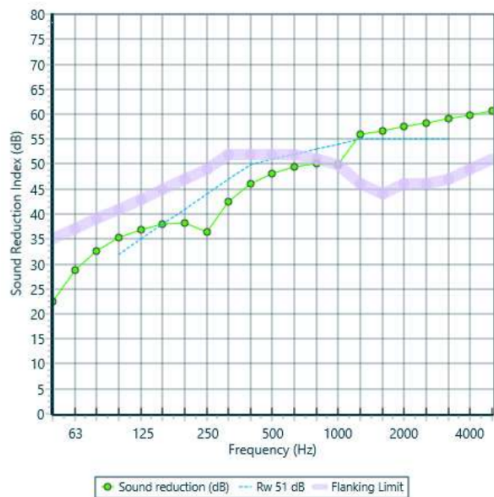
Tabell 6.4 viser resultater fra INSUL for yttervegg med elementer av massivtre, betong og stål. Resultatene viser at yttervegg av massivtre og bindingsverk av tre har moderat lydisolasjon, mens betong isolerer godt mot lyd. Alle konstruksjonene har en negativ korreksjonsverdi. Dette indikerer at ytterveggene er noe mindre effektive til å isolere lavfrekvente lyder.

Grafen for yttervegg med stål viser at lydreduksjonen øker med frekvensen. Dette indikerer at stålveggen er mer effektiv i forhold til å blokkere ut høyfrekvent lyd sammenlignet med lavfrekvent lyd. Dette gjelder for betongveggen og massivtreveggen også. Verdiene for lydreduksjonsindeksen (y-aksen) går fra 0-60 dB for stål, og 0-80 dB for massivtre og betong. Dette vil si at betong og massivtre vil kunne oppnå lydreduksjonsverdier opp mot 80 dB under visse forhold, mens stål kun kan oppnå 60 dB.

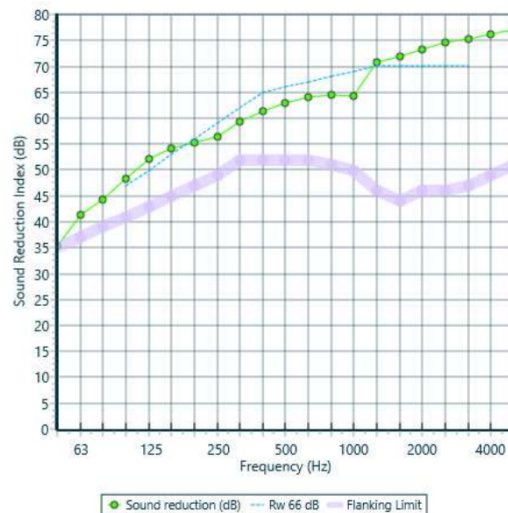
Lydreduksjonsindeksen (grønn linje) stiger jevnt og krysser flanketransmisjonsgrensen ved rundt 1000 Hz for massivtre. Ved frekvenser under 1000 Hz ligger lydreduksjonsindeksen under flanketransmisjonsgrensen. Det vil i disse tilfellene være viktig å vurdere flanketransmisjonen. For stål ligger lydreduksjonsindeksen for det meste under flanketransmisjonsgrensen, spesielt for lavere frekvenser. Dette indikerer at flanketransmisjon er en betydelig faktor, og at den totale lydisolasjonen påvirkes i stor grad av flanketransmisjon. Betongveggen påvirkes ikke i like stor grad av flanketransmisjon som massivtreveggen og stålveggen. Lydreduksjonsindeksen ligger stort sett over flanketransmisjonsgrensen.

Byggteknikk	C50 - 5000	Rw (dB)	Rw + C50-3150
Massivtre	-2	51	49
Betong	-2	66	64
Stål	-3	46	43

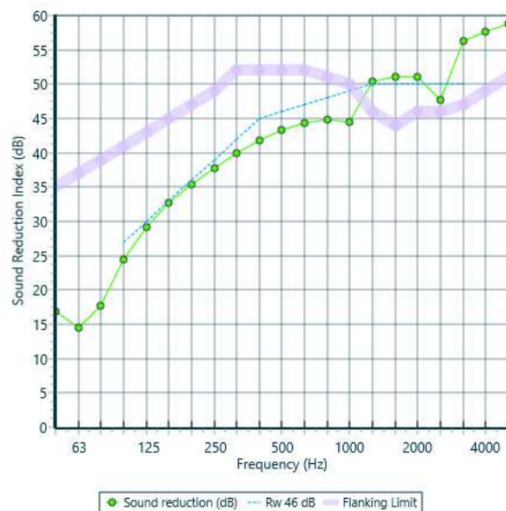
Tabell 6.4: Resultater fra INSUL for yttervegg



Figur 6.23: Yttervegg med massivtre



Figur 6.24: Yttervegg med betong



Figur 6.25: Yttervegg med stål

6.3.2 Vegg mellom leilighet

Tabell 6.5 viser resultater fra INSUL for vegg mellom leilighet av stål, massivtre og betong. Analysen av vegg mellom leiligheter viser veldig lave verdier for omgjøringstall for spektrum, som vil gi betydelig reduksjon i ytelsen ved lavfrekvente lyder. Dette gjelder for alle tre byggteknikker.

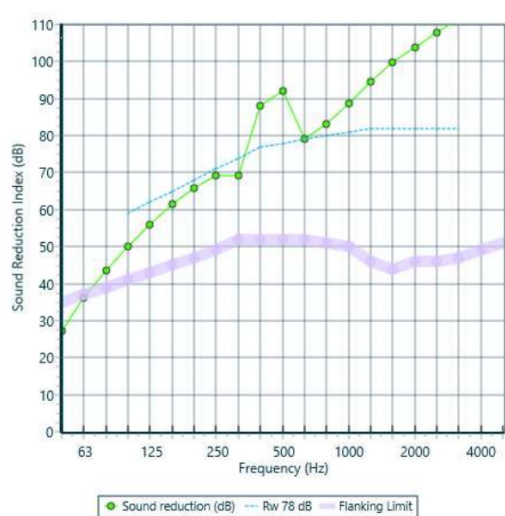
Grafene viser at lydreduksjonen øker med frekvensen for både stålveggen, massivtreveggen og betongveggen, hvilket betyr at veggene er mer effektiv til å blokkere høyfrekvent lyd enn lavfrekvent lyd. Flanketransmisjonsgrensen ligger under lydreduksjonsindeksen (grønn linje) for de fleste frekvensene for stål og betong, mens for massivtre ligger den

under for nesten alle frekvenser.

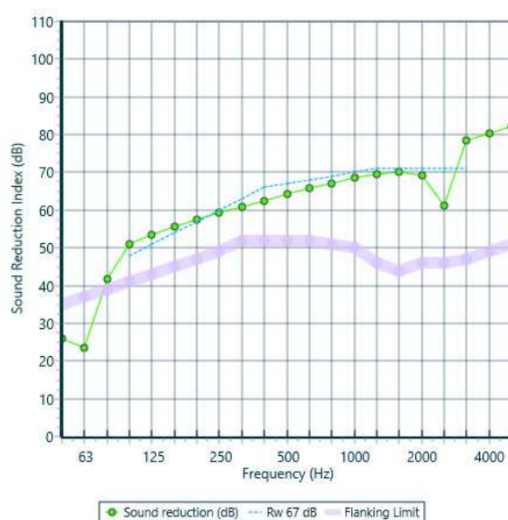
Veid lydreduksjonstall er 72 dB for stål, 78 dB for massivtre og 67 dB for betong. Kombinasjonen av R_w og korreksjonsverdien er innenfor krav gitt i tabell 3.2.

Byggteknikk	C50 - 5000	R_w (dB)	$R_w + C50-3150$
Stål	-14	72	58
Massivtre	-13	78	65
Betong	-9	67	58

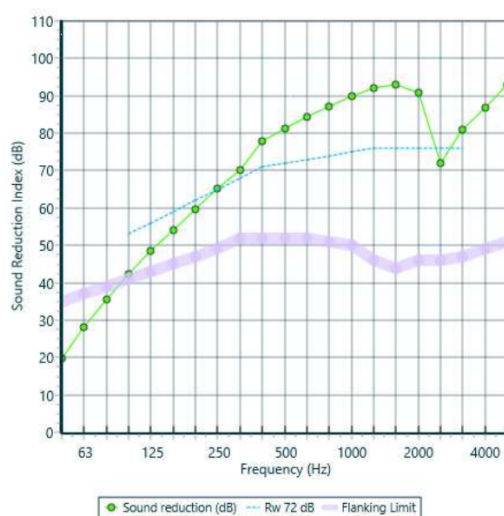
Tabell 6.5: Resultater for INSUL for vegg mellom leiligheter



Figur 6.26: Vegg mellom leiligheter med massivtre



Figur 6.27: Vegg mellom leiligheter med betong



Figur 6.28: Vegg mellom leiligheter med stål

7 Diskusjon

I dette kapitlet skal analysene og resultatene fra kapittel 6 diskuteres. Potensielle feilkilder som kan ha påvirket resultatene vil bli presentert. Resultatene fra THERM, WUFI og INSUL vil bli grundig gjennomgått og sammenliknet innenfor hvert av de ulike programmene.

7.1 Feilkilder

For å kompensere for de ulike feilkildene i programmene, er det viktig å bruke dem som veiledende verktøy snarere enn definitive løsninger. De fleste simuleringer og beregninger er ofte forenklet i programmer sammenliknet med virkeligheten. Derfor kan det være nyttig å gjennomføre manuelle beregninger eller praktiske tester for å sikre at alle krav blir oppfylt. Det er ikke utført i dette prosjektet.

7.1.1 THERM

En usikkerhet med THERM er at programmet primært fokuserer på komponentene individuelt i en todimensjonal analyse. Dermed vil det være vanskelig å være nøyaktig med å modellere de termiske effektene der hvor materialene møtes og ligger sammen. Materialene kan ha termiske egenskaper som påvirker hverandres ytelse. Uten mulighet til å presentere hvordan materialene påvirker hverandre under forskjellige miljøforhold, kan resultatene og beregningene bli upresise.

En vesentlig feilkilde i programmet THERM er at det ikke tar hensyn til metalliske festemidler som spiker og skruer, som da kan være i konstruksjonen. Disse festemidlene kan lede varme og endre eller forstyrre isolasjonen ved å skape veier for varmetap som ikke blir tatt opp i modelleringen i programmet. Derfor kan resultatet til programmet overvurdere den faktiske U-verdien.

7.1.2 WUFI

Det er flere usikkerheter når det kommer til WUFI. Selv om dette verktøyet er kraftig, finnes det flere potensielle feilkilder og usikkerheter som kan påvirke nøyaktigheten av simuleringene.

WUFI Pro utfører simuleringer under ideelle forhold, noe som ofte avviker fra virkelig-

heten. Fysiske tester av konstruksjoner kan bli påvirket av en rekke faktorer som ikke blir tatt med i simuleringene, for eksempel punktering av vindspærre eller dampspærre og mangelfull teiping rundt elementer.

WUFI beregner varme- og fukttransport i endimensjonale bygningskomponenter, uten å ta hensyn til todimensjonale effekter. Modellen antar at alle materialsjikt er 100% homogene, noe som sjeldent stemmer med virkeligheten. Programmet innrømmer selv å bruke forenklinger, og resultatene kan derfor avvike fra faktiske forhold [53].

En annen mulig feilkilde i simuleringene som kan påvirke resultatene er feil i inndata. Her kan unøyaktig materialdata eller klimadata føre til store avvik. Det vil også være en del programvarebegrensninger hvor programfeil eller numeriske feil som følge av diskretisering og konvergensproblemer kan oppstå. Menneskelige feil vil også være en feilkilde for WUFI, hvor ting som feil ved inntasting av data, henting av data og sammensetting av diagrammer kan forekomme. I denne analysen har oppdagede feil blitt umiddelbart rettet opp i.

I simuleringene er det valgt å definere inneklimate i bygningen gjennom en konstant lufttemperatur. Dette vil være en stor forenkling i forhold til hva det egentlig ville ha vært. Det er flere parameter som spiller en rolle i forhold til hvordan inneklimate vil være, slik som lufttrykk, strålingstemperatur, ventilasjon osv. som ikke fullt ut er tatt hensyn til.

WUFI Pro inkluderer ikke alle relevante parametere. For eksempel, lufttrykk kan ha stor betydning for fuktforholdene i konstruksjonen, men dette tas kun med i beregningene dersom konveksjon er inkludert, noe WUFI Pro ikke gjør. Innvendig klimadata som benyttes i simuleringene i denne oppgaven inkluderer derfor ikke lufttrykk.

Det er ikke alle materialer som finnes i WUFI Pro. For eksempel er hulldekke erstattet med betongdekke av samme størrelse, noe som ikke gir en nøyaktig representasjon av materialenes oppførsel i virkeligheten. Derfor bør beregningene tolkes med forsiktighet.

WUFI Pro 6.7 er et verdifullt verktøy for simulering av varme- og fukttransport i bygningskomponenter, men det er viktig å være klar over de potensielle feilkildene og usikkerhetene. Nøyaktigheten av resultatene avhenger i stor grad av kvaliteten på inndata, modellforutsetninger, og brukerens erfaring. For å sikre pålitelige resultater bør simuleringene verifiseres med eksperimentelle data eller sammenlignes med andre modeller.

7.1.3 INSUL

Resultatet som kommer i forhold til lydreduksjonstall, kan bli for høyt eller lavt i forhold til reell lydreduksjonstall i virkeligheten. Derfor kan tallene være fraværende fra en virkelig analyse.

En av de største feilkildene er at programmet ikke tillater brukere å legge inn nye materialer, da det allerede har et forhåndsdefinert bibliotek med materialer. Dette tvinger brukerne til å velge og bruke eksisterende og alternative materialer som ligner og har lignende egenskaper som det ønskede materialet. Denne begrensningen kan føre til mindre nøyaktige beregninger, noe som kan påvirke den faktiske lydisolasjonseffekten i det ferdige bygget. Det kan også resultere i at bygninger ikke oppfyller de nødvendige lydisoleringsstandardene.

7.2 Sammenligning

7.2.1 Varmetransport

Ved å analysere resultatene fra THERM av U-verdi, ser man at stålveggen har den laveste U-verdien. Stål er kjent for sin høye varmeledningsevne, men siden det er blitt tatt snitt der det bare er bindingsverk av tre, vil resultatet være lavt i forhold til om det har vært snitt der det er stålsøyle. Hadde det vært snitt ved stålsøylen, ville man ha sett at det var tilstrekkelig isolert rundt. Tre har derimot lav varmeledningsevne, noe som resulterer i lavt varmetap.

Betong har høy termisk masse, som fører til høy varmeledningsevne. Med 200 mm isolasjon så er U-verdien til ytterveggen innenfor minimumskravet for TEK17. Selv om betongveggen hadde dårligst resultat, kan konstruksjonen være gunstig ved at betongen kan avgi og lagre varme på dag og natt, spesielt der dag og natttemperaturene er veldig varierende. For å ha forbedret dette resultatet, kunne man ha økt isolasjonstykkelsen, som vil redusere varmetallet betraktelig. Selv om betongvegger ikke har den laveste U-verdien, kan den forbedres, noe som gjør betong verdifull med hensyn til holdbarhet og termisk masse, som er viktige faktorer.

Stål- og betongbyggteknikken i taket har veldig likt resultat, da de begge er bygd opp av dekke av betong. Det eneste som skiller løsningene er tykkelsen. Selv om den ene løsningen har 65 mm mer betong utgjør det bare en forskjell på 0,0006 i U-verdi. Dette kan skyldes at betong er et svært varmeledende materiale, og derfor vil ikke tykkelsen på materialet ha stor betydning. Hadde det derimot vært isolasjonen som varierte i tykkelse,

ville resultatet hatt en større forskjell.

Resultatene fra studien av massivtrekonstruksjonen indikerer at dette byggematerialet gir en tilfredsstillende isolasjonseffektivitet, selv med en moderat tykkelse på isolasjonslaget. Massivtre viser seg å være effektivt i å opprettholde varme innenfor bygningsstrukturen selv i vintermånedene, noe som har positive implikasjoner både for miljøet og energikostnadene. Denne egenskapen kommer fra treets naturlige varmeledningsevne, som forsterkes av den kompakte strukturen i flere lag. Dersom byggteknikken med massivtre hadde anvendt en isolasjonstykkelse tilsvarende den som brukes i ytterveggen med bindingsverk av tre, ville U-verdien antagelig vært betydelig lavere. Likevel oppfyller resultatene de nødvendige kravene til isolasjonseffektivitet. Dette indikerer at massivtre kan være et konkurransedyktig alternativ i byggeindustrien, spesielt med tanke på bærekraft og energieffektivitet.

7.2.2 Kuldebro

For å finne resultat fra kuldebro, er det blitt analysert bilde av temperaturforandringer i farger på THERM. Alle analysene av de ulike byggteknikkene i alle overgangene viser ingen betydelige varmetap. Dette var forventet, ettersom inspirasjon for de ulike detaljene er hentet fra Byggforsk og skal være testet og oppfylle minimumskravene i TEK17.

Overgangene med massivtre er den byggteknikken med minst kuldebro. Dette er ikke overraskende, siden massivtre som er limt sammen i forskjellige retninger, opprettholder sin strukturelle integritet og termiske ledningsevne mer effektivt. Det er også sannsynlig at konstruksjonen og overgangen ikke vil ha punkter der varme ledes ut gjennom bygget. Den isolasjonen som er i ytterveggen og taket hjelper med å skape en termisk barriere som minimerer mer for mulighetene for kuldebroer.

Overgangene med betong er støpt sammen, som kan lage en sammenhengende termisk vei som kan øke varmetapet fra det indre til det ytre. Bindingsverket på utsiden av betongveggen sikrer en kontinuerlig isolasjonsbarriere for å hindre varmestrømmen. Betongen har høyere termisk ledningsevne, som betyr at materialet kan føre varme mer effektivt enn de andre materialene, som for eksempel tre. Dette kan resultere i kuldebroer der betongen møter andre bygningsmaterialer uten tilstrekkelig isolasjon. Selv om betong kan få kuldebroer i skjøtene, har betongelementer ofte store sammenhengende flater, noe som gir mindre sannsynlighet for kuldebroer i selve betongstrukturen. De prosjekterte løsningene ser ut til å ha tilstrekkelig isolasjon både på vegger og tak.

Resultatene fra THERM ved overgangene viser at byggteknikken med hulldekke som etasjeskiller og tak, kombinert med bindingsverk av tre og stålsøyler som bærekonstruksjon

har flest potensielle kuldeborer. Stål og betong er kjent for sin høye termiske varmeledningsevne. Det som kan ses ut i fra bilene av resultatet er at varmen fra hulldekke blir ledet til midten av veggkonstruksjonen, men at kuldebrobryteren bidrar effektivt til at ytterligere varmetap minskes. Stålsøylen har også en relativt høy temperatur, men til tross for dette ser det ut til at isolasjonen rundt forhindrer varmelekkasje til andre områder. Bygningsdeler som består av mange forskjellige materialer får ofte flere kuldebroer, fordi materialene har ulik termisk ledningsevne. For eksempel har stål og betong mye høyere ledningsevne enn tre. Varmen vil derfor transporteres raskere gjennom stål enn tre, noe som fører til at varmen ledes til punktene der de to materialene møtes og skaper en kuldebro.

7.2.3 Fukttransport

Det ble utført en kontroll av RF og temperatur på innvendig side av konstruksjonene av massivtreelement, betongelement og bindingsverk av tre, for å vurdere fuktforholdene til de forskjellige bygningsteknikkene. For å sammenligne de tre ulike bygningsteknikkene må vi se på hvordan temperatur og RF varierer gjennom året i hver type konstruksjon. Dette vil gi en innsikt i hvordan hver konstruksjon vil håndtere klimaets forhold, og kan hjelpe med å vurdere hvilken som er mest fordelaktig basert på visse kriterier.

Det ble valgt å se på innvendig overflate av konstruksjonen sin RF og temperatur og konstruksjonene sitt totale vanninnhold. Fuktighet i inneluft varierer veldig gjennom året, og generelt er det vanlig at RF ligger på 40-60 % om sommeren og 20-30% om vinteren. Luftfuktighet bør generelt holdes nede for å unngå kondens og vekst av muggsopp og husstøvmidd. [54]

I ytterveggen viser temperaturen i hver av konstruksjonene lignende trend for temperaturen, med høye temperaturer om sommeren og lave temperaturer om vinteren. Temperaturen gjennom året er ganske lik for alle tre veggtyper, med mindre variasjoner som kan tyde på bedre termisk stabilitet.

RF i ytterveggen av bindingsverk av tre har høyere RF om sommeren og lavere om vinteren, men variasjonen er moderat sammenlignet med de andre. Dette tyder på at treverket ikke holder på mye fuktighet. Fordelen med dette er at det vil være rask uttørkning, og på grunn av den moderate fuktighetsvariasjonen vil det være enklere å kontrollere inneklimate. Massivtre har lignende trend som bindingsverk av tre, men med litt høyere fuktighet om sommeren og lavere om vinteren. Betong har bredest variasjon i RF. Med høye toppe om sommeren og lavere bunn om vinteren. Dette tyder på at betongveggen reagerer sterkere på sesongmessige fuktighetsendringer. På grunn av det høye vanninnholdet, vil

betongen kreve lengre uttørkningstid.

I takkonstruksjonen med brennbar isolasjon, viser både betong og hulldekke generelt høy relativ fuktighet sammenlignet med massivtre. Dette kan antyde at massivtre er bedre på å håndtere fuktighet innvendig, mest sannsynlig på grunn av hygroskopiske egenskaper. Betongen viser mindre svinginger i fuktighet enn massivtre og hulldekke, noe som kan være en fordel i visse klima hvor stabil fuktighet er viktig. I forhold til uttørkningstiden er det igjen massivtre som kommer best ut. Massivtre har lavest vanninnhold (se tabell 6.3) og har en moderat økning over året, noe som tyder på en god uttørkningsevne. Betongkonstruksjonen har høyere vanninnhold og en større økning i vanninnholdet sammenlignet med massivtre, noe som kan indikere lang uttørkningstid. Hulldekke er konstruksjonen som kommer ut med høyest total vanninnhold, og er den med dårligst uttørkningsevne. Her er det viktig å være obs på feilkildene som følger med WUFI. Som tidligere nevnt, ble hulldekket lagt inn som et helt betongdekke, og vil derfor ikke samsvare med virkeligheten. Vanninnholdet vil derfor naturlig være høyere enn de tre andre.

I takkonstruksjonen med ubrennbar isolasjon viser alle tre konstruksjonene en lignende trend med nedgang i RF gjennom året, som tyder på effektiv uttørkning. RF for alle øker igjen mot slutten av perioden, men holder seg innenfor akseptable nivåer. Temperturkurvene er rimelig stabil for alle konstruksjonene, med mindre variasjoner i hulldekket. De stabile temperaturene bidrar til en mer effektiv uttørkningsprosess. Det totale vanninnholdet i konstruksjonene viser at hulldekket har størst reduksjon i vanninnholdet, mens massivtre og betong har lignende reduksjoner. Dette kan indikere at hulldekket er mest effektivt i å redusere vanninnholdet, men dette kan også være en konsekvens av høyere startvanninnhold. Igjen, her er det viktig å være obs på at det ikke er et hulldekke som er lagt inn i WUFI, men et helt betongdekke. Dette vil ha en innvirkning på om hvordan konstruksjonen oppfører seg.

7.2.4 Lyd

For yttervegger har stål den laveste R_w -verdien, noe som gir den dårligste lydisolasjonen blant de tre løsningene. Stål har høy termisk ledningsevne, og dens stive og harde struktur overfører lyd lettere, spesielt høye frekvenser. Omgjøringstallet på -3 reduserer lydisolasjonen ytterligere, noe som gjør yttervegger av stål mindre egnet for bygninger hvor god lydisolasjon er spesielt viktig.

Massivtre har en bedre R_w -verdi enn stål, men dårligere enn betong. Treets oppbygning gir en viss lydabsorpsjon, men massivtre mangler den samme densiteten som betong, noe som resulterer i en moderat lydisolasjon på 49 dB. Betong har den høyeste R_w -

verdien på 66 dB, og selv om omgjøringsstallet på -2 reduserer denne til 64 dB, indikerer dette fortsatt veldig god lydisolasjon. Betongens høye densitet og masse gir overlegne lydisolerende egenskaper, spesielt for høye frekvenser.

Når det gjelder vegger mellom leiligheter, har stålveggen en svært høy R_w -verdi på 72 dB, noe som indikerer veldig god lydisolasjon. Imidlertid har stål en tendens til å være mindre effektiv til å blokkere lavfrekvent lyd, noe som reflekteres i den lave korreksjonsverdien. Massivtre har også en reduksjon i ytelse ved lavfrekvente lyder, men er litt bedre enn stål. Dette skyldes treets naturlige lydabsorberende egenskaper.

Betong har mindre reduksjon i ytelse sammenlignet med stål og massivtre, på grunn av dens høye masse og stivhet som effektivt blokkerer både høy- og lavfrekvent lyd. Massivtreveggen har den høyeste R_w -verdien på 78 dB, og isolerer totalt sett best mot lyd i dette tilfellet. Treets lagvise struktur og evne til å absorbere og dempe lyd gjør det effektivt for en rekke frekvenser.

For både yttervegger og vegger mellom leiligheter viser betong og massivtre generelt god lydreduksjonsevne over flanketransmisjonsgrensen ved høyere frekvenser. Dette betyr at de er effektive til å hindre direkte lydtransmisjon. Flanketransmisjon kan derimot være en faktor ved lavere frekvenser. Stål viser en mer begrenset lydreduksjon, og lydreduksjonsindeksen ligger ofte under flanketransmisjonsgrensen, spesielt for lavere frekvenser. På grunn av ståls høye termiske ledningsevne og stive struktur, overføres lyd lettere gjennom materialet.

Der lydreduksjonsindeksen ligger under flanketransmisjonsgrensen kan det være nødvendig med tiltak for å redusere flanketransmisjon for å oppnå ideell lydisolasjon. For eksempel kan ekstra isolasjonsmaterialer eller lydisolerende konstruksjonsteknikker anvendes for å forbedre lydisolasjonseffekten i stål.

8 Konklusjon

Analysen av U-verdier fra THERM indikerer at byggteknikken med massivtre oppnår den laveste U-verdien. Massivtre er konstruert ved å lime sammen flere lag av tre i krysslager, noe som skaper en homogen struktur som effektivt forhindrer varmelekkasjer. Byggteknikken med betong viste de høyeste U-verdiene, sannsynligvis på grunn av betongens høye varmeledningsevne. Byggteknikken med bindingsverk av tre, stål og hulldekke oppnådde også tilfredsstillende U-verdier, noe som viser deres potensial for god isolasjonseffektivitet.

Resultatet av analysen av temperaturforandringer i bygningsdelene viser at massivtre har det minste potensialet for kuldebroer. Dette skyldes massivtreets evne til å opprettholde strukturell integritet og effektiv termisk ledningsevne. Massivtre har også færre skjøter og overganger, noe som reduserer antallet potensielle kuldebroer. Byggteknikken med betong kan skape en sammenhengende termisk vei, som kan øke varmetapet fra det indre til det ytre. Bindingsverket på utsiden av betongveggen sikrer en kontinuerlig isolasjonsbarriere, som hindrer varmestrømmen. Byggteknikken med stål, bindingsverk av tre og hulldekke overgangene viser har flest potensielle kuldebroer i overgangene. Dette skyldes stålets og betongens høye termiske ledningsevne, som gjør at varmen transporteres raskere gjennom disse materialene, og dermed øker risikoen for kuldebroer.

Gitt at bygget skal ligge i Trondheim, som er et kystklima med høy luftfuktighet, er det massivtre som mest sannsynlig er det beste valget ut ifra analysene i WUFI. Massivtre har en evne til å balansere fuktnivåene godt og har god termisk masse, noe som gir et stabilt og energieffektivt inn klima. Materialet har en god evne til å absorbere og frigjøre fuktighet. Den høye termiske massen bidrar til jevnere temperaturer innendørs. Det høye vanninnholdet gjør derimot at massivtre krever mer effektiv ventilasjon for å sikre uttørkning, og om treet ikke får riktig behandling kan det bli utsatt for biologisk nedbryting. Bindingsverk av tre er en tradisjonell byggemetode som fortsatt er veldig populær den dag i dag på grunn av sin fleksibilitet og kostnadseffektivitet. Bindingsverket av tre krever rask uttørkning for å unngå fuktrelaterte problemer. Derimot krever bindingsverk av tre mer vedlikehold og har en større risiko for fukt relaterte problemer. Betong tåler derimot fukt veldig godt, og avhenger av produsenten, kan du få i praksis vanntett betong. I motsetning til organiske materialer som tre, kan ikke betong råtne eller mugg. Tettheten til betong vil i tillegg til fuktmotstanden gjør at den egner seg bra til bruk i miljøer sterkt utsatt for fukt [31]. Betong kan være et godt alternativ dersom det implementeres med effektive fuktsystemer.

Analyser og resultat i kapittel 5 i forhold til lyd viser variasjoner i forhold til hvilken løsning som er best basert på om det ses på yttervegg eller vegg mellom leiligheter. For

ytterveggen er det betong som er den beste løsningen. Betong gir høy lydisolasjon over hele frekvensspekteret og minimal påvirkning fra flanketransmisjon. Massivtre gir moderat lydisolering, og flanketransmisjon kan være en utfordring ved lave frekvenser. Av de tre materialene er det stål som har den laveste lydisolasjonsevnen, og er mindre egnet for yttervegger hvor lydisolasjon er især viktig. For vegg mellom leilighet er det massivtre som er det beste alternativet. Det har den høyeste isolasjonsevnen, og gir god isolasjon mot både direkte lydtransmisjon og flanketransmisjon. Betong og stål er begge solide valg for vegg mellom leiligheter. Betong har noe mindre R_w -verdi sammenlignet med stål, men når korreksjonsfaktoren inkluderes er resultatet likt.

Samlet sett, basert på analyser av fukt, varme og lyd, fremstår massivtre som den beste løsningen for prosjektet i Trondheim. Massivtre kombinerer god energieffektivitet, håndtering av fuktighet, og lydisolasjon, og gir et stabilt og komfortabelt innneklima. For yttervegger kan betong vurderes for optimal lydisolasjon, mens massivtre er ideelt for vegger mellom leiligheter.

9 FoU

Denne oppgaven har utforsket hvordan digitaliseringen av byggebransjen foregår og hvordan avanserte digitale verktøy som THERM, WUFI og INSUL benyttes i prosjektering av komplekse bygg. Oppgaven baserer seg på analyser og simuleringer ved hjelp av digitale verktøy med fokus på lyd, varme- og fukttransport. For å kunne vurdere foreslåtte tiltak og dypdykke i teknologiske utviklinger, er det viktig å utforske dette nærmere.

Videre forskning bør fokusere på å optimalisere kombinasjoner av byggematerialer for å oppnå en balanse mellom lydisolasjon, varmeisolasjon og fukttransport. For eksempel kan kombinasjoner av massivtre og betong brukes for å dra nytte av de lydisolerende egenskapene til betong og de termiske og fuktighetsregulerende egenskapene til massivtre. Eksperimentelle studier som tester ulike kombinasjoner under kontrollerte forhold vil kunne gi klare anbefalinger for materialvalg i fremtidige byggprosjekter.

Langtidsstudier av materialenes egenskaper over tid er nødvendig for å forstå hvordan de påvirkes av aldring, miljøforhold og belastninger. Dette gjelder spesielt for nye og innovative materialer som massivtre, som har vist seg å være lovende, men som fortsatt trenger mer omfattende data for å vurdere deres langtidseffekter. Studier som overvåker bygninger over flere år vil gi innsikt i materialenes holdbarhet, vedlikeholdsbehov og ytelse over tid.

Bærekraft er en stadig viktigere faktor i byggebransjen. Fremtidig forskning bør derfor også fokusere på miljøpåvirkningen av ulike byggteknikker og materialer. Livssyklusanalyser som vurderer karbonfotavtrykket, energiforbruket og miljøpåvirkningen av materialer gjennom hele byggets livssyklus. Dette vil gi en helhetlig forståelse av miljøkonsekvensene og hjelpe til med å utvikle mer bærekraftige byggeløsninger.

Referanseliste

- [1] Byggforsk SINTEF. *Unngå byggskader*. <https://www.byggforsk.no/file/index/132>. (Accessed on 06/05/2024). 2007.
- [2] Norgeshus. *Om Norgeshus*. <https://norgeshus.no/no/om+norgeshus>. (Accessed on 05/05/2024).
- [3] Norgeshus. «Prosjektbeskrivelse, vedlegg G». I: (2024).
- [4] Lovdata. *Om loven*. <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71>. (Accessed on 05/05/2024). Jan. 2024.
- [5] Direktoratet for byggkvalitet. *Veiledning om tekniske krav til byggverk*. <https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17>. (Accessed on 05/05/2024). Sep. 2017.
- [6] Byggforsk SINTEF. *Hva er Byggforskserien*. https://www.byggforsk.no/side/198/hva_er_byggforskserien. (Accessed on 05/05/2024).
- [7] Direktoratet for byggkvalitet. *Minimumsnivå for energieffektivitet*. <https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/14/14-3>. (Accessed on 05/05/2024). Jul. 2022.
- [8] SINTEF. *Energieffektive bygg - fukt og frykt*. https://www.sintef.no/contentassets/267a165b8c144e3687331b20014742e0/nasjonalt_fuktseminar_2011_kompendium.pdf. (Accessed on 05/05/2024). Apr. 2011.
- [9] Byggforsk SINTEF. *421.132 Fukt i bygninger - Teorigrunnlag*. https://www.byggforsk.no/dokument/184/fukt_i_bygninger_teorigrunnlag. (Accessed on 05/05/2024). Jun. 2018.
- [10] Byggforsk SINTEF. *Ivareta fuktsikkerheten ved prosjektering og utførelse*. https://www.byggforsk.no/nyheter/2/ivareta_fuktsikkerheten_ved_prosjektering_og_utfoerelse/1603. (Accessed on 05/05/2024). Jun. 2016.
- [11] BYGNINGSFYSIKK. *Fuktmekanikk*. <https://www.bygningsfysikk.no/Fuktmekanikk.php>. (Accessed on 05/05/2024). Nov. 2019.
- [12] Jan Vincent Thue. «Bygningsfysikk». I: (2016).
- [13] Byggforsk SINTEF. *474.533 Uttørking og forebygging av byggfukt*. https://www.byggforsk.no/dokument/227/uttoerking_og_forebygging_av_byggfukt. (Accessed on 16/05/2024). Mar. 2021.
- [14] Byggforsk SINTEF. «700.119 Fukt i bygninger Uttørking». I: (1997).

- [15] SINTEF. Byggforsk. *471.008 Beregning av U-verdier etter NS-EN ISO 6946*. https://www.byggforsk.no/dokument/208/beregning_av_u-verdier_etter_ns-en_iso_6946. (Accessed on 05/05/2024). Sep. 2018.
- [16] Knut Jonas Espedal. «Bygningsfysikk». I: (2010).
- [17] TEKNA. *Hva er en kuldebro?* <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/hva-er-en-kuldebro/>. (Accessed on 05/05/2024). Desember 2020.
- [18] SINTEF. Byggforsk. *472.001 Kuldebroer. Typer, konsekvenser og bruk av normalisert kuldebro*. https://www.byggforsk.no/dokument/5206/kuldebroer_typer_konsekvenser_og_bruk_av_normalisert_kuldebroverdi. (Accessed on 05/05/2024). Oktober 2019.
- [19] Direktoratet for byggkvalitet. § 13-6. *Lyd og vibrasjoner*. <https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/13/iv/13-6>. (Accessed on 05/05/2024).
- [20] Norsk standard. NS8175:2019. *Lydforhold i bygninger - Lydklasser for ulike bygningstyper*. <https://online.standard.no/nb/ns-8175-2019>. (Accessed on 05/05/2024). 2019.
- [21] Byggforsk SINTEF. *421.401 Lyd og akustiske størrelser*. https://www.byggforsk.no/dokument/185/lyd_og_akustiske_stoerrelser. (Accessed on 05/05/2024). Jan. 2024.
- [22] Byggforsk SINTEF. *421.402 Romakustikk og lydisolering. Grunnbegreper*. https://www.byggforsk.no/dokument/186/romakustikk_og_lydisolering_grunnbegreper. (Accessed on 16/05/2024). Jan. 2024.
- [23] Byggforsk SINTEF. *523.422 Lydisolerende egenskaper for yttervegger*. https://www.byggforsk.no/dokument/366/lydisolerende_egenskaper_for_yttervegger. (Accessed on 14/05/2024). Mai 2016.
- [24] Trefokus. *Fokus på tre*. <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/20-Massivtre.pdf>. (Accessed on 05/05/2024). Aug. 2011.
- [25] Norske Limtreprodusenters Forening. «Limtreboka». I: (2015).
- [26] Norske Limtreprodusenters Forening. *Limtreboka*. https://www.moelven.com/globalassets/moelven-limtre/limtreboka_2015_e12.pdf. (Accessed on 05/05/2024). 2015.
- [27] Massivtre. *Massivtre som byggemateriale*. <https://massivtre.as/info-om-massivtre/>. (Accessed on 19/05/2024).

- [28] ndla. *Tre som materiale*. <https://ndla.no/nb/subject:6055d62b-8373-47d3-8b56-e3d4c5560ff5/topic:d4f9aa01-be53-4a97-816a-7c865286a474/topic:079be755-1bb5-4692-976f-96cd4d751433/resource:b8e5bcac-d19c-43fe-bce2-de604842fe8e>. (Accessed on 20/05/2024). Sep. 2020.
- [29] Byggforsk SINTEF. *520.205 Planlegging av bygninger med KLT-elementer*. https://www.byggforsk.no/dokument/3009/planlegging_av_bygninger_med_klt-elementer. (Accessed on 08/05/2024). Mai 2023.
- [30] Jan Vincent Thue. *betong*. <https://snl.no/betong>. (Accessed on 16/05/2024). Jul. 2019.
- [31] BETONG NORGE. *Fakta om betong*. <https://www.betong.no/fakta-om-betong/>. (Accessed on 14/05/2024).
- [32] Byggforsk Sintef. *524.321. Lydisolasjon for massive innervegger*. https://www.byggforsk.no/dokument/378/lydisolasjon_for_massive_innervegger. (Accessed on 20/05/2024). Aug. 2019.
- [33] SNL Jan Ketil Solberg. *Stål*. <https://snl.no/st1>. (Accessed on 16/05/2024). Mai 2024.
- [34] Norsk stålforbund. *Materialet*. <https://www.stalforbund.no/materialet/>. (Accessed on 20/05/2024). 2024.
- [35] Nordic steel. *Ulike typer stål og materialgrader: Det du trenger å vite om stålkvaliteter*. <https://www.nordicsteel.no/fagartikler/ulike-typer-stal-og-materialgrader>. (Accessed on 20/05/2024). 2024.
- [36] Byggforsk Sintef. *571.403, Metaller til bygningsbruk. Klassifisering og egenskaper*. https://www.byggforsk.no/dokument/575/metaller_til_bygningsbruk_klassifisering_og_egenskaper. (Accessed on 20/05/2024). Desember 2013.
- [37] Tretknisk Christoffer Aas Clementz. *Energieffektive ytterveggskonstruksjoner i tre*. <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/5-Energieffektive-ytterveggskonstruksjoner-i-tre.pdf>. (Accessed on 20/05/2024). 2011.
- [38] Sverre Tronstad. *Trefuktighet*. <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/38-Trefuktighet-torking.pdf>. (Accessed on 20/05/2024). 2000.
- [39] Geir Glasø. *Tre og lyd*. <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/36-Tre-og-lyd.pdf>. (Accessed on 20/05/2024). 2011.
- [40] Wikipedia. *Archicad*. <https://no.wikipedia.org/wiki/Archicad>. (Accessed on 20/05/2024). Nov. 2022.
- [41] Berkely Lab. *THERM Software Downloads*. <https://windows.lbl.gov/therm-software-downloads>. (Accessed on 14/05/2024). Nov. 2017.

- [42] byggforsk SINTEF. *Varmekonduktivitet og varmemotstand*. https://www.byggforsk.no/dokument/209/varmekonduktivitet_og_varmemotstand_for_bygningsmaterialer. (Accessed on 14/05/2024). Sep. 2020.
- [43] byggforsk SINTEF. *Varmeisolasjonsmaterialer. Typer og egenskaper*. https://www.byggforsk.no/dokument/604/varmeisolasjonsmaterialer_typer_og_egenskaper. (Accessed on 14/05/2024). Sep. 2020.
- [44] Byggforsk SINTEF. *421.132 - Fukt i bygninger. Teorigrunnlag*. https://www.byggforsk.no/dokument/184/fukt_i_bygninger_teorigrunnlag. (Accessed on 02/05/2024). Jun. 2018.
- [45] Jan V. Thue Stig Geving. «WUFI 1D Pro 4.1, Brukermanual». I: (2008).
- [46] INSUL. *Predict transmission loss, impact sound, and rain noise*. <https://www.insul.co.nz/features/>. (Accessed on 05/05/2024).
- [47] INSUL. *About INSUL*. <https://www.insul.co.nz/>. (Accessed on 05/05/2024).
- [48] Byggforsk SINTEF. *544.823 Sedumtak*. <https://www.byggforsk.no/dokument/4093/sedumtak>. (Accessed on 07/05/2024). Nov. 2013.
- [49] Byggforsk SINTEF. *525.207 Kompakte tak*. https://www.byggforsk.no/dokument/387/kompakte_tak. (Accessed on 07/05/2024). Apr. 2018.
- [50] Tekna. *Kompakte tak*. <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/kompakte-tak/>. (Accessed on 07/05/2024). Desember 2024.
- [51] Byggforsk SINTEF. *Unngå byggskader i flate, kompakte tak*. <https://www.byggforsk.no/file/index/547>. (Accessed on 08/05/2024).
- [52] Byggforsk Sintef. *523.254. Utfyllende bindingsverk*. https://byggforsk.no/dokument/3115/utfyllende_bindingsverk#. (Accessed on 20/05/2024). Nov. 2020.
- [53] WUFI Wiki. *Hauptseite Zur Navigation springenZur Suche springen*. <https://www.wufi-wiki.com/mediawiki/index.php?title=Hauptseite>. (Accessed on 10/05/2024). Feb. 2019.
- [54] Jan V. Thue Byggforsk Stig Geving. «Fukt i bygninger, håndbok 50». I: s.270 (2002).

Figurliste

2.1	Pottenveien. Illustrasjon: Norgeshus	3
2.2	Pottenveien. Illustrasjon: Norgeshus	4
2.3	Pottenveien. Illustrasjon: Norgeshus	4
2.4	Pottenveien. Illustrasjon: Norgeshus	4
2.5	Pottenveien. Illustrasjon: Norgeshus	4
3.1	Luftfuktighetsdiagram [9]	6
3.2	Typiske fuktkilder og transportformer [10]	7
3.3	Tre former for varmetransport [15]	10
3.4	Varmestrøm gjennom en kuldebro [18]	11
3.5	Tilslutning der kuldebro oppstår grunnet forskjell mellom utvendig og innvendig overflateareal for et hjørne [18]	11
3.6	Eksempel på kuldebro der et dekke trenger gjennom klimaskjermen [18]	11
3.7	Flanketransmisjonsveier [22]	14
3.8	Livssyklusen til treprodukter [26]	17
4.1	Beregning varmekonduktivitet bindingsverk av tre med isolasjon	23
4.2	Beregning varmekonduktivitet bindingsverk av tre og stillestående luft	23
5.1	Overgang yttervegg/sedumtak	28
5.2	Overgang yttervegg/sedumtak betong	29
5.3	Overgang yttervegg/sedumtak bærende søyler av stål og hulldekke	30
5.4	Overgang yttervegg/etasjeskiller	32
5.5	Overgang yttervegg/etasjeskiller: Betong	33
5.6	Overgang yttervegg/etasjeskiller	34

5.7	Overgang vegg mellom leilighet/etasjeskiller	36
5.8	Overgang vegg mellom leilighet/etasjeskiller	37
5.9	Overgang vegg mellom leilighet/etasjeskiller	38
6.1	Yttervegg med massive tre	40
6.2	Yttervegg med betong	40
6.3	Yttervegg med stål	40
6.4	Kompakt tak med massiv tre	41
6.5	Kompakt med betong	41
6.6	Kompakt med betong	41
6.7	Fargeskala i forhold til temperatur i THERM	41
6.8	Overgang tak/yttervegg: Massiv tre	42
6.9	Overgang tak/yttervegg: Betong	42
6.10	Overgang tak/yttervegg: Stål	42
6.11	Overgang yttervegg/etasjeskiller: Massiv tre	43
6.12	Overgang yttervegg/etasjeskiller: Betong	43
6.13	Overgang yttervegg/etasjeskiller: Bindingsverk av tre	43
6.14	Relativ fuktighet yttervegg massivtre	44
6.15	Relativ fuktighet yttervegg betong	45
6.16	Relativ fuktighet yttervegg bindingsverk av tre	46
6.17	Relativ fuktighet, tak ubrennbar isolasjon, massivtre	47
6.18	Relativ fuktighet, tak ubrennbar isolasjon, betong	48
6.19	Relativ fuktighet, tak ubrennbar isolasjon, stål	49
6.20	Relativ fuktighet, tak brennbar isolasjon, massivtre	50
6.21	Relativ fuktighet, tak brennbar isolasjon, betong	51

6.22	Relativ fuktighet, tak brennbar isolasjon, stål	52
6.23	Yttervegg med massivtre	55
6.24	Yttervegg med betong	55
6.25	Yttervegg med stål	55
6.26	Vegg mellom leiligheter med massivtre	56
6.27	Vegg mellom leiligheter med betong	56
6.28	Vegg mellom leiligheter med stål	56

Tabelliste

3.1	Minstekrav for energieffektivitet iht. §14-3 [7]	5
3.2	Lydklasser for boliger: Luftlydisolasjon [20]	13
3.3	Lydklasser for boliger: Trinnlydisolasjon [20]	14
4.1	Materialer og varmekonduktivitet i THERM	22
4.2	Materialdata hentet fra WUFI	24
6.1	U-verdi for yttervegg	39
6.2	U-verdi for tak	40
6.3	Totalt vanninnhold i alle konstruksjoner	53
6.4	Resultater fra INSUL for yttervegg	54
6.5	Resultater for INSUL for vegg mellom leiligheter	56

10 Vedleggsliste

Vedlegg A Plakat

Vedlegg B Artikkel

Vedlegg C Tegninger

Vedlegg D THERM

Vedlegg E WUFI

Vedlegg F INSUL

Vedlegg G Prosjektbeskrivelse