



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2023 30 stp
Fakultet for realfag og teknologi

En kartlegging om utviklingen av langspente trebaserte etasjeskillere i Norge

A review of the development of long-span timber
floor systems in Norway

Elin Rinde Torstveit
Byggeteknikk og arkitektur

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet våren 2023, og markerer avslutningen på mitt 5-årige studieløp ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Oppgaven utgjør 30 studiepoeng, og er skrevet ved Fakultetet for realfag og teknologi, retning Byggeteknikk og arkitektur med spesialisering i konstruksjonsteknikk. Etter flere måneders arbeid sitter jeg igjen med mye uvurderlig kunnskap og erfaring jeg ikke ville vært foruten. Det har vært en lærerik prosess, litt frustrasjon, men ikke minst mye glede og mestring i å fullføre oppgaven.

Først og fremst vil jeg takke min veileder ved NMBU, Einar Nathan, for gode råd og konstruktive tilbakemeldinger gjennom hele prosessen. Jeg vil også takke min bror, Martin, for å ha tatt seg tid til å korrekturlese. Spesielt takk til alle som har bidratt til oppgaven, både informanter og andre eksperter fra industrien som har satt av tid til mine spørsmål. Innsatsen og engasjementet deres har vært til stor hjelp.

Tusen takk til venner og familie rundt meg som alltid har stilt opp ved behov. Da PC-en min gikk i bakken i januar så det mørkt ut, men min fremtidige samboer kom til unnsetning slik at oppgaven kunne fullføres. Takk for alt du gjør for meg, jeg setter stor pris på det! Til slutt vil jeg takke mine medstudenter på NMBU, og ikke minst mine kjære samboere i Eplis. Det vil være en periode i livet jeg ser tilbake på med stor glede.

Ås, 12. mai 2023

Elin Rinde Torstveit

Elin Rinde Torstveit

Sammendrag

Byggenæringen må som alle andre bransjer tilpasse seg det grønne skiftet og en mer bærekraftig fremtid. Et av tiltakene som er tilgjengelige er å øke bruken av trevirke i større prosjekter, til fortrinn for tradisjonelle byggematerialer som stål og betong. Imidlertid kan ikke dette praktiseres problemfritt, og bransjen står overfor flere utfordringer knyttet til bruk av trevirke i fleretasjes bygninger. Trebaserte etasjeskillere er et av områdene med et stort forbedringspotensial, og oppgavens formål er å undersøke de tilgjengelige systemene med utgangspunkt i å oppnå større spenn for å forbedre den arkitektoniske fleksibiliteten i prosjektene. Oppgaven kartlegger og undersøker utviklingen på det norske markedet, og hvor det er rom for forbedring. Studien tar utgangspunkt i følgende problemformulering:

«Hva er status for utvikling og bruk av langspente trebaserte etasjeskillere i Norge?»

Metodevalget er intervjuer med strategisk utvalgte eksperter, kombinert med litteraturstudie og evaluering av eksisterende kommersielle systemer og løsninger. Oppgaven kategoriserer inn i fire basisdekker, bjelkelag, massivtredekke, ribbedekke og bokselement. Kjente utfordringer som vibrasjoner, lyd, brann, og kostnader blir drøftet, med varierende ideer og vinklinger. Resultatene indikerer også at andre variabler enn konstruksjonsmessige utfordringer er avgjørende for utviklingen av systemene. Mangel på lett tilgjengelig informasjon for bestilleren, klare dokumentasjonskrav til systemene, og usikkerhet som følge av kompetansemangel er gjentakende problematikk. Det er også økt oppmerksomhet på massivtre i norsk byggebransje, spesielt i større konstruksjoner som et alternativ til betong. Å fokusere utelukkende på systemer av rent massivtre kan begrense innovasjon og vekst på feltet. Et bredere perspektiv, som tar hensyn til alternative løsninger, er nødvendig for utviklingen av mer effektive systemer.

Det konkluderes med at det er fremgang og vekst på feltet, men at norsk byggebransje fortsatt har en vei å gå før den kan ta i bruk langspente trebaserte systemer problemfritt. Høy kompetanse er nødvendig for å utvikle og prosjektere gode systemer, og denne terskelen må senkes for å gjøre produktene mer tilgjengelige på markedet. Arbeid med nevnte problemstillinger er vesentlig for å sikre god fremgang.

Abstract

The construction industry, like all other industries, must adapt to the green shift and a more sustainable future. One of the available measures is to increase the use of timber in larger projects, to the advantage of traditional building materials such as steel and concrete. However, there is lots of obstacles to overcome, and the industry faces several challenges related to the use of timber in multi-story buildings. Timber floor systems are one of the areas with great potential for improvement, and the purpose of this thesis is to investigate the systems available with the focus on achieving greater span to improve the architectural flexibility in the projects. The assignment maps and examines the development of the Norwegian market, and where there is room for improvement. The following problem was formulated:

"What is the status of the development and use of long-span timber floors in Norway?"

The choice of method is interviews with strategically selected experts, combined with a literature study and evaluation of existing commercial systems and solutions. The study categorizes into four element types, joists, platform element, ribbed element and box element. Known challenges such as vibrations, sound, fire and costs are discussed, with varying ideas and perspectives. The results also indicate that variables other than construction-related challenges are crucial for development of the systems. Lack of easily accessible information for the orderer, clear documentation requirements for the systems, and uncertainty due to lack of expertise are recurring issues. There is also an increased focus on cross-laminated timber in the Norwegian construction industry, especially for use in larger constructions as an alternative to concrete. Focusing solely on cross-laminated timber systems may hinder growth in the field and limit innovation. A broader perspective that considers alternative solutions is necessary for the development of more efficient timber construction systems.

The study arrives at the conclusion that there has been advancement and expansion within the field of long-span timber systems. However, the Norwegian construction industry has yet to reach a stage where the implementation of such systems can be achieved without impediments. It requires a high level of expertise to develop and design effective long-span systems, and current threshold must be minimized to enhance accessibility of these products within the market. To ensure satisfying progress, it is imperative that concerted efforts are made to address the aforementioned issues.

Innholdsfortegnelse

Forord	II
Sammendrag	IV
Abstract	VI
Innholdsfortegnelse	VIII
Figurliste	XI
Tabell-liste	XII
Begrepsforklaring	XIII
Symbol	XIV
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn for oppgaven	1
1.2 Formål	1
1.3 Problemstilling og forskningsspørsmål	2
1.4 Avgrensninger	2
2 Teori	4
2.1 Tre som byggemateriale	4
2.1.1 Miljø og bærekraft	4
2.1.2 Utfordringer knyttet til å bygge fleretasjes trehus	6
2.2 Materialer og komponenter	6
2.2.1 SINTEF teknisk godkjenning og ETA	6
2.2.2 Bjelketyper.....	7
2.2.3 Paneller	10
2.3 Typologi	11
2.3.1 Bjelkelagsløsninger	11
2.3.2 Massivtredekker – Plattform.....	14
2.3.3 Ribbedekke	16
2.3.4 Kassettdেকে - Bokselementer.....	17
2.4 SLS – bruksgrensetilstand	19
2.4.1 Nedbøyning	19
2.4.2 Vibrasjon	21

2.4.3	Eurokode 5.....	23
2.4.4	Utkast til ny Eurokode 5.....	25
2.4.5	SINTEF Komfortkriterium.....	26
2.5	Brann.....	27
2.6	Akustikk.....	29
2.7	Forskningsteori.....	30
3	Metode.....	32
3.1	Forskningsmetode.....	32
3.2	Litteraturstudie.....	32
3.2.1	Oversiktsstudie og state-of-the-art.....	32
3.2.2	Innhenting av data fra produsenter.....	34
3.3	Intervju.....	34
3.3.1	Forberedelse og utvalg av informanter.....	34
3.3.2	Gjennomføring av intervju.....	35
3.3.3	Databehandling.....	35
3.4	Validitet og reliabilitet.....	36
4	Resultater.....	37
4.1	State of the art.....	37
4.1.1	Langspente dekkssystemer og komfortkriterier.....	37
4.1.2	Kostnader.....	38
4.1.3	Brann og lyd.....	40
4.2	Kommersielle etasjeskillere fra etablerte produsenter.....	42
4.2.1	Dimensjoneringskriterier.....	42
4.2.2	Spennlengder: Elementer av samme typologi.....	43
4.2.3	Materialmengder.....	48
4.3	Intervjuer.....	50
4.3.1	Holdning til bruk av tre som konstruksjonsmateriale.....	50
4.3.2	Trebaserte dekkssystem.....	51
5	Diskusjon.....	56
5.1	Meningsforskjeller blant informantene.....	56
5.2	Politikk og konkurranse i treindustrien.....	56
5.3	Riktig bruk av tre.....	57
5.4	Dokumentasjonskrav.....	57
5.5	Prefabrikkerte elementer.....	58
5.6	Kostnader.....	59
5.7	Brann og lyd.....	60

6	Konklusjon	62
6.1	Forsknings spørsmål.....	62
6.2	Videre Arbeid.....	64
7	Referanser	65
	Vedlegg A - Samtykkeerklæring	69
	Vedlegg B - Intervjuguide	72

Figurliste

Figur 2-1 Illustrasjon av trematerialenes livssyklus, inspirert av (Serano et al., 2015)	5
Figur 2-2 Bjelketyper. (a) Konstruksjonsvirke. (b) Limtre, (c) LVL (Finerbjelke), (d) I-bjelke og (e) Gitterbjelke	7
Figur 2-3 Paneler. (a) CLT og (b) LVL.....	10
Figur 2-4 Illustrasjoner av dekkekonstruksjonene. (a) Bjelkelag, (b) Massivtredekke, (c) Ribbedekke og (d) Kassetdekke/bokselement	11
Figur 2-5 I-bjelke (a) Finnjoist (Metsä Wood, u.å) og (b) Hunton (Hunton, 2015).....	13
Figur 2-6 Hulldekke av gitterbjelker med tverravstiver, hentet fra (Homb & Kolstad, 2012).....	13
Figur 2-7 Kantstilt Massivtre.....	15
Figur 2-8 Ribbedekke med CLT flens og limtre-steg, hentet fra (Kleinhenz, 2022)	17
Figur 2-9 Illustrasjon av Lignatur boks-element. (OIB, 2021).....	18
Figur 2-10 Nedbøyningskomponenter (Standard Norge, 2010a)	20
Figur 2-11 Resonant respons (venstre) og transient respons (høyre), hentet fra (WoodWorks, 2021)	22
Figur 2-12 Anbefalte grenseverdier a og b, med anbefalt forhold mellom verdiene (Standard Norge, 2010a).....	24
Figur 2-13 Kriterier brukt for vibrasjonsbedømmelse. (Homb, 2007)	27
Figur 4-1 Spennvidder fra studier med SLS beregninger som underlag (Bazli et al., 2022). [1] (Weckendorf, 2009), [2] (Weckendorf et al., 2006), [3] (Soltis et al., 2002), [4] (Suárez-Riestra et al., 2019), [5] (Rijal, 2013), [6] (Otero-Chans et al., 2018), [7] (Estévez-Cimadevila, J et al., 2016), [8] (Estévez-Cimadevila, Javier et al., 2016), [9] (Zabihi et al., 2012), [10] (Lago et al., 2017), [11] (Granello et al., 2017)	38
Figur 4-2 Kostnader knyttet til CLT element og betongdekke, hentet fra (Hassan et al., 2019).....	39
Figur 4-3 Spennvidder for I-bjelker av Finnjoist (Metsä Wood UK) og Hunton.....	44
Figur 4-4 I-bjelke sammenlignet med Gitterbjelker	45
Figur 4-5 Spennvidder (m) for Splitkon, KLH og Kantstilt element fra Norsk Massivtre.	46
Figur 4-6 Spennvidder for Ribbeelementer fra Stora Enso, KLH og Metsä Wood	47
Figur 4-7 Spennvidder for kassetdekkene til Lignatur og Metsä Wood	47
Figur 4-8 Sammenligning av materialmengder, data hentet fra (Stora Enso, 2022)	48
Figur 4-9 Materialemengder for et utvalg systemer	49
Figur 4-10 Kostnadsfaktor kontra spennlegde, hentet fra (Stora Enso, 2020)	49

Tabell-liste

Tabell 2-1 Fasthetsklasser til konstruksjonsvirke hentet fra NS-EN 338.....	7
Tabell 2-2 Fasthetsklasser for homogent limtre hentet fra NS-EN 14080	8
Tabell 2-3 Fasthetsklasser for kombinert limtre, hentet fra NS-EN 14080.....	8
Tabell 2-4 Spennviddetabell for bjelkelag i Konstruksjonsvirke og Limtre, Bjelkeavstand c/c 600	12
Tabell 2-5 Spennviddetabell for bjelkelag med I-bjelke med 45 x 45 mm flens.	12
Tabell 2-6 Spennviddetabell for gitterbjelker med og uten tverravstiver.....	14
Tabell 2-7 Spennviddetabell for krysslimte elementer, med maksimal nedbøyning 1/300	15
Tabell 2-8 Spennviddetabell for kantstilt massivtre	16
Tabell 2-9 Grenseverdier for nedbøyning av bjelker på to opplegg (Standard Norge, 2010a)	21
Tabell 2-10 Vibrasjonskriterier for gulvets ytelsesnivå, hentet fra utkast av Eurokode 5. (CEN, 2020).....	25
Tabell 2-11 Tabell over brannklasser gitt etter risikoklasser og antall etasjer, hentet fra TEK17 (Dibk, 2017)....	28
Tabell 3-1 Søkematrise.....	33
Tabell 4-1 Produsenter og produkter av dekkeelementer dimensjonert for lange spenn	42
Tabell 4-2 Designkriterier fra internasjonale produsenter.....	43
Tabell 4-3 utfordringer og fordeler ved bruk av trebaserte etasjeskillere.....	52
Tabell 4-4 Er trebaserte etasjeskillere konkurransedyktige.....	54

Begrepsforklaring

BH	Byggherre
CEN	European Committee for Standardisation
CLT	Cross-Laminated Timber
ENT	Entreprenør
ETA	European Technical Assessment
EWP	Engineered Wood Products
FEM	Finite Element Method
LCC	Livvsyklus kostnader
LVL	Laminated Veneer Lumber
NTF	Norsk Takstolprodusenters Forening
RIA	Rådgivende Ingeniør Akustikk
RIB	Rådgivende Ingeniør Bygg
RIF	Rådgivende Ingeniørers Forening
SLS	Servicability limit state
TEK17	Byggteknisk forskrift
ULS	Ultimate Limit State

Symbol

a_{rms}	Vibrasjonsakselerasjonen
b_{ef}	Den effektive bredden til tverrsnittet av ribbeelementet
$\sum b_{ef,i}$	Summen av den effektive bredden på hver side av ribben
b_{rib}	Ribbebredden
$C_{50-5000}$	Omgjøringstall for spektrum for luftlyd i frekvensområdet 50-5000 Hz
$C_{l,50-2500}$	Omgjøringstall for spektrum for trinnlyd i frekvensområdet 50-2500 Hz
$(EI)_l$	Gulvets bøyestivhet i plateplanet for en akse på tvers av bjelkeretning
F	Punktkraft
f_1	Eigenfrekvens
k_{def}	Deformasjonsfaktor for beregning av krepdeformasjon
$L_{n,w}$	Trinnlydsnivå med lydisolerende tiltak
$L'_{n,w}$	Veid, feltmålt normalisert trinnlydsnivå
$L_{n,w,req}$	Trinnlydsnivået på bart gulv
ΔL_w	Reduksjon i trinnlydsnivå
l	Lengde på elementet
R_w	Lydreduksjonstall
R'_w	Veid, feltmålt lydreduksjonstall
v	Hastighetsresponsen ved en enhetsimpuls
v_{rms}	Vibrasjonshastigheten
w	Den største vertikale øyeblikksnedbøyning
w_c	Overhøyden ved nedbøyning
w_{creep}	Nedbøyning som følge av krep
w_{fin}	Endelig nedbøyning
$w_{net,fin}$	Netto endelig nedbøyning
w_{inst}	Umiddelbar nedbøyning
Δ	Nedbøyning ved 1 kN punktlast
ζ	Relativ demping

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for oppgaven

I en verden preget av klimaendringer er det avgjørende at alle bransjer erkjenner behovet for å utvikle seg i en mer bærekraftig retning. For byggebransjen er et av tiltakene å bygge mer trebasert, å fase ut den store bruken av stål og betong. Tre er et organisk materiale med egenskaper som kan by på utfordringer, og det kreves innovative løsninger for å bygge stort og fleksibelt. Trebaserte etasjeskillere har en lang tradisjon i mindre trehusbebyggelse i Norge, men fortsatt er tradisjonelle bygningsmaterialer som stål og betong dominerende i fleretasjes bygg fordi dette er trygge løsninger med lav risiko. (SINTEF, 2017) De tradisjonelle bjelkelagsløsningene kan oppnå spenn på opp til ca. 5 m. Andre materialer og systemer kan gjøre det mulig å nå spenn langt høyere enn dette, og fortsatt oppfylle de konstruksjonsmessige kriteriene som medfølger. (Glasø, 2011a) Implementering av nye systemer kan bidra til at tre som byggemateriale blir konkurransedyktig i større konstruksjoner.

Utviklingen av EWP-er (engineered wood products) har bidratt til endring, da de kan ha sammenlignbare egenskaper med stål og betong. Materialer som massivtre (CLT), limtre og Laminated veener lumber (LVL) har ført til en omvelting i bransjen, og utvikling av nye langspente etasjeskillere som kan utfordre de tradisjonelle systemene. (Zabihi, 2014) Systemene er egnet for større bebyggelse, da de har egenskapene nødvendig for å tilfredsstille de konstruksjonsmessige kravene. Større spennvidder gir rom for arkitektonisk fleksibilitet, og mulighetene åpner seg for å bygge større trehus i prosjekt som krever friere planløsninger, for eksempel kontorbygg og boliger. (SINTEF, 2017)

1.2 Formål

Opgavens formål er å undersøke alternativer av langspente trebaserte etasjeskillere, med hensikt om å bidra til større fleksibilitet i byggeprosjektene. Hvis tre som byggemateriale skal være konkurransedyktig er det avgjørende at systemene klarer å oppnå samme spenn som tradisjonelle dekker. (Lewis et al., 2016)

Det er interessant å undersøke vekst på feltet i det norske markedet, samtidig få et innblikk av hvilke muligheter som eksisterer utenfor landegrensene. En evaluering av løsninger og andre typologier kan bidra til utvikling. Oppgaven vil se på ulike løsninger fra nasjonale og

internasjonale produsenter for å danne en oversikt over alternativene som eksisterer. Ved å foreta intervjuer med nøkkelpersoner fra den norske treindustrien er det mulig å få et innblikk i den norske utviklingen. Kombinert med litteraturstudier vil oppgaven markere hvilke utfordringer og muligheter bransjen står ovenfor.

1.3 Problemstilling og forskningsspørsmål

Oppgaven har til hensikt å besvare følgende problemformulering:

«Hva er status for utvikling og bruk av langspente trebaserte etasjeskillere i Norge?»

Følgende forskningsspørsmål er utarbeidet for å besvare problemformuleringen:

- 1) Eksisterer det gode alternativer av trebaserte etasjeskillere til bruk i prosjekter med lange spenn?
- 2) Hvilke utfordringer er avgjørende å løse for å øke bruken av de trebaserte systemene?

Forskningsspørsmålene er utarbeidet med mål om å besvare problemformuleringen på en god og strukturert måte. Første forskningsspørsmål tar for seg en kartlegging av etasjeskillere, og vil undersøke systemenes muligheter og begrensninger. Andre forskningsspørsmål tar utgangspunkt i utfordringene forbundet med konstruksjonene, og søker å identifisere disse for å skape en større klarhet i hvor problematikken ved systemene er lokalisert.

1.4 Avgrensninger

Et utgangspunkt i oppgaven er at langspente etasjeskillere er mest relevante for fleretasjes trehus, som innebærer mer enn 4 etasjer. I høyere konstruksjoner er det ofte behov for dekkeløsninger som har lengre spennvidder enn dagens løsninger tillater. (SINTEF, 2017) Mindre trehusbebyggelse innehar ikke de samme utfordringene, og er derfor ikke like relevante for oppgaven. Hovedsakelig undersøker oppgaven langspente etasjeskillere, som karakteriseres ved en spennvidde på 6 m eller mer. Ved denne lengden vil SLS kriteriene bli dimensjonerende for systemet. (WoodSolutions, 2020)

Oppgaven begrenses til å kun undersøke bruksgrensetilstandene (SLS). Bruddgrensetilstanden (ULS) til lette etasjeskillere er ikke dimensjonerende faktor (Homb, 2008), og vil derfor ikke prioriteres grunnet tidsavgrensningen til oppgaven. Andre faktorer som brann, lydegenskaper

og kostnader vil bli drøftet. Klimafordelene ved bruk av trebaserte bæresystem er ikke en utpreget del av oppgaven, da det heller blir benyttet som utgangspunkt for bakgrunn og formål i innledningen.

Systemene undersøkt er bestående av materialer og komponenter i tre. Samvirkedekker, som tre-betong, blir nevnt, men er ikke en markant del. Dette er for å begrense fokusområdet til oppgaven.

2 Teori

Dette kapitlet danner et teoretisk rammeverk rundt temaet trebaserte etasjeskillere og lange spenn. Det danner en oversikt over materialer og typologier, samt de konstruksjonsmessige utfordringene som følger med.

2.1 Tre som byggemateriale

Norge har en lang tradisjon med å anvende tre som byggemateriale. Med mer erfaring prøver byggebransjen seg stadig på større utfordringer, og treets materialeegenskaper gir både muligheter og utfordringer. Selv om de miljømessige fordelene anses som hovedargumentet for å benytte seg av tre i byggeprosjekter, er det flere andre positive ringvirkninger ved bruk av materialet. Noen eksempler er: (Aarstad et al., 2008)

- Det anses som arkitektonisk og estetisk pent
- Gir et godt innemiljø
- Er et lett byggemateriale, som gjør produksjon og montering enklere
- Kort byggetid ved bruk av prefabrikkerte elementer
- Et godt arbeidsmiljø

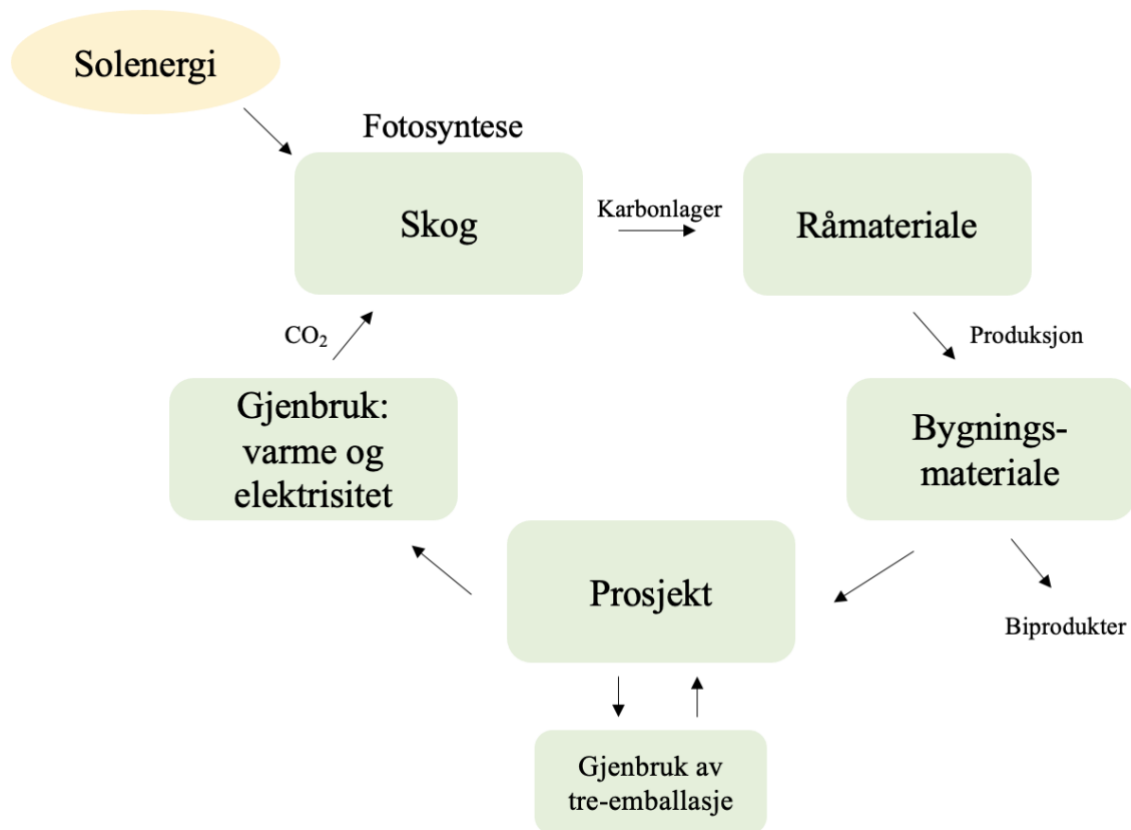
Som et organisk materiale kan biologiske nedbrytningsprosesser skje ved feil anvendelse og prosjektering. (Serano et al., 2015) Derfor er det avgjørende med god kunnskapsoverføring for å sikre tre som fremtidens byggemateriale.

Det er en stor variasjon i trematerialer ute på markedet. Limtre og massivtre har fått mye oppmerksomhet de siste årene som attraktive materialer i moderne bygg, men det finnes også andre gode produkttyper. EWP-er, «Engineered Wood Products», er med på å skape endring som gjør det mulig å bygge med tre i moderne større bygg. (Bugge, 2016) Noen eksempler på EWP-er, annet enn limtre og massivtre, er OSB-, spon- og finérplater. Materialene er nærmere beskrevet i Kapittel 2.2.

2.1.1 Miljø og bærekraft

Tre som konstruksjonsmateriale har store fordeler i et miljømessig perspektiv sammenlignet med andre materialer på markedet. Ved riktig behandling og anvendelse er norsk tre et bærekraftig materiale. Med bærekraftig skogbruk og produksjon, kan produktet gjenvinnes og

returneres til naturen. (Serano et al., 2015) Figur 2-1 viser en oversikt over livssyklusen til trevirke. Treet lagrer CO₂ gjennom fotosyntesen, og mengden karbon vil ikke frigjøres før treet eventuelt brennes for å produsere varme. Så lenge uttaket fra skog ikke er større enn tilveksten kan vi anse tre som en fornybar ressurs. (Serano et al., 2015)



Figur 2-1 Illustrasjon av trematerialenes livssyklus, inspirert av (Serano et al., 2015)

En studie fra Australia (Basaglia et al., 2015) undersøkte miljøforskjellene ved å bruke tredekker med lange spenn kontra betong. LCC analysen konkluderte med at betongkonstruksjonen kom dårligst ut i sammenligningen. Anvendelse av tre i lengre dekkesystemer har en miljømessig fordel sammenlignet med betong og samvirkedekker.

Byggebransjen er fortsatt i utvikling, og med nye føringer fra regjeringen om økt bruk av lokale ressurser, og større krav generelt, er det sannsynlig at materialet blir mer attraktivt de neste årene. Ønsket om større trehusprosjekter øker, og de miljømessige fordelene er motivasjonen for dette. (Norconsult, 2022)

2.1.2 utfordringer knyttet til å bygge fleretasjes trehus

Selv om Norge har en lang tradisjon for småhusbebyggelse i tre, eksisterer det fortsatt usikkerhet ved anvendelse av materialet i større prosjekter. Trevirke er tilknyttet en del utfordringer. Foruten de kjente konstruksjonsmessige utfordringene med spenn og vibrasjoner, er det også andre problemstillinger. Noen av disse er nevnt i en rapport fra Asplan Viak: (Bugge, 2016)

- Brann. Tre er brennbart, som ofte blir brukt som argument for å unngå materialet. Likevel er det bevist at ved riktig prosjektering oppfyller materialet de branntekniske forskriftene og kravene.
- Akustikk. Det kan oppstå støyutfordringer ved bruk av tre.
- Vekt. Den lette egenvekten kan gjøre at konstruksjonene har større problemer med å motstå seismiske krefter.
- Fukt. Faren for nedbrytning og råte er stor hvis treverket ikke har tilgang på luft. Derfor er det viktig at konstruksjonen detaljeres med hensyn til dette.

En av de største utfordringene med å bygge fleretasjes trehus er at det fortsatt eksisterer stor skepsis i industrien som bunner i mangel på erfaring. Dette kom fram i Treteknisk sin undersøkelse fra 2019 (Bertelsen). I Norconsult sin pressemelding (2022) blir det også nevnt at mange konstruksjonsmessige utfordringer ikke har blitt etablert bransjepraksis enda, som skaper en større usikkerhet. Selv om det allerede eksisterer løsninger, må det en større kunnskapsdeling til for at bransjen skal velge tre som bæresystem i sine prosjekter.

2.2 Materialer og komponenter

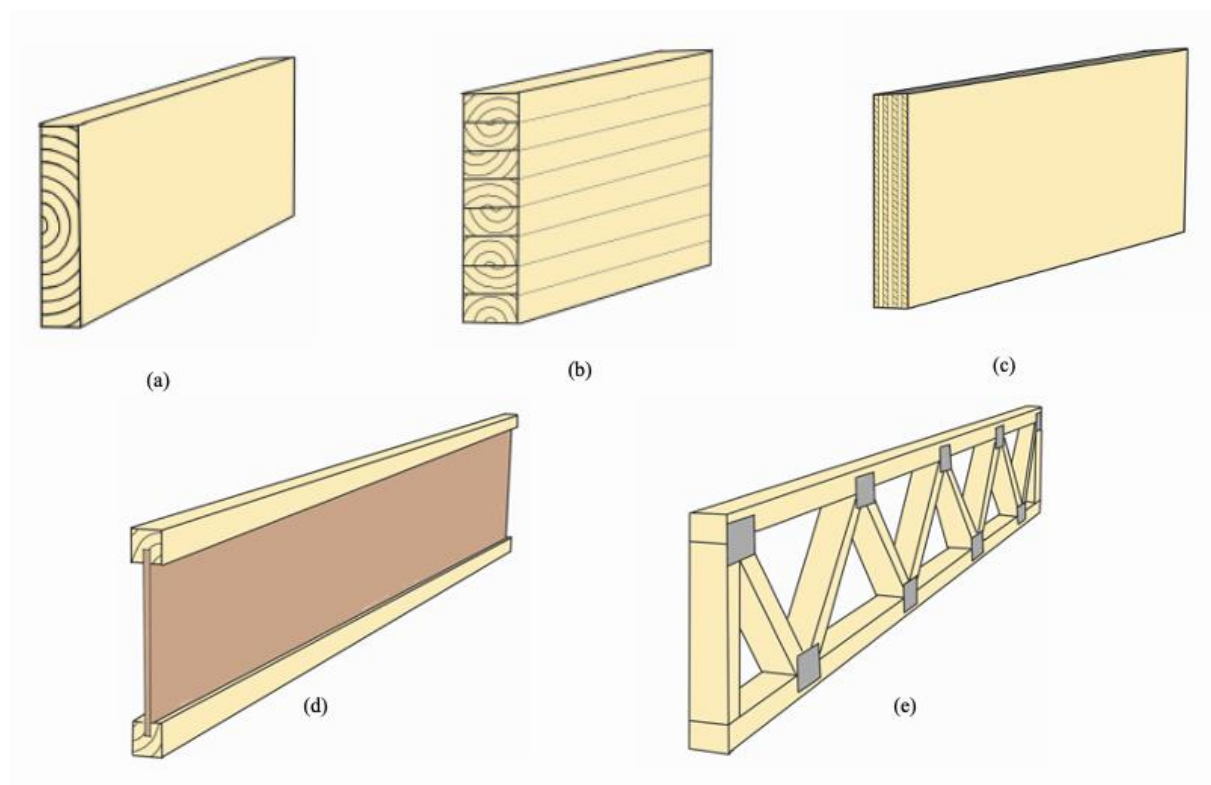
2.2.1 SINTEF teknisk godkjenning og ETA

For å dokumentere hvilke produkter som er egnet til norsk bruk, er SINTEF teknisk godkjenning dokumentasjon som beskriver om kravene til TEK 17 (byggeteknisk forskrift) og standarden er tilfredsstillt. Alle produkter, komponenter og systemer som er skikket for sitt bruksområde kan motta denne dokumentasjonen. (Edvardsen & Ramstad, 2014)

ETA, European Technical Assessment, kan skrives ut til konstruksjonselementer som ikke kan dokumenteres under de vanlige harmoniserte produktstandardene. Dette gir mulighet for produsentene å dokumentere produktet, selv om det ikke regnes som en godkjenning. I Norge

er det SINTEF Byggforsk som er ansvarlig kontrollorgan for å sikre at produktene følger de nasjonale forskriftene. (Edwardsen & Ramstad, 2014)

2.2.2 Bjelketyper



Figur 2-2 Bjelketyper. (a) Konstruksjonsvirke. (b) Limtre, (c) LVL (Finerbjelke), (d) I-bjelke og (e) Gitterbjelke
Bjelkelagene er satt sammen av diverse materialer og komponenter som gjennomgås i dette kapittelet. Bjelketypene er illustrert i Figur 2-2, etter inspirasjon fra SINTEF Byggforsk (2007)

2.2.2.1 Konstruksjonsvirke

Et av de vanligste trematerialene anvendt er konstruksjonsvirke, som er trelast sortert ut fra styrkeegenskaper. Materialet anvendes som bjelkelag, takbjelker, taksperrer og stendere, og er mye brukt i bærende konstruksjoner. NS-EN 338 definerer de forskjellige fasthetsklassene, og hvilke egenskaper disse har. (Øvrum, 2012)

Tabell 2-1 Fasthetsklasser til konstruksjonsvirke hentet fra NS-EN 338

Egenskap	Symbol	C16	C18	C24	C30	C35
Bøyefasthet [N/mm ²]	$f_{m,0,k}$	16	18	24	30	35
E-modul [N/mm ²]	$E_{m,0,mean}$	8000	9000	11 000	12 000	13 000
Densitet [kg/m ³]	ρ_k	310	320	350	380	390

Tabell 2-1 viser et utvalg av fasthetsklassene til konstruksjonsvirke, hvor C24 og C30 er de vanligste i Norge. Trelasten blir gruppert ved styrkesortering visuelt og maskinelt. Faktorer som mengden kvist, fiberhelling, tennar, sprekker, årringbredder og andre biologiske skader blir kontrollert for å klassifisere trelasten. (Øvrum, 2012) Ved fremstilling av konstruksjonsvirke blir det produsert standard høyder på bjelker, hvor maksimal standard høyde er 223 mm. Ved utnyttelse av spennvidde kan dette gi problemer, og andre alternativer bør vurderes. (SINTEF Byggforsk, 2007)

2.2.2.2 Limtre

Limtre er et bearbeidet treprodukt med to eller flere lameller sammenføyet, og treets fiberretning ligger i samme lengderetning. Dette er også et styrkesortert produkt, inndelt i egne fasthetsklasser. På grunn av den unike oppbygningen til materialet, er styrkeegenskapene til limtre bedre. (Serano et al., 2015)

Lamellene i limtrebjelkene består av styrkesortert konstruksjonsvirke. Det er to hovedtyper fasthetsklasser, homogent limtre og kombinert limtre. I det homogene materiale er bjelken bygget opp av lameller med samme styrkeklasse. For å utnytte styrkeegenskapene maksimalt er ofte de ytre delene i bedre kvalitet, fordi påkjenningen er større i disse områdene. Disse klassifiserer som kombinert limtre. (Serano et al., 2015) Egenskapene til de forskjellige limtretypene er vist i Tabell 2-2 og Tabell 2-3.

Tabell 2-2 Fasthetsklasser for homogent limtre hentet fra NS-EN 14080

Egenskap	Symbol	GL20h	GL22h	GL24h	GL26h	GL28h	GL30h	GL32h
Bøyefasthet [N/mm ²]	$f_{m,0,k}$	20	22	24	26	28	30	32
E-modul [kN/mm ²]	$E_{m,0,mean}$	8400	10 500	11 500	12 100	12 600	13 600	14 200
Densitet [kg/m ³]	ρ_k	340	370	385	405	425	430	440

Tabell 2-3 Fasthetsklasser for kombinert limtre, hentet fra NS-EN 14080

Egenskap	Symbol	GL20c	GL22c	GL24c	GL26c	GL28c	GL30c	GL32c
Bøyefasthet [N/mm ²]	$f_{m,0,k}$	20	22	24	26	28	30	32
E-modul [kN/mm ²]	$E_{m,0,mean}$	10 400	10 400	11 000	12 000	12 500	13 000	13 500
Densitet [kg/m ³]	ρ_k	355	355	365	385	390	390	400

2.2.2.3 LVL - Finerbjelke

LVL står for Lamintated Veener Lumber, og et produkt av laminert finer. Bjelken er en av de sterkeste treproduktene på markedet, og er lett å kombinere med andre materialer. (Moelven, 2022) Finerbjelken produseres både som parallellfiner, med alle lag i samme fiberretning, og med enkelte lag på tvers som for kryssfiner. Slik blir styrkeegenskapene på tvers av fiberretningen bedre. (Edwardsen & Ramstad, 2014)

En av de største produsentene på LVL er Metsä Wood i Finland, og produktet heter Kerto®. Tykkelsen på finerlagene er 3 mm, og tykkelsen til bjelkene er alt fra 27 til 75 mm. (Moelven, 2022) Kerto er et produkt som anvendes til både bjelker og paneler, etter hva kunden ønsker. Kerto Ripa systemene evaluert i oppgaven består av Kerto-S bjelke og og Kerto-Q paneler. Kerto-S består at parallellt lagt finer, mens Kerto-Q har omtrent 20 % krysslågt finer. (Metsä Wood, 2013b)

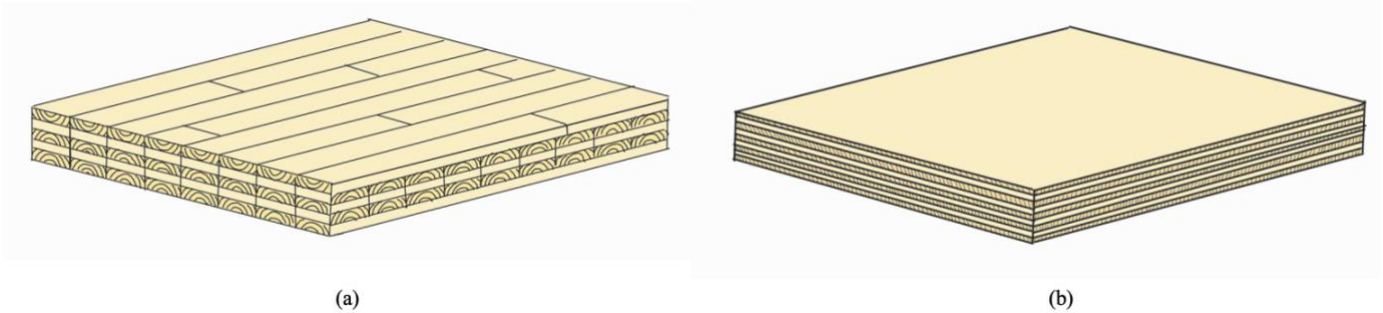
2.2.2.4 I-Bjelke

I-bjelker er en lett og fleksibel løsning å bruke i bjelkelag, og kan bestå av forskjellige materialer. Hovedsakelig består flensen av trevirke, og steget av en OSB-plate, trefiberplate eller sponplate. Med sin lave vekt bidrar den til en lettere byggeprosess. (SINTEF Byggforsk, 2007) I-bjelken sitt tverrsnitt kan kreve mer avstivning enn vanlig konstruksjonsvirke og limtrebjelker. Vanlige dimensjoner ligger på rundt 8 til 10 mm tykkelse på sponplaten, 47 til 90 mm i flensbredde, og 47 til 60 mm i flenshøyde. Høyden til bjelkene ligger mellom 200 og 600 mm. (SINTEF Byggforsk, 2004)

2.2.2.5 Gitterbjelke

Gitterbjelken er en fagverksbjelke i tre, sammensatt av spikerplater i knutepunktene mellom staver og gurter. Det er en bjelke som egner seg godt i bjelkelag, og montert sammen utgjør de et hulldekke i tre. (SINTEF Teknisk Godkjenning, 2021) Fordelen ved bruk av limtrebjelker og I-bjelker er at bøyestivheten kan forbedres relativt enkelt ved å øke dimensjonen. (Homb & Kolstad, 2012) Gitterbjelker har i tillegg fordel med at avstivning og tekniske installasjoner kan plasseres uten behov for hulltaking. (SINTEF Byggforsk, 2007). Med dette kan fagverksbjelker håndtere langt større spenn enn det tradisjonelle bjelkelaget.

2.2.3 Paneler



Figur 2-3 Paneler. (a) CLT og (b) LVL

Figur 2-3 viser to alternativer trebaserte paneltyper, illustrasjon inspirert av Edvardsen og Ramstad (2014). LVL kan anvendes både som panel og bjelker.

2.2.3.1 CLT - Massivtre

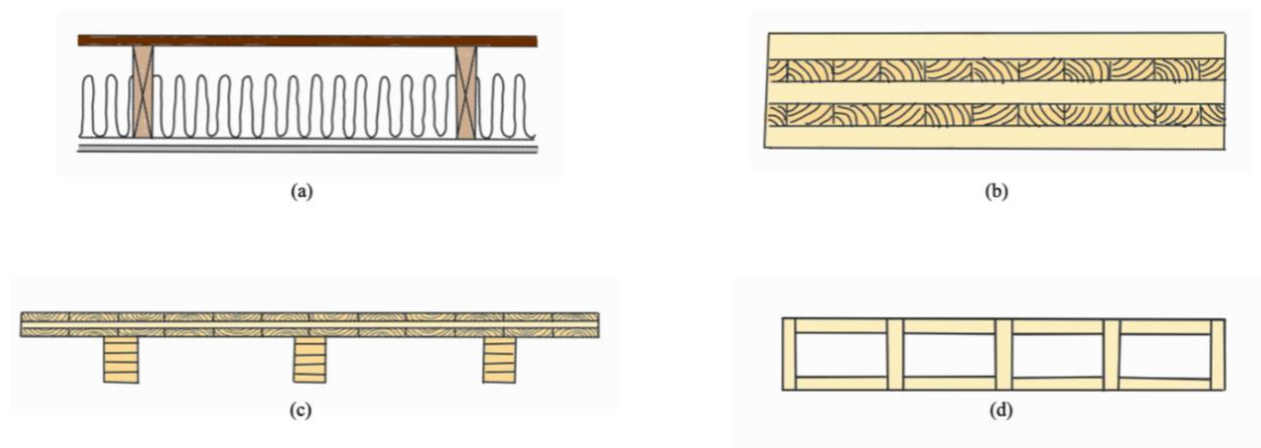
Massivtre blir internasjonalt kalt for CLT som står for «Cross-laminated timber». Denne forkortelsen blir benyttet i oppgaven. CLT-elementer skiller seg fra vanlig limtrebjelker ved at plankene er krysslaminerte. Sjøktene i elementet ligger normalt på hverandre, og er festet sammen med lim, spiker, skruer, dybler, eller stålstag. Størrelsen på elementene varierer, og avhenger av hvordan de skal brukes. (Aarstad et al., 2008)

Massivtre kan fungere som bærende elementer i store bygg, og klimaavtrykket er lavere enn ved stål og betong. I tillegg til miljøaspektet er det også lett å montere elementene, og de tar kort tid å få på plass (Norsk treteknisk Institutt, 2006a). Materialet har en lav egenvekt som gir flere fordeler ved blant annet transport og montering, og styrken til materialet er høy i forhold til vekten. Massivtre har også en stor fleksibilitet, har god varmeisolasjon og god bæreevne ved brann. (Gustafsson, 2017)

Det var først da CLT kom på markedet det var mulig å bygge større prosjekter i tre, noe som revolusjonerte trebransjen. Det var endelig mulig å møte betingelsene for produksjon av fleretasjes bygg, da materialet innehar styrkeegenskapene som skal til for å innfri både konstruksjonsmessige krav, samt brann- og lydkrav. (SINTEF Byggforsk, 2001)

2.3 Typologi

Litteraturen oppgir forskjellige betegnelser på dekkesystemer, med alle bunner i de samme prinsippene. Oppgaven tar utgangspunkt i Woodsol (2019) sin fordeling. De trebaserte etasjeskillerne kan bygges opp på bakgrunn av fire basisdekker, disse er bjelkelag, massivtredekke, ribbedekke og kassettedekke/bokselementer. Kapittelet viser en oversikt over oppbygging og virkemåte, samt en gjennomgang av produsentene som er presentert i resultatkapittelet.



Figur 2-4 Illustrasjoner av dekkekonstruksjonene. (a) Bjelkelag, (b) Massivtredekke, (c) Ribbedekke og (d) Kassettedekke/bokselement

2.3.1 Bjelkelagsløsninger

I bygningsmasser med bæresystem av trevirke er bjelkelag en av de mest brukte løsningene på etasjeskiller, spesielt i boligbygg og mindre trehusbebyggelse. (Hu et al., 2001) Som nevnt i kapittel 2.2 kan bjelkelagene bygges opp av forskjellige materialer, hvor de mest vanlige er konstruksjonsvirke, limtre og I-bjelker.

SINTEF har i sin Byggforskserie (2007) publisert spennviddetabeller. Tabell 2-4 og Tabell 2-5 viser en forenklet oversikt, og gir et innblikk i spennvidden til de forskjellige bjelkelagstypene. Alle tabellene er beregnet i henhold til brukskategori A og B i NS-EN 1991-1-1, som gir maks nyttelast $3,0 \text{ kN/m}^2$.

Tabell 2-4 Spennviddetabell for bjelkelag i Konstruksjonsvirke og Limtre, Bjelkeavstand c/c 600

Bjelke dimensjon [mm]		Lys åpning [m]	
Konstruksjonsvirke	Limtre	Konstruksjonsvirke	Limtre
36 x 148	36 x 200	2,25	2,9
36 x 198	36 x 250	2,9	3,6
36 x 223	36 x 300	3,2	4,2
48 x 198	48 x 200	3,1	3,1
48 x 148	48 x 250	2,4	3,8
48 x 223	48 x 300	3,4	4,4
61 x 198	70 x 200	3,25	3,4
73 x 198	70 x 250	3,4	4,1
73 x 223	70 x 300	3,75	4,8

Konstruksjonsvirke er et materiale som kun er tilgjengelig i standard dimensjoner. Limtre kan tilpasses prosjektet, og ha forskjellige størrelser og former avhengig av behov. Derfor anses det som et mer fleksibelt materiale.

Tabell 2-5 Spennviddetabell for bjelkelag med I-bjelke med 45 x 45 mm flens.

Bjelke høyde [mm]	Lys åpning [m]	
	c/c 300	c/c 600
200	3,5	3
220	3,8	3,2
250	4,1	3,6
300	4,7	4,1
350	5,2	4,5
400	5,7	4,9

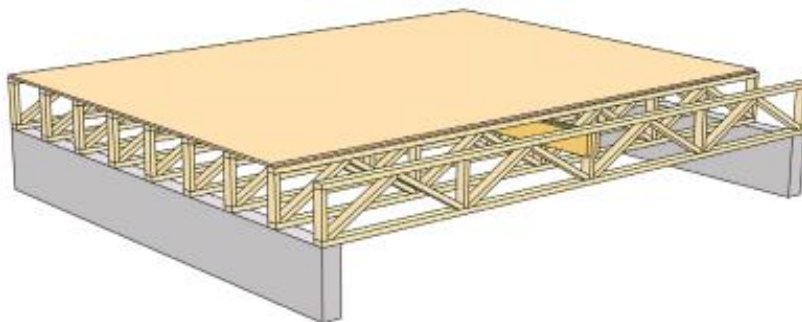
I-bjelken kan egne seg for lengre spenn med en større dimensjon enn beskrevet i Tabell 2-5. Eksempler på kommersielle I-bjelker er Finnjoist, produsert av finske Metsä Wood, og Hunton I-bjelke produsert i Norge. Både Finnjoist og Hunton består av LVL flens i bunn og topp, hvor Finnjoist har OSB plate som steg, og Hunton bruker en annen type trefiberplate. Hunton I-bjelke har SINTEF Teknisk Godkjenning, og tilfredsstiller kravene satt av TEK17. (Hunton, 2015; Metsä Wood, u.å) Figur 2-5 viser de to bjelketypene.



Figur 2-5 I-bjelke (a) Finnjoist (Metsä Wood, u.å) og (b) Hunton (Hunton, 2015)

Et bjelkelagsystem med enda større kapasitet for å oppnå lange spenn er gitterbjelken, satt sammen til hulldekke. Bjelken produseres av forskjellige takstolfabrikker, med variasjon i høyder og spennvidder. Produsentene blir derfor kontrollert eksternt av Norsk Treteknisk Institutt, og produktene får CE-merking. Det må også medfølge dokumentasjon ved hver leveranse med forutsetninger for beregninger. (Eide, 2014) Norsk Takstolprodusenters Forening (NTF) har anskaffet SINTEF teknisk Godkjenning for produktet.

Typiske fagverkskonstruksjoner kan være tak og bruer, men konstruksjonstypen har også et stort potensial i gulvkonstruksjoner. (Homb & Kolstad, 2012) De åpne bjelkene gir også mulighet for å legge inn skjulte tverravstivere for å øke spennvidden til bjelkelaget.



Figur 2-6 Hulldekke av gitterbjelker med tverravstiver, hentet fra (Homb & Kolstad, 2012)

I SINTEF sin rapport på gitterbjelkelag har Homb og Kolstad (2012) laget en oversikt på spennvidder, med og uten tverravstivere. Disse er dimensjonert i brukskategori A og B i henhold til NS-EN 1991-1-1, med bjelker 98 x 48 mm og fasthetsklasse C30. I Tabell 2-6 ser vi sammenfatningen av verdiene. Maks nyttelast er 3,0 kN/m².

Tabell 2-6 Spennviddetabell for gitterbjelker med og uten tverravstiver

Bjelkehøyde [mm]	Lysåpning [m] med c/c 600 mm	
	Uten tverravstivende bjelke	Med tverravstivende bjelke
250	4,1	4,5
300	4,6	5,15
350	5,1	5,8
400	5,55	6,4
450	6	7
500	6,4	7,5
550	6,75	8,05
600	7,1	8,5

Alle bjelkelagstabellene publisert henviser til NTF og SINTEF sine beregninger. Derfor er det disse verdiene som blir analysert i resultatkapittelet.

2.3.2 Massivtredekker – Plattform

CLT egner seg godt som bæresystem i større bygninger, med mulighet til å håndtere lastpåkjenninger fra flere retninger grunnet elementets unike oppbygging. (Brandner et al., 2016). Styrkeegenskapene varierer med antall sjikt, tykkelse og fasthetsklasse, og kan bygges opp etter nødvendig kapasitet. Vanlig antall sjikt er 3, 5, 7 eller 9. (Norsk treteknisk Institutt, 2006a) Etasjeskiller bestående av CLT kan kategoriseres som en plattform typologi.

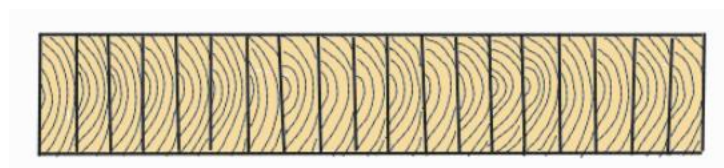
I likhet med bjelkelagstabellene har SINTEF publisert i sin Byggforskserie (2009) forventede spennvidder for krysslimte elementer som etasjeskillere. En forenklet versjon av denne er presentert i Tabell 2-7.

Tabell 2-7 Spennviddetabell for krysslimte elementer, med maksimal nedbøyning 1/300

Elementtykkelse [mm]	antall sjikt	Spennvidde ved 2,0 kN/m ² nyttelast [m]	Spennvidde ved 4,0 kN/m ² nyttelast [m]
100	3	3,9	3,2
120	5	4,1	3,4
140	5	5,1	4,3
160	5	5,6	4,7
180	5	6,1	5,1
200	7	6,8	5,7
220	7	7	6
240	7	7,4	6,3

I resultatkapittelet er det to produkter som blir henvist til, KLH® - CLT og Splitkon krysslimt Tre. Begge disse CLT produktene kategoriseres som platform-systemer. KLH Massivholz GmbH er en Østerriksk produsent, og Splitkon er Norsk.

2.3.2.1 Kantstilt massivtre



Figur 2-7 Kantstilt Massivtre

Andre typer massivtredekker er såkalte kantstilte dekker, produsert av blant annet Norsk Massivtre AS. Lamellene er ikke lenger krysslågt, men sammensatt og stående. Elementene blir også omtalt som tverrspente elementer. (Norsk treteknisk Institutt, 2006a) Dekkesystemet kan også kategoriseres som en platform typologi og er illustrert i Figur 2-7.

Norsk Massivtre AS har publisert en tabell med anbefalte spennvidder som tilfredsstillr SINTEF sine krav til komfort, disse er gjengitt i Tabell 2-8 (SINTEF Teknisk Godkjenning, 2020) Styrkeklasse T15 og T22 er tilnærmet fasthetsklasse C24 og C30. (Serano et al., 2015)

Tabell 2-8 Spennviddetabell for kantstilt massivtre

Elementtykkelse [mm]	Trelastkvalitet	Maks spennvidde [m]
95	T15	3,35
120	T15	3,95
145	T15	4,5
170	T15	5,1
195	T15	5,6
220	T15	6,15
95	T22	3,5
120	T22	4,15
145	T22	4,7
170	T22	5,3
195	T22	5,8
220	T22	6,4

2.3.3 Ribbedekke

De massive krysslagte elementene med store tverrsnitt gir ikke alltid de beste økonomiske og bærekraftige løsningene. Ved å konstruere ribbedekker kan materialmengden minimeres, og fortsatt håndtere store spennvidder. Det er også andre fordeler med en slik konstruksjon, som for eksempel større stivhet og styrke, og en større fleksibilitet i utforming og plassering av tekniske installasjoner. (Negaro & Jorge, 2016)

Ribbedekke har et T-tverrsnitt som gjør at tøyningen i flensen ikke vil være jevnt fordelt, slik det ofte er med andre symmetriske tverrsnitt. Ved å forenkle beregningene kan det antas en jevnt fordelt spenning ved en effektiv bredde. Samme konseptet er brukt ved kalkulasjon av stål og betong. Det eksisterer ikke noen nåværende konstruksjonsmetode for ribbedekke i tre som tar hensyn til dette, men nytt utkast av Eurokode 5 har noen forenklede formler som kan legges til grunn. (Kleinhenz, 2022) Tre har forskjellige styrker og egenskaper i forhold til fiberretning som må tas hensyn til. Derfor kan ikke beregningene gjennomføres på samme måte som med stål og betong.

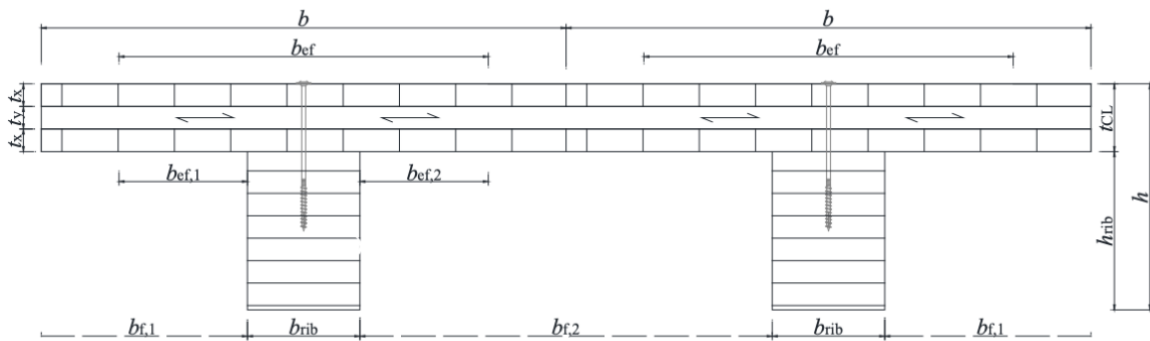
Formel [2-1] viser utregningen av effektiv bredde til ribbepaneller av CLT, og Figur 2-8 viser en illustrasjon av dekket.

$$b_{ef} = b_{rib} + \sum b_{ef,i} \quad [2-1]$$

b_{ef} er den effektive bredden til elementet [m]

b_{rib} er ribbebredden [m]

$\sum b_{ef,i}$ er summen av effektiv bredde til flensen på hver side av ribben



Figur 2-8 Ribbedekke med CLT flens og limtre-steg, hentet fra (Kleinhenz, 2022)

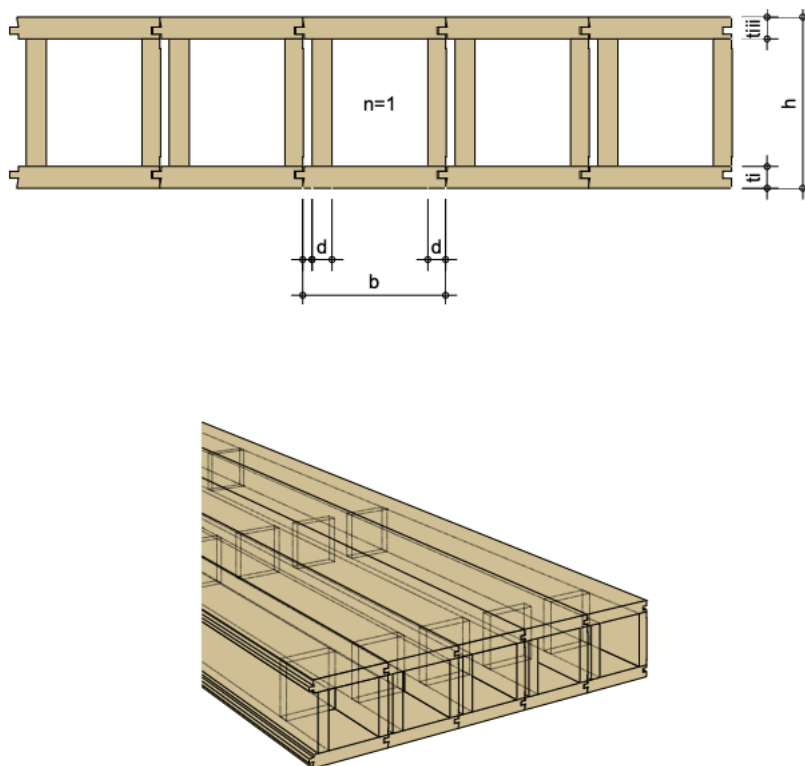
Ribbedekke er ikke et utbredt system i Norge, så i forbindelse med oppgaven ble internasjonale produsenter vurdert. Det ble valgt etablerte produsenter, det finsk-svenske selskapet Stora Enso, det finske selskapet Metsä Wood, og østerrikske KLH. De produserer varianter av ribbe og boks-elementer. Stora Enso sitt Ribbepanel, i likhet med KLH, består av limtre steg med CLT flens som kan oppnå spenn mellom 6 m – 12 m. (Stora Enso, 2020) Kerto Ripa er et prefabrikkert elementsystem av Metsä Wood. De produserer både ribbedekker og kassettdekker i LVL som blir undersøkt i oppgaven. (Metsä Wood, 2019)

2.3.4 Kassettdekke - Bokselementer

Kassettdekke kan ha mange navn, som for eksempel hulromselementer, kanaldekke og bokselement. Det kan anses som en videreutvikling av ribbedekkerne med et boks-tverrsnitt i

stedet for T-tverrsnitt. Hovedforskjellen mellom bjelkelag og kassettdykker er at et kassettdykke er et stivt sammensatt system, uten forskyvninger i koblingene mellom steg og flens, noe som gir en lineær tøyning i strukturen. (Zabihi, 2014) Kassettsystemet vil ha en høy stivhet og derfor en større kapasitet enn tradisjonelle bjelkelag. (Bazli et al., 2022)

Siden spenningen i treverket konsentrerer seg i øvre og nedre flens, har ikke hulrommet i strukturen så stor innvirkning på bøyemomentet. Det er et design som kan holde høy kapasitet, samt bruke mindre materiale enn vanlig CLT dekker. (Huang et al., 2021)



Figur 2-9 Illustrasjon av Lignatur boks-element. (OIB, 2021)

I likhet med ribbedekker finnes det mange varianter, med forskjellige materialer. Hovedsaken er at trebjelker, ofte i limtre eller LVL, er koblet til en øvre og nedre flens i CLT eller LVL. Men det finnes også andre løsninger. Lignatur er eksempel på en produsent som bruker konstruksjonsvirke for å bygge opp bokselementene. Figur 2-9 viser en illustrasjon av et slikt dekke. Lignatur sitt dekkeelement kan også anses å ha en sandwich lignende struktur,

som betegner dekketyper der øvre og nedre flens tar opp spenninger, og kjernen skjærkreftene. (Larsson & Mayor, 2016)

Ribberdekker og kassettdykker er systemer som egner seg ved lengre spenn, men ofte er det bruksgrensetilstandene, altså nedbøyning og menneske påførte vibrasjoner som er dimensjonerende faktor. Dette bør undersøkes ved bruk av Finite Element Method (FEM) på grunnnet kompleksiteten til dekket. (WoodSolutions, 2020)

2.4 SLS – bruksgrensetilstand

For lette etasjeskillere er det såkalte komfortkriterier, som vibrasjoner og nedbøyning, som avgjør elementenes maksimale spennvidde. Konstruksjonenes kapasitet for brudd er ikke dimensjonerende faktor, og prosjektering etter bruddgrensetilstand (ULS) kan gi slanke konstruksjoner utsatt for store deformasjoner. (Homb, 2008) Trekonstruksjoner har styrkeegenskaper i ulike retninger, som gjør det spesielt utsatt. Responsen vil være ulik fra forskjellige belastningsformer. (Serano et al., 2015)

Historisk sett har bjelkelagstabellene hovedsakelig benyttet nedbøyning som dimensjonerende faktor, med utgangspunkt i punktlast eller jevnt fordelt last. Vibrasjonskrav har blitt gjeldende i senere tid, hvor anbefalte grenseverdier kan variere fra ulike institusjoner. (Kolstad & Homb, 2009) Norge og andre europeiske land følger krav fra CEN, European Committee for Standardisation, med eventuelle nasjonale tillegg med egne bestemte parametere vurdert gjeldende på bruksstedet. (Standard Norge, 2019)

Eurokode 5 gir et grunnlag for bruksgrensetilstandene, som generelle prinsipp, parametere og beregningsmetoder, men presiserer at kravene burde fastsettes etter prosjektspesifikke forutsetninger. Det eksisterer lite håndfaste regler og grenseverdier for vibrasjoner og nedbøyninger, som bidrar til større usikkerhet. (Serano et al., 2015) Den europeiske kommisjonen arbeider med et nytt utkast av Eurokoden med oppdatert erfaring og kunnskap, hvor blant annet kriteriene for vibrasjoner og CLT spesifiseres. (CEN, 2020)

2.4.1 Nedbøyning

Nedbøyning er en bruksgrensetilstand som må tas i betraktning, samt det har en innvirkning på vibrasjonsegenskapene til dekket. Maksimal nedbøyning blir ofte brukt som et kriterie i

vibrasjonsberegningene. (Kolstad & Homb, 2009) Eurokode 5 har satt noen nedbøyningskrav basert på følgende parametere vist i Formel [2-2] og beskrevet i Figur 2-10:

$$w_{net,fin} = w_{inst} + w_{creep} - w_c = w_{fin} - w_c \quad [2-2]$$

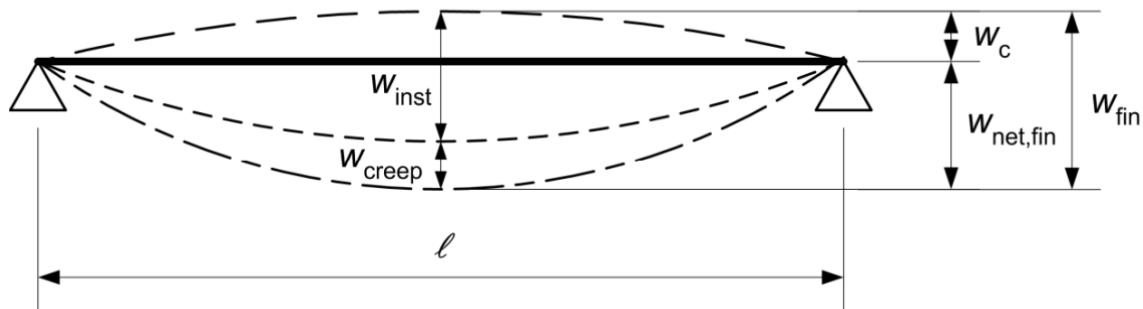
$w_{net,fin}$ er netto endelig nedbøyning [m]

w_{inst} er umiddelbar nedbøyning [m]

w_{creep} er nedbøyning som følge av kryp [m]

w_c er overhøyden [m]

w_{fin} er den endelige nedbøyningen [m]



Figur 2-10 Nedbøyningskomponenter (Standard Norge, 2010a)

NS-EN 1990 definerer de forskjellige lastkombinasjonene deformasjonen beregnes på bakgrunn av. Det er *karakteristisk*, *ofte forekommende*, og *tilnærmet permanent* kombinasjon. Den *karakteristiske* kombinasjonen brukes normalt for å bestemme den umiddelbare nedbøyningen, w_{inst} , da kombinasjonen gir de variable lastene en høy verdi. Den *ofte forekommende* kombinasjonen undersøker reversible effekter som kun er tilstede i periodene den variable lasten påvirker. Den *tilnærmet permanente* kombinasjonen undersøker kryp nedbøyningen, w_{kryp} , altså hvilke langtidseffekter lasten påfører. Dette vil være en irreversibel påvirkning, og avhenger av fuktinnholdet til materialet definert av deformasjonsfaktoren, k_{def} . (Serano et al., 2015)

Tabell 2-9 Grenseverdier for nedbøyning av bjelker på to opplegg (Standard Norge, 2010a)

W_{inst}	$W_{net,fin}$	W_{fin}
L/300 til L/500	L/250 til L/350	L/150 til L/300

Eurokode 5 definerer noen grenseverdier for nedbøyning, satt opp i Tabell 2-9. Det er slik at grenseverdiene kan vurderes i hvert enkelt tilfelle, men et godt erfaringsbasert krav er at nedbøyningen ikke skal overstige L/300. Det er flere faktorer som er med på å fastsette grenseverdier, som eksempelvis: (Serano et al., 2015)

- Spennlengde
- Hvilken bygningsdel som dimensjoneres, og bruken av denne
- Estetiske krav
- Sannsynlighet for skade på andre bygningsdeler
- Hvor hyppig maksimale nedbøyninger forekommer

2.4.2 Vibrasjon

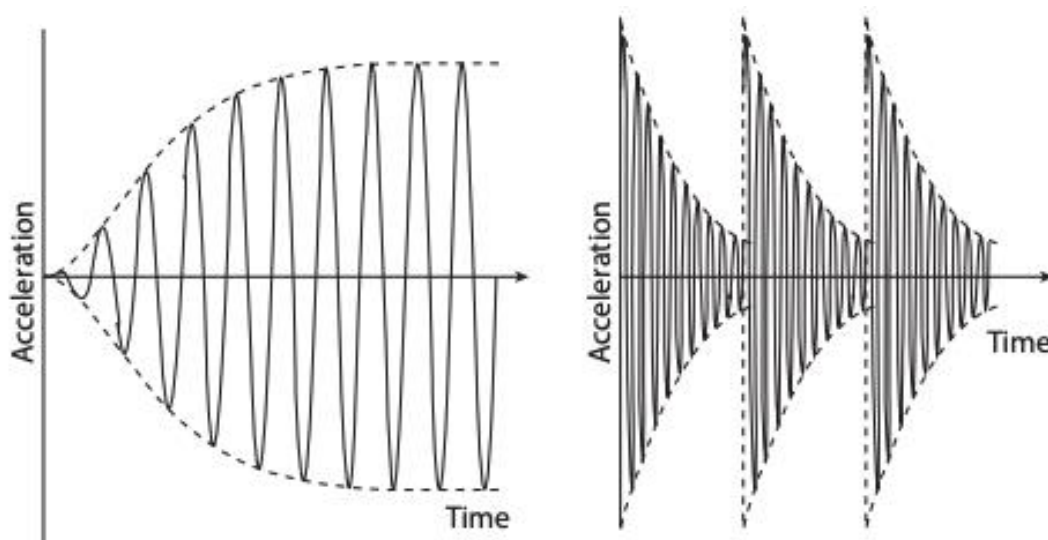
Vibrasjon klassifiseres som en SLS problematikk fordi det først og fremst handler om menneskets ubehag, og ikke fare for brudd. Med konstruksjonens masse og stivhet må også dempeegenskapene til dekket tas i betraktning. (Serano et al., 2015) Et diskutert problem er hvilke krav som anses akseptable for å tilfredsstille menneskelig oppfatning. Ifølge Ohlsson (1982) er fastsetting av tydelige vibrasjonskrav et kontroversielt tema, og retningslinjene har vage formuleringer. Ohlsson (1982) definerer to hovedtyper vibrasjoner skapt av mennesker. Vibrasjoner som følge av eget fottrinn, og vibrasjoner skapt av andre forbigående personer. Ved fastsettelse av komfortkrav er det viktig å forstå hvordan vibrasjoner påvirker mennesket.

Det er faktorer som frekvensområde, størrelsen på responsen og demping som påvirker opplevelsen av å bli utsatt for vibrasjoner. (Serano et al., 2015) Hvilken frekvens som oppleves av mennesket avhenger av sammenhengen mellom egenfrekvensen til gulvet og gangfrekvensen til personen. Mennesker går normalt med en frekvens mellom 1,6 og 2,1 Hz, så en egenfrekvens under 3 Hz og over 20 Hz anses som ikke harmoniske frekvenser. (WoodWorks, 2021) Gangfrekvensen er harmonisk, og det kan derfor oppstå resonans med egenfrekvensen til gulvet hvis denne er for lav. Dessverre er det ikke så enkelt som å unngå

lave egenfrekvenser på dekket, da det kan oppstå resonans på opptil den 4. harmoniske gangfrekvensen. Dekker med egenfrekvens over 10 Hz kan anses å ha en transient respons, avhengig av hva gangfrekvensen er. ($2,5\text{Hz} \times 4 = 10\text{Hz}$) (WoodSolutions, 2020)

Figur 2-11 viser en illustrasjon av resonant og transient respons. De to vibrasjonsdesignene kan forklares på følgende måte: (WoodWorks, 2021)

- *Resonant respons.* Når systemet blir utsatt for periodiske impulser uten at det går tilbake til sin likevektstilstand før en ny kraft blir påført. Når responsen til den nye kraften blir lagt til vil den totale responsen øke eller minke, og til slutt nå en stabil tilstand.
- *Transient respons.* En avtagende respons i strukturen som skjer etter en enkelt lastpåkjenning.



Figur 2-11 Resonant respons (venstre) og transient respons (høyre), hentet fra (WoodWorks, 2021)

I sin doktorgrad har Homb (2006) delt det inn i høyfrekvente og lavfrekvente dekker, der skillet går rundt 8-10 Hz. Trebaserte etasjeskillere blir ansett som høyfrekvente, da gulvet kan bli oppfattet fjærende og er mer mottakelig for brå bevegelser. (Serano et al., 2015) Lette dekketyper, som tredekker, er mer utsatt for vibrasjoner påført av mennesker enn de tunge dekkene støpt i betong. (Jarnerö et al., 2015) Tyngre dekker er vanskeligere å bevege, og kan stå imot vibrasjonene. (Smith et al., 2007) Egenfrekvensen til gulvet bestemmes hovedsakelig av elementets stivhet, masse og lengde.

Demping er en faktor som har innvirkning på vibrasjonsegenskapene til materialet, og i tre er denne lav. I konstruksjonen kommer dempingen hovedsakelig fra friksjon i forbindelser og opplager. Dempingen ligger på 1-3% i et trebasert bjelkelag, og ekstra masse kan øke denne betraktelig. (Serano et al., 2015)

Vibrasjonsberegninger kan anses komplekst fordi det er vanskelig å finne en metode som tar hensyn nok til menneskets subjektive inntrykk. Homb (2007) skriver i sin rapport om «Kriterier for opplevde vibrasjoner i etasjeskillere» at eksisterende Eurokode 5, basert på (Ohlsson, 1982), er en metode som ikke tar nok hensyn til opplevd ubehag. Noen metoder for å avgjøre vibrasjonskriterier er: (Homb, 2007)

- Nedbøyning ved punktlast
- Laveste egenfrekvens
- Akselerasjon eller hastighet
- Kombinasjon av frekvens, demping og hastighet
- Kombinasjon av nedbøyning og hastighet
- Vibrasjonsdose

2.4.3 Eurokode 5

Eurokode 5 sin metode bygger på forskning av Ohlsson (1982). Fremgangsmetoden gjelder gulv med egenfrekvens mellom 8 Hz og 40Hz. Det er to kriterier som blir tatt hensyn til, punktlastnedbøyningen og hastighetsresponsen vist i formel [2-3] og [2-4]. (Standard Norge, 2010a)

Fremgangsmåten er som følger:

- 1) Hvis egenfrekvensen er mindre enn 8 Hz ($f_1 \leq 8\text{Hz}$), må det foretas en spesiell undersøkelse.
- 2) For egenfrekvens større enn 8 Hz ($f_1 > 8\text{Hz}$), må følgende oppfylles:

$$\frac{w}{F} \leq a \quad [2-3]$$

$$v \leq b f_1 \zeta^{-1}$$

[2-4]

w er den største vertikale øyeblikksnedbøyningen [mm]

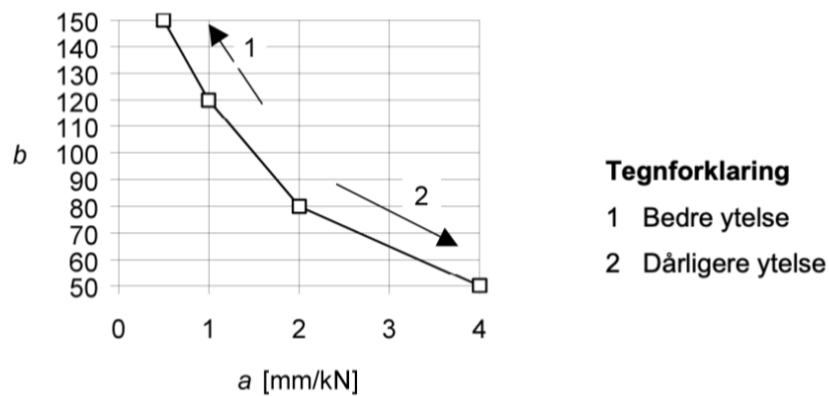
F er kraft påført hvilket som helst punkt på gulvet [kN]

v er hastighetsresponsen ved en enhetsimpuls [m/Ns²]

f_1 er egenfrekvensen til gulvet [Hz]

ζ er den relative dempingen

a og b er de anbefalte grenseverdiene vist i Figur 2-12



Figur 2-12 Anbefalte grenseverdier a og b , med anbefalt forhold mellom verdiene (Standard Norge, 2010a)

Egenfrekvensen regnes ut med følgende formel:

$$f_1 = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} \quad [2-5]$$

m er massen per arealenhet [kg/m²]

l er gulvets spennvidde [m]

$(EI)_l$ er gulvets ekvivalente bøyestivhet om en akse tvers på bjelkeretningen [Nm²/m]

En tilnærmet verdi av hastighetsresponsen beregnes ved hjelp av antallet førsteordensmodi under 40 Hz og gulvets areal og masse. Det er flere begrensninger ved denne metode, og ved

egenfrekvens mindre enn 8 Hz er det ingen retningslinjer å forholde seg til. (Standard Norge, 2010a)

2.4.4 Utkast til ny Eurokode 5

Utkastet av den nye Eurokode 5 (CEN, 2020) har et bedre klassifiseringssystem og klarere retningslinjer. Klassifiseringene varierer mellom nivå I og VII. Nivå I har best vibrasjonsegenskaper, og nivå VI har dårligst. På nivå VII er ikke lenger vibrasjonsegenskapene akseptable. Kriteriene er satt etter stivhetskriteriet, w_{1kN} (mm), og responsfaktoren, R . (Schirén & Swahn, 2019) Ved tilfredsstillende av disse kravene er det ikke nødvendig med ytterlige undersøkelser. Bygningskategoriene avgjør hvilket prestasjonsnivå som er påkrevd.

Tabell 2-10 Vibrasjonskriterier for gulvets ytelsesnivå, hentet fra utkast av Eurokode 5. (CEN, 2020)

Criteria	Floor performance levels					
	Level I	Level II	Level III	Level IV	Level V	Level VI
Stiffness criteria for all floors $w_{1kN} [mm] \leq$	0,25		0,5	0,8	1,2	1,6
Response factor R	4	8	12	20	30	40
Frequency criteria for all floors $f_1 [Hz] \geq$	4,5					
Acceleration criteria for resonant vibration ($f_1 < 8 [Hz]$) design situations $a_{rms} [m/s^2] \leq$	0,005 R					
Velocity criteria for transient vibration ($f_1 \geq 8 [Hz]$) design situations $v_{rms} [m/s] \leq$	0,0001 R					

Eurokoden klassifiserer vibrasjonsdesignene som transiente, $f_1 \geq 8\text{Hz}$, eller resonante, $f_1 < 8\text{Hz}$. Kravene vises i Tabell 2-10, hvor laveste egenfrekvens er satt til 4,5 Hz.

I utkastet til nytt Nasjonalt tillegg, NA, (Standard Norge, 2023) er det foreslått grenseverdi til nedbøyning av gulv med bjelkelag til $a = 0,9\text{ mm}$, for spennvidder inntil 4,5 m. Dette kravet kan evt. økes til $a = 1,3\text{mm}$ hvis egenfrekvensen er over 10 Hz. Utover dette kravet spesifiseres det at det bør gjennomføres prosjektspesifikke vurderinger for gulv med større spennvidder eller andre typologier.

2.4.5 SINTEF Komfortkriterium

I SINTEF sine tekniske godkjenninger av etasjeskillere blir det anbefalt at komfortkriteriene skal være grunnlag for beregningene. SINTEF sine komfortkriterier er oppgitt i Byggforskserien 522.351 *Trebjelkelag. Dimensjonering og utførelse*, (2007) og beskrevet i formel [2-6], [2-7] og [2-8].

$$\Delta < 1,3\text{ mm} \quad [2-6]$$

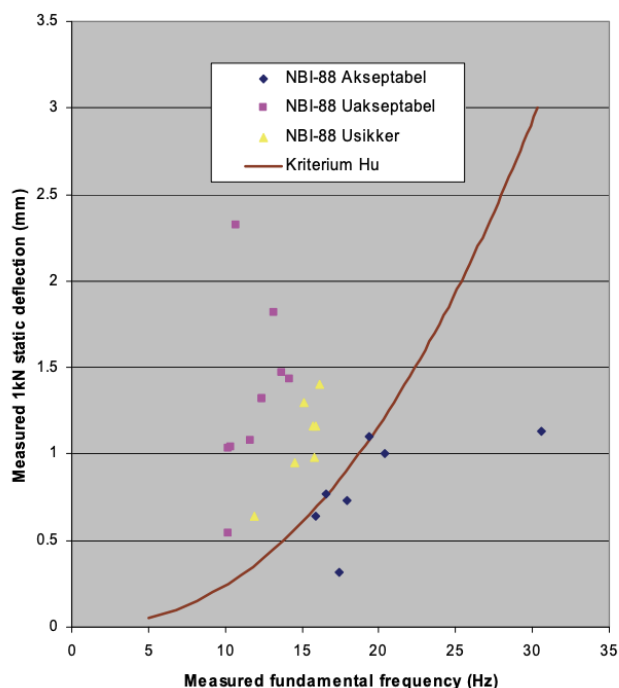
$$f > 10\text{ Hz} \quad [2-7]$$

$$\frac{f}{\Delta^{0,44}} > 18,7 \quad [2-8]$$

Δ er nedbøyning med 1 kN punktlast [mm]

f er beregnet egenfrekvens [Hz]

Kriteriene er satt etter NS-EN 1995-1-1 med tilhørende nasjonale tillegg, og skal gjelde i tillegg til kontroll av bæreevne. Vibrasjonsberegningene skal utføres med formler utviklet av Ohlsson (1982).



Figur 4.3. Sammenligning mellom subjektiv vurdering og målte parametre fra Homb & al. (1988) kombinert med kriterium fra Hu (2000).

Figur 2-13 Kriterier brukt for vibrasjonsbedømmelse. (Homb, 2007)

Kriteriene er beskrevet i en rapport av Homb (2007), som tar utgangspunkt i forskning gjort av Hu (2007). Det ble gjennomført subjektive målinger av vibrasjoner, som kombinerer parameterne egenfrekvens og nedbøyning for å sette en grenseverdi på akseptable nivåer. Figur 2-13 viser en fremstilling av målinger utført av SINTEF, sammen med grenseverdiene til Hu (2007). Akseptable målinger ligger under den røde linjen. Norske bedrifter bruker dette som grunnlag i prosjektering av dekkeelementer, med minimum egenfrekvens på 10 Hz for bjelkelag, og 12,5 Hz for de resterende elementtypene. Grenseverdiene er satt på grunnlag av erfaringsdata tilgjengelig.

2.5 Brann

I NS-EN 1995-1-2 er det beskrevet branntekniske kriterier som dimensjoneringsgrunnlag til norske trekonstruksjoner. Funksjonskravene REI skal være oppfylt for i det gitte tidsintervallet, og beskriver bygningsdelens brannmotstand. Bæreevne (R) er bygningsdelens evne til å ikke miste nødvendige konstruktive egenskaper, Integritet (E) er evnen til å hindre gjennomtrenging av flammer og gasser, og Isolasjonsevne (I) er for å hindre at brannen overføres ved varmeledning. (Norsk treteknisk Institutt, 2006b) For fleretasjes trehus gjelder mange av de samme spredningsmekanismene som ved mindre trebygg. Statistikken viser at de fleste branner

forløper seg gjennom åpninger i branncellen, og ikke direkte gjennom skilleveggene. (Glasø, 2012)

Det er flere måter å dokumentere kravene til brannsikkerhet. Det kan prosjekteres og utføres etter veiledning til forskrift om tekniske krav til bygg, TEK17. Dokumentasjon i form av analyser og beregninger kan legges til grunn, eller en blanding av disse to løsningene. Det er også mulig å kompensere for dårlige ytelsesnivåer til materialer ved å innføre andre tiltak for å forbedre brannsikkerheten. (Glasø, 2012)

Bygg deles inn i risikoklasser og brannklasser. Risikoklassene beskriver risiko for fare knyttet til skade på liv og helse. Brannklassene er delt fra 1 til 4, med hensyn til konsekvens ved brann, basert på blant annet risikoklasser, størrelse og planløsning. (Norsk treteknisk Institutt, 2006b) Bærende konstruksjon i brannklasse 1 og 2 skal stå i minimum den tiden det tar for personer å ta seg ut av bygget. En brannmotstand på 30-60 min (REI30 og REI60) kan være akseptable krav. For konstruksjoner i brannklasse 3 og 4 skal bæreevnen til bygget være fullt oppegående gjennom hele brannforløpet. (Glasø, 2012)

Tabell 2-11 Tabell over brannklasser gitt etter risikoklasser og antall etasjer, hentet fra TEK17 (Dibk, 2017)

Risikoklasse	Antall Etasjer			
	1	2	3-4	5 eller flere
1	-	BKL 1	BKL 2	BKL 2
2	BKL 1	BKL 1	BKL 2	BKL 3
3	BKL 1	BKL 1	BKL 2	BKL 3
4	BKL 1	BKL 1	BKL 2	BKL 3
5	BKL 1	BKL 2	BKL 3	BKL 3
6	BKL 1	BKL 2	BKL 2	BKL 3

Tabell 2-11 viser en oversikt over de aktuelle brannklassene. Trehus med flere enn 4 etasjer faller under brannklasse 3, og det finnes derfor ingen enkle beskrivelser av branndimensjonering i TEK 17. Bygget må dimensjoneres for et fullstendig brannforløp, og må dokumenteres av prosjekteringsansvarlig på hvert enkelt prosjekt. (Norsk treteknisk Institutt, 2006b)

NS-EN 1995-1-2 gir enkle analytiske fremgangsmetoder for brannberegninger i trekonstruksjoner. Eurokoden gir derimot lite informasjon om tredekker av EWP, noe som gjør branndimensjonering vanskelig for mer avanserte dekker. Det er gjennomført noen studier, men det er behov for mer forskning på området. (Galtvik, 2019)

2.6 Akustikk

Tre er et lett materiale, og ifølge TreFokus (Glasø, 2011b) er trebaserte etasjeskillere svært utsatt for trinnlyd og flanketransmisjon som gir sjenerende opplevelse av lyd og støy. Som nevnt tidligere er lette etasjeskillere utsatt for svingninger ved gange. Trinnlyd er et begrep på lydbølgene fra svingningene som oppstår, og blir registret som det faktiske lydtryknivået i mottakerrommet. Resonans i det flytende gulvet til konstruksjonen, og liten stivhet i bjelkelaget, bidrar til å overføre lavfrekvent trinnlyd. (SINTEF, 2022) Flanketransmisjon er en lydforplantning i konstruksjonen som ikke går direkte gjennom skillekonstruksjonen. Lyden kan bevege seg gjennom utettheter, via kanaler eller over himling, og kan fort forplante seg til andre boenheter i større boligkompleks. (Glasø, 2011a; Glasø, 2011b)

TEK 17 definerer lydkrav som skal beskytte brukeren, men forskriften har ingen krav til egenprodusert støy. Det finnes to dokumentasjonsmetoder. Enten skal lydforholdene dokumenteres i samsvar med NS 8175:2012 Lydforhold i bygninger, eller så må det gjennomføres analyser som kan dokumentere et tilfredsstillende lydnivå. (Glasø, 2011b) Det kan oppleves at kravene ikke er tilstrekkelige, og det er rapportert flere tilfeller av støy fra naboene i bygninger med lette etasjeskillere. (SINTEF, 2022)

Forskningsartiklene tar utgangspunkt i trinnlydnivå $L_{n,w}$ (dB) og luftlydisolasjon R_w (dB) ved testing av dekkesystem. En metode presentert i NS-EN ISO 12354-2 (2017) viser reduksjonen av normalisert trinnlydnivå i Formel [2-9] :

$$\Delta L_w = L_{n,w,eq} - L_{n,w} \quad [2-9]$$

ΔL_w er reduksjonen i trinnlydsnivå [dB]

$L_{n,w}$ er det resulterende trinnlydsnivå med lydisolerende tiltak [dB]

$L_{n,w,eq}$ er trinnlydsnivået fra bart gulv [dB]

SINTEF har i mange år anbefalt en metode beskrevet i Formel [2-10] og [2-11] for å bedømme trinnlydnivået i boliger. Her blir det tatt hensyn til et omgjøringsstall ved lavfrekvente spektrum, som har resultert i en bedre sammenheng av faktisk opplevd lydisolasjon. Metoden er også å finne i nyeste versjon NS 8175:2019 (SINTEF, 2022)

$$L'_{n,w} + C_{I,50-2500} \leq 53 \text{ dB} \quad [2-10]$$

$$R'_w + C_{50-5000} \geq 55 \text{ dB} \quad [2-11]$$

$L'_{n,w}$ er veid, feltmålt normalisert trinnlydnivå

$C_{I,50-2500}$ er omgjøringstall for spektrum for trinnlyd i frekvensområde 50 Hz til 2500 Hz

R'_w er veid, feltmålt lydreduskjonstall

$C_{50-5000}$ er omgjøringstall for spektrum for luftlyd i frekvensområde 50 Hz til 5000 Hz

Ved prosjektering av bjelkelag må det tas hensyn til to fokusområder. Det ene er isolasjonsegenskapene til konstruksjonene alene (trinnlyd), den andre er hvordan knutepunktene til andre bærende elementer er gjennomført (flanketransmisjon). For å opprettholde et akseptabelt trinnlydnivå må gulvkonstruksjonen bygges opp på underside eller overside. Noen forslag til utbedringer er: (Glasø, 2011b)

- Flytende overgulv (med økt punktstivhet)
- Økt tyngde på overgulvet.
- Nedsenket eller frittstående himling

Det er ofte prosjektspesifikke forutsetninger som avgjør hvilke tiltak som burde innføres.

2.7 Forskningsteori

For å besvare forskningsspørsmålet er det valgt å bruke en tilnærming som tar for seg både kvalitativ og kvantitativ metode, hovedretningene innenfor metodeteori. Dalland (2017) trekker frem kvantitativ orientert metode som en form der dataen er målbare enheter, og kvalitativ orientert metode skal fremheve meninger og opplevelser som er vanskelig å måle. Dalland (2017) skriver videre at valg av forskningsmetode må bli tatt på bakgrunn av å kunne svare på problemstillingen på en god måte, samt ta hensyn til den gitte tids- og kostnadsrammen til prosjektet. En oppgave kan angripes med ulike metoder, og derfor er det viktig å være kritisk til valget, og diskutere usikkerhetene rundt disse.

Datainnsamling fra litteraturstudie i kombinasjon med kvalitative intervjuer kan gi en mer omfattende analyse. En vellykket kombinasjon av forskningsmetoder kan gi dynamikk i

studien, utvider omfanget og forbedrer den analytiske effekten. (Sandelowski, 2000) Implementering av forskingsdata er relevant for å bygge opp oppgaven med eksisterende vitenskapelig litteratur, skape et rammeverk, rettferdiggjøre oppgaven, og utarbeide en god problemstilling. (Hennink et al., 2020) Intervjuene har som mål å hente inn kvalitativ kunnskap, og vil få frem beskrivelser og tolkninger fra informanten. (Dalland, 2017)

To former for litteraturstudie er benyttet i oppgaven, hvor teorien er hentet fra Grant og Booth (2009). Oversiktsstudie, også kalt «scoping review», og en «State-of-the-art» gjennomgang. En god kartlegging i oversiktsstudiet har til hensikt å identifisere omfanget av forskningen, og systematisere informasjonen. Begrensninger ved metoden kan føre til et skjevt syn, mye på grunn av kvalitetssikringen i informasjonssinnhenting. State-of-the-art er en metode som presenterer nyeste forskning. Metoden egner seg godt for å belyse mulighetene som eksisterer, men kan også snevre inn informasjonen. Et fullstendig bilde av utviklingen er muligens vanskelig å frembringe, og kilder kan bli underkommunisert på grunn av tidsrammen til forskningen.

For å sikre at forskningsmetodene gir pålitelig og troverdig kunnskap, er det avgjørende å opprettholde kravene til validitet og reliabilitet. Dalland (2017) beskriver validitet som et mål for relevans og gyldighet. Med andre ord, studien måler det den faktisk har definert som formål. Reliabilitet er et annet ord for pålitelighet, og handler om at resultatene oppnådd kan etterprøves med samme metode og få lignende resultater. Det skal være en nøytral innsamling, og være minst mulig avhengig av forskerens synsvinkler.

3 Metode

Kapittelet beskriver metodene anvendt i oppgaven for å besvare forskningsspørsmålene definert i innledningen. Metodekapittelet tar utgangspunkt i forskningsteorien beskrevet i Kapittel 2.7.

3.1 Forskningsmetode

I oppgaven er det valgt å bruke litteraturstudier og intervjuer. Litteraturstudien ble anvendt for å oppdatere oppgaven med kvalitativ og kvantitativ data, samt ny forskning på området. Intervjuene fungerte som et supplement for å få et innblikk i personlige erfaringer. Målet var å undersøke om det var overensstemmelse med resultatene fra litteraturstudien og faktiske erfaringer fra norsk byggebransje. Derfor var det hensiktsmessig å snakke med erfarne fagfolk for å få et innblikk i situasjonen. Det er usikkerhet knyttet til valg av metode, og derfor må påliteligheten til resultatene hele tiden evalueres. Metodene er beskrevet i de to neste kapitlene.

3.2 Litteraturstudie

For å besvare problemstillingen har det blitt gjennomført gjennomgående litteraturstudier for å tilegne seg et godt teoretisk grunnlag. Opparbeidelsen av teorigrunnet for masteroppgaven startet høsten før skriveprosessen startet. Tiden ble brukt til å lese seg opp på tema, finne en interessant problemstilling, og det ble utført et par innledende faglige samtaler. Som en del av oversiktsstudiet fortsatte prosessen i januar med å systematisere informasjonen, og eksisterende forskning ble brukt for å snevre inn problemstillingen. Formuleringen av problemstillingen og forskningsspørsmålene gjorde litteratursøket mer fokusert. Dermed var det lettere å skille ut relevant informasjon.

Databaser som Google Scholar, Web of Science og Oria ble benyttet, samt bøker med relevant faglitteratur. Vanlige Google søk ble også foretatt der det var hensiktsmessig, som eksempelvis ved innhenting av informasjon fra diverse produsenter og leverandører. Eksisterende masteroppgaver med lignende temaer har også vært hjelpsomme, spesielt for å finne aktuelle kilder og inspirasjon. Brage og NTNU Open ble brukt for å finne relevante masteroppgaver.

3.2.1 Oversiktsstudie og state-of-the-art

Temaet for oppgaven dekker et bredt teoretisk spekter, og derfor ble det gjennomført en oversiktsstudie, kjent som «scoping review», for å kartlegge forskningen på området grundig.

I denne prosessen ble mye av dataen til teorikapittelet samlet. Teorikapittelet presenterer og beskriver alternativer som eksisterer, samt kjente utfordringer knyttet til systemene. For å fastslå state-of-the-art innenfor forskningsområdet var det nødvendig å jobbe systematisk ved gjennomgang av både vitenskapelige artikler, rapporter og andre relevante kilder. State-of-the-art gjennomgangen er presentert i resultatkapittelet.

Søkematriksen presentert i Tabell 3-1 beskriver hvilke søkeord som ble brukt ved uthenting av informasjon via de sentrale databasene nevnt. Boolske operasjoner ble benyttet for å spisse inn søket enda mer.

Tabell 3-1 Søkematrikse

Tema	Søkeord	
	Norsk	Engelsk
Generelt	Tre OG miljø	Timber AND environment
	Tre OG Konstruksjon	Timber AND construction
	Trebaserte etasjeskillere OG Fleretasjes trehus	Engineered wood products AND Long span floor
Materialer	Trebaserte konstruksjonselementer	Timber AND construction materials
	Massivtre/Limtre/konstruksjonsvirke OG bygningsmateriale	
	LVL/EWP OG bygningsmateriale	
Typologi	Etasjeskiller/dekke/gulv OG tre OG typer/system	Timber floor AND type/system AND Long Span
	Etasjeskiller/dekke/gulv OG tre OG Lange spenn	
SLS og andre krav	Etasjeskiller/dekke/gulv OG byggetekniske krav	timber floor AND vibrations/deflection
	Etasjeskiller/dekke/gulv OG Vibrasjoner/Nedbøyning OG tre	Timber floor AND fire/acoustic
	Etasjeskiller/dekke/gulv OG Brann/akustikk/lyd OG tre	
Kostnader	Etasjeskiller/dekke/gulv OG kostnader OG tre	Timber floor AND long span AND cost
		Timber floor AND economics

Alle relevante kilder ble lagret og håndtert i programvaren EndNote, som er et referanseadministrasjonsprogram. En av utfordringene i litteratursøket var at det ble brukt forskjellige uttrykk for beskrivelse av samme fenomen. Spesielt norsk litteratur, som benyttet både etasjeskiller, dekke og gulv. Å ha en kritisk tilnærming til tidspunktet kildene var publisert var avgjørende, spesielt i state-of-the-art gjennomgangen av litteraturen.

3.2.2 Innhenting av data fra produsenter

En del av resultatkapittelet er en oversikt over diverse trebaserte dekkessystem fra kommersielle leverandører. Utvelgelsen av hvilke dekkeelementer som skulle undersøkes ble tatt på bakgrunn av flere faktorer. Først og fremst var det viktig å finne godt etablerte produsenter, med et utprøvd produkt. Det ble etterstrebet å finne en blanding av både norske og internasjonale produsenter. Noen systemer var relativt like, men det var interessant å se om det eksisterte forskjeller på grunnlag av dimensjoneringskriteriene i de forskjellige landene. Etter faglige samtaler med eksperter og litteraturgjennomgang ble det etablert en formening om hva det norske markedet hadde mest erfaring med, derfor var det interessant å undersøke alternative systemer enn det som er vanlig i norsk byggeindustri. Det ble også prioritert å se på systemer bestående av forskjellige trematerialer og komponenter. For å kunne gjøre en god sammenligning var det essensielt at databladene/brosjyrene av produktene inneholdt tilstrekkelig mengde informasjon. Alle nødvendige beregninger ble utført i excel.

3.3 Intervju

Forskningsintervju ble gjennomført for å få en dybdekunnskap om problemstillingen, og få frem informantenes egne erfaringer rundt temaet. Formålet var å forstå byggenæringens vinkling, og det var ønskelig å undersøke normal bransjepraksis. Ved gjennomgang av dataen hentet fra litteraturstudiet var det mulig å undersøke om det var overensstemmelse med de faktiske erfaringene fra industrien. Intervjuene ble anvendt for å få en vinkling fra byggenæringen, og vurdere utviklingen i det norske markedet.

3.3.1 Forberedelse og utvalg av informanter

Teorigrunnlaget var utgangspunktet for utarbeidelsen av spørsmålene til informantene. Informanten er betegnelsen for intervjuobjektet. En intervjuguide ble skrevet i forkant for å holde relativt lik struktur på intervjuene. Spørsmålene var åpne for å få informantene i fri tale. Med et stort tema var det sannsynlig at samtalen kunne avspore fra oppgavens problemstilling, derfor var det lagt til rette for oppfølgingsspørsmål. Slik var det også mulig å få en bedre beskrivelse av interessante fenomen.

Det ble prioritert å finne gode informanter, og disse ble strategisk utvalgt på bakgrunn av erfaring og kunnskap om temaet. Etter å ha opprettet kontakt med relevante aktører innenfor byggeindustrien var det flere som sa seg villig til å intervjues. Informantene ble valgt på

bakgrunn av sine roller i norsk byggeindustri. Hovedsakelig ble det foretatt intervjuer med leverandører og produsenter av trebaserte dekkeelementer, men også rådgivende ingeniører med spesialkompetanse innenfor tre.

3.3.2 Gjennomføring av intervju

Før intervjuet tok plass hadde alle informantene blitt tilsendt et samtykkeskjema, med informasjon og formål for oppgaven, samt rettigheter informanten har i prosessen. Derfor var det naturlig å repetere denne informasjonen før start. Intervjuene ble tatt opp, for å kunne transkriberes i etterkant.

Intervjuguiden ble fulgt gjennom prosessen, men visse endringer ble lagt til etter hvordan informantene responderte. I noen situasjoner var det nødvendig å omformulere spørsmålene, eller legge til oppfølgingsspørsmål for å få en bedre beskrivelse. Det hendte også at informantene snakket mye på eget initiativ, og besvarte spørsmål som var ment i en senere anledning. Det var ønskelig å la informantene prate så mye som mulig upåvirket av intervjuer, derfor kunne spørsmålsrekkefølgen endres litt i lys av situasjonen. Informantene hadde forskjellige bakgrunner og innfallsvinkler, noe som formet hvert enkelt intervju. Imidlertid hadde alle en felles forståelse og engasjement rundt problemstillingen.

3.3.3 Databehandling

Intervjuene ble tatt opp og deretter transkribert. Dataen ble systematisert etter spørsmål, for å danne en oversikt over de forskjellige synsvinklene. Etter at alle intervjuene var gjennomført, ble intervjudataene kategorisert og analysert etter tema. Dersom flere av informantene uttrykte samstemte meninger, ble dette gitt større tyngde enn ved en enkelt informants synspunkt.

Det ble totalt gjennomført seks intervjuer som ble tatt opp og transkribert. Informantene gav gode beskrivelser av sine erfaringer. På bakgrunn av dataene fra intervjuene, og allerede eksisterende data samlet inn i litteraturstudien, ble det vurdert som tilfredsstillende mengde informasjon til oppgaven. Det ble ikke ansett som nødvendig å intervju flere fagpersoner for å få en bedre forståelse av problemstillingen.

Intervjuene er presentert som et eget underkapittel i resultatkapittelet. Der ble det valgt å fremstille de mest aktuelle temaene for å besvare problemstillingen og forskningsspørsmålene.

3.4 Validitet og reliabilitet

For at forskningsmetodene skal kunne gi troverdig kunnskap er det viktig at kravene og validitet og reliabilitet blir opprettholdt. Disse begrepene er definert i Kapittel 2.7.

Validiteten til litteraturstudiet ble kontrollert ved å hele tiden vurdere kvaliteten på dataen, og studiene de er hentet fra. Ved bruk av strukturerte søkestrategier legges klare kriterier til grunne, som både inkluderer og ekskluderer data. Det var også viktig å finne forskning som faktisk svarer på forskningsspørsmålet, og gir relevant informasjon. For å sikre validiteten til forskningsintervjuene ble det gjennomført en systematisk innsamling ved bruk av intervjuguide, og resultatene ble kategorisert og analysert. Informanter ble valgt på bakgrunn av jobb, stilling og erfaring, og det ble lagt vekt på fagkompetanse for å sikre god relevant data. Med forskjellige roller i industrien gav informantene et nyansert syn på temaet. Det var viktig å vurdere om deres ståsted hadde noe å si for resultatene.

I kapittel 3.2 beskrives metoden for datainnsamlingen i litteraturstudiet, og Søkematriksen i Tabell 3-1 er et verktøy for å finne fram til samme data benyttet i oppgaven. For å vurdere reliabiliteten ble det foretatt sammenligninger fra flere ulike kilder. Reliabiliteten i intervjuene var vanskeligere å vise, da intervjuer er veldig personavhengige. Et kvalitativt intervju er vanskelig å gjennomføre flere ganger, for så å sitte igjen med samme resultat. (Dalland, 2017) For å bidra til å sikre reliabiliteten ble intervjuguiden utformet og brukt for å systematisere og strukturere intervjuene. Alle informantene fikk de samme spørsmålene, og det var lite mulighet for forsker å påvirke resultatene. Opptak og transkribering bidro til korrekt sitering av informantenes uttalelser. Disse er prøvd gjenfortalt slik det ble lagt frem i intervjuene, for å få en presis fremstilling av data.

Ved analyse av intervjudataen var det aktuelt å ta i betraktning informantens erfaring og bakgrunn. Denne varierte, og uttalelsene kunne være vinklet etter hvilke produkter deres firma hadde mest erfaring med. For å unngå at det skulle oppstå en favorisering mot et spesifikt produkt ble det kartlagt på forhånd hvilke bakgrunn og erfaring informanten hadde, og hva firmaet produserte. Denne informasjonen ble tatt i betraktning ved databehandlingen, men er en tydelig begrensning i en slik intervjuopprosess. Inntrykket til intervjueren er at alle informantene hadde til hensikt å ha en objektiv tilnærming til problemstillingen og spørsmålene.

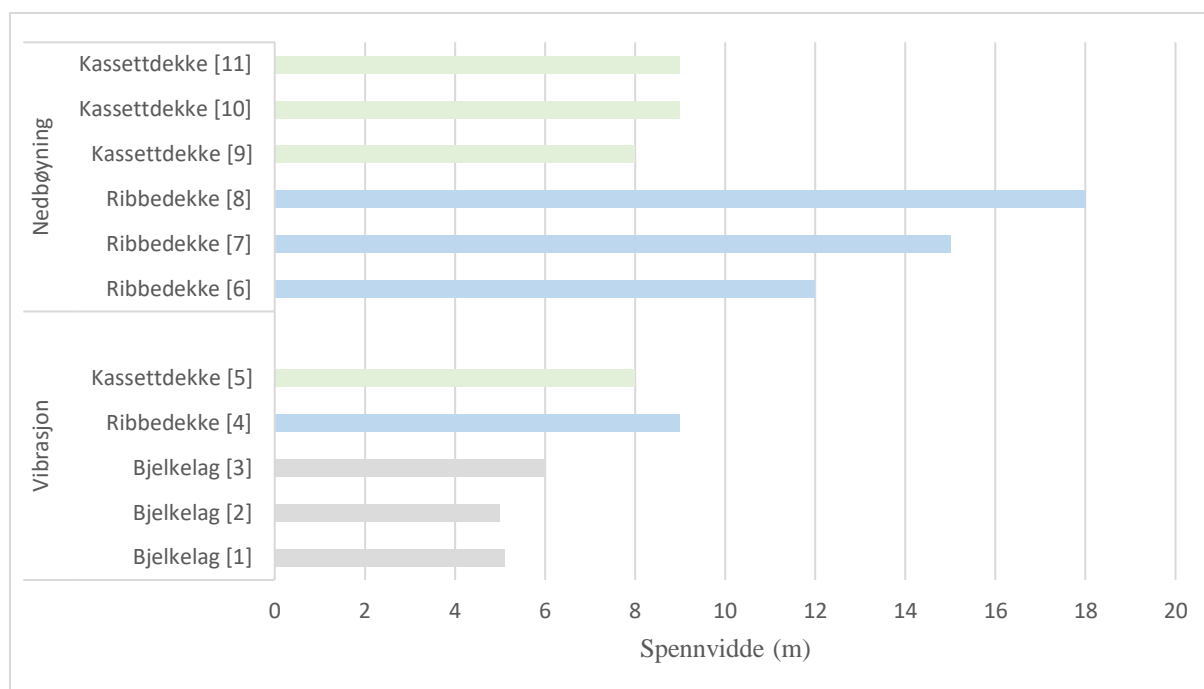
4 Resultater

Resultatkapittelet omfatter tre hoveddeler. Første del tar for seg forskning rundt langspente dekkesystemer, og omhandle temaer som informantene belyste, samt vanlige antakelser. Andre del er en presentasjon og sammenligning av forskjellige etasjeskillere fra kommersielle produsenter. Siste del er en oppsummering fra intervjuene gjennomført med fagfolk i den norske byggeindustrien.

4.1 State of the art

4.1.1 Langspente dekkesystemer og komfortkriterier

En studie av Bazli et al. (2022) tok for seg å skape et systematisk overblikk over forskning og status på langspente dekkesystemer i tre. Studien gir en forståelse av hvilke utfordringer og begrensinger systemene har. En del av forskningsartikkelen oppsummerte noen utvalgte studier av eksperimentell, numerisk eller analytisk art, med SLS som dimensjonerende faktor. Figur 4-1 viser en representasjon av disse resultatene, kategorisert etter typologi. Det ble utført forskjellige tester, hvor noen tok hensyn til vibrasjonskriterier, andre kun nedbøyning. Nedbøyningstestene bestod statisk nedbøyning under jevnt fordelt last, og 4 punkts bøyetester. Alle vibrasjonstestene ble gjennomført eksperimentelt, eller ved en eksperimentell og numerisk analyse. De dynamiske faktorene ble vurdert, som egenfrekvens, dempingsraten og modal masse. Figuren viser en klar forskjell i hvilke SLS kriterier som er lagt til grunne, der systemene kun testet for nedbøyning gir en gjennomsnittlig lenger spennvidde. Alle konstruksjonene fremstilt er fritt opplagte.



Figur 4-1 Spennvidder fra studier med SLS beregninger som underlag (Bazli et al., 2022). [1] (Weckendorf, 2009), [2] (Weckendorf et al., 2006), [3] (Soltis et al., 2002), [4] (Suárez-Riestra et al., 2019), [5] (Rijal, 2013), [6] (Otero-Chans et al., 2018), [7] (Estévez-Cimadevila, J et al., 2016), [8] (Estévez-Cimadevila, Javier et al., 2016), [9] (Zabihi et al., 2012), [10] (Lago et al., 2017), [11] (Granello et al., 2017)

Bazli et al. (2022) konkluderte med at mengden studier på langspente dekkesystemer i tre er svært begrenset, og anbefalte videre forskning på området for å innhente god og relevant data. Bruk av EWP'er i langspente systemer har stort potensiale, og kan utnyttes for å skape bærekraftige produkter med gode mekaniske egenskaper.

I 2013 ble det publisert en sammenligningsstudie av (Zhang et al.) som omhandlet forskjellene i vibrasjonskriteriene hos de europeiske landene. Det er fortsatt store forskjeller i de nasjonale anneksene, ettersom dimensjoneringsmetoder og konstruksjonsteknikker varierer. Resultatene indikerer at Finland er landet med de strengeste kravene, etterfulgt av Norge, Italia, Nederland og Østerrike. Danmark, Storbritannia og Irland var landene med mildest regelverk. Studien konkluderte med at vibrasjonskriteriene var for sprikende mellom de europeiske landene, og derfor må det arbeides med å komme til et felles standpunkt på hva som er akseptable nivåer.

4.1.2 Kostnader

Det var delte meninger blant informantene hvorvidt aktørene lot seg påvirke av kostnader. Noen valgte bort tre på grunnlag av pris, andre så på trekonstruksjoner som økonomisk gunstige. Derfor er det interessant å se hva forskningen sier om temaet.

En sammenligningsstudie fra 2019 (Hassan et al.) tok for seg den økonomiske og miljømessige differansen mellom et 5 lags CLT element og et betongdekke. Figur 4-2 viser kostnadsforskjellene på systemene. Studien er utført med hensyn til den svenske byggebransjen, derav viser svensk krone per meter.

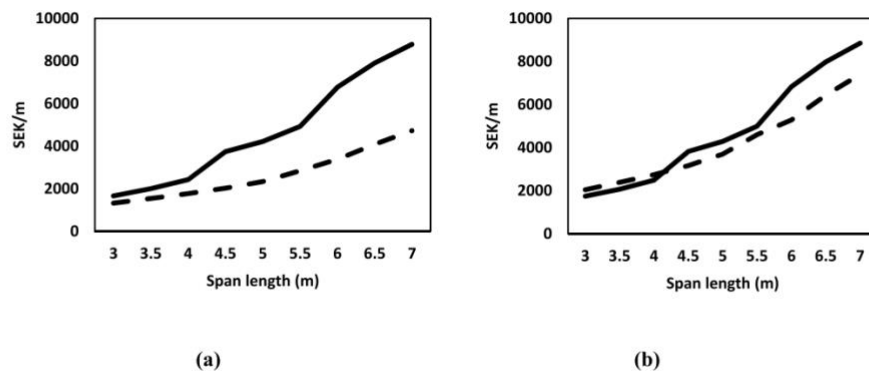


Fig. 6. Costs of the floor constructions for category A: (a) Estimated material costs, (b) Estimated ready-to-assemble costs. SEK is Swedish kroner per strip of slab 1 m wide. ■ ■ ■, Concrete slab; —, CLT element.

Figur 4-2 Kostnader knyttet til CLT element og betongdekke, hentet fra (Hassan et al., 2019)

Studien konkluderte med at det eksisterer en høyere materialkostnad for CLT-elementet, men at «ready-to-assemble» estimatet er relativt likt for produktene. Det vil si at CLT-elementet er konkurransedyktig opp til 7 m spenn, når monteringskostnaden medberegnes. Etter denne lengden er det vanskelig for CLT-elementene å opprettholde komfortkriteriene uten å øke tykkelsen. Konklusjonen poengterte også at den lette egenvekten til CLT resulterte i et billigere fundament. Et nøyaktig prisestimat var vanskelig å gjennomføre da hvert prosjekt har mange forskjellige variabler å ta hensyn til.

NTNU og SINTEF var også del av en studie, (Nesheim et al., 2022), som testet 14 forskjellige langspente dekkssystemer for å finne det mest økonomiske og optimale systemet. Systemene var bygd opp som kassetdekker, bestående av ulike kombinasjoner EWP-er, hvor limtre og gran-LVL ble vurdert best. Imidlertid konkluderte studien med at for å øke effektiviteten over 9,4 m må kapasiteten til flensen forbedres, noe som øker kostnaden betydelig. Kostnad og mengden bundet karbon avhenger av materialvolum, og på generelt grunnlag øker kostnaden med dybden på systemet og økende spennvidde.

Studien av Nesheim et al. (2022) presiserte viktigheten av å finne gode løsninger for at byggebransjen skal akseptere denne type konstruksjonselement. Dette gjøres ved å lage

industrialiserte konsepter med gode tekniske egenskaper, minimal økonomisk risiko, og tilgjengeliggjøre informasjon og dokumentasjon på området.

4.1.3 Brann og lyd

Brann

Det er et begrenset antall studier som fokuserer spesifikt på brannegenskaper til langspente dekkesystemer i tre. Graden av forskning øker, spesielt på CLT, men fullskala eksperimenter det mangel på. Dette er med på å bidra til større usikkerhet, å gjør prosessen med å sette opp fleretasjes trehus vanskelig. (Bazli et al., 2022) Med dagens kompetanse, både teknisk og strukturelt, er det fullt mulig å sette opp brannsikre trebygg. (Östman et al., 2010)

En studie utført av Kleinhenz et al. (2021) undersøkte hvordan ribbepaneller utviklet av Stora Enso klarte seg i en eksperimentell branntest. Dekket bestod av 3-lags CLT og limtreribber. Studien konkluderte med at den strukturelle oppførselen til tredekket er undervurdert på grunn holdningene rundt effektiv bredde til elementet. Formen til elementene viste seg å ha en positiv virkning på forkullingsatferden, og det gjenværende tverrsnittet er større enn antatt. I doktoravhandlingen til Kleinhenz (2022) presenterte resultatene at paneler med både T-tverrsnitt og boks-tverrsnitt håndterte 90 minutter, og til tider 120 minutter brannmotstand.

Det ble også undersøkt et lignende panel i LVL, i en studie utført av O'Neill et al. (2012). Reduksjon av tverrsnitt som følge av forkullingen førte til svikt. Gjennomsnittlig forkullingshastigheten lå på 0,72 mm/min, som er tilnærmet likt kravet beskrevet i Eurokode 5 på 0,7 mm/min. Eksperimentelle tester gjennomført av Mensis (2012) understreker de gode brannegenskapene til LVL og CLT. Spesielt var det gode resultater på de større prøvene av CLT som gjør seg godt egnet for strukturelle formål i et byggeprosjekt.

Bazil et al. (2022) oppgir en oversikt over utvalgte studier av brannegenskaper til langspente dekkesystemer. Her hadde LVL panelet en brannmotstand på ca. 30 min, kontra CLT elementene på 60-120 min. Det blir presisert at for å minske barrieren ved å bruke disse systemene i fleretasjes trehus må videre forskning prioriteres, både eksperimentelle og numeriske resultater må offentliggjøres for å dempe usikkerheten.

Lyd

Mange av informantene uttalte bekymring rundt akustikkegenskapene til tredekker dimensjonert for lengre spenn, og denne oppfatningen deler de med andre forskere. Å forutsi akustisk oppførsel til bjelkelag er vanskelig, mye grunnet hvordan elementet festes. De forskjellige faktorene som påvirker festemulighetene varierer betraktelig, og dette påvirker flanketransmisjonen. (Caniato et al., 2017)

Forskningen fokuserer først og fremst på reduksjon av trinnlydsnivået og isolasjon av lavfrekvente lyder, flanketransmisjon, og hvordan dette påvirker mennesker. (Bazli et al., 2022) I likhet med vibrasjonsproblematikken er det en pågående diskusjon mellom forskere vedrørende hvilken metode som egner seg best for å undersøke menneskelig påvirkning. (Caniato et al., 2017)

Martins et al. (2015) gjennomførte en eksperimentell studie hvor et tradisjonelt bjelkelag i limtre ble vurdert opp mot hybriddekker av tre og betong. Effekten av nedsenket himling ble også vurdert. Dekkenes trinnlydnivå $L_{n,w}$ (dB), og luftlydisolasjon R_w (dB), ble bedømt, hvor tredekket kom klart dårligst ut. Resultatene indikerte at nedsenket himling var nødvendig for å oppfylle kravene uavhengig system.

En studie av Homb og Conta (2022) undersøkte akustikkegenskapene til et kassettdække bestående av LVL flens og limtresteg. Med diverse lydisolerende tiltak er det gjennomførbart å oppnå kravene med et slikt type gulv. Ved hjelp av velkjente formler kan lydegenskapene til gulvet anslås, fordi resultatene overensstemmer med målingene. Resonansfrekvensen til systemet er en viktig parameter, som er avhengig av massen til basisdekket og det flytende gulvet, samt stivheten. Studiet konkluderte med at lydegenskapene gir et solid grunnlag for å fortsette utviklingen av kassetelementer til bruk i både kontorbygg, boligbygg og utdanningsinstitusjoner.

4.2 Kommersielle etasjeskillere fra etablerte produsenter

I dette kapittelet blir det presentert et utvalg av tilgjengelige trebaserte etasjeskillere dimensjonert for lange spenn fra et utvalg produsenter. Dette er for å få en forståelse av hva som faktisk eksisterer på markedet. Resultatene fremstilt i kapittelet er hentet fra datablader og informasjon publisert hos produsentene.

Det er det valgt å fokusere på I-bjelke og gitterbjelker i denne fremstillingen, da disse kan anses som bjelkelag dimensjonert for lange spenn. Tabell 4-1 viser en oversikt over de utvalgte langspente systemene. Kolonnen til høyre viser de respektive landene systemene er dimensjonert for.

Tabell 4-1 Produsenter og produkter av dekkeelementer dimensjonert for lange spenn

Produktnavn	Produsent	System	Dimensjoneringskriterier (land)
Finnframe 12 Standard	Metsä Wood UK	Bjelkelag	Storbritannia
Finnframe 12+	Metsä Wood UK	Bjelkelag	Storbritannia
Hunton I-bjelken	Hunton	Bjelkelag	Norge
Gitterbjelke	NTF	Bjelkelag	Norge
KLH®-CLT	KLH Massivholz GmbH	Platform	Østerrike
Splitkon krysslimt tre	Splitkon	Platform	Norge
Kantstilt Element	Norsk massivtre	Platform	Norge
Kerto-Ripa®	Metsä Wood FI	Ribbepanel	Finland
CLT rib panel	Stora Enso	Ribbepanel	Østerrike
KLH® rib elements	KLH Massivholz GmbH	Ribbepanel	Østerrike
Lignatur Box Element	Lignatur	Bokselement	Sveits
LFE silence 12	Lignatur	Bokselement	Sveits
Kerto-Ripa®	Metsä Wood FI	Bokselement	Finland

Flere av disse aktørene er selskap som produserer internasjonalt, og vil derfor tilpasse seg de nasjonale standardene til landene de opererer i. Hvilke dimensjoneringskriterier som er tatt utgangspunkt i, er beskrevet i Kapittel 4.2.1.

4.2.1 Dimensjoneringskriterier

SLS kravene systemene er dimensjonert etter er vist i Tabell 4-2. De norske leverandørene dimensjonerer etter SINTEF sine komfortkriterier beskrevet i Kapittel 2.4.5.

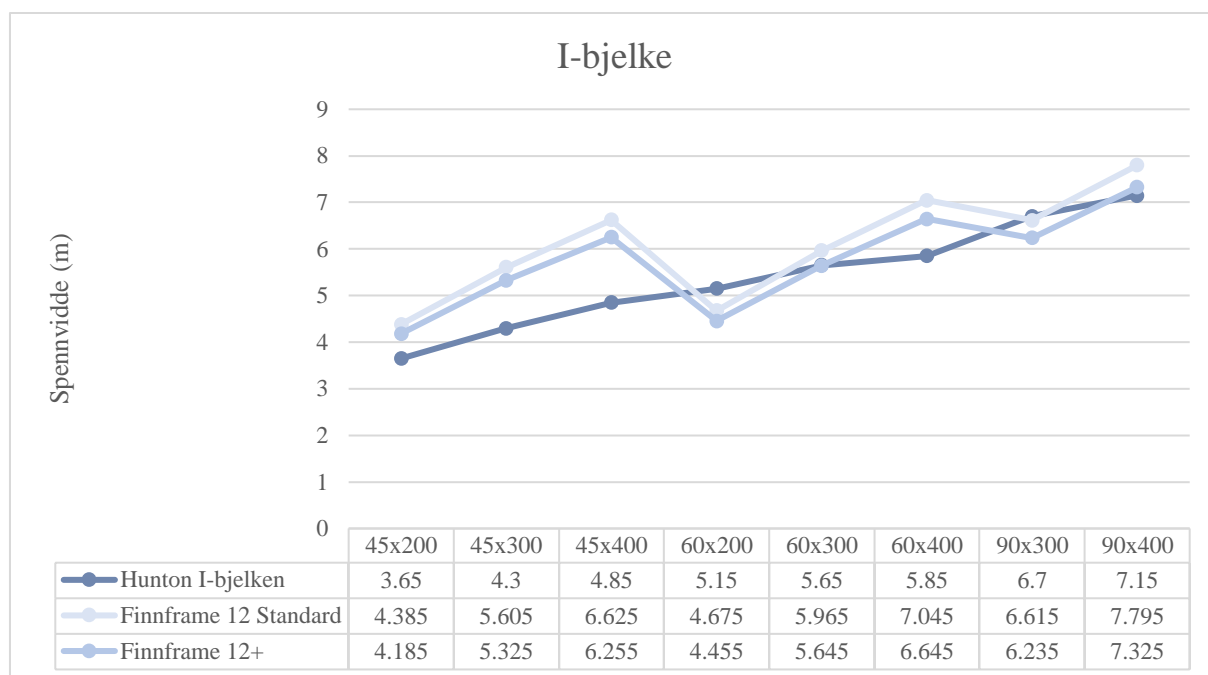
Tabell 4-2 Designkriterier fra internasjonale produsenter

Kilde	Nedbøyning w_{net}/f_{in}	Eigenfrekvens	Vibrasjonsakselerasjon
(KLH, 2019) (Stora Enso, 2020)	$\leq l/250$	$f_{1,min} \geq 4,5 \text{ Hz}$ $f_1 \geq f_{gr} = 6 \text{ Hz}$	Når: $f_{1,min} \leq f_1 \leq f_{gr}$ $a_{rms} \leq a_{gr} = 0,10 \text{ m/s}^2$
(Lignatur, 2014)	$\leq l/350$ $F = 1 \text{ kN}$: $w \leq 1,15 \text{ mm}$	$f_1 \geq 8 \text{ Hz}$ eller $8 \text{ Hz} > f_1 \geq 5,1 \text{ Hz}$	Når: $5,1 \text{ Hz} \leq f_1 < 8 \text{ Hz}$ $a_{rms} = 0,2 \text{ m/s}^2$
(Hakkarainen et al., 2020) Metsä Wood FI	$\leq l/300$ $F = 1 \text{ kN}$: $w \leq 0,8 \text{ mm}$	$f_1 \geq 8 \text{ Hz}$	Presisert i FI NA for EN1995-1-1
(Metsä Wood, 2013a) Metsä Wood UK	$\leq l/250$ $F = 1 \text{ kN}$: $w \leq 1,75 \text{ mm}$	$f_1 \geq 8 \text{ Hz}$	Presisert i NA 2.7 av BS EN 1995-1-1

Alle systemene tar utgangspunkt i Eurokode 5. KLH og Stora Enso har begge dimensjonert etter Østerriksk nasjonalt tillegg, og er derfor like. Sammen med nedbøyningskravet definerer noen aktører maksimal nedbøyning ved 1 kN punktlast. Denne setter et tak på vibrasjonskriteriet definert av Hu et al. (2001), også beskrevet i Kapittel 2.4.5. I LVL håndboka publisert av forfattere fra blant annet Metsä Wood og Stora Enso (Hakkarainen et al., 2020), blir det poengtert at en generell anbefaling er å prosjektere dekkene med $f_1 \geq 8 \text{ Hz}$, da det er vanskelig å oppfylle akselerasjonskravene uten å øke vekten til systemet betraktelig.

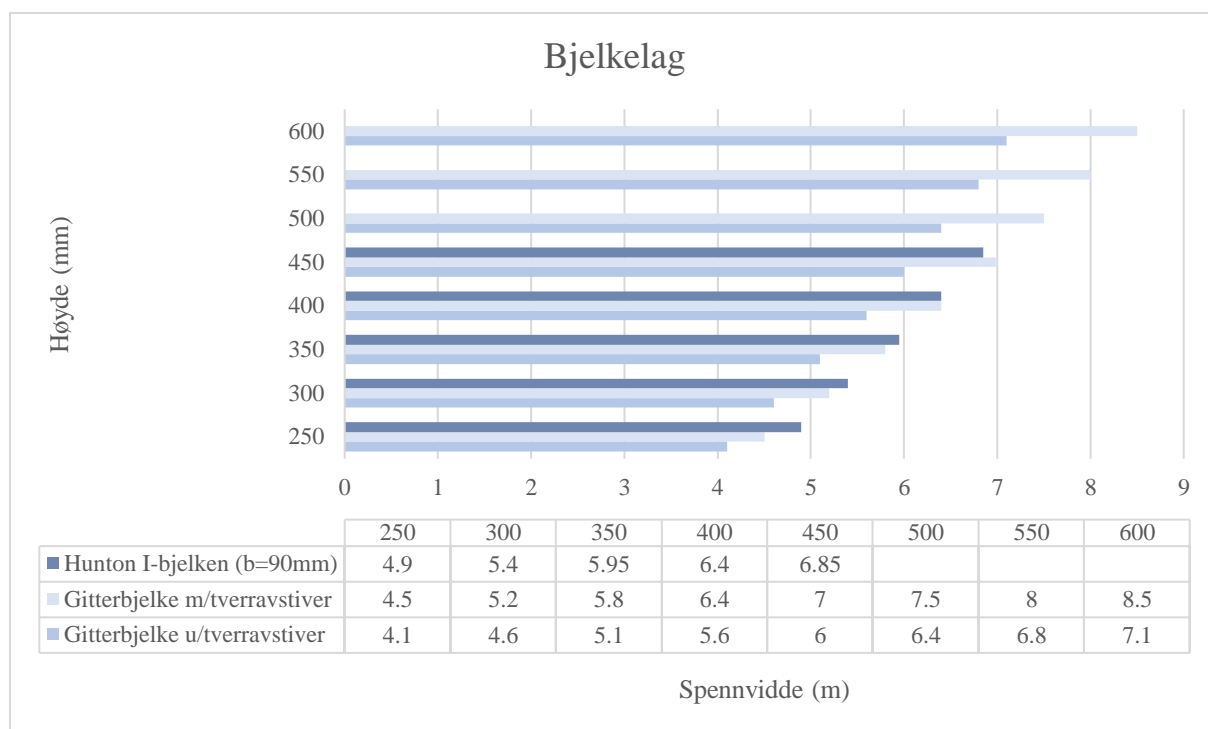
4.2.2 Spennlengder: Elementer av samme typologi

Figur 4-3 viser en sammenligning av I-bjelkene med 300 mm bjelkeavstand. (Hunton, 2015; Metsä Wood, 2013a) Hunton er dimensjonert etter det norske regelverket og komfortkriteriene, og Finnjoist etter Eurokode 5 og britisk nasjonalt tillegg. To systemer av Finnjoist er fremstilt, Finnframe 12 standard, og Finnframe 12+. Finnframe 12+ har den strengeste vibrasjonskontrollen av systemene, og følger kriteriene vist i Tabell 4-2. Finnframe 12 standard er dimensjonert etter britiske byggeforskrifter. Egenlasten påført ligger mellom 0,4 – 0,6 kN/m². Påført nyttelast er 3,0 kN/m² for Hunton og 1,5 kN/m² for Finnjoist. Finnframe systemene har i gjennomsnitt litt bedre spennvidde enn Hunton. Grunnlaget for beregningene utgjør en dimensjoneringsforskjell som er verdt å bemerke seg.



Figur 4-3 Spennvidder for I-bjelker av Finnjoist (Metsä Wood UK) og Hunton

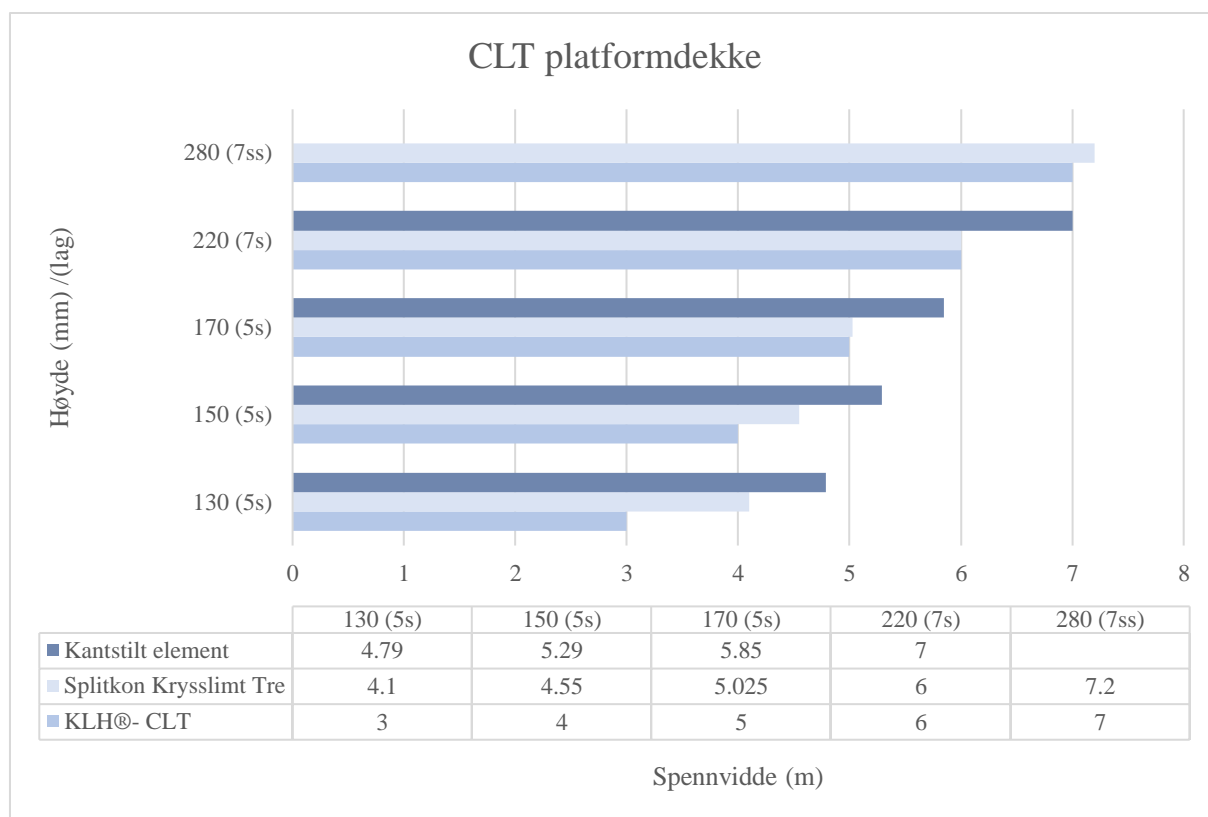
I-bjelken fra Hunton sammenlignet med Gitterbjelken er vist i Figur 4-4. (Hunton, 2015; SINTEF Byggforsk, 2007) Avstand mellom bjelkene er 600 mm. Gitterbjelken når et lengre spenn, men har en større høyde enn I-bjelken. Figuren viser også at I-bjelken er mer effektiv ved lavere dimensjon. Dimensjoneringsgrunnlaget er likt for begge systemene, basert på SINTEF komfortkriterier.



Figur 4-4 I-bjelke sammenlignet med Gitterbjelker

Figur 4-5 viser spennviddene til systemene med platformtypologi. (KLH, 2020; SINTEF Teknisk Godkjenning, 2019) Dekket til Splitkon er dimensjonert etter komfortkriteriene, og KLH etter østerriksk nasjonalt tillegg. KLH sitt dekke er utsatt for $0,5 \text{ kN/m}^2$ mer egenlast i tillegg til vekten på elementet.

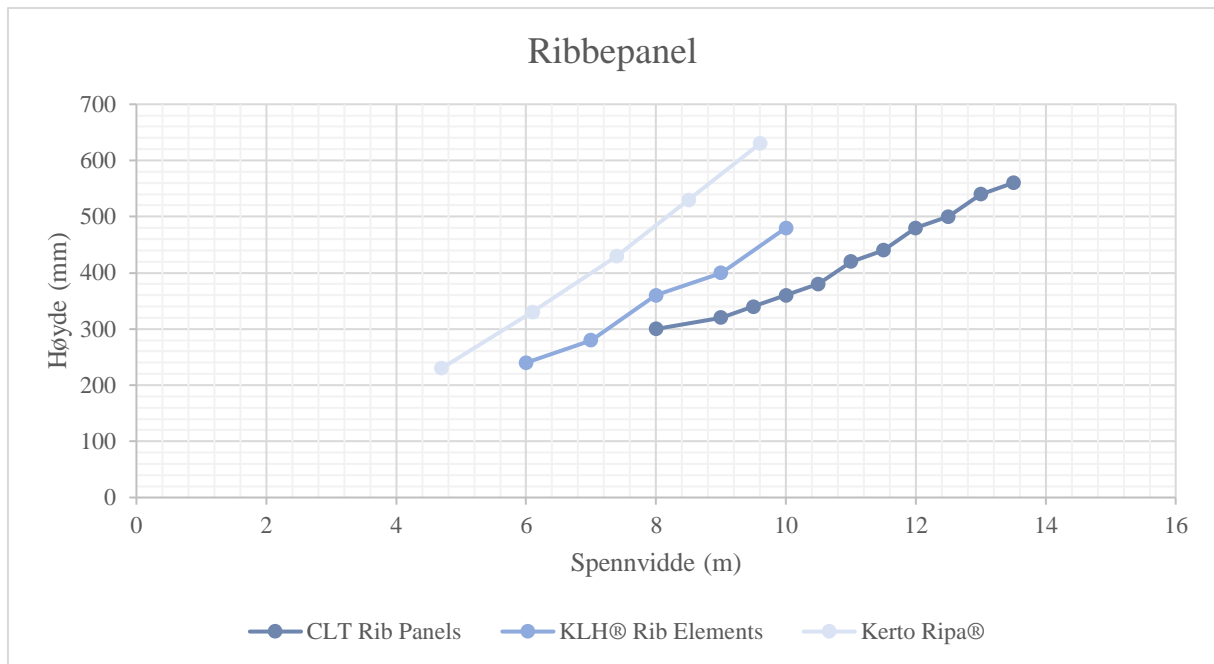
Norsk Massivtre sitt kantstilt element er også fremstilt i Figur 4-5, og har samme dimensjoneringsgrunnlag som Splitkon. (SINTEF Teknisk Godkjenning, 2020) Spennviddetabellen viser at Kantstilt Massivtre egner seg bedre for lengre spenn, og har en høyere maksimal nyttelast enn de tradisjonelle massivtredekkene. Med en mindre tykkelse oppnår kantstilt massivtre samme spennvidde som de største CLT elementene.



Figur 4-5 Spennvidder (m) for Splitkon, KLH og Kantstilt element fra Norsk Massivtre.

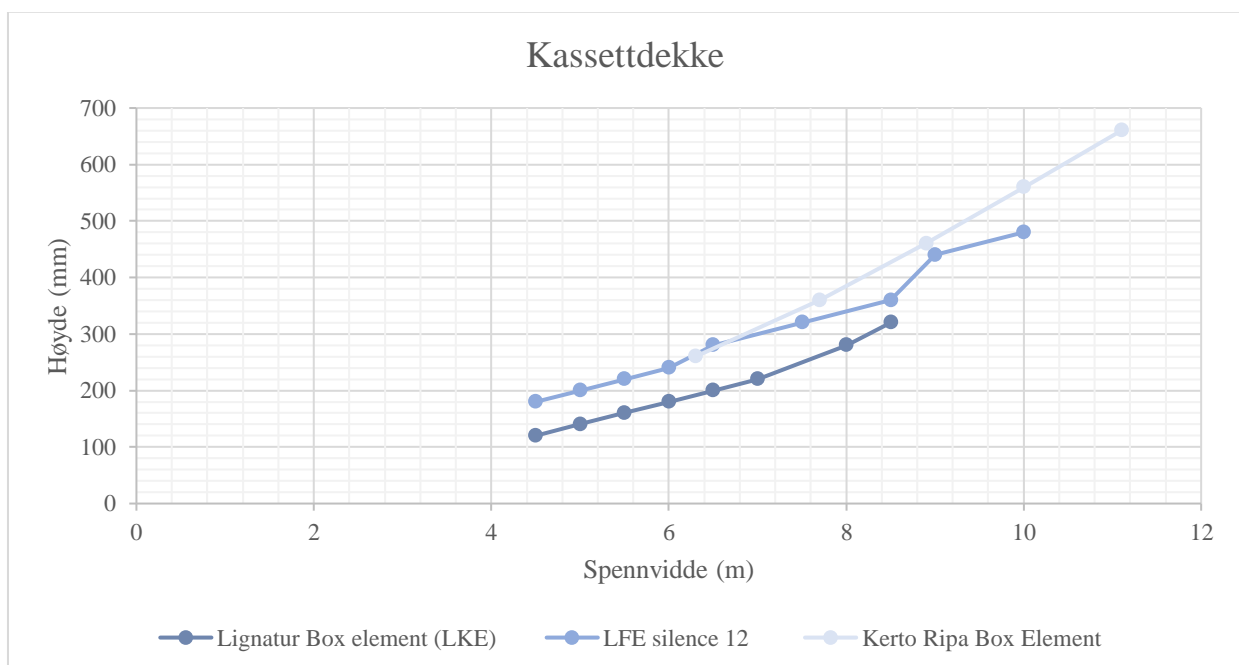
Figur 4-6 presenterer ribbepanelene (KLH, 2019; Metsä Wood, 2019; Stora Enso, 2020) og Figur 4-7 kassettdekkene. (Lignatur, 2014; Metsä Wood, 2019) Elementene er dimensjonert etter tilnærmet samme last, med rundt 2 – 2,5 kN/m² nyttelast.

Kerto Ripa systemet fra Metsä består av LVL, de to andre ribbesystemene er satt sammen av CLT flens og limtre steg. Det er en signifikant forskjell mellom to relativt like systemer, der Stora Enso kan spenne nesten 2 meter lenger med samme dimensjon. Det er samme avstand mellom ribbene på 600 mm. Forskjellen på produktene ligger i toppflensen, der Stora Enso har 5 lags CLT, og KLH har 3 lag. De er begge dimensjonert etter Eurokode 5 med Østerriksk Nasjonalt tillegg.



Figur 4-6 Spennvidder for Ribbeelementer fra Stora Enso, KLH og Metsä Wood

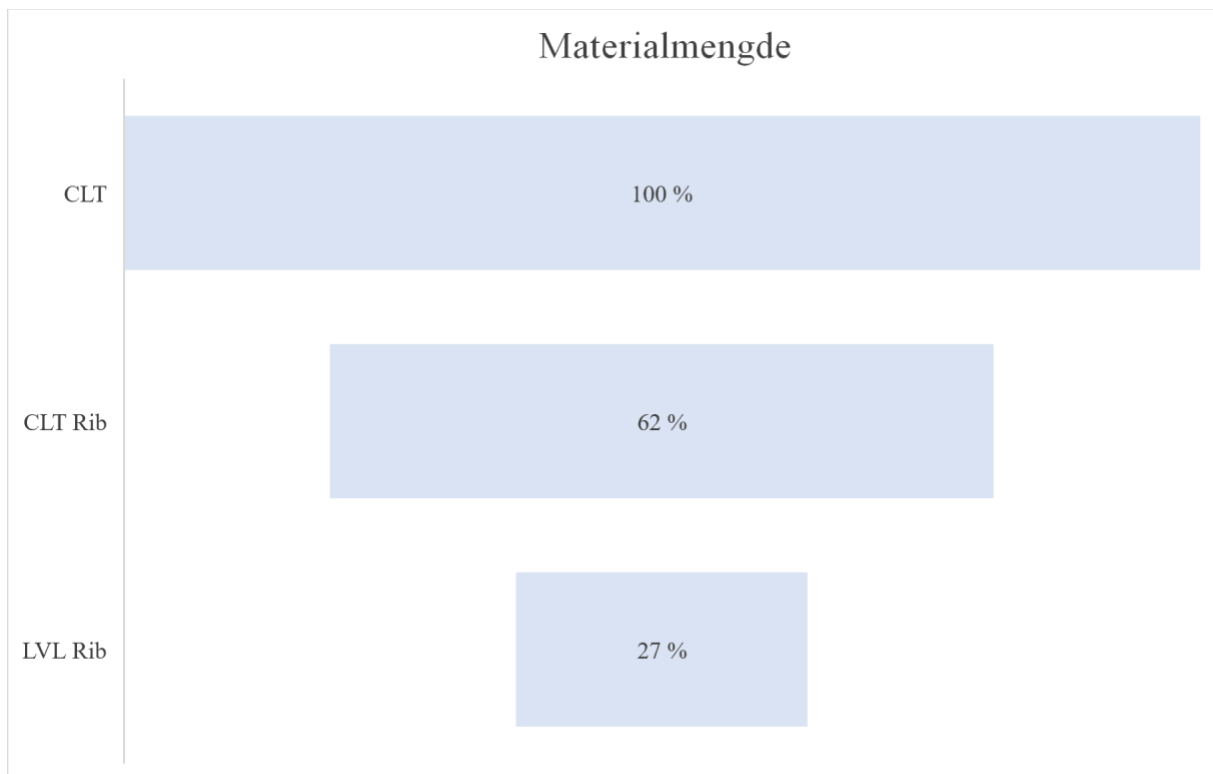
Det er presentert to varianter fra Lignatur, et rent bokselement, og et tyngre element dimensjonert for å ha bedre akustiske egenskaper. (Lignatur, 2014) Nyttelasten er lik, ca. 2,0 kN/m², men LFE silence 12 har en mye høyere egenlast. Figur 4-7 viser at Kerto Ripa systemet må ha en høyere dimensjon for å ha samme effektivitet som Lignaturdekkene.



Figur 4-7 Spennvidder for kassettdekkene til Lignatur og Metsä Wood

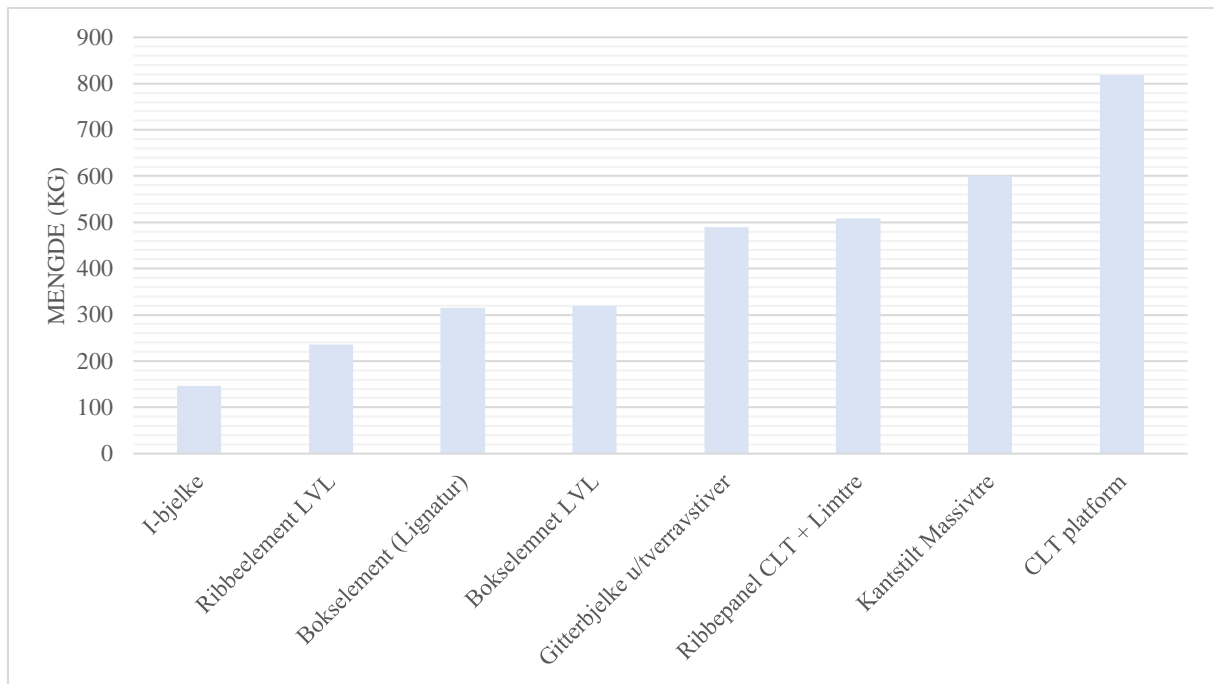
4.2.3 Materialmengder

Informantene beskrev store kostnader knyttet til massivtreelementer over lengre spenn fordi tykkelsen øker med lengden. Figur 4-8 viser en sammenligning av tre dekkessystem som spenner 8 m i et boligbygg. (Stora Enso, 2022) Det er mye materiale å spare på å bruke andre konstruksjoner, som er både en kostnadmessig og miljømessig fordel. Her er det mulig å spare opp mot 70% av materialmengden ved å velge andre alternativer.



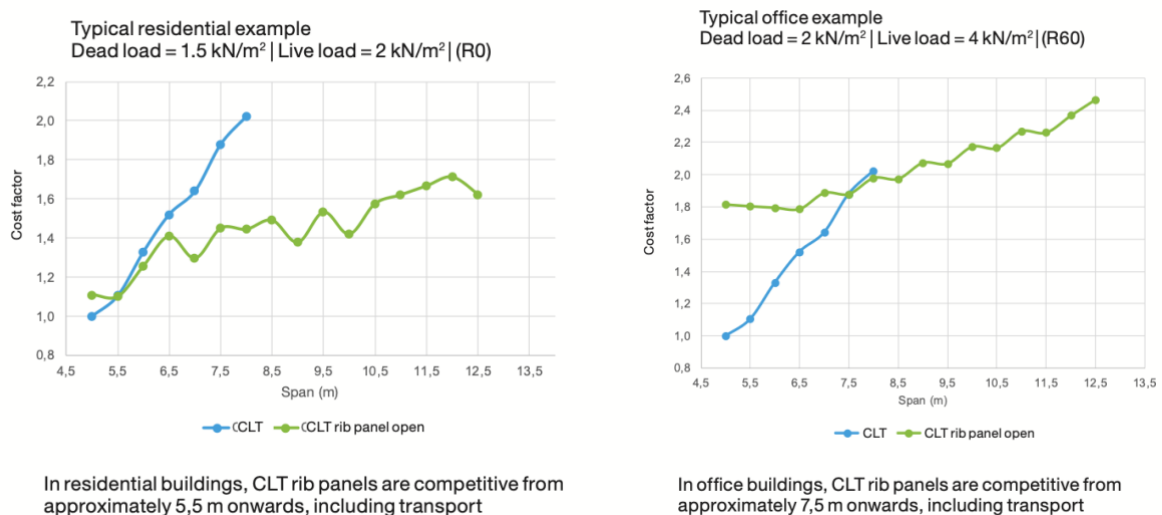
Figur 4-8 Sammenligning av materialmengder, data hentet fra (Stora Enso, 2022)

Et utvalg av systemene presentert i oppgaven er samlet etter materialmengde i Figur 4-9. Data hentet fra produsentene legger grunnlaget for beregningene, og tar utgangspunkt i et system med lengde 7 m, dimensjonert etter brukskategori A. Beregningene har det samme forholdet som Stora Enso sine anslag vist i Figur 4-8.



Figur 4-9 Materiemengder for et utvalg systemer

Stora Enso, som produserer både CLT platformdekker og Ribbepanel, har utført en sammenligning i kostnad og spennlengder for de to systemene. Sammenligningen er vist i Figur 4-10. For boligbygg er ribbedekkerne konkurransedyktige fra 5,5 m, og fra ca. 7,5 m i kontorbygg.



Figur 4-10 Kostnadsfaktor kontra spennlegde, hentet fra (Stora Enso, 2020)

4.3 Intervjuer

Det ble gjennomført forskningsintervjuer med hensikt å kartlegge bransjens holdninger og erfaringer rundt bruken av trebaserte etasjeskillere, og få et innblikk i utviklingen på det norske markedet. Målet var å innhente informasjon som kunne være nyttig for å besvare forskningsspørsmålene, samt supplere på den dataen som allerede var innhentet i litteraturstudiet. Resultatene fra intervjuene er presentert i dette kapittelet.

4.3.1 Holdning til bruk av tre som konstruksjonsmateriale.

Den innledende delen av spørsmålene hadde til hensikt å fremme byggebransjen sin holdning til tre som konstruksjonsmateriale, og belyse hvilke utfordringer som er dagsaktuelle. Dette var for å få en innledende kjennskap til informantens kunnskap og erfaring, og lage et grunnlag for oppgaven.

At det er en bransje i endring med en opplevelse av økt etterspørsel er det ingen tvil om, mye styrt av det grønne skiftet. Alle informantene har en felles beskrivelse av en mer positiv holdning nå enn før. Stadig flere aktører er interesserte i å benytte tre. Det blir beskrevet at prosessen for å nå dagens utvikling har tatt tid, og at det fortsatt er en vei å gå.

«Byggebransjen er i Norge, og de fleste andre land, konservativ. Det tar tid å få gjennomført endringer og byggemetoder.» - INF 6

Noen aktører er fortsatt skeptisk til bruk av tre i større prosjekter. Forklaringene på hvorfor skepsisen oppstår er mye grunnet usikkerheten knyttet til lyd, brann, og at det er et biologisk nedbrytbart materiale. Det eksisterer også en oppfatning om at det er uøkonomisk å bygge med tre. Her er det delte meninger blant informantene, hvor noen bemerket utfordringer som måtte løses, andre anså det mer som et kompetanserelatert problem.

Det er en gjenganger at proteksjonisme og politikk bidrar til usikkerhet. Både mellom de ulike bransjeaktørene, men også innad i treindustrien. INF 1 oppfatter treindustrien som splittet og med en svakere bransjeorganisasjon enn konkurrentene. Dette påpeker også INF 4 i følgende sitat:

«Det blir jo diskutert at vi konkurrer mot stål og betong, men mange ganger har jeg følelsen av at det er en større konkurranse internt i bransjen» - INF 4

Det er naturlig at hver enkelt aktør har fokus på å fremme sine egne produkter, men dette kan ha negative konsekvenser for å bygge en helhetlig industri. Betongnæringens kritiske tilnærming til akustikk og brannsikkerhet i større trebebyggelse resulterer i mer usikkerhet. Særlig betongforeningene bidrar til å spre denne ideen for å fremme sin egen bransje og selge egne produkter. Tre kan bli som «noe eget», og ikke likestilt med de tradisjonelle byggematerialene.

Noen informanter påpeker også et stort fokusområde rettet mot massivtre. Det kan fremstå som en felles oppfatning i industrien at store høye trehus tilsvarer massivtrebygg.

«Mange av de prosjektene vi er i som er et limtre søyle/bjelke system og med massivtredekker, så blir det omtalt som et massivtreprosjekt. Så massivtre er liksom mote også da.» - INF2

Informantene fremhever dette som en utfordring, da det ikke optimaliserer bruken tilstrekkelig, som fører til at de mest effektive systemene blir oversett. At det blir fremmet riktig bruk av tre, og rett produkt på rett sted er en fellesnevner. Massivtre er et produkt som bruker store mengder tre, så ved å planlegge smart, kan materialmengden reduseres.

Informantene ble spurt om de hadde noen forslag til hvordan bransjen kan bli enda mer trebasert. INF 1 uttaler det er nødvendig for bransjen å samles ved å etablere en sterkere bransjeorganisasjon med bedre standardisering og klare krav. Dette er INF 2 også inne på, at teknologisk utvikling er sentralt for mer effektive og økonomiske løsninger. INF 5 nevner spesielt pris som en avgjørende detalj. Tre-elementene må kunne konkurrere på pris, samt være gode robuste løsninger. INF 4 beskriver viktigheten av å få fram gode argumenter for brann og lyd i en tidlig fase av prosjektet, slik at all usikkerhet blir lagt dødt. For at alt dette skal være gjennomførbart så er INF 6 sine forslag relevante, nemlig kompetanseheving, i både skole og bransje.

4.3.2 Trebaserte dekkssystem

Informantene fikk flere spørsmål rettet spesifikt mot trebaserte dekkssystemer. Temaene var fordeler og utfordringer med systemene, konkurransedyktighet, og hvilke elementer de mente egnet seg best i større trekonstruksjoner. Problemstillingen engasjerte, mye fordi det eksisterer et stort potensial på området. INF 6 viser til at store deler av volumet til en konstruksjon er lokalisert i dekkene, så tiltak på området vil ha stor klimamessig effekt. INF 5 er også positiv til mer forskning på området, og uttalte følgende:

«Jeg vil bare motivere til å jobbe mer med dette her, for som sagt er det en viktig del av et stort marked for etasjeskillere. Det er grunn til å jobbe grundig, og gjerne med ganske åpne sanser mot hva man kan komme frem til. Men at det er riktig å bruke tre i etasjeskillere, det tror jeg. Her er det absolutt et riktig bruksområde for tre. Stort sett så er det til og med tørt område, så det er veldig lite fuktproblematikk i etasjeskillere. Du kan nesten ikke finne noe bedre sted å putte inn tre.» - INF 5

Tabell 4-3 inneholder en rekke argumenter som både taler for og imot bruk av trebaserte etasjeskillere. Selv om informantene generelt sett mener at materialet er egnet for slike systemer, er det fortsatt noen utfordringer som må løses. Det er også litt blandet oppfatning av i hvilken grad disse utfordringene er betydelige.

Tabell 4-3 Utfordringer og fordeler ved bruk av trebaserte etasjeskillere

Informant	Fordeler	Utfordringer
1	<ul style="list-style-type: none"> - Lav vekt - Høy fleksibilitet - Mulighet til å skjule installasjoner 	<ul style="list-style-type: none"> - Brann og lyd, for det meste forårsaket av kompetanse
2	<ul style="list-style-type: none"> - Ryddig arbeidsplass - Hurtig montasje - Estetisk pent - Lett byggesystem - Ved riktig prosjektering kan det bli billig. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vibrasjoner - Vanskelig å gjennomføre ved dårlig prosjektering, lite rom for justering på byggeplass. - Uklart regelverk og dårlig standardisering.
3	<ul style="list-style-type: none"> - Godt klima i bygget, god lukt - Lett å håndtere - Mulighet til å skjule installasjoner 	<ul style="list-style-type: none"> - Begrensinger på spennvidde. - Prosjekteringen er dårlig gjennomført.
4	<ul style="list-style-type: none"> - Lav vekt 	<ul style="list-style-type: none"> - Omprosjektering fra stål/betong, fungerer dårlig - Dårlig omdømme for lyd og brann
5	<ul style="list-style-type: none"> - Tørt område, egner seg godt for bruk av tre 	<ul style="list-style-type: none"> - Lyd, grunnet lett konstruksjon. - Komfortkravene
6	<ul style="list-style-type: none"> - Lav vekt 	<ul style="list-style-type: none"> - Stivhet og vibrasjoner

Utenom den åpenbare klimaeffekten, er det lav vekt og lett byggesystem som utmerker seg som en klar fordel. Det kan være steder det er vanskelig å fundamentere, og det kreves lettere bæresystemer. Elementene er lette å håndtere med høy fleksibilitet, noe som leder til en hurtig montasje og en ren byggeplass. Både informantene og andre fagpersoner som har bidratt til oppgaven har nevner dette som veldig positive ringvirkninger. INF 1 og INF 3 bemerker også muligheten for å skjule installasjoner inne i dekkeelementene, spesielt bjelkelagselementene. Dette skiller seg fra betongdekker der det brukes nedsenket himling.

Lyd og vibrasjoner er de mest nevnte utfordringene, spesielt med tanke på å spenne lengre dekkssystemer. INF 5 uttaler at dette er to interesser som møter hverandre. Vibrasjon, som er knyttet til bæreevne og statikk, krever andre løsninger sammenlignet med lydproblematikken. Lydrådgiverne foretrekker at minst mulig henger sammen, og at det skal kunne fraktes og monteres på byggeplass. Statikerne er mer opptatt av at elementene skal være sammenkoblede systemer. INF 2 antyder også at grensesnittet mellom RIB og RIA kan virke litt uklart med tanke på vibrasjonsberegninger. Med dagens ansvarsfordeling definert av RIF (2021) det mulig å tolke det slik at ansvaret for vibrasjonskriteriene ligger hos lydrådgiveren. INF 2 understreker videre at det kan oppfattes som vanskelig å få meningsfull informasjon ut av dem når det gjelder opplevde vibrasjoner på gulvet.

En annen utfordring ligger i andel tre som benyttes. Lange spennlengder i et bygg presser høyden på systemet, noe som kan være problematisk både på grunn av materialemengde, men også fordi gesimshøyden i prosjektet er låst. INF 3 bemerker dette som en problematikk, spesielt i de store byene hvor det finnes strenge reguleringer.

«Vibrasjoner, det er den største utfordringen. Det er lett, og da trenger du høyde. Hvis du har høyde med massivtre, så betyr det at det blir tykt. Når det blir tykt så bruker vi for mye materiale, og da blir det dyrt». – INF 2

Det eksisterer løsninger uten å øke høyden til elementet drastisk, og INF 2 presiserer dette. Kassettdækker og ribbedækker utnytter høyden til systemet, uten å øke materialemengden. Å få inn gode leverandører som lager industrialiserte løsninger er sentralt. INF 1 bemerker fordelen ved at leverandørene tar på seg en større del av den økonomiske risikoen ved å levere med en høyere ferdighetsgrad. Informanten fortsetter å uttale at prefab er fremtiden, og at entreprenørene vil kjøpe prefab for å redusere sin egen risiko. Dette er virkemidler som kan bidra til å øke tilliten til produktene.

INF 1 og INF 4 nevner også brann som en utfordring, men da som et kompetanserelatert problem. Inntrykket er at brann ikke blir ansett som en hindring av ekspertene. Både INF 3 og INF 4 antyder også en utfordring knyttet til arkitektene. Noen arkitekter velger å omprosjekttere stål/betong bygg direkte til tre, som i realiteten fungerer dårlig.

«Omprosjektering av stål- og betongbygg til trebygg, det sjelden særlig vellykket. Arkitekten må tenke tre helt i fra starten av.» – INF 4

Alle dekkelementer, uavhengig materiale, har krav som skal tilfredsstilles. INF 5 beskriver ETA, European Technical Assessment, som et viktig virkemiddel. De fleste aktører forholder seg til godkjente produkter. Kompetanse fra spesialister for å sikre dokumentasjon og gode løsninger er avgjørende for å overbevise. SINTEF har lignende tekniske godkjenninger som tar utgangspunkt i egne komfortkrav. INF 5 antyder at SINTEF er skeptisk til kravene definert i Eurokoden, da disse ikke baserer seg på erfaringstall, men er en mer teoretisk metode. Ønsket er at det skal defineres klarere krav for norske aktører, som skal spesifiseres i nasjonalt tillegg. INF 4 nevner også at etter SINTEF sitt komfortkrav ble publisert, har de ikke hatt noen reklamasjoner på bakgrunn av komfortoppførselen til dekket. En påpekning fra INF 1 beskriver at mangelen på standardisering i treindustrien gjør det vanskeligere å få tak i svar for kunden, som igjen dyrker usikkerhet.

Når det gjelder trebaserte etasjeskillere som spenner langt, har informantene litt forskjellige erfaringer. Gitterbjelken nevnes av de fleste, og denne er allerede etablert i det norske markedet. Noen av informantene har også erfaring med ribbedekker og kassettdykker. Dekkesystemer med limte elementer som tar opp trykk i dekket og strekk i himlingen, som har et samvirke bestående av flere kompositter. Materialene kan variere, men Kerto blir nevnt, samt CLT og limtre. INF 6 bemerker at det ikke eksisterer gode nok alternativer for trebaserte dekkessystem over 8 meter per dags dato. Imidlertid er det steder tredekker kan egne seg, eksempelvis i bygg uten høye krav til akustikk og svingninger, som studentboliger. Informanten arbeider for et firma som leverer et produkt med lignende egenskaper som kassettdykke, og presiserer at disse er kostbare å produsere.

«Den er omstendelig å produsere. Så det den koster jo vesentlig mer enn å lage en serieprodusert plate som er tjukk.» - INF 6

På spørsmål om konkurransedyktighet var det varierende svar. Tabell 4-4 viser et utdrag.

Tabell 4-4 Er trebaserte etasjeskillere konkurransedyktige.

Informant	Svar
1	Hvis bærekraft og gjenbruk blir verdsatt
2	Ja og Nei. Avhenger av spennlengden, og høyden til systemet. Reelt sett finnes det aktører som velger tre kun av økonomiske årsaker.
3	Hvert fall i småhus- og rekkehuskategorien
4	Like gode løsninger så lenge regelverket blir tilfredsstillt. Stikkprøver viser at det konkurrerer med andre elementer.
5	Ja i høyeste grad, hvis lydproblematikken blir løst.
6	Kun der det ikke stilles høye krav til akustikk og svingninger.

Svarene til informantene indikerer at trebaserte etasjeskillere kan være konkurransedyktige i spesifikke situasjoner, men ikke nødvendigvis alle tilfeller. Lyd og komfortkriterier styrer fortsatt bruk og produksjon, som gjør at det kreves høy kompetanse for å lage gode produkter. Men alle informantene er positive til at den utviklingen er mulig å oppnå, og at det er riktig vei for bransjen å tenke mer trebasert, men også riktig bruk av tre.

5 Diskusjon

I diskusjonskapittelet knyttes teori og resultater sammen, og informantenes uttalelser sees i lys av dataene hentet fra litteraturstudier og produsenter. De forskjellige utfordringene og mulighetene diskuteres, med utgangspunkt i å besvare forskningsspørsmålene.

5.1 Meningsforskjeller blant informantene

Som nevnt i metodekapittelet har informantene forskjellig bakgrunn og erfaring som former uttalelser og meninger. Omtrent samtlige av informantene har en eller annen form for rådgiverbakgrunn, og satt på både teoretisk og praktisk kunnskap. Likevel var det en viss forskjell i datainnsamlingen verdt å bemerke.

Selv om det var stort engasjement rundt utvikling på området, var det noen informanter som påpekte mer usikkerhet rundt dagens systemer. Forskerens inntrykk er at ytterpunktene i intervjudataen var INF 4 og INF 6 sine innfallsvinkler. De andre informantene lå på en likere linje, og bemerket aktuelle utfordringer bransjen må håndtere for å fremme utvikling. INF 4 var klar på at problematikken knyttet til trebaserte etasjeskillere hovedsakelig var forårsaket av erfaring og skepsis knyttet til brann og lyd. Ved å drepe disse argumentene i en tidlig fase av prosjektet, og tenke tre fra start, var tredekkene like gode løsninger som andre etasjeskillekonstruksjoner. INF 6 uttrykte en større generell skepsis til konstruksjonene, og mente det ikke fantes noen gode alternativer på trebaserte systemer som kunne spenne lenger enn 8 meter. Unntak kunne gjøres i bygg med mindre krav til akustikk og svingninger. Informanten arbeider for en bedrift som produserer, monterer og i noen grad beregner trekonstruksjoner, i motsetning til INF 4 som hører til rådgiversiden av bransjen. Det kan tyde på at informantenes standpunkt er preget av hvilken del av industrien de tilhører, og at skepsisen er større på den utøvende siden.

5.2 Politikk og konkurranse i treindustrien

Intervjuene kan oppsummeres med at det er en økende etterspørsel av trebaserte konstruksjonssystemer i det norske markedet, mye styrt av det grønne skiftet. Det eksisterer fortsatt usikkerhet ved bruk av tre i større prosjekter, ofte grunnet brann, lyd, vibrasjoner og kostnader. Mye av usikkerheten rundt problemstillingene forsterkes av betongforeningenes ønske om å fremme sine egne produkter. Byggebransjen er som andre industrier drevet av

konkurransen, noe som bidrar til betongnæringens kritiske tilnærming til bruk av trevirke som bæresystem i fleretasjes bygg.

Politikk og proteksjonisme er med på å bidra til usikkerhet, både mellom bransjene, men også innad i treindustrien. For å kunne slå tilbake mot uttalelsene fra betongforeningene er det essensielt at treindustrien klarer å samarbeide, skape en felles front, og utvikle bedre standardiserte løsninger med klare krav. Dette øker produktiviteten og utviklingen, og forsterker konkurranseevnen til de trebaserte systemene.

5.3 Riktig bruk av tre

Med en økende etterspørsel er det fortsatt en oppfatning i bransjen om at CLT er treproduktet som egner seg best for fleretasjes bygg. CLT innehar mange av egenskapene som skal til for å konkurrere med stål og betong i et konstruksjonsmessig perspektiv. Imidlertid er det viktig å anerkjenne at et økende fokus på CLT i norsk byggebransje kan være bidragsyter til å danne skylapper, og hindre potensial for utvikling til andre trebaserte produkter som opptar flere gode egenskaper. Dette er spesielt relevant i etasjeskillere, hvor det er mulig å utnytte andre materialer enn rent massivtre.

Flere av informantene understreket betydningen av å bruke trevirke der det var hensiktsmessig. For å styrke omtalen til tre i store konstruksjoner er det viktig å anerkjenne materialets begrensninger. På bakgrunn av funn er det et stort potensial med tre i etasjeskillere. Derfor er det avgjørende å fremheve viktigheten ved utvikling av optimaliserte systemer som utnytter trevirkets kvaliteter.

5.4 Dokumentasjonskrav

Grundig dokumentasjon av trebaserte produkter er en viktig faktor i å fremme bruken av tre som byggemateriale, og overbevise kunder om å velge trebaserte løsninger. Sammenlignet med betongnæringen, som er etablert og har klare krav til akseptable nivåer, kan markedet for trebaserte produkter oppfattes som forvirrende å orientere seg i. Derfor er det avgjørende med tydelig og pålitelig dokumentasjon for å hjelpe interessenter med å ta informerte beslutninger og ha tillit til trebaserte løsninger.

Figur 4-3 illustrerer hvordan vibrasjonskriteriene påvirker spennlengden for to like systemer. Finnframe 12 Standard er dimensjonert uten vibrasjonskontroll og etter Britisk byggeteknisk

forskrift, og viser generelt lengre spennvidde sammenlignet med Hunton. Også Finnframe systemet med vibrasjonskontroll har et større rekkevidde. Som presisert i studiet av Zhang et al. (2013) har britene en mer avslappet vibrasjonskontroll. I tillegg viser Figur 4-1 hvordan dimensjoneringskrav påvirker spennlengden, der dekkene testet for vibrasjon i hovedsak spenner kortere. Hensikten med strenge vibrasjonskrav blir tydeligere i en slik sammenheng, og det understreker innvirkningen vibrasjonskontrollen har på spennlengden.

De norske aktørene følger SINTEF sine komfortkrav, som igjen baserer seg på Hu (2007) sin fremgangsmetode. Informantene uttrykte et ønske om å implementere denne metoden i norsk standard, for å ta hensyn til mer erfaringsbaserte tall. INF 4 påpekte at de ikke har mottatt noen reklamasjoner på sine systemer etter SINTEF definerte komfortkravene. Det tyder på at SINTEF sin metode fungerer godt, og får positiv respons fra aktørene og brukerne. For øyeblikket kan tilgjengelig metode beskrevet i standarden oppfattes mangelfull. Selv om hovedprinsippene til vibrasjonskravene er relativt like, eksisterer det forskjeller, jamfør Tabell 4-2. Generell anbefaling er at dekke ikke skal ha egenfrekvens mindre enn 8 Hz. Noen krav tillater likevel dette så lenge vibrasjonsakselerasjonen er tilfredsstillt. De individuelle nasjonale tilleggene definerer forskjellige krav, og det norske tillegget har sine begrensninger. For dekker med spenn lenger enn 4,5 m eller under 8 Hz er det ingen spesifiserte bestemmelser, noe som bidrar til mer usikkerhet rundt dimensjonering og bruk av langspente dekkssystemer i tre.

Arbeidet med å utvikle ny Eurokode går langsomt, men forhåpentligvis kan denne bidra med å sette mer konkrete krav. Det er også ønskelig med en spesifisering av de norske behovene, slik at dimensjoneringsgrunnlaget blir likt. At dagens standard vedrørende SLS krav er vagt formulert gjør at produsenter kan sette ulike terskler for sine produkter. Det resulterer i mer arbeid for kunden, og kan påvirke kvaliteten til produktene. Disse faktorene kan i ytterste konsekvens føre til en nedprioritering av trebaserte alternativer.

5.5 Prefabrikkerte elementer

INF 1 poengter at utvikling av prefabrikkerte elementer er nødvendig for å øke etterspørselen og redusere usikkerheten i prosjektene. Et etablert eksempel på det norske markedet er gitterbjelken, som også kan leveres som et hulldekkeelement. Dette er et konkret prefabprodukt som er tilgjengelig av langspente systemer i Norge.

Figur 4-4 til Figur 4-7 viser oppnåelige spennvidder på diverse elementer studert i oppgaven. Over ca. 7 m spenn er det Ribbe- og Kassettdেকে som egner seg best. Gitterbjelken har også kapasitet for større spennlengder ved bruk av tverravstivere. Plattformdekkene og I-bjelken egner seg derimot for litt kortere spenn. Det er flere faktorer som påvirker de individuelle forskjellene mellom ribbe- og kassettdেকে, deriblant dimensjoner, materialvalg og dimensjoneringskriterier.

Som nevnt tidligere vil prefabrikkerte løsninger bidra til å redusere risiko for de andre aktørene, og det er viktig med pålitelige og stabile leverandører for å bygge tillit til produktene. Ved å forbedre kompetanse på alle nivåer er det mulig å håndtere lyd og vibrasjonsutfordringene knyttet til trebaserte etasjeskillere, og skape stabile og attraktive produkter for interessentene.

5.6 Kostnader

Det har sterk betydning at trebaserte bygningselementer er konkurransedyktige på pris, samtidig som de oppfyller kravene til funksjonalitet og kvalitet. Dekkeelementer dimensjonert for lengre spenn må naturligvis ha større dimensjoner for å oppnå kravene. Resultatene indikerer at tradisjonelle massivtreelementer ikke egner seg over 7 m, da materialmengden blir for stor og dekkene for dyre å produsere. Figur 4-9 viser at CLT dekker bruker ca. 30 % mer materiale enn kantstilt massivtre, som er systemet med nest størst materialmengde. Imidlertid viser studiet av Hassan et al. (2019) at opp til 7 m kan massivtreelementer konkurrere med tradisjonelle betongdekker, som vist i Figur 4-2. INF 2 påpeker også at flere aktører konsekvent velger massivtre fordi det lønner seg økonomisk på lang sikt. Utelukkende materialkostnad er høyere, men i en helhetlig betraktning kan bygget bli billigere fordi andre faktorer enn materialkostnad påvirker økonomien.

Ved valg av mer optimaliserte systemer er det mye materiale å spare, som vist i Figur 4-8 og Figur 4-9. Systemet burde bruke minst mulig materiale, samt ha en høyde som er gjennomførbar for prosjektet. Både Gitterbjelken, Ribbe- og Kassettdেকে krever høyde. En drastisk økning av høyden kan også bidra til å skape utfordringer på andre områder i byggeprosessen, og det er vesentlig at planlegging av høyere systemer må tas med fra start, ikke justeres på byggeplass.

Optimaliserte systemer er mer komplekse å produsere, som nevnt av INF 6, noe som kan bidra til å øke produksjonskostnadene. Langspente systemer kan derfor være kostnadskrevede ved kortere spenn. Figur 4-10 poengterer også hvordan Ribbedেকে i CLT og Limtre ikke er

konkurransedyktige mot tradisjonelle CLT dekker før spennvidden økes. God planlegging fra start er avgjørende for å utnytte systemene til sitt fulle. Dette understreker viktigheten av kompetanse blant aktørene, og ha en helhetlig tankegang fra starten av prosjektet. Kostnadsutfordringene er av sterk betydning å håndtere for å øke andelen store trehusprosjekter, ettersom økonomi spiller en betydelig rolle i byggebransjen.

5.7 Brann og lyd

Flere av informantene ga uttrykk for at brann ikke ble betraktet som noen stor problematikk. Et inntrykk er at tre og brann ikke er en gunstig kombinasjon, imidlertid er det gjort lite funn som støtter denne oppfatningen. Funn fra datainnsamlingen tilsier at god branndimensjonering er fint mulig, men det krever kompetanse.

Forskningen er derimot usikker når det gjelder større trehus, og hevder det er gjort for få undersøkelser på større komplekse bygg. Konkrete studier på langspente trebaserte etasjeskillere eksisterer det også et fåtall av. Studiene presentert i oppgaven viser CLT og limtre som best egnet materiale, sammenlignet med LVL. LVL har et mindre tverrsnitt, og vil være mer utsatt. Imidlertid er det en bred forståelse blant forskere at å dimensjonere brannsikre fleretasjes bygg i tre er fullt mulig, men det er behov for ytterligere forskning for å dempe usikkerheten. Som INF 4 antyder er det avgjørende å overbevise om dette i en tidlig fase av prosjektet, da det fremdeles er mye manglende klarhet i bransjen.

Selv om lett vekt på elementene er en positiv kvalitet, kan det gi komplikasjoner med akustiskegenskapene. I studiet til Martins et al. (2015) kommer et hybriddekke (betong og tre) bedre ut på lydmålingene enn et tradisjonelt bjelkelag. Økt vekt med betongpåstøp for å håndtere lydproblematikken strider imot fordelene med et lett bæresystem. Andre fordeler, som ren arbeidsplass, godt inn klima, og enkelheten med prefabrikkerte elementer, går også tapt. Å påføre betong kan potensielt bli mer utfordrende, og fordelene med trebaserte etasjeskillere bortfaller.

Studiene gjennomført på langspente tredekker viser at etasjeskillerne har egenskapene som skal til for å oppnå lydkravene, men igjen det kreves god planlegging fra start. At grensesnittet mellom RIB og RIA oppfattes uklart av aktørene selv antyder at et klarere regelverk og standardisering må på plass. Manglende klarhet i ansvarsfordeling kan være en bidragsyter til dårlige løsninger som skaper misnøye blant brukerne. Et effektivt samarbeid mellom partene er

avgjørende for å utvikle gode og stive system som oppfyller lydkravene til boligbygg. Lette etasjeskillere og lyd er et vedvarende problem, men med tiltak og god planlegging viser forskningen at kravene definert i standarden er mulige å oppnå.

6 Konklusjon

Formålet med masteroppgaven var å undersøke utviklingen av langspente tredekker i den norske byggebransjen. I dette kapittelet presenteres konklusjonen.

6.1 Forskningsspørsmål

Oppgaven har til hensikt å svare på problemformuleringen «*Hva er status for utvikling og bruk av langspente trebaserte etasjeskillere i Norge?*» To forskningsspørsmål ble utarbeidet for å kartlegge både utfordringer og muligheter med trebaserte dekkssystem, samt forsøke å finne løsninger på hindringer som begrenser videre utvikling.

Eksisterer det gode alternativer av trebaserte etasjeskillere til bruk i prosjekter med lange spenn?

Funn fra datainnsamlingen antyder at løsningene som utvikles, og er på markedet i dag, opprettholder de kravene som er pålagt. Om dekkesystemene er akseptable varierer derfor med de prosjektspesifikke betingelsene. Det er et stort potensial i å produsere gode systemer, og en positiv holdning til videre forskning og utvikling på området.

Imidlertid kan trebaserte dekkssystem møte utfordringer ved lengre spenn, og det er flere hensyn som må vurderes. Det er lite hensiktsmessig med direkte omprosjektering fra betong, og det må planlegges tidlig for å sikre gode systemer. Det krever høy kompetanse for å prosjektere større trekonstruksjoner, og denne terskelen må senkes for å tilgjengeliggjøre produktene for en større del av bransjen.

Hvilke utfordringer er avgjørende å løse for å øke bruken av de trebaserte systemene?

Nedenfor er det listet opp utfordringer som må arbeides med for å få en raskere fremgang i utviklingen.

- **Vibrasjoner og Lyd.** Det eksisterer mye usikkerhet da det fremdeles oppstår problemer med dette i praksis. Klare krav på akseptable nivåer er vesentlig å definere, samt mer forskning på langspente systemer.
- **Pris.** Det er avgjørende at systemene er konkurransedyktige for at bransjen skal ta dem i bruk, og at det er en overenstemmelse på ytelse kontra pris.

- **Dokumentasjonskrav.** Aktørene i treindustrien ønsker et klarere regelverk og standardisering, spesielt en konkretisering i nasjonalt tillegg med hensyn til komfortkriterier. Et klarere grensesnitt hos rådgiverne er også ønskelig.
- **Kompetanse og usikkerhet.** Det er en begrenset andel av norsk byggenæring som innehar kompetansen som trengs for å gjennomføre komplekse trehusprosjekter i stor skala. Det er ønskelig at risikoen blir overført til aktøren som sitter med kompetansen. Slik kan det etableres gode trygge leverandører med prefabrikkerte løsninger som BH/ENT kan benytte seg av.
- **Samarbeid.** Det er aktuelt å samle trebransjen og tilgjengeliggjøre informasjon på en mer effektiv måte. Markedet kan oppleves som forvirrende å orientere seg i. Hvis treindustrien klarer å samle seg, vil den kunne markere seg sterkere og bli mer synlig i norsk byggebransje.
- **Riktig bruk av tre.** Å skape optimaliserte systemer som bruker trevirke riktig er avgjørende for ideell utvikling. Trevirke er ikke alltid hensiktsmessig i enhver del av prosjektet.

Det konkluderes med at det er en vekst på feltet i norsk byggebransje, men det vil trolig ta noen år før systemene når et tilfredsstillende nivå som tillater problemfri bruk. Arbeid med løsninger på utfordringene beskrevet gir et potensial for utnyttelse av trevirke i større prosjekter. Dette bidrar til fremgang i industrien som er i tråd med det grønne skiftet i samfunnet.

6.2 Videre Arbeid

Arbeidet med masteroppgaven har presentert flere interessante vinklinger som ikke kunne inkluderes i oppgaven på grunn av tidsbegrensing. Nedenfor er det listet opp noen forslag til hva videre arbeid burde omfatte.

- Eksperimentelle målinger og studier av brukeropplevelse på vibrasjon og akustikk i bygg med trebaserte etasjeskillere. Dette vil gi mer konkrete tall, og et bredere erfaringsgrunnlag enn det som eksisterer i dag.
- Det kunne vært interessant å undersøke nærmere fra et BH/ENT perspektiv. I arbeidet med oppgaven kom det opp litt andre problemstillinger fra den utøvende siden enn fra rådgiversiden ved oppføring av store trekonstruksjoner.
- En nærmere undersøkelse av de miljømessige fordelene ved bruk av trebaserte bæresystem, ved å undersøke CO₂-fotavtrykk og i en livløpsbetraktning. Gjerne i sammenligning med tradisjonelle byggematerialer.

7 Referanser

- Basaglia, B., Lewis, K., Shrestha, R. & Crews, K. (2015). A comparative life cycle assessment approach of two innovative long span timber floors with its reinforced concrete equivalent in an Australian context. *International Conference on Performance-based and Life-cycle Structural Engineering*: 1433-1442.
- Bazli, M., Heitzmann, M. & Ashrafi, H. (2022). Long-span timber flooring systems: A systematic review from structural performance and design considerations to constructability and sustainability aspects. *Journal of Building Engineering*, 48: 103981.
- Bertelsen, S. L. (2019). *Taking Wood to the Top!*: Treteknisk. Tilgjengelig fra: <https://www.tretekknisk.no/aktuelt/taking-wood-to-the-top> (lest 11.01.23).
- Brandner, R., Flatscher, G., Ringhofer, A., Schickhofer, G. & Thiel, A. (2016). Cross laminated timber (CLT): overview and development. *European Journal of Wood and Wood Products*, 74 (3): 331-351. doi: 10.1007/s00107-015-0999-5.
- Bugge, L. (2016). *Bruk av tre i offentlige bygg*. Asplan Viak.
- Caniato, M., Bettarello, F., Ferluga, A., Marsich, L., Schmid, C. & Fausti, P. (2017). Acoustic of lightweight timber buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80: 585-596.
- CEN. (2020). *Eurocode 5: Design of timber structures — Common rules and rules for buildings — Part 1-1: General*. prEN 1995-1-1:20XX (E) - working draft: CEN - European Committee for Standardisation.
- Dalland, O. (2017). *Metode og Oppgaveskriving*. 5 utg.: Gyldendal Norsk Forlag.
- Dibk. (2017). *Generelle krav til sikkerhet ved brann. § 11-3. Brannklasser*. Byggeteknisk forskrift (TEK17) med veiledning.: Direktoratet for Byggkvalitet.
- Edvardsen, K. & Ramstad, T. (2014). *Trehus Håndbok 5*. 5 utg. SINTEF Byggeforsk: SINTEF akademisk forlag.
- Eide, S. (2014). *FOKUS på tre: Etasjeskiller med gitterbjelker*, b. 57. Oslo: TreFokus. Tilgjengelig fra: http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/Fokus_nr_57_aluoH.pdf (lest 06.02.23).
- Estévez-Cimadevila, J., Otero-Chans, D., Martín-Gutiérrez, E. & Suárez-Riestra, F. (2016). Long-span wooden structural floors with self-tensioning system: performance under asymmetrical loads. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2016.
- Estévez-Cimadevila, J., Otero-Chans, D., Martín-Gutiérrez, E. & Suárez-Riestra, F. (2016). Self-tensioning system for long-span wooden structural floors. *Construction and Building Materials*, 102: 852-860.
- Galtvik, R. (2019). *Tolkning av brannregelverket for høye bygninger i massivtre*. Masteroppgave: Ås. Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Glasø, G. (2011a). *FOKUS på tre: Fleretasjes trehus*. FOKUS på tre, b. 32: TreFokus. Tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/32-Fleretasjes-trehus.pdf> (lest 23.01.23).
- Glasø, G. (2011b). *FOKUS på tre: Tre og lyd*. FOKUS på tre: TreFokus. Tilgjengelig fra: <https://www.tretekknisk.no/resources/filer/publikasjoner/fokus-pa-tre/Fokus-nr-36.pdf> (lest 20.02.23).
- Glasø, G. (2012). *FOKUS på tre: Tre og Brann*, b. 37. TreFokus Norsk treteknisk institutt. Tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/37-Tre-og-brann.pdf> (lest 14.02.23).
- Granello, G., Giorgini, S., Palermo, A., Carradine, D., Pampanin, S. & Finch, R. (2017). Long-term behavior of LVL posttensioned timber beams. *Journal of Structural Engineering*, 143 (12): 04017158.
- Grant, M. J. & Booth, A. (2009). A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health information & libraries journal*, 26 (2): 91-108.
- Gustafsson, A. (2017). *KL-trähandbok, Fakta och projektering av KL-träkonstruksjoner*. Stockholm: Svenskt Trä.
- Hakkarainen, J., Linkosalmi, L., Huovinen, A., Vares, S., Häkkinen, T., Hakkarainen, J. & Veikkola, M. (2020). *LVL Handbook Europe*. 2 utg. 00170 Helsinki Finland: Federation of the Finnish Woodworking Industries.
- Hassan, O. A., Öberg, F. & Gezelius, E. (2019). Cross-laminated timber flooring and concrete slab flooring: A comparative study of structural design, economic and environmental consequences. *Journal of Building Engineering*, 26: 100881.

- Hennink, M., Hutter, I. & Bailey, A. (2020). *Qualitative research methods*: Sage.
- Homb, A. (2006). *Low frequency sound and vibrations from impacts on timber floor constructions*. Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway.
- Homb, A. (2007). *Kriterier for opplevde vibrasjoner i etasjeskillere*. Delrapport fra prosjektet «Comfort properties of timber floor constructions, Prosjektrapport 8. SINTEF Byggforsk.
- Homb, A. (2008). *Vibrasjonsegenskaper til dekker av massivtre*. Delrapport fra prosjektet «Comfort properties of timber floor constructions, Prosjektrapport 24, 8253610300. SINTEF Byggforsk.
- Homb, A. & Kolstad, S. T. (2012). *Gitterbjelkelag, løsninger og detaljer*. Moderne bjelkelag. SINTEF Byggforsk.
- Homb, A. & Conta, S. (2022). Timber hollow-box floors: Sound insulation measurement results and analysis. *Building Acoustics*, 29 (3): 367-385. doi: 10.1177/1351010X221100604.
- Hu, L. (2007). Design guide for wood-framed floor systems. *Canadian Forest Service* (32): 1-60.
- Hu, L. J., Chui, Y. H. & Onysko, D. M. (2001). Vibration serviceability of timber floors in residential construction. *Progress in Structural Engineering and Materials*, 3 (3): 228-237.
- Huang, H., Lin, X., Zhang, J., Wu, Z., Wang, C. & Wang, B. J. (2021). *Performance of the hollow-core cross-laminated timber (HC-CLT) floor under human-induced vibration*. Structures: Elsevier.
- Hunton. (2015). *Hunton I-bjelken*. Online. Tilgjengelig fra: <https://www.hunton.no/produkter/vegg/hunton-i-bjelken/> (lest 10. mars 2023).
- Jarnerö, K., Brandt, A. & Olsson, A. (2015). Vibration properties of a timber floor assessed in laboratory and during construction. *Engineering structures*, 82: 44-54.
- Kleinhenz, M., Just, A. & Frangi, A. (2021). Experimental analysis of cross-laminated timber rib panels at normal temperature and in fire. *Engineering Structures*, 246: 113091.
- Kleinhenz, M. (2022). *Cross-laminated timber rib panels in fire*. Doktortavhandling: ETH Zurich.
- KLH. (2019). *Rib Elements*. 8842 Teufenbach-Katsch, Austria: KLH Massivholz GmbH.
- KLH. (2020). *Structural Pre Analysis Tables*. 8842 Teufenbach-Katsch, Austria: KLH Massivholz GmbH.
- Kolstad, S. T. & Homb, A. (2009). *Beregning av nedbøyning til trebjelkelag. Vurdering av parametere og beregningsresultater*. Prosjektrapport 37, 8253610904. SINTEF Byggforsk.
- Lago, B. D., Dibenedetto, C., Palermo, A., Pampanin, S., Giorgini, S., Buchanan, A. H. & Carradine, D. (2017). Structural behavior of longitudinally posttensioned timber beams under serviceability gravity loading. *Journal of Structural Engineering*, 143 (8): 04017071.
- Larsson, M. & Mayor, H. (2016). *Innovative timber floor - development of a timber sandwich structure*. Masteroppgave.: Gothenburg, Sweden. Chalmers University of technology.
- Lewis, K., Basaglia, B., Shrestha, R. & Crews, K. (2016). *The use of cross laminated timber for long span flooring in commercial buildings*. WCTE 2016-World Conference on Timber Engineering.
- Lignatur. (2014). *Lignatur Workbook*. 7th utg.: Lignatur Ag, Waldstatt/CH.
- Martins, C., Santos, P., Almeida, P., Godinho, L. & Dias, A. (2015). Acoustic performance of timber and timber-concrete floors. *Construction and Building Materials*, 101: 684-691.
- Menis, A. (2012). *Fire resistance of laminated veneer lumber (LVL) and cross-laminated timber (XLAM) elements*: Doktoravhandling: Univeristá Degli Studi Di Cagliari.
- Metsä Wood. (2013a). *Finnframe floor system*. Metsä Group (red.): Metsä Wood UK.
- Metsä Wood. (2013b). *Kerto Ripa, Long-Span engineered timber solutions*. Metsä Wood (red.).
- Metsä Wood. (2019). *Kerto Ripa Roof & Floor Elements*. Metsä Wood (red.).
- Metsä Wood. (u.å). *Finnjoist*. Online. Tilgjengelig fra: <https://www.metsagroup.com/metsawood/products-and-services/products/finnjoist/> (lest 10. Mars 2023).
- Moelven. (2022). *LVL (kerto)*: Moelven Limtre AS. Tilgjengelig fra: <https://www.moelven.com/no/no/limtre/lvl-kerto/> (lest 18.01.23).

- Negaro, J. H. J. O. & Jorge, L. (2016). *CLT Structures for long span floors and roofs – Optimizing the cross-section properties*, Albufeira, Portugal.
- Nesheim, S., Mela, K., Malo, K. A. & Labonnote, N. (2022). Optimization framework for cost and carbon emission of timber floor elements. *Engineering Structures*, 252: 113485.
- Norconsult. (2022). *Vil gi bedre råd om bruk av tre*: Norconsult. Tilgjengelig fra: <https://www.norconsult.no/aktuelt/pressemeldinger/vil-gi-bedre-rad-om-bruk-av-tre/> (lest 12.01.23).
- Norsk treteknisk Institutt. (2006a). *Bygge med massivtreelementer. H.1: Generelt*. Oslo: Norsk treteknisk Institutt. Tilgjengelig fra: <https://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/teknisk-handbok/Hefte-1-Generelt.pdf> (lest 26.01.23).
- Norsk treteknisk Institutt. (2006b). *Bygge med massivtreelementer. H.4: Brann*. Oslo: Norsk treteknisk Institutt. Tilgjengelig fra: <https://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/teknisk-handbok/Hefte-4-Brann.pdf> (lest 14.02.23).
- O'Neill, J., Abu, A., Carradine, D., Moss, P. & Buchanan, A. (2012). Modelling prefabricated timber floors in fire. *World Conference on Timber Engineering 2012, WCTE 2012*, 2: 218-226.
- Ohlsson, S. V. (1982). *Floor vibrations and human discomfort*. Göteborg: Chalmers University of Technology, Division of Steel and Timber Structures.
- OIB. (2021). *European Technical Assessment ETA-11/0137*: OiB, Austrian Institute of Construction Engineering.
- Otero-Chans, D., Estévez-Cimadevila, J., Suárez-Riestra, F. & Pérez-Valcárcel, J. (2018). Small depth long-span timber floor design with self-tensioned systems. *Australian Journal of Structural Engineering*, 19 (1): 24-33.
- RIF. (2021). *RIA Rådgivende ingeniør akustikk, Ytelser*. Rådgivende Ingeniørers Forening RIF (red.). 0305 Oslo: RIF.
- Rijal, R. (2013). *Dynamic performance of timber and timber-concrete composite flooring systems*. Doktoravhandling: Sydney. University of Technology.
- Sandelowski, M. (2000). Combining qualitative and quantitative sampling, data collection, and analysis techniques in mixed-method studies. *Research in nursing & health*, 23 (3): 246-255.
- Schirén, W. & Swahn, T. (2019). *Vibrations in residential timber floors: A comparison between the current and the revised Eurocode 5*. Masteroppgave: Linnéuniversitetet, Fakulteten för teknik (FTK), Institutionen för byggt teknik (BY).
- Serano, E., Kliger, R., Hansson, F. E., Crocetti, R., Danielsson, H., Mårtensson, A. & Piazza, M. (2015). *Limtreboka*: Norske Limtreprodusenters Forening.
- SINTEF. (2017). *Woodsol*. SINTEF. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/prosjekter/2016/woodsol/> (lest 16.04.23).
- SINTEF. (2022). Unngå plagsom trinnlyd fra nabo. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2022/unnga-plagsom-trinnlyd-fra-nabo/> (lest 14.04.23).
- SINTEF Byggforsk. (2001). *Massive treelementer, Typer og bruksområder 520.205*: SINTEF.
- SINTEF Byggforsk. (2004). *I-bjelker av tre i tak. Konstruksjonsdetaljer, 525.819*: SINTEF.
- SINTEF Byggforsk. (2007). *Trebjelkelag. Dimensjonering og utførelse, 522.351*: SINTEF.
- SINTEF Byggforsk. (2009). *Etasjeskillere i massivtre 522.891*: SINTEF.
- SINTEF Teknisk Godkjenning. (2019). *Splitkon krysslimt tre*.
- SINTEF Teknisk Godkjenning. (2020). *Norsk Massivtre*.
- SINTEF Teknisk Godkjenning. (2021). *Etasjeskiller med gitterbjelker av tre*.
- Smith, A. L., Hicks, S. J. & Devine, P. J. (2007). *Design of floors for vibration: A new approach*: Steel Construction Institute Ascot, Berkshire, UK.
- Soltis, L. A., Wang, X., Ross, R. & Hunt, M. (2002). Vibration testing of timber floor systems. *Forest products journal*, 52 (10): 75-81.

- Standard Norge. (1990). *Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner*, NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016: Standard Norge.
- Standard Norge. (2010a). *Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner - Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger*, NS-EN 1995-1-1:2004+A1:2008+NA:2010: Standard Norge.
- Standard Norge. (2010b). *Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner - Del 1-2: Brannteknisk dimensjonering*, NS-EN 1995-1-2:2004+NA:2010: Standard Norge.
- Standard Norge. (2013). *NS-EN 14080:2013+NA:2016*. Trekonstruksjoner - Limtre og limt laminert heltre - Krav: Standard Norge.
- Standard Norge. (2016). *NS-EN 338:2016*. Konstruksjonsvirke - Fasthetsklasser: Standard Norge.
- Standard Norge. (2017). *NS-EN ISO 12354-2:2017*. Lydforhold i bygninger - Beregning av akustisk ytelse i bygninger basert på bygningsdelers ytelse - Del 2: Trinnlydisolasjon mellom rom: Standard Norge.
- Standard Norge. (2019). *Nasjonale tillegg*. Eurokoder. Standard Norge. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/fagomrader/bygg-anlegg-og-eiendom/eurokoder1/nasjonale-tillegg/> (lest 23.01.23).
- Standard Norge. (2023). *Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner - Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger*, NS-EN 1995-1-1:2004/NA:2023: Standard Norge.
- Stora Enso. (2020). *CLT rib panel*. Stora Enso (red.).
- Stora Enso. (2022). *Rib Panels*: Stora Enso. Tilgjengelig fra: <https://www.storaenso.com/en/products/mass-timber-construction/building-products/rib-panels> (lest 23.03.23).
- Suárez-Riestra, F., Estévez-Cimadevila, J., Martín-Gutiérrez, E. & Otero-Chans, D. (2019). Experimental, analytical and numerical vibration analysis of long-span timber-timber composite floors in self-tensioning and non-tensioning configurations. *Construction and Building Materials*, 218: 341-350.
- Weckendorf, J., Zhang, B., Kermani, A. & Reid, D. (2006). *Assessment of vibrational performance of timber floors*. Proceedings of the World Conference on Timber Engineering (WCTE), Portland, OR, USA.
- Weckendorf, J. (2009). *Dynamic response of structural timber flooring systems*. Doktoravhandling. : Edinburgh Napier University.
- Woodsol. (2019). *Byggesystem for flereetasjers trehus*: SINTEF Frokostseminar 720.
- WoodSolutions. (2020). *Long-span Timber Floor Solutions*. Technical Design Guide issued by Forest and Wood Products Australia: WoodSolutions.
- WoodWorks. (2021). *U.S Mass Timber Floor Vibration, Design Guide*, b. 1.
- Zabihi, Z., Samali, B., Shrestha, R., Gerber, C. & Crews, K. I. (2012). *Serviceability and ultimate performance of long span timber floor modules*. Proceedings of the World Conference on Timber Engineering 2012 (WCTE 2012), Auckland, New Zealand, 15-19 July, 2012.
- Zabihi, Z. (2014). *Investigation of a proposed long span timber floor for non-residential applications*. Doktoravhandling: Sydney. University of Technology.
- Zhang, B., Rasmussen, B., Jorissen, A. & Harte, A. (2013). Comparison of vibrational comfort assessment criteria for design of timber floors among the European countries. *Engineering Structures*, 52: 592-607.
- Östman, B., Mikkola, E., Stein, R., Frangi, A., König, J., Dhima, D., Hakkarainen, T. & Bregulla, J. (2010). *Fire safety in timber buildings: technical guideline for Europe*.
- Øvrum, A. (2012). *FOKUS på tre: Konstruksjonsvirke*. FOKUS på tre, b. 43: TreFokus Norsk treteknisk Institutt. Tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/43-Konstruksjonsvirke.pdf> (lest 17.01.23).
- Aarstad, K. J., Glasø, G., Bunkholt, A. & TreFokus. (2008). *FOKUS på tre: Massivtre* b. 20. Oslo: TreFokus Norsk treteknisk institutt. Tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/20-Massivtre.pdf> (lest 02.02.23).

Vedlegg A - Samtykkeerklæring

Vil du delta i forskningsprosjektet

”Trebaserte etasjeskillere i fleretasjes trehus”?

Dette er et spørsmål til deg om å delta i et forskningsprosjekt hvor formålet er å *undersøke bruken av trebaserte etasjeskillere i norsk byggebransje*. I dette skrivet gir vi deg informasjon om målene for prosjektet og hva deltakelse vil innebære for deg.

Formål

Forskningsprosjektet er en masteroppgave hvor formålet er å undersøke problematikken med trebaserte etasjeskillere og store spenn. Oppgavens problemstilling vil se på hvilke alternativer som eksisterer, hva norsk byggebransje velger å bruke, og om alternativene som eksisterer er gode nok. Sammen med litteraturstudier og dokumentanalyse vil det være interessant å høre hvordan norsk byggebransje håndterer problemstillingen, og hvilke løsninger som evt. eksisterer.

Hvem er ansvarlig for forskningsprosjektet?

Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet (NMBU) er ansvarlig for prosjektet. Studenten som forsker på dette er Elin Torstveit.

Hvorfor får du spørsmål om å delta?

Din arbeidserfaring, stilling og kompetanse gjør deg til et attraktivt intervjuobjekt. Du blir ansett som en person som kan berike oppgaven med relevant data.

Hva innebærer det for deg å delta?

Det vil bli foretatt intervju på teams/zoom/fysisk på 30-60 min, avhengig av hva som passer deg best. Her vil du bli spurt om eventuelle erfaringer rundt trebaserte etasjeskillere, og hvilke muligheter bransjen har. Intervjuet vil bli tatt opp så lenge du tillater det.

Det er frivillig å delta

Det er frivillig å delta i prosjektet. Hvis du velger å delta, kan du når som helst trekke samtykket tilbake uten å oppgi noen grunn. Alle dine personopplysninger vil da bli slettet. Det vil ikke ha noen negative konsekvenser for deg hvis du ikke vil delta eller senere velger å trekke deg.

Ditt personvern – hvordan vi oppbevarer og bruker dine opplysninger

Vi vil bare bruke opplysningene om deg til formålene vi har fortalt om i dette skrivet. Vi behandler opplysningene konfidensielt og i samsvar med personvernregelverket. Det er kun student og veileder som har tilgang på dataen som blir samlet inn. Alle intervjuobjektene i oppgaven vil bli anonymisert.

Hva skjer med personopplysningene dine når forskningsprosjektet avsluttes?

Prosjektet vil etter planen avsluttes i juni 2023. Etter prosjektslutt vil datamaterialet med dine personopplysninger slettes.

Hva gir oss rett til å behandle personopplysninger om deg?

Vi behandler opplysninger om deg basert på ditt samtykke.

På oppdrag fra *Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet* har Sikt – Kunnskapssektorens tjenesteleverandør vurdert at behandlingen av personopplysninger i dette prosjektet er i samsvar med personvernregelverket.

Dine rettigheter

Så lenge du kan identifiseres i datamaterialet, har du rett til:

- innsyn i hvilke opplysninger vi behandler om deg, og å få utlevert en kopi av opplysningene
- å få rettet opplysninger om deg som er feil eller misvisende
- å få slettet personopplysninger om deg
- å sende klage til Datatilsynet om behandlingen av dine personopplysninger

Hvis du har spørsmål til studien, eller ønsker å vite mer om eller benytte deg av dine rettigheter, ta kontakt med:

- Einar Nathan ved NMBU, einar.nathan@nmbu.no
- Elin Torstveit, 47659220, elin.rinde.torstveit@nmbu.no
- NMBU sitt personvernombud: Hanne Pernille Gulbrandsen, personvernombud@nmbu.no

Hvis du har spørsmål knyttet til vurderingen som er gjort av personverntjenestene fra Sikt, kan du ta kontakt via:

- Epost: personverntjenester@sikt.no eller telefon: 73 98 40 40.

Med vennlig hilsen

Veileder:

Einar Nathan

Student:

Elin Torstveit

Samtykkeerklæring

Jeg har mottatt og forstått informasjon om prosjektet «*Trebaserte etasjeskillere i fleretasjes trehus*», og har fått anledning til å stille spørsmål. Jeg samtykker til å delta på intervju og at mine opplysninger behandles frem til prosjektet er avsluttet.

(Signert av prosjektdeltaker, dato)

Vedlegg B - Intervjuguide

DEL I – Før intervjuet

Informasjon

- Ønske Velkommen
- Takke for at intervjuobjektet tok seg tid
- Informere om anonymitet og lydopptak
- Evt. starte lydopptak

DEL II – Spørsmål

Bakgrunn og formål

Forklare bakgrunn og formål med masteroppgaven.

Det er fortsatt en del utfordringer knyttet til å bygge stort i tre, og et av disse områdene er hvordan etasjeskillere skal løses. Oppgaven fokuserer på hvordan vi kan oppnå lengre spenn for å øke fleksibiliteten, uten av det skal gå på bekostning av komfortkriterier. Intervjuer blir gjennomført for å få innblikk i bransjens holdninger og erfaringer.

Generelt om intervjuobjektet

- Navn, arbeidsted og stilling.
- Hva er dine ansvarsområder?
- Bakgrunn og erfaring
- Hvilken rolle har firmaet du er ansatt i?

Generelle spørsmål om treutviklingen i norsk byggebransje?

- Hvordan opplever du holdningen til byggebransjen er, når det kommer til å bruke tre som konstruksjonsmateriale i sine prosjekter?
- Er det å bygge i tre veien bransjen må gå for å oppnå klimamålene å få en mer bærekraftig industri?
Hvis ja:
 - Har du noen andre forslag til rent konstruksjonsmessige miljøtiltak?**Hvis nei:**
 - Hvilken retning mener du bransjen burde lene seg?
- Eksisterer det en skepsis i bransjen til bruk av trebaserte løsninger i større prosjekter?
Hvis ja
 - Hvorfor tror du det finnes?
- Har du noen forslag til hva som skal til for at byggebransjen velger mer trebaserte løsninger?

- Hvordan opplever du samarbeidet med betongaktørene er?

Spørsmål om bruk og erfaring rundt trebaserte etasjeskillere:

- Hvilke trebaserte etasjeskillere har dere mest erfaring med?
- Har du noe inntrykk av hvilke etasjeskillere som blir mest brukt i de større trehusprosjektene?
- Etter din erfaring, hva er den største utfordringen knyttet til bruk av trebaserte etasjeskillere over lengre spenn?
 - Har du forslag til hvordan vi best kan løse utfordringen?
- Har trebaserte etasjeskillere noen konstruksjonsmessige fordeler, evt. hvilke?
- Hvilken systemer syntes du egner seg best for å bygge lengre spenn?
- Er de trebaserte etasjeskillerne som er på markedet i dag konkurransedyktige ifht til etasjeskillere i andre tradisjonelle byggematerialer?
Hvis ja
 - Hvilke(n) løsning(er) er det?
 - Hvorfor fungerer denne/disse tilstrekkelig?**Hvis nei**
 - Hvilken løsning foretrekker du/dere?
- Finnes det noen andre løsninger på etasjeskillere som du er nysgjerrig på?

Spørsmål rettet mot leverandør/produzent/rådgiver om tilbakemeldinger til utøvende:

- Hvilke tilbakemeldinger får dere fra BH/ENT ved bruk av tre som materiale?
- Hvilke problemstillinger er det BH/ENT belyser ved større trehusprosjekter?
- Har BH/Entreprenør noen formening om hvilke etasjeskillere de ønsker seg i de større trehusprosjektene?
Hvis Ja:
 - Hvilke løsninger ønsker de seg?
 - Hva er begrunnelsen for valget?**Hvis nei:**
 - Hva anbefaler dere, og hvorfor?

DEL III – Avslutning

- Er det noen ytterlige kommentarer eller spørsmål til det vi har pratet om, eller noe annet du vil påpeke?



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway