

Omprosjektering av en moderne enebolig prosjektert i bindingsverk til massivtre

Redesign of a Modern Detached House in Half-Timber
to Cross-Laminated-Timber

Trondheim Mai 2021

Navn studenter:

Marit Nesvold Engan
Ronja Helle
Anne Dahn Landrø

Intern veileder:
Bozena Hrynyszyn

Ekstern veileder:
Snorre Bjørkum

Prosjektnr:
2021 - 12

Rapporten er ÅPEN



Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk

Problemdefinering, prosjektbeskrivelse og resultatmål

Gruppen skal i hovedsak omprosjekttere kataloghuset Dråpen Moderne prosjekttert i bindingsverk til massivtre. Målet med rapporten er å finne den gunstigste løsningen for bruk av massivtre i eneboligen. Hovedfokus skal være på bygningsfysikken og utarbeidelse av detaljer. Med bygningsfysikk menes faktorer som energieffektivitet, luft-, varme- og fukttransport. Det vil være ønskelig å trekke inn faktorer som pris, miljø og bokvalitet som vil være relevant for markedsføring.

Det skal ses på ulike oppbygging av de forskjellige bygningsdelene. De ulike løsningene skal sammenlignes og det skal diskuteres fordeler og ulemper for hvert alternativ. Det skal så utarbeides detaljtegninger for valgte løsninger. Detaljtegningene skal ta for seg kritiske overganger. Det vil være relevant å se på kuldebroer knyttet til optimalisering av byggetekniske detaljer. Luft- og varmetransportvurdering av komponentene utføres ved hjelp av enkle håndberegninger eller aktuelle program. Sammenligning av massivtre og bindingsverk vil gjøres ved hjelp av erfaringer, beregninger og gjeldene verdier for kataloghuset.

Om mulig skal gruppen foreta målinger knyttet til bokvalitet og bygningsfysikk i en enebolig av massivtre. De aktuelle målingene gruppen har tenkt å gjennomføre er i forbindelse med akustikk, trykktest, CO₂ og allergi/støv. Dette er kun gjennomførbart hvis gruppen har tid og de ressursene som trengs for gjennomføring.

Resultatmål: Finne en gunstig løsning på omprosjektering av et hus i bindingsverk til massivtre.

Stikkord: <ul style="list-style-type: none">• Massivtre vs. bindingsverk• Energioptimalisering av bolighus i massivtre• Byggetekniske detaljer i massivtre	Keywords: <ul style="list-style-type: none">• Cross-laminated-timber vs. half-timber• Energy optimization of detached dwelling in cross-laminated-timber• Construction specifications to cross-laminated-timber
---	--

Forord

Rapporten er utarbeidet som avslutning på det treårige bachelorprogrammet Byggingeniør ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim. Bacheloroppgaven utgjør 20 studiepoeng og er utarbeidet våsemesteret 2021.

Det er studentene Marit Nesvold Engan, Ronja Helle og Anne Dahn Landrø som har utarbeidet rapporten. Alle har spesialisering innenfor husbyggingsteknikk 2. Valg av problemstilling baserer seg på undertegnede egeninteresse for massivtre som byggemateriale. Det er også ønskelig å bidra til videreutvikling av massivtre i eneboliger.

Vi ønsker å rette en stor takk til Norgeshus og ekstern veileder Snorre Bjørkum. Vi setter stor pris på at de ga oss muligheten til å gjennomføre oppgaven og at de har delt sin kunnskap og erfaring med oss. Gruppen vil også å rette en takk til arkitekt Inger Johanne Fagerli som har stilt sin massivtrebolig til disposisjon.

Vi ønsker å takke vår interne veileder Bozena Hrynyszyn for gode tilbakemeldinger og innspill underveis. En takk til alle som har vært hjelpelige med å svare på spørsmål og henvendelser både på epost og telefon.

Trondheim, 20.mai 2021

Marit N. Engan

Marit Nesvold Engan

Ronja Helle

Ronja Helle

Anne D. Landrø

Anne Dahn Landrø

Sammendrag

De siste årene har massivtre vokst i popularitet og blir tatt i bruk mer og mer i større byggeprosjekter. Til tross for økt popularitet ser man sjeldent massivtre i eneboliger og andre mindre boligprosjekt. Rapporten har som mål å vise den gunstigste måten for bruk av massivtre i en enebolig ved omprosjektering fra bindingsverk til massivtre. Eksempelet som er brukt er kataloghuset Dråpen Moderne prosjektert av Norgeshus.

For en husprodusent som vurderer å øke bruken av massivtre vil det være svært interessant å få innsikt i hva en slik omprosjektering innebærer for bygningsfysikken og eventuelle markedsfordeler det kan gi. Rapporten viser mulig prosjektering av detaljtegninger med fokus på bygningsfysikk. Det er spesielt lagt vekt på faktorer som energieffektivitet, luft-, varme- og fukttransport. Videre inneholder rapporten en vurdering av pris, bokvalitet og miljø. Disse faktorene er vurdert som mest relevante i forhold til markedsføring.

Rapporten viser fire ulike ytterveggoppbygninger. Løsning nummer en er massivtre med påforet bindingsverk, nummer to er fastskrudd isolasjon på utsiden, løsning tre har isolasjon mellom to massivtreelementer og løsning nummer fire har et isolasjonssjikt og et bindingsverksjikt på utsiden av massivtreet. Den siste, kalt todelt ytterveggsløsning i denne rapporten, er vurdert som gunstigst med tanke på varme- og fukttransport. Med en isolasjonstykkelse på 150 mm gir det ytterveggen en U-verdi på $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Eksempelhuset benyttet i rapporten har et flatt tak og det er derfor valgt et flatt rettvendt kompakt tak ved omprosjektering. Bærekonstruksjonen for taket vil være 195 mm massivtre og det er valgt å ikke benytte dampsperre da massivtreet av denne tykkelsen vil være damptett. U-verdi for taket er $0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Det er valgt å benytte plate på mark med todelt ringmur som fundamentering. Løsningen er vurdert som sikrest for å forhindre fukt- og varmetransport og er vurdert som den gunstigste for å bryte kuldebroer. Den er ikke på markedet i dag og av den grunn er det valgt å utarbeide detaljtegning for et Jackson Ringmurselement i tillegg. U-verdien for gulvkonstruksjonen er beregnet til $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Innervegger og etasjeskiller er krysslagte massivtreelementer. I innervegger hvor det er nødvendig å føre tekniske installasjoner er det valgt å benytte bindingsverk.

Programvaren TEK-sjekk ble benyttet for å kontrollere at de valgte løsningene resulterte i en bolig som var innenfor kravene i teknisk forskrift. Netto energibehov for Dråpen Moderne prosjektert i massivtre ble beregnet til 112 kWh/m²år. Dette er innenfor kravet som er 112 kWh/m²år for boligen.

Det er lite forskning som viser at bokvaliteten er bedre ved bruk av massivtre i stedet for bindingsverk. Pris vil ha en innvirkning på markedet. Eksemplet benyttet i rapporten ble i overkant av 333 000 kr dyrere med massivtre enn bindingsverk. Ved sammenligning av CO₂-utslipp kommer boligene ut ganske likt.

I utformingen av detaljtegninger er kuldebroer og energibehovet forsøkt redusert til et minimum. Rapporten presenterer flere detaljtegninger som ikke er benyttet i eksempelboligen, men som kan benyttes i andre massivtreprosjekter.

Abstract

Today most detached houses are made in half-timber. The building technique tracks back to the 1600 century. As a result, the building industry has lots of experience with the method. Cross-laminated timber (CLT) is a rather new material. Therefore the experience is limited. In recent years CLT has grown in popularity and it is getting used more often. Despite this, you rarely see it in detached houses and smaller buildings. In this report, a modern detached house (Dråpen Moderne) is getting redesigned from Half-timber to Cross-laminated timber.

The main focus of this report is building physics and the detail drawings. Building physics includes factors such as energy efficiency, air, heat and moisture transport. Particular emphasis has been placed on the external wall construction, as there were several interesting solutions. Other factors that are relevant for marketing are also included in the report. This includes price, environment, and quality for human habitation.

It has been considered four different solutions for the external walls; two continuous, one biparted, and one cavity component. In the end, the biparted external wall solution was considered to be the most favorable concerning heat transport, and it has therefore been chosen for the redesign of Dråpen Moderne. With 150 mm insulation, the U value became 0,20 W/m²K.

For the roof construction it is chosen a warm compact roof. The supporting structure consists of CLT and will be 195 mm thick. Since CLT this thick is considered vapor tight, you do not need to add a vapor barrier. U value for the roof ends up at 0,11 W/m²K.

For the foundation, it is chosen to opt for slab on grade. This is due to its benefits associated with moisture and heat transport. With 350 mm insulation the U value ends up at 0,09 W/m²K. Under the external walls a biparted ring wall solution has been chosen. However, in addition to the detail drawing of the biparted ring wall solution, a second detail drawing has been made for the foundation. For the second drawing, a Jackon ring wall element is used. This is done due to the lack of

biparted ring wall solutions on the market. The second solution is not necessarily as energy-efficient, but it is available today.

The floor separators and most of the interior walls are CLT. The remaining interior walls are half-timber. The use of half-timber is necessary due to the technical installations.

To control that all the chosen building components result in a house that is within the requirements of TEK17, the software TEK-sjekk has been used. The primary energy demand for Dråpen Moderne projected in CLT ended at 112 kWh/m²year. This is within the requirement of 112 kWh/m²year.

It is often said that CLT has a significant advantage over half-timber when it comes to quality for human habitation. It is not done extensive research and is mostly based on experience. When it comes to cost CLT is a bit more expensive than half-timber. Dråpen Moderne projected in CLT ended up 333 000 kr above the cost of the half-timber version. This will affect the market. Environment friendly is also often used to describe CLT. When compared to materials like concrete and steel, this is a valid argument. Compared to other wood-based materials, this may not be the case. Half-timber and CLT have different strengths and end up roughly the same from an environmental perspective.

Although CLT is a full-fledged alternative to half-timbering as is, more knowledge and experience are needed to make it more comprehensive. For the redesign of Dråpen Moderne, the solution with CLT ended up better concerning energy efficiency than solutions with half-timber.

Innholdsfortegnelse

FORORD	I
SAMMENDRAG.....	III
ABSTRACT.....	V
1 INTRODUKSJON.....	1
1.1 BAKGRUNN.....	1
1.2 MOTIVASJON OG FORMÅL	2
1.3 OMFANG OG AVGRENSNING.....	3
1.4 BEGREPSFORKLARING	4
1.5 NORGESHUS AS	6
1.6 KATALOGHUSET DRÅPEN MODERNE.....	7
2 TEORI	9
2.1 LOV, FORSKRIFT, NORM.....	9
2.1.1 <i>Minimumskrav etter TEK17</i>	9
2.1.2 <i>Energiramme</i>	10
2.2 FUKTTRANSPORT	11
2.3 VARMETRANSPORT	14
2.3.1 <i>U-verdi</i>	15
2.3.2 <i>Kuldebro</i>	15
2.4 MASSIVTRE.....	16
2.4.1 <i>Generelt</i>	16
2.4.2 <i>Elementtyper</i>	17
2.4.3 <i>Fordeler med massivtre</i>	18

3	METODE.....	19
3.1	INNHENTING AV INFORMASJON.....	19
3.2	PROGRAMVARER	19
3.2.1	<i>ArchiCAD</i>	19
3.2.2	<i>THERM</i>	20
3.2.3	<i>TEK-sjekk</i>	22
4	ANALYSE OG RESULTAT	24
4.1	BYGNINGSDELER.....	24
4.1.1	<i>Yttervegg</i>	24
4.1.2	<i>Takkonstruksjon</i>	30
4.1.3	<i>Fundamentering</i>	33
4.1.4	<i>Etasjeskiller</i>	37
4.2	PRIS	37
4.2.1	<i>Overslagspris for yttervegg i massivtre</i>	37
4.2.2	<i>Totalpris for kataloghuset</i>	39
4.3	VALGT LØSNING.....	39
4.3.1	<i>Bygningsdeler</i>	39
4.3.2	<i>Tekniske installasjoner</i>	40
4.4	THERM	43
4.5	TEK-SJEKK.....	44
4.6	SAMMENLIGNING AV MASSIVTRE OG BINDINGSVERK	45
4.6.1	<i>Fukttransport</i>	45
4.6.2	<i>Varmetransport</i>	46

4.6.3	<i>Energibehov</i>	49
4.6.4	<i>Pris</i>	49
4.6.5	<i>Miljø</i>	50
4.6.6	<i>Bokvalitet</i>	51
4.7	OVERGANGER.....	52
4.7.1	<i>Yttervegg / Fundament</i>	52
4.7.2	<i>Yttervegg / Etasjeskiller</i>	55
4.7.3	<i>Yttervegg / tak</i>	56
4.7.4	<i>Vindusinnsetting</i>	57
5	DISKUSJON	61
5.1	YTTERVEGG.....	61
5.1.1	<i>Usikkert ved prisoverslag</i>	64
5.2	TAKKONSTRUKSJON.....	65
5.3	FUNDAMENTERING.....	66
5.4	ETASJESKILLER.....	67
5.5	INNERVEGG.....	68
5.6	TEK-SJEKK.....	69
6	FORSKNING OG UTVIKLING	71
7	KONKLUSJON	72
	LITTERATURLISTE.....	73
	FIGURLISTE.....	77
	TABELLISTE.....	80
	VEDLEGGSLISTE.....	81

1 Introduksjon

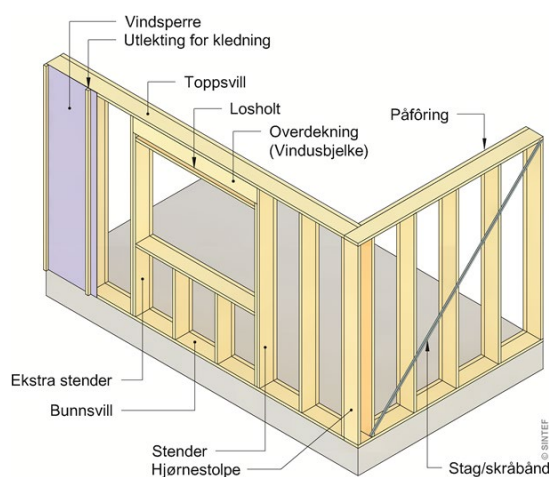
1.1 Bakgrunn

Den siste tiden har det vært et økende marked for massivtre i byggebransjen. Flere større aktører har blitt bevisste på sertifisering, miljøkalkulasjon og materialer med lavt klimagassutslipp (6). Massivtre har unike egenskaper som gjør at det har en stor allsidighet. Med mulighet for lange spenn og høye hus kan dette være framtidens materiale. Det er en økt satsning på skog- og trenæringen og det har blitt flere massivtreprodusenter i Norge (6). Figur 1-1 viser en hytte i massivtre.



Figur 1-1 Hytte i massivtre (1)

I Norge er det vanligere å benytte bindingsverk enn massivtre for eneboliger. Bindingsverk er en rammekonstruksjon bestående av stendere, sviller og losholter (Figur 1-2). En yttervegg vil som oftest være bygd opp med et isolert stenderverk, dampspærre på varm side og vindsperre på kald side. Innvendig kledning kan være blant annet tre- eller gipsplater, mens det utvendig ofte er trepanel for eneboliger. Bransjen har opparbeidet seg erfaring med bindingsverk i mange år.



Figur 1-2 Bindingsverk (5)

Massivtre kan benyttes i alle typer bygg, som for eksempel boliger og næringsbygg (7). Rapporten skal se på om massivtre kan konkurrere med bindingsverk i eneboliger. Vurderinger på om massivtre er like energieffektivt som bindingsverk er sentralt i konklusjonen.

1.2 Motivasjon og formål

Bakgrunnen for valg av tema baserer seg på gruppens egeninteresse for massivtre. Gruppen ser på massivtre som et framtidsrettet materiale, som det er ønskelig å skaffe seg mer kunnskap om. Gjennom studieløpet har det vært stort fokus på tradisjonelle byggemetoder. Bruk av massivtre i bygninger har i liten grad blitt belyst. Bacheloroppgaven ble sett på som en mulighet til å skaffe seg mer kunnskap om det relativt nye materialet.

Å kunne bidra til utvikling er svært motiverende. Det er spennende å hente inspirasjon fra næringen og bruke deres kunnskap til å utvikle en enebolig i massivtre. Gruppen har lyst til å være med på utviklingen ved å komme med et konkret forslag til hvordan en enebolig kan prosjekteres.

Hovedformålet med denne rapporten er å omprosjektere en enebolig i bindingsverk til massivtre.

1.3 Omfang og avgrensning

Ved omprosjektering av Dråpen Moderne tas det utgangspunkt i de utvendige målene til boligen. Utvendige BYA er dermed identisk for de to boligene. Innvendige mål kan avvike noe da en bindingsverksvegg og massivtrevegg kan gi ulik total tykkelse.

Ulike oppbygninger av bygningsdeler skal vurderes opp mot hverandre. Grunnlaget for valg av løsning skal basere seg på å oppnå en energieffektiv bolig. Det skal utarbeides følgende detaljtegninger:

- Overgang fundament / yttervegg
- Overgang yttervegg / etasjeskiller
- Overgang yttervegg / tak
- Vindusinnsetting
- Snitt

Begrenset tid til gjennomføring av oppgaven gjør at ikke alle aspekter ved omprosjekteringen er vurdert. Det velges å se bort fra lyd, akustikk og brannsikkerhet.

Pris, bokkvalitet og miljøvennlighet blir vurdert som relevante i sammenheng med markedsføring. Med hensyn til pris skal det utarbeides et prisoverslag for de aktuelle ytterveggsløsningene. Totalt prisoverslag for boligen gjennomføres av Norgeshus. En kort sammenligning av CO₂-utsipp ved bruk av bindingsverk og massivtre i eneboliger skal gjennomføres.

Arkitekt Inger Johanne Fagerli har stilt sin enebolig i massivtre til disposisjon. På grunn av manglende tilgang på nødvendig utstyr blir det ikke utført konkrete målinger på bokkvalitet. Et intervju med Fagerli (vedlegg E-1) skal gjennomføres for å innhente erfaringer om bokkvaliteten.

Ved sammenligning av Dråpen Moderne utført i massivtre kontra bindingsverk er det gjeldende verdier for kataloghuset som legges til grunn. Energieffektivitet, pris og bokkvalitet vil bli sammenlignet.

1.4 Begrepsforklaring

Balansert ventilasjon

Ved balansert ventilasjon går både tilluft og fraluft i et kanalnett i bygget. Man kan både forvarme, filtrere, varmegjenvinne og støydempe luften.

Blåseisolasjon

Blåseisolasjon består av det samme grunnmaterialet som isolasjonsplater. Forskjellen fra plateisolering er at isolasjonen blir blåst eller sprøytet på plass.

BRA

BRA er bruksarealet. Det vil si det innvendige arealet i boligen utenom ytterveggene.

BYA

BYA er "fotavtryket" til bygget. Det vil si det arealt som bygningen opptar av tomtens totale areal.

Hygrotermiske forhold

Hygrotermisk betyr at materialet kan både utveksle fukt med omgivelsene og har en relativt høy varmekapasitet.

Konkave menisker

En konkav menisk er formen på væskeoverflaten i et rør. Det er når overflaten buer nedover.

Luftpermeable materialsjikt

Det er et materiale hvor luft enkelt kommer seg gjennom. Materialet vil ikke stenge luft inne.

Netto energibehov

Netto energibehov er summen av energibehovet for oppvarming, kjøling, ventilasjon og utstyr. Det estimeres ved hjelp av standardisert bruk av bygget og er helt uavhengig av energiforsyningen. Man tar altså ikke hensyn til virkningsgraden eller energitapet til systemet.

1.5 Norgeshus AS

Norgeshus AS er en husleverandør som følger deg hele veien fra boligdrøm til innflytningsklart hus. I over 30 år har de levert mer enn 18 500 boliger i Norge. De dekker hele spekteret innen boligbygging – fra regulering og arkitekturprosjektering til søknadshåndtering og ferdigstilling. I katalogene deres kan man finne et bredt spekter av bolig- og hyttetyper. Disse kan du beholde som de er eller bruke som utgangspunkt for din boligdrøm. (2)

Norgeshus er en av de ledende aktørene på markedet for levering av hus og boligbygg. I tillegg til den tradisjonelle ferdighusbransjen, leverer de også større prosjekter innen leiligheter, næringsbygg og offentlige bygg. Figurene er illustrert av Norgeshus og viser et utdrag av kataloghusene man kan finne på Norgeshus sine sider. (2)



Figur 1-3: Fauna illustrert av Norgeshus (2)



Figur 1-4: Dråpen Original illustrert av Norgeshus (2)



Figur 1-5: Bretten illustrert av Norgeshus (2)



Figur 1-6: Haugli illustrert av Norgeshus(2)



Figur 1-7: Vika illustrert av Norgeshus (2)



Figur 1-8: Dråpen Tradisjon illustrert av Norgeshus (2)

1.6 Kataloghuset Dråpen Moderne



Figur 1-9: Dråpen Moderne illustrert av Norgeshus (3)

Kataloghuset Dråpen kommer i tre varianter; Dråpen Original, Dråpen Moderne og Dråpen Tradisjon. Det er det utvendige som skiller de tre variantene. I rapporten er det Dråpen Moderne, illustrert på Figur 1-9, som skal omprosjekteres.

Dråpen Moderne er en toetasjes enebolig med et bebygd areal på 97,1 m² (3). Den er prosjektert med flatt tak og med en takterrasse over deler av første etasje. Planløsningen er utformet for å utnytte det tilgjengelige arealet på best mulig måte. Oppholdsrommene er lagt til første etasje og de tre soverommene er i andre etasje. Figur 1-10 og Figur 1-11 viser planløsningen for Dråpen Moderne prosjektert i bindingsverk. Plantegningene vil være like ved omprosjekteringen til massivtre.



Figur 1-10: 1. etg - Dråpen Moderne illustrert av Norgeshus (3)



Figur 1-11: 2. etg - Dråpen Moderne illustrert av Norgeshus (3)

Dråpen Moderne prosjektert i bindingsverk benytter plate på mark. Ytterveggen består av 148 + 48 mm isolert bindingsverk og takkonstruksjonen er et flatt kompakt tak med 350 mm isolasjon. Etasjeskiller og terrasse er utført som bjelkelagskonstruksjon. Vinduene som er benyttet er tre-lags passivhusvindu. Boligen er bygd i henhold til gjeldende teknisk forskrift. I Tabell 1-1 kommer relevante verdier knyttet til Dråpen Moderne prosjektert i bindingsverk.

Tabell 1-1: Relevante verdier for Dråpen Moderne prosjektert i bindingsverk

Dråpen Moderne	[kWh/(m²år)]
Netto energibehov	110
Bygningskomponenter	U-verdi [W/(m²K)]
Plate på mark	0,094
Yttervegg	0,198
Tak	0,110
Takterrasse	0,130

2 Teori

Kapittelet om teori beskriver hvilke lover og forskrifter som ligger til grunn for rapporten. Temaer og begreper som er aktuelle for å besvare problemstillingen blir belyst og forklart. Det blir blant annet sett nærmere på fukt- og varmetransport.

2.1 Lov, forskrift, norm

Ved oppføring av nye bygg stilles det en rekke krav til prosjektering og gjennomføring. Plan- og bygningsloven kommer med bestemmelser om hvordan arealet i Norge skal reguleres og brukes. Byggteknisk forskrift (TEK17) og veiledning til byggteknisk forskrift (vTEK) utfyller vedtektene i plan- og bygningsloven. Det finnes også kommunale retningslinjer som må overholdes. Ved omprosjektering har nevnte lover og forskrifter blitt lagt til grunn. SINTEF har preaksepterte løsninger som kan benyttes ved prosjektering.

2.1.1 Minimumskrav etter TEK17

Byggteknisk forskrift kapittel 14 tar for seg energikravene til et bygg. Fra TEK17 er det satt ulike krav basert på hvilken bygningskategori bygget går under. Kataloghuset Dråpen Moderne faller under kategorien småhus og skal oppfylle gjeldene krav.

For småhus kan man benytte både energirammemetoden og energiltaksmetoden. Formålet med begge metodene er å sikre energieffektive bygninger. Med energieffektivitet menes hvor godt bygningens tilførte energi benyttes. Faktorer som inngår i vurderingen er U-verdi og luftlekkasje. Energieffektive bygninger har et lavt netto energibehov som gjør bygget mer miljøvennlig.

Minimumskravene i TEK17 må oppfylles for begge metodene. For småhus som ikke oppføres med vannbåret varme er det krav om at det monteres skorstein. Det utelukkes dersom netto energibehov ikke overskrider passivhusstandard, gitt i NS 3700:2013. Ingen varmeinstallasjoner kan benytte fossilt brensel. Det stilles

krav til U-verdi for tak, yttervegg, gulv mot grunn og mot det fri, vindu og dører, samt lekkasjetall. Tabell 2-1 viser minimumskravene. (8)

Tabell 2-1: Minimumskrav etter TEK17

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

Tallene i tabellen er hentet fra TEK17, §14-3 a). Tilleggskravene i energitiltaksmetoden eller energirammemetoden må også tilfredsstilles. Norgeshus benytter energirammemetoden. Det er derfor valgt å benytte denne metoden i rapporten.

2.1.2 Energiramme

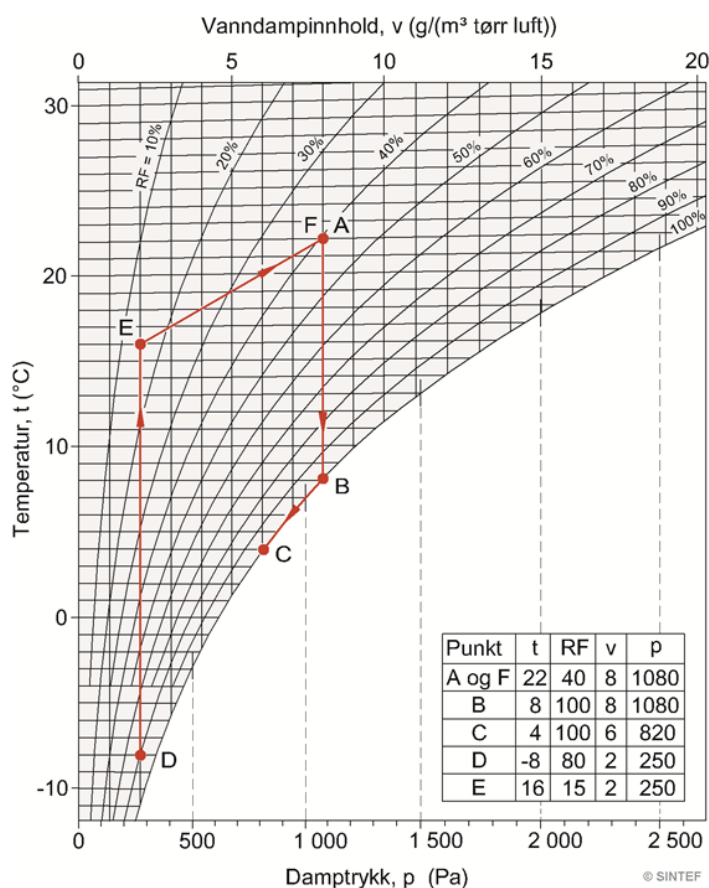
Energiramme baserer seg på det totale netto energibehovet til bygget. Metoden benyttes for å dokumentere krav til energieffektivitet. Minimumskravene må være oppfylt for å benytte energirammemetoden. Ved hjelp av NS 3031 beregnes energibehovet og kontrolleres mot kravene i TEK17. Det er standardverdier som benyttes. Det dokumenteres ved hjelp av et energibudsjett og skjema for sentrale inndata (9). Kravene som energibehovet må sammenlignes med er oppgitt i TEK17 §14-2 a). Verdien er oppgitt i kWh/(m² oppvarmet BRA per år). For småhus er kravet 100+1600/(m² oppvarmet BRA) (8). For Dråpen Moderne prosjektert i massivtre vil energirammekravet være:

$$100 \frac{kWh}{m^2} + \frac{1600 kWh}{132 m^2} = 112,1 kWh/m^2$$

TEK-sjekk er benyttet for å beregne netto energibehov til Dråpen Moderne prosjektert i massivtre.

2.2 Fukttransport

Fukt er den største årsaken til byggskader. Omtrent 75 % av alle byggskader har sammenheng med fukt og kan måles ved å se på relativ fuktighet (RF). Det kan uttrykkes ved vanninnhold [g/m³] eller ved vanndamptrykk. Ved 100 % RF har luften oppnådd fuktmetning. Vanndampinnholdet vil være ulikt ved fuktmetning for ulike temperaturer. Varm luft kan ha et høyere vanndampinnhold enn kald luft og der varm og kald luft møtes kan det oppstå dugg og kondens. Den varme luften blir nedkjølt og kan da holde på mindre vanndamp. Det gjør at RF vil stige og om den når 100 % vil det gå over til væske. Figur 2-1 er et luftfuktighetsdiagram som viser sammenhengen mellom vanndampinnhold, temperatur og RF. (10)

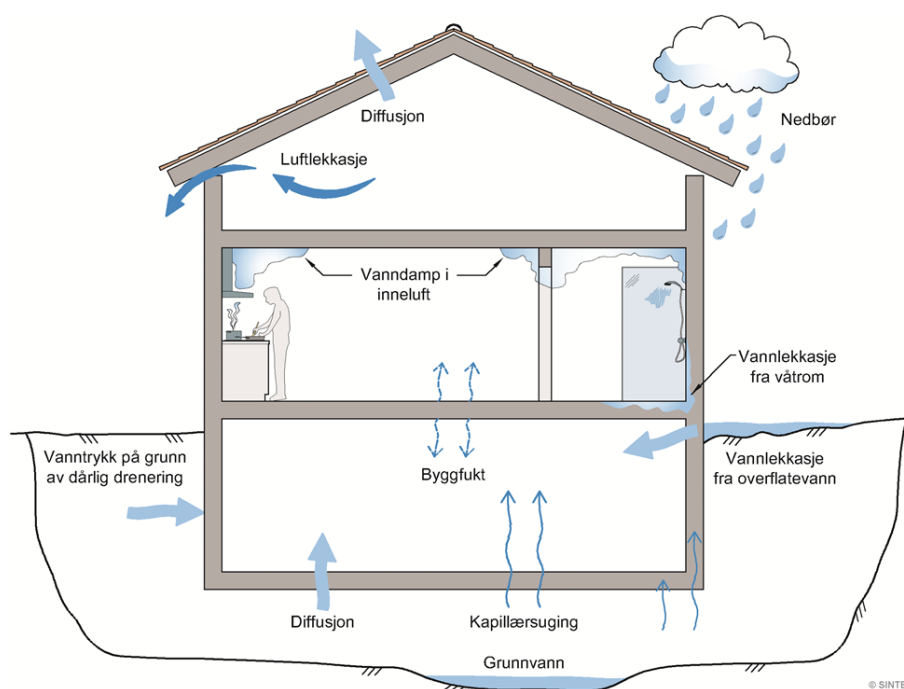


Figur 2-1 Luftfuktighetsdiagram (10)

Fukt kan føre til blant annet svinn, svell, muggvekst og råte. For eneboliger er det mange fuktutsatte punkter. På Figur 2-2 vises vanlige fuktilder og transportformer. Ved utforming av detaljtegninger må det legges ekstra fokus på disse punktene. Tre er et hygroskopisk materiale, som vil si at det trekker til seg

vann. En massivtrebolig består i hovedsak av tre og det er derfor ekstra viktig å oppnå tette overganger.

Fukt har flere metoder å forflytte seg i bygninger på. Hovedmetodene er kapillærsuging, vanndampdiffusjon, fuktkonveksjon og væskestrømning (10). For å forhindre fuktskader er det viktig å vite hvordan de fungerer.



Figur 2-2 Vanlige fuktkilder og transportformer (10)

Kapillærsuging er vanntransport på grunn av kapillærkrefter i porene til materialet. Vannet beveger seg i porene til treet, men porene er ikke fullstendig mettet med vann. Det oppstår når det er ulikt porevannsundertrykk. Undertrykket dannes ved konkave menisker og er omvendt proporsjonal med poreradien. Tre er et finporøst materiale som betyr at det vil suge vann fra et mer grovporøst materiale. Betong er et grovporøst materiale, så for å hindre treet i å ta opp vann fra betongen benyttes ofte et kapillærbrytende sjikt mellom materialene (11). Det kapillære området er når RF overstiger 98 %. Det oppstår ofte når materialet er i direkte kontakt med fritt vann (10). Hvis fuktnivået i materialet økes og porevannsystemet blir kontinuerlig (mettet) betegnes det som væskestrømning. Transport i væskeform kan også skyldes vanntrykk mot vegg, slagregn mot fasade og lekkasjer hvor vann kan renne inn.

Vanndampdiffusjon skjer når det er forskjeller i vanndamptrykket. I luft vil damptrykket prøve å utjevne seg. Det skjer ved at vanndampen beveger seg i retning av et lavere vanndamptrykk (11). Den høyeste vanndampkonsentrasjonen vil oppstå på varm side av konstruksjonen. Varm inneluft kan inneholde mer vanndamp enn kald uteluft og vil ha lyst til å bevege seg gjennom konstruksjonen og ut til et lavere damptrykk. Det kan skape problemer ved at varm inneluft og kald uteluft møtes inne i konstruksjonen. Vanndamp diffunderer ut i veggen og møter kald uteluft slik at RF stiger og dampen kondenserer. Dette forebygges ved et damptett sjikt på varm side som vil hindre den fuktige inneluften fra å trenge inn i veggen.

Fuktkonveksjon er når vanndamp transporteres ved luftstrømmer. Når det er ulikt lufttrykk vil det prøve å utjevnes og kan føre til vanndamptransport. Det foregår ofte i luftrom eller luftpermeable materialsjikt inne i konstruksjonen. Totaltrykket over eller under en bygningsdel kan også gi konveksjon. Vind, ventilasjon og temperaturforskjeller kan gi trykkforskjeller som fører til transport av vanndamp. Et eksempel på dette er når det oppstår overtrykk oppunder himlingen. Da vil trykkforskjellen som oppstår inne og ute prøve å utjevne seg. Dersom takkonstruksjonen ikke er tett vil det oppstå en drivkraft innenfra og ut (11). Den varme og fuktige inneluften vil da kjøles ned inne i konstruksjonen og gi fare for kondens. Montering og planlegging er derfor viktig for å oppnå et tett bygg som hindrer transport av fukt.

For å sikre mot fukt benyttes totrinnstetting. Det plasseres et damptett sjikt på varm side og et diffusjonsåpent sjikt på kald side. Dette gjøres ofte ved hjelp av dampsperre og vindsperre. Dampsperrrens hovedfunksjon er å sikre en luft- og diffusjonstett konstruksjon. Vindsperrren skal være vannavvisende, men diffusjonsåpen. Vanndamp inne i konstruksjonen skal kunne luftes ut og vann som trenger gjennom den utvendige kledningen skal ikke komme inn til isolasjonen. Montering er veldig viktig når det kommer til vindsperrrens lufttetthet. Det må unngås hull og påses at alle skjøter klemmes tette. Dampsperrren bidrar også til dette ved at fuktig inneluft ikke går videre inn i konstruksjonen. Ved å benytte prinsippet med totrinnstetting vil man hindre mange av problemene tilknyttet fukt.

2.3 Varmetransport

Varmetransport er overføringen av varme fra varm side til kald side gjennom et medium. Dette kan skje i form av (12):

- Konveksjonsstrømning i væsker, gasser og luft
- Varmeledning i væsker, gasser, luft og faste materialer
- Stråling i hulrom med luft eller en gass

Ved konveksjon er det strømninger i væsker, gasser eller luft som transporterer energi. Strømningene skjer siden varm luft har en lavere tetthet enn kald luft. Varm luft vil da stige oppover i konstruksjonen og presse den kalde luften ned. Siden konveksjon ikke kan oppstå i faste stoffer er det i hulrom med luft inne i konstruksjonen det vil forekomme. Derfor bør man unngå unødvendige hulrom slik at man unngår varmetap gjennom konveksjon.

Varmeledning er når termisk energi overføres fra varm til kald side. Den termiske energien får atomer og molekyler til å vibrere mot hverandre. Når atomer og molekyler som ligger nært hverandre kolliderer vil den termiske energien overføres. Ulike materialer har ulik evne til å lede varme. Et resultat av dette er kuldebroer, som forklares nærmere under punkt 2.3.2. Dersom et material har lav varmekonduktivitet vil det si at materialet har lav varmeledningsevne og god isolasjonsevne. Varmekonduktivitet uttrykkes ofte som en lambda-verdi (λ) og har benevnningen W/mK.

Varmestråling er overføring av varme i form av bølger som forplanter seg i det tomme rom. Alle varme stoffer eller legemer sender ut stråling. For eksempel sola, mennesker og ovner. Varmestrålene fra varm side består av korte bølger som frakter mer energi enn langbølget stråling fra kald side. Temperaturen til strålekilden og emisjonsfaktoren til et legeme avgjør hvor mye varmemstråling det gir. Høy emisjonsfaktor vil si lite reflekterende stråling og lav vil si mye reflekterende stråling (13).

2.3.1 U-verdi

U-verdi er et mål på hvor lett en bygningsdel slipper gjennom varme. Benevningen er $W/(m^2K)$ og angir hvor mange watt som strømmer gjennom et areal på $1 m^2$ når temperaturforskjellen på hver side av bygningsdelen er 1 kelvin. Lav U-verdi indiker at bygningskomponenten er godt isolert. (14)

En konstruksjonsdel består ofte av flere ulike materialer. For å beregne total varmemotstand gjennom en bygningsdel må man legge sammen varmemotstanden til alle sjiktene, samt utvendig varmemotstand (R_{se}) og innvendig varmemotstand (R_{si}). (12)

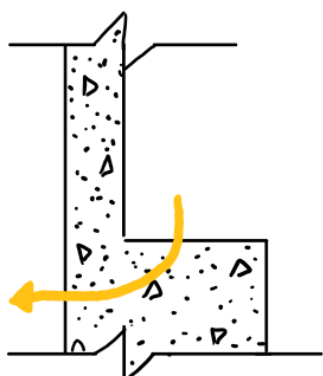
U-verdi kan også beregnes ved hjelp av digitale verktøy, blant annet THERM. Dette programmet gir en mer effektiv og nøyaktig beregning sammenlignet med håndberegninger.

2.3.2 Kuldebro

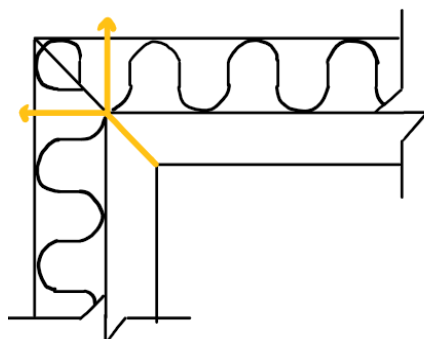
En kuldebro er en del av klimaskjermen der varmemotstanden reduseres og påvirker varmetapet til konstruksjonen. En bolig som ellers er godt isolert kan få et betydelig større varmetap som et resultat av kuldebroer.

Man deler inn i to hovedkategorier av kuldebrobidrag; geometriske bidrag og materialbidrag (15). De geometriske bidragene kommer av forskjell i overflateareal for utvendig og innvendig overflate. Endring i tykkelse og vinkel i klimaskjermen kan resultere i geometriske kuldebroer. Figur 2-3 og Figur 2-4 illustrerer to eksempler på geometriske kuldebrobidrag (16). Med god planlegging og nøye utformede detaljtegninger kan man minimere bidragene. Materialbidrag

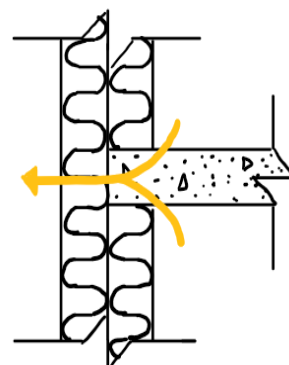
er avhengig av hvilke material som er brukt og hvordan de plasseres i tilslutninger. Eksempelvis hvor dekket helt eller delvis bryter klimaskjermen (Figur 2-5) (15).



Figur 2-3: Endring i materialtykkelse illustrert av prosjektgruppen.



Figur 2-4: Geometrisk kuldebro: Ytterveggshjørne illustrert av prosjektgruppen.



Figur 2-5: Gjennomtrenging av klimaskjerm illustrert av prosjektgruppen.

Kuldebroer kan gi lav overflatetemperatur og medføre kondens, kaldras, redusert termisk komfort og spenningspenninger. Dette skjer når varmetapet gjennom kuldebroen er høyere enn varmetapet gjennom klimaskjermen rundt. Ofte fører kuldebroer til økt varmetap, men det hender at man oppnår negative kuldebroverdier. For eksempel ved innadgående hjørner. Den negative verdien kommer av at målt utvendig areal er mindre enn målt innvendig areal (15).

Beregning av varmetap som et resultat av kuldebroer kan gjøres på flere måter. For eksempel numerisk beregning, kuldebrotabeller, manuell beregning og grovestimering (17). I rapporten er det ikke gjennomført beregninger på kuldebroverdier da det er tidkrevende og krever mer kunnskap om avansert bygningsfysikk.

2.4 Massivtre

2.4.1 Generelt

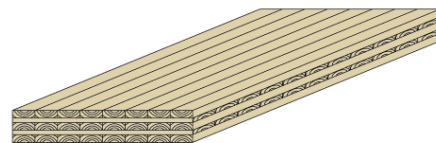
Massivtre er et resultat av behovet for mer miljøeffektive konstruksjonsløsninger. Tidlig på 1990-tallet startet utviklingen av byggesystemet og i dag er det en anerkjent byggemetode som benyttes mer og mer. Massivtre defineres som lameller satt sammen til elementer. Vanligvis ved bruk av spiker, skruer, tredybler, lim eller stålstag. Massivtre blir ofte betegnet som KLT (Kryss-Laminert-Tømmer) eller CLT (Cross-Laminated-Timber). (7)

Massivtreelementenes lave egenvekt kombinert med stor styrke gir mange ulike bruksområder. Man kan benytte de som både bærende og ikke-bærende elementer i gulv, vegger og tak. Hele bæresystemet kan bygges opp av massivtreelementer eller i kombinasjon med andre materialer. (7)

2.4.2 Elementtyper

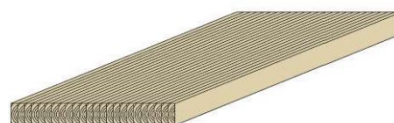
Massivtre kan deles inn i tre hovedkategorier; krysslagte-, kantstilte- og hulromselementer.

Krysslagte elementer er en samlebetegnelse for lameller satt sammen i flere sjikt (Figur 2-6). Sjiktene er ofte lagt 45° eller 90° i forhold til hverandre. Sammenføyningen gjøres vanligvis ved bruk av lim eller tredybler. Krysslagte elementer brukes oftest som veggelementer. (7)



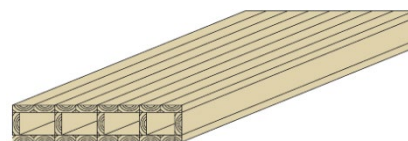
Figur 2-6: Krysslagt massivtreelement (4)

Kantstilte elementer er en samlebetegnelse for elementer satt sammen av stående lameller (Figur 2-7). Sammenføyningen gjøres vanligvis ved bruk av skruer, spiker, lim, tredybler eller stålstag. Kantstilte elementer brukes vanligvis som etasjeskillere og takkonstruksjoner. (7)



Figur 2-7: Kantstilt massivtreelement (4)

Hulromselementer er en samlebetegnelse på massivtreelementer som har et øvre og nedre massivtreelement med et hulrom i midten (Figur 2-8). Selv om disse elementene ikke danner massive tretverrsnitt, er treandelen så høy at de karakteriseres som massivtreelementer. (7)



Figur 2-8: Hulromselement i massivtre (4)

Massivtreelementer kan utformes etter ønske, med utsparinger og kanaler for tekniske installasjoner.

2.4.3 Fordeler med massivtre

Det er flere fordeler med massivtre. Treteknisk trekker frem følgende (7);

- 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 rådstoffutnyttelse og utnyttelse av trevirkets egenskaper

En annen fordel massivtre har er at det regnes som diffusjonstett dersom elementene har en tykkelse på 80 mm eller mer (7). For bygninger hvor det er et normalt tørt inn klima vil det derfor ikke være nødvendig med et eget dampsperrsjikt. Man bør imidlertid være oppmerksom på luftlekkasje i skjøter mellom massivtreelementer samt tilslutninger mellom massivtre og andre komponenter.

Byggetiden påvirker totalkostnaden til et byggeprosjekt. Massivtreelementer produseres innendørs i tørre, rene omgivelser og man slipper å gjøre tilpasninger på byggeplass. Elementene leveres med en trefuktighet på 8-14 %, som medfører redusert behov for uttørkingstid av byggfukt (7).

Mange arkitekter og utbyggere mener massivtre gir et godt arkitektonisk utgangspunkt (7). Hele veggen kan også benyttes som spikerslag i et massivtrehus.

Massivtreelementer medfører lite avfall og det er teknisk gjennomførbart med forsiktig demontering å benytte massivtre til et nytt trebasert produkt (18). Det kan også gjenvinnes som biodiesel og plantematerialer (4).

3 Metode

I metodekapittelet beskrives hvilke metoder som har blitt benyttet for å skrive rapporten. Det forklares hvordan informasjon har blitt innhentet og hvilke programvarer som har blitt brukt. Det er også beskrevet hvilke data som inngår i beregningene.

3.1 Innhenting av informasjon

Norgeshus har bidratt med tegningsgrunnlag, kalkyle av den ferdigprosjekterte boligen og veiledning underveis. I tillegg har de bistått med kontaktinformasjon til aktuelle leverandører. Arkitekt Inger Johanne Fagerli har stilt sin enebolig utført i massivtre til disposisjon og delt sine erfaringer med å bo i en massivtrebolig.

Det er gjort litteratursøk hvor kilder som for eksempel byggforsk og treteknisk er benyttet. All informasjon som er brukt i rapporten er kontrollert opp mot andre uavhengige kilder. Det er gjort for å sikre at rapporten inneholder mest mulig pålitelig informasjon. Fagfolk i byggebransjen er også kontaktet for å få deres råd og erfaringer.

3.2 Programvarer

3.2.1 ArchiCAD

ArchiCAD er et BIM-verktøy (byggningsinformasjonsmodell). I programmet kan man modellere og konstruere bygninger og detaljer. Programmet gir stor tegningsfrihet og man kan modellere i både 2D og 3D. Ved endt prosjektering kan tegninger og detaljløsninger skrives ut. Det er også mulig å hente ut mengder og arealer, noe som gir god oversikt i alle prosjekteringsfaser. Programmet gir også et visuelt bilde av konstruksjonen og man kan bevege seg rundt i bygget.

ArchiCAD oppdateres årlig og det kommer stadig nye forbedringer. I rapporten er ArchiCAD 24 benyttet til å produsere detaljtegninger og snitt av Dråpen Moderne prosjektert i massivtre.

Tegningene som er produsert er:

- Prinsippskisser for komponenter og overganger presentert i rapporten
- Overgang yttervegg/fundament
- Overgang yttervegg/tak
- Overgang yttervegg/etasjeskiller
- Vindusinnsetting
- Snitt
- Ventilasjonføringer

3.2.2 THERM

THERM er utviklet ved Lawrence Berkeley National Laboratory. Det er et todimensjonalt modelleringsprogram for varmeoverføring. THERMs varmeoverføringsanalyse benyttes til å evaluere komponenters energieffektivitet og lokale temperaturmønster. Det gjøres ved å simulere materialsjikt med tilhørende varmekonduktivitet (19). I rapporten brukes programvaren til å sammenligne U-verdier for ulike ytterveggoppbygginger av massivtre og andre valgte bygningskomponenter.

Programmet har et grensesnitt hvor et tverrsnitt av de komponentene man skal betrakte tegnes opp. De ulike komponentene legges inn med aktuelle mål og plasseringer og tilordnes gjeldene materialparametere. For homogene materialsjikt legges varmekonduktiviteten for det gjeldene materialet inn. Det vil for eksempel være aktuelt for et massivtreemement. Dersom et sjikt består av flere materialer, som et isolert bindingsverk, må det opprettes et material i programmet. For det nye materialet legges varmekonduktivitetene og andel av hvert material i sjiktet inn i programmet.

For å angi grenser og overflater i programmet bruker man funksjonen "Boundary Conditions". Her legger man inn varmeovergangsmotstanden for overflater og temperaturen for omgivelsene. Varmeovergangsmotstanden er et uttrykk for den motstanden varmeoverføringen møter ved en innvendig eller utvendig overflate. Det skilles mellom innvendig (R_{si}) og utvendig (R_{se}) varmeovergangsmotstand. I programvaren benyttes den inverse verdien for R_{si} og R_{se} . Standardverdier for disse beskrives i Tabell 3-1. Merk at ved godt ventilerte luftsjikt ser man bort fra

varmemotstanden til luftsjiktet og materialet utenfor. Her setter man utvendig varmeovergangsmotstand lik den innvendige (12). Det er tilfellet for utvendig luftet kledning.

I rapporten benyttes THERM 7.7. U-verdi får man direkte ut fra programmet. Tabell 3-1 viser inngangsverdiene som ble benyttet i analysen. Vedlegg D-1 viser resultatene fra THERM.

Tabell 3-1: Inngangsverdier benyttet under analyse i THERM

Dimensjonerende varmekonduktivitet					
	λ [W/(mK)]				Kilde
Massivtre	0,12				(20)
Mineralull	0,034				(14)
Mineralull + bindingsverk	0,042*				-
Blåseisolasjon	0,038				F-4
Blåseisolasjon + mineralull	0,045**				-
Trykkfast isolasjon	0,034				(14)
Vindspærre (asfaltplate)	0,05				(14)
Påstøp	2,00				(14)
Membran	0,25				(14)
Dampspærre	0,1				(14)
Varmeovergangsmotstand					
	R_{si} [m ² K/W]	R_{se} [m ² K/W]	R_{si}^{-1} [W/m ² K]	R_{se}^{-1} [W/m ² K]	Kilde
Horisontalt	0,13	0,04	7,69	25	(12)
Oppover	0,10	0,04	10	25	(12)
Nedover	0,17	0,04	5,88	25	(12)

* Det er benyttet 9% treandel for stendervek på 36x98 mm. Beregning av varmeledningsevne for isolert bindingsverk med plateisolasjon:

- $\lambda_{trevirke} = \lambda_t = 0,12 \text{ W/mK}$
- $\lambda_{mineralull} = \lambda_m = 0,034 \text{ W/mK}$
- $\lambda_{t+m} = A_m \cdot \lambda_m + A_t \cdot \lambda_t = 0,91 \cdot 0,034 + 0,09 \cdot 0,12 = 0,042 \text{ W/mK}$

** Det er benyttet 9% treandel for stendervek på 36x98 mm. Beregning av varmeledningsevne for isolert bindingsverk med blåseisolasjon:

- $\lambda_{trevirke} = \lambda_t = 0,12 \text{ W/mK}$
- $\lambda_{blåseisolasjon} = \lambda_b = 0,038 \text{ W/mK}$
- $\lambda_{t+b} = A_b \cdot \lambda_b + A_t \cdot \lambda_t = 0,91 \cdot 0,038 + 0,09 \cdot 0,12 = 0,045 \text{ W/mK}$

3.2.3 TEK-sjekk

TEK-sjekk er benyttet for å kontrollere at bygningen tilfredsstiller alle krav til energibehov og inn klima gitt i TEK17. Energiberegningene utføres i henhold til NS3031. Programmet består av fire synlige regneark; «Inndata», «Beregn», «Grafikk» og «Utskrift». (21)

Programmet baserer seg på at brukeren fyller inn inndata om den aktuelle bygningen. Flere av inndata-feltene har nedtrekksmeny med forhåndsinnlagte verdier som kan benyttes. Når alle påkrevde inndata om bygningen er lagt inn, kjøres beregningen. Den ferdige beregningen viser om boligen tilfredsstiller de kravene som stilles i TEK17 eller ikke.

Utskrift-arket benyttes etter at man har foretatt en beregning. Dette arket gir en oversiktlig framstilling av resultatet klart til utskrift.

I rapporten er det lagt inn verdier i seks kategorier i regnearket «Inndata»:

1. Generelt, er opplysninger om plassering, klima og byggeår. Bygningskategori legges også inn, hvor det for Dråpen Moderne legges inn småhus: enebolig.

2. Bygningen, her legges det inn verdier for boligen. Tabell 3-2 viser hvilke verdier som er benyttet. Informasjon om ventilasjonsanlegget og belysningen oppgis også. Her er det benyttet mekanisk balansert ventilasjon med 80 % gjenvinning. Luftmengden er 1,2 (m³/h)/m² og SPF på 1,5. Verdiene vil være avhengig av hvilket ventilasjonsanlegg som benyttes, men det er valgt å benytte de samme verdiene som for Dråpen Moderne prosjektert i bindingsverk.

Tabell 3-2: Verdier benyttet i TEK-sjekk, 2.Bygningen

	Verdi	Enhet
BRA	132	m ²
Oppvarmet luftvolum	298	m ³
Eksponert omkrets	40,8	m
Normalisert kuldebroverdi	0,03	W/(m ² K)
Lekkasjetall	1	Luftomsetning/time
Varmekapasitet	32	Wh/(m ² K)

BRA, oppvarmet luftvolum og eksponert omkrets er verdier hentet ut fra ArchiCAD-tegningen av boligen. Utfordringen var å finne verdier for de resterende punktene da massivtre ikke har standardverdier slik som bindingsverk. For varmetap er det valgt å bruke en verdi fra nedtrekksmenyen ment for standard småhus med plate på mark. For normalisert kuldebro er det benyttet en verdi for et nybygg i bindingsverk med en lav kuldebroverdi (17). Nøye gjennomtenkte detaljer med fokus på å bryte kuldebroer vil redusere denne verdien. Den mest utfordrende verdien å finne var lekkasjetallet, hvor ingen av standardverdiene kunne benyttes. Det er valgt å benytte den samme verdien som Norgeshus har benyttet for Dråpen Moderne prosjektet i bindingsverk.

3.Konstruksjonstyper, her legges U-verdiene for yttervegg, tak og plate på mark inn. Disse verdiene er beregnet med THERM og presenteres under punkt 4.4. Det er gjennomført TEK-sjekk med både plateisolasjon og blåseisolasjon i ytterveggen.

Kategori **4.Type vinduer/dører**, **5.Fasader/bygningskropp** og **6.Energiforsyning** skal også fylles ut. Det er valgt å benytte de samme verdiene som Norgeshus har for kataloghuset med bindingsverk. Utskrift av beregningene og innsettingsverdiene er vist i vedlegg D-2, D-3 og D-4.

4 Analyse og resultat

I kapitlet analyse og resultat er de ulike komponentforslagene presentert og analysert. Basert på analysen vil det velges en løsning. Den valgte løsningen i massivtre vil så sammenlignes med bindingsverk. Videre presenteres og beskrives overgangene for eneboligen prosjektert i massivtre.

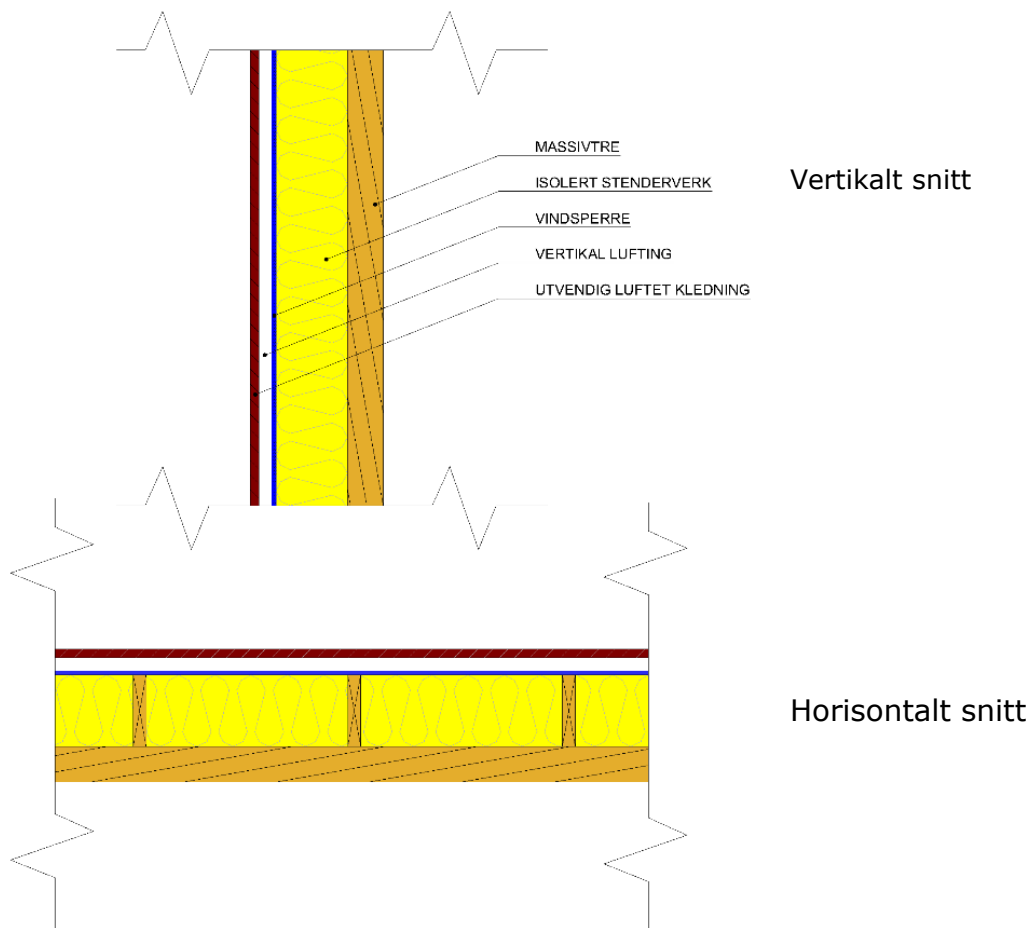
4.1 Bygningsdeler

4.1.1 Yttervegg

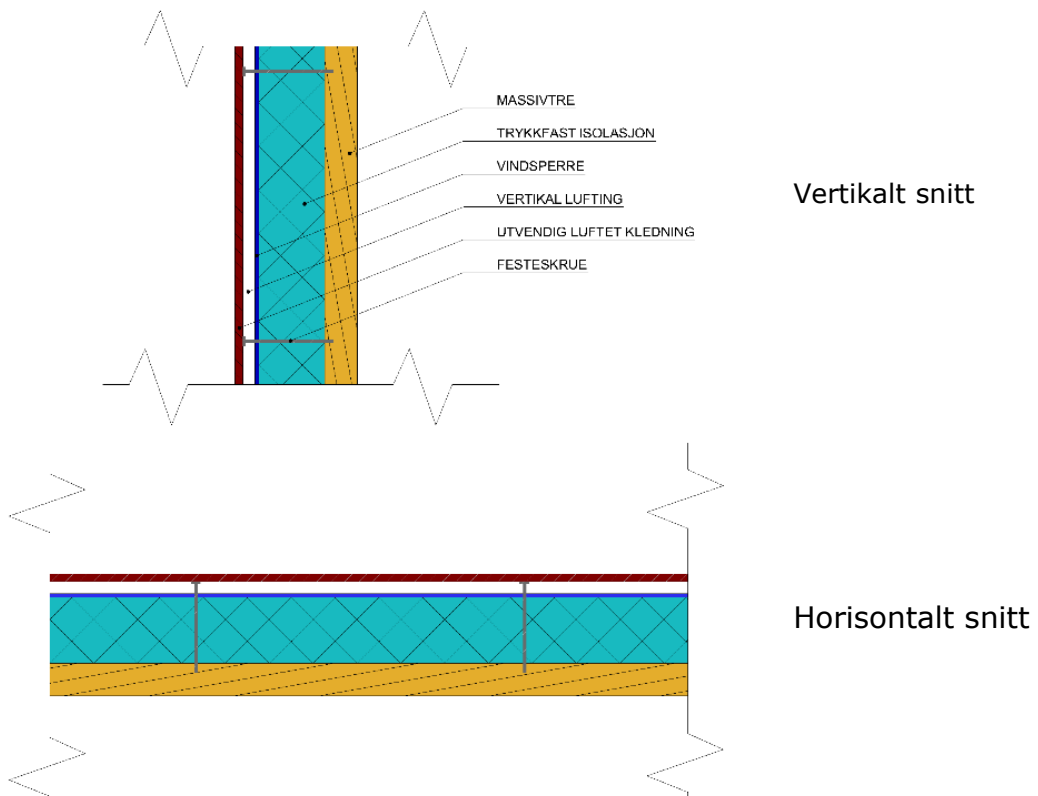
Flere ytterveggsløsninger er aktuelle når massivtre skal benyttes. Noen av løsningene skal presenteres sammen med fordeler og ulemper for den respektive metoden.

4.1.1.1 Gjennomgående ytterveggsløsning

En gjennomgående ytterveggsløsning er når man har en komponent med høyere varmeledningsevne enn isolasjon som er gjennomgående for hele ytterveggen. En slik løsning i massivtre kan gjennomføres på to hovedmåter. Den første er at man har en innvendig bærende massivtrevegg med trykkfast isolasjon festet med spesialskruer på utsiden. Den andre løsningen er isolert stenderverk i heltre på utsiden av en bærende massivtrevegg. Generelt vil en løsning med kontinuerlig isolasjon festet med stålskruer gi en bedre U-verdi enn en løsning med påforet utvendig isolasjon med trestendere (22). Figur 4-1 og Figur 4-2 illustrerer hvordan de to løsningene kan se ut for en yttervegg i massivtre.



Figur 4-1: Prinsippskisse for gjennomgående ytterveggsløsning med påforing illustrert av prosjektgruppen



Figur 4-2: Prinsippskisse for gjennomgående ytterveggsløsning med spesialskruer illustrert av prosjektgruppen

En fordel med en gjennomgående ytterveggløsning er at all isolasjon ligger på utsiden, som vil gi en mer fuktsikker konstruksjon. For løsningen med heltrestendere vil det være mulig å blåseisolere. Det kan redusere byggetiden betraktelig. Blåseisolasjon vil også gi tettere isolering ettersom det ikke krever ekstra tilpasninger av isolasjonen. Den vil legge seg pent rundt rør og andre tekniske installasjoner samt fylle ut alle hulrom. (23)

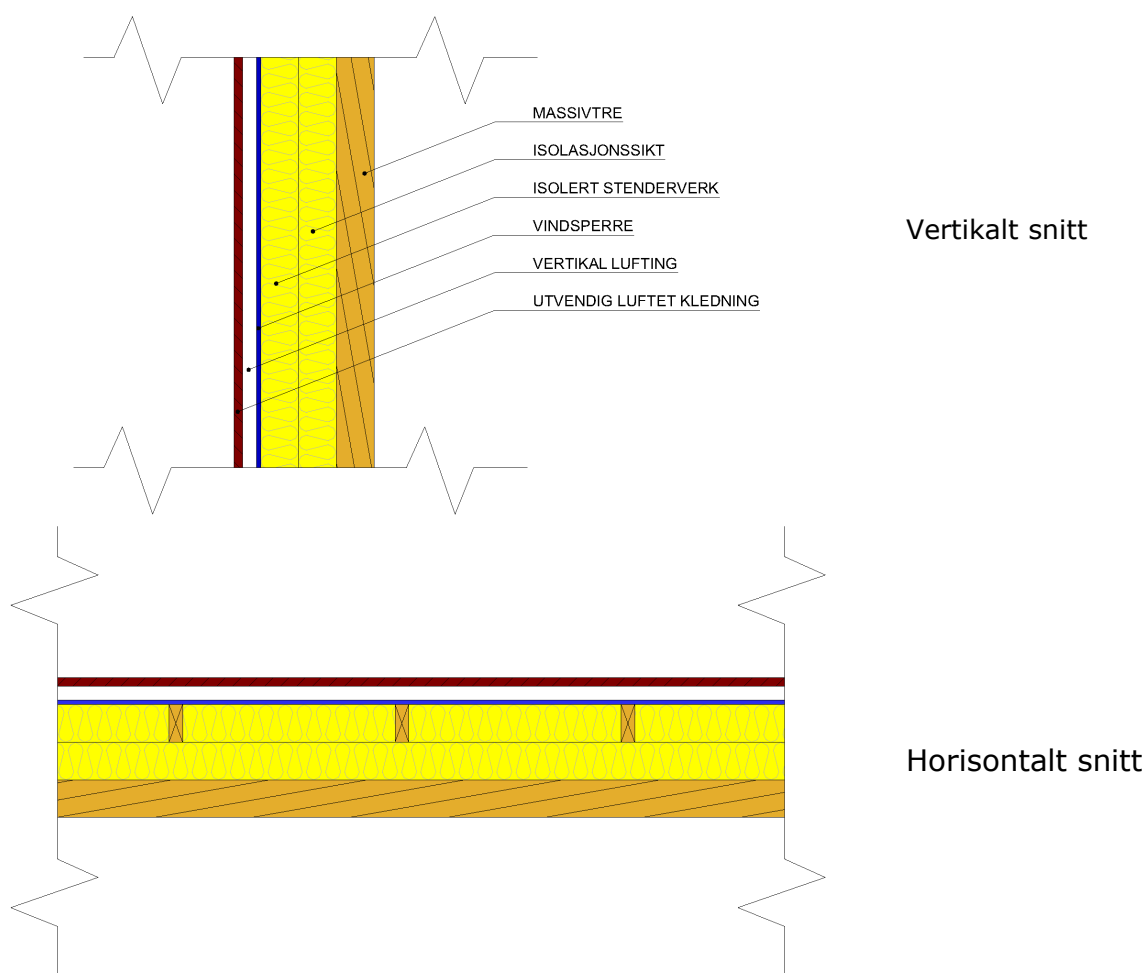
For en gjennomgående yttervegg kan man benytte enkel fundamentering. Dette er en fundamenteringsmetode som er vanlig i Norge.

Kuldebroer er en ulempe med en gjennomgående yttervegg. Det oppstår kuldebroer der materialer med høyere varmeledningsevne bryter isolasjonssjiktet. For en gjennomgående yttervegg hvor man benytter trykkfast isolasjon med spesialskruer av stål vil stålet forårsake store kuldebroer. Stål har en dimensjonerende varmekonduktivitet på 50 W/(mK) (14). Sammenlignet har tre en dimensjonerende varmekonduktivitet på rundt $0,12 \text{ W/(mK)}$ og mineralull har en verdi på rundt $0,034 \text{ W/(mK)}$ (14). Den høye forskjellen i varmekonduktivitet mellom stål og mineralull vil medføre kondensfare. Tre gir ikke fare for kondens da lambdaverdien for tre og mineralull er såpass lik.

Erfaringer med montering av trykkfast isolasjon med spesialskruer viser at det kan ta vesentlig lengre tid enn planlagt (vedlegg E-1). Det skyldes at monteringen av den trykkfaste isolasjonen ofte er mer tidkrevende enn tiltenkt. Økt byggetid vil resultere i økt totalkostnad på et prosjekt.

4.1.1.2 Todelt ytterveggløsning

For en todelt ytterveggløsning vil de bærende elementene være separert med et rent isolasjonssjikt. Man kan velge å ha utvendig-, kombinert- eller innvendig bæring. Utvendig bæring er når alle laster blir tatt opp i det ytterste bærende sjiktet mens det innerste kun fungerer som en lettvegg. Kombinert bæring er når det innvendige bærende sjiktet tar opp last fra etasjeskiller mens det utvendige tar opp tak-, vind- og snølast. Innvendig bæring er når det innvendige bærende sjiktet tar opp alle vertikale laster og det utvendige tar opp vindlast. For en todelt yttervegg med massivtre benyttes massivtre i det innerste sjiktet. Massivtreet vil fungere som dampsperre for konstruksjonen. For det utvendig bærende sjiktet kan man eksempelvis benytte heltrestendere. Figur 4-3 viser en prinsippskisse for en slik løsning.



Figur 4-3: Prinsippskisse av todelt ytterveggløsning illustrert av prosjektgruppen

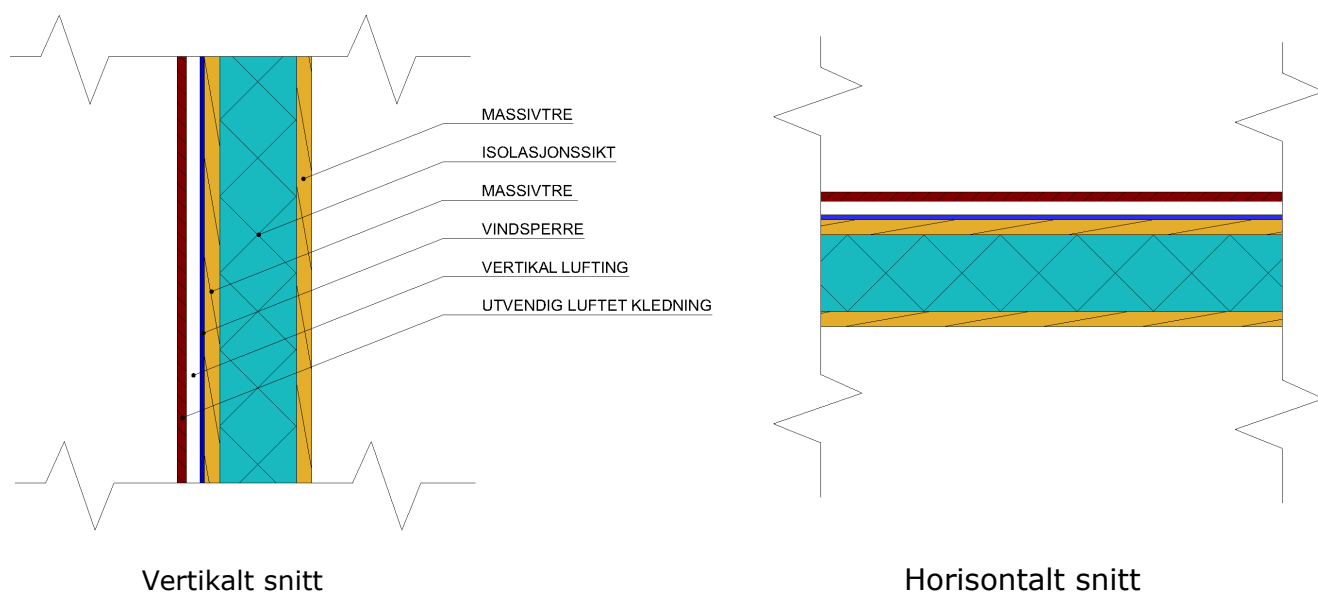
Det kuldebrobrytende isolasjonssjiktet er den største fordelten med en todelt yttervegg. I likhet med den gjennomgående ytterveggløsningen er all isolasjonen på utsiden og man får en mer fuktsikker konstruksjon. Det er også mulig å benytte blåseisolasjon ved todelt yttervegg. Ved bruk av blåseisolasjon vil man, som tidligere nevnt, lettere oppnå tett isolering.

En todelt yttervegg vil i tillegg til lavere kuldebroverdier gi en lavere U-verdi (24). Det er en mindre andel trevirke i forhold til isolasjon i en todelt yttervegg enn i en gjennomgående yttervegg. Det gjør at ved samme mengde isolasjon vil en todelt yttervegg gi en lavere U-verdi. Det vil derfor være mulig å benytte mindre isolasjon, men fortsatt ha en like energieffektiv konstruksjon.

Todelt yttervegg er lite brukt i Norge og det er derfor lite erfaring med metoden. Løsningen kan benytte todelt fundamentering som heller ikke er like vanlig i Norge i dag. Ved å benytte denne løsningen vil det derfor være nødvendig med nøye prosjektering slik at det utføres korrekt på byggeplass.

4.1.1.3 Hulromselement

TEWO-veggelement er et eksempel på et hulromselement. Det er utviklet av Termowood AS. TEWO-veggelement består av to lag massivtre separert med trefiberisolasjon. Det er tredybler som holder massivtreelementene sammen. Disse er gjennomgående for hele konstruksjonen og vil gi et kuldebrobidrag. Figur 4-4 illustrerer et slikt veggelement. (25)



Figur 4-4: Prinsskisse av hulromselement/TEWO-veggelement illustrert av prosjekgruppen

TEWO-veggelement har ikke behov for kran under montering. Hvert av elementene veier om lag 25 kg og kan enkelt håndteres av fagfolk. Termowood hevder at ved bruk av deres system kan man redusere byggetiden med inntil 70 % i forhold til andre plassbygde konstruksjoner. (26)

Massivtre regnes som damptett ved en tykkelse på 80 mm eller mer. For den todelte og gjennomgående ytterveggen er massivtreelementet 80 mm tykt og vil fungere som et damptett sjikt. For TEWO-veggelement er hvert av massivtre lagene 40 mm. Ettersom de to lagene er separert med trefiberisolasjon vil de ikke gi et damptett sjikt. Massivtreet vil derfor ikke fungere som dampspærre. Det å ikke ha et damptett sjikt er utradisjonelt og kan oppfattes som risikabelt med tanke på fuktsikkerhet. Termowood AS har imidlertid fått godkjenning fra SINTEF som bekrefter at ved normalt tørt innklima skal det ikke være behov for ekstra dampsikring ved bruk av deres elementer (27).

4.1.2 Takkonstruksjon

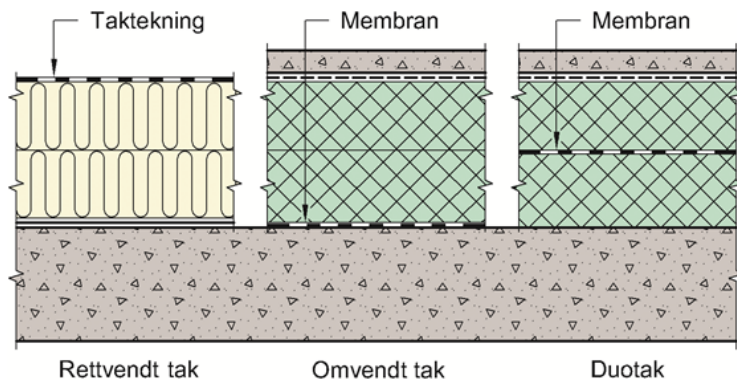
En takkonstruksjon kan utformes på flere måter. Avhengig av hvilket arkitektonisk uttrykk man ønsker kan man benytte seg av skrått eller flatt tak. Kataloghuset Dråpen Moderne har et mer moderne uttrykk og er utført med flatt tak. For omprosjektering av kataloghuset vil det derfor være aktuelt å se på oppbyggingen av flate tak.

I oppbyggingen av taket kan man velge kompakt eller luftet tak. Hver metode har sine fordeler og ulemper og man må ta en vurdering på hva som egner seg for den gitte konstruksjonen.

4.1.2.1 Kompakte tak

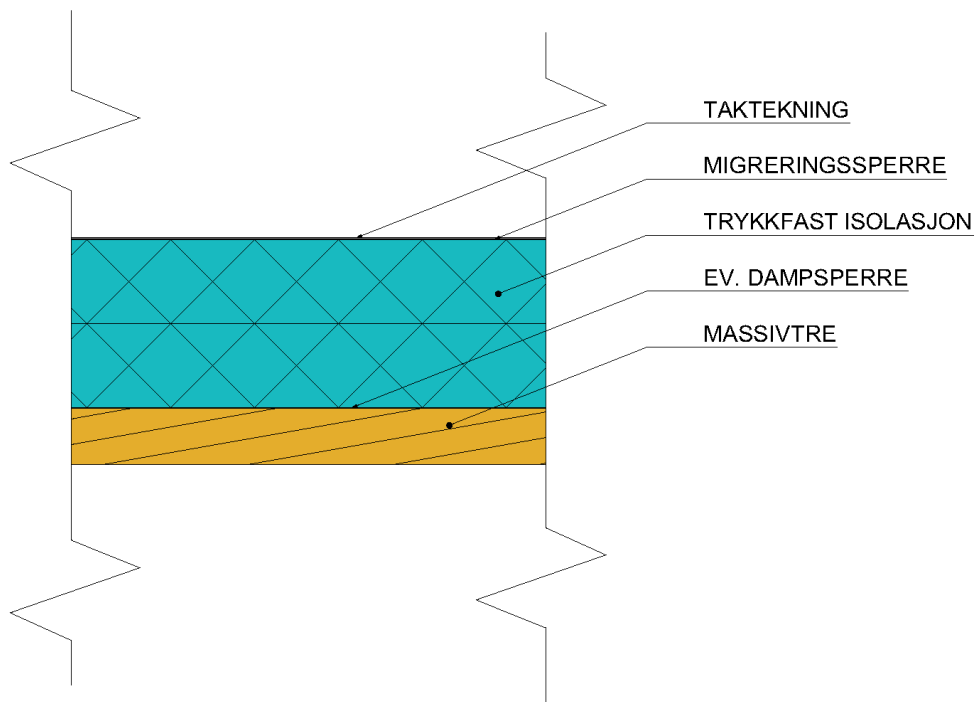
Det som kjennetegner kompakte tak er at konstruksjonen ikke er luftet. Det resulterer i at snø og is på taket smelter på grunn av varm inneluft. Det må derfor anlegges innvendige nedløp slik at smeltevannet ikke fryser og skaper tette takrenner. For flate kompakte tak må taktekningen tåle tidvis vanntrykk fra oppdemmet vann på taket. Kompakte tak har begrenset uttørkingsevne som kan føre til fuktproblemer. Man må derfor benytte seg av materialer som tåler fukt og være nøye ved tetting av gjennomføringer og overganger. (28)

Det er tre metoder å utforme et kompakt tak på; rettvendt-, omvendt- og duotak (Figur 4-5). Hovedforskjellen på metodene er hvor membran/taktekning plasseres. For rettvendte tak er dampsperran plassert over bærekonstruksjonen etterfulgt av isolasjon og taktekning øverst. Omvendte tak har membranen over bærekonstruksjonen etterfulgt av isolasjon og et slitelag øverst. Duotak har isolasjon over bærekonstruksjonen, deretter membran så enda et lag med isolasjon og et slitelag øverst. Rettvendte tak egner seg best hvor det ikke er tiltenkt annen trafikk enn det som trengs for tilsyn og vedlikehold. Omvendte tak egner seg best hvor det er tung trafikk, eksempelvis parkeringsdekker. Duotak brukes hvor det er tenkt lett trafikk, eksempelvis takterrasser med lett trafikk. (28)



Figur 4-5: Prinsipp for oppbygging av kompakte tak (28)

Et kompakt rettvendt tak i massivtre kan være utformet slik; bærekonstruksjon i massivtre, eventuell dampsperre, isolasjonssjiktet, eventuell migreringssperre og taktekning øverst (Figur 4-6). Dampsperrer er valgfri siden massivtre er damp tett ved 80 mm eller tykkere (4).



Figur 4-6: Prinsippskisse flatt rettvendt kompakt tak illustrert av prosjektgruppen

Det stilles krav til utførelsen av flate kompakte tak. Takflaten skal utføres med fall på 1:40 og renner skal ha fall på 1:60. Ut over det må det påses at alle innvendige nedløp er varme og at sluk på tak er fri for is og snø. Det må også legges inn nødoverløp i parapeten for å sikre avrenning ved eventuell oppstuvning av vann i sluk. (29)

4.1.2.2 Luftet tak

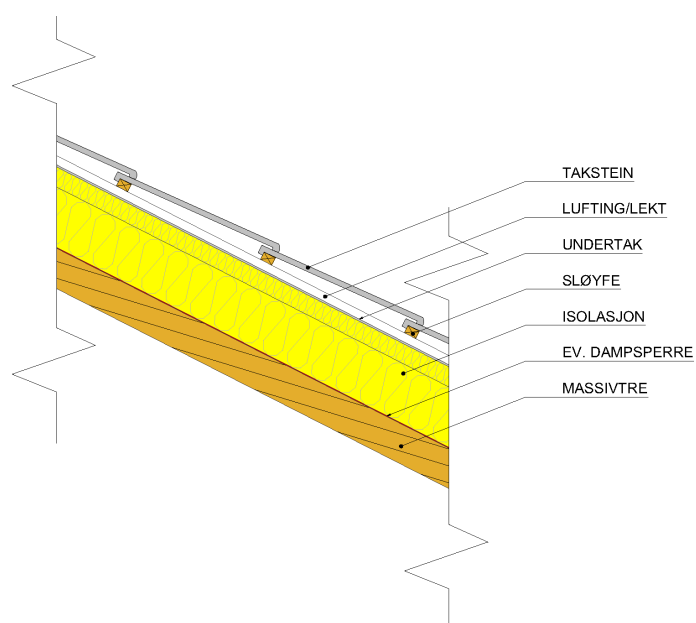
Luftet tak har et luftsjikt under taktekningen for å sikre at taket holder seg kaldt. Uten luftingen vil den varme inneluften varme opp taket. Ved å ha et kaldt tak unngår man at snøen smelter som et resultat av den varme inneluften.

Snøsmelting kan føre til problemer når det er temperaturer under frysepunktet ute. Dersom smeltevannet fryser til is kan det resultere i fuktskader (29).

Luftingen under taktekningen vil hindre syklusen som oppstår ved at snøen smelter for så å fryse til is igjen. Luftet tak er svært effektivt for skrå tak, men flate tak har liten mulighet til effektiv lufting og det er derfor ikke vanlig å benytte luftet flate tak (30).

Ved luftet tak kan det benyttes utvendige takrenner og det er ikke nødvendig å prosjektere innvendige nedløp. Luftet tak er anbefalt for å sikre en takkonstruksjon med god varmeisolasjon uten kuldebroer. Skrått luftet tak vil være en god løsning med tanke på fuktsikkerhet. (29)

For et luftet tak med massivtre som bærekonstruksjon kan man starte oppbyggingen slik som i eksempelet for kompakte tak; massivtredekke, eventuell dampsperre etterfulgt av isolasjon. I tillegg benyttes et undertak, horisontal og vertikal utlekting for å sikre tilstrekkelig lufting. Slike takkonstruksjoner kan kles med for eksempel takstein. Figur 4-7 viser en prinsippskisse for et slikt tak.



Figur 4-7 Prinsippskisse for skrått luftet tak i massivtre

Det stilles krav til utførelsen av luftet tak. Blant annet at skrått tak med lufting og utvendig nedløp bør ha fall på minst 10-15 grader (29).

4.1.3 Fundamentering

Kataloghuset Dråpen Moderne er prosjektert uten kjeller. Det vil derfor være fundamenteringsmetodene plate på mark, ringmur med kryperom og åpen fundamentering som er aktuelle.

Åpen fundamentering kan utføres med pilarer, grunnmursstriper eller rammede pæler. Det vil da bli et uteklima under bjelkelaget eller massivtredekket som kan resultere i kalde gulv, trekkproblemer og høyt energiforbruk. (31)

Ringmur med kryperom anbefales generelt ikke for permanente boliger siden det kan gi omfattende fuktskader. (31)

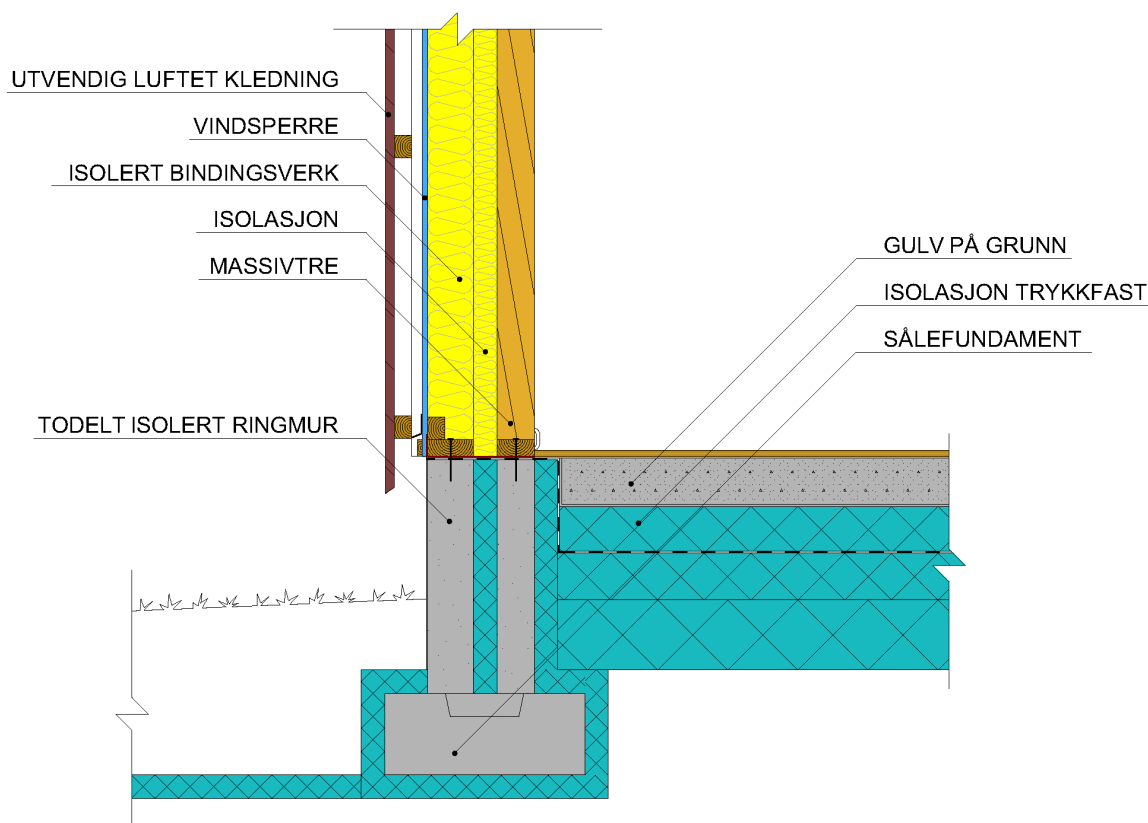
Plate på mark medfører liten masseforflytning, spesielt på flate tomter. Siden det støpes direkte på grunn vil det ikke oppstå problematikk rundt trekk og lufttetthet. Det er heller ikke knyttet noen fuktproblemer opp mot metoden. For bygg prosjektert i massivtre er alle tre metodene brukt (32). (31)

Avhengig av hvilken ytterveggsløsning som velges er det ulike fundamenteringsbehov. For tre av ytterveggsløsningene, de to gjennomgående og hulromselementet, vil en standard enkel ringmur være tilstrekkelig. For den todelte ytterveggsløsningen vil det være behov for en todelt ringmur eller en annen løsning hvor begge de bærende elementene i ytterveggen får tilstrekkelig understøtte.

For enkel ringmur er det to hovedmetoder; støpe eller benytte prefabrikkerte ringmurselementer. Begge metodene benyttes i Norge i dag og det er god erfaring med løsningene. Ved å støpe kan tykkelsen på ringmuren velges fritt. Det kan være noe mer tidkrevende siden forskaling må settes opp og betongen må herde. Det er ikke behov for å sette opp forskaling om det benyttes prefabrikkerte ringmurselement. Ulempen er at man er begrenset til de dimensjonene som produseres for valgt ringmurselement.

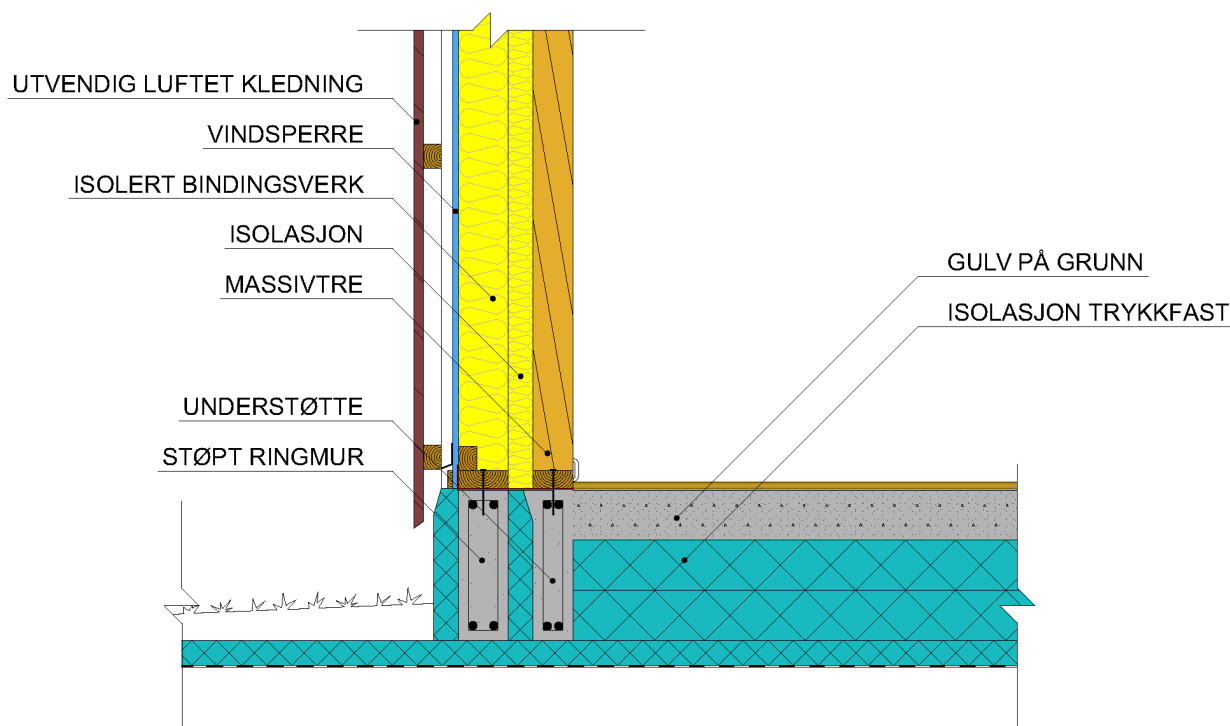
Fundamentering under en todelt yttervegg er ikke vanlig i Norge i dag. I denne rapporten er det sett på tre måter å utforme fundamentet under en slik vegg på.

Den første løsningen baserer seg på prinsippet til Leca sine isolerte ringmurselementer (33). Det er en todelt ringmur med et isolerende sjikt i midten. Figur 4-8 illustrerer hvordan den er tenkt. En av fordelene med denne løsningen er at det isolerende sjiktet vil være med på å redusere kuldebrobidraget og det vil være god støtte under begge de bærende elementene i ytterveggen. Kuldeverdien for Leca ringmur er beregnet til 0,05 W/(mK) (33).



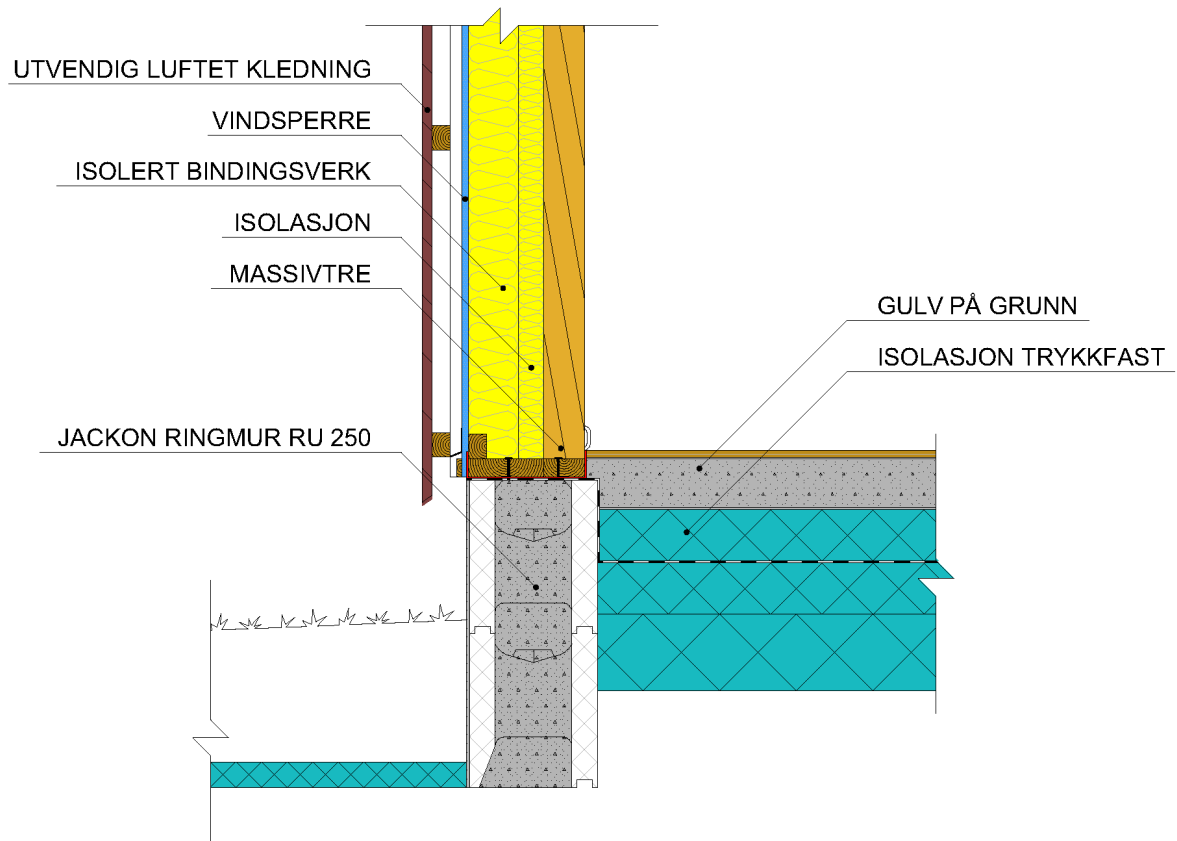
Figur 4-8: Prinsippkisse for todelt fundament illustrert av prosjektgruppen

Den andre løsningen er en kombinasjon av en enkel ringmur og en løsning hvor ringmur og plate støpes i ett. Figur 4-9 viser en prinsippskisse for løsningen. Her er det et isolerende sjikt mellom de to elementene som vil redusere kuldebrobidraget. Ulempen er at platen på mark støpes sammen med understøtten og det blir ikke et isolasjonssjikt mellom bygningsdelene. Det gjør at kulde kan transporteres opp i gulvkonstruksjonen.



Figur 4-9: Prinsippskisse for enkel ringmur med støtte under plate på mark illustrert av prosjektgruppen

Den siste løsningen baserer seg på et element Norgeshus har tilgjengelig, Jackon Ringmur RU. Figur 4-10 viser hvordan løsningen er tenkt. Den største fordel med løsningen er at den er på markedet i dag. Den største ulempen er at det ikke oppnås et kuldebrobrytende sjikt mellom ringmuren, bunnsvillen og platen på mark. Under ringmuren er det ikke et isolerende sjikt som kan hindre kulde i å bevege seg opp i konstruksjonen. Kuldebrobidraget kan derfor bli større for denne løsningen enn for de to foregående. I teknisk godkjenning fra SINTEF er kuldebroen beregnet til 0,10 W/(mK) (47).



Figur 4-10: Prinsippkisse av Jackon Ringmur RU illustrert av prosjektgruppen

4.1.4 Etasjeskiller

Som etasjeskiller kan det benyttes krysslagte elementer, kantstilte elementer eller samvirkeelementer. Samvirkeelementer er massivtreelementer i kombinasjon med andre materialer. Aktuelle materialer kan være påstøp i betong eller bjelkelag/tilfarergulv. Fordelen med samvirkeelementer er at det gir gulkonstruksjonen økt stivhet. (34)

Massivtredekker kan være eksponert. Ifølge Spitkon er det likevel vanlig å legge parkett over dekket. Det er fordi etasjeskilleren ofte blir brukt som arbeidsflate og kan ha tatt skade under byggefasen.

4.2 Pris

4.2.1 Overslagspris for yttervegg i massivtre

Det er foretatt et prisoverslag for å kunne sammenligne de ulike ytterveggsløsningene. Alle priser er eksklusive merverdiavgift og baserer seg på prisen for 1 m² vegg uten utsparinger. Priser er hentet fra Norsk Prisbok og aktuelle leverandører. Isolasjonstykkelser for de ulike ytterveggsløsningene baserer seg på å oppfylle minstekravene i TEK17. Trevareprisene baserer seg på treprisen vår 2021 og oppleves noe ustabile.

Norsk Prisbok har ikke pris på massivtre og Splitkon ble derfor kontaktet. Det ble oppgitt at pris for massivtre med formatering ligger på om lag 8 000 kr/m³. Denne prisen inkluderer ikke frakt. Videre ble Ove Skaar AS kontaktet etter anbefaling fra Splitkon. Med bakgrunn i materialprisen på 8 000 kr/m³ ble det estimert en kvadratmeterpris på monterings- og materialkostnad for massivtre. Monteringskostanden endte på 73,92 kr/m² og materialkostnaden på 640 kr/m². Totalt utgjør dette 713,92 kr/m².

For pris på REDAir FLEX systemet ble Rockwool kontaktet. Det ble utført beregninger som viser at ved å benytte dette systemet trengs kun 150 mm isolasjon (vedlegg F-1). Rockwool beregnet pris på REDAir FLEX for Dråpen Moderne prosjektert i massivtre basert på informasjonen gitt i vedlegg F-2. Det ble oppgitt en materialkostnad på 57 050,33 kr for hele bygget. Med et utvendig

veggareal på 183 m² medfører det en kvadratmeterpris på 311,75 kr. Ifølge Rockwool vil monteringstiden til systemet halveres i forhold til montering av isolert bindingsverk. Monteringskostanden ble beregnet ut fra Norsk Prisbok. Pris for å montere 150 mm bindingsverksvegg er 164 kr/m² og isolering 142 kr/m² (35). Det gir en totalpris på $(306 \text{ kr/m}^2)/2 = 153 \text{ kr/m}^2$.

Pris på hulromselementet er hentet fra Norgeshus sin kalkyle av kataloghuset Fauna som benytter TEWO-veggelement. Prisen er 1131,45 kr/m² for TEWO-veggelementet. Kalkylen ble utført 18.02.2021 og prisen anses som aktuell siden kalkylen nylig er utført.

Midt-Norge Blåseisolering ble kontaktet for å se på muligheten for å benytte blåseisolasjon. De har bistått med overslagspris på blåseisolasjon med Hunton Nativo Trefiberisolasjon. For en gjennomgående ytterveggsløsning kom totalprisen på 40 796 kr. Med et ytterveggareal på 183, 83 m² ble prisen 222,93 kr/m². Prisen for den todelt ytterveggsløsningen ble 31 646 kr, som tilsvarer en pris på 172,93 kr/m².

Øvrige elementer og bygningskomponenter er hentet fra Norsk Prisbok (35). Vedlegg D-7 presenterer prisestimatet for de fire veggtypene og Tabell 4-1 viser prisresultatet.

Tabell 4-1: Pris for de fire ytterveggsløsningene med plateisolasjon og blåseisolasjon

	Isolasjonstykkelse	kr/m²
Plateisolasjon		
Gjennomgående yttervegg med påføring	200 mm	2181
Gjennomgående yttervegg med spesialskruer (REDAir)	150 mm	1824
Hulromselement (TEWO-veggelement)	150 mm	1794
Todelt yttervegg	150 mm	1842
Blåseisolasjon		
Gjennomgående yttervegg med påføring	200 mm	2165
Todelt yttervegg	150 mm	1786

4.2.2 Totalpris for kataloghuset

Norgeshus har utført en kalkyle for kataloghuset Dråpen Moderne prosjektert i massivtre. Den tar utgangspunkt i Norgeshus sine gjeldene priser.

Prisberegningen er gjort på grunnlag av valgt løsning for de ulike bygningsdelene, forutenom fundamenteringen hvor det er brukt løsningen med Jackon ringmurselement RU. Valgt løsning beskrives under punkt 4.3.

Dråpen Moderne prosjektert i massivtre ender opp med en totalpris på 2 908 650 kr, uten merverdiavgift. Til sammenligning har Dråpen Moderne prosjektert i bindingsverk en pris på 2 575 060,72 kr. Det gir en prisdifferanse i overkant av 333 000 kr.

4.3 Valgt løsning

4.3.1 Bygningsdeler

Tabell 4-2 viser valgt løsning for de ulike bygningskomponentene. Begrunnelse av valgene er beskrevet under kapittel 5 *Diskusjon av valgt løsning*.

Tabell 4-2: Valgt løsning for Dråpen Moderne prosjektert i massivtre

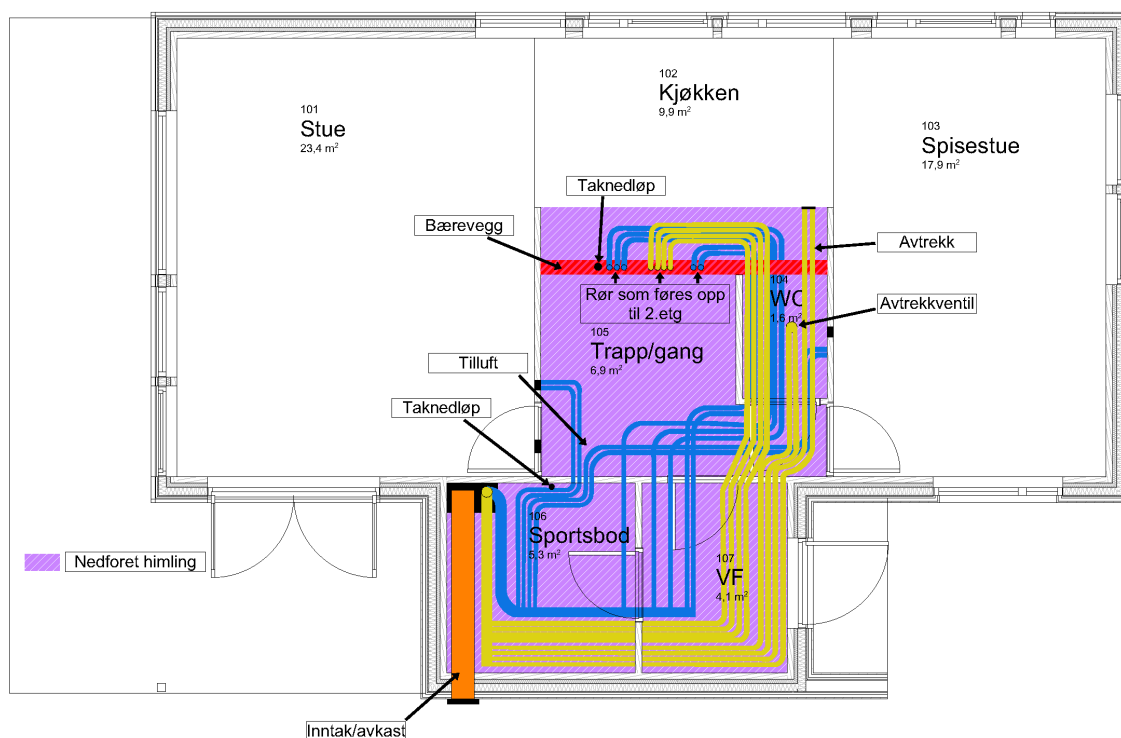
Fundament	Todelt ringmur med plate på mark
Yttervegg	Todelt yttervegg med plateisolasjon
Innervegger	Hovedsakelig massivtrevegger. Bindingsverk er benyttet hvor det har vært nødvendig med tanke på tekniske installasjoner.
Etasjeskiller	Krysslagte massivtreelementer
Tak	Kompakt rettvendt tak med bæresystem av massivtre
Vindu	Inntrukket 3-lags NH vindu

4.3.2 Tekniske installasjoner

En av utfordringene med et massivtrehus er de tekniske installasjonene. I et hus av bindingsverk kan ledningsføringen plasseres i isolasjonssjiktet mellom stenderne og i bjelkelaget. Massivtre kan ikke føre rør på samme måte.

TEK17 § 13-2 stiller krav til ventilasjon i boligbygg. Det er krav til frisklufttilførsel og avtrekk. Alle rom beregnet for varlig opphold, som stue, kjøkken og soverom, har krav om tilluft. Avtrekk skal fjerne forurenset luft. Det gjelder blant annet for kjøkken og våtrom.

Dråpen Moderne skal ha inntak og utkast av luft gjennom ytterveggen til sportsboden i 1. etasje. Fra sportsboden skal det fordeles kanaler til resten av huset. For å føre avtrekk og tilluft mellom etasjene skal bærevæggen, markert rødt på Figur 4-11, være i bindingsverk. Det samme skal veggen mellom Bad og Sov 2 være slik at ledningene til badet kan være skjult. Resten av veggene settes opp i massivtre. Der det skal føres rør i taket skal det i hovedsak nedføres. Hvor ventilasjonsrørene krysser på tvers av nedforingsbjelkene må det skjæres ut hull til rørene. Nedføring vil kun utføres i rom som ikke er beregnet for varig opphold.



Figur 4-11: Ventilasjon 1.etg illustrert av prosjektgruppen

Ved å ha prosjektert ferdig rørsystemet til bygget kan man frese ut hull i massivtreelementene før de ankommer byggeplass. Når det tekniske systemet skal installeres vil det være tydelig hvor de tekniske føringene skal føres gjennom veggen. Det kan gjøre rørføringen effektiv og mindre tidkrevende på byggeplassen.

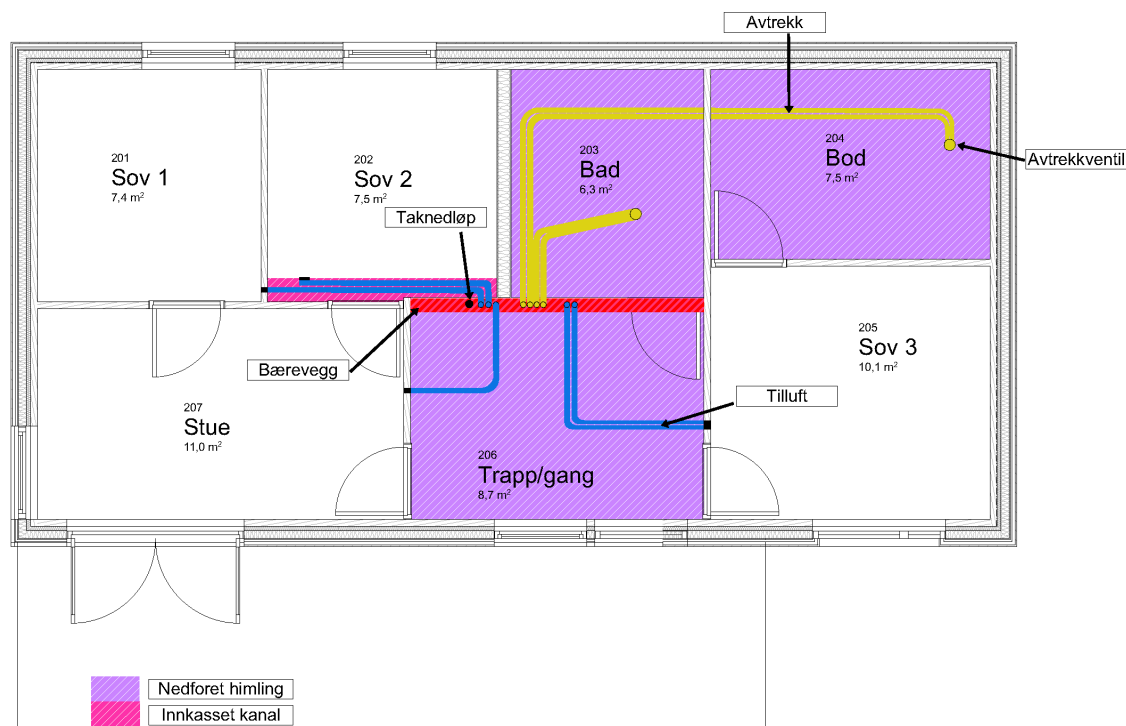
Det stilles krav om minimum takhøyde for rom beregnet til varig og ikke varig opphold. TEK17 § 12-7 (2) a) og b) stiller krav om minimum 2,4 m for rom beregnet til varig opphold og 2,2 m for rom som ikke er beregnet til varig opphold. På kjøkken, bad, gang, bod og WC skal det føres ventilasjonsrør. For å senke himlingen minst mulig er det valgt å benyttes Systemair AS sin Tube F løsning. Det er en løsning hvor det føres to plastrør med Ø70 mm. Ved å benytte denne løsningen kreves det kun nedforing på 100 mm. Hvor rørføringer krysses vil det være behov for å lekte ned 150 mm. På WC, i gang og over kjøkkenbenken vil det være behov for nedforing på 150 mm. Dråpen Moderne prosjektert i bindingsverk har en takhøyde på 2,4 m. Ettersom man har behov for nedforing til ledningsføring i massivtreboligen vil takhøyden bli henholdsvis 2,3 m eller 2,25 m hvor det skal føres ledninger. Det er innenfor kravet på 2,2 m. Over VF og sportsbod er det en takterrasse som må isoleres. Det er valgt å redusere takhøyden slik at det blir trinnfri overgang til terrassen i 2.etasjen. Takhøyden blir 2,2 m med nedforing.

I 1.etasje er en av utfordringene kjøkkenet. Det regnes som et oppholdsrom og må ha en takhøyde på minimum 2,4 m. Det er behov for avtrekk i taket som er løst ved at det er nedforet kun over kjøkkenbenk og komfyr langs bæreveggen mot WC og gang. For stue og spisestue i 1.etasje er det planlagt å ha tilluft gjennom veggen ut fra nedforingen i gangen.

På Figur 4-11 illustreres hvor det er planlagt nedforing og ledningsføringer i 1.etasje. Resten vil ha en takhøyde på 2,4 m. Løsningen er utarbeidet av Systemair AS, men figuren er tegnet av prosjektgruppen.

Ventilasjonen opp til 2.etasje føres opp gjennom bæreveggen markert i rødt på Figur 4-12. Gangen, badet og boden er nedforet slik at ventilasjonen kan fordeles til Stue, Sov 2 og Sov 3. Bod og bad krever avtrekk. Den største utfordringen er å ventilere Sov 1. Ingen av naborommene er nedforet slik at det kan føres en skjult

kanal til rommet. Det er valgt å trekke ett innkasset rør til soverommet. Planlagt nedføring og ledningsføring for 2.etasje illustreres på Figur 4-12. Med nedføring vil takhøyden være 2,3 m, mens resterende rom har en takhøyde på 2,4 m. Denne løsningen er også utformet av Systemair AS, men figuren er produsert av prosjektgruppen.



Figur 4-12: Ventilasjon 2. etasje illustrert av prosjektgruppen

Siden det er flatt kompakt tak vil det være et krav om innvendig taknedløp. Taknedløpet plasseres i bæreveggen utført i bindingsverk markert i rødt på figuren. I tillegg er det innvendig avrenning fra takterrassen i 2.etasje. Siden takterrassen er rett over sportsboden er nedløpet i massivtreboligen prosjektert direkte ned i sportsboden. Veggen mellom gang og sportsbod/VF kan på den måten være i rent massivtre. Innvendige nedløp er vist på Figur 4-11 i første etasje. Ventilasjonstegningene ligger som vedlegg C-9 og C-10.

4.4 THERM

THERM er benyttet for å beregne U-verdien til ulike bygningskomponentene. Det gjelder for tre av ytterveggsløsningene samt valgt løsning for tak og plate på mark. Forutsetningene for beregningene er beskrevet under punkt 3.2.2.

Resultatene er gitt i Tabell 4-3 og i vedlegg D-1.

Tabell 4-3: Resultater fra THERM

	Isolasjonstykkelse [mm]	U-verdi [W/m²K]
Ytterveggsløsninger		
Gjennomgående yttervegg med påforing	200	0,17
	150	0,21
Gjennomgående yttervegg med trykkfast isolasjon og spesialskruer	200	0,14
	150	0,18
Todelt yttervegg	200	0,15
	150	0,20
Resterende bygningsdeler		
Plate på mark	350	0,09
Tak	250	0,11
Takterrasse	150	0,18

4.5 TEK-sjekk

Det er gjennomført TEK-sjekk for å dokumentere at Dråpen Moderne prosjektert i massivtre tilfredsstiller kravene i TEK17. Som nevnt er det valgt å benytte energirammemetoden. Målet er å tilfredsstille netto energibehov og minimumskravene i TEK17. Verdier som er lagt inn i TEK-sjekk baserer seg på bygningselementene som er valgt.

Tabell 4-4 viser resultatet fra beregningene som er gjennomført med TEK-sjekk ved bruk av plateisolasjon.

Tabell 4-4: Resultater fra TEK-sjekk med plateisolasjon

	Verdier for eneboligen	Minstekrav i TEK17	Enhet
Netto energibehov	112	112	kWh/(m ² år)
Varmetapsbudsjett			
Vegger	0,203	0,22	W/m ² K
Tak	0,11	0,18	W/m ² K
Gulv	0,087	0,18	W/m ² K
Vinduer/dører	0,900	1,20	W/m ² K
Normalisert kuldebro	0,03	--	
Infiltrasjon	1	1,5	

Kravet til netto energibehov i TEK17 er 112 kWh/(m²år) og boligen ender på 112 kWh/(m²år). For å tilfredsstille energirammemetoden må verdiene i tillegg tilfredsstille minstekravene. Ut fra tabellen ser man at alle verdiene er lavere. Bygningen tilfredsstiller dermed energikravene i TEK17. For å oppnå godkjenningen er det valgt å ha en vesentlig bedre U-verdi enn minstekravene på taket og gulvet på grunn. Det har gjort at U-verdien til ytterveggen kan være relativt høy uten at det overskrider netto energibehov.

Muligheten for å benytte blåseisolasjon har også blitt belyst. Varmeledningsevnen til blåseisolasjonen som er benyttet er noe høyere enn for plateisolasjon. I THERM har det gitt en høyere U-verdi for ytterveggen. Det ble derfor gjennomført en ny beregning i TEK-sjekk for å se på muligheten for å benytte blåseisolasjon og fremdeles ha lik tykkelse på veggen. Tabell 4-5 viser resultatene fra TEK-sjekk ved bruk av blåseisolasjon. Beregningene viser at eksempelboligen i massivtre med blåseisolasjon i ytterveggen ikke tilfredsstiller kravene i TEK17.

Tabell 4-5: Resultater fra TEK-sjekk med blåseisolasjon

	Verdier for eneboligen	Minstekrav i TEK17	Enhet
Netto energibehov	113	112	kWh/(m ² år)
Varmetapsbudsjett			
Vegger	0,213	0,22	W/m ² K
Tak	0,11	0,18	W/m ² K
Gulv	0,087	0,18	W/m ² K
Vinduer/dører	0,900	1,20	W/m ² K
Kuldebro	0,03	--	
Infiltrasjon	1	1,5	

4.6 Sammenligning av massivtre og bindingsverk

Videre skal massivtre sammenlignes opp mot bindingsverk. Det skal gjøres en vurdering på fukt- og varmetransport samt faktorer som pris, miljø og bokvalitet.

Grunnlaget for sammenligningen er verdier og erfaringer som har kommet frem tidligere i rapporten og Norgeshus sine verdier for kataloghuset Dråpen Moderne prosjektert i bindingsverk.

4.6.1 Fukttransport

Det er ikke store forskjeller på til fukttransporten i en enebolig i massivtre og i bindingsverk. Ved god og gjennomtenkt prosjektering vil forutsetningene være ganske like. Det vil være utførelsen som er avgjørende. Unøyaktigheter og feil i

utførelsen kan være kritiske når det kommer til fukt. Det å sikre at alle overganger er tette vil være viktig for begge byggemetodene.

I en massivtrebolig er det massivtreet som utgjør det dampette sjiktet. Utfordringen vil være overgangen mellom elementene. Det er viktig å passe på at det ikke oppstår gliper mellom elementene slik at lufttettheten reduseres. Da vil vanndamp få mulighet til å bevege seg inn i isolasjonen ved fuktkonveksjon og skape fuktproblemer.

For bindingsverk er det behov for dampsperre for å oppnå ett lufttett bygg. Overgangene vil også her være det kritiske punktet. Ved gliper i overganger vil vanndamp kunne komme inn i konstruksjonen. Fordelen med bruk av dampsperre er at det er lettere å overlapp skjøtene slik at det ikke oppstår gliper. Utfordringen er at det er lett å lage hull i dampspennen. Det gjelder både under montering av dampspennen og under festing av andre materialer.

Hulrom i isolasjonssjiktet kan føre til problemer med fuktkonveksjon. Ved å dytte isolasjon inn uten utskjæringer til andre komponenter kan det oppstå luftlommer. Her stiller begge byggemetoden ganske likt. En måte å redusere risikoen betraktelig på er ved bruk av blåseisolasjon.

4.6.2 Varmetransport

4.6.2.1 U-verdi

For varmetransport er det relevant å sammenligne U-verdiene til de ulike bygningskomponentene for kataloghuset prosjektert i massivtre og bindingsverk.

Ytterveggen for Dråpen Moderne prosjektert i bindingsverk benytter totalt 200 mm isolasjon. Den oppgitte U-verdien for denne veggen er 0,20 W/m²K. U-verdi for alle ytterveggsløsningene i massivtre, utenom TEWO-veggelement, er beregnet med tilsvarende isolasjonstykkelse. Tabell 4-6 viser dette. I tillegg er det sett på muligheten for å få en tynnere veggkonstruksjon, men fremdeles tilfredsstillende krav til U-verdi. For TEWO-veggelement er verdien hentet fra epostkorrespondanse med en ansatt hos Termowood AS.

Tabell 4-6: Isolasjonstykkelse, veggtykkelse og U-verdi for ulike ytterveggløsninger

	Isolasjonstykkelse [mm]	Veggtykkelse [mm]	U-verdi [W/m²K]
Massivtre			
Gjennomgående yttervegg med påføring	200	368	0,17
	150	318	0,21
Gjennomgående yttervegg med trykkfast isolasjon og spesialskruer	200	370	0,14
	150	320	0,18
TEWO-element	170	340	0,18
Todelt yttervegg	200	368	0,15
	150	318	0,20
Bindingsverk			
Bindingsverksvegg til kataloghuset Dråpen Moderne	200	298	0,20

Generelt ser man at ytterveggløsningene i massivtre gir en bedre U-verdi sammenlignet med en yttervegg av bindingsverk med tilsvarende isolasjonstykkelse. Merk at ytterveggene i massivtre har en høyere total veggtykkelse. Det kommer av at massivtreet vil komme i tillegg til isolasjonen.

I Tabell 4-7 er den valgte løsningen i massivtre satt opp mot løsningen i bindingsverk. Ut ifra tabellen ser man at det kreves mindre isolasjon dersom man benytter massivtre. Likt som for ytterveggløsningene vil den totale tykkelsen på takkonstruksjonen øke til tross for at man behøver mindre isolasjon. For plate på mark er det benyttet samme løsning så tykkelse og U-verdi vil være lik.

Tabell 4-7: Isolasjons- og total tykkelse samt U-verdi for Dråpen Moderne prosjektert i massivtre og bindingsverk

	Isolasjonstykkelse [mm]	Total tykkelse [mm]	U-verdi [W/m ² K]
Massivtre			
Yttervegg	150	318	0,20
Tak	250	449	0,11
Takterrasse	150	320	0,18
Plate på mark	350	450	0,09
Bindingsverk			
Yttervegg	200	299	0,20
Tak	350	770	0,11
Takterrasse	300	519	0,13
Plate på mark	350	450	0,09

En fordel med bindingsverk er at det finnes mange preaksepterte løsninger for ulike bygningskomponenter. Avhengig av hvilken løsning man velger finnes det tilhørende tabellverdier for U-verdier. Per dags dato er det langt i fra samme arkiv for ulike massivtre-løsningene.

4.6.2.2 Kuldebro

Kuldebroverdien avhenger ikke av om man benytter seg av bindingsverk eller massivtre, men oppbygningen til komponentene. Eksempelvis kan man sammenligne en todelt yttervegg hvor de to bærende sjiktene er i bindingsverk og en gjennomgående yttervegg i massivtre hvor man utfører med heltrestendere. Løsningen med bindingsverk kommer da bedre ut enn løsningen med massivtre i vurdering av kuldebroer.

Dråpen Moderne prosjektert i massivtre har en todelt ytterveggsløsning. Dette vil gi færre svake punkter og endringer i isolasjonssjiktet enn for ytterveggen prosjektert i bindingsverk. Det vil virke positivt inn med tanke på kuldebroverdien. En fordel med bindingsverk er at man har et kuldebroatlas som kan benyttes. Her finnes det allerede beregnede kuldebroverdier for en rekke overganger. Etersom massivtre er forholdsvis nytt er det ikke bygd opp et tilsvarende arkiv. Det kan

gjøre det mer tidkrevende å prosjektere eneboliger i massivtre. Som et resultat av dette er det gjerne lettere for folk å benytte bindingsverk.

4.6.3 Energibehov

Norges hus har tidligere gjennomført TEK-sjekk av Dråpen Moderne prosjektert i bindingsverk. TEK-sjekk av kataloghuset i massivtre er beregnet av prosjektgruppen. Det vil være relevant å sammenligne netto energibehov hvor isolasjonsmengden til de ulike komponentene er tatt i betraktning.

For kataloghuset prosjektert i bindingsverk er netto energibehov 110 kWh/(m² år) og for massivtre er netto energibehov 112 kWh/(m² år). Det er altså en liten forskjell, men det er ulike mengder isolasjon som behøves for å komme innenfor kravet. Tabell 4-8 viser hvor mye isolasjon det er i de ulike bygningskomponentene, både for Dråpen Moderne prosjektert i massivtre og bindingsverk.

Tabell 4-8: Isolasjonstykkelse for ulike bygningskomponentene for Dråpen

Bygningskomponent	Bindingsverk	Massivtre
Yttervegg	200 mm	150 mm
Plate på mark	350 mm	350 mm
Takterrasse	300 mm	150 mm
Tak	350 mm	250 mm

Ut ifra tabellen kan man se at det trengs mindre isolasjon ved å benytte massivtre. Ved et tykkere isolasjonssjikt øker faren for fuktkonveksjon (36). Det å benytte massivtre kan derfor vurderes som mer fuktsikkert.

4.6.4 Pris

Prisen for Dråpen Moderne prosjektert i bindingsverk er 2 575 061 kr. For Dråpen Moderne prosjektert i massivtre er det beregnet en pris på 2 908 650 kr. Dette er en prisforskjell på litt over 333 000 kr. Prosentvis vil det si at Dråpen Moderne prosjektert i massivtre er 11,5 % dyrere enn Dråpen Moderne prosjektert i bindingsverk.

Vedlegg D-7 viser prisoverslaget for alle de ulike ytterveggene. Under punkt 4.2.1 beskrives det hvilke antakelser som er gjort for ytterveggene i massivtre. For bindingsverksveggen er Norsk Prisbok benyttet. Tabell 4-9 viser den estimerte kvadratmeterprisen for de ulike ytterveggløsningene. Her ser man at massivtre er konkurransedyktig på pris.

Tabell 4-9: Estimert pris for ytterveggløsninger

Massivtre	Pris	Enhet
Gjennomgående yttervegg med påføring	2181	Kr/m ²
Gjennomgående yttervegg med spesialskruer	1824	Kr/m ²
TEWO-elementer	1794	Kr/m ²
Todelt yttervegg	1842	Kr/m ²
Bindingsverk		
Gjennomgående yttervegg	1857	Kr/m ²

4.6.5 Miljø

Massivtre blir sett på som et klimanøytralt produkt (37). Det baserer seg på egenskapen til å binde CO₂. Tre tar opp CO₂ fra atmosfæren i hele sin levetid. Når treet blir hogd ned lagres karbonet i materialet helt til det frigjøres ved gjenvinning. På grunn av dette sies det ofte at tre fungerer som en karbonbrems (4).

Tre binder omtrent 0,7 til 0,92 tonn CO₂/m³. En enebolig i bindingsverk består vanligvis av 14-22 m³ tre som vil si at i løpet av sin levetid vil det binde 11-16 tonn CO₂. Ved bruk av massivtre vil andelen tre være vesentlig større. Dette gjør at massivtreet vil fungere som en enda større karbonbrems. Massivtreet kan også gjenbrukes til et nytt trebasert produkt som vil hindre at CO₂ blir frigitt. Det vil redusere det totale CO₂-utslippet til boligen. (38)

Utenom dette er det ikke funnet noen andre miljøfordeler ved å benytte massivtre til fordel for bindingsverk. En rapport fra SINTEF konkluderer med at total CO₂-produksjon er mindre ved bruk av bindingsverk. Den eneste måten CO₂-produksjonen ved bruk av massivtre blir lavere er om man medregner treet's egenskaper til å binde CO₂ og ser bort ifra frigjøring av CO₂ i avfallshåndteringen.

Det vil si at sammenlignet med bindingsverk er ikke massivtre miljømessig bedre med tanke på CO₂-utslipp. (39)

Det er også mulig å vurdere energibesparelsen. Ved å ta med brennverdien til trevirket i energiregnskapet vil det være en energibesparelse ved å benytte massivtre. (39)

4.6.6 Bokkvalitet

Folk bruker mer tid innendørs nå enn før og interessen for innemiljø øker (4). Et vanlig argument for å benytte massivtre er at det øker bokkvaliteten. Det inkluderer påstander om et bedre innemiljø. Per dags dato finnes det lite forskning som støtter opp under påstanden.

Erfaring viser at bruk av massivtre har en spesielt god innvirkning på det termiske- og atmosfæriske- innemiljøet (4). Under intervjuet med Fagerli ble spørsmålet om bokkvalitet tatt opp (Vedlegg F-1). Her kom det frem at hun opplever det bedre å bo i en massivtrebolig. Hun påpeker spesielt forskjell i hvordan varme oppleves. I bindingsverk uttaler hun at det blir mer varmt og klamt, mens for massivtre blir det bare varmt og tørt. Det kan skyldes massivtreets evne til å ta opp fukt og dermed regulere den relative fuktigheten i inneluften. Et CO₂-apparat hun har benyttet seg av måler også at CO₂-nivået er lavere i massivtreboligen enn det som var i hennes tidligere bolig i bindingsverk.

Det ble utført målinger på relativ luftfuktighet og fuktinnhold i trevirke. Disse målingene kan si noe om hvordan innemiljøet oppleves. Målingene ble utført i to eneboliger, en av massivtre og en av bindingsverk. Vedlegg E-2 beskriver metoden og resultatene fra disse målingene. Det fremkommer ingen evident forskjell på de to byggeskikkene ut i fra målingene.

4.7 Overganger

I dette delkapittelet presenteres overgangene mellom komponentene i massivtreboligen. Bakgrunn for valg av utførelse er beskrevet i teksten og alle detaljtegningene er lagt ved i vedlegg C. Snittet er ikke beskrevet, men ligger også vedlagt i Vedlegg C.

4.7.1 Yttervegg / Fundament

Det er utarbeidet to detaljer for overgangen mellom yttervegg og fundament. Den ene er utformet med tanke på varme- og fukttransport, mens den andre er utarbeidet i samarbeid med Norgeshus basert på tilgjengelighet på markedet. For Dråpen Moderne prosjektert i massivtre er det valgt å benytte seg av todelt ringmur. Dette er fordi rapporten legger størst fokus på bygningsfysikken.

Det er noen likheter ved fundamenteringsløsningene. Det er benyttet svillemembran mellom fundamentet og bunnsvillen for begge løsningene. Den fungerer som et kapillærbrytende sjikt slik at treet ikke tar opp vann fra betongen. Svillemembranen klemmes med vindsperran for å oppnå tilstrekkelig lufttetthet. Over betongen benyttes det et gulvunderlag som er fuktsikkert (40). Det er for å beskytte parketten så den ikke tar opp fukt fra betongen.

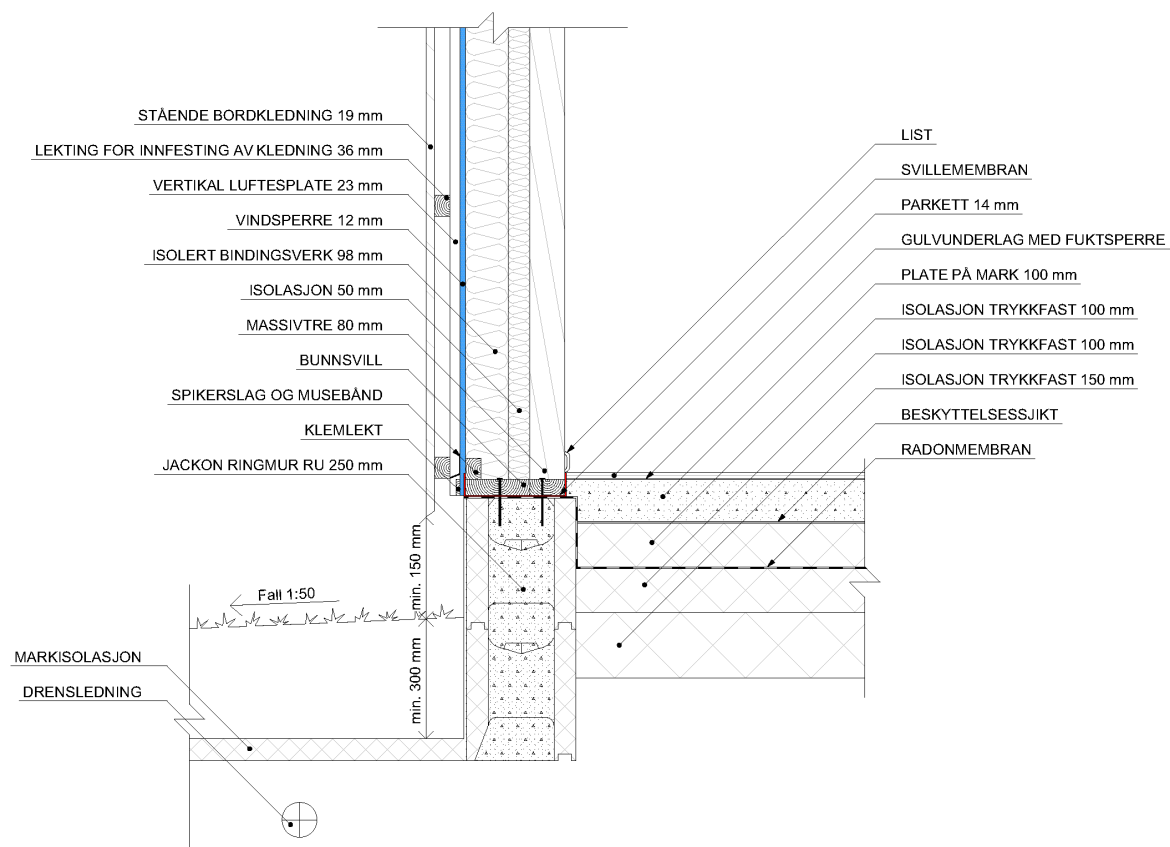
Gulvisolasjonen legges under betongen med skjøter forskjøvet fra laget under. Det er for å unngå gjennomgående sprekker opp til betongen. Isolasjonen fungerer også som et kapillærbrytende sjikt for å hindre oppsuging av vann fra grunnen. Vanligvis benyttes ekstrudert polystyren (XPS). Det er en isolasjonstype som beholder varmeledningsevnen selv om den er fuktpåkjent (40).

Det kan være behov for drenering for begge løsningene. Drensleding benyttes for å lede vannet i grunnen bort fra bygget. Det er kun behov for drensledning hvis hele eller deler av gulvkonstruksjonen ligger under terrenget (40).

Hjørner og overganger er spesielt utsatt for lave overflatetemperaturer på grunn av kuldebroer. Lave overflatetemperaturer kan føre til kondensdannelse som kan gi fuktskader (17). I utførelse av fundamentet benyttes ringmursisolasjon for å redusere kuldebroen.

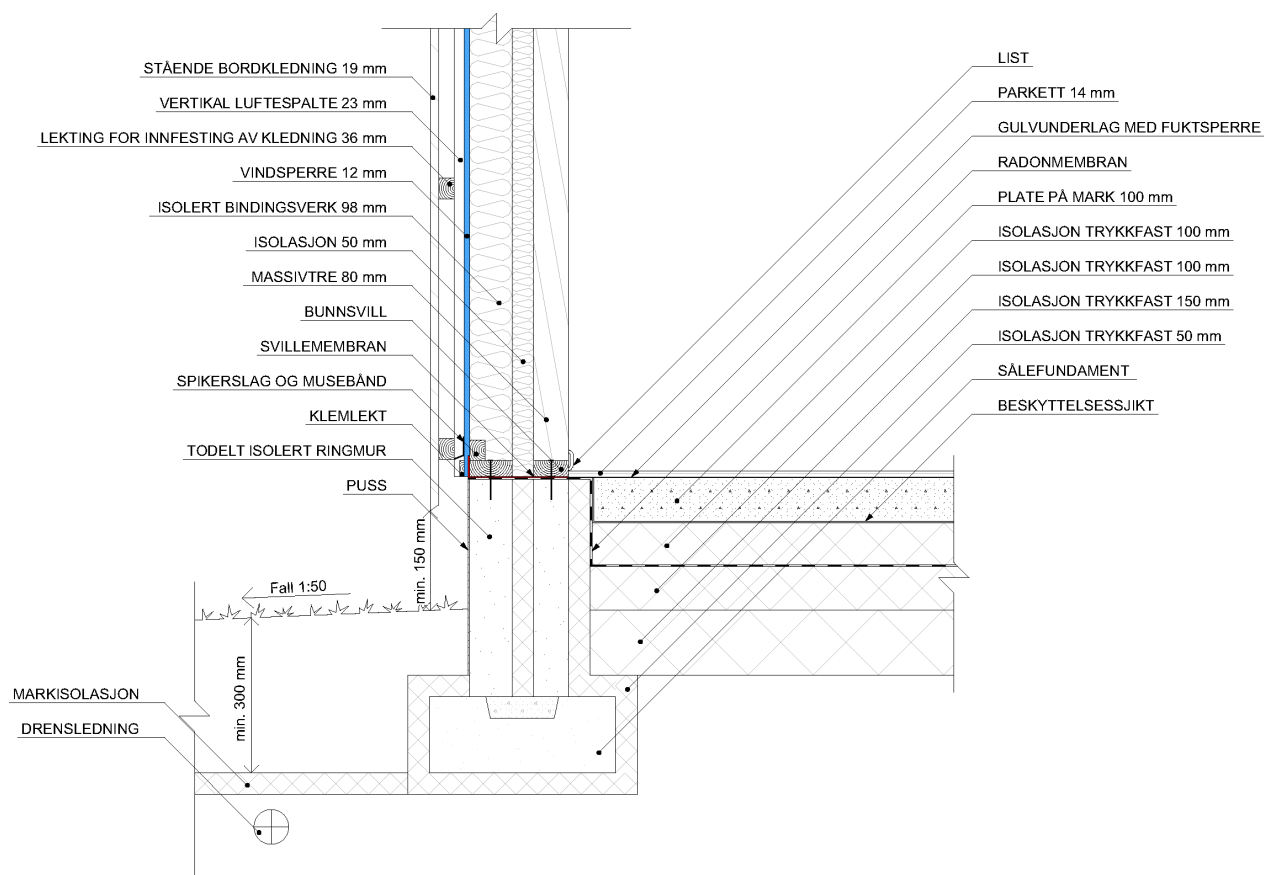
Radonmembranen har flere plasseringsmuligheter. For begge løsningene har det blitt valgt å plassere den i isolasjonssjiktet. Punktering av membranen eller gliper vil kunne medføre betydelig radoninntrenging fra grunnen. Det er valgt å klemme membranen mellom ringmuren og bunnsvillen. Isolasjonslaget mellom radonmembranen og betongen vil beskytte membranen fra punktering før og under støping av betongen. Det plasseres likevel et beskyttelseslag mellom betongen og isolasjonen for å hindre at betongen trenger gjennom isolasjonen i støpeprosessen. (41)

Det første forslaget er utarbeidet etter ønske fra Norgeshus. Her er Jackon Ringmur type RU 250 mm benyttet (42). Jackon-elementet kommer med ferdig ringmursisolasjon. Det er isolert både på utsiden og innsiden noe som vil være optimalt med tanke på varmegjennomgang. Et svakt punkt vil være hvor platen på mark møter bunnsvillen. Uten et isolerende sjikt som reduserer kuldebrobidraget kan det føre til unødvendig varmetap. Å isolere under ringmuren for å hindre varmegjennomgang bør også vurderes, men er ikke gjort i denne rapporten. Figur 4-13 viser hvordan løsningen med Jackon-elementet vil se ut.



Figur 4-13: Detaljeskisse av overgang yttervegg / fundament med Jackon-element utarbeidet av prosjektgruppen

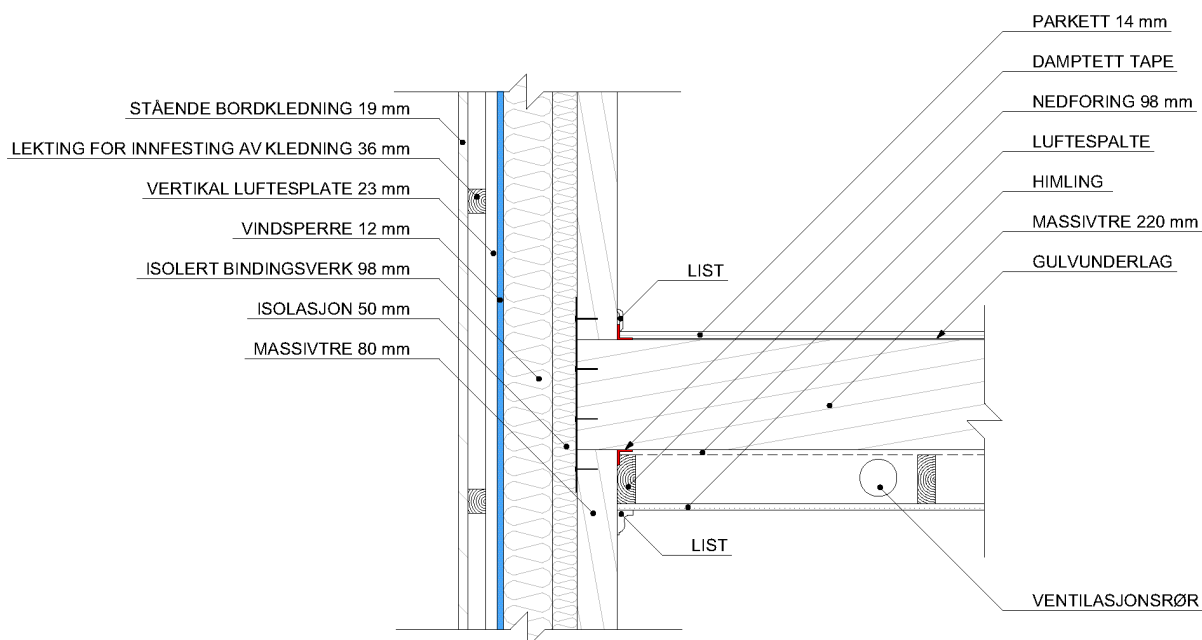
Det andre forslaget til fundamentering er todelt ringmur. Det vil være et isolerende sjikt mellom betonglagene. I tillegg isoleres det mellom platen på mark og ringmuren. Fordelen med denne løsningen er at det gjennomgående isolasjonssjiktet i veggen videreføres ned i fundamentet. Det vil være med på å redusere kuldebroen betraktelig. Isolasjonen mellom platen på mark og ringmuren vil også redusere kuldebroen og forhindre lave overflatetemperaturer på innsiden av konstruksjonen. Figur 4-14 viser detaljtegningen med todelt ringmur.



Figur 4-14: Detaljsskisse av overgang yttervegg / todelt fundament utarbeidet av prosjektgruppen

4.7.2 Yttervegg / Etasjeskiller

Etasjeskilleren i massivtre ligger på massivtreveggen slik det er illustrert på Figur 4-15. Å dele opp massivtreveggen medfører mindre vibrasjoner i konstruksjonen. Etasjeskilleren i massivtre kan være eksponert, men det er valgt å legge parkett på oversiden. Det er fordi massivtreet kan ta skade under bygging.



Figur 4-15: Detaljeskisse av overgang yttervegg / etasjeskiller utarbeidet av prosjektgruppen

På figuren ser man hvordan nedforingen på 100 mm for tekniske installasjoner utføres. Det vil være tilsvarende utførelse hvor det er nedforet 150 mm. Her er det lagt inn ei luftespalte slik at etasjeskilleren og himlingen kan bevege seg uavhengig av hverandre. Dette vil medføre mindre lydtransmisjon.

Tre er et organisk materiale som gjør at det lett kan oppstå gliper mellom massivtreelementene. Det løses ved å benytte damptett teip langs overgangene. Det er ikke nødvendig, men er valgt å gjøre som en ekstra sikkerhet i vurderingen av fukttransport. Det benyttes ei list som skjuler teipen. Overgangene er også enklere å få pene dersom man benytter seg av gulv- og taklister. Det gjelder overganger mellom massivtreet og himlingsplater samt hvor massivtre møter massivtre. Eventuelle gliper mellom massivtreelementene kan gi økt risiko for vandampdiffusjon. Det er derfor viktig at alle overganger blir tette slik at vandampen ikke har mulighet til å bevege seg inn i konstruksjonen og kondensere.

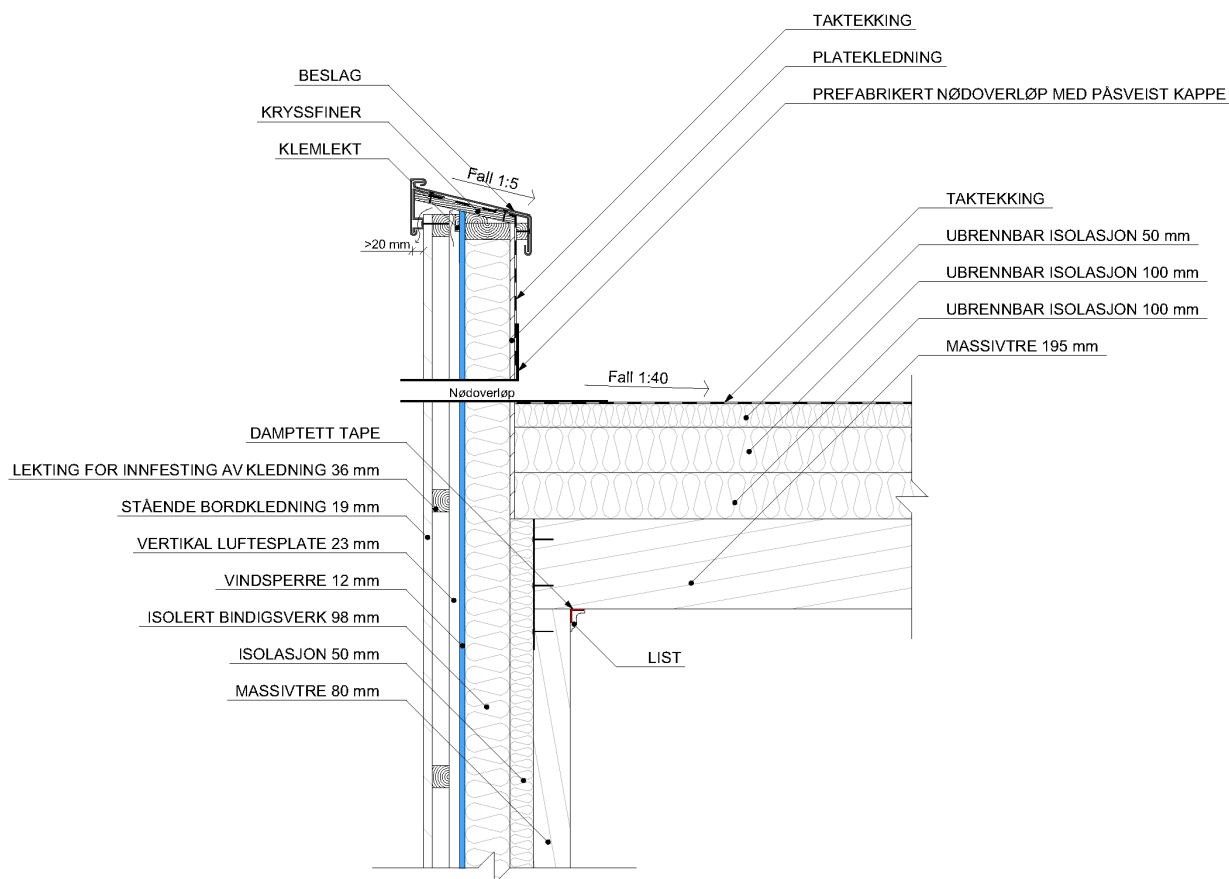
Det kan også være ønskelig å ha en listfri bolig. Muligheten vil da være å teipe skjøtene på utsiden av massivtreelementene. Damptettheten vil bli den samme som ved å ha den på innsiden, men teipen vil ikke bli synlig fra innsiden av boligen.

4.7.3 Yttervegg / tak

Det er valgt å gå for et rettvendt kompakt tak for Dråpen Moderne prosjektert i massivtre. Bærekonstruksjonen for taket er 195 mm massivtre (vedlegg F-3) etterfulgt av 250 mm mineralull og taktekning.

Det er valgt å ikke benytte dampsperre da massivtre med denne tykkelsen regnes som damptett og en dampsperre blir overflødig. Problemområdet er skjøtene mellom massivtreelementene. For å sikre damptetthet er det valgt å benytte damptett teip. Overgangen mellom yttervegg og tak er også utført med taklist. Her kan også damptett teip benyttes på utsiden av massivtreelementene ved ønske om listfri bolig.

Kompakte tak utføres alltid med parapet. Overkant parapet skal være om lag 700 mm over overkant massivtre og 200-300 mm over overkant taktekning (28). Beslaget på parapetet fungerer som en regnskjerm i totrinnstetningen. Massivtreelementet og det gjennomgående isolasjonssjiktet er ikke ført videre opp i parapeten. Løsningen gir redusert materialforbruk, som igjen reduserer prisen. Det er gjort ved at takisolasjonen trekkes lenger ut i veggen, vist på Figur 4-16.



Figur 4-16: Detaljeskisse av overgang yttervegg / tak utarbeidet av prosjektgruppen

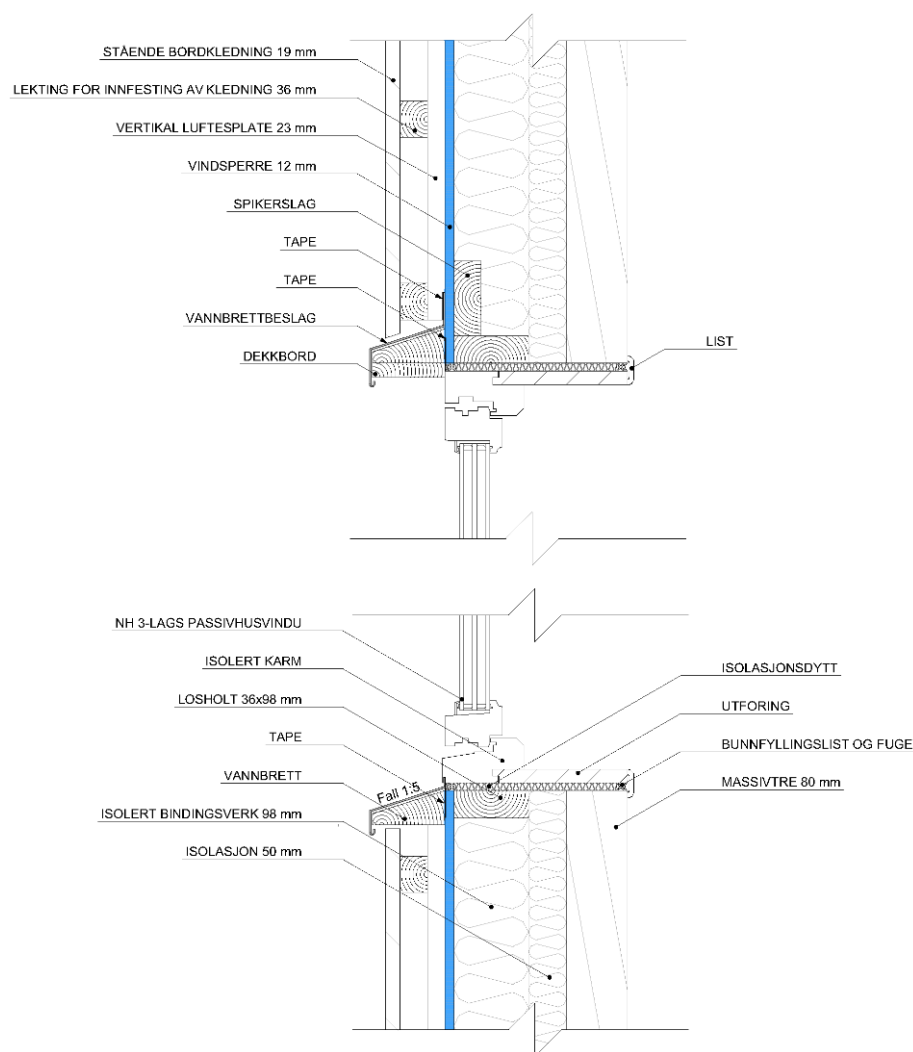
Isolasjonsplatene må tilpasses nøye, monteres tett og uten åpne fuger mellom platene. Siden det er valgt å benytte seg av ubrennbar isolasjon på hele takflaten vil ikke migreringssperre være nødvendig da PVC i takfolien ikke vil være i direkte kontakt med polystyren eller asfalt (28). Taket skal utføres med tosidig fall mot en renne og innvendig taknedløp. Det er også prosjektert nødoverløp i tilfelle sluket skulle gå tett. Takflaten skal utføres med et fall på 1:40 og renner skal ha et fall på 1:60. Det er isolasjonen som skal sørge for fall på taket.

4.7.4 Vindusinnsetting

Det er benyttet NH 3-lags vinduer som plasseres i bindingsverket i den todelte ytterveggsløsningen. Det er to alternativer til plassering av vinduet i bindingsverket; slik at sporet i bunnkarmen for vannbrettbeslaget flukter med vindsperrer eller at vinduet plasseres et stykke inn i isolasjonssjiktet (43). Selv om det er valgt å benytte seg av inntrukket vindu for Dråpen Moderne prosjektert i massivtre er det valgt å utforme detaljetegninger for begge løsningene. Det å

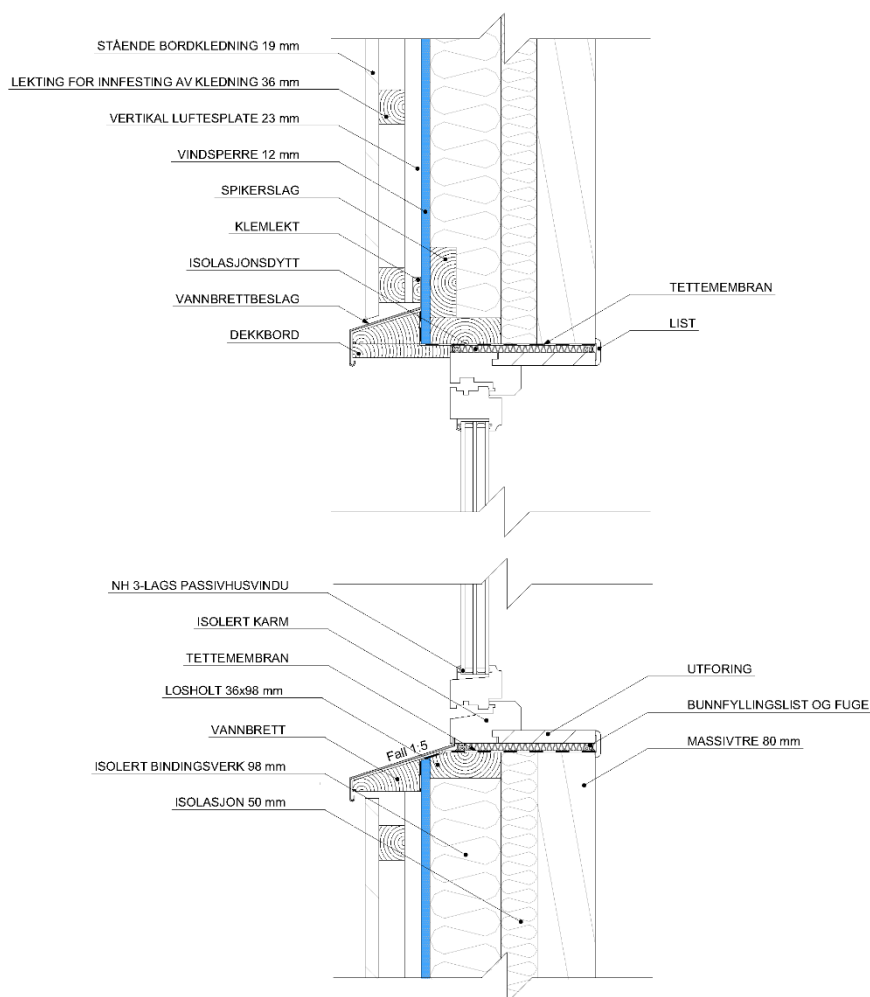
plassere vinduet langt ut i veggen har tradisjonelt vært måten å løse det på, men det å trekke vinduet lengre inn gir en mer energieffektiv konstruksjon (44).

For løsningen hvor sporet i bunnkarmen for vannbrettbeslaget flukter med vindspærren vil det være enklere å regn- og lufttette. Det vil også være mindre fare for fuktskader inne i veggen under vinduet. Det unngås fukt i isolasjonen siden regn som kommer inn bak karmen ikke kommer inn bak vindspærren. Løsningen er dermed relativt fuktsikker og egner seg i områder som er svært utsatt for slagregn. Ulempen med løsningen er at det gir en høyere kuldebroverdi og kan gi lavere temperatur på rutekanten. Plasseringen vil også kunne gi økt fare for utvendig kondens på vindusoverflaten. Figur 4-17 viser denne vindusplasseringen. (43)



Figur 4-17: Detaljeskisse av vindu som flukter med vindspærren utarbeidet av prosjektgruppen

For Dråpen Moderne prosjektert i massivtre er det valgt å trekke vinduet inn, slik det er illustrert på Figur 4-18. Fordeler med å plassere vinduet lengre inn i isolasjonssjiktet er at man oppnår lavere kuldebroverdi og varmpetapet reduseres. Det vil medføre en mer energieffektiv konstruksjon. Man oppnår også redusert innvendig- og utvendig kondens på vinduet samt en reduksjon av soloppvarming og dermed redusert behov for kjøling. Ulempen med løsningen er at det medfører større fare for fukt. Vannbrettbeslaget kommer innenfor vindspærren og vil øke faren for at vann kommer inn til isolasjonen dersom overgangene ikke er helt tette. For å hindre at det oppstår problemer plasseres en tettemembran på oversiden og undersiden av vinduet. Membranen og beslaget klemmes med en lekt for å sikre tilstrekkelig tetthet. Membranen skal sikre at konstruksjonen er luft og vanntett selv om vann kommer gjennom vannbrettbeslaget og dekkbordet. Det er derfor viktig å markere membranen tydelig slik at det ikke oppstår problemer med fukt i veggen. (43)



Figur 4-18: Detaljeskisse av inntrukket vindu utarbeidet av prosjektgruppen

Det er viktig å legge fokus på å få til gode detaljtegninger så utførelsen av regn- og lufttetting blir utført korrekt. Asfaltplate benyttes som vindsperre og klemmes mellom vannbrettet og losholt sammen med membranen. Mellom karmen og losholt er det isolert med polyuretanskum for å redusere kuldebroer. Det benyttes tettefuge mellom vindu og vegg slik at man unngår unødvendig luft- og vannlekkasje (43).

5 Diskusjon

I dette kapittelet diskuteres i hovedsak bakgrunnen for valg av de ulike bygningsdelene, men også usikkerhet knyttet til prisoverslaget for yttervegg. Det skal legges vekt på varme- og fuktsikkerhet.

5.1 Yttervegg

THERM er benyttet for U-verdiberegningene for brorparten av løsningene. Inngangsverdier for beregningene er beskrevet i punkt 3.2.2. For TEWO-veggelementer er gitt isolasjonstykkelse og U-verdi hentet fra epostkorrespondanse med en ansatt hos Termowood AS. Tabell 5-1 viser U-verdi for løsninger utført med plateisolasjon sammen med brukt isolasjonstykkelse og den totale veggykkelsen.

Tabell 5-1: Plateisolasjon - Isolasjonstykkelse, veggykkelse og U-verdi for yttervegger i massivtre

	Isolasjonstykkelse [mm]	Veggykkelse [mm]	U-verdi [W/m ² K]
Gjennomgående yttervegg med påforing	200	368	0,17
	150	318	0,21
Gjennomgående yttervegg med spesialskruer	200	370	0,14
	150	320	0,18
Hulromselement (TEWO-veggselement)	170	420	0,18
Todelt yttervegg	200	368	0,15
	150	318	0,20

For den gjennomgående ytterveggløsningen med påforing og den todelt ytterveggløsningen vil det være mulig å benytte blåseisolasjon. Det er valgt å kontakte Midt-Norge Blåseisolering da Norgeshus har kontakt med dem. Tabell 5-2 viser isolasjon- og veggykkelse, samt U-verdier for veggløsninger utført med blåseisolasjon.

Tabell 5-2: Blåseisolasjon - Isolasjonstykkelse, veggtykkelse og U-verdi for yttervegger i massivtre

	Isolasjonstykkelse [mm]	Veggtykkelse [mm]	U-verdi [W/m ² K]
Gjennomgående yttervegg med påforing	200	368	0,18
	150	318	0,22
Todelt yttervegg	200	370	0,17
	150	320	0,21

Merk at for gjennomgående ytterveggsløsning med trykkfast isolasjon og spesialskruer vil ikke U-verdien være helt representativ da programvaren ikke tar hensyn til stålet i konstruksjonen. I byggforskblad 471.421 (22) kan man hente ut tabellverdier på U-verdi for denne løsningen. Heller ikke her er det tatt hensyn til stålet. Dersom man benytter denne ytterveggsløsningen burde man være oppmerksom på usikkerheten samt legge inn kuldebrobidraget stålet gir. Usikkerhetsmomentet rundt U-verdien sammen med kondensfaren knyttet til stål i ytterveggskonstruksjonen gjør at det er vurdert å ikke benytte denne løsningen.

TEWO-veggelement kommer ganske godt ut på U-verdi, men det er den totalt tykkeste ytterveggen. Elementene er lette slik at de kan settes opp uten hjelp av kraner. I teorien trenger man ikke å benytte ekstra dampetting ved bruk av TEWO-veggelement. Det å ikke ha et damptett sjikt kan være risikabelt med tanke på fuktsikkerhet. Selv om elementene er godkjent av SINTEF er de andre løsningene vurdert som mer fuktsikre. TEWO-veggelement er derfor valgt bort.

Om man ser bort ifra den gjennomgående ytterveggsløsningen med trykkfast isolasjon og spesialskruer kommer den todelte ytterveggen best ut i forbindelse med U-verdi. I den todelte ytterveggen vil det være færre svake punkter og endringer i isolasjonssjiktet enn for de andre løsningene. Det rene isolasjonssjiktet fungerer som kuldebrobryter og ved å benytte denne løsningen vil normalisert kuldebroverdi reduseres betraktelig (17).

Den høyeste U-verdien kommer ved bruk av gjennomgående ytterveggsløsning med påforing. Løsningen bryter ikke kuldebroer som vil gi en høyre normalisert

kuldebroverdi sammenlignet med todelt ytterveggsløsning. Siden all isolasjon er på utsiden vil det ikke være noen fare for innestenging av vanndamp i konstruksjonen og løsningen vil derfor være fuktsikker.

Det er gjennomført et prisoverslag for de ulike ytterveggsløsningene. Tabell 5-3 viser resultatet av prisoverslaget. Her kan man se at TEWO-veggelement er den billigste, mens gjennomgående yttervegg med påføring er dyrest. Legg merke til at det blir noe rimeligere å benytte blåseisolasjon for de løsningene hvor det er mulig. Det er valgt å ikke legge stor vekt på pris da bygningsfysikken er viktigst i denne rapporten.

Tabell 5-3: Resultat fra prisoverslag for ulike ytterveggsløsninger i massivtre

	kr/ m ²
Plateisolasjon	
Gjennomgående yttervegg med påføring	2180,51
Gjennomgående yttervegg med spesialskruer (REDAir)	1824,39
Hulromselement (TEWO-element)	1794,34
Todelt yttervegg	1841,87
Blåseisolasjon	
Gjennomgående yttervegg med påføring	2165,21
Todelt yttervegg	1785,86

Ut ifra resultatene knytt til U-verdi og fordeler knyttet til kuldebroer er den todelt ytterveggen vurdert som gunstigst og benyttes for Dråpen Moderne prosjektert i massivtre. Andre fordeler og ulemper knyttet til de ulike ytterveggsløsningene, beskrevet i punkt 4.1.1, er også tatt med i vurderingen. Prismessig er det ikke alt for stor forskjell mellom de tre billigste.

Ette ønske fra Norgeshus er det valgt å forholde seg til minimumskravene i TEK17. I Dråpen Moderne prosjektert i bindingsverk er det brukt 200 mm isolasjon i ytterveggen. For Dråpen Moderne prosjektert i massivtre vil 150 mm isolasjon være tilstrekkelig. Isolasjon er et luftpermeabelt materiale, som vil si at faren for kondens inne i komponenten øker med isolasjonstykkelsen (36). Ved å benytte 150 mm isolasjon vil faren for fuktkonveksjon reduseres. Det vil også

redusere prisen på ytterveggen. Merk at beregnet pris i Tabell 5-3 er med 150 mm isolasjon.

Blåseisolasjon er blitt vurdert som et alternativ til plateisolasjon. Byggetiden kan reduseres betraktelig ved bruk av blåseisolasjon da all isolasjonen blir «blåst» inn i veggen ved hjelp av spesialutstyr. Bruk av blåseisolasjon medfører ingen kapprester og man frigjør kapasiteten til tømrere på plassen. Det reduserer også faren for luftrom i isolasjonssjiktet. Det er blitt gjennomført TEK-sjekk for begge løsningene. Ved bruk av blåseisolasjon ble netto energibehov noe høyere enn ved bruk av plateisolasjon. Plateisolasjon vurdert som gunstigst med tanke på energieffektivitet i rapporten.

5.1.1 Usikkert ved prisoverslag

Det er knyttet noen forbehold og usikkerheter til prisene i rapporten. For de to gjennomgående og den todelte ytterveggsløsningen er alle prisene utenom massivtreet hentet fra Norsk Prisbok. Priser fra Norsk Prisbok anses som pålitelige. Pris på massivtreelementet er hentet fra en utførende entreprenør og prisen er basert på deres erfaring. Det kan være en usikkerhet knyttet til pris på massivtre. Det gjelder for alle veggsløsningene utenom løsningen som benytter TEWO-veggelement.

Gjennomgående ytterveggsløsning med spesialskruer/REDAir

Prisen for REDAir FLEX systemet tar høyde for at Norgeshus er kunde hos aktuell leverandør.

Under intervjuet med Fagerli kom det fram at montering av REDAir FLEX systemet kan være noe mer tidkrevende enn først antatt. Det skyldes at det kreves mye jobb for å få isolasjonsplatene rett før utlekting. Ved å benytte denne løsningen må det tas hensyn til at totalprisen kan bli dyrere enn estimert på grunn av økt tidsbruk.

Hulromselement/ TEWO-veggelement

Det medfører usikkerhet at TEWO-veggelement er hentet fra Norgeshus sin kalkyle av kataloghuset Fauna. For å beregne en mer nøyaktig pris kan aktuelle tegninger sendes inn til Termowood AS for å få et prisoverslag for den aktuelle boligen.

5.2 Takkonstruksjon

Anbefalinger og erfaringer beskrevet i byggforskserien er lagt til grunn for vurderingen. U-verdi sammen med minstekrav til netto energibehov har lagt føringer for isolasjonsmengde i takkonstruksjonen.

Kataloghuset Dråpen Moderne er prosjektert med flatt tak. Det er mulig å benytte flate luftete tak, men da må det legges til grunn en grundig vurdering av lokale klimatiske forhold (30). Det er fordi flate luftede tak ikke har mulighet for effektiv lufting og er derfor fuktutsatte. Det anbefales generelt for flate tak å velge kompakt tak (45). Siden kompakte tak har begrenset uttørkingsevne er det nødvendig å benytte materialer som tåler fukt. Man må imidlertid være ekstra nøye ved tetting av gjennomføringer og overganger på grunn av den begrensede uttørkingsevnen. Kompakte tak har også den fordelen at det kan tekkes med materialer som tåler stående vann slik at faren for fuktskader reduseres (45).

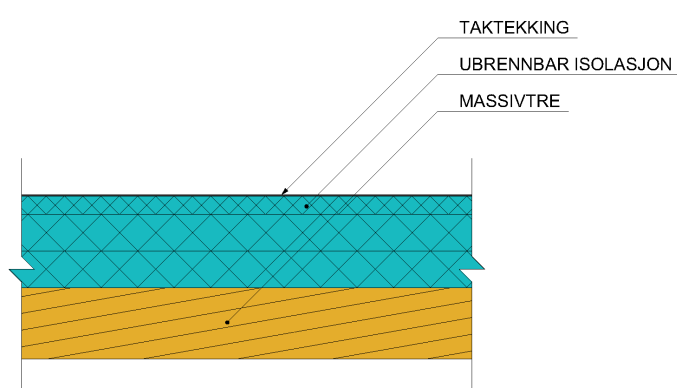
Energirammemetoden setter minimumskrav til netto energibehov. For å oppfylle dette vil det være gunstig å ha et godt isolert tak for å hindre et unødvendig varmetap. Det er derfor valgt å ha en vesentlig lavere U-verdi for takkonstruksjonen enn minimumskravet i TEK17.

Ved bruk av massivtre som har en tykkelse på 80 mm eller mer er det ikke krav til bruk av dampsperre. Det er valgt å ikke benytte dampsperre for Dråpen Moderne prosjektert i massivtre selv om det kan gi en ekstra fuktsikring. Det er gjort for å unngå unødvendig plastbruk i konstruksjonen.

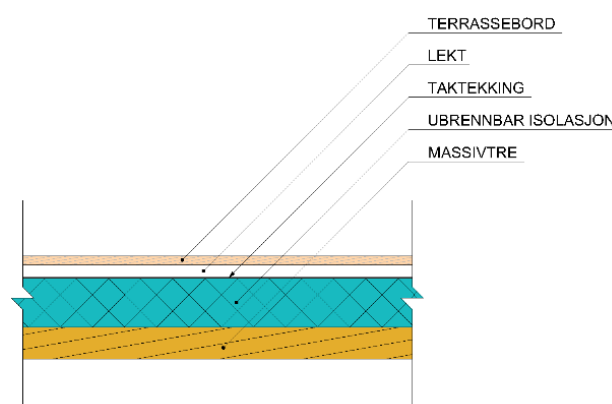
Som hovedregel skal isolasjonsmaterialet i takkonstruksjonen være ubrennbart (28). Brennbar isolasjon kan benyttes dersom man har ubrennbart underlag eller følger andre retningslinjer for det. For kataloghuset Dråpen Moderne prosjektert i

massivtre er det valgt å benytte ubrennbar isolasjon over hele takflaten. Siden takarealet er så lite er det vurdert at det ikke vil lønne seg å benytte brennbar isolasjon på de små arealene der det er mulig.

Kataloghuset har en takterrasse over en liten del av første etasje. For taket over andre etasje er det ikke tiltenkt ferdsel og det vil derfor egne seg best med et rettvendt kompakt tak. Takterrassen er ment for lett trafikk som krever at det legges inn et beskyttelsessjikt og et slitelag slik at det ikke går hull på takbelegget. Figur 5-1 og Figur 5-2 viser en prinsippskisse for de valgte takkonstruksjonene.



Figur 5-1: Prinsippskisse for oppbygging av tak utarbeidet av prosjektgruppen



Figur 5-2: Prinsippskisse for oppbygging av takterrasse utarbeidet av prosjektgruppen

5.3 Fundamentering

For hus uten kjeller er det som nevnt tre fundamenteringsmetoder; plate på mark, ringmur med kryperom og åpen fundamentering. Det er valgt å legge fokus på å ha en fuktsikker og mest mulig energieffektiv konstruksjon og derfor er Plate på mark valgt.

Som fundamentering under ytterveggen vil det være nødvendig å velge en løsning som passer for en todelt yttervegg. Under punkt 4.1.3 er det beskrevet tre løsninger som egner seg til dette; todelt fundamentering, Jackon Ringmurselement RU og enkel ringmur i tillegg til forsterkning under plate på mark. Det ble valgt å gå for todelt fundamentering. Ringmursisolasjonen mellom platen på mark og ringmuren vil redusere kuldebrobidraget som oppstår mellom

komponentene. Løsningen vurderes av den grunn som bedre enn de to andre forslagene. Kuldebroverdien reduseres og konstruksjonen vil ikke oppleves like gulvkald.

Det ble også valgt å produsere detaljtegninger for løsningen med Jackon ringmurselement. Grunnen til det er at den todelte ringmuren prosjektert i rapporten ikke er på markedet. Det er en litt mer innovativ løsning med potensiale for utvikling i bransjen. Jackon-elementet vil ha en dårligere kuldebroverdi sammenlignet den todelte ringmuren (33)(47). For Jackon ringmurselementet kan det være mulig å se på en løsning som bryter kuldebroen mellom platen på mark og bunnsvillen.

Løsningen med enkel ringmur og forsterkning under plate på mark er fordelaktig da det kan støpes enkel ringmur i den dimensjonen det er behov for. I vurdering av kuldebroer kan det være en utfordring at den indre ringmuren og platen på mark er støpt i ett. Det kan gir økt kuldebroverdi da det ikke er et isolerende sjikt mellom komponentene. Todelt ringmur er derfor valgt til fordel for denne.

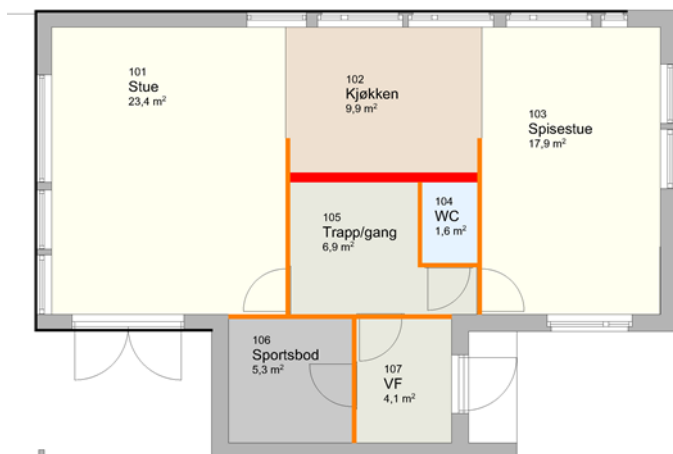
5.4 Etasjeskiller

Både etasjeskiller av krysslagte og kantstilte massivtreelementer egner seg i kataloghuset Dråpen Moderne prosjektert i massivtre. Samvirkeelementer er det valgt å se bort fra siden massivtredekker har en høy stivhet med tanke på nedbøyning. Det er derfor lagt vekt på tilgjengelighet. Norgeshus samarbeider med massivtreprodusenten Splitkon. Etter en samtale med Splitkon kom det frem at de i hovedsak produserer krysslagte massivtredekker. Det er derfor valgt å benytte disse i Dråpen Moderne prosjektert i massivtre.

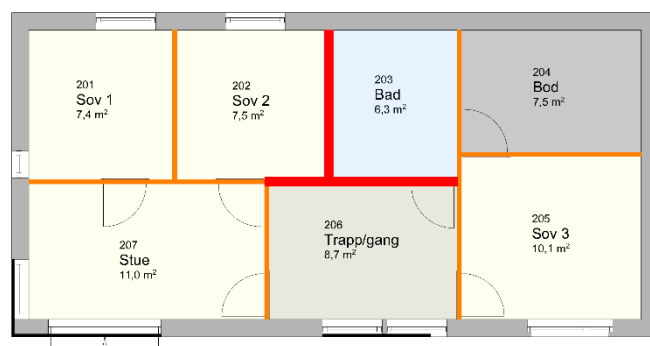
Det er valgt å benytte et massivtreelement med en tykkelse på 220 mm. Nødvendig tykkelse er funnet ut ifra tabell 42 i byggforskblad 522.891 (34). Tradisjonelt støpes det 30-50 mm påstøp på baderom (46). For Dråpen Moderne prosjektert i massivtre er det valgt å gå for 50 mm. Påstøpet er med på å sikre fall, varmekabler og fuktsikring i våtrom. Det vil derfor bli benyttet et massivtredekke på 170 mm på badet i 2. etasje.

5.5 Innervegg

Det er ønskelig å benytte massivtre i så stor grad som mulig. Brorparten av innerveggene består derfor av rent massivtre. Men for å sikre føringsveier til vann og ventilasjon har det blitt benyttet bindingsverksvegger mellom gang/kjøkken i første etasje samt mellom gang/bad og bad/Sov 2 i andre etasje. Se Figur 5-3 og Figur 5-4 hvor rød er bindingsverksvegger og oransje er massivtrevegger.



Figur 5-3: Oversiktsbilde av innervegger i 1.etg
illustrert av prosjektgruppen



Figur 5-4: Oversiktsbilde av innervegger i 2.etg
illustrert av prosjektgruppen

Massivtreveggene har en dimensjon på 80 mm og er eksponert. Det vil si at de ikke er kledd med gips eller panel. Bindingsverksveggene som skal sikre ledningsføring er 148 mm og er i hovedsak kledd med gips.

Overgangen mellom de to veggtypene må planlegges slik at tilslutningene blir pent gjennomført. I tillegg burde alle hull for ledningsføring i massivtreveggene freses ut på forhånd. Det er også mulig å utføre dette på byggeplassen, men det er noe mer tidkrevende.

5.6 TEK-sjekk

Valgene gjort i denne rapporten er basert på å innfri minimumskravene i TEK17. Om noen år kan det bli enda strengere energikrav og det kan derfor være ønskelig å redusere netto energibehov ytterligere. Ved å isolere mer i noen av bygningskomponentene oppnår man et lavere netto energibehov. Det er mulig å redusere U-verdien til ytterveggen ved å benytte 200 mm isolasjon istedenfor 150 mm. Et 100 mm isolasjonssjikt vil redusere kuldebroer ytterligere samt redusere U-verdien. Justeringen vil også gjøre netto energibehov lavere.

For småhus er det også mulig å benytte energiltaksmetoden. Figur 5-5 viser at hvis man skulle ha benyttet denne metoden ville ikke Dråpen Moderne prosjektert i massivtre vært TEK17-godkjent. U-verdien og infiltrasjonen er for høy sammenlignet med kravene for energiltaksmetoden gitt i TEK17. Det kunne da vært relevant å se på løsningen om å benytte 200 mm isolasjon i ytterveggen. U-verdien reduseres da til $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$, som tilfredsstillere energiltakskravet i TEK17. Det må fortsatt tas hensyn til at infiltrasjonen og at U-verdien til vinduer/dører er for høy. Det er mulig å benytte vinduer med bedre U-verdi eller redusere antall vinduer for å komme under kravet. Infiltrasjonen er avhengig av lufttettheten og reduseres ved å ha et mest mulig kontinuerlig tettesjikt. Ved å benytte 200 mm isolasjon vil netto energibehov reduseres til $108 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{år})$ (vedlegg D-5).

VARMETAPSBUDSJETT

Varmetapspost	Netto areal m^2	U-verdi [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]			Varmetap [$(\text{W}/\text{K})/\text{m}^2$]	
		Denne bygning	TEK17 §14-2(2) energiltak	TEK17 §14-3(1a) minstekrav	Denne bygning	TEK17 §14-2(2) krav
Vegger	140,5	0,203	0,18	0,22	0,216	0,216
Tak	64,7	0,110	0,13	0,18	0,054	0,064
Gulv	75,2	0,087	0,10	0,18	0,049	0,057
Vinduer & dører	50,7	0,900	0,80	1,20	0,346	0,200
Kuldebro	132,0	$\psi^* = 0,03$	$\psi^* = 0,05$	-	0,030	0,050
Infiltrasjon	-	$n_{50} = 1$	$n_{50} = 0,6$	$n_{50} = 1,5$	0,052	0,031
Ventilasjon	-	$\eta_{\text{f}} \approx 79,9\%$	$\eta_{\text{f}} = 80\%$	-	0,079	0,079
Bygningens varmetapstall, H'' [$(\text{W}/\text{K})/\text{m}^2$]:					0,830	0,700
					-	-

Figur 5-5: Varmetapsbudsjett ved bruk av plateisolasjon

Flere av verdiene lagt inn i kategori *2.Bygningen* er antatt og har med seg noe usikkerhet. For en mer nøyaktig beregning må normalisert kuldebroverdi, lekkasjetall og varmekapasitet regnes ut for den spesifikke bygningen. Ved omprosjektering av Dråpen Moderne til massivtre er det forsøkt å ha et mest mulig kontinuerlig tettesjikt. Det kan derfor være nærliggende å tro at verdien for lekkasjetallet er mindre enn den som er benyttet i TEK-sjekk. Kravet til lufttetthet kan derfor være oppfylt.

I vurderingen om å benytte blåseisolasjon beregnes netto energibehov til å være utenfor kravene i TEK17. Det er derfor valgt å ikke benytte løsningen med blåseisolasjon istedenfor plateisolasjon. Det vil være mulig å kompensere ved å isolere mer i taket eller øke isolasjonsmengden i andre bygningskomponenter for å tilfredsstille netto energibehov. Det er sett på muligheten for å benytte mer isolasjon i taket og beholde 150 mm isolasjon i ytterveggen. Det er beregnet ved en U-verdi på 0,09 W/m²K i taket vil gi et netto energibehov på 112 kWh/m²år (vedlegg D-6). For å oppnå denne U-verdien er det et behov for totalt 350 mm isolasjon, som er 100 mm mer enn med plateisolasjon i ytterveggen (vedlegg D-1).

Blåseisolasjon er noe billigere enn plateisolasjon og er effektivt på byggeplass. Det vil derfor være relevant å vurdere muligheten til å benytte blåseisolasjon. Det er likevel valgt å benytte plateisolasjon til fordel for blåseisolasjon i rapporten siden plateisolasjon gir en lavere U-verdi og et mindre netto energibehov.

6 Forskning og utvikling

Massivtre er et relativt nytt materiale med stort rom for utvikling. De siste årene har massivtre blir mer populært og videreutvikling av materialet vil derfor være svært ønskelig.

I rapporten har fukt- og varmetransport blitt vektlagt. Det dukket opp utfordringer i innhenting av standardiserte verdier og preaksepterte løsninger. I likhet med bindingsverk kan det utvikles et kuldebroatlas for massivtre. Det vil gjøre det lettere å beregne normalisert kuldebroverdi for massivtre i fremtiden. Utvikling av preaksepterte løsninger vil gjøre det enklere for markedet å prosjektere i massivtre.

Når det benyttes massivtre er det flere ytterveggsløsninger som er aktuelle. Med ulik veggoppbygning og bæring vil det være naturlig å løse fundamentet på ulike måter. Valg av fundamentering i rapporten er ikke fullstendig utviklet. Det er en løsning som er svært aktuell med tanke på å bryte kuldebroer. Todelt ytterveggsløsning kan også benyttes med dobbelt stenderverk. Utvikling av denne fundamentløsningen og å forske på hvor mye kuldebroverdien reduseres kunne ha vært spennende.

Per i dag kan det være utfordrende å finne priser på utførelse og materialer i massivtre. Med mer erfaring og forskning på massivtre kan aktuelle priser legges inn i Norsk Prisbok på lik linje med priser for bindingsverk. Dette vil gjøre det lettere for prosjekterende å benytte massivtre. Spesielt for eneboliger vil det være relevant å se på om man i fremtiden kan komme opp med løsninger som gjør at massivtre og bindingsverk kan bli likestilt på pris.

Det hevdes at bokkvaliteten i et massivtrehus er bedre enn i et hus i bindingsverk. I dag er det lite forskning som tilsier dette. Det kunne vært interessant å forske mer på og finne tall som støtter opp under påstanden. Hadde det blitt bevist bedre bokkvalitet kunne det blitt brukt i markedsføring og er gjerne noe kunden er villig til å betale litt mer for.

7 Konklusjon

Hovedformålet med rapporten var å omprosjektere en enebolig fra bindingsverk til massivtre på en energieffektiv måte. Det skulle legges vekt på bygningsfysikk, hovedsakelig energieffektivitet, luft-, varme- og fukttransport.

Det kan konkluderes med at omprosjekteringen av boligen er tilfredsstillende da det oppfyller gjeldene energikrav i TEK17. Ut ifra de forutsetningene og avgrensingene som ble gjort er eneboligen prosjektert i massivtre utført på en fuktsikker måte. Antallet kuldebroer er forsøkt redusert til et minimum. Resultatet fra energiberegningen viser at valgt løsning kan konkurrere med Dråpen Moderne prosjektert i bindingsverk.

I rapporten er det presentert flere løsninger for de ulike bygningskomponentene. I vurdering av løsningene har det blitt valgt en løsning for hver av komponentene. De andre løsningene har også potensiale til å bli brukt i prosjektering av andre eneboliger i massivtre.

Når det gjelder bokvalitet finnes det foreløpig ingen konkrete tall som støtter opp under påstanden om at massivtre gir bedre bokvalitet sammenlignet med bindingsverk. Hvis man ser på miljøaspektet kommer massivtre og bindingsverk ganske likt ut.

Totalprisen for Dråpen Moderne prosjektert i massivtre kommer noe dyrere ut enn Dråpen Moderne prosjektert i bindingsverk. Det er en faktor som kan ha betydning for om kjøper velger massivtre framfor bindingsverk.

Massivtre har et stort potensiale også i eneboligmarkedet. Det kan konkurrere med bindingsverk på flere områder, men det kreves nok videre utvikling før massivtre blir likestilt med bindingsverk i eneboligbransjen.

Litteraturliste

1. Splitkon AS. Historien om Splitkon [cited 2021 26.02]. Available from: <https://splitkon.no/om-oss/historien-om-splitkon/>.
2. Norgeshus. Om Norgeshus Norgeshus.no: Norgeshus; 2021 [cited 2021 24.04]. Available from: <https://norgeshus.no/no/om+norgeshus>.
3. Norgeshus. Dråpen Moderne Norgeshus.no: Norgeshus; 2021 [cited 2021 25.04]. Available from: <https://norgeshus.no/no/bygge+hus/funkishus/drapen+moderne.html>.
4. Institutt NT. Bygge med massivtreelemnter (Hefte 1-Generelt) treteknisk.no: treteknisk; 2006 [cited 2021 10.03]. Available from: <http://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/teknisk-handbok/Hefte-1-Generelt.pdf>.
5. Elvebakk K, Gullbrekken L. 523.255 Yttervegger av bindingsverk. Varmeisolering og tetting Byggforsk.no: Sintef; 2020 [cited 2020]. Available from: https://www.byggforsk.no/dokument/361/yttervegger_av_bindingsverk_varmeisolering_og_tetting#.
6. NOU: 2017. Markedet for massivtre er i sterk vekst. Norge: Regjeringen; 2017.
7. Aarstad J, Glasø G. Massivtre. TreFokus.no: Trefokus; 2011. Report No.: 20.
8. Direktoratet for byggkvalitet. Byggteknisk forskrift (TEK17) [Forskrift]. Dibik.no2016 [cited 2021 15.03]. Available from: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/14/14-3/>.
9. Klinski M. 473.102 Energikrav til bygninger. Energirammer [Nettside]. Byggforsk.no: SINTEF; 2016 [updated 30.06.2016; cited 2021 15.03]. Available from: https://www.byggforsk.no/dokument/5164/energikrav_til_bygninger_energirammer#i2.
10. Bøhlerengen T. 421.132 Fukt i bygninger. Teorigrunnlag Byggforsk.no: SINTEF; 2018 [cited 2018]. Available from: https://www.byggforsk.no/dokument/184/fukt_i_bygninger_teorigrunnlag?gclid=Cj0KCQiAyoeCBhCTARIsAOfpKxhkGynnUIug7n3BVSoLysIPBn3-DOCSIGkrVLYm318bCVUct71IhyAaAuioEALw_wcB.
11. Gustavsen A. Fuktmekanikk Bygningsfysikk.no: bygnings- og materialteknikk NTNU; 2019 [updated 09.11.2021; cited 2021 08.03]. Available from: <http://www.bygningsfysikk.no/Fuktmekanikk.php>.
12. Uvsløkk S. 471.008 Beregning av U-verdi etter NS-EN ISO 6946 Byggforsk.no: SINTEF; 2018 [updated 2018; cited 2021 06.03]. Available from:

https://www.byggforsk.no/dokument/208/beregning_av_u-verdier_etter_ns-en_iso_6946.

13. Omestad M. Prinsipper for termografiske målinger. regjeringen.no; 2011. Report No.: 100571-1.

14. Bunkholt NS. 471.010 Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningsmaterialer [nettside]. byggforsk.no: SINTEF; 2020 [updated 30.09.2020; cited 2021 05.03]. Available from: https://www.byggforsk.no/dokument/209/varmekonduktivitet_og_varmemotstand_for_bygningsmaterialer.

15. Sintef. 472.001 Kuldebroer. Typer, konsekvenser og bruk av normalisert kuldebroverdi Byggforsk: SINTEF; 2019 [updated 31.10.2019; cited 2021 09.03]. Available from: https://www.byggforsk.no/dokument/5206/kuldebroer_typer_konsekvenser_og_bruk_av_normalisert_kuldebroverdi.

16. Gustavsen A. 471.015 Kuldebroer. Konsekvenser og dokumentasjon av energibehov. sintef.no/byggforsk; 2008.

17. Gustavsen A, Thue JV, Blom P, Arvid Dalehaug, Aurlien T, Grynning S, et al. Kuldebroer – Beregning, kuldebroverdier og innvirkning på

energibruk. Sintef.no: SINTEF; 2008.

18. AS S. FDV MASSIVTRE/KL-TRE. splitkon.no.

19. Two-Dimensional Building Heat-Transfer Modeling windows.lbl.gov: U.S. Department of Energy; 2019 [cited 2021 15.03]. Available from: <https://windows.lbl.gov/software/therm>.

20. Berge B. Isolasjonsmaterialer A - Å byggogbevar.no: Bygg og Bevar; 2020 [updated 09.09.20; cited 09.03 21]. Available from: <https://www.byggogbevar.no/enok/artikler/isolasjonsmaterialer-a-%C3%A5>.

21. Sintef. 472.212 Bruksanvisning fo energiberegningsprogrammet TEK-sjekk Energi [Nettside]. byggforsk.no: SINTEF; 2016 [cited 2021 08.04]. Available from: https://www.byggforsk.no/dokument/4025/bruksanvisning_for_energiberegningsprogrammet_tek-sjekk_energi#i26.

22. Schild PG. 471.421: U-verdier. Vegger over terreng-massivtre [nettside]. byggforsk.no: SINTEF; 2013 [updated 31.12.2013; cited 2021 20.03]. Available from: https://www.byggforsk.no/dokument/4100/u-verdier_vegger_over_terreng_massivtre.

23. GLAVA. Blåseisolerig med Glava Isolasjon [nettside]. glava.no: GLAVA; 2021 [updated 2021; cited 2021 10.03.2021]. Available from: <https://www.glava.no/losninger/blaseisolering-med-glava>.

24. Institutt NT. ENTRE - Energieffektive trekonstruksjoner Treteknisk.no: Norsk Treteknisk Institutt; 2011 [cited 2021 20.04]. Available from: <http://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/rapporter/Rapport-84.pdf>.
25. TEWO. TEWO Veggelement: Tewo.no; 2021 [cited 2021 09.03]. Available from: <https://tewo.no/tewo-veggelement>.
26. TEWO. Egenskaper Tewo.no2020 [cited 2021 04.03]. Available from: <https://tewo.no/86/teknologi>.
27. Skogstad HB. Teknisk godkjenning. sintefcertification.no: SINTEF; 2014. Report No.: 2498.
28. Noreng K. 525.207 Kompakte tak [Nettside]. Byggforsk.no: SINTEF; 2018 [updated 2018; cited 2021 13.04]. Available from: https://www.byggforsk.no/dokument/387/525207_kompakte_tak.
29. Time B, Geving S, Friquin KL, grynning S, Noreng K, Sandland KM. Tak basert på massivtreelementer [Rapport]. Byggforsk: SINTEF; 2008 [cited 2021 14.04]. Available from: https://www.sintef.no/globalassets/upload/byggforsk/publikasjoner/sb_prrapp-30_net.pdf.
30. SINTEF. Unngå byggskader ved prosjektering av tak [nettside]. sintef.no: SINTEF; 2021 [updated 2021; cited 2021 25.03]. Available from: <https://www.sintef.no/community/fagblogg/poster/unnga-byggskader-ved-prosjektering-av-tak/?fbclid=IwAR0LjGn7BbosftsiBFb8BeuQx-KvDIDcDPT6BeFeUO7yn6vIaSOxkxYiV1k>.
31. Blom P. 521.011 Valg av fundamentering og konstruksjoner mot grunnen Byggforsk.no: SINTEF; 2005 [Available from: https://www.byggforsk.no/dokument/327/valg_av_fundamentering_og_konstruksjoner_mot_grunnen?qclid=Cj0KCQjwp86EBhD7ARIsAFkgakIjp2C-h-qiwx85hgZUqqn3hJQ7HoVN2JCd76_g-Fap9g5ot673UaAj3DEALw_wcB].
32. Institutt NT. Bygge med massivtreelementer (Hefte 2-Byggteknikk) treteknisk.no: treteknisk; 2006 [cited 2021 08.03.2021]. Available from: <http://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/teknisk-handbok/Hefte-2-Byggeteknikk.pdf>.
33. SAINT-GOBAIN. Leca Ringmur Leca.no2011 [cited 2021 20.04]. Available from: https://leca.no/sites/default/files/2016-09/Losninger/PDF/26386_Leca_Weber_Ringmur230311_2_.pdf.
34. Homb A. 522.891 Etasjeskillere i massivtre [Nettside]. Byggforsk.no: SINTEF; 2009 [updated 31.10.2009; cited 2021 08.03]. Available from: https://www.byggforsk.no/dokument/3367/etasjeskillere_i_massivtre?qclid=Cj0KCQjAs5eCBhCBARIsAEhk4r5onVGoAaH50CgK4qKP_LrH0Umrndt9OJYxI2BvQgWYlRBT7tsL9wgaArv_EALw_wcB#i821.
35. Norconsult. Norsk Prisbok [nettside]. norskprisbok.no: Norconsult; 2020 [cited 2021 07.04]. Available from: <https://www.norskprisbok.no/default.aspx>.

36. Gullbrekken L. Nye råd om bruk av konveksjonssperre. Byggeindustrien. 2016 2016.
37. Lechón Y, la Rúa Cd, Lechón JI. Environmental footprint and life cycle costing of a family house built on CLT structure. Analysis of hotspots and improvement measures. Journal of Building Engineering. 2021;39:102239.
38. Treindustrien.no. Treindustriens lille grønne [Rapport]. Treindustrien.no2009 [cited 2021 12.04]. Available from: <http://www.treindustrien.no/miljo>.
39. Wigenstad T, Nesje A. Massivtre konstruksjoner i boliger. sintef.no: SINTEF; 2005. Report No.: STF50 A05011.
40. Blom P, Christensen S, Karlsson N. 521.111 Gulv på grunnen med ringmur. Utførelse: SINTEF; 2012 [cited 2012. Available from: https://www.byggforsk.no/dokument/328/golv_paa_grunnen_med_ringmur_utfoerelse#i54.
41. Larsen HJ. 520.706 Sikring mot radon ved nybygging [nettside]. Byggforsk.no: SINTEF; 2018 [updated 2018; cited 2021 22.04]. Available from: https://www.byggforsk.no/dokument/326/sikring_mot_radon_ved_nybygging.
42. isolasjon J. RINGMUR TYPE RU [Nettside]. jackon.no: Jackon; 2021 [updated 2021; cited 2021 22.04]. Available from: <https://www.jackon.no/bygg/jackon-ringmur/ru/>.
43. Asphaug S. 523.701 Innsetting av vindu i vegger av bindingsverk [nettside]. Byggforsk.no: SINTEF; 2018 [updated 2018; cited 2021 14.04]. Available from: https://www.byggforsk.no/dokument/369/innsetting_av_vindu_i_vegger_av_bindingsverk.
44. Gullbrekken L, Skogstad HB, Uvsløkk S. Unngå byggskader: med riktig montering av vindu ved etterisolering og passivhus: SINTEF Byggforsk; 2011 [updated 31.12.2011; cited 2021 07.05]. Available from: <https://www.byggforsk.no/file/index/543>.
45. Ramstad T, Thommesen JE. 525.002: Takformer, taktyper og oppbygning [nettside]. byggforsk.no: SINTEF; 2018 [updated 28.02.2018; cited 2021 24.02.2021].
46. Elektroimportøren. Varmekabler innendørs [nettside]. elektroimportøren.no: Elektroimportøren; 2021 [updated 2021; cited 2021 03.03]. Available from: https://www.elektroimportoren.no/varmekabler-innendoers/varmekabler-innendørs/Document.html?fbclid=IwAR3aM3yd_nzyppVNQ-Dc2ZHI5Fqrt_NEIHuQhUHAH9o9TRcSGBv6LH2b-Ao.
47. Kolstad S.T. Teknisk godkjenning nr. 2144 Jackon ringmur. media.byggjenester.no; 2019 [Updated 28.06.2019; cited 2021 04.05]. Available from: <https://media.byggjeneste.no/media/TEKG/25557521>

Figurliste

Figur 1-1 Hytte i massivtre (1).....	1
Figur 1-2 Bindingsverk (5)	1
Figur 1-3: Fauna illustrert av Norgeshus (2).....	6
Figur 1-4: Dråpen Original illustrert av Norgeshus (2)	6
Figur 1-5: Bretten illustrert av Norgeshus (2).....	6
Figur 1-6: Haugli illustrert av Norgeshus(2)	6
Figur 1-7: Vika illustrert av Norgeshus (2).....	6
Figur 1-8: Dråpen Tradisjon illustrert av Norgeshus (2).....	6
Figur 1-9: Dråpen Moderne illustrert av Norgeshus (3).....	7
Figur 1-10: 1.etg - Dråpen Moderne illustrert av Norgeshus (3).....	7
Figur 1-11: 2.etg - Dråpen Moderne illustrert av Norgeshus (3).....	7
Figur 2-1 Luftfuktighetsdiagram (10)	11
Figur 2-2 Vanlige fuktkilder og transportformer (10).....	12
Figur 2-3: Endring i materialtykkelse illustrert av prosjektgruppen.....	16
Figur 2-4: Geometrisk kuldebro: Ytterveggshjørne illustrert av prosjektgruppen.	16
Figur 2-5: Gjennomtrenging av klimaskjerm illustrert av prosjektgruppen.....	16
Figur 2-6: Krysslågt massivtreelement (4)	17
Figur 2-7: Kantstilt massivtreelement (4)	17
Figur 2-8: Hulromselement i massivtre (4).....	17

Figur 4-1: Prinsippskisse for gjennomgående ytterveggløsning med påføring illustrert av prosjektgruppen.....	25
Figur 4-2: Prinsippskisse for gjennomgående ytterveggløsning med spesialskruer illustrert av prosjektgruppen.....	25
Figur 4-3: Prinsippskisse av todelt ytterveggløsning illustrert av prosjektgruppen	27
Figur 4-4: Prinsippskisse av hulromselement/TEWO-veggelement illustrert av prosjektgruppen	29
Figur 4-5: Prinsipp for oppbygging av kompakte tak (28)	31
Figur 4-6: Prinsippskisse flatt rettventd kompakt tak illustrert av prosjektgruppen	31
Figur 4-7 Prinsippskisse for skrått luftet tak i massivtre	32
Figur 4-8: Prinsippskisse for todelt fundament illustrert av prosjektgruppen	34
Figur 4-9: Prinsippskisse for enkel ringmur med støtte under plate på mark illustrert av prosjektgruppen.....	35
Figur 4-10: Prinsippskisse av Jackon Ringmur RU illustrert av prosjektgruppen ...	36
Figur 4-11: Ventilasjon 1.etg illustrert av prosjektgruppen	40
Figur 4-12: Ventilasjon 2. etasje illustrert av prosjektgruppen.....	42
Figur 4-13: Detaljsskisse av overgang yttervegg / fundament med Jackon-element utarbeidet av prosjektgruppen	53
Figur 4-14: Detaljsskisse av overgang yttervegg / todelt fundament utarbeidet av prosjektgruppen	54
Figur 4-15: Detaljsskisse av overgang yttervegg / etasjeskiller utarbeidet av prosjektgruppen	55
Figur 4-16: Detaljsskisse av overgang yttervegg / tak utarbeidet av prosjektgruppen	57

Figur 4-17: Detaljeskisse av vindu som flukter med vindspærren utarbeidet av prosjektgruppen	58
Figur 4-18: Detaljeskisse av inntrukket vindu utarbeidet av prosjektgruppen.....	59
Figur 5-1: Prinsippskisse for oppbygging av tak utarbeidet av prosjektgruppen ..	66
Figur 5-2: Prinsippskisse for oppbygging av takterrasse utarbeidet av prosjektgruppen	66
Figur 5-3: Oversiktsbilde av innervegger i 1.etg illustrert av prosjektgruppen	68
Figur 5-4: Oversiktsbilde av innervegger i 2.etg illustrert av prosjektgruppen	68
Figur 5-5: Varmetapsbudsjett ved bruk av plateisolasjon.....	69

Tabelliste

Tabell 1-1: Relevante verdier for Dråpen Moderne prosjektert i bindingsverk.....	8
Tabell 2-1: Minimumskrav etter TEK17.....	10
Tabell 3-1: Inngangsverdier benyttet under analyse i THERM.....	21
Tabell 3-2: Verdier benyttet i TEK-sjekk, 2.Bygningen	23
Tabell 4-1: Pris for de fire ytterveggsløsningene med plateisolasjon og blåseisolasjon.....	38
Tabell 4-2: Valgt løsning for Dråpen Moderne prosjektert i massivtre	39
Tabell 4-3: Resultater fra THERM.....	43
Tabell 4-4: Resultater fra TEK-sjekk med plateisolasjon	44
Tabell 4-5: Resultater fra TEK-sjekk med blåseisolasjon.....	45
Tabell 4-6: Isolasjonstykkelse, veggtykkelse og U-verdi for ulike ytterveggsløsninger.....	47
Tabell 4-7: Isolasjons- og total tykkelse samt U-verdi for Dråpen Moderne prosjektert i massivtre og bindingsverk	48
Tabell 4-8: Isolasjonstykkelse for ulike bygningskomponentene for Dråpen Moderne.....	49
Tabell 4-9: Estimert pris for ytterveggsløsninger.....	50
Tabell 5-1: Plateisolasjon - Isolasjonstykkelse, veggtykkelse og U-verdi for yttervegger i massivtre.....	61
Tabell 5-2: Blåseisolasjon - Isolasjonstykkelse, veggtykkelse og U-verdi for yttervegger i massivtre.....	62
Tabell 5-3: Resultat fra prisoverslag for ulike ytterveggsløsninger i massivtre....	63

Vedleggsliste

Vedlegg A: Plakat

Vedlegg B: Artikkel

Vedlegg C: Tegninger

Vedlegg D: Beregninger

Vedlegg E: Intervju og målinger

Vedlegg F: Dokumentasjon