

Jon Gunnar Rønningen  
Hans-Ove Sørensen Vinje

## **Materialeffektiv etasjeskiller i tre**

*Hvordan designe en materialeffektiv trebasert etasjeskiller som tilfredsstiller kravene til styrke, stivhet, lyd og brann, samtidig som den er egnet for industriell produksjon?*

**Mai 2022**

### **NTNU**

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

**Bacheloroppgave**

**2022**





Jon Gunnar Rønningen  
Hans-Ove Sørensen Vinje

## **Materialeffektiv etasjeskiller i tre**

*Hvordan designe en materialeffektiv trebasert etasjeskiller som tilfredsstillter kravene til styrke, stivhet, lyd og brann, samtidig som den er egnet for industriell produksjon?*

Bacheloroppgave  
Mai 2022

### **NTNU**

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



Kunnskap for en bedre verden



Oppgavens tittel:	Dato: 19.05.2022
	Antall sider: 59
Materialeffektiv etasjeskiller i tre	Masteroppgave: <input type="checkbox"/> Bacheloroppgave: <input checked="" type="checkbox"/> x
Navn: Jon Gunnar Rønningen og Hans-Ove Sørensen Vinje	
Veileder: Jan Steinar Egenes	
Eksterne faglige kontakter/veiledere: Anders Homb fra Sintef, Karl Mahnert fra Treteknisk	

**Sammendrag:**

I denne oppgaven har målet vært å konstruere en etasjeskiller av treverk som har gode lydegenskaper, bærende egenskaper, tilfredsstillende brannkrav, er materialeffektiv og er egnet for industriell produksjon.

Proessen startet med å kartlegge dagens mest brukte løsninger, og vurdere hvilke elementer som egner seg inn i en ny type etasjeskiller som tilfredsstillende kravene. Et litteratursøk innen den nyeste forskningen ble gjennomført for å ta med de løsningene som viser stort potensiale til å inngå i et nytt produkt.

Funnene er gjennomgått og et nytt konsept er utviklet. Lyd er et vesentlig problemområde for lette etasjeskillere, og er vektlagt vesentlig mer enn brann. Konseptet har så blitt drøftet med fagpersoner fra SINTEF og Norsk Treteknisk Institutt. Resultatet er en etasjeskiller utformet som hulromsdekkelementer, med bjelker av kryssfiner, toppflens av Ultra High Density Fiberboard (UHDF), og bunnflens av slisset spon. UHDF-platen er tung, som er positivt mhp lyd, og har høy E-modul, som bidrar til styrke gjennom samvirke med steg og bunnflens. Slisset bunnflens hindrer resonanseffekter. Overgulv består av standard trinnlydplater og lastfordelingsplater. Himlingen er av fibergipsplater festet med sylomerhengere.

Med denne kombinasjonen kan man produsere en materialeffektiv etasjeskiller med gode bærende egenskaper, relativt lav byggehøyde, stor spennvidde, gode lydegenskaper, tilfredsstillende brannegenskaper og den er godt egnet for industriell produksjon.

Det er ikke gjennomført laborietester, og for å dokumentere egenskaper anbefales det at man gjennomfører en fysisk test av elementet og eventuelt gjennomfører beregninger på det i tillegg.

**Stikkord:**

Trebasert etasjeskiller
Lydegenskaper
Trefiberplate med høy tetthet
Hulromsdekkeelement

---

 Jon Gunnar Rønningen

---

 Hans-Ove Sørensen Vinje

# Forord

Bacheloroppgaven er en avsluttende oppgave på byggingeniørstudiet ved NTNU Gjøvik. Oppgaven er skrevet våren 2022 av Jon Gunnar Rønningen og Hans-Ove Sørensen Vinje som begge har gått linjen konstruksjonsteknikk og hatt konstruksjonsfagene *Konstruksjonsteknikk, Tre- og stålkonstruksjoner, Betongkonstruksjoner* og *Fleretasjes trehus*.

Etasjeskilleren er et sentralt konstruksjonselement i fleretasjes bygninger. Vi har hatt interesse av lyd og brann gjennom studiet, og med den bakgrunn valgte vi problemstilling knyttet til trebasert oppgaveskiller, foreslått fra instituttet. Oppgaven omhandler å finne en etasjeskiller som er basert på treverk og tilfredsstillende krav til lyd, brann, styrke og stivhet, samtidig som den er materialeffektiv og egner seg for industriell produksjon.

Arbeidet har inneholdt omfattende litteratursøk, drøfting med fagpersoner med spisskompetanse på området og det har vært gjennomført beregninger for å synliggjøre egenskapene til de ulike løsningene.

Vi ønsker å takke vår veileder Jan Steinar Egenes for all den gode hjelpen han har gitt oss. Vi ønsker også rette en takk til Anders Homb fra SINTEF som stilt opp til drøfting rundt akustikk knyttet til vår foreslåtte konstruksjon.



# Abstract

In this project, the goal has been to construct a flooring system of wood that has sufficient impact sound performance, structural performance, satisfies fire requirements, is material efficient and is suitable for industrial production.

The process started with investigating today's most used solutions, and assessing which elements are suitable for a new type of flooring system that satisfies the requirements. Two separate literature reviews within the latest research studies were conducted. One survey regarding the latest studies of floorings systems, the other survey regarding high density fiberboards.

The findings have been reviewed and a new concept has been developed. The concept has then been discussed with professionals from SINTEF and Treteknisk. The result is a floor separator designed as a timber hollow-box construction, with plywood beams, top flange of Ultra High Density Fiberboard (UHDF), and bottom flange is slotted to increase sound properties. On top of the box there is a familiar acoustic floor construction with an acoustic mat of mineral wool combined with plasterboard/chipboard for load distribution. The ceiling is made of plasterboard fastened with sound bars of sylomer. With this combination you can produce a floor separator with good structural properties, material efficiency, low height, large span, good sound properties, satisfactory fire properties and it can be produced industrially.

To investigate these potential benefits, it is proposed to conduct an experimental testing to failure on a full-scale specimen of the flooring system. In addition, it is proposed to simulate the behavior in a finite-element model approach to calculate and document the diverse properties.

# Innholdsfortegnelse

Abstract .....	iv
Innholdsfortegnelse .....	v
Figurliste.....	viii
Tabeller.....	ix
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn .....	1
1.2 Problemstilling.....	2
1.3 Rammebetingelser og avgrensinger.....	2
1.4 Oppgavens innhold og oppbygging.....	3
2 Tunge og lette etasjeskillere .....	5
2.1 Tunge etasjeskillere .....	5
2.1.1 Hulldekker .....	5
2.1.2 Bubbledeck.....	5
2.1.3 Betongdekker .....	6
2.1.4 Lettklinkerbetongelementer .....	6
2.2 Lette etasjeskillere .....	7
2.2.1 Oppbyggingen av etasjeskillere .....	7
2.2.2 Etasjeskillere med bjelkelag.....	7
2.2.3 Etasjeskillere med hulromsdekker .....	8
2.2.4 Etasjeskillere med massivtre .....	10
2.3 Kompositt-etasjeskillere .....	10
2.3.1 Bokser oppspent med wire .....	10
2.3.2 Kompositt av tre og betong .....	10
3 Krav til etasjeskillere.....	11
3.1 Styrke, spennvidde og nedbøyning.....	11
3.1.1 Dimensjonering for moment og skjær:.....	11
3.1.2 Dimensjonering for nedbøyning.....	12
3.1.3 Dimensjonering fra tabeller.....	12
3.2 Stivhet.....	13
3.3 Trinnlyd og luftlyd.....	14
3.4 Brann .....	16

4	Materialbruk og egenskaper .....	19
4.1	Trebjelkelag .....	19
4.1.1	Konstruksjonsvirke.....	19
4.1.2	I-trebjelker.....	20
4.1.3	Kerto-bjelker .....	21
4.1.4	S-bjelker .....	22
4.1.5	Gitterbjelker .....	24
4.2	Plateprodukter – egenskaper og funksjon.....	25
4.2.1	Gulvspon .....	25
4.2.2	Gips (undergulv og himling).....	26
4.2.3	Trinnlydplater av glassull og steinull .....	26
4.2.4	Trinnlydplater som porøse plater .....	27
4.2.5	Betong påstøp.....	28
4.2.6	EPS.....	28
4.2.7	Gummimatter .....	29
5	Metode.....	30
6	Resultat fra litteratursøk .....	31
6.1	Forskning og utvikling i dag.....	31
6.1.1	Hulromsdekker .....	32
6.1.2	Høydensitetsplater UHDF .....	34
6.2	Kostnadsvurdering for lette og tunge etasjeskillere .....	37
6.3	Miljø og bærekraft.....	38
7	Design av etasjeskiller.....	40
7.1	Vurderinger av funn.....	40
7.2	Forslag til etasjeskiller egnet for elementproduksjon.....	40
7.3	Kjerne – hulromselement i samvirke med UHDF-plate.....	41
7.3.1	Modell A: UHDF-plate på hulromsdekkeelement av LVL-flenser .....	41
7.3.2	Modell B: UHDF-plate som toppflens i hulromsdekkeelement.....	42
7.3.3	Prinsipp med komposittvirkning .....	42
7.3.4	Noen utfordringer med samvirke mellom UHDF og hulldekke .....	43
7.3.5	Beregning av stivhet og samvirke .....	44
7.4	Lydgulv.....	45
7.4.1	Vurdering av mulig sandwichelement for lydgulv.....	45

7.4.2	Foreslått lydgulv.....	46
7.5	Himling.....	46
7.6	Vurdering av lydegenskaper for foreslått modell.....	47
7.6.1	Luftlyd og trinnlyd.....	47
7.6.2	Svingninger.....	49
8	Industriell produksjon.....	51
8.1	Forskning i dag - et litteratursøk.....	51
8.2	Foreslått produksjonslinje.....	52
8.3	Utstyrstilgjengelighet.....	55
8.4	Platestørrelse.....	56
9	Diskusjon, konklusjon og videre arbeid.....	57
9.1	Egenskaper.....	57
9.2	Ulemper.....	58
9.3	Konklusjon.....	58
9.4	Videre arbeid.....	58
	Vedleggsoversikt.....	60
	Litteraturliste.....	61

# Figurliste

Figur 1: Hulldekkelement fra Spenncon .....	5
Figur 2: Bubbledeck med armering og plastkuler for vektbesparelse.....	6
Figur 3: Lettklinkerbetongelement (Byggplank AS) .....	6
Figur 4: Eksempler på bjelketyper til trebjelkelag (Byggforsk 522.351, fig 111).....	8
Figur 5: Et eksempel på hulromsdekke slik den er presentert i Treteknisk. ....	8
Figur 6: Kerto Ripa gulvelement(Rasmussen, 2010).....	9
Figur 7: Kerto Ripa gulvelementer i 4 varianter .....	9
Figur 8: Variant av hulromsdekke fra Kielsteg (www.kielsteg.at) .....	9
Figur 9: Duofor svalhaleplate på trebjelkelag med påstøp.....	10
Figur 10: SINTEF Byggforsk 522.351 tabell 22a.....	13
Figur 11: Eksempel på etasjeskiller fra Byggma, REI 60, lyd R'w 55 dB og L'w 48-50 dB...	18
Figur 12: Ulike gulvbjelker i tre (SINTEF Byggforsk 522.351).....	19
Figur 13 Eksempel på bjelkelagsplan med i-tre-bjelker (Masonite).....	20
Figur 14 I-bjelketyper fra Masonite. Smalflens H, bredflens HI og storflens HB.....	20
Figur 15: Spennvidder for Kerto Ripa dekkelementer .....	22
Figur 16. S-bjelken (Moelven).....	23
Figur 17: Prinsippskisse for gitterbjelker i etasjeskiller m/ tverravstiver (Byggforsk).....	24
Figur 18:Slisset gulvspon, fuktbestandig gulvspon, thermogulv for vannbåren gulvvarme....	25
Figur 19: Rockwool trinnlydplate 20 mm.....	27
Figur 20: Trinnlydplate av porøst materiale (trefiber), Hunton Silencio 36 mm.....	28
Figur 21: EPS trinnlydmatte ("Produktdatablad Izorol-PP EPS T 045," 2015).....	29
Figur 22: Gummi trinnlydplate, Laticrete GenieMat .....	29
Figur 23 Lengde og tverrsnitt av de ulike hulromsbjelkene som ble undersøkt. ....	32
Figur 24 Tverrsnitt av bjelke 3 og 4, hentet fra til Beerschoten, 2019.....	33
Figur 25 Verdier på bøyefasthet og E-modul for UHDF platene.....	35
Figur 26 Bøyefasthet for kryssfinér plater gjengitt fra Byggforsk 571.049 Kryssfinerplater..	37
Figur 27 Priseksempler på noen vanlige etasjeskillere (Norsk Prisbok, 2021).....	38
Figur 28: Grafisk fremstilling av CO <sub>2</sub> -avtrykk for ulike etasjeskillere (Norsk Prisbok 2021)	39
Figur 29: Forslag til etasjeskiller, detaljert i Revit 2022.....	41
Figur 30: Basisdekke modell A med pålimt UHDF .....	42
Figur 31: Basisdekke modell B med UHDF som toppflens.....	42
Figur 32: Sylomer-henger EP700 (Christian Berner) .....	46
Figur 33 Beregning av komfortkriteriet ved gulvsvingninger. ....	50
Figur 34 Sætheren Element legger og spikrer bjelkelag manuelt .....	52
Figur 35 Håndtering av store treplater med vakuumløfter fra Weinmann. ....	53
Figur 36 Vending av hele elementer for å kunne legge inn isolasjon og sette på himling. ....	53
Figur 37 Isolering med Weinmann isolasjonsinnblåser Easyfloc G2 isofloc. ....	54
Figur 38 Forflytting av ferdige elementer med takheis med skinnesystem. ....	54
Figur 39 Produksjonslinje med 4 arbeidsstasjoner, en multifunksjons CNC bro fra Soukop..	55
Figur 40: Illustrasjon av produksjonslinje fra Soukup.....	55

# Tabeller

Tabell 1: Nyttelast i bygninger.....	12
Tabell 2: NS8175:2012 tabell 1 luftlydisolasjon.....	15
Tabell 3: NS8175:2012 tabell 2, trinnlydisolasjon.....	15
Tabell 4: Risikoklasser ved brann .....	16
Tabell 5: Fastsettelse av brannklasse fra risikoklasse og antall etasjer.....	16
Tabell 6: Brannmotstandskrav etasjeskillere.....	17
Tabell 7: Preaksepterte ytelser for bærende og branncellebegrensende etasjeskillere i bygninger.....	17
Tabell 8: Utdrag fra bjelkelagtabell for k-virke, nyttelast 3kN/m <sup>2</sup> , komfortkriteriet (Byggforsk 522.351) .....	20
Tabell 9: Spennviddetabell fra Masonite basert på nyttelast 3 kN/m <sup>2</sup> og komfortkriteriet.....	21
Tabell 10: Spennvidder Kerto-S komfortkriteriet, nyttelast 4 kN/m <sup>2</sup> .....	22
Tabell 11: Spennvidder for Kerto-S .....	23
Tabell 12: Spennvidder for gitterbjelker, nyttelast kat A og B, komfortkriteriet.....	25
Tabell 13: Mekaniske egenskaper, bjelker m/ oppspent wire .....	34
Tabell 14 Karakteristiske fasthetsverdier trefiberplater hentet fra NS-EN 12369-1.....	36
Tabell 15: CO <sub>2</sub> -avtrykk av ulike etasjeskiller (Norsk Prisbok 2021).....	39
Tabell 16: Beregnet stivhet for 3 hulromsdekkeelementer .....	45
Tabell 17: Sammenlikning av lydegenskaper for ulik oppbygging av etasjeskillere.....	47

# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Etasjeskilleren er et sentralt konstruksjonselement i fleretasjes bygninger, både i boligbygninger, næringsbygning og offentlig bygninger. Den skal ivareta de statiske kravene til styrke, stivhet og nedbøyning så den kan bære egenlast og nyttelast til ønsket spennvidde. Samtidig skal etasjeskilleren oppfylle kravene til lyd og brann mellom etasjer.

Trebaserte etasjeskillere som oppfyller disse kravene finnes i mange varianter. De har alle en oppbygging med kjerne, overgulv og himling, men de ulike delene er løst på ulike måter og med forskjellige materialer.

$$\textit{Kjerne + overgulv + himling = Etasjeskiller}$$

Fra et miljøperspektiv er det ønskelig at byggebransjen i større grad benytter trebaserte etasjeskillere fremfor tunge etasjeskillere av ulike oppbygning basert på betong. Lette etasjeskillere har noen utfordringer knyttet spesielt til lydegenskaper og spennvidder sammenliknet med tunge etasjeskillere.

Byggebransjen jobber med kontinuerlig produktutvikling og nye typer bjelker, plater og sammensatte elementer kommer på markedet.

Ønske fra entreprenører og byggherrer om effektiv produksjon og kort byggetid gjør at industrialisering av byggeprosessen er i rask utvikling. Konstruksjonselementene yttervegger og takstoler har blitt vanlige å prefabrikkere, og det er ønskelig og naturlig at dekkelementer og takelementer utvikler seg i samme retning.

Byggehøyde på etasjeskillere er en viktig parameter for valg av etasjeskiller, spesielt i fleretasjes bygninger. En reduksjon av brutto etasjehøyde kan ha betydelige økonomiske besparelser for det totale bygget.

Derfor er det interessant å se på hvordan man kan konstruere en etasjeskiller som tilfredsstill alle disse elementene på en bedre måte enn med dagens løsninger.

## 1.2 Problemstilling

Med denne bakgrunnen har vi sammen med veileder definert følgende problemstilling:

*Hvordan designe en materialeeffektiv trebasert etasjeskiller som tilfredsstiller kravene til styrke, stivhet, lyd og brann, samtidig som den er egnet for industriell produksjon?*

Hovedmålet er å teoretisk utvikle – eller videreutvikle - en trebasert etasjeskiller som tilfredsstiller dagens krav. Bransjen har stort søkelys på produkt- og materialutvikling, og derfor er det naturlig å gjøre en grundig gjennomgang av dagens løsninger, og vurdere status og utfordringer knyttet til dette.

Brannkrav inntil EI60 oppfylles relativt enkelt, og problemstillingen har mindre vektning. Problemstillingene til lyd, og spesielt trinnlyd, er mer sentrale og vektlegges i større grad i oppgaven.

Utover dagens løsninger som er i bruk så gjennomføres det internasjonal forskning og utvikling på nye produkter og elementer. Mange av de nye ideene benyttes i pilotprosjekter. Blant landene som virker å være langt framme her er Finland, Østerrike, Tyskland, New Zealand og Canada. Vi har valgt å bruke tid og plass på en gjennomgang denne utviklingen.

Vi ønsket å kunne gjennomføre beregninger på dette i dataprogram og ut ifra tabeller og tester gjennomført av SINTEF og Forestia. Imidlertid er dette en omfattende og tidkrevende oppgave som vi har måtte velge bort.

Oppgavens siste ledd går på *egnethet for industriell produksjon*. Vi beskriver muligheter og motivasjon for industriell produksjon, og gjør en gjennomgang av produksjonsutstyr som er tilgjengelig for byggebransjen.

Det blir ikke gått detaljert inn på bruks- og bruddlastberegninger, brann, innfesting, transport, lagring, vedlikehold og isolasjon. Etasjeskilleren skal tilfredsstillere dagen krav ihht TEK-17.

## 1.3 Rammebetingelser og avgrensinger

Oppgaven har en tidsbegrensning da det skal innleveres en prosjektplan 15. februar og oppgaveinnlevering 20. mai, med en samlet arbeidsperiode på 20 uker



### *Kostnader*

Denne bacheloroppgaven har ingen økonomiske ressurser utover kostnadsdekning av en ramme på 4 timer veiledning på akustikk fra SINTEF. Vi benytter programvare og tidsskrifter som er tilgjengelig igjennom NTNU. Mangel på økonomisk ramme begrenser mulighetene til oppbygging av fysisk modell, tester og analyse.

### *Ressursbruk*

Ressursbruken er i all hovedsak nedlagte timer av studentene. Begge studentene er nettstudenter med full jobb ved siden av, noe som har gitt visse begrensninger for mulighet til å jobbe fysisk og samtidig med problemstillingen. Alle samarbeidsmøter og veiledningsmøter er gjennomført som videomøter.

### *Avgrensinger*

- *Brudd- og brukslaster.* Det vil ikke gjennomføres beregninger opp mot brudd- og brukslaster, det er en forutsetning at vi velger konstruksjon som tilfredsstillende dette.
- *Pris.* Pris vil ikke være en førende faktor i utviklingen av etasjeskilleren. Økonomiske kalkyler er vanskelig å gjennomføre ettersom vi i oppgaven jobber med komponenter og materialer som er under utvikling eller er i tidlig utviklingsfase, og det finnes ikke kjente markedspriser.

## **1.4 Oppgavens innhold og oppbygging**

- Kapittel 2 gir en innledende oversikt og beskrivelse av ulike tunge og lette etasjeskillere på markedet i dag
- Kapittel 3 oppsummerer kravene til etasjeskillere knyttet til styrke, stivhet lyd og brann
- Kapittel 4 gir over oversikt over produkter og materialer, og deres tilhørende egenskaper, som en bakgrunn for valg av anbefalinger vi konkluderer med
- Kapittel 5 beskriver metode
- Kapittel 6 gir en status på forskning og utvikling på området internasjonalt, hvor hulromsdekker med og uten wire vies spesiell oppmerksomhet, samt utvikling av tunge plater (HDF)

- I kapittel 7 beskriver vi vår anbefaling av en materialeffektiv etasjeskiller som tilfredsstillter kravene til lyd og brann
- Kapittel 8 gjør rede for hvordan en industriell produksjon kan foregå.
- Kapittel 9 gir diskusjon, konklusjon og anbefaling for videre arbeid

## 2 Tunge og lette etasjeskillere

Etasjeskillere betegnes som «tunge» eller «lette» etasjeskillere. Tunge etasjeskillere er basert på betong, og lette etasjeskillere er trebaserte. I tillegg kommer kompositt-etasjeskillere, som kombinerer tre, betong og stål. Både tunge og lette etasjeskillere har fordeler og ulemper med hensyn på vekt, spennvidder, lyd/brann, miljøegenskaper og pris. En gjennomgang av de vanligste typene følger nedenfor. Fokus for denne oppgaven er etasjeskillere i tre, men tunge etasjeskillere omtales ettersom det i mange tilfeller vil være et aktuelt alternativt valg.

### 2.1 Tunge etasjeskillere

#### 2.1.1 Hulldekker

Hulldekkeelementer er betongelementer med forspent armering, og brukes som alternativ til plastøpt betong. Gjennomgående hull/kanaler reduserer vekten med 40-45% sammenliknet med kompakt betong, men stivheten blir bare ubetydelig svekket. Hulldekker gir stor spennvidde, med opptil 9 meter på 200 mm elementer og 18 meter for 400 mm elementer.

Hulldekker har gode lyd- og brannegenskaper, men for å tilfredsstille kravene til trinnlyd så kreves det flytende gulv med trinnlydplate og påstøp.



*Figur 1: Hulldekkeelement fra Spenncon*

#### 2.1.2 Bubbledeck

Bubbledeck er et prefabrikkert betongdekke, flatdekke som spenner 2 veier. Plastkulene har samme funksjon som kanalene i hulldekker, å spare vekt.



*Figur 2: Bubbledeck med armering og plastkuler for vektbesparelse*

### **2.1.3 Betongdekker**

Tradisjonelle plasstøpte betongdekker er mindre vanlig. Hulldekker og andre prefabrikkerte elementer har tatt over. Massive betongdekker tar lange spenn og har gode lyd- og brannegenskaper tilsvarende hulldekker. Det er tyngre siden de er massive.

### **2.1.4 Lettklinkerbetongelementer**

Dekkelementer av lettklinker er lettere enn betongdekkelementer, med densitet på 770-900 kg/m<sup>3</sup>. Leca Byggplank er det eneste produktet på markedet i Norge. Lettklinker har gode lyd og brannegenskaper. Det tar vesentlig kortere spenn enn hulldekker og noe lengre enn for de fleste trebaserte etasjeskiller. For nyttelast på 3 kN/m<sup>2</sup> oppgis 5,8 m spennvidde forutsatt påstøp 60 mm.



*Figur 3: Lettklinkerbetongelement (Byggplank AS)*

## 2.2 Lette etasjeskillere

Lette etasjeskillere er bygd opp med tre som materiale, ofte kombinert med andre materialer. Blant fordelene er lav egenvekt og lettere håndtering ved montering. Lav egenvekt er fordelaktig med hensyn på bæresystem og fundamentering. Blant ulempene er lyd- og brannegenskapene, samt muligheten til å ta lange spenn.

### 2.2.1 Oppbyggingen av etasjeskillere

Oppgavene til etasjeskillere er å skille to etasjer, og den skal da bære alle dynamiske laster, statiske laster og egenlast, samt at den skal være lydreduserende og branncellebegrensende. Oppbyggingen av en etasjeskiller består av tre deler

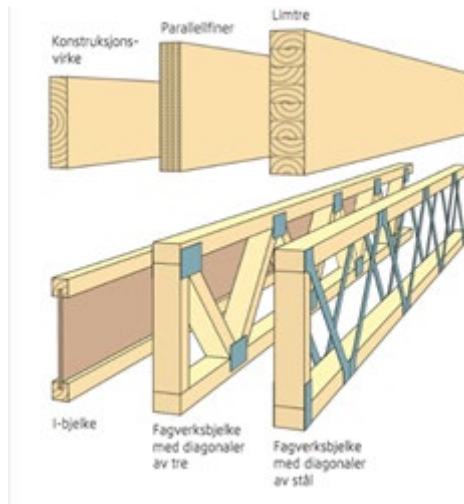
- en kjerne - som definerer styrken og stivheten
- gulvet - delt som undergulv og overgulv for lydetasjeskillere
- himlingen - som utgjør overflaten i etasjen under

Overgulvet består i dag ofte av flere deler for å redusere lyd. Noen av hovedprinsippene for å redusere lydoverføring er å ha tunge elementer i dekket og på den måten blir det mindre vibrasjon. Trinnlydplater i kombinasjon av lastfordelende plater legges over, før overflategulvet monteres på toppen. Den underste delen av etasjeskilleren skal også redusere lydoverføringen og tilfredsstille brannkrav. Vanlig løsning på dette i dag er å ha to lag med gipsplater som er festet i lydbøyler.

### 2.2.2 Etasjeskillere med bjelkelag

Ulike bjelker benyttes, og omtales i mer detalj i kapittel 3

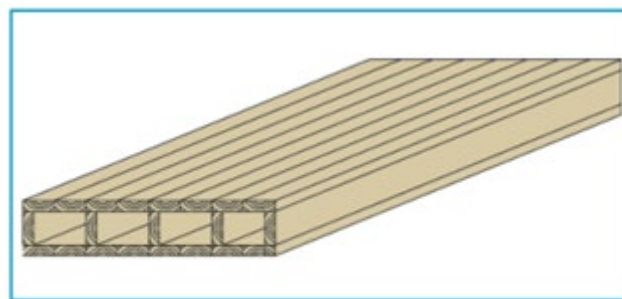
- Heltrebjelker (konstruksjonsvirke, parallellfiner, limtre)
- I-bjelker, med spon i steget
- Fagverksbjelker/gitterbjelker.



Figur 4: Eksempler på bjelketyper til trebjelkelag (Byggforsk 522.351, fig 111)

### 2.2.3 Etasjeskillere med hulromsdekker

Hulromsdekker er en type dekke bestående av bokser der det er et hulrom i midten. Steg og flenser kan være av ulike platetyper eller heltre. Hulromsdekker i tre har likheter med hulldekker i betong. På engelsk betegnes dette som *timber hollow-box floor elements*.



Hulromselement. ©Treteknisk

Figur 5: Et eksempel på hulromsdekke slik den er presentert i Treteknisk.

Den finske leverandøren MetsäWood leverer dekkeelementer av denne typen under produktnavnet Kerto Ripa.



Figur 6: Kerto Ripa gulvelement (Rasmussen, 2010)

MetsäWood, som er blant de ledende produsentene, har fire forskjellige varianter. De leveres åpen, som lukket boks, som «åpen boks» og «upside down» (Wood, 2015). De gir ulike fordeler og ulemper med hensyn på stivhet, tekniske føringer mm. Spennlengder for gulvelementer med normal nyttebelastning er fra 6,3m (26 cm høyde) til 11,1m (66 cm høyde)

## KERTO-RIPA A RANGE OF WOODEN ELEMENTS

### Kerto-Ripa Open

Light, strong, cost efficient and flexible, can be closed by wood panels or plasterboards for fire resistance or aesthetic issues, can easily be insulated with all kind of material either for acoustical or thermal performance. Holes and integrations can still be achieved on site if the slab is not completely finished and closed. Ideal for floors from 5 - 8m span or roofs from 10-15m either preferably for light and medium loads.

### Kerto-Ripa Box

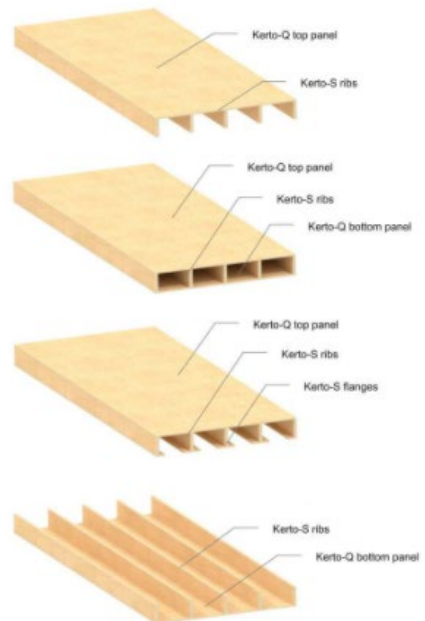
Glued ribs with plates on top and bottom. Kerto-Ripa Box offers the most performing combination of stiffness, span, and small thickness. The Kerto plate underneath can bring up to 90 minutes fire resistance and visible look. Of course it can also be covered and insulation stays possible inside. Kerto-Ripa Box elements are often chosen for roof elements, but achieve also perfect results as a floor.

### Kerto-Ripa Open Box

Kerto-Ripa Open Box combines advantages of Kerto-Ripa Open and Box. This means gluing on both edges of ribs to reach a great rigidity, big spans and low height, still opened underneath to allow integrations. In Viikki (near Helsinki, Finland) 103 flats have been designed and erected, with those type of floor. Acoustical tests on site have emphasized the excellent behaviour of the complex reaching one of the highest European comfort standards.

### Kerto-Ripa Upside-Down

Kerto-Ripa Upside-Down offers the same advantages than the Kerto-Ripa Open. The idea to put it upside-down allows fire resistance directly from the bottom Kerto-Q plate up to 90 minutes. Thus the Kerto can stay visible underneath and installation can be prefabricated or achieved on site. Either for floors or roofs, it can be closed with other standard panels. For residential uses we have tested compounds suitable with the highest acoustical requirements.



Figur 7: Kerto Ripa gulvelementer i 4 varianter

Den østerrikske leverandøreren Kielsteg har en annen variant av hulromsdekke:



Figur 8: Variant av hulromsdekke fra Kielsteg ([www.kielsteg.at](http://www.kielsteg.at))

## 2.2.4 Etasjeskillere med massivtre

Krysslimt massivtre har blitt benyttet i flere tiår nå og brukes i stor grad i etasjeskillere. Da fungerer de som bærende element og ofte med en synlig overflate. Lamellene krysslegges i 90 grader og limes sammen. Tykkelsen på lamellene varierer, og den totale høyden varierer fra 60 mm til 240 mm og produseres med 3 til 7 sjikt. Massivtre-gulv har bedre lydegenskaper enn bjelker og bokser, dette kommer av at de har en betydelig høyere egenvekt. De produseres ofte i store elementer og er derfor raskere å sette opp på byggeplass. Blant ulempene er den store materialbruken, samt krymping og svelling av treverket.

## 2.3 Kompositt-etasje-skillere

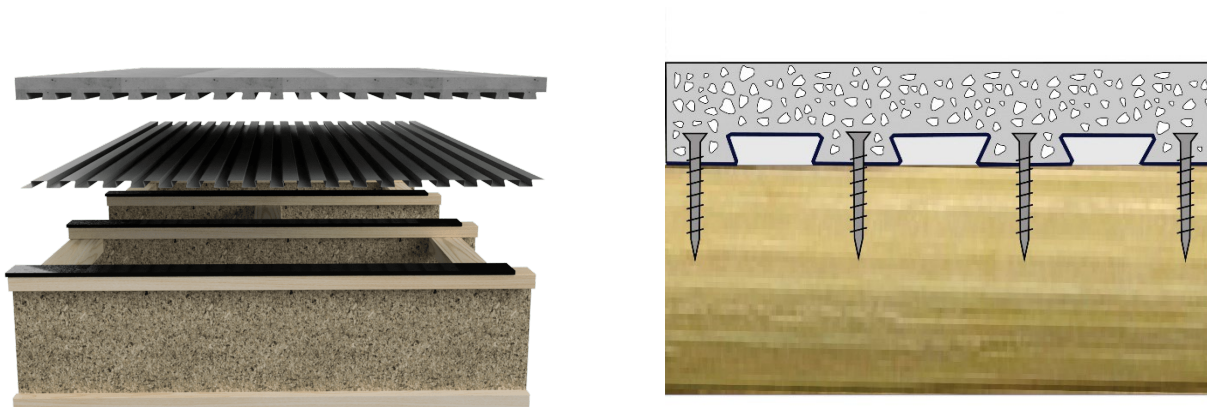
### 2.3.1 Bokser oppspent med wire

Dette er varianter av hulromsdekkeelementer forsterket med stålwire for å gi bedre styrke og slankere konstruksjon. Dette er nærmere behandlet i kapittel 6.

### 2.3.2 Kompositt av tre og betong

En påstøp av betong er gunstig med hensyn på lyd, og kombinasjonen av trebjelkelag, undergulv, trinnlydplate og påstøp er en mye brukt løsning. Dette er ikke nærmere behandlet her siden oppgaven omhandler trebaserte etasjeskillere.

En variant av en slik komposittløsning er Svalhaleplater, som fungerer som forskaling for påstøp, samtidig som bølgeprofilen bidrar til styrke.



Figur 9: Duofor svalhaleplate på trebjelkelag med påstøp



## 3 Krav til etasjesskillere

### 3.1 Styrke, spennvidde og nedbøyning

Etasjesskillerens styrke avgjør spennvidden. For etasjesskillere med trebjelker kan tradisjonell bjelketeori benyttes. Bjelkelaget må dimensjoneres for

- Moment (bøyning) og skjær ihht bruddgrensetilstanden
- Nedbøyning ihht bruksgrensetilstanden

Ofte er det nedbøyningskravet som er dimensjonerende.

#### 3.1.1 Dimensjonering for moment og skjær:

NS-EN 1990(Standard, 2010)

6.10b:  $q_d = 1.2g + 1.5p$  (dimensjonerende jevnt fordelt last)

$$M_d = \frac{q_d l^2}{8} \quad (\text{dimensjonerende moment})$$

Bøyespenningsformelen:

$$\sigma_d = \frac{M_d}{I_y} \left(\frac{h}{2}\right) \quad W_y = \frac{bh^2}{6} \quad \rightarrow \quad \sigma_d = \frac{M_d}{W_y}$$

Dimensjonerende bøyefasthet

$$f_{m,d} = f_{m,k} * \frac{k_{mod}}{\gamma_m} k_{sys} * k_h * k_{vipp}$$

For trebjelkelag  $k_{mod}=0,8$  (klimaklasse 1 og halvårslast),  $\gamma=1,25$  for k-virke og  $\gamma=1,15$   $k_{sys}=1,1$ ,  $k_h=1$  og  $k_{vipp}=1$

Krav

$$\sigma_d \leq f_{m,d}$$

Tilsvarende dimensjonering for skjærkraft (hvor  $V_d$  er dimensjonerende skjærkraft)

$$\tau_{v,d} = \frac{3V_d}{2hb_{ef}} \quad f_{vd} = f_{vk} \frac{k_{mod}}{\gamma_m} k_{sys}$$

Krav:

$$\tau_{v,d} \leq f_{v,d}$$

Nyttelasten  $p$  og spennvidden  $l$  påvirker i størst grad dimensjonering av bjelkelaget.

Tabell 1: Nyttelast i bygninger

Brukkategori	Nyttelast $p_k$ (kN/m <sup>2</sup> )
A: Bolig	2,0
B: Kontor	3,0
C1-5: Arealer der personer kan samles (unntatt A, B og D)	3,0-5,0
D: Forretningslokaler	5,0

Vårt fokus i denne oppgaven er rettet mot etasjeskillere i boliger, og jevnt fordelt nyttelast basert på kategori A på 2,0 kN/m<sup>2</sup> legges til grunn for vurderingene.

### 3.1.2 Dimensjonering for nedbøyning

Nedbøyning kontrolleres til å være maksimalt 1/200 basert på bruksgrensetilstanden. Med deformasjonsfaktor  $k_{def}=0,6$  (klimaklasse 1) og  $\psi_2=0,3$  (nyttelastkategori A og B. Endelig deformasjon beregnes som oftest for den tilnærmet permanente lastkombinasjonen iflg NS-EN 1990 pkt 6.5.3(2)c

$$q_{TP}^{def} = q_{EL}(1 + k_{def}) + q_{NL}\psi_2(1 + k_{def})$$

$$q_{TP}^{def} = q_{EL}1,6 + q_{NL}0,3(1,6) = q_{EL}1,6 + q_{NL}0,48$$

Nedbøyning (litt forenklet, ser bort fra evt moment ved opplegg)

$$\delta_m = \frac{5q_{TP}^{def}l^4}{384E_{0,mean}I} \left[ 1 + 0,96\left(\frac{h}{l}\right)^2 \frac{E_{0,mean}}{G_{0,mean}} \right]$$

### 3.1.3 Dimensjonering fra tabeller

Formelverket for dimensjonering av bjelkelag med hensyn på bøyemoment, skjærkraft og nedbøyning relativt omfattende, og i praksis benyttes tabeller. Tabellene er basert på en eller flere materialkvaliteter (f.eks C18, C24, C30) og en lastkategori (f.eks kat A for bolig, 2,0 kN/m<sup>2</sup>). SINTEF Byggforsk samt dokumentasjon fra produsentene er gode kilder til dette.

Nedenfor gis et eksempel fra SINTEF Byggforsk detaljblad 522.351 Trebjelkelag.

Dimensjonering og utførelse, tabell 22a.

Tabell 22 a  
Spennvidder for bjelkelag med bjelker av  
konstruksjonstrevirke<sup>1) 2)</sup>

Bjelke dimensjon mm x mm	Lysåpning i meter								
	Konstruksjonstrevirke C18			Konstruksjonstrevirke C24			Konstruksjonstrevirke C30		
	Bjelkeavstand c/c (mm)			Bjelkeavstand c/c (mm)			Bjelkeavstand c/c (mm)		
	300	400	600	300	400	600	300	400	600
36 x 148	2,55 (2,50)	2,40 (2,25)	2,15 (1,80)	2,65	2,50 (2,40)	2,25 (2,10)	2,75	2,55 (2,50)	2,30 (2,15)
48 x 148	2,70	2,55 (2,50)	2,30 (2,10)	2,85	2,65	2,40 (2,30)	2,90	2,70	2,45 (2,40)
36 x 198	3,25	3,05 (3,00)	2,75 (2,45)	3,40	3,20	2,90 (2,80)	3,45	3,25	2,95 (2,90)
48 x 198	3,45	3,25	2,95 (2,85)	3,60	3,40	3,10	3,65	3,45	3,15
61 x 198	3,60	3,40	3,10	3,75	3,55	3,25	3,85	3,65	3,30
73 x 198	3,70	3,50	3,20	3,90	3,70	3,40	4,00	3,75	3,45
36 x 223	3,60	3,35	3,05	3,75	3,55	3,20	3,85	3,60	3,30
48 x 223	3,80	3,55	3,25	3,95	3,75	3,40	4,05	3,80	3,50
73 x 223	4,10	3,85	3,55	4,30	4,05	3,75	4,40	4,15	3,80

<sup>1)</sup> Tabellen gjelder for etasjeskillere med nyttelaster i henhold til brukskategori A og B i NS-EN 1991-1-1 (maks 3,0 kN/m<sup>2</sup> pluss 0,5 kN/m<sup>2</sup> for tilleggslast fra lette skillevegger), og med egenlast inntil 0,7 kN/m<sup>2</sup>.

<sup>2)</sup> Tall i parentes gjelder for etasjeskillere i mindre rom med egenlast 2,6 kN/m<sup>2</sup>, for eksempel med ca. 50 mm påstøp, og nyttelast maks 2,0 kN/m<sup>2</sup>.

Figur 10: SINTEF Byggforsk 522.351 tabell 22a

Fra tabellen leses at et tradisjonelt bjelkelag med 48x198 CC60 kvalitet C24 gir en maksimal spennvidde på 3,1 meter, basert på nyttelast 3,0 kN/m<sup>2</sup>.

I kapittel 4 diskuteres videre styrkeegenskapene og spennvidde for ulike etasjeskillere.

### 3.2 Stivhet

For lette etasjeskillere (spesielt i boliger) er det ofte komfortkravet (kravet om å unngå sjenerende svingninger og rystelser) som bestemmer den maksimale spennvidden, ikke bjelkenes styrke i brudd- og bruksgrensestilstanden.

Det vil variere hva som oppleves som sjenerende rystelser eller vibrasjoner, og avhenger blant annet av personer og bruk, rommenes møblering og tilstøtende konstruksjoner. I SINTEF Byggforsk sine spennviddetabeller legges komfortkriterier til grunn:

- $\Delta < 1,3 \text{ mm}$  (nedbøyning under 1kN punktlast i mm)
- $f > 10 \text{ Hz}$  (beregnet egenfrekvens (Hz))
- $f/(\Delta 0,44) > 18,7$

### 3.3 Trinnlyd og luftlyd

For etasjeskillere mellom boenheter er kravet til tilfredsstillende lydforhold viktig. For etasjeskillere i tre er lydutfordringen større enn for tunge etasjeskillere ettersom tre er et lett materiale som lettere kan settes i svingninger. Av den grunn kombineres tre med andre materialer med høyere densitet. Mer om materialegenskaper i kapittel 4.

#### Luftlydsreduksjon $R_w$

Luftlyd er lydbølger som spres ut i rommet fra en lydkilde. Når lydbølger treffer en bygningsdel sette disse i svingninger, og noe av den innfallende lyden vil stråle ut på baksiden. Differansen mellom innfallende lyd og utstrålt lyd på baksiden gitt i dB kalles lydreduksjonstallet  $R$ , og dette ønskes da *høyest mulig*.  $R_w$  angir veid reduksjonstall, og tar hensyn til at øret ikke oppfatter lyd i alle frekvensområder like godt.  $R'_w$  angir veid feltmålt reduksjonstall (til forskjell fra laboriemåling), og det er dette tallet kravene referer til.

#### Trinnlydnivå $L_w$

For bjelkelag er ofte trinnlyd en større utfordring enn luftlyd. Ved gangtrafikk oppstår svingninger i etasjeskiller og utstråles som lyd, og dette kalles trinnlyd. Ved trinnlydmålinger måles det faktiske lydnivået (ikke reduksjon som ved luftlyd), og derfor søkes Trinnlydnivået å være *lavest mulig*. Som for luftlyd måles veid tinnlydnivå  $L_w$  i laboriet, og veid normalisert feltmålt trinnlydnivå,  $L'_{n,w}$  i den ferdige boligen.

#### Direktetransmisjon og flanketransmisjon

Lydgjennomgang gjennom en skillekonstruksjon kalles *direktetransmisjon*. Økt tyngde i skillekonstruksjonen vil generelt redusere lyd gjennomgangen. Lydoverføring via tilstøtende (flankerende) bygningsdeler, kalles *flanketransmisjon*, og oppstår typisk ved utettheter, kanaler eller mekaniske sammenkoblinger.

#### Lydkrav i boliger ihht TEK17 og NS8175:2012

I byggeteknisk forskrift, TEK17, kap 13.6 stilles det krav til *tilfredsstillende* lydforhold, og at dette kan oppfylles ved å tilfredsstille lydklasse C i Norsk Standard NS 8175:2019 Lydforhold i bygninger Lydklasser for ulike bygningstyper. (N. Standard, 2019)

Tabell 2: NS8175:2012 tabell 1 luftlydisolasjon

Type brukerområde	Klasse A $R'_w + C_{50-5000}$ dB	Klasse B $R'_w + C_{50-5000}$ dB	Klasse C $R'_w$ dB	Klasse D $R'_w$ dB
Mellom boenheter innbyrdes og mellom en boenhet og fellesareal/kommunikasjonsvei, som fellesgang, svalgang, trapperom, trapp, o.l.	63	58	55	50
Mellom en boenhet og kommunikasjonsvei, som svalgang/utvendig trapp der det er rom med vindu direkte mot disse	53	48	45	40
Mellom en boenhet og nærings- og servicevirksomhet, garasjeanlegg, o.l.	68	63	60	55
Mellom rom innbyrdes i én boenhet (minst til ett av rommene i boenheten)	48	43	-	-

Tabell 3: NS8175:2012 tabell 2, trinnlydisolasjon

Type brukerområde	Klasse A $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ dB	Klasse B $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ dB	Klasse C $L'_{n,w}$ dB	Klasse D $L'_{n,w}$ dB
Mellom boenheter <sup>a</sup> I en boenhet fra fellesareal/kommunikasjonsvei, som fellesgang, svalgang, trapperom, trapp o.l.	43	48	53	58
I en boenhet fra nærings- og servicevirksomhet, garasjeanlegg, felles takterrasse o.l.	38	43	48	53
I en boenhet fra toalett, bad, bod o.l. samt fra balkong o.l. i en annen boenhet	48	53	58	63
Mellom rom internt i én boenhet (minst i ett av rommene i boenheten)	58	63	-	-

<sup>a</sup> Dette gjelder også takterrasser i tilstøtende boenheter.

Krav til lyd mellom boenheter i boliger ihht NS8175:2012 tabell 1 og 2 er da:

- Luftlydreduksjon  $R'_w \geq 55\text{dB}$
- Trinnlydnivå  $L'_{n,w} \leq 53\text{dB}$

#### Merknad vedrørende lave frekvensområder

I lydklasse A og B legges omgjøringstallet  $C_{50-5000}$  til  $R'_w$ . Dette gjøres for å fange opp «basslyd». I NS8175 anbefales det at omgjøringstallet også legges til i lydklasse C. Dette krever generelt tyngre materialer

NS8175 foreligger i revidert utgave NS8175:2019, men denne er ikke tatt inn i TEK17. Noen skjerpene krav forventes.

### 3.4 Brann

I TEK 17 kap 11 omtales kravene til brannsikkerhet i bygninger. Her er de fleste av kravene funksjonskrav, det er også beskrevet preaksepterte ytelser i veiledningen. Skulle man avvike fra denne så må det gjennomføres analyse som kan dokumentere at kravene er tilfredsstilt.

Byggverk kategoriseres i risikoklasser:

Tabell 4: Risikoklasser ved brann

Risiko-klasse	Byggverk kun beregnet for sporadisk personopphold	Personer i byggverk kjenner rømningsforhold, herunder rømningsveier, og kan bringe seg selv i sikkerhet	Byggverk beregnet for overnatting	Forutsatt bruk av byggverk medfører liten brannfare
1	ja	ja	nei	ja
2	ja/nei	ja	nei	nei
3	nei	ja	nei	ja
4	nei	ja	ja	ja
5	nei	nei	nei	ja
6	nei	nei	ja	ja

Boliger plasseres i risikoklasse 4, mens hoteller, institusjoner o.l plasseres i risikoklasse 6.

Brannklasser kategoriseres fra 1-4 ut fra konsekvens (liten, middels, stor, særlig stor).

Brannklasse fastsettes ut fra kombinasjon av risikoklasse og antall etasjer:

Tabell 5: Fastsettelse av brannklasse fra risikoklasse og antall etasjer

Risikoklasse	Antall etasjer			
	1	2	3 og 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

Tabellen viser at boliger (risikoklasse 4) med etasjeskillere kan havne i både brannklasse 1,2 og 3 ut fra antall etasjer, og tilsvarende i risikoklasse 6 blir brannklasse 2 eller 3.

Brannmotstandskravene for etasjeskillere i de ulike brannklassene

Tabell 6: Brannmotstandskrav etasjeskillere

Bygningsdel	Brannklasse		
	1	2	3
Bærende hovedsystem	R 30 [B 30]	R 60 [B 60]	R 90 A2-s1,d0 [A 90]
Sekundære, bærende bygningsdeler, etasjeskillere og takkonstruksjoner som ikke er del av hovedbæresystem eller stabiliserende	R 30 [B 30]	R 60 [B 60]	R 60 A2-s1,d0 [A 60]

Brannmotstand til etasjeskillere varierer noe etter funksjonen som etasjeskilleren skal ha. I mange tilfeller er en etasjeskiller en sekundærbærende konstruksjon. Kravene skjerpes om det er en bærende og en branncellebegrensende konstruksjon. Kravet R sier hvor lenge konstruksjonen skal kunne ha lastbærende egenskaper. I bygninger med brannklasse 4 er det et krav at bærende konstruksjon opprettholde sin bæreevne gjennom et helt brannforløp, det må da dokumenteres i en analyse.

Etasjeskillere innad i branncelle har krav til bæreevne (R), mens etasjeskillere mellom brannceller også har krav til integritet (E) og isolasjonsevne (I)

Etasjeskillerens funksjon og bruksområde		Krav til brannmotstand
Bærende	Mellom to plan i samme branncelle	R (ensidig)
Bærende og branncellebegrensende	Mellom to brannceller	REI (ensidig)

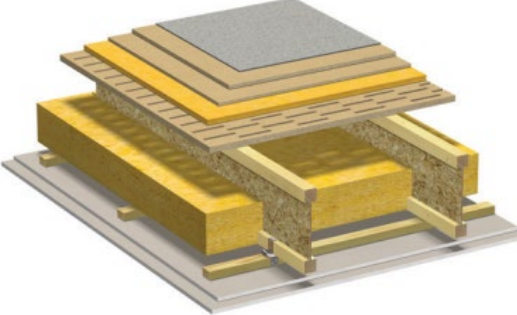
Tabell 7: Preaksepterte ytelser for bærende og branncellebegrensende etasjeskillere i bygninger

	BKL 1	BKL 2	BKL 3
Preakseptert ytelse for bærende og branncellebegrensende etasjeskillere i bygninger	REI 30	REI 60	R90 EI 60

Brannklasse 2 gjelder inntil 4 etasjer for risikoklasse 4 og 6, og for videre arbeid avgrenses arbeidet til å tilfredsstille kravet REI 30/60 kombinert med lydkrav og krav til stivhet.

Kravet til REI 30 oppnås typisk for bjelkelag med 150 mm mineralull- eller steinullisolasjon, og 2 platelag i himling, fortrinnsvis gipsplater.

Kravet til REI 60 oppnås typisk for bjelkelag med 150 mm mineralull - eller steinullisolasjon, og 2 gipsplatelag i himling (13 mm std + 15 mm branngips). Et eksempel fra Byggma er vist nedenfor ("Dokumentasjon Brann-lyd-u-verdi," 2021)

	Over undergulv	20 mm trinnlydplate. 12 mm + 16 mm spon
	Undergulv	22 mm slissegulv spon
	Bjelke	I-bjelke
	Isolasjon	Minimum 150 mm mineralull. Isolasjonen skal omslutte sidene til bjelkens underflens for å sikre nedfall.
	Himling	Lydbøyler, 30x48 lekter c/c 400, et lag 13 mm gipsplater, og et lag 15 mm branngipsplater nederst.

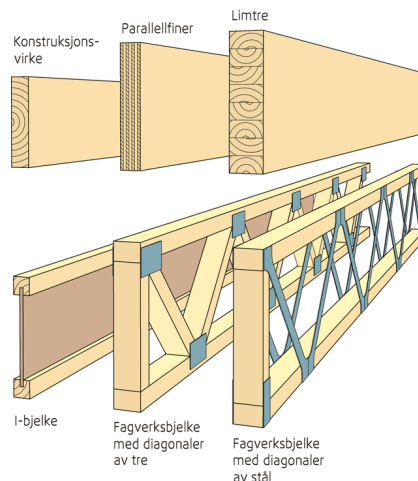
*Figur 11: Eksempel på etasjeskiller fra Byggma, REI 60, lyd R'w 55 dB og L'w 48-50 dB*



## 4 Materialbruk og egenskaper

### 4.1 Trebjelkelag

Som omtalt i kapittel 2 utføres trebjelkelag med ulike type bjelker, som har ulike fordeler og ulemper for styrke, lyd, brann og pris. Her blir dette diskutert grundigere.



Figur 12: Ulike gulvbjelker i tre (SINTEF Byggforsk 522.351)

#### 4.1.1 Konstruksjonsvirke

Bjelkelag av konstruksjonsvirke benyttes sjelden pga begrensninger spennvidder.

Fordeler:

- Lett i vekt
- Lett å tilpasse og kappe
- Billig

Ulemper

- Ikke formstabil
- Begrensede spennvidder

Utdrag fra bjelkelagstabeller basert på nyttelast 3 kN/m<sup>2</sup> og komfortkriteriet, kvalitet C24 og C30

Tabell 8: Utdrag fra bjelkelagtabell for k-virke, nyttelast 3kN/m<sup>2</sup>, komfortkriteriet (Byggforsk 522.351)

Bjelkedimensjon	C24		C30	
	cc 300	cc 600	cc 300	cc 600
48x148	2,85	2,40	2,90	2,45
48x198	3,60	3,10	3,65	3,15
48x223	3,95	3,40	4,05	3,50
73x198	3,90	3,40	4,00	3,45
73x223	4,30	3,75	4,40	3,80

Av tabellen ser vi at basert på cc 600 begrenser spennvidden seg til 3,8m. Standardbjelken 48x198 gir 3,15m

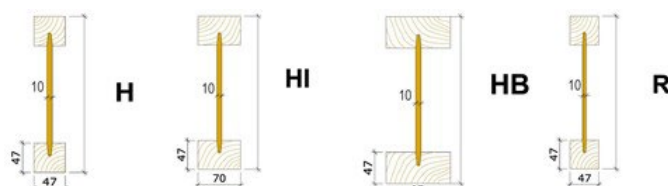
#### 4.1.2 I-trebjelker

I-bjelker er bygd opp med steg av spon og flenser av gran eller furu. Steget er oftest 10 mm, men flensene leveres som smalflens og bredflens, og noen produsenter har flere bredder. Økt flensbredde øker spennvidden

Bjelkelaget bygges med kantplate i spon, kubbinger for avstiving, og utvekslinger mot trappeåpninger o.l. Prinsippskisse er vist nedenfor



Figur 13 Eksempel på bjelkelagsplan med i-tre-bjelker (Masonite)



Figur 14 I-bjelketyper fra Masonite. Smalflens H, bredflens HI og storflens HB

«R» benyttes som stender. Bjelkene leveres i høyder fra 200 mm til 500 mm.

Fordeler:

- Formstabile sammenliknet med konstruksjonsvirke
- Lette
- Godt egnet for hulltaking
- Leveres i lange lenger, opptil 13,3 m. Lett å kappe.
- Har lite fuktinnhold og trekker lite fukt
- Tar større spennvidder enn konstruksjonsvirke

Ulemper

- Mindre spennvidde enn massive bjelker og gitterbjelker
- Stegforsterkningsbehov

Utdrag fra spennviddetabeller basert på nyttelast kat A og B, 3 kN/m<sup>2</sup>, komfortkriteriet

Tabell 9: Spennviddetabell fra Masonite basert på nyttelast 3 kN/m<sup>2</sup> og komfortkriteriet

Bjelketype og dimensjon	«lett» lydbjelkelag		«tungt» lydbjelkelag	
	cc 300	cc 600	cc 300	cc 600
H-250	4,24	3,66	4,08	3,51
H-350	5,33	4,57	5,13	4,39
HI-250	4,70	4,04	4,52	3,87
HI-400	6,47	5,54	6,23	5,31
HB-250	5,12	4,39	4,94	4,21
HB-500	8,18	7,00	7,88	6,71

Bjelker fra 250-400 er ofte brukt, og fra tabellen ser vi at spennvidden basert på CC600 ligger på ca 3,5m – 5,5m.

#### 4.1.3 Kerto-bjelker

Kerto-S er en finerbjelke (LVL) (varemerke MetsaWood, Finland), med høy styrke og stivhet. Som øvrige trebjelker er den lett å bearbeide og kombinere med andre materialer.

Fordeler:

- Formstabil
- Styrke og stivhet

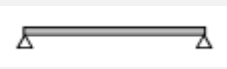
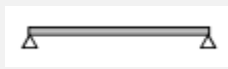
- Lett å bearbeide og kombinere med andre materialer.
- Kan leveres i fallende lengder, og kan kappes
- Ikke behov for stegforsterkning

#### Ulemper

- Tyngre enn I-bjelker (men fortsatt lett)
- Hulltaking er mulig, men ikke like fleksibelt og enkelt som på i-tre-bjelker

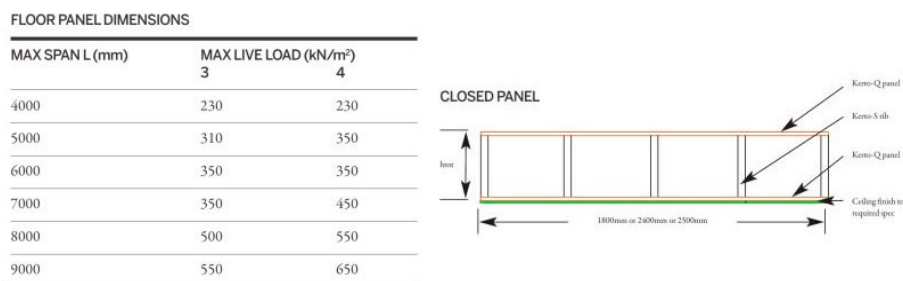
#### Utdrag av spennviddetabeller basert på komfortkriteriet og *nyttelast 4 kN/m<sup>2</sup>*

Tabell 10: Spennvidder Kerto-S komfortkriteriet, *nyttelast 4 kN/m<sup>2</sup>*

	Nyttelast 4 kN/m <sup>2</sup>	
	cc 300 	cc 600 
36x200	3,60	3,04
36x300	5,10	4,28
48x200	3,87	3,25
48x300	5,50	4,60
48x350	6,28	5,26
48x400	7,05	5,90

Av tabellen ser vi at Kerto-S-bjelker tar noe lengre spenn enn I-bjelker.

Kerto-bjelker benyttes i dekkeelementene Kerto Ripa, hvor bjelkene er av Kerto-S og topp- og bunnplate er av Kerto-Q. Et element med steg 260 mm og 2x25 mm plate, med total byggehøyde 310 mm gir maks spenn på 5m med 3kN/m<sup>2</sup> nyttelast.



Figur 15: Spennvidder for Kerto Ripa dekkeelementer

#### 4.1.4 S-bjelker

S-bjelker er smale limtrebjelker med 48 mm bredde og høyde fra 200 mm til 450 mm. Limtrekvalitet er GL28c.



Figur 16. S-bjelken (Moelven)

#### Fordeler



- Formstabil
- Stivhet og styrke
- Lett å bearbeide og kombinere med andre materialer
- Kan leveres i fallende lengder, og kan kappes
- Ikke behov for stegforsterkning

#### Ulemper:

- Tyngre enn I-bjelker (men fortsatt lett)
- Hulltaking er mulig, men ikke like fleksibelt og enkelt som på I-tre-bjelker

Utdrag av bjelkelagstabell basert på komfortkriteriet

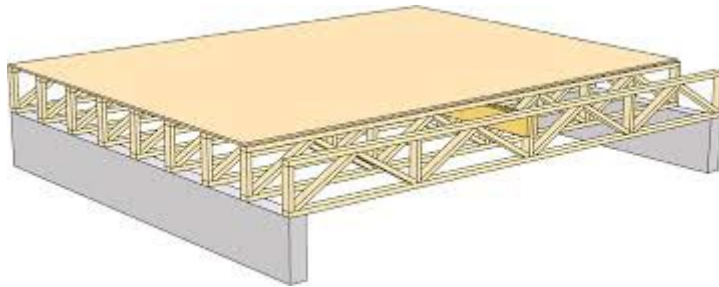
Tabell 11: Spennvidder for Kerto-S

Dimensjon	Nyttelast 4 kN/m <sup>2</sup>	
	cc 300 	cc 600 
48x250	4,57	3,84
48x300	5,35	4,48
48x350	6,12	5,12
48x400	6,87	5,75
48x450	7,61	6,37

Av tabellen ser at spennvidden er like under spennvidder for Kerto-S, og noe lengre enn for I-bjelker.

#### 4.1.5 Gitterbjelker

Gitterbjelker, eller fagverksbjelker, produseres av takstolprodusentene, og har samme prinsipp som takstoler med fagverk av trykk- og trekkstaver, og med sammenføyninger som oftest med spikerplater. Bjelkene kan produseres med stor variasjon i bjelkehøyde og spennvidder.



*Figur 17: Prinsippskisse for gitterbjelker i etasjeskiller m/ tverravstiver (Byggforsk)*

Bjelkene produseres av konstruksjonsvirke, oftest med gurter med dim 98x48 og kvalitet C30. Som staver kan stål alternativt benyttes.

Fordeler:

- Større spennvidder enn I-tre-bjelker og konstruksjonsvirke
- Gode lydegenskaper pga god stivhet og lite vibrasjon
- God brannmotstand
- Lette bjelker, tilstrekkelig med lastebilkran
- Godt egnet for føring av tekniske installasjoner som ventilasjon
- Godt egnet for sammensatte bjelkeelementer som kan kranes på plass

Ulemper:

- Byggehøyde, som vektlegges spesielt i fleretasjes hus
- Krever oftest kraning i motsetning til lettere bjelker som I-tre-bjelker
- Kan ikke leveres i fallende lengder for kapping. Må produseres på eksakte mål.

Utdrag spennvidder (kilde Norske Takstolprodusenters Forening), nyttelast kat A og B, komfortkriteriet

Tabell 12: Spennvidder for gitterbjelker, nyttelast kat A og B, komfortkriteriet

Bjelkehøyde	Dim gurter	Uten tverravstiver	Med tverravstiver 48x(H-2h) C24
250	98x48 C30	4,2	4,5
300	98x48 C30	4,7	5,3
400	98x48 C30	5,7	6,7
500	98x48 C30	6,5	7,9
600	98x48 C30	7,3	9,1

Av tabellen ser vi at en 400-bjelke tar spenn opp til 6,7m. Tilsvarende for I-bjelke cc 600 er ca 1 m kortere.. Spenn opp til 9 meter kan håndteres, men ulempen er da bjelkehøyden på 600 mm.

## 4.2 Plateprodukter – egenskaper og funksjon

### 4.2.1 Gulvspon

Sponplater brukes ofte som undergulv i bjelkelag, typisk 22 mm sponplater. Sponplater har en densitet på 600-800 kg/m<sup>3</sup>, og er relativt formstabil med tanke på svingninger i temperatur og luftfuktighet.

I en typisk lydetasjeskiller i tre brukes tre typer sponplater:

- 22 mm slisset gulvspon. Slissene bidrar til å redusere trinnlyd. Platene er fuktbestandig
- 22 mm standard og fuktbestandig gulvspon
- 22/25 mm thermogulv for vannbåren gulvvarme



Figur 18: Slisset gulvspon, fuktbestandig gulvspon, thermogulv for vannbåren gulvvarme

#### **4.2.2 Gips (undergulv og himling)**

Gipsplater har en densitet på 800-970 kg/m<sup>3</sup>, og kombinasjon av vekt og bøyestivhet gjør platene egnet som lydstrålingsminskende kledning i de lette, lydisolerende skillekonstruksjonene som er beskrevet i SINTEF Byggforsk 524.325.

Gips har i tillegg god brannmotstand, og benyttes ofte i brannskiller med 1 eller 2 platelag avhengig av brannkravet.

I etasjeskillere benyttes tre typer plater:

- 12,5 mm standardplater type A. Benyttes både som undergulv i kombinasjon med sponplater og trinnlydplater, og som himlingsplater. Størrelse opp til 1200x3600. Brann: A2-s1,d0
- 15 mm branngipsplater type F. Benyttes i himlinger som 2. platelag der dette er nødvendig for å oppnå REI 60. Størrelse opp til 1200x3000. Brann: A2-s1,d0.
- 13 mm gulvgipsplater type IR. Benyttes som undergulv for parkett, flis, tepper og belegg. Leveres uten nedsenkede kanter. Størrelser 600x1200. Brann: B-s1,d0.

Branngipsplater finnes i tykkelse opp til 30 mm, med brannbeskyttelse av stål- og betongkonstruksjoner som bruksområde. Vekt er 25,6 kg/m<sup>2</sup>, mot 9 kg/m<sup>2</sup> for standardgips type A.

I tillegg til kartonggipsplater beskrevet ovenfor, finnes det også fibergipsplater. Fibergips består av 80 % gips og 20 % papirfiber. Gipsen og papirfiberen blandes med vann og presses under høyt trykk til en homogen masse. Fibergipsplater er vesentlig kraftigere enn kartonggips.

Hunton har gjennomført tester hos SINTEF med bruk av 2x10 mm Fermacell fibergipsplater i himling i stedet for 2x12,5 mm kartonggips. Testene viser gode lydegenskaper, med trinnlydforbedring på 4dB. Hunton anbefaler derfor løsningen. Platen har større egenvekt (1150 kg/m<sup>3</sup>), men ettersom de er tynnere er vekt pr m<sup>2</sup> omtrent lik med tanke på håndtering (Byggma, 2017).

#### **4.2.3 Trinnlydplater av glassull og steinull**



Trinnlydplater leveres både av trykkfast glassull (Glava m.fl) tykkelse 20 mm, og av steinull (Rockwool m fl) i tykkelse 20-50 mm. Brann: A2-s1,d0. Platestørrelse 595x1200.

Trinnlydplater brukes for flytende gulv, hvor ett eller flere sjikt legges løst på underlaget, uten mekanisk forbindelse. Trinnlydplatene bidrar demping av trinnlyd, og kombineres med ett eller flere trykkfordelende lag (ofte gips eller spon, evt avrettingsmasse/påstøp).

Platene krever en kantavstiving med et 19 mm bord (for 20 mm plate).

Fordeler:

- Lett å håndtere
- Kan ta opp mindre ujevnheter i underlaget
- Gir større trinnlydforbedring enn porøse trefiberplater

Ulemper:

- Krever kantavstiving (for å unngå nedbøying)
- Krever mer lastfordeling ovenfor (gips/spon)



*Figur 19: Rockwool trinnlydplate 20 mm*

#### **4.2.4 Trinnlydplater som porøse plater**

Trinnlydreduksjon kan også oppnås med porøse trefiberplater. Hunton har varemerke på Silencio-plater, som leveres i 24 mm og 36 mm tykkelse. 24 mm-plate benyttes på betongdekker, hulldekker og ved rehabilitering. 36 mm-plate benyttes på lette etasjeskillere i tre.

Fordeler:

- Redusere lavfrekvent lyd som trinnlyd
- Høy trykkfasthet, trenger ikke kantavstiving, og trenger mindre trykkfordeling ovenfor (gips/spon)

- Veier lite, lett å håndtere
- Gode miljøegenskaper

Ulemper:

- Gir mindre trinnlydforbedring enn plater av mineralull



*Figur 20: Trinnlydplate av porøst materiale (trefiber), Hunton Silencio 36 mm.*

Trefiberplaten kombineres med undergulv av spon, og på oversiden et lag gips + parkett eller annet overgulv.

#### **4.2.5 Betong påstøp**

Som alternativ til trykkfordelingsplater med gipsplater og gulvspon lagt flytende over trinnlydplater, brukes det et armert avrettingslag på typisk 40-50 mm. Betong påstøp gir god planhet, som er fordelaktig med hensyn på knirk, samtidig som betongens høye egenvekt gir gode lydegenskaper. Påstøp/flytavretting er en *våtprosess*, ettersom dette tilfører fuktighet.

Betong påstøp vurderes ikke videre i rapporten ut fra avgrensning. Trebasert etasjeskiller er ønskelig.

#### **4.2.6 EPS**

EPS-plater framstilt av isoporstrimler ensidig finert med polypropylenbelegg kan egne seg hvor lydgvulv også skal hensynta gulvvarme. Izorol-PP fra produsenten Kotor er eksempel på dette. Platene leveres fra 10 til 40 mm. EPS er lett, og gir god innfestingsevne for gulvvarmerør.



*Figur 21: EPS trinnlydmatte ("Produktdatablad Izorol-PP EPS T 045," 2015)*

#### **4.2.7 Gummimatter**

Gummimatter benyttes også som trinnlydplater. De er elastiske og har høy egenvekt. De finnes i tykkelse 2-12 mm. En ulempe er at de krever et avrettingslag på minimum 30 mm for legging av tregulv eller belegg. Gummimatter benyttes i hovedsak som underlag i våtrom der flis limes direkte på gummimattene.



*Figur 22: Gummi trinnlydplate, Laticrete GenieMat*

## 5 Metode

For å innhente informasjon om temaet har vi gått igjennom relevant pensum fra studiet, dimensjonering av trekonstruksjoner av Bell, vi har sett på en del av de siste årenes bachelor- og masteroppgaver som har omhandlet etasjeskillere. Videre fra dette har vi gjennomført litteratursøk, mye i SINTEFs Byggforskrifter, for å kartlegge dagens løsninger.

Med hjelp fra veileder Jan Steinar Egenes har vi fått møte med Anders Homb fra SINTEF og fått drøftet problemstillingen knyttet til lyd, og tatt opp effekten av tiltakene som en UHDF plate, samvirke med boksdekke og effekten av en slik plate.

Videre har vi gjennomført et litteratursøk på Google Scholar og Research Gate, for å finne hvilke løsninger som finnes på utfordringene i dag. Der vi har hentet inn informasjon om krav til etasjeskillere, oppbygging av etasjeskillere, produksjon, og montering.

Etter funn av produsent av boksbjelkene med oppspent vaier har vi sendt ut epost til produsenten og en av forskerne bak mange av studiene. Det gav oss blant annet en rekke forskningsartikler på feltet.

Vi har sendt ut epost til produsenter av prefabrikerte elementer i Norge og spurt om hvordan de produserer etasjeskillere nå. Her har vi ikke fått noe svar tilbake.

Det er også gjennomført litteratursøk for å finne hva som forskes på og hva som kan bli løsningene på utfordringene fremover. Her har vi funnet en metastudie om etasjeskillere fra 2022 og ut ifra funnene i denne har vi valgt ut de etasjeskillerene som kan ha stort potensiale for imøtekomme kravene og være en del av løsningen for utfordringene med lette etasjeskillere.

## 6 Resultat fra litteratursøk

### 6.1 Forskning og utvikling i dag

Det ble gjennomført et søk på google scholar med søkeordene - flooring systems – wood – modular- timber – prefabrication – smart production – stressed skin panels (SSP) – timber hollow-box floor elements.

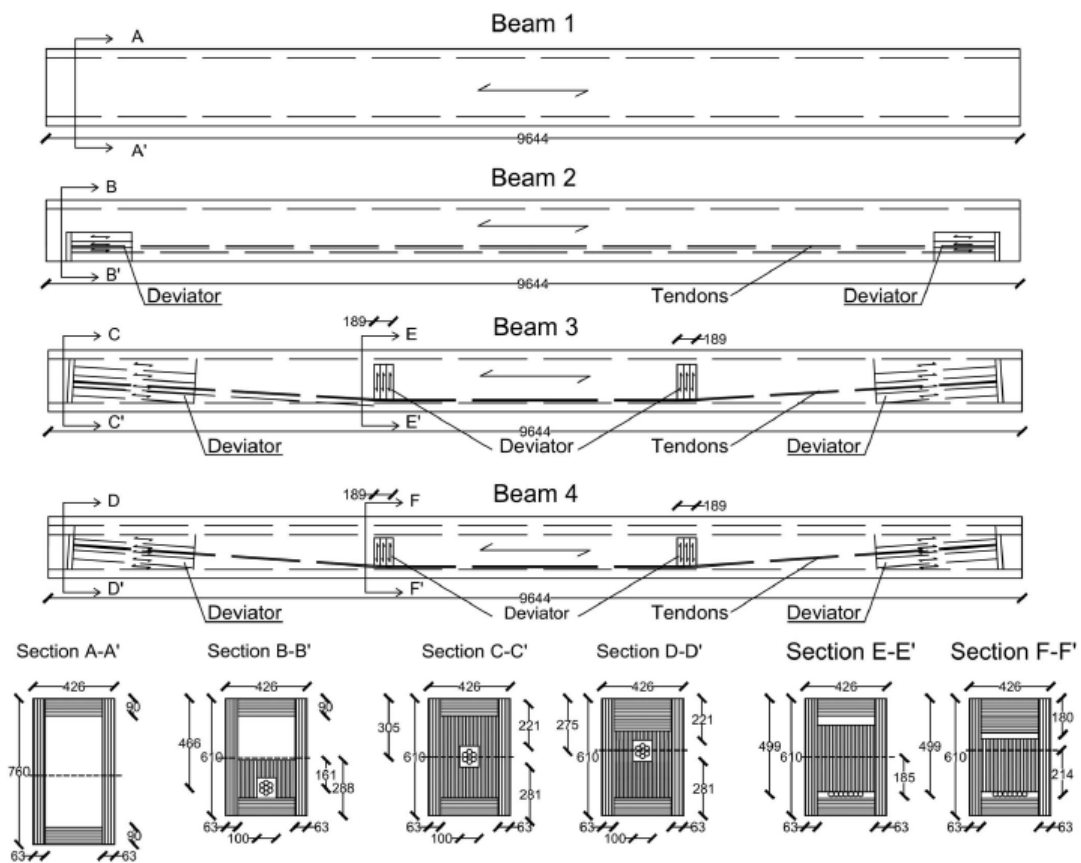
I dette søket fant vi en metastudie som ble publisert i januar 2022 som gikk igjennom 100 studier på etasjeskillere i tre. Den ble gjennomført i Australia av Bazli, Heitzmann og Ashrfi. De har sett på teknikker og metoder brukt i produksjon og de strukturelle egenskapene til ulike typer etasjeskillere. Det vises til at utviklingen som har skjedd i produksjon, limtyper og behandling av tre har gjort at etasjeskillere i tre kan lages i lange spenn og tåle stor belastning, de innehar så gode egenskaper at de kan begynne sammenlignes med stål og armert betong (Bazil, 2022).

Totalt sett konkluderte de med at trebaserte etasjeskillere er kostnadseffektive og miljøvennlige løsninger som får et større og større bruksområde. Det påpekes også at konstruksjonsmessig er det lite gode studier på plater og bjelker belastet med statiske- og vibrasjonslaster. Flere av systemene som er gjennomgått finnes det kun et fåtall studier på, spesielt opp mot vibrasjon og brannegenskaper bør det forskes mer på for å finne gode løsninger.

De etasjeskillerne som viste seg å ha de beste egenskapene var noen hulromsdekker og I-bjelkelag. Det kommer frem at hulromsdekker eller I-bjelke system har høy materialeeffektivitet med høy stivhet med liten egenvekt, og de er godt egnet til industriell produksjon av etasjeskillere. Hulromsdekker viste seg å ha større bæreevne og høyere stivhet. Samtidig er det enklere å lage prefabrikkerte dekker med ferdig isolasjon med hulromsdekkene, som viste seg å gjøre byggeprosessen mer effektiv (Bazil, 2022). Bazli et.al drar frem hulromsdekker som potensielt gode etasjeskillere med flere egenskaper som gjør dem egnet.

### 6.1.1 Hulromsdekker

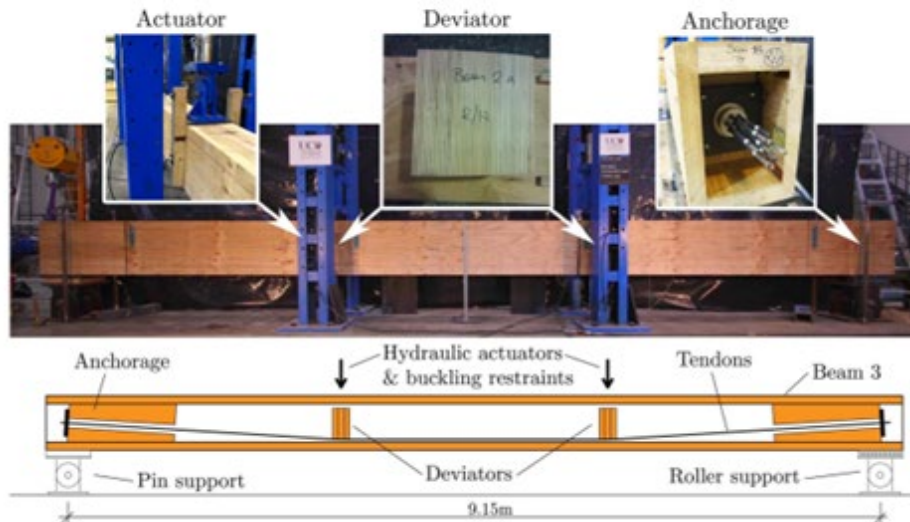
Dette er en type etasjeskiller det har vært forsket mye på både i Europa, Oseania og Canada. Bazil et al dro spesielt frem studien til Beerschoten et.al. De så på en variant av dette der de har satt inn en forankret og spent vaier i lengderetningen (Beerschoten, 2019). Her er det tatt utgangspunkt i forskning rettet mot jordskjelvsikring av høye trebygninger med fokus på å gjøre den bærende konstruksjonen mer duktil og øke bæreevne og spennvidde. De endret det fra vertikale bærende stolper til bruk i gulvdekke. Dette var hulromsdekker der de spant opp en vaier på ulike måter for å øke stivheten til bjelkene. Deretter har de testet med belastning helt opp til brudd og samlet inn data for å finne bruddstyrke og nedbøyning.



Figur 23 Lengde og tverrsnitt av de ulike hulromsbjelkene som ble undersøkt.

Boksene var 9.66 m lange og spennet mellom opplagene var på 9.15 m, høyden på boksen uten vaier var 760 mm og de andre med vaier hadde høyde på 610mm alle var 426 mm brede. Vaieren består av flere små vaier som i enden blir holdt fast mot en 50 mm trykk plate og lagt på linje i bunn. Forskjellen mellom bjelke 3 og 4 var at bjelke 3 var konstruert for at

bruddet skyldes kompresjonskrefter i øvre flens og bjelke 4 får brudd på grunn av strekkraftene i nedre flens.



Figur 24 Tverrsnitt av bjelke 3 og 4, hentet fra til Beerschoten, 2019.

Boksen med vaieren spent opp og festet i bunnen gav best resultat, se figur. Der kom de frem til at det reduserte nedbøyning, økte bæreevne og gjorde bjelken mer duktil.

I 2005 ble det for første gang gjennomført en studie på vaieroppspente LVL søyler med undersøkelse av effekt opp mot jordskjelv-motstandsdyktighet. Da fant Palermo, A. ut at kablene gjorde konstruksjonen mer duktil og konstruksjonen var betraktelig mer stabil (A. Palermo, 2005). De fleste bygningene der man har benyttet vaieroppspente LVL er det brukt i bærende vertikal konstruksjon.

Fra 2017 har det blitt benyttet noe i horisontale dekker og bjelker. I 2017 kom Del Lago frem til at bjelker med oppspent vaier kunne konkurrere med tilsvarende løsning av betong. De viste seg å være spesielt lønnsomme når man skulle bruke over lange spenn og i store åpne rom (Bruno Dal Lago, 2017)

Palermo kom også frem til at en etteroppspenning med vaier kan signifikant redusere høyden til bjelken sammenlignet med en tradisjonell LVL bjelke. Ved belastning opp til tillatt nedbøyning hadde bjelke 4, en økning i bæreevne på 54% og bjelke 3 en økning på 23% sammenliknet med bjelken uten, det til tross for at den hadde redusert den totale høyden med 20%. Dette kan ha signifikant betydning for fleretasjes trehus da høyden på bygningen kan

reduseres. Utfordringer Beerschoten bemerket, men ikke gikk inn på, var vibrasjon, lyd og brann. Men med den reduserte høyden kan man gjøre andre gode tiltak uten å lage en for høy etasjeskiller (Beerschoten, 2019).

Det var tydelig størst endring i mekaniske egenskaper for bjelke 4. Noe som er verdt å bemerke er endringen i elastisitetsmodul (E) og skjærfasthet (G). Disse har økt med henholdsvis 2.92% og 11,1% til tross for at høyden har blitt redusert med 20%. Denne økningen kan gi mindre opplevd vibrasjon.

Tabell 13: Mekaniske egenskaper, bjelker m/ oppspent wire

Property	Symbol	Beam 1: Benchmark	Beam 2: Straight PT	Beam 3: Draped PT	Beam 4: Draped PT (2)
Cross-sectional area	$A$ ( $10^3 \text{ mm}^2$ )	150	130	130	158
Shear area	$A_s$ ( $10^3 \text{ mm}^2$ )	74.4	59.7	59.7	57.2
Section modulus	$Z$ ( $10^6 \text{ mm}^3$ )	28.2	19.9	19.9	20.2
Moment of inertia	$I$ ( $10^9 \text{ mm}^4$ )	10.7	6.07	6.07	6.74
Tendon eccentricity	$e$ (mm)	—	161	185	214
Modulus of elasticity	$E$ (GPa)	10.7	10.9	11.2	11.4
Shear modulus	$G$ (MPa)	684	652	704	757

Designet med oppspent LVL har vært forsket på i flere år og Alessandro Palermo som forsket med Beerschoten i 2019 hadde funnet i 2008 at man kunne spare mye material og tid, det var også klimavennlig, jordskjelvsikkert og det kunne prefabrikeres (Buchanan, 2008). Her tok de også opp problemstillingen på hvor mye spenningen i vaieren avtar over tid, og mente at dette burde det forskes mer på. I 2016 gjorde Palermo og fem andre en oppfølgingsstudie på dette temaet og beregnet en forventet reduksjon på 11-13% over en periode på 50 år (Granello, 2018).

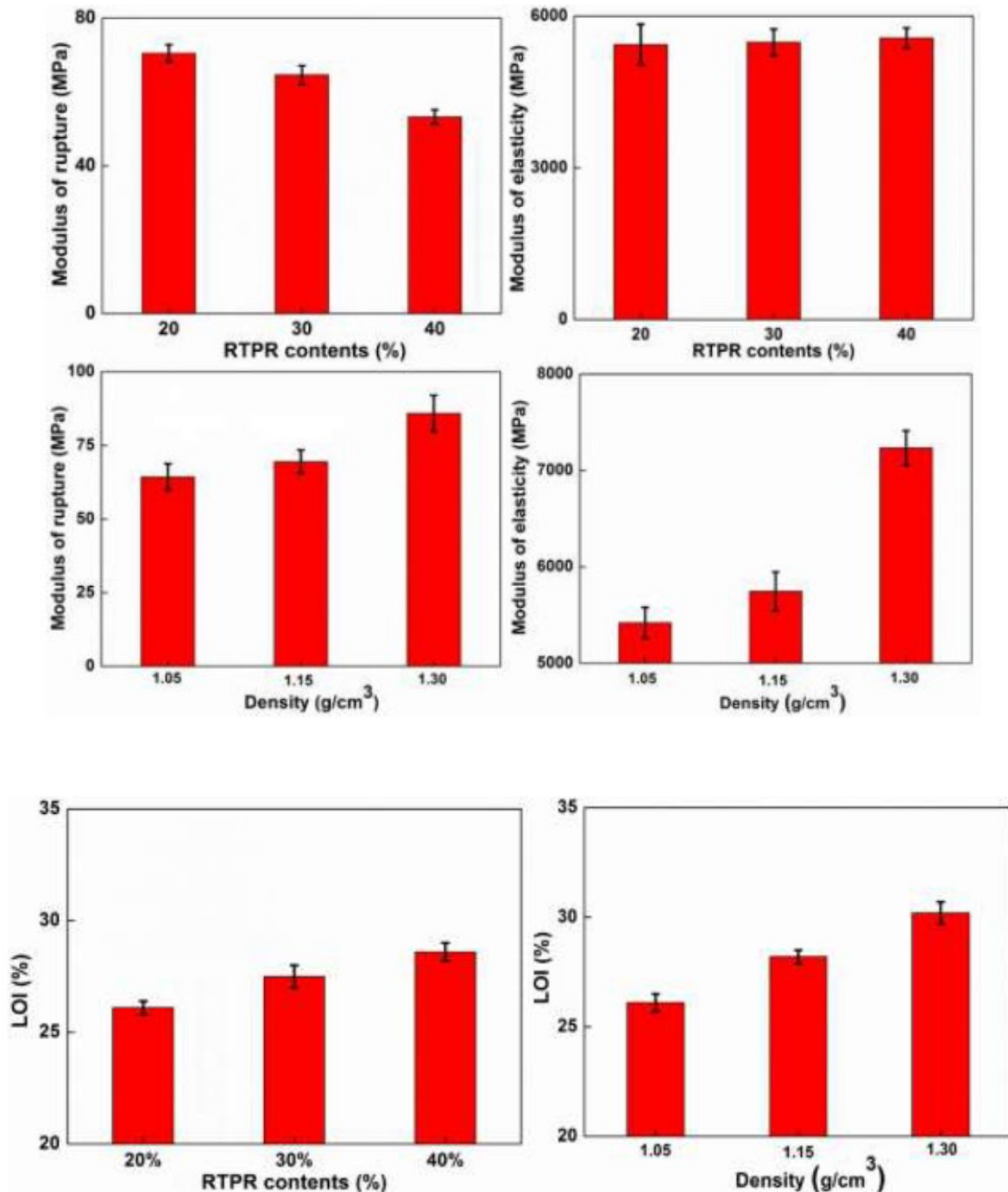
### 6.1.2 Høydensitetsplater UHDF

Et alternativ til tunge sjikt som betong er å ha et tungt tresjikt. Det er gjennomført lite forskning på veldig tunge treplater. I 2017 publiserte Qiheng Tang, Lu Fang og Wenjing Guo en artikkel igjennom *Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry*. Her undersøkte de hvordan mekaniske egenskaper endret seg med massetetthet og ulik mengde med resorsinollim (RTPR). Der undersøkte de vannabsorberende evne, svelling, intern heft, bøyestyrke, bruddstyrke og elastisitetsmodul (Tang, 2017).

De ulike tetthetene var  $1050 \text{ kg/m}^3$ ,  $1150 \text{ kg/m}^3$  og  $1300 \text{ kg/m}^3$  og 20, 30 og 40 % RTPR. Platene med størst massetetthet hadde også høyest intern heft. Platen med  $1300 \text{ kg/m}^3$  hadde 6.7MPa og platen med  $1050 \text{ kg/m}^3$  hadde 2.9 MPa.



Bøye­fasthet og elastis­ite­ts­modul viste seg også å være høyest i de elementene med høyest tetthet. Der kom de frem til at platen med 1300kg/m<sup>3</sup> hadde en elastis­ite­ts­modul på 7230 MPa mot 5420 MPa på 1050 kg/m<sup>3</sup>. Bøye­fasthet viste seg å være på 85,9 MPa og 64.3 MPa på hhv 1300 kg/m<sup>3</sup> og 1050 kg/m<sup>3</sup>. De dokumenterte også at platen med 1300kg/m<sup>3</sup> hadde en LOI (Limited oxygen index) på 30%. Det tilsvarer verdiene til vanlig furu som er behandlet med 10% flammehemmende middel.



Figur 25 Verdier på bøye­fasthet og E-modul for UHDF platene.

Konklusjonen deres var at platen med tetthet på 1300kg/m<sup>3</sup> og 40% RTPR hadde de beste mekaniske egenskapene på alle felt. De kommer også frem til at UHDF har veldig gode vannavstøtende og brannhemmende egenskaper.

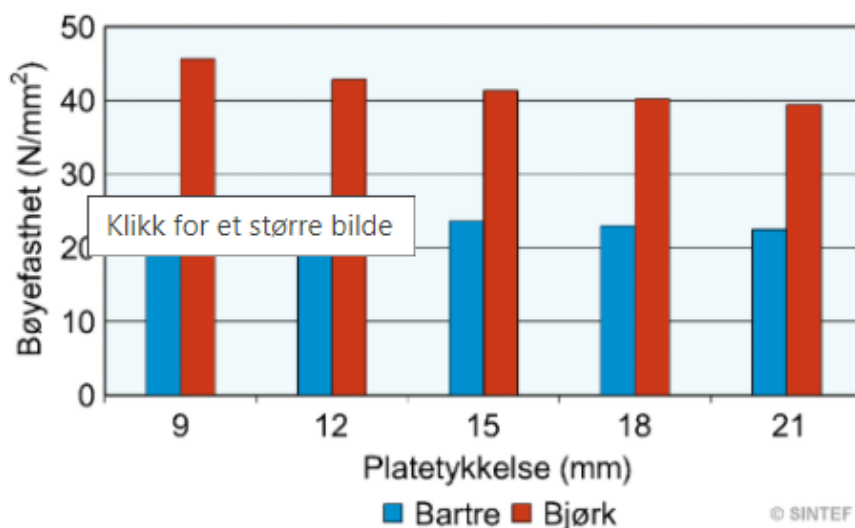
En plate med slik tetthet er ikke omtalt i byggforskserien i artikkelen om trefiberplater, 571.048 Trefiberplater.

Platene med høyest elastisitetsmodul er de harde platene med en E-modul på 5000MPa og en bøyefasthet på 37MPa. Kerto-Q som benyttes i hulromsdekkeelementer av type Kerto Ripa har en E-modul på 8.300-8.800, men egenvekten er langt lavere (480 kg/m<sup>3</sup>).

Vi mener at det derfor kan det være interessant å lage en etasjeskiller med en plate som er vesentlig tyngre og har betydelig høyere bøyefasthet enn de fiberplatene som er på markedet nå.

*Tabell 14 Karakteristiske fasthetsverdier trefiberplater hentet fra NS-EN 12369-1*

Platetype	Tykkelse mm	Densitet kg/m <sup>3</sup>	Fasthetsverdier (N/mm <sup>2</sup> )	
			Bøyefasthet	E-modul
HB.HLA2	≤ 3,5	900	37	5 000
	3,5–5,5	850	35	4 800
	> 5,5	800	32	4 600
MBH.LA2	≤ 10	650	17	3 100
	> 10	600	15	2 900
MDF.LA	> 1,8–12	650	21	3 700
	> 12–19	600	21	3 000
	> 19–30	550	21	2 900
	> 30	500	19	2 700
MDF.HLS	> 1,8–12	650	22	3 700
	> 12–19	600	22	3 200
	> 19–30	550	21	3 100
	> 30	500	18	2 800



Figur 26 Bøyefasthet for kryssfinér plater gjengitt fra Byggforsk 571.049 Kryssfinérplater.

En svakhet det må tas høyde for er at dette er en enkeltstående case-studie som er publisert i et tidsskrift med en godkjenningssandel på 92% artikler i 2021. I denne oppgaven benytter vi oss av funnene, men det understrekes at det bør gjennomføres mer forskning på feltet for at funnene skal være pålitelige.

## 6.2 Kostnadsvurdering for lette og tunge etasjeskillere

Økonomi vil alltid være medvirkende til valg av etasjeskillere. En gjennomgang av dagens vanligste etasjeskillere som oppfyller kravet til lyd og brann viser at lette og tunge etasjeskillere kommer tilsynelatende relativt likt ut på rundt kr 3000 pr m<sup>2</sup> eks mva. Men det er flere forhold som må vurderes, blant disse:

- Spennvidde – priseksemplene nedenfor er gitt for spennvidde rundt 5 m for lett med 3 kN/m<sup>2</sup> nyttelast
- Tunge etasjeskillere kan utløse kostnader til kraftigere fundament og konstruksjon
- Areal; lite areal kan for tunge etasjeskillere gi uforholdsmessig høy andel frakt og kraning

Kilde er Norsk Prisbok 2021. Det har vært stor prisstigning på materialer siden den kom ut, men det antas at sammenlikning mellom ulike konstruksjoner viser et riktig bilde. Se Norsk Prisbok for forutsetninger knyttet timepris og fortjenestepåslag (Norconsult, 2021).

<b>Lett etasjeskiller; i-bjelker og 36 mm porøs trefiberplate som lydtrinn</b>		kr/m2	<b>fordel</b>	<b>ulempe</b>
lydgulv	36 mm porøs trefiber + 13 mm gips + 22 mm spon	889	lett	korte spenn
kjerne	i-bjelker 47x300, 250mm isolasjon, 22 mm gulvspon std	1 173		
himling	lydbøyler + 2x13mm gips, kantfuging	1 035		
SUM eks mva		<b>3 098</b>		
<b>Lett etasjeskille, trebjelker, 22mm trinnlydplate i mineralull</b>		kr/m2	<b>fordel</b>	<b>ulempe</b>
lydgulv	22 mm trinnlydpl mineralull, 13 mm gips, 22mm spon	640	lett	korte spenn
kjerne	i-bjelker 47x300, 250mm isolasjon, 22 mm slissepon	1 280		
himling	lydbøyler + 2x13mm gips, kantfuging	1 035		
SUM eks mva		<b>2 955</b>		
<b>Tungt etasjeskille; hulldekker 200 mm m/trinnlyd og påstøp</b>		kr/m2	<b>fordel</b>	<b>ulempe</b>
lydgulv	flytende gulv med trinnlydpl mineralull og betongpåstøp	784	lange spenn	tung
kjerne	hulldekke HD200 m/ gysing og kantstøp	1 121	rask montering	kan kreve forsterket fundament
himling	fast gips Himling nedforing, 2x13 mm gips, kantfuging	932		kan kreve forsterket konstruksjon
SUM eks mva		<b>2 837</b>		

Figur 27 Priseksempler på noen vanlige etasjeskillere (Norsk Prisbok, 2021)

I kapittel 7 foreslår vi en etasjeskiller basert på hulromsdekkeelementer og ei ny plate. Det hadde vært naturlig og nyttig å gjøre en kostnadskalkyle på dette dekket, som prefabrikkert dekke heist på plass på byggeplass tilsvarende som for hulldekker i betong. Vi har imidlertid ikke gjort forsøk på dette, da dette ville krevd inngående samarbeid med produsentene. Samtidig er det materialer som ikke er kommersielt tilgjengelig med markedspris (UHDF).

Skal en industrialisert etasjeskiller i tre lykkes på markedet må en være i nærheten av disse prisene. Andre konkurransefaktorer som spart byggehøyde, spennvidde, lett dekke, kort byggetid mm vil selvfølgelig også spille inn.

## 6.3 Miljø og bærekraft

Byggebransjen står for en betydelig del av verdens klimagassutslipp, og bransjen har begynt å ta grep for å redusere dette. FN-undersøkelse «State of the World's Cities 2010/2011» viste at bygninger står for 35% av det globale energiforbruket og 19% av energirelaterte drivhusgasser (UN-Habitat 2011), byggebransjen står også for 25% av det globale forbruket av vann (Habert, G. 2020).

I Norge står byggebransjen for 13,5 % av det totale klimagassutslippet (Marton,2007).

Stål og betong benyttes i stor grad i dag og produksjonen av dette er svært energikrevende og det gjennomføres forskning for å redusere utslippet fra prosessene (P.V. Nidheesh, et al. 2019, Florencia Franzini et.al 2018). Treverk søkes som substitutt for stål og betong. Treverk har en rekke spesielt gode fysiske egenskaper slik som høy styrke i forhold til vekt, gode egenskaper mot seismiske krefter, lav miljøpåvirkning, enkelt å jobbe med, lett å gjøre endringer og

egnet for prefabrikasjon. Denne retningsendringen har medført stor utvikling i bearbeiding av treverk for konstruksjonsformål.

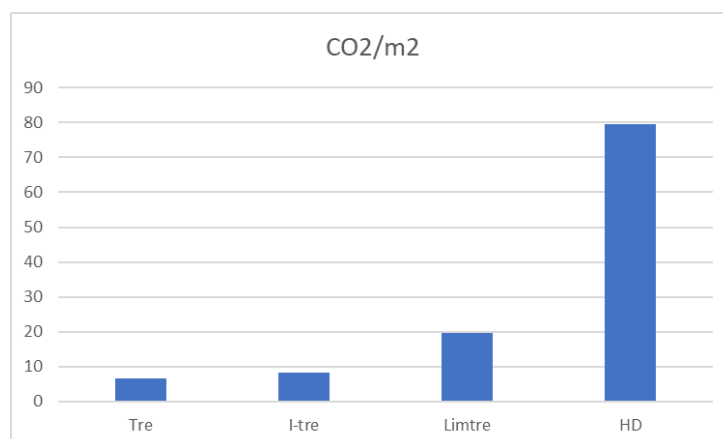
Bruk av tre som konstruksjonsmateriale kan være et viktig bidrag til å nå Norges mål om å bli karbonnøytralt innen 2030. Et aspekt ved å benytte en etasjeskiller i tre fremfor betong, er at det vil være karbonlagring i mange år i et dekke bestående av treverk samt at det er en fornybar ressurs. Ut ifra den forskningen tilgjengelig kan en etasjeskiller bygget på den måten presentert her være et alternativ til betongdekke og bærende konstruksjon av stål.

Dokumentasjon fra Norsk Prisbok viser at trebaserte etasjeskillere har vesentlig lavere klimaavtrykk målt i CO<sub>2</sub>-ekvivalenter:

Tabell 15: CO<sub>2</sub>-avtrykk av ulike etasjeskillere (Norsk Prisbok 2021)

Element nr	Element	CO <sub>2</sub> pr m <sup>2</sup>
02.5.C.001	HD-element, t = 200 mm, med gysing og fuging, REI6	79,52
02.5.D.001	Etasjeskiller med trebjelkelag, isolasjon og gulvspon	6,53
02.5.D.002	Etasjeskiller med bjelkelag av I-profiler, 47x250, isolasjon og gulvspon	8,27
02.5.D.003	Etasjeskiller med bjelkelag av limtre, dim 80x200, isolasjon og gulvspon	19,71

Tallene viser at etasjeskillere av betonghulldekker har ca 10x klimautslippet til trebaserte etasjeskillere. Oppbygging av lydgvulv og himling er holdt utenom. En betongpåstøp på HD vil forsterke forskjellen. (Norconsult, 2021)



Figur 28: Grafisk fremstilling av CO<sub>2</sub>-avtrykk for ulike etasjeskillere (Norsk Prisbok 2021)

## 7 Design av etasjeskiller

I dette kapitlet beskriver vi et forslag til videreutvikling av etasjeskillere i tre, en *materialeffektiv etasjeskiller i tre som tilfredsstillter kravene til lyd og brann, og som er egnet for industriell produksjon.*

Forslaget er basert på gjennomgangen i de foregående kapitlene av dagens etasjeskillere, av materialbruk, samt forskning og utvikling på området.

### 7.1 Vurderinger av funn

Felles for dagens løsninger for lette etasjeskillere synes å være

- Manglende evne til å klare lange spenn sammenliknet med tunge etasjeskillere
- Stor byggehøyde ved økende spennvidde
- Utfordringer med lyd
- Mange sjikt som resulterer i en arbeidskrevende montering
- Relativt lite industrialisering i form av elementproduksjon på fabrikk

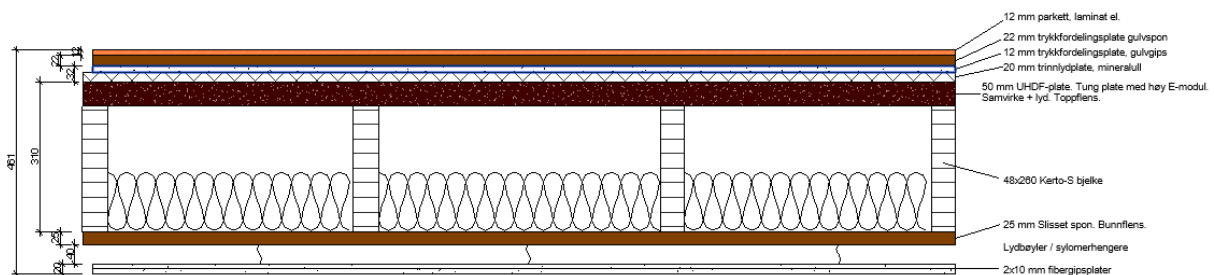
Ut fra dette mener vi at hulromsdekkeelementer peker seg ut som den type basisetasjeskiller/kjerne som vil komme mer på markedet. Hulromsdekkeelementer klarer lengre spenn og gir mindre byggehøyde sammenliknet med bjelkelagsetasjeskillere, og er samtidig svært godt egnet for industriell produksjon. Videreutvikling av hulromsdekkeelementer med oppspent wire er svært interessant for å ytterligere øke spennvidde og redusere byggehøyde.

Vårt funn av utviklingen av høydensitetsplater i form av Ultra High Density Fiberboards har gitt oss idéen om å kombinere ei slik plate med hulromsdekkeelementer. Platas tyngde/densitet, som er tilnærmet som for pukk, gir gunstige lydegenskaper, og platas stivhet (E-modul) gir mulighet til gjennom samvirke med bjelker gi større stivhet for etasjeskilleren.

### 7.2 Forslag til etasjeskiller egnet for elementproduksjon

Med bakgrunn i oppsummeringen og vurderingene i foregående avsnitt foreslår vi en trebasert etasjeskiller basert på følgende prinsipp:

Kjerne (basisdekke)	Lydgulv	Himling
<b>Hulromsdekkeelement</b> (med og uten wireoppspanning), Kerto-S bjelker, UHDF overflens og slissespon som underflens	<b>Trinnlydplate</b> av mineralull eller porøs trefiberplate + trykkfordelingsplate(r)	2 lag <b>fibergips</b> i opphengt sylomerhengere (lydbøyler)



Figur 29: Forslag til etasjeskiller, detaljert i Revit 2022

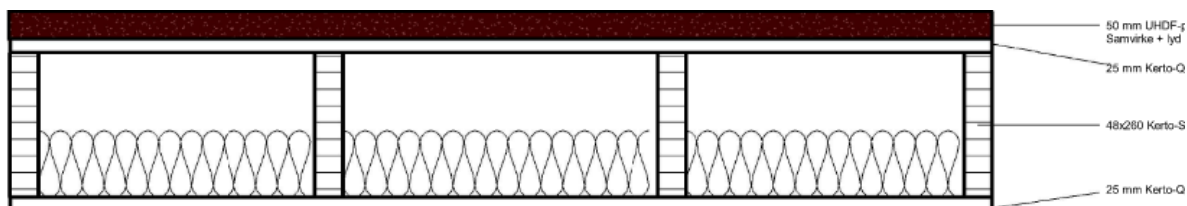
## 7.3 Kjerne – hulromselement i samvirke med UHDF-plate

Oppbygging av kjerne velges ut fra at

- Hulromsdekker er relativt slanke og tar relativt store spenn
- Hulromsdekker er godt egnet for elementproduksjon
- Hulromsdekker kan ved bruk av oppspant wire gi enda slankere konstruksjon og ta lengre spenn
- Bøystivhetsegenskapene til UHDF-platene vil ved samvirke med hulromsdekket gi stivere og slankere konstruksjon, samtidig som tyngden i platen gir gode lydegenskaper

### 7.3.1 Modell A: UHDF-plate på hulromsdekkeelement av LVL-flenser

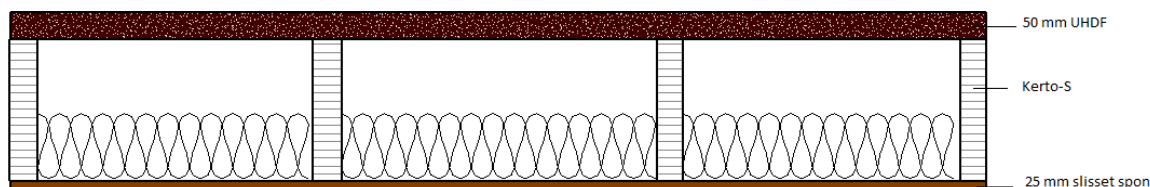
Hulromsdekkeelementet illustrert nedenfor tilsvarer Kerto Ripa 310 mm, som tar spenn på 5 m med  $3 \text{ kN/m}^2$  nyttelast. Bjelkene er av Kerto-S, og topp- og bunnflens at 25 mm Kerto-Q. Sammen med pålimt 50 mm UHFD-plate bygger kjernen 360 mm. Styrken i UHFD-platen og samvirke med hulromsdekkeelementet øker stivheten.



Figur 30: Basisdekke modell A med pålimt UHDF

### 7.3.2 Modell B: UHDF-plate som toppflens i hulromsdekkeelement

Alternativt kan hulromsdekkeelement bygges opp med andre flenser. Bjelkene består fortsatt av Kerto-S, men toppflens erstattes med 50 mm UHDF-plate. Bunnflens erstattes med slisset spon, ettersom lukkede elementer er ugunstig mhp resonanseffekter mellom himling og underflens. Det er fordelaktig å perforere bunnflensen. Alternativt må himling senkes mer, men det er ugunstig mhp etasjeskillerens totale byggehøyde.



Figur 31: Basisdekke modell B med UHDF som toppflens

### 7.3.3 Prinsipp med komposittvirkning

Figuren nedenfor illustrerer prinsippet med komposittvirkning, hvor en bjelke er sammensatt av øvre flens, steg og nedre flens.

c) Viser ingen komposittvirkning, det vil si at de 3 «komposittdelene» glir fritt i forhold til hverandre i horisontal retning. De tre «komposittdelene» bidrar hver for seg, og bøyestivheten beregnes som

$$EI_0 = E_1I_1 + E_2I_2 + E_3I_3$$

hvor subindeksene 1, 2 og 3 angir komposittdelene, og subindeks 0 angir ingen komposittvirkning.  $E_i$  angir elastisitetsmodul til del i, og  $I_i$  angir andre arealmoment til del i.

b) Viser delvis komposittvirkning. Dette opptrer gjerne ved punktvis sammenføring, som ved spikring og skruing. Beregning av effektiv bøyestivhet med delvis komposittvirkning kan gjøres etter NS-EN 1995-1-1, tillegg B ( $\gamma$ -metoden).

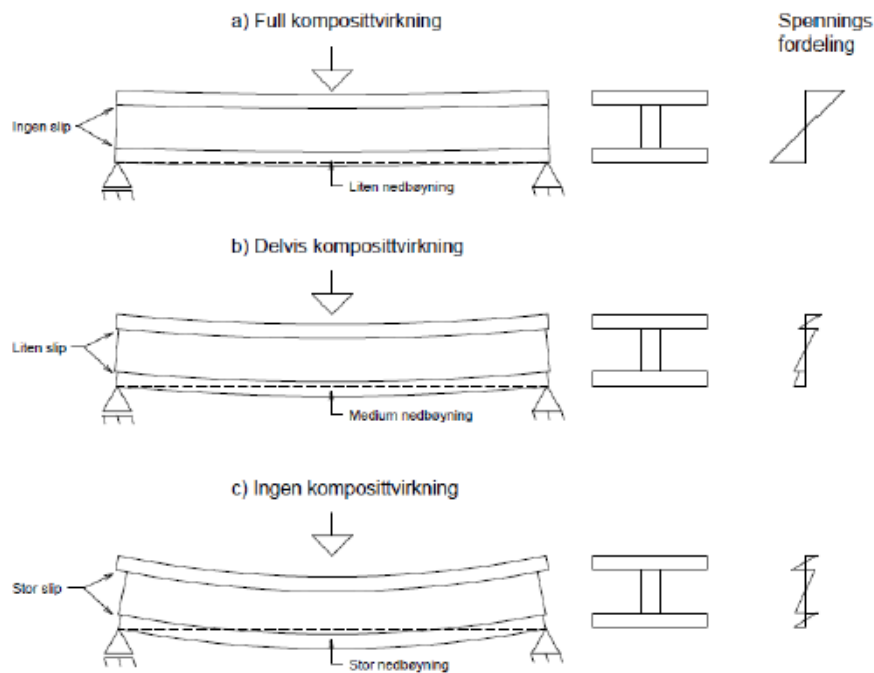


$$(EI)_{eff} = \sum_1^3 (E_i I_i + \gamma_i E_i A_i a_i^2)$$

Beregningsmetoden er basert på «Steiner-tillegget»

a) Viser full komposittvirkning. Dette oppnås gjerne ved limte forbindelser. Beregning av bøyestivhet følger formelen over, hvor  $\gamma_i$  settes lik 1:

$$EI = \sum_1^3 (E_i I_i + E_i A_i a_i^2) = E_1 I_1 + E_1 A_1 a_1^2 + E_2 I_2 + E_2 A_2 a_2^2 + E_3 I_3 + E_3 A_3 a_3^2$$



Figur 25: Grad av komposittvirkning

### 7.3.4 Noen utfordringer med samvirke mellom UHDF og hulldekke

Et viktig punkt i konstruksjonen er forbindelsen mellom høydensitetsplaten og hulldekket. For å få utbytte av de gode mekaniske egenskapene til platen, må den ha en forbindelse med hulldekket som gir fullt samvirke, slik prinsippet ovenfor viser (Figur 25 del a).

I en slik forbindelse mellom to plater vil det være rulleskjærkrefter som kan gi en skjærdeformasjon og redusere bæreevne. I motsetning til limtre som er bygget opp av lameller

med samme orientering av trefibre, vil ikke en slik plate ha trefibre som er orientert i en unison retning. En slik svakhet er observert i krysslaminert treverk der fiberorienteringen ofte er 90 grader oppå hverandre (Aicher, 2016). Det er også kjent at interlaminær styrke i trebaserte materialer som MDF ofte er et svakt punkt. Derfor kan delaminasjon på grunn av skjærdeformasjon være en svakhet ved konstruksjonen (Yoshihara, 2012). Det kan ofte være bøyemomentet og nedbøyning som kan gi brudd i sammenføyningen på grunn av store skjærkrefter når spennlengden er stor i forhold til høyden (Furushima, 2003). Effekten av samvirke vil bli påvirket av det faktum at komprimert treverk har lavere friksjon enn konstruksjonsvirke (Wakashima, 2019).

Forbindelsen mellom UHDF platen og hulldekket kan med fordel være en kombinasjon av liming og skruing for å øke samvirkeeffekten. En slik skruliming var også foreslått av Karl Mahnert fra Treteknisk for å gi en god kraftoverføring. I Kolbein Bells dimensjonering av trekonstruksjoner angis det at man med lim som forbindelsesmiddel mellom komponentene i et bjelketverrsnitt oppnår fullverdig kompositt oppførsel med ingen glidning mellom delene, og plane tverrsnitt forblir plane (Bell, 2017).

For å få best samvirke mellom UHDF og dekke bør den derfor skrulimes på fabrikk.

### **7.3.5 Beregning av stivhet og samvirke**

Basert på beregningsmetoden gjengitt i avsnitt 7.3.3 har vi gjennomført beregninger av tre ulike oppbygginger av hulromsdekkeelement (vedlegg B).

- Kerto Ripa 260/25/25 (et referanse-element med 5m spennvidde)
- Modell A
- Modell B

For alle modellene forutsetter vi fullt samvirke.

Beregningene viser at modell A har betydelig større stivhet enn de to andre. Dette er forventet ut fra at vi legger på en tykk plate med høy E-modul, og forutsetter fullt samvirke.

Beregningene viser også at modell B har nesten like stor stivhet som referanseelementet. Tykk og stiv toppflens bidrar til større stivhet, men slisset spon i bunnflens bidrar andre veien. Tyngde i toppflens og slisset bunnflens gir positive lydegenskaper, samtidig som stivheten opprettholdes.

Tabell 16: Beregnet stivhet for 3 hulromsdekkeelementer

Modell	Stivhet (EI) <sub>eff</sub>	Endring
Kerto Ripa 260/25/25 (referanseelement)	6,00x10 <sup>12</sup> Nmm <sup>2</sup>	
Modell A	1,19x10 <sup>13</sup> Nmm <sup>2</sup>	+98%
Modell B	4,63x10 <sup>12</sup> Nmm <sup>2</sup>	-22,8%

## 7.4 Lydgulv

For å klare kravene til luftlydreduksjon og trinnlydnivå kreves et flateelastisk lydgulv/overgulv. Trinnlydplater av mineralull eller porøse trefiberplater kombinert med trykkfordelende plater er standard løsninger i dag, og foreslås også her.

### 7.4.1 Vurdering av mulig sandwichelement for lydgulv

I prosessen med design av etasjeskilleren er det vurdert et «sandwichelement» som kan lages på fabrikk. Prinsippet vil være å ha et lag som er satt sammen av slissespon, trinnlydplate, gips og gulvspan. Disse lagene ville vært satt sammen til en komplett plate som kan ligge oppå hulromsdekket.

En slik plate ville kunne redusere monteringstiden betraktelig på byggeplass, siden det er mange sjikt og mange operasjoner som settes sammen til én.

Imidlertid ser vi flere utfordringer med et slikt tenkt sandwichelement:

- Flytende gulv: Disse sjiktene skal legges *flytende*, noe som vanskeliggjør å produsere et slikt tenkt sandwichelement. Om det legges på gulvet på fabrikk, må man finne en løsning for midlertidig fastholdelse til etasjeskilleren.
- Rom-for-rom; lydgulvet legges fortrinnsvis rom for rom etter at delevegger er satt opp. Dette tilsier at det er vanskelig å montere sandwichelementet sammen med bjelkelaget i fabrikk. Imidlertid kan lettvegger, ikke bærevegger, settes oppå lydgulvet (Brevik, 2009).
- Platestørrelse; for å få god effekt av en slik sammensatt plate bør den være i storformat og kunne håndteres med egnet løfteutstyr. Dette kan håndteres i elementfabrikker, men vanskeligere på byggeplass.

Vi mener tanken er interessant, og videre jobbing av dette konseptet foreslås som videre arbeid.

#### 7.4.2 Foreslått lydgvlv

Vårt forslag til oppbygging, flytende gulv som monteres på plassen:

- 20 mm trinnlydplate av mineralull
- 12,5 mm lastfordelende gipsplate
- 22 mm lastfordelende sponplate

Alternativ materialeffektiv oppbygging om testresultater viser tilfredsstillende lydegenskaper:

- 36 mm porøs trefiberplate (trinnlyd)
- 22 mm lastfordelende sponplate

### 7.5 Himling

Som lydhimling foreslås

- Sylomer-hengere
- 2 lag 10 mm fibergipsplater

Vi foreslår bruk av sylomer-hengere av typen EP700 eller Super T60 EC fra Christian Berner (Aage Ertzeid, 2021), som alternativ til de mer vanlige lydbøylene fra Glava og Rockwool. I følge tester gjengitt av leverandøren er de mer effektive for demping av vibrasjoner og lavfrekvent lyd.



*Figur 32: Sylomer-henger EP700 (Christian Berner)*

Fibergipsplater på 10 mm foreslås som et materialeffektivt alternativ til standard 12,5 mm kartonggipsplater (Kunøe, 2017). Hunton har gjennomført tester med bruk av fibergipsplater i himling med positive resultater, hvor de mener å oppnå en forbedring på 5 dB. Deres testmodell besto av

- I-bjelker 300 fylt med 200 mm isolasjon
- Himling av 2x10 mm fibergips opphengt i lydbøyer
- Lydgvlv av 22 mm spon + 36 mm porøs trefiber + 10 mm fibergips, samt overgvlv av parkett.

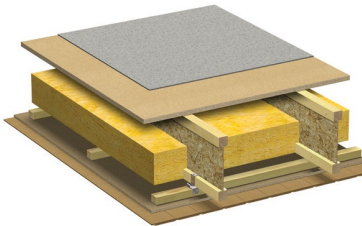
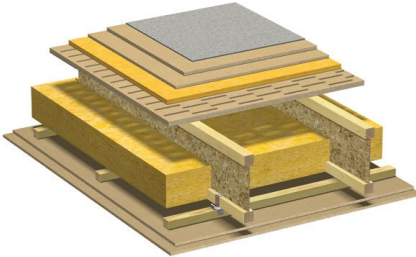
Trinnlyd og luftlyd var godt innenfor kravene. Høy egenvekt av platene er en del av forklaringen,

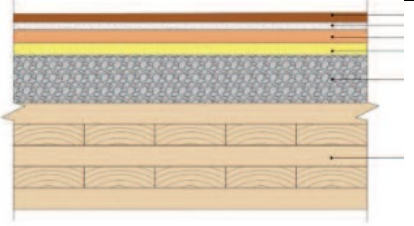
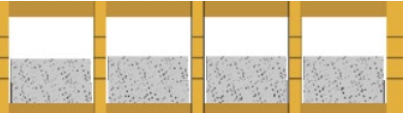
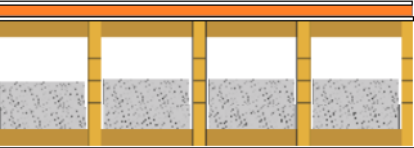
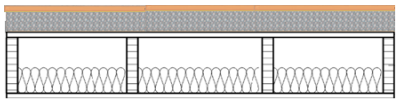
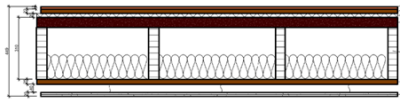
## 7.6 Vurdering av lydegenskaper for foreslått modell

### 7.6.1 Luftlyd og trinnlyd

Vi har ikke gjennomført tester eller beregninger av modell A og B, noe som blir foreslått som videre arbeid. Imidlertid kan vi gjøre antakelser om lydegenskapene ved å sammenlikne med andre etasjeskillere med tilsvarende oppbygging og bruk av materialer (Byggforsk, 2017; Aanesen, 2016). Vi sammenholder også med beregninger utført i FoU-prosjektet Woodsol, arbeidspakke 5. De har gjort beregninger på hulromsdekkeelementer med og uten lydgvulv, og med hulrom fylt med pukk eller mineralull. Kravene i Woodsol-prosjektet er for kontorbygg, hvor luftlyd- og trinnlydkravene ikke er like strenge (Anders Homb, 2019; Byggma, 2021)

Tabell 17: Sammenlikning av lydegenskaper for ulike oppbygging av etasjeskillere

	Illustrasjon	Oppbygging	Vekt (kg/m <sup>2</sup> )	Luftlyd	Trinnlyd
1		Undergulv: Spongulv 22 mm I-bjelker m/isolasjon Lydbøyler+2 lag gips	~60	55	65
2		Lydgvulv: 20 mm trinnlydplate, 12 mm + 16 mm sponplate Undergulv: 22 mm slissegulv I-bjelker m/isolasjon Lydbøyler+2 lag gips	~100	55	48-50

3		Lydgulv: 20 mm trinnlydplate, 13 mm gips, 22 mm sponpl, <b>pukk 80mm</b> Undergulv: (ingen) Massivtre 180 mm	~300	64	44
4	Hulromsdekke, "Rådekke" 	Lydgulv: Ingen Hulrom fylt m puk 195 kg/m <sup>2</sup> Himling: Ingen	231		80
5	Hulromsdekke m/overgulv og himling 	Lydgulv: Gips Porøs trefiber Gips Undergulv/bjelke: Kerto Hulrom fylt med puk 195 kg/m <sup>2</sup> Gips i himling	291		55
6	Hulromsdekke m/overgulv 	Lydgulv: Porøs trefiberplate 60 mm grussjikt Undergulv/bjelke: Kerto Hulrom med mineralull 160mm	177	56	64
	Vår modell B 	Lydgulv 20 mm trinnlydplate, 13 mm gips, 22 mm sponpl, Undergulv: 50 mm UHDF Bjelker: Kerto-S m/minerull Lydbøyler+2 lag fibergips	~150	?	?

Ut fra sammenlikning med andre dokumenterte etasjeskillere i tabellen over er det veldig sannsynlig at kravet til luftlydreduksjon er oppfylt. Det er noe mer usikkert hvor lavt trinnlydnivå vi oppnår. Men sammenliknet med (6) «Hulromsdekke med overgulv» med 64 dB, mener vi at modell B vil få bedre trinnlydegenskaper:

- Bedre lydgulv, med flere sjikt (gips/spon) og bedre trinnlydplate (mineralull)
- Lydhimling

Det er også interessant å sammenlikne med oppbyggingen av (3) massivtre med 80 mm puk + tilsvarende lydgulv, uten lydhimling – med trinnlydnivå helt nede i 44 dB. Vår UHDF-plate med 1.300 kg/m<sup>3</sup> er noe lettere enn puk (1.500 kg/m<sup>3</sup>) og tynnere enn dette pukksjiktet.

Egenvekt på  $\sim 150 \text{ kg/m}^2$  er nokså lavt, men samtidig høyere enn tabell-linje 2 som har gode trinnlydegenskaper.

Byggforsk-blad 722.512 behandler tiltak for forbedring av lydisolasjon for etasjeskillere av tre i boliger, og gir noen normative forbedringstall ved tiltak for lydgvulv og lydhimlinger

- Trinnlydforbedring med flateelastisk gulv med trinnlydplate av mineralull og vektøkning med plater på  $20 \text{ kg/m}^2$ : 6-8 dB og  $40 \text{ kg/m}^2$  9-12 dB. Med trinnlydplate av porøs trefiberplate og  $10 \text{ kg/m}^2$  oppnås normativt 4 dB (tabell 64)
- Trinnlydforbedring med vibrasjonsisolert himling/lydhimling med flatevekt ca  $20 \text{ kg/m}^2$ , og mineralull i hulrom: 8-12 dB. Det presiseres at det ikke gjelder i kombinasjon med flateelastiske overgulv, så man kan ikke summere tiltakene. Forbedringen er størst når eksisterende konstruksjon er relativt tung.

Sammenlikning med modell 6 ovenfor, og forbedring med lydhimling på 8-12 dB, og et bedre lydgvulv, gjør at vi mener det er sannsynlig av trinnlydkravet på 53 dB oppnås. Men dette må videre sannsynliggjøres med matematiske beregninger, og endelig dokumenteres ved laboratoriemålinger

### 7.6.2 Svingninger

For boliger og trehus representerer svingninger et komfortproblem. Anders Homb utarbeidet en SINTEF-rapport i 2007 der han konkluderte med følgende krav til komfortkriterium. Dette baserer seg på gulvets fundamentale svingninger og nedbøyning på grunn av en konsentrert last på 1kN plassert på mest ugunstig sted (Homb, 2007).

Standarden gir vage grenseverdier og utregningene man skal benytte er omfattende.

Utrekningene som er foretatt nedenfor er sterkt forenklet og gir kun en indikasjon på om etasjeskilleren tilfredsstillende kravene (Bell, 2017).  $f_1$  er gulvets fundamentale egenfrekvens og  $w$  er nedbøyning ved 1kN plassert mest ugunstig på dekket.

$$\frac{(f_1/18,7)^{2,27}}{w} > 1$$

Ut ifra kriteriet etter formelen over, tilfredsstillter både modell A og B kravet til komfort og svingninger. Modell A som har høyere stivhet klarer lengre spenn enn modell B, vi ser at modell A klarer 6,86m, mens modell B klarer 5,35m. Dette er en konservativ beregning.

Modell A

Lengde m	w mm	f1 Hz	Kontroll $\frac{(\frac{f_1}{18,7})^{2,27}}{w} > 1$
3	0,05	76,05	510,99
4	0,11	42,78	58,39
4,5	0,16	33,80	24,03
5	0,22	27,38	10,86
5,5	0,29	22,63	5,29
6	0,38	19,01	2,75
6,5	0,48	16,20	1,50
6,86	0,57	14,54	1,00
7	0,60	13,97	0,86
8	0,90	10,69	0,31

Modell B

Lengde m	w mm	f1 Hz	Kontroll $\frac{(\frac{f_1}{18,7})^{2,27}}{w} > 1$
3,00	0,12	50,56	78,71
4,00	0,29	28,44	8,99
4,5	0,41	22,47	3,70
5,00	0,56	18,20	1,67
5,35	0,69	15,90	1,00
5,50	0,75	15,04	0,82
6,00	0,97	12,64	0,42
6,50	1,24	10,77	0,23
7,00	1,54	9,29	0,13
8,00	2,30	7,11	0,05

Figur 33 Beregning av komfortkriteriet ved gulvsvingninger.



## 8 Industriell produksjon

I 2019 gjorde Forsythe og Ahmadian Fard en observasjonsstudie av effektiviteten i byggingen av høye trehus i Australia. Der så de at den gjennomsnittlige byggehastigheten av bærende KLT gulv var på 78,5 m<sup>2</sup>/time, mens der de la de største dekkene gikk hastigheten opp til 141,5 m<sup>2</sup>/time. Ved å ha større elementer i bygningen vil effektiviteten av byggingen øke. Derfor vil industrialisering og prefabrikkering av store etasjeskillere øke effektiviteten i bygging (Perry Forsythe, 2019).

### 8.1 Forskning i dag - et litteratursøk

Det er store krav til effektivitet, ressursbruk og miljøpåvirkning i boligbygging i verden. Behovet for boliger øker i takt med antall innbyggere i verden, boligmarkedet er derfor ofte preget av stor etterspørsel og lite tilbud (Aalbers, 2015). Samtidig øker kostnadene knyttet til bygging av husene. For å balansere bærekraftsmål og holde kostnadene nede er det viktig å se på den totale ressursbruken ved husbygging. Kedir og Hall (2020) gjennomførte en metastudie på ressursbruk i industrialisert husbygging. De tok for seg 80 studier på området for å se hva som må til for å få en mer industrialisert prosess. Der tok de for seg temaene prefabrikasjon, modulbygging, off-site bygging og konseptet MMC (Modern Methods of Construction). Dagens oftest brukte strategi i boligbygging fremstilles som lite effektiv, med en fragmentert og prosjektbasert tilnærming, med mye bygging på byggeplass (Kedir, 2020). Det er ofte IHC (Industrialized Housing Construction) som blir tatt frem som en helhetlig tilnærming for å møte denne utfordringen. Her inkluderes prefabrikkering av elementer, teknologiske systemer for planlegging og kontroll av byggeprosess og integrering av BIM (Building Information Modeling).

Blant fordelene ved prefabrikkering er en pålitelig byggeprosess i et kontrollert miljø og det er god avfallskontroll. Lett tilgang og gjentagende prosesser på samme sted gir redusert behov for verktøy. Integrering av andre prosesser slik at avfall fra en blir ressurs for en annen, er et annet positivt aspekt ved industrialisering. Det er observert reduksjon i svinn, mindre fuktskader på materialer under lagring og oppsetting på byggeplass det gir også redusert overproduksjon (Kedir, 2020). Tidsmessig ble det funnet at det er et potensial for å øke produksjonsfarten med 30% med en kostnadsreduksjon på 25%.

Det er flere leverandører av løsninger for industrialisert byggeprosess av etasjeskillere og andre elementer i tre. Tilgjengelig utstyr består av bl.a arbeidsbord, CNC-maskiner, løfteanordninger, lagersystemer og BIM-programvare. Bruk av denne type utstyr, gjerne i kombinasjon med manuelle operasjoner, muliggjør en effektiv byggeprosess. Med et slikt system kan man spesialtilpasse hver enkelt prosess og hvert enkelt element. I vårt tilfelle, med bruk av store og tunge UHDF plater, store hulldekker med oppspente vaiere og flere platelag, vil det være hensiktsmessig å ha en byggeprosess der man kan forflytte etasjeskilleren på rullebord og bruke løfteanordninger satt i system. Alle delprosesser i en slik produksjonslinje må vurderes enkeltvis om det er mest hensiktsmessig å ha utført av en fullautomatisk CNC maskin eller om den skal utføres manuelt.

## 8.2 Foreslått produksjonslinje

En slik produksjonslinje kan være utformet slik:

1. Lage hulldekket på et bord tilpasset bredde og lengde. En slik prosess kan gjøres helautomatisk med enkelte maskiner. Flere produsenter gjennomfører dette i en kombinasjon av maskin og manuell håndtering.



*Figur 34 Sætheren Element legger og spikrer bjelkelag manuelt*

2. Spenne opp vaiere og feste dem. Dette er relativt ny teknologi som ikke er i masseproduksjon. Bjelker med oppspente vaiere lages blant annet på fabrikk i New Zealand der de er patentert under navnet Pres-Lam.
3. Tilpasse til kabler, rør og andre elementer som skal være skjult i dekket. Igjennom BIM kan man planlegge hvor det skal være gjennomføringer og tilpasse dekket

deretter. Dette kan gjøres enten manuelt eller ved bruk av automatiske drill- og kuttemaskiner.

4. Legge og feste platene som skal ligge oppå hulldekket.
  - a. Sandwich element, midlertidig festet til dekket.
  - b. UHDF



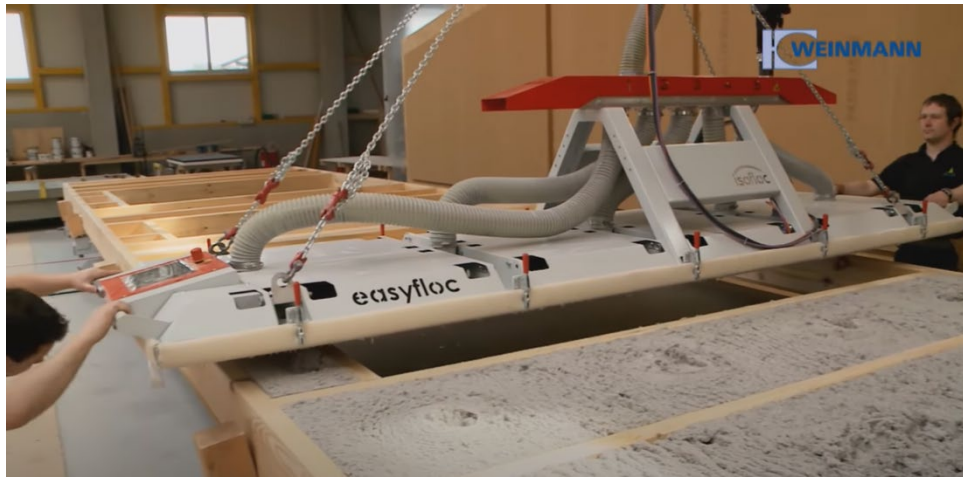
*Figur 35 Håndtering av store treplater med vakuumløfter fra Weinmann.*

5. Vende elementene med undersiden opp og flytte det fra en arbeidsstasjon til en annen i samme operasjon.



*Figur 36 Vending av hele elementer for å kunne legge inn isolasjon og sette på himling.*

6. Legge inn isolasjon.



*Figur 37 Isolering med Weinmann isolasjonsinnblåser Easyfloc G2 isofloc.*

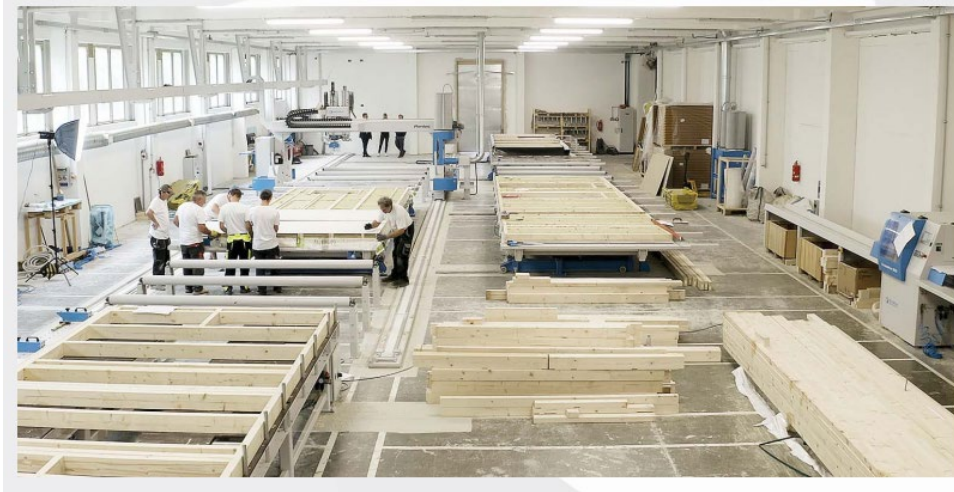
Ved å vende platene med undersiden opp kan man legge på underflens i storplateformat. Himlingen med lydbøylor og gipsplater bør monteres på byggeplass.

7. Sette opp platene i lagerstativ før de løftes ut på transportmiddel.



*Figur 38 Forflytting av ferdige elementer med takheis med skinnesystem.*





*Figur 39 Produksjonslinje med 4 arbeidsstasjoner, en multifunksjons CNC bro fra Soukup*

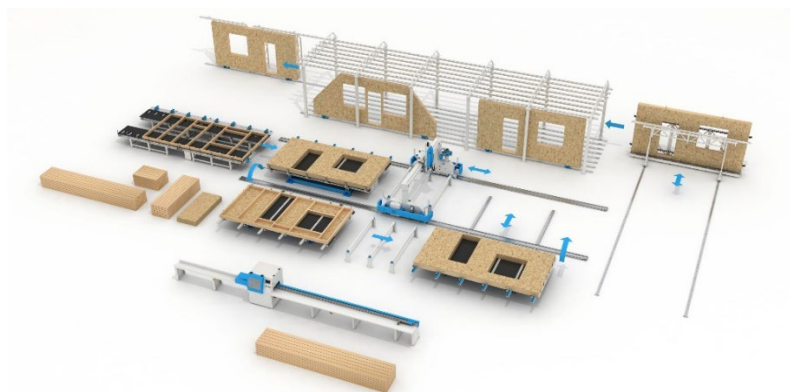
Den etasjeskilleren som vi har presentert kan med disse prosessene prefabrikeres på nøyaktige mål tilpasset hvert prosjekt. I en slik industrialisering av produksjonen krever en særdeles nøyaktig prosjektering da det ikke er mye tilpasningsmuligheter av etasjeskilleren på byggeplass.

### **8.3 Utstyrstilgjengelighet**

Utstyr for å gjennomføre en slik produksjon eksisterer i dag.

En av produsentene av denne type utstyr er tyske Weinmann (Weinmann, 2022). Maskinene er tilgjengelig i Norge gjennom forhandleren Vela As. Sætheren Element AS er en av produksjonsstedene som benytter seg av disse maskinene i dag.

En annen tilbyder av tilsvarende systemer er det tsjekkiske selskapet Soukup Woodworking Machinery (Soukup, 2021).



*Figur 40: Illustrasjon av produksjonslinje fra Soukup*

## 8.4 Platestørrelse

Ved å ha en vakuumløfter slik som det er presentert her er det mulig å styre og bruke plater som er både store og tunge. En plate av UHDF på 50 mm vil veie 65 kg/kvm, men ved å bruke løftemaskiner kan man effektivisere produksjonen da man kan ha betydelig større plater som reduserer.

Også gipsplater og sponplater kan med fordel leveres i større formater enn det som er standard i dag (1,2x3,0).

## 9 Diskusjon, konklusjon og videre arbeid

Vi har foreslått en trebasert etasjeskiller utformet som et hulromsdekkeelement, med bruk av både eksisterende materialer og produksjonsmåter, men også videreutvikling med bruk av materialer som nå utvikles – og endring på sammensetning. Elementene er godt egnet for industriell produksjon.

Vår problemstilling var:

*Hvordan designe en materialeffektiv trebasert etasjeskiller som tilfredsstiller kravene til styrke, stivhet, lyd og brann, samtidig som den er egnet for industriell produksjon?*

Vi foreslår modell B ut fra at den er mest materialeffektiv, samtidig som den er like godt egnet for industriell produksjon. Kjernen har en tung, tykk og stiv toppflens (UHDF), og slisset bunnflens. Lydgulv med trinnlydplate og trykkfordelende lag. Himling består av sylomerhengere og fibergipsplater.

### 9.1 Egenskaper

- **Trebasert** etasjeskiller som har 10x lavere klimaavtrykk enn sammenliknbart hulldekke i betong
- **Egnet for industrialisert produksjon**
- **Spennvidde** opp mot 9 meter, tilsvarende Kerto Ripa
- **Lavt materialforbruk:** Et av målene med oppgaven var å konstruere en *materialeffektiv* etasjeskiller. Vår modell med hulrom, og med utnyttelse av samvirke mellom steg av Kerto-S og tykk/stiv toppflens gir materialeffektivitet samtidig som det gir positivt bidrag til lydegenskapene. Alternativ oppbygging med massivtre er mer materialintensiv. Himling bygd opp av fibergipsplater gir også materialeffektivisering
- **Lavere byggehøyde:** Vår modell B vil kunne ta spenn på ca 5 m, tilsvarende Kerto Ripa 310, med total byggehøyde på 449 mm. Økning av steghøyden vil kunne gi spenn opp til 8-9 m.
- **Brann og lyd:** Kombinasjonen av å tilføre tyngde gjennom UHDF-palte og benytte tradisjonelt lydgulv skal gi gode lydegenskaper. Himling av sylomerhengere og

fibergipsplater bidrar til dette. 2 lag fibergipsplater i himling løser brannkravet på EI-60.

Vi foreslår at flytende lydgvulv skal plassbygges, men et sandwichelement som diskutert i kap 7.4.1 kan være en god løsning for å redusere antall prosesser på byggeplass.

Himlingen vil også monteres på byggeplass og består av sylomer-hengere og to lag med 10 mm fibergipsplater. Dette er ikke hensiktsmessig å prefabrikkere da transporten fra fabrikk til byggeplass blir uhensiktsmessig komplisert, og risikoen for skade på himling er stor.

## 9.2 Ulemper

- Elementproduksjon, slik det er foreslått, gir mindre tilpasningsmuligheter på byggeplass da den må lages på nøyaktige mål. Det stiller større krav til detaljprosjektering
- Transportkostnader
- Spennvidder og byggehøyde er dårligere enn hulldekker i betong

## 9.3 Konklusjon

En etasjeskiller konstruert etter modell B kan tilfredsstillere alle kriteriene som er etterspurt i problemstillingen. For å kunne dokumentere at etasjeskilleren har gode nok egenskaper må det gjennomføres videre testing. Det som fremkommer her er en indikasjon på hva slags egenskaper den kan ha.

Ut ifra våre beregninger og antagelser kan den være en materialeffektiv etasjeskiller som har gode nok egenskaper til å tilfredsstillere kravene til styrke, stivhet, lyd og brann etter TEK-17. Den er trebasert etasjeskiller og kan produseres industrielt.

## 9.4 Videre arbeid

Det er ikke gjennomført mye forskning på UHDF platen og det bør gjennomføres flere studier for å tallfeste de mekaniske egenskapene til platen og standardisere liming og produksjon av slike plater.

Bruk av hulromsdekker med oppspent vaier mener vi er en interessant videreutvikling. Det vil kunne bidra til slankere konstruksjon og lengre spenn. I kap 6 omtalte vi tester som viste 54%



større stivhet kombinert med 20% slankere dekke. Mesteparten av forskningen har vært rettet mot egenskaper under påkjenning av jordskjelv. Her bør det også gjennomføres mer forskning for å stadfeste egenskaper og bruksområder.

Videre mener vi at muligheten for å utvikle et prefabrikkert lydgvulv som et sandwichelement, der undergvulv, trinnlydplate og trykkfordelingsplater er montert sammen fra fabrikk, bør utredes videre.

Det bør lages en fullskala modell av etasjeskilleren og de ulike variasjonene for å dokumentere mekaniske egenskaper.

Laborrietester av luft- og trinnlydeegenskapene bør gjennomføres.

# Vedleggsoversikt

Vedlegg A1: Detaljtegning i Revit av Modell A

Vedlegg A2: Detaljtegning i Revit av Modell B

Vedlegg B: Beregning av samvirke av 3 hulromsdekkemodell

Vedlegg C: Beregninger av svingninger og komfortkriterium

# Litteraturliste

- A. Palermo, S. P., A. Buchanan, & M. Newcombe. (2005). *Seismic Design of Multi-Storey Buildings using Laminated Veneer Lumber (LVL)* Paper presented at the NZ Society of Earthquake Engineering, Annual National Conference, , University of Canterbury.
- Aicher, S., Hirsch, M. and Zachary, C. (2016). Hybrid cross-laminated timber plates with beech wood cross-layers. *Construction and building materials*, 124, 1007-1018. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.051>
- Anders Homb, S. C. (2019). *Lydisolering - Woodsol dekker til kontorbygg*. Retrieved from Bazil, M., Heitzmann, M. and 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, 17. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103981>
- Beerschoten, W., Granello, G., Palermo, A. and Carradine, D. . (2019). Determining the Flexural Capacity of Long-Span Post-Tensioned LVL Timber Beams. *Journal of Structural Engineering*, 145.
- Bell, K. (2017). *Dimensjonering av Trekonstruksjoner*: Fagbokforlaget.
- Brevik, B. G. (2009). *522.515 Lydisolerende gulv og golvbelegg*. Retrieved from Byggforsk Serien
- Bruno Dal Lago, C. D., Alessandro Palermo, Stefano Pampanin, Simona Giorgini, Andrew Buchanan and David Carradine. (2017). Structural behavior of longitudinally posttensioned timber beams under serviceability gravity loading. *Journal of Structural Engineering*, 143.
- Buchanan, A., Deam, B., Palermo, A., Pampanin, S., Fragiaco, M. . (2008). Multi-Storey Prestressed Timber Buildings in New Zealand. *Structural Engineering International* 18, 9. doi: <https://www.tandfonline.com/action/showCitFormats?doi=10.2749/101686608784218635>
- Byggforsk. (2017). Lydisolerende etasjeskillere med trebjelkelag i boliger. In (Vol. 522.511). Byggforsk Sintef.
- Byggma. (2017). Smart metode for støydemping. . *Byggmesteren*. Retrieved from <https://byggmesteren.as/2017/08/14/smart-metode-for-stoydemping/>
- Byggma. (2021). Brann-Lyd-Uverdi. *Byggma Masonite*, 227. Retrieved from [https://www.masonite.no/media/2709/b227\\_012021\\_byggma\\_brann\\_lyd-og-u-verdi-lq.pdf](https://www.masonite.no/media/2709/b227_012021_byggma_brann_lyd-og-u-verdi-lq.pdf)
- Dokumentasjon Brann-lyd-u-verdi. (2021). Retrieved from [https://www.forestia.no/media/2709/b227\\_012021\\_byggma\\_brann\\_lyd-og-u-verdi-lq.pdf](https://www.forestia.no/media/2709/b227_012021_byggma_brann_lyd-og-u-verdi-lq.pdf)

- Furushima, T. a. Y., H. (2003). Shear strengths of wood measured by various short beam shear test methods. *Wood Science Technology*, 37, 189-197.
- Granello, G., Giorgini, S., Palermo, A., Carradine, D., Pampanin, S and Finch, R. (2018). Long-Term Behavior of LVL Posttensioned Timber Beams. *Journal of Structural Engineering*. doi:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001907
- Homb, A. (2007). *Kriterier for opplevde vibrasjoner i etasjeskillere. Prosjektrapport 8*. Retrieved from SINTEF Byggforsk:
- Kunøe, C. (2017). Smart Metode for støydemping. *Byggmesteren*. Retrieved from <https://byggmesteren.as/2017/08/14/smart-metode-for-stoydemping/>
- Norconsult, B. (2021). Norsk Prisbok 2021 In N. Prisbok (Ed.).
- Perry Forsythe, A. A. F. F. (2019). Productivity in multi-story mass timber constructions. *Forest and wood products Australia*.
- Produktdatablad Izorol-PP EPS T 045. (2015). Retrieved from <https://www.polarbulk.no/web/image/8883?unique=ffb8eb8187034565945ead441d22aa96a3ccb09d>
- Rasmussen, B. (2010). Sound insulation between dwellings - Requirements in building regulations in Europe. *Applied Acoustics*, 71, 373-385.
- Soukup. (2021). Pontec - CNC multifunctional bridge for prefab buildings production. In S. W. Machinery (Ed.).
- Standard. (2010). NS-EN 1990. In *Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner*. . Standard Norge.
- Standard, N. (2019). Lydforhold i bygninger. Lydklasser for ulike bygningstyper. . In *NS 8175:2019*. Standard: Norsk Standard.
- Tang, Q., Fang, L. and Guo. W. (2017). Investigation into Mechanical, Thermal, Flame-Retardant properties of wood fiber reinforced ultra high density fiberboards. *BioResources*, 12, 6749-6762. doi:10.15376/biores.12.3.6749-6762
- Wakashima, Y., Shimizu, H., Ishikawa, K., and Fujisawa, Y. . (2019). Friction-Based Connectors for Timber Shear Walls: Static Experimental Tests. *Journal of Architectural Engineering*, 25(2). doi:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000351](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000351)
- Weinmann. (2022). An allrounder for timber construction In Weinmann (Ed.), *Homag*.
- Wood, M. (2015). Load-bearing intermediate floor structure without on-site casting. In M. Wood (Ed.).

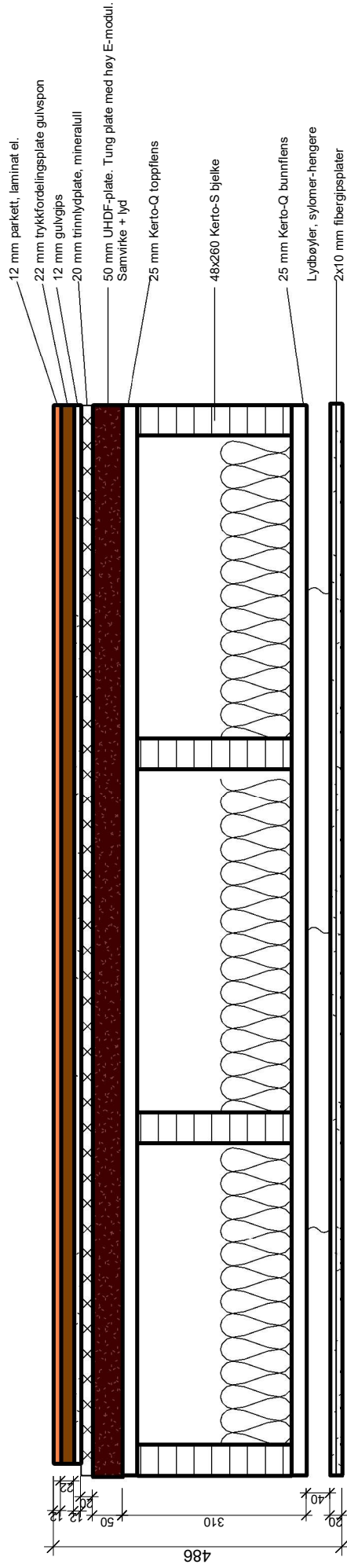
Yoshihara, H. (2012). Interlaminar shear strength of medium-density fiberboard obtained from asymmetrical four-point bending tests. *Construction and building materials*, 34, 11-15. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.007>

Aage Ertzeid, M. S. (2021). Akustik Super T60. In C. Berner (Ed.).

Aanesen, P. (2016). Treteknisk Håndbok Hefte 5 - Lyd. In Treteknisk (Ed.).

# Vedlegg A1; Etasjeskiller modell A

14.05.2022 13:28:19



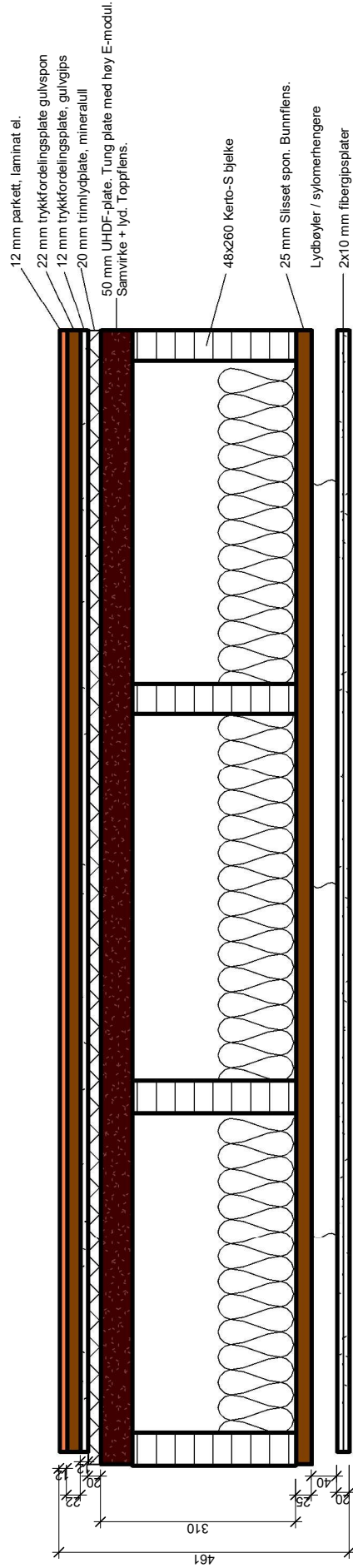
Rev.	Revisjonen gjelder	Utført	Kontr.	Dato
		Målestokk	Dato	02.05.2022
NTNU		Tegnet	JGR	
Bacheloroppgave etasjeskiller		Kontr.		
Etasjeskiller Modell A		Prosjektnr.	BIBYG39	
Kerto Ripa med pålimt 50 mm UHDF		Arkstørrelse	A4	
		Tegningsnr.	Rev.	
		<b>ModA</b>		

**focus**  
SOFTWARE

Autodesk Revit

# Vedlegg A2: Etasjeskiller modell B

14.05.2022 13:29:05



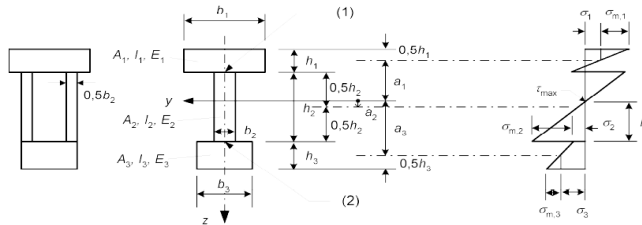
Rev.	Revisjonen gjelder	Utført	Kontr.	Dato
		Målestokk	Dato	02.05.2022
NTNU		Tegnet	JGR	
Bacheloroppgave etasjeskiller		Kontr.	Checker	
Etasjeskiller Modell B		Prosjektnr.	BIBYG39	
Hulromsdekke mer UHDF toppflens og slisset bunnflens		Arkstørrelse	A4	
		Tegningsnr.	ModB	
Autodesk Revit		Rev.		

**focus**  
SOFTWARE

Autodesk Revit

## VEDLEGG B: Beregning av samvirke

Etter NS-EN 1995-1-1 Tillegg B



"Kerto Ripa 260/25/25"		Antar full statisk samvirke (limt)											
Spennvidde		5000	maks 0,1L										
$E_i$	$b_i$	$b_{i,ef}$	$h_i$	$I_i=(b_{ef}h^3)/12$	$E_i$	$\gamma_i$	$A_i$	$EA$	$a_i$	$\gamma_i * E_i A_i a_i^2$	$(EI)_{ef}$		
Sjikt 1	Kerto-Q	8 500	600	500	25	651 042	5,53E+09	1,0	15 000	127 500 000	142,5	2,59E+12	2,59E+12
Sjikt 2	Kerto-S	11 600	48	48	260	70 304 000	8,16E+11	1,0	12 480	144 768 000	-	0,00E+00	8,16E+11
Sjikt 3	Kerto-Q	8 500	600	500	25	651 042	5,53E+09	1,0	15 000	127 500 000	142,5	2,59E+12	2,59E+12
				310		8,27E+11			399 768 000			6,00E+12	

"Modell B"		Antar full statisk samvirke (limt)											
Spennvidde		5000	maks 0,2L										
$E_i$	$b_i$	$b_{i,ef}$	$h_i$	$I_i=(b_{ef}h^3)/12$	$E_i$	$\gamma_i$	$A_i$	$EA$	$a_i$	$\gamma_i * E_i A_i a_i^2$	$(EI)_{ef}$		
Sjikt 1	UHDF	7 230	600	600	50	6 250 000	4,52E+10	1,0	30 000	216 900 000	81,96	1,46E+12	1,50E+12
Sjikt 2	Kerto-S	11 600	48	48	260	70 304 000	8,16E+11	1,0	12 480	144 768 000	73,04	7,72E+11	1,59E+12
Sjikt 3	Slisset spon	2 550	600	600	22	532 400	1,36E+09	1,0	13 200	33 660 000	214,04	1,54E+12	1,54E+12
				332		8,62E+11			395 328 000			4,63E+12	

Kommentar: Tilnærmet samme stivhet, men bedre lydegenskaper ved tynne toppflens, og slisset bunnflens

"Modell A"		Antar full statisk samvirke (limt)											
Spennvidde		5000	maks 0,1L										
$E_i$	$b_i$	$b_{i,ef}$	$h_i$	$I_i=(b_{ef}h^3)/12$	$E_i$	$\gamma_i$	$A_i$	$EA$	$a_i$	$\gamma_i * E_i A_i a_i^2$	$(EI)_{ef}$		
Sjikt 1a	UHDF	7 230	600	500	50	5 208 333	3,77E+10	1,0	30 000	216 900 000	121,09	3,18E+12	3,22E+12
Sjikt 1b	Kerto-Q	8 500	600	500	25	651 042	5,53E+09	1,0	15 000	127 500 000	83,59	8,91E+11	8,96E+11
Sjikt 2	Kerto-S	11 600	48	48	260	70 304 000	8,16E+11	1,0	12 480	144 768 000	58,91	5,02E+11	1,32E+12
Sjikt 3	Kerto-Q	8 500	600	500	25	651 042	5,53E+09	1,0	15 000	127 500 000	201,41	5,17E+12	5,18E+12
				360		8,64E+11			616 668 000			1,06E+13	

Kommentar: Betydelig stivere, men større byggehøyde og dårligere lydegenskaper pga tett bunnflens. Mer materialintensiv. Avstand mot himling vil sannsynligvis måtte økes, som gir enda større byggehøyde

(1) Den effektive bøyestivheten settes lik:

$$(EI)_{ef} = \sum_{i=1}^3 (E_i I_i + \gamma_i E_i A_i a_i^2)$$

ved bruk av middelværdier av  $E$  og der:

$$A_i = b_i h_i$$

$$I_i = \frac{b_i h_i^3}{12}$$

$$\gamma_2 = 1,0$$

$$\gamma_i = \left[ 1,0 + \frac{\pi^2 E_i A_i s_i}{(K_i l^2)} \right]^{-1} \quad \text{for } i = 1 \text{ og } i = 3$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 E_1 A_1 (h_1 + h_2) - \gamma_3 E_3 A_3 (h_2 + h_3)}{2 \sum_{i=1}^3 \gamma_i E_i A_i}$$

der symbolene er definert på figur B.1;

$K_i = K_{ser,i}$  for beregninger av bruksgrensetilstand

$K_i = K_{u,i}$  for beregninger av bruddgrensetilstand

For T-tversnitt er  $h_3 = 0$ .

Figur 15.8 Komposittbjelke med tynne flenser

Tabell 15.1: Største effektive flensbredder som følge av virkningene av "shear lag" og plateknekking

Flensmateriale	"Shear lag"	Plateknekking
Kryssflenser med fiberretningen i de ytre sjiktene:		
- parallelt med stegene	0,1L	20 $b_f$
- vinkelrett på stegene	0,1L	25 $b_f$
OSB-plate	0,15L	25 $b_f$
Sponplate eller trefiberplate med vilkårlig fiberretning	0,2L	30 $b_f$

L er bjelkens spennvidde.

(Bell: Dimensjonering av trekonstruksj kap 15, s440)



## VEDLEGG C. Beregninger av svinginger og komfortkriterium

Utifra SINTEF - rapport

Kriteriet settes utifra mange års erfaring og man benytter denne formelen:

$$\frac{\left(\frac{f_1}{18,7}\right)^{2,27}}{w} > 1$$

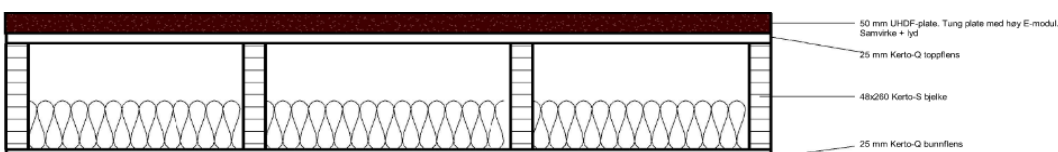
f1 er gulvets fundamentale frekvens

$$f_1 = \frac{\pi}{2L^2} * \sqrt{\frac{(EI)_L}{m}} \quad w = \frac{PL^3}{48EI} = \frac{10^6 * L^3}{48(EI)_L}$$

w er nedbøyningen i mm under en punktlast på 1 kN

P 1000000 mB

Modell A



Kerto Ripa 6000000 Nm<sup>2</sup>

A EI 11900000 Nm<sup>2</sup>

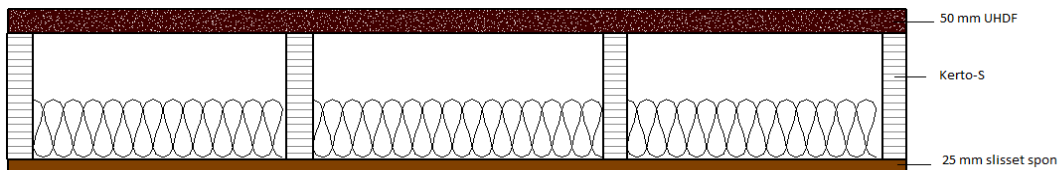
Spennvidde 5-6 m

limtre	450	kg/m <sup>3</sup>	5,616	kg/m
UHDF	1300	kg/m <sup>3</sup>	39	kg/m
Kerto	500	kg/m <sup>3</sup>	7,5	kg/m
		m	62,6	kg/m

Modell A

Lengde	w	f1	Kontroll
m	mm	Hz	$\frac{\left(\frac{f_1}{18,7}\right)^{2,27}}{w} > 1$
3	0,05	76,05	510,99
4	0,11	42,78	58,39
4,5	0,16	33,80	24,03
5	0,22	27,38	10,86
5,5	0,29	22,63	5,29
6	0,38	19,01	2,75
6,5	0,48	16,20	1,50
6,86	0,57	14,54	1,00
7	0,60	13,97	0,86
8	0,90	10,69	0,31

### Modell B



B EI            4630000 Nm<sup>2</sup>  
 Spennvidde 4,5-5,0 m

limtre	450	kg/m <sup>3</sup>	5,616	kg/m
UHDF	1300	kg/m <sup>3</sup>	39	kg/m
Slissespon	700	kg/m <sup>3</sup>	10,5	kg/m
		m	55,1	kg/m

### Modell B

Lengde	w	f1	Kontroll
m	mm	Hz	$\frac{(\frac{f_1}{18,7})^{2,27}}{w} > 1$
3,00	0,12	50,56	78,71
4,00	0,29	28,44	8,99
4,5	0,41	22,47	3,70
5,00	0,56	18,20	1,67
5,35	0,69	15,90	1,00
5,50	0,75	15,04	0,82
6,00	0,97	12,64	0,42
6,50	1,24	10,77	0,23
7,00	1,54	9,29	0,13
8,00	2,30	7,11	0,05