

Simen Knudsen

# Komposittdেকে av massivtre og betong som alternativ til massivtredekke

Bacheloroppgave i Ingeniørfag - bygg

Veileder: Samsom Asmerom Habtemichael

Mai 2022



Simen Knudsen

# **Komposittdekke av massivtre og betong som alternativ til massivtredekke**

Bacheloroppgave i Ingeniørfag - bygg  
Veileder: Samsom Asmerom Habtemichael  
Mai 2022

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for vareproduksjon og byggteknikk



Kunnskap for en bedre verden



# Komposittdekke av massivtre og betong som alternativ til massivtredekke

Simen Knudsen

Bachelor i ingeniørfag - bygg  
Innlevert: mai 2022  
Veileder: Sansom Asmerom Habtemichael

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk



Oppgavens tittel:	Dato: 20.mai 2022		
Komposittdekke av massivtre og betong som alternativ til massivtredekke	Antall sider: 32		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave:	X
Navn: Simen Knudsen			
Veileder: Samsom Asmerom Habtemichael			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere:			

**Sammendrag:**

I denne oppgaven skal det undersøkes om et komposittdekke laget av krysslaminert massivtre og betong kan være en god erstatning til et ordinært massivtredekke.

Det skal undersøkes om et komposittdekke kan brukes i større konstruksjoner, hvor lenger spenn på dekkene og etasjeskillere vil være til hjelp. Det blir dermed bruksgrensetilstanden som skal tas til hjelp, ved å se på stivhet, vibrasjonskrav og komfortkriterium og lydisolering.

Det ble sett på to ulike komposittdekker, den ene med en tykkelse på 180 mm, mens den andre med en tykkelse på 260 mm. Ved bruk av  $\gamma$ -metoden for å finne bøyestivheten, fant vi ut at den 260 mm tykke komposittdekke var 5,21 m, eller 69,76 % lenger enn det som anses å være den lengste mulige lengden i et spenn for et massivtredekke, når komfortkriteriet ble tatt i betraktning.

Sammenligningen av lydisoleringen var ikke å anse som like vellykket, da begge dekkene slet med kravene for luftlydisolering, mens trinnlydisolering ikke var i nærheten av å dekke kravene. Komposittdekke ble var likevel hakket bedre, antageligvis på grunn av større flatemasse  $\text{kg/m}^2$

Resultatene kunne likevel sett annerledes ut om jeg selv forsket på dette, i stedet for å gjøre en ren litteraturanalyse av det.

**Stikkord:**

Komposittdekke
Krysslaminert massivtre - elementer
Komfortkriteriet
Lydisolasjon

---

 Simen Knudsen

# Forord

Denne oppgaven er en avsluttende oppgave på et treårs bachelorstudium hos Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet Institutt for vareproduksjon og byggteknikk.

Oppgaven tar for seg en sammenligning av to dekketyper, det ene et komposittdekke av krysslaminert massivtre og betong, mens det andre er et ordinært krysslaminert massivtredekke. Oppgaven er arbeidet med jevnt og trutt gjennom semesteret. Det har vært vanskelig, men likevel lærerikt og jeg har også kost meg med arbeidet.

Jeg ønsker å takke veileder Samsom Asmerom Habtemichael for å ha vært behjelpelig ved behov, og andre som har hjulpet til.



# Abstract (engelsk)

In this thesis, it will be investigated whether a composite deck made of cross-laminated timber and concrete can be a good replacement for an ordinary cross-laminated timber floor.

It will be investigated whether a composite deck can be used in larger constructions, where longer spans on the decks and floor separators will be helpful. It is thus the serviceability limit state condition that is to be considered, by looking at stiffness, vibration requirements and comfort criteria and sound insulation.

It was put on different composite decks, with a thickness of 180 mm, while the other with a thickness of 260 mm. Using the  $\gamma$  method to find the flexural stiffness, we found that the 260 mm thick composite deck was 5.21 m, or 69.76% longer than what is considered to be the longest possible length in a span of a cross-laminated timber floor, when the comfort criterion was taken into account.

The comparison of the sound insulation was not considered successful, as both covers struggled with the requirements for airborne sound insulation, while step sound insulation was nowhere near meeting the requirements. Composite cover was nevertheless a hair better, probably due to larger surface mass  $\text{kg} / \text{m}^2$

The results could still have been different if I had researched this myself, instead of doing a pure literature analysis of it.

# Innholdsfortegnelse

Forord .....	iv
Abstract (engelsk) .....	v
Innholdsfortegnelse .....	vi
Tabelliste .....	ix
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn .....	1
1.2 Problemstilling.....	1
2 Teori .....	3
2.1 Massivtre .....	3
2.1.1 Stivhet – nedbøyning.....	5
2.1.2 Vibrasjonskrav – komfortkriterium.....	5
2.1.3 Lydisolering .....	7
2.2 Komposittmateriale .....	9
2.2.1 Massivtre – Betong komposittdekke .....	9
2.2.2 Notch forbindelse .....	10
3 Metode.....	11
3.1 Stivhet og Vibrasjonskrav .....	11
3.1.1 Stivhet - nedbøyning .....	12
3.1.2 Komfortkriterium .....	12
3.2 Lydisolasjon.....	13
3.2.1 Måling .....	13
3.2.2 Utregning.....	14
4 Resultater.....	16
4.1 Stivhet og komfortkriterium .....	16
4.2 Lydisolasjon.....	20
4.2.1 Luftlydislolasjon.....	21
4.2.2 Trinnlydnivå .....	23
5 Diskusjon og analyse.....	25
5.1 Stivhet og komfortkriterium .....	25
5.2 Lydisolasjon.....	26

6	Konklusjon .....	28
	Litteraturliste .....	30
	Vedlegg .....	32

# Figurliste

Figur 2 - Flersjiktselement .....	4
Figur 3 - Massivtre - betong komposittdekke ved bruk av notches .....	10
Figur 4 - 3 lags flersjiktskomposittdekke .....	12
Figur 5 - Dimensjoner for en bit av komposittdekke .....	16
Figur 6 - Dimensjoner for komposittdekke .....	16
Figur 7 - Mål komposittdekke .....	20

# Tabelliste

Tabell 1 Dimensjoneringskriterium for spennvidde.....	6
Tabell 2 Laboratoriemålte verdier for luft- og trinnlydisolasjon til krysslimte massivtreelementer.....	8
Tabell 3 Standarder for måling av lydisolasjon .....	13
Tabell 4 Verdier for redusering av trinnlydnivået ved bruken av trinnlydplate.....	15
Tabell 5 Sammenligning av dekketyper.....	18
Tabell 6 Sammenligning av større dekketyper.....	19
Tabell 7 Utdrag av tabell 2.....	20
Tabell 8 Laveste grenseverdi for luftlydisolasjon .....	22
Tabell 9 Høyeste grenseverdi for trinnlydisolasjon .....	24
Tabell 10 Resultat fra komposittdekke F1 og F2 .....	25
Tabell 11 Lydisolasjonskrav for undervisningsrom.....	26
Tabell 12 Resultater fra lydisolasjon.....	27



# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn

I 2017 ble agendaen om komposittdekke av massivtre og betong tatt opp på seminar, og arrangøren var FFT i samarbeid med Oslo tre og Asplan Viak. Her skulle det forsøkes å løse utfordringene rundt dette slik at komposittdekke av massivtre og betong kan brukes i større konstruksjoner i Skandinavia. (Tre-Betong – komposittdekker i samvirke, 2017)

Grunnen for et ønske om å bruke et komposittdekke av betong og massivtre, er at massivtredekke har en begrenset spennvidde. Komposittdekke kan ha en konkurransedyktig spennvidde, noe som kan være interessant for framtidens konstruksjoner.

## 1.2 Problemstilling

Hensikten med denne oppgaven er å se på et komposittdekke av krysslaminert massivtre og betong som et alternativ til et ordinært massivtredekke. I oppgaven er det tre hovedfaktorer som skal ses på. Disse er:

- Stivhet.
- Spennvidde med hensyn på komfortkriteriet, vibrasjonskrav.
- Lydisolering.

Da disse tre punktene går under kategorien bruksgrensetilstand, ser vi bort i fra bruddgrensetilstand. Dette er fordi spennviddene for slike dekker blir begrenset på grunn av krav mot ubehag. Med dette menes unødig nedbøyning, vibrasjoner og bråk.

Det ønskes derfor å undersøkes om et komposittdেকে har bedre lydisolerende verdier enn massivtredekke, og om disse verdiene støtter under kravene fra norske standarder. Om et slikt dekke kan øke spennvidden med hensyn på komfortkriteriet, slik at disse dekkene kan brukes i større konstruksjoner. Det vil vises til en oppbygning av krysslaminerte massivtreelementer, som også er kalt flersjiklelementer. Det vil også blir vist oppbygningen av komposittdেকে, også med tanke på forbindelsen mellom treverket og betongen.

Dette er et område som er ganske nytt og er relativt lite forsket på i norske standarder og forskningsartikler. Det blir derfor krevende å finne informasjonen som trengs for å beregne ønskede verdier.



# 2 Teori

## 2.1 Massivtre

Massive treelementer har vært brukt helt siden 1970-tallet i trebruer. Det var midlertidig ikke før i begynnelsen på 90-tallet Østerrike og Sveits tok dette i bruk til bygningsformål. I disse landene var de vanligste bruksområdene etasjeskillere, vegger og tak.

Første gang massive treelementer ble brukt i Norge, var i en villa i Asker i 1998.

Massive treelementer er lameller (bord eller plank) sammenføyd til elementer med spiker, skruer, tredybler, lim eller strekkstag, og benyttes som plane bygnings- eller konstruksjonsdeler. Overflatene kan være ubehandlet, ev. slipes og deretter påføres lakk, olje eller maling. For å oppnå spesielle egenskaper kan elementene suppleres med himlingsplater, isolasjon, kledning eller påstøp. En rekke konstruksjonssystemer basert på massive treelementer er utviklet. Utgangspunktet for disse systemene er elementer framstilt i fabrikk eller på byggeplass.

Vi har tre typer elementer det skilles mellom:

- Bordstabelementer
- Hulromselementer
- Flersjiktselementer

Vi skal ta utgangspunkt i flersjiktselementer som sammenligning til komposittdække.

Flersjiktselementer, også kalt CLT eller cross laminated timber på engelsk, er lameller lagt lagvis i kryss i forhold til hverandre, som regel med 45 eller 90 grader vinkling. Det må minimum være tre lag, og er normalt oddetall opp til 9 lag. Elementene blir enten limt eller spikret. Disse to variantene framstilles i fabrikker, men den spikrede varianten kan også lages på byggeplass. Tykkelsen til elementene varierer fra ca. 60 – 240 mm. Vanligvis vil de

ulike sjiktene ha forskjellige fasthetsklasser med f.eks C18 eller C14 i de innerste sjiktene, og C30 og C24 i yttersjiktene.



*Figur 1 - Flersjiktselement*

Ved bygging med massive treelementer må man ta hensyn til lyd- og brannegenskapene til konstruksjonen, samt komfortkriterium. (Byggforsk, 2001)

### **2.1.1 Stivhet – nedbøyning**

#### **Hva er stivhet?**

Stivhet viser til materialets evne til å motstå deformasjon. Det vil si å motstå endring i form når materialet påvirkes av en ytre kraft.

Stivhet kan uttrykkes som følger:

$$K = F / \delta$$

- K er stivheten
- F er den påførte kraften
- $\delta$  er deformasjonen

Da materialet påføres av enheten N og deformasjonen er gitt m, vil enheten for stivhet være N/m. Sawakinome (2018)

### **2.1.2 Vibrasjonskrav – komfortkriterium**

Ubekvemme vibrasjoner kan komme av lange spennvidder, og er ofte det som er dimensjonerende for massivtre. Årsaken til dette er at et massivtredekke er å anse som lett dersom man sammenligner med konstruksjoner i stål og betong.

Mennesker er ulike, og opplevelsen av vibrasjoner er dermed subjektiv og kravene blir hardere å bestemme. En vibrasjon kan erfares som ekkel og ubehagelig for en person og ikke merkbar for en annen. Det man kan si noe om, er opplevde vibrasjoner. En vibrasjon karakteriseres som uakseptabel dersom svingningen er merkbar eller ikke dempes med en gang, i tillegg til å ha en tilstrekkelig lav frekvens. Den vanligste formen for vibrasjoner i kommersielle bygninger er menneskeskapt. (Homb, 2008)

Tabell 1  
Dimensjoneringskriterium for spennvidde

Orienterende spennvidder for krysslimte elementer i etasjeskillere med vanlige personlaster. Tabellen gjelder for etasjeskillere med egenlast og nyttelast 2,0 og 4,0 kN/m<sup>2</sup>.

Element-tykkelse / antall sjikt	Dimensjoneringskriterium for spennvidde <sup>1)</sup> (m)				
	Komfort- kriterium  ved personlast <sup>2)</sup>	Jevnt fordelt nyttelast, maksimal nedbøyning l/300			
mm/antall		2,0 kN/m <sup>2</sup>	2,0 <sup>3)</sup> kN/m <sup>2</sup>	4,0 kN/m <sup>2</sup>	4,0 <sup>3)</sup> kN/m <sup>2</sup>
100/3	3,4	3,9	3,7	3,2	3,1
120/5	3,7	4,1	3,9	3,4	3,3
140/5	4,2	5,1	4,8	4,3	4,1
160/5	4,5	5,6	5,3	4,7	4,5
180/5	4,8	6,1	5,8	5,1	5,0
200/7	5,2	6,8	6,4	5,7	5,5
220/7	5,4	7,0	6,7	6,0	5,8
240/7	5,6	7,4	7,1	6,3	6,1

<sup>1)</sup> Tabellen gjelder for elementer montert fritt opplagt over ett spenn, og for klimaklasse 1 og i henhold til NS 3470-1.

<sup>2)</sup> Spennvidder kan økes opptil 10 % dersom minst fire elementer er montert sammen sideveis.

<sup>3)</sup> Inkludert 0,5 kN/m<sup>2</sup> ekstra påført egenlast på grunn av tilleggskonstruksjon.

(Byggforsk, 2009)

### 2.1.3 Lydisolering

Et hovedprinsipp for å oppnå god lydisolering er høy flatemasse ( $\text{kg/m}^2$ ). Her har massivtre (CLT) et svakt utgangspunkt da det har en lav egenvekt på  $450 - 500 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ . Samtidig som en lav egenvekt, har massivtre et høyt indre tap, noe som gjør at lyden ikke vil overføres særlig langt. Uten tilleggskonstruksjon, vil ikke massivtre alene dekke kravene for lydisolering.

To viktige størrelser når man jobber med lydforhold er luftlydisolering og trinnlydnivå.

**Luftlydisolering** angir en konstruksjons evne til å isolere mot luftlydoverføring, f.eks. lyd fra samtaler, TV, musikkanlegg osv. Dette måles som veid feltnål lydreduksjonstall  $R'_w$  (dB). Jo høyere  $R'_w$ -verdien er, jo bedre luftlydisolasjon.

**Trinnlydnivå** angir konstruksjonens evne til å overføre lyd fra fottrinn, dunking o.l. i bygninger. Dette måles som veid feltnål trinnlydnivå  $L'_{n,w}$  (dB). Jo høyere  $L'_{n,w}$ -verdien er, jo svakere trinnlydisolasjon.

(Tekna, 2020)

Økt bruk av lydkilder med høyt lavfrekvensinnhold (radio, tv, musikkanlegg) gjør at det er økende behov for å stille strengere krav til at skillekonstruksjonen har rimelig god lydisolasjon i lavfrekvensområdet. Dette er et problem for lette skillekonstruksjoner som brukes i dag. Enda større er problemet knyttet til trinnlyd på lette etasjeskillere, selv om det brukes ganske kompliserte konstruksjoner med både lydisolerende, flytende golv og lydhimling. Mye av problemet er knyttet til flankeoverføring til lette oppleggsvegger. Innføring av lavfrekvensbedømmelse ned til 50 Hz vil føre til at konstruksjonspraksisen må endres. Flanketransmisjon er lydenergi som overføres fra et rom til et annet via flankerende konstruksjoner. I et hus med flere etasjer kan lyd som treffer veggen i et rom, få husets bærekonstruksjon til å vibrere. Disse vibrasjonene kan så få vegger i etasjen over eller under til å vibrere og derved gi lyd i rommene. (Byggforsk, 2009)

Under viser Tabell 2 verdier til krysslimte massivtreelementer for både luftlydisolasjon  $R_w$  og trinnlydisolasjon  $L_{n,w}$ .

Tatt fra Trefokus sin artikkel nr.20 sier at:

*«Et massivtreelement anvendt som etasjeskille med eksponert over- og underside vil oppnå,  $R_w = 37-43$  dB.*

*Et massivtreelement anvendt som etasjeskille med eksponert over- og underside vil oppnå,  $L_{n,w} = 77-85$  dB»*

Det stemmer bra med de målte verdiene under.

*Tabell 2  
Laboratiemålte verdier for luft- og trinnlydisolasjon til krysslimte massivtreelementer*

Elementtykkelse mm	Flatevekt kg/m <sup>2</sup>	Luftlydisolasjon dB		Trinnlydisolasjon dB	
		$R_w$	$C_{50-5000}$	$L_{n,w}$	$C_{1,50-2500}$
120	60	34-37	-1	88-86	0
160	80	37-41	-1	87-83	0
200	100	40-44	0	86-80	0

(Byggforsk, 2009)

## 2.2 Komposittmateriale

### 2.2.1 Massivtre – Betong komposittdække

Selv om massivtre blir stadig mer populært som konstruksjonsmateriale, er det visse utfordringer angående utforming av bygg i massivtre. Mens kriterier for bruddgrensetilstand ofte kan holdes uten for mye innsats, er det vanskeligere å tilfredsstille kravene for vibrasjoner og lydoverføringer. For å forbedre dekkes komfort kan en ekstra masse av et annet materiale bli lagt til overflatene. Da et ekstra lag med masse kan hjelpe kravene for vibrasjon og lydoverføringer, kan dette også gjøre at den nødvendige tykkelsen til massivtredekke må økes for å bære materialets egenvekt. Det er imidlertid mulig å legge til ekstra masse samtidig som dekkes bøyeegenskaper forbedres ved bruk av et massivtre-betong komposittdække.

Å designe slike strukturer kan være veldig komplisert, siden krumning og fordelingen av indre krefter endres over tid. Viktige aspekter og mulige fordeler er godt beskrevet i a state-of-the-art rapport av Dias (2018).

I et komposittdække er detaljering rundt dimensjoneringen av skjærforbindelsen mellom massivtreet og betongen viktig. De vanligste måtene å utforme skjærforbindelser på innebærer dybler (dowels), hakk (notches), riller (grooves) eller skruer. Disse brukes ofte i kombinasjon med hverandre. Det er også viktig å utforme forbindelsen så det unngås løsrivelse av massivtre og betong i vertikal retning. Det er angitt i EN 1995-2 (Prosjektering av trekonstruksjoner - Del 2: Bruer) at skjærforbindelsen skal være designet for å motstå en vinkelrett strekkraft lik 10 % av den horisontale skjærkraften. (Reitan, 2019)

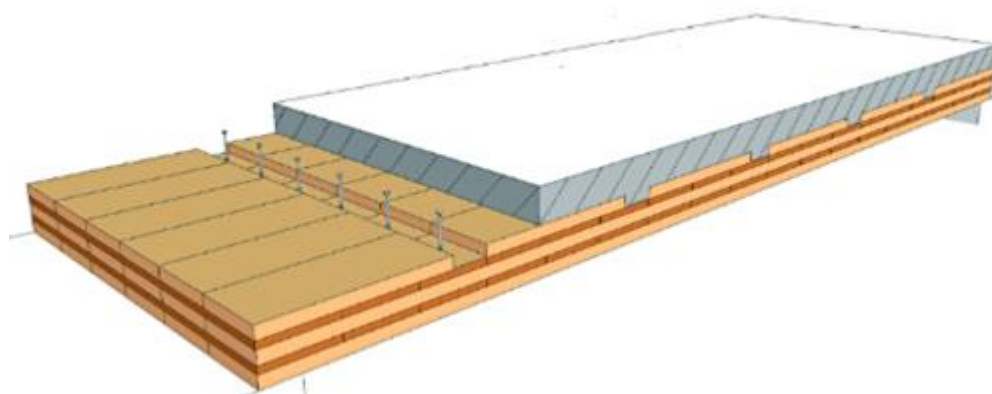
Da D/O Architects skulle begynne massivtreprosjektet sitt TMBR i Minneapolis, tok de utgangspunkt i et komposittdekket av flersjiktselement og betong, med hensyn på akustisk testing. De fant da ut at et slikt komposittsystem hadde flere fordeler i et leilighetskompleks:

- Økt bøyestivhet reduserer både langvarige krypavbøyninger og kritikkverdige vibrasjoner ved dunking og gange.
- Økt masse som har potensial til å forbedre lydisolasjonen til gulvsystemet.

## 2.2.2 Notch forbindelse

En notch forbindelse kombinert med en slags fransk treskrue eller annen lignende festeanordning, likt bildet i figur 3, er utvilsomt en av de mest effektive forbindelsene for massivtre-betong komposittdekke med hensyn til både styrke og stivhet. Det er normalt en CNC maskin, en forkortelse for computer numerical control, som gjør det mulig å lage disse hakkene på en presis, rask og økonomisk metode. I en notch forbindelse, er skjærkraften mellom de to materialene tatt av (opplager), på grunn av dens høye stivhet, reduserer glidningen mellom treverket og betongen. På grunn av den relativt lave bøyestivheten, sammenlignet med opplagerstivheten i selve hakket, blir den vertikale skruen litt irrelevant i overføring av skjærkraft mellom de to materialene. Skruen har likevel en sentral funksjon i å holde materialene sammen, da eksentrisiteten mellom aksialkraften i treverket og aksialkraften i betongen, kan forårsake separasjon under lasting av dekke.

Forskjellige forskere har kommet med ulike løsninger på geometrien til disse hakkene, f.eks. trapesformet, rektangulært, trekantet osv. sammen med forskjellige trematerialer. I henhold til Fragiaco fra Design of timber-concrete composite beams with notched connections, var det hakkets lengde, tilstedeværelsen av skruen og dybden dens, som var funnet å være de viktigste faktorene som påvirker forbindelsens ytelse. (Jiang og Crocetti, 2018)



Figur 2 - Massivtre - betong komposittdekke ved bruk av notches



# 3 Metode

## 3.1 Stivhet og Vibrasjonskrav

Det fins to måter å finne effektiv bøyestivhet ved hjelp av mekanisk analyse. Den ene heter skjæranalogimetoden, og den andre heter  $\gamma$ -metoden. Det vanligste er å kombinere disse to. Skjæranalogiprosedyren for å bestemme egenskapene til sjiktene i massivtre delen, og betrakter dermed den rullende skjærstivheten i de tverrgående sjiktene.  $\gamma$ -metoden kan praktisk talt brukes til å beregne den effektive bøyestivheten til en komposittseksjon, tatt koblingen mellom elementene i betraktning.

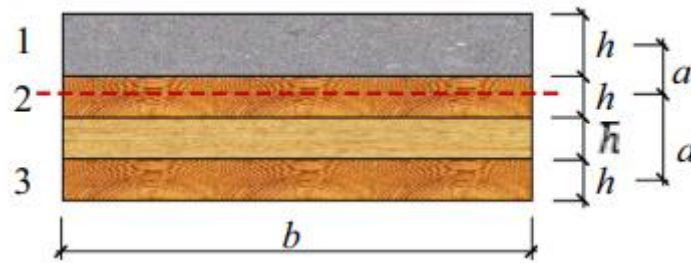
Den effektive bøyestivheten ( $EI_{eff}$ ) til komposittdekket av flersjiktet massivtre og betong blir beregnet som følger:

$$EI_{eff} = \sum_{i=1}^n (EI)_i + \gamma_i E_i A_i a_i^2$$
$$\gamma_{i=1} = \left(1 + \pi^2 \times \frac{E_i A_i s_i}{k_i L^2}\right)^{-1}$$

Hvor  $EI_i$  og  $A_i$  er bøyestivhet og areal for forholdsvis betong ( $i = 1$ ) og massivtre ( $i = 2$ ). beregnet ved skjæranalogimetoden.  $k_i$  er skli modulen til forbindelsene,  $s_i$  er avstanden mellom forbindelsene ifølge Eurokode 5, og  $a_i$  er avstanden mellom tyngdepunktaksen til i tverrsnittet til tyngdepunktaksen til hvert element:

$$a_{i=1} = \frac{E_2 A_2 (h_b + h_t)/2}{\gamma_1 E_1 A_1 + \gamma_2 E_2 A_2}$$
$$a_{i=2} = \frac{\gamma_1 E_1 A_1 (h_b + h_t)/2}{\gamma_1 E_1 A_1 + \gamma_2 E_2 A_2}$$

(Mai, Park, Nguyen, Lee, 2018)



Figur 3 - 3 lags flersjiktet komposittdække

(Jiang, Crocetti, 2018)

### 3.1.1 Stivhet - nedbøyning

For å finne den aktuelle nedbøyningen til dekke, kan lastkombinasjonen knyttet til bruksgrensetilstand brukes til beregning. Nedbøyningen under den angitte lasten må være innenfor grensen på  $L/180$  og kan beregnes som følger:

$$\Delta = \frac{5\omega L^4}{384EI_{eff}}$$

Hvor  $\omega$  er jevnt fordelt last. (Daneshvar, Joyce, Chui, 2021)

Formelen kan også anvendes slik at vi finner lengden  $L$  ved maksimal nedbøyning. Det gjøres ved å sette maksimal nedbøyning  $L/180$  inn for  $\Delta$ . Da ser formelen slik ut:

$$L = \sqrt[3]{\frac{384EI_{eff}}{900\omega}}$$

### 3.1.2 Komfortkriterium

For kontroll av lengste spennvidde med hensyn på komfortkriterium, brukes følgende formel:

$$L \leq \frac{((EI)_{eff}^{1m})^{0,278}}{4,835m_L^{0,166}}$$

Hvor  $m_L$  er flatemassen komposittdেকে med en bredde på 1 m (kg/m),  $L$  er spennvidde (m) og  $EI_{\text{eff}}$  er den effective bøyestivheten til dekke ( $\text{Nm}^2$ ). (Daneshvar, Joyce, Chui, 2021)

## 3.2 Lydisolasjon

### 3.2.1 Måling

Måling av luft- og trinnlydisolasjon bør gjennomføres med de mest presise metodene som er etablert for henholdsvis laboratorie- og feltmålinger. Tabell 3 gir en oversikt over de aktuelle metodene.

Tabell 3  
Standarder for måling av lydisolasjon

**Tabell 3.1.**  
**Standarder for måling av luft- og trinnlydisolasjon til skillekonstruksjoner i felt og laboratorium**

Situasjon/verdi	Luftlydisolasjon	Trinnlydisolasjon	Spesielle situasjoner
Laboratorium	NS-EN ISO 140-3	NS-EN ISO 140-6	-
Felt	NS-EN ISO 140-4	NS-EN ISO 140-7	NS-EN ISO 140-14

For å oppnå best mulig reproduserbarhet og repeterbarhet er antall posisjoner til lydkilde (høytaler eller trinnlydsapparat) viktig, og man bør minst følge anbefalinger i standarden for spesielle situasjoner. Beregning av entallsverdier, for eks.  $R'w$  eller  $L'n$ ,  $w$  gjennomføres i henhold til NS-EN ISO 717-1 og 717-2. Disse to standardene åpner for bedømmelse av lydisolasjonen for et utvidet frekvensområde. Her er spesielt lavfrekvensområdet (1/3-oktavbåndene 50, 63 og 80 Hz) viktig for å få bedre samsvar med opplevd lydisolasjon. Det anbefales derfor å inkludere disse frekvensbåndene ved alle målinger. Slike verdier gir mulighet til å beregne omgjøringsstall for spektrum, såkalte C-korreksjoner for utvidet frekvensområde  $C50-5000$  (luftlyd) og  $Ci,50-2500$  (trinnlyd). I NS 8175 er det anbefalt å inkludere  $C50-5000$  i lydklasse C, mens det er obligatorisk i lydklasse A og B. Store negative verdier for  $C50-5000$  er uttrykk for at konstruksjonen isolerer dårlig for lavfrekvensområdet. Store positive verdier for  $Ci,50-2500$  er uttrykk for det samme (negative tall skal ikke regnes med). (Homb og Hveem, 2011).

## 3.2.2 Utregning

### Luftlydisolasjon

Komposittdেকে blir sett på som et enkelt materiale ved utregning, da det ikke legges til noe lydisolerende elementer. Ved et område fra 30 kg/m<sup>2</sup> til 800 kg/m<sup>2</sup> i flatemasse, vil formelen se slik ut:

$$R'_{w,double-shell} = 20 \log(m'_{TCCF}) + 7 \text{ dB}$$

$$m'_{TCCF} = m'_{Floor} + m'_{Subfloor}$$

I vårt tilfelle ser vi bort fra  $m'_{Subfloor}$ , og  $m'_{TCCF}$  blir dermed en sammensetning av flatemassen til massivtre og betong. 7 dB blir lagt til på grunn av «subfloor» på oversiden av dekke, dette blir dermed ikke lagt til i en utregning.

Man kan dermed heller se på formelen slik:

$$R'_{w,komposittdেকে} = 20 \log(m')$$

$$m' = m'_{betong} + m'_{massivtre}$$

### Trinnlydnivå

For beregning av trinnlydnivået i komposittdেকে vurderes komposittdেকে som separat fra et eventuelt gulvbelegg. I vårt tilfelle har vi ingen gulvbelegg som skal redusere trinnlyden, men om dette var tilfelle ville man funnet dette i tabell 4 for trinnlydplater. Utregningen av trinnlyden er som følgerne:

$$L'_{n,w} = 164 - 35 \log(m'_{TCCF}) - \Delta L_w$$

$$m'_{TCCF} = m'_{Floor} + m'_{Subfloor}$$

Tabell 4

Verdier for redusering av trinnlydnivået ved bruken av trinnlydplate.

Subfloor	Max. $s'$	$\Delta L_w$	
Subfloor according to DIN 18560 part 2 with maximum dynamic rigidity $s'$		With hard floor cover	With soft floor cover
	30 MN/m <sup>3</sup>	26 dB	27 dB
	20 MN/m <sup>3</sup>	28 dB	30 dB
	15 MN/m <sup>3</sup>	29 dB	33 dB
	10 MN/m <sup>3</sup>	30 dB	34 dB

I vårt tilfelle ser vi bort fra  $m'_{\text{Subfloor}}$ , og  $m'_{\text{TCCF}}$  blir dermed en sammensetning av flatemassen til massivtre og betong. Formelen er også kun gjeldene innenfor et område på 100 – 600 kg/m<sup>2</sup>. Uten subfloor, blir det heller ingen  $\Delta L_w$ .

En kan dermed heller se formelen slik:

$$L'_{n,w} = 164 - 35 \log(m')$$

$$m' = m'_{\text{betong}} + m'_{\text{massivtre}}$$

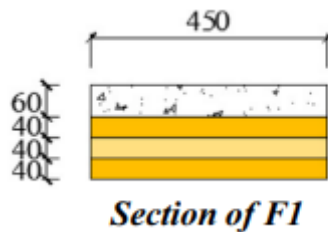
(Schmid, 2005)

# 4 Resultater

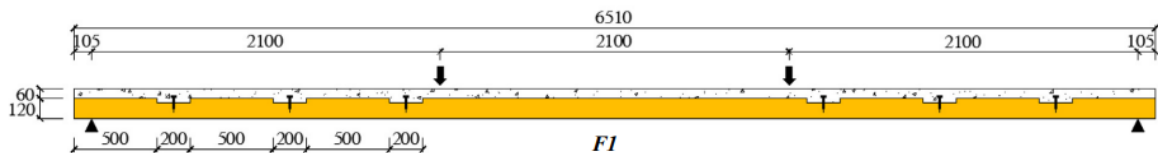
## 4.1 Stivhet og komfortkriterium

Det er Yuchen Jiang og Roberto Crocetti sine laboratoriske undersøkelser som legges til grunn for resultatene nedenfor. Vi bruker derfor deres mål, og ser på dekke F1 da denne kan sammenlignes med en tilsvarende størrelse fra tabell 1 om massivtre.

Dekke F1 ser altså tilsvarende ut:



Figur 4 - Dimensjoner for en bit av komposittdekte



Figur 5 - Dimensjoner for komposittdekte

Hvis vi starter med figur 6, har dekke en høyde på 180 mm. Denne er videre fordelt på massivtre og betong, med verdiene;  $h_t = 120$  mm og  $h_b = 60$  mm. Lengde på dekke er 6510 mm, med et spenn på 6300 mm. Hver notch har en senteravstand  $s = 600$  mm. Hver notch har også et mål på  $l \times b \times t = 200$  mm  $\times$  450 mm  $\times$  25 mm. Skruen som er satt midt i notch – forbindelsen er 120 x 10 mm og er satt 55 mm ned i massivtre delen.

Figur 5 viser inndelingen av sjiktene i massivtre delen, og vi kan se den har tre sjikt med  $h = 40$  mm i hvert sjikt.

Ved utregning med hjelp av  $\gamma$ -metoden fra 3.1 finner vi bøyestivheten  $EI_{eff} = 2719 \text{ kNm}^2$ .

Med svar på den effektive bøyestivheten, får vi funnet maksimal lengde med hensyn på komfortkriteriet for vibrasjon. Dette beregner vi ved bruk av følgende formel fra 3.1.2:

$$L \leq \frac{((EI)_{eff}^{1m})^{0,278}}{4,835m_L^{0,166}}$$

Hvor  $m_L$  er flatemassen til komposittdেকে med en bredde på 1 m (kg/m).

$$m_L = m_{L,betong} + m_{L,massivtre}$$

$$m_{L,betong} = 2400 \text{ kg/m}^3 * 0,06 \text{ m} = 144 \text{ kg/m}^2$$

$$m_{L,massivtre} = 500 \text{ kg/m}^3 * 0,12 \text{ m} = 60 \text{ kg/m}^2$$

$$m_L = (144 \text{ kg/m}^2 + 60 \text{ kg/m}^2) \times 1 \text{ m} = 204 \text{ kg/m}$$

Dette gjør at samtlige tall kan fylles i formelen og vi får følgende:

$$L \leq \frac{(2719 \text{ kNm}^2)^{0,278}}{4,835 \times 204 \text{ kg/m}^{0,166}} = 5,26 \text{ m}$$

Hvis vi setter inn i en tabell med to massivtredekker som kan minne om komposittforslaget, ser vi at et slikt tynt dekke ikke øker spennvidde nevneverdig mtp vibrasjonskrav.

Tabell 5  
Sammenligning av dekketyper

Dekketype høyde/antall sjikt mm/antall	Spennvidde mtp. komfortkriterium (m)
120/5	3,70
180/5	4,80
120/3 + 60 betongstøp	5,26

Det er ikke før vi tar for oss de mer robuste dekkene vi begynner å se en drastisk endring i spennvidde med hensyn på vibrasjonskrav og komfortkriteriet. Jiang og Crocetti viser også til et komposittdekke med  $h = 260$ , med  $h_t = 180$  fordelt på 5 sjikt og  $h_b = 80$  mm i sin forskning. Dette dekke blir kalt F2, og ved bruk av tallene for dette dekke får vi følgende utregning:

$$m_L = m_{L,betong} + m_{L,massivtre}$$

$$m_{L,betong} = 2400 \text{ kg/m}^3 * 0,08 \text{ m} = 192 \text{ kg/m}^2$$

$$m_{L,massivtre} = 500 \text{ kg/m}^3 * 0,18 \text{ m} = 90 \text{ kg/m}^2$$

$$m_L = (144 \text{ kg/m}^2 + 60 \text{ kg/m}^2) \times 1 \text{ m} = 282 \text{ kg/m}$$

Etter utregning av  $\gamma$ -metoden blir den effektive bøyespenningen  $EI_{\text{eff}} = 7898 \text{ kNm}^2$ .

$$L \leq \frac{(7898 \text{ kNm}^2)^{0,278}}{4,835 \times 282 \text{ kg/m}^{0,166}} = 12,71 \text{ m}$$

På den ene siden er dette dekke 20 mm tykkere enn det største massivtredekke vi har vist på 240 mm over 7 sjikt. På den andre siden ser vi en økning på over det dobbelte i spennvidde.



Tabell 6  
Sammenligning av større dekketyper

Dekketype høyde/antall sjikt mm/antall	Spennvidde mtp. komfortkriterium (m)
180/5	4,80
240/7	5,60
180/5 + 80 betongstøp	12,71

(Jiang og Crocetti, 2018)

## 4.2 Lydisolasjon

Fra 3.3.2 *utregning* har vi formlene for å finne ut verdien til luftlydisolasjon  $R'_w$  og trinnlydnivået  $L'_{n,w}$ . For å regne ut dette trengs  $m'$ , som er materialets vekt per kvadrat, også kalt flatemasse. Dette måles i  $\text{kg/m}^2$ . For å finne dette multipliseres egenvekten til materialet ( $\text{kg/m}^3$ ) med materialets tykkelse. Vi har tidligere vist til massivtreets egenvekt som 450 – 500, og velger derfor  $500 \text{ kg/m}^3$  da dette ble brukt i testingen av massivtre i tabell 2. Betong har en egenvekt på  $2400 \text{ kg/m}^3$ .

Da resultatene fra disse utregningene skal sammenlignes med resultatene i tabell 2 om lydisolasjon for massivtre, velger jeg lik tykkelse på begge dekkene. Det tas derfor ut en av de tre elementtykkelse. Og verdiene er som følger:

Tabell 7  
Utdrag av tabell 2

Elementtykkelse mm	Flatevekt $\text{kg/m}^2$	Luftlydisolasjon dB		Trinnlydisolasjon dB	
		$R_w$	$C_{50-5000}$	$L_{n,w}$	$C_{1,50-2500}$
200	100	40–44	0	86–80	0

Med tykkelse 200 mm på massivtredekke, vil vi også ha denne tykkelsen på komposittdekke. Fordeling blir dermed som følger:



Figur 6 - Mål komposittdekke

## 4.2.1 Luftlydislolasjon

Ved bruk av formelen i punkt 3.2.2, og dekketykkelsen i figur 4, får vi en utregning som følger:

$$R'_{w, \text{komposittdেকে}} = 20 \log(m')$$

$$m' = m'_{\text{betong}} + m'_{\text{massivtre}}$$

$$m'_{\text{betong}} = 2400 \text{ kg/m}^3 * 0,08 \text{ m} = 192 \text{ kg/m}^2$$

$$m'_{\text{massivtre}} = 500 \text{ kg/m}^3 * 0,12 \text{ m} = 60 \text{ kg/m}^2$$

$$m' = 192 \text{ kg/m}^2 + 60 \text{ kg/m}^2 = 252 \text{ kg/m}^2$$

$$R'_w = 20 \log(252 \text{ kg/m}^2) = \mathbf{48,03 \text{ dB}}$$

I tabell 5 kan vi se grenseverdiene for luftlydisolasjon. Med en  $R'_w$  på 48,03 dB, ser vi at den akkurat er i det svakeste laget for de fleste brukerområdene. Ved korreksjonsfaktor som gir strengere krav, altså klasse B, ser vi at kun kontorer støttes. I klasse C, altså uten korreksjonsfaktor, vil halvparten av brukerområdene være innenfor vår verdi. Det er likevel ingen tvil om at det må et isolerende element til for å bruke dette dekke som et gulv.

Hvis vi sammenligner med verdiene til massivtredekke fra tabell 7, kan vi se at luftlydisolasjonen minimum er 4 dB høyere i et komposittdেকে, enn et vanlig massivtredekke med lik tykkelse.

Tabell 8  
Laveste grenseverdi for luftlydisolasjon

Laveste grenseverdi i klasse B og C (inklusive korreksjonsfaktor C<sub>50–5000</sub> som gir en strengere bedømmelse av lydisolasjonen ved lave frekvenser i klasse B) for aktuelle bygningskategorier. Utdrag av NS 8175

Type brukerområde	Klasse B $R'_w + C_{50-5000}$ dB	Klasse C $R'_w$ dB
Boliger: Mellom boenheter og mellom boenheter og fellesareal	58	55
Overnattingssteder: Mellom gjesterom og mellom gjesterom og fellesarealer uten dørforbindelse	55	52
Pleieinstitusjoner: Mellom senge- eller beboerrom og mellom senge- eller beboerrom og fellesarealer uten dørforbindelse	54	52
Bygninger til undervisningsformål: Mellom undervisningsrom og mellom undervisningsrom og fellesareal uten dørforbindelse	52	48
Barnehager, skolefritidsordning o.l.: Mellom rom for søvn og hvile og fra rom for søvn og hvile til samtalerom/ personalrom og fellesrom uten dørforbindelse	52	48
Kontorer: Mellom kontorer og mellom kontorer og fellesarealer uten dørforbindelse	40	37

## 4.2.2 Trinnlydnivå

Ved bruk av formelen i punkt 3.2.2, og dekketykkelsen i figur 4, får vi en utregning som følger:

$$L'_{n,w} = 164 - 35 \log(m'_{TCCF}) - \Delta L_w$$

$$m'_{TCCF} = m'_{Floor} + m'_{Subfloor}$$

$$m'_{betong} = 192 \text{ kg/m}^2$$

$$m'_{massivtre} = 60 \text{ kg/m}^2$$

$$m' = 192 \text{ kg/m}^2 + 60 \text{ kg/m}^2 = 252 \text{ kg/m}^2$$

$$L'_{n,w} = 164 - 35 \log(252 \text{ kg/m}^2) = \mathbf{79,95 \text{ dB}}$$

I tabell 6 kan vi se grenseverdiene for trinnlydisolasjon. Med en  $L'_{n,w}$  på 79,95 dB, ser vi at den ikke er i nærheten for å komme under høyeste grenseverdi i noen av bruksområdene. Et slik komposittdekke vil være avhengig av et eller flere lydisolerende element, eksempelvis en trinnlydplate, eller annet gulvbelegg som reduserer trinnlydnivået.

Hvis vi sammenligner med verdiene fra tabell 7, verdiene fra massivtredekke, kan vi se at de to dekkene er relativt like med tanke på trinnlydisolering.

Tabell 9  
Høyeste grenseverdi for trinnlydisolasjon

Høyeste grenseverdi i klasse B og C (inklusive korreksjonsfaktor  $C_{1,50-2500}$  som gir en strengere bedømmelse av lydisolasjonen ved lave frekvenser i klasse B) for aktuelle bygningskategorier. Utdrag av NS 8175.

Type brukerområde	Klasse B $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ dB	Klasse C $L'_{n,w}$ dB
Boliger: Mellom boenheter og i en boenhet fra fellesarealer	48	53
Barnehager, skolefritidsordning o.l.: Mellom rom for søvn og hvile og mellom rom for søvn og hvile og samtalerom/personalrom fra fellesrom	53	58
Overnattingssteder: Mellom gjesterom og i gjesterom fra fellesarealer	53	58
Pleieinstitusjoner: Mellom senge- eller beboerrom og i senge- eller beboerrom fra fellesarealer	55	58
Bygninger til undervisningsformål: Mellom undervisningsrom/personal-rom og i undervisningsrom/personalrom fra fellesareal / felles oppholdsrom	58	63
Kontorer: Mellom kontorer, mellom kontorer og møterom og fra fellesarealer til kontorer	58	63

(Byggforsk, 2009)

# 5 Diskusjon og analyse

## 5.1 Stivhet og komfortkriterium

I tabell 10 har vi en samling av de viktigste verdiene for de to eksemplene for komposittdেকে. Her ser vi størrelsen, bøyestivheten EI og komfortkriterium ved spennvidde.

F1 var et 180 mm tykt komposittdেকে, som tilsynelatende skulle tåle en god del mer enn et massivtredeके i sammen størrelsen, endte kun med et marginalt lenger spenn enn sin konkurrent. Dette har ingenting med grenseverdiene for brudd, men har heller en grenseverdi for brukstilstanden til deके, altså komfortkriteriet. Komfortkriteriet tar hensyn til vibrasjonskravet, og et lenger deके vil dermed skape ubekvemme vibrasjoner. For å hindre slike vibrasjoner i lenger spenn, kan tykkelsen på betongen økes, da tyngre materialer er mindre sårbare for dette. Dette vil naturligvis skape andre problemer bl.a. et større CO<sub>2</sub> avtrykk, og større vekt på massivtre delen i komposittdেকে mtp brudd.

F2 var et større deके, med fler sjikt, og en tykkere betongstøp. Her var utregningene positive med tanke på spennvidde da denne var på nesten 13 meter. Det sies at med krysslaminerte massivtre elementer med maks tykkelse på 320 mm, vil man fortsatt ikke kunne ha noe større spennvidde enn 7,5 m. Å da kunne ha et smalere deके som orker over fem meter lenger ser jeg på som gunstig.

Tabell 10  
Resultat fra komposittdেকে F1 og F2

Dekkenr.	Dimensjoner mm/sjikt + mm betongstøp	Bøyestivhet kNm <sup>2</sup>	Spennvidde komfortkriterium mm
F1	120/3 + 60	2719	5,26
F2	180/5 + 80	7898	12,71

## 5.2 Lydisolasjon

I tabell 12 har vi en samling av de viktigste verdiene for å komposittdekke til sammenligning med massivtredekke. Her ser vi størrelsen, luftlydisolasjonen og trinnlydisolasjonen.

Et rent komposittdekke uten noen form for isolering kan vi se ikke er en all verden alternativ for å nå kravene om lydisolering. Det er likevel hakket bedre enn et vanlig massivtredekke uten tilleggskonstruksjon som er utsatt på begge sider.

Hvis vi ser på et undervisningsrom, hvor kravene er omtrent middels strenge, ser vi at:

Tabell 11  
Lydisolasjonskrav for undervisningsrom

Bruksområde	Klasse B $R'_w + C_{50-5000}$ dB	Klasse C $R'_w$ dB	Klasse B $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ dB	Klasse C $L'_{n,w}$ dB
Bygninger til undervisningsformål: Mellom undervisningsrom og mellom undervisningsrom og fellesareal uten dørforbindelse	52	48	58	63

Ved sammenligning av tabell 11 og tabell 12 ser vi at kun et krav blir opprettholdt. Dette kravet er luftlydisolasjon Klasse C som akkurat er tilstrekkelig for komposittdekket.

Ingen andre lydkrav blir opprettholdt, og det er ingen tvil om at begge dekkene trenger et slags lydisolerende lag, samt en trinnlydplate, da trinnlydnivået er et godt stykke over de maksimale kravene for støy. Disse lydisolerende platene kan være alt fra alu tape, polyester, mineralull eller andre plater på markedet.



Tabell 12  
Resultater fra lydisolasjon

Dekketype	Dimensjoner (mm)	Luftlydisolasjon $R'_w$ (dB)	Trinnlydnivå $L'_{n,w}$ (dB)
Massivtre	200	40 - 44	86 - 80
Kompositt	200 (120 + 80)	48	80

I tabell 8 og tabell 9, ligger kravene for luftlydisolasjon og trinnlydnivå for ulike bruksområder.

## 6 Konklusjon

Utrekningene og funnene ble positivt med tanke på hovedfokuset som var spennvidden til komposittdekke. Det er funnet ut at et massivtredekke har et maksimalt spenn på 7,5 m ved et dekke på 320 mm, med ni sjikt. Dette er et vesentlig tykkere dekke enn det tykkeste som ble brukt i denne artikkelen. Med en tykkelse på 260 mm, ble spennvidden beregnet 5,21 m lenger enn det maksimal spennvidde er for massivtre når bruksgrensetilstanden blir tatt i betraktning. Dette er en økning på 69,5 %, og ville vært enda større om samme tykkelse ble beregnet.

Det ble likevel ikke en lignende stor økning for de «tynnere» dekkene. Et massivtredekke på 180 mm med 5 sjikt, gir en spennvidde på 4,8 når komfortkriterium blir tatt hensyn til. Et like tykt dekke, med 120 mm krysslaminert treverk og 60 mm betong, gir 5,26 m spenn ut fra disse beregningene. Det er kun en økning på 46 cm, og prosentvis økning med 9,6 %.

Går vi over på de lydisolerende beregningene, var ikke dette en like stor forskjell. Et massivtredekke og et komposittdekke med lik tykkelse ble undersøkt for luftlydisolasjon og trinnlydnivå. Dette er verdier som er krevende å tilfredsstille for slike materialer.

Komposittdekke kom likevel ut med en knepen seier over massivtredekke. Ut fra byggforsk sine sider om massivtre ligger et 200 mm dekke på luftlydisolasjon  $R'_w$  mellom 40 – 44 dB, mens trinnlydisolasjon  $L'_{n,w}$  mellom 86 – 80 dB. Komposittdekke med 120 mm massivtre og 80 mm betong, ble beregnet til luftlydisolasjon  $R'_w = 48$  dB, mens trinnlydisolasjon  $L'_{n,w} = 80$  dB. Dette er likevel ikke godt nok for kravene i de norske standardene, og komposittdekke må uansett bli isolert, spesielt med tanke på trinnlyd.

## **Videre arbeid**

Dette kunne naturligvis bli gjort bedre, både beregningsmessig, men også ved å gjøre egne forsøk på område, kontra og stjele andres forskning til rapporten. Med egen forskning ville jeg kunnet sammenlignet beregninger med realitet. Med slik begrenset data som ligger ute på område, ville en slik forskning gjort prosjektet mer helhetlig. Det ville også gjort prosjektet til en mer forskningsrapport enn en ren litteraturanalyse.

# Litteraturliste

Byggforsk (2001) *520.205 Massive treelementer. Typer og bruksområder*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/3009/massive\\_treelementer\\_typer\\_og\\_bruksomraader#i11](https://www.byggforsk.no/dokument/3009/massive_treelementer_typer_og_bruksomraader#i11) (Hentet: 19. Mai 2022).

Byggforsk (2009) *522.891 Etasjeskillere i massivtre*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/3367/etasjeskillere\\_i\\_massivtre#i21](https://www.byggforsk.no/dokument/3367/etasjeskillere_i_massivtre#i21) (Hentet: 19. Mai 2022).

Daneshvar, H., Joyce, T., Chui, Y. (2021) Sustainability Design Considerations for Timber-Concrete Composite Floor Systems. Tilgjengelig fra: <https://www.hindawi.com/journals/ace/2021/6688076/#B34> (Hentet: 19. Mai 2022).

Homb, A. (2008). *Vibrasjonsegenskaper til dekker av massivtre*. (Hentet: 19. Mai 2022).

Homb, A., Hveem, S. (2011). *Lydoverføring i byggesystemer med massivtreelementer*. Tilgjengelig fra: <https://www.sintefbok.no> (Hentet: 19. Mai 2022)

Jiang, Y., Crocetti, R. (2018) *CLT-concrete composite floors with notched shear connectors*. Tilgjengelig fra: [CLT-concrete composite floors with notched shear connectors - ScienceDirect](https://doi.org/10.1016/j.constrbuildmat.2018.08.088) (Hentet: 19. Mai 2022).

Mai, K., Park, A., Nguyen, K., Lee, K. (2018) *Full-scale static and dynamic experiments of hybrid CLT–concrete composite floor*. Tilgjengelig fra: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061818305257> (Hentet: 19. Mai 2022).

Reitan, T. (2019) *A pilot study of insulated CLT*. Masteroppgave. NMBU Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Tilgjengelig fra: <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/2628346/Masteroppgave%20Torstein%20Reiten.pdf?sequence=1> (Hentet: 19. Mai 2022)

Sawakinome (2018) *Forskjellen mellom styrke og stivhet*. Tilgjengelig fra:

<https://no.sawakinome.com/articles/science/difference-between-strength-and-stiffness.html>

(Hentet: 19. Mai 2022).

Schmid, M. (2005) *Acoustic performance of Timber Concrete Composite Floors*.

Tilgjengelig fra:

[https://www.researchgate.net/publication/230765337\\_Acoustic\\_performance\\_of\\_Timber\\_Concrete\\_Composite\\_Floors](https://www.researchgate.net/publication/230765337_Acoustic_performance_of_Timber_Concrete_Composite_Floors) (Hentet: 19. Mai 2022).

Tekna (2020) *Lyd ved bruk av massivtre og betong* Per Kåre Limmeland, Brekke & Strand.

Tilgjengelig fra: <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/massivtre-og-lavkarbonbetong/>

(Hentet: 19. Mai 2022).

# Vedlegg

