Universitetet i Agder

Bachelor

Demonterbare knutepunkter for massivtrebygg

Tekniske og økonomiske kompromisser ved etablering av demonterbare knutepunkter i massivtrebygg

Forfattere

Per Kristian Anderssen
Arthur Finsådal Larsen
Stian Gunnarsen Mevastaul Voje

Veiledere

Preben Aanensen
Kenneth Hatlestad

Universitetet i Agder, 2025

Fakultet for teknologi og realfag
Institutt for ingeniørvitenskap

Obligatorisk egenerklæring

Den enkelte student er selv ansvarlig for å sette seg inn i hva som er lovlige hjelpemidler, retningslinjer for bruk av disse og regler om kildebruk. Erklæringen skal bevisstgjøre studentene på deres ansvar og hvilke konsekvenser fusk kan medføre. Manglende erklæring fritar ikke studentene fra sitt ansvar.

1.	Vi erklærer herved at vår besvarelse er vårt eget arbeid, og at vi ikke har brukt andre kilder eller har mottatt annen hjelp enn det som er nevnt i besvarelsen.	☒
2.	Vi erklærer videre at denne besvarelsen: - ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/ høyskole innenlands eller utenlands. - ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt. - ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt. - har alle referansene oppgitt i litteraturlista. - ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse.	☒
3.	Vi er kjent med at brudd på ovennevnte er å betrakte som fusk og kan medføre annullering av eksamen og utestengelse fra universiteter og høgskoler i Norge, jf. Universitets- og høgskoleloven §§4-7 og 4-8 og Forskrift om eksamen §§ 31.	☒
4.	Vi er kjent med at alle innleverte oppgaver kan bli plagiatkontrollert.	☒
5.	Vi er kjent med at Universitetet i Agder vil behandle alle saker hvor det forligger mistanke om fusk etter høgskolens retningslinjer for behandling av saker om fusk.	☒
6.	Vi har satt oss inn i regler og retningslinjer i bruk av kilder og referanser på biblioteket sine nettsider.	☒

Publiseringsavtale

Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven

Forfatterne har opphavsrett til oppgava. Det betyr blant annet enerett til å gjøre verket tilgjengelig for allmennheten (Åndsverkloven. §2).

Alle oppgaver som fyller kriteriene vil bli registrert og publisert i Brage Aura og på UiA sine nettsider med forfatternes godkjennelse.

Oppgaver som er unntatt offentlighet eller taushetsbelagt/konfidensielle vil ikke bli publisert.

Vi gir herved Universitetet i Agder en vederlagsfri rett til å gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering:	☐ JA	☒ NEI
Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)? (Båndleggingsavtale må fylles ut)	☐ JA	☒ NEI
- Hvis ja:		
Kan oppgaven publiseres når båndleggingsperioden er over?	☐ JA	☒ NEI
Er oppgaven unntatt offentlighet? (inneholder taushetsbelagt informasjon. Jfr. Offl. §13/Fvl. §13)	☐ JA	☒ NEI

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet som en avsluttende oppgave ved bachelorprogrammet for Byggdesign ved Universitet i Agder. Oppgaven ble skrevet av tre studenter våren 2025, i emne BYG315. Valg av tema er delvis basert på vår bakgrunn som fagarbeidere med svennebrev, og et ønske om å koble praktisk byggeplassforståelse opp mot bærekraftige løsninger i prosjektering. Arbeidet har tatt for seg bruk av demonterbare knutepunkter for massivtrebygg, med fokus på kostnader, tidsbruk og strukturell utnyttelse. Oppgaven er bygget på casestudie, litteraturstudie og intervjuer med bransjefolk.

Vi ønsker å spesielt takke våre veiledere: Preben Aanensen fra Universitetet i Agder og Kenneth Hatlestad fra Backe AS, som har vært gode diskusjonspartnere, kommet med viktige innspill og hjelp gjennom oppgaven.

Deretter ønsker vi å takke alle intervjuobjektene som tok seg tid til å bli intervjuet og var villige til å dele nyttig kunnskap og erfaring med gruppen.

Summary

To meet current climate requirements, the Norwegian construction industry must adapt. By implementing disassembly and enabling greater reuse of the building materials, one can contribute to achieving the goals set for 2030 in the Paris Agreement. This bachelor thesis investigates if compromises must be made when a mass timber building is to be designed with demountable connection instead of standardized joints.

To answer this question, a case study of Haraldsvang School was conducted, in which the current connections were replaced with more demountable alternatives. The thesis examines whether this leads to significant price changes, possible restructuring of existing elements and changes in time use.

Interviews were also conducted with professionals with experience from the construction industry and relevant knowledge of connection solutions or mass timber buildings.

The results show a cost increase, but this is a small amount compared to the price of the entire project. The change does not result in significant changes to the structural configuration of Haraldsvang School. The thesis also indicates a general consensus that today's mass timber buildings are, in principle, demountable, but that it is demanding in practice and requires significant facilitation in order for the reuse of mass timber buildings to become standard practice in the industry.

Innholdsfortegnelse

Obligatorisk egenerklæring **i**

Publiseringsavtale **ii**

Forord **iii**

Summary **iv**

Innholdsfortegnelse **v**

Figurliste **viii**

Tabelliste **ix**

1 Innledning **1**
1.1 Bakgrunn . . . 1
1.2 Problemområde . . . 1

2 Kunnskapsbakgrunn **2**
2.1 Miljøperspektiv . . . 2
2.2 Relevante standarder og forskrifter . . . 2
2.2.1 Eurokode . . . 2
2.2.2 Eurokode 1 . . . 3
2.2.3 Eurokode 5 . . . 3
2.2.4 NS-EN 14080:2013+NA:2016 . . . 3
2.2.5 NS-EN 16351:2021 . . . 3
2.2.6 ISO 20887 . . . 3
2.3 Metoder og digitale verktøy for beregning av laster . . . 3
2.3.1 Klassisk bjelketeori / Euler-Bernoulli-Teori . . . 3
2.3.2 STRIAN- Structural calculator . . . 3
2.4 Sertifisering av produkter og byggevarer . . . 4
2.4.1 Forskrift om dokumentasjon av byggevarer . . . 4
2.4.2 CE-merking . . . 4
2.4.3 ETA sertifisering . . . 4
2.4.4 SINTEF Teknisk Godkjenning . . . 4
2.5 Massivtre . . . 4
2.5.1 GL-Tre . . . 4
2.5.2 KLT . . . 4
2.5.3 KL-trähandbok . . . 5
2.6 Knutepunktsløsninger . . . 5
2.6.1 Ofte brukte løsninger . . . 5
2.6.2 Eksempler på demonterbare løsninger . . . 7

3 Forskerspørsmål **9**
3.1 Hovedspørsmål . . . 9
3.2 Underspørsmål . . . 9
3.2.1 Tidsbruk og kostnad . . . 9
3.2.2 Beregninger . . . 9

4 Metode **10**
4.1 Litteraturstudie . . . 10
4.1.1 Innledende litteraturstudie . . . 10
4.1.2 Målrettet litteraturstudie . . . 10
4.1.3 Kildekritikk og vurdering av informasjon . . . 10
4.2 Casestudie . . . 11
4.3 Valg av sammenkoblinger . . . 12
4.3.1 Utelating av knutepunkter . . . 14
4.4 Beregninger . . . 14
4.4.1 Lastberegning . . . 14
4.4.2 Kapasitetsberegning . . . 15
4.4.3 Brann . . . 16
4.4.4 Kostnad og tid sammenligninger . . . 16
4.5 Kunstig intelligens . . . 16
4.6 Intervju . . . 17
4.6.1 Intervjuobjekter . . . 17
4.6.2 Vurdering av svarene . . . 17
4.6.3 Personvern . . . 17

5 Resultat og diskusjon **19**
5.1 Analyse og valg av knutepunkter . . . 19
5.1.1 Tilpasningsbehov ved bruken av demonterbare sammenkoblinger . . . 22
5.2 Strukturell påvirkning . . . 22
5.2.1 Limtre-bjelker . . . 22
5.2.2 Limtre-søyler . . . 24
5.2.3 KLT-vegger . . . 25
5.2.4 KLT-dekker . . . 25
5.2.5 Overordnet vurdering av strukturell påvirkning . . . 26
5.3 Kostnader og økonomiske vurderinger . . . 26
5.3.1 Bakgrunn og avgrensninger . . . 26
5.3.2 Materialkostnader . . . 26
5.3.3 Samlet materialkostnad i bygget . . . 29
5.3.4 Diskusjon rundt kostnader . . . 30
5.3.5 Vurdering av usikkerhet . . . 30
5.4 Tidsbruk . . . 31
5.4.1 Monteringstid . . . 31
5.4.2 Demonteringstid . . . 31
5.5 Diskusjon av gjenbruk av dagens masivtre bygg . . . 31
5.5.1 Komplikasjoner ved gjenbruk av massivtreelementer . . . 32

6 Konklusjon **34**
6.1 Konklusjon . . . 34
6.1.1 Anbefalinger for videre arbeid . . . 34

Referanser **35**

7 Vedlegg **38**

Vedlegg **38**
7.1 Loggbok . . . 38
7.2 Evaluering av demonterbarhet . . . 38
7.3 Demonterings-kriterier . . . 38
7.4 Laster til sammenkoblinger . . . 38

7.5 HS-S-501 - Haraldsvang School - Calculation Report 38
7.6 Erstatning av sammenkoblinger 38
7.7 Prissammenligning 38
7.8 Referat Rothoblaas 38
7.9 Referat Massivtre AS 38
7.10 Referat Acetra 38
7.11 Referat Splitkon AS 38

Figurliste

2.1 Vinkelkobling i overgangen mellom dekke og vegg. Vinkelen er representativ for lignende løsninger som benyttes i norsk byggebransje [29]. 5
2.2 Hullplateforbindelse mellom vertikale veggelementer. Hullplaten er representativ for lignende løsninger som benyttes i norsk byggebransje [30]. 6
2.3 Knivløsning for oppheng av massivtrebjelke som er delvis montert. Knivløsningen er representativ for lignende løsninger som benyttes i norsk byggebransje [31]. 6
2.4 Søyleskoløsning med innfelte knivplater i bunnen av søylene. Søyleskoen er representativ for lignende løsninger som benyttes i norsk byggebransje [32]. 7
2.5 Spline joint løsning for sammenføyning av vegg element. løsningen er representativ for lignende løsnigner som benyttes i norsk byggebransje [33]. 7
2.6 Bilde 1 (venstre) viser en veggsammenføyning med bolter og stive metallkomponenter[36]. Bilde 2 (høyre) viser en justerbar tresløyfe med strammebolt[37]. Løsningene illustrerer ulike tilnærminger til demonterbare løsninger tilgjengelig på norsk marked. 8

4.1 Utdrag fra arkitektens BIM-modell som viser utformingen av Haraldsvang skole, bygg A er delen markert i rødt. 11
4.2 Viser bærende konstruksjon for bygg A, hentet fra Acetras kalkuleringsrapport (vedlegg 7.5). 12

5.1 Bilde 1 (venstre) illustrerer løsningens plassering i dekker. Bilde 2 (høyre) illustrerer bruken av løsningen og stramming av dekke-elementer [37]. 19
5.2 Bildet illustrerer løsningens utforming og bruksområde i dekker og vegger [42]. . . . 20
5.3 Bilde 1 (venstre) illustrerer de forskjellige utformingene for Alumega. Bilde 2 (høyre) viser eksempel på montering og bruk [43]. 21
5.4 Bilde 1 (venstre) illustrerer bruken av løsningen. Bilde 2 (høyre) er et snittbilde av løsningen og illustrerer gjennomgangen mellom dekkeelementene [44]. 21
5.5 Kostnadsfordeling mellom bygningsdelene med tilhørende prosent og totalpris 29
5.6 Viser tilfellet med utsparinger i veggelementer, hentet fra BIM-modell av Haraldsvang skole. 30

Tabelliste

4.1 Kriterier, beskrivelse og score for sammenkoblingene. Disse la grunnlaget for valg av løsninger. 13
4.2 Forklaring av de enkelte scorene. 14
4.3 Kort forklaring om intervjuobjektene og hvilket vedlegg som inneholder referat fra hvert intervju. Stillingen til representanten fra Massivtre AS ble utelatt for å opprettholde anonymitet. 17

5.1 Navn, bruksområde og vurderingsscore for utvalgte løsninger. Grunnlaget for scoringen er forklart i vedlegg 7.3. 19
5.2 Sammenligning av eksisterende og foreslåtte sammenkoblinger i bjelkegruppene GL-Bjelker 1–5. Sammenligningene er begrenset til innenfor hver enkelt bjelkegruppe. Tabellen viser utnyttelsesgrad (η) basert på R_v, plassbehov ved installasjon av sammenkoblingen, samt dimensjonene til den tilhørende bjelken i casen. I sammenkoblinger med flere komponenter, er plassbehovet basert på komponenten på bjelkesiden av sammenkoblingen. 23
5.3 Valgt sammenkobling i søylegruppen GL-Søyler. Det var originalt ingen sammenkobling i toppen av søylene i casen, da de var montert direkte oppå hverandre. Utnyttelsen (η) baserer seg på $R_{ax,c}$ 24
5.4 Sammenligning av eksisterende og valgte sammenkoblinger i elementgruppen KLT-Vegger. Tabellen viser utnyttelsesgrad i skjær ($\eta_{skjær}$) for løsningene, denne utnyttelsen baserer seg på R_v. 25
5.5 Sammenligning av eksisterende og valgt innfesting i elementgruppen KLT-Dekker. Tabellen viser kapasitet per meter ($R_{v,k}$), og antall innfestninger per meter (n) for løsningene. 25
5.6 Kostnadssammenligning for bjelkesystemets sammenkoblinger. Tallgrunnlaget er basert på faktiske enhetspriser og mengder. Prisendringen er prosentforskjell fra eksisterende løsninger til valgte løsninger. 27
5.7 Kostnadssammenligning for søylesystemets sammenkoblinger. Tallgrunnlaget er basert på faktiske enhetspriser og mengder. Prisendringen er prosentforskjell fra eksisterende løsninger til valgte løsninger. 27
5.8 Kostnadssammenligning for veggsystemets sammenkoblinger. Tallgrunnlaget er basert på faktiske enhetspriser og mengder. Prisendringen er prosentforskjell fra eksisterende løsninger til valgte løsninger. 28
5.9 Kostnadssammenligning for dekke-systemets sammenkoblinger. Tallgrunnlaget er basert på faktiske enhetspriser og mengder. Prisendringen er prosentforskjell fra eksisterende løsninger til valgte løsninger. 28
5.10 Total kostnad for eksisterende og demonterbare løsninger i forhold til total byggekostnad. Prosent endrigen tar utgangspunktet i totalprisen til hele bygget. . . 29
5.11 Total kostnadsøkning ved overgang til demonterbare løsninger. Prisendringen i prosent tar utgangspunktet i totalprisen til alle eksisterende knutepunkter i Bygg A. 29

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Begrepet bærekraftige byggverk omfatter tre sentrale aspekter: miljøpåvirkning, økonomisk gjennomførbarhet og sosiale og samfunnsmessige hensyn [1].

Selv om miljø ofte får mest oppmerksomhet i diskusjoner rundt bærekraft, er det avgjørende at alle tre perspektivene vurderes sammen. En løsning som medfører vesentlig økte kostnader eller svekker funksjonell kvalitet, vil i praksis ikke være bærekraftig.

I 2015 forpliktet Norge seg til Parisavtalen, som betyr at klimagassutslipp må reduseres med 55 prosent innen 2030 sammenlignet med nivåene i 1990 [2]. Til tross for at det snart har gått ti år siden avtalen ble signert, har utslippene kun blitt redusert med 9,1 prosent [3]. For å nå målet, må utslippet reduseres i alle sektorer, inkludert bygg- og anleggsnæringen, som i dag står for 37 prosent av de nasjonale utslippene [4]. Dette har ført til økt interesse for tiltak som kan redusere behovet for produksjon av nye materialer.

Ifølge en markedsanalyse gjort av Trebruk AS, øker massivtrebygg som bærende konstruksjon i popularitet, det utgjør i dag 3,4 prosent og er estimert til å øke til 14,2 prosent innen 2030 [5]. Denne analysen støttes opp av regjeringens mål om å øke bruken av tre for å erstatte mer klimaskadelige materialer med treverk, i et forsøk på å redusere klimagassutslippene [6].

En sentral strategi for å redusere de høye utslippene i byggebransjen er økt ombruk av byggevarer, da dette vil redusere mengden byggeavfall fra prosjekter samtidig som det reduserer behovet for nye materialer [7]. Ved å forlenge levetiden til konstruksjonsmaterialer kan behovet for ny produksjon og import reduseres, noe som igjen kan minske både energibruk, klimagassutslipp og avfall.

1.2 Problemområde

Til tross for økende fokus på sirkulærøkonomi og ressurseffektivitet i byggebransjen, viser tall at ombruk av byggematerialer, og spesielt trevirke, fortsatt er lite utbredt i praksis. Ifølge Resirqels rapport fra 2019 ble 99,7 prosent av alt trevirke levert til energigjenvinning i Norge i 2017 [8]. Tall fra SSB viser til at denne prosentandelen har gått ned til 95 prosent i 2022 [9]. Prosentandel treavfall som blir ombrukt er ikke spesifisert i tallene fra SSB, som tyder på at det er lite utført.

Forskningsfeltet om ombruk i massivtre er nytt, men studier, som «Reusable timber modular buildings, material circularity and automation: The role of inter-locking connections» [10], tyder på økende fokus på fagfeltet. Studien viser til et egenprodusert vurderingsskjema for sammenkoblingstyper, som baserer seg på prinsipper bak «Design for Disassembly» (DfD). De viser også til økt interesse for ombruk av trevirke grunnet stor etterspørsel på trematerialer. Studien fokuserer i hovedsak på det miljømessige aspektet ved bærekraft, gjennom en livssyklusanalyse (LCA), og inkluderer ikke en sammenligning av økonomiske kostnader. Økonomi nevnes som en potensiell barriere, men er ikke analysert i studiet.

Siden mange av de demonterbare løsningene er nylig utviklet eller er under utvikling, finnes det begrenset dokumentasjon på strukturelle og økonomiske konsekvenser ved bruken av disse.

2 Kunnskapsbakgrunn

Dette kapittelet gir innblikk i sentrale forskrifter, miljøaspekter og beregningsteorier. Samt grunnleggende kunnskap om massivtre, produktgodkjenning, ulike typer sammenkoblinger og digitale verktøy. Dette gir en samlet faglig bakgrunn for videre vurdering og sammenlikning av demonterbare sammenkoblinger i massivtrebygg.

2.1 Miljøperspektiv

Bygg- og anleggssektoren har en betydelig miljøpåvirkning og står for omtrent 37 prosent av de globale CO_2-utslippene, ifølge The Global Status Report for Buildings and Construction (Buildings-GSR) 2022 [4]. Reduksjon av utslipp og ressurseffektivisering i denne sektoren er derfor sentrale mål i flere internasjonale avtaler og strategier. Eksempler på disse er FNs bærekraftsmål og Parisavtalen.

Bærekraftsmålene består av 17 hovedmål og 169 delmål som er utviklet for å fremme bærekraftig utvikling [11]. Innen byggsektoren er særlig mål 12 (Ansvarlig forbruk og produksjon) og mål 13 (Stoppe klimaendringene) relevante.

Parisavtalen, som trådte i kraft i 2016, er en internasjonal klimaavtale med 194 medlemsland. Avtalen har som hovedmål å begrense den globale temperaturøkningen til under 2 °C, med en ambisjon om å holde den under 1,5 °C sammenlignet med førindustrielt nivå [12].

Det er mange tiltak som må utføres for å oppnå målene nevnt over, denne oppgaven fokuserer på å redusere miljøbelastningen fra bygg- og anleggssektoren ved å undersøke muligheten for bruk av demonterbare knutepunkter. Disse knutepunktene forenkler demonteringen av bygningselementene og fremmer derfor ombruk av byggematerialer. Ombruk av byggematerialer er ønsket, da dette er en mer energieffektiv måte å behandle det som generelt ville resultert i energiutvinning i form av forbrenning [13].

2.2 Relevante standarder og forskrifter

For å sikre kvalitet i norsk byggenæring er det etablert en rekke forskrifter og standarder. Disse regelverkene fastsetter minstekrav for bygging i Norge og gir retningslinjer for sikkerhet, funksjonalitet og bærekraft. Her presenteres relevante standarder og lover for prosjektering og utforming av trekonstruksjoner, med spesielt hensyn til demonterbarhet.

Plan- og bygningsloven (PBL) utgjør det juridiske grunnlaget for all byggevirksomhet i Norge [14]. Under PBL ligger Byggeteknisk forskrift, bedre kjent som TEK17. Denne forskriften stiller krav til byggverkets utforming og gjennomføring [15]. Forskriften er utarbeidet av Direktoratet for byggkvalitet (DiBK) og spesifiserer minstekravene som må oppfylles for at bygg skal kunne oppføres lovlig i Norge.

For spesifikke løsninger og tekniske krav henviser TEK17 ofte til SINTEF Byggforskserien, samt standardiserte beregningsmetoder fra Eurokodene og Norske Standarder NS-EN [15]. Disse bidrar til å sikre at prosjektering og utførelse er i samsvar med anerkjente nasjonale og internasjonale standarder.

2.2.1 Eurokode

NS-EN 1990 Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner [16], fastsetter retningslinjer for dimensjonering av bygningskonstruksjoner. Standarden oppgir nødvendige lastfaktorer og lastkombinasjoner for å sikre at konstruksjoner verken over- eller underdimensjoneres, noe som er avgjørende for å prosjektere et sikkert og materialeffektivt bygg.

I henhold til TEK 17 kan kravene i lovverket anses som oppfylt dersom metodene og utførelsen følger

spesifikasjonene i Norsk Standard. Dette innebærer at NS-EN 1990 fungerer som en referanseramme for prosjektering og dimensjonering, og sikrer samsvar med nasjonale byggeforskrifter.

2.2.2 Eurokode 1

NS-EN 1991 Eurokode 1: Laster på konstruksjoner [17], gir retningslinjer for prosjektering og beregning av laster som påvirker konstruksjoner. Standarden er delt inn i flere deler, hvor hver del beskriver spesifikke lastforhold og situasjoner.

2.2.3 Eurokode 5

NS-EN 1995 Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner [18], er grunnlaget for prosjekteringsregler av trekonstruksjoner. Hovedformålet med Eurokode 5 er å standardisere regler for prosjektering og dimensjonering av trekonstruksjoner på tvers av Europa. Del 2 av eurokode 5 omhandler brannteknikske krav og fremgangsmåte for brannteknisk prosjektering.

2.2.4 NS-EN 14080:2013+NA:2016

NS-EN 14080:2013+NA:2016: Trekonstruksjoner — Limtre og limt laminert heltre — Krav [19], denne standarden fastsetter ytelseskravene for limtre-elementer. Standarden inneholder formler og tabeller for beregning av elementstyrke, samt krav til lim, tresorter og sammenkoblinger. Den foreslår også testmetoder for dokumentasjon av ulike løsninger.

2.2.5 NS-EN 16351:2021

NS-EN 16351:2021: Trekonstruksjoner — Krysslimt massivtreelement — Krav [20], dette dokumentet beskriver de karakteristiske ytelsesegenskapene til ulike typer krysslaminerte massivtreelementer. Ytelsen avhenger av faktorer som treslag, trekvalitet, antall og tykkelse på lameller, samt antall og utførelse av sammenføyninger.

2.2.6 ISO 20887

ISO (International Organization for Standardization) er en internasjonal standardiseringsorganisasjon som utgir forskjellige standarder for ulike fagområder [21]. Disse kan brukes som et ekstra hjelpemiddel til NS-EN-standardene. ISO 20887: Sustainability in buildings and civil engineering works – Design for disassembly and adaptability – Principles, requirements and guidance er en standard som beskriver prinsipper og strategier innenfor design for demontering (DfD) [22]. Standarden er ment som veiledende informasjon til arkitekter, ingeniører og produktutviklere for arbeid innenfor DfD.

2.3 Metoder og digitale verktøy for beregning av laster

2.3.1 Klassisk bjelketeori / Euler-Bernoulli-Teori

Klassisk bjelketeori, også kjent som Euler-Bernoulli-bjelketeori, forutsetter at tverrsnittet av en bjelke forblir plant og normalt på den deformerte bjelkeaksen, og at deformasjonene er små. Den benyttes til å beregne bøyespenninger, skjærkrefter og nedbøyninger i bjelker under last.

2.3.2 STRIAN- Structural calculator

STRIAN er et nettbasert lastberegningsprogram [23]. Programmet benytter en matrisebasert stivhetsanalyse, ikke Finite element method (FEM). Det er egnet for enkle statiske lastberegninger, og fungerer godt som værktøy til validering av håndberegninger. Metoden gir tilstrekkelig nøyaktighet for den typen beregninger som er relevante i dette prosjektet.

2.4 Sertifisering av produkter og byggevarer

2.4.1 Forskrift om dokumentasjon av byggevarer

Forskrift om dokumentasjon av byggevarer (DOK) regulerer krav til dokumentasjon og omsetning av produkter som brukes i byggverk, inkludert byggevarer og løfteinnretninger [24]. Forskriften er utarbeidet av Direktoratet for byggkvalitet (DiBK) og fastsetter minstekravene for lovlig bruk av byggvarer i Norge.

2.4.2 CE-merking

CE-merking (Conformité Européenne) er en produktgodskjenning som brukes i EU og EØS. Dersom et produkt er CE-merket, skal det kunne anses å oppfylle gitte krav fra myndighetene, som for eksempel helse, miljø og sikkerhet. Det er også en deklarasjon på at produsent eller selger dokumenterer at deres produkt oppfyller disse kravene, og at produktet kan brukes lovlig i EU og EØS land [25].

2.4.3 ETA sertifisering

ETA sertifisering (European Technical Assessment) er en godkjenning av produkter som ønsker CE-merking. ETA-er er en måte et produkt kan få CE-merking, når det ikke dekkes av en harmonisert europeisk produktstandard [26]. Om det har blitt utarbeidet en ETA til et produkt er det krav til å CE-merke byggevaren.

2.4.4 SINTEF Teknisk Godkjenning

«SINTEF Teknisk Godkjenning er en frivillig dokumentasjon som bekrefter at produktet har de egenskapene som kreves for at byggverket som produktet anvendes i kan oppfylle grunnleggende krav i byggteknisk forskrift (TEK).»[27] Godkjenningen er rettet mot det norske markedet, og produkter som skal selges i utlandet kan kreve ytterligere sertifisering eller godkjenning i samsvar med regelverk.

2.5 Massivtre

Begrepet massivtre er en muntlig samlebetegnelse for ulike typer trekonstruksjoner. Massivtre regnes som massive treelementer som danner solide byggekomponenter. Det brukes hovedsakelig i bjelker, søyler, vegger og etasjeskillere i både småhus og større bygg. I denne rapporten omfatter begrepet «massivtre» både krysslaminert trevirke (også kjent som KLT, CLT eller KL-tre) og limtre (GL-tre).

2.5.1 GL-Tre

Limtre (GL-tre) produseres ved å lime sammen flere bord, der fiberretningen i alle bordene er tilnærmet parallell. Bordene har en tykkelse på mellom 6 og 45 mm, og enkeltbord kan fingerskjøtes for å oppnå ønsket lengde og størrelse på elementene i henhold til NS-EN 14080:2013+NA [19]. På grunn av den parallelle fiberretningen har limtre-elementer høy bøyemomentskapasitet i lengderetningen. Dette gjør dem spesielt egnet som dragere og søyler.

2.5.2 KLT

Krysslaminert trevirke (KLT) er et konstruksjonsmateriale bestående av flere lameller av tre med en tykkelse på mellom 6 mm og 47 mm [20]. Lamellene legges vinkelrett på hverandre og bindes sammen med strukturelt lim, og kan skjøtes med fingerskjøter.

KLT egner seg godt både til småhus og større bygg som skoler, kontorbygg og leilighetskomplekser [28]. Ved å krysse fiberretningene i elementene øker styrken i treets naturlig svake fiberretning. KLT-elementer består vanligvis av tre, fem eller syv lameller, men kan produseres med et høyere

antall for å møte spesifikke strukturelle krav. Sammenlignet med stål og betong har KLT en høy styrke i forhold til vekt.

Når disse byggene når slutten av sin levetid, vil mengden treavfall sannsynligvis øke betydelig. Derfor kan det være fornuftig å vurdere alternativ avfallshåndtering utover dagens praksis, som primært består av energiutnyttelse og materialgjenvinning [8].

2.5.3 KL-trähandbok

KL-trähandbok: Fakta och projektering av KL-träkonstruktioner er en håndbok gitt ut av Svensk Trä i samarbeid med svenske levrandører av KL-tre [28]. Denne håndboken er laget for å hjelpe prosjektører med dimensjonering og prosjektering av konstruksjoner i KLT. Reglene og metodene beskrevet her baserer seg på det svenske standardverket.

2.6 Knutepunktsløsninger

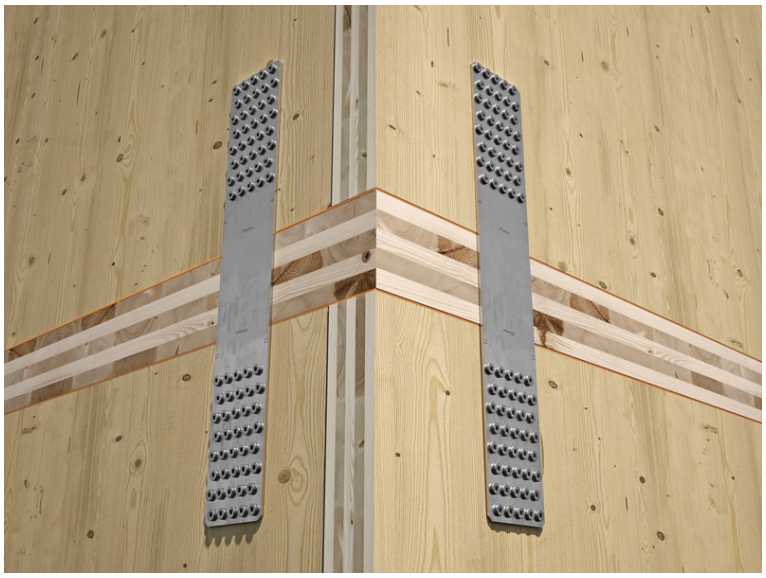
Videre i denne oppgaven brukes begrepene «løsning» og «sammenkobling» om produkter som kobler sammen to bygningselementer, for eksempel store skruer, kniver eller hullplater. Begrepet «knutepunkt» brukes for å forklare hele detaljen i elementskjøten. Dette innebærer sammenkoblingene, eller løsningene, samt elementene som kobles sammen av dem.

2.6.1 Ofte brukte løsninger

Det finnes flere metoder for sammenkobling av knutepunkter i konstruksjoner. Valg av løsning avhenger av ulike faktorer som kostnader, kapasitetsberegninger, kundens ønsker og prosjekterende ingeniørs egne vurderinger. De mest brukte metodene i dagens massivtrebygg: er vinkler, skruer, hullplater, kniver og bjelkesko [28]. Bruken av vinkler gjør det mulig å få en presis plassering før montering av vegger. Vinkler fungerer som skjær- og strekkforbindelser i trekonstruksjoner og benyttes i ulike sammenkoblingskonfigurasjoner, inkludert tre-til-tre, tre-til-betong og tre-til-stål se Figur 2.1.

Figur 2.1: Vinkelkobling i overgangen mellom dekke og vegg. Vinkelen er representativ for lignende løsninger som benyttes i norsk byggebransje [29].

Hullplater som vist i Figur 2.2 benyttes primært for å oppnå strekk- og skjær forbindelser i massivtrekonstruksjoner. De gir effektive og raske monteringsløsninger, særlig i modulære byggesystemer. Hullplater kan delvis monteres på fabrikk, noe som reduserer monteringstiden på byggeplassen.



Figur 2.2: Hullplateforbindelse mellom vertikale veggelementer. Hullplaten er representativ for lignende løsninger som benyttes i norsk byggebransje [30].

Kniver og innfelte plater benyttes for å koble søyle-til-bjelke eller bjelke-til-bjelke, se Figur 2.3. Disse løsningene gir skjult innfestning og sikrer både stabilitet og bæreevne. Knivbeslag festes til bjelken ved hjelp av ståldybel eller selvborende skruer.

Figur 2.3: Knivløsning for oppheng av massivtrebjelke som er delvis montert. Knivløsningen er representativ for lignende løsninger som benyttes i norsk byggebransje [31].

Søylesko benyttes for å forankre søyler til betong. Det finnes flere varianter, inkludert innfelte knivbeslag som festes med dybler eller skruer som vist i Figur 2.4, samt helbeslag som omslutter søylen for økt stabilitet. Alternativt kan flate beslag benyttes for å sikre søylen til underlaget.

Figur 2.4: Søyleskoløsning med innfelte knivplater i bunnen av søylene. Søyleskoen er representativ for lignende løsninger som benyttes i norsk byggebransje [32].

Nedfelt skruebord (videre kalt Spline Joint) som vist i Figur 2.5 er en mye brukt sammenkoblingsløsning for massivtreelementer. Løsningen består av en bordplate som legges i et nedfrest felt mellom skjøtene for to elementer, og som deretter skrus fast til hvert av elementene for å sikre sammenføyningen.

Figur 2.5: Spline joint løsning for sammenføyning av vegg element. løsningen er representativ for lignende løsnigner som benyttes i norsk byggebransje [33].

Den mest utbredte sammenkoblingsmetoden er bruk av skruer, ettersom de brukes i de fleste sammenføyningene. Skruer er enkle å installere, gir høy fleksibilitet og er velkjente blant montører. Skruer brukes som regel sammen med de andre løsningene som er nevnt tidligere, men kan også brukes alene når det er tre-til-tre sammenkoblinger.

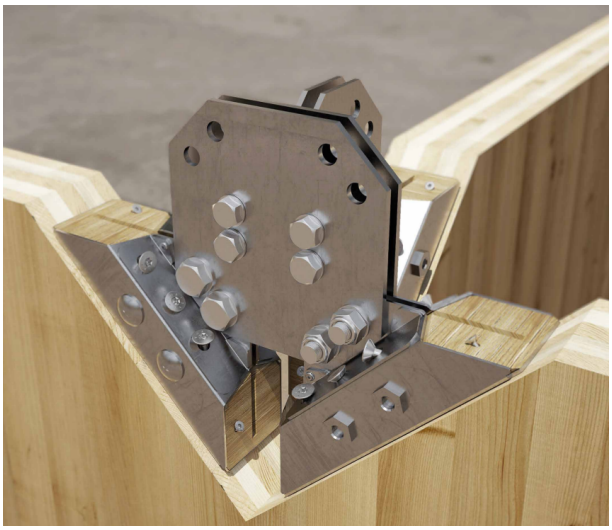
2.6.2 Eksempler på demonterbare løsninger

For at demontering av massivtrebygg skal være bærekraftig, er det viktig at demonteringsprosessen blir effektiv og skånsom. Etableringen av demonterbare løsninger vil bidra til å forenkle

demonteringen av bygg [34]. Slike spesialløsninger er utviklet for å ivareta demonterbarhet, samtidig som de må oppfylle nødvendige kapasitetskrav. Valg av løsning avhenger av knutepunktets funksjon og de belastningene det utsettes for.

En gjennomgående egenskap ved disse løsningene er at deformering ikke oppstår der sammenkoblingen kobles fra hverandre som løsningen vist i Figur 2.6. Skruer og dybler har derimot en tendens til å vri eller bøye seg under belastninger, noe som kan gjøre demontering krevende [35]. I tillegg har bolter høyere kapasitet og motstand mot deformasjon, noe som gjør dem bedre egnet for konstruksjoner der gjenbruk og fleksibilitet er viktige faktorer.

Flere produsenter, som Rothoblaas, Hilti, X-Fix, Pitzl og SHERPA tilbyr ulike løsninger for demonterbare sammenkoblinger. Blant disse finnes innfelte kniver med muttere, finér-baserte sløyfer for vegg- og gulvforbindelser, samt klikksystemer for gulv og trapper som muliggjør enkel montering. Flere av disse løsningene markedsføres som demonterbare og er utviklet for å effektivisere montering og demontering av konstruksjoner.



Figur 2.6: Bilde 1 (venstre) viser en veggsammenføyning med bolter og stive metallkomponenter[36]. Bilde 2 (høyre) viser en justerbar tresløyfe med strammebolt[37]. Løsningene illustrerer ulike tilnærminger til demonterbare løsninger tilgjengelig på norsk marked.

3 Forskerspørsmål

De fleste massivtrebygg som står eller bygges i dag, er ikke designet med tanke på demontering. Dette kan føre til at byggene rives på en måte som begrenser muligheten for ombruk av materialer [34]. Ved riving blir mange materialer enten gjenvunnet eller brukt som brensel for energiutnyttelse, da spesielt tre-produkter [8]. Disse metodene er mindre gunstige enn ombruk, siden ombruk bevarer en større andel av materialets opprinnelige energiverdi [38]. For å øke muligheten for ombruk bør standardiserte knutepunkter sammenlignes med nye demonterbare løsninger for å undersøke hvilken kompromisser som eventuelt må gjøres i og etter byggeprosessen.

3.1 Hovedspørsmål

Hvilke økonomiske og strukturelle kompromisser må gjøres dersom et massivtrebygg skal prosjekteres med demonterbare fremfor standardiserte knutepunktsløsninger?

3.2 Underspørsmål

3.2.1 Tidsbruk og kostnad

Hvordan varierer kostnadene for produksjon og montering mellom standardiserte og demonterbare knutepunktsløsninger?

3.2.2 Beregninger

Hvordan påvirker de ulike kapasitetene til demonterbare og standardiserte knutepunktsløsninger behovet for dimensjonering av konstruksjonselementene under like belastningsforhold?

4 | Metode

4.1 Litteraturstudie

4.1.1 Innledende litteraturstudie

For å opparbeide en grunnleggende forståelse rundt forskningsfeltet, ble det først gjennomført en innledende litteraturstudie. Denne fasen hadde som mål å identifisere sentrale begreper, teorier og tidligere studier knyttet til ombruk av massivtrekonstruksjoner. Studien inkluderer fagfellevurderte artikler, rapporter fra bransjen, samt enkelte relevante bacheloroppgaver. Søkene ble utført ved hjelp av Google, Scopus og Google Scholar. I tillegg ble enkelte søk utført på enkelte produsenter og organisasjoner sine nettsider. En fullstendig oversikt over søkeord og kilder er vedlagt i 7.1.

4.1.2 Målrettet litteraturstudie

Etter at forskningsspørsmålet var tydelig etablert, ble det gjennomført en målrettet litteraturstudie, med fokus på ulike knutepunktsløsninger for massivtrekonstruskjoner.

I denne fasen var hensikten å identifisere og evaluere eksisterende produktløsninger med tanke på demonterbarhet og ombruk. Det ble benyttet Scopus, Google Scholar og produsentenes offisielle nettsider. Dette ble ansett som nødvendige da detaljert produktinformasjon lå på produsentenes egne nettsider.

Søkeordene ble tilpasset for å finne relevant teknisk dokumentasjon og produktinformasjon om spesifikke sammenkoblinger og produsenter. Med utgangspunkt i både tidligere erfaringer i gruppen, anbefalinger fra veileder og produsenter avdekket gjennom studien, ble produsenter som Rothoblaas, Hilti, Pitzl og SHERPA vurdert. Etter innsamling av informasjon ble de aktuelle knutepunktløsningene systematisert og vurdert. Dette dannet grunnlaget for videre vurdering og rangering. En utdypende vurdering finnes i vedlegg 7.2.

4.1.3 Kildekritikk og vurdering av informasjon

For å sikre faglig relevans og etterprøvbarhet ble følgende kriterier lagt til grunn for utvalg av kilder, og måtte være oppfylt med mindre annet var begrunnet:

- **Publiseringsår**: Kun kilder publisert etter 2010 ble inkludert, for å sikre oppdatert kunnskapgrunnlag.
- **Fagfellevurdering**: Vitenskapelige artikler måtte være fagfellevurdert. Relevansen ble vurdert gjennom lesing av sammendrag og introduksjon.
- **Sertifisering**: Produktene måtte ha dokumentasjon i form av CE- eller ETA-sertifisering for at deres produkter skulle bli vurdert.
- **Offisielle produktdokumenter**: Kun offisielle produkt-spesifikasjoner fra produsenter ble vurdert, ikke uverifiserte tredjepartskilder.

I tilfeller med lite tilgjengelig forskning ble det benyttet annen teknisk dokumentasjon, herunder bransjelitteratur samt artikler og rapporter fra offentlig sektor og anerkjente fagmiljøer, som Direktoratet for byggkvalitet (DiBK) og SINTEF. Rapporter og artikler fra offentlig sektor og anerkjente fagmiljøer ble vurdert som pålitelige og unntatt fra kravet om fagfellevurdering. Følgende kriterier ble lagt til grunn for utvalg av bransjelitteratur:

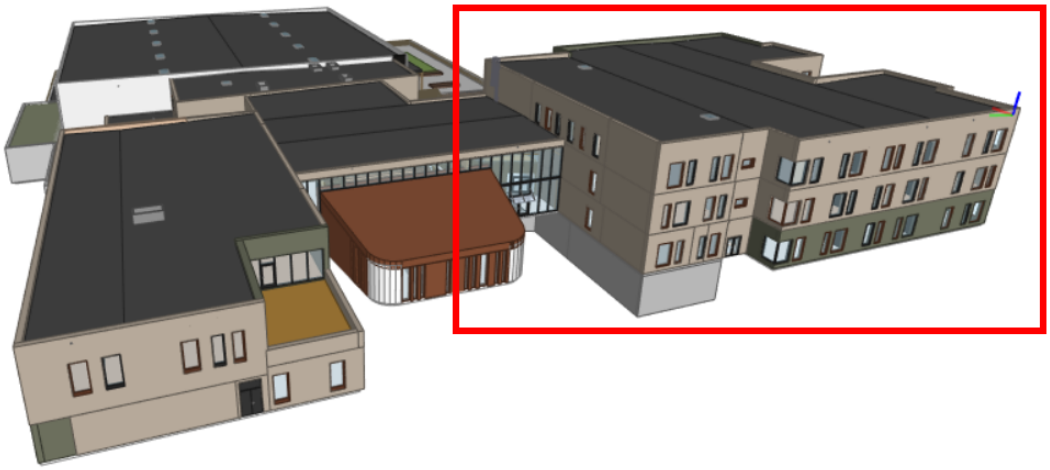
- **Firmaets troverdighet**: Kilden måtte stamme fra et etablert og anerkjent firma i byggebransjen.
- **Agenda**: Dokumentasjonen skulle ikke være utarbeidet med salgsfremmende hensikt eller inneholde villedende fremstillinger.

4.2 Casestudie

For å få bedre innsikt i hvilke sammenkoblinger som benyttes i dagens marked, fikk vi oversendt tre forskjellige referanseprosjekter fra Backe Entreprenør AS. Disse prosjektene var enten ferdig oppført eller ferdig prosjektert, men under bygging. De ble sendt som fullstendige eller delvis fullstendige BIM-filer.

Det ble gjort en vurdering av de forskjellige sammenkoblingene for alle de tre tilsendte prosjektene. Det var ønskelig at casen hadde sammenkoblingløsninger som var representative for dagens sammenkoblinger i massivtrebygg.

Av de tre prosjektene valgte vi Haraldsvang skole som vår case. Dette prosjektet er ferdig prosjektert, og er planlagt ferdigstilt i august 2025. Skolen består av tre hovedbygg med bæresystem i KLT- og GL-elementer. Skolen skal kunne ha plass til 720 elever og ligger i Haugesund, se Figur 4.1. Haraldsvang skole benytter seg av flere standardiserte løsninger som beslag, vinkler, innfelte kniver, nedfelte skruebord, søylesko, skruesammenføyninger og enkelte spesialløsninger.

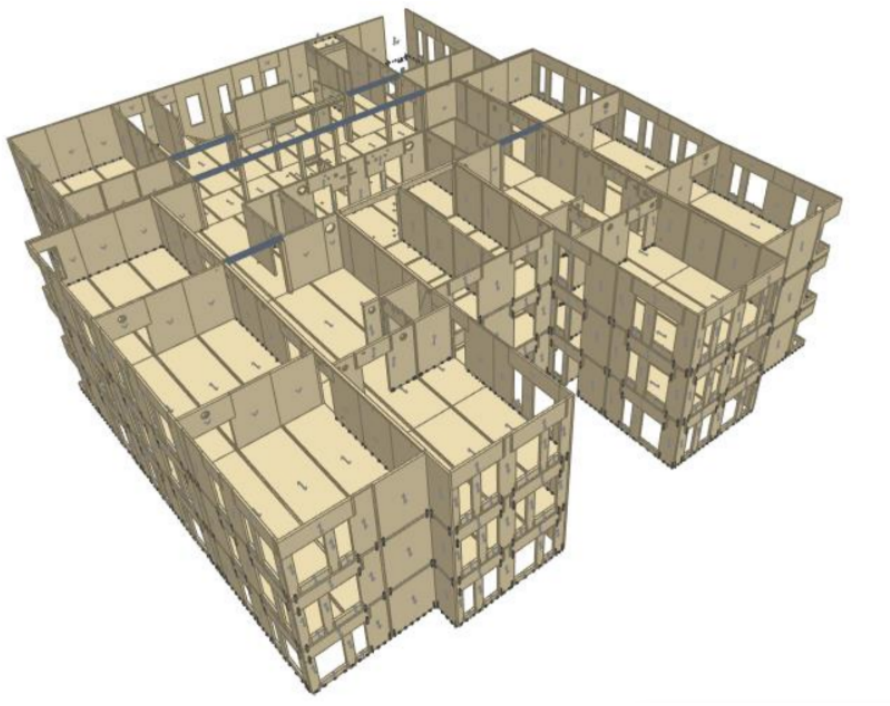


Figur 4.1: Utdrag fra arkitektens BIM-modell som viser utformingen av Haraldsvang skole, bygg A er delen markert i rødt.

Et annet kriterium for valg av case var mengden tilgjengelig informasjon. Blant prosjektene vi mottok, var BIM-filen til Haraldsvang skole den med høyeste detaljeringsnivået, og inneholdt sammenføyninger mellom bærende elementer. I tillegg mottok vi en oversikt over hvilke løsninger, og antallet, som var prosjektert i de ulike bygningsdelene. Dette ga et solid grunnlag for videre analyser.

Casen er videre avgrenset til bygg A, som vist i Figur 4.2, da dette bygget inneholdt flest relevante sammenkoblinger for oppgavens tema. Det var kun selve sammenkoblingene som ble analysert, ettersom disse ble antatt å ha størst betydning for demonteringen av elementene, og dermed for bygget. Vi har heller ikke validert eller analysert bæreevnen til de bærende elementene, da disse allerede var dimensjonert av firmaet Acetra, som ble benyttet av Backe AS som rådgivende ingeniør i caseprosjektet. De bærende elementene lå også utenfor oppgavens omfang, som fokuserte på knutepunktsløsninger.

Et av dokumentene vi mottok fra Backe AS, var en kalkuleringsrapport. Denne rapporten er utarbeidet av rådgivende firma Acetra og inneholder beregningsdata for lastbærende elementer i bygget som søyler, bjelker, vegger og dekker. Rapporten ble delt med gruppen av ekstern veileder, for hele rapporten, se vedlegg 7.5.



Figur 4.2: Viser bærende konstruksjon for bygg A, hentet fra Acetras kalkuleringsrapport (vedlegg 7.5).

4.3 Valg av sammenkoblinger

Som beskrevet i kapittel 4.1.2, ble det gjennomført en omfattende kartlegging av tilgjengelige produktløsninger på markedet. Herunder en gjennomgang av produktlister fra aktuelle produsenter som Rothoblaas, Pitzl, Hilti, X-fix Wood Connector, Simpson Strong-Tie, SHERPA Connectors og KNAPP. Det ble lagt særlig vekt på produkter som var markedsført som «demonterbare» eller «egnet for demontering». I tillegg ble løsninger som benytter gjengestag og muttere, eller stive metallkomponenter, prioritert fremfor løsninger som baserer seg på lange skruer eller dybler.

Ettersom demonterbarhet er en lite dokumentert egenskap ved dagens knutepunktsløsninger, etablerte gruppen et eget vurderingsskjema, se Vedlegg 7.3. Knutepunktene ble deretter vurdert og rangert basert på dette skjemaet, se Vedlegg 7.2. Dette systemet baserer seg på ISO-20887, med spesielt hensyn til tabell A.1 [22], og gruppens egne meninger om viktige egenskaper for demonterbare løsninger.

Poengsummene ble brukt til å identifisere de mest egnede produktene for å erstatte eksisterende sammenkoblingene i case-prosjektet.

Grunnlaget for vurdering tar utgangspunktet i forskjellige faktorer som:

- Tekniske dokumenter og godkjenninger
- Informasjon fra produsentene
- Intervjuer og samtaler med leverandører og fagpersoner
- Egne vurderinger basert på faglig forståelse
- Innspill og tilbakemeldinger fra veiledere og intervjuobjekter

Tabell 4.1 forklarer hvilken kriterier som ble vektlagt når det skulle velges erstatningene. Eksisterende løsninger ble vurdert på samme måte for å sikre at de ikke var mer optimaliserte for ombruk og

demontering enn de nye løsningene. Underkategorien 'Mulighet for ombruk' fikk doble poeng (2-10), da dette ble sett på som den mest sentrale kategorien for oppgaven. Det ble valgt en vurderingsskala mellom 1-5 for alle kriteriene utenom 'Mulighet for ombruk' som ble mellom 2-10. 'Mulighet for ombruk' blir kun skalert opp, se under i Tabell 4.2 for hele oversikten over vurderingsskalaen.

Tabell 4.1: Kriterier, beskrivelse og score for sammenkoblingene. Disse la grunnlaget for valg av løsninger.

Kriterier	**Beskrivelse av toppscore**	**Vurderingsskala**
Allsidighet	Knutepunktet kan benyttes på alle standardiserte elementsammenkoblinger uten problemer, med unntak av spesialtilfeller.	1-5
Montering og tidsbruk	Knutepunktet gir betydelig tidsbesparelse på byggeplassen. Montering er effektiv og krever minimalt etterarbeid.	1-5
Tilgjengelighet	Knutepunktet er lett tilgjengelig etter montering, og eventuelle endringer kan gjøres med minimal innsats.	1-5
Inngrep	Bruk av knutepunktet krever lite eller ingen inngrep i elementene. Fabrikken kan levere elementene uten store utskjæringer eller bearbeiding.	1-5
Standardisering	Etter demontering kan elementene enkelt gjenbrukes i andre bygg. Elementet er kompatibelt med andre knutepunktsløsninger uten omfattende modifikasjoner.	1-5
Reversible koblinger	Knutepunktet skal kunne fjernes enkelt etter montering, uten store inngrep eller skader på elementene.	1-5
Kompleksitet	Knutepunktet består av få og enkle deler og uten behov for spesialisert opplæring eller spesialverktøy for montering.	1-5
Mulighet for ombruk	Knutepunktet skal kunne demonteres uten problemer etter tid. Elementene kan fjernes uten at deler av knutepunktet forblir fastlåst eller deformert.	2-10

Tabell 4.2: Forklaring av de enkelte scorene.

Score	Forklaring
1	Betyr at den er **betydelig dårligere** enn standardiserte løsninger
2	Betyr at den er **noe dårligere** enn standardiserte løsninger
3	Betyr at den er **like god** enn standardiserte løsninger
4	Betyr at den er **noe bedre** enn standardiserte løsninger
5	Betyr at den er **betydelig bedre** enn standardiserte løsninger

4.3.1 Utelating av knutepunkter

I denne rapporten ble det bevisst valgt å utelate vurderingen av spesialtilpassede knutepunktsløsninger, som verkstedsveisede søylesko og spesialutformede bjelkesammenkoblinger. Slike løsninger er ofte prosjekttilpasset og hadde begrenset overføringsverdi til andre byggeprosjekter. Formålet med denne utelatelsen var å kunne foreta en mer generalisert vurdering av demonterbare løsninger i sammenheng med standardiserte knutepunktsløsninger. Ved å fokusere på tilgjengelige produkter kunne resultatene lettere sammenlignes og benyttes i fremtidige prosjekter.

4.4 Beregninger

4.4.1 Lastberegning

Lastene som ble lagt til grunn for vurdering av de nye knutepunktene ble beregnet i henhold til bruddgrensetilstand (ULS). Bruksgrensetilstand (SLS) ble ikke inkludert i analysen for å begrense oppgavens omfang, og på grunn av begrenset kunnskap om hvordan knutepunkters stivhet påvirker nedbøyninger, vibrasjoner og svingninger. I tillegg mangler noen av de valgte løsningene dokumentert stivhetsverdi, noe som ville gjort det utfordrende å gjennomføre en presis SLS-analyse.

Lastene ble hentet fra Acetras kalkuleringsrapport [39]. Denne rapporten deler bygningselementene inn i gruppene GL-Bjelker 1–5 (GL-Beams i kalkuleringsrapport), GL-søyler 1–2 (GL-columns), KLT-Dekker 1–4 (CLT-Floor) og KLT-Vegger 1–3 (CLT-Walls), undergruppene (1-x) skiller på ulike element-dimensjoner og på kreftene de utsettes for, se vedlegg 7.5. Rapporten inneholder tabeller som angir dimensjonerende indre krefter samt utnyttelsesgraden for de høyest belastede elementene i hver gruppe. Disse tabellverdiene dannet grunnlaget for videre beregninger og sammenligning av knutepunkter. Disse beregningene er utdypet i vedlegg 7.4.

I oppgaven har vi valgt å begrense beregningene til statiske laster, altså egenlast, nyttelast, vindlast og snølast, og se bort fra seismiske, dynamiske og ulykkeslaster. Valget om å utelate disse lasttypene ble gjort for å forenkle beregningsgrunnlaget og fordi en grundig analyse av slike forhold ville krevd mer tid og spesialisert kompetanse enn det som har vært tilgjengelig i dette bachelorprosjektet.

Verdiene fra Acetras rapport ble først kontrollert ved hjelp av manuelle beregninger basert på klassisk bjelketeori, nærmere bestemt Euler-Bernoulli-bjelketeori, hvor moment, skjærkrefter og normalkrefter ble beregnet. Det ble utført manuelle kontrollberegninger av kreftene i hver gruppe for å verifisere verdiene oppgitt i kalkuleringsrapporten. Siden avviket var neglisjerbart (under 10 prosent), ble de opprinnelige verdiene fra rapporten benyttet som grunnlag for videre analyser der det var mulig. I KLT-dekkene ble det ikke oppgitt indre krefter der sammenkoblingen befant seg, her ble kreftene fra manuelle beregninger brukt i stedet.

De dimensjonerende kreftene for bjelkegruppe 1, vist i vedlegg 7.4, lå ikke i et punkt som enkelt kunne

beregnes direkte. Vi etablerte derfor en andregradslikning som beskrev momentet og skjærkraften som funksjon av avstanden X (målt fra opplager) (4.1):

$$M_{Ed,\ GLB1,\ \varnothing nsket} = Opplager_{GLB1} \cdot X - \frac{X^2 \cdot Q_{tot,\ GLB1}}{2} \tag{4.1}$$

$M_{Ed,\ GLB1,\ \varnothing nsket}$ er momentet hentet fra tabellen, $Opplager_{GLB,1}$ er reaksjonskraften ved opplagerne i bjelken, $Q_{tot,\ GLB1}$ er stripelasten på bjelken med lastkombinasjon RC9, og X er avstanden fra opplageret til punktet hvor momentet opptrer. Lastkombinasjonen RC9 er hentet fra Acetras kalkuleringsrapport og beskriver bruddgrensetilstand (ULS). Den består av faktorene $\gamma_G, sup = 1,35$, $\xi = 0,89$ og $\gamma_Q = 1,5$, og er etter formel 6.10b, side 59, Eurokode 0 [16]

Denne likningen ble løst med hensyn på X, slik at vi fant avstanden fra opplager der ønsket moment oppsto. Deretter kontrollerte vi at skjærkraften i denne avstanden X samsvarte med verdien som var angitt i Acetras rapport via Ligning 4.2.

$$V_{Ed,X} = Opplager_{GLB,1} - Q_{tot,\ GLB1} \cdot X \tag{4.2}$$

For å verifisere verdiene i tabellen for søyler, regnet vi ut eksentrisitetsmomentet ($M_{eksentrisitet,GLC,1}$) fra opplagerne ($Opplager_{GLB,1}$) i bjelkegruppe 1, se Ligning 4.3. Eksentrisiteten (e) er definert som avstanden fra løsningen og inn til søylens massesenter. Verdiene ble deretter sammenlignet med tallene oppgitt i den tilhørende tabellen i kalkuleringsrapporten.

$$M_{eksentrisitet,GLC,1} = e \cdot Opplager_{GLB,1} \tag{4.3}$$

Beregningene ble videre validert ved hjelp av beregningsprogrammet STRIAN [23]. STRIAN benytter en matrisebasert stivhetsmetode, som er godt egnet for lastanalyse av bjelker, fagverk og rammer. Programmet er ikke egnet for full strukturell analyse av hele bygg, og ble i dette prosjektet utelukkende brukt til kontroll av håndberegninger.

Lastkombinasjonene er beskrevet i Acetras rapport for de ulike gruppene. Det ble derfor ikke utført noen manuell kontroll av lastkombinasjonene, ettersom rapporten allerede er utarbeidet i henhold til Eurokode 0. Se vedlegg 7.4 for mer informasjon om laster.

4.4.2 Kapasitetsberegning

For å bestemme nødvendig størrelse på sammenkoblingene ble den dimensjonerende opplagerlasten (F_d) for hver gruppe omregnet til minimum karakteristisk kapasitet ($R_{k,min}$) ved hjelp av partialfaktorer fra NS-EN 1995-1-1, Tabell 3.1 og NA.2.3, side 30 og 136 [18]. Ligning 4.4 viser sammenhengen mellom dimensjonerende last og minimum karakteristisk kapasitet. Her er $\gamma_M = 1.3$ «Partialfaktor for materialegenskaper, som også tar hensyn til modellusikkerheter og geometriske avvik» [18], imens $k_{mod} = 0.8$ er «Fasthetsfaktor for lastvarighet og klimaklasse» [18].

$$R_{k,\min} = \frac{F_d \cdot \gamma_M}{k_{mod}} \tag{4.4}$$

For å sammenligne styrke og ytelse under like belastningsforhold vurderte gruppen sammenkoblingen og dens plassbehov ved installasjon. I tillegg ble det beregnet et styrkeforhold som en indikator på forholdet mellom kapasitet og nødvendig installasjonsdimensjon. Dette ble imidlertid ikke inkludert i hoveddelen av rapporten, da det viste seg å være enklere å presentere plassbehovet for de ulike sammenkoblingene direkte opp mot tilsvarende bjelkedimensjoner. Styrkeforholdet ble beholdt i vedlegg 7.6. For å gjøre plass- og prissammenligningen mest mulig rettferdig, ble det lagt vekt på å holde utnyttelsesgraden (η) mellom eksisterende og erstattende sammenkoblinger så lik som mulig. For å oppnå dette ble sammenkoblingens karakteristiske kapasiteter valgt så tilnærmede

lik eksisterende som mulig. Utnyttelsesgraden ble beregnet i etterkant for kontrollere avviket mellom dem. Da materialfaktorene (k_{mod} og γ_M) allerede var påført den dimensjonerende lasten, se Ligning 4.4, kunne vi bruke karakteristisk kapasitet direkte for å beregne utnyttelsesgraden.

Mange av elementene har relativt lav utnyttelsesgrad. Dette skyldes at det vanligvis benyttes like dimensjoner på flere elementer for å forenkle prosjekteringsfasen og byggeprosessen og redusere risiko for feilmontering.

De relevante kreftene for sammenkoblingene mellom KLT-dekkene i casen var ikke oppgitt i kalkuleringsrapporten eller andre dokumentene gruppen fikk tilgang på. Det ble derfor bestemt at erstattingen av sammenkoblingene i dekkene skulle baseres på kapasiteten på eksisterende sammenkoblinger. Disse var av typen «Spline Joint», og databladet til Slot oppga kapasitet i kN per meter for denne typen sammenkobling med skruer fra Rothoblaas [40]. Samtidig oppga databladet til erstatningen kapasitet per knutepunkt. Løsningen på dette ble å beregne antall knutepunkter per meter, som vist i Ligning 4.5

$$N\ [\text{stk./m}] = \frac{R_{V,k,skruebord}\ [\text{kN/m}]}{R_{V,k,P2P}\ [\text{kN}]} \tag{4.5}$$

4.4.3 Brann

Det er ikke gjennomført beregninger av brannklassene for sammenkoblingene. Brannklassen oppgitt i rapporten fra Acetra var $R60$. Ved erstatningen av skjulte sammenkoblinger ble avstanden fra sammenkoblingene til eksponert overflate ivaretatt eller økt fra opprinnelige sammenkoblinger, der dette var mulig. Kompromisser rundt branntetting ble belyst i kapittel 5, men det ble ikke foreslått utbedringer eller utført videre brannteknisk analyse utover dette, da gruppen ikke har kunnskaper om, eller tid til å tilegne seg dette i oppgavens omfang.

4.4.4 Kostnad og tid sammenligninger

For å sammenligne priser og monteringstider mellom ulike knutepunktløsninger brukt i casen, hentet vi informasjon fra relevante produktleverandører. Disse inkluderte Pitzl, Rothoblass, Hilti og Splitkon AS. Forespørsler om både pris og estimert monteringstid ble sendt direkte til leverandørene, og ytterligere informasjon ble samlet inn gjennom intervjuer med representanter fra leverandørene og prosjektører med relevant bransjeerfaring.

Basert på denne informasjonen ble det etablert prislister i Excel. Det ble etablert lister for eksisterende og nye utvalgte løsninger. Disse ble sammenlignet for å finne prisforskjeller mellom knutepunkts-gruppene. Av hensyn til sensitiv informasjon og etter ønske fra leverandørene, publiseres ikke eksakte enhets priser i rapporten.

Sammenligningen tar utgangspunkt i totalpris for hver knutepunktsløsning, og ikke pris på enkeltdeler, i tråd med leverandørenes preferanser.

4.5 Kunstig intelligens

Gjennom denne bacheloroppgaven ble det benyttet kunstig intelligens (KI) som støtteverktøy under oppgaveskrivingen. Vi har brukt ChatGPT og Scopus AI utelukkende for å forbedre språk og flyt, de har ikke bidratt med faglig innhold.

Ved litteratursøk brukte vi Scopus, som inkluderer sitt eget integrerte KI-verktøy, Scopus AI. Dette verktøyet muliggjør tematiske søk ved hjelp av nøkkelordsøk eller blokksøk, hvor KI-en identifiserer relevante artikler basert på søkekriterier. Etter KI-genererte forslag vurderte vi selv artiklene basert på utgivelsesdato, tematikk og relevans før vi inkluderte dem i oppgaven.

Under skriveprosessen benyttet vi ChatGPT hovedsakelig til språkvask og strukturering av tekst. KI-en har bidratt med rettskriving, forslag til forbedringer i formuleringer og generell tekststruktur. Det er viktig å presisere at ChatGPT ikke ble brukt til informasjonsinnhenting, kildebruk, tekstproduksjon eller utdyping av faglig innhold. Dens rolle har utelukkende vært å forbedre språklige aspekter av teksten.

4.6 Intervju

For å få innsikt i byggebransjes tanker om demonterbare knutepunkter i massivtrebygg, og for å innhente informasjon om de ulike løsningene, ble det gjennomført fire intervjuer. Intervjuene ble ansett som et nødvendig supplement, da litteraturstudien viste begrenset informasjon om bruken av løsninger designet for demontering. Samtalene ga verdifulle perspektiver på muligheter og utfordringer knyttet til fremtidig ombruk.

4.6.1 Intervjuobjekter

Utvalget av intervjuobjekter ble gjort på bakgrunn av anbefalinger fra veiledere, og gjennom samtaler med relevante bedrifter og produsenter. Hensikten var å identifisere erfarne aktører med spesifikk kunnskap om aktuelle produkter, eller med erfaring fra prosjektering av massivtrebygg. Det ble bevisst etterlyst fagpersoner med ulik faglig bakgrunn for å få innspill fra flere perspektiver. En oversikt over intervjuobjektene og deres roller er vist i tabell 4.3.

Tabell 4.3: Kort forklaring om intervjuobjektene og hvilket vedlegg som inneholder referat fra hvert intervju. Stillingen til representanten fra Massivtre AS ble utelatt for å opprettholde anonymitet.

Aktør	**Rolle**	**Stilling**	**Se vedlegg:**
Rothoblaas	Produsent	Selger	7.8
Rothoblaas	Produsent	Ingeniør	7.8
Massivtre AS	Entreprenør	–	7.9
Acetra	Rådgivende ingeniør bygg (RiB)	Ingeniør	7.10
Splitkon AS	Produsent	Prosjekt ingeniør	7.11

Hvert intervju ble tilpasset intervjuobjektet grunnet ulik utdanning, rolle og arbeidserfaring. For å få forskjellige perspektiver på viktige temaer, ble noen av spørsmålene stilt i flere av intervjuene.

4.6.2 Vurdering av svarene

Flere av svarene fra intervjuene baserte seg på personlige erfaringer, faglig bakgrunn og egne vurderinger. Intervjuene ble derfor hovedsakelig brukt som supplement til øvrige kilder. Der analyse og diskusjon baserer seg på uttalelser og informasjon fra intervjuene, ble det gjort en vurdering av eventuell agenda eller interessekonflikt. Dette gjelder særlig uttalelser fra produsenter, ettersom det ble antatt at de til en viss grad ville fremme egne produkter. Det kan argumenteres for at alle intervjuobjektene enn viss grad av interessekonflikt, da alle arbeider med massivtrebygg, og ønsker å fremme denne byggemetoden.

4.6.3 Personvern

Kunnskapssektorens tjenesteleverandør (Sikt), er en offentlig virksomhet som skal sikre at innhenting, lagring og gjenbruk av data skjer på en korrekt og forsvarlig måte [41]. Det ble sendt inn et meldeskjema til Sikt som beskrev formålet med intervjuene og hvilke personopplysninger som skulle innhentes.

Før intervjuene ble gjennomført, ble det utsendt et informasjonsskriv til intervjudeltakeren som forklarer hensikten med intervjuet, hvorfor det var ønskelig å snakke med dem, hvordan personopplysningene ville bli behandlet og hvilke rettigheter vedkommende hadde. Informasjonsskrivet baserte seg på Sikt sin egnen mal [41]. Alle intervjuene ble anonymisert for å opprettholde kravene til behandling av personlig data. Dette bidro også til en mer åpen samtale, hvor deltakerne kunne dele erfaringer uten risiko for uønskede konsekvenser. Det ble ikke delt lyd- eller videoopptak av intervjuene, disse ble slettet etter transkriberingen var gjennomført. Personopplysninger som navn, alder eller spesifikk stilling (særlig i små firma) ble utelatt fra transkriberinger. Relevant utdannings- og arbeidserfaring ble derimot inkludert for å gi kontekst til intervjuobjektenes perspektiver.

Intervjuene ble gjennomført via Teams, hovedsakelig grunnet fysiske avstander og ønsker fra deltakerne. Transkripsjonene ble generert ved hjelp av Microsoft Clipchamp og Teams sin innebygde transkripsjonsverktøy. På grunn av enkelte feil i den automatiske transkriberingen, spesielt i engelskspråklige deler, ble alle transkripsjonene gjennomgått og korrigert manuelt. Språklige justeringer ble gjort der det var nødvendig for å beholde budskapet til intervjuobjektene.

5 | Resultat og diskusjon

Dette kapittelet kombinerer resultater fra casestudien og intervjuer for å besvare forskerspørsmålet. Resultater og diskusjon presenteres samlet i hvert underkapittel, strukturert etter forskerspørsmålene, for å vise hvordan funnene fra casestudien og intervjuene utfyller hverandre.

5.1 Analyse og valg av knutepunkter

Basert på vurderingsskjemaet forklart i metodekapittelet ble flere sammenkoblingsløsninger vurdert som egnet for demontering. For fullstendige vurderinger, detaljerte forklaringer og individuelle poengsummer for hver løsning, se vedlegg 7.2 og vedlegg 7.3.

Løsningene under ble valgt basert på høy score i vurderingsskjemaet, samt tekniske egenskaper som bærekapasitet og egnethet for demontering. Tabell 5.1 viser bruksområde og score for de utvalgte løsningene.

Tabell 5.1: Navn, bruksområde og vurderingsscore for utvalgte løsninger. Grunnlaget for scoringen er forklart i vedlegg 7.3.

Navn	Plassering	Score av 45
Hilti HTC P2P	Dekker	34
Pitzl CLT-Verbinder 88800.1050	Vegger	34
Rothoblaas Alumega	Bjelker	30
Pillar	Søyler	29

- **Hilti HTC P2P**: En justerbar tresløyfe med strammebolt, utviklet for å holde sammen KLT-dekkeelementer utsatt for horisontale belastninger. Løsningen krever også innfelling i treverket, men i motsetning til andre tresløyfer, som låser elementene mekanisk ved ekspansjon grunnet fuktutvidelse, tar P2P opp strekkreftene i den tverrgående strammebolten. Den har også god klaring rundt festepunktene. I casen erstatter Hilti P2P den opprinnelige løsningen Spline Joints. Figur 5.1 viser utforming og montering.

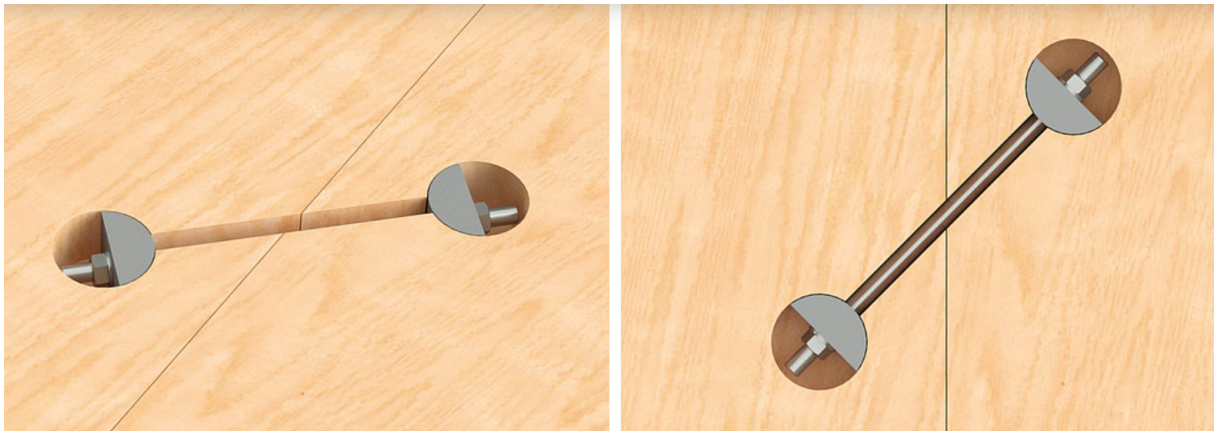
  Gjennom intervju med Acetra, Massivtre AS og Splitkon AS var det en generell positiv holdning til P2P mulighet for demontering. Acetra og Massivtre AS vurderte løsningen som lovende, men hadde ikke erfaring gjennom faktisk bruk. Splitkon AS hadde testet produktet i praksis og var positive til muligheten for demontering og til at den reduserte monteringstiden. Splitkon AS fremhevet at løsningen kunne gi en reell effektiviseringsgevinst i prosjekter.

Figur 5.1: Bilde 1 (venstre) illustrerer løsningens plassering i dekker. Bilde 2 (høyre) illustrerer bruken av løsningen og stramming av dekke-elementer [37].

- **Pitzl CLT-Verbinder 88800.1050**: Er et gjengestag med muttere og halvmåneformede mottakere på hver side. Løsningen er allsidig og har flere bruksområder. I casen ble den brukt i vegg-til-vegg forbindelser og hjørneforbindelser. Den er enkel å demontere, ettersom alle komponenter er tilgjengelige og kan lett skrus fra hverandre. Figur 5.2 viser utformingen av løsningen.

  Pitzl erstattet flere Spline Joints, som var brukt mellom veggelementene, og konstruksjons-skruene som ble brukt i hjørne-sammenkoblingene.

  Produktet virket å være lite benyttet i norsk byggenæring, og ingen av intervjuobjektene hadde tidligere tatt det i bruk. Acetra uttrykte skepsis til løsningens kapasitet og mente at den fremsto som noe svak.



Figur 5.2: Bildet illustrerer løsningens utforming og bruksområde i dekker og vegger [42].

- **Rothoblaas Alumega**: Alumega er en todelt bjelkeinnfestning som kobles sammen med bolter, og kan demonteres uten å skade treverket. Den kan benyttes uten kniv, som vist i Figur 5.3 (JV), hvor sammenkoblingen skjer med selvborende skruer. Alternativt kan den brukes med tradisjonell knivløsning, enten med selvborende eller glatte dybler, som vist i Figur 5.3 (JS). Produktet har en monteringstoleranse på opptil 4 mm per side. I vår case erstatter Alumega alle opprinnelige bjelkeopphengsløsninger. Figur 5.3 viser også muligheten for montering i side-stilte konfigurasjoner.

  Ved intervju med Acetra ble det gitt positiv tilbakemelding på løsningen. Hovedbegrunnelsen var styrkekapasiteten og systemets toleranser ved montering. Representanten fra Acetra nevnte også at de i større grad hadde begynt å benytte løsningen i nye prosjekter.

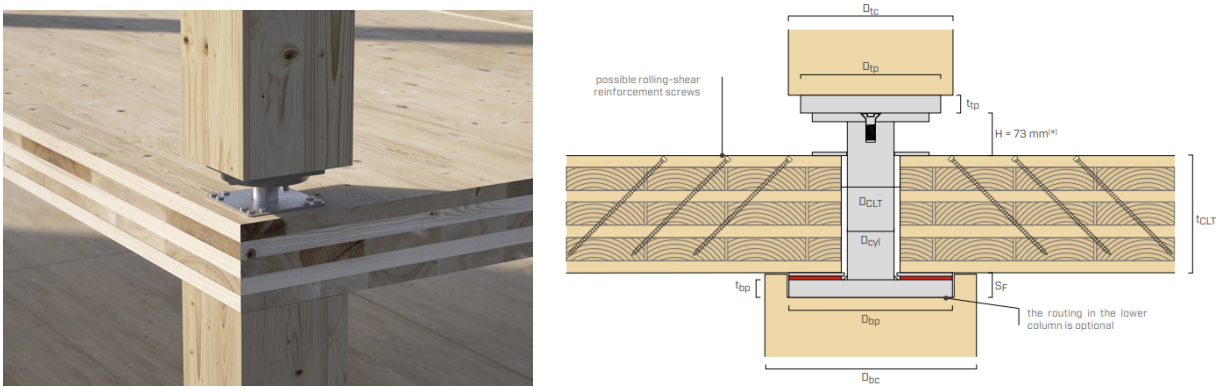
  Massivtre AS har benyttet Alumega i egne prosjekter, og oppga at løsningen fungerer likt som sammenlignbare systemer.

Figur 5.3: Bilde 1 (venstre) illustrerer de forskjellige utformingene for Alumega. Bilde 2 (høyre) viser eksempel på montering og bruk [43].

- **Rothoblaas Pillar**: En søylesko utviklet for fleretasjes bygg som monteres med bolter og muttere. Løsningen gjør det mulig å løsne søylen uten omfattende inngrep, og anses som egnet for demontering. I casen erstattet Pillar en løsning med vinkler, hvor søylene var plassert direkte oppå hverandre. Knutepunktet ble også valgt fremfor andre søylesko-løsninger grunnet sin høy kapasitet, da alternative løsninger ikke hadde tilstrekkelig kapasitet. Figur 5.4 viser bruksområde og utforming av løsningen.

  Pillar erstattet tre vinkler per søyle, både i topp og bunn. Det kan dermed argumenteres for at denne mengden vinkler ikke vil medføre betydelige komplikasjoner ved demontering.

  I intervju med Acetra uttalte en rådgivende ingeniør at de tidligere hadde vurdert løsningen, men valgt den bort: «We have suggested it for one project, but it seems easier for us to place a column directly on top of another.» Da han ble spurt om sin mening om løsningen, la han til at den i noen tilfeller kan fremstå som unødvendig.



Figur 5.4: Bilde 1 (venstre) illustrerer bruken av løsningen. Bilde 2 (høyre) er et snittbilde av løsningen og illustrerer gjennomgangen mellom dekkeelementene [44].

Ved vurdering av casens knutepunkter ble løsningene under bevart grunnet relativ høy score i vurderingsskjemaet, og generell god evne til fremtidig demontering.

- **Rothoblaas vinkelbeslag**: En standardisert løsning for vegg-til-dekke-forbindelser i KLT-bygg. Vinkelbeslagene bruker korte skruer eller spiker, disse kan i teorien fjernes. I praksis vil demontering være tidkrevende, da løsningen ofte tar i bruk et stort antall spiker eller skruer, hvor dette utsagnet støttes opp av SINTEF i rapporten «Anbefalinger ved ombruk av byggematerialer» [34].

- **Rothoblaas hullplater**: En standardisert løsning brukt for å låse sammen etasjer og ta opp mekaniske krefter. Løsningen tar i bruk flere korte skruer. I praksis vil demontering være mulig, men tidkrevende, da løsningen ofte tar i bruk et stort antall spiker eller skruer [34].

Skruer er benyttet i overganger mellom dekker og vegger, der vinkelbeslag ikke er brukt. De er også tatt i bruk i enkelte spesielle forbindelser og ved mer komplekse hjørnekoblinger. Dette skyldes både mangel på egnede demonterbare alternativer og begrensninger knyttet til oppgavens tidsramme og kompleksitet.

- **Skruer**: Lange skruer har begrenset demonteringsevne, da de kan være deformerte etter belastning og i noen tilfeller må kappes.

Valget av disse løsningene representerer en tydelig forbedring med tanke på fremtidig demontering sammenlignet med de opprinnelige sammenkoblingene. De beste løsningene muliggjør fullstendig demontering uten skade på elementene og uten behov for spesialverktøy, noe som gir et bedre ombrukspotensial [34].

5.1.1 Tilpasningsbehov ved bruken av demonterbare sammenkoblinger

Endringene av valgte sammenkoblings-løsninger sammenlignet med de opprinnelige løsningene medfører tilpasninger i elementutformingen. Løsningene krever utsparinger eller justeringer i massivtreelementene. Under gjennomgås hvilke endringer som var nødvendige for de ulike løsningene.

- **Hilti P2P**: Krever spesialtilpassede utsparinger i dekkeelementene for korrekt montering. Dette utføres på fabrikken til elementleverandøren.
- **Pitzl CLT-Verbinder 88800.1050**: Krever utsparinger i veggelementene, som også utføres før montering.
- **Alumega**: Kan monteres uten utsparing, men for å opprettholde brann- og styrkekravene, benyttes utsparinger i endene av bjelkene.
- **Pillar**: Krever utskjæring i dekker og høydejustering av søyle-elementene for korrekt montering.

Alle de valgte sammenkoblingsløsningene krever ulike typer utsparinger og justeringer. Tilsvarende tilpasninger er imidlertid også nødvendige for de opprinnelige løsningene i casen. Dette innebærer at tilpasningene ikke skiller seg ut i nevneverdig grad fra dagens prosjekteringspraksis, og dermed ikke representerer et vesentlig kompromiss.

Hilti P2P, Pitzl CLT-Verbinder og Pillar stiller høyere krav til monteringspresisjon enn casens eksisterende løsninger. I intervju med Massivtre AS ble det trukket frem at toleranse er en viktig faktor ved valg av løsning, spesielt i større prosjekter. Splitkon AS påpekte at bruk av Hilti P2P krever mer nøyaktighet i både produksjon og montering: «Den krever jo også mye mer nøyaktighet, vi har mindre toleranse på alt.» Bruken av Hilti P2P, Pitzl CLT-Verbinder og Pillar medfører dermed større krav til både prosjektering og monteringsnøyaktighet. Alumega skiller seg ut ved å ha høyere monteringstoleranse enn de eksisterende løsningene i casen, noe som kan forenkle monteringen i praksis.

5.2 Strukturell påvirkning

Utbyttingen av sammenkoblingene er basert på lastene hentet fra 7.4 og erstattet etter beregningene gjort i 7.6.

5.2.1 Limtre-bjelker

Tabell 5.2 viser at de valgte løsningene ikke førte til dimensjonsendringer i bjelkene de ble brukt i. Tabllen viser også at plassbehovet til de eksisterende og valgte løsningene har liten variasjon. I tillegg

har Alumega høyere styrkeforhold relativt til monteringsbredde enn de eksisterende løsningene. Vist i vedlegg 7.6.

Tabell 5.2: Sammenligning av eksisterende og foreslåtte sammenkoblinger i bjelkegruppene GL-Bjelker 1–5. Sammenligningene er begrenset til innenfor hver enkelt bjelkegruppe. Tabellen viser utnyttelsesgrad (η) basert på R_v, plassbehov ved installasjon av sammenkoblingen, samt dimensjonene til den tilhørende bjelken i casen. I sammenkoblinger med flere komponenter, er plassbehovet basert på komponenten på bjelkesiden av sammenkoblingen.

Gruppe	**Type**	**Navn**	η [%]	**Plassbehov (b × h) [mm]**	**Bjelkemål i casen (b × h) [mm]**
GL-Bjelker 1	Eksisterende løsninger	Pitzl Heavy-duty HVP 88560.1000	95,3	170 x 620	280 x 810
	Valgte løsninger	Alumega HV/JV 600	94,7	132 x 736	
GL-Bjelker 2	Eksisterende løsninger	ALUMAXI384L (med hull)	52,1	160 x 432	230 x 450
	Valgte løsninger	Alumega HP 360/ JV 240 (Styrende)	55,9	132 x 333	
GL-Bjelker 3	Eksisterende løsninger	Pitzl Heavy-duty HVP 88545.1000	60,5	170 x 470	230 x 540
	Valgte løsninger	Alumega JS 480/ HP 480 (Styrende)	63,2	195 x 503	
GL-Bjelker 4	Eksisterende løsninger	Alumaxi512L (Med hull)	70,9	160 x 560	230 x 630
	Valgte løsninger	Alumega HP 360/ JV 360 (Styrende)	74,7	132 x 453	
GL-Bjelker 5	Eksisterende løsninger	Alumidi320L (med hull)	65,5	140 x 360	230 x 405
	Valgte løsninger	Alumega JV 240/ HP 240 (Styrende)	53,9	132 x 333	

Beregning av styrkeforhold relativt til høyde viser større variasjon i resultatene. Alumega har lavere verdier enn Pitzl HVP 88560.1000 og HVP 88545.1000, og krever derfor høyere installasjonshøyde. I alle disse sammenkoblingene (Alumega HV/JV og Pitzl HVP) er skruene montert i 45° vinkel inn i trevirket. Dette medfører at endene på de ytterste skruene strekker seg utenfor sammenkoblingens vertikale tverrsnitt. Den nødvendige installasjonshøyden vil derfor variere avhengig av nødvendig skruelengde.

Alumega har høyere styrkeforhold enn både Alumaxi- og Alumidi-serien, både med hensyn til installasjonshøyde og -bredde. En mulig forklaring på dette er at Alumega, som er utviklet av samme

produsent, representerer en videreutvikling av de eldre produktene. Økt styrkeforhold kan dermed skyldes en optimalisert utforming med tanke på bæreevne og kompakthet. Selv om dette ikke er eksplisitt dokumentert, uttaler Rothoblaas i intervju at de gikk et steg videre i designet av Alumega sammenlignet med deres klassiske forbindelser.

Alumega medfører en endring i det statiske systemet sammenlignet med de opprinnelige løsningene, da Alumega i større grad oppfører seg som et ideelt ledd. Dette skyldes de avlange hullene der Megabolt binder sammen komponentene. I intervjuet utdyper en ingeniør fra Rothoblaas designintensjonen bak systemet:

> You know, Alumega has a slotted hole on the hidden element, which basically allows for free initial displacement and free initial rotation. [...] So with Alumega, we tried to [...] provide a connection that behaves closer to the structural hypothesis of a hinge, in order to not have a semi-rigid connection. From this point of view, I think with Alumega, we went a step further than with our classic connections.

Selv om denne egenskapen beskrives som en fordel, er det viktig å være klar over at Alumega oppfører seg annerledes enn mange andre sammenkoblinger med tilsvarende bruksområde, ved at den er utformet for å tillate fri initial rotasjon, og overfører i praksis ikke moment før store forskyvninger oppstår, se databladet [43]. De avlange hullene gir også økt horisontal toleranse ved installasjon. Flere av intervjuobjektene fremhevet montasjetoleranse som en viktig egenskap ved valg av sammenkoblinger.

5.2.2 Limtre-søyler

Tabell 5.3: Valgt sammenkobling i søylegruppen GL-Søyler. Det var originalt ingen sammenkobling i toppen av søylene i casen, da de var montert direkte oppå hverandre. Utnyttelsen (η) baserer seg på $R_{ax,c}$

Gruppe	**Type**	**Navn**	η [%]
GL-Søyler	Valgte løsninger	Pillar60s	82,3

Tabell 5.3 viser at det er kun en type sammenkobling i utbyttingen for søylegruppen. I casen var søylesystemet utformet slik at søylene sto direkte ovenfor hverandre. De opprinnelige søylene var kun forankret til KLT-dekket med vinkelbeslag, som ikke bidro til overføring av aksialkrefter mellom søyleelementene. De er derfor ikke inkludert i Tabell 5.3, hvor den valgte løsningen, Pillar60s, er vurdert ut fra søylenes aksialbelastning.

Innføringen av PIL60s medfører en endring i knutepunktets statiske virkemåte. Den opprinnelige løsningen (søyle direkte på søyle), overfører aksialkrefter kun i form av trykk. PIL60s vil knytte søylene sammen og fører til at aksialkrefter tas opp i både strekk og trykk. Siden vinklene fjernes, vil eventuelle horisontalkrefter i knutepunktene måtte tas opp av PIL60. Selv om produsenten ikke oppgir horisontal kapasitet, er de horisontale kreftene i denne casen så lave (6,93 kN) at det vurderes som forsvarlig å overføre dem via løsninger og nærliggende KLT-vegger. Det er viktig å fremheve at sammenkoblingen ikke er sertifisert for denne funksjonen, og opptaket av horisontale krefter må derfor vurderes for hvert enkelt prosjekt.

Siden det ikke var noen opprinnelig innfestning mellom søyleelementene i casen, foreligger det heller ingen dokumentert overdekning for brannmotstand. Dimensjonene på PIL60s er 15 mm mindre enn søylebredden, og det antas at dette kan føre til redusert brannmotstand uten ekstra brannbeskyttelse. I dette tilfellet vil bruken av PIL60s medføre et kompromiss i form av økte søyledimensjoner eller behov for separat brannbeskyttelse, selv om dette ikke er nødvendig ut fra bæreevne.

5.2.3 KLT-vegger

Tabell 5.4: Sammenligning av eksisterende og valgte sammenkoblinger i elementgruppen KLT-Vegger. Tabellen viser utnyttelsesgrad i skjær ($\eta_{skjær}$) for løsningene, denne utnyttelsen baserer seg på R_v.

Gruppe	**Type**	**Navn**	$\eta_{skjær}$ [%]
KLT-Vegger	Eksisterende løsninger	Spline Joint 2 x HBS Ø6x70mm cc50mm	12,5
	Eksisterende løsninger	TBS Ø8x220-260mm cc250mm	25,4
	Valgte løsninger	Pitzl CLT-Verbinder 88800.1050	26,9

Utnyttelsesgradene presentert i Tabell 5.4 varierer mer enn i de andre elementgruppene. Skjærstrømmen i veggene er så lave at vi valgte å avvike fra vårt krav om å holde utnyttelsesgraden så lik som mulig. Det er viktig å påpeke at Pitzl CLT-Verbinder fortsatt tilfredsstiller kapasitetskravene til veggene, selv om den har høyere utnyttelse enn opprinnelige sammenkoblinger.

Innføringen av Pitzl CLT-Verbinder førte ikke til en endring i kraftoverføringen i veggene, da den tar opp de samme kreftene som eksisterende sammenkobling. En løsning har nok kapasitet til å få en utnyttelse på $26,9$ prosent. Men sammenkoblingen tar kun opp strekkrefter og fungerer som et innfelt strekkstag, dette gjør at man trenger to stag i hver skjøt, ettersom skjærstrømmen mellom veggelementene må tas opp i begge retninger. Sammenkoblingen blir derfor ikke like godt utnyttet som en som tar opp skjærkrefter i begge retninger.

En mulig løsning for bedre utnytting av sammenkoblingen vil være å dedikere noen av veggelementene til stive skiver, som tar opp alle horisontale krefter. Dette kan gjøres ved å endre kraftveien til de horisontale kreftene, slik at de samles og overføres til de stive skivene. Disse vil være festet med et tilstrekkelig antall Pitzl CLT-Verbinder-løsninger. Øvrige vegger inngår da ikke i det bærende systemet for horisontale laster, og må antas å ikke ta opp horisontale laster.

Dette vil innebære en endring i det eksisterende statiske systemet, der det ifølge kalkuleringsrapporten fra Acetra opptrer skjærstrøm i alle veggskjøtene i bygget [39]. Siden dette også medfører en endring i det globale statiske systemet, må det foretas en ny global stabilitetsanalyse.

Pitzl CLT-Verbinder er en innfelt sammenkobling, men den er ikke fullstendig omsluttet av trevirke og vil kunne bli eksponert direkte for brann på en side. Den vil derfor trenge ekstra branntetting for å oppfylle brannkravene satt i casen. Databladet viser til flere ulike løsninger på dette.

5.2.4 KLT-dekker

Tabell 5.5: Sammenligning av eksisterende og valgt innfesting i elementgruppen KLT-Dekker. Tabellen viser kapasitet per meter ($R_{v,k}$), og antall innfestninger per meter (n) for løsningene.

Gruppe	**Type**	**Navn**	$R_{v,k}$ **[kN/m]**	n [Antall/m]
KLT-Dekker 1	Eksisterende løsninger	Spline Joint 2 x HBS Ø6x70mm cc50mm	24,17	-
	Valgte løsninger	Hilti HTC-P2P	24,17	0,553
KLT-Dekker 2	Eksisterende løsninger	Spline Joint 2 x HBS Ø6x70mm cc50mm	24,17	-
	Valgte løsninger	Hilti HTC-P2P	24,17	0,517

Tabell 5.5 viser identiske verdier for $R_{v,k}$ i alle sammenkoblinger. Dette skyldes at den foreslåtte erstatningen er basert på kapasiteten til Spline Joints, som beskrevet i underseksjon 4.4.2. Med mer tid ville det vært fordelaktig å foreta en global analyse av de horisontale kreftene i bygget

for å fastslå de opptredende kreftene i dekkeskjøtene, og dermed få et mer presist antall løsninger. Denne fremgangsmåten ble fortsatt vurdert som tilstrekkelig innenfor rammene av oppgavens omfang og tidsbruk. Den er relevant til vurdering av prisendringer og teknisk utforming. Antall sammenkoblinger per meter er beregnet etter håndberegninger som følger databladet til Hilti P2P [37].

Utbytting av løsningene medfører ingen endring i kraftoverføringen i dekkene. Den har dokumentert kapasitet for de samme kreftene (skjærkrefter og aksialstrekk) som den originale løsningen (Spline joint), se side 75 i KL-Trähandbok [28], og er godkjent for både under statiske og seismiske forhold. P2P er ikke designet til å ta opp bøyemoment eller skjærkrefter vinkelrett på dekkene, noe som må hensyntas i prosjekteringen.

Databladet til HTC P2P beskriver brannegenskapene ved brannekspponering i underkant av dekket, her vil løsningen være beskyttet fra brann av KLT-elementet. Siden løsningen er eksponert i utsparingen, krever denne siden egne tiltak for å oppnå tilstrekkelig brannmotstand, og dette må hensyntas under prosjektering. I praksis, og også i denne casen, vil løsningen ofte dekkes til med avrettingsmasse eller betong. Betongsjiktet i casen er ikke bærende, og vurderes derfor ikke nærmere.

5.2.5 Overordnet vurdering av strukturell påvirkning

Erstatningen av sammenkoblingene førte ikke til dimensjonsendringer for elementene i casen, vurdert ut ifra et kapasitetsbehov. I bjelkesammenkoblingene er det ikke et tydelig behov for branntetting utover det som er gjort i casen fra før, da disse er skjulte sammenkoblinger med tilstrekkelig overdekning. I de resterende elementene (bjelker, vegger og dekker) er sammenkoblingene eksponert til brann på en eller flere sider, eller har liten overdekning. I disse tilfellene vil det være nødvendig med utvidet brannteknisk analyse på detalj- og systemnivå for å forsikre at brannkravene opprettholdes. Observasjonene fra casen viser at demonterbare forbindelser ikke fører til endringer i tverrsnittsdimensjoner, men dette er en vurdering utelukkende basert på mekanisk kapasitet i bruddgrensetilstand.

Siden bruksgrensetilstand (SLS) ikke er analysert i denne oppgaven, vil stivhetsverdiene for de valgte løsningene trolig avvike fra opprinnelige løsninger. Dette kan resultere i at nedbøyinger og vibrasjoner avviiker fra originale beregninger, og ikke lenger opprettholder komfortkriteriene i henhold til NS-EN 1995. Videre forskning bør derfor analysere dette, da det kan ha store innvirkninger på det strukturelle systemet i bygget. Et tydelig eksempel er Alumega, som oppfører seg som et ideelt ledd. Ifølge Euler-Bernoulli-Teori fører dette til større nedbøying, enn om knutepunktet er stivt eller semi-stivt. Resultatene i kapittelet må derfor tolkes i lys av at analysene er begrenset til bruddgrensetilstand (ULS) og ikke inkluderer SLS-vurderinger.

5.3 Kostnader og økonomiske vurderinger

5.3.1 Bakgrunn og avgrensninger

Dette kapittelet vurderer materialkostnadene ved bruk av demonterbare løsninger sammenlignet med eksisterende løsninger i casestudien. Prisene er innhentet direkte fra leverandører og representerer faktiske enhetskostnader. For produkter fra Rothoblaas er kun prosentvis avvik oppgitt, ettersom leverandøren ikke ønsket at konkrete enhetspriser ble publisert, se vedlegg 7.7.

Det er viktig å merke seg at kostnader knyttet til monteringstid, demonteringstid og CNC-bearbeiding av massivtrelementene ikke er inkludert i tabellgrunnlaget. Disse vurderes separat i senere kapitler.

5.3.2 Materialkostnader

Under er en sammenstilling av materialkostnader for bjelker, dekker, søyler og vegger. Tabellene under (Tabell 5.6-5.9) viser totale kostnader og prisendring i prosent ved overgang fra tradisjonelle til demonterbare løsninger. Hvert system kommenteres i tilknytning til sine respektive tabeller.

Eksisterende knutepunktene ved Bygg A har en totalpris på 981 393 NOK og utgjør 0,28 prosent av totalprisen til bygget.

Tabell 5.6: Kostnadssammenligning for bjelkesystemets sammenkoblinger. Tallgrunnlaget er basert på faktiske enhetspriser og mengder. Prisendringen er prosentforskjell fra eksisterende løsninger til valgte løsninger.

Gruppe	Type	Navn	Totalpris [NOK]	Prisendring [%]
Bjelkebeslag	Eksisterende løsninger	Pitzl HVP og Alumaxi/Alumidi	95 885,-	-11,4
	Valgte løsninger	Alumega	84 932,-	
Skruer	Eksisterende løsninger	Rothoblaas LBA/STA + Pitzl Ø8x200	24 527,-	-17,2
	Valgte løsninger	Rothoblaas VGS / HBSP	20 298,-	
Diverse komponenter	Eksisterende	Rothoblaas STA / SBD	11 005,-	+159,1
	Valgte Løsninger	Rothoblaas VGU / SPD /MEGABOLT	28 489,-	
Fullstendig bjelkesystem	Eksisterende løsninger	Pitzl HVP og Alumaxi/Alumidi system	131 417,-	+1,75
	Valgte løsninger	Alumega-system	133 718,-	

Kostnadssammenligningen mellom de eksisterende løsningene og de valgte, mer demonterbare løsningene viser en økning i totalprisen på 1,75 prosent, se Tabell 5.6. Både beslag og skruer i Alumega-systemet er billigere enn komponentene i den opprinnelige løsningen med Pitzl HVP og Alumaxi/Alumidi. Den samlede prisøkningen skyldes i hovedsak underkategorien «Diverse komponenter», der kostnaden øker med 159,1 prosent. Dette knyttes hovedsakelig til bruken av 45-graders underlagsskiver, som benyttes for å skråstille skruene.

Resultatene viser at det er fullt mulig å implementere demonterbare løsninger for bjelkeinnfestninger uten at dette medfører vesentlige kostnadsøkninger i byggeprosjektet.

Tabell 5.7: Kostnadssammenligning for søylesystemets sammenkoblinger. Tallgrunnlaget er basert på faktiske enhetspriser og mengder. Prisendringen er prosentforskjell fra eksisterende løsninger til valgte løsninger.

Gruppe	Type	Navn	Totalpris [NOK]	Prisendring [%]
Fullstendig søylesystem	Eksisterende løsninger	Rothoblaas vinkler og skruer: WBR09015 og LBA460	2 288,-	+8 234,0
	Valgte Løsninger	Pillar 60S-system	190 664,-	

Tabell 5.7 viser en prisøkning på 8 234 prosent ved bytte til et mer demonterbart søylesystem. Mens den opprinnelige løsningen med standardvinkler og skruer koster under 2 500 NOK, har Pillar 60S-systemet en totalpris på over 190 000 NOK.

Den betydelige pris forskjellen skyldes i hovedsak forskjellen i byggemetode. Pillar-systemet er en kompleks teknisk løsning med muligheter for å binde sammen dekkeelementer og er egnet for fleretasjers bygg. Den opprinnelige løsningen er derimot basert på enkle standardvinkler med gjenomgående søyler låst sammen, og er valgt for lav pris og enkel montasje.

Resultatene viser at søyleforbindelser representerer et område hvor innføring av demonterbare løsninger kan føre til svært høye merkostnader.

Tabell 5.8: Kostnadssammenligning for veggsystemets sammenkoblinger. Tallgrunnlaget er basert på faktiske enhetspriser og mengder. Prisendringen er prosentforskjell fra eksisterende løsninger til valgte løsninger.

Gruppe	**Type**	**Navn**	**Totalpris [NOK]**	**Prisendring [%]**
Fullstendig veggsystem	Eksisterende løsninger	Spline Joint	62 524,-	+249,7
	Eksisterende løsninger	TBS	9 517,-	
	Valgte løsninger	Pitzl CLT Verbinder	251 952,-	

Resultatet fra Tabell 5.8 viser en kostnadsøkning på 249,7 prosent ved overgang til Pitzl CLT-Verbinder. Økningen skyldes i all hovedsak den høye enhetsprisen for Pitzl, sammenlignet med de eksisterende løsninger som består av Spline-Joints.

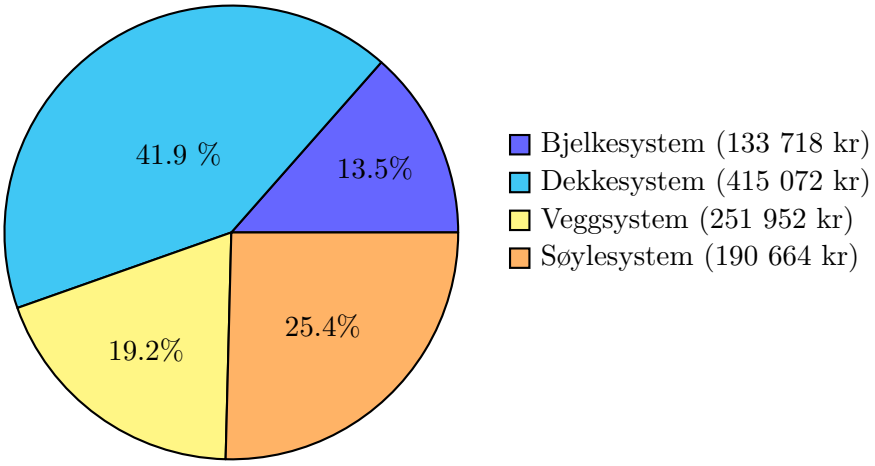
Det er også viktig å merke seg at sammenligningen ikke inkluderer kostnader til CNC-fresing og annen bearbeiding som KLT-elementene krever. I intervju med Splitkon AS ble det presisert at prisen på KLT-elementer ikke bare består av materialmengden, men i stor grad av bearbeidings arbeidet. Han forklarte at komplekse utsparinger fører til høyere produksjonskostnader, og at prisberegning ikke kan baseres på netto trevolum alene.

Tabell 5.9: Kostnadssammenligning for dekke-systemets sammenkoblinger. Tallgrunnlaget er basert på faktiske enhetspriser og mengder. Prisendringen er prosentforskjell fra eksisterende løsninger til valgte løsninger.

Gruppe	**Type**	**Navn**	**Totalpris [NOK]**	**Prisendring [%]**
Fullstendig dekkesystem	Eksisterende løsninger	Spline Joint	79 820,-	+420
	Valgte Løsninger	Hilti P2P	415 072,-	

Prisforskjellen i Tabell 5.9 mellom eksisterende og de valgte løsninger er betydelig og utgjør en økning på 420 prosent. Dette skyldes hovedsakelig den høye enhetsprisen på Hilti P2P-systemet.

Som ved veggsystemet er det viktig å merke seg at sammenligningen ikke inkluderer kostnader til fabrikktilpasning og utfresing. Disse arbeidene vil trolig øke totalkostnaden ytterligere.



Figur 5.5: Kostnadsfordeling mellom bygningsdelene med tilhørende prosent og totalpris

Figur 5.5 viser kostnadsfordelingen mellom de ulike bygningssystemene. Dekkesystemet som består av Hilti P2P, står for den største andelen av totalkostnaden med 41,9 prosent.

5.3.3 Samlet materialkostnad i bygget

Tabell 5.10: Total kostnad for eksisterende og demonterbare løsninger i forhold til total byggekostnad. Prosent endrigen tar utgangspunktet i totalprisen til hele bygget.

Beskrivelse	**Totalpris [NOK]**	**Prosentvis andel av total byggkostnad [%]**
Total byggekostnad for skolen	350 000 000,-	100
Kostnad – eksisterende løsninger	285 566,-	0,0816
Kostnad – demonterbare løsninger	991 408,-	0,2833
Prisøkning ved demonterbare løsninger	+705 842,-	+0,2017

Den totale merkostnaden ved å benytte demonterbare knutepunkter i Bygg A utgjør om lag 700 000 NOK, som vist i Tabell 5.10 . Dette tilsvarer 0,2 prosent av total byggekostnad, og utgjør en marginal økning i prosjektets helheten.

Tabell 5.11: Total kostnadsøkning ved overgang til demonterbare løsninger. Prisendringen i prosent tar utgangspunktet i totalprisen til alle eksisterende knutepunkter i Bygg A.

Beskrivelse	**Totalpris [NOK]**	**Prisendring [%]**
Totalkostnad – eksisterende løsninger	981 393,-	–
Totalkostnad – demonterbare løsninger	1 687 234,-	+71,9

Tabell 5.11 viser en total kostandsendring på 71,9 prosent av byggets knutepunkter. Dette viser at selv om knutepunkter utgjør en marginal del av et byggeprosjekt total pris, vil overgangen til demonterbare løsninger gi en betydelig oppgang i kostnader.

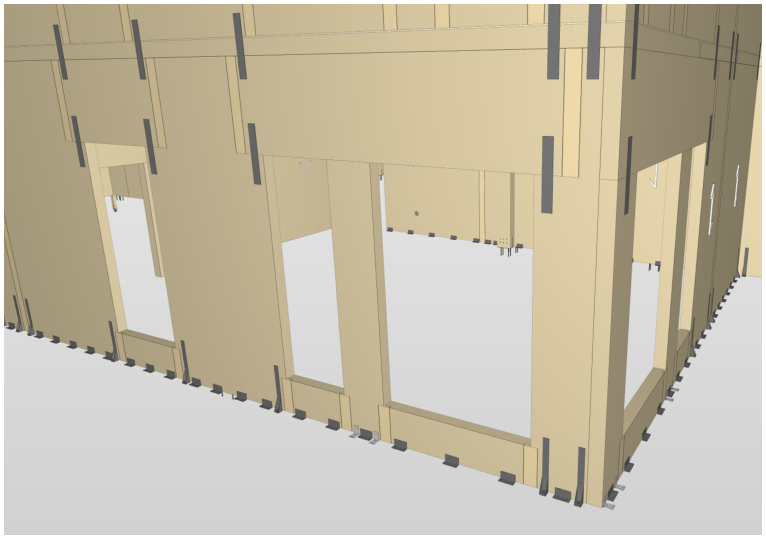
Det er også viktig å presisere at prisen fra Tabell 5.11, kategori «Totalkostnad – eksisterende knutepunkter», inkluderer alle knutepunkter brukt i Bygg A ved Haraldsvang skole. Dette innebærer også brann tettingsmaterialer.

5.3.4 Diskusjon rundt kostnader

Overgangen til demonterbare knutepunkter medfører betydelige prisøkninger for enkelte komponenter, som vist i Tabell 5.6-5.9. Selv om prosentvise endringer fremstår høye, har tiltaket begrenset innvirkning på prosjektets totaløkonomi. Dette viser at økonomi alene ikke nødvendigvis trenger å være en barriere for å velge løsninger som tilrettelegger for fremtidig ombruk og demontering.

Som diskutert i delkapittel 5.2.3, vil det være mulig å etablere stive skiver i bygget ved hjelp av Pitzl CLT-Verbinder. Dette reduserer behovet for omfattende bruk av denne løsningen, og kan dermed bidra til lavere totalkostnad. Samtidig må det fortsatt etableres en løsning for å låse veggelementene sammen.

I casestudien ble Pitzl CLT-Verbinder også benyttet i skjøter rundt dør- og vinduåpninger Figur 5.6. Dette førte til et høyere antall knutepunkter enn nødvendig, noe som har påvirket totalkostnaden i Tabell 5.8. Bygget var ikke opprinnelig prosjektert med disse løsningene i tankene, og veggelementene var ikke optimalisert for bruken. Ved å endre elementutformingen og redusere antallet mindre deler, vil behovet for knutepunkter kunne minimeres, dette kan medføre økte kostnader grunnet økt svinn i elementene.



Figur 5.6: Viser tilfellet med utsparinger i veggelementer, hentet fra BIM-modell av Haraldsvang skole.

Dersom bygget prosjekteres med muligheter for fremtidig demontering, kan det resultere i reduserte kostnader ved byggets endte levetid. Elementer som kan demonteres og ombrukes har en restverdi, noe som kan bidra til økt økonomisk gevinst. I intervju med Splitkon AS ble det fremhevet at prisene på trebaserte byggevarer sannsynligvis vil øke. Representanten påpekte at økt tilgang på gjenbrukbare materialer vil kunne drive etterspørselen etter bygg som er designet for demontering opp. Han understreket også at slike bygg i teorien vil ha en høyere verdi. «Man har et bygg som man kan ta ned på en enkel måte å sette opp et annet sted. Det øker jo verdien på den bygge-massen som står der». Dette vil kunne føre til fortjeneste hos utbygger, da bygningsmaterialene trolig vil kunne selges etter demontering av bygget.

5.3.5 Vurdering av usikkerhet

Tallgrunnlaget for prisanalysen inneholder enkelte usikkerheter. Dette gjelder blant annet potensielle feil i telling av antall knutepunkter. Bruk av standardiserte enhetspriser uten individuelle rabattavtaler eller varierende priser som følge av bestillingsvolum og kundegrupper.

5.4 Tidsbruk

Tidsbruk er en viktig faktor i vurdering av byggemetode og har stor innvirkning på prosjektkostnader og fremdrift. For knutepunkter i et demonterbart bygg, er det ikke kun monteringstiden som må tas i betraktning, men også eventuell demonteringstid. Dette kapittelet presenterer resultater og vurderinger knyttet til tidsbruk, basert på produsentinformasjon og intervjuer med fagpersoner.

5.4.1 Monteringstid

Flere produsenter hevder at noen demonterbare løsninger kan redusere monteringstiden. Både Rothoblaas og Hilti reklamerer med betydelige tidsbesparelser ved bruk av noen av sine produkter. Hilti oppgir at deres P2P-løsning kan redusere montasjetiden med opptil 50 prosent sammenlignet med tradisjonelle løsninger [37]. Dette baseres på tilbakemeldinger fra entreprenører og montører, ettersom det ikke foreligger standardiserte tester for monteringstid.

Under intervju med Splitkon AS viser de til testing av HILTI P2P. Den ble brukt i et pilotprosjekt ved Hokksund barneskole. Representanten uttalte at innsparing i monteringstiden kunne kompensere for den høye enhetsprisen, ekstrakostnader knyttet til utskjæringer og tilpasning: «Den virker som om den i det store bildet at den er billigere på bunnlinjen. Det er det inntrykket vi har så langt.»

Pitzl CLT-Verbinder reklamerer ikke for tidsbesparelse ved montering, men vurderes som relativt effektiv ettersom vegger kan komme med ferdige utskjæringer fra fabrikk. Løsningen erstatter Spline Joints (gjelder også for P2P), som er tidkrevende grunnet mange skruer.

Alumega vurderes som nøytral med hensyn til monteringstid. I intervju med Massivtre AS sa representanten at de hadde implementert løsningen uten behov for å prosjektere mer eller mindre tidsbruk i forhold til andre bjelkeopphengs-systemer.

Pillar er derimot en kompleks løsning med flere deler, og vil føre til høyere monteringstid enn casens valgte løsning med gjennomgående søyler som ligger oppå hverandre.

5.4.2 Demonteringstid

Demonteringstid er vanskelig å beregne da erfaring med demontering av massivtrebygg fortsatt er begrenset. Ingen av intervjuobjektene kunne vise til dokumentert tidsbruk, og det finnes per dags dato ingen standardiserte målemetoder for demonteringstid i trekonstruksjoner. Rothobaas sa under intervjuet at det ikke ble gjort noen tester for å måle hvor lett et kuntepunkt er å demontere eller den potensielle demonteringstiden. Dette blir basert på tilbakemeldinger fra entreprenører og montører som har brukt produktene: «Actually, there is not a specific standard for testing how fast or how easy it is to disassemble a connector. It is mainly based on our experience and feedback from installers and building companies that use our products.»

Bruk av demonterbare knutepunkter kan forenkle demonteringsprosessen ved å redusere behovet for saging, kutting og andre ødeleggendene inngrep. Dette vil kunne bidrar til kortere demonteringstid for bygget og mindre skade på elementene.

5.5 Diskusjon av gjenbruk av dagens masivtre bygg

Flere av informantene uttrykte at demontering og gjenbruk av dagens massivtrebygg i prinsippet er mulig, men at det finnes mange usikkerhetsmomenter. Representanten fra Massivtre AS fremhevet at gjenbruk er teknisk gjennomførbart, men stilte spørsmål ved hvordan skrueforbindelser vil oppføre seg etter flere tiår: «Skrueforbindelser som brukes i dag kan i teorien skrus ut igjen. Men det som er vanskelig å vite, er hvordan det faktisk vil fungere etter 50 år.» En lignende vurdering ble gitt av Acetra, som mente at demontering i prinsippet er mulig, men krevende i praksis: «I would assume you can disassemble the building just by unscrewing it. It's not that easy, but it's possible.» Rothoblaas var enda tydeligere i sin skepsis til demontering av skrueforbindelser etter lang tids

belastning. Ifølge deres representant vil skruene følge bevegelser i treverket over tid og dermed være svært vanskelige å fjerne uten skade: «If you imagine after 20 years, how implausible removing the screws, as it will bend and follow the movement of the wood. It's rather impossible, I would say.»

I en studie gjennomført på franske treskruer i stål-tre-forbindelser ble varig deformasjon observert etter ti sykliske belastninger på opptil 40 prosent av skruens maksimale kapasitet. Skruene ble dermed ansett som ødelagte og dette utelukket muligheten for gjenbruk [45]. Studien viste at deformasjon i skruene kan oppstå ved gjentatte eller langvarige belastninger, selv uten synlige skader i treverket. Ved ekstreme belastninger, som store snømengder, sterk vind eller andre uhell, vil sannsynligheten for enkel demontering reduseres ytterligere. I intervju med Rothoblaas påpekte representantene at hele levetiden til sammenkoblingen må tas i betraktning dersom målet er gjenbruk. Hendelser som brann, uhell eller seismiske belastninger kan påvirke komponentenes strukturelle integritet, også uten at dette nødvendigvis er synlig.

I en annen studie, som undersøkte helgjengete treskruer ved hjelp av CT-skanning, ble skruens bøyningsform brukt til å beregne deformasjonsenergien i stålet [35]. Resultatene viste at flytegrensen ble nådd ved relativt lave forskyvninger, allerede ved 2 mm. Dette begrenser potensialet for effektiv ombruk av elementene.

Når det gjelder ståldybler, ble det fra både Acetra og Rothoblaas påpekt at disse i liten grad er egnet for demontering. Ifølge Acetra er dyblene konstruert for å bøye seg under last, som gjør dem vanskelige å trekke ut: «They will definitely bend inside. Even if you lift the beam, they will still deflect due to load.» Ingeniøren i Rothoblaas understreket at stålkomponentene i deres løsninger skal fungere som stive elementer, mens det er skruer og dybler som er designet for å nå flytegrensen først. Dette gjør stål-mot-stål-forbindelser med bolter og muttere bedre egnet for demontering enn forbindelser med innfelte dybler.

5.5.1 Komplikasjoner ved gjenbruk av massivtreelementer

Informantene ble spurt om holdbarheten til massivtreelementer over tid, var det generell enighet om at trevirke kan gjenbrukes, så lenge det har vært beskyttet mot fukt og mekaniske skader. Dette støttes av en studie av Caitríona Uí Chúláin1, Daniel F. Liana, Paul Hogan, Patrick McGetrick, Annette M. Harte som viste at KLT-elementer produsert av 50 år gammelt treverk hadde tilnærmet identisk bæreevne som nye elementer under laboratorietester [46].

Det er per i dag ikke etablert en fullstendig standard for merking og sertifisering av krysslaminert treverk (KLT). I intervju med en representant fra Splitkon AS ble det forklart at: «Det har man prøvd med massivtre i mange år og har ikke lykkes med det enda.»

Splitkon AS benytter selv SINTEF Teknisk Godkjenning nr. 20712 og produserer elementer i henhold til NS-EN 14080 og EN 16351 [47].

Det ble også påpekt at det teknisk sett er mulig å produsere og selge KLT-elementer uten godkjenning, men at dette medfører store mengder dokumentasjon: «Det er også mulig uten Teknisk godkjenning eller ETA, men da må man ha en voldsom papiropplag for hvert eneste prosjekt. Altså det er upraktisk, men mulig.» Dette utsagnet støttes av Direktoratet for byggkvalitet (DiBK): «Hvis det ikke finnes en harmonisert produktstandard for byggevaren, kan man gå gjennom en frivillig ordning for å CE-merke, basert på en ETA (European Technical Assessment, eller på norsk, europeisk teknisk bedømmelse).» [8]

I hovedsak er det to punkter som må tilfredsstilles for å opprettholde krav for omsetning [8]. «Kan den brukte byggevaren redokumenteres for å tilfredsstille krav for omsetning?»[8] og «Kan den brukte byggevaren redokumenteres i forhold til de egenskaper som kreves for bruk i bygget den er tiltenkt omsatt til?»[8]

Ved demontering og videre bruk av eldre KLT-elementer vil det i prinsippet være nødvendig å gjennomføre ny teknisk godkjenning. Ifølge intervju med Splitkon AS, kreves det en fasthetstest dersom elementene er mer enn ti år gamle. Representanten uttrykte likevel skepsis til hvor realistisk dette er i praksis: «Det er det standarden sier, men det er ikke vår oppfatning av realiteten.» Han mente at en vurdering av elementenes styrke alene ikke er tilstrekkelig for å avgjøre om gjenbruk er mulig. Det må også tas hensyn til hele byggets historie og tilstanden til elementene: «Hvis man ser på det store bildet, så er det jo en grunn til at man tar et bygg ned. Og hvis det er fuktskader, brann, eller annen ødeleggende skade på elementene, så sier det seg selv.» Dette støttes også av rapporten Forsvarlig ombruk av byggevarer, utgitt av DiBK

> En neste utfordring er at byggevaren kan ha endret egenskaper i forhold til opprinnelig egenskaper og dokumentasjon [8]. En byggevare kan endre egenskaper over tid (etter at den første gang ble omsatt) eller det kan være nødvendig/ønskelig å gjøre endringer på byggevaren før omsetning, som gjør at byggevarens egenskaper ikke lenger samsvarer med opprinnelig dokumentasjonen

Det at en byggevare kan gjenbrukes i henhold til DOK/byggevareforordningen betyr ikke nødvendigvis at den kan brukes i et bygg [8]. Krav fra TEK17 må også opprettholdes, inkludert §2-1, §2-3 (1) og §3-1 (2).

Representanten fra Massivtre AS trakk også frem viktigheten av digital dokumentasjon som et verktøy for å muliggjøre fremtidig ombruk. Ved å lagre IFC-filer og BIM-modeller med informasjon om blant annet dimensjoner, lamelltyper og innfestningspunkter, vil det være enklere å identifisere og demontere brukbare elementer: «Hvis den informasjonen samles i et slags kartotek, så har man full oversikt over hva som kan brukes igjen.»

Et annet hinder presentert av Splitkon AS var mengden tilgjengelig gjenbrukbart KLT-materiale. Han presiserte i intervjuet at det ikke er nok tilgjengelig materiale til å dekke ønsker fra aktører som vil bruke gjenbrukte KLT-elementer: «Men det er jo ikke så mange massivtrebygg som er gammelt nok til å i det hele tatt vurdere å ta dem ned. Det er jo rent teknisk ikke mulig, for vi bygger jo mye mer enn det vi har som eksisterende masse som kunne tas ned potensielt.»

Dette støttes også av rapporten gjennomført av DiBK som sier: «Årsaken til et relativt marginalt potensiale pr i dag er hovedsakelig forutsetningen om at kun 10 % av avfallsmengdene definert av SSB kan ombrukes direkte. Dette utgjør en svært liten andel av etterspurt materialmengde til nybygg og vedlikehold.»[8]

Selv om demonterbare knutepunkter muliggjør skadefri demontering av KLT-elementer og legger til rette for fremtidig ombruk av massivtreelementer, viser både intervjuer og rapporter at det fortsatt gjenstår betydelige arbeid. Fravær av etablerte standarder, manglende systemer for sporing og resertifisering og begrenset tilgang på gjenbrukbart materiale, gjør at gjenbruk i dag i liten grad kan realiseres. For at demontering skal føre til reelt ombruk, må det utvikles en mer helhetlig infrastruktur rundt sertifisering, materialflyt og digital dokumentasjon. Det ligger derfor fortsatt mye arbeid igjen før ombruk av massivtre blir en fungerende og standard praksis i norsk byggenæring.

6 | Konklusjon

Oppgavens forskerspørsmål var: Hvilke kompromisser må gjøres dersom et massivtrebygg skal prosjekteres med demonterbare knutepunktløsninger fremfor standardiserte knutepunkter?

Målet har vært å vurdere om slike løsninger er teknisk, økonomisk og praktisk gjennomførbare innenfor norsk byggenæring i dag. For å svare på dette ble det gjennomført en casestudie, der utvalgte knutepunkter i bygg A ved Haraldsvang skole ble erstattet med demonterbare løsninger.

6.1 Konklusjon

Casestudien og kapasitetsberegninger viser at demonterbare knutepunkter i stor grad kan erstatte dagens standardløsninger uten vesentlige kompromisser på konstruksjonens utforming, vurdert ut fra mekanisk kapasitet i bruddgrensetilstand.

For at slike løsninger skal kunne fungere optimalt med tanke på fremtidig ombruk, bør planlegging for demontering inngå tidlig i prosjekteringsfasen av prosjektet, for å sikre økonomisk og praktisk gjennomførbarhet.

Kostnadsanalysen viser en økning i materialkostnader på 700 000 NOK ved å gå over til demonterbare knutepunkter, noe som tilsvarer en økning på 71,9 prosent i kostnadene knyttet til knutepunktene. Likevel utgjør den totale prisøkningen kun 0,2 prosent av byggets totale kostnad. Dette antyder at økonomi i seg selv ikke nødvendigvis bør være en barriere for valg av demonterbare knutepunkter. Endringer i elementutforming og forskjeller i monteringstider kan ha innvirking på kostnads endringene.

Flere produsenter og intervjuobjekter peker på at enkelte demonterbare løsninger kan redusere montasjetiden, men i denne studien er det ikke identifisert noen standardiserte tester eller dokumentasjonskrav for montering- eller demonteringstid. Fraværet av felles verktøy eller standarder gjør det utfordrende å vurdere tidsbruk på en presis måte.

Intervjuer og tidligere studier tyder på at demontering og ombruk av massivtrebygg er teknisk mulig, men er krevende i praksis. Det finnes heller ikke nok tilgjengelig gjenbrukbart materiale til å gjennomføre ombruk i stor skala i dag. Flere aktører fremhever også behovet for digital sporing og etablering av standarder for resertifisering før ombruk kan bli en praktisk løsning i byggebransjen.

6.1.1 Anbefalinger for videre arbeid

For å realisere ombruk av massivtreelementer i større skala anbefales fokus på følgende:

- Utvikle standardiserte testmetoder for demonteringstid og demonteringsevne.
- Etablere standarder for resertifisering og godkjenningsmaler ved ombruk av materialer.
- Innføre nasjonale eller bransjespesifikke systemer for dokumentasjon og sporbarhet av ombrukbare bygningsmaterialer.
- Analysere hvordan stivheten i de valgte løsningene påvirker byggets oppførsel, både gjennom en global stivhetsanalyse og ved å vurdere nedbøyninger og vibrasjoner i bruksgrensetilstand.
- Foreta en fullstendig brannteknisk analyse av bygget med de demonterbare løsningene.

Referanser

[1] Standard Norge, *Bærekraftige byggverk – Rammeverk for vurdering av bygg og anlegg*, [Online; accessed 15. May 2025], jul. 2021. adresse: https://standard.no/fagomrader/barekraftige-bygg-og-anlegg/barekraftige-byggverk--rammeverk-for-vurdering-av-bygg-og-anlegg.

[2] Miljødirektoratet, *Miljømål 5.2 - Miljøstatus - Norges klima- og miljømål*, [Online; accessed 31. Jan. 2025], sep. 2024. adresse: https://miljostatus.miljodirektoratet.no/miljomal/klima/miljomal-5.2.

[3] Miljødirektoratet, *Norske utslipp og opptak av klimagasser*, [Online; accessed 31. Jan. 2025], 2024. adresse: https://miljostatus.miljodirektoratet.no/miljomal/klima/miljomal-5.4.

[4] I. Hamilton, H. Kennard, O. Rapf mfl., *Beyond foundations, Mainstreaming sustainable solutions to cut emissions from the buildings sector*, [Online; accessed 4. May 2025], jan. 2024. adresse: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/45095/global_status_report_buildings_construction_2023.pdf?sequence=3&isAllowed=y.

[5] B. Lier og P. A. Aasheim, *Markedsanalyse KL- tre markedet i Norge 2020 -2030*, [Online; accessed 13. Feb. 2025], jan. 2020. adresse: https://www.viken.skog.no/files/documents/brosjyrer/markedsanalyse-230120.pdf.

[6] Regjeringen, *Bruk av tre*, [Online; accessed 15. May 2025], apr. 2024. adresse: https://www.regjeringen.no/no/tema/mat-fiske-og-landbruk/skog-og-utmarksressurser/innsikt/bruk-av-tre/id2009518.

[7] E. Sandberg og A. K. Kvellheim, *Ombruk av byggematerialer – MARKED, DRIVERE OG BARRIERER*, [Online; accessed 20. Mar. 2025], nov. 2021. adresse: https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2828094/SINTEF%2bNotat%2b%2b40.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

[8] L. Kilvær, O. W. Sunde, M. S. Eid, O. Rydningen og H. Fjeldheim, *Forsvarlig ombruk av byggevarer*, [Online; accessed 29. Feb. 2025], 2019. adresse: https://www.dibk.no/globalassets/02.-om-oss/rapporter-og-publikasjoner/forsvarlig-ombruk-av-byggevarer_resirqel-2019.pdf.

[9] S. sentralbyrå, *Behandling av avfall fra nybygging, rehabilitering og riving (tonn), etter behandlingsmåte, statistikkvariabel, år og materialtype, 2022*, [Online; accessed 21. May 2025], 2024. adresse: https://www.ssb.no/statbank/table/09781/tableViewLayout1/.

[10] Z. Li, K. D. Tsavdaridis og A. Katenbayeva, "Reusable timber modular buildings, material circularity and automation: The role of inter-locking connections," *Journal of Building Engineering*, årg. 98, s. 20, des. 2024, ISSN: 2352-7102. DOI: 10.1016/j.jobe.2024.110965.

[11] FN-sambandet, *FNs bærekraftsmål*, [Online; accessed 7. Feb. 2025], feb. 2024. adresse: https://fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal.

[12] United Nations, *The Paris Agreement | UNFCCC*, [Online; accessed 7. May 2025], mai 2025. adresse: https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement.

[13] LOOP - Stiftelsen for Kildesortering og Gjenvinning og H. Ø. Lindberg, *avfallshierarki – Store norske leksikon*, [Online; accessed 8. Feb. 2025], nov. 2024. adresse: https://snl.no/avfallshierarki.

[14] F. Solvik, T. Falkanger og M. Reusch, *plan- og bygningsloven – Store norske leksikon*, [Online; accessed 7. May 2025], nov. 2024. adresse: https://snl.no/plan-_og_bygningsloven.

[15] Direktoratet for byggkvalitet, *Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning*, [Online; accessed 23. Jan. 2025], nov. 2017. adresse: https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17.

[16] Standrad Norge, *Eurokode 0*, NS-EN 1990:2002+A1:2005+AC:2010+NA:2016.

[17] Standrad Norge, *Eurokode 1*, NS-EN 1991-1-1:2002+NA:2019.

[18] Standrad Norge, *Eurokode 5*, NS-EN 1995-1-1:2004+A2:2014+NA:2024.

[19] Standrad Norge, *NS-EN 14080:2013+NA:2016*, Trekonstruksjoner — Limtre og limt laminert heltre krav.

[20] Standrad Norge, *NS-EN 16351:2021*, Trekonstruksjoner - Krysslimt massivtreelement - Krav.

[21] International Organization for Standardization, *ISO - About ISO*, [Online; accessed 30. Jan. 2025]. adresse: https://www.iso.org/about.

[22] International Organization for Standardization, *ISO-20887*, Sustainability in buildings and civil engineering works — Design for disassembly and adaptability — Principles, requirements and guidance.

[23] "STRIAN, Structural Analyser." [Online; accessed 3. Mar. 2025]. (), adresse: https://structural-analyser.com/.

[24] Direktoratet for byggkvalitet, *Forskrift om dokumentasjon av byggevarer (DOK)*, [Online; accessed 28. Jan. 2025]. adresse: https://www.dibk.no/regelverk/dok.

[25] Standar Norge, *CE-merking*, [Online; accessed 3. Mar. 2025]. adresse: https://standard.no/standardisering/ce-merking.

[26] Direktoratet for byggkvalitet, *10. Frivillig CE-merking og ytelseserklæring (rett til å CE-merke)*, [Online; accessed 19. Feb. 2025]. adresse: https://www.dibk.no/regelverk/dok/veiledning-til/10.-frivillig-ce-merking-og.

[27] SINTEF Teknisk Godkjenning, *SINTEF Teknisk Godkjenning (TG) SINTEF Certification*, [Online; accessed 20. May 2025]. adresse: https://www.sintefcertification.no/portalpage/index/56.

[28] A. Gustafsson, *KL-trähandbok*, [Online; accessed 24. Jan. 2025], des. 2019. adresse: https://www.svenskttra.se/siteassets/5-publikationer/pdfer/svt-kl-trahandbok-2017.pdf.

[29] Rothoblaas, *ANGLE BRACKET FOR TIMBER | TITAN V | ROTHOBLAAS*, [Online; accessed 21. May 2025]. adresse: https://www.rothoblaas.com/products/fastening/brackets-and-plates/angle-brackets-and-plates-for-buildings/titan-v.

[30] Rothoblaas, *PLATES FOR TIMBER-TO-TIMBER TENSILE LOADS | WHT PLATE T*, [Online; accessed 21. May 2025]. adresse: https://www.rothoblaas.com/products/fastening/brackets-and-plates/angle-brackets-and-plates-for-buildings/wht-plate-t.

[31] Rothoblaas, *CONCEALED BRACKET WITH AND WITHOUT HOLES | ALUMIDI | ROTHOBLAAS*, [Online; accessed 21. May 2025]. adresse: https://www.rothoblaas.com/products/fastening/brackets-and-plates/concealed-connections/alumidi.

[32] Rothoblaas, *CROSS-SHAPED POST BASE | X10 | ROTHOBLAAS*, [Online; accessed 21. May 2025], mai 2025. adresse: https://www.rothoblaas.com/products/fastening/brackets-and-plates/pillar-bases/x10.

[33] *COUNTERSUNK SCREW | HBS | ROTHOBLAAS*, [Online; accessed 21. May 2025], mai 2025. adresse: https://www.rothoblaas.com/products/fastening/screws/hbs.

[34] K. Sørnes, A. S. Nordby, H. Fjeldheim, S. M. B. Hashem, M. Mysen og R. D. Schlanbusch, *Anbefalinger ved ombruk av byggematerialer*, [Online; accessed 20. May 2025], jan. 2014. adresse: https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2365072/SINTEF_Fag_18.pdf?sequence=3&isAllowed=y.

[35] A. Aloisio, J. Ljungdahl, D. P. Pasca, Y. D. Santis og M. Fragiacomo, "Assessing the deformation energy of timber-to-timber inclined screw connections via computed tomography scan," *Eur. J. Wood Wood Prod.*, årg. 82, nr. 2, s. 429–446, 2025, ISSN: 0018-3768. DOI: 10.1007/s00107-023-02028-0.

[36] *X-RAD CONNECTION SYSTEM*, [Online; accessed 21. May 2025], mai 2025. adresse: https://www.rothoblaas.com/products/fastening/brackets-and-plates/x-rad/x-rad.

[37] *Dekkekobling for KLT Hilti P2P*, [Online; accessed 7. Apr. 2025]. adresse: https://www.motek.no/Festemidler/Anker/Ankersystem-for-prefab-og-massivtre/Dekkekobling-for-KLT-Hilti-P2P-/p/68351.

[38] Mijødirekoratet, *Klimatiltak - avfall og deponi*, [Online; accessed 20. Feb. 2025], 2019. adresse: https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/kutte-utslipp-av-klimagasser/klima-og-energitiltak/avfall.

[39] Acetra, "STRUCTURAL DESIGN DOCUMENTATION FOR "HARALDSVANG SCHOOL" PROJECT Calculation Report," Acetra, 2024, Internt dokument, ikke offentlig tilgjengelig.

[40] *CONNECTOR FOR STRUCTURAL PANELS | SLOT | ROTHOBLAAS*, [Online; accessed 14. Apr. 2025], apr. 2025. adresse: https://www.rothoblaas.com/products/fastening/brackets-and-plates/angle-brackets-and-plates-for-buildings/slot.

[41] Sikt, *Sikt – Kunnskapssektorens tjenesteleverandør | Sikt*, [Online; accessed 11. May 2025]. adresse: https://sikt.no.

[42] *CLT-Verbinder für Wand, Decke und Ecke*, [Online; accessed 8. Apr. 2025]. adresse: https://www.pitzl-connectors.com/clt-verbinder-fuer-wand-decke-und-ecke.

[43] Rothoblaas, *PINNED CONNECTION FOR POST AND BEAM | ALUMEGA | ROTHOBLAAS*, [Online; accessed 21. Feb. 2025]. adresse: https://www.rothoblaas.com/products/fastening/brackets-and-plates/concealed-connections/alumega#documents.

[44] *COLUMN-TO-FLOOR CONNECTION SYSTEM | PILLAR | ROTHOBLAAS*, [Online; accessed 8. Apr. 2025], apr. 2025. adresse: https://www.rothoblaas.com/products/fastening/clt-floor-column-connections/pillar.

[45] D. V. Bompa, A. Afsal, V. Ungureanu, A. Y. Elghazouli, A. Y. Elghazouli og el at, "Disassembly and Structural Reuse Potential of Steel-Timber Shear Connections with Screws," *Lect. Notes Civ. Eng.*, årg. 489 LNCE, s. 231–242, mai 2024, [Online; accessed 7. Apr. 2025], ISSN: 2366-2557. DOI: 10.1007/978-3-031-57800-7_21.

[46] C. U. Chúláin, D. F. Llana, P. Hogan, P. McGetrick og A. M. Harte, *BENDING CHARACTERISTICS OF CLT FROM RECOVERED SPRUCE*. World Conference on Timber Engineering (WCTE), jun. 2023, bd. 2, ISBN: 978-1-71387329-7. DOI: 10.52202/069179-0121.

[47] H. B. Skogstad, *Splitkon krysslimt tre SINTEF Certification*, [Online; accessed 21. May 2025], feb. 2025. adresse: https://www.sintefcertification.no/Product/Index/10184.

7 Vedlegg

Vedleggene finnes i zip-fil som leveres sammen med oppgave.

7.1 Loggbok

7.2 Evaluering av demonterbarhet

7.3 Demonterings-kriterier

7.4 Laster til sammenkoblinger

7.5 HS-S-501 - Haraldsvang School - Calculation Report

7.6 Erstatning av sammenkoblinger

7.7 Prissammenligning

7.8 Referat Rothoblaas

7.9 Referat Massivtre AS

7.10 Referat Acetra

7.11 Referat Splitkon AS