

Framtidens hållbara innerväggssystem

- en studie om alternativa byggnadsmaterial
för att främja innovativa cirkulära lösningar

Ellen Andersson & Emmy Andersson

Byggnadsmaterial | LTH |

Lunds universitet



Titel/Title

Framtidens hållbara innerväggssystem - en studie om alternativa byggnadsmaterial för att främja innovativa lösningar som ingår i ett cirkulärt kretslopp

Future sustainable interior wall system – a study on alternative building materials to promote innovative solutions that are part of a circular cycle

Författare/Author

Ellen Andersson

Emmy Andersson

Report 5128

ISRN LUTVDG/TVBM-23/5128-SE

Antal sidor/Number of pages: 91

Antal illustrationer/ Number of illustrations: 25

Sökord/Keywords

Alternativa byggmaterial, innervägg, biobaserad, cirkulär ekonomi, cirkulärt kretslopp, klimatpåverkan.

Alternative building materials, interior wall, bio-based, circular economy, circular cycle, climate impact.

© Copyright: Division of Building Materials, Faculty of Engineering, Lund University, Lund 2023
Avdelningen Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2023.

Byggnadsmaterial
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

www.byggnadsmaterial.lth.se

Division of Building Materials
Faculty of Engineering
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden
www.byggnadsmaterial.lth.se/english

Framtidens hållbara innerväggssystem

- **en studie om alternativa byggnadsmaterial för att främja innovativa cirkulära lösningar**

Ellen Andersson & Emmy Andersson



LUND
UNIVERSITY

Bachelor/Master Thesis, Report 5128, Division of Building Materials, Faculty of Engineering,
Lund University, Lund, 2023

Examensarbete, Rapport 5128, Avdelningen Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola, Lunds
universitet, Lund, 2023

Sammanfattning

Byggindustrin är idag en stor källa till CO₂-utsläpp. För att minska bygg- och anläggningssektorns klimatpåverkan, som idag genererar 21 procent av Sveriges utsläpp av växthusgaser, krävs en omställning mot en mer cirkulär ekonomi. Innerväggar utgör en betydande del av den färdiga byggnadens klimatavtryck. Materialval och typ av innerväggssystem kan påverka och reducera detta. Kontorsbyggnader är storskaliga byggnader med stor andel lätta icke bärande innerväggar. Att byta ut dessa innerväggar mot mer cirkulära alternativ hade gett en påtaglig minskning av branschens utsläpp.

Det var därför relevant att undersöka hur innerväggarna i en kontorsbyggnad kunde förbättras genom att använda mer hållbara och klimatsmarta material och lösningar. Exempel på sådana kan vara lågvärdigt biobaserade material eller material som ingår i ett biobaserat cirkulärt kretslopp. Detta examensarbete utgjorde det första steget i Vinnovaprojektet ”Utvärdering och förkvalificering av innerväggssystem baserat på lågvärdiga biobaserade material” i samarbete med NCC.

Arbetet utfördes som en litteraturstudie och inleddes med en definition av begreppet cirkulär ekonomi och en kartläggning av relevanta funktionskrav för en kontorsinnervägg. Utifrån kraven sammanställdes ett kontrollprogram. Kontrollprogrammet bestod av en tabell med gradering av hur väl de enskilda materialen uppfyllde kraven. Detta åskådliggjordes med hjälp av färger. En inventering av dagens innerväggssystem redovisades vidare och nya alternativa material undersöktes. Detta ledde fram till att en hållbar och klimatsmart kontorsinnervägg togs fram bestående av cirkulära material.

Resultatet gav tre förslag på hållbara innerväggssystem anpassade för kontorsbyggnader. Förslagen utvärderades med hjälp av kontrollprogrammet och diskussion fördes kring för- och nackdelar med de olika alternativen. Valen gjordes med hänsyn till hur väl de enskilda materialen samt materialen i samverkan uppfyllde, eller har potential att uppfylla, funktionskraven.

Slutsatsen som kunde dras var att de tre varianterna av innerväggar som togs fram kunde bidra till och ingå i den cirkulära ekonomin eftersom de tillverkades av hållbart material. Det fanns goda möjligheter att redan idag implementera väggarna som togs fram i detta arbete, Typvägg 1 och 2, som bestod av material med låg klimatpåverkan. Detta såg inte heller ut att påverka väggens förmåga att uppfylla funktionskraven. Många av materialen som användes i de tre typinnerväggarna förbättrade även komforten inne i kontoren då de är värmetröga, har goda fuktegenskaper och är lågemitterande.

Abstract

The construction industry today is a major source of CO₂-emissions. In order to reduce the climate emissions of the building and construction sector, which today is 21 percent of Sweden's climate emissions, a transition towards a more circular economy is required. Interior walls make up a significant part of the finished building's climate impact. Material selection and type of interior wall system can affect and reduce this climate footprint. Office buildings are large-scale buildings with a large proportion of light, non-load-bearing interior walls. Replacing these inner walls with more circular alternatives would have resulted in a significant reduction in the industry's climate emissions.

It was therefore relevant to investigate how the interior walls of an office building could be improved by using more sustainable materials and solutions. Examples of such can be low-value bio-based materials or materials that are part of a bio-based circular cycle. This thesis was the first step in the Vinnova project “Utvärdering och förkvalificering av innerväggssystem baserat på lågvärdiga biobaserade material” (translation: evaluation and pre-qualification of interior wall systems based on low-value bio-based materials) in collaboration with NCC.

This report was carried out as a literature study and began with a definition of the concept of circular economy and a mapping of relevant functional requirements for an office interior wall. Based on the requirements, a control-program was compiled. The control-program consisted of a table, grading how well the individual materials met the requirements. This was illustrated using colors. An inventory of today's interior wall systems was further presented and new alternative materials were investigated. This led to the stage of composing a sustainable office interior wall consisting of circular materials.

The result gave three proposals for sustainable interior wall systems adapted for office buildings. The proposals were evaluated with the help of the control-program and a discussion was held about the pros and cons of the various alternatives. The choices were made regarding to how well the individual materials and the materials in combination met, or have the potential to meet, the functional requirements.

The conclusion that could be drawn was that the three variants of interior walls that were developed could contribute to and be part of the circular economy because they were made from sustainable materials. There were good opportunities to already implement the walls, Typvägg 1 and 2, which consisted of materials with a low climate impact. This also did not appear to affect the wall's ability to meet the functional requirements. Many of the

materials used in the three types interior walls also improved the comfort inside the offices as they are heat resistant, have good moisture properties and are low-emitting.

Förord

Detta examensarbete avslutar våra studier på programmet Högskoleingenjörutbildning i byggt teknik med arkitektur vid Lunds Tekniska Högskola. Arbetet omfattar 22,5 högskolepoäng och har varit både inspirerande och utmanande.

Genom vår utbildning uppmärksammade vi utmaningar gällande hållbart byggande. Idéen till detta examensarbete kom från en gästföreläsning “Framtida Material” med Paulien Strandberg-de Bruijn som vi fick ta del av under kursen Energihushållning. Examensarbetet utfördes i samarbete med entreprenören NCC och är en del av ett pågående forskningsprojekt: “Utvärdering och förkvalificering av innerväggssystem baserat på lågvärdiga biobaserade material” (Vinnova 2022) finansierat av Bioinnovation.

Vi vill tacka NCC som publicerade exjobb förslaget på LTH:s hemsida. Extra stort tack vill vi rikta till Mikael Oxfall, del av projektgruppen och projektledare för Vinnova projektet, till lika biträdande handledare. Vi vill även tacka Paulien Strandberg-de Bruijn, vår huvudhandledare och dessutom forskare inom byggnadsmaterial på LTH, som har visat engagemang, väglett och stöttat oss under arbetet.

Ord- och begreppsförklaring

- **Hållbart material**

Syftade i denna studie till såväl nyskapande som historiska material med litet klimatavtryck. Begreppet inkluderade även biobaserade produkter ingående i det biologiska kretsloppet. Det kunde även avse material som var en restprodukt, gick åt återvinna, återanvända eller hade låg inbyggd energi.

- **Restprodukt**

Material som oavsiktligt uppstår i eller till följd av en produkts tillverkningsprocess (Naturvårdsverket u.å.).

- **Biobaserat material**

Ansågs i denna studie vara material som helt, eller till stor del, bestod av förnybar råvara och erbjöd en väg mot ett mer resurseffektivt byggande. Det kunde vara material från förnybara, kolbaserade biologiska råvaror, råvaror från skogs- och lantbruk eller från havet.

- **Inbyggd energi**

Mängd energi som ett material kräver under framför allt tillverkning, transport och under byggprocessen, men även den energianvändning som krävs vid renovering och rivning (Schade, Shadram, Lu, Olofsson & Wiklund 2018).

- **Lågvärdigt biobaserat**

Material som inte är processat, eller har låg inbyggd energi. Exempel på lågvärdigt biobaserat material är alger, hampa, torv, vass, halm, mycelium, restprodukter från trä eller återbrukat trä.

I detta arbete ansågs inte ”rent” trä som lågvärdigt biobaserat material, trots att trä är biobaserat. Trä kan utnyttjas effektivare på andra ställen i konstruktionen och därför togs endast restprodukter från trä eller återbrukat trä med i detta arbete som hållbara material.

Lera togs med i denna studie då vi bedömde att materialet är lågvärdigt och har lågt CO₂-utsläpp, men lera är inte ett biobaserat material.

- **Livscykelanalys**

Boverket (2019) beskriver hur beräkning av en byggnads miljöpåverkan kan utföras med hjälp av livscykelanalys (LCA). En LCA delas upp i olika livscykelskeden och visar i vilket skede en viss miljöpåverkan är störst. För en byggnad delas dess livscykel in i tre huvudskeden:

A) Byggskedet

A1-3 produktskede

A4-5 byggproduktionsskede

B) Användningsskedet

C) Slutskedet

- **CO₂-ekv**

Enhet som beskriver utsläppen av en viss växthusgas uttryckt i den mängd koldioxid som orsakar samma växthuseffekt (Nationalencyklopedin u.å.). Används för att enklare jämföra olika växthusgaser med varandra.

- **Kritisk relativ fuktighet**

Boverket (2023) beskriver begreppet som en materialegenskap vilken anges i procent. Vid kritisk relativ fuktighet kan mikrobiell tillväxt ske på materialytan. Det kan också leda till att materialets egenskaper förändras. Det fukt känsligaste materialets kritiska relativa fuktighet är avgörande för hela konstruktionen, när flera material kombineras.

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Mål	3
1.4 Problemformuleringar	3
1.5 Avgränsningar	3
1.6 Metod	3
1.7 Källkritik	4
1.7.1 Vetenskapliga rapporter	4
1.7.2 Lagar och myndighetsföreskrifter	4
1.7.3 Webbsidor och internetreferenser	4
2 Cirkulär ekonomi	5
3 Kravställningar på dagens innerväggssystem	7
3.1 Brandbeständighet	7
3.1.1 Klassbeteckningar	7
3.1.2 Krav på brandklass	8
3.1.3 Mätmetoder	8
3.2 Akustik	9
3.2.1 Ljudklasser	10
3.2.2 Ljudkrav för väggkonstruktion	10
3.2.3 Ljudreduktion kontorsinnervägg	10
3.2.4 Mätmetoder	10
3.3 Bärförmåga	12
3.3.1 Icke bärande innerväggar	12
3.4 Takhöjd	13
3.5 Byggnadsfysik	13
3.5.1 Värmeisolerande egenskaper, värmekapacitet och termisk komfort	13
3.5.2 Fukt	14
3.6 Emissioner	15
3.7 Klimatdeklaration	16
3.8 Beständighet	16
3.9 Flexibilitet	17
4 Typlösningar för dagens innerväggssystem	18
4.1 Regelväggar	19
4.1.1 Ståregelväggar.....	19
4.1.2 Träregelväggar	22
4.2 Massiva väggar	24
4.3 Tekniska egenskaper och klimatpåverkan för dagens innerväggssystem	27
4.3.1 Ståltreningar	27

4.3.2 Gipsskiva	28
4.3.3 Glasull.....	28
5 Materialförslag för hållbara innerväggssystem	30
5.1 Reglar	31
5.1.1 Reglar av papp från Wood Tube	31
5.1.2 Regel av återvunnet korslimmat trä från MoreWood	33
5.2 Skivmaterial	35
5.2.1 Byggskivor av återvunna förpackningar från Recoma	35
5.2.2 Lerskiva	36
5.2.3 Byggskiva av lera och hampa.....	38
5.2.4 Mycelium som skivmaterial	39
5.3 Isoleringsmaterial.....	41
5.3.1 Hampafiberisolering	41
5.3.2 Ålgräsisolering	42
5.4 Massiv vägglösning	45
5.4.1 Flexibelt innerväggssystem - "Fremtidens indervæg"	45
5.4.2 Hampakalk.....	47
6 Resultat	49
6.1 Typvägg 1:	50
6.2 Typvägg 2:	51
6.3 Typvägg 3:	52
6.4 Kontrollprogram	53
7 Diskussion	56
7.1 Basic Byggskiva från Recoma	56
7.2 Wood Tube pappregel	56
7.3 Ålgräsisolering	57
7.4 Lerskiva Lemix	57
7.5 Hampafiberisolering från Ekolution	58
7.6 Kortregel MoreWood av återvunnet KL-trä	58
7.7 Mycelium.....	59
7.8 Flexibilitet	59
7.9 Övriga krav som berör hela väggkonstruktionen	60
8 Konsekvenser av vårt resultat	61
9 Studiens styrkor och svagheter.....	62
10 Slutsats.....	63
11 Vidare studier.....	64
12 Referenser	65
13 Appendix	76

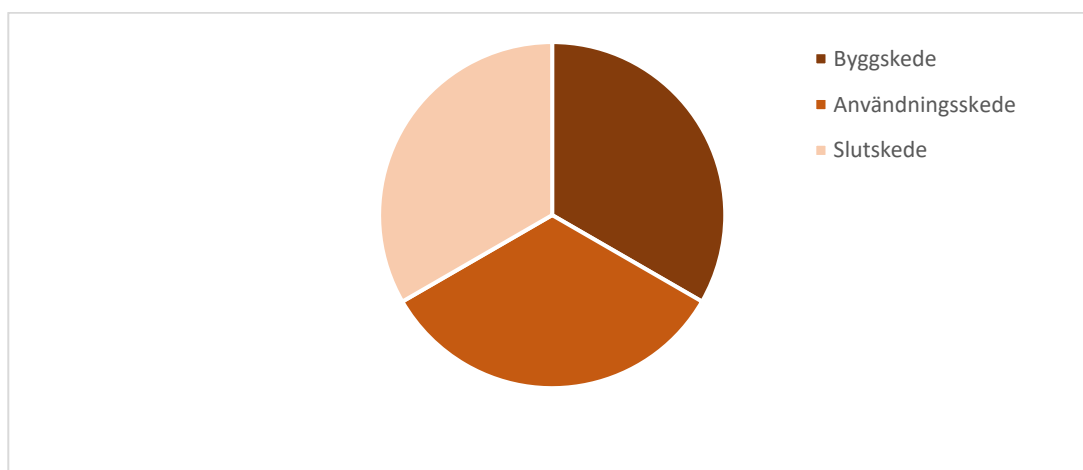
1 Inledning

1.1 Bakgrund

Vid FN:s toppmöte 2015 enades världssamfundet om en handlingsplan för omställning till ett hållbart samhälle (FN u.å.). Den går under namnet Agenda 2030 och omfattar samtliga tre dimensioner av hållbar utveckling, ekologisk-, ekonomisk- och social hållbarhet. Planen bygger på 17 globala mål vars syfte är att leda till en hållbar utveckling.

Med utgångspunkt i de globala hållbarhetsmålen har Sveriges riksdag infört 16 miljö kvalitetsmål. Målen är mer detaljerade i förhållande till FN:s globala mål och består av indikatorer och etappmål, som beskriver vad som behöver göras och när, ur ett nationellt perspektiv. Detta var en yrkan från FN:s klimatpanel IPCC som ställer högre krav på rikare länder att införa nationella handlingsplaner för att minska sina utsläpp (Joelsson & Karlsson Andrews 2015). För att klara målsättningarna i riktlinje med de globala målen och miljö kvalitetsmålen krävs omställning och anpassning inom flera områden.

Byggindustrin är idag en stor källa till CO₂-utsläpp. I Sverige står bygg- och anläggningssektorn för 21 procent av Sveriges utsläpp av växthusgaser (Wallsten 2022). Forskning och branschinsatser bedrivs idag för att minska dessa utsläpp, bl.a. genom att minska klimatpåverkan i brukarskedet men även från råvaruutvinning och materialproduktion. Exempel på insatser är klimatförbättrad betong och nya system för massiva träkonstruktioner. När byggnader blir mer energieffektiva och föroreningarna från uppvärmningssystemen minskar blir utsläppen som sker under byggskedet av större vikt. Enligt Boverket (2021) utgör byggskedet en tredjedel av byggnadens totala klimatpåverkan, mätt i CO₂-ekv/m², se figur 1. Denna siffra kan dock påverkas genom materialval och utförandemetod.



Figur 1: Idag har samtliga tre livscykelstadierna lika stor miljöpåverkan under en byggnadens livslängd (Boverket 2021).

Innerväggarna utgör en betydande del av den färdiga byggnaden och dess klimatpåverkan. Materialval och typ av innerväggssystem kan därmed påtagligt reducera hela byggnadens klimatpåverkan. I större fastigheter består det vanligaste innerväggssystemen idag av stålreglar, isolering och gipsskivor, enligt Mikael Oxfall¹, NCC Building Sweden. Interna genomlysningar i NCC visar, enligt Oxfall, att utsläppen för dessa väggtyper i en nybyggd kontorsfastighet kan stå till upp emot 5–10 % av byggnadens CO₂-utsläpp under produktionsskedet A1-A3, se avsnitt ”Ord- och begreppsförklaring”. Det rör sig om en betydande del som har god potential att minska genom att välja material med omsorg.

Biobaserade byggmaterial har potential att reducera utsläppen av växthusgaser vid nyproduktion eller renovering av en byggnad. Peñaloza, Erlandsson och Falk (2016) redogör i sin rapport ”Exploring the climate impact effects of increased use of bio-based materials in buildings” hur byggnader konstruerade av biobaserat material har lägre klimatpåverkan under och efter sin livslängd än byggnader av stål och betong. Normalt kräver biobaserade byggmaterial begränsad bearbetning vid produktion. De har en låg inbyggd energi och är en del av det cirkulära kretsloppet. Historiskt sett har människan byggt sina hus med material från naturen. Lokala byggtraditioner är i de flesta fall också anpassade efter de material som funnits tillgängliga på platsen. De senaste hundra åren har vi emellertid avvikit från denna tradition. Att återgå till att använda biobaserade alternativ i en innerväggskonstruktion kan leda till minder miljöbelastning och lägre CO₂-utsläpp för en byggnad. Det är därför relevant att undersöka hur innerväggarna i en kontorsbyggnad kan förbättras genom att använda mer hållbara material och lösningar. Kontorsbyggnader är storskaliga byggnader, ofta med öppna planlösningar och stor andel lätta icke bärande innerväggar, där en förändring blir märkbar. Möjligheten till flexibilitet är större och kraven mer gynnsamma, därför ser bl.a. NCC ett intresse i att testa nya lösningar där.

1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete var att identifiera och ta fram förslag på innerväggssystem passande i en kontorsbyggnad, baserade på lågvärdigt biobaserat material, se avsnitt ”Ord- och begreppsförklaring”, och hållbara lösningar. Ett kontrollprogram togs även fram där innerväggssystemen utvärderades mot relevanta funktionskrav.

¹ Mikael Oxfall, NCC Building Sweden, personlig kommunikation den 11 april 2023.

1.3 Mål

Målet med detta examensarbete var att;

- Presentera två förslag på innerväggssystem anpassade för en kontorsbyggnad, baserade på hållbart material.
- Upprätta ett kontrollprogram för att utvärdera systemen.

1.4 Problemformuleringar

- Hur kan ett innerväggssystem bli en del av den cirkulära ekonomin?
- Kan en innervägg baserad på hållbart material uppfylla funktionskraven för en kontorsinnervägg?
- Hur kan dagens innerväggssystem förbättras till mer klimatsmarta lösningar?
- Hur kan ett mer hållbart innerväggssystem utformas?

1.5 Avgränsningar

Fokusområde för detta arbete var icke bärande innerväggssystem i kontorsbyggnader. Innerväggar mot våtrum behandlades inte, eftersom det ställs särskilda krav på dess konstruktion och utförande.

Fuktsäkerhetsrelaterade frågor behandlades endast grundläggande i detta arbete och inga ingående studier genomfördes. Kostnadsberäkning för väggkonstruktionerna ingick inte heller i studien eftersom kunskap och tillgång till information om detta var svårt att fastställa i ett tidigt skede. Systemen skulle vara praktiskt genomförbara.

1.6 Metod

Arbetet utfördes som en litteraturstudie och inleddes med en definition av begreppet cirkulär ekonomi, som ett redskap för att gå mot ett hållbarare samhälle. Därefter gjordes en kartläggning med hjälp av litteraturstudie av de funktionskrav som ställs på en kontorsinnervägg idag. Utifrån kraven togs ett kontrollprogram fram. Vidare redovisades en inventering av vilka typer av innerväggssystem som används i dagsläget, vilka huvudfunktioner de olika komponenterna har och vilka konventionella byggmaterial som används idag. Vetenskapliga rapporter, lagar och myndighetsföreskrifter la grunden till denna informationsinsamling. Insamlingen skedde med hjälp av ”LUBsearch”, utdelat material från handledare samt litteratursökning på bibliotek. Företagskontakt hölls även med entreprenör Mikael Oxfall från NCC för tillgång till material och underlag från deras håll.

Efter dessa inledande steg introducerades en rad alternativa material med potential att ingå i en klimatsmart innervägg. Arbetet utfördes med hjälp av litteraturstudier där information hämtades från rapporter, webbsidor och företagshemsidor. Kontakt via mejl togs även med kunniga personer inom aktuella områden, brand och akustik, samt vägledning av handledare som forskar inom området. Detta för att föra en diskussion om fakta som inte gick att nå genom tidigare nämnt tillvägagångsätt. Avslutningsvis presenterades tre förslag på hållbara innerväggssystem som sedan utvärderades med hjälp av kontrollprogrammet och diskussion fördes kring för- och nackdelar.

1.7 Källkritik

Huvuddelen av detta arbete baserades på vetenskapliga rapporter samt lagar och myndighetsföreskrifter. Litteratursökningen till kap. 5 bestod däremot av faktainsamling från företagshemsidor och företagens egna produktdatablad etc.

1.7.1 Vetenskapliga rapporter

Vetenskapliga rapporter ansågs i detta arbete som trovärdiga källor då de är författade och granskade av forskare och högt uppsatta organisationer. De hade även angivna författare och datum vilket stärkte deras trovärdighet.

1.7.2 Lagar och myndighetsföreskrifter

Lagar och myndighetsföreskrifter betraktades som trovärdiga källor eftersom de är stiftade av riksdag och regering. Många av myndighetskraven var dessutom baserade på EU-direktiv.

1.7.3 Webbsidor och internetreferenser

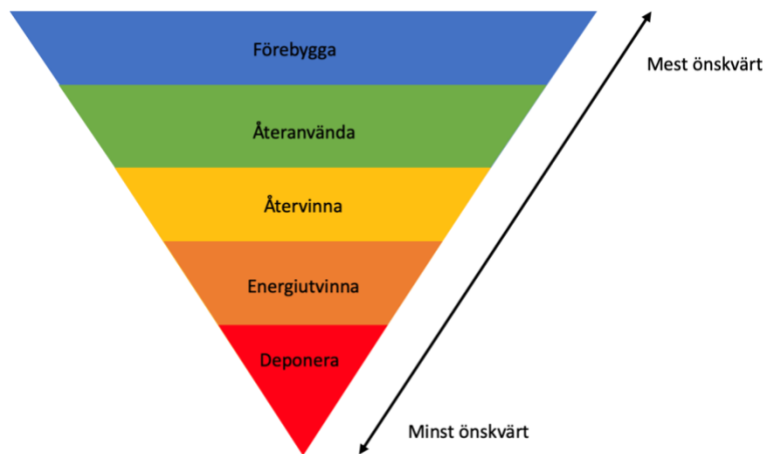
Webb- och internetreferenser ansågs för detta arbete som mindre pålitliga källor. För att hitta innovativa lösningar krävdes informationsinsamling från nutida relevanta källor. Webb- och internetreferenser bidrog med information tillhörande färdiga produkter och byggmaterial. Företagens egna hemsidor kan ses som partiska eftersom informationen kunde vara riktad som marknadsföring. Datum och författare till innehållet saknades på vissa internetreferenser. För en del påståenden saknades även vetenskapliga data som stärkte yttrandet. Positivt var dock att några internetreferenser hänvisade till certifieringar och godkända standarder vilket stärkte deras trovärdighet.

2 Cirkulär ekonomi

Cirkulär ekonomi är en modell som kan användas som ett redskap för att minska samhällets resursanvändning och den miljöpåverkan som följer av denna (Sillanpää & Ncibi 2019). Genom ett mer resurseffektivt nyttjande av material kan deras livslängd och ekonomiska värde öka och på samma gång minskas uttaget av ny råvara och deponeringen av avfall (Miljödepartementet 2020). Den cirkulära ekonomin har som mål att producera och designa för att material ska cirkulera med sådan kvalitet och säkerhet att de till exempel kan återanvändas, enkelt repareras eller materialåtervinnas. Uppkomsten av avfall ska först och främst alltid förebyggas och till hjälp är det framtaget en gemensam prioriteringsordning inom EU som går under namnet avfallshierarkin (Naturvårdsverket u.å.). En överblick över avfallshierarkin presenteras i figur 2, illustration inspirerad av Naturskyddsföreningen (2022). Se förklaring till de olika begreppen enligt Naturvårdsverket (2022) nedan:

- Förebygga = minska mängden avfall som genereras genom att materialet eller produkten kan repareras och underhållas samt är hållbara.
- Återanvända = avfallet används på nytt för samma eller nytt syfte.
- Återvinna = avfallsmaterialet förädlas till ny produkt.
- Energiutvinna = avfallet förbränns och blir till energi.
- Deponera = bortskaffning, här hamnar material som inte kan hanteras på annat sätt och inte ska cirkulera i samhället. Avfallet läggs på soptipp.

Utvinning och bearbetning av naturresurser har ökat kraftigt under de senaste två decennierna, vilket nu är orsak till ungefär 50 procent av den globala klimatpåverkan (Boverket 2022). Den cirkulära ekonomin har en betydande roll för att uppnå de uppsatta klimatmålen då den är motsatsen till den linjära ekonomin där man istället tillverkar, köper och sedan kasserar produkten (ibid.), i detta fall byggnadsmaterial.



Figur 2: Illustration över EU:s avfallshierarki där deponi bör undvikas och minimering är bästa alternativ (Naturskyddsföreningen 2022).

De flesta byggnader idag är inte utformade enligt principerna för den cirkulära ekonomin. Cirkulär byggnadsdesign kan minska trycket på naturresurserna och byggnaders miljöpåverkan. Kanters (2020) beskriver att en cirkulär byggnadsdesign kan uppnås genom att sluta slingor och erkänna vikten av biobaserad eller återanvända material och genom att ta ansvar för det som produceras.

En frontfigur för cirkulär ekonomi är Ellen Macarthur som på ett ingående och pedagogiskt sätt förklarar begreppet. Önskas djupare inblick kan ytterligare information sökas om cirkulär ekonomi på hennes hemsida "Ellen Macarthur foundation" (u.å.).

3 Kravställningar på dagens innerväggssystem

Innerväggens huvuduppgift är att dela in byggnaden i olika rum. För att skydda de olika rummen från att störa varandra och fungera avskiljande ställs flera krav på innerväggen. För att kunna ta fram nya hållbara innerväggssystem sammanställdes kraven som berör kontorsinnerväggar. Kraven delades upp i brandbeständighet, akustik, bärförmåga, takhöjd, byggnadsfysik, termisk komfort, emissioner, klimatdeklaration, beständighet och flexibilitet. För att ge läsaren en tydlig överblick över de viktigaste funktionskraven sammanställdes dessa i blå rutor sist under varje kapitel. Referenser till informationen i rutorna återfinns i texten för respektive underrubrik. I Sverige är det främst Boverkets byggregler som reglerar kraven på innerväggssystem.

3.1 Brandbeständighet

En byggnad ska motstå brand och uppfylla kraven på brandklassning enligt den europeiska konstruktionsstandarden (EKS) som finns beskriven i Boverkets byggregler. I Boverkets författningssamling Avd. A (BFS 2015:6) beskrivs syftet med brandkraven. Kraven är bl.a. att utrymning ska ske på ett säkert sätt samt för att säkerställa räddningspersonalens säkerhet vid brandbekämpning.

Innerväggssystemet ska projekteras med hänsyn till brandkraven och hindra brandspridning mellan brandceller och inom enskilda rum (BFS 2011:26, kap. 5:53).

3.1.1 Klassbeteckningar

För att skydda byggnaden mot brand delas byggnadsdelar in i olika klasser. Detta beskrivs under kap. 5:232 i Boverkets byggregler (BFS 2011:6). Indelningen görs med hänsyn till byggdelens funktion. De vanligaste klassbeteckningarna är R, E och I och kan användas enskilt eller i kombinationer (BFS 2011:6, kap. 5:231). R står för byggnadsdelens bärförmåga, E för integriteten och tätheten i materialet och I beskriver materialets isolerande förmåga (ibid.). Efter klassbeteckningen följs ett tidskrav i minuter som anger hur länge byggnadsdelen klarar kravet (ibid.). Klassbeteckningarna kan även kombineras med tilläggsbeteckningar och om innerväggen är försedd med ytskikt har dessa egna klassbeteckningar och tilläggsklasser (ibid.).

En vanlig kombination för brandklassade byggnadsdelar är beteckningen EI. Denna beteckning anger att byggdelen både har en flam- och

brandgasavskiljande egenskaper (E) samt uppfyller kravet för temperaturhöjning på sidan som är vänd från branden (I).

3.1.2 Krav på brandklass

Kravet på vilken brandklass en innervägg ska uppnå beror på byggnadsklass och verksamhetsklass. Kontorsbyggnader tillhör verksamhetsklass 1 (BFS 2011:26, kap. 5:211). Byggnadsklass beror på skyddsbehovet av byggnaden, antal våningar osv (BFS 2011:26, kap. 5:22). I BBR avsnitt 5:52 framgår vilka brandklasser som gäller för de olika fallen.

Nedan presenteras ett exempel av brandklassning för en kontorsbyggnad.

Exempel: En regelvägg i en kontorsbyggnad med 4 våningsplan tillhörande byggnadsklass Br 1 tillhör brandsäkerhetsklass 4 (BFS 2019:1, kap. 1.1.2. § 2). Brandsäkerhetsklass 4 kräver en brandteknisk klass enligt R 60 samt för att bibehålla brandcell eller sektionegräns EI 60, vid brandbelastning 800 MJ/m² (BFS 2019:1, kap. 1.1.2. § 3, § 6).

Ytskikt använder en annan typ av klassning. Väggytor i en kontorsbyggnad bör ha klassning C-s2, d0 för Br1 och D-s2, d0 för Br2 och Br3 (BFS 2011:26, kap. 5:521). På boverkets hemsida finns exempel på typiska produkters olika egenskaper vid olika brandförlopp.

Om byggnaden har en automatisk vattensprinkleranläggning installerad kan i vissa fall ett lägre passivt brandskydd accepteras (BFS 2019:1, kap. 1.1.2 § 10).

3.1.3 Mätmetoder

Provning av brandmotstånd kan göras för konstruktionsdelar eller för enskilda material, för att säkerställa att brandkraven uppfylls. Research Institutes of Sweden AB, RISE, är ett av bolagen som utför ackrediterad testning, inspektion och certifiering för olika konstruktioners brandmotstånd. Provningsen sker i brandlaboratoriemiljö och kan ske med både horisontell och vertikal belastning.

För att förhindra brandspridning och upprätthålla utrymningsvägar kräver byggnadslagstiftningen att separerande element såsom innerväggar har dokumenterat brandmotstånd (RISE Research Institutes of Sweden AB u.å.). RISEs använder sig av Europastandarden EN 13640 för provning av icke bärande innerväggar. Mätmetoden som beskrivs nedan är hämtad med denna standard (EN 13640) som referens.

Provföremålet monteras i en 3x3 m ram tre sidor infästa och en vertikal sida fri. Är någon av provföremålets dimensioner mindre än 3 m skall delen provas i full skala. Väggen skall vara konstruerad enligt verklig användning vid provningen. För väggar som skall uppfylla krav på isolerande förmåga (I) monteras en termometer på den icke brandutsatta sidan. Om temperaturen inte överstiger 300 °C kan även mätning av värmestrålning göras. Provföremålet placeras på en vertikalugn som värms upp enligt standardbrandkurvan, beskriven i EN 1363–1. Vanligen pågår brandprovningen så länge som man önskar att få väggen godkänd, alltså 60 min om man vill uppnå t.ex. EI60, men man kan även förlänga provtiden för bättre förutsättningar till efterföljande bedömningar av liknande konstruktioner. Under provning utreds funktionskraven integritet (E), isolerförmåga (I) och värmestrålning (W). Väggens deformation mäts även under provningen. Efter brandprovning levereras en provningsrapport med resultatet som kan användas för en klassificering enligt EN 13501–2 som används inom hela Europa. Resultatet kan även användas som underlag vid CE-märkning.

Funktionskrav:

- Uppfylla kraven på brandklassning enligt den europeiska konstruktionsstandarden (EKS)
- Inte hindra eller äventyra räddningspersonalens säkerhet vid brandbekämpning
- Motverka brandspridning
- Uppnå rätt brandklass med hänsyn till kontorsbyggnadens byggnad- och verksamhetsklass
- Erhålla klassning C-s2, d0 för Br1 och D-s2, d0 för Br2 och Br3, för ytskikt
- Uppfylla EN 1364–1

3.2 Akustik

Det finns flera sätt för ljud att passera en vägg. Ljudet kan transmittas, flanktransmittas (sprida sig genom vibrationer i anslutande byggdelar), spridas via läckage eller överhörning (en öppen väg för ljudet att passera) (Strandberg & Lavén 2018). Alla dessa aspekter måste beaktas när en vägg konstrueras, för att ge väggen rätt ljudisolerande förmåga.

3.2.1 Ljudklasser

Det finns olika ljudklasser för att bestämma en konstruktions ljudisolerande förmåga. De klasser som finns är A, B, C och D, där ljudklass A är bäst.

3.2.2 Ljudkrav för väggkonstruktion

Olika ljudkrav ställs för olika typer av utrymmen. I Boverkets byggregler finns minimikrav för vilka ljudklasser olika byggnadstyper ska uppfylla. I kraven står det att byggnader ska utformas så att spridning och uppkomst av störande ljud ska begränsas, för att inte skapa besvär för människors hälsa (BBR 2011:6, 7:1).

BBR hänvisar till ljudklass C enligt SS25268:2007 som minimikrav för lokaler avsedda för kontorsarbete (BBR 2011:6, 7:22). Detta minimikrav följer plan- och bygglagen, PBL, och plan- och byggförordningen, PBF. Det finns dock inget hinder för att bygga med bättre ljudklass än minimikravet.

Ljudklass D är lägre än BBR:s kravnivå för nya byggnader (BFS 2013:14, 7:22). Ytterligare vägledning om ljudklasser finns i den svenska standarden SS 25268:2023 för kontorsbyggnader.

3.2.3 Ljudreduktion kontorsinnervägg

Ljudreduktionen uttrycks ofta i $R'w$ och är ett fältvärde för ljudnivån med enhet decibel (dB). När mätningar görs gäller dessa för hela konstruktionen, vägg med eventuell dörr och glaspartier.

Ljudreduktionskrav kopplade till en kontorsinnervägg hämtade från Svensk Standard (SS 25268:2023):

- Mellan kontorslokal och korridor: $R'w$ 30 dB
- Mellan kontorslokaler $R'w$ 35 dB
- Mellan mötesrum $R'w$ 44 dB

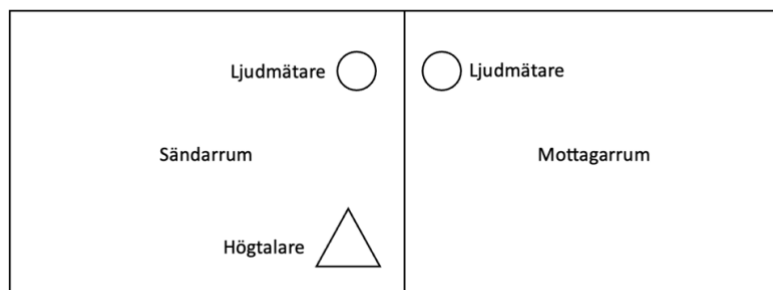
Eftersom kraven på ljudreduktion gäller för hela konstruktionen är det viktigt att väggen i sig klara en bättre ljudisolering. Detta för att säkerställa att hela väggkonstruktionen uppfyller ljudkravet.

3.2.4 Mätmetoder

För att säkerställa att kraven på akustik uppfylls görs mätningar enligt nationella och internationella standarder (SS 25268:2023). I dokumentet hänvisar SIS till gällande ISO- och EN-standarder för mätning, utvärdering

och beräkning. För akustikmätning av kontorsväggar kan SS-EN ISO 16283–1:2014 användas. Nedan beskrivs hur en mätning går till med denna standard (SS-EN ISO 16283–1:2014) som referens.

Luftljudsisolering för en innervägg mäts i laboriemiljö där väggen placeras så att den bildar två rum (sändarrum och mottagarrum). En högtalare placeras i sändarrummet och varsin ljudmätare placeras i de båda rummen, se figur 3. Mätning av efterklangstiden i mottagarrummet utförs först för att mäta hur dämpat rummet är, innan högtalaren startas. Därefter startas högtalaren och ljudnivån mäts för de båda rummen. Flertalet mätningar utförs i olika positioner och ett medelvärde erhålls i varje rum. Ljudtrycksnivåerna jämförs med varandra för att bestämma ljudreduktionstalet för innerväggskonstruktionen.



Figur 3: Uppställning av mätutrustning under akustikmätning av luftljudsisolering.

Mätningarna som utförs i laboriet ger ett laborativt mätresultat. Det laborativa mätresultatet redovisar innerväggens ljudisoleringsförmåga i laboriemiljö, utan några flanktransmissioner. När väggen placeras i en byggnad adderas flankemissioner och väggen får ett s.k. fält-värde. För att jämföra ljudegenskaperna för två innerväggskonstruktioner bör väggarnas laborativa mätresultat jämföras.

Funktionskrav:

- Begränsa spridning och uppkomst av störande ljud
- Uppfylla minst ljudklass C
- Tillgodose aktuella ljudreduktionskrav (exakt värde beror på var väggen placeras i kontorsbyggnaden)
- Uppfylla nationella och internationella standarder

3.3 Bärförmåga

Plan- och bygglagen ställer krav på en byggnads bärförmåga.

I Boverkets föreskrifter och allmänna råd finns riktlinjer för hur den europeiska konstruktionsstandarden (EKS) ska tillämpas. Kraven som ställs avser främst byggnadens bärande stomme, men det finns även riktlinjer för en byggnads icke bärande delar, stomkomplettering.

3.3.1 Icke bärande innerväggar

En icke bärande innervägg tillhör byggnadens stomkomplettering (Boverket 2023). Även om dessa delar inte är en del av den bärande konstruktionen måste de ändå förmå att bära last från sin egentyngd samt eventuell last från inredning och andra infästningar.

Beroende på risken för personskador om brott skulle uppstå i byggnadsdelen delas innerväggarna in i olika säkerhetsklasser. En lätt icke bärande innervägg tillhör säkerhetsklass 1, som innebär låg risk för allvarlig personskada (BFS 2011:10, Avd. A § 13). För tyngre väggar, tung mellanvägg med massa ≥ 250 kg/m², eller då väggen är en del av den bärande konstruktionen, tilldelas den en högre säkerhetsklass, sk2 eller sk3 (ibid.).

För att säkerställa att kraven på bärförmåga följs behövs ingen verifiering för innerväggar som inte är bärande (Boverket 2023). Det räcker ofta att beprövade lösningar används eller att man följer anvisningar från tillverkaren (ibid.).

Funktionskrav:

- Följa den europeiska konstruktionsstandardens riktlinjer för icke bärande byggnadsdelar
- Förmå att bära last från sin egentyngd samt eventuell last från inredning och andra infästningar
- Säkra bärförmågan genom verifiering, om inte redan beprövade lösningar används

3.4 Takhöjd

Boverket ställer krav på takhöjden i olika byggnader. Allmänt gäller att rumshöjden ska vara tillräcklig, så att olägenheter undviks. I kontorsbyggnader där ett större antal personer vistas, mer än 16 personer, rekommenderas en takhöjd på minst 2,7 m (BFS 2011:6, kap. 3:3112). I arbetsrum är rekommendationen minst 2,4 m (ibid.).

Funktionskrav:

- Behärska en takhöjd om minst 2,7 m (lokaler där mer än 16 pers. vistas) eller 2,4 m (lokaler där färre än 16 pers. vistas)

3.5 Byggnadsfysik

För att åstadkomma en komfortabel inomhusmiljö med hänsyn till hälsa och hygien krävs goda förhållanden gällande värme och fukt.

3.5.1 Värmeisolerande egenskaper, värmekapacitet och termisk komfort

En byggnad ska utformas så att kravet på termiskt klimat uppfylls. Även om en innervägg inte skyddar byggnaden mot utomhusklimatet, ska de ändå utformas så att de inte utgör ett hinder för att uppfylla kravet på termiskt inomhusklimat (BBR 2011:6, 6:94). Eftersom temperaturen normalt är den samma på båda sidorna av innerväggen behöver den oftast inte värmeisoleras (Strandberg & Lavén 2018). Isoleringens främsta uppgift i en innervägg är däremot att förbättra de akustiska egenskaperna. Om temperaturskillnad ändå finns mellan rummen kan värmeisolering behövas.

Olika material reducerar plötsliga temperaturförändringar olika väl. De har olika värmekapacitet och värmetröghet. För att höja temperaturen i ett kompakt material, t.ex. betong, krävs mer värmeenergi än samma temperaturhöjning i ett poröst material, t.ex. mineralull (Sandin 2010). Betong har värmekapacitet 2 300 kg/m³ medan mineralull endast har 15–150 kg/m³ (ibid.)

För material som används i en innervägg kan en värmetröghet vara fördelaktig. Vid tillfälliga avbrott i uppvärmningssystemet hinner inte temperaturen i kontorsbyggnaden sjunka lika snabbt och temperaturförändringarna blir då mindre. Dygnsvariationer i utomhusklimatet kan även dämpas på liknande sätt när materialet har hög värmekapacitet (Sandin 2010).

För att säkerställa en god inomhusmiljö ställer BBR inte bara krav på det termiska klimatet i byggnaden, även Arbetsmiljöverket och Folkhälsomyndigheten ställer krav på detta. Ett arbetsrum ska utformas så att den lägsta riktade operativa temperaturen är 18 °C i vistelsezonen (BBR 2011:6, 6:42). Skillnaden mellan två punkter i rummet får inte heller överstiga 5 °C (ibid.).

Det finns inga direkta krav på innerväggens utformning för att säkerställa kraven enligt BBR. Däremot ska termisk komfort uppnås för hela byggnaden (BBR 2011:6, 6:411), där innerväggarna utgör en betydande del. Ett gott termiskt klimat har även betydelse för byggnadens beständighet (BBR 2011:6, 6:41). Innerväggarna bör utformas med hänsyn till kraven och gynna en god inomhusmiljö.

Funktionskrav:

- Uppfylla kravet på termiskt klimat
- Utformas så att den lägsta riktade operativa temperaturen är 18 °C (i vistelsezonen)
- Utformas så att skillnad mellan två punkter i rummet max är 5 °C (i vistelsezonen)
- Ha god värmekapacitet och värmetröghet

3.5.2 Fukt

En byggnad ska utformas så att fukt inte leder till skador, mikrobiell tillväxt eller lukt som påverkar hygien eller hälsa (BBR 2011:6, 6:51). Även om innerväggen inte är placerad i ett våtrum ska den utformas med fuktsäkerhet i åtanke. I utrymmen med krav på vattenavvisande skikt eller vattentäthet finns speciella krav på utformning och ytskikt (BBR 2011:6, 6:533). Detta gäller normalt inte för en kontorsinnervägg.

Olika material har olika krav på kritisk relativ fuktighet, vars gränsvärden inte får överskridas. Överskrids dessa kan fukt orsaka skada som påverkar hälsa och hygien. Fukbelastningen i en byggnadsdel bestäms utifrån de mest ogynnsamma förutsättningarna som kan förväntas i byggnaden (BBR 2011:6, 6:53). Om ett materials kritiska relativa fuktighet är okänd ska 75 % användas som gränsvärde (BBR 2011:6, 6:52).

Ånggenomsläppligheten anger hur snabbt fukt transporteras genom materialet. Fukttransporten sker huvudsakligen genom ångdiffusion (Arfvidsson, Harderup & Samuelson 2017). Vid ökad fuktighet i materialet ökar fukttransporten (ibid.). För materialskikt anges ofta motståndet mot fukttransport i ångfas som ånggenomgångsmotstånd (ibid.).

Biobaserade material har en relativt hög sorptionsisoterm, t.ex. har trä sorptionsisotermen 50 kg/m³ medan betong endast har 30 kg/m³, vid 50 % relativ fuktighet (Strandberg & Lavén 2018). Detta gör att biobaserade material har relativt hög fuktkapacitet och goda hygroskopiska egenskaper. De kan ta upp fukt från luften och jämna ut luftfuktigheten i byggnaden (Arfvidsson, Harderup & Samuelson 2017). Detta bidrar till en mer behaglig luftkvalitet (ibid.). Den fuktbuffrande egenskapen kan dock även ses som ett problem i vissa sammanhang, när materialet drar till sig mer fukt (ibid.).

Funktionskrav:

- Förhindra skador, mikrobiell tillväxt eller lukt som påverkar hygien eller hälsa
- Det ska finnas information om materialens kritiska relativa fuktighet

3.6 Emissioner

Inom Sverige och EU är många farliga ämnen i byggprodukter förbjudna eller reglerade, dock inte alla (Boverket 2017). Byggherren bär ansvar för att välja produkter som inte är farliga för vare sig inomhusmiljön eller närmiljön (BBR 2011:6, 6:11).

Det finns inga krav som säger att emissioner inte får förekomma. Däremot ska material och byggprodukter ha kända egenskaper för att säkerställa att egenemissioner undviks (BBR 2011:6, 2:1). Innerväggen ska konstrueras så att den uppfyller kraven och tillgodoser en god hälsa, hygien och miljö (PBL 2010:900, 8 kap. § 4). Alla produkter avger flyktiga ämnen (Boverket 2017). Dessa kan komma från tillverkningsprocessen, produktionen eller efterbehandlingen av produkten (ibid.). Om stora mängder emissioner avges kan detta, förutom att påverka inomhusmiljön negativt, även påverka produktens egenskaper negativt och minska livslängden (ibid.).

Förutom att välja rätt produkter och material har konstruktionen och omgivningen stor påverkan på emissionerna. Innerväggen ska projekteras så att konstruktionens avgivning begränsas. Förvaring och hantering av produkterna innan konstruktionen står klar har också betydelse. Fukt och temperatur är faktorer som har stor inverkan på mängden emissioner som avges (BBR 2011:6, 6:952). Ventilationsflödet i den färdiga byggnaden bör även vara tillräcklig för att föra bort emissionerna (BBR 2011:6, 6:9241).

Det finns olika märkningar av byggprodukter som talar om innehållet och egenskaperna hos produkterna. CE-märkta byggprodukter informerar byggherren om väsentliga egenskaper för produkten i prestandadeklarationen

(BBR 2011:6, 1:4). Denna information kan vara till hjälp vid projektering för att begränsa de hälsofarliga emissionerna.

Funktionskrav:

- Inte utgöra fara för inomhus- och närmiljö
- Ha kända egenskaper gällande egenemissioner
- Avge minsta möjliga mängd flyktiga ämnen
- Begränsa mängden emissioner som avges
- Erhålla CE-märkning eller motsvarande

3.7 Klimatdeklaration

Innerväggarna ingår i en byggnads klimatdeklaration (SFS nr: 2021:789, § 5). Ny lagstiftning infördes 1 januari 2022 med krav på klimatdeklaration för byggnader. Det är byggherrens skyldighet att se till att klimatdeklaration upprättas för den nya byggnaden. I dagsläget finns inga gränsvärden på hur stora utsläppen får vara, sådana gränser kommer att införas senast år 2027. Boverket (2020) har satt som mål att gränsvärdet som träder i kraft då ska vara 20–30 procent lägre än ett referensvärde framtaget i studie med klimatberäkningar. För att uppnå riksdagens klimatmål om ett nettollutsläpp av växthusgaser år 2045 är planen att gränsvärdet gradvis ska sänkas år 2035 och år 2043 (ibid.).

Funktionskrav:

- Uppfylla gällande lagstiftning för klimatdeklaration

3.8 Beständighet

Krav finns på byggnadens beständighet. Normalt projekteras en byggnad för en livslängd på 50 år (BBR 2011:10, kap. 3.3.1 1 § 9). Innerväggarna ska därför ha tekniska egenskaper som säkerställer deras beständighet och stadga. Krav finns även på säkerhet vid användning (PBL 2010:900, 8 kap. 4 §).

För att uppfylla kravet på beständighet ska en innervägg konstrueras så att den påverkan som kan förväntas utsätta innerväggen, inte leder till att innerväggen helt eller delvis rasar, deformeras eller skadar andra delar av byggnadsverket (PBF 2011:338, 3 kap. § 7).

Funktionskrav:

- Inte försämra byggnadens beständighet
- Förhindra att väggen helt eller delvis rasar
- Förebygga deformationer
- Hindra att andra delar av byggnadsverket skadas

3.9 Flexibilitet

För att skapa en hållbar byggnad med lång livslängd är flexibilitet viktigt. Brukarnas behov varierar och möjlighet till anpassning är viktigt för att tillgodose deras krav. En innervägg bör därför vara flexibel så att byggnaden lätt kan göras om och anpassas efter de skiftande behoven. Flyttbara innerväggar med integrerad förvaringsyta och en planlösning som går att förändra kan vara ett medel för att göra våra byggnader mer effektiva och hållbara.

Enligt Boverket ska en byggnad ha tekniska egenskaper som gör den lämplig för sitt ändamål (PBF 2011:338, 3 kap. § 16). Användningsområdet och ändamålet kan komma att ändras under byggnadens livslängd och då är det viktigt att byggnaden är flexibel. Idag finns många lösningar med flyttbara väggsystem på marknaden, vilket visar på ett stort intresse och behov.

Socialt kan en flexibel innervägg bidra till ökad arbetseffektivitet, minskad stress och bidra till ett högre välbefinnande hos brukarna (Aarhus kommune 2022). Detta eftersom den fysiska omgivningen blir mer optimerad och anpassad efter arbetsuppgifterna.

Ur ett hållbarhetsperspektiv kan även en flexibel innerväggslösning ge lägre klimatpåverkan, sett över hela dess livslängd, då den går att flytta och återanvända flera gånger (Aarhus kommune 2022). Då väggen är flyttbar blir den även mer ekonomiskt försvarbar på långsikt, jämfört med en traditionell innervägg som är svårare att flytta (ibid.).

Funktionskrav:

- Förändra planlösningen med enkla medel
- Gå att flytta och använda väggen flera gånger
- Ge lägre klimatpåverkan vid en flytt än att demontera och återmontera en konventionell innervägg
- Minska mängden byggavfall
- Vara ekonomisk gynnsam

4 Typlösningar för dagens innerväggssystem

En innervägg kan ha olika konstruktionsutföranden. Nedan presenteras några vanliga innerväggssystem och dess egenskaper, se översikt enligt tabell 1. För större byggprojekt används däremot ofta projektspecifika konstruktioner.

Samtliga typlösningar med tillhörande egenskapsdata i kapitel 4.1 och 4.2 hämtades ur boken ”Bygga hus – Illustrerad bygglära” av författarna Strandberg & Lavén (2018). Figurerna togs fram med denna bok som inspiration men ritades av Ellen Andersson (2023). Typlösningen ”Stålregelvägg med väggklammer” och dess egenskapsdata hämtades inte från Strandberg & Lavén (2018), utan från NCC (2022). Till varje typlösning finns konstruktionens egenskapsdata samlad i en grå informationsruta. Referens till denna information hämtades från Strandberg & Lavén (2018), respektive NCC (2022) för väggen ”Stålregelvägg med väggklammer”. Kapitlet avslutades med en beskrivning av tekniska egenskaper och klimatpåverkan för de idag vanligaste komponenterna i en innervägg.

Tabell 1: Översiktlig redogörelse av de vanligaste typinnerväggarna för kontorsinnerväggar, med tillhörande information om brandklass, ljudreduktion och max. vägghöjd.

Benämning	Brandklass	Ljudreduktion [dB]	Max. vägghöjd [mm]
Stålregelväggar			
Enkel gipsvägg	EI 30	R'w 30	4400
Enkel gipsvägg med isolering	EI 30	R'w 35	4400
Dubbla skivor med isolering	EI 60	R'w 48	4700
Stålregelvägg med väggklammer	EI 60	R'w 52	3400
Träregelväggar			
Enkel gipsvägg	EI 30	R'w 30	3300
Dubbla gipsskivor	EI 60	R'w 48	4700
Enkel gipsvägg med isolering	EI 30	R'w 30–35	4300
Dubbla skivor med isolering	EI 60	R'w 40	4000
Massiva väggar			
Betong	REI 120	R'w 53	-
Lättbetong	REI 240	R'w 40	-
Massivträ	EI 60 (ensidig brand)	R'w 55	-

4.1 Regelväggar

Idag är regelväggar bestående av regler, skivmaterial och eventuellt isoleringsmaterial den vanligaste konstruktionstypen för icke bärande innerväggssystem (Strandberg & Lavén 2018). Regelväggar går relativt snabbt att bygga och ger god plats för installationer. Den yttre skivbeklädningen utgör dessutom ett bra underlag för ytskikt. Två vanligt förekommande regelväggar är stål- och träregelväggar.

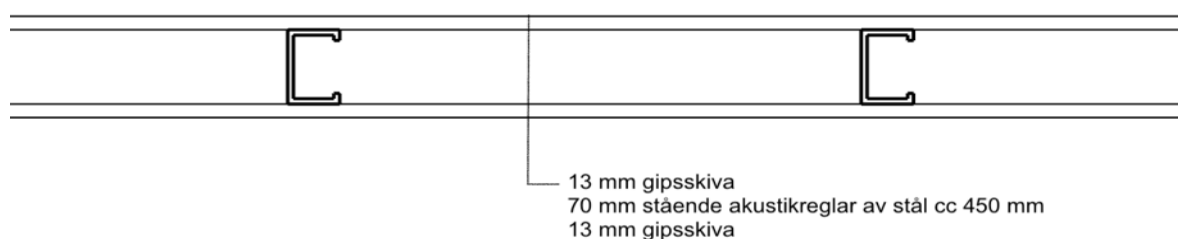
4.1.1 Ståregelväggar

Ståregelväggar är mindre känsliga för fukt, eftersom de innehåller mindre organiskt material än en träregelvägg. Monteringens gång snabbt och i stålreglarna finns ofta förberedda hål för att underlätta el-dragningen. Stålreglarnas dimension varierar mellan 45 och 160 mm (Strandberg & Lavén 2018). Reglarna placeras med 450 mm eller 600 mm avstånd för att passa till gipsskivans bredd, som vanligen är antingen 900 mm eller 1200 mm. Bredare avstånd bör undvikas för att inte riskera belastningsskador när gipsskivorna hanteras (ibid.). Nedan presenteras några vanliga utföranden för ståregelväggar, hämtade ur Strandberg och Lavéns bok (2018).

Enkel gipsvägg

En enkel gipsvägg är den enklaste typen av ståregelvägg, se konstruktion enligt figur 4. Nedan presenteras konstruktionens egenskapsdata.

Brandklass	EI 30
Ljudreduktion	R _w 30 dB (om 70 mm regel används)
Max vägghöjd	4400 mm

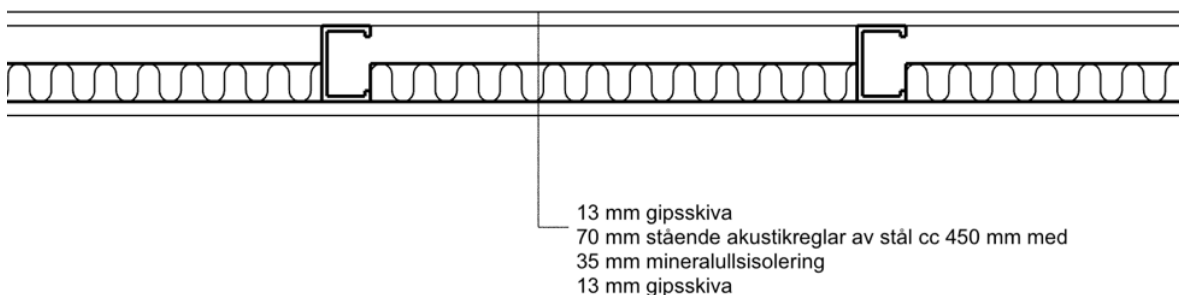


Figur 4: Ritning enkel gipsvägg med ståreglar, horisontellt snitt.

Enkel gipsvägg med isolering

Bättre ljudreduktion kan åstadkommas i väggen enligt figur 4 genom mellanliggande isolering, se figur 5. Isoleringen påverkar inte brandklassning eller vägghöjd enligt egenskapsdata nedan.

Brandklass	EI 30
Ljudreduktion	R'w 35 dB (om 70 mm regel används)
Max vägghöjd	4400 mm

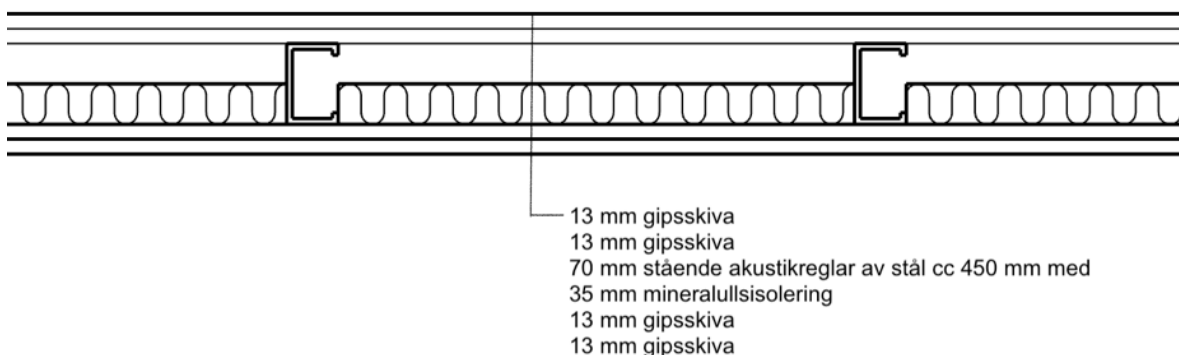


Figur 5: Ritning enkel gipsvägg med stålreglar och isolering, horisontellt snitt.

Dubbla skivor med isolering

Om dubbla gipsskivor adderas till konstruktionen i figur 5 förbättras väggens brandklassning. En dubbel gipsvägg, se figur 6, ger dessutom en styvare konstruktion och möjliggör en högre vägghöjd.

Brandklass	EI 60
Ljudreduktion	R'w 48 dB (om 70 mm regel används)
Max vägghöjd	4700 mm



Figur 6: Ritning enkel gipsvägg med stålreglar, isolering och dubbla gipsskivor, horisontellt snitt.

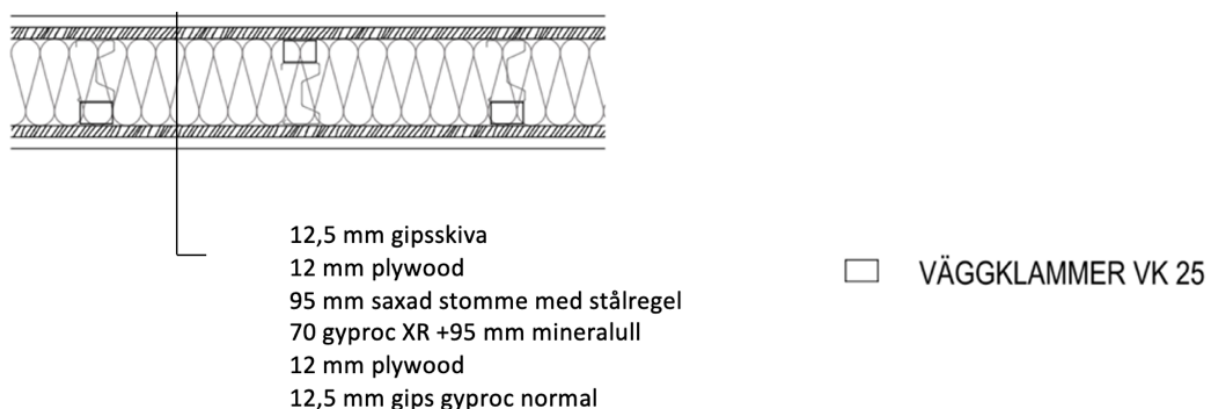
Den inre gipsskivan närmst stålregeln i figur 6 kan även bytas ut mot en plywoodskiva för att underlätta montage av inredningsenheter. Brandklass och max vägghöjd påverkas inte av bytet, men däremot påverkas ljudreduktionen som blir något sämre.

Brandklass	EI 60 (om K-plywood används)
Ljudreduktion	R' _w 35 dB (om 70 mm regel används)
Max vägghöjd	4700 mm

Stålregelvägg med väggklammer (NCC 2022)

Ytterligare ett sätt att förbättra ljudreduktionen i väggen är att använda sig av väggklammer istället för stålreglar, se figur 7. Väggklammern hindrar ljudet från att fortplanta sig genom väggen och ger den en något bättre ljudreduktion. En konstruktion enligt figur 7 har nedanstående egenskaper (NCC 2022).

Brandklass	EI 60 (om K-plywood används)
Ljudreduktion	R' _w 52 dB (om 70 mm regel används)
Max vägghöjd	3400 mm



Figur 7: Ritning stålregelvägg med väggklammer horisontellt snitt (NCC 2022).

4.1.2 Träregeleväggar

Träregeleväggar finns, precis som stålregeleväggar, i flertalet utföranden med olika egenskaper. Fördelen med en träregelevägg är att träreglarna är lätta att bearbeta och kräver inga speciella verktyg (Strandberg & Lavén 2018). Dimensionerna som används varierar beroende på väggens höjd och belastning. Samma avstånd används mellan träreglarna som mellan stålreglarna, dvs. 450 mm, för att passa gipsskivans bredd. Nedan presenteras några vanliga utföranden för icke bärande träregeleväggar hämtade ur Strandberg & Lavéns bok (2018).

Enkel gipsvägg

Den enklaste typen för träregeleväggar är, likt stålregeleväggar, en enkel gipsvägg, se figur 8. Denna konstruktion har samma brandklass och ljudreduktion som en enkel gipsvägg med stålreglar, men möjliggör en lägre vägghöjd, se väggens egenskaper nedan.

Brandklass	EI 30
Ljudreduktion	R' _w 30 dB (om 70 mm regel används)
Max vägghöjd	3300 mm



Figur 8: Ritning enkel gipsvägg med träreglar, horisontellt snitt.

Dubbla gipsskivor

För att förbättra brandklassningen samt ljudreduktionen i väggen kan dubbla gipsskivor användas, se figur 9. De dubbla gipsskivorna gör även väggen något styvare och ger möjlighet till högre max höjd.

Brandklass	EI 60
Ljudreduktion	R' _w 35 dB (om 70 mm regel används)
Max vägghöjd	4000 mm

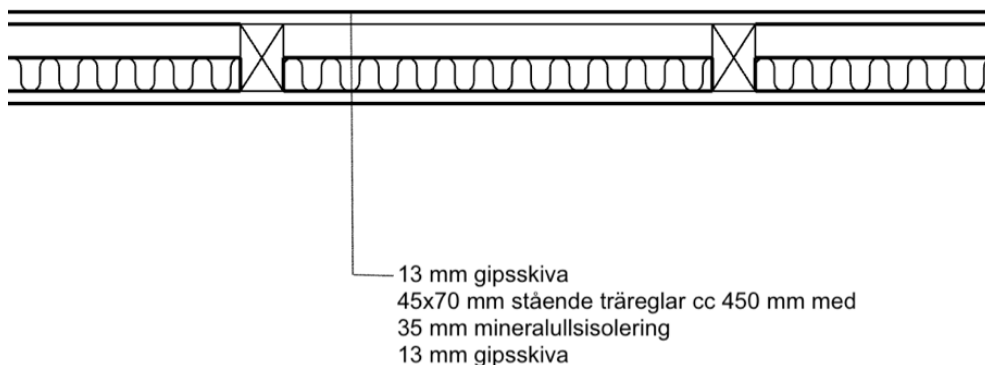


Figur 9: Ritning gipsvägg med träreglar och dubbla gipsskivor, horisontellt snitt.

Enkel gipsvägg med isolering

Bättre ljudreduktion kan även uppnås med mellanliggande isolering, se konstruktion enligt figur 10. Isoleringen påverkar inte väggens brandklassning eller max vägghöjd.

Brandklass	EI 30
Ljudreduktion	R' _w 30–35 dB (om 70 mm regel används)
Max vägghöjd	3300 mm



Figur 10: Ritning enkel gipsvägg med träreglar och mellanliggande isolering, horisontellt snitt.

Dubbla skivor med isolering

Dubbla gipsskivor i kombination med isolering mellan reglarna, som figur 11 visar, ger både bättre ljudreduktion och brandklassning. De dubbla gipsskivorna ger även möjlighet till en högre vägghöjd.

Brandklass	EI 60
Ljudreduktion	R' _w 40 dB (om 70 mm regel används)
Max vägghöjd	4000 mm

13 mm gipsskiva
13 mm gipsskiva
45x70 mm stående träreglar cc 450 mm med
70 mm mineralullsisolering
13 mm gipsskiva
13 mm gipsskiva

The diagram shows a horizontal cross-section of a wall assembly. It consists of two layers of 13 mm gypsum board on the outside, with a core of 45x70 mm vertical wooden studs spaced at 450 mm. Between the studs is 70 mm mineral wool insulation. The entire assembly is shown with a vertical centerline and a horizontal cut line.

Figur 11: Ritning gipsvägg med träreglar, dubbla gipsskivor och mellanliggande isolering, horisontellt snitt.

Likt en stålregelvägg kan plywood användas istället för gipsskivan närmast isoleringen. Väggens egenskaper förändras då på samma sätt.

4.2 Massiva väggar

Utöver regelväggar finns även massiva väggar. En massiv vägg är en homogen vägglösning utan reglar. Den kan konstrueras i olika material med olika egenskaper. En massiv vägg är normalt mindre flexibel än en regelvägg och kräver mer arbete att montera, flytta och riva. Deras egenvikt är normalt relativt hög jämfört med en regelvägg. En massiv vägg måste klara av att bära sin egen vikt och underlaget konstruerat med tillräcklig hållfasthet. Nedan presenteras några vanliga utföranden för massiva väggkonstruktioner, även dessa hämtade ur Strandberg & Lavéns bok (2018).

Betong

Betong är ett vanligt material för massiva väggkonstruktioner med flera goda egenskaper. Betongväggen har god bärande och avskiljande förmåga, samt god beständighet. Däremot kräver en betongvägg vanligen en tjocklek på

minst 200 mm för att uppfylla Boverkets krav på ljudreduktion (Strandberg & Lavén 2018). Detta värde kan ställas i relation till en regelvägg som normalt är ca 100 mm tjock (ibid.). Ljud fortplantar sig lättare i en homogen betongvägg jämfört med en ljudisolerad regelvägg av samma tjocklek (ibid.).

Olika utföranden finns för massiva betongväggar, se figur 12. Generella egenskaper för väggtyperna redovisas nedan.

Brandklass	REI 120
Ljudreduktion	R'w 53 dB (för 200 mm tjocklek)

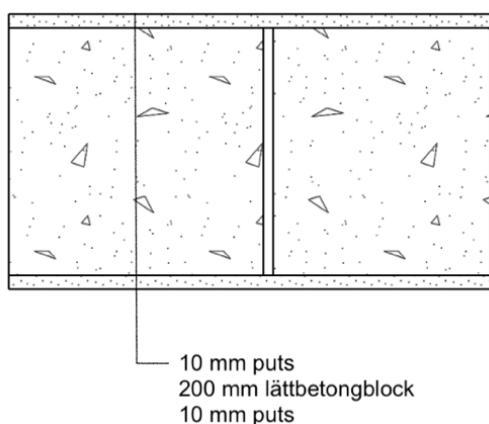


Figur 12: Figuren presenterar från vänster till höger; Horisontell sektion av en prefabricerad betongvägg, en vägg av prefabricerade ytterskivor av betong med fyllning av platsgjuten betong och en platsgjuten vägg av betong.

Lättbetong

En lättbetongvägg är en mer porös konstruktion än en betongvägg. Vanligen utförs denna vägg med färdiga tunnfogslimmade block i lättbetong och en tunn puts som ytskikt, se figur 13. Ljudreduktionen är begränsad precis som för betongväggen, och kräver en tjocklek på minst 200 mm för att säkerställa ljudkraven. En lättbetongvägg uppnår högre brandklass än en betongvägg. Motsvarande egenskaper kan uppnås med en vägg av lättklinkerblock.

Brandklass	REI 240
Ljudreduktion	R'w 40 dB (för 200 mm tjocklek)

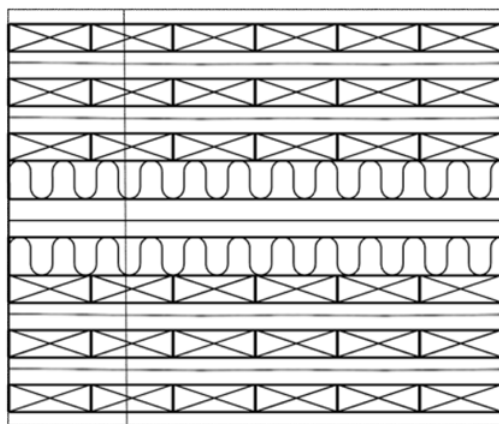


Figur 13: Ritning lättbetongvägg, horisontellt snitt.

Massivträ

Massiva träväggar finns i flera utföranden. En variant är korslimmat trä, KL-trä, som består av ett udda antal skivor i gran eller furu som limmats samman. För att väggen inte ska bukta altanernas skikt med en fiberriktning på 90 grader. För bättre brand- och ljudegenskaper kan isolering placeras i väggen i kombination med ett ytskikt av gipsskivor, se figur 14. För denna konstruktion uppnås följande egenskaper.

Brandklass	EI 60 (ensidig brand)
Ljudreduktion	R _w 55 dB



- 13 mm gipsskiva
- 125 mm KL-träskiva
- 45 mm mineralullsisolering
- 20 mm luftspalt
- 45 mm mineralullsisolering
- 125 mm KL-träskiva
- 13 mm gipsskiva

Figur 14: Ritning massiv trävägg med gipsskivor som ytskikt och isolering, horisontellt snitt.

4.3 Tekniska egenskaper och klimatpåverkan för dagens innerväggssystem

I detta kapitel beskrivs tekniska egenskaper och klimatpåverkan för de idag vanligaste komponenterna i en innervägg. Massiva väggkonstruktioner undantogs, eftersom de har varierande egenskaper beroende på vilken konstruktion som används. Fokus låg i stället på regelväggar.

4.3.1 Stålreglar

Regelkonstruktionen utgör stommen i väggen. Här förankras alla konstruktionens övriga material och eventuella laster tas upp. En stålregel ger ett stabilt underlag för montering av gipsskivor. De är relativt okänsliga mot fukt, även om rost kan uppstå vid fuktbelastning, lätta att montera och avger inget damm vid kapning (Strandberg & Lavén 2018). Flertalet fabrikat av stålreglar finns på marknaden som både är CE-märkta och godkända enligt Svensk standard (SS). Reglarna har högt brandmotstånd, t.ex. uppnår både Knauf Danogips GmbH (2020) och Lindabs (2020) reglar brandklass A1.

Reglar av aluminium kan också användas. Aluminiumprofiler har låg vikt, är lätt att forma och är mindre känsliga för temperaturskriftningar (Mattson 2001).

Hållbarhet

Världsproduktionen av stål har sedan 2000-talet ökat kraftigt och i Sverige producerades 4,4 miljoner ton år 2013 (Nationalencyklopedin u.å.). Under tillverkningen belastas miljön både genom hög energiförbrukning och CO₂-utsläpp. Produktionen av svenskt järn och stål släpper ut ca 5,5 miljoner ton CO₂/år (Jernkontoret 2018). Den största belastningen, cirka 85 %, sker vid reduktionen av järnmalmen (ibid.). Arbete pågår med att minska svensk stålindustris klimatpåverkan och en färdplan har tagits fram, ”Klimatfärdplan – För en fossilfri och konkurrenskraftig stålindustri i Sverige”. Internationellt sett har ändå produktionen i Sverige lägre klimatavtryck än andra länder (ibid). En fördel med stål är däremot att det går att återvinna och återanvända. Vid försiktig demontering kan stålreglar återanvändas enligt stålregeltillverkaren Knauf Danogips GmbH (2020).

I Boverkets klimatdatabas anges olika byggprodukters klimatpåverkan som kan användas när en klimatdeklaration upprättas. Värdena är konservativt satta, ca 25 % högre än genomsnittet, för att uppmuntra användning av specifika klimatdata (Boverket 2023). För en mer realistisk jämförelse anges dock ett så kallat ”typiskt värde” i databasen. Detta är ett genomsnittsvärde framtaget av Boverket baserat på EPD:er för svenska produkter (ibid.). Det

typiska värdet för en lättregel av stål är 2,41 kgCO₂-ekv/kg under livscykelkedena A1-A3 (Boverkets klimatdatabas 2022). Motsvarande värde för hyvlat trävirke är betydligt lägre, 0,074 kgCO₂-ekv/kg (ibid.).

4.3.2 Gipsskiva

Skivmaterialets uppgift är att utgöra underlag för ytskikt. Den gör även väggen styvare vilket påverkar vägghöjden. Skivan kan också fungera som brandskydd. Antalet skivor som används och typ av skiva påverkar väggens brandklassning. Svensk standard har tagit fram ett dokument för att bestämma hållfastheten och styvheten hos väggsystem i trä, ”Träkonstruktioner – Styrka och styvhet hos skivbeklädda träregelelement”. Gips är ett vanligt skivmaterial med goda ljud- och brandegenskaper (Forsberg & Simatova 2017). Brandklassen för en standardgipsskiva från t.ex. Norgips är A2- s1, d0 (2012), vilket innebär att den uppfyller funktionskravet för ytskikt och även klassas som obrännbar (Boverket 2023).

Hållbarhet

Gips framställs genom upphettning av dihydrat så att vattnet avgår och hemihydrat bildas (Nationalencyklopedin u.å.). Denna process kallas kalcinering. Gipset används sedan för att tillverka gipsskivor, vilka ger upphov till stora utsläpp under tillverkning samt bidrar till försurning vid förbränning. Det gipsavfall som uppstår hamnar i dagsläget antingen på deponi eller återvinns (Forsberg & Simatova 2017). Kraven för deponering har skärpts sedan 2020 och gips får endast deponeras i enskilda celler (NFS 2004:10, § 26). Även om det finns aktörer som tar emot gipsavfall, återvinns endast en liten andel, ca 10 % (Arm, Wik, Engelse & Erlandsson 2014).

4.3.3 Glasull

Normalt behöver inte innerväggar isoleras med hänsyn till värmeisolering. För en innervägg är isoleringens främsta uppgift att förbättra ljudreduktionen i väggen. Ett vanligt isoleringsmaterial i en innervägg är glasull, som ger både värme- och ljudisolering. Isolerskivor är vanligen CE märkta, uppfyller brandklass A1 och har en värmekonduktivitet runt 0,035 W/mK, se t.ex. Isovers isolerskivor (Saint-Gobain ISOVER AB 2013). Den ljudisolerande förmågan varierar beroende på hur konstruktionen som helhet är utförd.

Hållbarhet

Glasull tillverkas ofta av återvunnet glas och exempelvis består Isovers glasull av minst 80 % returglas samt spill från den egna produktionen (Saint-Gobain Sweden AB 2019). Det går inte att återvinna använd glasull utan denna måste

deponeras (Saint-Gobain Sweden AB 2017). Glasullsisolering ger en genomsnittlig klimatpåverkan på 0,89 kgCO₂-ekv/kg under livscykelkedena A1-A3, vilket är högre än t.ex. en biobaserad hampafiberisolering (Boverket 2022).

5 Materialförslag för hållbara innerväggssystem

I detta kapitel presenteras ett antal färdiga produkter och material som var intressanta för att konstruera en hållbar innervägg, se översiktlig redogörelse i tabell 2. En del av förslagen är redan etablerade på marknaden medan andra fortfarande är under utveckling. Kapitlet är uppdelat med underrubriker för olika konstruktionsdelar; regler, skivmaterial, isolermaterial och massiva vägglösningar. Urvalet av vilka material som skulle ingå baserades på de material med bäst potential att uppfylla målet med detta examensarbete, men det fanns även fler material att fördjupa sig i som inte togs med, se kapitel 11 ”Vidare studier”. Varför dessa inte undersöktes var för att de vid en första anblick såg ut att ha svårare att uppnå funktionskraven.

Tabell 2: Översiktlig redogörelse av de material som undersökts, med tillhörande information.

Benämning	Huvudråvara	Tillverkare	CO ₂ -avtryck
Pappregel	Papp	Wood Tube	0,092 kgCO ₂ -ekv/m
Regel av återvunnet korslimmat trä	Spill från KL-träproduktion	MoreWood	-
Byggskivor av återvunna förpackningar	Återvinna förpackningar	Recoma	0,42 kg CO ₂ -ekv/m ²
Lerskiva Lemix	Lera	Lemix	-
Byggskiva av lera och hampa	Lera och hampa	Claytec, Levita Lehm, Hanffaser Uckermark	-
Mycelium som skivmaterial	Mycelium	-	-
Hampafiberisolering	Hampa	Ekolution	-44 kg CO ₂ -ekv/m ³
Ålgräsisolering	Ålgräs	-	-
Flexibelt innerväggssystem - ”Fremtidens indervæg”	Plywood, MDF-skivor och glasull	AART architects, Århus kommun, Boligforeningen Århus Omegn, MOE och Realdania	-
Hampakalk	Hampa och kalk	Hampahuset	-108 kg CO ₂ /m ³

5.1 Reglar

5.1.1 Reglar av papp från Wood Tube

Wood Tube är reglar tillverkade av papp och är en relativ ny innovation på marknaden. Reglarna är enligt tillverkaren Wood Tube Sweden AB klimatsmarta, starka, lätta och kan användas för byggnation av icke-bärande innerväggar. Reglarna produceras i Värmland och har redan använts i flertalet byggnader (Wood Tube Sweden AB 2023).



Figur 15: Wood Tubes pappregel har en rektangulär ihålig form med rundade mjuka kanter (Återpubliceras med godkännande av Wood Tube 2023).

Regeln har rundande mjuka kanterna, se figur 15, som gör den lätt att bära och hantera. Eftersom regeln är tillverkad av papp minskar risken för skärskador när inga vassa kanter uppstår vid kapning (Wood Tube Sweden AB 2023). Tungt lyft och sågspånsdam undviks också vilket förbättrar byggarbetarnas arbetsmiljö ytterligare (Söderblom Olsson 2020). Idag finns endast en återförsäljare som tillhandahåller reglarna vilket gör tillgängligheten relativt begränsad.

Vid montering placeras reglarna i den tillhörande kantprofil av stålplåt, enligt tillverkarens monteringsanvisningar. Valt skivmaterial fästs med skruv i pappregeln, motsvarande en träregelkonstruktion. Om vägghöjden överskrider gipsskivans höjd skall ett stålplåtband placeras bakom skarven. Mellan reglarna finns utrymme för isolering.

Idag tillverkas reglarna endast i dimensionen 45x70 mm, men väntas inom kort även i 45x95 och 45x120 mm. Kundanpassade längder och dimensioner kan erbjudas av leverantören. Max vägghöjd är 4000 mm.

Hållbarhet

Wood Tubes regler tillverkas av papp som blandas med lim. Limmet består av naturliga ämnen vilket gör att reglarna kan återvinnas som vanlig kartong och återgå i ett cirkulärt kretslopp (Wood Tube Sweden AB 2023). Vid tillverkningen av pappersmassan utnyttjas spill från skogsindustrin, vilket även bidrar till en cirkulär ekonomi. Restprodukterna från tillverkningen av reglarna kan användas till biobränsle enligt Wood Tube (2023).

Reglarna möjliggör enligt tillverkaren Wood Tube Sweden AB (2023) ett högre utbyte ur skogsråvaran jämfört med träreglar. Genom att använda pappreglar istället för träreglar kan fyra gånger mer produkt utvinnas från varje träd (ibid.). Fakta bakom detta påstående är tämligen vagt. Däremot har Wood Tubes regler 14 gånger lägre CO₂-utsläpp än stålreglar, enligt en livscykelanalys utförd av Karlstads universitet (Wahlström 2016).

En enkel beräkning kan utföras för att se om Wood Tubes regel är bättre än stål- och träreglar. Det typiska värdet för en lättregel av stål är 2,41 kgCO₂-ekv/kg under livscykelkedena A1-A3 (Boverkets klimatdatabas 2022), divideras med 14, se ekv. 1, erhålls ett cirka värde för pappregelns klimatpåverkan. Det värdet kan då jämföras med träregelns värde som för hyvlat trävirke är 0,074 kgCO₂-ekv/kg (ibid.).

$$\frac{2,41}{14} = 0,17 \text{ kgCO}_2\text{-ekv/kg} > 0,074 \text{ kgCO}_2\text{-ekv/kg} = 2,3 \text{ ggr. större. (ekv. 1)}$$

Wood Tubes pappregel ger alltså 2,3 ggr större klimatpåverkan per kg material under livscykelkedena A1-A3 än en träregel. Viktigt att belysa är däremot att en Wood Tube-regel har lägre densitet än en träregel vilket gör att klimatpåverkan per löpmeter regel blir annorlunda. Enligt Wood Tubes ger pappreglarna, i dimensionen 45x70 mm, klimatpåverkan 0,092 kg CO₂-ekv per meter regel (Wood Tube 2023). Motsvarande värde för en träregel beräknas i ekv. 2 och 3. Vi utgår från en densitet på 500 kg/m³ (Burström 2021), en dimension på 45x70 mm och klimatpåverkan 0,074 kgCO₂-ekv/kg (Boverkets klimatdatabas 2022).

Vikt för en 45x70 mm träregel: $500 \cdot 0,045 \cdot 0,070 = 1,58 \text{ kg}$ (ekv. 2)
dvs.

Klimatpåverkan per löpmeter:

$1,58 \cdot 0,074 = 0,12 \text{ kgCO}_2\text{-ekv/m} < 0,092 \text{ kgCO}_2\text{-ekv/m} = 1,3 \text{ ggr. mindre.}$
(ekv. 3)

En pappregel från Wood Tube ger därmed lägre klimatpåverkan per löpmeter än en träregel, och är fortfarande betydligt bättre än en stålregel. Pappregeln, med dimension 45x70 mm, släpper ut 0,092 gram CO₂-ekv per löpmeter (Wood Tube 2023).

Tekniska egenskaper

Reglarna är typgodkända samt uppfyller kraven för mekanisk hållfasthet, brand- och akustikkraven i Plan- och bygglagen, 8 kap. 4 § 2, 4 och 5 (RISE Research Institutes of Sweden AB 2020). På Wood Tubes hemsida finns exempelutföranden för tre olika innerväggskonstruktioner med tillhörande brand- och akustikegenskaper godkända av RISE Certifiering (2020).

Information om regelns värmekapacitet och fuktegenskaper saknas, därav är det svårt att jämföra med trä- och stålreglar i detta avseende.

5.1.2 Regel av återvunnet korslimmat trä från MoreWood

Vid tillverkning av korslimmat trä (KL-trä) uppkommer spillmaterial med egenskaper och kvaliteter för tillverkning av nya träprodukter. Att återanvända spillmaterial för tillverkning av nya reglar bidrar till ett hållbart cirkulärt byggande. Träindustrierna Södra och Setra har tillsammans med MoreWood tagit fram en träregel tillverkad av 100 % återvunnet korslimmat trä. Träregeln kan användas i en innerväggskonstruktion och är ett cirkulärt alternativ till en konventionell trä- eller stålregel. Spillmaterialet till regeln kommer från Setra och Södras produktion av KL-trä (Ankarberg 2022).

MoreWood Sweden AB är ett svenskt företag inriktat på att bistå nordisk träindustri att minska sin miljöpåverkan, genom tillverkning av hållbara produkter med träspill som råvara (MoreWood Sweden AB 2022). Idag är MoreWood ensam om att tillverka byggreglar av återvunnet spillmaterial från KL-träproduktionen.

Träregeln från MoreWood säljs på Byggmax och är den första cirkulära produkten. Regeln finns att köpa som kortregel med längden 2,5 m. Enligt leverantören Byggmax är avsikten med kortregeln att minska spillet av regel vid uppregling av väggen (u.å.). Regeln finns i dimensionerna 45x95 mm och 45x120 mm och har en densitet på ca 475 kg/m³ (BYGGmax AB u.å.). Detta

kan jämföras med rent trä (gran och furu) som har en densitet mellan 450–500 kg/m³ (Burström 2021).

Tekniska egenskaper

MoreWoods regel tillverkas av restmaterial från tall och gran från certifierade skogar i Sverige (Ankarberg 2022). Produktionen sker utanför Hässleholm. Råvaran av KL-trä gör dimensionerna mycket stabila, starka, absolut raka och med precisa mått (ibid.). Reglarna blir även mer formstabila och mindre känsliga mot fukt och temperaturförändringar än konventionella träreglar (Södra 2022).

5.2 Skivmaterial

5.2.1 Byggskivor av återvunna förpackningar från Recoma

År 2020 genererades 35,7 miljoner ton avfall i Sverige (Naturvårdsverket 2022). En del av detta avfall skulle kunna utnyttjas som råvara för tillverkning av byggskivor. Företaget Recoma AB tillverkar byggskivor av återvunna kompositförpackningar. Skivorna är CO₂-snåla och ett cirkulärt alternativ till konventionella byggskivor.



Figur 16: De tre byggskivorna har varierande utseende. Skivan längst till vänster är Recomas "PackWall Basic Byggskiva" anpassad för innerväggar (Återpubliceras med godkännande av Recoma 2023).

Idag finns skivorna i tre olika utföranden, se figur 16. En skiva i sortimentet är anpassad för innerväggar, undertak och innertak. Skivan kan beställas med kundspecifika mått och tjocklek (Recoma 2022). Ytskiktet kan levereras med kartongpapp som standard, eller transparent ytbehandling av återvunnen lågdensitetspolyeten som gör innehållet i skivan synligt (ibid.). Densiteten för skivorna är ca 900 kg/m³ (ibid.) vilket kan jämföras med gips vars densitet är 960 kg/m³ (Sandin 2010). Skivorna är flexibla och kan värmas upp och böjas för rundade hörn, bågar eller andra former utanför standarden (Recoma 2022). Vid hantering och montering är skivorna likvärdiga konventionella gips- eller träskivor (ibid.).

Hållbarhet

Recomas byggskivor tillverkas i Sverige av 100 % återvunnet förpackningsavfall (Recoma 2022). Tillverkningstekniken är patenterad och sparar enligt Recoma (2022) årligen 2 700 ton CO₂-utsläpp. Skivorna är 100 % återvinningsbara och kan spara upp till 90 % CO₂-ekv jämfört med andra skivmaterial enligt företagets egen LCA. Vid tillverkningen pressas råmaterialet samman under hög temperatur utan ytterligare tillsatser (ibid.). Allt materialspill under kapning mm. går tillbaka som ny råvara och inget nytt avfall genereras under tillverkningsprocessen (ibid.). Detta gör tillverkningen

helt cirkulär. All energi som används under produktion är 100 % förnybar (ibid.).

Tekniska egenskaper

Recomas skivor är CE-märkta, uppfyller egenskapskriterier enligt BASTA, rekommenderas i alla kategorier av Byggvarubedömningen samt uppnår bedömning B för SundaHus. Ur fuktsynpunkt är skivorna bättre än träbaserade skivmaterial eftersom de har en fuktavvisande yta som absorberar mindre vatten (Göth 2021). Skivorna är även mögelresistent och har en kritisk relativ fuktighet på 85 %, enligt uppgift från tillverkaren (Recoma 2022).

Skivornas ljudisolerande förmåga motsvarar 34 dB och deras brandmotstånd brandklassning D – s1, D1 (Recoma 2022), vilket gör att de uppfyller funktionskravet för brandmotstånd på ytskikt i byggnader med byggnadsklass Br2 och Br3. Värmekonduktiviteten motsvarar 0,154 W/(m*K) (ibid.), vilket är lägre än gips vars motsvarande värde är 0,22 W/(m*K) (Sandin 2010). Klimatpåverkan i livscykelkedena A1-A3 är enligt tillverkaren 0,42 kg CO₂-ekv/m² för byggskivan RECOMA PackWall anpassad för innerväggar (Recoma 2022).

Utöver ovan nämnda tekniska egenskaper har skivorna även lågt utsläpp av emissioner, är slagtåliga och har en livslängd på 30 år, baserat på tillverkarens antaganden (Recoma 2022). Underlag för skivans EPD med tillhörande livscykelanalys finns på Recomas egen hemsida.

5.2.2 Lerskiva

Lera är ett historiskt byggnadsmaterial med flertalet fördelaktiga egenskaper (Olofsson & Melin 2014). Det är ett robust material som skapar god inomhusmiljö. Lerskivor kan användas som alternativ till konventionella byggskivor i innerväggssystem och tas upp i denna studie som ett hållbart material, även om lera inte är ett biobaserat material.

Det finns flera olika användningsområden och byggtekniker för lera. Lera kan användas som lerputs, lerbaserade skivor, mackelering, stampade jordväggar eller lerblock. I metoddokumentet för LFM30:s klimatbudget (Strandberg-de Bruijn 2021) beskrivs de olika metoderna översiktligt.

Hållbarhet

Lera är ett hållbart material som sparar energi och minskar miljöföroreningarna (Palmgren & Kungliga Tekniska högskolan 2003). Materialet kan återanvändas, kan absorbera luftföroreningar, skyddar mot

högfrekvent strålning, passar till självbyggeri, konserverar trä och sparar material- och transportkostnader (Minke 2006). Exakt klimatpåverkan beror på hur lera används och vilken byggmetod som väljs.

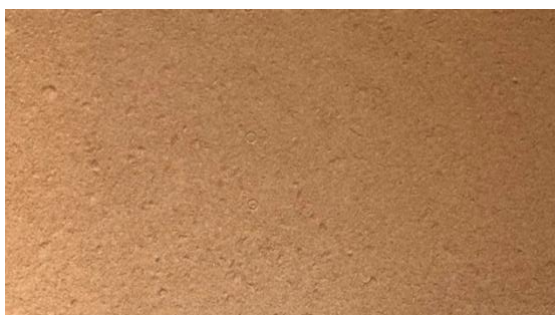
Tekniska egenskaper

Lerans materialegenskaper som byggnadsmaterial beror på dess olika beståndsdelar, som i sin tur påverkas av vilken lertäkt lera kommer från (Minke 2006). Olika andelar silt, sand och grus ger olika materialegenskaper (ibid.). Den fuktbuffrande förmågan för materialet är stor. Lera kan därför användas för att reglera och jämna ut luftfuktighet (Strandberg-de Bruijn 2021). Lera har även hög värmekapacitet och kan lagra värme väl (Roxana & Maria 2020). Materialet avger inga lättflyktiga organiska föreningar, VOC (ibid.).

Trots att lera har flera positiva egenskaper, finns även nackdelar med materialet. En av nackdelarna är att lera krymper när den torkar, vilket ska skapa problem med sprickbildning. Lera är inte heller ett standardiserat byggnadsmaterial idag och det är inte vattentätt (Minke 2006).

Lerskiva Lemix®

Det finns idag ett antal olika lerbaserade byggskivor på marknaden. Däribland Lemix som är en ekologisk lerskiva, se figur 17, som kan användas i innerväggar i stället för en konventionell gipsskiva (Sunda byggvaror u.å.). Enligt tillverkaren neutraliserar skivan luftföroreningar, absorberar lukt och reglerar luftfuktigheten (Lemix® 2020). Den är dessutom mögelresistent och har goda ljuddämpande egenskaper samt är 100% komposterbar och kan återanvändas eller återvinnas (ibid.).



Figur 17: Lemix lerskiva har en brunaktig ton och en något ojämn (Återpubliceras med godkännande av sundabyggvaror.se 2023).

Tekniska egenskaper

Skivan finns i två tjocklekar, 16 mm och 22 mm, och har en densitet på 1450 kg/m³ (Lemix[®] 2020), vilket kan jämföras med gipsskivans något lägre densitet är 960 kg/m³ (Sandin 2010). Den består av lera, sand, träfiber, stärkelse och ett jutenät. Skivorna har dimensionen 1250x625 mm (Lemix[®] 2020), vilket är något mindre än en standard gipsskiva som har måtten 2400x600 mm, alternativt 2400x900 mm (Strandberg & Lavén 2018). Enligt arbetsmiljöverket är det olämpligt för en person att hantera föremål tyngre än 25 kg (AFS 2012:2), vilket kan vara en förklaring till att lerskivorna har en något mindre dimension. Detta är dock endast en spekulation utan bekräftade fakta. Lerskivan är certifierad av Natureplus[®] och uppfyller de tekniska kraven för lerskivor enligt DIN 18948, en tysk industristandard som även uppfyller de svenska kraven (Lemix[®] 2020). Skivans akustiska egenskaper är goda och den ljudisolerande förmågan är enligt tillverkaren 56 dB (ibid.). Den är även klassad som icke brandfarlig enligt DIN EN 13501–1 och uppfyller brandklass A1, vilket betyder att den kan användas i alla byggnader oavsett byggnadsklass. Skivan har en kritisk relativ fuktighet på 70 % och en hög mekanisk hållfasthet enligt tillverkaren (ibid.).

Monteringen av lerskivorna, som beskrivs av Sunda byggvaror i Sverige AB (u.å.), sker likt konventionella gipsskivor. De kan monteras i liggande eller stående förband och fästs med skruv. Skarvarna putsas med bruk och en remsa av glasfibernet eller linnät placeras i den våta putsen. När hela ytan torkat fuktas den upp igen lätt och putsas med finputs. Kapning av skivorna görs med cirkelsåg eller sticksåg. För håltagning kan hålsåg användas.

5.2.3 Byggskiva av lera och hampa

Lerskivor med hampaskärvor är ytterligare ett skivmaterial av lera som kan användas för innerväggskonstruktioner (Olofsson & Melin 2014). Idag finns ett antal produkter på marknaden, bl.a. Claytec och Levita Lehm som två tyska företag. Hampavaruhuset säljer även en byggskiva för icke bärande innerväggar från Hanffaser Uckermark, också från Tyskland (Hampavaruhuset u.å.). Skivan är 22 mm och består av lera, lermineral, hampaskärvor, hampafibrer och sand (Hanffaser Uckermark u.å.). Densiteten är 600 kg/m³ (ibid.), knappt hälften av Lemix lerskiva enligt ovan. I övrigt har skivan liknande egenskaper som lerskivan gällande värmeisolering, värmelagring och fukt (ibid.)

5.2.4 Mycelium som skivmaterial

Svamp var en av de första organiska livsformerna på jorden (Nationellt resurscentrum för biologi och bioteknik 2021). Idag står svamp, eller mycelium som är en del av svampen, i centrum för flera ledande tekniska innovationer. Förutom byggmaterial används organismen i forskning inom högteknologisk kött-ersättning (Jankojć, Lesiów & Biazik 2016), futuristiska textilier (Parker 2019), konsumtionsvaror, nedbrytbara förpackningar (Enarevba & Haapala 2023) och möbler. Inom byggsektorn används svamp till bl.a. akustikpaneler (Myamo 2022). Forskning bedrivs även för att använda mycelium som isoleringsmaterial (Zhang 2022). Svampens unika egenskaper och förnybarhet gör den till ett attraktivt material. Idag finns inga färdiga produkter av mycelium anpassade för innerväggssystem på den svenska marknaden.

Tekniska egenskaper och framställning

Mycelium är svampens vegetativa del, hyfer, som i typiska fall är ofärgade och fleråriga (Nationalencyklopedin u.å.). Materialet mycelium är både hållbart och biologiskt nedbrytbart samt okänsligt mot fukt (McGaw 2018). Den kan odlas i odlingsformar i den kommande byggnaden och får då anpassade egenskaper och uppfyller kraven för den aktuella platsen (ibid.). Vid odlingen kan justeringar göras för att uppmuntra utveckling av olika färg, yttjocklek och konsistens (ibid.). Svampen anpassar sig efter formen den odlas i (ibid.).

Olika substrat kan även användas för att skapa olika densitet hos det färdiga materialet, vilket i sin tur påverkar vikten (McGaw 2018). I sig själv har mycelium mycket låg densitet (ibid.).

Mycelium är relativt enkelt att framställa. Tillverkningen kräver förutom inympade frön med mycelium, valfritt steriliserat substrat, tillsatsmedel (t.ex. majsstärkelse) en förhöjd fukthalt och rätt temperatur (Beyda 2021). Produktionen kräver en steril miljö med lämpliga förhållanden och verktyg för idealisk tillväxt. Enligt Arkitekten och forskaren Martina Endi, intervjuad av Beyda (2021), finns möjligheter att reproducera materialet även utanför laboratoriemiljö.

En av dem första att undersöka mycelium var konstnären och uppfinnaren Philip Ross. Ross är medgrundare till bioteknikföretaget MycoWorks som framställer material av mycelium. Ett exempel på där mycelium har använts är i den temporära konstruktionen ”The Growing Pavilion” ritad av Pascal Leboucq, se figur 18. Paviljongen består av flera CO₂-absorberande material: mycelium, trä, hampa, cattail och bomull (Company New Heroes & Dutch

Design Foundation 2019). Tillsammans absorberar materialerna 10 ton CO₂ (ibid.).



Figur 18: The Growing Pavilion är en cylinderformad byggnad av bl.a. mycelium (Återpubliceras med godkännande av Hannah Hagen, Company New Heroes 2023).

Akustikplattor från Myamo

En av produkterna på marknaden av mycelium är Myamos akustikplattor. Dessa kan användas för att förbättra akustikegenskaperna för en innerväggskonstruktion samt inspirera till att skapa en ny produkt tillämpad för innerväggar, t.ex. byggskiva eller modulblock.

Tekniska egenskaper

Myamos akustikplattor har enligt tillverkaren Myamo (2022) mycket goda akustiska egenskaper och är brandresistenta. De produceras utan kemikalier och består enligt uppgift från tillverkaren av 100 % biologiskt nedbrytbart material och har låg vikt.

Plattorna är i ett tidigt stadie och har inte lanserats ännu. Idag finns de representerade på flertalet utställningar och arbete pågår för en marknads lansering inom en snar framtid.

5.3 Isoleringsmaterial

5.3.1 Hampafiberisolering

Hampa är ett material som historiskt använts till rep, tyg, m.m. Idag finns ett stort intresse för att använda hampa som byggmaterial, bl.a. som hampafiberisolering (Strandberg-de Bruijn 2021).

Hampa är en biobaserad, förnybar råvara med låg inbyggd energi. Den har låg miljöpåverkan och ett negativt klodioxidavtryck (Ekolution AB 2022). Enligt Boverkets klimatdatabas har hampafiberisolering en klimatpåverkan på 0,64 kgCO₂-ekv/kg under livscykelkedena A1-A3 jämfört med glasull som har 0,89 kgCO₂-ekv/kg (Boverket 2022).

Tekniska egenskaper och framställning

Hampafiberisolering har goda termiska egenskaper. Värmekonduktiviteten är likvärdig mineralullsisolering medan värmekapaciteten är något högre för hampafiberisoleringen (EPD International AB 2020). Det är ett diffusionsöppet material, likt mineralull, som bidrar till ett jämnt inomhusklimat och ger liten risk för fuktskador (ibid.). Materialet kan även verka fuktbuffrande (Strandberg-de Bruijn 2021).

Odling av industrihampa ger stor avkastning i form av skörd, kräver inga bekämpningsmedel och små mängder vatten (Jordbruksverksverket 2006). Det finns även flera andra fördelar med att odla hampa, bl.a. som jordförbättring och gröda för växelbruk (ibid.). Vid tillverkning av hampafiberisolering används hampastjälken där fibrerna separeras från vedämnena (CABI 2013). Fibrerna formas därefter till isolering, se figur 19 (ibid.).



Figur 19: Hampafiberisolering har en ljusbrunaktig ton och en relativt grov fiberstruktur (Foto: Paulien Strandberg-de Bruijn 2023).

Hampafiberisolering från Ekolution

Hampafiberisolering kan användas som ett klimatsmartare alternativ till konventionella isoleringsmaterial. Ett av företagen som tillverkar isolering av hampafiber är Ekolution. Deras hampafiberisolering går att köpa som skivor med tjocklek från 30 mm till 220 mm hos återförsäljaren Optimera. Inga speciella verktyg eller speciell utrustning behövs vid montering. Hampafiberisolering är skonsam mot andningsorgan och hud samt bidrar till en god arbetsmiljö för byggarbetarna vid montering (Ekolution AB 2022).

Hållbarhet

Ekolution odlar sin hampa lokalt i Skåne (Ekolution AB 2023). Isoleringen är 100 % förnyelsebar och godkända enligt svensk standard, ISO 14025 och EN 15804: 2012+A1:2013. Den binder CO₂ och är CO₂-negativ, -44 kg CO₂-ekv/m³ (EPD International AB 2020). CO₂ binds dels i isoleringen, men även ute på fälten där grödan binder upp till 22 ton CO₂ per hektar (EPD International AB 2020).

Tekniska egenskaper

Hampafiberisoleringen har goda termiska egenskaper och en värmeisolerande förmåga på 0,041 W/(m*K) fastställd av IN 12667 IN ISO 10456 (Ekolution AB 2022). De ljudisolerande egenskaperna är goda och Ekolutions hampafiberisolering uppnår ljudklass B, enligt norm EN29053 testmetod A (EPD International AB 2020). Den har även god brandbeständighet och uppfyller brandklass D-s1 d0 (ibid.). Materialets diffusionsöppna egenskaper minskar risken för skadliga fuktrelaterade emissioner och skapar ett friskare inomhusklimat (ibid.). Isoleringskivans densitet är 35 kg/m³ (ibid.).

5.3.2 Ålgräsisolering

Ålgräs (*Zostera marina*), se figur 20, också benämnd som bandtång bildar undervattens-ängar på grunda mjukbottnar i Västerhavet och Östersjön (Eriander 2021). I det grunda kustekosystemet spelar ålgräs-ängarna en mycket viktig roll. Några av de viktiga egenskaper som ålgräset besitter är till exempel förmågan att minska övergödning och ge upphov till klarare vatten då växten tar även upp CO₂ och kväve från vattnet och har en hög produktion av biomassa (ibid.). Enligt Greater Bio (2022) är det av vikt att en del tång och ålgräs, som spolas upp på stränder, lämnas kvar eftersom materialet hjälper till att skydda kusten från erosion och fungerar som livsmiljö för olika djur och organismer.

Ålgräs är en begränsad resurs i Sverige. Men eftersom den del av biomassan som kan samlas in är ett överskott har exploatering av resursen ingen negativ effekt (Eriander 2021). Trots stora uppspolade mängder på ständer så har förluster av ålgräset utbredningen längs Sveriges kust skett (ibid.). I Danmark ser situationen dock annorlunda ut. Odsherred Kommune samlar upp stora mängder ålgräs varje år och på ungefär 1 km strand kunde det samlas in 2300 ton ålgräs år 2018 (Gate 21 2022).



Figur 20: Ålgräsblad har en brunaktig ton och gräsliknande trådaktig form (Återpubliceras med godkännande av Vandkunsten 2023).

“Det Moderne Tanghus “

Att använda sig av ålgräs som byggnadsmaterial är en lång tradition på Læsø i Danmark. Arkitektfirman Vandkunsten fick i uppdrag att rita ett hus där ålgräs skulle användas som primärt byggnadsmaterial då den biobaserade restprodukten anses vara ett naturligt lokalt, giftfritt och CO₂-neutralt material (Vandkusten u.å.). Schipull Kauschens (2013) rapport visar att valet av ålgräs bidrar till att huset har en mindre klimatbelastning än de flesta konventionella byggnader. Det Moderne Tanghuset, se figur 21, utnyttjar ålgräsets egenskaper genom att placera det mellan strukturerna i golv, fasad och tak.



Figur 21: Ålgräs-beklädd fasad från det Moderne Tanghuset (Återpubliceras med godkännande av Vandkunsten 2023).

Tekniska egenskaper

Ålgräs har en värmeledningsförmåga på $0,0376 \text{ W/mK}$ vilket nästan är likvärdigt med mineralull och ger därför goda förutsättningar som isoleringsmaterial (Pedersen, CM & Ransby 2007). Ålgräset är naturligt impregnerat med salt på grund av att materialet växer i havet (Vandkusten u.å.). Impregneringen hindrar materialet från att brinna eller ruttna och det motverkar också svampangrepp (ibid.). Ålgräsisolering har möjligheten att uppnå brandklass Euroclass E nivå (Pedersen, CM & Ransby 2007) som motsvarar svårantändligt enligt BBR (Boverket 2019). Om en stabil produktion av ålgräsisolering etableras kan isoleringen potentiellt godkännas som CE-märkta produkter (Pedersen, CM & Ransby 2007).

Akustikplattor från Søuld

Søuld är en dansk materialtillverkare som tillverkar ljudisoleringsplattor och mattor utav ålgräs. Företaget ser stor framtidspotential för materialet eftersom det anses vara miljövänligt och återvinningsbart. Søulds konstruktion av de CO_2 -bindande ålgräsfiberna leder till att byggmaterialet fungerar som en kolsänka, det vill säga ett negativt EPD (A1- A3) värde (Søuld u.å. A). Ålgräsplattorna är också designade för cirkulärt användande då de kan returneras till fabriken där de återanvänds för att skapa nya produkter (Søuld u.å. B).

Tekniska egenskaper

Företaget har visat att ålgräs som modernt byggnadsmaterial ger utmärkt akustisk prestanda genom att ålgräsmattorna innehåller luftfickor som bidrar till att stoppa ljudvågor som träffar materialet. Materialet ger också god termisk komfort, effektiv fuktreglering, hög brandbeständighet och låg känslighet för mögel på grund av dess naturliga innehåll av mineralsalter (Søuld u.å. C).

En produkt som framtagits av företaget är "Akustiskiva FR". Den är designad för att förbättra brandmotståndet i materialet och metoderna som används ser till att produkten innehåller inga kända skadliga kemikalier eller tillsatser och har låga utsläpp vid tillverkning. Nedan redovisas produktdata för akustiskiva FR, uppgifter från Søuld (u.å. D):

Material: Ålgräs, Flamskyddsmedel, Bikomponentbindemedel

Tjocklek: 35mm

Akustik: klass B(MH)

Brandklass: C-s1, d1

EPD (A1- A3): -1,8 kg CO₂-eq/m²

5.4 Massiv vägglösning

5.4.1 Flexibelt innerväggssystem - "Fremtidens indervæg"

En flexibel innervägg ger långsiktigt hållbara byggnader och idag finns ett antal flyttbara innervägglösningar på marknaden. Danska AART architects har i samverkan med Århus kommun, Boligforeningen Århus Omegn, MOE och den affärsdrivande föreningen Realdania utvecklat en modulär och biobaserad innervägg. Den flexibla innerväggen som går under namnet "Fremtidens indervæg" gör det möjligt att bygga, driva och inreda kontorsbyggnader mer klimatvänligt (Aarhus kommune 2022). Väggsystemet är ett resultat av en lång utvecklingsprocess vars resultat sammanställts i texten "Fremtidens indervæg – White Paper" (ibid.). Samtlig information nedan är hämtad med denna text som referens.

Eftersom innerväggen är flexibel har potential för återanvändning samt kan tillverkas av återvunnet material, uppmärksammas den som en möjlig lösning till ett biobaserat innerväggssystem. Detta trots att modulerna vid nyproduktion är producerade av högvärdigt biobaserat material, trä, samt isoleringen i innerväggen utgörs av mineralull. Väggen består av 97 % biobaserat material, mätt i vikt. Väggens fördel är att den är flyttbar samt designad för minimalt spill och arbete vid återanvändning.

Väggen kan demonteras och återanvändas och är designad för maximal materialåteranvändning enligt Aarhus kommune (2022). Den är uppbyggd av moduler som monteras utan skruv. Detta gör återanvändningen enklare och ingen reparation behöver utföras från eventuella tidigare montagedefekter. Sammanfogningen mellan de 800x600 mm stora modulerna sker med speciella anpassningsbitar. Dessa reducerar även toleranser mellan omgivande byggnadsdelar. För att uppfylla ljudkraven är väggen ljudisolerad med glasullsisolering samt EPDM-sladd som pressas in mellan de färdigmonterade modulerna.

Demonteringen av väggen sker lika enkelt som monteringen. Anpassningsbitarna avlägsnas och modulerna plockas ned. Modulerna kan staplas och förvaras tills det att väggen tas i bruk igen. Innerväggen kan tillämpas i såväl nya som befintliga kontorsbyggnader. En flyttbar innervägg har både ekonomiska och sociala fördelar. Att väggen går att flytta enklare och med mindre materialspill än en konventionell gipsvägg ger den ekonomiska fördelar. Kontoren kan tas i bruk snabbt igen efter flyttningen av väggen.

Modulerna består av två 22 mm tjocka MDF-skivor i vilka hålrummet mellan dem fyllts med 70 mm glasullsisolering. Utanpå de bärande MDF-skivorna är en 21 mm tjock brandimpregnerad björkplywood placerad. För att modulerna ska glida över läktramen finns 0,5 mm maskinpapp mellan samtliga lager. Lagerna sammanfogas med synliga skruvar. Varje modul väger 26,4 kg/st.

Tekniska egenskaper

För att den danska innerväggen ska godkännas utan ytterligare branddimensionering är den utformad enligt de danska prefabricerade lösningarna i BR18:s (BR18, Bilaga 3 - Præ-accepterede løsninger – Kontorsbyggnader).

Isoleringen i väggen uppfyller enligt Aarhus kommune (2022) brandklass B-s1, d0 och ytan med björkplywood beklädnadsklass K1 10 / B-s1, d0. Att använda isoleringsmaterial med lägre brandbeständighet som träfiberisolering eller pappersull bedöms inte genomförbart utan ytterligare branddimensionering menar Aarhus kommune (2022). Observera att brandklasserna är Europagemensamma och därför samma i Danmark och Sverige. De akustikmässiga egenskaperna för väggens luftljudsisolering är uppmätta till R'w 43 dM i laboriemiljö.

Hållbarhet

Den flyttbara biobaserade innerväggen har låg klimatpåverkan och lagrar CO₂ under användningsfasen. Eftersom ytskiktet utgörs av björkplywood behöver inga kemikalier användas för ytbehandling.

Enligt Aarhus kommune (2022) sparar den nya innerväggslösningen 76,9 kg CO₂/m² under LCA fas A1-A3, jämfört med en konventionell innervägg av stålreglar, mineralullsisolering, gipsskivor och ytbehandling. Vid slutligt avskaffande sparade väggen 74,1 kg CO₂/m², jämfört med den konventionella innerväggen. Eftersom väggen är flyttbar kan även stora CO₂-besparingar göras under väggens livslängd genom att utnyttja väggens flyttbarhet. Under en livslängd på 50 år och fyra flyttningar kan en besparing på 62,8 kg CO₂/m² uppnås.

5.4.2 Hampakalk

Hampakalk är ett inte lastbärande material tillverkat av vedämnen från hampa, kalk och vatten, se figur 22. Materialet fungerar som ett alternativ till konventionell kalkstenscement och kan gjutas i form, sprutas eller användas i prefabricerade element (Strandberg-de Bruijn 2021). Dess miljöpåverkan låg och de isolerande- och energibevarande egenskaper är goda (Bevan & Woolley 2008). Hampakalk kan användas i en innerväggskonstruktion som massiva block eller i en flexibel prefabricerad lösning.



Figur 22: Hampakalk har en ljusbeige nyans där hampans vedämnen går att urskilja i form av skärvor i kalblandningen (Foto: Paulien Strandberg-de Bruijn 2023).

EU beslutar årligen vilka hampasorter som är godkända att odla. På Jordbruksverkets hemsida kan gårdsstöd sökas för att odla hampa lagligt i Sverige. En utökad odling i kombination med de miljömässigt hållbara fördelarna med hampakalk gör materialet attraktivt för framtiden. Idag finns ett begränsat antal mindre hus byggda med hampakalk i Sverige.

Hållbarhet

Hampakalk har låg miljöpåverkan och ett negativt klodioxidavtryck. Nettoutsläppet av CO₂ för 1 m³ hampakalk är -108 kg CO₂, räknat med den CO₂ som hampan tar upp medan den växer (Bevan & Wolley 2008). Hampakalk fungerar även som kolsänka i en innervägg (ibid.). Eftersom hampakalk har god värmeisolerande förmåga reducerar den även byggnadens energiförbrukning under driftskedet (Strandberg-de Bruijn 2021). Materialet går att återvinna och kompostera, vilket gör materialet cirkulärt (House of Hemp u.å.).

Tekniska egenskaper

Generellt har hampakalk god värmeisoleringsförmåga, goda fuktegenskaper och är brandbeständig. Hampans cellstruktur består av små mikrorör som gör materialet permeabelt (Beyda 2021). Materialet är diffusionsöppet och mikrorören gör att materialet kan andas (ibid.). Denna egenskap minskar risken för fuktproblem och mögelangrepp. Materialet kan även lagra stora mängder fukt i sin cellstruktur, utan att fukten kondenseras till vatten (ibid.). Detta bidrar till att materialet är termisk värmetrögt och byggnader som byggs med hampakalk blir mer temperaturstabila (Strandberg-de Bruijn 2021). Hampakalkens exakta egenskaper beror på proportionerna mellan hampa och kalk.

Hampakalkprodukter från Hampahuset

Hampahuset säljer flertalet certifierade hampakalkprodukter för byggprojekt. Produkterna är CE-märkta, certifierade enligt ISO 14025 och EPD-er finns tillgängliga. Nedan presenteras de tekniska egenskaperna för Hampahusets hampakalkprodukter.

Tekniska egenskaper

Hampahusets hampakalk är energibesparande och kan uppnå passivhusstandard (House of Hemp u.å.). Hampakalken är även brandbeständig och klarar upp till 4 h i europeiskt brandtest, beroende på exakt konstruktionsutförande, (Study center of concrete industry 2020).

6 Resultat

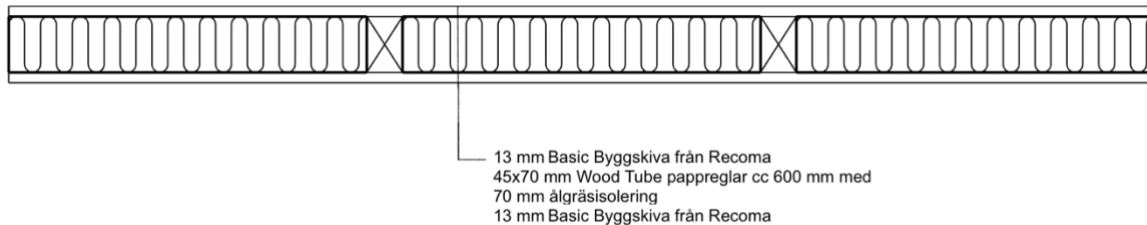
Huvudfokus var att välja cirkulära material med låg klimatpåverkan. Dessutom skulle materialen uppfylla funktionskraven för detta arbete. En fördel var om materialen kunde framställas lokalt i Sverige, både för att gynna klimatet men också den lokala ekonomin. Efter att ha undersökt de krav som ställs på en innervägg samt granskat olika hållbara material har tre typer av innerväggssystem tagits fram, så som visas i tabell 3 nedan. Valen är gjorda med hänsyn till hur väl de enskilda materialen samt materialen i samverkan uppfyller, eller har potential att uppfylla, de kartlagda funktionskraven. Väggarna redovisas närmare under respektive underrubrik. Kontrollprogrammet som togs fram beskrivs även separat under egen underrubrik avslutningsvis i detta kapitel.

Tabell 3: Översiktlig redogörelse av de tre typinnerväggarnas principiella uppbyggnad.

	Skivmaterial	Isolering	Reglar	Massivvägg	Ramverk
Typvägg 1	Återvunna förpackningar	Ålgräs	Papp		
Typvägg 2	Lera	Hampafiber			KL-trä spill
Typvägg 3				Mycelium	KL-trä spill

6.1 Typvägg 1:

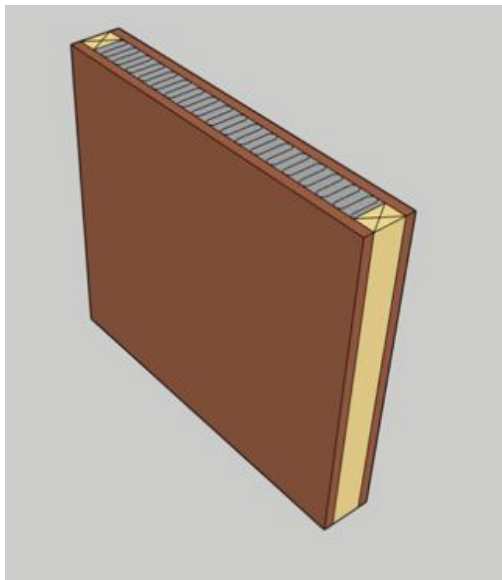
Typvägg 1, se figur 23, konstruerades med samma struktur som dagens konventionella regelväggskonstruktion, men materialen ersattes med biobaserade alternativ. Regelkonstruktionen består av pappreglar likt Wood Tube eftersom de har låg vikt och är lätta att arbeta med samt möjliggör ett högre utbyte ur skogsråvaran jämfört med konventionella träreglar (Wood Tube 2023). Dessutom hade de goda kvalitéer och materialegenskaper lämpade för en icke-bärande innerväggskonstruktion. Isoleringen i väggen utgörs av ålgräs som hade fördelaktig isoleringsförmåga och tillfredställande akustikegenskaper. Ytskiktet för väggen består av återvunna förpackningar likt byggsnivorna från Recoma. Byggsnivorna är ett cirkulärt alternativ och hade ett lågt CO₂-utsläpp vid produktion (Recoma 2022). Mått och tjocklekar bör justeras i ett senare skede, när väggen som helhet testas, för att optimala dess egenskaper.



Figur 23: Typvägg 1 är en hållbar regelvägg bestående av återvunna förpackningar, ålgräs och pappreglar. Måtten i ritningen är tillfälliga och behöver verifieras i ett senare skede.

6.2 Typvägg 2:

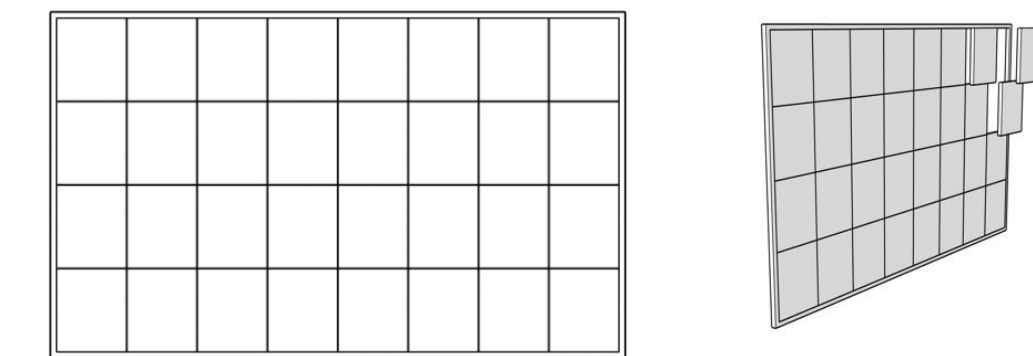
Typvägg 2 togs fram som en mer massiv flexibel regelväggkonstruktion, se figur 24, likt den danska modulväggen “Fremtidens indervæg”. Skikten i modulerna ersattes och består nu av yttre skivor av lera, likt lerskivan Lemix, för att skapa en god inomhusmiljö (Lemix® 2020). Dessa gick dessutom att återvinna (ibid.). Mellan lerskivorna finns ett skikt med hampafiberisolering, lik Ekolution, för att förbättra väggens akustikegenskaper. Hampafiber hade enligt Ekolution AB (2022) goda akustiska egenskaper, mycket låg klimatpåverkan och ett negativt CO₂-avtryck. I väggkonstruktionen ingår även ett ramverk av spillmaterial från KL-träproduktion. Ramverket användes för att göra modulväggen demonterbar och flexibel. KL-träet är ett restmaterial som enligt Södra (2022) var mer formstabil, mindre känsligt mot fukt och temperaturförändringar än vanliga träreglar. Om modulerna utförs med måtten 600x600 mm har de en förväntad vikt på 26 kg/st. Likt Typvägg 1 bör mått och tjocklekar justeras i ett senare skede för att väggen ska uppfylla ställda krav.



Figur 24: Typvägg 2 är en flexibel hållbar innervägglösning som uppbyggs upp av moduler.

6.3 Typvägg 3:

Typvägg 3, se figur 25, är en visionsvägg ämnad för framtiden, eftersom ingående material inte är färdigutvecklade ännu. Konstruktionen liknar Typvägg 2, en massiv flexibel väggkonstruktion men med moduler av mycelium-plattor. Mycelium valdes för att det har lovande egenskaper för framtiden. Svampen tros kunna framställas med olika egenskaper anpassade för ändamålet (McGaw 2018). Ramverket i konstruktionen kan varieras men utfördes här med spillmaterial från KL-träproduktion.



Figur 25: Visionsväggen Typvägg 3 som är en hållbar flexibel modulvägg bestående av mycelium och spillmaterial från KL-träproduktion.

6.4 Kontrollprogram

Kontrollprogrammet togs fram utifrån de kartlagda funktionskraven och sammanställdes i en tabell, se tabell 4. Programmet bestod av en tabell med kravformuleringarna i de vänstra kolumnerna och materialen som ska testas fylls i till höger. Tanken var att de tomma kolumnerna i tabellen ska fyllas i med olika färger beroende på hur väl de enskilda materialen uppfyller kraven. Gult skulle då representera att materialet uppfyller funktionskravet, grönt att materialet överträffar kravet och rött att materialet inte uppfyller kravet. Om data saknades var tanken att detta skulle markerades med ”-”. Om fler material eller väggar ska testas kan fler kolumner adderas till höger i tabellen.

Tabell 4: Kontrollprogram framtaget för att verifiera hur till vida väggen uppfyller funktionskraven.

		Vägg 1		
	Funktionskrav	Material 1	Material 2	Material 3
1. Brandbeständighet	Uppfylla kraven på brandklassning enligt den europeiska konstruktionsstandarden (EKS)			
	Inte hindra eller äventyra räddningspersonalens säkerhet vid brandbekämpning			
	Motverka brandspridning			
	Uppnå rätt brandklass med hänsyn till kontorsbyggnadens byggnads- och verksamhetsklass			
	Erhålla klassning C-s2, d0 för Br1 och D-s2, d0 för Br2 och Br3, för ytskikt			
	Uppfylla EN 1364-1			
2. Akustik	Spridning och uppkomst av störande ljud ska begränsas			
	Uppfylla minst ljudklass C			
	Tillgodose aktuella ljudreduktionskrav (exakt värde beror på var väggen placeras i kontorsbyggnaden)			
	Uppfylla nationella och internationella standarder			
3. Bärförmåga	Följ den europeiska konstruktionsstandardens riktlinjer för icke bärande byggnadsdelar			
	Förmå att bära last från sin egentygnd samt eventuell last från inredning och andra infästningar			
	Säkra bärförmågan genom verifiering, om inte redan beprövade lösningar används			
4. Takhöjd	Behärska en takhöjd om minst 2,7 m (lokaler där mer än 16 pers. vistas) eller 2,4 m (lokaler där färre än 16 pers. vistas)			
5. Byggnadsfysik	Ska uppfylla kravet på termiskt klimat			
	Utformas så att den lägsta riktade operativa temperaturen är 18 °C (i vistelsezonen)			
	Utformas så att skillnad mellan två punkter i rummet max är 5 °C (i vistelsezonen)			
	Ha god värmekapacitet och värmetröghet			
	Förhindra skador, mikrobiell tillväxt eller lukt som påverkar hygien eller hälsa			
	Det ska finnas information om materialens kritiska relativa fuktighet			

6. Emissioner	Inte utgöra fara för inomhus- och närmiljö			
	Ha kända egenskaper gällande egenemissioner			
	Avge minsta möjliga mängd flyktiga ämnen			
	Begränsa mängden emissioner som avges			
	Erhålla CE-märkning eller motsvarande			
7. Klimatdeklaration	Uppfylla gällande lagstiftning för klimatdeklaration			
8. Beständighet	Inte försämra byggnadens beständighet			
	Förhindra att väggen helt eller delvis rasar			
	Förebygga deformationer			
	Hindra att andra delar av byggnadsverket skadas			
9. Flexibilitet	Förändra planlösningen med enkla medel			
	Gå att flytta och använda väggen flera gånger			
	Ge lägre klimatpåverkan vid en flytt än att demontera och återmontera en konventionell innervägg			
	Minska mängden byggavfall			
	Vara ekonomisk gynnsam			

7 Diskussion

Tre förslag på hållbara innerväggssystem har presenterats i resultatkapitlet, Typvägg 1, Typvägg 2 och Typvägg 3 (Framtid). De material som ingår i väggarna har testats i kontrollprogrammet, enligt tabell 3, och uppfyllde kraven, se appendix 1.

Nedan diskuteras för- och nackdelar med de olika materialen utifrån problemformuleringen. Funktionskravet flexibilitet diskuteras under egen underrubrik, 7.8, eftersom detta berör väggen som helhet. Detsamma gäller för brandklass, ljudklass, bärförmåga, temperatur, drag och klimatdeklaration som diskuteras under rubrik 7.9.

7.1 Basic Byggskiva från Recoma

Byggskivan är tillverkad av 100 procent återvunna förpackningar. Fördelen med detta är att den är helt cirkulär och återvinningsbar, till skillnad från en konventionell byggskiva. Den sparar dessutom 90 procent CO₂-ekv jämfört med andra skivmaterial vilket gör den till ett mer hållbart alternativ. Att byggskivan redan finns på marknaden gör den lätt att implementera i en innervägg redan idag. Den har kvaliteter som är mer fördelaktiga än en gipsskiva, t.ex. är den böjbar och har bättre fuktegenskaper än träbaserade skivmaterial.

Baserat på tillverkarens antaganden har skivan en kortare livslängd än vad som ses som standard idag, 50 år enligt BBR (BBR 2011:10, kap. 3.3.1 1 § 9). Detta påstående är dock en osäkerhet, då produkten är ny på marknaden och inte testad under en längre tidsperiod. Byggskivan är beroende av en fortsatt produktion av förpackningsavfall, vilket ger den en beroendeställning gentemot framtida förpackningsproduktion.

7.2 Wood Tube pappregel

Pappregeln är resurseffektiv och ger 14 ggr. lägre CO₂-utsläpp än vanliga stålreglar. Dessutom ger den 1,3 ggr. mindre klimatpåverkan per löpmeter än träreglar, se beräkning i kapitel 5.1.1, samt möjliggör ett högre utbyte ur skogsråvaran (Wood Tube 2023). Den utgör även en del i det cirkulära kretsloppet eftersom den efter användning går att återvinna (Wood Tube 2023). Vid hantering förbättrar den byggarbetarnas arbetsmiljö då den både är lättare än en konventionell träregel och inte genererar något damm vid

kapning (ibid.). Den kan även beställas i kundanpassade längder som gör att mängden spill vid montering minskar.

Regeln kräver kantprofil av stålplåt vilket gör delar av konstruktionen mindre cirkulär, likväl är den bättre än en ren stålregelvägg. Idag finns byggregeln tillgänglig i endast en dimension, dock den vanligaste dimensionen för icke-bärande innerväggar vilket ändå är positivt. Dimensionen ger en begränsad maximal vägghöjd likvärdig en träregelkonstruktion.

7.3 Ålgräsisolering

Ålgräs är en biobaserad restprodukt producerad längs svenska och danska kusten. Detta gör materialet attraktivt när det finns en lokal tillgång som minskar CO₂-utsläppen för transport. Materialet är giftfritt och CO₂-neutralt vilket gör ålgräsisolering till en hållbar framtida produkt. Ålgräset fungerar som kolsänka och ingår i det biologiska kretsloppet, något som konventionella isolermaterial inte gör. Materialet är återvinningsbart och har låg känslighet för mögel och bakterier, trots att det är biobaserat.

Råvaran ingår i ett hotat ekosystem i Sverige och om tillgången inte vårdas är ålgräset en begränsad resurs (Eriander 2021). På stränderna har ålgräset en funktion men att inte utnyttja det mer gör att en värdefull råvara går till spillo. Idag finns visserligen ingen färdig produkt av ålgräsisolering i Sverige är som etablerad på marknaden, vilket försvårar implementeringen i branschen. Däremot används ålgräs, enligt tradition, som isolering i Danmark där det finns en större mängd ålgräs på stränderna (Gate 21 2022). Det finns också en del andra produkter av ålgräs på den danska marknaden. Därmed finns potential för att ålgräsisolering kan tas fram som produkt.

7.4 Lerskiva Lemix

Lerskivan är helt komposterbar och går att återanvända/återvinna, vilket gör den till en del av det cirkulära kretsloppet. Till skillnad från de övriga materialen som diskuterats är lera inget biologiskt material, men den har ändå ett ekologiskt värde och ger en låg klimatpåverkan. Produkten är certifierad enligt ett flertal certifieringar och har goda tekniska egenskaper (Lemix[®] 2020), bl.a. är den mögelresistent. Implementeringen av produkten i branschen förenklas när montering sker likt en gipsskiva.

Ett problem är dock att lera är ett tyngre material än gips, vilket kan ses som negativt. Enligt arbetsmiljöverket är det olämpligt att för en person hantera

bördor tyngre än 25 kg (AFS 2012:2). Att behöva vara två byggarbetare vid montering av en vägg kan ses som en nackdel. För att åtgärda detta problem kan modulerna göras mindre så att deras vikt blir mindre. Ytterligare en nackdel med lera är att råvaran är ändlig och för att den ska ses som hållbar krävs att den återanvänds och får så lång livscykel som möjligt.

7.5 Hampafiberisolering från Ekolution

Hampafiberisolering har låg inbyggd energi och består av förnybar råvara vilket gör den till ett hållbart isolermaterial. Hampa kan odlas lokalt i Sverige och ge stora skördar. Dessutom förbättrar den jorden den växer i och är en lämplig gröda att använda i växelbruk. Detta leder till bättre förutsättningar för kommande skördar av andra grödor. Enligt tillverkaren (Ekolution AB 2022) är isoleringen vid hantering skonsam mot hud och andningsorgan, vilket ger en bättre arbetsmiljö för byggarbetarna. I övrigt finns inga större nackdelar med hampafiberisolering noterade i detta arbete.

7.6 Kortregel MoreWood av återvunnet KL-trä

Regeln är tillverkad av spillmaterial som gör den mer hållbar än konventionella träreglar som kommer direkt från skogsråvaran. Detta gör produkten mer cirkulär eftersom den minskar andelen spill som genereras i KL-träproduktionen. Att reglarna är mycket stabila och absolut raka är ytterligare en fördel i förhållande till vanliga träreglar. De är även mindre känsliga mot fukt och temperaturförändringar vilket förbättrar kvalitén på väggen.

En nackdel är att regeln endast tillverkas som kortregel idag. Då kravet för takhöjden inte uppfylls, se appendix 1, kan längden ses som en begränsning. I detta arbete har dock hänsyn tagits till detta och eftersom regeln används i modulväggar kommer den begränsade längden inte bli något hinder. Produkten är likväl beroende av mängden KL-trä som tillverkas och andelen spill som genereras. Om inget spill finns att tillgå kan regeln inte tillverkas.

7.7 Mycelium

Mycelium kan odlas i odlingsformar direkt i den kommande byggnaden. Detta gör att odlingen kan anpassas och fler valmöjligheter finns för att uppnå de efterfrågade egenskaperna, t.ex. densitet, konsistens och färg. Materialet är dessutom förnyelsebart, biologiskt nedbrytbart och okänsligt mot fukt vilket gör det till en stark kandidat i ett hållbart system.

Idag finns inga färdiga byggprodukter anpassade för innerväggar på marknaden. Därför finns en större osäkerhet gällande exakta materialegenskaper och värden för t.ex. brand och akustik. Mycelium har hypotetiskt sett goda utvecklingsmöjligheter för framtida bruk i ett innerväggssystem.

7.8 Flexibilitet

Tabellen i appendix 1 tar endast hänsyn till hur väl de enskilda materialen uppfyller funktionskraven. Flexibilitet avser hela väggkonstruktionen. Därför diskuteras dessa funktionskrav mer ingående under denna rubrik.

En flyttbar innervägg gör det möjligt att förändra en planlösning utifrån varierande behov. Större CO₂-besparing kan göras när väggen är flyttbar och man kan undgå att riva och/eller sätta upp nya innerväggar allteftersom arbetsuppgifterna i kontorsbyggnaden växlar. Det finns även ekonomiska fördelar när väggen går att flytta eftersom material- och tidsbesparingar kan göras. En design lik den danska innerväggen, och så som Typvägg 2 och 3 är tänkt att utformas, bidrar till minimalt spill och arbete vid återanvändning. Även detta minskar väggens klimatpåverkan. Innerväggen kan implementeras i både nya och befintliga kontorsbyggnader, vilket är en stor fördel. Ytterligare en fördel är att den flexibla miljön ökar effektiviteten hos brukaren, ger sociala fördelar och minskar stress när arbetsmiljön är anpassad efter arbetsuppgifterna.

En utmaning med en flexibel modulinnervägg är att eldragningarna måste anpassas. Det går inte att dra el i väggarna om väggen är helt flyttbar. Andra lösningar krävs för en sådan konstruktion. Kanske kan man dra elen i taket eller längs golvet. Denna utmaning måste lösas innan Typvägg 2 och 3 går att implementera i en kontorsbyggnad.

Den information som togs fram om massiva väggar, se kapitel 4.2, kom inte till användning eftersom ingen av de framtagna typväggarna blev en massiv

konstruktion. Kapitel 4.2 bidrog ändå med en djupare förståelse om hur innerväggarna i resultatet hade kunnat byggas upp.

7.9 Övriga krav som berör hela väggkonstruktionen

Funktionskraven brandklass, ljudklass, bärförmåga, temperatur, drag och klimatdeklaration påverkas av väggkonstruktionen i sin helhet och har lämnats tomma i kontrollprogrammet. Antaganden har gjorts där de enskilda materialens egenskaper har legat till grund när väggen har satts samman. Därför kan kraven ovan inte med säkerhet fastställas och diskuteras. Kontroll och utvärdering av dessa krav lämnas därför till vidare studier.

8 Konsekvenser av resultatet

De tre typinnerväggarna bidrar till och ingår i den cirkulära ekonomin eftersom de är tillverkade av hållbart material. Resultatet ingår dessutom som underlag för det parallella projektet ”Utvärdering och förkvalificering av innerväggssystem baserat på lågvärdiga biobaserade material” tillsammans med NCC.

Övergripande kan resultatet i denna studie förändra byggbranschens syn på hållbarhet och även, genom att vara en del av hållbarhetsarbetet, leda till att nya material och lösningar testas. Många av materialen som används i de tre typinnerväggarna förbättrar dessutom komforten inne i kontoren, eftersom de är värmetröga, har goda fuktegenskaper och är lågemitterande. De effektiviserar dessutom arbetsmiljön då två av systemen är flexibla. Eventuellt ger de även en förbättrad ekonomi.

9 Studiens styrkor och svagheter

Sammantaget har studien resulterat i nedan presenterade styrkor och svagheter.

Styrkor:

- Framtagna innerväggssystem kommer att testas av NCC.
- Uppsatsen inkluderade produkter som ännu inte är tillgängliga på marknaden.
- Kontrollprogrammet kan användas som en lathund när nya innerväggssystem tas fram anpassade för kontorsbyggnader.
- Studien har handletts av personer som är kunniga inom området, forskare och entreprenör.
- Företag och experter har bekräftat och bidragit med fakta.
- Resultatet är överblickbart och tydligt formulerat för såväl en utomstående som en inom branschen kunnig person.
- Studien ger underlag till vidare forskning inom området.

Svagheter:

- I kontrollprogrammet testades endast de enskilda materialens egenskaper mot funktionskraven.
- Materialens egenskaper i samverkan testades inte mot funktionskraven.
- Två produkter i de framtagna typinnerväggarna, ålgräsisolering och mycelium, fanns inte på den svenska marknaden.

10 Slutsats

Resultatet visar att två förslag på innerväggssystem, Typvägg 1 och 2, anpassade för en kontorsbyggnad baserade på hållbart material kan konstrueras. Ett tredje förslag presenterades även, utöver målformuleringen, utifrån samma förutsättningar, Typvägg 3 som är en framtidsvägg. Ett kontrollprogram har också tagits fram. Därmed är målformuleringen uppfylld.

- Genom att använda hållbara material kan en innervägg bli en del av den cirkulära ekonomin. De flexibla systemen, Typvägg 2 och 3, kan dessutom flyttas och omplaceras/återanvändas flera gånger under sin livslängd. Därmed förstärks väggens delaktighet i det cirkulära kretsloppet.
- En innervägg baserad på hållbart material kan uppfylla funktionskraven för en kontorsinnervägg.
- Dagens innerväggssystem kan förbättras till mer klimatsmarta lösningar när de ingående materialen byts ut till mer hållbara material. Att använda flexibla lösningar bidrar också till en positiv utveckling.
- Genom att kartlägga vilka krav som ställs på ett innerväggssystem idag och hitta mer hållbara material med egenskaper som uppfyller kraven kan ett hållbart innerväggssystem utformas.

Syftet med detta examensarbete är uppnått då de tre typväggarna tagits fram. Materialen i innerväggssystemen är testade i kontrollprogrammet och två av förslagen är möjliga att genomföra redan idag.

11 Vidare studier

Examensarbetet har behandlat första delen i Vinnovas projekt ”Utvärdering och förkvalificering av innerväggssystem baserat på lågvärdiga biobaserade material”, benämnt Arbetspaket 1 (Vinnova 2022). Förslag till vidare studier blir därmed Arbetspaket 2 där minst två system ska utvärderas och förkvalificeras. Detta kommer utföras av sammansatt projektgrupp hos NCC, baserat på resultatet från detta arbete.

Det finns fler material att studera, utöver de som har nämnts i detta arbete, för att skapa ett hållbart innerväggssystem. Under bakgrundssökningen påträffades flertalet intressanta material, men valdes bort. Detta eftersom de vid en första analys såg ut att ha svårare att uppnå funktionskraven, jämfört med de material som valdes istället. Under bakgrundssökningen noterades bl.a. vass och gräs till isolering, bambu och poppel till reglar, hampakalk som prefab, biokol och alger. Förslag till framtida studier är att studera dessa.

12 Referenser

- Aarhus kommune (2022). *Frentidens indervæg*. Produktdatablad.
https://issuu.com/aartarchitects/docs/20220530_white_paper [2023-01-13]
- AFS 2012:2. *Belastningsergonomi - Arbetsmiljöverkets föreskrifter och allmänna råd om belastningsergonomi*. Arbetsmiljöverket.
- Ankarberg, M. (2022). *Byggmax Green Ventures lanserar ny klimatvänlig träregel på marknaden*. Pressmeddelande 2022-12-05.
<https://mb.cision.com/Main/109/3677524/1714510.pdf>
- Arfvidsson, J., Harderup, L-E. & Samuelson, I. (2017). *Fukthandbok*. uppl. 4, AB Svensk Byggtjänst
- Arm, M., Wik, O., Engelse, C. & Erlandsson, M. (2014). *ENCORT-CDW Evaluation of the European recovery target for construction and demolition waste*. Nordiska ministerrådet. <http://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:724760/FULLTEXT01.pdf>
- BBR 2011:6. *Konsoliderad version av Boverkets byggregler*. Boverket.
- BBR 2011:10. *Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder)*. Boverket.
- Bevan, R. & Woolley, T. (2008). *Hemp Lime Construction*. Bracknell, United Kingdom: BRE Press. <https://www.brebookshop.com/samples/321427.pdf>
- Beyda, E. (2021). *Kommer byggbranschen använda tegelstenar av svamp?* The Bluebeam Blog [blogg]. <https://blog.bluebeam.com/se/mushroom-brick-construction/> [2023-03-15]
- Beyda, E. (2021). *The Ancient—And Unusual—Building Material Attempting a Comeback: Hemp*. The Bluebeam Blog [blogg].
<https://blog.bluebeam.com/hempcrete-as-a-building-material/> [2023-03-24]
- BFS 2011:6. *Boverkets byggregler (föreskrifter och allmänna råd)*. Boverket.
- BFS 2011:10. *Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder)*. Boverket.
- BFS 2011:26. *5 Brandskydd*. Boverket.

BFS 2013:14, 7:22. *Boverkets föreskrifter om ändring i verkets byggregler (2011:6) - föreskrifter och allmänna råd.* Boverket.

BFS 2015:6. *Boverkets föreskrifter om ändring i verkets föreskrifter och allmänna råd (2011:10) om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder).* Boverket.

BFS 2019:1. *Boverkets föreskrifter om ändring i Boverkets föreskrifter och allmänna råd (2011:10) om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder).* Boverket.

Boverket (2017). *Farliga ämnen i byggprodukter och byggnader.*
<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/farliga-amnen/> [2023-03-14]

Boverket (2019). *Brandklasser för golv, väggar tak, rörisolering och kablar.*
<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/brandskydd/brandklasserd-for-ytskikt/> [2023-04-25]

Boverket (2019). *Introduktion till livscykelanalys (LCA).*
<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/introduktion-till-livscykelanalys-lca/> [2023-05-08]

Boverket (2020). *Utveckling av regler om klimatdeklaration av byggnader.*
Boverket, Karlskrona. (Rapportnummer: 2020:13). Diarienummer: 2666/2019 och 1426/2020.
<https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2020/utveckling-av-regler-om-klimatdeklaration-av-byggnader.pdf>

Boverket (2021). *Syftet med att klimatdeklarera byggnader.*
<https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/om-klimatdeklaration/syfte/>
[2023-05-16]

Boverket (2022). *Boverkets klimatdatabas version 02.02.000 från 2022-01-01 till 2022-05-20.*

Boverket (2022). *Uppdrag om cirkulär ekonomi i byggsektorn.*
<https://www.boverket.se/sv/byggande/uppdrag/uppdrag-om-cirkular-ekonomi-i-byggsektorn/> [2023-03-17]

Boverket (2023). *Brandklasser för golv, väggar tak, rörisolering och kablar.*
<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om->

byggande/boverkets-byggregler/brandskydd/brandklasserd-for-ytskikt/ [2023-05-15]

Boverket (2023). *Högsta tillåtna fukttillstånd*.
<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/fuktsakerhet/hogsta-tillatna-fukttillstand/> [2023-05-17]

Boverket (2023). *Om Boverkets klimatdatabas*.
<https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/klimatdatabas/om-klimatdatabas/> [2023-05-10]

Boverket (2023). *Regler för stomkomplettering*.
<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-konstruktionsregler/overgripande-bestammelser/stomkomplettering/> [2023-03-14]

BR18. *Bilaga 3 - Præ-accepterede løsninger – Kontorsbyggnader*.
Byggnadsreglementet.dk

Burström, P.G. (2021) *Byggnadsmaterial: tillverkning, egenskaper och användning*. Fjärde upplagan. Studentlitteratur

BYGGmax AB (u.å.). *Kortregel 45x120 2,5 m MoreWood*.
<https://www.byggmax.se/kortregel-45x120-25m-morewood-p081451215> [2023-03-16]

CABI (2013). *Hemp: Industrial production and uses*. E-bok. Available from:
<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=ip,uid&db=c at07147a&AN=lub.5864165&site=eds-live&scope=site>

Company New Heroes & Dutch Design Foundation (2019). *Materialen atlas material atlas – the growing pavilion*.
<https://thegrowingpavilion.com/material-atlas/> [2023-05-12]

Ekolution AB (2022). *Ekolution® Hampafiberisolering*. Produktdatablad.
https://www.ekolution.se/_files/ugd/745fcc_4f342d76de514c249d15733cd6744db2.pdf

Ekolution AB (2023). *Från frö till isolering*.
<https://www.ekolution.se/industrihampa> [2023-05-12]

Ellen Macarthur foundation (u.å.). *What is a circular economy?*

<https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview> [2023-04-22]

Enarevba, D.R. & Haapala, K.R. (2023). *A Comparative Life Cycle Assessment of Expanded Polystyrene and Mycelium Packaging Box Inserts*. Procedia CIRP, 116, pp. 654–659. doi:10.1016/j.procir.2023.02.110.

EPD International AB (2020). *The EPD document from seed to finished insulation*. EPD registreringsnummer: S-P-01961.
<https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/b1030640-bd7d-46f0-9bce-b4ce6335b672/Data>

Eriander, L. (2021). *Ålgräs – blomväxten som koloniserade havets mjukbottnar*. Sveriges vattenmiljö.
<https://www.sverigesvattenmiljo.se/content/algras-blomvaxten-som-koloniserade-havets-mjukbottnar> [2023-03-19]

FN (u.å.). *Agenda 2030 och de globala målen för hållbar utveckling*.
<https://fn.se/vi-gor/vi-utbildar-och-informerar/fn-info/vad-gor-fn/fns-arbete-for-utveckling-och-fattigdomsbekampning/agenda2030-och-de-globala-malen/> [2023-01-15]

Forsberg, A. & Simatova, S. (2017). *Vilka alternativa återvinningsområden finns för gips?*. Available at:
<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=ip,uid&db=edsndl&AN=edsndl.213452&site=eds-live&scope=site> [2023-05-03]

Gate 21 (2022). *Biomassa – är en viktig del pusselbit i den gröna cirkulära ekonomin*. Greater Bio. <https://www.gate21.dk/wp-content/uploads/2022/09/GreaterBio-SVENSK-final.pdf> [2023-05-22]

Greater Bio (2022). *Uppspolad biomassa*. <https://www.gate21.dk/wp-content/uploads/2022/09/GreaterBio-SVENSK-final.pdf>

Göth, A (2021). Svens Byggtjänst. *Byggskivor av återvunna förpackningar*.
<https://byggkatalogen.byggtjanst.se/nyheter/byggskivor-av-atervunna-forpackningar/28417> [2023-03-17]

Hampvaruhuset (u.å.). *Byggskiva av lera och hampa 22 mm*. Hampa & Miljö i Sverige AB / Hem(p) Co. AB. <https://www.hampvaruhuset.se/hampkalk-hemcrete-hempclay/byggskiva-av-lerahampa-22-mm> [2023-03-22]

Hanffaser Uckermark (u.å.). *Hanf-Lehm Trockenbauplatte HL BP*. Produktdatablad.

https://www.hanffaser.de/Downloads/SicherheitsDB_TBP.pdf

House of Hemp (u.å.). *Fördelar med hampakalk bygg material*.

<https://houseofhemp.se/fordelar-med-hampakalk-bygg-material/> [2023-03-24]

Jankojć, A., Lesiów, T. & Biazik, E. (2016). *Substytuty Mięsa Firmy Quorntm Na Polskim Rynku. Część 2*. Engineering Sciences & Technologies / Nauki Inżynierskie i Technologie, 4(23), pp. 58–76. doi:10.15611/nit.2016.4.04.

Jernkontoret (2018). *Klimatfärdplan – För en fossilfri och konkurrenskraftig stålindustri i Sverige*. https://fossilfritt Sverige.se/wp-content/uploads/2020/10/ffs_stalindustrin.pdf

Joelsson, K. & Karlsson Andrews, AL (2015). *Nytt hopp för världen med Parisavtalet*. FN-fakta. nr 4/16 – ingen volym <https://fn.se/wp-content/uploads/2016/04/4-16-FN-och-klimatfr%C3%A5gan.pdf>

Jordbruksverket (2006). *Hampa i ekologisk odling*. ISSN 1102-8052. JO06:5. Broshyr.

https://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_jo/jo06_5.pdf

Kanters, J. (2020). *Circular Building Design: An Analysis of Barriers and Drivers for a Circular Building Sector*. Division of Energy & Building Design, Department of Architecture and the Built Environment, Lund University. doi:10.3390/buildings10040077

Knauf Danogips GmbH (2020). *Standardregel R*. Produktdatablad.

https://docs.keskofiles.com/f/btt/ASSET_MISC_27850888 [2023-05-10]

Lemix (2020). *The oldest building material in the world in its most modern form*. Technical data for processing.

<https://lemix.eu/produkt/LemixLehmplatte> [2023-03-22]

Lindab (2020). *Declaration of performance CE - EN14195*. (Dok. Nr 2475. LPHO).

https://www.lindab.se/globalassets/commerce/lindabwebproductsdoc/pdf/profile/en/dop/dop_declaration_of_performance_partition_wall_profiles.pdf?v=168345222 [2023-05-10]

Mattson, S. (2001) *Aluminium* SIS förl. (SIS handbok: 12). Available at: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=ip,uid&db=c at07147a&AN=lub.1412581&site=eds-live&scope=site> [2023-05-10]

McGaw, J. (2018). *Dark Matter*. *Architectural Theory Review*, 22(1), pp. 120–139. doi:10.1080/13264826.2018.1413406.

Miljödepartementet (2020). *Cirkulär ekonomi – strategi för omställningen i Sverige*. Diarienummer: M202001133. <https://www.regeringen.se/globalassets/regeringen/bilder/klimat--och-naringslivsdepartementet/klimat-och-miljo/cirkular-ekonomi---strategi-for-omstallningen-i-sverige/> [2023-01-07]

Minke, G. (2006). *Building with earth. design and technology of a sustainable architecture*. *Birkhauser-Publishers for Architecture*. Available at: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=ip,uid&db=c at02271a&AN=atoz.ebs382335e&site=eds-live&scope=site> [2023-05-11]
MoreWood Sweden AB (2022). *Our story*. <https://www.morewood.se> [2023-03-16]

Myamo (2022). *THE MANUFACTURING PROCESS*. <https://www.myamo.me> [2023-03-15]

Nationalencyklopedin (u.å.). Gips. Tillgänglig: Nationalencyklopedin. [2023-05-10]

Nationalencyklopedin (u.å.). Koldioxidekvivalent. Tillgänglig: Nationalencyklopedin. [2023-04-12]

Nationalencyklopedin (u.å.). Mycel. Tillgänglig: Nationalencyklopedin. [2023-05-12]

Nationalencyklopedin (u.å.). Stålintusti. Tillgänglig: Nationalencyklopedin. [2023-05-10]

Nationellt resurscentrum för biologi och bioteknik (2021). *Förhistoriska svampar*. Bi-lagan nr 2. https://bioresurs.uu.se/wp-content/uploads/2021/06/bilagan2021_2_februari.pdf [2023-03-15]

Naturskyddsföreningen (2022). *Avfallstrappan*. <https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/avfallstrappan/> [2023-05-08]

Naturvårdsverket (2022). *Avfall i Sverige 2020: Uppkomst och behandling* (Rapport 7048). <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/publikationer/7000/978-91-620-7048-9/> [2023-03-17]

Naturvårdsverket (u.å.). *Avfall eller biprodukt*. <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/avfall/avfall-eller-biprodukt/> [2023-04-12]

Naturvårdsverket (u.å.). *Avfallshierarkin visar stegen vi behöver ta*. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/avfall/pagaende-arbeten/avfallshierarkin-visar-stegen-vi-behover-ta/> [2023-03-17]

NCC (2022). *Nya campus Borlänge*. Ritning. (Dokumentnummer: 620301-A-43-4-0100)

NFS 2004:10. *Naturvårdsverkets föreskrifter om deponering, kriterier och förfaranden för mottagning av avfall vid anläggningar för deponering av avfall*. Naturvårdsverket.

Norgips Svenska AB. (2012). *Norgips Standard/Normal 13*. Produktdatablad. <https://www.bauhaus.se/media/pdf/ProduktNormal.pdf>

Olofsson, V. & Melin, J. (2014). *Lersten med armering av hampa: Granskning av byggnadsmaterialets tryckhållfasthet, värmeledningsförmåga och ångpermeabilitet*. Available at: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=ip,uid&db=edsndl&AN=edsndl.16729&site=eds-live&scope=site> [2023-04-29]

Palmgren, L.A. & Kungliga Tekniska högskolan. Arkitekturskolan (2003). *Svenska jordhus med lera eller kalk 1750-1950 : om olika svenska jordhusmetoder - när, varför och hur de uppfördes*. Kungliga tekniska högskolan, Arkitekturskolan (Trita-ARK: Forskningspublikation 2003:5). Available at: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=ip,uid&db=cat07147a&AN=lub.1508550&site=eds-live&scope=site> [2023-05-11]

Parker, A.A.F. of A.& D.U. (2019). *Affective materiality: a practice-based collaboration with fungi*. Available at: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=ip,uid&db=du&AN=F8631BEBA2E17389&site=eds-live&scope=site> [2023-04-28]
PBF 2011:338. *Plan- och byggförordning*. Landsbygds- och infrastrukturdepartementet SPN BB.

PBL 2010:900. *Plan- och bygglag*. Landsbyggs- och infrastrukturdepartementet SPN BB.s

Pedersen, CM & Ransby, E (2007). *Proceedings of the IASME/WSEAS International Conference on ENERGY, ENVIRONMENT, ECOSYSTEMS and SUSTAINABLE DEVELOPMENT (EEESD '07)*. WSEAS Press, pp. 625-631, International Conference on ENERGY, ENVIRONMENT, ECOSYSTEMS and SUSTAINABLE DEVELOPMENT (EEESD '07), Agios Nikolaos, Greece, 24/07/2007.

Peñaloza, D., Erlandsson, M. & Falk, A. (2016). *Exploring the climate impact effects of increased use of bio-based materials in buildings*. Construction and Building Materials, 125, pp. 219–226.

Recoma (2022). *Teknisk Specifikation*. Produktdatablad. https://uploads-ssl.webflow.com/63c50bc07d33ed9d18aa8a88/63c50bc07d33ed30f3aa8ede_Teknisk%20Specifikation.pdf

RISE Research Institutes of Sweden AB (2020). *Innerväggar med stomme av pappreglar*. Typgodkännande med beslut om tillverkningskontroll C001225.

RISE Research Institutes of Sweden AB (u.å.). *Brandmotståndsprovning av väggar och fasta fönster*. <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/tjanster/brandmotstandsprovning-av-vagggar-och-fasta-fonster> [2023-04-11]

Roxana, F. E. & Maria, B. S. (2020). *Earth as an alternative indicator regarding the ecological character of building materials*. (Rapport 7th International Conference on Education and Social Sciences (INTCESS 2020). pp. 205–212). https://www.ocerints.org/intcess20_e-publication/papers/254.pdf [2023-03-22]

Saint-Gobain ISOVER AB (2013). *Prestandadeklaration för ISOVER glasull*. Nr. SE001-35-A1-2. https://www.bauhaus.se/media/pdf/prestanda_glasull.pdf
Saint-Gobain Sweden AB (2017). *Environmental Product Declaration: ISOVER UNI-skiva 35* (ID: NEPD-1437-457-EN). Billseholm: Saint-Gobain

Saint-Gobain Sweden AB (2019). *Isolera för framtiden – blås för komfort med glasull*. Broschyr: Kampanjfolder ISOVER InsulSafe®
<https://www.isover.se/documents/broschyr/4sidig210x210isover-insulsafe-host0-1pdf>

Sandin, K. (2010). *Praktisk byggnadsfysik*. 1:6 uppl., Studentlitteratur AB.

Schade, J. Shadram, F. Lu, W. Olofsson, T & Wiklund, U (2018). *Industriellt byggande och energi - ett samarbete mellan Sverige och Kina*. (Rapport 1018:07).

https://www.e2b2.se/library/3872/final_report_quantifying_and_mitigating_embodied_energy_in_industrialized_building_platforms.pdf

Schipull Kauschen. J (2013). *Livscyklusvurdering af projektet Det Moderne Tanghus på Læsø*.

https://www.realdaniabyogbygklubben.dk/media/1833/lca_det-moderne-tanghus.pdf.

SFS nr: 2021:789. *Förordning om klimatdeklaration för byggnader*.

Landsbygds- och infrastrukturdepartementet BB.

Sillanpää, M. & Ncibi, M.C. (2019). *The circular economy. case studies about the transition from the linear economy*. Academic Press, imprint of Elsevier ([Copublishing agreement]). Available at:

<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=ip,uid&db=c at02271a&AN=atoz.ebs22747580e&site=eds-live&scope=site> [2023-05-08]

SS 25268:2023. *Byggnadsakustik - Ljudkrav för utrymmen i byggnader - Vårdlokaler, undervisningslokaler, förskolor och fritidshem, kontor, hotell och restauranger*. Svenska institutet för standarder (SIS).

SS-EN ISO 16283-1:2014. *Byggakustik – Fältmätning av ljudisolering i byggnader och hos byggnadselement – Del 1: Luftljudsisolering*. Svenska institutet för standarder (SIS).

Strandberg, B. & Lavén, F. (2018). *Bygga hus: Illustrerad bygglära*. 3 uppl., Studentlitteratur AB.

Strandberg-de Bruijn, P. (2021). *BIOBASERADE BYGGNADSMATERIAL OCH CIRKULÄRT BYGGANDE – EN KUNSKAPSSAMMANSTÄLLNING*. Metoddokument LFM30:s klimatbudget (Version 1.0. Mars, 2021)

Study center of concrete industry (2020). *FIRE RESISTANCE of a non-loadbearing hempcrete wall with wood frame*. (Dokumentreferens: Laboratory assessment n ° 020007B). <https://houseofhemp.se/wp-content/uploads/2021/05/Fire-Resistance-Report.pdf>

Sunda byggvaror i Sverige AB (u.å.). *Lerskiva Lemix 22 mm*.

<https://sundabyggvaror.se/produkt/skivor/ler-och-trafiberskivor/lerskivor/lerskiva-lemix-22-mm/> [2023-03-22]

Söderblom Olsson, T. (2020). *Klimatsmartare byggbranch med Wood Tubes regler av papper*. Paper Province. <https://paperprovince.com/klimatsmartare-byggbranch-med-wood-tubes-reglar-av-papper/> [2023-03-15]

Södra (2022). *Södras samarbete med MoreWood resulterade i en unik produkt hos Byggmax*. <https://www.sodra.com/sv/se/byggsystem/nyheter/2022/sodras-samarbete-med-morewood-resulterade-i-en-unik-produkt-hos-byggmax/> [2023-03-16]

Søuld (u.å A). *Material*. <https://www.sould.dk/eelgrass> [2023-04-24]

Søuld (u.å B). *Production*. <https://www.sould.dk/production> [2023-04-24]

Søuld (u.å C). *Søuld Acoustic Boards*. <https://www.sould.dk/acoustic-boards> [2023-03-30]

Søuld (u.å D). *Specifications*. <https://www.sould.dk/acoustic-boards> [2023-03-30]

Vandkusten (u.å.). *Tanghus på Læsø anno 2013*. <https://vandkunsten.com/projects/tanghus> [2023-03-19]

Vinnova (2022). *Utvärdering och förkvalificering av innerväggssystem baserat på lågvärdiga biobaserade material*. (Diarienummer: 2022-02525). <https://www.vinnova.se/p/utvardering-och-forkvalificering-av-innervaggssystem-baserat-pa-lagvardiga-biobaserade-material/> [2023-01-15]

Wallsten, J. (2022). *Potentiella miljövinster inom anläggningssektorn sett ur ett livscykelanalysperspektiv: Genomförande och utvärdering av en livscykelanalys på en vägsektion*. Available at: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=ip,uid&db=edsndl&AN=edsndl.478365&site=eds-live&scope=site> [2023-05-03]

Wood Tube Sweden AB (2023). *Montageguide för Wood Tube-reglar*. Montageguide. https://wood-tube.com/wp-content/uploads/2022/10/Wood-Tube-montageguide_20220613_compressed.pdf [2023-03-15]

Wood Tube Sweden AB (2023). *Frågor & svar*. <https://wood-tube.com/sv/faq/> [2023-05-22]

Wahlström, T. (2016). *Livscykelanalys för papp- och stålregel – jämförande studie om dess miljöpåverkan*. Karlstad universitet. Fakulteten för hälsa, natur- och teknikvetenskap Miljö- och energisystem. <http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:942365/FULLTEXT01.pdf>

Zhang, X. et al. (2022). *Naturally grown mycelium-composite as sustainable building insulation materials*. *Journal of Cleaner Production*, 342. doi:10.1016/j.jclepro.2022.130784.

13 Appendix

	Tillgodose aktuella ljudreduktionskrav (exakt värde beror på var väggen placeras i kontorsbyggnaden)							-	
	Uppfylla nationella och internationella standarder			-				-	
3. Bärförmåga	Följa den europeiska konstruktionsstandardens riktlinjer för icke bärande byggnadsdelar			-				-	
	Förmå att bära last från sin egentyngd samt eventuell last från inredning och andra infästningar			-					
	Säkra bärförmågan genom verifiering, om inte redan beprövade lösningar används								
4. Takhöjd	Behärska en takhöjd om minst 2,7 m (lokaler där mer än 16 pers. vistas) eller 2,4 m (lokaler där färre än 16 pers. vistas)								
5. Byggnadsfysik	Ska uppfylla kravet på termiskt klimat		-						
	Utföras så att den lägsta riktade operativa temperaturen är 18 °C (i vistelsezonen)	-	-	-	-	-	-	-	-

	Utformas så att skillnad mellan två punkter i rummet max är 5 °C (i vistelsezonen)	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ha god värmekapacitet och värmetröghet						-	-	-
	Förhindra skador, mikrobiell tillväxt eller lukt som påverkar hygien eller hälsa		-						
	Det ska finnas information om materialens kritiska relativa fuktighet		-	-		-	-	-	-
6. Emissioner	Inte utgöra fara för inomhus- och närmiljö							-	
	Ha kända egenskaper gällande egenemissioner		-	-	-	-	-	-	-
	Avge minsta möjliga mängd flyktiga ämnen		-	-	-	-	-		-
	Begränsa mängden emissioner som avges	-		-	-		-	-	-
	Erhålla CE-märkning eller motsvarande						-	-	-
7. Klimatdeklaration	Uppfylla gällande lagstiftning för klimatdeklaration								
8. Beständighet	Inte försämra byggnadens beständighet							-	
	Förhindra att väggen helt eller delvis rasar			-		-			
	Förebygga deformationer	-		-	-	-			

	Hindra att andra delar av byggnadsverket skadas							-	
9. Flexibilitet	Förändra planlösningen med enkla medel								
	Gå att flytta och använda väggen flera gånger								
	Ge lägre klimatpåverkan vid en flytt än att demontera och återmontera en konventionell innervägg								
	Minska mängden byggavfall								
	Vara ekonomisk gynnsam								