



DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

BACHELOROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering:

Vårsemesteret, 2022

Bygg og konstruksjonsteknikk

Åpen

Forfattere:

Birk Swensen
Christoffer T. Wittenberg
Malvin Varpe

Birk Swensen
.....
Christoffer Wittenberg
.....
Malvin Varpe
.....

Fagansvarlig:

Mudiyan Nirosha Damayanthi Adasooriya

Veileder:

Mudiyan Nirosha Damayanthi Adasooriya

Tittel på bacheloroppgaven: CLT forbindelse i høybygg

Engelsk tittel: CLT connections in high rise buildings

Studiepoeng: 20

Emneord:

BYGBAC

Sidetall: 56

Stavanger, mai 2022

Sammendrag

Styrken i CLT er lavere vinkelrett på fibrene i treet, noe som gjør forbindelser sårbare for høye påkjenninger i denne retningen. I større bygninger laget av det nevnte materialet, må vi være forsiktige med utformingen av vegg-gulv-vegg-forbindelser der disse kreftene er store nok til å overgå denne kapasiteten.

Vår gruppe har gjennom tilgjengelig informasjon om emnet skapt et design som bruker treets naturlige egenskaper til vår fordel. I tillegg til dette undersøker vi hvilke innflytelser som er betydelige, og alle faktorene som bidrar til å skape den mest praktiske løsningen. Dette gir oss den oppnådde forbindelsen.

Kapasitetstester, strukturanalyse og annen relevant forskning gir oss nok informasjon til å bekrefte at designet er bedre enn andre alternativer. Til tross for at vi ikke beregner vindkreftene og seismiske handlinger på strukturen, bruker vi sunn fornuft og teknisk bakgrunn til å nå denne konklusjonen.

Abstract

The fibers in CLT have lower strength perpendicular to the grain, which makes connections vulnerable to high stresses in this direction. In larger buildings made of the material mentioned, we must be careful in design of wall-floor-wall connections where these forces are large enough to cover the capacity of this strength.

Our group have through available information about the subject created a design that use the natural properties of the wood in our advantage. As well as this we contemplate about what makes a great joint, and all the factors contributing to create the most practical one. This gives us the achieved connection.

Capacity tests, structure analysis and other relevant research provide us with enough information to confirm that the design is superior to other alternatives. Despite the fact that we do not calculate the wind forces and seismic actions on the structure, we use common sense and engineering reason to reach this conclusion.

Forord

Denne bacheloroppgaven er vårt avsluttende arbeid på studiet innenfor byggingeniør ved Universitetet i Stavanger. I løpet av våre 3 år på Universitetet har alle tre fordypet oss innenfor retningen konstruksjonsteknikk. Oppgaven omfatter 20 studiepoeng og er skrevet våsemesteret 2022.

Vi valgte problemstilling fra utvalget som ble lagt fram av UiS. Blant problemstillingene var det denne som vakte størst interesse hos samtlige. Dette grunner i at vi får brukt mye av kunnskapen vår på å løse en slik problemstilling. Det er også et dagsaktuelt tema, som fører med seg mer engasjement.

Vi ønsker å takke veilederen vår Mudiyan Nirosha Damayanthi Adasooriya som har hjulpet oss underveis og vært der når vi trengte det.

Stavanger, mai 2022

Birk Swensen *Christoffer Wittenberg*

Birk Swensen

Christoffer T. Wittenberg

Malvin Varpe

Malvin Varpe

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	1
1.1	Bakgrunn.....	1
1.2	Problemstilling.....	1
1.3	Historisk utvikling	1
1.4	Omfang og avgrensninger.....	2
2	Teori.....	3
2.1	CLT.....	3
2.1.1	Produksjon	3
2.1.2	Egenskaper.....	6
2.1.3	Miljø.....	7
2.1.4	Økonomi	7
2.2	Dimensjonering.....	8
2.2.1	Design prinsipper	8
2.2.2	Utfordringene ved å bygge høyt	9
2.3	Forbindelser	9
2.3.1	Styrken i forbindelsen.....	9
2.3.2	Andre viktige faktorer ved bygging.....	10
2.3.3	Hva som blir brukt i overganger	12
2.4	Stål	12
2.4.1	Fremstilling.....	13
2.4.2	Egenskaper.....	13
2.4.3	Varmvalset stål.....	13
2.4.4	Miljø.....	14
3	Metode.....	15
3.1	Prosjektbeskrivelse	15
3.2	Tradisjonelle metoder	16
3.2.1	Skruer.....	17
3.2.2	Vinkeljern	17
3.2.3	Skjult metallplate	18
3.2.4	Vinkel i stål uten kompresjon normalt.....	18
3.3	Utvikling av design.....	19

3.3.1	Versjon 1.0.....	20
3.3.2	Versjon 2.0.....	21
3.3.3	Versjon 3.0.....	22
3.3.4	Versjon 3.1.....	23
3.4	De ulike variantene	24
3.4.1	Yttervegg.....	24
3.4.2	Innervegg	24
3.5	Laster.....	25
3.5.1	Egenlast.....	25
3.5.2	Nyttelast	25
3.5.3	Andre laster.....	26
4	Utrekninger og resultater	27
4.1	Lastpåkjenninger.....	27
4.1.1	Egenlast og nyttelast	27
4.2	Nedbøying i elementet	29
4.3	Beregning av oppleggsflate.....	30
4.4	Beregning av skruer hull	32
4.5	Kapasitet	34
4.6	Kompresjonsmotstand vinkelrett på fiberretningen.....	35
4.7	Kompresjonsmotstand parallelt med fiberretningen.....	36
4.8	Estimat av antall etasjer	37
4.9	Konstruksjonsprosessen.....	38
4.10	Pris	38
5	Drøfting	40
6	Konklusjon.....	42
7	Videre forskning	43
8	Referanser.....	Feil! Bokmerke er ikke definert.
9	Tabell-liste.....	46
10	Figur-liste.....	47
12	Vedlegg.....	Feil! Bokmerke er ikke definert.

1 Innledning

I denne delen vil bakgrunnen av prosjektet bli presentert samt litt generell informasjon og historikk bak CLT. Det vil også bli lagt frem kort om fordelene og ulempene ved å velge CLT i den globale sammenheng.

1.1 Bakgrunn

I dagens samfunn står klimadebatten sentralt, hvor nye løsninger skal gjøres så miljøvennlig og bærekraftig som mulig. Dårligere tilgang på mat og vann, konflikter, flyktninger og helseproblemer er noen av konsekvensene som oppstår av det økte utslippet av drivhusgasser.[1] Ved erstatning av betong og stål med tre, eller CLT i vårt tilfelle, vil dette senke mengden med klimagasser som blir sluppet ut. Dette gjør at vi kommer nærmere målene om en mer klimavennlig klode.

På byggeplasser i dag, hvor det brukes betong og stål, bruker en ofte mye tid på rigg og forarbeid. I motsetning til CLT, har ikke disse materialene like gode muligheter til å bli prefabrikkert. Dette gjør at tiden på byggeplassen går fortere for CLT, som kan føre til lavere kostnader, men også at prosjekter blir ferdigstilt fortere.

Som byggemateriale viser CLT en relativt lik styrke som betong. Andre egenskaper viser seg også å være gode, som brannsikkerhet, styrke under varme osv. Dette gjør at det er et fullverdig alternativ til byggematerialer som stål og betong, og samtidig mer miljøvennlig og raskere å lage. [2]

Siden CLT er et så godt alternativ, men ikke har blitt brukt så mye enda, er det ikke alt som er optimalisert. Ofte er det forbindelsene i bygg som vil være den limiterende faktoren, når bygg ikke har nok styrke, og det er derfor nødvendig å se på dette. [3]

1.2 Problemstilling

Denne rapportens problemstilling er helt konkret hvordan man kan optimalisere forbindelser i høybygg av massivtre (CLT). Tre er svakere mot høyt trykk vinkelrett på fiberretningen, som blir et problem for eksempel der man legger etasjeskiller mellom to vegger. Det er dette vi skal ta utgangspunkt i og se nærmere på.

1.3 Historisk utvikling

Massivtre (CLT) er ett relativt nytt byggemateriale som stadig får økt popularitet her i Norge og resten av verden. Det ble først brukt som bærende konstruksjon i Østerrike og Tyskland tidlig på 90-tallet. Så var det en Østerisk forsker ved navn Gerhard Schickhofer som la fram en doktorgrad om CLT i 1994, som satte det i søkelyset. I USA ble CLT et godkjent alternativ innenfor kode så sent som i 2015, men etter dette har bruken mangedoblet seg. I 2021 kom det nye reguleringer som gjorde det mulig å bygge enda høyere. Forholdvis økte tillat antall etasjer fra 6 til 18 etasjer, med krav om at alle innvendige vegger blir dekket med gipsplater for brannsikkerhet. [3]

Det aller første massivtrebygget av moderne art i Norge, ble bygd på Svartlamoen i Trondheim i 2005. [4] Dette er ikke mer enn 17 år siden, som viser hvor fort teknologien har utviklet seg. I april 2017 startet konstruksjonen av da verdens høyeste trehus, her i Norge, nærmere bestemt Mjøstårnet i Brumunddal. Det sto ferdig to år senere i 2019 og har nå blitt ett kjent landemerke. Tårnet består for det meste av massivtre og limtre med råvarer fra skogen bare noen kilometer unna. Det holder enda tittelen som verdens høyeste trehus, men blir trolig slått av Rocket&Tigerli bygningen i Sveits, som etter planen skal stå ferdig i 2026. Mjøstårnet er ikke utelukkende bygget av tre, fundamentet og et par av de øverste etasjene er i betong. Fundamentet er på grunn av styrke, mens etasjeskillene er mest på grunn av vekt. Uten disse ville bygget svaiet for mye i sterk vind. [5]

1.4 Omfang og avgrensninger

I denne oppgaven skal vi bruke informasjon og forskning som allerede er gjort på dette temaet, til å designe en forbindelse som er optimalisert for høye og store bygg. Dette gjør at det er andres oppfattelser og litterære verk som blir brukt, og vi må stole på at dette er riktig.

CLT er et ganske nytt konsept og dette merkes på forskning som ligger tilgjengelig. Det er langt ifra like mye om dette på nettet enn som for eksempel stål, noe som gjør at vi har en begrenset mengde informasjon å skrive ut fra.

Det er i tillegg til dette store mangler på retningslinjer i Eurocode 5, som ble gitt ut i 1995. Denne tar også kun for seg vanlig limtre, og ikke CLT som et eget materiale, det er derfor ikke alltid noen gode steder å finne begrensninger vi skal følge.

Av testing og eksperimenter er det ikke mye som vi kan gjøre, i og med at det kreves mye materialer og maskiner til å utføre gode eksperimenter som gir oss et svar som er mulig å basere seg på. Selv om vi har en velutstyrt lab tilgjengelig ved UiS, ville produksjon av en slik stålforbindelse vært veldig kostbar å lage en prototype av. Statistisk sett vil det heller ikke gi oss noe verdifull data om vi gjør forsøk en gang på en forbindelse.

Vi har valgt å se bort ifra noen ytre påkjenninger som vind og jordskjelvkrefter. Dette er fordi disse utregningene er svært omfattende og tidkrevende. Vi har hatt begrenset med tid og har derfor valgt å regne ut krefter som virker direkte på forbindelsen vår og om denne i teorien vil tåle kreftene som blir påført i en konstruksjon.

Opgaven vi har fått tar heller ikke for seg det å bygge en blokk, og vi skal ikke legge ned mye tid på dette. Det er ikke tilgjengelig planer for så store bygg vi trenger å se på, og vi må derfor lage et selv med en begrenset mengde med tid. Da blir ikke dette et bygg som vi sjekker opp nødvendige kalkulasjoner på, men heller en pekepinn på hvordan det kan bli.

2 Teori

2.1 CLT

Massivtre, cross laminated timber (CLT), er fellesbetegnelsen for en rekke bærende komponenter der planker er satt sammen i lag (lameller) som så blir limt sammen på tvers av hverandre. Vegger, gulv og tak kan alle produseres på samme måte og fordelene er mange. Ved å legge lameller med fiberretningen normalt på hverandre, får man et produkt som tåler mer og vil bli mindre påvirket av hygroskopiske faktorer, som luftfuktighet og temperatur. Et tverrsnitt av et CLT-panel har minst tre lag med lameller som er limt sammen på tvers av hverandre. I enkelte tilfeller kan to lag bli limt sammen samme vei, slik at man får et dobbelt lag for å optimalisere kapasiteten. CLT paneler blir som oftest lagd med tre til syv lag med et oddetall antall lag, men kan også ha flere.

Tykkelsen til hver enkelt planke varierer veldig, men er som oftest mellom 16 mm og 51 mm, og vidden kan være alt fra 60 mm til 240 mm. Treet blir klassifisert gjennom en maskinstresstest og er ovnstørket. Lamellene fingerskjøtes med bruk av lim som oppfyller strenge krav til holdbarhet og styrke. [6]

2.1.1 Produksjon

I motsetning til råvareprodukter blir majoriteten av CLT-paneler produsert til en spesifikk struktur eller konstruksjon. Hvert panel har et spesifikt oppsett, størrelse, form, utseende og utskjæringer. Dette betyr at CLT-paneler kan dra full nytte av bygningsinformasjonsmodellering (BIM) prosess. Informasjon blir samlet inn og delt for byggeprosjekter etter metodikken og prinsippene for BIM-prosessen. Dette brukes til å produsere panelene og i tillegg gi informasjon tilbake, som for eksempel når panelene vil være tilgjengelig. En til fordel med BIM er at det tillater just-in-time produksjon av panelene i samkjøring med monteringen av bygningen. Dette minimerer varebeholdningen og sikrer at panelene blir produsert med senest gitt informasjon. [6]

Produksjonsprosessen til et CLT-panel består av mange steg som krever høy kvalitet og presisjon. Det starter med valg av tre og fuktighetsnivåverifikasjon. Etter nøye inspisering blir treet videre høvlet på alle fire sider, før det er klart for videre steg som er forklart senere.

Nøkkelen til en vellykket CLT produksjonsprosess handler om at trelastkvaliteten og kontrollen av parameterne som påvirker lim-kvaliteten holder et jevnt og høyt nivå.

2.1.1.1 Trelastutvalg

Trelasten blir sortert inn i to grupper basert på kvaliteten på treet som skal brukes til CLT-panelet. Disse to gruppene er konstruksjon og utseende. De ytterste lagene på et CLT-panel er de som blir sett og krever derfor litt andre visuelle standarder enn lagene i midten. I enkelte tilfeller kreves det også av produsent en viss visuell karakter og blir valgt av produsenten selv.

Limet som blir tilført krever at treoverflaten blir høvlet slik at den blir glatt, og dermed sikrer en sterk og holdbar bindingslinje. Dette betyr at selv om treet som blir levert allerede er høvlet på alle fire sider (s4s-tømmer), må høvles om igjen. Karakteren til treet kan endres, avhengig av hvor mye av treet som blir fjernet. Et ekstra steg hvor treet blir verifisert på nytt må derfor noen ganger legges til.

Fuktighetsnivået i treet er også en viktig faktor. Treet som blir levert til produsenten er ovnstørket til et fuktighetsnivå på rundt 19% eller mindre. Dette fuktighetsnivået er ikke ansett som egnet for CLT produksjonsprosessen, til tross for at enkelte limtyper fungerer bedre med høyere fuktighet. Det ønskelige fuktighetsnivået ligger på $12\% \pm 2\%$, i henhold til EN 12183-2. Dette er midt mellom hvor treet krymper og vokser av fuktighet og minimaliserer derfor utviklingen av stress inni treet, på grunn av krymping eller svelling mens treet absorberer eller desorberer vann. I tillegg er det anbefalt at treet som skal ligge inntil hverandre ikke har en større fuktighetsnivådifferanse enn 5%. For at treet skal oppnå ønsket fuktighetsnivå blir det pakket inn og lagret for å unngå å trekke til seg for mye fuktighet. Lagerhusene bør klare å opprettholde nødvendig fuktighetsnivå og temperatur på treet. For å oppnå det rette fuktighetsnivået, blir stablene med tre som er pakket inn åpnet opp igjen for å tillate treet luftsirkulasjon før det blir pakket inn på nytt for tørking. [6] [7]

2.1.1.2 Gruppering

Siden CLT-paneler må tåle mer i retningen der mest last blir påført, blir treet separert inn i to primære grupper. Lamellene som har fiberretningen sin parallelt med lasten må derfor tåle mest, og er en gruppe, mens det lamellene som tåler minst ligger med fiberretningen normalt på kraften. For lamellene som ligger parallelt med lasten blir det gjort en maskinstresstest, mens for lamellene som ligger vinkelrett med lasten blir kun visuelt gradert. [6]

2.1.1.3 Lim

Lim spiller en essensiell rolle når det kommer til massivtre, og har dermed strenge krav. Det er viktig at limet som benyttes må ha veldokumenterte egenskaper innenfor både styrke og belastning over lenger tid. Det blir klassifisert inn i to klasser, hvor klasse en er lim som kan brukes til konstruksjoner i flere klimaklasser, mens klasse to lim kan kun brukes i klimaklasse en og to. Kravene som bestemmer hvilken klasse limet ligger i finner man i EN 14080. [6]

Limet som brukes i dag kalles MUF lim som er en blanding av melamin, resorcinol og formaldehyde. Før ble det brukt et syntetisk to-komponentlim av typen PRF. Dette limet var av limtype 1 og var derfor godkjent til å bli brukt i de fleste klimaklasser. Grunnen til at MUF lim har erstattet PRF lim er fordi PRF lim etterlot en mørk rødbrun limfuge, noe som ikke er like pent som den lyse limfugen MUF lim etterlater. MUF lim er også godkjent for alle klimaklasser og er i tillegg penere og blir derfor foretrukket. [8]

I lim-påføringsprosessen vil trelagene bli lagt inn i et lufttett system hvor limet blir påført i parallelle linjer. Vanligvis vil en maskin bruke opptil ett minutt på å påføre lim på 60 meter plank. Selve prosessen bør starte kort tid etter treet har blitt høvlet. Dette er for å unngå flere

problemer som for eksempel at overflaten skal oksidere, aldning og at treet blir dimensjonalt ustabil. Limet burde også påføres kort tid etter høvling av positive grunner, det forbedrer fuktigheten til treet og bindings effektiviteten. I tillegg til dette må det også sørges for at overflaten til treet er helt rent, spesielt at det er fritt for lim-avvisende stoffer som olje og fett. Hvis lignende stoffer er funnet på treet under lim-påføringen vil det være svært skadelig for bindingskvaliteten til limet. Det er også viktig at limet blir påført innen en viss tidsfrist. Tar det for lang tid fra limet blir påført til prosessen er ferdig kan dette føre til at limet stivner før neste lag blir lagt på. Derfor er det viktig at massivtre-produsenten følger spesifikasjonene til lim-produsenten. [6]

2.1.1.4 Panel

Før panelet blir laget må man sørge for at plankene som blir brukt er lange nok. For å lage lange nok planker, fingerskjøtes flere planker sammen. Når limet i fingerskjøten har satt seg vil de to flate sidene høvles på nytt, og så bli sendt for å limes sammen til panel. Plankene som skal settes sammen til panel blir påført lim før de blir lagt inntil resten av plankene som skal lage panelet. Limet har en viss virketid, dette kommer helt an på temperaturen, fuktigheten der de blir limt sammen, men også på limet. De blir så presset sammen med enten vakuumpresser eller hydraulisk, for å sørge for at det ikke blir noe mellomrom mellom plankene og at overflaten blir så jevn som mulig. [2]

2.1.1.5 Pressing

Pressing er et kritisk steg i CLT produksjonen for å oppnå riktig binding mellom lamellene og god CLT kvalitet. Trykket som påføres sørger for en optimal binding mellom lamellene og sikrer at limet trekker godt inn mellom og i lamellene.

Som nevnt tidligere blir det brukt 2 typer presser i praksis; hydraulisk eller vakuumpresser. Fordelen med vakuumpresser er at de er enkle, lette og tar lite plass. Vakuumpresser produserer et trykk på maksimum 100 kPa, noe som i teorien er litt lite for å optimalisere bindingene mellom lamellene. Grunnen til at det brukes vakuumpresser er at siden trykket er såpass lite, vil presseprosessen ta lenger tid og dette tillater produsenten til å produsere en rekke forskjellige typer CLT-paneler. Det kan for eksempel brukes en form slik at det kan produseres bøyde CLT-paneler.

Hydrauliske presser derimot skaper et mye større trykk enn vakuumpresse og er i tillegg mye mer effektiv. Ulempen med hydrauliske presser er at den kun kan lage helt vanlige flate CLT-paneler. Men ved hjelp av det høye trykket som kan gå opp til 550 kPa, vil det bli en mye sterkere binding mellom lamellene og et mye sterkere CLT-panel enn det vil med vakuumpresse. [6] [9]

2.1.1.6 Overflatebehandling

Etter at CLT-panelene er ferdig presset er det kun et trinn igjen. Panelene blir først sendt gjennom en slipemaskin for å gjøre panelene så glatte og fine som mulig. Her skal det helst ikke fjernes mer enn 0,1 mm, men kan endres av byggeprosjektet hvis ønsket. Videre etter sliping blir panelene fraktet til en skjæremaskin. Denne maskinen er flerakset og skjærer ut åpninger

i panelet for dører, vinduer, skjøter og andre nødvendige deler. Maskinen kan også brukes til å frese panelet hvis dette er nødvendig for å oppnå en spesifikk tykkelse. Dette vil gå mye saktere enn med en slipemaskin, men det gjør at produsentene ikke trenger å bruke to maskiner. Utskjæringen utføres under strenge forhold og må være nøyaktig på millimeteren. [6]

2.1.2 Egenskaper

Strukturen til CLT, med sine lameller som er lagt vinkelrett på hverandre, fordeler avvikene i treverket og reduserer svikt i forbindelse med naturlige variasjoner i plankene. Styrken til et CLT-produkt bestemmes i stor grad av sammensetningen av tverrsnittet. Som med andre strukturelle komponenter i tre og andre materialer, er stivhet ofte en designverdi. I bruksfasen er sammensetningen av tverrsnittet en enda større faktor for hvilke resultater som kan oppnås. Grunnlaget for beregningene av de statiske egenskapene for CLT, og trekonstruksjoner generelt, er en faktor for styrke- eller stivhet, som bestemmes via testing i laboratorier over et bestemt antall prøver. Normalt er styrkeberegninger basert på det nedre 5 % fraktillet, som er så lavt at det statistisk vil inntreffe i kun 5 av 100 tilfeller. Den karakteristiske styrkeverdien kan senere omregnes til design verdien ved hjelp av ulike sikkerhetsfaktorer. Sikkerhetsfaktorer som elastisitetsmodul og skjærmodul bestemmes på lignende måte, men med utgangspunkt i gjennomsnittsverdien og ikke 5 %-fraktillet. [2]

2.1.2.1 Termiske egenskaper

Tre har svært lite interne temperatursvingninger, sammenlignet med mange andre materialer. Den termiske ledningsevnen og termiske kapasiteten til CLT er praktisk tilnærmet den samme som for vanlig ubehandlet tremasse. Den termiske ledningsevnen, er betydelig lavere enn for betong og stål. For gran $0,11 \text{ W}/(\text{m } ^\circ\text{C})$ vinkelrett på fiberretningen og $0,24 \text{ W}/(\text{m } ^\circ\text{C})$ parallelt med fibre, mens for furu har verdiene henholdsvis $0,12 \text{ W}/(\text{m } ^\circ\text{C})$ og $0,26 \text{ W}/(\text{m } ^\circ\text{C})$. I praksis bruker man en verdi på $0,12 - 0,13 \text{ W}/(\text{m } ^\circ\text{C})$ for CLT. CLT har en relativt høy spesifikk termisk kapasitet, som vanligvis angis som rundt $1600 \text{ J}/(\text{kg } ^\circ\text{C})$. Ved å benytte CLT som byggemateriale får man et mye mer stabilt inneklima fordi veggene holder på varmen og kulden i større grad. [2]

2.1.2.2 Brann

De aller fleste vil nok mest sannsynlig tenke at CLT må være et høyst brennbart materiale, som må ha dårlige egenskaper hvis ulykken først er ute, men dette er faktisk ikke tilfellet. CLT kan ha bedre egenskaper enn alternative løsninger. Det tar nemlig litt tid før en så stor masse av tre vil ta fyr, og når det først brenner, brenner det sakte. Måten varmen utvikler seg under en brann er ofte avgjørende for om brannen vil spre seg eller brenne ut. Man kan lage brennceller i større bygg av CLT, som gjør at brannen ikke klarer å spre seg. Dette er mulig fordi brannen vil etter en viss tid ikke klare å brenne dypere inn i komponentene. Det vil danne seg et lag der oksygenet ikke lenger klarer å mate flammene, som kalles pyrolyselaget. Generelt for tre er forkullingshastigheten rundt $0,6 - 0,9 \text{ mm}$ per minutt. Hvis delaminering ikke skjer, altså at lamellene løsner fra hverandre og eksponerer nytt ferskt treverk, vil forkullingen være selvslukkende etter 1 mm , som er mindre enn en vanlig lamell på $20-40$

mm. [10] Dette lover godt for brannsikkerhet og senker myten om at massivtre er et risikabelt alternativ. Det kan dimensjoneres med at strukturen skal tåle lastene med tap av integritet fra brann.

2.1.3 Miljø

Klima er mer i fokus enn noen gang. Dette er en av hovedgrunnene til at massivtre har fått økt interesse i senere år. Ved å bygge med massivtre kan man lage klimapositive hus. Det vil si hus som går i minus på utslippssiden. Dette er mulig da tre i all hovedsak er omgjort karbondioksid, som er gjort om ved hjelp av solen og fotosyntesen. Sørger man for å plante like mye skog som man feller, vil man kunne bruke dette lagrede karbonet til fortrinn i energi-regnskapet. En kubikkmeter med tremasse binder om lag 800 kg CO₂, mot betong, som slipper ut 385 kg per kubikkmeter. [11] Dette er nesten ett tonn i differanse per kubikkmeter.

2.1.3.1 CLT-Kretsløpet

Skogene i Norge drives etter prinsippene for bærekraftig skogbruk. Bruk av tre er derfor som sagt gunstig fra et miljø- og klimasynspunkt, sammenlignet med andre konstruksjonsmaterialer. For det første er produksjon av CLT en energieffektiv prosess. For det andre brukes biproduktene (spon og avkapp) til å produsere andre produkter og til slutt energi, som for eksempel brukes til å varme opp tørkeovnene. Dette reduserer behovet for fossil energi under produksjon. Bærekraftig skogbruk betyr at uttaket av trær fra skogen ikke overstiger den totale veksten, slik at man i sum holder et stabilt nivå. [2]

Økokretsløpet består av to deler. Den ene er det som skjer i skogen og den andre er produksjonen av produktene. Skogen får sitt liv fra solen og gjennom fotosyntese absorberes solenergi og reagerer med karbondioksid (CO₂), for å produsere næringsstoffer til de voksende trærne. Trærne inneholder karbon (C) som har blitt absorbert i form av karbondioksid. Økokretsløpet til produktene inkluderer gjenbruk, reparasjon og resirkulering. Når disse produktene når slutten av levetiden sin, vil karbondioksidene slippes ut i atmosfæren når avfallet forfaller eller resirkuleres som bioenergi. Karbondioksidet blir så fanget opp igjen av trærne og omdannes til næringsstoffer og nye byggesteiner for egen vekst. [12]

2.1.4 Økonomi

Med tanke på økonomi vil CLT mest sannsynlig være et dyrere alternativ enn konvensjonelle byggemetoder. Dette kommer frem ved en studie som så på forskjellen mellom pris av et 10-etasje-bygg i CLT mot forsterket betong. Her fant de ut at CLT-alternativet ville koste mellom 16 og 29% mer enn det andre alternativet. [13] På den andre siden er det flere nettsider som hevder at det er stikk motsatt, og det er derfor vanskelig å finne ut av hva prisforskjellen er. Det er veldig mange faktorer som spiller inn, og det er derfor ikke alltid så lett å vite hva som er det rimeligste alternativet. For eksempel tar det ofte kortere tid å montere CLT, som kan veie opp for at råvarene er dyrere.

2.2 Dimensjonering

Som med alle materialer finnes det begrensinger for hvor lange spenn og høye vegger det er praktisk mulig å bygge med CLT. Mesteparten av dimensjoneringene er hentet ut fra Eurokode 5, men denne er både mangelfull og utdatert, så en del er også hentet fra den Svenske håndboken for CLT.

2.2.1 Design prinsipper

Forbindelser har en tendens til å være strukturens svake punkt. Det er dermed utrolig viktig å vurdere nøye hvordan en forbindelse vil fungere statisk, men også vurdere forbindelsens effekt på andre funksjoner. Forbindelser fungerer som bærende deler i en struktur og har i oppgave å koble sammen ulike komponenter slik at strukturen holdes sammen. Strukturens systemlinjer skal normalt sett ligge likt med linjene til massesenteret til konstruksjonen. Dette vil vanligvis inntreffe i enten faste forbindelser eller i fritt opplagte forbindelser. [2]

Det er viktig at ingeniøren skjønner hvordan forbindelsene fungerer, hvordan kreftene påvirker den og overfører disse. Ingeniørens første oppgave er å beregne krefter og moment strukturen vil lage før forbindelsen blir lagd. Deretter blir kreftene og momentet overført til forbindelsen slik at den blir konstruert til å tåle kreftene. Her er det viktig at riktige mekaniske modeller blir brukt. [2]

Tre er som nevnt et hygroskopisk materiale som beveger seg i forhold til fuktighetsnivået sitt. Dette er en svært viktig faktor som man må ta hensyn til når det kommer til konstruering av forbindelser til tre-strukturer. Det er viktig at treet både får utvidet seg og trukket seg sammen når fuktighetsnivået endres, uten at indre påkjenninger blir for store. Siden treet strekkfasthet vinkelrett på fiberretningen er såpass lav, kan treet i noen tilfeller sprekke når det tørkes. Den fuktrelaterede bevegelsen til treet er liten i forbindelser for CLT, og CLT brukes som regel til konstruksjoner hvor dette ikke er et problem. [2]

Designreglene som brukes i dag inneholder modifikasjonsfaktorene K_{mod} og K_{def} . Disse tar til betraktning det faktum at styrken avtar og deformasjonen øker når fuktighetsnivået stiger. Det er fortsatt en god del støttestandarder og etablerte prinsipper for CLT som mangler i en rekke av situasjonene som kan oppstå. Men ved å bruke solid dømmekraft med erfaring fra tradisjonelle trekonstruksjoner kan de fleste sakene løses. Et tilfelle hvor det er stor fare for at treet sprekker er når et feste skaper spenning vinkelrett på fiberretningen. Når man installerer fester i CLT-panel derimot, reduseres risikoen for sprekker. Dette er fordi lagene med tre som ligger vinkelrett på hverandre hjelper med å spre strekkraften. Hvis risikoen for at treet sprekker opp kontrolleres med samme metode som det brukes i konstruksjonsvirke eller limtre, er faktisk bæreevnen til forbindelsen undervurdert. Siden CLT-paneler er bygd opp av flere lameller av tre med fiberretning som ligger vinkelrett på hverandre, er det avgjørende å være oppmerksom på plasseringen av forbindelsene. [2]

2.2.2 Utfordringene ved å bygge høyt

Det å bygge høyt er ingen nyskaping, enten om det er for å spare plass, eller bare for å vise muskler i form av penger eller ingeniørferdigheter. Det kan hende at å bygge ett bygg på 50 etasjer er mer enn dobbelt så dyrt som et på 25, men det kan lønne seg i tettbebygde og populære områder. Dette er fordi alt av prosjektering, kjøp av tomt og forarbeid har en grunnpris. For å vite om legge til en etasje vil lønne, avhenger av en hel rekke faktorer og kan derfor ikke settes generelt. Dette må undersøkes fra prosjekt til prosjekt. For å sammenligne kan man ta New York og Oslo. Hovedgrunnen til at man ikke finner like mange høye hus her hjemme har med tilgang på plass å gjøre. Det bor 8,5 millioner på 784 kvadratkilometer i New York [14], mot Oslo sine rundt 700 tusen på 454 kvadratkilometer. [15] Det vil si at en beboer i Oslo har 7 ganger så mye plass som en i New York. Der kampen om plass er størst er ofte bygningene høyest. Det finnes unntak, som Dubai og andre oljesamfunn, der behovet for å vise seg frem overgår den økonomiske fornuft.

Så hva er egentlig utfordringene med å bygge høyt? Dette er det mange svar på og vi skal komme med noen av de her.

Generelt er det brannsikkerhet og dimensjonering mot vind som går igjen som en utfordring på tvers av alle byggemetoder. Når det kommer til massivtre er det som nevnt et lett materiale, ca. 5 ganger lettere enn betong. Det fører med seg noen fordeler, men også en rekke ulemper. For å nevne noen av fordelene, er at man slipper å dimensjonere for like stor egenvekt til grunnmur og generelt. Det er også et lettere materiale å frakte og krever derfor mindre energi til dette. Ulempene starter å komme i det man ser på eksterne påkjenninger, som vind. Vinden er ingen spøk, og som kjent øker den i styrke med høyden over bakkenivå. Ikke bare øker styrken, men påkjenningen fra vinden høyere oppe gir ett større moment, siden kraften er påført høyere opp. Den har også en større flate og ta tak i, noe som ikke er like gjeldende for lave bygg, da denne høyden og flaten ikke er like store.

2.3 Forbindelser

2.3.1 Styrken i forbindelsen

«Forbindelsene er ofte trekonstruksjonens svake punkt, og det er ofte disse delene som bestemmer konstruksjonens bæreevne». [8]

Dette er et sitat som setter grunnlaget til hvorfor det er viktig å se på forbindelser, og hvordan man kan optimalisere disse.

Når man lager forbindelser for krysslaminert massivtre, er det flere ting å ta hensyn til. I forhold til andre materialer som for eksempel stål, er det noen betydelige forskjeller. Siden tre ikke har de duktile egenskapene som stål har, vil det ikke være noen lett måte å få advarsel på at materialet ikke holder. I stedet vil det bare knekke rett av, om man ikke gjør noe for å få disse egenskapene i forbindelsene. Når man derimot legger stål inn i forbindelsene, vil dette

gi egenskaper som er duktile i disse punktene. I tillegg til dette, er det svært viktig å finne ut av hvilke retninger som lasten virker i, og hvordan forbindelsene virker i forhold til de hygroskopiske egenskapene til treet. [2]

I selve byggene, vil det være stor variasjon på hvor mye skjær, moment og andre krefter som er i de ulike overgangene. Dette er viktig å ta i betraktning når man konstruerer og planlegger, siden det er forskjell på hva overgangene tåler. Den ene forbindelsen er kanskje ment for å takle høye torsjonskrefter, mens den andre ikke klarer dette i det hele tatt. Det er altså viktig å finne ut av hvor mye og av hva som overgangene må tåle for å finne den riktige.

2.3.2 Andre viktige faktorer ved bygging

Styrke og sikkerhet er selvfølgelig viktig når man skal utvikle forbindelser, som er så gunstige som mulig. Men, det er andre faktorer som er viktige å ta hensyn til når det kommer til optimalisering. Da er det om å gjøre for designeren å finne ut av hvor stor grad man må ta hensyn til de ulike faktorene, for at den skal bli best mulig. Dette er viktig, samtidig som at konstruksjonen holder mål i sikkerhet og styrke.

2.3.2.1 Frakt

Den ene faktoren som er viktig å ta hensyn til, er transportmuligheter. I tre er det best at det er så store som mulige elementer som kommer på byggeplassen, med tanke på styrken. Med en gang man må bruke overganger og forbindelser, vil styrken svekkes, noe som ikke er fullt så gunstig i alle situasjoner. Men på den andre siden, er det ikke alltid mulig å bruke store tre-elementer med tanke på transport. Store deler må fraktes fra fabrikk og til byggeplassen, noe som ofte gjøres med lastebiler. Da kan man fort se at det ikke er lett eller kanskje mulig å ha med seg et 15m x 3m stort veggelement. Dette gjør at de store delene må kuttes opp før de fraktes til der de skal monteres, og flere overganger blir nødt til å brukes for å feste disse sammen. I tillegg til dette, er det heller ikke alltid mulighet for å lage disse store delene med maskiner vi har, så dette er også noe en må tenke på.

2.3.2.2 Pris

En annen faktor som er viktig å huske på når man bygger, er pris. Prisen på byggeprosjektene styres av mange forskjellige forhold og deler, og er viktig at er så lav som mulig. En av disse delene vil være hvor mye det koster å lage de forskjellige komponentene. Det er stor forskjell på pris på ulike materialer og elementer, fordi de bruker lengre tid på å lage dem, er mer verdt eller av andre grunner. Derfor er det nødvendig å tenke nøye over hva slags materialer man bruker, for å oppnå den effekten som skal oppnås. Når man lager ulike overganger, bruker man disse materialene, og mengden av disse vil øke prisen på prosjektet. Det koster ofte mer å sette inn en forbindelse, enn å ikke ha dette. Tid er en annen faktor med tanke på pris.

2.3.2.2.1 Tid

Som nevnt vil tiden ta del i hvor mye det koster å gjennomføre et prosjekt. Arbeidskraft er ikke gratis, og dette medfører at det koster mer å bygge, desto lenger det tar. I tillegg til dette er det ofte tidsrammer man skal klare å forholde seg til, og det er bedre å få ferdigstilt prosjektet så fort som mulig, for at det skal tas i bruk.

Tiden man bruker avhenger av mange ting, men med tanke på overganger er det gjerne monteringsstiden som blir viktig. Dette vil si at desto lavere monteringsstiden er for noe, fra start til slutt, desto bedre er det for helheten av prosjektet.

2.3.2.2 Midler

Noe annet som går litt under pris er midler. Med dette menes hva slags folk, materialer og konstruksjonsverktøy som må til for å få sluttresultatet. Av og til er det heller ikke mulig med visse løsninger fordi man ikke har midler til å sette opp slik at man kan få det ønskede resultatet.

2.3.2.3 Lyd

En byggeplass vil alltid skape en viss mengde støy. Det er forskjellig hvor mye støy som kommer fra området og det er mange tiltak man kan ta for å redusere lydnivået. Hvis man bygger i områder hvor det undervises, er bibliotek osv. vil man ha så lite støy som mulig, og det kan derfor være viktig å holde lydnivået lavt. Her er CLT et godt alternativ, da mye av det støyende arbeidet blir gjort på fabrikken. Der kan elementene tilpasses for tekniske installasjoner som ventilasjon, strøm, vann og avløp. Ikke bare reduserer dette støy, men det vil gi en mye renere byggeplass, siden man slipper å kappe og sage like mye på byggeplassen.

Noe annet som er viktig, men som gjelder for funksjonen av forbindelsen er trinnlydisolasjon og luftlydisolasjon. Disse er avgjørende for et godt bomiljø, men den bærende forbindelsen har ikke dette som hovedfokus. Disse egenskapene er det lettere å tilpasse ved å bruke ulike materialer i lagene over og under selve CLT elementet.

2.3.2.4 Isolering

Når man lager overganger, er det nødvendig å tenke på isolering og varmetap. Bygg som lages i CLT har en generelt sett høyere isolasjonsevne enn bygg laget av betong og stål, fordi den bærende konstruksjonen har en lavere varmeledningsevne. Dette er en fordel i overgangene også, og det er lettere å unngå kuldebroer som gir varmetap. Overdrevent bruk av stål og betong i forbindelsene kan føre til at dette ikke ivaretas, og man må være oppmerksom på dette.

2.3.2.5 Sikkerhet under konstruksjon

Sikkerheten til arbeiderne på arbeidsplassen er veldig viktig, og noen typer konstruksjoner vil være farligere å konstruere enn andre. Man må for eksempel ta i betraktning at visse typer lim gir farlig luft, og at støv over lengre tid også kan utgjøre en fare. Dette er noen ting man må ta hensyn til, og det er mange flere å tenke på. Når man lager forbindelser, vil man ikke trenge å tenke på dette, siden HMS foretak inngår på byggeplassen.

2.3.2.6 Utseende og praktiske egenskaper

For mange vil utseende være svært viktig når man ser på hva som vil være en bra overgang. Det er ikke nødvendigvis sånn at man vil ha ståldeler stikkende langt ut fra veggene, selv om

styrken øker. Hva som er estetisk og ikke, avhenger av subjektive synspunkt, og det er ikke så lett å si hva som vil være best. Til tross for dette burde det være mulig å ta en liten vurdering rundt dette. Vi vet også at noen kunstneriske arkitekter vil sette estetikk som en av de viktigste faktorene om hva som avgjør om noe er en god forbindelse.

Praktiske egenskaper ved forbindelser er også svært viktig. Utnyttelse av plass står da som et sentralt tema, siden forbindelser ofte kan medføre at dette blir brukt dårlig. Da er det nødvendig å finne ut av hva som kan byttes ut mot andre faktorer, mot at plassen blir tatt opp, eller andre upraktiske ting.

2.3.3 Hva som blir brukt i overganger

Som sagt er det mange forskjellige måter å lage forbindelser og overganger på, og det kommer nye stadig vekk. Det blir brukt mye av skruer, spiker, plater og spikerplater, men det er kommet nye utfordrere som bruker flere andre elementer og en kombinasjon av disse.

2.3.3.1 Skruer og andre fester

En av de mest brukte midlene til å feste sammen CLT i byggeprosjekter er skruer. Grunnen til at dette er så populært, er den store evnen til å motstå strekk- og skjærkrefter, og samtidig at de er så lette å montere. Når man bruker selvborende skruer, trenger man heller ikke å forhåndsborre hullene. Andre festere er for eksempel døblinger som settes mellom to materialer, for å motstå skjærkraft. Disse kan være laget av både tre og metall.[2]

2.3.3.2 Metallplater og vinkeljern

Metallplater og vinkeljern er plater som ofte er laget i vinkel, og for det meste fester gulv til vegger. Det er mange forskjellige typer vinkeljern, som er laget til å tåle forskjellige krefter. Vi finner spesielt to typer av disse. Den første er vinklet spikerplater, som hovedsakelig fester sammen tre i tre, mens den andre typen kan brukes til å binde betong med tre.

Spikerplater benyttes også. Dette er plater som blir presset mot treet, med spikerlignende spisser under, for å feste to deler av tre. Ifølge the CLT handbook, så er dette et billigere alternativ i forhold til andre typer plater hvor man bruker skruer. [2]

2.3.3.3 Flere metoder sammen

Ofte for å få den beste forbindelsen, må man bruke flere av metodene sammen. Da for eksempel skruer sammen med plater og andre materialer. Senere i oppgaven skrives det mer om optimalisering av forbindelser, og det er flere av disse som bruker flere enn en metode sammen for å få den mest gunstige løsningen.

2.4 Stål

Stål er et materiale som har blitt brukt innenfor konstruksjon i mange år. Det er et legeringsmateriale som består av jern og to prosent karbon i vekt. Det kan også inneholde større mengder andre legeringselementer. Dette gjør at det finnes flere ulike typer stål, og har dermed mange forskjellige egenskaper som igjen gjør at stål har en rekke bruksområder, noe som gjør stål til et av våre mest allsidige konstruksjonsmaterialer. Stål har hatt en stor

betydning innenfor en rekke områder og har bidratt til den moderne sivilisasjonen mer enn noe annet metall. [16]

2.4.1 Fremstilling

Fremstilling av stål starter med produksjonen av råjern. Råjern produseres ved å smelte malm med koks, som lages ved å tørre steinkull, i en masovn. Når malmen er smeltet, vil råjernet inneholde en stor mengde karbon. Det store innholdet med karbon må så fjernes eller reduseres kraftig ved hjelp av oksider. Dette blir gjort gjennom en renseprosess.

Renseprosessen skjer ofte i en beholder med ildfast foring hvor det blir blåst rent oksygen gjennom råjernet.

Videre etter at karbonet har blitt redusert, og råjernet har blitt til stålmelt, må det gjennom en deoksidierungsprosess. Dette er fordi oksygenet som tidligere ble blåst gjennom råjernet vil skape porer av karbondioksid i stålet. For å unngå dette blir det tilsatt oksiddannede elementer. Disse forhindrer poredannelse ved at det danner seg oksidpartikler. Disse vil delvis bli igjen i stålet som små partikler og delvis flyte opp som noe man kaller slag. Når dette har skjedd sier man at stålet er tett, og det er klart for utstøping.

Siste steget når et stålprodukt skal fremstilles er varmformgivning av støpt stål som ikke skal bearbeides plastisk. Dette blir gjort ved enten valsing eller smiing. [16]

2.4.2 Egenskaper

Egenskapene til stål som konstruksjonsmateriale er mange, men noen av de viktigste er at stål har god formbarhet, holdbarhet, strekkfasthet og flytespenning. Når det velges ut materiale som et spesifikt formål, er det viktig at materialet tåler lasten som vil bli påført, samt at det tåler miljøet det vil bli utsatt for. Det er derfor viktig å forstå materialet og kunne kontrollere egenskapene. For å kunne kontrollere de mekaniske egenskapene til stål må man endre den kjemiske komposisjonen, prosessering og varmebehandle stålet. Dette fører til en endelig endring i mikrostrukturen, som igjen fører til ulike egenskaper og styrker. [17]

Mesteparten av stålet som blir produsert i verden er det man kaller lavkarbonstål som generelt inneholder 0,25 prosent karbon eller mindre. Dette er for å sikre at stålet er lett å sveise. Stål som blir brukt innenfor konstruksjon er en undertype av lavkarbonstål igjen, som kalles bløtt stål. Det har et manganinnhold på mellom 0,4 og 0,6 prosent og kan ha en strekkfasthet på opptil 400 MPa. Ofte finner man denne type stål i former som plater, bjelker, rør og annet. For å få sterkere kombinasjon av stål legeres lavkarbonstål med opp imot 1,5 prosent mangan. Det blir ofte også tilsatt små mengder med titan, niob eller vanadium. Da får man en type stål som kan tåle så mye som 650 MPa, som ofte blir brukt til større konstruksjoner som broer, skip, skyskrapere, oljerigger og liknende. [16]

2.4.3 Varmvalset stål

Varmvalset stål er i bunn og grunn stål som er valset bare med ekstremt høye temperaturer. For at det skal gå under kategorien varmvalset blir stålet varmet til det når rekrystallasjonstemperaturen, som ligger på rundt 800 grader celsius. Når stålet når så høy

temperatur blir de deformerte kornene i stålet erstattet med nye korn som er deformasjonsfrie. Dette gjør at stålet får en svært god kombinasjon av styrke, sveisbarhet og seighet, noe som gjør at denne typen egner seg godt i en rekke typer konstruksjoner. Noe som også er grunnen til at varmvalset stål utgjør en stor prosentandel av alt handelsferdig stål. [18]

2.4.4 Miljø

Stål står for 7-9% av alle klimagassutslippene i verden. Dette er mye på grunn av at det brukes koks til å omdanne jernmalm til rent metall. Det varierer litt med hva man estimerer som forbruk for stål, men det ligger på rundt 6kWh per kilo med ferdig stålprodukt.[19]

3 Metode

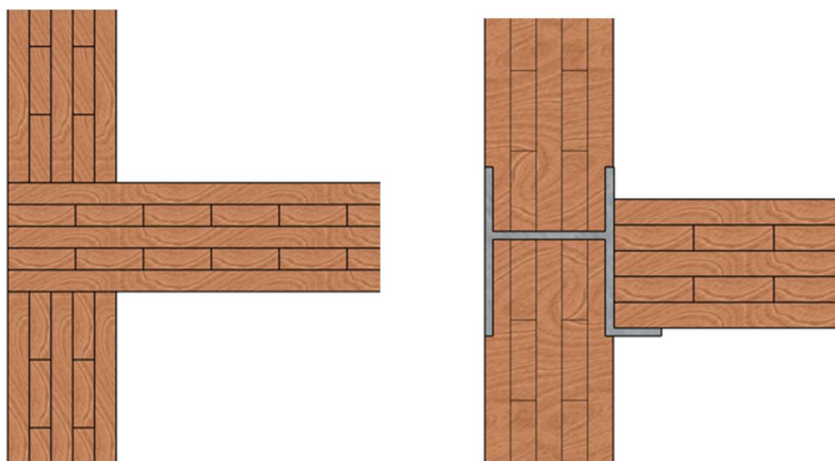
Under metode skal vi presentere prosjektet og vårt forslag til en overgang. Her får man også oversikt over data som er relevant for senere utregninger.

3.1 Prosjektbeskrivelse

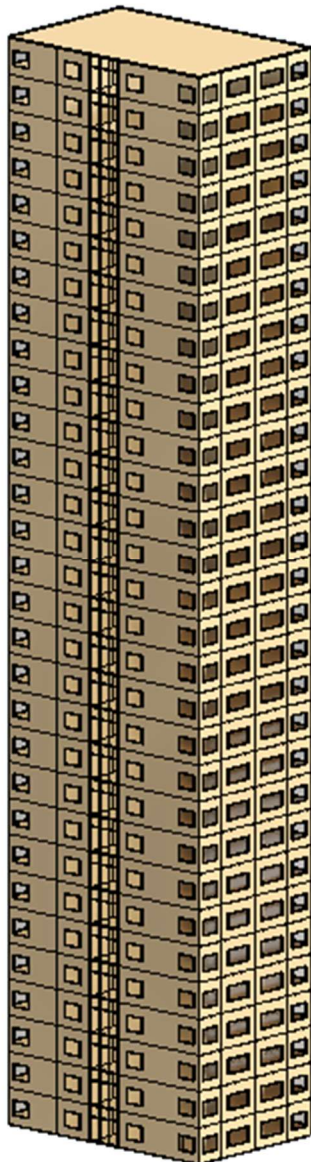
For å kunne beregne hvor mye en overgang skal kunne tåle, må man i all hovedsak vite to ting; for det første må man bli kjent med hvilke krefter som virker inn. De mest kjente og tilstedeværende er egenvekten og nyttelastene. Noen mindre innlysende laster er påkjenninger fra vind, jordskjelv, snø og andre kortvarige krefter.

For det andre må man ha noe å gjøre beregninger på. I vårt tilfelle er dette selve konstruksjonen. Vi har konstruert et bygg i Revit, som er grunnlaget for de interne kreftene. Overgangene er tegnet i både Sketchup og Strusoft, som gir tegninger og data som brukes i utregningene. Som ramme for overgangene har vi valgt å bruke vegger og etasjeskille med en tykkelse på 160mm, oppbygd av 5 lameller med lik tykkelse.

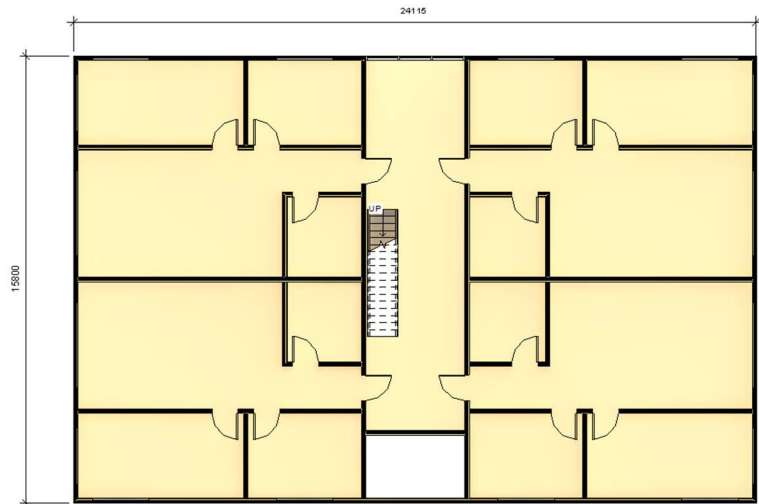
Etasjeskillene settes som standard mellom to vegger, som en sandwich. Denne løsningen kan bli utfordrende ved høye bygg der trykket fra etasjene over blir stort. Vi skal sammenligne vår overgang med tradisjonelle metoder, begge vist under.



Figur 1 Illustrasjon av tradisjonell yttervegg-gulv-yttervegg overgang mot vårt design. Illustrert i Sketchup.



Figur 3 Modell av bygget konstruert i Revit.



Figur 2 Planløsning av bygg konstruert i Revit.

I Figur 2 og Figur 3 ser vi bygget vi har modellert med en enkel planløsning. Ideen bak bygget var at det skulle være en enkel tegning slik at videre utregninger ikke skulle bli for kompliserte.

Veggene og gulvet vil være av samme tykkelse på 160 mm og er satt opp av 5x32 mm lameller. Målet på bygget vil være 15,8 meter i dybden, og 24,14 meter i bredden, pluss at høyden på hver etasje vil være 3,5 meter.

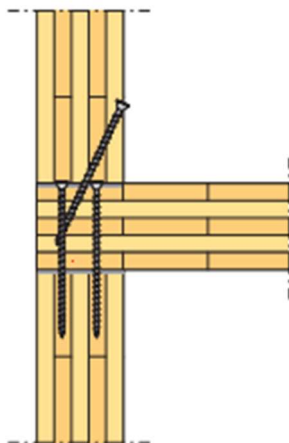
Ved å bruke dette bygget som utgangspunkt vil vi kunne sammenligne hvordan ulike forbindelser yter i forhold til hverandre. I vårt tilfelle ønsker vi å se nøyaktig hvor mange flere etasjer vårt design tåler i forhold til den tradisjonelle vegg til gulv forbindelsen.

3.2 Tradisjonelle metoder

Vegg til gulv forbindelsen som brukes mest i dagens CLT-konstruksjoner, er en simpel forbindelse hvor gulvet blir lagt mellom to vegger og blir så festet. Det finnes mange forskjellige måter å feste denne type forbindelse på og kommer an på hvilken type bygg konstruksjonen er, men også på tilgjengelighet av fester i markedet. [7]

3.2.1 Skruer

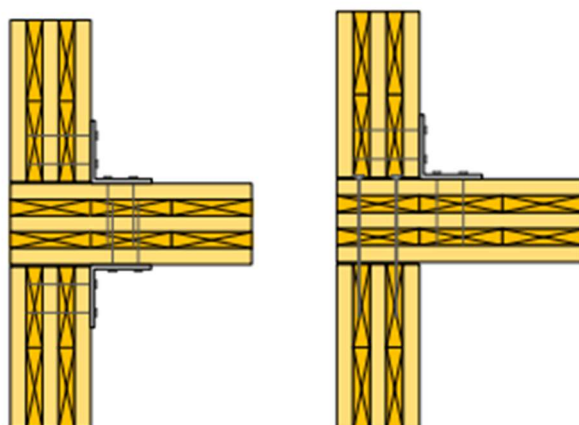
Den enkleste metoden for å feste gulv til vegger er ved å bruke selvborende skruer. Gulvet blir lagt direkte oppå veggen og skruer blir så skrudd gjennom gulvet og inn i veggen under. Neste vegg blir så lagt oppå gulvet igjen, der skruer blir skrudd inn med en vinkel for å feste øvre vegg i gulvet, for å sikre at de tre delene sitter fast. I noen tilfeller blir det også brukt ekstra lange skruer slik at de går gjennom vegg, gulv og så inn i underliggende vegg for å sikre forbindelsen ytterligere. Dette er illustrert under.



Figur 4 Selvborende skruer [2]

3.2.2 Vinkeljern

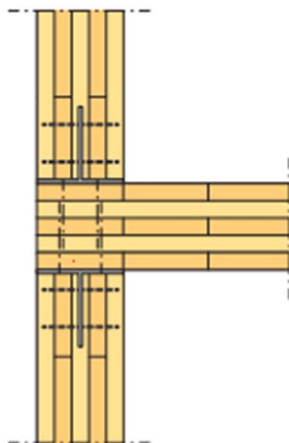
Selv om skruer er den enkleste metoden for å feste forbindelsen er det ikke alltid det beste. Skruer tåler bare en viss skjærkraft og skaper heller ikke mye motstand mot gynging i bygget, som kan komme fra for eksempel vind og jordskjelv. Derfor brukes det oftere vinkeljern. Disse blir satt både over og under gulvet og blir festet til veggene ved hjelp av skruer eller spikere.



Figur 5 Vinkeljern, [7]

3.2.3 Skjult metallplate

En annen metode for å feste forbindelsen er med metallplater som er formet som en T, som ligger inn veggene. Fordelene med disse er at man vil ikke se de da konstruksjonen er ferdig, og vil gi en fin finish. I tillegg er de sikrere ved brann i forhold til eksponerte plater eller vinkeljern. [6] Ulempen med denne metoden er at det krever mye nøyaktighet ved både montering og ved produsering av CLT-panelene, som igjen vil gå utover tid. Dette er hvorfor denne er i mindre bruk.



Figur 6 Skjulte metallplater, [2]

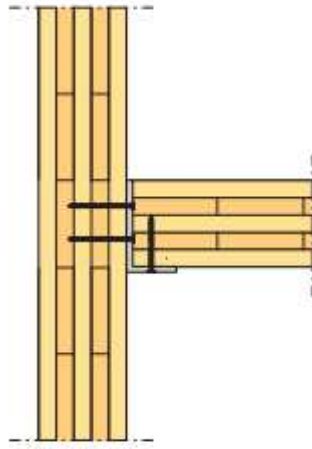
Grunnen til at vegg til gulv forbindelse brukes mest innenfor CLT-konstruksjoner er først og fremst fordi det er en veldig simpel forbindelse å både konstruere og montere, spesielt med vinkeljern og selvborende skruer. Dette sparer montøren tid på siden gulvet bare skal legges oppå vegg, skrues fast og neste vegg bli satt oppå der igjen. Produsenten vil også spare tid da det ikke trengs å skjæres ut små glipper eller hull til mer avanserte forbindelser.

Problemet med vegg til gulv forbindelse er at all lasten vil ligge normalt på fiberretningen til treet. I mindre bygg vil ikke dette ha noe betydning siden lasten ikke vil bli stor nok til å ha noen ødeleggende effekt på treet. Men i større bygg vil ikke denne forbindelsen kunne holde all skjærkraften som blir påført.

For å finne ut akkurat hvor mye denne forbindelsen vil tåle, tar vi utgangspunkt i bygget vi designet i Revit. Vi ønsker å se hvor mange etasjer i et slikt bygg den typiske vegg til gulv forbindelsen vil tåle.

3.2.4 Vinkel i stål uten kompresjon normalt

En metode til som er ganske vanlig er stål i vinkel, som så henger fast i vegg. Det som er fordelene med denne er at det ikke vil oppstå kompresjon normalt på fiberretningen til CLT. Den er lett å montere og bruker lite stål for å oppnå ønsket styrke.



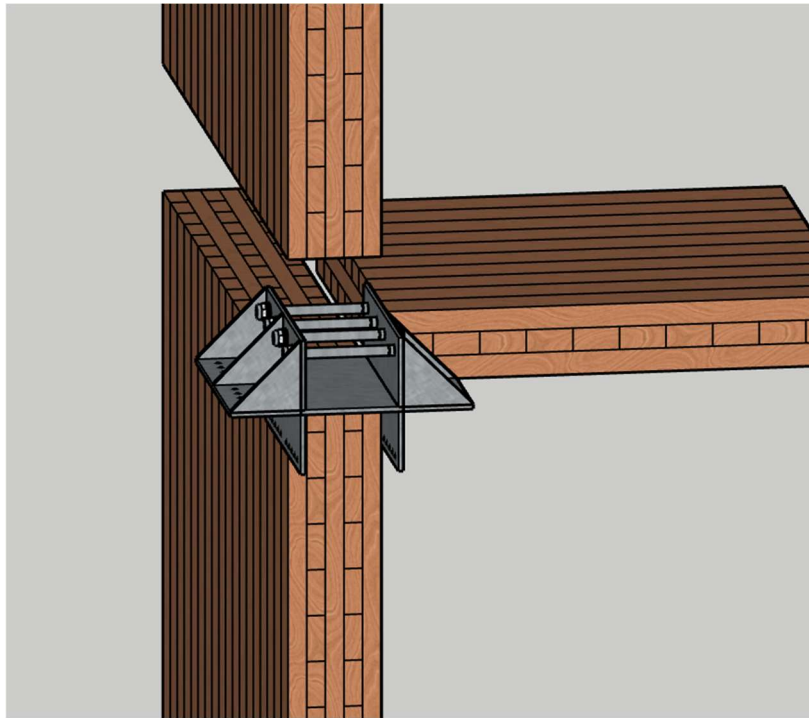
Figur 7 Vinkel i stål, [2]

3.3 Utvikling av design

Vi har under hele prosessen jobbet oss frem til den løsningen som virker mest gunstig. Underveis har vi laget flere utkast som av ulike årsaker har blitt lagt vekk, til fordel for en ny versjon. I dette kapitlet viser vi tankegangen som har ledet til den løsningen vi så som den mest passende.

Det første som er tenkt på når vi har designet er styrken, og det vil være mest problemer i de nedre etasjene, fordi hele lasten av resten av bygget vil ligge på disse etasjene. CLT er som tidligere sagt mye svakere på tvers av fiberretning. I vår forbindelse vil det ikke være CLT med last normalt på fiberretningen mellom veggelementene, som er hovedtanken bak forbindelsen. I stedet brukes det stål i forbindelsen til å feste sammen gulvet og veggene, men også veggene til hverandre. Samtlige illustrasjoner i dette kapitlet er tegnet av oss i Sketchup.

3.3.2 Versjon 1.0



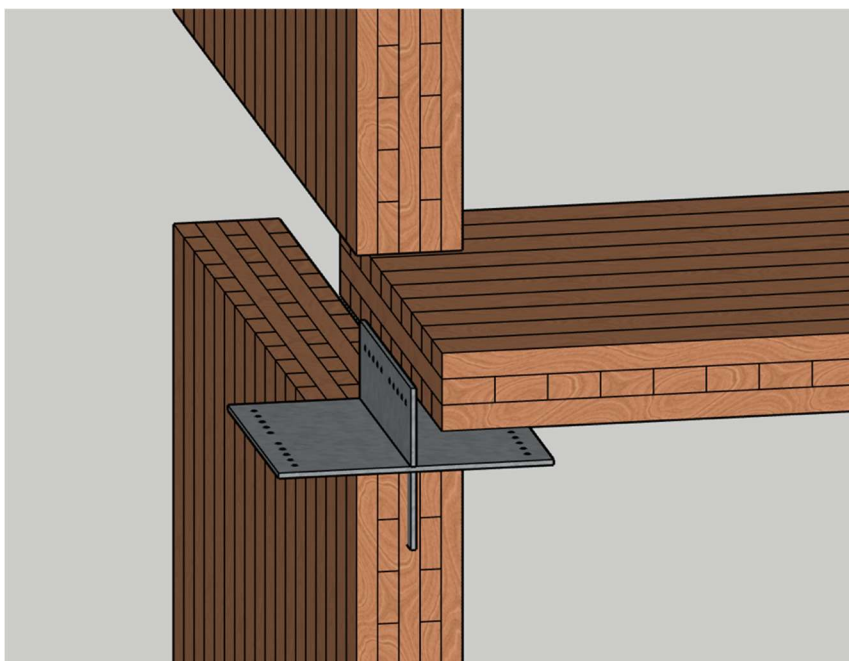
Figur 8 Selvdesignet førsteutkast.

Den første designede overgangen er vist i Figur 8. Den fremstår veldig komplisert og har en del overdrevne komponenter. Det er også et krevende design når det kommer til produksjon. I selve veggen er det behov for forborede hull til boltene, mens selve forbindelsen vil ta mye ressurser i form av tid og materialer. Tanken bak denne er å ta imot veldig mye last per etasje, men vi har senere i oppgaven vist at det ikke er så store laster som behøver en så stor styrke her. Dette er fordi det kommer en rasjonell grense på spennlengden til etasjeskillene, med tanke på elementtykkelse og nedbøying. Referer til kapittel 4.2 om nedbøying.

Grunnene til at vi modifiserte videre er fordi:

- Overdreven bruk av materiale.
- Høy kostnad for å oppnå styrke som ikke er nødvendig.

3.3.3 Versjon 2.0



Figur 9 Selvdesignet andre utkast. Tegnet i Sketchup.

Den neste varianten er en forenklet versjon, der mesteparten av overgangen ville ligge skjult inne i veggene, som vist i Figur 9. Dette vil redusere kostnaden og produksjonstiden til forbindelsen. Selv om styrken svekkes, vil dette mest sannsynlig holde.

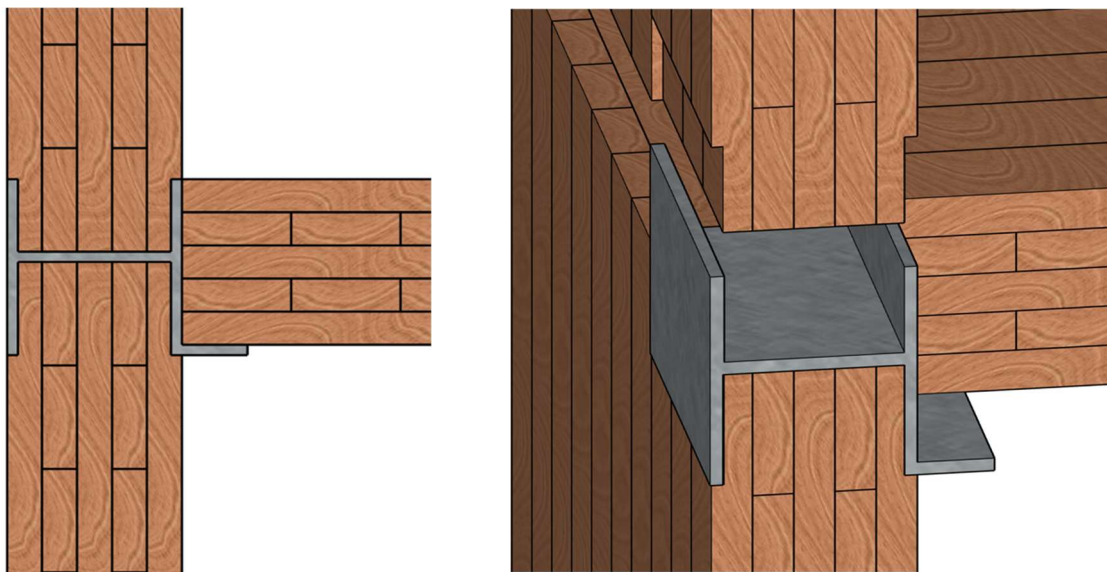
Ulempen med overgangen viser seg når den skal monteres. Vi ser at vi må bruke skruer inn i forbindelsen fra siden, på grunn av at det ikke er metall på hver side til å holde bolten fast. Derfor kreves det mye presisjon av montørene for å treffe hullene fra siden, som fører til at mer tid må brukes til planlegging og konstruering samt den økte sjansen for feil. I tillegg til dette vil det være en risiko med tanke på moment. Med en gang det kommer rotasjon i forbindelsen vil delen av stålet inne i veggen skape et svært ugunstig trykk normalt på fiberretningen. Dette vil være en strekkraft, noe som gjør at vi må se på strekkapasiteten til treet. Da ser vi fort at dette er noe vi burde holde oss langt unna. På BS EN 1194-1999 kan vi se visse verdier for hva limtre tåler. Limtre er relativt likt som CLT, og vi har god overgangsverdi fra disse tallene til CLT. Da står det at treet tåler rundt $3MPa$ normalt på treet i kompresjon, mens det bare gir en styrke på $0,5MPa$ i strekk. Dette betyr at den tåler seks ganger så mye i kompresjon som strekk her. Til sammenligning tåler treet $29MPa$ i kompresjon langs fiberretningen, som er nesten 60 ganger så mye. I tillegg til dette er forbindelsen ikke gunstig med tanke på produksjon, det vil oppstå vanskeligheter med å produsere en slik profil uten behov for sveis. [20]

Grunnene til at vi modifierer videre er fordi:

- Den ubeleilige plasseringen av skruehullene til metallet gjør at mye tid må brukes på konstruksjonen.
- Det kan oppstå ugunstige strekkrefter der treet tåler minst.

- Fortsatt utfordrende å produsere, behov for sveis.

3.3.4 Versjon 3.0



Figur 10 Selvdesignet tredjeutkast. Tegnet i Sketchup.

Denne versjonen har ikke metall på innsiden som kan utgjøre en fare for strekkraft normalt på fiberretningen, og skruhellene er plassert synligere og lettere tilgjengelig.

Fordelene med denne er at den gir en økt stabilitet i bygget. I store bygg vil det være mye krefter, både horisontalt og vertikalt. Det denne forbindelsen gjør, er at den også holder igjen i horisontal retning, i motsetning til versjon 2.0. Vi ser en likhet med versjon 1.0, men at det er tonet ned på bruk av bolter og stål for å redusere kostnaden.

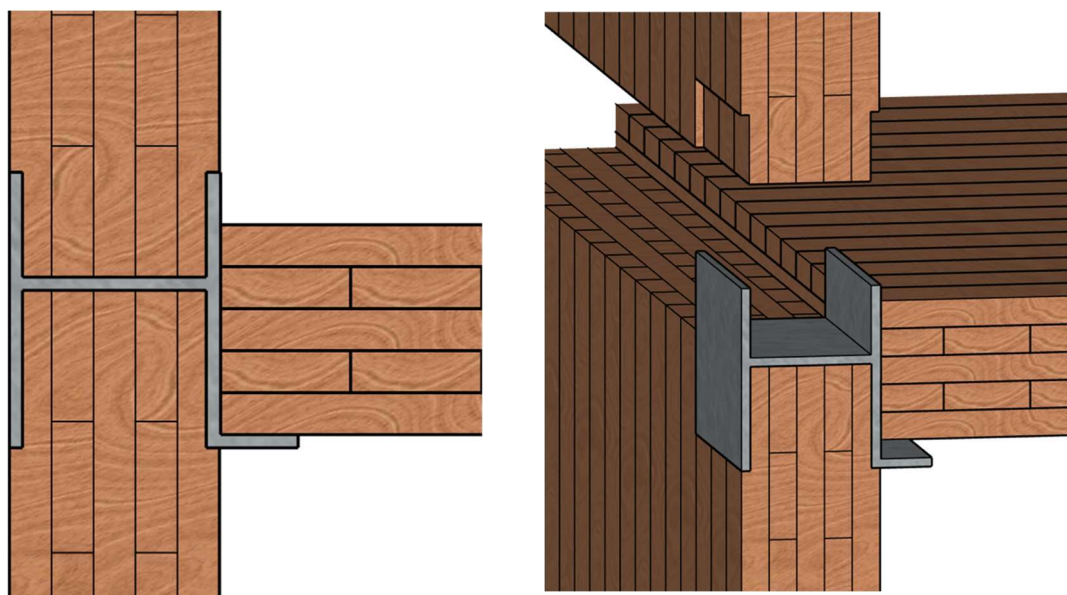
Andre viktige faktorer skal tas hensyn til, og det sjekkes for tid først. Ved denne løsningen er det en ting som er litt ugunstig, og den viser seg når det skal bygges:

Måten dette ville bli satt opp på er at det først blir satt opp en vegg under. Deretter blir forbindelsen satt på denne vegg og skrudd fast. Videre ser vi at vi må plassere vegg for neste etasje før vi kan sette gulvet på plass. Dette er fordi at man ikke kommer til de vertikale flangene av profilen, som neste vegg plasseres i, etter at gulvelementet er plassert. Konsekvensen av dette er at det blir veldig knotete å bygge, fordi man må heise inn gulvelementene etter at alle veggene i etasjen er montert. Dette kan føre til at elementene kiler seg fast og høyere risiko for skade på overflater og arbeidere.

Grunnene til at vi modifierer videre er fordi:

- Forbindelsen fører til at det blir er dårlig konstruksjonsrekkefølge.

3.3.5 Versjon 3.1



Figur 11 Selvdesignet endelig design. Tegnet i Sketchup.

Den endelige løsningen er nesten helt lik til den forrige, bare at den gir muligheten til å plassere etasjeskillet til tilhørende etasje før veggene til neste etasje må på. Dette er mulig fordi gulvet er senket litt lenger ned, noe som gjør at man kan skru forbindelsen fast i veggene over. De andre positive sidene ved denne versjonen er stort sett de samme som versjon 3.0.

For å se at forbindelsen tilfredsstillende de andre viktige faktorene starter vi med å se at det er gode muligheter for frakt, fordi den ikke er så stor og tung. Prisen på forbindelsen blir styrt av litt flere forhold, mer om dette senere. Det er ikke overdreven bruk av stål, og om det blir brukt mindre stål vil dette kanskje føre til en dårligere stabilitet i bygget som ikke nødvendigvis er verdt det. Et annet poeng er at veggene må tilpasses, siden det må fjernes litt av treet på sidene der profilen settes på. Det positive med dette er at man vet hvor de skal plasseres, da CNC teknologien som brukes til å frese disse sporene har høy nøyaktighet. Tiden det tar å sette sammen forbindelsen er også god, siden det er rett frem med montering med lett tilgjengelig skruehull. Det som tar tid her er å heise opp veggene og gulvene, og treffe riktig plass. Andre spesielle midler som må til er heisekran for å heise forbindelser, vegger og gulv opp, noe som er standard for bygg som dette. Lyd gjennom forbindelsen og isolasjon vil også være tilstrekkelige med tanke på at det skal være isolasjon på utsiden av veggene, i himling på hver etasje.

Over til utseende og praktiske egenskaper, vil det være en god løsning. På innsiden vil det være oppbygning av for eksempel trinnlydsplater, varmemefolie og gulvbelegg, som toppes med lister. Dette kommer til å skjule metalldelen over gulvet, hvis man ønsker at overflaten til massivtett ikke skal dekkes til av for eksempel gips. Dette er ikke mulig på alle vegger, med tanke på brannsikkerhet og installasjon av tekniske løsninger, men muligheten er der for de veggene dette ikke gjelder. På utsiden blir det ett godt lag med isolasjon, som så blir dekket av en valgfri kledning. Dette gjør at kuldebro-verdiene ikke har like stor betydning, da hele

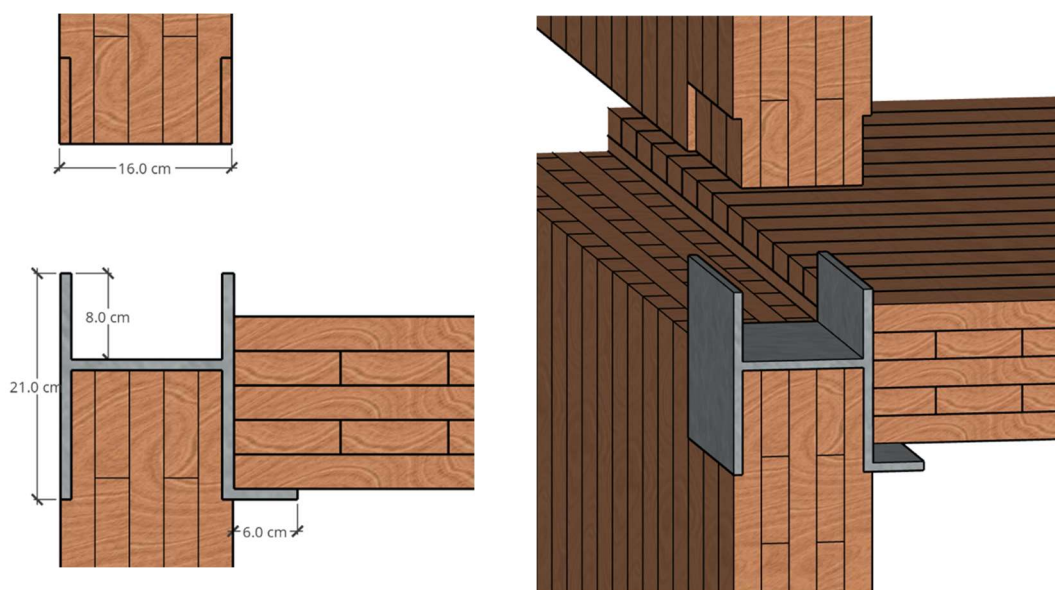
overgangen befinner seg i varm sone.

3.4 De ulike variantene

For å sette sammen en bygning trengs det flere ulike overganger i forskjellige kombinasjoner. Det er en del overganger som ikke blir dekket i denne oppgaven, da vi velger å ha fokus på disse to. Et eksempel på en vi velger bort er overgang mellom tak og vegg, her er det ikke store krefter vinkelrett på panelene fra etasjene over. Hjørner blir også ekskludert.

3.4.1 Yttervegg

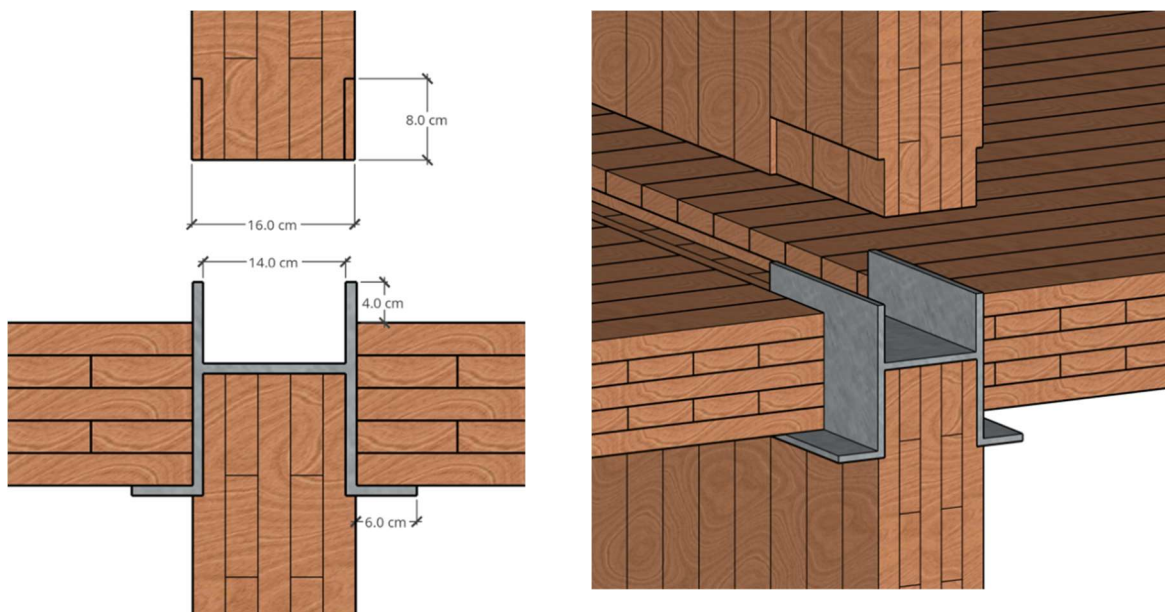
Ytterveggene har kun ett etasjeskille som vil hvile på en side, som vist i figuren under. Det vil likevel være behov for en full H seksjon, som holder veggene på plass og i både horisontal og vertikal retning.



Figur 12 Endelig design for yttervegg med mål.

3.4.2 Innervegg

Ved innerveggene vil profilen ha identisk utforming som ved yttervegg, kun med en ekstra flange for det motstående etasjeskillet.



Figur 13 Endelig design for innervegg med mål

3.5 Laster

3.5.1 Egenlast

Alle konstruksjoner har en egenlast. Dette er vekten selve rammeverket eller råbygget veier, uten møbler, inventar eller mennesker. For å finne en verdi på dette må man beregne hva diverse komponenter veier. Da bruker man massen til elementet og multipliserer det med mengden. Dette er for å danne et godt bilde av egenvekten, som ellers også er en konstant last. Når man kommer frem til en verdi, som har benevnelse kilo Newton per kvadratmeter, legger man som regel til en god del, for å være på den sikre siden. Vi tar utgangspunkt i følgende utforming, hentet fra byggforsk.no. [21]

3.5.2 Nyttelast

Nyttelast er lastene man påfører en bygning med eksterne krefter. Det vil si alt fra møbler til mennesker. Disse lastene er mer uforutsigbare enn egenvekten og man må derfor ha ekstra store marginer lagt inn. Det jobbes med standarder for ulike bygningsklasser, som er beskrevet i EN 1991-1-1. Disse klassene er delt opp etter hvor stor påkjenning bygningen vil ha fra ulike aktiviteter, som vist i tabellen under. Det finnes også en kategori E, men denne er ikke aktuell i denne sammenhengen. Q_k er lokale krefter mens q_k er generell last.

Kategori	Områder	Eksempel på bruk	Last $q_k(kN/m^2)$	Last $Q_k(kN)$
A	Bolig	Oppholdsrom bolig, hotellrom og toaletter	Gulv: 1,5-2 Trapper: 2-4 Balkonger: 2,5-4	2-3 2-4 2-3
B	Kontor		2-3	1,5-4,5
C	Steder der det kan samles større mengder med mennesker	Haller, saler og andre steder. Deles opp i C1, C2, C3, C4 og C5	2-7,5	2,5-7
D	Kjøpesenter	Deles opp i D1 og D2	4-5	3,5-7

Tabell 1 Nyttelast hentet fra EN 1991-1-1

Det vi kan lese ut fra Tabell 1 er at nyttelastene varierer en god del avhengig av bruksområde. Derfor er det viktig å vite hva bygningen skal brukes til og hvilke soner som er hvor.

3.5.3 Andre laster

Vindlast er som ordet fremsier lastene vinden påfører en bygning. Disse lastene kan bli store ved større, og spesielt høye bygninger. Vinden vil være kraftigere lenger opp i høyden, fordi det er mindre hindringer som trær, andre bygninger og landskap. Dette fører til at kreftene som virker på høye bygninger er større, men også samtidig vil det være mer areal hvor vinden kan dytte på. Da vil momentet rundt hjørnene på bakken bli større, og det kan være fare for at bygget ikke tåler dette.

Sammenlignet med vindlast er snølast en litt mer forutsigbar last, da den legger seg på flater og kan fjernes ved store mengder. Noen steder i verden trenger man ikke å tenke på snølast, men her i Norge, hvor det er kaldt nok, er dette en relevant last. Denne lasten vil kun virke på den øverste etasjen, og deretter nedover gjennom alle veggene. Derfor har det ikke noe å si på hvor mye skjær og moment forbindelsen får.

En siste kraft som kan påvirke en struktur er jordskjelv. Dette er krefter som man alltid må ta høyde for når man designer konstruksjoner, selv om det ikke er et så kjent problem her i Norge, hender det at det kommer bevegelser i bakken. Siste store jordskjelv inntraff så sent som 21.03.21 like utenfor kysten ved Bergen. Dette ble målt til 4,4 på magnitudo-skalaen. Det er ikke nok til å gjøre skader av betydning, men man kjenner det i kroppen, spesielt i høyere bygninger. [22]

Grunnen til at vi har valgt å se bort i fra disse lastene er fordi oppgaven handler hovedsakelig om å designe en forbindelse og sørge for at den vil tåle de interne lastene.

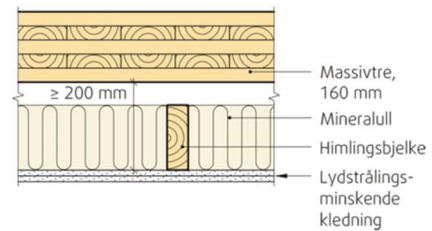
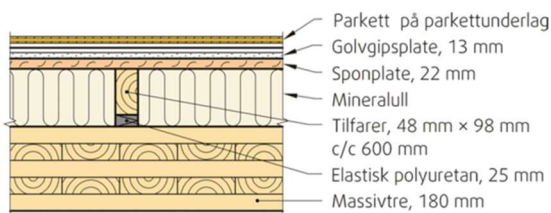
4 Utrekninger og resultater

I dette kapittelet vil vi ta for oss en rekke utregninger av styrken til selve forbindelsen, og gi innsikt i eventuelle fordeler med denne.

4.1 Lastpåkjenninger

Her regner vi ut hvilke krefter som virker fra egenlast og nyttelast.

4.1.1 Egenlast og nyttelast



Figur 14 Oppbygning himling. [13]

Figur 15 Oppbygning av overside gulv. [13]

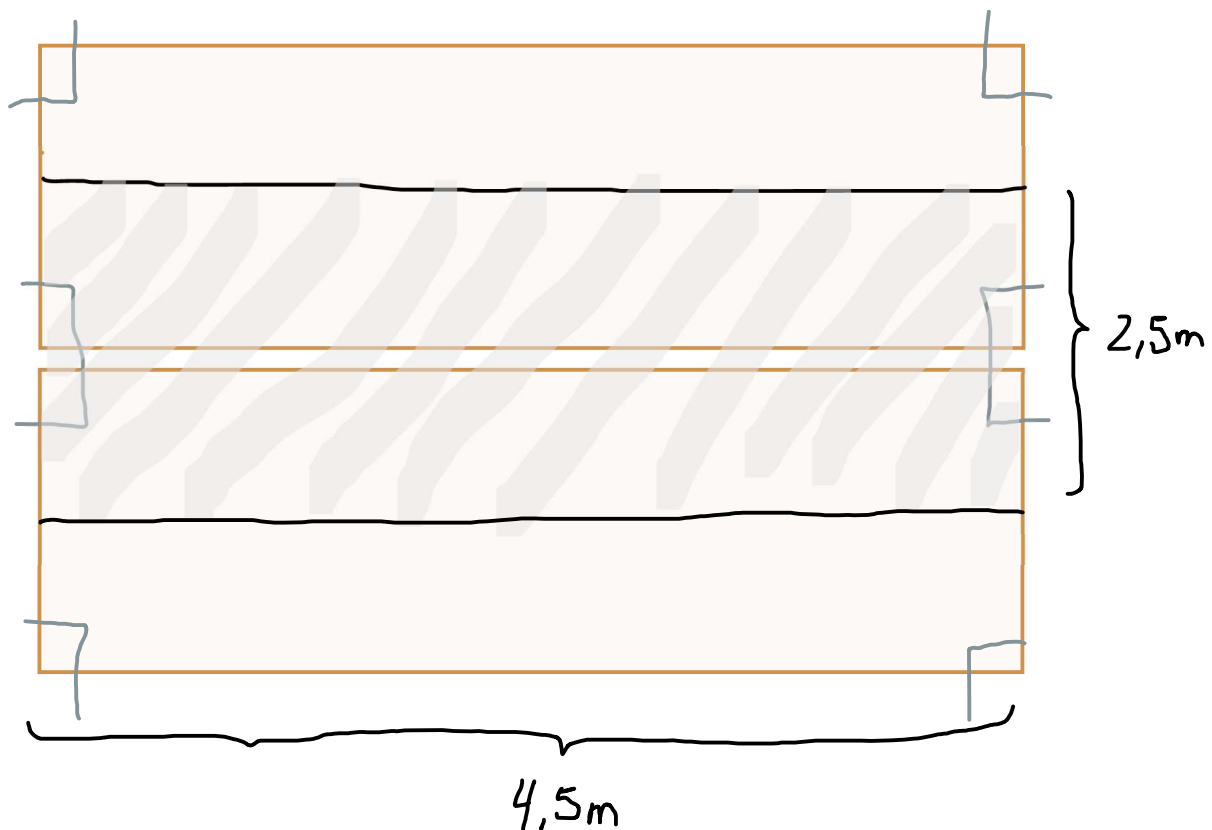
Navn	Tykkelse	Tetthet (kg/m ³)	Vekt (kg/m ²)
CLT element 5 lag	160 mm	500	80
Tillegg Oversiden	140 mm		30
Tillegg Himling	300 mm		30
		sum	140

Tabell 2 Egenvekt etasjeskille med data fra Byggforsk.no

Med en samlet totalvekt på 140 kg/m^2 tilsvarer dette i underkant av $1,4 \text{ kN/m}^2$.

Fra NS EN 1990:2002, tabell A1.1 finner vi også at $\psi_0 = 0,7$ for både kontorer og boliger.

Det største stresset man finner på en forbindelse, vil vi få når det ser slik ut ovenfra:



Figur 16 Her er gulvelementene sett ovenfra. Skissen er tegnet i tegneprogram i ord.

Da vil det dele seg slik at man får halvparten av vekten av hvert element, på de midtre forbindelsene.

Vi har $g_k = 1,4kN/m^2$ og $q_k = 3kN/m^2$ (Hentet fra tabell 1, hvor det går under kontorer).

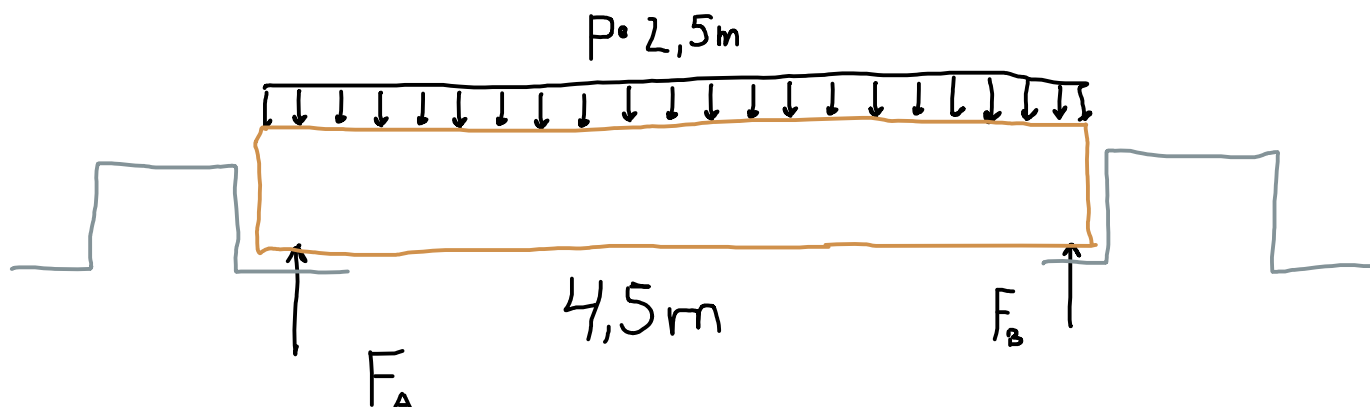
Må bruke ligningen som gir størst fordelt last;

$$\text{Ligning 6.10a: } 1,35 \cdot g_k + 1,5 \cdot \psi_0 \cdot q_k = 5,04kN/m^2$$

$$\text{Ligning 6.10b: } 1,2 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_k = 6,18kN/m^2$$

(Hentet fra Tabell NA. A1.2(A), Tabell NA. A1.2(B) and Tabell NA. A1.2(C) in NS EN 190:2002)

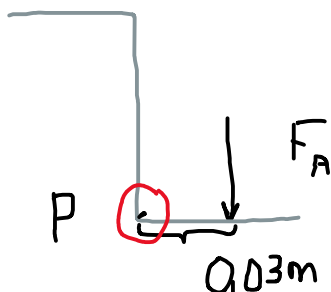
Vi ender opp med total vekt per kvadratmeter til å bli: $P = 6,18kN/m^2$. Hvis vi ser på forbindelsen fra siden, kan vi tenke 2-dimensjonalt og regne med en fordelt last på $2,5 \cdot P$ over lengden.



Figur 17 Her vises en skisse av hvordan kreftene omtrent vil se ut for et gulvelement i bygget. Laget i tegneprogram i Word.

Hver forbindelse tar lasten fra to hjørner, som vist i Figur 16. Videre vil den totale kraften fra gulvelementet vil bli fordelt likt på hver side. Dette kan uttrykkes som: $F_A = F_B = P \cdot 2,5m \cdot \frac{4,5m}{2} = 34,76kN$.

Denne kraften hviler i teorien jevnt over oppleggsflaten til flangen, som vil gi et moment hvis man regner med følgende metode. Siden det egentlig er fordelt last, blir avstanden halvparten av lengden til flangen og Newtons 3. lov gir lik kraft F_A på stålet:



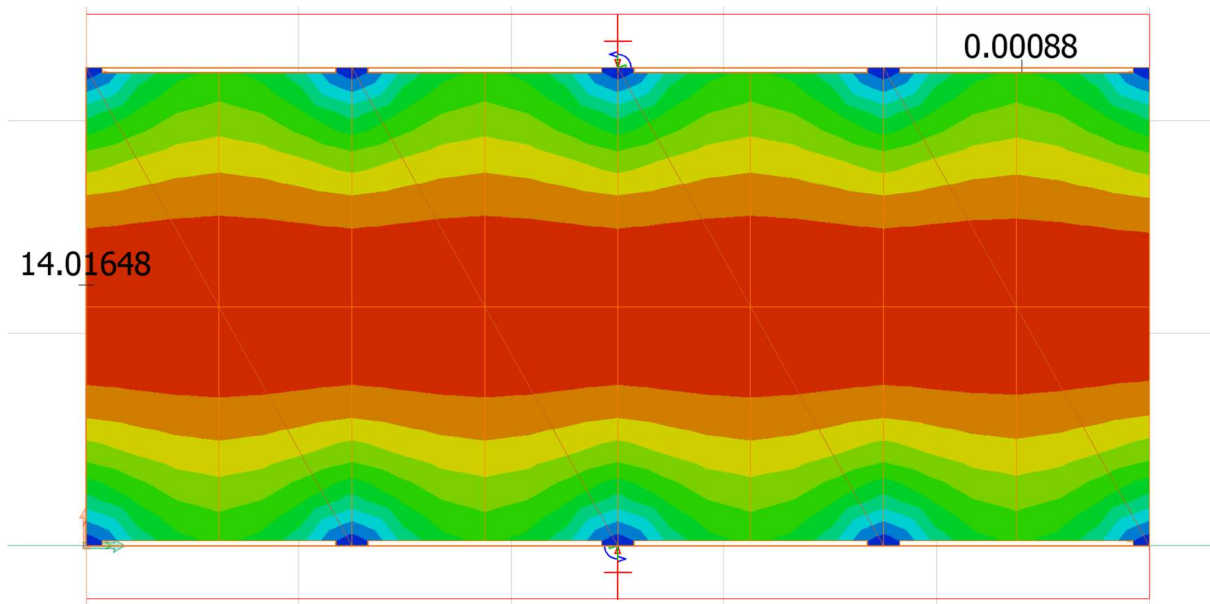
Figur 18 Her vises forbindelsen sett fra siden, og hvordan kreftene virker på denne fra gulvelementet. Laget i tegneprogram i Word.

Dette gir at det stedet med mest stress vil være i punkt P . Her vil momentet være lik $M_P = F_A \cdot 0,03m = 1,04kNm$, og skjærkraften vil være den totale kraften $V_P = 34,76kN$.

4.2 Nedbøying i elementet

I oppgaven har vi brukt gulvelementer som er $2,5m \times 4,5m \times 0,160m$. Grunnen til at den ikke er lengre er fordi det vil være en stor nedbøying i gulvet bare av denne lengden. Dette gjør at man ikke kan lage noen særlig større spenn enn det vi har brukt, og det må settes inn støtte-pilarer eller andre avlastende løsninger for å bekjempe bevegelsen.

I figuren under ser vi nedbøyingen av fire elementer lagt ved siden av hverandre som danner et etasjeskille på 45 kvadratmeter. Nyttelast og egenlast som er brukt i utregningene er henholdsvis $1,4$ og $3kN/m^2$. Egenskapene til massivtreet er hentet fra Splitkon. [25]



Figur 19 Nedbøying på fire elementer i mm, regnet ut ved hjelp av programmet Strusoft.

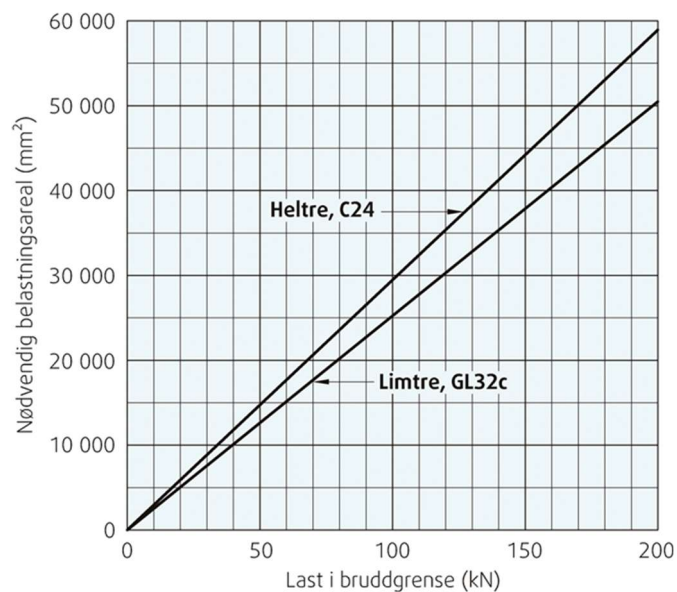
Det man ser er at nedbøyningen er på 14mm, som er innenfor kravene, men ikke med mye. Derfor kommer en praktisk grense for hvor lange spenn som er mulig. Det vil alltid være mulig å øke tykkelsen på gulvet, og det produseres per i dag elementer med en tykkelse på opptil 300mm, men dette vil kreve mye ressurser i form av råmaterialer og kost. Vi har derfor valgt å gjøre beregninger ut fra dimensjonene nevnt over.

4.3 Beregning av oppleggsflate

Oppleggsflate er det arealet som trengt for et bestemt materiale for å kunne holde en viss oppleggs-last. Dette bestemmes av faktorer som fasthetsklassen og klimaklassen den blir utsatt for. Som nevnt tidligere tåler tre betydelig mindre på tvers av fiberretningen enn på langs. For å unngå en for stor deformasjon er det avgjørende med stor nok oppleggsflate. [23]

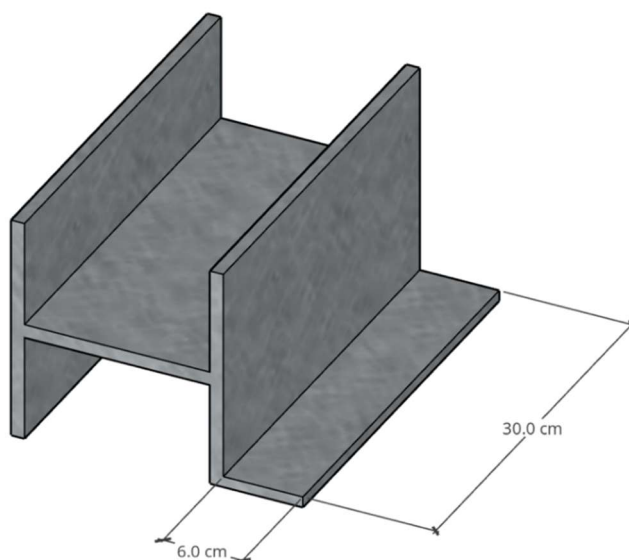
Fra kapittel Lastpåkjenning ser vi at de totale kreftene på hver overgang fra etasjeskille vil være på rett i underkant av 35 kN . Vi antar at CLT har de samme egenskapene som en limtrebjelke og bruker **Feil! Fant ikke referanseilden.** til å lese av nødvendig oppleggsflate. Grafen har stigningstall 250, som vil si at for 1 kN med last kreves 250 kvadratmillimeter oppleggsflate.

Med dette får vi et minimumsbehov for 8750 mm^2 , men for å være på den sikre siden velger vi å ha en sikkerhetsfaktor på 2, slik at det totale arealet blir 17500 mm^2 .



Figur 20 Diagram for kontroll av nødvendig oppleggsflate med last på tvers av fiberretningen. [23]

Ut fra disse tallene kan vi bestemme størrelsen på flangen i forbindelsen, den delen som stikker ut fra veggen. Dimensjonene her blir avgjørende for videre beregninger i den sammenheng at kreftene endres avhengig av størrelsesforholdet. Faktorer som spiller inn og som man må ta i betraktning er blant annet hvor langt ut man kan gå før det interne momentet blir for stort. Noen andre faktorer er hvor man kan plassere skruene, for at skruene som fester etasjeskillet skal ha nok feste i x retning, eller bred flangen kan være i korrelasjon med hvor mye metall som blir brukt i resten av forbindelsen. Etter mye resonnering får vi målene $60\text{mm} \cdot 300\text{mm}$ ($l \cdot b$) sett ovenfra som vist i Figur 21. Da er tykkelsen på platen $h = 10\text{mm}$.



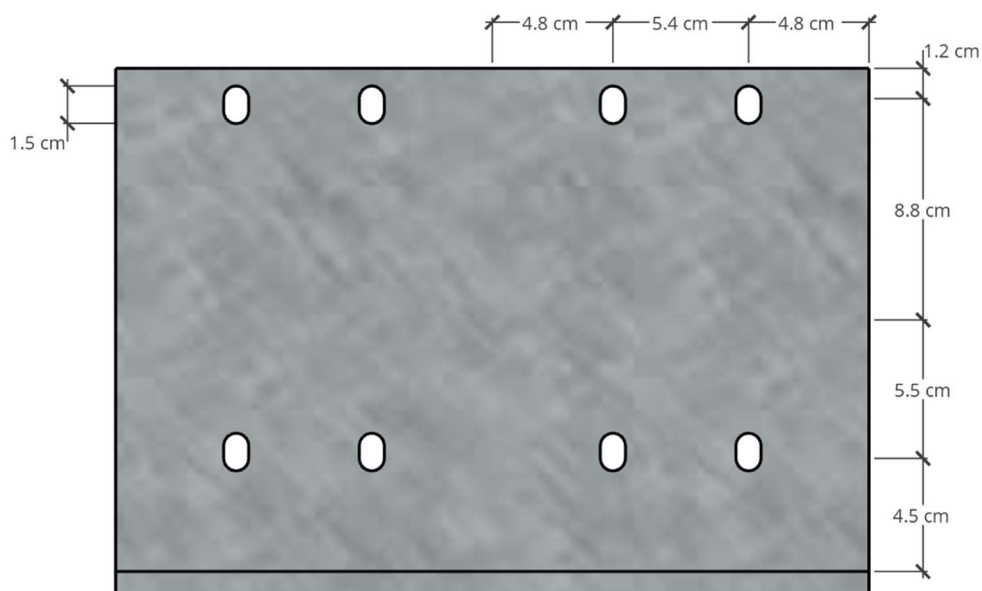
Figur 21 Overgang med mål for oppleggsflate, yttervegg.

4.4 Beregning av skruehull

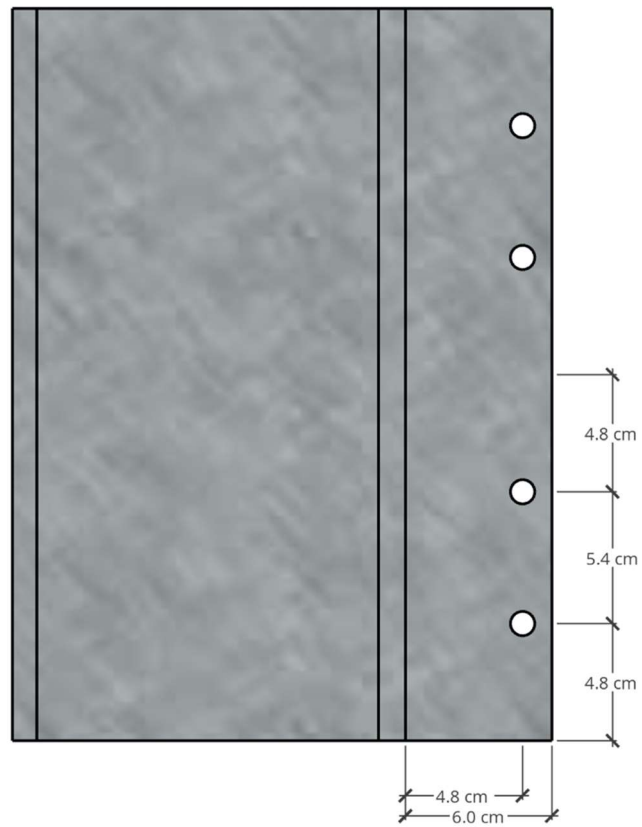
For å dimensjonere og plassere skruehullene i platen, må man vite diameteren til skruen og minsteavstanden til kanten for både metallet og treet.

Vi tar utgangspunkt i at skruene har diameter 8mm og lengde 100mm , da dette etter våre antagelser burde holde. Minsteavstanden fra enden av treet til der skruen er satt inn må være minst $6d$. Derfor må senter av skruehullet være $8\text{mm} \cdot 6 = 48\text{mm}$ inn fra kanten av panelet. Vi velger å bruke to skruer for hvert panel. Totalt fire i gulvpanelet og fire i veggpanelet, som illustrert i figurene under. Skruehullene har en diameter på 10mm for å kunne kjøre de litt skrått inn. [2]

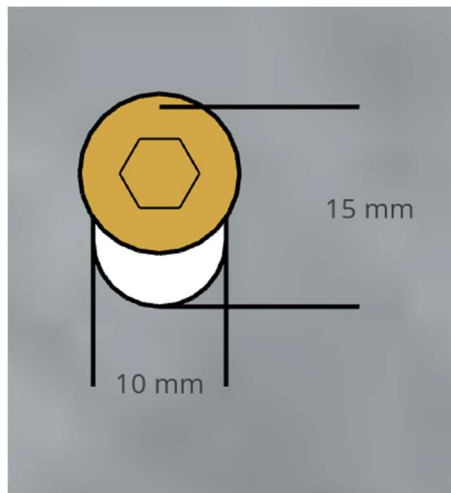
I tillegg til dette vil vi at skruehullene skal være avlange, hvor da skruene plasseres helt øverst i skruehullet. Dette er fordi at vi ikke vil at skruene skal bære lasten til veggene nedover, i mulig deformering fra de store kreftene fra etasjene over. Den skal holde igjen i horisontale retninger, og i vertikal retning oppover for ankringsfeste. Det er viktig at skruehodet har en flat nedsenket profil, som blir forsenket ned i metallplaten, slik at gulvelementet ikke kommer i konflikt med disse.



Figur 22 Mål for plassering av skruehull sett fra siden. Tegnet i Sketchup



Figur 23 Mål for plassering av skruehull sett ovenfra. Tegnet i Sketchup.



Figur 24 Dimensjoner av avlange skruehull i vertikal retning. Tegnet i Sketchup

4.5 Kapasitet

For å finne ut av om kapasiteten til stålet er nok, bruker vi ligningen 4.23 fra Swedish CLT handbook:

$$\text{Uttrykk 1: } \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{y,Ed}}{f_y} \right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y} \right)^1 \left(\frac{\sigma_{y,Ed}}{f_y} \right)^1 + 3 \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y} \right) \leq 1$$

Hvor da $\sigma_{x,Ed}$ er stresset på langs med platen, mens $\sigma_{y,Ed}$ er stresset normalt på langsiden av platen. τ_{Ed} er skjærstresset i et punkt.

$f_y = 235 \text{ MPa}$ er stresset som stålet tåler før det oppnår plastiske egenskaper.

$\gamma_{M0} = 1,0$ i vårt tilfelle og er den partiske faktoren.

[2]

Vi vet at platen vi ser på har et rektangulært tverrsnitt på $300 \text{ mm} \cdot 10 \text{ mm}$. Hvis vi ser på platen fra siden, vil det vise seg at momentet som virker gir stress i bunnen og i toppen, hvor det her blir like mye i strekk som kompresjon. Det er også slik at det er mest skjærkrefter i midten av tverrsnittet. Derfor sjekkes det om ligningen er overholdt for begge stedene.

Ved midten vil det ikke være noe stress i x- eller y-retning, og det er bare skjærkraften som virker. Denne er gitt ved uttrykk 7-3 i boka Mechanics of materials og er $\tau_{Ed} = V \cdot \frac{Q}{I \cdot t}$, hvor V er skjærkraften i aksene, I er moment of inertia, t er tykkelsen på tverrsnittet der skjærstresset skal måles og $Q = \bar{y}' \cdot A'$ der A' er arealet av toppdelen over aksene der skjærstresset skal måles og \bar{y}' er avstanden fra nøytrale aksene til tyngdepunktet til A' . [24]

$Q = \bar{y}' \cdot A'$, hvor $\bar{y}' = 2,5 \text{ mm}$ og $A' = 300 \text{ mm} \cdot 5 \text{ mm}$.

$I = b \cdot \frac{h^3}{12} = 300 \text{ mm} \cdot \frac{10^3 \text{ mm}^3}{12} = 25000 \text{ mm}^4$, og $t = 10 \text{ mm}$. Får da at skjærkraften er $\tau_{Ed} = 34,76 \text{ kN} \cdot 0,0025 \text{ m} \cdot 0,3 \text{ m} \cdot \frac{0,005 \text{ m}}{2,5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4 \cdot 0,01 \text{ m}} = 17,38 \text{ MPa}$. Dette putter vi inn i uttrykk 1 og får:

$$3 \cdot \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y} \right) = 3 \cdot \frac{17,38 \text{ MPa}}{235 \text{ MPa}} = 0,2219 \leq 1. \text{ Får at skjærkraften holder.}$$

Siden det ikke er noen krefter som presser platen sammen eller strekker den fra hverandre, vil det ikke bli noen krefter annet enn det som momentet gir. Dette får man ved ligningen 6-12 i Mechanics of materials:

$\sigma_{x,Ed} = \frac{M \cdot c}{I}$, hvor M er momentet, c er den avstanden normalt fra massesenter til utkanten, og I er moment of inertia. [24] Får da at man får et normalt stress på:

$$\sigma_{x,Ed} = 1,04kNm \cdot \frac{0,005m}{2,5 \cdot 10^{-8}m^4} = 208MPa.$$

Puttet inn i uttrykket får vi:

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}} \right)^2 = \left(\frac{208}{235} \right)^2 = 0,78 \leq 1.$$

Det vil si at momentet også vil holde.

4.6 Kompresjonsmotstand vinkelrett på fiberretningen

Dette er tilfellet ved den tradisjonelle vegg til gulv forbindelsen.

Fra tabellen under kan man se egenskapene til treet i de ulike sammenhengene. Vi er ute etter trykkfastheten til treet i svak retning, og ser at denne er 3MPa.

Element- betegnelse	Bøyefasthet $f_{m,k}$				Strekfasthet $f_{t,k}$			Trykkfasthet $f_{c,k}$			Skjærfasthet $f_{v,k}$		
	Bøyning om akse				Last i retning			Last i retning			Bøyning om akse		
	Y (sterk)	X (svak)	Z ₁ skive- virkn. (sterk)	Z ₂ skive- virkn. (svak)	X (sterk)	Y (svak)	Z (tverr- strekk)	X (sterk)	Y (svak)	Z vinkel- rett fiber- retn.	XZ (sterk)	YZ (svak)	XY skive- virkn.
Standardelementer													
60 (3s)	29,4	0,7	20,3	7,3	14,7	2,7	0,4	17,3	7,0	3,0	1,1	4,0	1,3
80 (3s)	30,0	0,3	22,9	5,5	16,5	2,0	0,4	19,5	5,3	3,0	0,7	4,0	1,0
100 (3s)	29,4	0,7	20,3	7,3	14,7	2,7	0,4	17,3	7,0	3,0	0,7	4,0	1,3
120 (3s)	29,4	0,7	20,3	7,3	14,7	2,7	0,4	17,3	7,0	3,0	0,7	4,0	1,3
100 (5s)	24,1	4,0	16,6	8,8	11,8	3,2	0,4	14,6	8,4	3,0	1,1	1,1	1,6
120 (5s)	26,8	2,3	18,9	7,3	13,5	2,7	0,4	16,5	7,0	3,0	0,7	0,7	1,3
140 (5s)	26,4	2,6	19,6	6,3	14,0	2,3	0,4	17,3	6,0	3,0	0,7	0,7	1,2
160 (5s)	24,1	4,0	16,6	8,8	11,8	6,0	0,4	14,6	8,4	3,0	0,7	0,7	1,6
180 (5s)	25,6	3,1	18,4	7,3	13,1	2,7	0,4	16,2	7,0	3,0	0,7	0,7	1,3
200 (5s)	25,8	3,0	18,7	7,0	13,3	2,6	0,4	16,5	6,8	3,0	0,7	0,7	1,3
220 (5s)	24,1	4,0	16,6	8,8	11,8	3,2	0,4	14,6	8,4	3,0	0,7	0,7	1,6
240 (7s)	25,6	2,9	19,7	5,5	13,9	2,0	0,4	17,6	5,3	3,0	0,7	0,7	1,0
260 (7s)	23,5	4,3	16,3	8,6	11,5	3,1	0,4	14,5	8,2	3,0	0,7	0,7	1,6
280 (7s)	23,3	4,4	16,9	7,8	11,9	2,8	0,4	15,2	7,5	3,0	0,7	0,7	1,4
300 (7s)	22,2	5,1	15,8	8,8	11,1	3,2	0,4	14,1	8,4	3,0	0,7	0,7	1,6

Tabell 3 Beregnede fastheter i MPa (N/mm²) til standard elementoppbygninger av Splitkon krysslåst tre [25]

Så lenge kreftene virker innenfor et område fra underlaget tilsvarende tykkelsen til CLT panelet i hver retning, skal den faktorisererte trykkmotstanden vinkelrett på fiberne, $Q'r$, være beregnet i henhold til ligning nedenfor:

$$Q_{c,z,d} = \frac{F_{c,z,d}}{A_{ef}} \leq f_{c,90,xlay,d} = k_{c,90} \cdot k_{mod} \frac{f_{c,90,xlay,k}}{\gamma_M}$$

Hvor:

$F_{c,z,d}$ Design verdien for kompresjon kraft vinkelrett på fibrene

A_{ef} det gjennomsnittlige belastningsarealet, som er hele veggens tykkelse da vi har en metallplate som fordeler vekten mellom de parallelle lamellene og de liggende.

$f_{c,90,xlay,d}$ Design verdien for kompresjon styrke vinkelrett på fibrene

$f_{c,90,xlay,k}$ Den karakteristiske styrken for kompresjon vinkelrett på fibrene, se merket gult i **Feil! Fant ikke referanseskilden.**

$k_{c,90}$ Faktor som tar høyde for hvor lasten virker, kant 1,5, i midten 1,9 og i hjørne ,3

k_{mod} Modifiseringsfaktoren, i vårt tilfelle hvor vi har permanente laster er denne 0,6 [2] s.36, tabell 3.3

γ_M Faktor for materiale, i Norge er denne 1,15 [2] s.35, tabell 3.2

Hentet fra: [2] s.54, 3.47

Dette gir følgende design verdi for vegger langs kant:

$$f_{c,90,xlay,d} = 1,5 \cdot 0,6 \frac{3}{1,15} = 2,348MPa$$

I hjørne, som er svakeste punkt:

$$f_{c,90,xlay,d} = 1,3 \cdot 0,6 \frac{3}{1,15} = 2,034MPa$$

Vi regner derfor med en styrke på 2,0MPa vinkelrett på fiberretningen.

4.7 Kompresjonsmotstand parallelt med fiberretningen

Her vil det bli regnet ut hvor mye et CLT-panel vil tåle når en kraft blir påført parallelt med fiberretningen. for senere sammenligning med tradisjonell vegg til gulv forbindelse.

$$Q_{c,x,d} = \frac{F_{c,x,d}}{A_{x,net}} \leq f_{c,0,xlay,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,xlay,k}}{\gamma_M}$$

Hvor:

$F_{c,x,d}$ Design verdien for kompresjonskraften parallelt med fibrene.

$A_{x,net}$ Tverrsnittarealet av panelet.

$f_{c,0,xlay,d}$ Design verdien for kompresjonstyrken parallelt med fibrene.

$f_{c,0,xlay,k}$ Den karakteristiske kompresjonstyrken parallelt med fibrene, hentet fra tabell 2.

k_{mod} Modifikasjonsfaktoren, i vårt tilfelle er den 0,6.

γ_M Faktoren for materialet, i Norge er den 1,15.

Hentet fra: [2] s.54, ligning 3.45

For vår sammensetning av elementet gir dette følgende styrke:

$$f_{c,0,xlay,d} = 0.6 \frac{14,6}{1,15} = 7,617 MPa$$

4.8 Estimat av antall etasjer

Vi tar som sagt utgangspunkt i et høyhus. Antall etasjer må man beregne ut ifra kreftene som vil bli fra hver enkelt etasje. For å finne dette må vi vite arealet av hvert element og hvilken kategori den er.

Vi starter med å finne totalt areal per etasje:

Rom	Antall	Lengde	Bredde	m^2 per enhet	Totalt m^2 per enhet
Leilighet	4	10	7,5	75	300
Gang	1	15	3	45	45
				Sum kvm per etasje	345 m^2

Tabell 4 Oversikt over arealfordelingen, tatt utgangspunkt i Figur 2 Planløsning av bygg konstruert i Revit

Neste steg er å finne arealet av bæreflaten til veggene. Siden vi har valgt at alle bærevegger er av samme tykkelse, 160mm, må vi finne lengden av alle disse veggene samlet. Dette viser seg å bli 169m, som gir et areal på 27m².

Vi finner ut av hvor mye en etasje veier, som er avhengig av hvilken kategori den består av. Under er tabell over samtlige aktuelle kategorier og tilhørende last per etasje:

Egenvekt (kN/m^2)	Nyttelast (kN/m^2)	Samlet med sikkerhetsfaktor (1,2 og 1,5) (kN/m^2)	Total last (kN)
1,4	3	6,18	2132,1

Tabell 5 Oversikt over de ulike etasjene med tilhørende egenlast og nyttelast, hentet fra tabell 1.

Hver etasje vil utgjøre følgende:

$$L_{etg} = \frac{\text{total last}}{\text{total oppleggsflate}} = \frac{2132,1 \text{ kN}}{27 \text{ m}^2} = 0,08 \text{ MPa}$$

Med informasjonen fra kapittel Kompresjonsmotstand vinkelrett på fiberretningen, ser vi at maksimalt antall etasjer for den tradisjonelle metoden blir som følger

$$\text{Antall etasjer} = \frac{Q_{c,z,d}}{L_{et}} = \frac{2,0 \text{ MPa}}{0,08 \text{ MPa}} = 25$$

For å regne ut antall etasjer det er mulig bygge med vårt design bruker vi samme utregning som over, men bytter ut trykkmotstanden vinkelrett på fiberretningen med parallelt med fiberretningen.

$$\text{Antall etasjer} = \frac{Q_{c,x,d}}{L_{etg}} = \frac{7,6 \text{ MPa}}{0,08 \text{ MPa}} = 95$$

Dette er sett bort i fra andre laster som vil påvirke bygget i virkeligheten som vind og jordskjelvs krefter, men man kan se en vesentlig forskjell.

4.9 Konstruksjonsprosessen

Overgangen skal i prinsippet være mulig å produsere på den samme måten som man lager H-bjelker og andre varmvalsede stålprofiler. Denne prosessen starter med råmaterialer av stål som blir varmet opp til over rekrytalliserings temperaturen, for deretter å rulles gjennom en serie av valser til den foretrukne formen. [18] Etter mye leting på internett har vi ikke kommet over en helt identisk profil, men en kombinasjon av H-profil og hatt-profil burde være oppnåelig.

4.10 Pris

Prisen for overgangen vil kunne sammenlignes med prisen for en H-bjelke i tilsvarende dimensjoner av samme ståltype S235. Man må legge til kostnader for å borre ut hull til skruer.

Ved å undersøke markedet ser vi at prisen per kvadratmillimeter stålprofil varierer stort mellom hvilken type bestandighet de har. Priser er hentet fra Stålbutikken.no og inkl. Mva.

Bjelke	Areal	Pris per meter	Pris cm^3
Syrefast HEB 160	5430	25000	4,604051565
Galvanisert HEB 160 S235	5430	5660	1,042357274
HEB 160 S235	5430	3910	0,7200736648

Tabell 6 Pris for ulike materialer inkl. Mva., hentet fra staalbutikken.no

Det vi ser fra tabell er at prisen per kvadratmillimeter stålprofil varierer stort mellom hvilken type bestandighet mot korrosjon de har. Siden stålet i vårt tilfelle skal brukes der det ikke er utsatt elementer som regn og vind, holder trolig den galvanisert varianten. Vi tar derfor utgangspunkt i pris på 1kr per kubikkmillimeter. Antall kubikkmillimeter finner vi ved å ta profil-arealet og multiplisere med lengden. I den overgangen vi har valgt å ta utgangspunkt i har vi et profil-areal på $68,46 \text{ cm}^2$, og en lengde 30cm . Dette gir totalt volum på 2054, som ved valg av galvanisert stål også blir sags prisen for en slik enhet. I vårt bygg er det behov for rundt 50 av disse, så over 100.000, - går til forbindelser i hver etasje

5 Drøfting

Ut ifra beregningene vi har gjort ser det ut til at overgangen vil kunne fungere i teorien. I den virkelige verden er det en hel rekke faktorer som spiller inn og det er derfor vanskelig å si om den vil være bra nok i praksis. Vi har ikke hatt kapasitet til å utføre samtlige utregninger på tvers av alle disse faktorene. Det vil derfor være en usikkerhet knyttet til disse, som for eksempel vind. Dette er et krevende sett med utregninger og vil være svært tidkrevende. Ut ifra de beregningene man ville fått der, kan man finne ut av hvor mye man trenger av stål, hvor store skruer og hvor mange av disse man burde ha, og i tillegg funnet ut om det burde være en annen type stål enn det vi har brukt.

Et annet viktig aspekt er at vi ikke har testet overgangen i virkeligheten. Dette er fordi oppgaven i seg selv er omfattende nok ved det å finne et passende design og gjøre teoretiske beregninger ut ifra dette.

Det er som sagt innledningsvis heller ikke så mange gode standarder og dokumentasjoner å gå etter, siden dette er et relativt nytt konsept. Dette gjør at det kan være hensyn å ta, som vi ikke gjør, og må derfor være observant på dette.

Hvis man ser på andre overganger i samme kategori, vegg til gulv, er det mye utvalg. Det kommer da et spørsmål om hvorfor vårt design skal benyttes over de andre. Ved lavere bygg er ikke forbindelsen som vi har designet noe særlig poeng, fordi treet tåler lasten normalt på fiberretningen, og det vil ikke være på langt nær like store krefter i vertikal retning. Da lønner det seg å bruke en forbindelse som er billigere å lage, noe som oppnås ved blant annet å bruke mye mindre stål enn det vi bruker i vår overgang.

Når byggene blir store nok til at fiberretningen har noe å si, vil det kunne diskuteres om vår overgang burde anvendes. Det er for eksempel nevnt en annen forbindelse vist i Figur 7, som har likhetstrekk med vår med tanke på plasseringen av gulvet og veggene. Denne mener vi ikke er bedre mot vårt design, siden den ikke har så mye støtte på veggene i horisontal retning. Ved store og høye bygg vil det være mye krefter som virker både vertikalt og horisontalt, og stabiliteten til spesielt de nedre etasjene er viktige for at bygget skal ha tilfredsstillende egenskaper. Vi mener derfor at forbindelsen vår er overlegen da denne løser både sammenkobling for vegger og gulv og gir god stabilitet.

Det er visse styrker som er vanskelig å finne ut av i forbindelsen. Det er brukt skruer som skal holde igjen visse krefter, og det er et spørsmål om hvor mye disse burde tåle, samt styrken metallet på sidene burde tåle. Disse kreftene kommer hovedsakelig fra vindkrefter og jordskjelv, noe vi ikke har tatt med i betraktning i vår oppgave, men som er svært viktig.

Andre faktorer som er vanskelig å ha med i beregninger er frekvens til bygget. Man burde få en bygningsfrekvens som gjør at bygget motstår vinden, heller enn at den hjelper den, noe som kan oppnås ved forskjellige løsninger. Vi har derimot ikke sett på hva forbindelsen gjør med frekvensen, eller om det er nødvendig å sjekke den opp mot det i det hele tatt.

Når vi tenker på resten av bygget, er det nok ganske mye som burde vært annerledes, for at dette skulle være et bygg som det er verdt å sette opp. Dette er da med tanke på flere ting, som for eksempel veggstørrelser, gulvdimensjoner, planløsning og mye mer. Hvordan forbindelsen vil se ut, avhenger veldig av disse andre faktorene.

Om vi for eksempel valgte å ha større gulv, vil lasten som hvert gulv gir til forbindelsen øke. Dette gjør at vi må forandre forbindelsen slik at den tåler disse lastene. Når den øker er det mulighet for å velge et annet stål som tåler mer eller øke dimensjonene i overgangen.

Dette er et annet aspekt som er viktig å tenke på. Man kan ikke bare sette inn forbindelsen vi har laget inn i et hvilket som helst bygg, og man må tilpasse den de ulike påkjenningene som vil oppstå.

6 Konklusjon

I denne oppgaven har vi brukt tilgjengelig informasjon for å finne en best mulig forbindelse fra vegg til gulv i CLT.

Massivtre er en byggeteknikk som blir brukt mer og mer, dette er på grunn av klimaendringene og strengere krav fra regjeringen. Det vil derfor bli et større behov for nye og forbedrede metoder for blant annet overganger. Det denne oppgaven beviser er at dette er mulig og at det er store utviklingspotensialer innenfor disse områdene. Med nye løsninger vil man kunne bygge høyere, mer kostnadseffektivt og ha en tryggere byggeplass.

Vi har ikke tatt for oss vindkrefter og jordskjelv, som gir krefter og bevegelser som er viktige for overgangen. I tillegg til dette har vi ikke gjort forsøk og eksperimenter på forbindelsen, som er nødvendige for å finne ut av kapasiteten. Dette gir derfor en usikkerhet når det kommer til om forbindelsen er god eller ikke.

I mindre bygg er de tradisjonelle vegg til gulv forbindelsene mest brukt. Problemet med denne forbindelsen er at gulvet vil havne i klem mellom to vegger og all kompresjonskraften vil virke vinkelrett på fiberretningen. Trykkfastheten til tre er svakest vinkelrett på fiberretningen og begrenser dermed hvor store konstruksjoner som kan bygges med denne forbindelsen. Ved større bygg er det derfor nødvendig med forbindelser hvor dette er unngått, og dette kan gjøres blant annet på den måten vi har designet.

Løsningen vi har laget er til slutt etter beregningene vi har foretatt, og etter vår kunnskap om vind og jordskjelv, optimalisert.

7 Videre forskning

Ut ifra denne oppgaven, er det kommet frem til en konklusjon som setter grunnlaget for videre forskning. Hva som må gjøres for å finne ut av om forbindelsen kan eller burde brukes starter med flere undersøkelser.

Det er en rekke krefter som må tas til betraktning før man tar i bruk vårt design i praksis. Vindkrefter har stor betydning på bygg, spesielt i høyere bygg ettersom vindkreftene stiger i høyden. Det vil derfor være nødvendig å regne ut vindkrefter som virker på bygget, for så å undersøke videre om forbindelsen vår skaper nok stabilitet til å holde bygget på plass. Da må man også ta med skruer i utregningen, for å sørge for at disse også tåler kreftene som virker i forbindelsene.

Et annet aspekt man må tenke på er knekking i veggene, spesielt ytterveggene, da disse blir utsatt for mer kraft utenfor veggens senterakse. Dette vil skape et internt moment i veggen som kan føre til knekking (buckling på engelsk).

Før man tar i bruk forbindelsen, må den også testes i virkeligheten. Dette er nødvendig for å sjekke om utregningen stemmer, og at den tåler det den skal tåle.

8 Litteraturliste

- [1] «Klimaendringer». <https://www.fn.no/tema/klima-og-miljoe/klimaendringer> (åpnet 26. april 2022).
- [2] «Swedish-Wood-CLT-Handbook.pdf». Åpnet: 6. april 2022. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.woodcampus.co.uk/wp-content/uploads/2019/05/Swedish-Wood-CLT-Handbook.pdf>
- [3] «limtreboka_2015_el2.pdf». Åpnet: 1. februar 2022. [Online]. Tilgjengelig på: https://www.moelven.com/globalassets/moelven-limtre/limtreboka_2015_el2.pdf
- [4] «Mass Timber Rises to New Heights», *Code Red Consultants*. <https://coderedconsultants.com/insights/mass-timber-rises-to-new-heights/> (åpnet 30. april 2022).
- [5] «Neste generasjons trebygg kommer nå!», 6. mai 2018. <https://www.nmbu.no/aktuelt/node/34718> (åpnet 9. mai 2022).
- [6] «20-Massivtre.pdf». Åpnet: 4. februar 2022. [Online]. Tilgjengelig på: <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/20-Massivtre.pdf>
- [7] *Canadian CLT Handbook, 2019 Edition*. National Library of Canada, 2020.
- [8] «Teknisk beskrivelse», *Modulbygg Gruppen AS*. <https://www.modulgruppen.no/teknisk-beskrivelse/> (åpnet 5. april 2022).
- [9] A. the A. / Dovetail, «The Evolution of CLT Manufacturing in North America – Wood Design & Building». <http://www.wooddesignandbuilding.com/the-evolution-of-clt-manufacturing-in-north-america/> (åpnet 6. mai 2022).
- [10] N. K. Reitan, K. L. Friquin, og R. F. Mikalsen, «SAFETY & TRANSPORT RISE FIRE RESEARCH», s. 88.
- [11] «Med miljø i fokus», *Splitkon*. <https://splitkon.no/baerekraft/> (åpnet 7. februar 2022).
- [12] «Kretsløpet som er avgjørende for klimaet | Tenk Tre». <https://www.tenktre.no/a/kretsløpet> (åpnet 27. april 2022).
- [13] «Comparing the Costs of Cross Laminated Timber and Reinforced Concrete Structures», *Pacific Northwest Building Resilience Coalition*, 25. mars 2018. <https://buildingresiliencecoalition.org/comparing-the-costs-of-cross-laminated-timber-clt-and-cast-in-place-reinforced-concrete-structures/> (åpnet 6. april 2022).
- [14] H. Nordlie, «New York», *Store norske leksikon*. 23. mai 2019. Åpnet: 11. mai 2022. [Online]. Tilgjengelig på: http://snl.no/New_York
- [15] G. Thorsnæs, «Oslo», *Store norske leksikon*. 18. mars 2022. Åpnet: 11. mai 2022. [Online]. Tilgjengelig på: <http://snl.no/Oslo>
- [16] J. K. Solberg, N. Christensen, og A. Almar-Næss, «stål», *Store norske leksikon*. 3. mai 2022. Åpnet: 11. mai 2022. [Online]. Tilgjengelig på: <http://snl.no/st%C3%A5l>
- [17] «Total Materia - Stålegenskaper». <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=SteelProperties&LN=NO> (åpnet 11. mai 2022).
- [18] J. K. Solberg, «varmvalset stål», *Store norske leksikon*. 28. april 2022. Åpnet: 8. mai 2022. [Online]. Tilgjengelig på: http://snl.no/varmvalset_st%C3%A5l
- [19] «How much hydrogen will be needed to replace coal in making steel?», *Carbon Commentary*. <https://www.carboncommentary.com/blog/2020/11/4/how-much-hydrogen-will-be-needed-to-replace-coal-in-making-steel> (åpnet 20. april 2022).
- [20] British Standards Institution, *Timber structures. Glued laminated timber. Strength classes and determination of characteristic values*. 1999.
- [21] «522.891 Etasjeskillere i massivtre - Byggforskserien». https://www.byggforsk.no/dokument/3367/522891_etasjeskillere_i_massivtre (åpnet 6. april 2022).
- [22] «Skjelv.no - Jordskjelvstasjonen i Bergen». <https://nnsn.geo.uib.no/nnsn/#/> (åpnet 6. april 2022).

- [23] «20712g.pdf». Åpnet: 13. mai 2022. [Online]. Tilgjengelig på: <https://splitkon.no/wp-content/uploads/2022/02/20712g.pdf>
- [24] «520.222 Bjelker av tre. Dimensjonering - Byggforskserien». https://www.byggforsk.no/dokument/304/bjelker_av_tre_dimensjonering (åpnet 30. april 2022).
- [25] R. C. Hibbeler, *Mechanics of Materials*, 8th edition. United States of America, 2011.

10 Tabell-liste

Tabell 1 Nyttelast hentet fra EN 1991-1-1	26
Tabell 2 Egenvekt etasjeskille med data fra Byggforsk.no.....	27
Tabell 3 Beregnede fastheter i MPa (N/mm²) til standard elementoppbygninger av Splitkon krysslimt tre [25]	35
Tabell 4 Oversikt over arealfordelingen, tatt utgangspunkt i Figur 2 Planløsning av bygg konstruert i Revit.....	37
Tabell 5 Oversikt over de ulike etasjene med tilhørende egenlast og nyttelast, hentet fra tabell 1.....	37
Tabell 6 Pris for ulike materialer inkl. Mva., hentet fra staaibutikken.no	38

11 Figur-liste

Figur 1 Illustrasjon av tradisjonell yttervegg-gulv-yttervegg overgang mot vårt design. Illustrert i Sketchup.....	15
Figur 2 Planløsning av bygg konstruert i Revit.	16
Figur 3 Modell av bygget konstruert i Revit.....	16
Figur 4 Selvborende skruer [2]	17
Figur 5 Vinkeljern, [7]	17
Figur 6 Skjulte metallplater, [2].....	18
Figur 7 Vinkel i stål, [2].....	19
Figur 8 Selvdesignet førsteutkast.....	20
Figur 9 Selvdesignet andre utkast. Tegnet i Sketchup.	21
Figur 10 Selvdesignet tredjeutkast. Tegnet i Sketchup.....	22
Figur 11 Selvdesignet endelig design. Tegnet i Sketchup.	23
Figur 12 Endelig design for yttervegg med mål.	24
Figur 13 Endelig design for innervegg med mål	25
Figur 14 Oppbygning himling. [13] Figur 15 Oppbygning av overside gulv. [13]	27
Figur 16 Her er gulvelementene sett ovenfra. Skissen er tegnet i tegneprogram i ord.....	28
Figur 17 Her vises en skisse av hvordan kreftene omtrent vil se ut for et gulvelement i bygget. Laget i tegneprogram i Word.....	29
Figur 18 Her vises forbindelsen sett fra siden, og hvordan kreftene virker på denne fra gulvelementet. Laget i tegneprogram i Word.	29
Figur 19 Nedbøying på fire elementer i mm, regnet ut ved hjelp av programmet Strusoft.....	30
Figur 20 Diagram for kontroll av nødvendig oppleggsflate med last på tvers av fiberretningen. [23]	31
Figur 21 Overgang med mål for oppleggsflate, yttervegg.	31
Figur 22 Mål for plassering av skruehull sett fra siden. Tegnet i Sketchup	32
Figur 23 Mål for plassering av skruehull sett ovenfra. Tegnet i Sketchup.....	33
Figur 24 Dimensjoner av avlange skruehull i vertikal retning. Tegnet i Sketchup	33

