



# FREMTIDENS BIOBASEREDE ETAGEDÆK

Akustiske tests af 23 biobaserede etagedæk, suppleret med analyser af CO<sub>2</sub>-aftrykket, økonomi og brandkrav



Særligt etagedæk til etagebyggeri kan udfordre de nødvendige CO<sub>2</sub>-reduktioner, idet strenge krav til både statik, brand, akustik, økonomi, bygbarhed m.m. skal gå op i en højere enhed.

# INDHOLDSFORTEGNELSE

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| Forord                        | 5  |
| Sammenfatning                 | 7  |
| Indledning                    | 15 |
| Lovkrav i bygningsreglementet | 19 |
| Metode                        | 25 |
| Etagedækkenes opbygning       | 29 |
| Resultater og sammenligninger | 35 |
| Perspektivering               | 53 |
| Diskussion                    | 61 |
| Refleksioner                  | 65 |
| Referencer                    | 69 |
| Bilag                         | 70 |
| Katalog                       | 77 |

**Forfattere:**

Jacob Buhl  
Jan Christensen  
Steffen Maagaard

**Kontrolleret af:**

Rasmus Søgaard

**Godkendt af:**

Steffen Maagaard

**Layout:**

Marie HM Designstudio

**Fotos:**

Realdania By & Byg / Claus Fisker

**Udarbejdet af:**



**Støttet af:**



# FORORD

Projektet er udarbejdet af Artelia med bidrag fra JAJA Architects (med ONV Arkitekter som underrådgiver) i form af deres viden inden for innovative materialer samt tegningsmateriale. CG Jensen har udført op- og ombygning af etageadskillelserne samt bidraget med viden om bygbarhed og økonomi.

Realdania skal have en særlig tak for deres støtte til projektet, som har muliggjort tilblivelsen af denne rapport med tilhørende katalog og bilag.

Der skal også rettes en tak til følgegruppen, som gennem en række følgegruppemøder har bidraget med viden og erfaringer:

Kathrin Susanna Gimmel, JaJa Architects  
Kasper Dige Larsen, JaJa Architects  
Søren Rasmussen, ONV Arkitekter  
Klaus Mels Nielsen, CG Jensen  
Kenny Holm, Södra  
Jørgen Munch-Andersen, BUILD  
Birgit Rasmussen, BUILD  
Benny Lillelund, Bolig- og Planstyrelsen  
Kasper Kristensen, Træinformation  
Peder Fynholm, Teknologisk Institut  
Jørgen Søndermark, Realdania By & Byg  
Stig Hessellund, Realdania

Herudover skal der rettes en tak til de producenter, som har bidraget med materialer i forbindelse med test af de biobaserede etagedæk:

CLT, Södra  
Fibergips, Fermacell  
Anhydrit, Horup



# SAMMENFATNING

# SAMMENFATNING

Det globale klima er under hastig forandring, og hvis vi ikke minimerer udledningen af drivhusgasser til atmosfæren, kan det have store konsekvenser for klima- og økosystemer (IPCC, 2021). For at imødekomme denne udfordring er der fra politisk side indført nye krav til byggeriets klimapåvirkning i Danmark gældende fra 2023 (Bolig- og Planstyrelsen, 2023). Kravene har medført et ændret fokus i byggebranchen, hvor CO<sub>2</sub> er blevet en ny og afgørende designparameter, som påvirker både konstruktions- og materialevalg. Særligt etagedæk til etagebyggeri kan udfordre de nødvendige CO<sub>2</sub>-reduktioner, idet strenge krav til både statik, brand, akustik, økonomi, bygbarhed m.m. skal gå op i en højere enhed. Udfordringer som blev identificeret og tydeliggjort i Realdania By og Byg's forsøgsprojekt MiniCO<sub>2</sub> Etagehus Træ, hvor dette projekt har sit udspring fra.

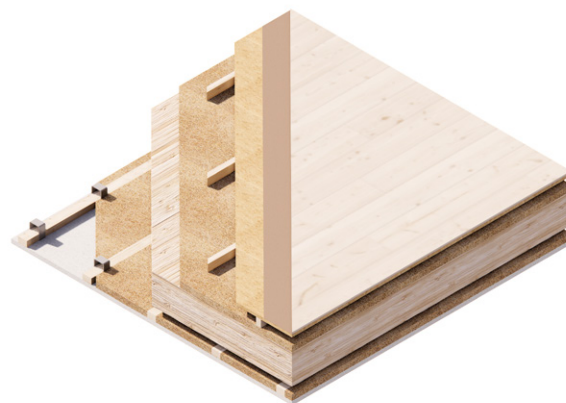
I dag udgør etagedæk ofte 15-20 % af etageboligers samlede CO<sub>2</sub>-aftryk (Zimmermann, et al., 2020). En andel, som kun bliver større, hvis vi fastholder de traditionelle huldæksløsninger for at overholde lydkravene, mens byggeriets øvrige konstruktioner optimeres CO<sub>2</sub>-mæssigt for at imødekomme de nye klimamål.

Biobaserede materialer er en vej til klimabesparelser, men branchen er udfordret i forhold til viden såvel som erfaring (Rasmussen, et al., 2022). Formålet med nærværende rapport er dels at undersøge de tværfaglige udfordringer ved biobaserede etagedæk og dels at undersøge, hvor meget klimabelastningen fra et etagedæk kan reduceres, når Bygningsreglementets krav efterleves.

**RIB 14**



**CLT 4**





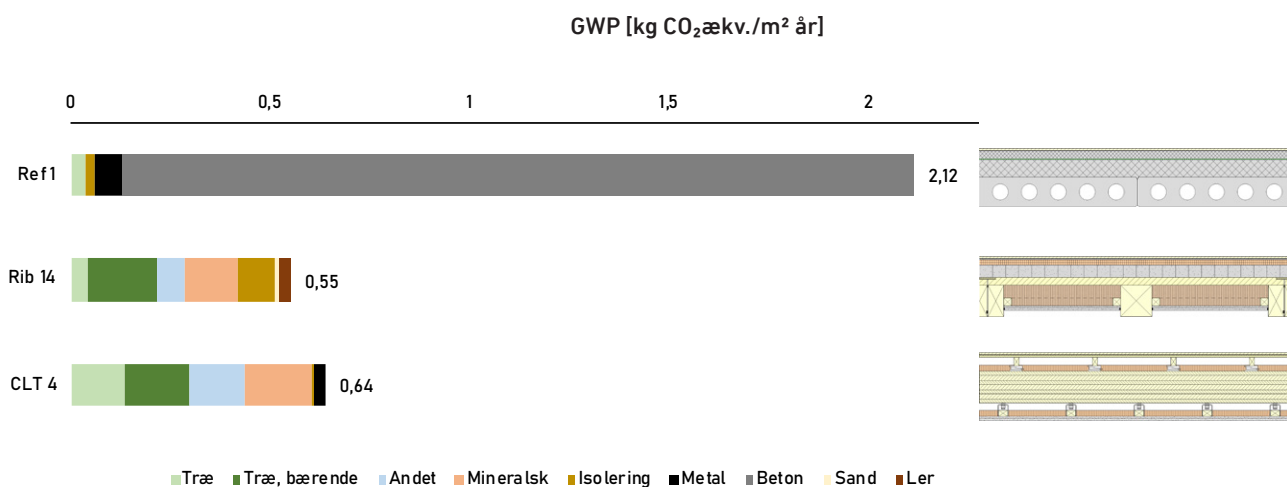
Artelia har i samarbejde med JaJa Architects og CG Jensen konstrueret 23 etagedæk, som primært består af biobaserede materialer, heraf 14 ribbedæksløsninger og 9 CLT-løsninger. Der er udført laboratoriemålinger af konstruktionernes akustiske performance ift. trinlydniveau og luftlydisolation jf. bygningsreglementets krav. Ribbedækket og CLT-dækket er i deres grundform udfordret ift. akustisk performance, blandt andet på grund af deres manglende masse. For at kompensere for dette er der fra start fokuseret på masselag, mange pladelag, bløde underlag og ophæng for at opnå en lav resonans. Der er eksempelvis introduceret materialer som sand og ler til at øge massen af dækket. En sammenligning af massen og CO<sub>2</sub>-aftrykket for sand og ler viser, at de bidrager med masse uden at øge CO<sub>2</sub>-aftrykket betydeligt.

For at kunne benchmarke de undersøgte etagedæk, er der til sammenligning inddraget fem referencedæk, som repræsenterer typiske etagedæk i branchen. Referencedækkenes akustiske performance er bestemt ved akustikmålinger i faktiske bygninger. Opbygningen af alle undersøgte etagedæk er beskrevet og visualiseret i Tabel 3 og Tabel 4.

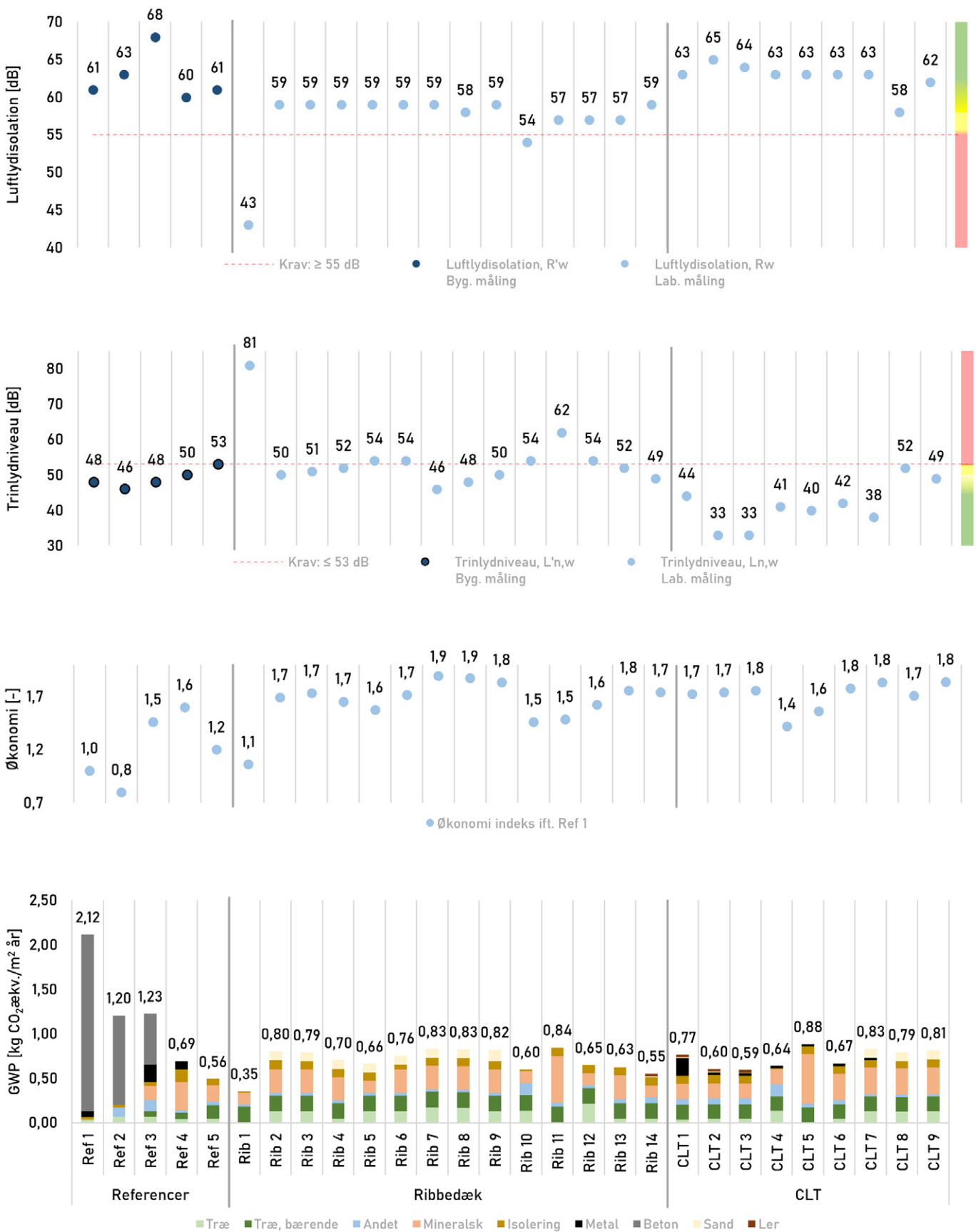
De tre udvalgte etagedæk i Figur 1 viser en simpel sammenligning af CO<sub>2</sub>-aftrykket for at synliggøre et signifikant besparelsespotentiale ved brug af biobaserede materialer.

**Resultaterne for alle de testede etagedæk er gengivet i Figur 2 og viser, at det er muligt at overholde lyd- og brandkravene i BR18 og samtidig reducere CO<sub>2</sub>-aftrykket med 55-74 %**

Resultaterne for alle de testede etagedæk er gengivet i Figur 2 og viser, at det er muligt at overholde lyd- og brandkravene i BR18 og samtidig reducere CO<sub>2</sub>-aftrykket med 55-74 % ved brug af biobaserede materialer sammenlignet med en typisk huldæksløsning med EPS-beton og et cementbaseret slidlag (Ref 1). CO<sub>2</sub>-aftrykket fra etagedækket kan på denne måde reduceres fra 2,1 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup>/år til 0,6 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup>/år, fx Rib 14 og CLT 4. Anlægsomkostningen estimeres dog med nuværende priser at stige med 40-90 % ved brug af de biobaserede etagedæk. Spændene understreger de betydelige variationer mellem de forskellige biobaserede etagedæk.



**Figur 1.** Materialesammensætning for udvalgte etagedækopbygninger ift. klimabelastningen pr. m<sup>2</sup> etagedæk. Miljødata: EPD'er



**Figur 2.** Sammenligning af klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk, økonomi, trinlydniveau og luftlydisolation for de undersøgte etagedæk. Miljødata: Primært EPD'er.



For ribbedæksløsningerne med synlige bjælker viser resultaterne, at det er muligt overholde lydkravene i BR18 ved introduktion af masselag og løse pladelag i gulvopbygningen – to parametre, som kan bidrage til en lav resonans og dermed en forbedret akustisk performance. Resultaterne baner vejen for at genindføre synlige træbjælker i etageboligbyggeriet, men det kræver dog stor opmærksomhed på gulvopbygningen. Hvis man til gengæld kan acceptere en løsning uden synlige bjælker, indikerer resultaterne, at det er CO<sub>2</sub>-mæssigt fordelagtigt at introducere et lydbøjleloft frem for ekstra pladelag i gulvopbygningen. I tillæg viser resultaterne også, at med lydbøjlelofter på de biobaserede dæk er muligt at overholde den lavfrekvente (50 Hz) anbefaling for lette etageadskillelser jf. BR18. Der er dog stor variation i, hvordan de forskellige lydbøjlelofter klarer sig ift. CO<sub>2</sub>, trinlyd, luftlyd og økonomi.

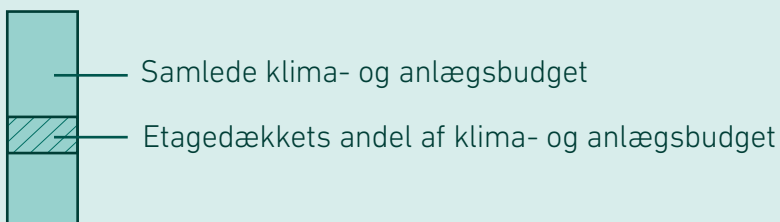
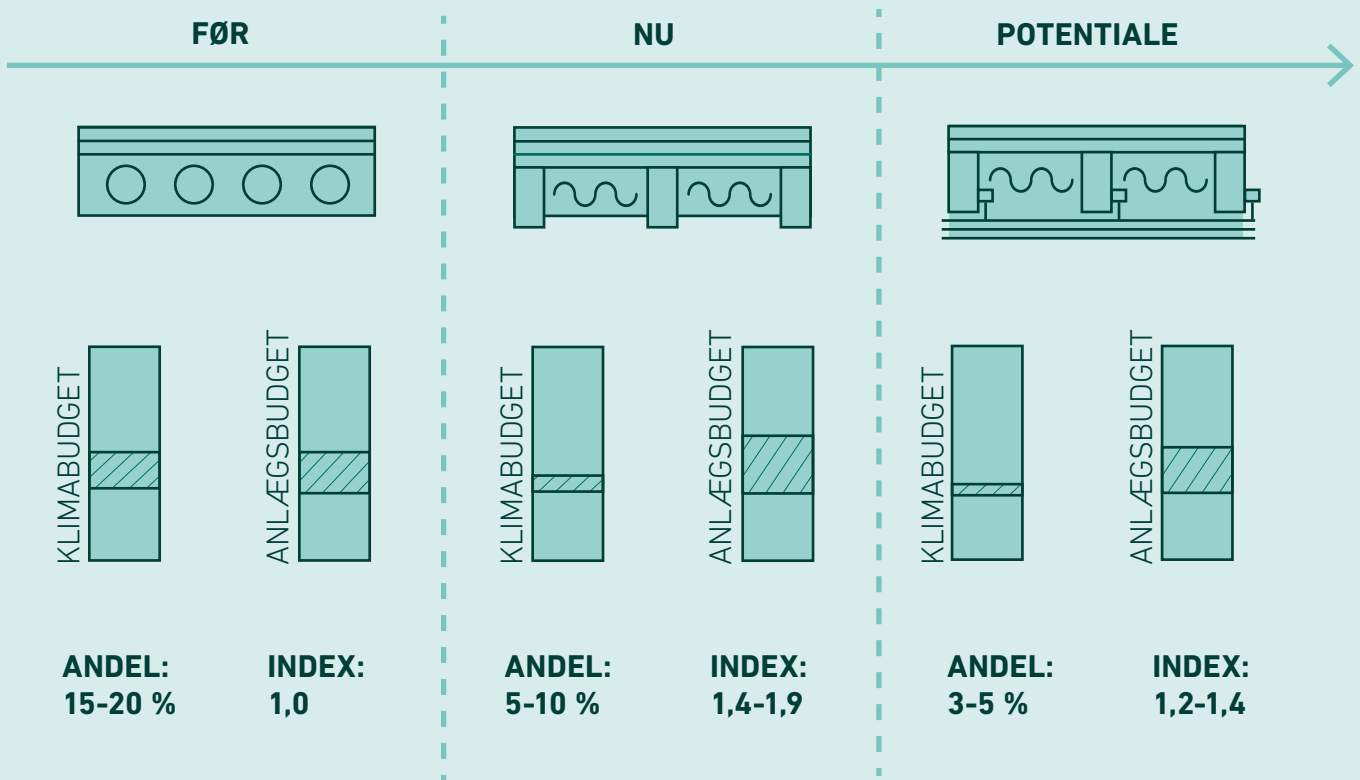
Lydbøjlelofter åbner op for yderligere optimering fx minimering af anhydritlaget fra 80 mm til 40 mm for CLT 5 og dermed både minimere klimabelastningen og den økonomiske indeksering. I et økonomisk- og klimamæssigt perspektiv bør gulv-på-strøer opbygningen også

fremhæves. Disse perspektiver er dyrket i afsnittet Perspektivering, hvor der peges på interessante fremtidige dækopbygning med de erfaringer, der er opstået gennem projektet. Perspektiveringen viser fx CO<sub>2</sub>-aftryk ned til 0,39 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup>/år for fremtidens ribbedæk, hvilket potentielt er en klimareduktion i forhold til Ref 1 på 81 %.

#### AKUSTISK ANBEFALING I BR18

I forhold til den lavfrekvente anbefaling for lette etageadskillelser jf. BR18, er massen af de biobaserede dæk sammenlignet med luft- og trinlydsmålingerne. Sammenligningen viser kun en svag statistiske sammenhæng i forhold til både luftlydisolation  $R_w + C_{50-3150}$  og trinlydniveau  $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$ . Det kan derfor diskuteres om den nuværende lavfrekvente anbefaling giver mening. Generelt er behov for at kigge kritisk på vores nuværende krav i forhold til både energi, brand, akustik og konstruktioner, for at vurdere, om vi kan acceptere mere lempelige krav til fordel for et lavere klimaaftryk.

# FREMTIDENS BIOBASEREDE ETAGEDÆK



## KASSETTEDÆKKET MULIGHEDER OG BEGRÆNSNINGER

I Figur 2 skiller Ref 5, som er et moduldæk bestående af to trækassetedæk, sig ud ved at have et lavt CO<sub>2</sub>-aftryk og samtidig overholde lydkravene i BR18. Denne løsning har dog en meget høj indbygningshøjde, hvilket betyder, at meget af klimagevinsten forsvinder på grund af et øget ydervægsareal, dvs. øget materialeforbrug og varmetab på bygningsniveau. En af styrkerne ved Ref 4, Ref 5 og ribbedæksløsningerne (Rib 1 til Rib 14) i forhold til CLT-løsningerne (CLT 1 til CLT 9) er det lavere træforbrug. Eksempelvis er træmængden i den bærende del af ribbedæk halveret i forhold til CLT-dæk. Generelt bør det tilstræbes at optimere materialeforbruget for at sikre ressourcer til fremtiden. Referencedækkene Ref 4 og Ref 5 er eksempler på, hvor lidt træ der er nødvendigt i den bærende del. Udfordringer for disse dæktyper kan opstå, når der skal bygges mere end 3-4 etager, men for lavere byggerier er det relevante løsninger.

## SPECIFIKKE MILJØDATA HAR STOR BETYDNING FOR KLIMAAFTRYKKET

I forbindelse med beregning af klimabelastningen er effekten af at anvende forskellige miljødata undersøgt ved at sammenligne generisk miljødata + branche EPD'er med produktspecifikke EPD'er. Sammenligningen viser, at produktspecifikke EPD'er giver op imod 63 % lavere CO<sub>2</sub>-aftryk end ved brug af generisk miljødata + branche EPD'er for de biobaserede etagedæk.

Resultaterne viser dermed, at generisk miljødata kan være med til at skævvride sammenligningsgrundlaget og potentielt føre til uhensigtsmæssige beslutninger, når disse anvendes i fx de indledende designfaser eller ved offentlige byggerier. For at sikre det mest valide sammenligningsgrundlag er det derfor vigtigt at udbrede brugen af produktspecifikke EPD'er samt løbende opdatere det generiske miljødata.

Perspektiveringen viser fx CO<sub>2</sub>-aftryk ned til 0,39 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup>/år for fremtidens ribbedæk, hvilket potentielt er en klimareduktion i forhold til Ref 1 på 81 %.

## BRANDKRAVENES PÅVIRKNING AF KLIMAAFTRYKKET

I tillæg til ovenstående analyser er det undersøgt, hvordan klimapåvirkningen fra etagedæk påvirkes af forskellige brandkrav. Etagedækkene er derfor konstrueret til at kunne anvendes i hhv. Brandklasse 2 (BK2) og Brandklasse 4 (BK4). Resultaterne viser, at CO<sub>2</sub>-aftrykket forøges med 3-22 % ved konverteringen fra BK4 til BK2 under forudsætning af, at gulvets overkant i et træbyggeri er placeret maks. 12 meter over terræn. Forskellen skyldes at isoleringsmateriale med en brandklassifikation under B-s1,d0 er konverteret til mineralske produkter med en højere brandklassifikation samt ekstra brandgips på ribbedækket. Generelt giver BK4 mulighed for at fravige fra de præ-accepterede løsninger gennem fx komparative analyser, hvilket ikke er muligt i BK2. Byggerier i BK4 har derfor flere muligheder for at indarbejde biobaserede produkter.



# INDLEDNING

Hvor meget kan klimabelastningen fra et etagedæk til boligbyggeri reduceres?

Realdania By og Byg's demonstrationsprojekt MiniCO<sub>2</sub> Etagehus Træ opføres i Fredericia med et klimamål på 5 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup>/år for materialerne (A1-A3, B4, C3 og C4). Etagehuset på 5 etager skal bidrage med øget viden om, hvordan det er muligt at bygge etagebyggeri til boligformål med mindst muligt CO<sub>2</sub>-udledning ved brugen af træ som primært materiale.

Mere information om projektet kan findes her:

Bygherre: Realdania By og Byg

Arkitekt: JaJa Architects, underrådgiver ONV Arkitekter

Ingeniør: Artelia

Entreprenør: Egil Rasmussen

Træelementer: Blumer Lehmann



MiniCO<sub>2</sub>



# INDLEDNING

Nærværende rapport undersøger, hvor meget klimabelastningen fra et etagedæk til etageboligbyggeri kan reduceres med udgangspunkt i laboratoriemålinger af biobaserede etagedæks akustiske egenskaber.

Undersøgelsen har sit udspring i Realdania By og Bygs demonstrationsprojektet MiniCO<sub>2</sub> Etagehus Træ. Det er et byggeri, der opføres 1:1 i Kanalbyen i Fredericia som led i et større komparativt studie af de primære byggematerialer og deres klimabelastning – og mulige veje til reduktioner.

Biobaserede materialer er én vej mod et lavere klimaaftryk, men det blev klart i arbejdet med MiniCO<sub>2</sub> Etagehus Træ, at byggebranchen mangler viden om og velunderbygget erfaring med anvendelse af biobaserede materialer – i modsætning til etagedæk af beton og ikke-brandbare isoleringsmaterialer, hvor der indenfor både brand og akustik er et solidt vidensgrundlag og god erfaring.

Der er således behov for tilgængelige og afprøvede løsninger, som kan bidrage til at sænke klimabelastningen fra etagedæk. Dette sætter store krav til materialevalg og -sammensætninger, og derfor fokuserer projektet hovedsageligt på brugen af biobaserede, regenerative materialer.

Der er særligt behov for mere viden og test om træ-etageadskillelsers akustiske performance iht. luft- og trinlyd samt brandbeskyttende tiltag.

Etagedækket er interessant i et klimaperspektiv, fordi det i dag udgør en signifikant andel af byggeriets samlede CO<sub>2</sub>-aftryk. Det skyldes blandt andet at der stilles store funktionskrav til vandrette etagedæk i etageboliger, ikke mindst i forhold til lyd. Akustik skal sammen med statik, brand, økonomi, bygbarhed m.m. skal gå op i en højere enhed. Klimaaspektet tilføjer en ny dimension til det tværfaglige løsningsrum for etagedæk, og

samtidig er det med til at flytte på prioriteringen af de styrende designparametre.

Det er vigtigt at adressere byggeriets markante CO<sub>2</sub>-belastende delelementer, eftersom byggeri globalt bidrager med knap 40 % af det samlede klimaaftryk, hvoraf 28 % stammer fra drift og 11 % kommer fra materialer til nybyggeri og renovering (World Green Building Council, 2019). Samme tendens gør sig gældende i Danmark (Klimapartnerskabet for bygge- og anlægssektoren, 2020).

Den globale udledning af drivhusgasser har ført til hastige klimaforandringer, hvorfor der fra politisk side er indført nye krav til byggeriets klimapåvirkning i Danmark fra 2023 (Bolig- og Planstyrelsen, 2023). Kravet har medført et ændret fokus i byggebranchen, hvor CO<sub>2</sub> er blevet en ny og afgørende designparameter, som påvirker både konstruktions- og materialevalg i byggeriet.

Rapporten er **ikke** et projekteringsværktøj, da enhver etagedæksløsning er projektspecifik. Det frarådes derfor at genbruge de anviste eksempler ukritisk i egne konkrete projekter. Således kan projektgruppen ikke stilles til ansvar for brugen af publikationens eksempler, da der i alle henseender bør tages udgangspunkt i det pågældende projekt. I nærværende rapport referer etagedæk til dækkonstruktionen i etageboliger, medmindre andet er nævnt.

Undersøgelsen har sit udspring i Realdania By og Bygs demonstrationsprojektet MiniCO<sub>2</sub> Etagehus Træ.



# LOVKRAV I BYGNINGS- REGLEMENTET

Bygningsreglementet definerer en lang række minimumskrav til bygninger og konstruktioner, som skal sikre kvaliteten af nye bygninger og omfattende renoveringer. Dette afsnit beskriver bygningsreglementet krav til bygningers klimapåvirkning samt lydkravene til etagedæk i boligbyggeri.

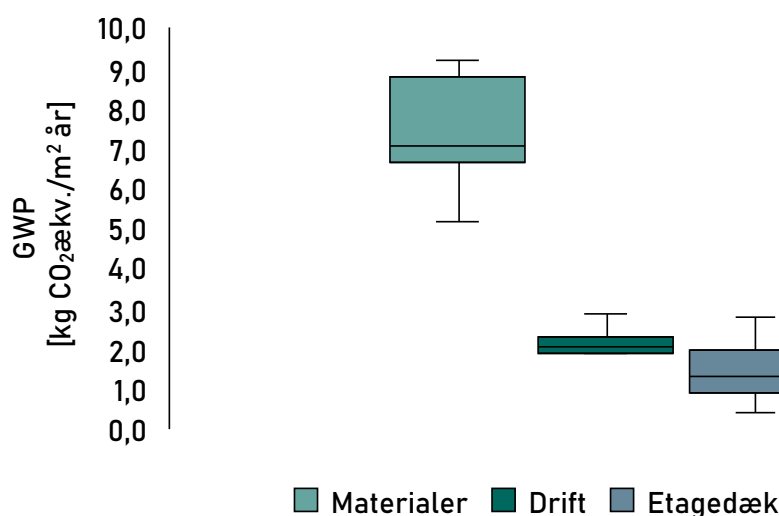
# LOVKRAV I BYGNINGSREGLEMENTET

## KLIMAPÅVIRKNING

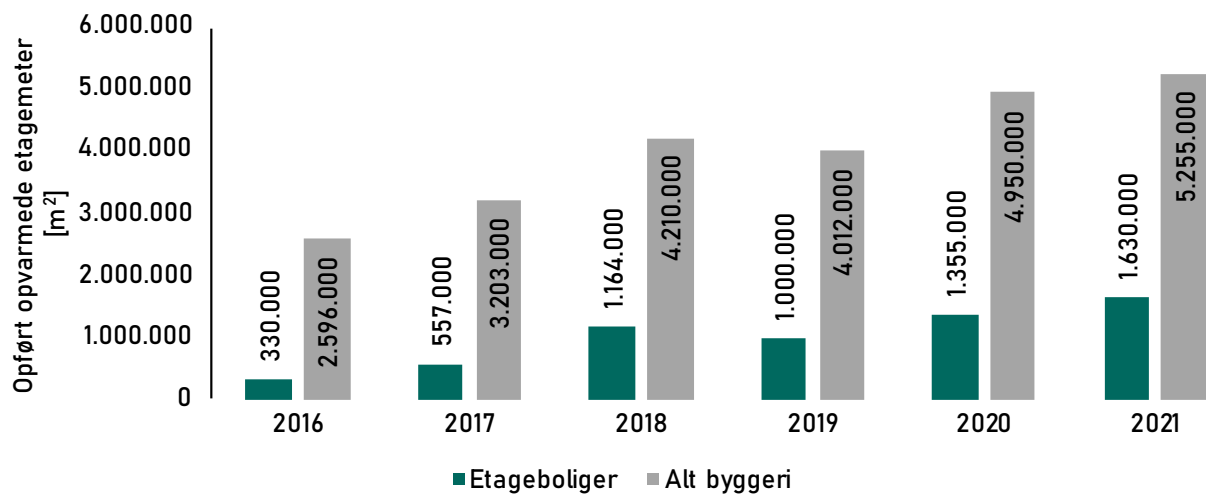
I bygningsreglementet er der fra 2023 indført krav om dokumentation af klimapåvirkningen fra alt nybyggeri samt en grænseværdi på 12 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup>/år for byggeri med et opvarmet etageareal over 1000 m<sup>2</sup> (Bolig- og Planstyrelsen, 2023). Denne grænseværdi vil fra 2025 omfatte alt nybyggeri uanset størrelse, og vil forventeligt blive sænket, hvilket stiller skærpede krav til byggebranchens byggemetoder. I dag udgør materialer til det bærende system typisk den største andel af klimapåvirkningen, og etagedækket alene udgør ofte omkring 15-20 % af den samlede klimabelastning fra etageboliger. En andel, som kun bliver større, hvis de traditionelle huldæksløsninger fastholdes for at overholde lydkravene, mens byggeriets øvrige konstruktioner CO<sub>2</sub>-optimeres for at imødekomme de nye klimamål.

Grænseværdien på 12 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup>/år er et politisk bestemt minimumskrav, som skal hjælpe byggebranchen mod mere bæredygtigt byggeri. Jf. Reduction Roadmap må boligbyggeri dog ikke have en klimabelastning højere end 0,4 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup>/år, hvis den planetære grænse for klimaforandringer skal respekteres (Hill-Hansen, et al., 2022). Dette understreger, at byggeriets klimaaftryk skal reduceres signifikant for at komme i nærheden af at være bæredygtigt, og hvis det nogensinde skal lykkes, er en af nøgleparametrene at få optimeret etagedækket.

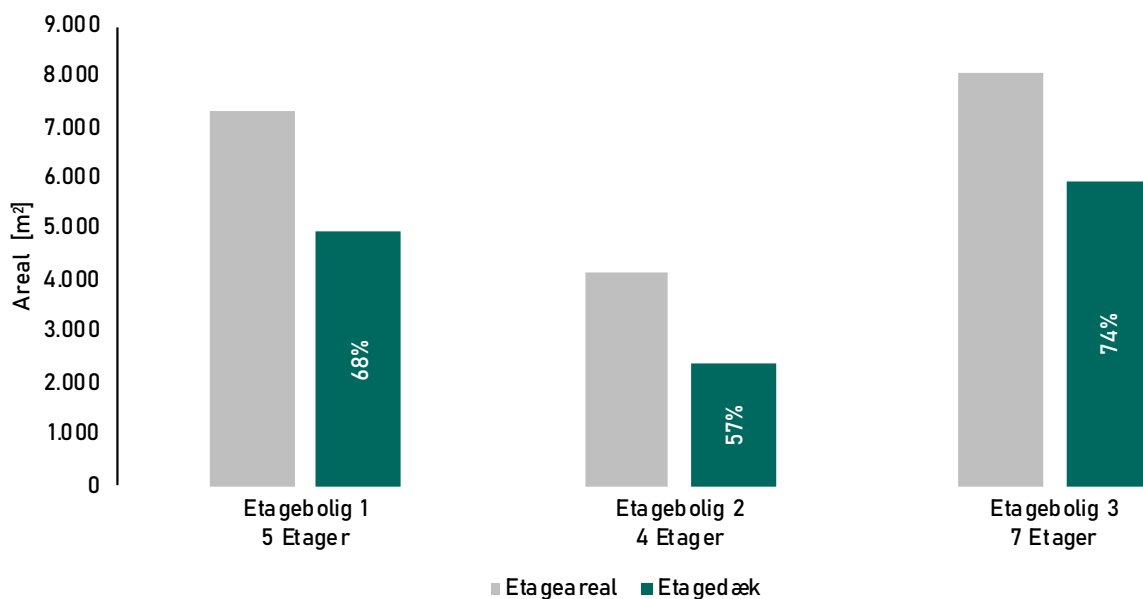
Med udgangspunkt i data fra SBI 2020-04 viser Figur 3 klimabelastningen fra etageboliger opgjort for hhv. materialer, drift og etagedæk. Grafen synliggør etagedækkenes betydelige andel af etageboligernes samlede CO<sub>2</sub>-aftryk, som ift. de øvrige bygningsdele typisk er den største CO<sub>2</sub>-udleder efterfuldt af ydervæggene.



Figur 3. Klimabelastning for etageboliger opgjort for materialer (A1-A3, B4 og C3-C4), drift (B6) og dæk (A1-A3, B4 og C3-C4) med data fra SBI 2020-04.



Figur 4. Opgørelse over opvarmede etagemeter for etageboliger og alt byggeri opført i perioden 2016 til 2021 (Danmarks Statistik, 2022).



Figur 5. Etagedækkets andel af det samlede etageareal for tre udvalgte etageboligbyggerier.

I Danmark er der i perioden 2016 til 2021 i gennemsnit opført 4.200.000 m<sup>2</sup> opvarmede etagemeter hvert år, hvoraf etageboliger i gennemsnit står for 1.100.000 m<sup>2</sup> eller 26 % af det årligt opførte areal (Danmarks Statistik, 2022). Tendensen kan observeres i Figur 4. I tillæg til at etageboliger udgør 26 % af det årligt opførte areal, så udgør etagedækket for denne bygningstypologi også ofte en betydelig andel af det samlede etageareale. I Figur 5 er etagedækket opgjort for tre etageboligbyggerier. I gennemsnit udgør etagedækket 66 % af det samlede etageareal. Tallene i Figur 4 og Figur 5 understreger, at etagedækket rummer et betydeligt klimabesparelsespotentiale.

### LYDKRAV I BOLIGER

Bygningsreglementets krav til lydforhold er baseret på DS 490:2018 "Lydklassifikation af boliger" lydklasse C (Dansk Standard, 2018) og stiller krav om lydisolationen både vandret og lodret for boliger ift. rumtypen. I dette projekt er der udelukkende fokuseret på de lodrette krav til luftlydisolation og trinlydniveau mellem to boliger. Således er skærpede lydkrav til boliger, hvis omgivende rum/lejemål er til støjende erhverv eller fælleslokaler, udeladt.

I BR18 er der herudover supplerende anbefalinger til lydisolationen ved lave frekvenser, når der anvendes lette konstruktioner mellem boliger. I BR18 er lette etagedæk defineret, som dæk med en masse pr. arealenhed under 250 kg/m<sup>2</sup>. Dette er begrundet med en utilstrækkelig lydisolation ved lave frekvenser jf. BR18.

I nabolande som Finland, Island, Norge, Sverige og Tyskland dokumenteres lydkravene på forskellige måder. Forskellen skyldes grundlæggende efterbehandlingen, da selve måleproceduren er ens på tværs af landene. Forskellen på dokumentationsmetoderne er uddybet i Bilag A.

Alle lydkrav i Bygningsreglementet skal dokumenteres for den færdige bygning, hvor alle lydets transmissionsveje inkluderes i målingen. Dette angives med en apostrof i betegnelsen fx  $R'_w$ , mens laboratoriemålinger er angivet uden apostrof fx  $R_w$ . Gennem rapporten skelnes der mellem de to typer af målinger, da der kan være store performanceforskelle. En uddybning af emnet kan findes i Bilag B.

### LUFTLYDISOLATION:


Krav:  $R'_w \geq 55$  dB

Anbefaling:  $R'_w + C_{50-3150} \geq 53$  dB

### TRINLYDNIVEAU:

Krav:  $L'_{n,w} \leq 53$  dB

Anbefaling:  $L'_{n,w} + C_{50-2500} \leq 53$  dB



Etagedækket alene udgør ofte omkring **15-20 %** af den samlede klimabelastning fra etageboliger.





# METODE

Dette afsnit beskriver de anvendte metodetilgange i forhold til akustikmålinger, klimaberegninger, økonomisk indeksering, bygbarhed og brand.

# METODE

## LABORATORIEMÅLINGER AF AKUSTIKS PERFORMANCE

De undersøgte etagedæk evalueres i forhold til luftlydisolation og trinlydniveau. Akustikmålingerne er udført af Artelia i akustiklaboratoriet på Danmarks Tekniske Universitet i Lyngby.

Luftlydisolationen måles som differencen mellem støjniveauet i et rum, hvor en højtaler afgiver en lyd, og i det tilstødende rum, hvor støjen modtages. Differencen korrigeres i forhold til efterklangstiden i modtagerummet, samt andre fysiske dimensioner som eksempelvis modtagerrummets volumen. Trinlydniveauet måles som støjen i et modtagerum, og korrigeres i forhold til modtagerummets efterklangstid. Støjen genereres af en standardiseret bankemaskine i det overliggende rum.

De anvendte målemetoder, standarder og måleudstyr kan findes i Bilag C.

## BEREGNING AF KLIMABELASTNING

For de undersøgte løsninger beregnes klimabelastningen efter samme metodik som defineret i BR18. De primære forudsætninger er følgende:

- Systemafgrænsning: Modul A1-A3, B4, (B6), C3 og C4.
- Detaljeringniveau: Jf. BR 18, bilag 2, tabel 6
- Miljødata: Okobau 2020 samt branche EPD og produkt specifikke EPD'er
- Levetider: Jf. BUILD levetidstabel, version 2021
- Miljøindikator: GWP (Global Warming Potential)
- Emissionsfaktorer for el og fjernvarme: COWI 2020
- Referenceenhed: kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år

En mere dybdegående beskrivelse af den anvendte metodik kan findes i Bilag D.

## ØKONOMISK INDIKATOR

For de undersøgte løsninger vises et indekstal for økonomi. Formålet med indikatoren er at angive en relativ prisforskel mellem løsningerne. Et indekstal på 1,0 angiver en referencesituation, hvilket betyder, at en løsning med et indekstal på 1,5 vurderes at være 50 % dyrere end referencesituationen.

| Livscyklus stadier | Produkt      |           |              | Byggeproces |                     | Brug |              |            |             |            |                         |                       | Endt levetid          |           |                   |               | Udenfor projekt  |
|--------------------|--------------|-----------|--------------|-------------|---------------------|------|--------------|------------|-------------|------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|-------------------|---------------|--|
| Moduler            | A1           | A2        | A3           | A4          | A5                  | B1   | B2           | B3         | B4          | B5         | B6                      | B7                    | C1                    | C2        | C3                | C4            | D  |
| Processer          | Råmaterialer | Transport | Fremstilling | Transport   | Opførelse/montering | Brug | Vedligeholde | Reparation | Udskiftning | Renovering | Energiforbrug til drift | Vandforbrug til drift | Nedtagning/nedrivning | Transport | Affaldsbehandling | Bortskaffelse | Potentiale for genbrug, genanvendelse og nyttiggørelse |

**Tabel 1.** Livscyklusfaser iht. EN 15978. Systemafgrænsningen anvendt i nærværende rapport er markeret med mørkeblå. B6 anvendes kun i forbindelse med Figur 11.



Et byggeprojekt er ofte begrænset af en anlægssum, hvilket fordrer en optimal udnyttelse af økonomien. Anlægsomkostninger afhænger af mange faktorer, fx fluktuerende priser på byggevarer og arbejdskraft, konkurrence i byggebranchen, inflation etc. De økonomiske indekstal i dette projekt bygger på nuværende priser, hvilket for de alternative materialer er behæftet med betydelig usikkerhed på grund af deres nuværende markedsandel.

Fastlæggelse af de økonomiske indekstal bygger på direkte produktionsomkostninger: byggematerialer og arbejdstimer, mens de indirekte omkostninger, fx af-dækning mod nedbør, sprinkling eller samlingsdetaljer, ikke er medregnet. De indirekte produktionsgevinster, fx hurtigere byggeproces, er på tilsvarende vis udeladt.

Indekstallene i projektet er vejledende og bør ikke anvendes direkte i andre sammenhænge.

#### **BYGBARHED**

I tillæg til den økonomiske indikator er bygbarheden af de undersøgte etagedæk også kommenteret ift. følgende indikatorer:

- Antal arbejds gange
- Tunge arbejds gange
- Arbejde over hoved

**Akustikmålingerne er udført af Artelia i akustiklaboratoriet på Danmarks Tekniske Universitet i Lyngby.**

Generelt kræver alle de biobaserede etagedæk en fugtstrategi for at minimere risikoen for fugtskader. Strategien skal indtænkes fra byggeriets start.

#### **BRAND**

Alle etagedæk er gennemset af en certificeret brandrådgiver i brandklasse 4 (BK4) til at kunne benyttes i et etageboligbyggeri med bærende konstruktioner i træ, hvor overkant dæk på øverste etage er placeret maks. 12 meter over terræn. Gennemgangen er udarbejdet på baggrund af brandtesten af ribbedækket. Sikkerhedsniveauet vil i hvert enkelt tilfælde skulle dokumenteres ved fx risikoanalyse, komparativ analyse eller orienterende brandtest.



# ETAGEDÆKKENES OPBYGNING

Dette afsnit beskriver opbygningerne og overvejelserne i forbindelse med konstruktion af de 23 biobaserede etagedæk og de 5 referencedæk.

# ETAGEDÆKKENES OPBYGNING

I projektet er der konstrueret 23 etagedækopbygninger. Etagedækkene er opbygget ud fra præmissen om at minimere CO<sub>2</sub>-aftrykket mest muligt og samtidig overholde gældende brand- og akustikkrav for trin- og luftlyd. Økonomi og bygbarhed er sekundære parametre i udvælgelsen af etagedækopbygningerne. Indledningsvist er to forskellige bærende statiske principper

udvalgt, hhv. ribbedæk og CLT-dæk. Disse løsninger er valgt med udgangspunkt i MiniCO<sub>2</sub> Etagehus Træ, hvor det skulle være løsninger som kan fungere til etagebyggerier på minimum 5 etager. I Tabel 2 er fordele og ulemper for forskellige bærende dæk-principper desuden belyst.

**Tabel 2.** Fordele og ulemper ved forskellige bærende etagedæk i træ.

| Bærende etagedæk af træ       | Antal etager | Fordele   | Udfordringer   |
|-------------------------------|--------------|---|--|
| CLT<br>(som CLT 1-9)          | 2 - ∞*       | Store spændvidder op til 9-10 m<br>Store elementer = få løft og få samlinger = hurtig montage.<br>Gode statiske egenskaber, særlig skivevirkning.<br>Enkle samlingsdetaljer<br>Kan indgå i konstruktioner uden bjælker, hvilket giver fri installationsføring under dæk<br>kan kombineres i hybridløsninger | Mange kubikmeter træ<br>Høj anskaffelsespris<br>Mere fokus på lydforhold   |
| Ribbedæk<br>(som Rib 1-14)    | 2 - ∞*       | Mindre træforbrug end CLT<br>Store spændvidder (bjælkehøjde kan øges til den ønskede spændvidde – nok ikke rationelt men muligt)<br>Store elementer = få løft og få samlinger = hurtig montage<br>Gode statiske egenskaber, særlig skivevirkning  | Komplicerede samlingsdetaljer<br>Høj anskaffelsespris<br>Mere fokus på lydforhold  |
| Trækassettedæk<br>(som Ref 4) | 2-3*         | Mindre træforbrug end CLT<br>"Lav anskaffelsespris"<br>Hurtig montage   | Spændvidder max 6-6,5 m.<br>Pga. lyd "klippes" dækket ofte ved lejlighedsskel dvs. vandrette laster kan ikke fordeles over lejlighedsskel.<br>Stort svind ved etagebyggeri   |
| Modulbyggeri<br>(som Ref 5)   | 2-4*         | Mindre træforbrug end CLT<br>Tør montage<br>Kort on-site montagetid   | Dobbelte konstruktioner i dæk dvs. "tykke etagedæk"<br>Udfordrende forankringsprincip ved fleretagersbyggeri<br>Spændvidder som trækassetter<br>Stort svind ved etagebyggeri |

\* Værdierne og kommentarerne i skemaet bygger på faglige vurderinger under forudsætning af, at skulle anvendes i et etagehus med et bærende princip i træ. Andre værdier ville være gældende, hvis dækkene skulle bruges i et betonhus, men så ville den overordnede klimaaftryk på bygningsniveau også set helt anderledes ud.



For at kunne ekstrapolere resultaterne er der primært benyttet en "one-at-a-time" metode, hvor der kun ændres på et parameter ad gangen, fx materialet af trinlydspladen eller typen af lydbøjleloftet, for dermed at opnå en viden om enkelte bygningsdeles indvirkning på trin- og luftlyd. Dette betyder at flere af dækopbygningerne næsten er identiske. Metoden tester effekten af variationen i stedet for at ændre på flere parameter ad gangen, hvormed det ellers risikeres at betydningen af ændringer ikke kendes. Metoden kan bidrage til at optimere yderligere på dækopbygningerne på baggrund af testresultaterne.

De undersøgte etagedæk er illustreret i Tabel 3. For mere detaljerede materialeoplysninger for etagedækkene kan findes i Kataloget. Opbygning Rib 1 er inkluderet for at teste, hvordan "rå-elementet" (bærende del + loftopbygning) klarer sig akustisk. Det er dog ikke forventet, at Rib 1 kan klare lydkravene uden en gulvopbygning.

I projektet inddrages en række referencedæk, som er beskrevet i Tabel 4. Disse dæk repræsenterer ofte anvendte etagedæksløsninger i byggebranchen. Referencedækkene inddrages for at sammenligne de biobaserede dæk med typiske løsninger fra branchen. Det vurderes, at den mest anvendte løsning er huldæk med EPS-beton og afretningslag. Derfor vil dette være den primære benchmarkkonstruktion.

Den maksimale spændvidde for de undersøgte dæk varierer, hvilket har været et kompromis mellem tilgængelige materialer og tilgængelige måleresultater. Det vurderes dog ikke at ændre på konklusionerne i rapporten.

**Etagedækkene er opbygget ud fra præmissen om at minimere CO<sub>2</sub>-aftrykket mest muligt og samtidig overholde gældende brand- og akustikkrav for trin- og luftlyd.**

|        |  |  |
|--------|--|--|
| Rib 1  |  | <p><b>Gulv:</b> Ingen gulvopbygning<br/> <b>Dæk:</b> Ribbedæk<br/> <b>Loft:</b> Synlige bjælker med gipsloft og indblæst papiruld</p>  |
| Rib 2  |  | <p><b>Gulv:</b> Svømmende gulv med sandlag og mineralsk trinlydsplade<br/> <b>Dæk:</b> Ribbedæk<br/> <b>Loft:</b> Synlige bjælker med gipsloft og indblæst papiruld</p>                    |
| Rib 3  |  | <p><b>Gulv:</b> Svømmende gulv med sandlag og træbaserede trinlydsplade<br/> <b>Dæk:</b> Ribbedæk<br/> <b>Loft:</b> Synlige bjælker med gipsloft og indblæst papiruld</p>                  |
| Rib 4  |  | <p><b>Gulv:</b> Svømmende gulv med sandlag, træbaserede trinlydsplade og uden spånplade<br/> <b>Dæk:</b> Ribbedæk<br/> <b>Loft:</b> Synlige bjælker med gipsloft og indblæst papiruld</p>  |
| Rib 5  |  | <p><b>Gulv:</b> Svømmende gulv med sandlag, træbaserede trinlydsplade og uden gulvgips<br/> <b>Dæk:</b> Ribbedæk<br/> <b>Loft:</b> Synlige bjælker med gipsloft og indblæst papiruld</p>   |
| Rib 6  |  | <p><b>Gulv:</b> Svømmende gulv med sandlag og kork trinlydsplade<br/> <b>Dæk:</b> Ribbedæk<br/> <b>Loft:</b> Synlige bjælker med gipsloft og indblæst papiruld</p>                         |
| Rib 7  |  | <p><b>Gulv:</b> Svømmende gulv med sandlag til præfab. og træbaserede trinlydsplade<br/> <b>Dæk:</b> Ribbedæk<br/> <b>Loft:</b> Synlige bjælker med gipsloft og indblæst papiruld</p>      |
| Rib 8  |  | <p><b>Gulv:</b> Svømmende gulv med sandlag, krydsfinerplade og træbaserede trinlydsplade<br/> <b>Dæk:</b> Ribbedæk<br/> <b>Loft:</b> Synlige bjælker med gipsloft og indblæst papiruld</p> |
| Rib 9  |  | <p><b>Gulv:</b> Svømmende gulv med øget sandlag og træbaserede trinlydsplade<br/> <b>Dæk:</b> Ribbedæk<br/> <b>Loft:</b> Synlige bjælker med gipsloft og indblæst papiruld</p>             |
| Rib 10 |  | <p><b>Gulv:</b> Gulv på strøer<br/> <b>Dæk:</b> Ribbedæk<br/> <b>Loft:</b> Synlige bjælker med gipsloft og indblæst papiruld</p>   |
| Rib 11 |  | <p><b>Gulv:</b> Anhydrit og træbaserede trinlydsplade<br/> <b>Dæk:</b> Ribbedæk<br/> <b>Loft:</b> Synlige bjælker med gipsloft og indblæst papiruld</p>                                    |
| Rib 12 |  | <p><b>Gulv:</b> Svømmende gulv på 2 x spånplade<br/> <b>Dæk:</b> Ribbedæk<br/> <b>Loft:</b> Synlige bjælker med gipsloft og indblæst papiruld</p>  |
| Rib 13 |  | <p><b>Gulv:</b> Svømmende gulv på sandwichpanel<br/> <b>Dæk:</b> Ribbedæk<br/> <b>Loft:</b> Synlige bjælker med gipsloft og indblæst papiruld</p>  |
| Rib 14 |  | <p><b>Gulv:</b> Svømmende gulv, sandwichpanel og tørler<br/> <b>Dæk:</b> Ribbedæk<br/> <b>Loft:</b> Synlige bjælker med gipsloft og indblæst papiruld</p>                                  |

**Tabel 3.** Opbygning af de biobaserede etagedæk. Rib = Ribbedæk, CLT = CLT dæk



|       |   |   |
|-------|---|---|
| CLT 1 |    | Gulv: Svømmende gulv, sandwichpanel og tørler<br>Dæk: CLT<br>Loft: Lydbøjleloft med mineralsk isolering                 |
| CLT 2 |    | Gulv: Svømmende gulv, sandwichpanel og tørler<br>Dæk: CLT<br>Loft: Loftophæng med mineralsk isolering                   |
| CLT 3 |    | Gulv: Svømmende gulv, sandwichpanel og tørler<br>Dæk: CLT<br>Loft: Loftophæng med træbaserede isolering                 |
| CLT 4 |    | Gulv: Gulv på strøer<br>Dæk: CLT<br>Loft: Loftophæng med træbaserede isolering  |
| CLT 5 |    | Gulv: Anhydrit og træbaseret trinlydsplade<br>Dæk: CLT<br>Loft: Loftophæng med træbaserede isolering                    |
| CLT 6 |    | Gulv: Svømmende gulv på sandwichpanel<br>Dæk: CLT<br>Loft: Loftophæng med træbaserede isolering                         |
| CLT 7 |   | Gulv: Svømmende gulv med sandlag og træbaserede trinlydsplade<br>Dæk: CLT<br>Loft: Loftophæng med træbaserede isolering |
| CLT 8 |  | Gulv: Svømmende gulv med sandlag og træbaserede trinlydsplade<br>Dæk: CLT<br>Loft: Direkte monteret gipsplader          |
| CLT 9 |  | Gulv: Svømmende gulv med sandlag og træbaserede trinlydsplade<br>Dæk: CLT<br>Loft: Skueloft med træbaserede isolering   |

**Tabel 3.** Opbygning af de biobaserede etagedæk. Rib = Ribbedæk, CLT = CLT dæk

|       |   |   |
|-------|---|---|
| Ref 1 |  | Gulv: Svømmende gulv af EPS-beton og cement baseret slidlag<br>Dæk: Beton huldæk<br>Loft: Ingen     |
| Ref 2 |  | Gulv: Gulv på strøer<br>Dæk: Beton huldæk<br>Loft: Ingen  |
| Ref 3 |  | Gulv: Gulv på strøer<br>Dæk: Hybriddæk med CLT og beton<br>Loft: Lydbøjleloft                       |
| Ref 4 |  | Gulv: Svømmende gulv med mineralsk trinlydsplade<br>Dæk: Træspær<br>Loft: Lydbøjleloft              |
| Ref 5 |  | Gulv: Svømmende gulv<br>Dæk: Dobbelt konstruktion af træ I-bjælke og træspær<br>Loft: Fast gipsloft |

**Tabel 4.** Opbygning af referencedæk. Ref = Reference.



# RESULTATER OG SAMMENLIGNINGER

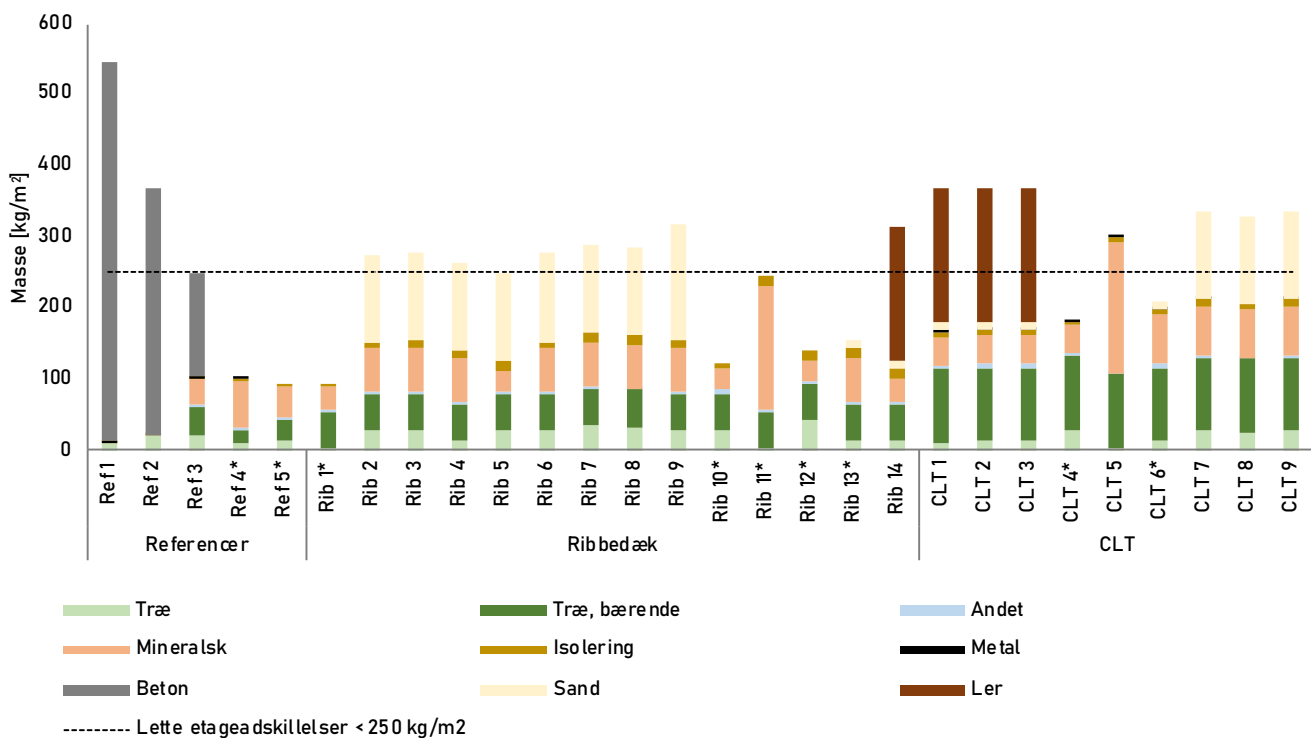
Afsnittet belyser, hvordan de biobaserede- og reference-dækkene performer indenfor klima, akustisk og økonomi. Indledningsvist er materialesammensætningen dog undersøgt for de 28 etagedæk. Delanalyser undersøger desuden dels miljødatakvaliteten ved at sammenligne generisk miljødata med produktspecifikke EPD'er samt klimakonsekvenserne ved at transformere etagedækkene fra brandklasse 4 til brandklasse 2.

# RESULTATER OG SAMMENLIGNINGER

## MATERIALESAMMENSÆTNING

I BR18 er der defineret en anbefaling om at gå ned til 50 Hz ift. trin- og luftlyd for lette etagedskillelser med en masse under 250 kg/m<sup>2</sup> i tabel 2.1. Tyngden af etagedækkene er derfor undersøgt i Figur 6, som viser materialesammensætningen i forhold til massen. Huldæksløsningerne skiller sig ud ved højere masse (kg/m<sup>2</sup>) end de øvrige dæk, hvilket er en af grundene til, at huldæk klarer sig godt akustisk. Denne viden er anvendt i flere af de biobaserede etagedæk ved at tilføje et masselag i form af sand eller ler for at forbedre de "lette" dæks akustiske performance. Det er primært

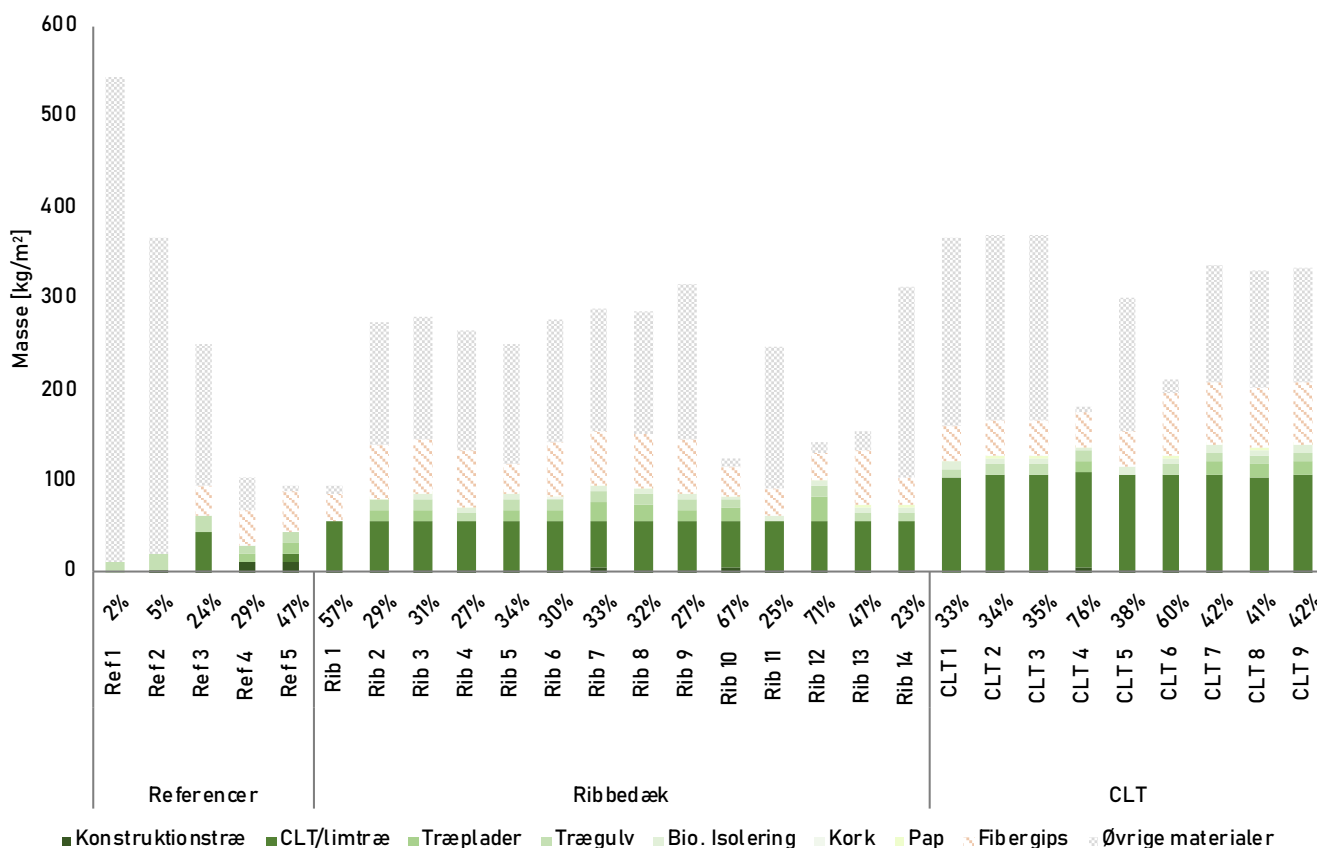
sand, ler, bærende træ og mineralske materialer (fx gipsprodukter), som bidrager til massen af de biobaserede dækopbygninger, mens det for huldæksløsninger primært er beton. For Rib 11 og CLT 5 er massen af de mineralske materialer øget signifikant på grund af et anhydritlag, dvs. et calciumsulfat lag på 80 mm. I Figur 6 er der indtegnet en stiplede linje ved 250 kg/m<sup>2</sup>, jf. BR18's anbefaling for lette etagedskillelser. Opbygninger markeret med \* i Figur 6 har en samlet masse under 250 kg/m<sup>2</sup> og bør jf. BR18 følge anbefalingen.



**Figur 6.** Materialesammensætning for etagedækopbygningerne ift. massen. Opbygninger markeret med \* har en samlet masse under 250 kg/m<sup>2</sup> og bør jf. BR18 følge anbefalingen i Boliger – Tabel 2.1 Lydisolation.

Figur 7 illustrerer andelen af biobaserede materialer i de forskellige etagedækopbygninger i forhold til massen. Inddelingen af træprodukterne er opgjort efter forskellige trætyper, hvor rækkefølgen illustrerer genanvendelsespotentialer. Eksempelvis kan konstruktionstræ efter brug genanvendes til CLT/limtræsprodukter, som herefter kan genanvendes til træplader eller gulve. Fibergips er skraveret, da det er et blandingsprodukt, som typisk primært består af gips med en mindre andel papirfibre. Procentsatsen angiver træandelen af etagedækkets samlede vægt ekskl. fibergips, men en høj træandel er ikke nødvendigvis lig

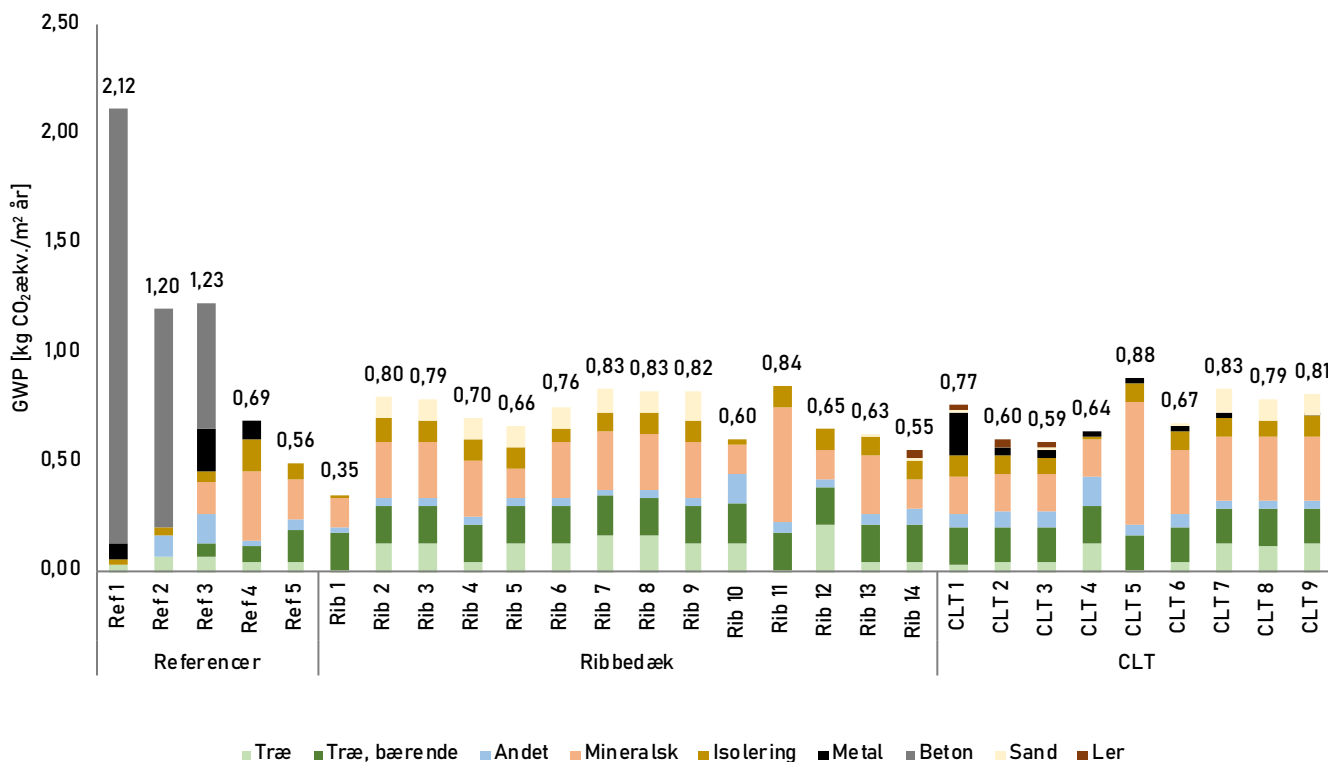
med en lav klimabelastning. Generelt bør det tilstræbes at optimere materialeforbruget, så ressourcen også kan sikres til fremtiden. Ribbedækket er et eksempel på, hvordan man kan halvere træmængden i den bærende del i forhold til et CLT-dæk. Referencedække- ne Ref 4 og Ref 5 er eksempler på, hvor lidt konstruktionstræ der behøves i den bærende del for lavere etageboligbyggerier.



Figur 7. Biobaserede materialer ift. massen. Procentsatsen viser træandelen af etagedækkets samlede vægt ekskl. fibergips, som typisk består af gips og papirfibre.

I Figur 8 kan det generelt observeres, at klimaaftrykket er mere end halveret for de biobaserede etagedæk ift. Ref 1.

Figur 8 viser materialesammensætningen for dækopbygningerne i forhold til klimabelastningen. Det bemærkes, at masselagene (sand og ler) har den ønskede effekt, idet de bidrager med masse uden at øge CO<sub>2</sub>-aftrykket signifikant. Materialekategoriene "Metal" og "Andet" øger CO<sub>2</sub>-aftrykket betydeligt i forhold til deres masse, mens materialekategoriene "Træ", "Træ, bærende" og "Mineralsk" hverken bidrager positivt eller negativt i forhold til deres masseaftryk. I Figur 8 kan det generelt observeres, at klimaaftrykket er mere end halveret for de biobaserede etagedæk ift. Ref 1.



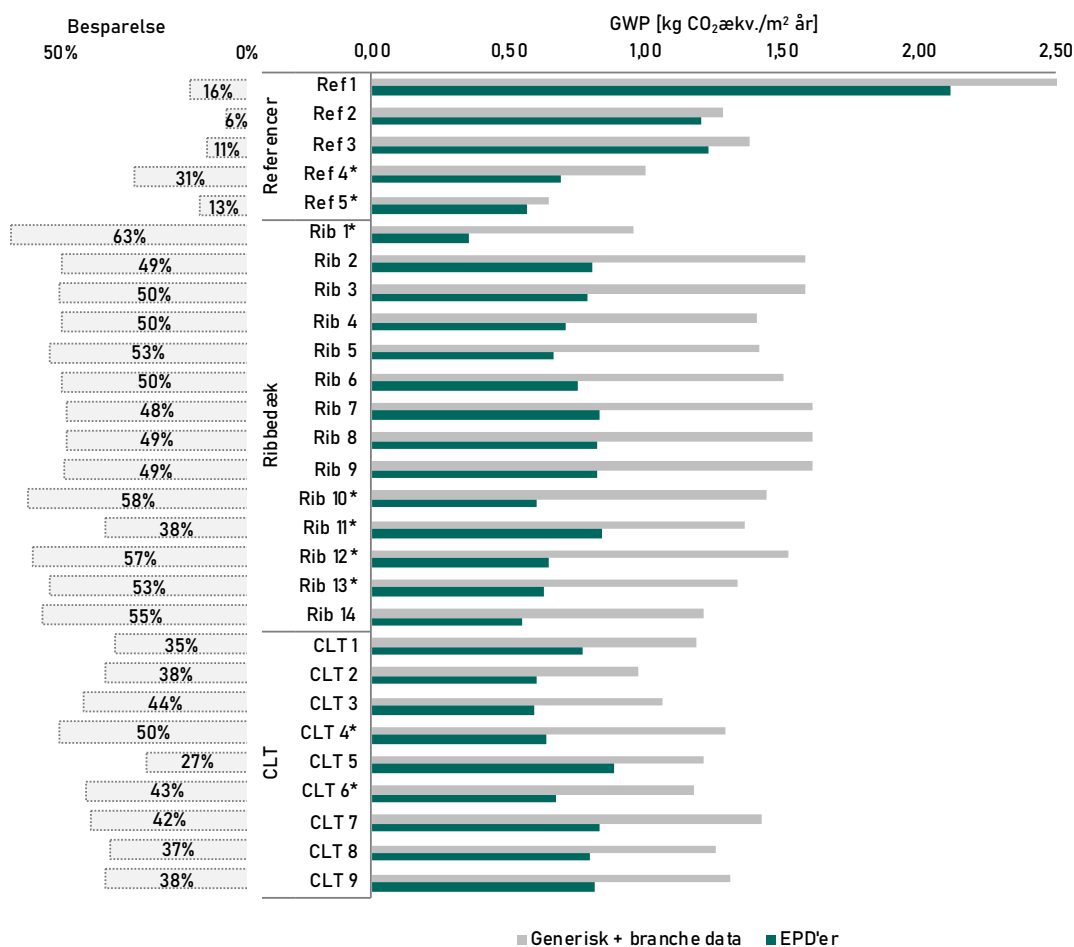
**Figur 8.** Materialesammensætning for etagedækopbygningerne ift. klimabelastningen pr. m<sup>2</sup> etagedæk. Miljødata: Primært EPD'er. Opbygninger markeret med \* har en samlet masse under 250 kg/m<sup>2</sup> og bør jf. BR18 følge anbefalingen i Boliger – Tabel 2.1 Lydisolation.

## DATAKVALITETENS BETYDNING FOR KLIMAPERFORMANCE

I forbindelse med fastlæggelse af CO<sub>2</sub>-aftrykket for de biobaserede dæk er miljødatakvaliteten undersøgt ved at sammenligne LCA-beregningen udført med hhv. produktspecifikke EPD'er og med generiske miljødata + branche EPD'er. Sammenligningen er vist i Figur 9, hvor de produktspecifikke EPD'er giver et 27-63 % lavere CO<sub>2</sub>-aftryk for de biobaserede etagedæk sammenlignet med brug af generiske miljødata + branche EPD'er. For huldæksløsningen med EPS-beton (Ref 1) observeres der en forskel på 16 %. Generisk miljødata kan derfor være med til at skævvride sammenligningsgrundlaget og potentielt føre til uhensigtsmæssige beslutninger i de indledende designfaser, hvor specifikke materialer ikke kendes, og i forbindelse med offentlige byggerier,

De produktspecifikke EPD'er giver et 27-63 % lavere CO<sub>2</sub>-aftryk for de biobaserede etagedæk sammenlignet med brug af generiske miljødata + branche EPD'er.

hvor det kan være svært at lave et udbud på specifikke EPD'er. Der er således brug for at det generiske miljødata bedre afspejler den reelle performance, for at sikre at de rigtige beslutninger også tages, når generiske materialer anvendes.



Figur 9. Besparelsespotentiale ved anvendelse af produktspecifikke EPD'er til LCA ift. generisk miljødata + branche EPD'er. Opbygninger markeret med \* har en samlet masse under 250 kg/m<sup>2</sup> og bør jf. BR18 følge anbefalingen i Boliger – Tabel 2.1 Lydisolation.

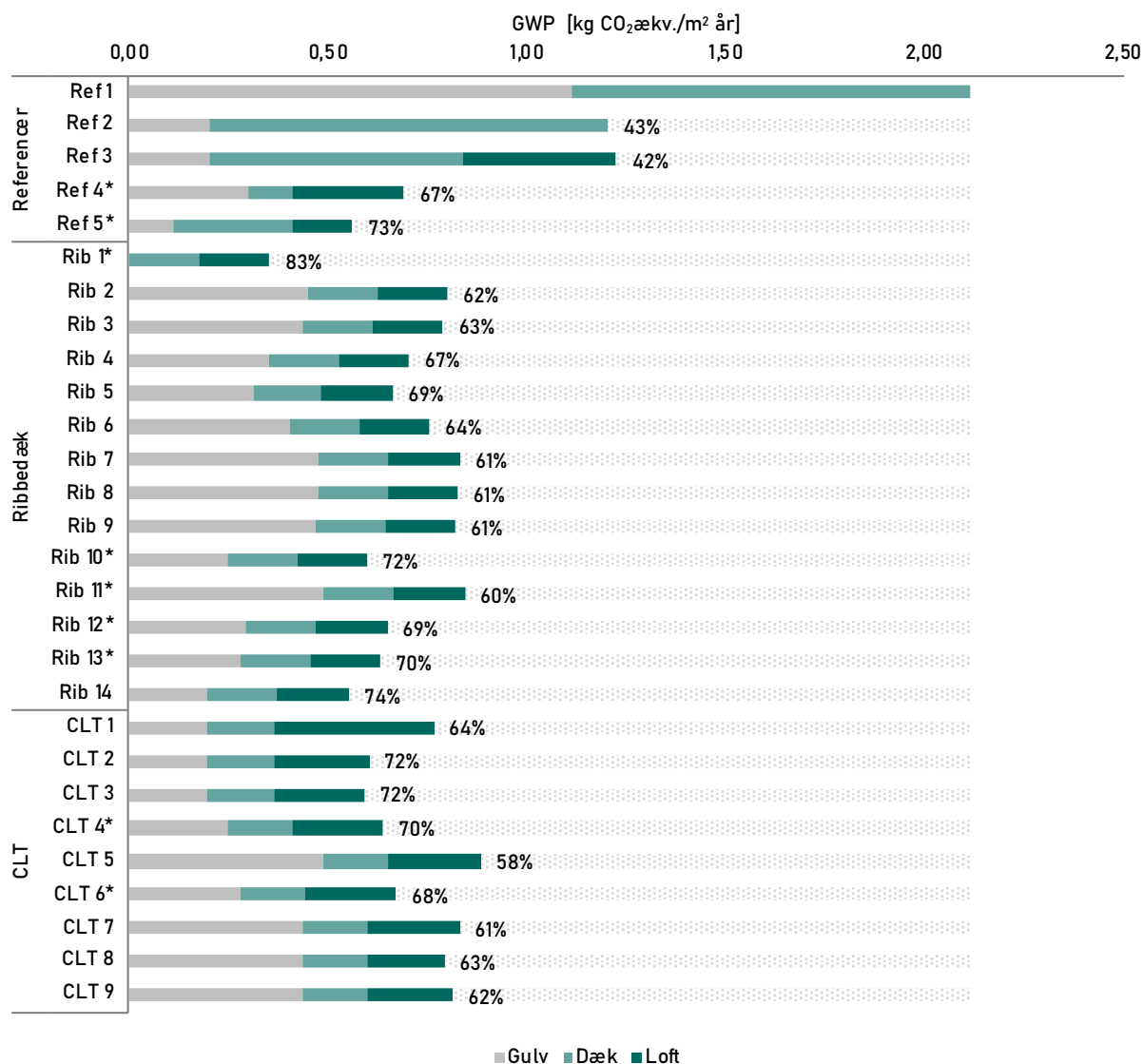
## KLIMABELASTNING

For at illustrere klimapotentialt for de biobaserede etagedæk er klimaaftrykket for de undersøgte etagedæk sammenlignet med Ref 1 i Figur 10. Resultaterne illustrerer signifikante CO<sub>2</sub>-besparelser på mellem 58 % og 74 % ved at anvende biobaserede etagedæk frem for traditionelle huldæksløsninger med EPS-beton og afretningslag.

For de biobaserede dæk er det primært gulvopbygningerne, som definerer CO<sub>2</sub>-aftrykket, mens det

bærende dæk og loftssystemet udgør mindre andele af det samlede CO<sub>2</sub>-aftryk. Fordelingen varierer dog fra opbygning til opbygning.

I Figur 10 er klimabelastningen opgjort pr. m<sup>2</sup> dæk, men for at belyse konsekvenserne af at indbygge etagedækkene i en faktisk bygning, er etagedækkene i Figur 11 opgjort pr. m<sup>2</sup> etageareal med udgangspunkt i projektet "Mini CO<sub>2</sub> Etagehus TRÆ". Etagedækkenes samlede højde varierer betragteligt, hvilket betyder, at visse dæk vil give et øget materialeforbrug samt et øget varmetab.



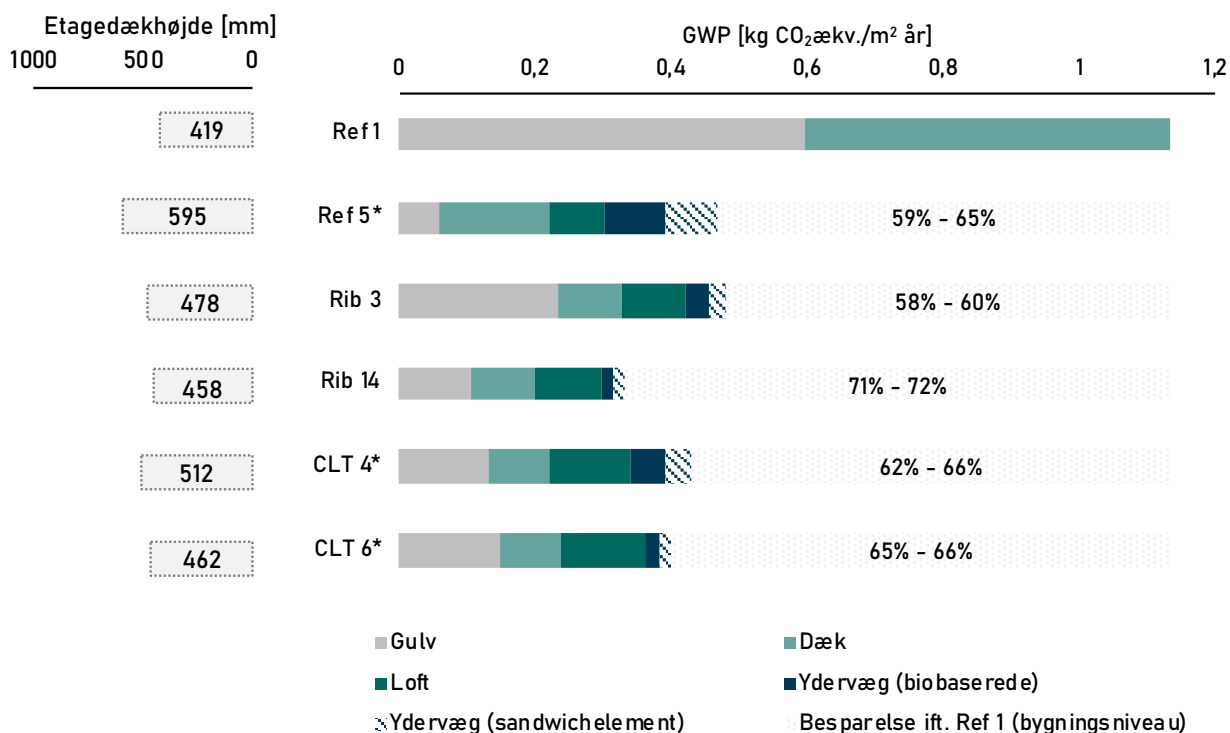
**Figur 10.** Klimabelastning pr. m<sup>2</sup> etagedæk samt besparelse ift. Ref 1. Miljødata: Primært EPD'er. Opbygninger markeret med \* har en samlet masse under 250 kg/m<sup>2</sup> og bør jf. BR18 følge anbefalingen i Boliger – Tabel 2.1 Lydisolation.



Disse konsekvenser kan betragtes i Figur 11, for en række udvalgte dæk. Ref 1 er brugt som reference til at fastlægge det øgede ydervægsareal for de andre dæk.

De biobaserede dæk er generelt højere end Ref 1, men det ændrer ikke på, at de biobaserede dæk stadig har et betydeligt lavere klimaafttryk. For Ref 5 er CO<sub>2</sub>-aftrykket dog øget betragteligt på grund af dobbeltkonstruktionens højde, hvilket betyder, at CO<sub>2</sub>-besparelsen reduceres fra 73 % i Figur 10 til 65 % i Figur 11. Dette på trods af, at den biobaserede ydervæg på MiniCO<sub>2</sub> Etagehus TRÆ har et lavt CO<sub>2</sub>-aftryk. Hvis ydervæggen i stedet var et sandwichelement bestående af 150 mm betonvæg, 250 mm fast mineraluld, 55 mm betonplade og 55 mm skærmtegl, ville CO<sub>2</sub>-besparelsen reduceres fra 73 % til 54 %. I et klimaperspektiv ville andre løsninger dermed være at foretrække.

For Ref 5 er CO<sub>2</sub>-aftrykket dog øget betragteligt på grund af dobbeltkonstruktionens højde, hvilket betyder, at CO<sub>2</sub>-besparelsen reduceres fra 73 % i Figur 10 til 65 % i Figur 11.



**Figur 11.** Klimabelastning pr. m<sup>2</sup> bygning (udgangspunkt i MiniCO<sub>2</sub> Etagehus TRÆ) samt besparelse ift. Ref 1. Miljødata: Primært EPD'er. Opbygninger markeret med \* har en samlet masse under 250 kg/m<sup>2</sup> og bør jf. BR18 følge anbefalingen i Boliger – Tabel 2.1 Lydisolation. Ref = Reference dækopbygninger, Rib = Ribbedæksopbygninger og CLT = CLT dækopbygninger.

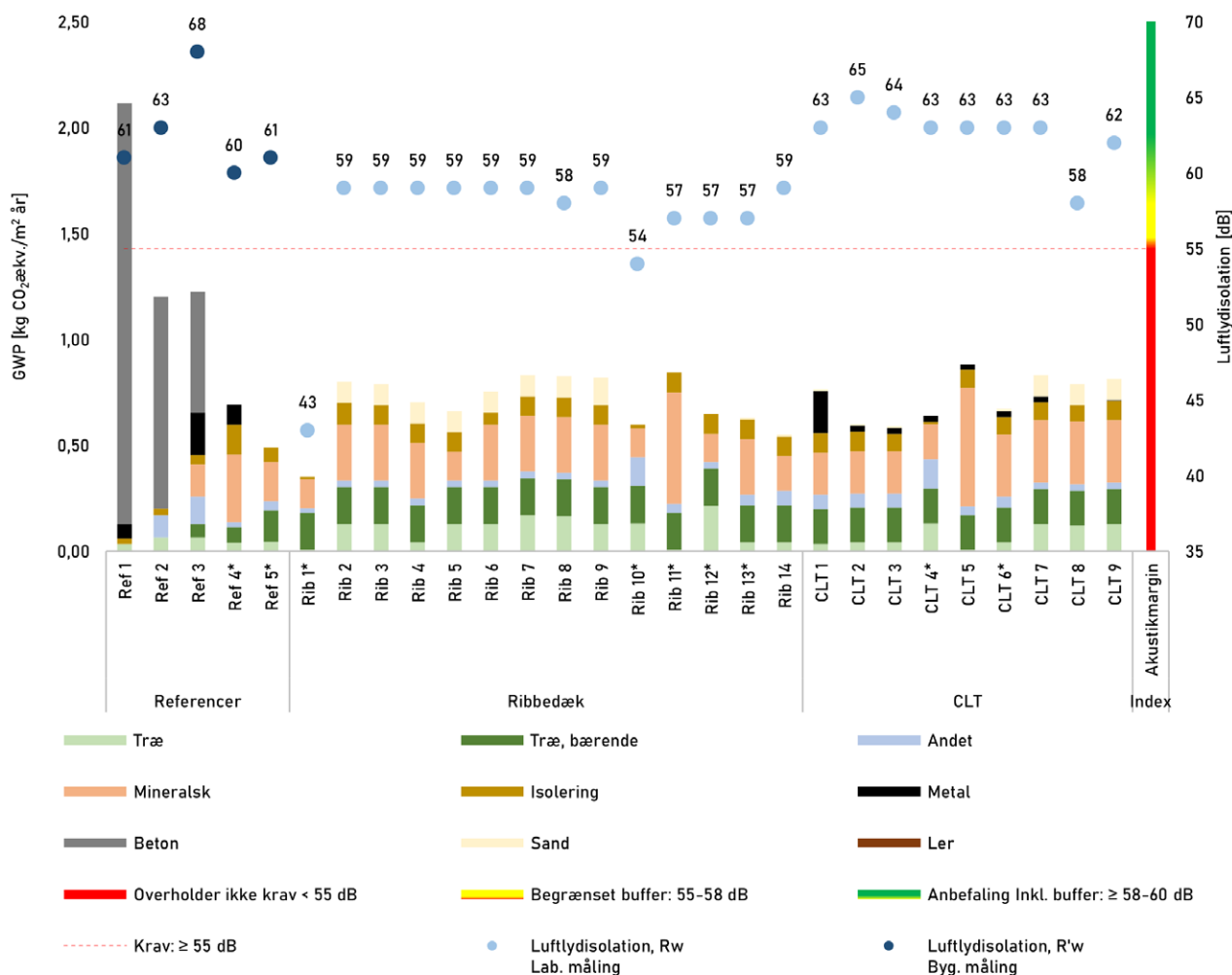
## De fleste biobaserede etagedæk har generelt en god margin til luftlydisolationskravet $R'_w$

### AKUSTIKS PERFORMANCE OG KLIMABELASTNING

I Figur 12 er luftlydisolationen  $R_w$  for de biobaserede dæk og luftlydisolationen  $R'_w$  for referencedækkene sammenholdt med klimaaftrykket. For de biobaserede dæk er det kun Rib 1 og Rib 10, som ikke overholder kravet til luftlydisolationen  $R'_w$  på  $\geq 55$  dB jf. BR18. Rib 1

har en luftlydisolation  $R_w$  på 43 dB og er dermed langt fra at overholde kravet.

De fleste biobaserede etagedæk har generelt en god margin til luftlydisolationskravet  $R'_w$ , og de viser dermed, at det muligt at minimere klimaaftrykket signifikant og samtidig forventeligt overholde luftlydisolationskravet. Rib 11-13 har dog en begrænset margin til luftlydisolationskravet. For disse dæk kræver det derfor særlig opmærksomhed på usikkerheder som flanketransmission. Desuden bemærkes det, at brugen af lydlofter øger luftlydisolationen  $R_w$  betydeligt. Dette gælder både ved brug af traditionelle lydbøjlelofter CLT 1, loftophæng (CLT 16-21) og faste nedhængte lofter (CLT 9). Måleblade for alle dækopbygningerne

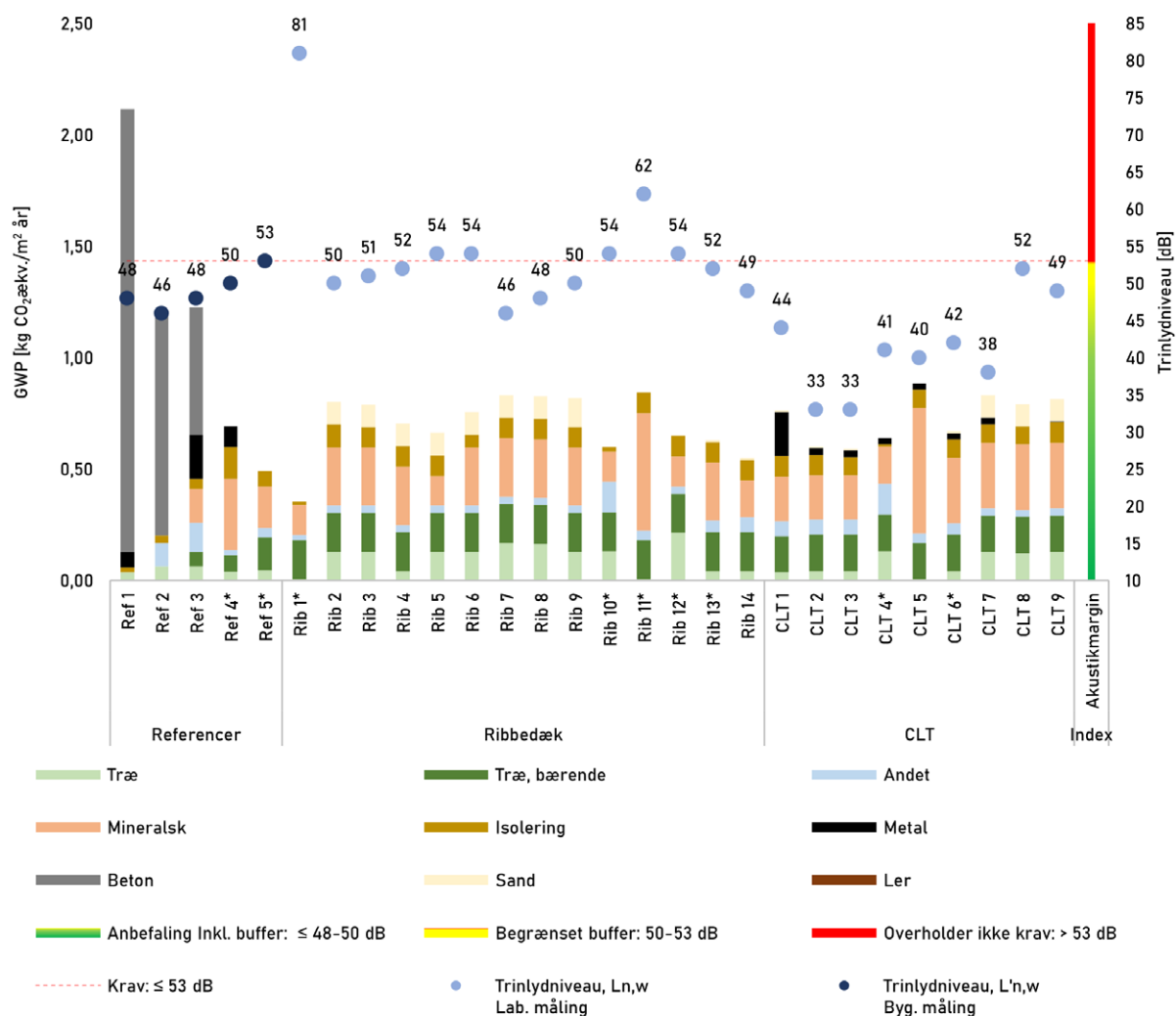


**Figur 12.** Sammenligning af klimabelastningen pr. m<sup>2</sup> etagedæk og luftlydisolationen. Miljødata: Primært EPD'er. Opbygninger markeret med \* har en samlet masse under 250 kg/m<sup>2</sup> og bør jf. BR18 følge anbefalingen i Boliger – Tabel 2.1

kan findes i Kataloget. Akustiskmargin er en indikator for, hvor meget margin der er til akustikkravet. Lyd er dog ikke lineært med logaritmisk, hvilket betyder at lydtrykket halveres ved et fald på 3 dB. Et sådan fald vil give en betydelig forbedret lydoplevelse for det menneskelige øre.

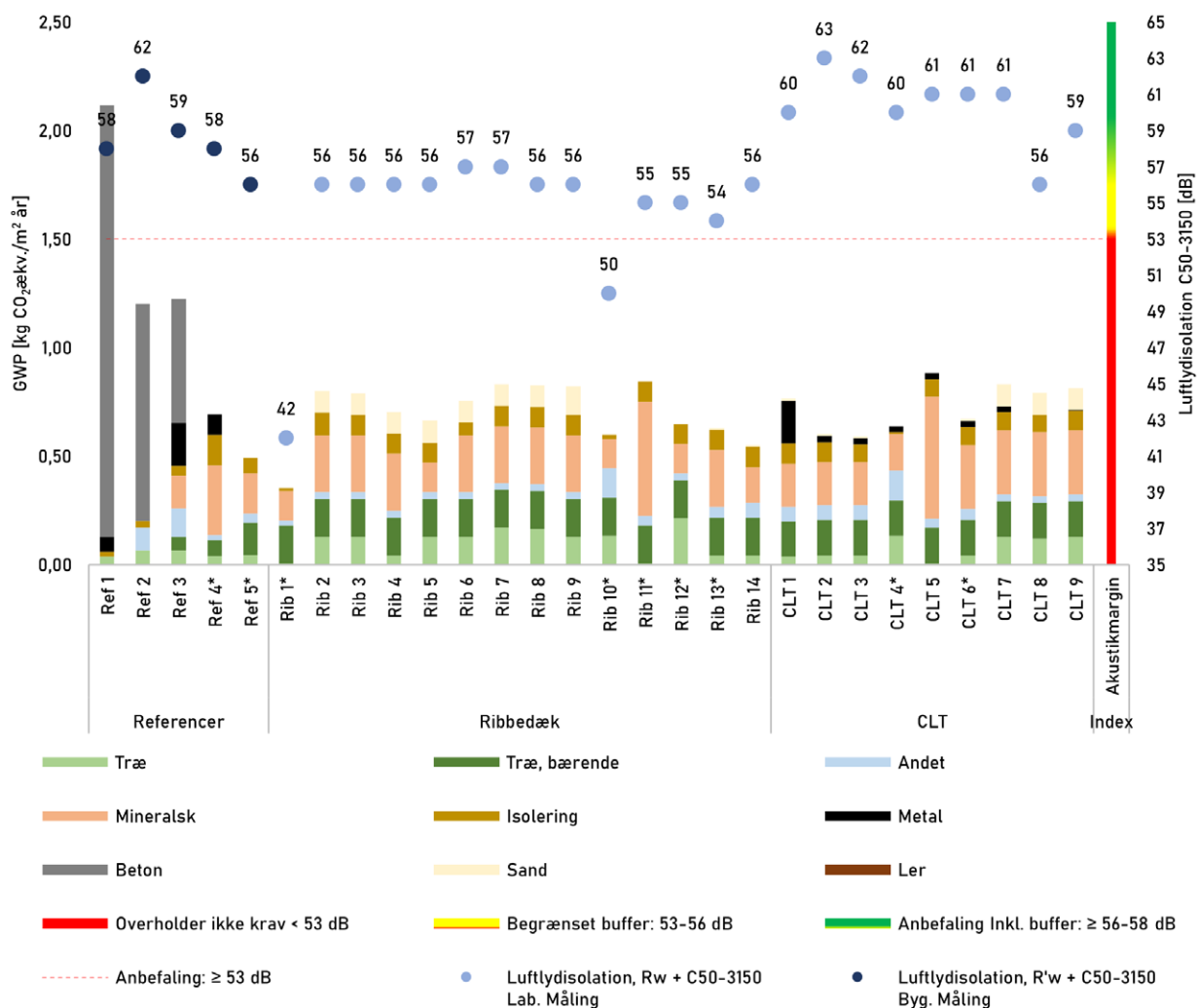
Figur 13 viser trinlydsniveauet  $L_{n,w}$  for de biobaserede dæk og trinlydsniveauet  $L'_{n,w}$  for referencedækkene sammenholdt med klimaaftrykket. Måleresultaterne viser, at flere af de biobaserede dæk er udfordrede i forhold til trinlydsniveauet, hvor Rib 1, 5, 6, 10, 11 og 12 ikke overholder kravet  $L'_{n,w} \leq 53$  dB jf. BR18. Desuden har flere af de andre løsninger en begrænset margin til kravet. Det er særligt ribbedæksløsningerne, som

er udfordrede i forhold til trinlydsniveauet, hvor Rib 7, 8 og 14 dog skiller sig positivt ud. Lydlofterne viser samme tendens som for luftlydisolationen i Figur 12, og bidrager til et lave trinlydsniveau  $L_{n,w}$ . Generelt er det trinlydsniveauet  $L'_{n,w}$  for både CLT- og ribbedæksløsningerne, som er dimensionsgivende. For visse CLT-løsningerne med lydbøjlelofter kan der desuden observeres større margin til trinlydskravet  $L'_{n,w}$  end til luftlydskravet  $R'_{w}$ .



Figur 13. Sammenligning af klimabelastning pr. m2 etagedæk og trinlydsniveauet. Miljødata: Primært EPD'er. Opbygninger markeret med \* har en samlet masse under 250 kg/m2 og bør jf. BR18 følge anbefalingen i Boliger – Tabel 2.1 Lydisolation.

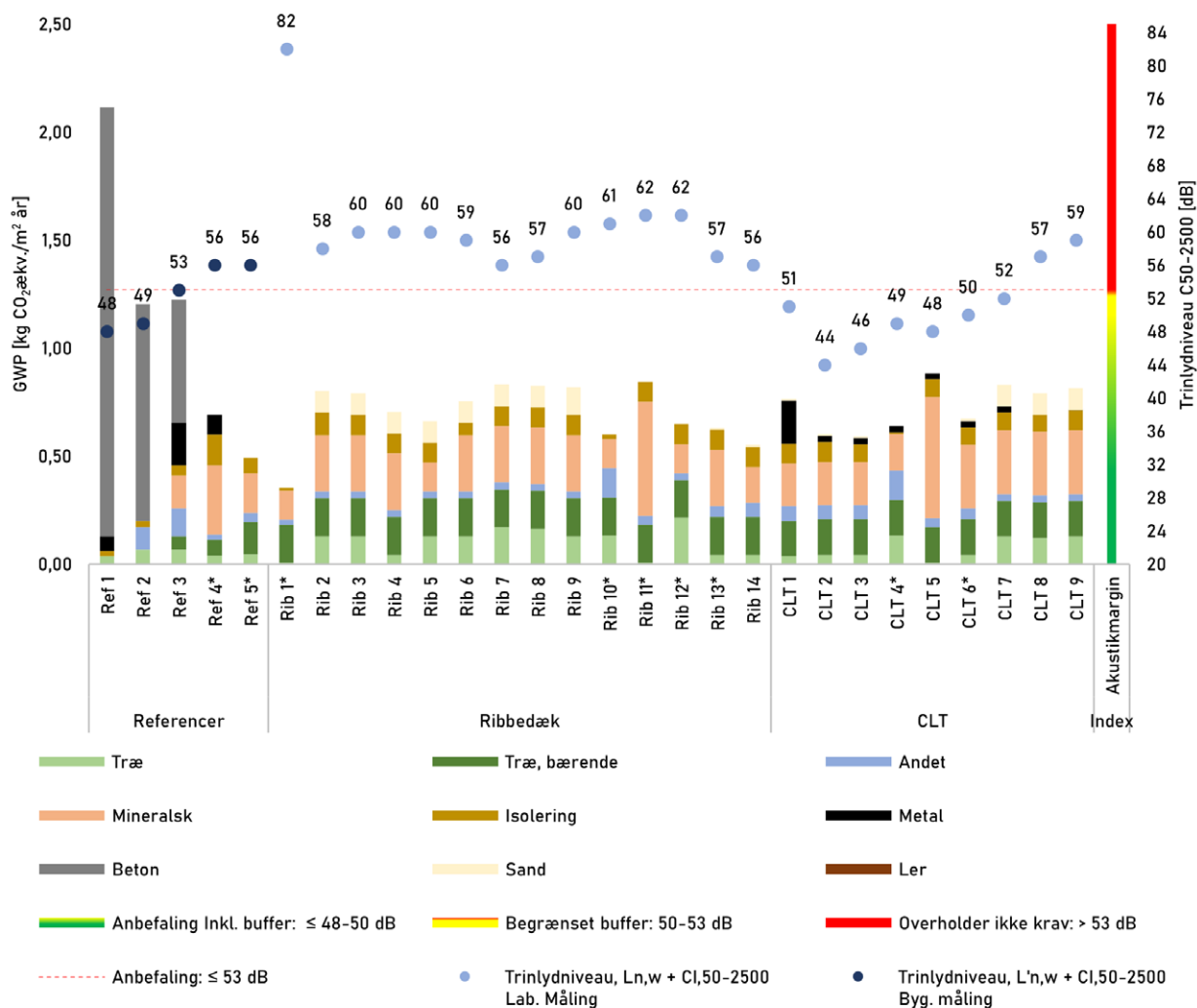
I Figur 14 er luftlydisolationen  $R_w + C_{50-3150}$  for de biobaserede dæk og luftlydisolationen  $R'_w + C_{50-3150}$  for referencedækkene sammenholdt med klimaaftrykket. Resultaterne viser samme tendenser, som resultaterne i Figur 12, hvor det kun er Rib 1 og Rib 10, som ikke overholder anbefalingen til luftlydisolationen  $R'_w + C_{50-3150} \geq 53$  dB jf. BR18 for lette etageadskillelser.



**Figur 14.** Sammenligning af klimabelastning pr. m<sup>2</sup> etagedæk og luftlydisolationen ( $C_{50-3150}$ ). Miljødata: Primært EPD'er. Opbygninger markeret med \* har en samlet masse under 250 kg/m<sup>2</sup> og bør jf. BR18 følge anbefalingen i Boliger – Tabel 2.1 Lydisolation.

Figur 15 viser trinlydsniveauet  $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$  for de biobaserede dæk og trinlydsniveauet  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  for referencedækkene sammenholdt med klimaaftrykket. Resultaterne viser, at ingen af ribbedækløsningerne kan overholde anbefalingen  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 53$  dB for lette etageadskillelser, hvis det lavfrekvente område betragtes. For CLT-løsningerne med lydbøjlelofter er det muligt at overholde anbefalingen og samtidig minimere CO<sub>2</sub>-aftrykket fra etagedækket signifikant. Det bemærkes desuden, at løsninger med en masse på over 250 kg/m<sup>2</sup> ikke nødvendigvis overholder anbefalingen for "lette" dæk i henhold til BR18.

Resultaterne viser, at ingen af ribbedækløsningerne kan overholde anbefalingen  $L'_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 53$  dB for lette etageadskillelser, hvis det lavfrekvente område betragtes.

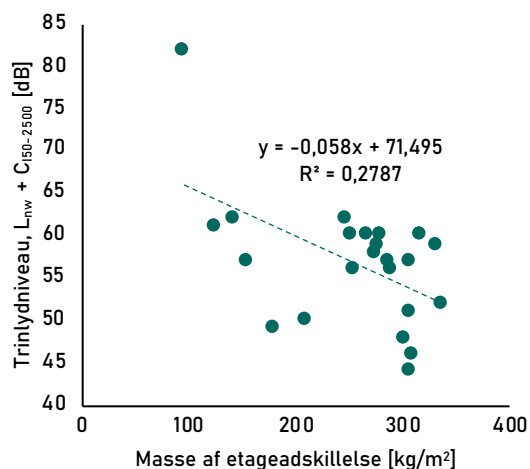


Figur 15. Sammenligning af klimabelastning pr. m2 etagedæk og trinlydsniveauet (C50-2500). Miljødata: Primært EPD'er. Opbygninger markeret med \* har en samlet masse under 250 kg/m2 og bør jf. BR18 følge anbefalingen i Boliger – Tabel 2.1 Lydisolation.

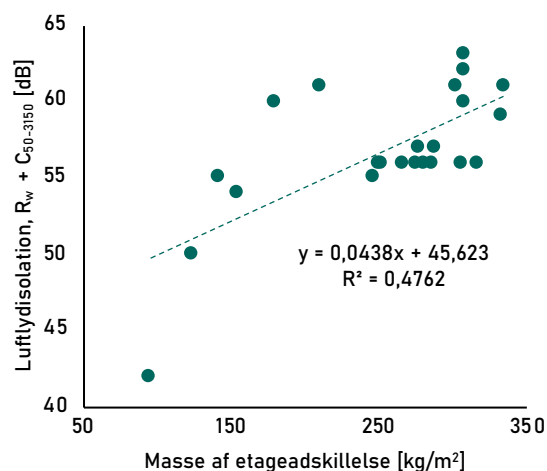
## AKUSTIK

En sammenligning af massen i forhold til luft- og trinlyd for de biobaserede dæk kan observeres i Figur 16 og Figur 17. Graferne viser en  $R^2$ -værdi på under 0,5 for både luftlydisolation  $R_w + C_{50-3150}$  og trinlydniveau  $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$ , hvilket indikerer en svag statistisk sammenhæng. Hvis datapunktet for Rib 1 fjernes, falder  $R^2$ -værdi til næsten nul for begge grafer, således at der ingen statistisk sammenhæng er mellem massen af dækopbygningerne og akustikmålingerne for det lavfrekvente område. Den lavfrekvente anbefaling i BR18 for "lette" etagedæk bliver derfor ikke bekræftet af målingerne for de biobaserede etagedæk.

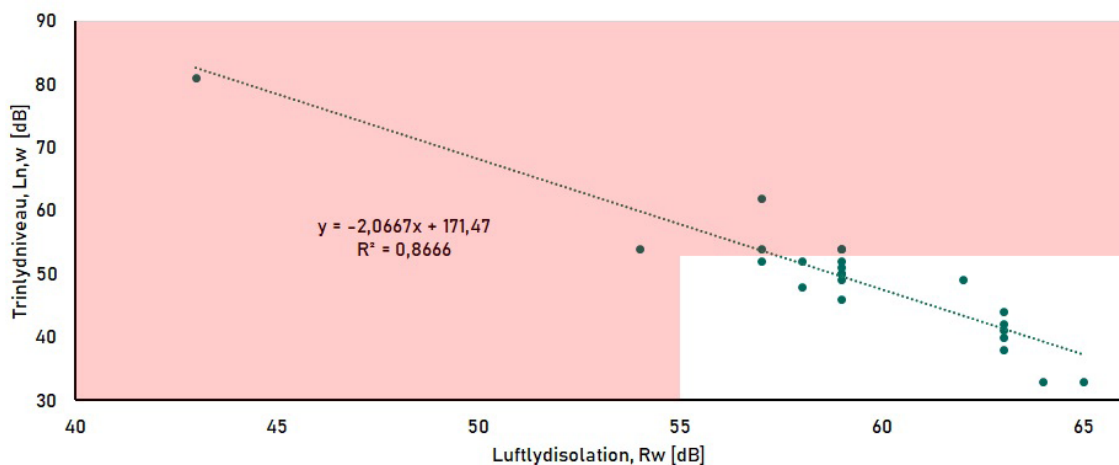
Figur 18 viser sammenhængen mellem luftlydisolation  $R_w$  og trinlydniveau  $L_{n,w}$ , hvor trinlydniveauet  $L_{n,w}$  generelt falder med en højere luftlydisolation  $R_w$ . Grafen viser desuden at trinlydskravet  $L'_{n,w}$  generelt er dimensionsgivende, med udtagelse af CLT-løsningerne med lydbøjlelofter, hvor der er større margin til trinlydskravet  $L_{n,w}$  end til luftlydisolationskravet  $R_w$ .



**Figur 16.** Sammenhæng mellem trinlydniveau og etagedæk masse for de biobaserede dæk. Den stiplede linje viser den lineære sammenhæng.



**Figur 17.** Sammenhæng mellem luftlydisolation og etagedæk masse for de biobaserede dæk. Den stiplede linje viser den lineære sammenhæng.



**Figur 18.** Sammenhæng mellem trinlydniveau og luftlydisolation for de biobaserede dæk. Den stiplede linje viser den lineære sammenhæng. Det røde område illustrerer lydkravene fra BR18.

## ØKONOMI

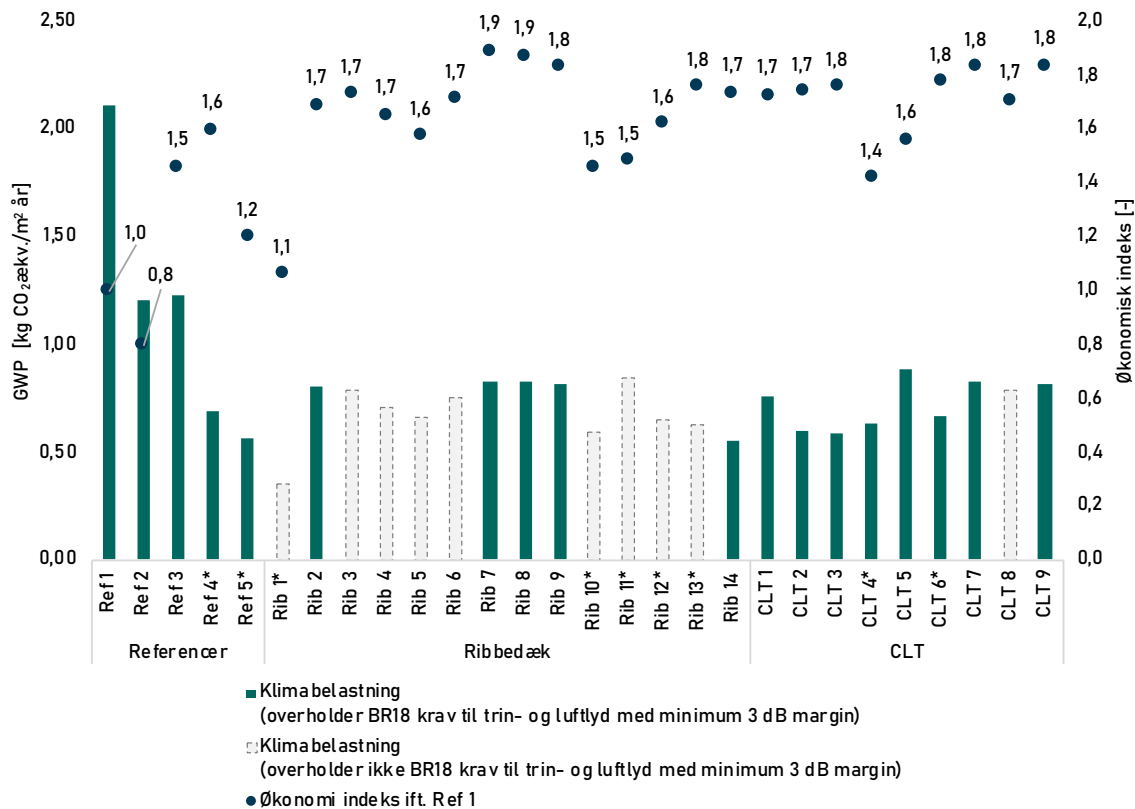
Figur 19 illustrerer sammenhængen mellem klimabelastningen og økonomien for de undersøgte dæk. De biobaserede etagedæk er i gennemsnit 65 % dyrere end Ref 1, mens de biobaserede etagedæk, som overholder lydkravene i BR18 med minimum 3 dB margin, i gennemsnit er 75 % dyrere end Ref 1. Forskellen kan tilskrives det øgede antal bygningskomponenter, som de biobaserede etagedæk ofte kræver for at overholde lydkravene.

Nogle af de biobaserede dæk, som skiller sig positivt ud i forhold til økonomien, og har en margin på 3 dB til lydkravene i BR18, er CLT 4 og CLT 5. En gulv-på-strøer løsning samt en støbt calciumsulfat løsning, som begge giver færre og mindre tunge arbejdsgange end de andre biobaserede løsninger. For ribbedæksløsningerne er det Rib 2 og Rib 14, som skiller sig positivt ud og har en margin på 3 dB til lydkravene. Rib 2 indeholder

De biobaserede etagedæk, som overholder lydkravene i BR18 med minimum 3 dB margin, i gennemsnit er 75 % dyrere end Ref 1.

mange kendte byggematerialer, mens Rib 14 benytter flere utraditionelle materialer, eksempelvis ler og sandwichpanel af sand og pap.

Generelt skiller Rib 14 og CLT 4 sig særligt ud, som et kompromis mellem økonomi, akustik og CO<sub>2</sub>. CLT 4 er billigst, mens Rib 14 har det laveste klimaaftryk af de biobaserede etagedæk samt et mindre ressourceforbrug af konstruktionstræ.



Figur 19. Sammenligning af klimabelastning og økonomi. Miljødata: EPD'er. Enhed: CO<sub>2</sub>ækv. pr. m<sup>2</sup> dæk pr. år. Opbygninger markeret med \* har en samlet masse under 250 kg/m<sup>2</sup> og bør jf. BR18 følge anbefalingen i Boliger – Tabel 2.1 Lydisolation.



## KOMPONENTANALYSE

Dette afsnit undersøger, hvordan komponentvariationer påvirker performanceindikatorerne indenfor klima, akustisk og økonomi. Analyserne skal bidrage til at finde de bedste kompromiser i forhold til fremtidige løsninger.

Tabel 5 til Tabel 8 belyser konsekvenserne af udvalgte komponentvariationer, hvor et parameter er ændret ad gangen. Af Tabel 5 fremgår det, at trinlydniveauet kun hæves 1 dB ved at ændre materialet af trinlydspladen fra mineralsk til træbaseret. Klimabesparelsen er til gengæld også begrænset. Resultaterne indikerer hverken de store gevinster eller tab mellem de to materialetyper i forhold til akustik og klima. Den træbaserede trinlydsplade er dog i dag dyrere end den mineralske, men ikke nok til at ændre den økonomiske indeksering.

Både økonomisk og klimamæssigt er spånpladen en tungere post, hvorfor fjernelsen af spånpladen undersøgt i Tabel 6. Fjernelsen giver en betydelig klimabesparelse, men hæver kun trinlydniveauet 1 dB. Fjernelsen af spånpladen giver også en økonomisk besparelse, men igen ikke nok til at ændre den økonomiske indeksering.

Lydloftstypen er varieret i Tabel 7, hvor der kan observeres en betydelig klimabesparelse samt et signifikant forbedret trinlydniveau og luftlydisolation, ved at skifte

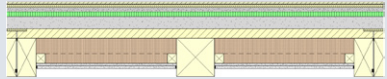

fra et traditionelt lydbøjleloft med metal skinner til et loftophæng med træreglar. Loftophængene er dog dyrere end det traditionelle lydbøjleloft, men ikke nok til at ændre den økonomiske indeksering.

Til sidst er konverteringen fra loftophæng til et fast skrueloft undersøgt i Tabel 8. Analysen viser en klimabesparelse på 0,03 kg CO<sub>2</sub>ækv/m<sup>2</sup>/år og en økonomisk besparelse på 10 procentpoint. Til gengæld forværres trinlydsniveau og luftlydisolation signifikant.


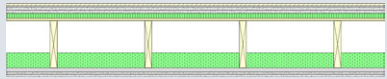
Flere komponentvariationer kan findes ved at sammenligne resultaterne i Kataloget. Viden fra komponentvariationerne er anvendt i afsnittet Perspektivering til at finde fremtidige kompromiser mellem klima, akustik og økonomi.



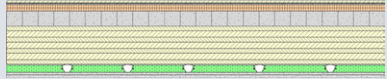
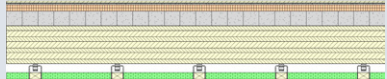
**Tabel 5.** Delanalyse af trinlydsplade materialet fra mineralsk til træbaserede.

|         | GWP [kg CO <sub>2</sub> ækv/m <sup>2</sup> /år] | Trinlyd L <sub>nw</sub> [dB] | Luftlyd R <sub>w</sub> [dB] | Økonomi [-] |   |
|---------|---|------------------------------|-----------------------------|-------------|---|
| Rib 2   | 0,80  | 50                           | 59                          | 1,7         |  |
| Rib 3   | 0,79  | 51                           | 59                          | 1,7         |  |
| Forskel | -0,01   | +1                           | 0                           | 0           |   |



**Tabel 6.** Delanalyse af spånpladens betydning (fjernelse af spånplade).

|         | GWP [kg CO <sub>2</sub> ækv/m <sup>2</sup> /år] | Trinlyd L <sub>nw</sub> [dB] | Luftlyd R <sub>w</sub> [dB] | Økonomi [-] |  |
|---------|---|------------------------------|-----------------------------|-------------|--|
| Rib 3   | 0,79  | 51                           | 59                          | 1,7         |   |
| Rib 4   | 0,70  | 52                           | 59                          | 1,7         |  |
| Forskel | -0,09   | +1                           | 0                           | 0           |  |

**Tabel 7.** Delanalyse af klassisk lydbøjleloft ift. loftophæng.

|         | GWP [kg CO <sub>2</sub> ækv/m <sup>2</sup> /år] | Trinlyd L <sub>nw</sub> [dB] | Luftlyd R <sub>w</sub> [dB] | Økonomi [-] |   |
|---------|---|------------------------------|-----------------------------|-------------|---|
| CLT 1   | 0,76  | 44                           | 63                          | 1,7         |  |
| CLT 2   | 0,60  | 33                           | 65                          | 1,7         |  |
| Forskel | -0,16   | -11                          | +2                          | 0           |   |

**Tabel 8.** Delanalyse af loftophæng ift. skureloft.

|         | GWP [kg CO <sub>2</sub> ækv/m <sup>2</sup> /år] | Trinlyd L <sub>nw</sub> [dB] | Luftlyd R <sub>w</sub> [dB] | Økonomi [-] |   |
|---------|---|------------------------------|-----------------------------|-------------|---|
| CLT 7   | 0,84  | 38                           | 63                          | 1,8         |  |
| CLT 9   | 0,81  | 49                           | 62                          | 1,7         |  |
| Forskel | -0,03   | +11                          | -1                          | -0,1        |   |

## BRAND – BK4 TIL BK2

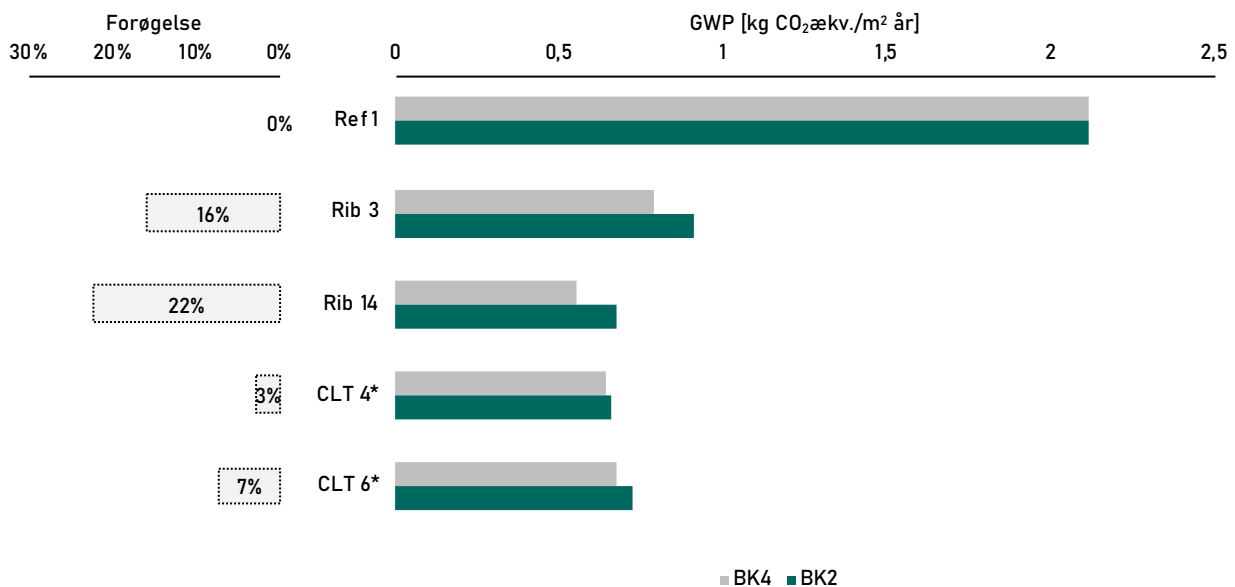
Dette afsnit undersøger, hvordan klimapåvirkningen fra etagedæk påvirkes af forskellige brandkrav. Etagedækkene er i udgangspunktet konstrueret til at kunne anvendes i Brandklasse 4 (BK4). For at synliggøre den klimamæssige forskel er etagedækkene transformeret fra BK4 til BK2. Sammenligningen er gældende for træbyggeri, hvor gulvets overkant på øverste etage er placeret maks. 12 meter over terræn. Beregningerne viser, at CO<sub>2</sub>-aftrykket forøges op til 22 % ved konverteringen fra BK4 til BK2. Tendens er visualiseret i Figur 18 for en række udvalgte dæk. Følgende materialer er ændret og tilføjet i transformationen fra BK4 til BK2.

- Konvertering af isoleringsmateriale med en brandklassifikation under B-s1,d0 til mineralske produkter med en højere brandklassifikation.
- Tilføjelse af brandgips (K2 60 / A2-s1,d0) på siderne af limtræsbjælkerne på ribbedækket for at sikre at bæreevnen af dækket ikke kompromitteres denne vej.

For eksempelvis Rib 3 og Rib 14 forøges klimabelastningen med 0,12 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup>/år ved konverteringen fra BK4 til BK2, mens CLT 3 kun forøges med 0,02 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup>/år. Dette skyldes dels, at CLT-løsningerne ikke skal have tilføjet mere brandgips for at kunne anvendes i BK2, samt at CLT 3 ikke benytter en trinlydsplade. Den mineralske trinlydsplade, som benyttes i BK2, har nemlig et 50% højere klimaaftryk end den biobaserede.

Både i BK4 og BK2 kan større perforeringer af brandgipsen (K2 60 / A2-s1,d0) ikke accepteres, hvis brandmodstanden forringes. Mindre perforeringer i form af huller fra søm og skruer accepteres, da omfanget af mulig lufttilførsel, som er nødvendig for en vedvarende forbrænding, vil være yderst begrænset og dermed negligerbar.

Generelt giver BK4 mulighed for at fravige fra de præ-accepterede løsninger gennem fx komparative analyser, hvilket ikke er muligt i BK2. Byggerier i BK4 har derfor flere muligheder for at indarbejde biobaserede produkter.



**Figur 20.** Sammenligning af klimapåvirkning fra BK4 til BK2 med udgangspunkt i et etageboligbygger med overgulv under 12 meter over terræn og bærende princip i træ. Opbygninger markeret med \* har en samlet masse under 250 kg/m<sup>2</sup> og bør jf. BR18 følge anbefalingen i Boliger – Tabel 2.1 Lydisolation.



CO<sub>2</sub>-aftrykket forøges op til 22 % ved konverteringen fra BK4 til BK2.



# PERSPEKTIVERING

Formålet med dette afsnit er at synliggøre klimapotentialet ved brug af biobaserede etagedæk, samt at pege på interessante fremtidige dækopbygning med de erfaringer, der er opstået gennem projektet.

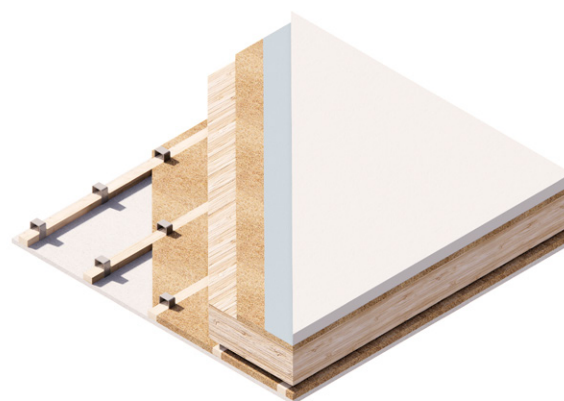
# PERSPEKTIVERING

En sammenligning af de 23 biobaserede etagedæk viser en potentiel klimareduktion på 1,5 kg CO<sub>2</sub>-ækv./m<sup>2</sup>/år ift. Ref 1 på kvadratmeter etagedæk. For at synliggøre størrelsesordenen af potentialet, er der foretaget en ekstrapolering af klimareduktionen. Hvis fremtidige etageboliger bygges med en optimal biobaserede løsning i stedet for en standard huldæksløsning (Ref 1), kan klimabelastningen reduceres med 54.000 tons CO<sub>2</sub>ækv./år, under forudsætning af at der også fremadrettet bygges 1.100.000 m<sup>2</sup> etageboliger om året (se afsnit 4 Lovkrav i Bygningsreglementet). Til sammenligning kom Klimapartnerskabet for bygge- og anlægssektoren i 2019 med anbefalinger til regeringen om konkrete forslag til CO<sub>2</sub>-reducerende tiltag. 27 tiltag som frem til 2030 skal bidrage til en samlet CO<sub>2</sub>-reduktion på 5.800.000 ton CO<sub>2</sub> pr. år. De biobaserede etagedæk rummer derfor et betydeligt potentiale.

En række interessante resultater blev observeret i afsnit 7. Eksempelvis indikerer resultaterne, at det er CO<sub>2</sub>-mæssigt fordelagtigt at introducere et lydbøjleloft fremfor ekstra pladelag i gulvopbygningen for at overholde lydkravene. Lydbøjlelofter giver desuden muligheden for at overholde den lavfrekvente anbefaling for lette etageadskillelser jf. BR18. Brugen af lydbøjlelofter

Hvis fremtidige etageboliger bygges med en optimal biobaserede løsning i stedet for en standard huldæksløsning (Ref 1), kan klimabelastningen reduceres med 54.000 tons CO<sub>2</sub>ækv./år

CLT 5



muliggør derfor at minimere anhydritlaget fra 80 mm til 40 mm (eksempelvis på CLT 5) og dermed både minimere klimabelastningen og den økonomiske udgift.

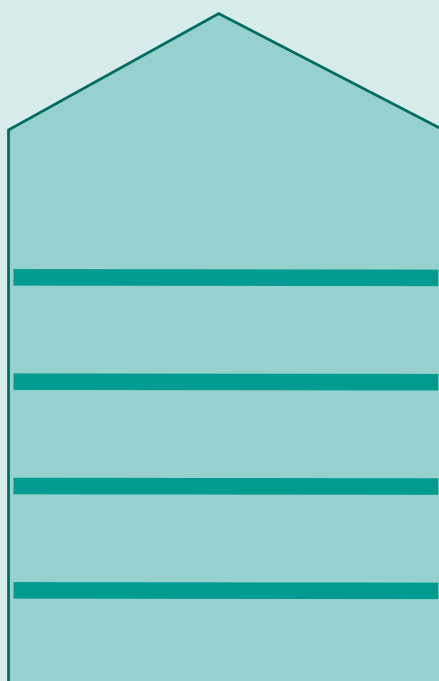
Udover klimagevinsten ved at benytte anhydrit/calciumsulfat, så svinder det hellere ikke ligesom et betonlag, hvilket overflødiggjør et rionet og muliggør gulvvarme i en laghøjde helt ned til 40 mm. De 40 mm giver bedre regulering og mulighed for at minimere fremløbstemperaturen, hvilket ift. en varmepumpeløsning kan forbedre COP'en. I tillæg kan interimsvarme i byggefasen mindskes ved at man kan åbne op for varmen tidligere i processen. I forhold til de tekniske installationer, vil brugen af gulvvarmeslange sammenlignet med radiatorer desuden ofte kunne give en klimabesparelse på 0,15-0,25 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup>/år på bygningsniveau, hvilket også bør have i mente. Udfordringen med gulvvarmeslanger er at de typisk indstøbes i beton, hvilket øger klimaaftrykket. Erfaringer som blev gjort i forbindelse med udarbejdelse af defaultværdierne for installationer til BR18 (MOE, 2022).

# KLIMABESPARELSESPOTENTIAL

Der bygges

**1.100.000 m<sup>2</sup>**

etageboliger i  
Danmark årligt.

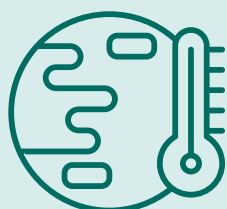


Etagedæk  
udgør typisk

**60-80 %**

af det samlede areal.

## Besparelsespotential



~1,5 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup>/år

~54.000 tons CO<sub>2</sub>ækv/år

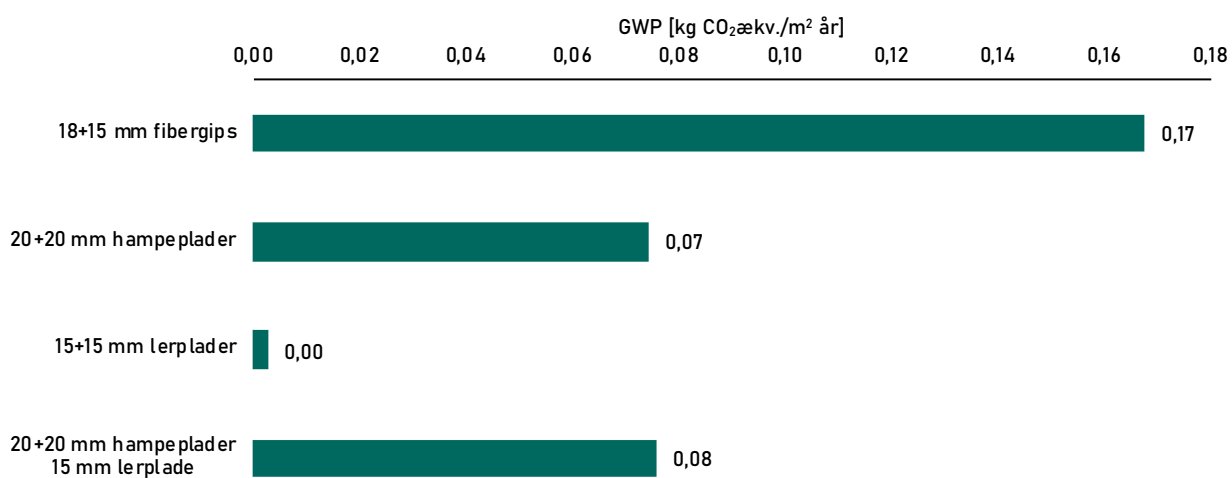
Resultaterne viser eksempelvis CO<sub>2</sub>-aftryk ned til 0,39 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup>/år for ribbedækket, hvilket potentielt er en klimareduktion i forhold til Ref 1 på 83 %.

I et økonomisk- og klimamæssigt perspektiv bør gulvpå-strøer opbygningen også fremhæves. Dens simple opbygning, betyder få materialer i opbygningen, som er positivt for både klimaaftrykket og økonomien.

For de biobaserede etagedæk udgør brandbeskyttelsessystemet (K2 60 / A2-s1,d0) en betydelig andel af klimaaftrykket. Udfordringen er, at alternativer til brandgipsen fx hamp- eller lerplader, som kunne være interessant i et klimaperspektiv, mangler dokumentation i forhold til gældende brandkrav. For at illustrere

klimapotentialer er forskellige loftpladeløsninger sammenlignet i Figur 21. Fremtidige løsninger bør anvende brandtests til at overkomme denne barriere og dermed minimere klimaaftrykket yderligere.

På baggrund af resultaterne fra afsnit 7, og videre refleksioner fra teamet bag, er der i Tabel 9, Tabel 10 og Tabel 11 sammensat interessante dækopbygninger for henholdsvis ribbe-, CLT- og trækassettedækket. Løsningerne forsøger at pege på fremtidige opbygninger og søger kompromisser mellem klima, akustik, brand og økonomi. Løsningerne skal vise et potentiale, men kan ikke nødvendigvis anvendes direkte i dag. Eksempelvis kan det være nødvendigt med supplerende test i forhold til brand og akustik, hvis producenterne ikke kan levere den nødvendige information. Resultaterne viser eksempelvis CO<sub>2</sub>-aftryk ned til 0,39 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup>/år for ribbedækket, hvilket potentielt er en klimareduktion i forhold til Ref 1 på 83 %.



Figur 21. Sammenligning af klimapåvirkningen for forskellige loftpladeløsninger.

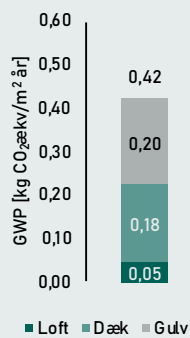


**Tabel 9.** Fremtidige ribbedæksopbygninger – potentialer

| Ribbedæk opbygninger | Klimaaftryk<br>[kg CO <sub>2</sub> ækv./m <sup>2</sup> år] | Højde | Økonomi | Akustisk vurdering   |   |
|----------------------|--|-------|---------|--|---|
|                      |  |       |         | Luftlydisolation, R <sub>w</sub><br>(Krav: R <sub>w</sub> ≥ 55 dB) | Trinlydniveau, L <sub>w,n</sub><br>(Krav: L <sub>n,w</sub> ≤ 53 dB) |

**FORSLAG R1 (Synlige bjælker)**

|   |      |
|---|------|
| <b>GULV</b>   | 0,20 |
| 13 mm trægulv   | 0,04 |
| 1 mm gulvpap  | 0,01 |
| 10mm sandwichpanel med pap-sand-pap (Phonestar)                     | 0,03 |
| 2 x 20mm trinlydsplade, træfiber (Woodfiber 140 kg/m <sup>3</sup> ) | 0,08 |
| 90 mm tørler, bikubesystem  | 0,05 |
| <b>DÆK</b>  | 0,18 |
| 60 mm CLT   | 0,04 |
| 240x240mm limtræsbjælker C/C 1150mm                                 | 0,13 |
| <b>LOFT</b>   | 0,05 |
| 157mm papirisolering, løs (Ekovilla 30 kg/m <sup>3</sup> )          | 0,01 |
| 60x60mm træreglar C/C 450mm   | 0,01 |
| 2x15 lerplader  | 0,00 |
| Spartelmasse  | 0,01 |
| 2 lag maling  | 0,01 |



454 mm      1,6      **58 (+3 dB)**      **50 (+3 dB)**

**FORSLAG R2 (Ikke synlige bjælker)**

|   |      |
|---|------|
| <b>GULV</b>   | 0,18 |
| 22 mm trægulv   | 0,06 |
| 40x63mm kerto strøer  | 0,00 |
| 45mm Lydkiler (Knudsen Kilder)                                | 0,11 |
| 45 mm isolering, træfiber mellem strøer (Hunton)              | 0,01 |
| <b>DÆK</b>  | 0,18 |
| 60 mm CLT   | 0,04 |
| 240x240mm limtræsbjælker C/C 1150mm                           | 0,13 |
| <b>LOFT</b>   | 0,09 |
| 95 mm isolering, træfiberplade (Hunton 50 kg/m <sup>3</sup> ) | 0,03 |
| Lydbøjler (VIKAS eller Senor)                                 | 0,03 |
| 45x70 træreglar CC 600 mm                                     | 0,01 |
| 22x100mm forskalling  | 0,00 |
| 2x15 lerplader  | 0,00 |
| Spartelmasse  | 0,01 |
| 2 lag maling  | 0,01 |

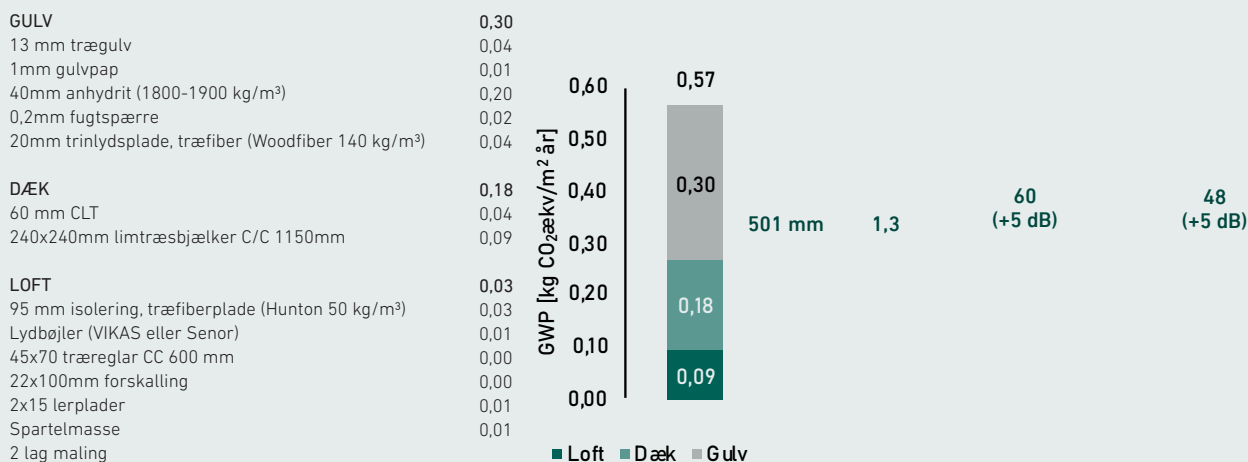


557 mm      1,3      **58 (+3 dB)**      **50 (+3 dB)**

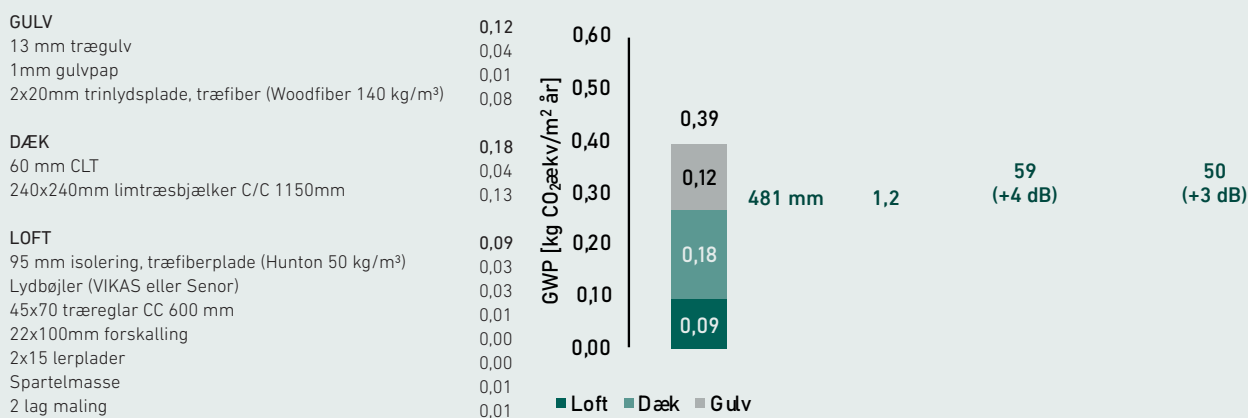
**Tabel 9.** Fremtidige ribbedæksopbygninger – potentialer

| Ribbedæk opbygninger | Klimaaftryk<br>[kg CO <sub>2</sub> ækv./m <sup>2</sup> år] | Højde | Økonomi | Akustisk vurdering   |   |
|----------------------|--|-------|---------|--|---|
|                      |  |       |         | Luftlydisolation, R <sub>w</sub><br>(Krav: R <sub>w</sub> ≥ 55 dB) | Trinlydniveau, L <sub>w,n</sub><br>(Krav: L <sub>n,w</sub> ≤ 53 dB) |

**FORSLAG R3 (Ikke synlige bjælker)**



**FORSLAG R4 (Ikke synlige bjælker)**

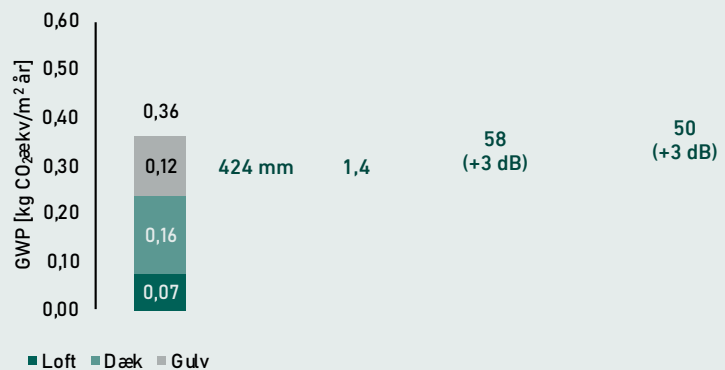


**Tabel 10.** Fremtidige CLT-opbygninger - potentialer

| CLT-opbygninger | Klimaaftryk<br>[kg CO <sub>2</sub> ækv./m <sup>2</sup> år] | Højde | Økonomi | Akustisk vurdering   |   |
|-----------------|--|-------|---------|--|---|
|                 |  |       |         | Luftlydisolation, R <sub>w</sub><br>(Krav: R <sub>w</sub> ≥ 55 dB) | Trinlydniveau, L <sub>w,n</sub><br>(Krav: L <sub>w,n</sub> ≤ 53 dB) |

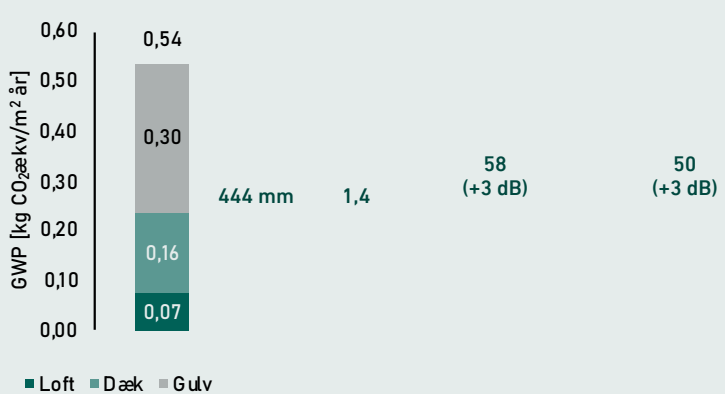
**FORSLAG C1**

|   |      |
|---|------|
| <b>GULV</b>   | 0,12 |
| 13 mm trægulv   | 0,04 |
| 1mm gulvpap   | 0,01 |
| 2x20mm trinlydsplade, træfiber (Woodfiber 140 kg/m <sup>3</sup> ) | 0,08 |
| <b>DÆK</b>  | 0,16 |
| 240 mm CLT  | 0,16 |
| <b>LOFT</b>   | 0,07 |
| 45 mm isolering, træfiberplade (Hunton 50 kg/m <sup>3</sup> )     | 0,01 |
| Lydbøjler (VIKAS eller Senor)                                     | 0,03 |
| 45x70 træreglar CC 600 mm   | 0,01 |
| 2x15 lerplader  | 0,00 |
| Spartelmasse  | 0,01 |
| 2 lag maling  | 0,01 |



**FORSLAG C2**

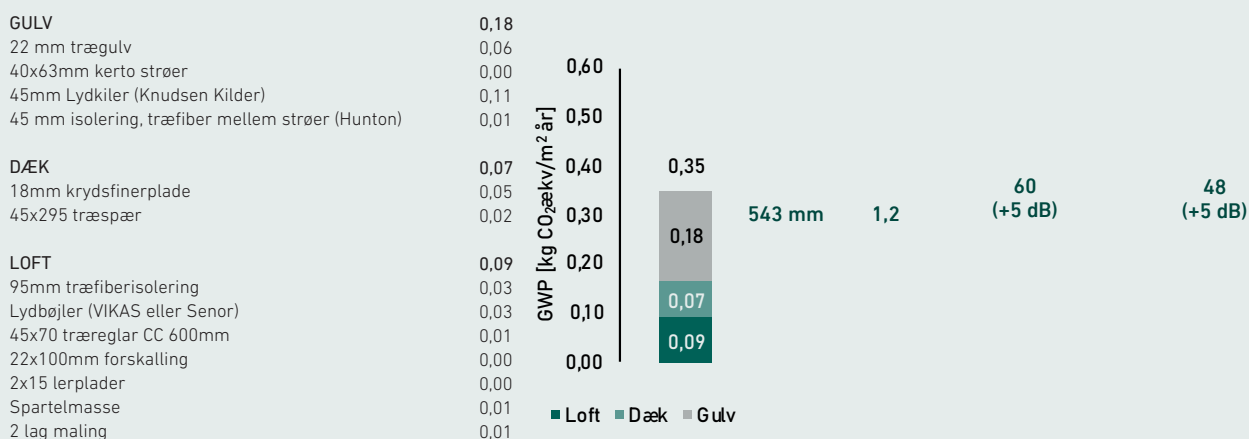
|   |      |
|---|------|
| <b>GULV</b>   | 0,30 |
| 13 mm trægulv   | 0,04 |
| 1mm gulvpap   | 0,01 |
| 40mm anhydrit (1800-1900 kg/m <sup>3</sup> )                    | 0,20 |
| 0,2mm fugtspærre  | 0,02 |
| 20mm trinlydsplade, træfiber (Woodfiber 140 kg/m <sup>3</sup> ) | 0,04 |
| <b>DÆK</b>  | 0,16 |
| 240 mm CLT  | 0,16 |
| <b>LOFT</b>   | 0,07 |
| 45 mm isolering, træfiberplade (Hunton 50 kg/m <sup>3</sup> )   | 0,01 |
| Lydbøjler (VIKAS eller Senor)                                   | 0,03 |
| 45x70 træreglar CC 600 mm                                       | 0,01 |
| 2x15 lerplader  | 0,00 |
| Spartelmasse  | 0,01 |
| 2 lag maling  | 0,01 |



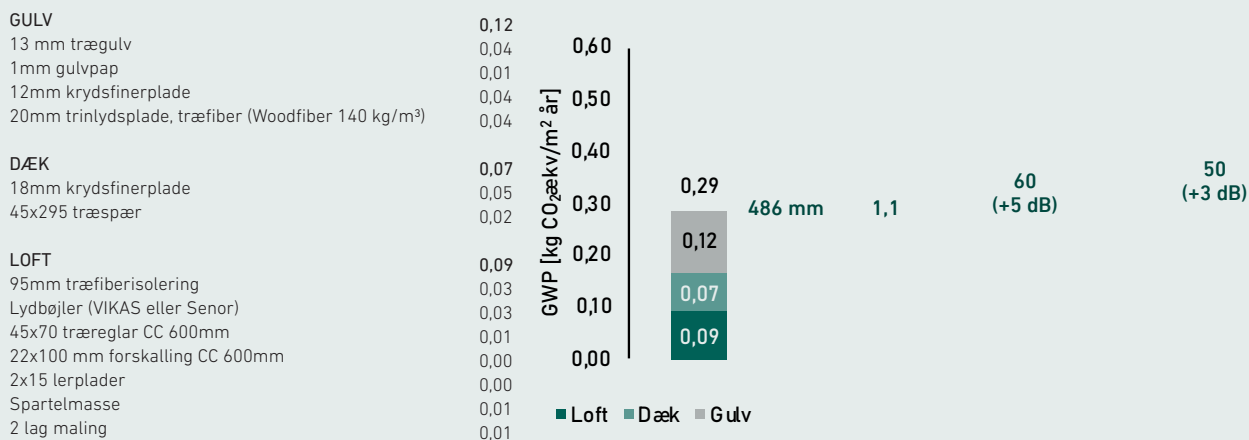
**Tabel 11.** Fremtidige trækassettedæk opbygninger – potentialer.

| Trækassette opbygninger | Klimaaftryk<br>[kg CO <sub>2</sub> ækv./m <sup>2</sup> år] | Højde | Økonomi<br>Klimaaftryk<br>[kg CO <sub>2</sub> ækv./m <sup>2</sup> år] | Akustisk vurdering   |   |
|-------------------------|--|-------|---|--|---|
|                         |  |       |   | Luftlydisolation, R <sub>w</sub><br>(Krav: R <sub>w</sub> ≥ 55 dB) | Trinlydniveau, L <sub>w,n</sub><br>(Krav: L <sub>n,w</sub> ≤ 53 dB) |

**FORSLAG K1**



**FORSLAG K2**



**Tabel 11.** Fremtidige trækassettedæk opbygninger – potentialer.

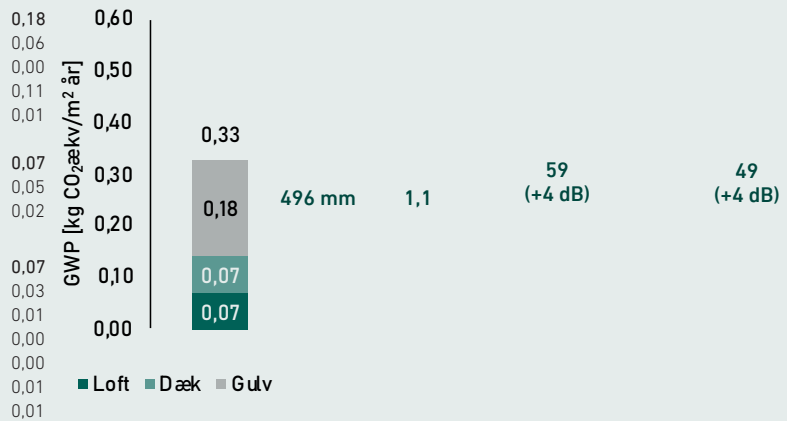
| Trækassette opbygninger | Klimaaftryk<br>[kg CO <sub>2</sub> ækv./m <sup>2</sup> år] | Højde | Økonomi | Akustisk vurdering   |   |
|-------------------------|--|-------|---------|--|---|
|                         |  |       |         | Luftlydisolation, R <sub>w</sub><br>(Krav: R <sub>w</sub> ≥ 55 dB) | Trinlydniveau, L <sub>w,n</sub><br>(Krav: L <sub>w,n</sub> ≤ 53 dB) |

**FORSLAG K3**

**GULV**  
 22 mm trægulv  
 40x63mm kerto strøer  
 45mm Lydkiler (Knudsen Kilder)  
 45 mm isolering, træfiber mellem strøer (Hunton)

**DÆK**  
 18mm krydsfinerplade  
 45x295 træspær

**LOFT**  
 95mm træfiberisolering  
 Lydbøjler (Knauf eller Gyproc)\*  
 22x100 mm forskalling CC 600mm  
 2x15 lerplader  
 Spartelmasse  
 2 lag maling





# DISKUSSION

En diskussion af barrierer og muligheder ved brug af biobaserede etagedæk.

# DISKUSSION

Klimaudfordringerne betyder, at der generelt er behov for at kigge kritisk på vores nuværende krav i forhold til både energi, brand, akustik og konstruktioner, for at vurdere, om vi kan acceptere mere lempelige krav. Eksempelvis lavere sikkerhedsmargin i forhold til brand og konstruktioner og mindre komfort til fordel for et lavere klimaaftryk. Et godt eksempel er, hvis den lavfrekvente anbefaling i BR18 ændres til et decideret krav. Konsekvensen er flere materialer og dermed et højere klimaaftryk. I forhold til klimaforandringer skal der indgås kompromis, eksempelvis også ift. økonomien, hvor de biobaserede løsninger i dag er dyrere end en traditionel huldæksløsning. Vi bliver derfor nødt til at diskutere, hvor langt vi er villige til at gå for klimaet.

På baggrund af måleresultaterne fra dette projekt giver den lavfrekvente anbefaling for lydisolations i BR18 ikke mening. Hvis man ønsker at inkludere det lavfrekvente område, så bør anbefalingen tilrettes til ikke kun at gælde for dæk med en masse under 250 kg/m<sup>2</sup>, fordi dæk med højere masse kan også have udfordringer ved de lave frekvenser.

I tillæg til denne diskussion bør usikkerhederne mellem laboratiormålinger og bygningsmålinger undersøges. Normalt tillægges laboratioreværdier en margin på 3-5 dB, der skal håndtere usikkerhederne ved indbygning af dækket i selve bygningen. Marginen kan dog variere meget afhængig af det specifikke byggeri. Erfaringer

fra træbyggeriet Woodhub (søjle-/bjælkebyggeri med CLT-dæk), viser dog at laboratioreværdier faktisk også kan være lavere efter indbygning. Forklaringen kan skyldes fastholdelse af dækket i den færdige bygning, mens etageadskillelsen ofte ligger løst i måleåbningen ved laboratiormålinger. Dette betyder at etagedækket kan svinge uhindret og efterklangstiden i strukturen bliver derfor længere end ved fastholdelse af dækket. Resultatet heraf kan være, at lydisolationsen for etagedækket vil stige, når det indbygges i forhold til målt i laboratoriet. Et fremtidigt projekt bør undersøge dette fænomen, som potentielt kan bidrage til at fjerne noget af sikkerhedsmarginen.

I forhold til fremtidige løsninger bør forbruget af konstruktionstræ altid optimeres, hvilket er en af styrkerne for ribbedæksløsningerne ift. CLT-løsningerne. Ribbedækket halverer træmængden i den bærende del. Generelt bør det altid tilstræbes at optimere materialeforbruget, for at sikre ressourcen til fremtiden. Referencedækkene Ref 4 og Ref 5 er eksempler på, hvor lidt konstruktionstræ der behøves i den bærende del. Nogle af udfordringer for disse dæktyper er belyst i Tabel 2, men for byggerier op til 3-4 etager er det relevante og brugbare løsninger.

Udover at optimere forbruget af konstruktionstræ, bør der fokuseres på hurtigt voksende biobaserede produkter, som har en kort vækstperiode og dermed kan regenereres hurtigt. Dette har været en udfordring i nærværende projekt, fordi de relevante biobaserede materialer ofte er træbaserede med en vækstperiode på 30-50 år. I Rib 6 er der anvendt en korkplade, som har en kortere vækstperiode end træ, men ellers er der ikke arbejdet med andre biobaserede materialer end træbaserede. Udfordringen er at materialer som halm, bambus og hamp på nuværende tidspunkt har et meget begrænset antal oplagte produkter, som kunne anvendes i projektet. Dette forventes dog at komme i løbet af de kommende år, hvorefter opbygningerne bør

**Vi bliver derfor nødt til at diskutere, hvor langt vi er villige til at gå for klimaet.**



|  | Akustiktest (RIB 8)                   | MiniCO <sub>2</sub> Etagehus TRÆ      |
|--|---------------------------------------|---------------------------------------|
|  | 13 mm trægulv                         | 14 mm trægulv                         |
|  | 1 mm gulvpap                          | 1 mm gulvpap                          |
|  | 22 mm gulvspånplade                   | 22 mm gulvspånplade                   |
|  | 2 x 12,5 mm fibergips                 | 12,5+15 mm fibergips                  |
|  | 2 x 20 mm trinlydsplade               | 40 mm trinlydsplade, træfiber         |
|  | 12 mm krydsfiner                      | 15-16 mm krydsfiner                   |
|  | 77 mm sand                            | 60 mm sand i bikubesystem             |
|  | 60 mm CLT                             | 60 mm CLT                             |
|  | 240x240 mm limtræsbjælker C/C 1150 mm | 240x240 mm limtræsbjælker C/C 1150 mm |
|  | 157 mm papirisolering, løs            | 157 mm papirisolering, løs            |
|  | 60x60 mm træreglar C/C 450 mm         | 60x60 mm træreglar C/C 450 mm         |
|  | 15+18 mm fibergips                    | 15+18 mm fibergips                    |

**Tabel 12.** Forskellen på Rib 8 og den anvendte etagedæksopbygning i MiniCO<sub>2</sub> Etagehus Træ. Rød skrift markerer hvilke lag, som er ændret.

opdateres med hurtigt voksende biobaserede produkter, hvor det giver mening.

I forbindelse med fastlægges af klimabelastningen fra etagedækkene blev miljødatakvaliteten også undersøgt, hvor resultaterne viste store forskelle afhængigt af, om der anvendes generisk data + branche EPD eller produktspecifikke EPD'er (for de materialer som ikke havde en EPD, er der anvendt generisk data eller branche EPD'er). Resultaterne viser signifikante forskelle, som kan skævvride sammenligningsgrundlaget og potentielt kan føre til forkerte beslutninger i de indledende faser, hvor vi ikke nødvendigvis kender de endelige produkter endnu. Årsagen skyldes primært, at det generiske datagrundlag for biobaserede materialer er begrænset, eksempelvis for træfiberisolering. Der bør generelt altid tilstræbes at benytte produktspecifikke oplysninger for at sikre et præcist og troværdigt datagrundlag, når der skal tages beslutninger om løsninger.

I forhold til byggeriet MiniCO<sub>2</sub> Etagehus TRÆ danner Rib 8 udgangspunkt for den valgte opbygning i etageadskillelsen. På trods af at Rib 14 har et lavere klimaaftryk, overholder lydkravene med fornuftig margin og umiddelbart er løsningen økonomisk billigere end Rib 8. Forklaringen skyldes flere ting, dels at Rib 14 opstod relativt sent i processen, således at der allerede var et låst elementprojekt, hvilket ville have betydet massiv

omprojektering. Rækkefølgen mellem test og projektering har derfor ikke været optimal, hvilket betød at akustikeren manglende viden og erfaring om Rib 14 til at kunne anbefale den. Herudover var det udførelsmæssigt vanskeligt at skabe en helt plan overflade på grund af hårde lerklumper, mens sandlaget ikke gav samme udfordringer. Alle disse omstændigheder gjorde at valget af etagedæk til MiniCO<sub>2</sub> Etagehus TRÆ tog udgangspunkt i Rib 8. Fremtidige løsninger bør dog kigge i retningen af stampet ler som masselag.

Til sidst er det vigtigt at fastslå, at rapporten er ikke et projekteringsværktøj, men kan eksempelvis bruges i de indledende faser til at vise mulighederne for biobaserede etagedæk, se Kataloget. Det optimale etagedæk vil dog være et kompromis mellem klimabelastning, akustik, økonomi, arkitektur, statik, brand m.m., som varierer fra projekt til projekt. I takt med at miljødatagrundlaget opdateres, bør de beregnede klimabelastninger ajourføres.



# REFLEKSIONER

# REFLEKSIONER

Baggrunden for dette projekt har været et stort ønske om at undersøge alternative etagedæksopbygningers akustiske performance. For dermed at skabe større viden og erfaring med biobaserede etagedæk, som alternativer til det traditionelle etagedæk af beton og ikke-brandbare isoleringsmaterialer. Projektet har vist et betydeligt klimabesparelspotentiale ved brug af biobaserede materialer, hvor CO<sub>2</sub>-aftrykket kan mere end halveres og samtidig overholde gældende krav i bygningsreglementet BR18.

## Klima

- Biobaserede etagedæk rummer et stort klimamæssigt besparelspotentiale ift. en traditionel huldæksløsning
- Mængden af træ-ressourcer kan reduceres signifikant gennem ribbedæks- eller kasetteløsninger sammenligning med CLT
- Etagedækshøjden og miljødatakvaliteten kan have signifikant indvirkning på klimaaftrykket og bør derfor inddrages for at sikre et retvisende beslutningsgrundlag

## Akustik

- Et fuldt dækkende akustikloft har en betydelig dæmpende effekt, som minimerer behovet for pladelag i gulvopbygningen
- Ved ikke fuldt dækkende akustikloft (fx for ribbedæk med synlige bjælker) er der brug for masselag og mange løse pladelag for at overholde akustikkravene
- Brugen af akustiklofterne muliggør desuden overholdelse af den lavfrekvente anbefaling for lette etageadskillelser jf. BR18

## Økonomi

- De biobaserede løsninger er i dag noget dyrere end en traditionel betonløsning
- Mange pladelag er dyrt i både materialer og mandetimer
- Perspektiveringerne indikerer dog at den økonomiske forskel mellem de biobaserede etagedæk og huldæksløsningen kan minimeres, mens de signifikante CO<sub>2</sub>-besparelser bibeholdes

## Brand

- Brandbeskyttelsessystemet (K2 60 / A2-s1,d0) for de biobaserede etagedæk udgør en betydelig andel af klimaaftrykket
- Alternativer som hamp- eller lerplader mangler dog dokumentation i forhold til gældende brandkrav

Projektet "Fremtidens biobaserede etagedæk" har bidraget til at skabe et øget vidensgrundlag om biobaserede etagedæk, men det er også fremadrettet nødvendigt at finde kompromiser og diskutere vores nuværende krav for at imødekomme klimaudfordringerne. Samtidig ser nye produkter og miljødata hele tiden dagens lys, hvorfor vidensgrundlaget også løbende bør ajourføres.

# REFERENCER

- Bolig- og Planstyrelsen, 2023. *Bygningsreglementet BR18*. [Online]  
Available at: <https://bygningsreglementet.dk/Tekniske-bestemmelser/11/Krav>
- Danmarks Statistik, 2022. <https://www.statistikbanken.dk>. [Online]  
Available at: <https://www.statistikbanken.dk/bygb34>
- Dansk Standard, 2018. *Lydklassifikation af boliger*, s.l.: Dansk Standard DS 490:2018.
- Hill-Hansen, D. et al., 2022. *Reduction Roadmap: Preconditions and Methodologies V2*, s.l.: [www.reductionroadmap.dk](http://www.reductionroadmap.dk).
- IPCC, 2021. *Summary for Policymakers: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, s.l.: IPCC.
- Klimapartnerskabet for bygge- og anlægssektoren, 2020. *Anbefalinger til regeringen fra Klimapartnerskabet for bygge-og anlægssektoren*, s.l.: s.n.
- MOE, 2022. *Oplæg til defaultværdier for installationer - etageboliger, kontorbyggerier, skoler og daginstitutioner*, s.l.: Social- og Boligstyrelsen.
- Rasmussen, T. V., Thybring, E. E., Munch-Andersen, J. & et al., 2022. *Biogene materialers anvendelse i byggeriet*, s.l.: BUILD 2022:09.
- Realdania, 2022. *Udviklingsbyggeriet MiniCO<sub>2</sub> Etagehus TRÆ*. [Online]  
Available at: <https://realdania.dk/projekter/minico2-etagehus-tr%C3%A6>
- VCBK, 2022. *Videncenter om Bygningers Klimapåvirkninger*. [Online]  
Available at: <https://byggeriogklima.dk/casebibliotek/>
- World Green Building Council, 2019. *Bringing embodied carbon upfront - Coordinated action for the building and construction sector to tackle embodied carbon*, s.l.: World Green Building Council.
- Zimmermann, R. K., Andersen, C. E., Kanafani, K. & Birgisdóttir, H., 2020. *Klimapåvirkning fra 60 bygninger*, BUILD: s.n.

BILAG



# BILAG



# BILAG A: LYDKRAV TIL BOLIGER I VORES OMGIVENDE LANDE

Lydkravene i vores nabolande varierer fra vores krav, men er grundlæggende blot en forskellig efterbehandling af måledata, idet selve måleproceduren er ens. Tabel 9 angiver lydkravene lodret mellem to boliger, for nogle af de lande, som vi normalt sammenligner os med. Det kan observeres, at der er forskellige måder at udtrykke kravene på.

Der har været en debat om, at der er mere lempelige lydkrav i Sverige end i Danmark. Umiddelbart er tallene for Sverige også lidt mere lempelige, men hvis der tages hensyn til de to forskellige måder at udtrykke lydisolationen på, er forskellen minimal. Lavfrekvenskorrektur i Sverige er desuden en del af lovgivningen, mens det er en anbefaling i Danmark. Luftlydskravene vurderes derfor nogenlunde identiske for de to lande.

Anbefalingerne indeholder et korrektionsleddet (C) til det vægtede resultat. Dette korrektionsled angiver egenskaber ved lave frekvenser, hvor de normale begreber for luftlydisolation og trinlydniveau ikke dækker. Korrektionsleddene kan altid beregnes for et givet måleresultat, såfremt målingen er gennemført ned til 50 Hz.

**Tabel 1.** Lydkravene i de omkringliggende lande

|          | Luftlydisolation            |       | Trinlydniveau                   |       | Kommentarer  |
|----------|-----------------------------|-------|---------------------------------|-------|--|
| Danmark  | $R'_w \geq$                 | 55 dB | $L'_{n,w} \leq$                 | 53 dB | Anbefaling   |
|          | $R'_w + C_{50-3150} \geq$   | 53 dB | $L'_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq$ | 53 dB |  |
| Finland  | $D_{nT,w} \geq$             | 55 dB | $L_{nT,w} + C_{1,50-2500} \leq$ | 53 dB |  |
| Island   | $R'_w \geq$                 | 55 dB | $L'_{n,w} \leq$                 | 53 dB |  |
| Norge    | $R'_w \geq$                 | 55 dB | $L'_{n,w} \leq$                 | 53 dB | NS 8175:2012 gældende<br>NS 8175:2019 ikke indført |
|          | $R'_w + C_{50-5000} \geq$   | 54 dB | $L_{nT,w} + C_{1,50-2500} \leq$ | 54 dB |  |
| Sverige  | $D_{nT} + C_{50-3150} \geq$ | 52 dB | $L_{nT,w} + C_{1,50-2500} \leq$ | 56 dB |  |
| Tyskland | $R'_w \geq$                 | 54 dB | $L'_{n,w} \leq$                 | 50 dB | Etageboliger                                       |

# BILAG B: LABORATORIEMÅLE- RESULTATER VERSUS I FÆRDIGE BYGNINGER

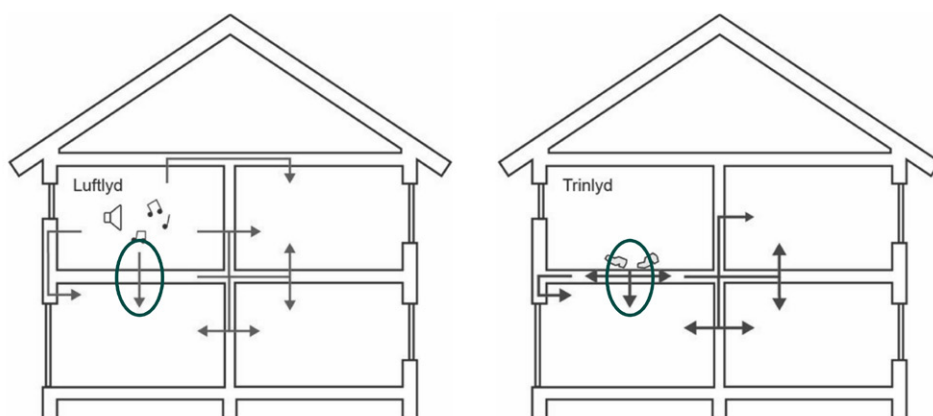
I forbindelse med lydmålinger i laboratorier vil der kun være en forsvindende flanketransmission, hvis mindstekravene til sådanne lokaler overholdes. Flanketransmission er den lydtransmission, der kommer igennem via de bærende vægge – altså udenom selve etageadskillelsen i et konkret byggeri. Dette er illustreret i Figur 20.

Målerummene er opbygget, så flanketransmission stort set elimineres, hvilket betyder at de opnåede resultater repræsenterer den direkte lyd gennem etageadskillelsen. Når etageadskillelserne skal anvendes i praksis, skal alle øvrige transmissionsveje indregnes. BR18-kravene gælder for lydisolationen mellem rummene, og ikke kun for den adskillende konstruktion. DTU's akustiklaboratorier opfylder kravene til faciliteterne i målestandarderne, hvor laboratoriet er opbygget af tunge, dobbelte betonkonstruktioner med meget lavt flanketransmissionsniveau. Generelt er gulvopbygningerne bygget udover selve måleåbningen, for at eliminere risikoen for en lydbro mellem testdækket og målerumsdækket.

Den målte akustiske performance i laboratoriet er det bedste udgangspunkt for at udvælge dækløsninger til et konkret projekt, fordi resultaterne er uafhængige af en konkret bygning. For at håndtere usikkerheden mellem laboratorieværdier og in-situ værdier, bør laboratorieværdierne tillægges en margin, der vurderes ift. usikkerheder mellem de to målesituationer samt de efterfølgende udfordringer. Generelt bør marginen ligge omkring 3-5 dB eller højere afhængig af vægtype.

Flanketransmissionen afhænger i høj grad af de bærende konstruktioner. Der kan vælges bærende konstruktioner med lavt eller højt flanketransmissionsniveau, hvor akustikeren må vurdere behovet for supplerende dæmpning. Eksempelvis vil bærende CLT- eller porebeton vægge medføre et relativt stort bidrag til flanketransmissionen, som eventuelt skal dæmpes med elastiske mellemlag ved etageadskillelsens overgang til de bærende vægge. Omvendt kan en søjle/bjælkekonstruktion med lette ikke-bærende vægge give en ret stor beskyttelse mod generende flanketransmission.

En anden usikkerhed er fastholdelse af dækket. Ved målinger i laboratoriet ligger etageadskillelsen løst i måleåbningen, og tættes derefter med mineraluld og fugemasse, således der ikke kommer lydtransmission udenom selve etagedækket. Dækket ligger altså løst i åbningen, hvilket betyder at etagedækket kan svinge stort set uhindret af montagen. Når dækket kan svinge/vibrere uhindret, betyder det at efterklangstiden i strukturen bliver længere, end når etagedækket fastholdes af øvrige statiske konstruktioner. Altså ved en indbygning af etageadskillelsen i en bygning, vil strukturefterklangstiden i de bærende dæk blive reduceret i forhold til den frie montering, der sker i laboratoriet. Resultatet heraf er, at lydisolationen for etagedækket kan stige, når det indbygges ift. målt i laboratoriet.



**Figur 1.** Støjens transmissionsveje. Den direkte støj er markeret med grønt, og er de bidrag der måles på et prøveemne i laboratoriet.

# BILAG C: AKUSTIK MÅLEMETODE OG Udstyr

## MÅLEMETODE OG STANDARDER

Målinger og beregning af resultater følger nedenstående standarder:

- **DS/EN ISO 10140-2:2021**  
"Akustik – Laboratoriemåling af bygningselementers lydisolation, måling af luftlydisolation".
- **DS/EN ISO 10140-3:2021**  
"Akustik – Laboratoriemåling af bygningselementers lydisolation, måling af trinlydisolation".
- **DS/EN ISO 717-1:2020**  
"Akustik – Vurdering af lydisolation i bygninger og af bygningselementer, luftlydisolation".
- **DS/EN ISO 717-2:2020**  
"Akustik – Vurdering af lydisolation i bygninger og af bygningselementer, trinlydisolation".

## ANVENDT MÅLEUDSTYR

Det anvendte måleudstyr er under løbende kontrol og kalibrering i henhold til retningslinjerne fra Miljøstyrelsens Referencelaboratorium for Støjmålinger. Måleudstyret, der er anvendt ved nærværende målinger, er anført i følgende tabel:

| Instrument           | Fabrikat     | Type     | Serienummer | Senest kaliberet |
|----------------------|--------------|----------|-------------|------------------|
| Håndholdt analysator | Brüel & Kjær | B&K 2270 | 3004792     | 2022-10-07       |
| Mikrofon kalibrator  | Brüel & Kjær | B&K 4231 | 2592108     | 2022-05-31       |
| Håndholdt analysator | Norsonic     | Nor 140  | 1404285     | 2021-05-28       |
| Mikrofon kalibrator  | Norsonic     | Nor 1251 | 32893       | 2021-11-18       |
| Effektforstærker     | Norsonic     | Nor 280  | 2803934     | -                |
| Dodekaederhøjtaler   | Norsonic     | Nor 276  | 2765581     | -                |
| Bankemaskine         | Norsonic     | Nor 277  | 2775648     | -                |

# BILAG D: BEREGNINGSMETODE FOR KLIMABELASTNING

Dette bilag er en uddybende beskrivelse af den anvendte metodik for beregning af klimabelastningen for de undersøgte etagedæk. Metoden følger vejledningerne i BR18.

## BYGNINGSMODELLEN

Detaljeringsniveauet i det udførte klimaberegninger følger § 297, Stk. 4, Bygningsdele, som definerer hvilke materialer, der skal medregnes i en bygnings-LCA jf. BR18 Bilag 2 tabel 6.

## MILJØDATA

De udførte klimaberegninger anvender miljødata jf. § 297, stk. 5, Datagrundlag, som definerer hvilke miljødata der kan benyttes i forbindelse med en bygnings-LCA. I projektet er både det generiske datagrundlag fra BR18, bilag 2, tabel 7 og miljøvaredeklarationer (EPD'er) benyttet.

## SYSTEMAFGRÆNSNING

En bygnings livscyklus kan opdeles i moduler og processer i henhold til EN15978, hvor den anvendte systemafgrænsning i nærværende rapport er visualiseret i Tabel 2. Denne afgrænsning følger § 297, stk. 2, Livscyklus og betragtningsperiode i BR18.

- **Produkt (A1-A3):** Miljøpåvirkning forbundet med udvinding af råmateriale, forarbejdning, transport samt produktion til fremstilling af det samlede byggemateriale.
- **Udskiftning (B4):** Miljøpåvirkning relateret til udskiftning af byggematerialer gennem bygningens levetid (B4)
- **Drift (B6):** Miljøpåvirkning forbundet med energi til bygningsdrift dvs. varme- og elforbrug (B6)
- **Endt levetid (C3 og C4):** Miljøpåvirkning relateret til affaldsbehandling (C3) samt bortskaffelse af byggematerialet (C4) efter endt levetid.
- **Næste levetid (D):** Modul D angiver potentialet for genbrug, genanvendelse og nyttiggørelse af byggevarer efter endt levetid. Det er derfor bidraget fra byggevarer, som udskiftes i løbet af betragtningsperioden samt bidraget ved nedrivning af bygningen. I nærværende rapport er resultatet for bygningens klimabelastning angivet eksklusivt bidraget fra modul D.

**Tabel 2.** Livscyklusfaser iht. EN 15978. Systemafgrænsningen anvendt for resultaterne præsenteret i nærværende rapport er markeret med rød.

| Livscyklus stadier | Produkt      |           |              | Byggeproces |                     | Brug |              |            |             |            |                         |                       | Endt levetid          |           |                   |               | Udenfor projekt  |
|--------------------|--------------|-----------|--------------|-------------|---------------------|------|--------------|------------|-------------|------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|-------------------|---------------|--|
|                    | A1           | A2        | A3           | A4          | A5                  | B1   | B2           | B3         | B4          | B5         | B6                      | B7                    | C1                    | C2        | C3                | C4            | D  |
| Moduler            |              |           |              |             |                     |      |              |            |             |            |                         |                       |                       |           |                   |               |  |
| Processer          | Råmaterialer | Transport | Fremstilling | Transport   | Opførelse/montering | Brug | Vedligeholde | Reparation | Udskiftning | Renovering | Energiforbrug til drift | Vandforbrug til drift | Nedtagning/nedrivning | Transport | Affaldsbehandling | Bortskaffelse | Potentiale for genbrug, genanvendelse og nyttiggørelse |

## LEVETIDER

Levetider for de anvendte bygningsdele følger levetiderne i rapporten BUILD RAPPORT 2021:32 – BUILD levetidstabel – Version 2021. Byggematerialer med kortere levetid end betragtningsperioden på 50 år, antages at skulle udskiftes i løbet af de 50 år, og dermed skal klimapåvirkningen fra den nye bygningsdel også medregnes i bygningens samlede klimaregnskab. I overensstemmelse med § 297, Stk. 7, Levetider betragtes løbende malingsarbejde som vedligeholdelse som hører under modul B2, hvilket ikke medregnes i beregningen af bygningens klimapåvirkning, jf. § 297.

**REFERENCEENHED:  
KG CO<sub>2</sub>-ÆKV./M<sup>2</sup> ÅR**

## REFERENCEENHED

Den europæiske standard EN 15978 angiver en række miljøpåvirkningskategorier og ressourceindikatorer, som resultater for en livscyklusanalyse. I nærværende notat fokuseres primært på klimapåvirkningen som en indikator for global opvarmning. På graferne angives denne indikator som GWP – Global Warming Potential. Enheden for klimapåvirkningen angives i kg CO<sub>2</sub>-ækv. og opgøres derudover per arealenhed og år.

I projektet vil klimabelastningen både blive opgjort ift. arealenheden jf. BR18 § 297, Stk. 3, Arealopgørelse på bygningsniveau samt på komponent niveau dvs. pr. kvartmeter etagedæk.

Livscyklusberegningerne udføres over en betragtningsperiode på 50 år. Der er ikke tale om bygningens reelle forventede levetid, men en standard betragtningsperiode for at sikre sammenlignelighed mellem forskellige projekter.

Alle resultater præsenteret i nærværende rapport er derfor angivet med følgende referenceenhed for klimapåvirkningen evalueret over en betragtningsperiode på 50 år.



# KATALOG

FREMTIDENS BIOBASEREDE  
ETAGEDÆK



ARTELIA

# RIB 1

Samlet klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk:

0,35 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år

Samlet etagedækshøjde:

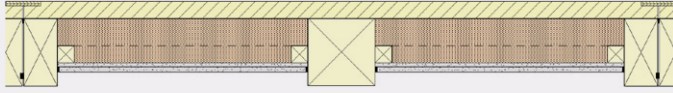
300 mm

Økonomisk indeks ift. Ref 1:

1,1

Etagedæksmasse:

95 kg/m<sup>2</sup>



## BYGBARHED

Antal arbejds gange: Præfab.  
Tunge arbejds gange: Ingen  
Arbejde over hoved: Ingen

## KOMMENTARER

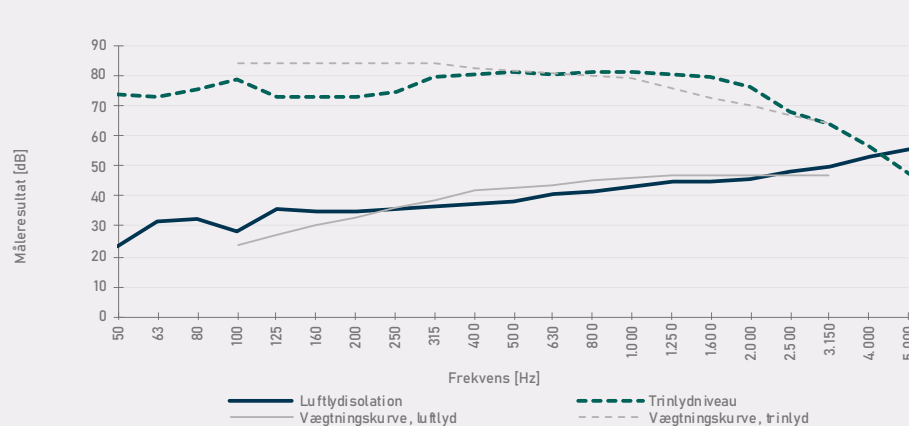
Inkluderet for at teste  
råelementet

## Klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk [kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år]



## Akustike måleresultater

|                  |  |       |  |       |        |         |
|------------------|--|-------|--|-------|--------|---------|
| LUFTLYDISOLATION | LABMÅLING<br>$R_w =$                     | 43 dB | KRAV<br>$R'_w \geq$                      | 55 dB | MARGIN | - 12 dB |
|                  | LABMÅLING<br>$R_w + C_{50-3150} =$       | 42 dB | ANBEFALING<br>$R'_w + C_{50-3150} \geq$  | 53 dB | MARGIN | - 11 dB |
| TRINLYDNIVEAU    | LABMÅLING<br>$L_{n,w} =$                 | 81 dB | KRAV<br>$L'_{n,w} \leq$                  | 53 dB | MARGIN | - 28 dB |
|                  | LABMÅLING<br>$L_{n,w} + C_{1,50-2500} =$ | 82 dB | ANBEFALING<br>$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ | 53 dB | MARGIN | - 29 dB |



| Frekvens Hz | R dB | L <sub>n</sub> dB |
|-------------|------|-------------------|
| 50          | 23,7 | 73,6              |
| 63          | 31,8 | 73,2              |
| 80          | 32,2 | 75,5              |
| 100         | 28,4 | 78,5              |
| 125         | 35,6 | 73,4              |
| 160         | 35,2 | 73,4              |
| 200         | 34,6 | 73,1              |
| 250         | 35,7 | 75,1              |
| 315         | 36,7 | 79,5              |
| 400         | 37,7 | 80,8              |
| 500         | 38,6 | 81,5              |
| 630         | 40,6 | 80,8              |
| 800         | 41,7 | 81,1              |
| 1000        | 43,0 | 81,7              |
| 1250        | 44,7 | 80,6              |
| 1600        | 44,8 | 79,6              |
| 2000        | 45,4 | 76,1              |
| 2500        | 48,6 | 68,5              |
| 3150        | 50,1 | 64,2              |
| 4000        | 53,4 | 56,5              |
| 5000        | 56,0 | 47,4              |

Skillefladeareal: 9,8 m<sup>2</sup>

Modtagerum vol.: 246,0 m<sup>3</sup>

# RIB 2

Samlet klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk:

**0,80 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år**

Samlet etagedækshøjde:

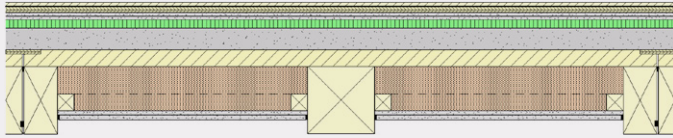
**468 mm**

Økonomisk indeks ift. Ref 1:

**1,7**

Etagedæksmasse:

**275 kg/m<sup>2</sup>**



## BYGBARHED

Antal arbejds gange: Middel  
(delvis præfab.)

Tunge arbejds gange: Spånplade,  
gulvgips og sand

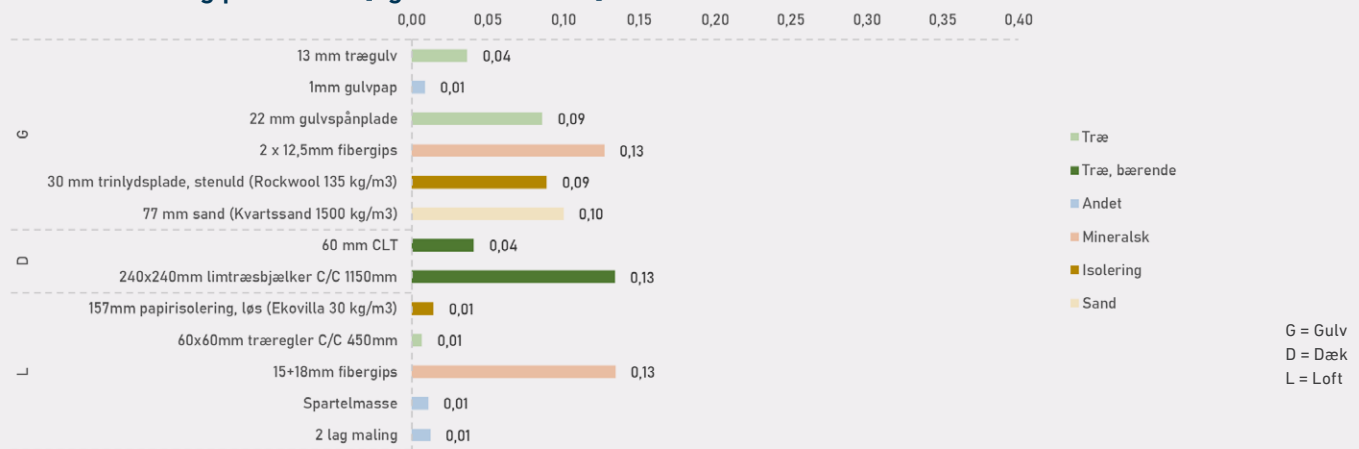
Arbejde over hoved: Ingen (præfab.)

## KOMMENTARER

Føring af installationer i sandlag

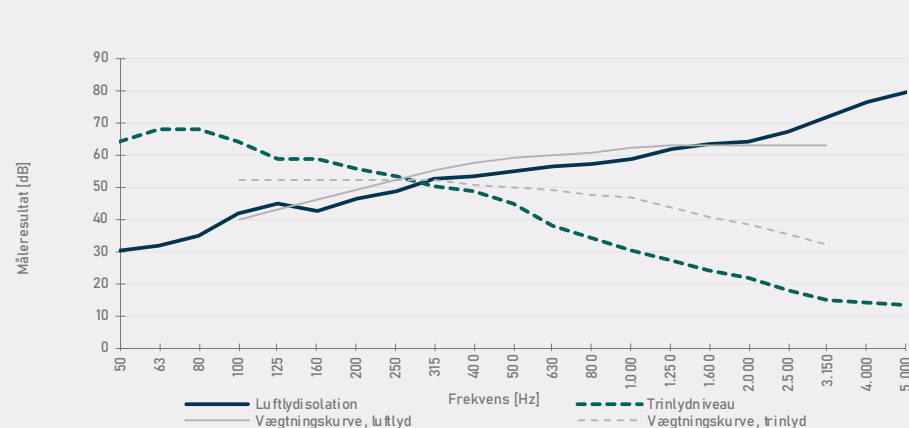
Gulvvarme kræver tilføjelse af  
varmefordelingsplader

## Klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk [kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år]



## Akustike måleresultater

|                  |  |              |  |              |        |               |
|------------------|--|--------------|--|--------------|--------|---------------|
| LUFTLYDISOLATION | LABMÅLING<br>$R_w =$                     | <b>59 dB</b> | KRAV<br>$R'_w \geq$                        | <b>55 dB</b> | MARGIN | <b>+ 4 dB</b> |
|                  | LABMÅLING<br>$R_w + C_{50-3150} =$       | <b>56 dB</b> | ANBEFALING<br>$R'_w + C_{50-3150} \geq$    | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>+ 3 dB</b> |
| TRINLYDNIVEAU    | LABMÅLING<br>$L_{n,w} =$                 | <b>50 dB</b> | KRAV<br>$L'_{n,w} \leq$                    | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>+ 3 dB</b> |
|                  | LABMÅLING<br>$L_{n,w} + C_{1,50-2500} =$ | <b>58 dB</b> | ANBEFALING<br>$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} =$ | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>- 5 dB</b> |



| Frekvens<br>Hz | R<br>dB | L <sub>n</sub><br>dB |
|----------------|---------|----------------------|
| 50             | 30,1    | 64,3                 |
| 63             | 32,0    | 68,3                 |
| 80             | 34,8    | 68,0                 |
| 100            | 41,6    | 64,5                 |
| 125            | 44,7    | 59,1                 |
| 160            | 42,8    | 58,7                 |
| 200            | 46,2    | 56,0                 |
| 250            | 49,1    | 53,4                 |
| 315            | 52,6    | 50,1                 |
| 400            | 53,2    | 48,5                 |
| 500            | 55,0    | 44,8                 |
| 630            | 56,6    | 38,1                 |
| 800            | 57,2    | 34,0                 |
| 1000           | 58,6    | 30,4                 |
| 1250           | 62,1    | 26,8                 |
| 1600           | 63,1    | 24,3                 |
| 2000           | 64,2    | 21,6                 |
| 2500           | 67,5    | 17,7                 |
| 3150           | 72,3    | 14,6                 |
| 4000           | 76,3    | 14,1                 |
| 5000           | 79,5    | 13,4                 |

Skillefladeareal: 9,8 m<sup>2</sup>

Modtagerum vol.: 246,0 m<sup>3</sup>



# RIB 3

Samlet klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk:

**0,79 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år**

Samlet etagedækshøjde:

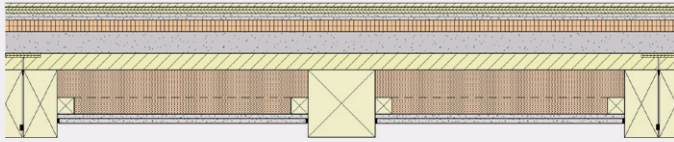
**478 mm**

Økonomisk indeks ift. Ref 1:

**1,7**

Etagedæksmasse:

**280 kg/m<sup>2</sup>**



## BYGBARHED

Antal arbejds gange: Middel  
(delvis præfab.)

Tunge arbejds gange: Spånplade,  
gulvgips og sand

Arbejde over hoved: Ingen (præfab.)

## KOMMENTARER

Føring af installationer i sandlag

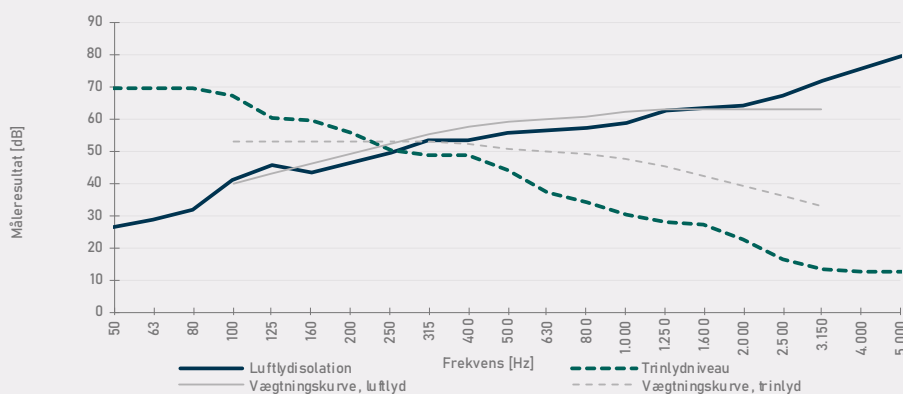
Gulvvarme kræver tilføjelse af  
varmefordelingsplader

## Klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk [kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år]



## Akustike måleresultater

|                  |  |              |  |              |        |               |
|------------------|--|--------------|--|--------------|--------|---------------|
| LUFTLYDISOLATION | LABMÅLING<br>$R_w =$                     | <b>59 dB</b> | KRAV<br>$R'_w \geq$                      | <b>55 dB</b> | MARGIN | <b>+ 4 dB</b> |
|                  | LABMÅLING<br>$R_w + C_{50-3150} =$       | <b>56 dB</b> | ANBEFALING<br>$R'_w + C_{50-3150} \geq$  | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>+ 3 dB</b> |
| TRINLYDNIVEAU    | LABMÅLING<br>$L_{n,w} =$                 | <b>51 dB</b> | KRAV<br>$L'_{n,w} \leq$                  | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>+ 2 dB</b> |
|                  | LABMÅLING<br>$L_{n,w} + C_{1,50-2500} =$ | <b>60 dB</b> | ANBEFALING<br>$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>- 7 dB</b> |



| Frekvens Hz | R dB | L <sub>n</sub> dB |
|-------------|------|-------------------|
| 50          | 26,3 | 69,5              |
| 63          | 28,4 | 69,9              |
| 80          | 32,0 | 69,3              |
| 100         | 41,2 | 67,2              |
| 125         | 45,9 | 60,7              |
| 160         | 43,6 | 59,8              |
| 200         | 46,3 | 56,0              |
| 250         | 49,2 | 50,5              |
| 315         | 53,4 | 48,6              |
| 400         | 53,5 | 49,1              |
| 500         | 55,6 | 44,2              |
| 630         | 56,6 | 37,5              |
| 800         | 57,2 | 34,0              |
| 1000        | 58,7 | 30,4              |
| 1250        | 62,3 | 28,3              |
| 1600        | 63,2 | 27,1              |
| 2000        | 64,2 | 22,5              |
| 2500        | 67,5 | 16,1              |
| 3150        | 72,0 | 13,0              |
| 4000        | 76,0 | 12,6              |
| 5000        | 79,5 | 12,2              |

Skillefladeareal: 9,8 m<sup>2</sup>

Modtagerum vol.: 246,0 m<sup>3</sup>

# RIB 4

Samlet klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk:

0,70 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år

Samlet etagedækshøjde:

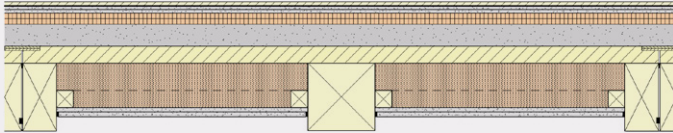
456 mm

Økonomisk indeks ift. Ref 1:

1,7

Etagedæksmasse:

265 kg/m<sup>2</sup>



## BYGBARHED

Antal arbejds gange: Middel  
(delvis præfab.)

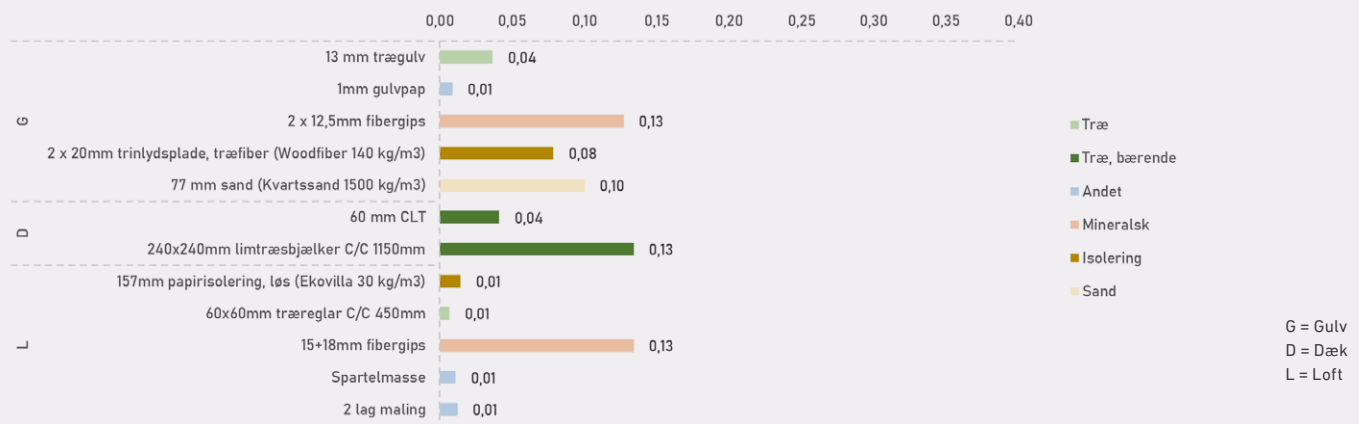
Tunge arbejds gange: Gulvgips og sand  
Arbejde over hoved: Ingen (præfab.)

## KOMMENTARER

Føring af installationer i sandlag

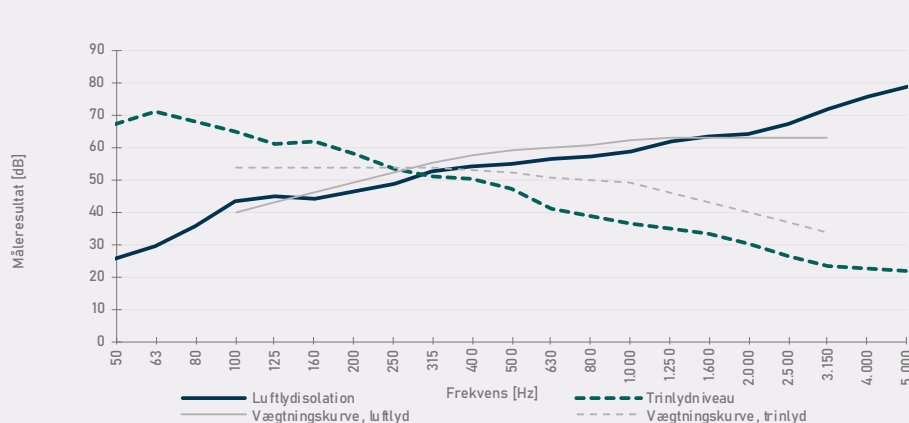
Gulvvarme kræver tilføjelse af varmefordelingsplader

## Klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk [kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år]



## Akustike måleresultater

|                  |  |       |  |       |        |        |
|------------------|--|-------|--|-------|--------|--------|
| LUFTLYDISOLATION | LABMÅLING<br>$R_w =$                     | 59 dB | KRAV<br>$R'_w \geq$                        | 55 dB | MARGIN | + 4 dB |
|                  | LABMÅLING<br>$R_w + C_{50-3150} =$       | 56 dB | ANBEFALING<br>$R'_w + C_{50-3150} \geq$    | 53 dB | MARGIN | + 3 dB |
| TRINLYDNIVEAU    | LABMÅLING<br>$L_{n,w} =$                 | 52 dB | KRAV<br>$L'_{n,w} \leq$                    | 53 dB | MARGIN | + 1 dB |
|                  | LABMÅLING<br>$L_{n,w} + C_{1,50-2500} =$ | 60 dB | ANBEFALING<br>$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} =$ | 53 dB | MARGIN | - 7 dB |



| Frekvens Hz | R dB | L <sub>n</sub> dB |
|-------------|------|-------------------|
| 50          | 25,3 | 67,6              |
| 63          | 29,9 | 70,9              |
| 80          | 35,4 | 68,3              |
| 100         | 43,7 | 65,1              |
| 125         | 45,2 | 61,3              |
| 160         | 44,1 | 62,0              |
| 200         | 46,4 | 57,9              |
| 250         | 48,8 | 53,6              |
| 315         | 52,8 | 51,0              |
| 400         | 54,0 | 50,1              |
| 500         | 55,2 | 47,1              |
| 630         | 56,8 | 41,3              |
| 800         | 57,2 | 38,6              |
| 1000        | 59,1 | 36,1              |
| 1250        | 62,2 | 34,6              |
| 1600        | 63,3 | 33,0              |
| 2000        | 64,4 | 30,5              |
| 2500        | 67,4 | 26,1              |
| 3150        | 72,1 | 23,3              |
| 4000        | 76,1 | 22,5              |
| 5000        | 79,2 | 21,9              |

Skillefladeareal: 9,8 m<sup>2</sup>

Modtagerum vol.: 246,0 m<sup>3</sup>

# RIB 5

Samlet klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk:

0,66 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år

Samlet etagedækshøjde:

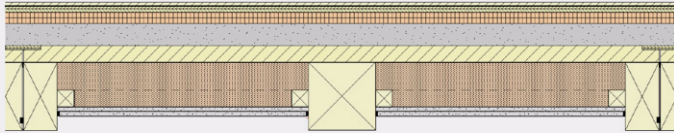
453 mm

Økonomisk indeks ift. Ref 1:

1,6

Etagedæksmasse:

250 kg/m<sup>2</sup>



## BYGBARHED

Antal arbejds gange: Middel  
(delvis præfab.)

Tunge arbejds gange: Spånplade  
og sand

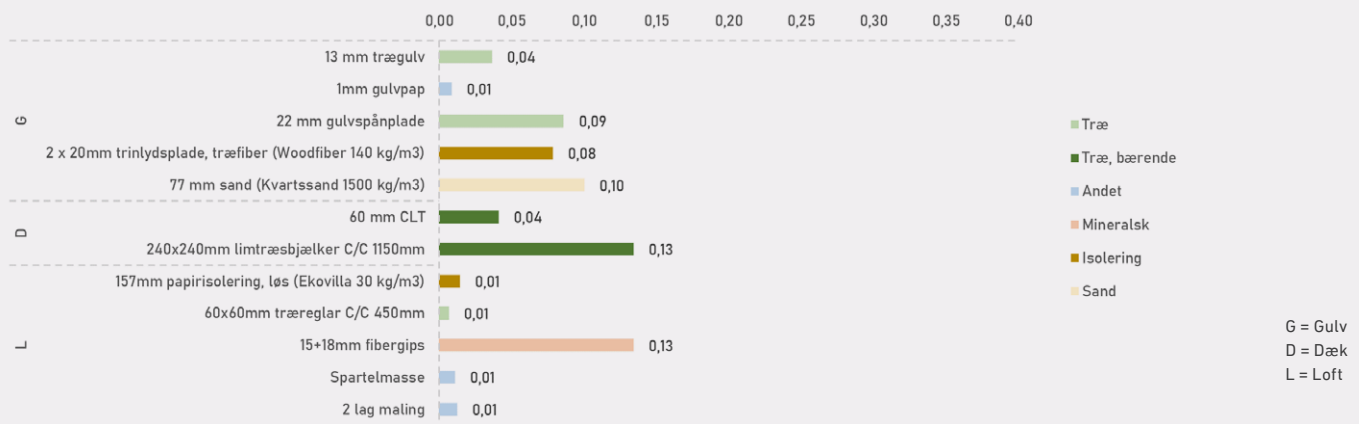
Arbejde over hoved: Ingen (præfab.)

## KOMMENTARER

Føring af installationer i sandlag

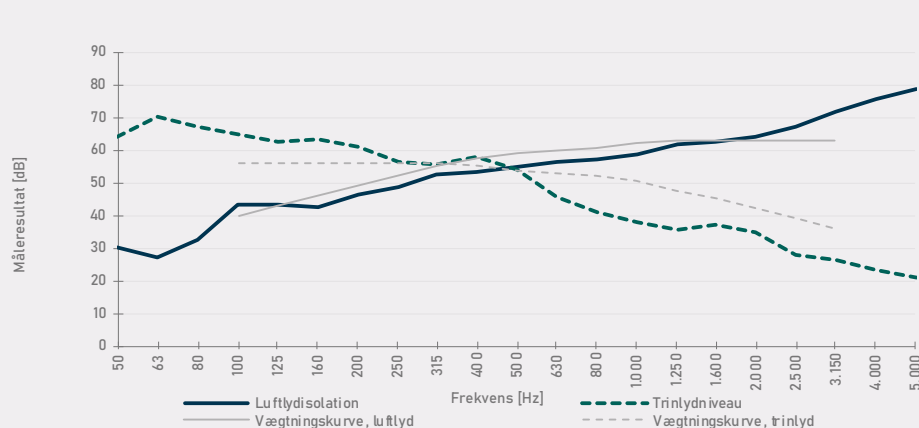
Gulvvarme kræver tilføjelse af  
varmefordelingsplader

## Klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk [kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år]



## Akustike måleresultater

| Luftlydisolation | LABMÅLING                         | KRAV                               | MARGIN |
|------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------|
|                  | $R_w = 59$ dB                     | $R'_w \geq 55$ dB                  | + 4 dB |
|                  | $R_w + C_{50-3150} = 56$ dB       | $R'_w + C_{50-3150} \geq 53$ dB    | + 3 dB |
| Trinlydniveau    | LABMÅLING                         | KRAV                               | MARGIN |
|                  | $L_{n,w} = 54$ dB                 | $L'_{n,w} \leq 53$ dB              | - 1 dB |
|                  | $L_{n,w} + C_{1,50-2500} = 60$ dB | $L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 53$ dB | - 7 dB |



| Frekvens [Hz] | R [dB] | L <sub>n</sub> [dB] |
|---------------|--------|---------------------|
| 50            | 30,4   | 64,5                |
| 63            | 27,4   | 70,6                |
| 80            | 32,9   | 67,3                |
| 100           | 43,7   | 65,2                |
| 125           | 43,5   | 62,6                |
| 160           | 42,9   | 63,2                |
| 200           | 46,6   | 60,9                |
| 250           | 48,8   | 56,8                |
| 315           | 52,5   | 55,9                |
| 400           | 53,7   | 57,9                |
| 500           | 55,1   | 54,1                |
| 630           | 56,9   | 45,4                |
| 800           | 57,3   | 41,1                |
| 1000          | 58,6   | 37,8                |
| 1250          | 61,9   | 35,7                |
| 1600          | 62,9   | 37,4                |
| 2000          | 64,2   | 34,9                |
| 2500          | 67,3   | 28,2                |
| 3150          | 71,7   | 26,4                |
| 4000          | 75,7   | 23,5                |
| 5000          | 78,9   | 20,8                |

Skillefladeareal: 9,8 m<sup>2</sup>

Modtagerum vol.: 246,0 m<sup>3</sup>

# RIB 6

Samlet klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk:

0,76 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år

Samlet etagedækshøjde:

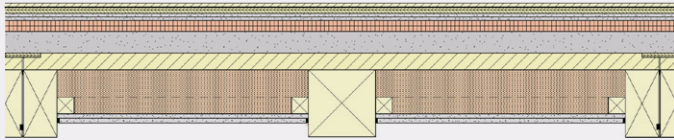
478 mm

Økonomisk indeks ift. Ref 1:

1,7

Etagedæksmasse:

276 kg/m<sup>2</sup>



## BYGBARHED

Antal arbejds gange: Middel  
(delvis præfab.)

Tunge arbejds gange: Spånplade  
gulvgips og sand

Arbejde over hoved: Ingen (præfab.)

## KOMMENTARER

Føring af installationer i sandlag

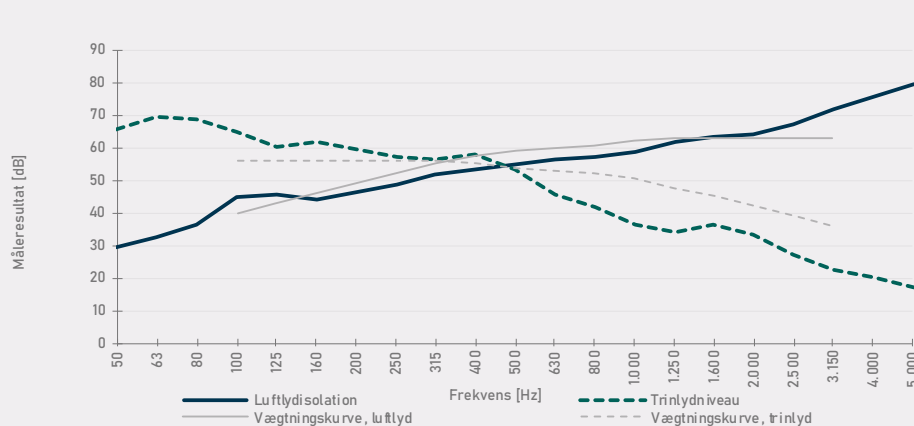
Gulvvarme kræver tilføjelse af  
varmefordelingsplader

## Klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk [kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år]



## Akustike måleresultater

| Category         | Measurement                           | Value | Requirement                           | Value | Margin | Value  |
|------------------|---------------------------------------|-------|---------------------------------------|-------|--------|--------|
| LUFTLYDISOLATION | LABMÅLING $R_w =$                     | 59 dB | KRAV $R'_w \geq$                      | 55 dB | MARGIN | + 4 dB |
|                  | LABMÅLING $R_w + C_{50-3150} =$       | 57 dB | ANBEFALING $R'_w + C_{50-3150} \geq$  | 53 dB | MARGIN | + 4 dB |
| TRINLYDNIVEAU    | LABMÅLING $L_{n,w} =$                 | 54 dB | KRAV $L'_{n,w} \leq$                  | 53 dB | MARGIN | - 1 dB |
|                  | LABMÅLING $L_{n,w} + C_{1,50-2500} =$ | 59 dB | ANBEFALING $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ | 53 dB | MARGIN | - 6 dB |



| Frekvens Hz | R dB | L <sub>n</sub> dB |
|-------------|------|-------------------|
| 50          | 29,3 | 65,4              |
| 63          | 32,4 | 69,3              |
| 80          | 36,7 | 68,5              |
| 100         | 45,3 | 65,0              |
| 125         | 45,5 | 60,3              |
| 160         | 43,9 | 61,8              |
| 200         | 46,6 | 59,7              |
| 250         | 48,5 | 56,9              |
| 315         | 52,1 | 56,4              |
| 400         | 53,6 | 58,2              |
| 500         | 54,9 | 53,4              |
| 630         | 56,2 | 45,6              |
| 800         | 57,5 | 41,8              |
| 1000        | 58,9 | 36,5              |
| 1250        | 62,1 | 33,8              |
| 1600        | 63,3 | 36,3              |
| 2000        | 64,5 | 33,0              |
| 2500        | 67,4 | 27,0              |
| 3150        | 71,9 | 22,7              |
| 4000        | 76,1 | 19,9              |
| 5000        | 79,8 | 16,8              |

Skillefladeareal: 9,8 m<sup>2</sup>

Modtagerum vol.: 246,0 m<sup>3</sup>

# RIB 7

Samlet klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk:

**0,83 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år**

Samlet etagedækshøjde:

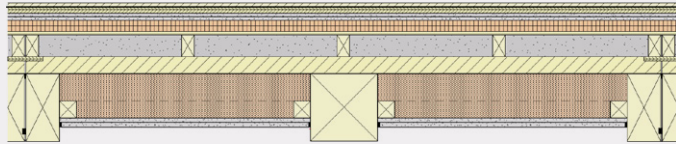
**490 mm**

Økonomisk indeks ift. Ref 1:

**1,9**

Etagedæksmasse:

**280 kg/m<sup>2</sup>**



## BYGBARHED

Antal arbejdsgange: Høj (delvis præfab.)

Tunge arbejdsgange: Spånplade og gulvgips (sand - mulighed for præfab.)  
Arbejde over hoved: Ingen (præfab.)

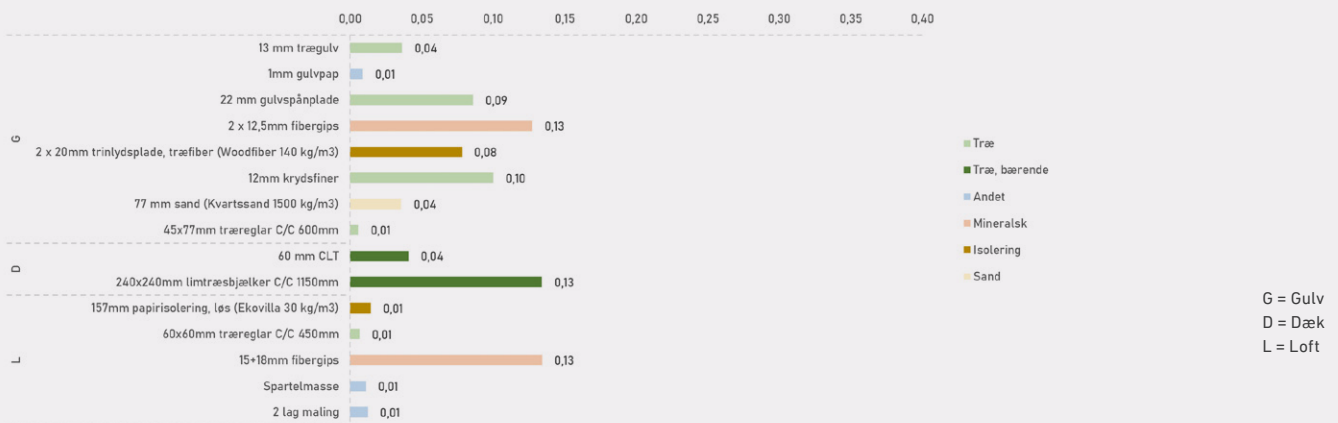
## KOMMENTARER

Føring af installationer i sandlag

Gulvvarme kræver tilføjelse af varmefordelingsplader

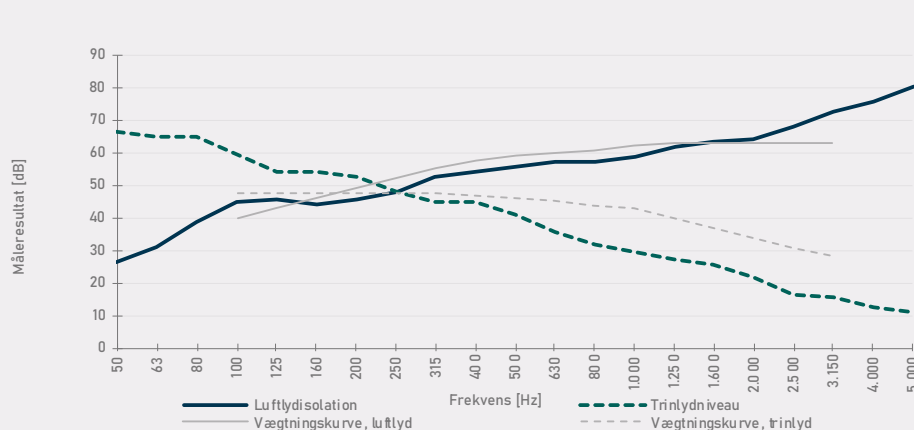
Mulighed for præfab. af masselaget

## Klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk [kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år]



## Akustike måleresultater

| Luftlydisolation | LABMÅLING                         | KRAV                               | MARGIN |
|------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------|
|                  | $R_w = 59$ dB                     | $R'_w \geq 55$ dB                  | + 4 dB |
|                  | $R_w + C_{50-3150} = 57$ dB       | $R'_w + C_{50-3150} \geq 53$ dB    | + 4 dB |
| Trinlydniveau    | LABMÅLING                         | KRAV                               | MARGIN |
|                  | $L_{n,w} = 46$ dB                 | $L'_{n,w} \leq 53$ dB              | + 7 dB |
|                  | $L_{n,w} + C_{1,50-2500} = 56$ dB | $L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 53$ dB | - 3 dB |



| Frekvens Hz | R dB | L <sub>n</sub> dB |
|-------------|------|-------------------|
| 50          | 26,0 | 66,8              |
| 63          | 31,1 | 64,7              |
| 80          | 38,5 | 65,3              |
| 100         | 44,7 | 59,5              |
| 125         | 45,6 | 54,4              |
| 160         | 44,5 | 54,1              |
| 200         | 45,9 | 52,4              |
| 250         | 48,1 | 48,1              |
| 315         | 52,8 | 45,2              |
| 400         | 54,2 | 45,1              |
| 500         | 55,8 | 41,2              |
| 630         | 56,9 | 35,5              |
| 800         | 57,4 | 32,0              |
| 1000        | 59,0 | 29,6              |
| 1250        | 62,1 | 27,4              |
| 1600        | 63,1 | 25,3              |
| 2000        | 64,5 | 21,5              |
| 2500        | 68,0 | 16,7              |
| 3150        | 72,5 | 15,2              |
| 4000        | 76,1 | 12,5              |
| 5000        | 80,7 | 10,9              |

Skillefladeareal: 9,8 m<sup>2</sup>

Modtagerum vol.: 246,0 m<sup>3</sup>

# RIB 8

Samlet klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk:

**0,83 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år**

Samlet etagedækshøjde:

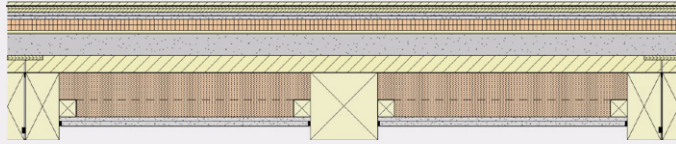
**490 mm**

Økonomisk indeks ift. Ref 1:

**1,9**

Etagedæksmasse:

**285 kg/m<sup>2</sup>**



## BYGBARHED

Antal arbejds gange: Høj (delvis præfab.)

Tunge arbejds gange: Spånplade, gulvgips, krydsfiner og sand

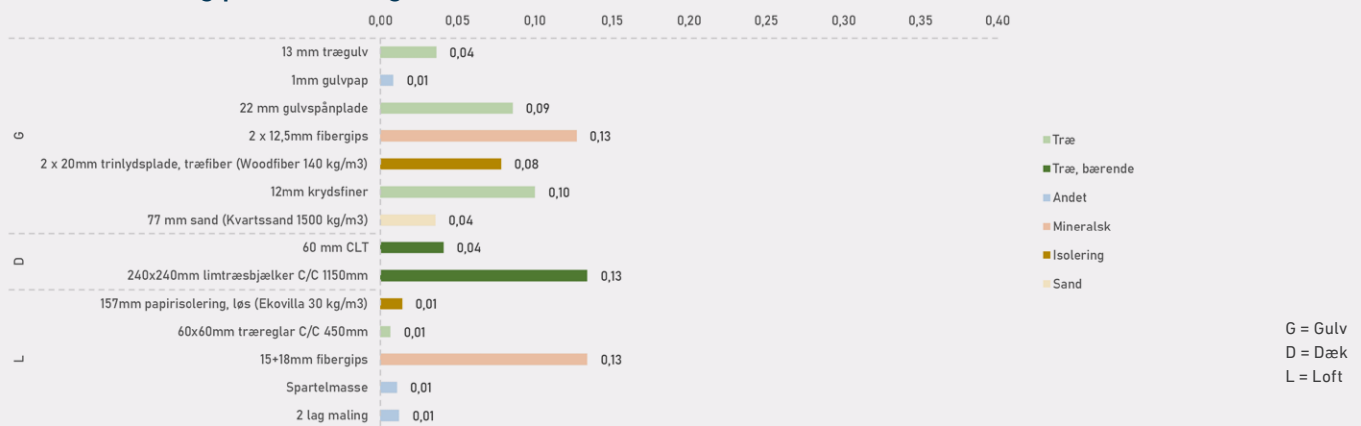
Arbejde over hoved: Ingen (præfab.)

## KOMMENTARER

Føring af installationer i sandlag

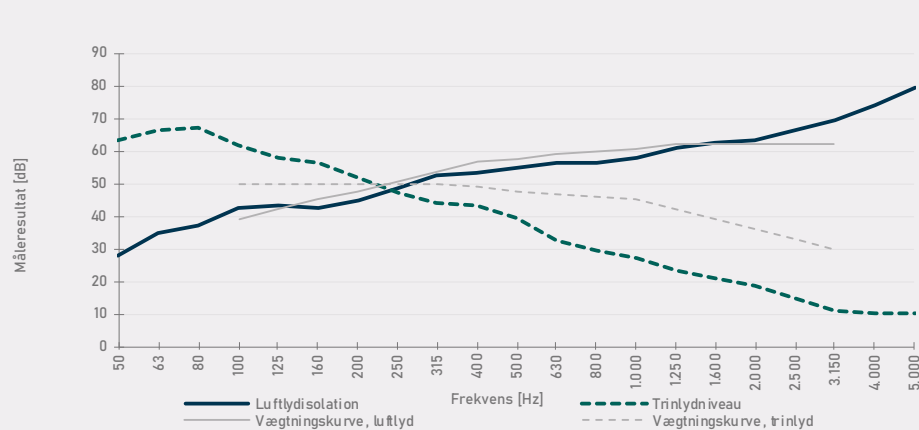
Gulvvarme kræver tilføjelse af varmefordelingsplader

## Klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk [kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år]



## Akustike måleresultater

|                  |  |              |  |              |        |               |
|------------------|--|--------------|--|--------------|--------|---------------|
| LUFTLYDISOLATION | LABMÅLING<br>$R_w =$                     | <b>58 dB</b> | KRAV<br>$R'_w \geq$                        | <b>55 dB</b> | MARGIN | <b>+ 3 dB</b> |
|                  | LABMÅLING<br>$R_w + C_{50-3150} =$       | <b>56 dB</b> | ANBEFALING<br>$R'_w + C_{50-3150} \geq$    | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>+ 3 dB</b> |
| TRINLYDNIVEAU    | LABMÅLING<br>$L_{n,w} =$                 | <b>48 dB</b> | KRAV<br>$L'_{n,w} \leq$                    | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>+ 5 dB</b> |
|                  | LABMÅLING<br>$L_{n,w} + C_{1,50-2500} =$ | <b>57 dB</b> | ANBEFALING<br>$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} =$ | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>- 4 dB</b> |



| Frekvens [Hz] | R [dB] | L <sub>n</sub> [dB] |
|---------------|--------|---------------------|
| 50            | 27,9   | 63,1                |
| 63            | 34,6   | 66,5                |
| 80            | 37,3   | 67,0                |
| 100           | 42,4   | 62,1                |
| 125           | 43,6   | 57,7                |
| 160           | 42,8   | 56,8                |
| 200           | 45,0   | 51,9                |
| 250           | 48,5   | 47,3                |
| 315           | 52,6   | 44,5                |
| 400           | 53,3   | 43,6                |
| 500           | 54,8   | 39,6                |
| 630           | 56,8   | 32,9                |
| 800           | 56,4   | 29,6                |
| 1000          | 57,9   | 27,4                |
| 1250          | 61,5   | 23,0                |
| 1600          | 62,4   | 20,7                |
| 2000          | 63,7   | 18,6                |
| 2500          | 66,4   | 14,6                |
| 3150          | 69,4   | 10,7                |
| 4000          | 73,9   | 9,8                 |
| 5000          | 79,3   | 10,1                |

Skillefladeareal: 9,8 m<sup>2</sup>

Modtagerum vol.: 246,0 m<sup>3</sup>

# RIB 9

Samlet klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk:

**0,82 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år**

Samlet etagedækshøjde:

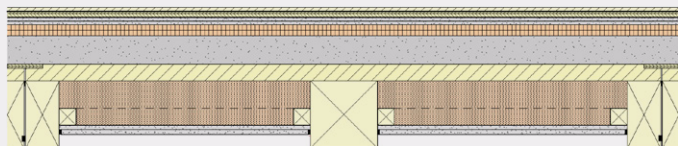
**501 mm**

Økonomisk indeks ift. Ref 1:

**1,8**

Etagedæksmasse:

**316 kg/m<sup>2</sup>**



## BYGBARHED

Antal arbejds gange: Middel  
(delvis præfab.)

Tunge arbejds gange: Spånplade,  
gulvgips og sand

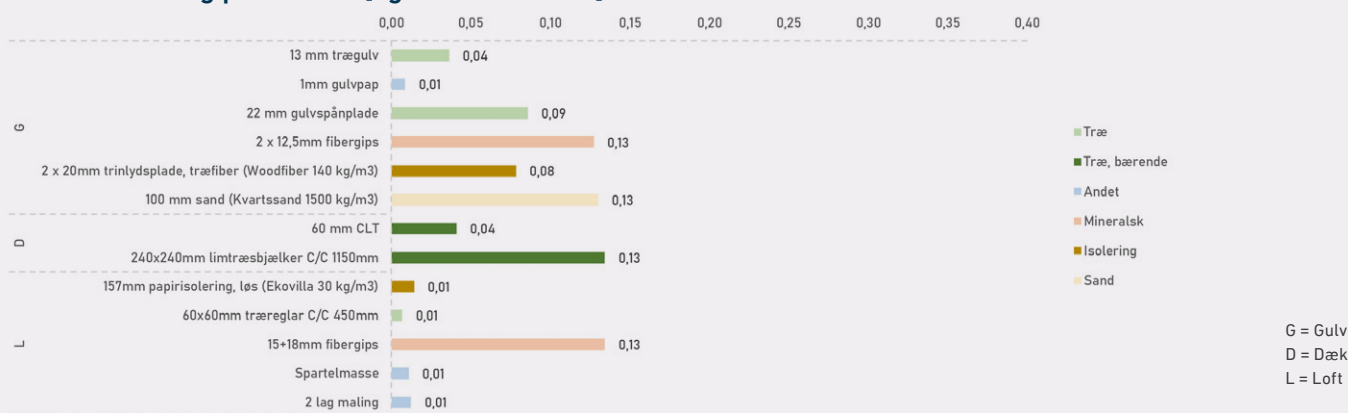
Arbejde over hoved: Ingen (præfab.)

## KOMMENTARER

Føring af installationer i sandlag

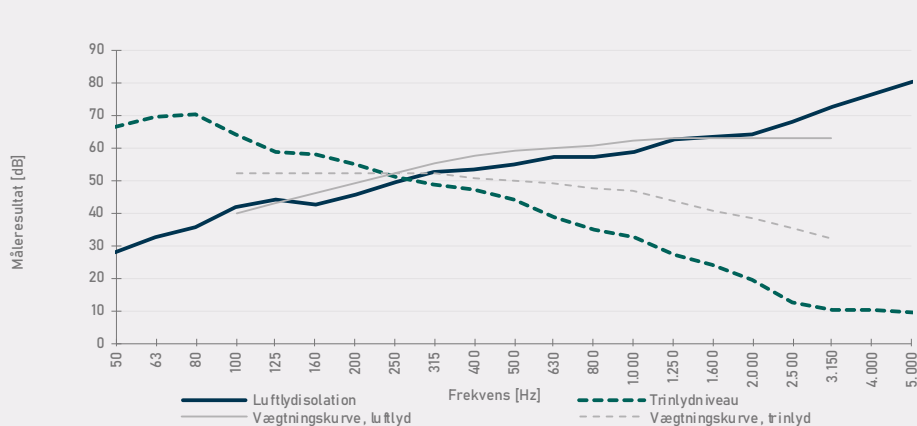
Gulvvarme kræver tilføjelse af  
varmefordelingsplader

## Klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk [kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år]



## Akustike måleresultater

|                  |  |              |  |              |        |               |
|------------------|--|--------------|--|--------------|--------|---------------|
| LUFTLYDISOLATION | LABMÅLING<br>$R_w =$                     | <b>59 dB</b> | KRAV<br>$R'_w \geq$                      | <b>55 dB</b> | MARGIN | <b>+ 4 dB</b> |
|                  | LABMÅLING<br>$R_w + C_{50-3150} =$       | <b>56 dB</b> | ANBEFALING<br>$R'_w + C_{50-3150} \geq$  | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>+ 3 dB</b> |
| TRINLYDNIVEAU    | LABMÅLING<br>$L_{n,w} =$                 | <b>50 dB</b> | KRAV<br>$L'_{n,w} \leq$                  | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>+ 3 dB</b> |
|                  | LABMÅLING<br>$L_{n,w} + C_{1,50-2500} =$ | <b>60 dB</b> | ANBEFALING<br>$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>- 7 dB</b> |



| Frekvens Hz | R dB | L <sub>n</sub> dB |
|-------------|------|-------------------|
| 50          | 27,9 | 66,8              |
| 63          | 32,7 | 69,9              |
| 80          | 35,8 | 70,4              |
| 100         | 41,5 | 64,1              |
| 125         | 44,5 | 58,8              |
| 160         | 42,9 | 58,2              |
| 200         | 45,6 | 54,9              |
| 250         | 49,5 | 51,2              |
| 315         | 52,4 | 48,8              |
| 400         | 53,7 | 47,0              |
| 500         | 54,7 | 44,1              |
| 630         | 57,0 | 39,0              |
| 800         | 57,6 | 35,2              |
| 1000        | 58,9 | 32,4              |
| 1250        | 62,5 | 27,3              |
| 1600        | 63,4 | 24,2              |
| 2000        | 64,2 | 19,7              |
| 2500        | 68,1 | 12,3              |
| 3150        | 72,6 | 10,1              |
| 4000        | 76,4 | 9,9               |
| 5000        | 80,2 | 9,6               |

Skillefladeareal: 9,8 m<sup>2</sup>

Modtagerum vol.: 246,0 m<sup>3</sup>

# RIB 10

Samlet klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk:

0,60 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år

Samlet etagedækshøjde:

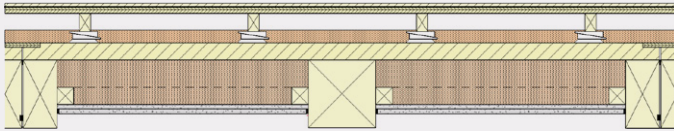
439 mm

Økonomisk indeks ift. Ref 1:

1,5

Etagedæksmasse:

124 kg/m<sup>2</sup>



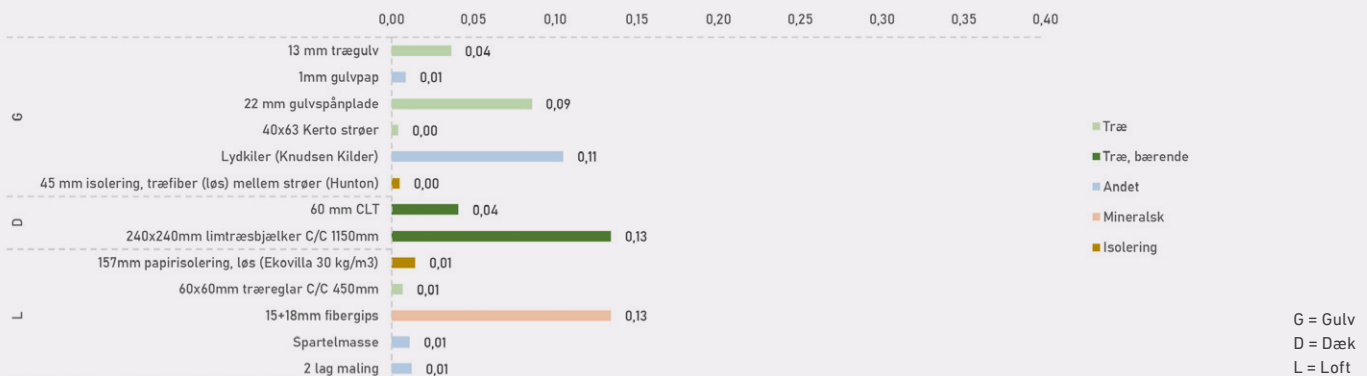
## BYGBARHED

Antal arbejdsgange: Få (delvis præfab.)  
Tunge arbejdsgange: Spånplade,  
Arbejde over hoved: Ingen (præfab.)

## KOMMENTARER

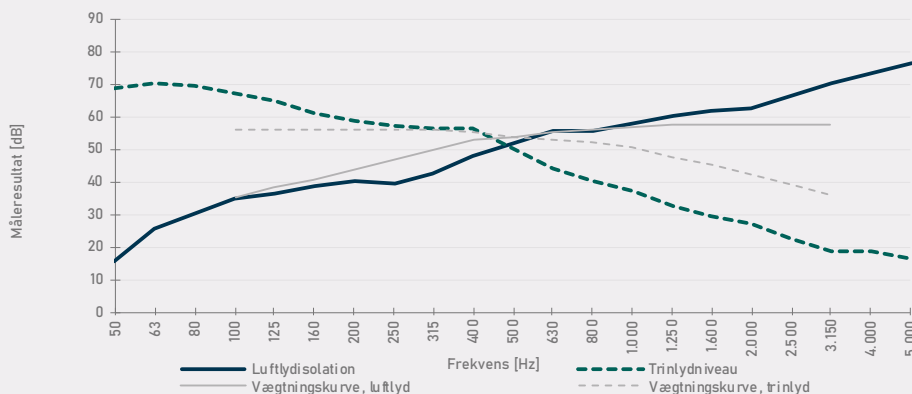
Føring af installationer i hulrummet  
Gulvvarme kræver tilføjelse af varmfordelingsplader

## Klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk [kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år]



## Akustike måleresultater

| Category         | Måling   | Krav   | Margin           |
|------------------|--|--|------------------|
| LUFTLYDISOLATION | LABMÅLING<br>$R_w = 54$ dB                     | KRAV<br>$R'_w \geq 55$ dB                        | MARGIN<br>- 1 dB |
|                  | LABMÅLING<br>$R_w + C_{50-3150} = 50$ dB       | ANBEFALING<br>$R'_w + C_{50-3150} \geq 53$ dB    | MARGIN<br>- 3 dB |
| TRINLYDNIVEAU    | LABMÅLING<br>$L_{n,w} = 54$ dB                 | KRAV<br>$L'_{n,w} \leq 53$ dB                    | MARGIN<br>- 1 dB |
|                  | LABMÅLING<br>$L_{n,w} + C_{1,50-2500} = 61$ dB | ANBEFALING<br>$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 53$ dB | MARGIN<br>- 8 dB |



| Frekvens [Hz] | R [dB] | L <sub>n</sub> [dB] |
|---------------|--------|---------------------|
| 50            | 15,3   | 68,5                |
| 63            | 25,5   | 70,3                |
| 80            | 30,3   | 69,8                |
| 100           | 34,8   | 67,4                |
| 125           | 36,7   | 64,7                |
| 160           | 38,4   | 60,8                |
| 200           | 40,2   | 58,8                |
| 250           | 39,3   | 57,0                |
| 315           | 42,4   | 56,8                |
| 400           | 47,7   | 56,7                |
| 500           | 51,5   | 50,7                |
| 630           | 55,7   | 44,3                |
| 800           | 55,8   | 40,6                |
| 1000          | 58,0   | 37,4                |
| 1250          | 60,7   | 32,2                |
| 1600          | 61,6   | 29,6                |
| 2000          | 63,0   | 27,1                |
| 2500          | 66,6   | 22,5                |
| 3150          | 70,6   | 18,4                |
| 4000          | 73,7   | 18,3                |
| 5000          | 76,9   | 16,1                |

Skillefladeareal: 9,8 m<sup>2</sup>

Modtagerum vol.: 246,0 m<sup>3</sup>



# RIB 11

Samlet klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk:

**0,84 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år**

Samlet etagedækshøjde:

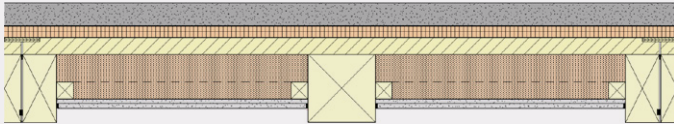
**420 mm**

Økonomisk indeks ift. Ref 1:

**1,5**

Etagedæksmasse:

**246 kg/m<sup>2</sup>**



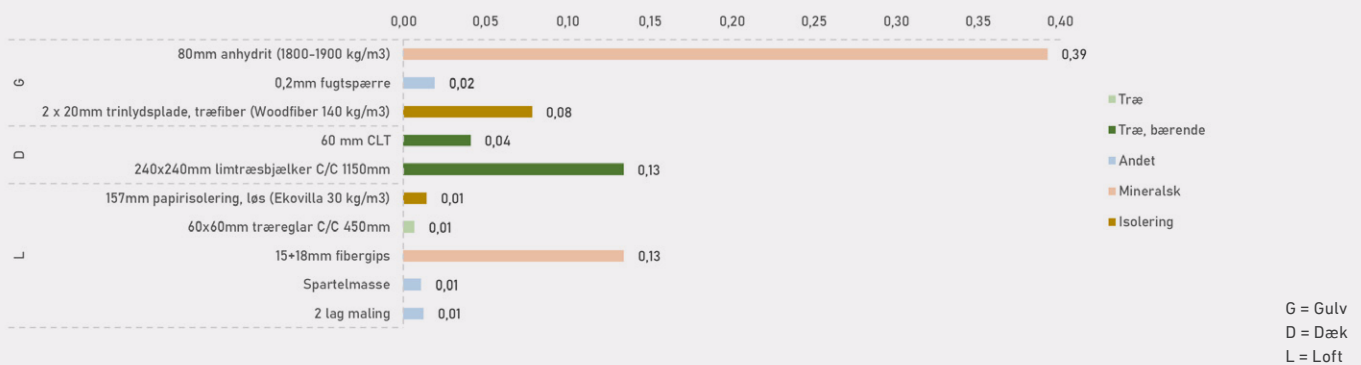
## BYGBARHED

Antal arbejds gange: Få (delvis præfab.)  
Tunge arbejds gange: Ingen  
Arbejde over hoved: Ingen (præfab.)

## KOMMENTARER

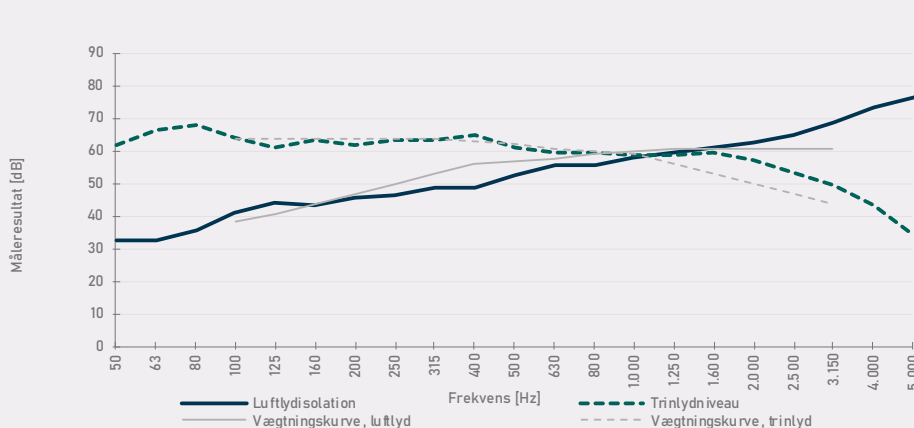
Mulighed for anvendelse af gulvvarmeslanger i anhydritlaget

## Klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk [kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år]



## Akustike måleresultater

|                  |  |              |  |              |        |               |
|------------------|--|--------------|--|--------------|--------|---------------|
| LUFTLYDISOLATION | LABMÅLING<br>$R_w =$                     | <b>57 dB</b> | KRAV<br>$R'_w \geq$                      | <b>55 dB</b> | MARGIN | <b>+ 2 dB</b> |
|                  | LABMÅLING<br>$R_w + C_{50-3150} =$       | <b>55 dB</b> | ANBEFALING<br>$R'_w + C_{50-3150} \geq$  | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>+ 2 dB</b> |
| TRINLYDNIVEAU    | LABMÅLING<br>$L_{n,w} =$                 | <b>62 dB</b> | KRAV<br>$L'_{n,w} \leq$                  | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>- 9 dB</b> |
|                  | LABMÅLING<br>$L_{n,w} + C_{1,50-2500} =$ | <b>62 dB</b> | ANBEFALING<br>$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>- 9 dB</b> |



| Frekvens Hz | R dB | L <sub>n</sub> dB |
|-------------|------|-------------------|
| 50          | 32,3 | 61,8              |
| 63          | 32,8 | 66,8              |
| 80          | 35,5 | 67,9              |
| 100         | 40,8 | 64,5              |
| 125         | 44,2 | 61,5              |
| 160         | 43,5 | 63,4              |
| 200         | 45,4 | 61,9              |
| 250         | 46,6 | 63,2              |
| 315         | 49,0 | 63,8              |
| 400         | 48,6 | 65,1              |
| 500         | 52,8 | 61,2              |
| 630         | 56,1 | 59,9              |
| 800         | 56,0 | 59,8              |
| 1000        | 57,7 | 59,1              |
| 1250        | 59,7 | 58,9              |
| 1600        | 61,4 | 59,6              |
| 2000        | 62,5 | 57,3              |
| 2500        | 65,2 | 53,6              |
| 3150        | 69,1 | 49,5              |
| 4000        | 73,4 | 43,4              |
| 5000        | 76,9 | 34,4              |

Skillefladeareal: 9,8 m<sup>2</sup>

Modtagerum vol.: 246,0 m<sup>3</sup>

# RIB 12

Samlet klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk:

0,65 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år

Samlet etagedækshøjde:

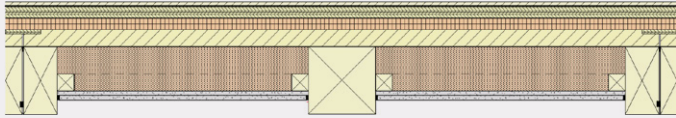
398 mm

Økonomisk indeks ift. Ref 1:

1,6

Etagedæksmasse:

141 kg/m<sup>2</sup>



## BYGBARHED

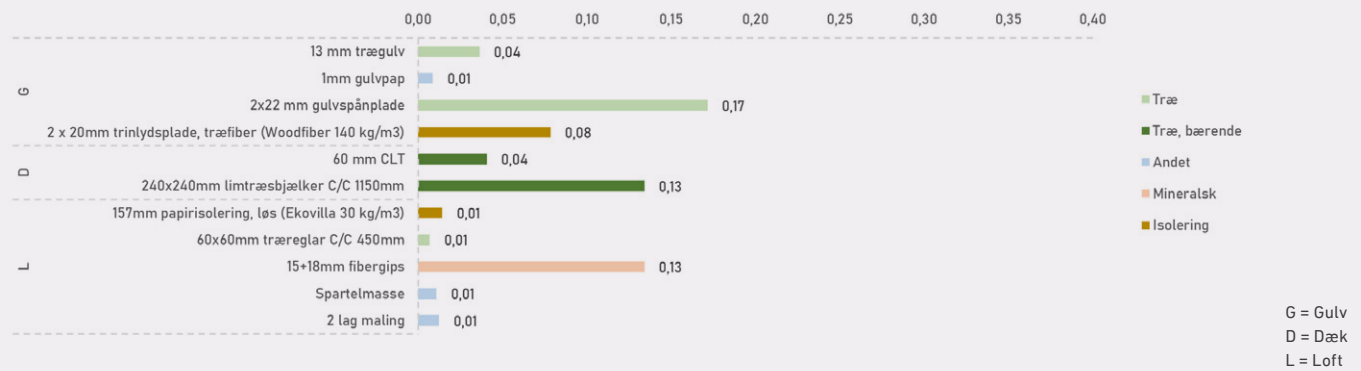
Antal arbejds gange: Middel  
(delvis præfab.)

Tunge arbejds gange: 2 x Spånplade  
Arbejde over hoved: Ingen (præfab.)

## KOMMENTARER

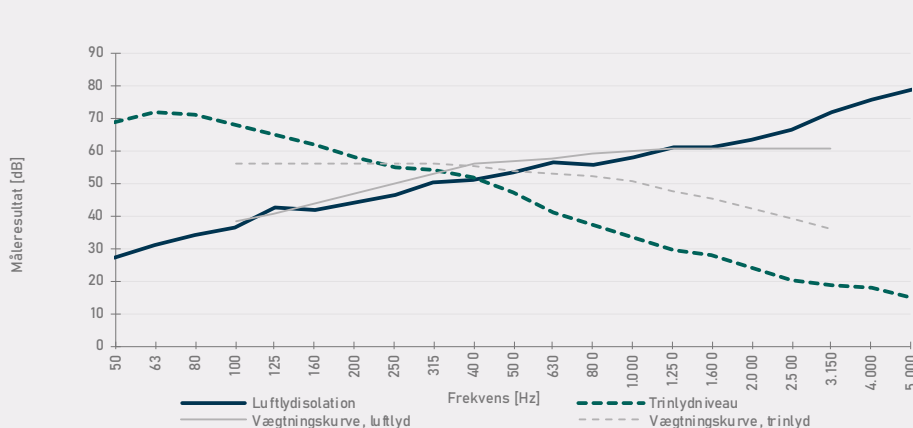
Gulvvarme kræver tilføjelse af  
varmefordelingsplader

## Klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk [kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år]



## Akustike måleresultater

| Luftlydisolation | LABMÅLING                         | KRAV                               | MARGIN |
|------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------|
|                  | $R_w = 57$ dB                     | $R'_w \geq 55$ dB                  | + 2 dB |
|                  | $R_w + C_{50-3150} = 55$ dB       | $R'_w + C_{50-3150} \geq 53$ dB    | + 2 dB |
| Trinlydniveau    | LABMÅLING                         | KRAV                               | MARGIN |
|                  | $L_{n,w} = 54$ dB                 | $L'_{n,w} \leq 53$ dB              | - 1 dB |
|                  | $L_{n,w} + C_{1,50-2500} = 62$ dB | $L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 53$ dB | - 9 dB |



| Frekvens Hz | R dB | L <sub>n</sub> dB |
|-------------|------|-------------------|
| 50          | 26,8 | 68,8              |
| 63          | 31,2 | 71,8              |
| 80          | 34,0 | 71,3              |
| 100         | 36,3 | 68,0              |
| 125         | 42,6 | 65,0              |
| 160         | 41,7 | 61,9              |
| 200         | 44,0 | 58,4              |
| 250         | 46,6 | 54,8              |
| 315         | 50,0 | 54,3              |
| 400         | 51,4 | 51,6              |
| 500         | 53,2 | 47,0              |
| 630         | 56,3 | 41,3              |
| 800         | 56,0 | 36,9              |
| 1000        | 58,2 | 33,5              |
| 1250        | 61,2 | 29,4              |
| 1600        | 61,5 | 27,7              |
| 2000        | 63,3 | 24,0              |
| 2500        | 66,8 | 20,1              |
| 3150        | 71,7 | 18,4              |
| 4000        | 75,6 | 17,6              |
| 5000        | 79,2 | 14,8              |

Skillefladeareal: 9,8 m<sup>2</sup>

Modtagerum vol.: 246,0 m<sup>3</sup>

# RIB 13

Samlet klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk:

0,63 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år

Samlet etagedækshøjde:

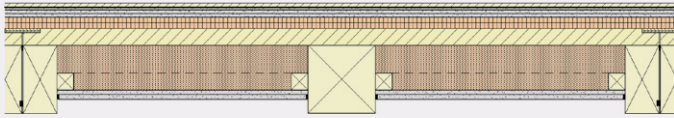
389 mm

Økonomisk indeks ift. Ref 1:

1,8

Etagedæksmasse:

154 kg/m<sup>2</sup>



## BYGBARHED

Antal arbejds gange: Middel  
(delvis præfab.)

Tunge arbejds gange: Sandwichpanel  
og gulvgips

Arbejde over hoved: Ingen (præfab.)

## KOMMENTARER

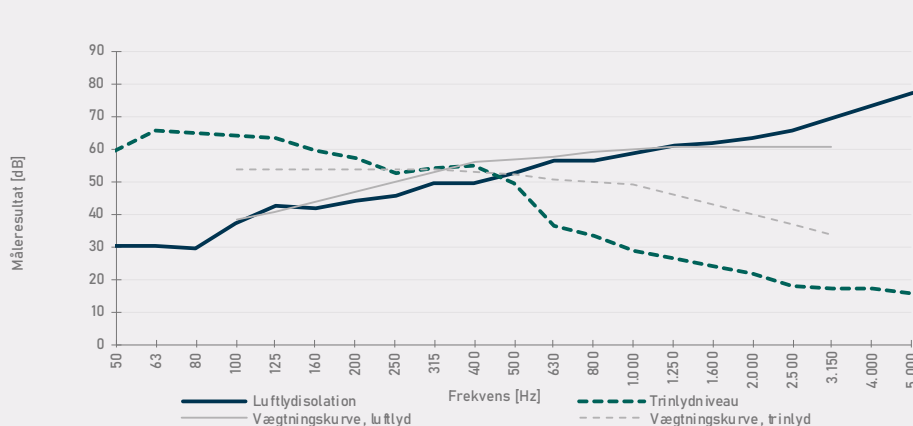
Gulvvarme kræver tilføjelse af  
varmefordelingsplader

## Klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk [kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år]



## Akustike måleresultater

|                  |  |       |  |       |        |        |
|------------------|--|-------|--|-------|--------|--------|
| LUFTLYDISOLATION | LABMÅLING<br>$R_w =$                     | 57 dB | KRAV<br>$R'_w \geq$                        | 55 dB | MARGIN | + 2 dB |
|                  | LABMÅLING<br>$R_w + C_{50-3150} =$       | 54 dB | ANBEFALING<br>$R'_w + C_{50-3150} \geq$    | 53 dB | MARGIN | + 1 dB |
| TRINLYDNIVEAU    | LABMÅLING<br>$L_{n,w} =$                 | 52 dB | KRAV<br>$L'_{n,w} \leq$                    | 53 dB | MARGIN | + 1 dB |
|                  | LABMÅLING<br>$L_{n,w} + C_{1,50-2500} =$ | 57 dB | ANBEFALING<br>$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} =$ | 53 dB | MARGIN | - 4 dB |



| Frekvens Hz | R dB | L <sub>n</sub> dB |
|-------------|------|-------------------|
| 50          | 29,9 | 59,7              |
| 63          | 30,4 | 65,6              |
| 80          | 29,5 | 64,7              |
| 100         | 37,0 | 64,0              |
| 125         | 42,6 | 63,3              |
| 160         | 42,0 | 59,7              |
| 200         | 44,2 | 57,5              |
| 250         | 45,8 | 52,8              |
| 315         | 49,3 | 54,3              |
| 400         | 49,8 | 54,8              |
| 500         | 52,8 | 49,4              |
| 630         | 56,5 | 36,1              |
| 800         | 56,5 | 33,0              |
| 1000        | 58,5 | 29,0              |
| 1250        | 61,1 | 26,3              |
| 1600        | 62,0 | 24,1              |
| 2000        | 63,2 | 22,1              |
| 2500        | 65,9 | 18,2              |
| 3150        | 69,4 | 17,0              |
| 4000        | 73,1 | 17,0              |
| 5000        | 77,2 | 15,5              |

Skillefladeareal: 9,8 m<sup>2</sup>

Modtagerum vol.: 246,0 m<sup>3</sup>

# RIB 14

Samlet klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk:

0,55 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år

Samlet etagedækshøjde:

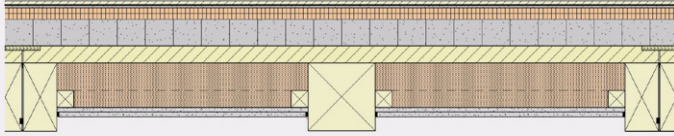
458 mm

Økonomisk indeks ift. Ref 1:

1,7

Etagedæksmasse:

314 kg/m<sup>2</sup>



## BYGBARHED

Antal arbejds gange: Middel  
(delvis præfab.)

Tunge arbejds gange: Sandwichpanel og tørler

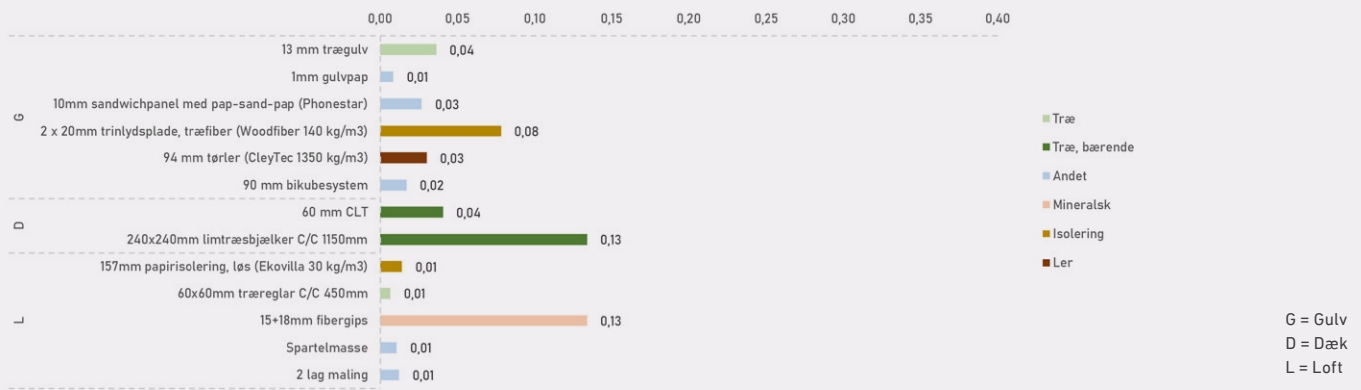
Arbejde over hoved: Ingen (præfab.)

## KOMMENTARER

Føring af installationer i lerlaget

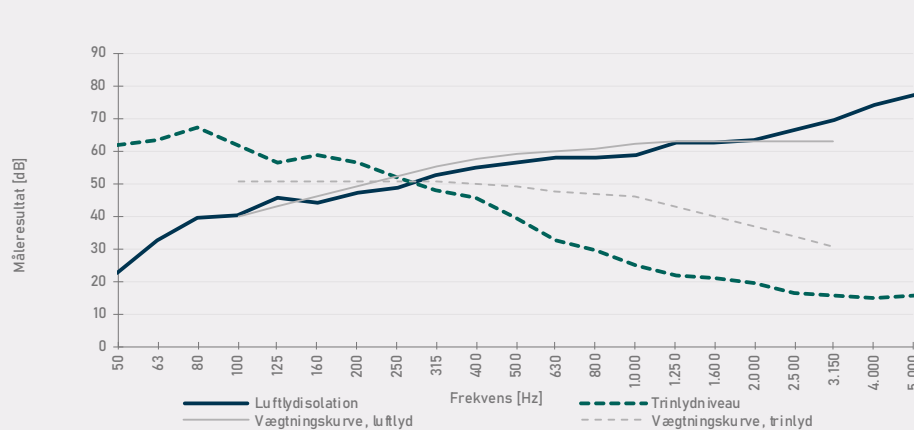
Gulvvarme kræver tilføjelse af varmefordelingsplader

## Klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk [kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år]



## Akustike måleresultater

|                  |  |       |  |       |        |        |
|------------------|--|-------|--|-------|--------|--------|
| LUFTLYDISOLATION | LABMÅLING<br>$R_w =$                     | 59 dB | KRAV<br>$R'_w \geq$                        | 55 dB | MARGIN | + 4 dB |
|                  | LABMÅLING<br>$R_w + C_{50-3150} =$       | 56 dB | ANBEFALING<br>$R'_w + C_{50-3150} \geq$    | 53 dB | MARGIN | + 3 dB |
| TRINLYDNIVEAU    | LABMÅLING<br>$L_{n,w} =$                 | 49 dB | KRAV<br>$L'_{n,w} \leq$                    | 53 dB | MARGIN | + 4 dB |
|                  | LABMÅLING<br>$L_{n,w} + C_{1,50-2500} =$ | 56 dB | ANBEFALING<br>$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} =$ | 53 dB | MARGIN | - 3 dB |



Skillefladeareal: 9,8 m<sup>2</sup>

Modtagerum vol.: 246,0 m<sup>3</sup>

# CLT 1

Samlet klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk:

**0,77 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år**

Samlet etagedækshøjde:

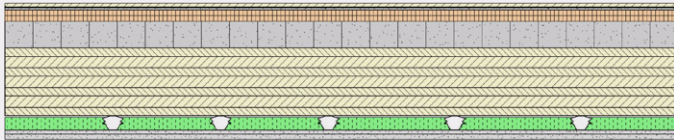
**481 mm**

Økonomisk indeks ift. Ref 1:

**1,7**

Etagedæksmasse:

**368 kg/m<sup>2</sup>**



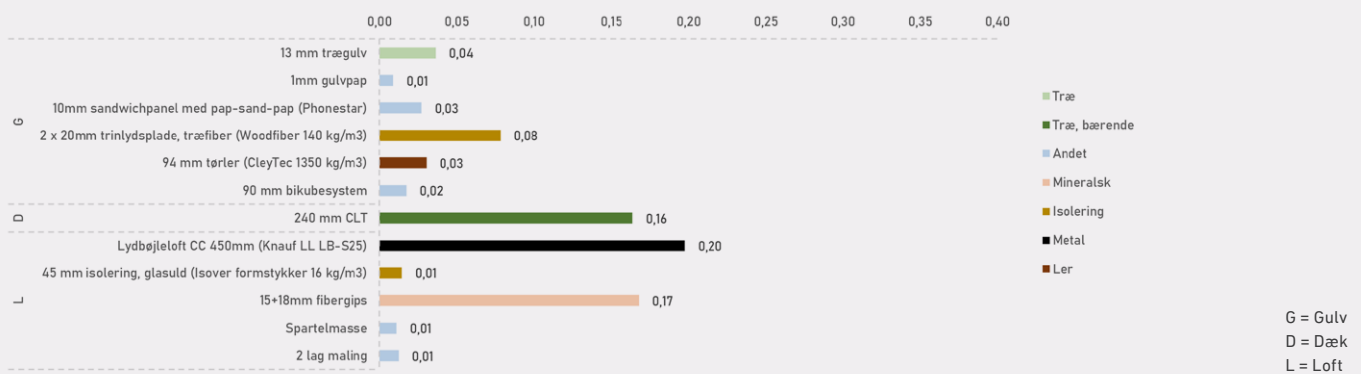
## BYGBARHED

Antal arbejds gange: Høj  
Tunge arbejds gange: Sandwichpanel, tørler og gipsloft  
Arbejde over hoved: Gipsloft

## KOMMENTARER

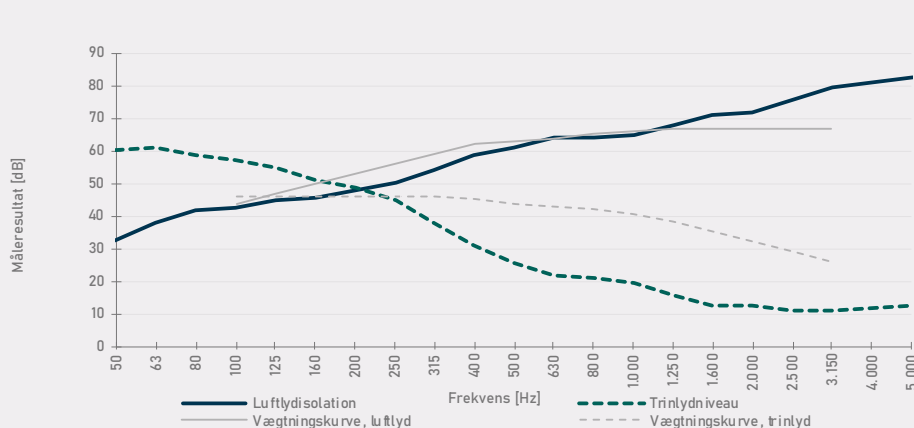
Føring af installationer i leralet  
Gulvvarme kræver tilføjelse af varmefordelingsplader

## Klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk [kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år]



## Akustik måleresultater

|                  |  |              |  |              |        |               |
|------------------|--|--------------|--|--------------|--------|---------------|
| LUFTLYDISOLATION | LABMÅLING<br>$R_w =$                     | <b>63 dB</b> | KRAV<br>$R'_w \geq$                        | <b>55 dB</b> | MARGIN | <b>+ 8 dB</b> |
|                  | LABMÅLING<br>$R_w + C_{50-3150} =$       | <b>60 dB</b> | ANBEFALING<br>$R'_w + C_{50-3150} \geq$    | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>+ 7 dB</b> |
| TRINLYDNIVEAU    | LABMÅLING<br>$L_{n,w} =$                 | <b>44 dB</b> | KRAV<br>$L'_{n,w} \leq$                    | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>+ 9 dB</b> |
|                  | LABMÅLING<br>$L_{n,w} + C_{1,50-2500} =$ | <b>51 dB</b> | ANBEFALING<br>$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} =$ | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>+ 2 dB</b> |



| Frekvens Hz | R dB | L <sub>n</sub> dB |
|-------------|------|-------------------|
| 50          | 32,2 | 60,1              |
| 63          | 37,6 | 61,1              |
| 80          | 41,9 | 58,7              |
| 100         | 42,9 | 57,1              |
| 125         | 44,9 | 55,0              |
| 160         | 45,6 | 51,4              |
| 200         | 48,3 | 48,7              |
| 250         | 50,6 | 44,7              |
| 315         | 54,5 | 38,3              |
| 400         | 58,7 | 31,3              |
| 500         | 61,0 | 25,7              |
| 630         | 64,0 | 21,5              |
| 800         | 64,5 | 20,9              |
| 1000        | 65,1 | 19,6              |
| 1250        | 67,8 | 15,6              |
| 1600        | 71,0 | 12,8              |
| 2000        | 72,0 | 12,8              |
| 2500        | 75,6 | 11,1              |
| 3150        | 79,4 | 11,3              |
| 4000        | 81,2 | 11,6              |
| 5000        | 82,8 | 12,7              |

Skillefladeareal: 9,8 m<sup>2</sup>

Modtagerum vol.: 246,0 m<sup>3</sup>

# CLT 2

Samlet klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk:

0,60 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år

Samlet etagedækshøjde:

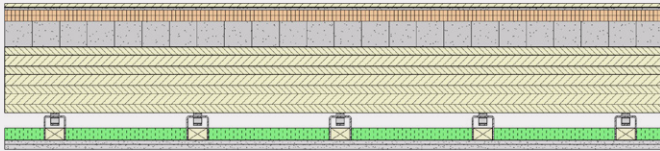
531 mm

Økonomisk indeks ift. Ref 1:

1,7

Etagedæksmasse:

368 kg/m<sup>2</sup>



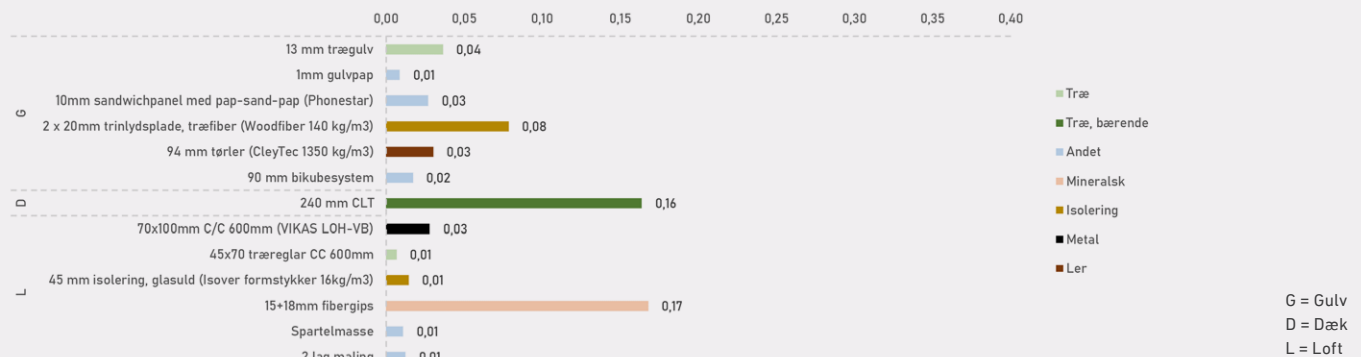
## BYGBARHED

Antal arbejds gange: Høj  
Tunge arbejds gange: Sandwichpanel, tørler og gipsloft  
Arbejde over hoved: Gipsloft

## KOMMENTARER

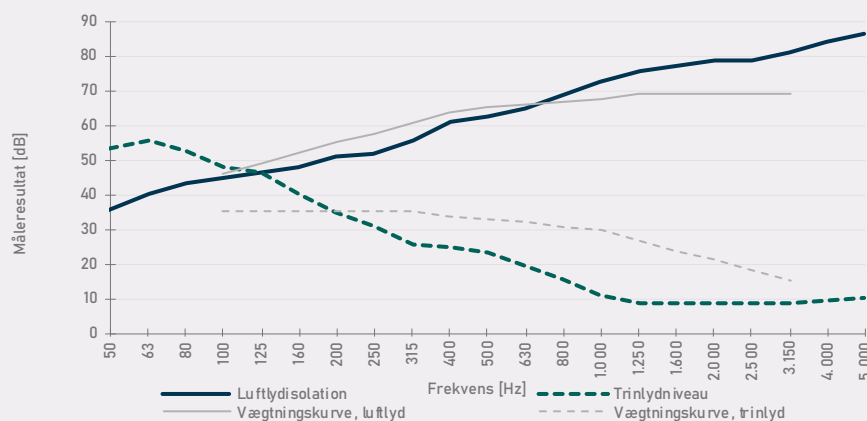
Føring af installationer i lerlaget  
Gulvvarme kræver tilføjelse af varmefordelingsplader

## Klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk [kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år]



## Akustikemåleresultater

|                  |  |       |  |       |        |         |
|------------------|--|-------|--|-------|--------|---------|
| LUFTLYDISOLATION | LABMÅLING<br>$R_w =$                     | 65 dB | KRAV<br>$R'_w \geq$                      | 55 dB | MARGIN | + 10 dB |
|                  | LABMÅLING<br>$R_w + C_{50-3150} =$       | 63 dB | ANBEFALING<br>$R'_w + C_{50-3150} \geq$  | 53 dB | MARGIN | + 10 dB |
| TRINLYDNIVEAU    | LABMÅLING<br>$L_{n,w} =$                 | 33 dB | KRAV<br>$L'_{n,w} \leq$                  | 53 dB | MARGIN | + 20 dB |
|                  | LABMÅLING<br>$L_{n,w} + C_{1,50-2500} =$ | 44 dB | ANBEFALING<br>$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ | 53 dB | MARGIN | + 9 dB  |



| Frekvens<br>Hz | R<br>dB | L <sub>n</sub><br>dB |
|----------------|---------|----------------------|
| 50             | 36,0    | 53,1                 |
| 63             | 40,6    | 55,6                 |
| 80             | 43,7    | 52,4                 |
| 100            | 45,1    | 48,3                 |
| 125            | 46,5    | 46,1                 |
| 160            | 48,2    | 40,1                 |
| 200            | 50,8    | 34,8                 |
| 250            | 51,9    | 31,4                 |
| 315            | 55,4    | 25,7                 |
| 400            | 60,9    | 24,5                 |
| 500            | 62,6    | 23,2                 |
| 630            | 65,3    | 19,6                 |
| 800            | 68,5    | 15,7                 |
| 1000           | 72,9    | 10,7                 |
| 1250           | 75,8    | 8,7                  |
| 1600           | 77,6    | 8,4                  |
| 2000           | 78,9    | 8,7                  |
| 2500           | 79,1    | 8,4                  |
| 3150           | 81,2    | 8,7                  |
| 4000           | 84,2    | 9,3                  |
| 5000           | 86,3    | 10,0                 |

Skillefladeareal: 9,8 m<sup>2</sup>

Modtagerum vol.: 246,0 m<sup>3</sup>

# CLT 3

Samlet klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk:

**0,59 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år**

Samlet etagedækshøjde:

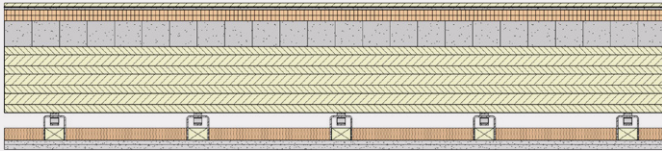
**531 mm**

Økonomisk indeks ift. Ref 1:

**1,8**

Etagedæksmasse:

**369 kg/m<sup>2</sup>**



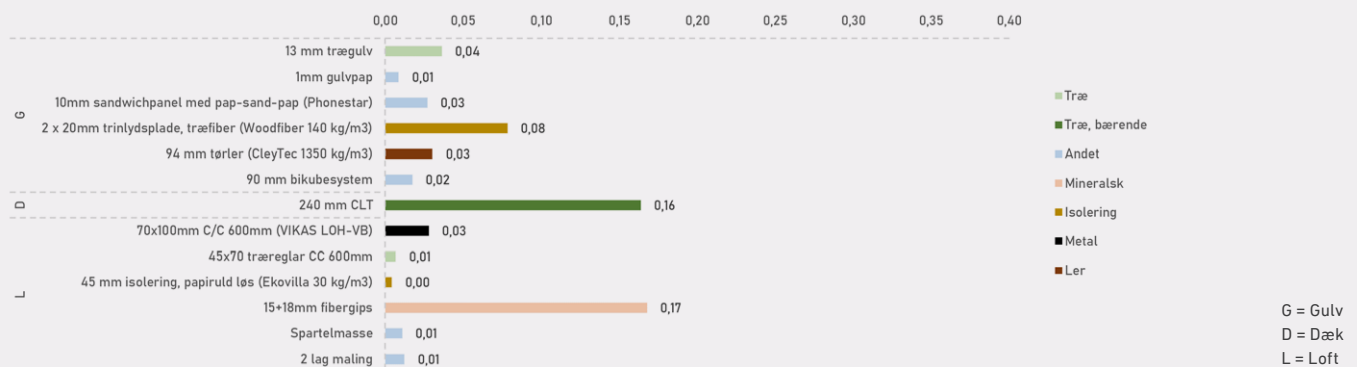
## BYGBARHED

Antal arbejds gange: Høj  
Tunge arbejds gange: Sandwichpanel, tørlær og gipsloft  
Arbejde over hoved: Gipsloft

## KOMMENTARER

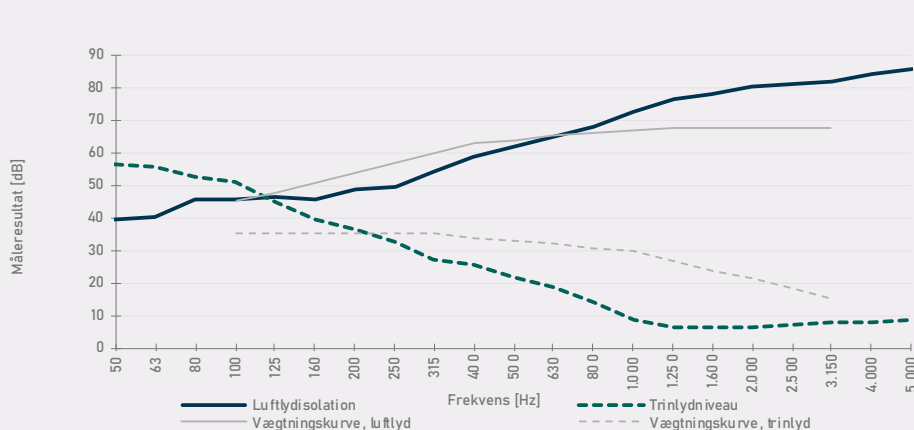
Føring af installationer i lertaget  
Gulvvarme kræver tilføjelse af varmefordelingsplader

## Klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk [kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år]



## Akustike måleresultater

| Category         | Measurement                           | Value | Requirement                             | Value | Margin | Value   |
|------------------|---------------------------------------|-------|---|-------|--------|---------|
| LUFTLYDISOLATION | LABMÅLING $R_w =$                     | 64 dB | KRAV $R'_w \geq$                        | 55 dB | MARGIN | + 9 dB  |
|                  | LABMÅLING $R_w + C_{50-3150} =$       | 62 dB | ANBEFALING $R'_w + C_{50-3150} \geq$    | 53 dB | MARGIN | + 9 dB  |
| TRINLYDNIVEAU    | LABMÅLING $L_{n,w} =$                 | 33 dB | KRAV $L'_{n,w} \leq$                    | 53 dB | MARGIN | + 20 dB |
|                  | LABMÅLING $L_{n,w} + C_{1,50-2500} =$ | 46 dB | ANBEFALING $L'_{n,w} + C_{1,50-2500} =$ | 53 dB | MARGIN | + 7 dB  |



| Frekvens Hz | R dB | L <sub>n</sub> dB |
|-------------|------|-------------------|
| 50          | 39,7 | 56,6              |
| 63          | 40,2 | 55,6              |
| 80          | 45,4 | 52,5              |
| 100         | 45,5 | 50,9              |
| 125         | 46,7 | 45,0              |
| 160         | 45,9 | 39,8              |
| 200         | 49,1 | 36,2              |
| 250         | 49,6 | 32,3              |
| 315         | 54,2 | 27,2              |
| 400         | 58,9 | 25,3              |
| 500         | 61,9 | 22,1              |
| 630         | 64,8 | 18,3              |
| 800         | 67,9 | 14,3              |
| 1000        | 73,0 | 8,7               |
| 1250        | 76,2 | 6,2               |
| 1600        | 78,1 | 6,2               |
| 2000        | 80,5 | 6,4               |
| 2500        | 81,3 | 6,7               |
| 3150        | 81,6 | 7,5               |
| 4000        | 84,4 | 8,2               |
| 5000        | 85,8 | 8,9               |

Skillefladeareal: 9,8 m<sup>2</sup>

Modtagerum vol.: 246,0 m<sup>3</sup>

# CLT 4

Samlet klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk:

**0,64 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år**

Samlet etagedækshøjde:

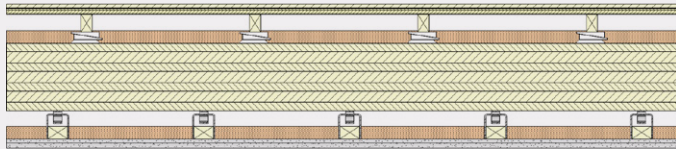
**512 mm**

Økonomisk indeks ift. Ref 1:

**1,4**

Etagedæksmasse:

**180 kg/m<sup>2</sup>**



## BYGBARHED

Antal arbejds gange: Middel

Tunge arbejds gange: Spånplade og gipsloft

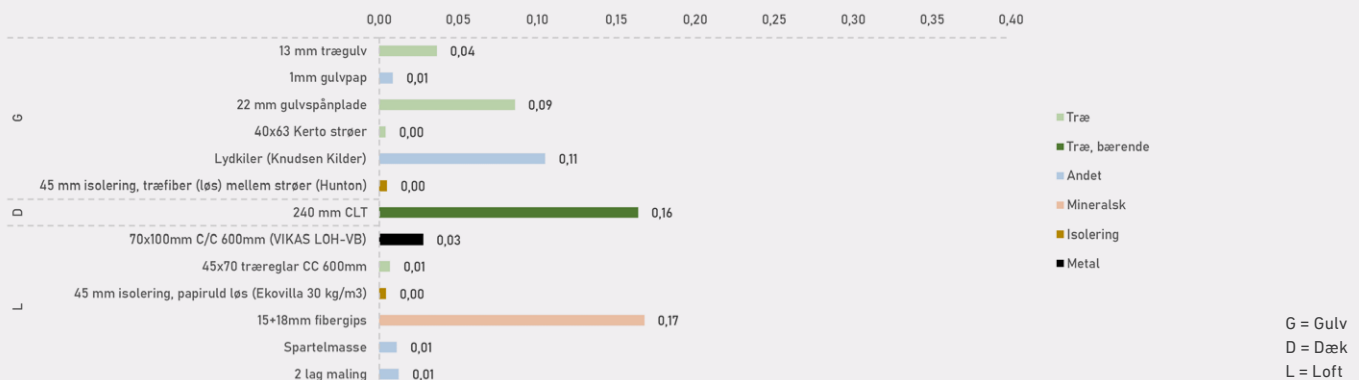
Arbejde over hoved: Gipsloft

## KOMMENTARER

Føring af installationer i hulrummet

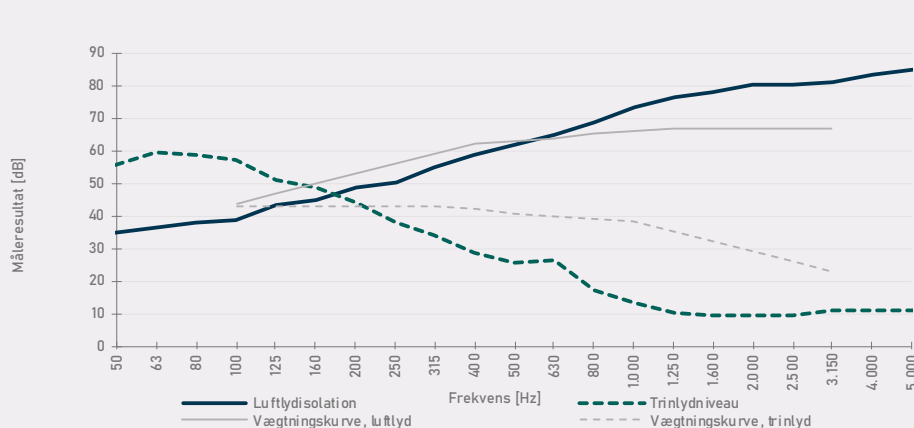
Gulvvarme kræver tilføjelse af varmefordelingsplader

## Klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk [kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år]



## Akustike måleresultater

|                  |  |              |  |              |        |                |
|------------------|--|--------------|--|--------------|--------|----------------|
| LUFTLYDISOLATION | LABMÅLING<br>$R_w =$                     | <b>63 dB</b> | KRAV<br>$R'_w \geq$                      | <b>55 dB</b> | MARGIN | <b>+ 8 dB</b>  |
|                  | LABMÅLING<br>$R_w + C_{50-3150} =$       | <b>60 dB</b> | ANBEFALING<br>$R'_w + C_{50-3150} \geq$  | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>+ 7 dB</b>  |
| TRINLYDNIVEAU    | LABMÅLING<br>$L_{n,w} =$                 | <b>41 dB</b> | KRAV<br>$L'_{n,w} \leq$                  | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>+ 12 dB</b> |
|                  | LABMÅLING<br>$L_{n,w} + C_{1,50-2500} =$ | <b>49 dB</b> | ANBEFALING<br>$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>+ 4 dB</b>  |



| Frekvens Hz | R dB | L <sub>n</sub> dB |
|-------------|------|-------------------|
| 50          | 34,5 | 55,7              |
| 63          | 36,1 | 59,2              |
| 80          | 37,9 | 59,0              |
| 100         | 39,1 | 57,2              |
| 125         | 43,2 | 51,3              |
| 160         | 45,2 | 48,6              |
| 200         | 48,6 | 44,2              |
| 250         | 50,4 | 38,2              |
| 315         | 54,6 | 33,9              |
| 400         | 59,0 | 28,6              |
| 500         | 62,0 | 25,4              |
| 630         | 65,0 | 26,1              |
| 800         | 68,7 | 17,1              |
| 1000        | 73,1 | 13,4              |
| 1250        | 76,2 | 10,0              |
| 1600        | 78,5 | 9,7               |
| 2000        | 80,4 | 9,5               |
| 2500        | 80,7 | 9,1               |
| 3150        | 81,1 | 10,8              |
| 4000        | 83,6 | 10,7              |
| 5000        | 85,1 | 10,6              |

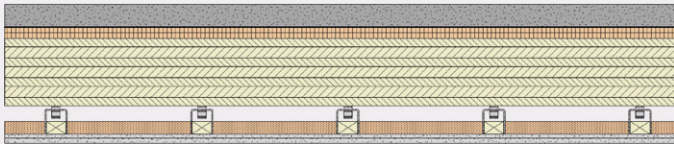
Skillefladeareal: 9,8 m<sup>2</sup>

Modtagerum vol.: 246,0 m<sup>3</sup>



# CLT 5

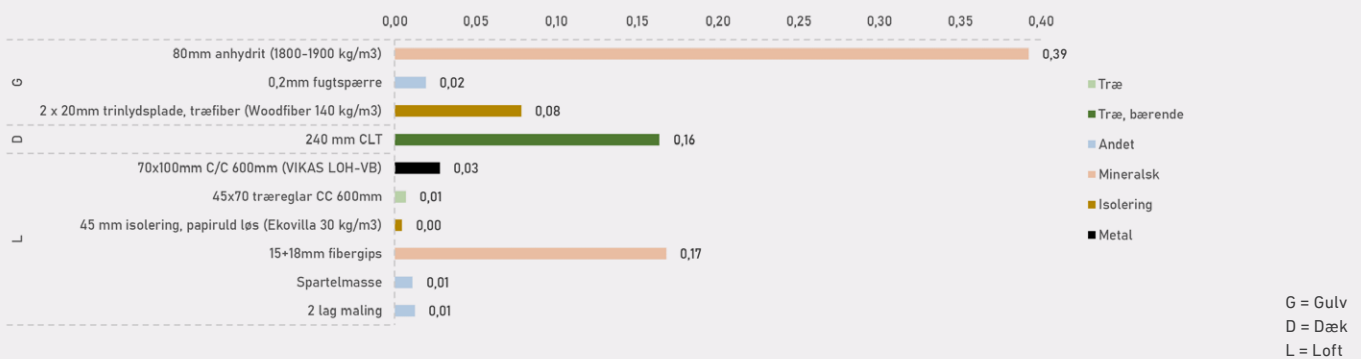
|  |  |
|--|--|
| Samlet klimabelastning pr. m <sup>2</sup> dæk: | 0,88 kg CO <sub>2</sub> ækv./m <sup>2</sup> år |
| Samlet etagedækshøjde:                         | 493 mm   |
| Økonomisk indeks ift. Ref 1:                   | 1,6  |
| Etagedæksmasse:                                | 302 kg/m <sup>2</sup>                          |



**BYGBARHED**  
 Antal arbejds gange: Middel  
 Tunge arbejds gange: Gipsloft  
 Arbejde over hoved: Gipsloft

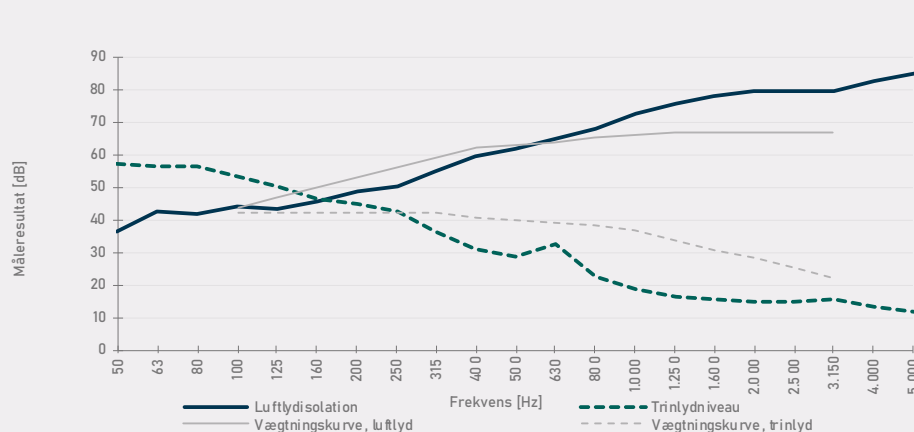
**KOMMENTARER**  
 Mulighed for anvendelse af gulvvarmeslanger i anhydritlaget

## Klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk [kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år]



## Akustike måleresultater

| Category         | Measurement                           | Value | Requirement                             | Value | Margin  |
|------------------|---------------------------------------|-------|---|-------|---------|
| LUFTLYDISOLATION | LABMÅLING $R_w =$                     | 63 dB | KRAV $R'_w \geq$                        | 55 dB | + 8 dB  |
|                  | LABMÅLING $R_w + C_{50-3150} =$       | 61 dB | ANBEFALING $R'_w + C_{50-3150} \geq$    | 53 dB | + 8 dB  |
| TRINLYDNIVEAU    | LABMÅLING $L_{n,w} =$                 | 40 dB | KRAV $L'_{n,w} \leq$                    | 53 dB | + 13 dB |
|                  | LABMÅLING $L_{n,w} + C_{1,50-2500} =$ | 48 dB | ANBEFALING $L'_{n,w} + C_{1,50-2500} =$ | 53 dB | + 5 dB  |



Skillefladeareal: 9,8 m<sup>2</sup>

Modtagerum vol.: 246,0 m<sup>3</sup>

# CLT 6

Samlet klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk:

0,67 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år

Samlet etagedækshøjde:

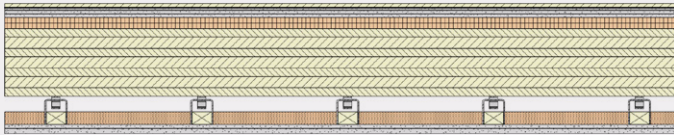
462 mm

Økonomisk indeks ift. Ref 1:

1,8

Etagedæksmasse:

210 kg/m<sup>2</sup>



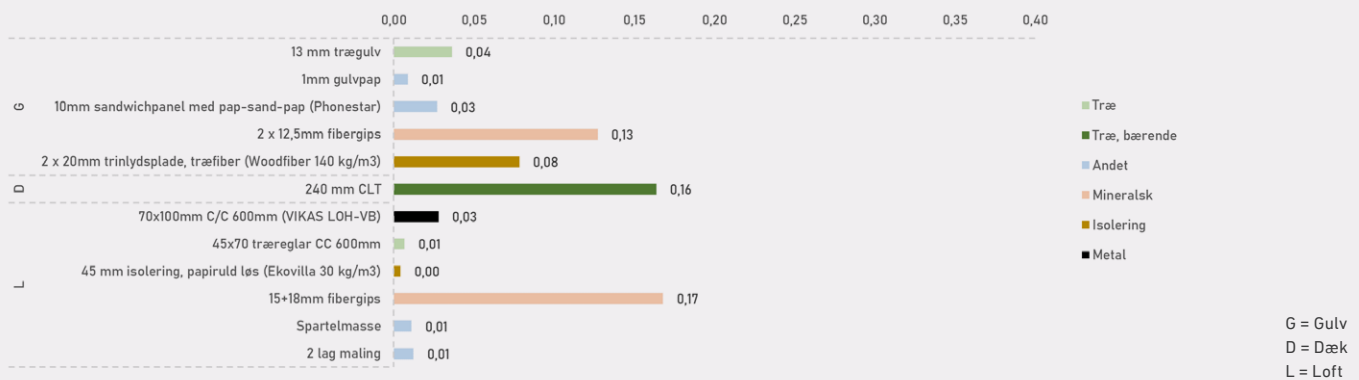
## BYGBARHED

Antal arbejds gange: Høj  
Tunge arbejds gange: Sandwichpanel, gulvgips og gipsloft  
Arbejde over hoved: Gipsloft

## KOMMENTARER

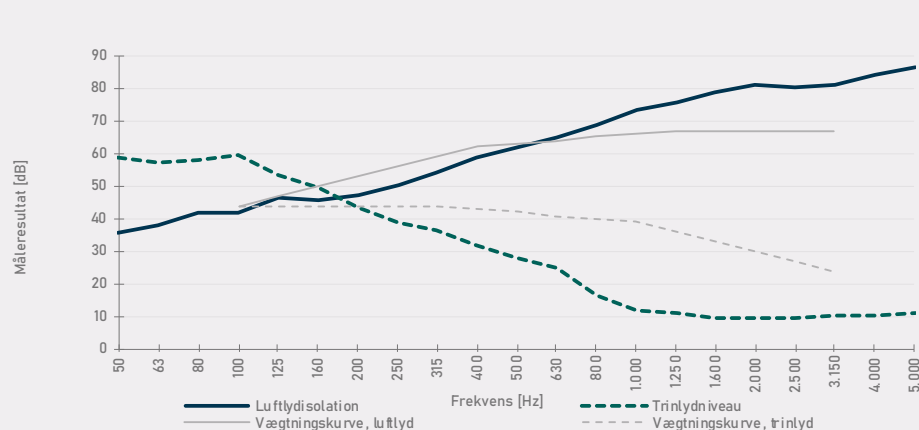
Gulvvarme kræver tilføjelse af varmefordelingsplader

## Klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk [kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år]



## Akustike måleresultater

|                  |  |       |  |       |        |         |
|------------------|--|-------|--|-------|--------|---------|
| LUFTLYDISOLATION | LABMÅLING<br>$R_w =$                     | 63 dB | KRAV<br>$R'_w \geq$                        | 55 dB | MARGIN | + 8 dB  |
|                  | LABMÅLING<br>$R_w + C_{50-3150} =$       | 61 dB | ANBEFALING<br>$R'_w + C_{50-3150} \geq$    | 53 dB | MARGIN | + 8 dB  |
| TRINLYDNIVEAU    | LABMÅLING<br>$L_{n,w} =$                 | 42 dB | KRAV<br>$L'_{n,w} \leq$                    | 53 dB | MARGIN | + 11 dB |
|                  | LABMÅLING<br>$L_{n,w} + C_{1,50-2500} =$ | 50 dB | ANBEFALING<br>$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} =$ | 53 dB | MARGIN | + 3 dB  |



| Frekvens Hz | R dB | L <sub>n</sub> dB |
|-------------|------|-------------------|
| 50          | 35,6 | 58,7              |
| 63          | 38,2 | 57,3              |
| 80          | 41,8 | 58,0              |
| 100         | 42,2 | 59,8              |
| 125         | 46,6 | 53,7              |
| 160         | 45,6 | 49,2              |
| 200         | 46,9 | 43,1              |
| 250         | 50,6 | 39,0              |
| 315         | 53,9 | 36,7              |
| 400         | 59,1 | 31,9              |
| 500         | 62,2 | 27,8              |
| 630         | 64,9 | 24,5              |
| 800         | 68,5 | 16,1              |
| 1000        | 73,1 | 11,5              |
| 1250        | 75,6 | 10,8              |
| 1600        | 78,6 | 9,7               |
| 2000        | 80,9 | 9,5               |
| 2500        | 80,3 | 9,7               |
| 3150        | 81,2 | 10,0              |
| 4000        | 84,4 | 10,2              |
| 5000        | 86,3 | 10,8              |

Skillefladeareal: 9,8 m<sup>2</sup>

Modtagerum vol.: 246,0 m<sup>3</sup>

# CLT 7

Samlet klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk:

**0,83 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år**

Samlet etagedækshøjde:

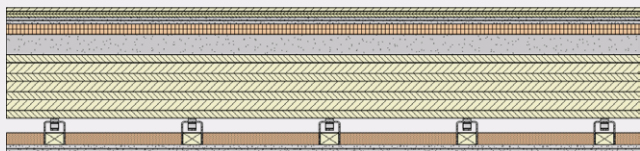
**551 mm**

Økonomisk indeks ift. Ref 1:

**1,8**

Etagedæksmasse:

**335 kg/m<sup>2</sup>**



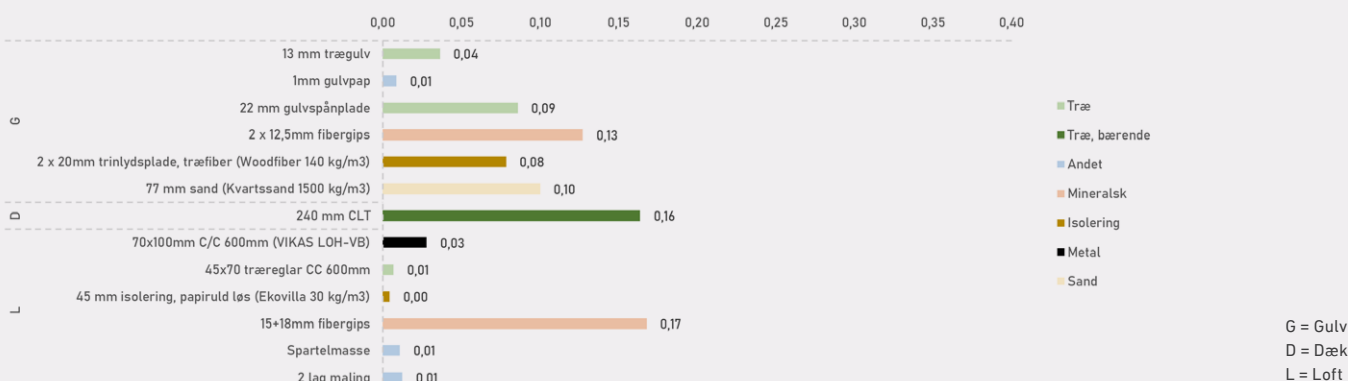
## BYGBARHED

Antal arbejds gange: Høj  
Tunge arbejds gange: Spånplade, gulvgips og sand  
Arbejde over hoved: Gipsloft

## KOMMENTARER

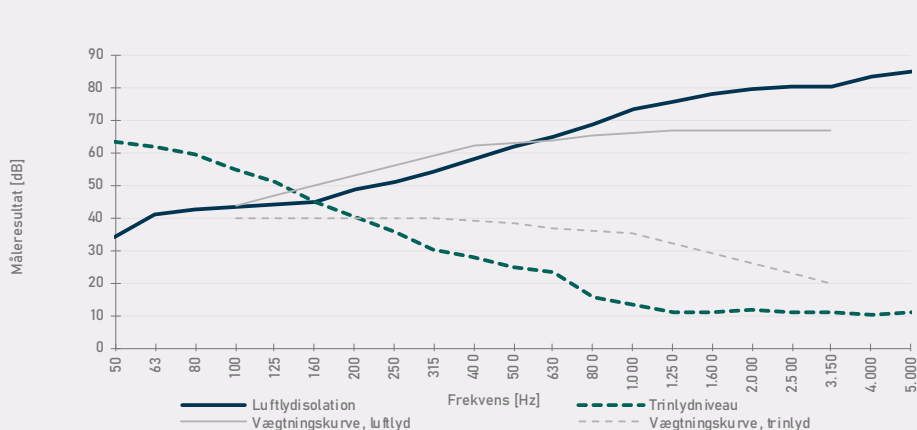
Føring af installationer i sandlag  
Gulvvarme kræver tilføjelse af varmefordelingsplader

## Klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk [kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år]



## Akustike måleresultater

|                  |  |              |  |              |        |                |
|------------------|--|--------------|--|--------------|--------|----------------|
| LUFTLYDISOLATION | LABMÅLING<br>$R_w =$                     | <b>63 dB</b> | KRAV<br>$R'_w \geq$                      | <b>55 dB</b> | MARGIN | <b>+ 8 dB</b>  |
|                  | LABMÅLING<br>$R_w + C_{50-3150} =$       | <b>61 dB</b> | ANBEFALING<br>$R'_w + C_{50-3150} \geq$  | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>+ 8 dB</b>  |
| TRINLYDNIVEAU    | LABMÅLING<br>$L_{n,w} =$                 | <b>38 dB</b> | KRAV<br>$L'_{n,w} \leq$                  | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>+ 15 dB</b> |
|                  | LABMÅLING<br>$L_{n,w} + C_{1,50-2500} =$ | <b>52 dB</b> | ANBEFALING<br>$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>+ 1 dB</b>  |



| Frekvens Hz | R dB | L <sub>n</sub> dB |
|-------------|------|-------------------|
| 50          | 34,4 | 63,3              |
| 63          | 41,3 | 61,7              |
| 80          | 42,8 | 59,9              |
| 100         | 43,1 | 55,0              |
| 125         | 44,3 | 51,0              |
| 160         | 44,8 | 45,1              |
| 200         | 48,6 | 40,3              |
| 250         | 51,1 | 35,4              |
| 315         | 54,2 | 30,2              |
| 400         | 58,3 | 27,8              |
| 500         | 62,1 | 25,1              |
| 630         | 65,1 | 23,4              |
| 800         | 68,7 | 15,9              |
| 1000        | 73,4 | 13,1              |
| 1250        | 76,1 | 11,2              |
| 1600        | 78,4 | 11,2              |
| 2000        | 80,0 | 12,1              |
| 2500        | 80,3 | 11,2              |
| 3150        | 80,8 | 11,1              |
| 4000        | 83,6 | 10,5              |
| 5000        | 85,3 | 10,6              |

Skillefladeareal: 9,8 m<sup>2</sup>

Modtagerum vol.: 246,0 m<sup>3</sup>

# CLT 8

Samlet klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk:

**0,79 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år**

Samlet etagedækshøjde:

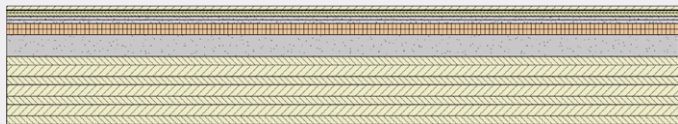
**451 mm**

Økonomisk indeks ift. Ref 1:

**1,7**

Etagedæksmasse:

**330 kg/m<sup>2</sup>**



## BYGBARHED

Antal arbejds gange: Høj  
Tunge arbejds gange: Spånplade, gulvgips og sand  
Arbejde over hoved: Direkte gipsloft (præfab.)

## KOMMENTARER

Føring af installationer i sandlag  
Gulvvarme kræver tilføjelse af varmefordelingsplader

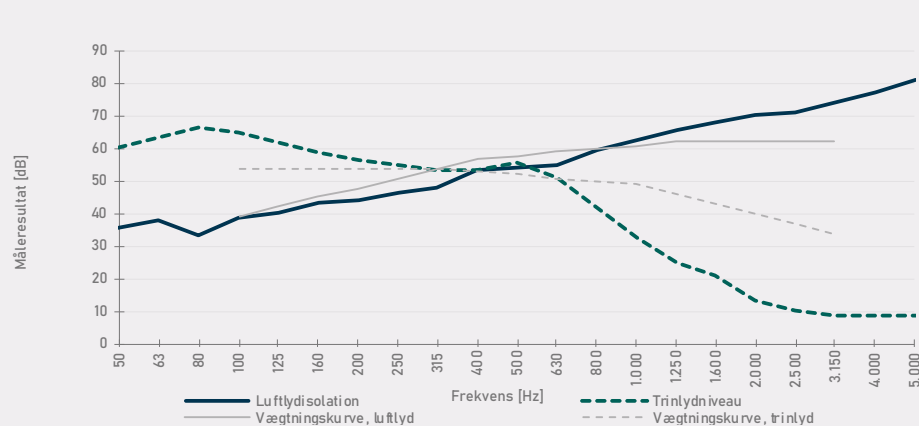
## Klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk [kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år]



G = Gulv  
D = Dæk  
L = Loft

## Akustike måleresultater

|                  |  |              |  |              |        |               |
|------------------|--|--------------|--|--------------|--------|---------------|
| LUFTLYDISOLATION | LABMÅLING<br>$R_w =$                     | <b>58 dB</b> | KRAV<br>$R'_w \geq$                      | <b>55 dB</b> | MARGIN | <b>+ 3 dB</b> |
|                  | LABMÅLING<br>$R_w + C_{50-3150} =$       | <b>56 dB</b> | ANBEFALING<br>$R'_w + C_{50-3150} \geq$  | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>+ 3 dB</b> |
| TRINLYDNIVEAU    | LABMÅLING<br>$L_{n,w} =$                 | <b>52 dB</b> | KRAV<br>$L'_{n,w} \leq$                  | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>+ 1 dB</b> |
|                  | LABMÅLING<br>$L_{n,w} + C_{1,50-2500} =$ | <b>57 dB</b> | ANBEFALING<br>$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>- 4 dB</b> |



| Frekvens<br>Hz | R<br>dB | L <sub>n</sub><br>dB |
|----------------|---------|----------------------|
| 50             | 35,9    | 60,7                 |
| 63             | 38,2    | 63,3                 |
| 80             | 33,3    | 66,8                 |
| 100            | 38,6    | 64,7                 |
| 125            | 40,1    | 62,2                 |
| 160            | 43,0    | 58,8                 |
| 200            | 44,1    | 56,5                 |
| 250            | 46,3    | 54,7                 |
| 315            | 47,8    | 53,6                 |
| 400            | 53,1    | 53,7                 |
| 500            | 53,9    | 55,4                 |
| 630            | 55,2    | 51,1                 |
| 800            | 59,5    | 41,9                 |
| 1000           | 62,8    | 32,6                 |
| 1250           | 65,6    | 24,9                 |
| 1600           | 67,9    | 20,8                 |
| 2000           | 70,1    | 13,4                 |
| 2500           | 71,0    | 9,9                  |
| 3150           | 74,0    | 8,5                  |
| 4000           | 77,2    | 8,6                  |
| 5000           | 80,9    | 9,0                  |

Skillefladeareal: 9,8 m<sup>2</sup>

Modtagerum vol.: 246,0 m<sup>3</sup>

# CLT 9

Samlet klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk:

**0,81 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år**

Samlet etagedækshøjde:

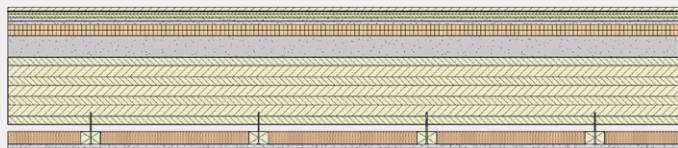
**521 mm**

Økonomisk indeks ift. Ref 1:

**1,8**

Etagedæksmasse:

**335 kg/m<sup>2</sup>**



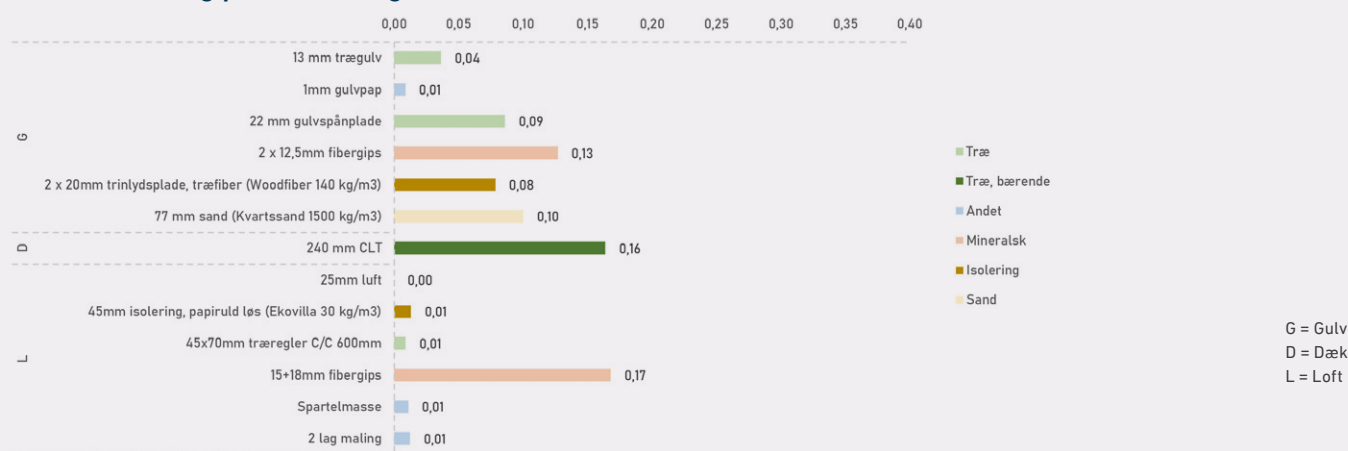
## BYGBARHED

Antal arbejds gange: Høj  
Tunge arbejds gange: Spånplade, gulvgips, sand og gipsloft  
Arbejde over hoved: Gipsloft

## KOMMENTARER

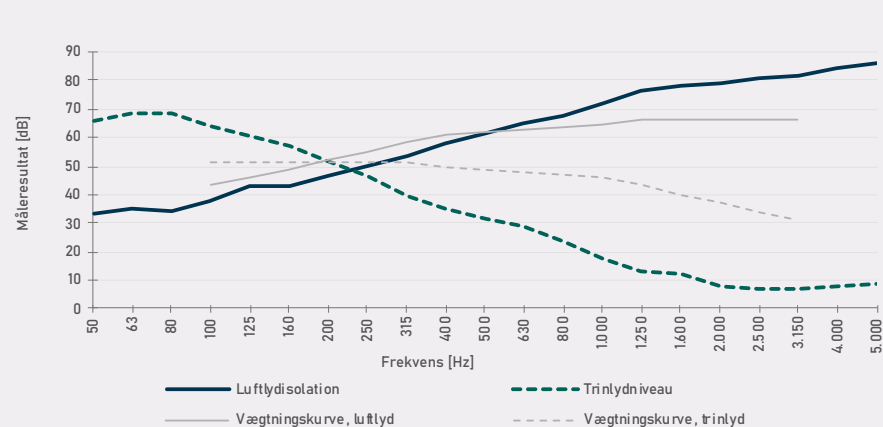
Føring af installationer i sandlag.  
Gulvvarme kræver tilføjelse af varmefordelingsplader

## Klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk [kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år]



## Akustike måleresultater

|                  |  |              |  |              |        |               |
|------------------|--|--------------|--|--------------|--------|---------------|
| LUFTLYDISOLATION | LABMÅLING<br>$R_w =$                     | <b>62 dB</b> | KRAV<br>$R'_w \geq$                      | <b>55 dB</b> | MARGIN | <b>+ 7 dB</b> |
|                  | LABMÅLING<br>$R_w + C_{50-3150} =$       | <b>59 dB</b> | ANBEFALING<br>$R'_w + C_{50-3150} \geq$  | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>+ 6 dB</b> |
| TRINLYDNIVEAU    | LABMÅLING<br>$L_{n,w} =$                 | <b>49 dB</b> | KRAV<br>$L'_{n,w} \leq$                  | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>+ 4 dB</b> |
|                  | LABMÅLING<br>$L_{n,w} + C_{1,50-2500} =$ | <b>59 dB</b> | ANBEFALING<br>$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>- 6 dB</b> |



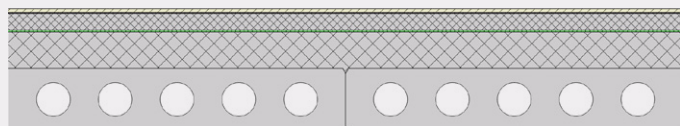
| Frekvens Hz | R dB | L <sub>n</sub> dB |
|-------------|------|-------------------|
| 50          | 33,5 | 66,2              |
| 63          | 34,8 | 68,1              |
| 80          | 34,6 | 68,6              |
| 100         | 37,9 | 64,5              |
| 125         | 43,4 | 60,8              |
| 160         | 43,4 | 57,3              |
| 200         | 46,3 | 51,7              |
| 250         | 49,9 | 46,2              |
| 315         | 53,4 | 39,4              |
| 400         | 58,4 | 34,9              |
| 500         | 61,5 | 31,9              |
| 630         | 64,7 | 29,2              |
| 800         | 67,6 | 23,7              |
| 1000        | 72,1 | 17,8              |
| 1250        | 76,1 | 13,1              |
| 1600        | 77,8 | 12,2              |
| 2000        | 79,5 | 8,1               |
| 2500        | 80,5 | 7,0               |
| 3150        | 81,5 | 7,2               |
| 4000        | 84,3 | 7,9               |
| 5000        | 86,5 | 8,4               |

Skillefladeareal: 9,8 m<sup>2</sup>

Modtagerum vol.: 246,0 m<sup>3</sup>

# REF 1

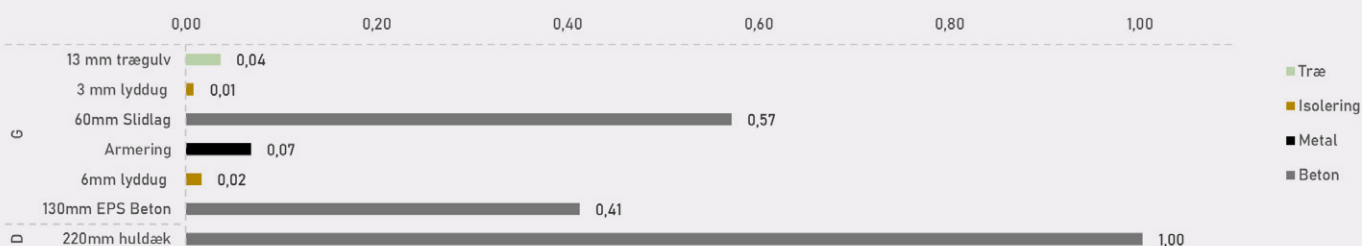
|  |  |
|--|--|
| Samlet klimabelastning pr. m <sup>2</sup> dæk: | <b>2,12 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år</b> |
| Samlet etagedækshøjde:                         | <b>419 mm</b>                                      |
| Økonomisk indeks ift. Ref 1:                   | <b>1,0</b>   |
| Etagedæksmasse:                                | <b>544 kg/m<sup>2</sup></b>                        |



**BYGBARHED**  
 Antal arbejdsgange: Få  
 Tunge arbejdsgange: Ingen  
 Arbejde over hoved: Ingen

**KOMMENTARER**  
 Mulighed for anvendelse af gulvvarmeslanger i betonslidlaget

## Klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk [kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år]



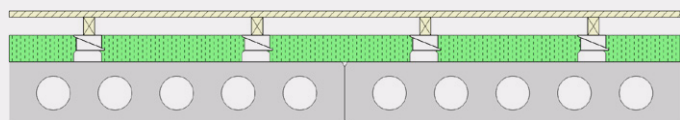
G = Gulv  
 D = Dæk  
 L = Loft

## Akustiske måleresultater

|                  |   |  |                         |
|------------------|---|--|-------------------------|
| LUFTLYDISOLATION | BYGNINGSMÅLING<br>$R'_{w} =$ <b>61 dB</b>                   | KRAV<br>$R'_{w} \geq$ <b>55 dB</b>                         | MARGIN<br><b>+ 6 dB</b> |
|                  | BYGNINGSMÅLING<br>$R'_{w} + C_{50-3150} =$ <b>58 dB</b>     | ANBEFALING<br>$R'_{w} + C_{50-3150} \geq$ <b>53 dB</b>     | MARGIN<br><b>+ 5 dB</b> |
| TRINLYDNIVEAU    | BYGNINGSMÅLING<br>$L'_{n,w} =$ <b>48 dB</b>                 | KRAV<br>$L'_{n,w} \leq$ <b>53 dB</b>                       | MARGIN<br><b>+ 5 dB</b> |
|                  | BYGNINGSMÅLING<br>$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} =$ <b>48 dB</b> | ANBEFALING<br>$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq$ <b>53 dB</b> | MARGIN<br><b>+ 5 dB</b> |

# REF 2

|  |  |
|--|--|
| Samlet klimabelastning pr. m <sup>2</sup> dæk: | 1,20 kg CO <sub>2</sub> ækv./m <sup>2</sup> år |
| Samlet etagedækshøjde:                         | 384 mm   |
| Økonomisk indeks ift. Ref 1:                   | 0,8  |
| Etagedæksmasse:                                | 368 kg/m <sup>2</sup>                          |



## BYGBARHED

Antal arbejdsgange: Få  
Tunge arbejdsgange: Ingen  
Arbejde over hoved: Ingen

## KOMMENTARER

Føring af installationer i hulrummet  
  
Gulvvarme kræver tilføjelse af varmefordelingsplader

## Klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk [kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år]



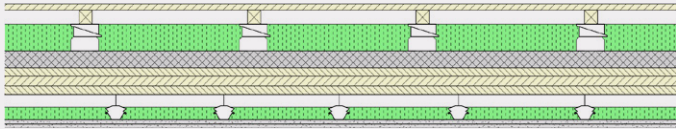
G = Gulv  
D = Dæk  
L = Loft

## Akustiske måleresultater

|                  |  |   |                  |
|------------------|--|---|------------------|
| LUFTLYDISOLATION | BYGNINGSMÅLING<br>$R'_{w} =$ 63 dB                   | KRAV<br>$R'_{w} \geq$ 55 dB                         | MARGIN<br>+ 8 dB |
|                  | BYGNINGSMÅLING<br>$R'_{w} + C_{50-3150} =$ 62 dB     | ANBEFALING<br>$R'_{w} + C_{50-3150} \geq$ 53 dB     | MARGIN<br>+ 9 dB |
| TRINLYDNIVEAU    | BYGNINGSMÅLING<br>$L'_{n,w} =$ 46 dB                 | KRAV<br>$L'_{n,w} \leq$ 53 dB                       | MARGIN<br>+ 7 dB |
|                  | BYGNINGSMÅLING<br>$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} =$ 49 dB | ANBEFALING<br>$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq$ 53 dB | MARGIN<br>+ 4 dB |

# REF 3

|  |  |
|--|--|
| Samlet klimabelastning pr. m <sup>2</sup> dæk: | 1,23 kg CO <sub>2</sub> ækv./m <sup>2</sup> år |
| Samlet etagedækshøjde:                         | 439 mm   |
| Økonomisk indeks ift. Ref 1:                   | 1,5  |
| Etagedæksmasse:                                | 250 kg/m <sup>2</sup>                          |



**BYGBARHED**  
 Antal arbejdsgange: Middel  
 Tunge arbejdsgange: Gipsloft  
 Arbejde over hoved: Gipsloft

**KOMMENTARER**  
 Førning af installationer i hulrummet  
 Gulvvarme kræver tilføjelse af varmefordelingsplader

## Klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk [kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år]



G = Gulv  
 D = Dæk  
 L = Loft

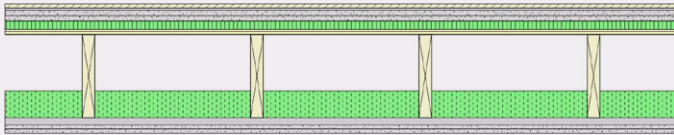
## Akustike måleresultater

|                  |  |       |  |       |        |         |
|------------------|--|-------|--|-------|--------|---------|
| LUFTLYDISOLATION | BYGNINGSMÅLING<br>$R'_w =$                     | 68 dB | KRAV<br>$R'_w \geq$                      | 55 dB | MARGIN | + 13 dB |
|                  | BYGNINGSMÅLING<br>$R'_w + C_{50-3150} =$       | 59 dB | ANBEFALING<br>$R'_w + C_{50-3150} \geq$  | 53 dB | MARGIN | + 6 dB  |
| TRINLYDNIVEAU    | BYGNINGSMÅLING<br>$L'_{n,w} =$                 | 48 dB | KRAV<br>$L'_{n,w} \leq$                  | 53 dB | MARGIN | + 5 dB  |
|                  | BYGNINGSMÅLING<br>$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} =$ | 53 dB | ANBEFALING<br>$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ | 53 dB | MARGIN | + 0 dB  |



# REF 4

|  |  |
|--|--|
| Samlet klimabelastning pr. m <sup>2</sup> dæk: | <b>0,69 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år</b> |
| Samlet etagedækshøjde:                         | <b>461 mm</b>                                      |
| Økonomisk indeks ift. Ref 1:                   | <b>1,6</b>   |
| Etagedæksmasse:                                | <b>104 kg/m<sup>2</sup></b>                        |

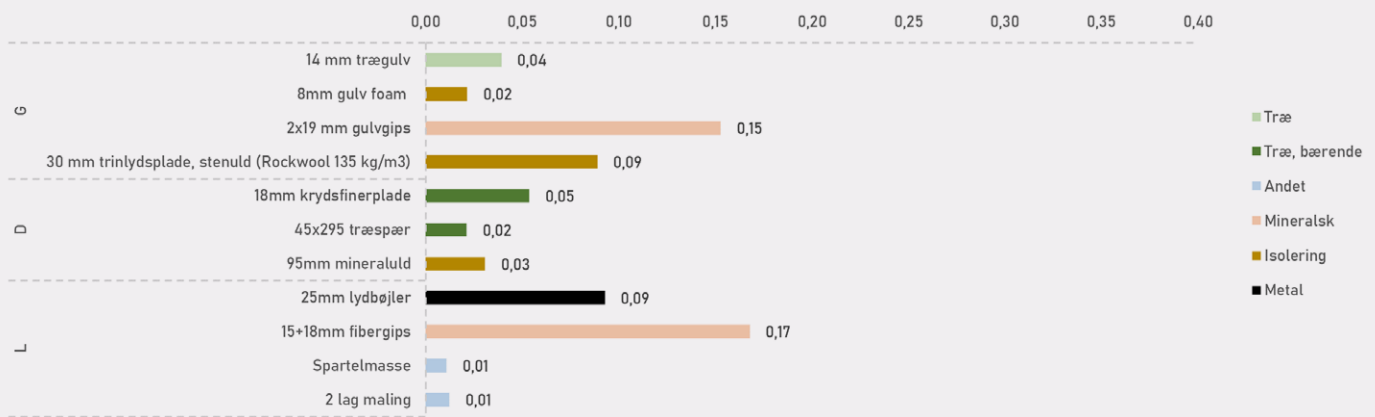


**BYGBARHED**  
 Antal arbejdsgange: Middel  
 Tunge arbejdsgange: Gipsloft  
 Arbejde over hoved: Gipsloft

**KOMMENTARER**  
 Minimalt brug af konstruktionstræ, men er udfordret ift. at bygge over 3-4 etager

Gulvvarme kræver tilføjelse af varmefordelingsplader

## Klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk [kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år]



G = Gulv  
 D = Dæk  
 L = Loft

## Akustiske måleresultater

|                  |  |              |  |              |        |               |
|------------------|--|--------------|--|--------------|--------|---------------|
| LUFTLYDISOLATION | BYGNINGSMÅLING<br>$R'_w =$                     | <b>60 dB</b> | KRAV<br>$R'_w \geq$                      | <b>55 dB</b> | MARGIN | <b>+ 5 dB</b> |
|                  | BYGNINGSMÅLING<br>$R'_w + C_{50-3150} =$       | <b>58 dB</b> | ANBEFALING<br>$R'_w + C_{50-3150} \geq$  | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>+ 5 dB</b> |
| TRINLYDNIVEAU    | BYGNINGSMÅLING<br>$L'_{n,w} =$                 | <b>50 dB</b> | KRAV<br>$L'_{n,w} \leq$                  | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>+ 3 dB</b> |
|                  | BYGNINGSMÅLING<br>$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} =$ | <b>56 dB</b> | ANBEFALING<br>$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>- 3 dB</b> |

# REF 5

Samlet klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk:

**0,56 kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år**

Samlet etagedækshøjde:

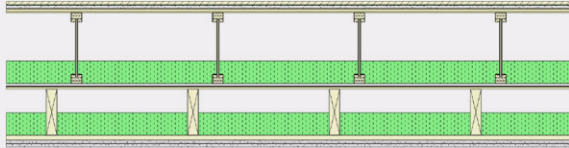
**595 mm**

Økonomisk indeks ift. Ref 1:

**1,2**

Etagedæksmasse:

**94 kg/m<sup>2</sup>**



## BYGBARHED

Antal arbejdsgange: præfab.

Tunge arbejdsgange: Ingen

Arbejde over hoved: Ingen

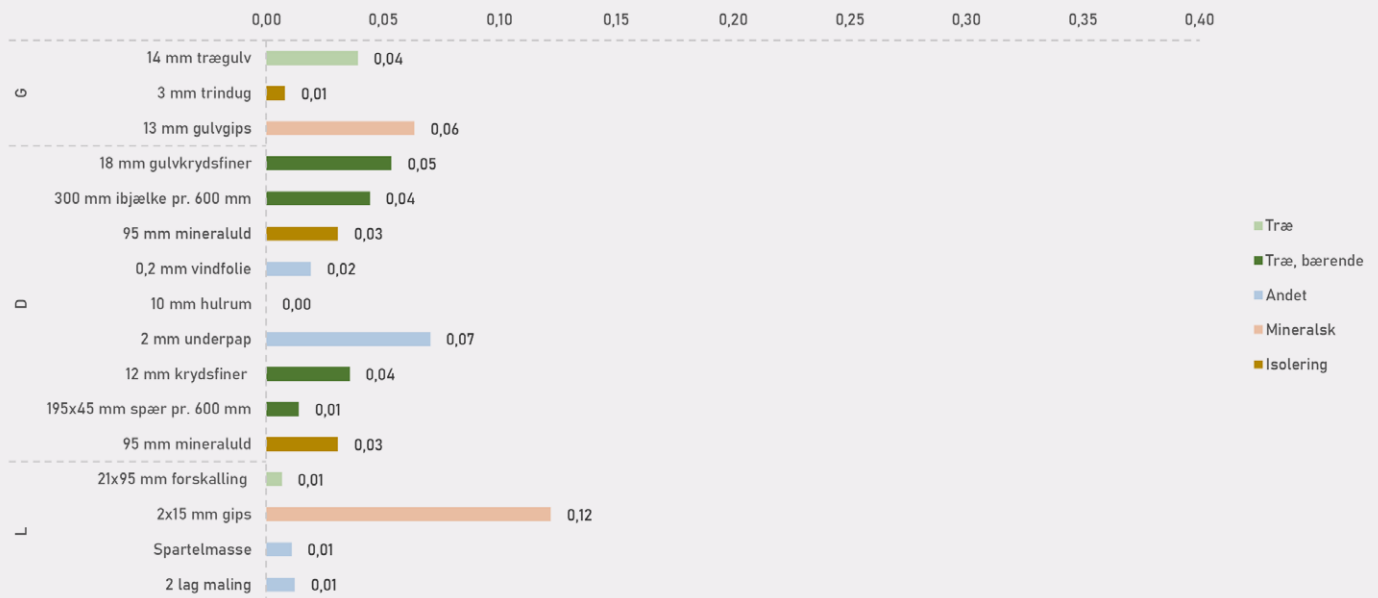
## KOMMENTARER

Minimalt brug af konstruktionstræ, men er udfordret ift. at bygge over 3-4 etager

Gulvvarme kræver tilføjelse af varmefordelingsplader

Kan laves som boksmoduler

## Klimabelastning pr. m<sup>2</sup> dæk [kg CO<sub>2</sub>ækv./m<sup>2</sup> år]



G = Gulv

D = Dæk

L = Loft

## Akustike måleresultater

|                  |  |              |   |              |        |               |
|------------------|--|--------------|---|--------------|--------|---------------|
| LUFTLYDISOLATION | BYGNINGSMÅLING<br>$R'_{w} =$                   | <b>61 dB</b> | KRAV<br>$R'_{w} \geq$                     | <b>55 dB</b> | MARGIN | <b>+ 6 dB</b> |
|                  | BYGNINGSMÅLING<br>$R'_{w} + C_{50-3150} =$     | <b>56 dB</b> | ANBEFALING<br>$R'_{w} + C_{50-3150} \geq$ | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>+ 3 dB</b> |
| TRINLYDNIVEAU    | BYGNINGSMÅLING<br>$L'_{n,w} =$                 | <b>53 dB</b> | KRAV<br>$L'_{n,w} \leq$                   | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>+ 0 dB</b> |
|                  | BYGNINGSMÅLING<br>$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} =$ | <b>56 dB</b> | ANBEFALING<br>$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$  | <b>53 dB</b> | MARGIN | <b>+ 3 dB</b> |