

SLUTRAPPORT

Potential av lokala och cirkulära bygg- material

**Förstudie för ett fullständigt cirkulärt fasadsystem för lokalskördade
byggmaterial (LO-CI)**

Jouri Kanters, Lunds Tekniska Högskola

Paulien Strandberg-de Bruijn, Lunds Tekniska Högskola

**RE:
SOURCE**

Slutrapport för projekt:

Förstudie för ett fullständigt cirkulärt fasadsystem för lokalskördade byggmaterial (LO-CI)

Engelsk titel: Pre-study for a fully circular façade system for locally-sourced building materials (LO-CI)

Projektperiod: 2022-09-01 - 2024-02-29

Datum: 17 april 2024

Projektnummer: P2022-00229

Diarienummer:

Projektledare: Jouri Kanters

Organisation: Lunds universitet / Lunds Tekniska Högskola

Adress: John Ericssons väg 1, 223 63 Lund

Övriga projektdeltagare:

Paulien Strandberg-de Bruijn, avd Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola

Helena Kurki, verksamhetsledare för Innovationscenter för Landsbygden

Nyckelord: 5-7 st: lokala biomassor, biobaserad, cirkularitet, byggnadsmaterial, restmaterial

RE:Source är ett strategiskt innovationsprogram och finansieras av

VINNOVA

 Energimyndigheten

FORMAS

Förord

I det här projektet undersöktes möjligheter för att bygga med av material som skördas lokalt, kan byggas upp och tas ned på ett enkelt sätt, är anpassningsbar, har högt estetiskt värde och en låg miljöpåverkan.

Medfinansiär var Innovationscenter för Landsbygden, som via verksamhetsledare Helena Kurki har bidragit med råd och stöd i projektet.

Vi vill tacka innovationsprogrammet RE:Source för sitt stöd som var strikt finansiellt. Vi vill även tacka alla aktörer som vi har besökt och intervjuat inom ramen för projektet.

Innehåll

1. Sammanfattning.....	5
2. Summary.....	7
3. Inledning och bakgrund	8
4. Genomförande	11
4.1. Kunskapsläge/litteraturstudie	11
4.2. Kvantifiering av potential för biobaserade restmaterial i Skåne	11
Goda exempel - studiebesök.....	12
4.3. Analys av hinder och drivkrafter.....	13
4.4. Skissvarianter & prototyper	14
5. Resultat och diskussion.....	15
5.1. Litteraturstudie	15
5.2. Kvantifiering av potential för biobaserade restmaterial i Skåne	18
5.3. Goda exempel & analys.....	19
Dun Agro	19
Grevelingen.....	20
Tij 21	
Voorst 22	
Artist residence.....	23
DS ² BE 2023 i Bryssels	23
Gårdsbesök Skåne.....	24
Slutsatser studiebesök.....	25
5.4. Analys av hinder & drivkrafter.....	25
5.5. Skissvarianter & prototyper	30
Skissvarianter	30
Verktyg för prestanda-analys	31
Prototyper	32
6. Slutsatser, nyttiggörande och nästa steg.....	34
7. Publikationslista.....	36
8. Projektkommunikation	37
9. Referenser.....	38
10. Bilagor	42

1. Sammanfattning

I Sverige står byggsektorn för en betydande del av material- och energiåtgången. En cirkulär byggsektor kan minska byggsektorns klimatpåverkan genom resurseffektivitet, utökad användning av biobaserade råvaror och återanvändning av material. Målet i det här projektet var att förstå drivkrafter och hinder för att öka användningen av lokala och cirkulära byggmaterial. Den här förstudien för ett fullständigt cirkulärt fasadsystem för lokalskördade byggmaterial genomfördes ett antal arbetspaket.

En litteraturstudie genomfördes för att utforska användningen av restmaterial från lantbruket i två vanligt förekommande byggnadsmaterial: isoleringsmaterial och spånskivor. Litteraturstudien av nuvarande användning av lantbruksrestmaterial som byggnadsmaterial genomfördes med relevanta nyckelord (biobaserade material, hampa, halm, osv.) i vetenskapliga databaser samt relevanta rapporter från industrin och populärvetenskapliga artiklar.

Jordbruksverkets statistikdatabas analyserades för att studera tillgången på agrariska restmaterial i Skåne. Statistiken visar den odlade arealen per gröda för de senaste decennierna, såväl som den årliga skörden per area och gröda. Med hjälp av en omvandlingsfaktor har vi kvantifierat potentialen av agrariska restmaterial som inte konkurrerar med andra tillämpningar.

Ett studiebesök genomfördes till Nederländerna och Belgien där ett antal byggnader besöktes där restmaterial från lantbruket hade använts. Detta för att få inspiration, studera möjligheterna för användning av lantbrukets restmaterial i arkitektur, samt knyta kontakter. Även besöktes en fabrik där såväl hampafiberisolering som prefab-element av hampakalk produceras.

Nyckelaktörer intervjuades för att kunna studera vilka hinder och drivkrafter som finns i byggsektorn samt lantbrukssektorn för en omställning mot ett mer cirkulärt byggande och att i större utsträckning använda biobaserade byggnadsmaterial som tillverkats av restmaterial från lantbruket. Dessa nyckelaktörer befann sig i Sverige och Nederländerna.

I slutet av projektet har vi tagit fram ett antal skissvarianter av möjliga lösningar för ett lokalt och cirkulärt fasadsystem.

Slutsatserna är bland annat att det finns en del drivkrafter inom byggsektorn för att öka användningen av lokala och cirkulära material. Det finns en tydlig potential av biobaserade material i Sverige som en analys av produktionsstatistik och studiebesök visades. Dessutom finns det en växande andel biobaserade och cirkulära produkter och lösningar

på marknaden både i Sverige och i andra europeiska länder. Slutligen finns ett växande intresse hos nyckelaktörer intresserade i lokala och cirkulära byggnadsmaterial som byggherrar, arkitekter och fastighetsförvaltare.

Som hinder har vi bland annat identifierat att det är svårt att hitta tillräckligt med experter med rätt kunskap som behövs i omställningen för en ökad användning av lokala och cirkulära byggmaterial, att det finns en obalans mellan utbud & efterfrågan av lokala och cirkulära material (teknisk) och att den nuvarande lagstiftning gynnar inte alltid lokala och cirkulära byggmaterial.

Resultaten visar att viljan finns men det är fortfarande svårt att skala upp marknaden för lokala och cirkulära material.

2. Summary

The Swedish construction sector accounts for a significant part of the total material and energy consumption. A circular construction sector can reduce the construction sector's climate impact through resource efficiency, increased use of bio-based raw materials and reuse of materials. The goal of this project was to understand drivers and barriers to increase the use of local and circular building materials. This pre-study for a fully circular facade system for locally harvested building materials was carried out through several work packages. A literature study was carried out to explore the use of residual material from agriculture in two commonly used building materials: insulation material and chip-board. The literature study of the current use of agricultural residues as building materials was carried out using relevant keywords (bio-based materials, hemp, straw, etc.) in scientific databases as well as relevant reports from industry and popular science articles. The Swedish Agricultural Agency's statistical database was analyzed to study the availability of agricultural residual materials in Scania. The statistics show the cultivated area per crop for the last decades, as well as the annual yield per area and crop. Using a conversion factor, we have quantified the potential of agricultural residues that do not compete with other applications. A study visit was carried out to the Netherlands and Belgium where several buildings were visited where agricultural residual material has been used. The goal was to get inspiration, study the possibilities for using agricultural residual waste material in architecture, and to establish contacts. A factory was also visited where both hemp fiber insulation and prefab elements made of hemp lime are produced. Key actors were interviewed to study what obstacles and driving forces there are in the construction sector and the agricultural sector for a transition towards a more circular construction and to a greater extent use bio-based building materials made from residual materials from agriculture. These key actors were located in Sweden and the Netherlands. At the end of the project, we produced several sketch variants of possible solutions for a local and circular facade system. The conclusions are, among other things, that there are some driving forces within the construction sector to increase the use of local and circular materials. There is a clear potential for bio-based materials in Sweden, as an analysis of production statistics and study visits showed. In addition, there is a growing share of bio-based and circular products and solutions on the market both in Sweden and in other European countries. Finally, there is a growing interest among key players interested in local and circular building materials such as builders, architects and property managers. Among the obstacles we have identified is that it is difficult to find enough experts with the right knowledge needed in the transition for an increased use of local and circular building materials, that there is an imbalance between supply & demand of local and circular material (technical) and that the current legislation does not always favor local and circular building materials. The results show that the will is there, but it is still difficult to scale up the market for local and circular materials.

3. Inledning och bakgrund

I det här projektet undersöktes möjligheter för ett fullständigt cirkulärt fasadsystem som byggs av material som skördas lokalt, kan byggas upp och tas ned på ett enkelt sätt, är anpassnings-bar, har högt estetiskt värde och en låg miljöpåverkan. Systemet kallar vi för LO-CI som syftar på lokala och cirkulära material. Med lokalskördade material menas här antingen biobaserade (rest)material från lantbruk eller hav, eller tekniska cirkulära (rest)material som finns tillgängliga lokalt och återanvänds.

I Sverige står byggsektorn för 40 % av energianvändningen [1], 50 % av användning av råvarorna och för 35% av avfallsproduktionen [2]. Dessutom är byggsektorn beroende av import av byggmaterial från hela världen. När ett led i den globala kedjan strular så stannar leveranserna av material och därmed försenas byggprojekt. En cirkulär byggsektor kan minska miljöpåverkan samt importberoende och därmed säkerställa en bättre kontinuitet i byggsektorn. Resurseffektivitet, utökad användning av biobaserade råvaror och återanvändning av material är avgörande för omställningen till en mer cirkulär byggsektor. Sveriges mål för noll utsläpp av växthusgaser [3] och EU:s new circular economy action plan (CEAP) European Commission, 2015) tyder också på vikten av minimering av användning av resurser och energi i den byggda miljön. Ett konkret exempel som tydliggör kopplingen mellan byggsektorn och klimatpåverkan är 'klimatdeklarationen vid uppförande av byggnad' som infördes 2022 och har redan visat sig vara ett incitament till en förflyttning mot materialval med lägre klimatpåverkan.

Utmaningarna för omställningen till en helcirkulär byggsektor är många. Komplexa värdekedjor i byggsektorn gör det svårt att ställa om snabbt (Kanters, 2020, cirkulärt byggande premieras inte alltid med dagens lagstiftning [6] och utbudet av cirkulära byggtjänster och byggmaterial är fortfarande begränsat [5]. Inom träbyggnadssektorn i Sverige har redan en stor utveckling skett som fortfarande pågår. Nyckelaktörer såsom arkitekter och byggherrar är mycket positiva till användning av trästommar och andra träbaserade material då det oftast resulterar i en lägre klimatpåverkan, en estetiskt tilltalande design och kortare byggtid [7]. Hittills har dock lite fokus i Sverige legat på andra biobaserade (rest)material, återbruk av material [8] och 'design for återbruk' (DfD) som också är avgörande strategier för att bli mer cirkulär [9] och för att reducera en byggnads klimatpåverkan.

Cirkularitet

Klimatskalet utgör generellt sett en låg andel av den totala byggnadsvikten, men samtidigt står klimatskalet för ca 10-30 % av byggnadens totala koldioxidutsläpp [10] [11]. Ansträngningar till att minska energianvändningen i driftsfasen och öka inomhuskomfort har lett till multifunktionella fasadssystem med mycket isolering, som ofta fungerar bra under byggnadens livstid. Dessa förbättringar har dock också lett till att den inbyggda energi i

klimateffekten har ökat markant, samt att dessa fasadsystem ofta är problematiska när det gäller isärtagbarhet då de inte är designade för återbruk [12], [13]. Inom olika forskningsmiljöer har man börjat utveckla fasadsystem som möjliggör återanvändning av byggnadsmaterial efter byggnaden har uttjänt sin livstid. Dessa system byggs dock oftast med konventionella byggmaterial [14], [15]. Andra forskare har också börjat fokusera på hur cirkulära ekonomimodeller kan tillämpas på fasader med 'fasader som tjänst' [16], så kallade "Facades as a service".

Biobaserade material

Biobaserade byggnadsmaterial från svenskt lantbruk, såsom hampa, har generellt en låg klimatpåverkan. Samtidigt har de goda värme- och fuktegenskaper [17], [18]. Förutom trä som biobaserat material finns det dock stora mängder outnyttjade biobaserade resurser som lämpar sig väl att bygga med såsom vasstak och vassfasader, hampakalk, halm-balsbyggande, biobaserade isoleringsmaterial såsom älgräs, linfiber, hampafiber, m.fl. Interreg-projektet Power Bio, där medverkande forskarna medverkar, fokuserar på användningen av tidigare outnyttjade biobaserade restmaterial.



Figur 1. Vänster: älgräs på stranden i Danmark, mitten: linväxt, höger: hampafält i Sverige.

Design for Deconstruction / design för återbruk

Design for Deconstruction (DfD), att designa för isärtagbarhet, är en viktig strategi för att kunna tillvarata byggnadsmaterial i högst möjliga grad även efter att byggnaden uppnådd sin livslängd [9], [19], [20]. Det krävs bland annat en minimering av antalet olika byggsnitt och material, anslutningar och komponenter, tillgängliga och hållfasta anslutningar, och en användning av giftfria, högkvalitativa icke-kompositmaterial. Det här projektet har kommit till genom flera led och är en naturlig fortsättning av forskargruppens tidigare forskningsprojekt kring biobaserade byggnadsmaterial och cirkulär byggnadsdesign. Dels var tanken bakom projektet att driva utvecklingen kring cirkulärt byggande, dels innebär projektet en fortsättning av studier kring biobaserade byggnadsmaterial som tillverkas av

biobaserade restmaterial från hav och lantbruk såsom hampakalk, biobaserade isoleringsmaterial, akustikplattor av ålgräs m.m.

Byggbranschen behöver hitta nya lösningar för att bygga med lägre klimatpåverkan, med nettonollutsläpp av växthusgaser 2045[21]. Samtidigt söker lantbruket nya avsättningsmarknader för sina produkter och restmaterial, där några av dessa biobaserade (rest)material kan användas som råvara till nya byggmaterial. Restmaterial som finns i stora mängder, med en byggsektor som i sin tur kräver stora materialmängder. Även lokala svenska och danska kustkommuner sitter på stora materialmängder i form av tång (exempelvis Trelleborgs kommun) och ålgräs (exempelvis Lomma kommun i Sverige och Odsherred kommune i Danmark). Det äldre fastighetsbeståndet är energikrävande med stora renoveringsbehov och därför behövs alla sätt att minska energibehovet; det här systemet kan vara ett steg framåt. LO-CI systemet skulle kunna fungera inom såväl nyproduktion som renoveringsprojekt.

4. Genomförande

I det här projektet delades arbetet upp i fem olika delprojekt:

1. Kunskapsläge / Litteraturstudie
2. Kvantifiering av potential för biobaserade restmaterial i Skåne
3. Goda exempel
4. Analys av hinder och drivkrafter genom intervjuer
5. Framtagning av skissvarianter & prototyper

Delprojekt 1 till 4 fokuserade på kunskapsläge och förståelse av befintliga lösningar medan delprojekt 5 föreslår ett antal alternativ hur ett fasadsystem skulle kunna se ut.

4.1. Kunskapsläge/litteraturstudie

En litteraturstudie genomfördes för att utforska användningen av restmaterial från lantbruket i två vanligt förekommande byggnadsmaterial: isoleringsmaterial och spånskivor. Litteraturstudien av nuvarande användning av lantbruksrestmaterial som byggnadsmaterial genomfördes med relevanta nyckelord (biobaserade material, hampa, halm, osv.) i vetenskapliga databaser samt relevanta rapporter från industrin och populärvetenskapliga artiklar.

Totalt valdes 40 vetenskapliga artiklar ut som fokuserade på byggmaterial framställd av agrariska restmaterial. Artiklarna publicerades från året 2010 och framåt. För sökningen användes LUBSearch, Lunds universitets sökmotor som omfattar bl.a. Web of Science och Scopus. Därefter filtrerades artiklarna genom att läsa sammanfattningen, och endast de artiklar som hade ett direkt fokus på agrariska restmaterial som används som byggnadsmaterial analyserades. Slutligen var 20 artiklar kvar.

4.2. Kvantifiering av potential för biobaserade restmaterial i Skåne

Jordbruksverkets statistikdatabas analyserades för att studera tillgången på agrariska restmaterial i Skåne. Statistiken visar den odlade arealen per gröda för de senaste decennierna, såväl som den årliga skörden per area och gröda.

När grödor som används för produktion av byggnadsmaterial odlas på befintlig jordbruksmark, kan dessa tränga undan annan växtproduktion, som leder till markomvandling någon annanstans. Detta kallas för indirekt markanvändning. Prade *et al.* (2017) har definierat en omvandlingsfaktor mellan mängden restmaterial efter skörd (halm) och användbar biomassa som inte konkurrerar med andra tillämpningar och den teoretiska omvandlningsfaktorn. Omvandlningsfaktorn tar inte hänsyn till eventuellt restavfall från omvandlingen av råvaran till byggnadsmaterial, t.ex. när halmbalar behöver kapas till rätt storlek innan användning som byggnadsmaterial.

Goda exempel – studiebesök

Ett studiebesök genomfördes till Nederländerna och Belgien i maj 2023. Olika byggnader besöktes där restmaterial från lantbruket hade använts. Detta för att få inspiration, studera möjligheterna för användning av lantbrukets restmaterial i arkitektur, samt knyta kontakter. Även besöktes en fabrik i nordöstra Nederländerna där såväl hampafiberisolerings som prefab-element av hampakalk produceras.

4.3. Analys av hinder och drivkrafter

Nyckelaktörer intervjuades för att kunna studera vilka hinder och drivkrafter som finns i byggsektorn samt lantbrukssektorn för en omställning mot ett mer cirkulärt byggande och att i större utsträckning använda biobaserade byggnadsmaterial som tillverkats av restmaterial från lantbruket. Dessa nyckelaktörer befann sig i Sverige (SE) och Nederländerna (NL). Semi-strukturerade intervjuer genomfördes med de olika nyckelaktörerna, se Tabell 1.

I Nederländerna har omställningen mot användning av biobaserade restmaterial från lantbruket kommit längre än i Sverige. I Nederländerna finns det olika incitament, bl.a. ny lagstiftning, som har drivit utvecklingen framåt mot utökat användning av lantbrukets restmaterial som byggnadsmaterial. I Nederländerna finns bl.a. regeringsinitiativet "Nationale Aanpak Biobased Bouwen (2023-2030)" [22], dvs Nationellt Handlingsplan Biobaserat Byggande (NABB) Det finns även en online "knowledge bank Biobased Building" initierat av de nederländska myndigheterna. Därför finns det mycket att ta del av i Nederländerna, både där det gäller goda exempel men även där det gäller omställningen mot mer biobaserat och cirkulärt byggande; vilka hinder och drivkrafter har uppmärksammats i Nederländerna? Vilka hinder och drivkrafter är de mest väsentliga i Sverige?

Tabell1. Sammanställning av aktörer som har intervjuats i studien.

Nyckelaktör	Antal
Byggherrar	3
Arkitekt (NL)	1
Lantbrukare (SE)	2
Tillverkare av biobaserade fasadelement (NL)	1
Företrädare för organisation för omställning till biobaserade byggmaterial (NL)	1

4.4. Skissvarianter & prototyper

I det här delprojektet har vi tagit fram ett antal skissvarianter av möjliga lösningar för ett lokalt och cirkulärt fasadsystem.

Skissvarianterna utformades med hjälp av handskissar och tekniska ritningar i Rhino3D. Prototyper av fasadelement som består av biobaserade och/eller cirkulära material har tagits fram som del av studien. Några av materialen används redan i dagsläget i byggindustrin, även om de inte betraktas som "main stream" än. Andra material har tagits fram i labbet, som del av förstudien. Olika labbexperiment har genomförts för att kunna ta fram skivmaterial baserade på lokala restmaterial från lantbruk, hav och byggindustrin. Dessa restmaterial var bl.a. ålgräs, hampaskävor, halm, gipsskivor, gräsklipp, biokol, m.m.

5. Resultat och diskussion

I det här kapitlet redovisar vi resultaten av våra delprojekt beskrivna i kapitel 4. Litteraturstudien (5.1) och kvantifieringen av potential för biobaserade restmaterial i Skåne (5.2) har publicerats i konferensartiklen ”The potential of agricultural residual waste as building material in South Sweden” [23]. I de avsnitten kommer tabeller och grafer från artiklen.

5.1. Litteraturstudie

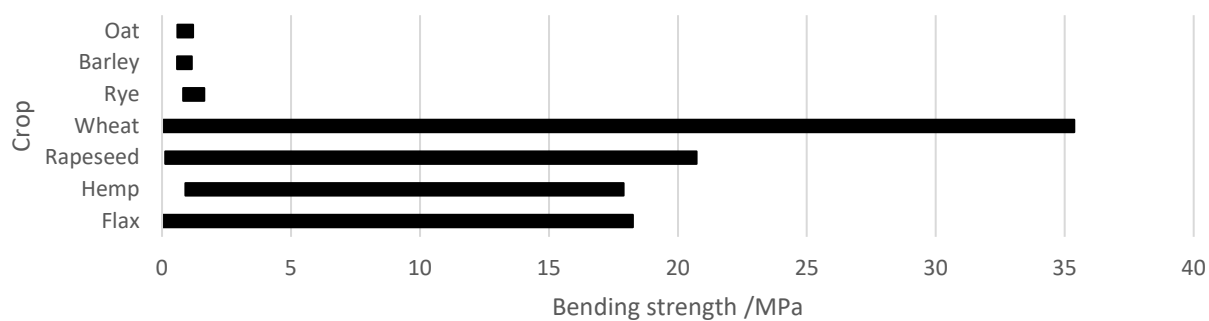
Majoriteten av de granskade artiklarna hade samma mål; att analysera prestandan hos byggmaterial från restavfall. Metoden och resultatet av denna analys skilde sig dock mycket från varandra på grund av olika blandningar av råmaterial, förbehandlingar, produktionsprocesser och lim.

Tabell 2 och 3 ger en översikt över den hittade litteraturen, råvarorna, förbehandlingarna, tillsatserna, processen, såväl som deras relevanta prestanda (t.ex. värmeledningsförmåga).

Tabell 2. Översikt av isoleringsmaterial framställda av agrariska restprodukter och deras värmeledningsförmåga ([8-19])

	spannmålsgrödor	havre	hampa	majs	Miscanthus	vete (halm)	vete(skal)
Minimum (W/(m·K))	0,041	0,047	0,040	0,043	0,0429	0,046	0,042
Maximum (W/(m·K))	0,086	0,260	0,075	0,047	0,052	0,046	0,100

Av litteraturgenomgången kan man dra slutsatsen att torkning och (varm)pressning vanligtvis används som förbehandling eller som tillverkningsmetod för isoleringsmaterial av agrariska restprodukter. I vissa fall användes biobaserade tillsatser, ibland plastbaserade tillsatser. Skillnaden mellan värmeledningsförmågorna för de olika råvarorna och deras tillsatser är stor, vilket förmodligen är den mest intressanta prestandan för isoleringsmaterial. Figur 4 visar böjhållfastheten hos de identifierade spånskivorna i litteraturen [8-19]. Det är tydligt att böjhållfastheten hos de olika materialen varierar avsevärt från varandra.



Figur 2, Böjdraghållfasthet [MPa] hos spånskivor tillverkade av olika biobaserade restmaterial från lantbruket (Data från [8-19])

Tabell 3 visar att för spånskivor som (huvudsakligen) är baserade på ARW, innehåller de flesta icke-biobaserade tillsatser, som plast. Dessutom används torkning och pressning vanligtvis som förbehandling eller som produktionsmetod,

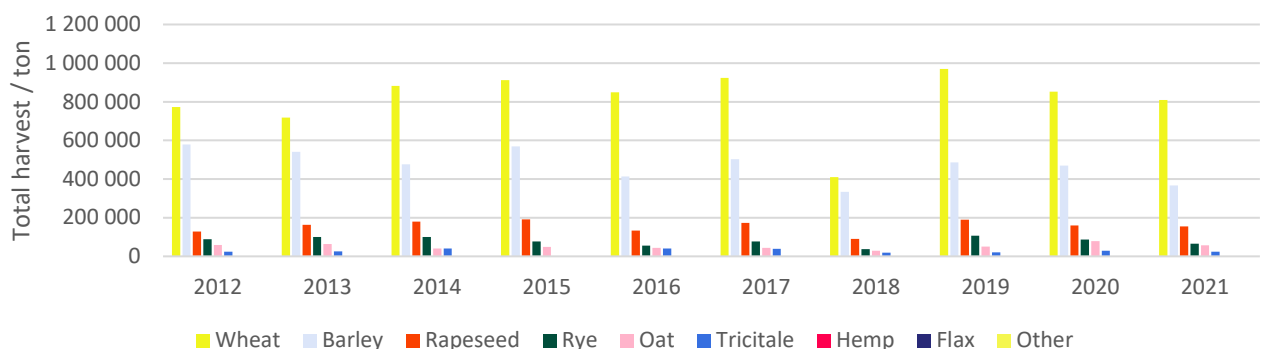
Tabell 3. Litteraturöversikt av spånskivor av agrariska restmaterial och deras prestandan [8-19]

Ref,	Production			Part	Crops
	Pressing procedure	Adhesive	Material Pre-treatment/Moisture		
(Sam-Brew and	Pressed	Plastic		Shiv	Flax
(Sassoni et al.,	Pressed	Liquid glass		Boon	Flax
(Sam-Brew and Smith, no	Heat-pressed	Magnesium oxide, magnesium sulfate, vegetable protein, Plastic		Hurd	Hemp
(Battegazzore et al.,	Hot-pressed	Cornstarch	Oven-dried	Fibre	Hemp
(Dukarska et	Hot-pressed	Polyester, epoxy, plastic	Alkaline, hydrothermal	Stalk	Rapeseed
(Hýšková et al.,	Pressed	Plastic, paraffin, Bone glue	Pectinase, Xylanase, Alkaline, hydrothermal	Straw	Rapeseed
(Boquilon, Elbez and Schönfeld,	Hot-pressed	Plastic, soy flour, Wax, Liquid Glass	Oven-dried, Alkaline, Pectinase, Xylanase	Straw	Wheat
(Hýšek et al., 2018,	Pre-pressed, hot-pressed	Plastic & paraffin	Cold plasma, Hydrothermal, alkaline Cold plasma	Stalk	Wheat
(Bakatovich, Davich, Da-	Pressed	Liquid glass		Straw	Rye
(Bakatovich, Davich, Da-	Pressed	Liquid glass		Straw	Barley
(Bakatovich, Davich, Da-	Pressed	Liquid glass		Straw	Oats

5.2. Kvantifiering av potential för biobaserade rest-material i Skåne

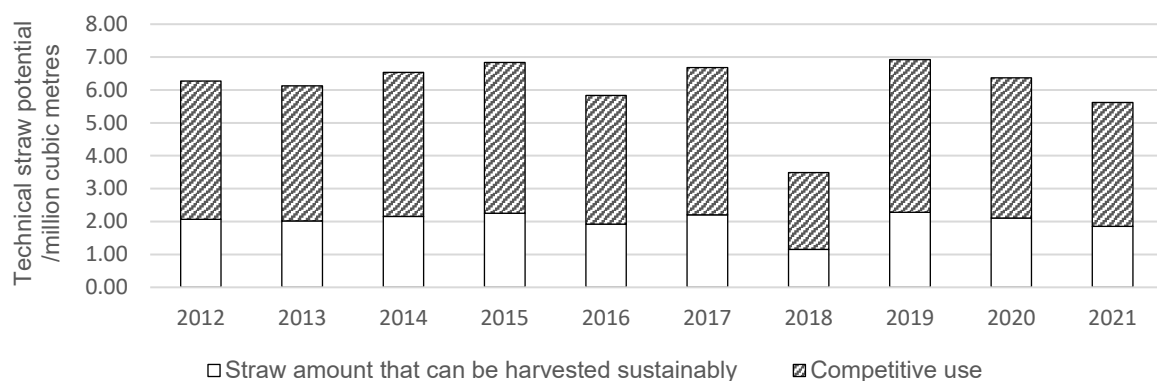
Teknisk halmpotential i Skåne

Den svenska nationella statistiken över jordbruksproduktion kan delas upp per region. Även om Skåne bara står för 2,5 % av Sveriges totala yta, producerar regionen i genomsnitt 30 % av de halmproducerande grödorna i Sverige [36]. Figur 3 visar de olika grödorna och deras halm-/restproduktion i Skåne åren 2012-2021. Även om växtproduktionen fluktuerade något under åren står vete och korn för de största andelarna i halmproduktionen medan hampa och lin bara har en mycket liten andel. 2018 var ett mycket torrt år, där produktionen uppgick till mindre än hälften av ett typiskt år, vilket tydligt visar påverkan av varierande väderförhållanden.



Figur 3. Statistik av produktionen av halmproducerande grödor, samt hampa och lin [36]

Data från produktionen av halmproducerande grödor möjliggjorde att distrahera potentialen för dess användning som byggnadsmaterial med hjälp av omvandlingsfaktorn tidigare konceptualiserat av (Prade et al., 2017b). Figur 4 visar den potentiella mängden halm per år som antingen kan skördas hållbart eller har en konkurrenskraftig användning (den tekniska halmproduktionen).



Figur 4. Teknisk halmproduktion i Skåne 2012-2021, i miljoner kubikmeter.

Den totala mängden halm som kan skördas på ett hållbart sätt var mer än 1 miljon kubikmeter i 2018, medan snittet åren 2012-2021 var 2 miljoner kubikmeter. En kort kalkyl i jämförande syfte: I Skåne byggdes 740 108 m² golvyta bostadshus i 2022, i 2020: 1 071 799 m², 2021: 1 127 214 m² [38]. Enligt Meese [39] är förhållandet mellan fasadarea och bruttogolvyta normalt mellan 0,35 och 0,6. Om man tar 0,5 och en tjocklek för isolerings-skiktet på 0,3 meter, då blir den genomsnittliga mängden isolering som krävdes i Skåne ungefär 143 000 m³. Den mängden skulle kunna tillgodoses med lokala biobaserade (rest)material.

5.3. Goda exempel & analys

I maj 2023 genomfördes en studieresa till Nederländerna och Belgien. Där besöktes ett antal byggnader som är byggda med byggmaterial som framställts av lokala biobaserade råvaror. Även besöktes ett företag i nordöstra Nederländerna som hanterar hela materialkedjan från odling till färdig byggnad.

Dun Agro

I nordöstra Nederländerna besöktes företaget DunAgro. Här framställs byggnadsmaterial baserade på industrihampa som odlas lokalt. DunAgro hade tidigare kontrakt med olika hampaodlare men har dock ställt om till att sköta all odling själva och arrendera mark där de odlar hampa från frö till skörd. De hanterar således hela materialkedjan från odling till färdig produkt, och därefter hela vägen fram till en färdig byggnad. Företaget har därmed många hattar; växtodlare, materialproducent, entreprenör, konstruktör och arkitekt. De hanterar även sidoströmmarna från hampaodlingen där alla hampans delar tas tillvara; fiber, frö, skävor (vedämnen) och även hampablad. I fabriken produceras såväl hampafiberisolering som prefab byggelement av hampakalk tillverkas, se figurer 5-7. Från fröna produceras bl.a. hampaolja. Vi besökte ett hus som hade byggts med hampakalk byggelement

av DunAgro i en närliggande by, se figur 8. En intervju genomfördes med DunAgros grundare och VD.



Figur 5. Hampabalar levereras till fabriken. DunAgro.



Figur 6. Lagring av hampafiber.



Figur 7. Prefab hampakalkelement, DunAgro.



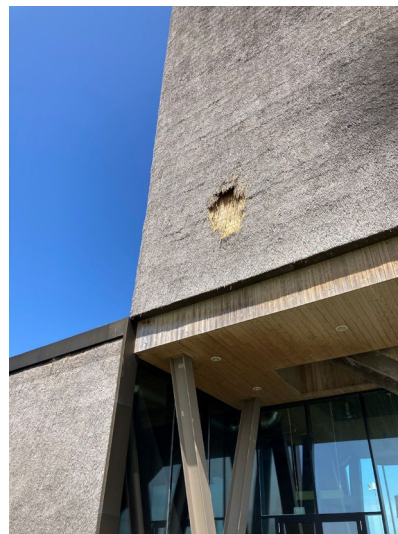
Figur 8. Hus byggt med hampakalk av DunAgro.

Grevelingen

Vid Grevelingen byggdes 2015 ett så kallad inspirationscenter (jämförbar med svenska Naturum) mellan sjön Grevelingen och Nordjsjön. Byggnaden ritades av arkitekten Paul de Ruiter, och byggdes med biobaserade byggnadsmaterial där vassfasaden ger byggnaden en tydlig naturprägel. Byggnaden har även försetts med gröna tak. Av olika anledningar är byggnaden inte längre i bruk, vilket har gjort att skador på fasaden inte har åtgärdats, vilket syns i figur 10. Dessa skador har högst troligt orsakats av de många fåglarna som rör sig i och runt byggnaden. Det upplevs på gott och ont som en riktigt naturnära byggnad.



Figur 9. Inspirationscenter Grevelingen.



Figur 10. Vassfasad på inspirationscenter Grevelingen, med en synlig skada på fasaden.

Tij

Intill sjön Haringvliet ligger fågelobservatoriet Tij, nära byn Stellendam i sydvästra Nederländerna, se figurer 10 och 11. Byggnaden ritades av RAU och RO&AD Architecten. Även denna byggnad är likt Inspirationscenter Grevelingen en typ av Naturum, ett besökscentrum för att uppleva naturen runt byggnaden. Stommen är av trä och fasaden samt taktäckning är av vass. Inspirationen till byggnadens form var ett tärnagg, se figur 14.



Figur 11, Fågelobservatoriet 'Tij', Stellendam



Figur 12, Närbild på Fågelobservatoriet 'Tij', Stellendam



Figur 13, Detalj fågelobservatoriet 'Tij', Stellendam



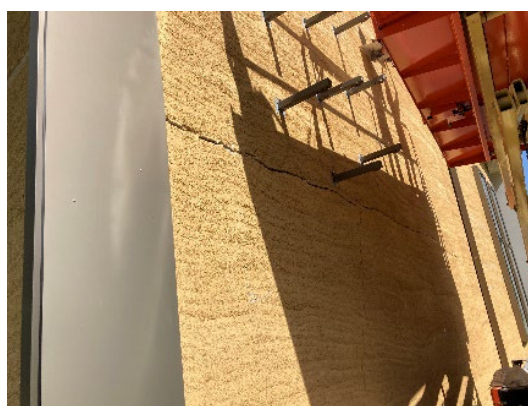
Figur 14, Fågelobservatoriet 'Tij', Stellendam

Voorst

Kommunhuset Voorst i Twello byggdes 1982. Efter flera decennier uppfyllde kommunhuset inte längre dagens tekniska och funktionella krav. Det behövdes antingen en storskalig renovering eller en rivning av byggnaden med därefter en nybyggnation. Med tanke på hållbarhet och resurseffektivitet föll valet på renovering och ombyggnad av det gamla kommunhuset. Den ursprungliga byggnaden behölls till stor del, det renoverades och förnyades. Runt den befintliga byggnaden byggdes ett helt nytt klimatskal av hampakalk, som i sin tur skapade nya mötesrum och lokaler. Därmed byggdes den ursprungliga byggnaden ut, samtidigt som det gamla kommunhuset kunde behållas, se figurer 15 och 16. Här kombinerades således cirkularitet och biobaserat byggande i ett projekt. Ombyggnaden ritades av De Twee Snoeken architecten. Arkitekten och kommunens projektledare intervjuades i det nya kommunhuset.



Figur 15, Det nya kommunhuset Voorst i Twello, Nederländerna



Figur 16, Sprickbildning som åtgärdades i hampakalkfasaden, Kommunhuset Voorst.

Artist residence

Intill Rotterdam ligger huset "Artist Residence" som byggdes med byggelement av hampakalk som levererades av DunAgro. Bostaden används som tillfälligt boende för olika konstnärer. Det ritades av arkitektbyrån SLA. Som ytmaterial användes såväl kalkputs (utvändigt) som lerputs (invändigt). Vid studiebesöket fick vi tillfälle att prata med husets ägare.



Figur 17. "Artist Residence" i Charlois nära Rotterdam, Nederländerna



Figur 18, Närbild "Artist Residence" som byggdes med helväggsselement av hampakalk

DS²BE 2023 i Bryssels

DS²BE är en förkortning för Doctoral Seminars on Sustainability Research in the Built Environment, Belgium. Det är ett gemensamt initiativ av belgiska forskargrupper som arbetar med hållbarhetsfrågor i den byggda miljön. Totalt 8 universitet är samlade i initiativet: Université Libre de Bruxelles, Vrije Universiteit Brussel, KULeuven, UCLouvain, Université de Liège, UHasselt, UAntwerpen och UGent. DS²BE 2023 ägde rum i Bryssels den 25e och 26e maj 2023. Vi hade möjlighet att vara med den 26e maj, och agera ordförande för en session om 'Material innovations' samt en session om 'Design processes and User Stories'. I dessa sessioner presenterade olika doktorander sina forskningsprojekt. Det gav oss en bra inblick i vilka som är aktuella forskningsfrågor gällande hållbart och cirkulärt byggande i Belgien.



Figur 19. DS²BE session 'Material innovations' med ordförande Paulien Strandberg-de Bruijn. Foto: Esther Geboes.



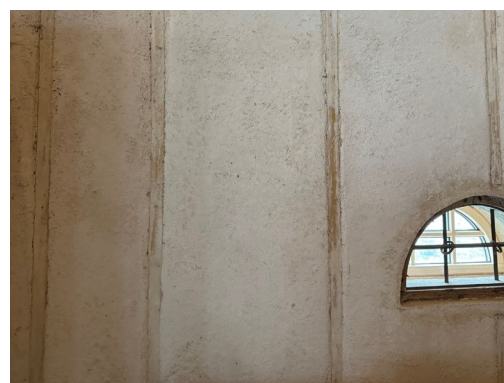
Figur 20. DS²BE session 'Design processes and User Stories' med ordförande Jouri Kanter.

Gårdsbesök Skåne

I Skåne besöktes två gårdar som odlar hampa, men även andra grödor. Dessa var Mossagården i Veberöd och Österlen Hampa utanför Tomelilla. Båda gårdar har lång erfarenhet av att odla hampa. Mossagården har de senaste åren jobbat med en ombyggnad/renovering av en ladugårdsbyggnad. Ladugården byggs om till restaurang/kafé, se figurer 21, 22 och 23. Initialt var tanken att genomföra hela renoveringen med lokala material från gården, vilket inte har kunnat genomföras fullt ut. Renoveringsarbetet gjordes av såväl lokala som europeiska hantverkare. Planerat inflyttningsdatum är sommaren 2024.



Figur 21, renovering och ombyggnation av ladugårdsbyggnad till restaurang, Mossagården.



Figur 22. detalj av yttervägg tilläggsisolerad med hampakalk, Mossagården.



Figur 23, interiör av ombyggd och renoverad ladugård, Mossagården.



Figur 24, samtal med lantbrukare tillika hampaodlare T. Jakobsson, Tomelilla.

Slutsatser studiebesök

Studiebesöket till Nederländerna och Belgien gav oss möjlighet att besöka byggnader som på ett eller annat sätt har byggts med lokala biobaserade material. Dessutom har studiebesöket gett oss möjlighet att bredda vårt blickfält beträffande vad som är möjligt att åstadkomma med lokala och cirkulära material. Byggnadsmaterialen som hade använts i de besökta byggnaderna var i huvudsak trä, hampa, kalk och vass. De har antingen använts i nybyggnation eller i renoveringsprojekt (som i kommunhuset Voorst). Samtliga aktörer vi pratade med under studiebesöket bekräftade att hållbarhet, cirkularitet och miljöpåverkan var viktiga parametrar som hade vägts in vid val av byggnadsmaterial i de besökta projekten.

5.4. Analys av hinder & drivkrafter

Under projektets gång framkom det att det ofta finns tydliga drivkrafter hos aktörerna som väljer biobaserade och cirkulära material. Ofta består dessa drivkrafter av en vilja att välja mer klimat- och miljövänligt, och att skapa en byggnad som bara har ett litet ekologiskt fotavtryck. Det framkom även att det finns ett antal hinder på vägen för att kunna åstadkomma en byggsektor som jobbar mer med cirkulära och lokala biobaserade byggnadsmaterial.

Materialval: Det framkom att det i dagsläget inte finns tillräckligt med experter som har rätt kunskap kring biobaserade och cirkulära byggnadsmaterial. Kunder måste vara villiga att "ta en risk" eftersom marknaden/utbudet av biobaserade material och produkter är begränsade. Även expertkunskap finns inte alltid att tillgå. En aktör nämnde dessutom att det händer att arkitekter förväntar sig mer från materialets beständighet än vad materialet kan bidra med, som t.ex. obehandlad hampakalk som fasadmaterial. Vanligtvis an-

vänds en kalkputs eller ett annat fasadmateriäl för att skydda den underliggande hampakalken. Vid ombyggnaden av kommunhuset Voorst i Twello valdes dock ett mer okonventionellt sätt att bygga med hampakalk. Där valdes nämligen att inte putsa hampakalkfasaden men att låta hampakalken vara synlig på utsidan. Istället behandlades fasaden med en kaliumsilikatfärg för att skydda den mot väder och vind. Den behandlingen bör upprepas regelbundet för att behålla skyddet. Byggherrarna behöver vara informerad om vilken risk som tas vid dessa beslut och hur sådana val påverkar framtida underhållsbehov.

Byggprocessen: inte alla entreprenörer kan hantera biobaserade byggnadsmateriäl på ett tillräckligt bra sätt i dagsläget. De har inte alltid rätt kunskap och erfarenhet. Därför bjuder t.ex. DunAgro i entreprenörer så att de kan informera sig och få ett kunskapslyft innan påbörjat byggprojekt.

Myndigheter: flera av de intervjuade aktörer nämnde att myndighetsbeslut är viktiga, de styr marknaden och efterfrågan på biobaserade byggnadsmateriäl kan stimuleras. T.ex. om man får räkna med en kolsänka p.g.a. det biogena kolet (koldioxiden som tas upp av växten under växtsäsongen) i ett byggnadsmateriäl. Om det biogena kolet kan få tas med i en livscykelanalys kommer det att skapa ett större incitament att använda biobaserade byggnadsmateriäl. Regeringen måste genomföra radikala förändringar där det gäller materiälval och byggnation. Ett exempel som nämndes var att alla byggnadsmateriäl ska som standard vara cirkulära, där konventionella lösningar endast tillåts om det inte finns något annat sätt.

Marknadsläge: I nuläget uppfattas biobaserade byggmateriäl som hampa och vass fortfarande som okonventionella byggnadsmateriäl. Dessa väljs ofta bara av byggherrar som vill åstadkomma något unikt i sitt projekt, men väljs bort av andra som inte vill prova nytt och som inte vill ta några risker i sina projekt. Dessa materiäl har inte nått mainstreammarknaden än.

Nationella byggregler: Nationella byggregler och förordningar är olika i olika länder, även inom EU. Skillnaden i byggregler försvårar export av biobaserade byggnadsmateriäl. Dessutom är dagens byggregler framtagna för jungfruliga materiäl och det saknas ofta byggregler och förordningar som gäller för cirkulära byggmateriäl och biobaserade byggmateriäl.

Miljöpåverkan/klimatpåverkan: En aktör nämnde tre stora förändringar i byggsektorn. För det första kommer vi att behöva bygga mindre men också att riva mindre. Fler renoverings- och ombyggnadsprojekt kommer att behöva genomföras. För det andra kommer vi behöva bygga mer med biobaserade byggnadsmateriäl som är förnyelsebara och har låg klimatpåverkan. Som tredje punkt nämnde aktören att vi kommer att behöva producera konventionella byggnadsmateriäl på ett annorlunda sätt, med mycket lägre miljö- och klimatpåverkan. En byggherre nämnde att istället för att tänka nybyggnation och klimatpåverkan

kan från nya material behöver man även tänka på vad som kan undvikas i form av klimatpåverkan från det befintliga. Vilka material finns redan i det byggda beståndet? Detta var en fråga som var mycket aktuell när kommunen Voorst skulle välja mellan nybyggnation och ombyggnation/renovering. Då det redan fanns en befintlig, dock föråldrad, byggnad valdes att behålla den och istället att renovera, bygga om, och bygga till med biobaserade material med låg klimatpåverkan. Det sammansatta ordet '*Vernieuwbouw*' nämndes som ett nytt nederländskt begrepp. En svensk motsvarighet till detta begrepp skulle kunna vara '**Förnybyggnation**', ett sammansatt ord som sammanför begreppen *förnyelse*, *nybyggnation* och *byggnation*.

Även om det finns krav i byggsektorn att minska klimatpåverkan frågade en aktör sig varför inte byggsektorn har lika höga miljö- och klimatkrav på sig som andra sektorer? En annan relevant aspekt som enligt en av de aktörer som intervjuats inte har studerats tillräckligt mycket än är vad som händer vid uttjänt livstid av biobaserade material. Kan materialen återföras i ett biologiskt kretslopp? Kan de återanvändas? Återvinnas? Eller hamnar dem ändå i förbränning eller på deponi? Kan man lösa den frågan och återföra biobaserade byggnadsmaterial i ett biologiskt kretslopp, alternativt återanvända dem, skulle det skapa ett större incitament för att använda dessa material.

Samverkan mellan lantbrukssektorn och byggnadssektorn: I Nederländerna finns ett initiativ, Building Balance, som syftar att påskynda omställningen mot en utökad användning av (främst lokalproducerade) biobaserade resurser i byggsektorn. Vi hade möjligheten att intervjua en aktör från initiativet Building Balance. Denna aktör nämnde också, likt andra aktörer som vi har intervjuat, att man vid nybyggnation först ska undersöka möjligheten att inte bygga. Kommer man då fram till att det måste byggas, hur kan man då bygga annorlunda? Kan man använda återbrukade material och/eller biobaserade material från lokala resurser? Building Balance jobbar aktivt med att skapa värdekedjor mellan lantbruk, industri och byggsektorn, se Figur 25. Fram till 2023 hade 13 värdekedjor skapats, se Figur 26.



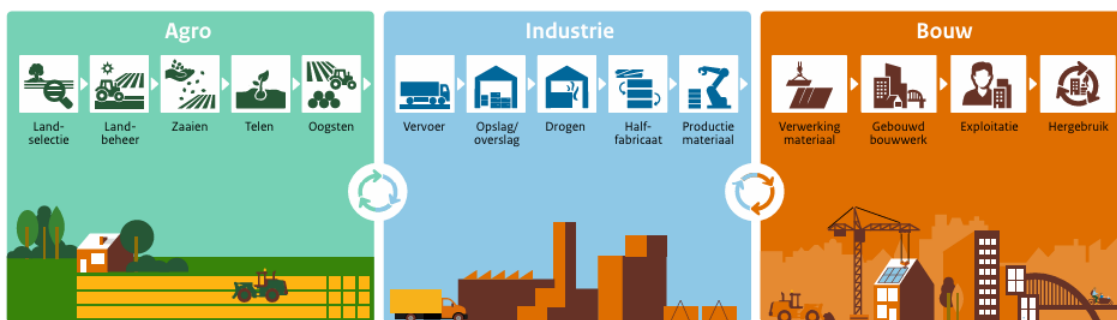
Figur 25, Building Balance; samverkan mellan lantbruks- och byggsektor. Bild från buildingbalance.eu



Figur 26, Building Balance ämnar skapa lokala värdekedjor i Nederländerna. Bild från buildingbalance.eu

I Nederländerna stimuleras användningen av biobaserade byggnadsmaterial genom handlingsplanen "Nationale Aanpak Biobased Bouwen" (nationellt handlingsplan biobaserat byggande), se Figur 27. Handlingsplanen har utfärdats av den nederländska regeringen den 8e november 2023. I handlingsplanen (NABB) beskrivs möjligheterna för samhället som följande:

"Användningen av hållbara, biobaserade byggmaterial bidrar till att lösa flera samhällsutmaningar. Först och främst skapar biobaserat byggande en minskning av CO₂-utsläpp i byggsektorn, inte bara på grund av att minskat behov av CO₂-intensiva material (t.ex. betong, bitumen eller mineralull), utan också för att CO₂ under lång tid binds in i byggnader. Inom jordbrukssektorn kan odling av biobaserade råvaror dessutom minska CO₂-utsläppen genom att tränga undan emissionsintensiva aktiviteter (t.ex. om djurhållningen delvis ersätts med odling av växtfiber) och bindning av kol i marken. Utöver det kan odling av biobaserade råvaror spela en roll i att göra jordbruket mer hållbart, eftersom fibergrödor kräver lite eller inga gödningsmedel, vatten och växtskyddsmedel."



Figuur 3 De biobased productieketen: van de teelt tot de toepassing van biograndstoffen

Figur 27. Den biobaserade produktionskedjan: från odling till tillämpning av biobaserade råvaror. Från vänster till höger lantbrukssektorn, industrin, byggsektorn. Bild från NABB [40]

I handlingsplanen NABB beskrivs tre komponenter i Nederländernas nuvarande strategi gällande stimulans av biobaserade byggmaterial [40];

1. Det finns lagstiftning som fokuserar på miljöprestandan hos byggnader, dessa krav skärps och utvidgas till andra användningsområden, och det införs ytterligare styrning av byggnaders koldioxidutsläpp.
2. Regeringen stimulerar marknadsaktörer att använda biobaserade material, bland annat genom ett bidrag till Building Balance för att etablera biobaserade kedjor, köpargrupper för inköp av biobaserade material och ett skattemässigt incitament för byggande med låg miljöpåverkan.

3. det finns kooperativa instrument för att få igång marknaden för biobaserade råvaror. Dessutom stimuleras odling av fibergrödor ekonomiskt genom ett stödprogram.

Det konkluderas dock att enbart ovanstående komponenter inte är tillräckliga för att på kort sikt etablera en betydande marknad för biobaserade byggmaterial.

Handlingsplanen konstaterar därför att följande fyra element saknas för att för att skapa och främja en självständig marknad för biobaserade råvaror inom byggsektorn [40]:

1. Vissa nödvändiga åtgärder har ännu inte genomförts; det saknas incitament att investera i odling, bearbetning och användning av biologiska råvaror på flera platser i värdekedjan. Det saknas också ett stimulanssystem för att etablera bearbetningsanläggningar och fiberberedningsverk.
2. Det finns för lite samordning på marknaden. För att etablera en robust marknad för biologiska råvaror måste förändringar ske samtidigt inom flera sektorer: jordbruk, industri och byggsektor.
3. Många av aktiviteterna är för småskaliga eller frivilliga. De begränsade aktiviteterna som pågår är fortfarande småskaliga och befinner sig i ett pilotstadium. För att uppnå en självständigt fungerande och robust marknad krävs en uppskalning, som gör att det blir mer intressant för lantbrukare och industrin att investera i fibergrödor.
4. Målen är inte tydliga och uppföljning saknas. Det finns ännu inga tydliga mål för odling, industriell bearbetning och användning av biobaserade byggmaterial

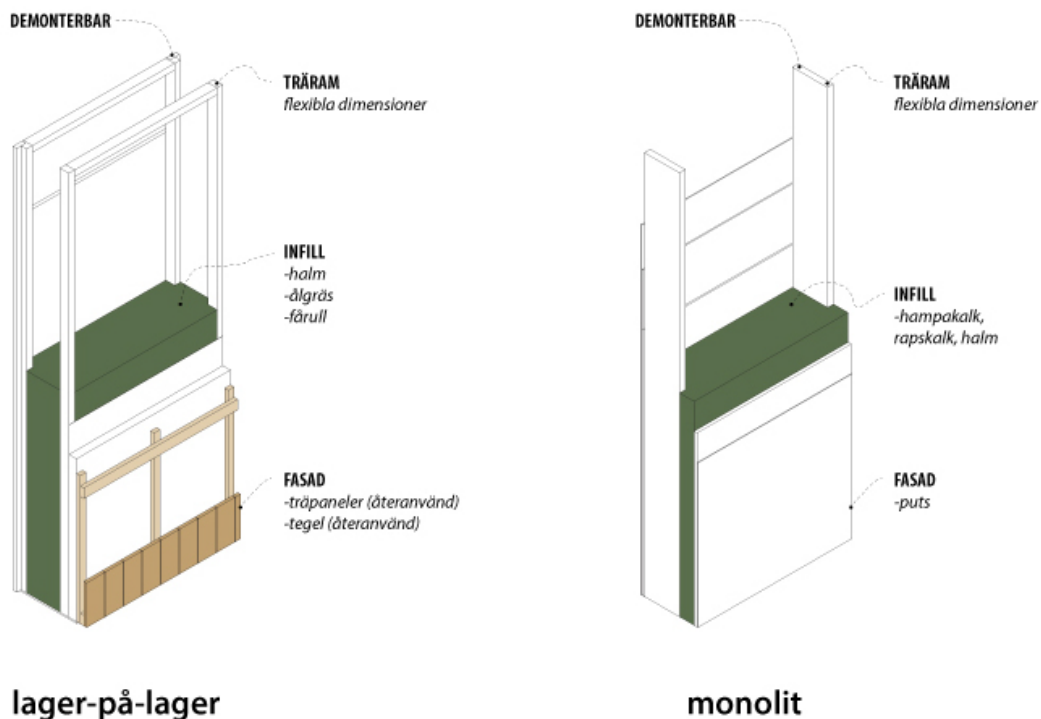
Även i svensk kontext är samtliga ovanstående komponenter avgörande för att få igång en marknad för biobaserade byggmaterial. Många av dessa komponenter gäller även den cirkulära byggmarknaden, där det i dagsläget finns ett flertal initiativ i Sverige, dock än så länge i liten skala.

5.5. Skissvarianter & prototyper

Skissvarianter

De finns olika lokala förutsättningar för cirkulära och biobaserade lösningar i byggbranschen. Lagstiftning, myndighetsförfordningar, det lokala klimatet, jordmånen, lantbrukssektorn, byggindustrin och marknaden skapar olika förutsättningar för olika råvaror, byggmaterial och byggsystem. I det sista delprojektet har det tagits fram två skissvarianter för ett möjligt ytterväggsystem som består av lokala och cirkulära byggmaterial, och som kan anpassas efter de lokala och nationella förutsättningarna.

De två olika typer av fasadsystem är "lager – på – lager" respektive "monolit" (se Figur 28).



Figur 28. Två skissvarianter av fasadsystemet: till vänster lager-på-lager och till höger monolit.

Det första systemet 'lager-på-lager' baseras på en vanlig träregelvägg där olika materialskikt har olika funktioner i väggen. I samverkan uppfyller dessa materialskikt lagstiftningens krav. Det är viktigt att det till exempel finns en fuktspärr (eller ångbroms), vindskyddsduk och isoleringsmaterial. Möjligheterna för biobaserade och återbrukade

material här består i att kunna ersätta ett materialskikt med biobaserade eller återbrukade alternativ, utan att väggens prestanda (energi, hållfasthet, fuktsäkerhet mm) försämras. Tjockleken på dessa skikt är ofta anpassningsbara för att passa för flera ändamål. Potentialen för biobaserade material finns främst i isoleringsskiktet där halm, ålgräs, fårull och växtfiber (lin, hampa, trä, m.m.) kan ersätta konventionella isoleringsmaterial. För det yttre fasadmaterialet finns det framför allt möjligheter för cirkulära återbrukade material, som t.ex. träpanel, tegel eller plåtmaterial.

Monolit-varianten är mest riktad mot tillämpningen av hampakalk, rapskalk, halm eller andra typer av biokompositer som lämpar sig till en fasadlösning som består av ett skikt som är isolerande, lufttät och diffusionsöppen. Träregelstommen står för den lastbärande förmågan. Här skulle även lera eller andra jordbaserade material med fördel kunna blandas med biomassor, på liknande sätt som vid mackelering.

Båda system har designats utifrån möjligheten till hög andel återbruk samt omfattande användning av biobaserade (rest)material. Potentialen att använda lokala och cirkulära material är hög i båda system.

Verktyg för prestanda-analys

Lager-på-lager varianten kännetecknas av möjligheten att inkludera olika typer av material och är med det flexibelt. Eftersom vi ville förstå möjligheterna och begränsningarna med vår yttervägsvariant har vi utvecklat ett verktyg för att kunna analysera olika prestandan vid olika materialsammanställningar.

Vi har sammanställt en databas av material och produkter tillgängliga i Europa för olika användningsområden såsom värmeisolering, vindskydd och ytskikt. För varje användningsområden har vi kartlagt både konventionella produkter och biobaserade alternativ och samlat in produktspecifika materialdata; EPD data, värmeledningsförmåga, osv. Samtidigt programmerades ett användargränssnitt i Rhino3D och Grasshopper för att koppla ihop databasen med geometriska data.

I användargränssnittet kan användaren ange information om ytterväggselementets höjd, tjocklek, fönstersättning, osv, och sen räknas det fram ett U-värde och miljöpåverkan med 'total GWP (A-C) per volym'. Figur 29 visar ett exempel på hur det ser ut vid en viss materialsammanställning och om elementet uppnår ett visst U-värde.

COMPLIANT: 0.1



Figur 29. Exempel på en sammanställning av en yttervägg

Verktygets mål är att skapa en förståelse för biobaserade material för arkitekter och andra inblandade i designprocessen.

Prototyper

Ett antal prototyper som bestod av ett urval av cirkulära och biobaserade material utvecklades i byggnadsmateriallabbet på avdelningen Byggnadsmaterial (BML) på LTH.

Målet var att utforska möjligheter att använda biobaserade material som framförallt skivmaterial, se Figur 30 och 31. De ingående materialen var framför allt restprodukter från gipsskivor, biokol, kalk, och hö. Skivmaterialens hållfasthet har inte tagits fram, men skulle kunna testas i ett eventuellt fortsättningsprojekt. Det verkar finnas bra potential för (åter)användning av ovanstående cirkulära och biobaserade material. Det krävs dock en del utveckling, forskning och vidareutveckling innan man kan gå från prototyp till färdigt byggmaterial.



Figur 30. Skivmaterial som till stor del består av återvunna gipsskivor, hö och kalk.



Figur 31. Skivmaterial som till stor del består av återvunna gipsskivor, biokol och kalk.

6. Slutsatser, nyttiggörande och nästa steg

Slutsatser

Den här förstudien för ett fullständigt cirkulärt fasadsystem för lokalskördade byggmaterial har genomfört på många olika sätt: en litteraturstudie, en kvantifiering av potential för biobaserade restmaterial i Skåne, en analys av goda exempel med hjälp av studiebesök, en analys av hinder och drivkrafter genom intervjuer med nyckelaktörer och framtagning av skissvarianter & prototyper.

De genomförda arbetena har resulterat i ett antal slutsatser:

Drivkrafter för en ökad användning av lokala och cirkulära byggmaterial:

- Det finns en tydlig potential av biobaserade material i Sverige som en analys av produktionsstatistik och studiebesök visades. Varje år kan man på ett hållbart sätt producera biobaserat restmaterial utan att konkurrera med andra ändamål. En del lantbrukare är intresserade av att odla specifika grödor för byggnadsmaterial (t.ex. hampa, lin) men de rätta marknadsförhållande finns inte än på en stor skala inom Sverige.
- Det finns en växande andel biobaserade och cirkulära produkter och lösningar på marknaden. Både i Sverige och i andra europeiska länder har man påbörjat omställningen till en mer cirkulär byggsektorn. Marknadsandelen av biobaserade och återbrukade material är dock fortfarande låg.
- Det finns en växande andel nyckelaktörer intresserade i lokala och cirkulära byggnadsmaterial som byggherrar, arkitekter och fastighetsförvaltare. Inarbetade värdekedjor och lagstiftning gör det svårt att ställa om till lokala och cirkulära byggmaterial snabbt.

Hinder:

- Det är svårt att hitta tillräckligt med experter med rätt kunskap som behövs i omställningen för en ökad användning av lokala och cirkulära byggmaterial. Bristen på rätt expertråd kan göra att nyckelaktörer som byggherrar och byggherrar inte vill ta en risk på grund av brist på rätt underlag.
- Obalans mellan utbud & efterfrågan av lokala och cirkulära material (teknisk). Det har visat sig vara svårt för nyckelaktörer som byggherrar, arkitekter, och andra konsulter att hitta rätt lokalt och cirkulärt byggmaterial, framförallt återbruk av

tekniskt material. Det saknas en aktör som lagerför (tekniskt) material så att det (lokala) utbudet av återbrukade byggmaterial blir större.

- Nuvarande lagstiftning gynnar inte alltid lokala och cirkulära byggmaterial. För att nyckelaktörer ska kunna göra till exempel livscykelanalyser, krävs fullständiga EPD-ar (Environmental Production Declaration) för dessa produkter. För att kunna inrätta en EPD krävs dock en stor kapitalinsats från leverantören av produkten; något som ofta är svårt med mindre leverantören eller aktörer som inte har det som kärnverksamhet. I Sveriges metod att beräkna livscykelanalyser gynnas dock återbruk av tekniskt material genom att ha dessa material noll miljöpåverkan.

Förväntad effekt av resultaten

Den här förstudien har visat att omställningen till en mer cirkulär byggsektorn med en ökad användning av lokala och cirkulära byggmaterial har börjat med fortfarande inte nått en stor marknadsandel. I nära framtiden kommer man i Sverige förmodligen införa ett gränsvärde för byggnaders klimatpåverkan [41]; något som andra länder redan ha gjort. Begränsningen av klimatpåverkan kan leda till en större roll för lokala och cirkulära byggmaterial.

7. Publikationslista

Expertgranskad konferensartikel på konferensen CISBAT 2023 i Lausanne, Schweiz.

-Kanters, J., Kulsomboon, M, and Strandberg-de Bruijn, P, 2023, "The Potential of Agricultural Residual Waste as Building Material in South Sweden," Journal of Physics: Conference Series 2600(16): 162005, <https://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/2600/16/162005>,

8. Projektkommunikation

Interna projektmöten har hållits regelbundet. Extern projektkommunikation var som följande;

- Presentation på workshop Biobaserade lösningars roll i klimatomställningen, LFM30, Malmö, 22 september 2023
- Projektet presenterades på konferensen CISBAT2023, Lausanne, Schweiz, 13-15 september 2023
- Projektet presenterades på doktoranddagarna DS2BE 2023 i Bryssels, Belgien, 26 maj 2023
- En artikel i LTH Nytt publicerades, nr1 2023
- Prototyper planeras att visas upp i Sverige och Danmark under 2024 genom projektet Power Bio (Interreg Öresund-Kattegat-Skagerrak)
- Utlägg på LinkedIn-sidor från avdelningen för Energi- och byggnadsdesign.

9. Referenser

- [1] Energimyndigheten, 'Energiläget 2022 – en översikt', 2022. [Online]. Available: <https://energimyndigheten.a-w2m.se/Home.mvc?ResourceId=208636>
- [2] Swedish Environmental Protection Agency, *Avfall i Sverige 2016*. Swedish Environmental Protection Agency, 2018.
- [3] Naturvårdsverket, '2050, Ett koldioxidneutralt Sverige', 2012.
- [4] European Commission, 'Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy', 2015. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52015DC0614>
- [5] J. Kanter, 'Circular Building Design: An Analysis of Barriers and Drivers for a Circular Building Sector', *Buildings*, vol. 10, no. 4, p. 77, Apr. 2020, doi: 10.3390/buildings10040077.
- [6] S. Giorgi, M. Lavagna, K. Wang, M. Osmani, G. Liu, and A. Campioli, 'Drivers and barriers towards circular economy in the building sector: Stakeholder interviews and analysis of five European countries policies and practices', *J Clean Prod*, vol. 336, p. 130395, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130395>.
- [7] E. Markström, M. K. Kuzman, A. Bystedt, D. Sandberg, and M. Fredriksson, 'Swedish architects view of engineered wood products in buildings', *J Clean Prod*, vol. 181, pp. 33–41, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.216>.
- [8] H. Jurate Miliute-Plepiene, Dämien Johann Bolinius, M. A. och R. Unsbo, Erik Emilson, Carina Loh Lindholm, and Berglund, 'Byggåterbruksguiden. En vägledning för att underlätta återbruk av byggprodukter i bostäder', 2021.
- [9] J. Kanter, 'Design for Deconstruction in the Design Process: State of the Art', *Buildings*, vol. 8, no. 11. 2018. doi: 10.3390/buildings8110150.
- [10] D. H. Clark, *What colour is your building? : measuring and reducing the energy and carbon footprint of buildings*. London: RIBA, 2013.
- [11] R. J. Cole and P. C. Kernan, 'Life-cycle energy use in office buildings', *Build Environ*, vol. 31, no. 4, pp. 307–317, 1996, doi: [https://doi.org/10.1016/0360-1323\(96\)00017-0](https://doi.org/10.1016/0360-1323(96)00017-0).

- [12] R. Hartwell, S. Macmillan, and M. Overend, 'Circular economy of façades: Real-world challenges and opportunities', *Resour Conserv Recycl*, vol. 175, p. 105827, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105827>.
- [13] B. Guy and N. Ciarimboli, 'Design for Disassembly in the built environment: a guide to closed-loop design and building', 2006.
- [14] C. Cambier, J. Poppe, W. Galle, S. Elsen, and N. De Temmerman, 'The Circular Retrofit Lab: a multi-disciplinary development of a building envelope according to circular design qualities', *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, vol. 855, no. 1, p. 12013, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/855/1/012013.
- [15] EMPA, 'STEP2'. [Online]. Available: <https://www.empa.ch/web/nest/step2>
- [16] J. F. Azcarate-Aguerre, A. Andalaro, and T. Klein, '22 - Facades-as-a-Service: a business and supply-chain model for the implementation of a circular façade economy', in *Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering*, E. Gasparri, A. Brambilla, G. Lobaccaro, F. Goia, A. Andalaro, and A. B. T.-R. B. S. Sangiorgio, Eds., Woodhead Publishing, 2022, pp. 541–558. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822477-9.00005-X>.
- [17] P. B. Strandberg-de Bruijn and K. Balksten, 'Energy and moisture in historic masonry walls retrofitted with hemp-lime', *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 660, p. 12070, Dec. 2019, doi: 10.1088/1757-899x/660/1/012070.
- [18] P. Strandberg-de Bruijn, A. Donarelli, and K. Balksten, 'Full-scale studies of improving energy performance by renovating historic Swedish timber buildings with hemp-lime', *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 9, no. 12, 2019, doi: 10.3390/app9122484.
- [19] F. C. Rios, W. K. Chong, and D. Grau, 'Design for Disassembly and Deconstruction - Challenges and Opportunities', *Procedia Eng*, vol. 118, pp. 1296–1304, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.485>.
- [20] C. Kibert and A. Chini, 'Overview of Deconstruction in Selected Countries', 2000. [Online]. Available: <https://www.iip.kit.edu/downloads/CIBpublication252.pdf>
- [21] Fossilfritt Sverige, 'Färdplan för fossilfri konkurrenskraft. Bygg- och anläggningssektorn', 2024.
- [22] Government of the Netherlands, 'Nationale Aanpak Biobased Bouwen - van boerenland tot bouw materiaal', 2023.

- [23] J. KanTERS, M. Kulsomboon, and P. S. Bruijn, 'The potential of agricultural residual waste as building material in South Sweden', *J Phys Conf Ser*, vol. 2600, no. 16, p. 162005, 2023, doi: 10.1088/1742-6596/2600/16/162005.
- [24] S. Sam-Brew and G. D. Smith, 'Flax Shive and Hemp Hurd Residues as Alternative Raw Material for Particleboard Production'.
- [25] E. Sassoni, S. Manzi, A. Motori, M. Montecchi, and M. Canti, 'Novel sustainable hemp-based composites for application in the building industry: Physical, thermal and mechanical characterization', *Energy Build*, vol. 77, pp. 219–226, 2014, doi: 10.1016/j.enbuild.2014.03.033.
- [26] D. Battegazzore, J. Alongi, D. Duraccio, and A. Frache, 'All Natural High-Density Fiber- and Particleboards from Hemp Fibers or Rice Husk Particles', *J Polym Environ*, vol. 26, no. 4, pp. 1652–1660, Apr. 2018, doi: 10.1007/s10924-017-1071-9.
- [27] D. Dukarska, R. Czarnecki, D. Dziurka, and R. Mirski, 'Construction particleboards made from rapeseed straw glued with hybrid pMDI/PF resin', *European Journal of Wood and Wood Products*, vol. 75, no. 2, pp. 175–184, Mar. 2017, doi: 10.1007/s00107-016-1143-x.
- [28] P. Hýsková, Š. Hýsek, O. Schönfelder, P. Šedivka, M. Lexa, and V. Jarský, 'Utilization of agricultural rests: Straw-based composite panels made from enzymatic modified wheat and rapeseed straw', *Ind Crops Prod*, vol. 144, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.indcrop.2019.112067.
- [29] Š. Hýsek, M. Podlena, M. Böhm, H. Bartsch, and C. Wenderdel, 'Effect of Cold Plasma Surface Pre-treatment of Wheat Straw Particles on Straw Board Properties'.
- [30] Š. Hýsek, M. Podlena, H. Bartsch, C. Wenderdel, and M. Böhm, 'Effect of wheat husk surface pre-treatment on the properties of husk-based composite materials', *Ind Crops Prod*, vol. 125, pp. 105–113, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.indcrop.2018.08.035.
- [31] E. D. Sitz and D. S. Bajwa, 'The mechanical properties of soybean straw and wheat straw blended medium density fiberboards made with methylene diphenyl diisocyanate binder', *Ind Crops Prod*, vol. 75, pp. 200–205, Nov. 2015, doi: 10.1016/j.indcrop.2015.05.006.
- [32] Y. Cao, W. Song, Z. Yang, Z. Chen, and S. Zhang, 'The properties of particleboard made from alkaline-treated wheat straw and methylene diphenyl diisocyanate binder', *Bioresources*, vol. 12, no. 2, pp. 3265–3276, May 2017, doi: 10.15376/biores.12.2.3265-3276.

- [33] E. Cheng, X. Sun, and G. S. Karr, 'Adhesive properties of modified soybean flour in wheat straw particleboard', in *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Apr. 2004, pp. 297–302. doi: 10.1016/j.compositesa.2003.09.008.
- [34] N. Boquillon, G. Elbez, and U. Schönfeld, 'Properties of wheat straw particleboards bonded with different types of resin', *Journal of Wood Science*, vol. 50, no. 3, pp. 230–235, 2004, doi: 10.1007/s10086-003-0551-9.
- [35] A. Bakatovich, N. Davydenko, and F. Gaspar, 'Thermal insulating plates produced on the basis of vegetable agricultural waste', *Energy Build*, vol. 180, pp. 72–82, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.enbuild.2018.09.032.
- [36] Jordbruksverket, 'Jordbruksverkets statistikdatabas', Hektar- och totalskörd efter län och gröda.
- [37] T. Prade, L. Björnsson, M. Lantz, and S. Ahlgren, 'Can domestic production of iLUC-free feedstock from arable land supply Sweden's future demand for biofuels?', *J Land Use Sci*, vol. 12, no. 6, pp. 407–441, Nov. 2017, doi: 10.1080/1747423X.2017.1398280.
- [38] Statistics Sweden, 'Bygglov för nybyggnad, antal och bruttoarea efter region och hustyp.', 2023. [Online]. Available: https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_BO_B00101_B00101G/BlovAreaHustypKv/
- [39] John Meese, 'How to Estimate the Cost of a Building Exterior Enclosure at a Conceptual Level', 2018. [Online]. Available: https://cdn.ymaws.com/www.aspenational.org/resource/resmgr/et/2018/2018_05_06_tech_paper.pdf
- [40] H. de Jonge, V. Heijnen, P. Adema, R. Jetten, and M. Adriaansens, 'Nationale Aanpak Biobased Bouwen. Van boerenland tot bouw materiaal', 2023.
- [41] Boverket, 'Förslag om gränsvärden för byggnaders klimatpåverkan på remiss av regeringen'.

10. Bilagor

Vetenskaplig artikel:

Kanters, J., Kulsomboon, M, and Strandberg-de Bruijn, P, 2023, "The Potential of Agricultural Residual Waste as Building Material in South Sweden," Journal of Physics: Conference Series 2600(16): 162005, <https://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/2600/16/162005>.

PAPER • OPEN ACCESS

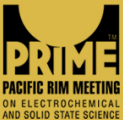
The potential of agricultural residual waste as building material in South Sweden

To cite this article: Jouri KanTERS *et al* 2023 *J. Phys.: Conf. Ser.* **2600** 162005

View the [article online](#) for updates and enhancements.

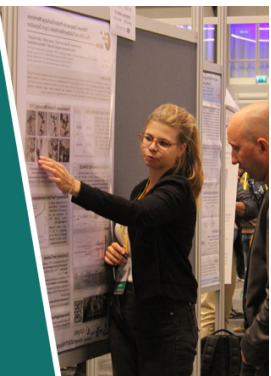
You may also like

- [Intelligent OPC Building Information Management System Based on IoT](#)
Jing Wang, Quanzhou Tao, Yuqian An et al.
- [Research on Comprehensive Reform of Computer Embedded Curriculum Based on Pedagogy and Informatization](#)
Yi Jian
- [A Multi-Layers Perceptron for predicting weekly learner commitment in MOOCs](#)
Youssef Mourdi, Mohammed Sadgal, Hamada El Kabtane et al.



HONOLULU, HI
Oct 6–11, 2024

Abstract submission
deadline extended:
April 19, 2024
Learn more and submit!



Joint Meeting of

The Electrochemical Society
•
The Electrochemical Society of Japan
•
Korea Electrochemical Society

The potential of agricultural residual waste as building material in South Sweden

Jouri Kanters¹, Montanun Kulsomboon¹, Paulien Strandberg-de Bruijn¹

¹ Department of Building and Environmental Technology. Lund University. Lund, Sweden

Jouri.kanters@ebd.lth.se

Abstract. A literature review and statistical analysis of the potential of agricultural residual waste as building materials in South Sweden was carried out. This data showed that there is a clear capacity for the use of mainly straw-generating crops as building materials in the region.

1. Introduction

The Swedish building sector has a large environmental impact; it accounts for 40% of the country's total energy use, 50% of its raw material use and for 35% of its waste production [1,2]. In addition, the sector is dependent on the import of building materials from all over the world. Creating a more circular construction sector could reduce the sector's environmental impact and import dependency while ensuring better logistic continuity. This can be achieved by striving for dual circularity: ensuring an optimal use of materials from both the technical and biobased cycle.

Both material cycles have gained much attention lately; especially the re-use of technical materials and the use of wood. Although timber is a very common structural building material in Sweden, other biobased building materials (e.g. hemp, flax, and straw) are much less common. New Swedish legislation is however putting increasing requirements on the maximum level of embodied energy of building materials in new constructions, which will likely result in a higher demand for biobased and fossil-free building materials.

There are many raw material streams available in the biobased cycle that are often overlooked as a resource for building materials, or currently have a very minimal market share. Examples of such biobased materials are hemp, flax, and straw. The use of local agricultural residual materials for building is not a new or modern development. Throughout history, people have always used construction materials that were available either on-site or close to the building site. When locally found materials were not sufficiently available, technically adequate, or not economically feasible, then other materials from further distances were transported to the site. Also in the case of Scania, Sweden's southernmost region, local agricultural residual materials were used for construction.

Historically, local agricultural residues such as straw, but also other biobased materials such as eelgrass, thatch (reed) and horsehair have been used in Scanian vernacular buildings. Figure 1 shows two examples of thatched roofs in Scania, as well as an historical timber building with a green roof.





Figure 1. Traditional biobased roofs: a historical building with a thatched roof at Borgeby castle, Sweden (left), green roof on a heritage building at Kulturen museum in Lund, Sweden (center) and a thatched roof at Mossagården farm, Sweden (right).

Today, the renewed interest in biobased materials has even led to the cultivation of agricultural crops explicitly for the production of building materials, e.g. in the Netherlands where this is directly being stimulated by the government [3]. This has, amongst others, led to the renewed use of hemp as building material.

In this article, the focus is on the availability of agricultural residual waste materials (ARW) in Scania and their potential use as building materials. ARW is defined here as material streams that are not produced specifically for their use as building materials but are a by-product or residue. The aim of this paper was to provide a quantitative overview of the available ARW in Scania, as well as providing an understanding of their future potential as building materials.

2. Method

Two separate methods were used in this article; firstly, an analysis of ARW statistics was performed. Secondly, a literature review was conducted exploring the use of agricultural residues in two commonly used building materials; biobased insulation material and particle boards.

Statistics from the Swedish Board of Agriculture were analysed regarding the availability of agricultural residual waste in Scania. These annual statistics provide the cultivated area per crop over the last decades per region, as well as the annual harvest per area and crop. From there, the potential for use as building material was analyzed using a *residue to crop ratio* (expressing how much unused crop residue might be left after harvesting [4]) and the *sustainable use ratio* [4]. The mentioned *residue to crop ratio* used here factors in that crops can be used without causing indirect land use, a concept considering that when crops are cultivated on previously existing agricultural land, they might displace other crop production leading to land conversion elsewhere. The sustainable use ratio is defined here as the ratio expressing the theoretical sustainable use for another use than the established usage of the straw [4], considering the straw has no other competing use left. Both ratios do not consider the possible residual waste of converting raw material as building material, e.g. when straw bales may need to be cut to the right size.

The literature review of the existing use of ARW as building materials was conducted with relevant keywords (biobased materials, hemp, straw, etc.) in scientific databases, as well as relevant reports from the industry and popular scientific articles. In total, 40 scientific articles were selected that focused on ARW as building material from the years 2010 and onwards using LUBSearch, the search engine of Lund University which includes e.g. Web of Science and Scopus. Then, papers were filtered by reading the abstract, and only those articles were analysed which had a direct focus on agricultural residual waste as building materials, leaving 20 articles. The focus was mainly on two applications: as insulation materials and as a basis for particle boards.

3. Results

First, the results of the analysis of the quantification of ARW in Scania are presented, followed by the results of the literature review.

3.1. Technical straw potential in Scania

The Swedish national statistics on agricultural output can be subdivided per region. Even though Scania only accounts for 2.5 % of the total area of Sweden, the region produces on average 30 % of the crops generating straw in Sweden [5].

Figure 2 shows the different crops and their straw/residue production in Scania 2012-2021. Even though crop production fluctuated somewhat over the years, the largest shares for all years were *wheat* and *barley*. Hemp and flax have a very small share in the straw production. The year 2018 was a very dry year, with production even less than half of a typical year, which clearly shows the impact of varying weather conditions.

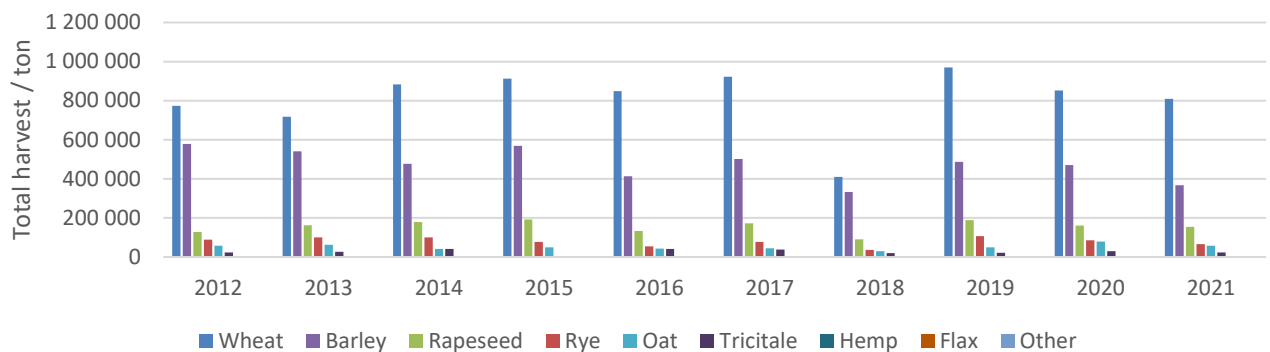


Figure 2. Statistics of straw-generating crops as well as hemp and flax in Scania [5]

The data of the production of straw-generating crops enabled the distraction of the potential for its use as building material using the *residue to crop ratio* and *sustainable use ratio* [4]. By combining these two factors, the outcome is a potential amount of straw per year that either can be harvested sustainably or has a competitive use. The technical straw potential is shown in Figure 3.

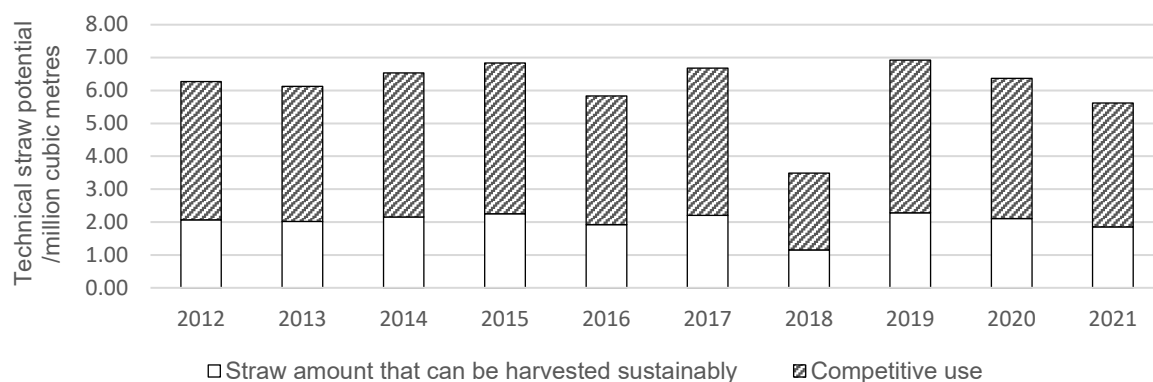


Figure 3. Technical straw potential in Scania, sustainable and competitive use, in million cubic metres [5]

The total amount of straw that could be harvested sustainably was more than 1 million cubic metres in 2018, while the average in the years 2012-2021 was 2.0 million cubic metres. In Scania, the amount of gross floor area of newly built residential buildings was for 2019: 877 804 m², 2020: 1 071 799 m²,

2021: 1 127 214 m², and 2022: 740 108 m² [6]. According to [7], the façade area to gross floor area ratio is normally between 0.35 and 0.6. If 0.5 is chosen, and a thickness for the insulation layer of 0.3 metres, the average amount of insulation required in Scania in 2019-2022 was roughly 143 000 m³. That means that with sustainably harvested straw alone in Scania, the amount of insulation needed could be met with locally sourced materials.

3.2. Use of agricultural residues in building materials (literature review)

Most of the reviewed articles had the same goal; to analyse the performance of building materials from residual waste. The method and outcome of this analysis was however very different from each other due to different mixes of raw materials, pre-treatments, production processes and adhesives. Table 1, 2, and Figure 5 provide an overview of the found literature, the raw materials, pre-treatments, additives, process, as well as their relevant performances (e.g. thermal conductivity).

Table 1. Overview of insulation batt materials made from ARW and their thermal conductivity (based on [8-19])

	Cereal crops	Type of crop					Wheat (straw)	Wheat (husk)
		Corn	Hemp	Maize	Miscanthus			
Minimum (W/(m·K))	0.041	0.047	0.040	0.043	0.0429		0.046	0.042
Maximum (W/(m·K))	0.086	0.260	0.075	0.047	0.052		0.046	0.100

It can be concluded from the literature review, that drying and (hot-)pressing are commonly used as pre-treatment or as production method for ARW-based insulation batts. In some cases, biobased additives were used, while sometimes plastic-based additives were used. There is also a large range of thermal conductivity for the different raw materials and their additives, which is probably the most interesting performance for insulation materials. Figure 4 shows the bending strength of the found particle boards in literature [8-19]. It is clear that the bending strength of the different materials vary significantly from each other.

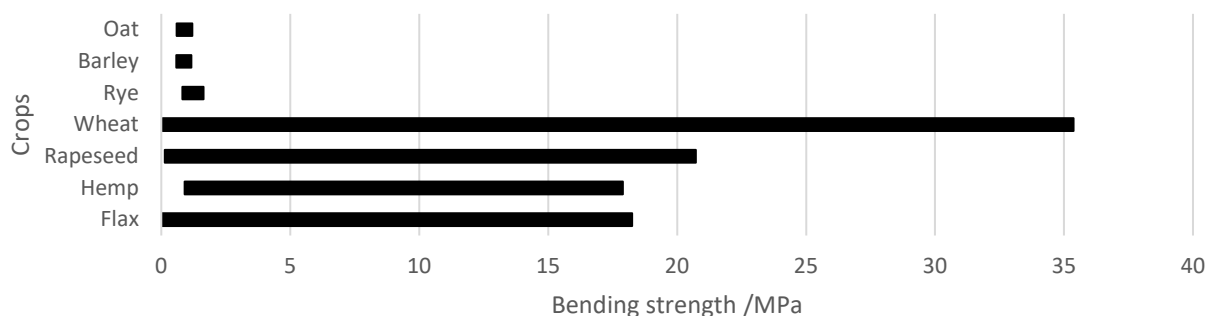


Figure 4. Bending strength (based on [8-19])

Table 2 shows that for particle boards that are (mainly) based on ARW, most of them contain non-biobased additives, like plastic. Also, drying and pressing are commonly used as pre-treatment or as production method.

Table 2. Literature overview of particle board from ARW and their performance (based on [8-19])

	Production				
Ref.	Pressing procedure	Adhesive	Material Pre-treatment/Modification	Part	Crops
[8]	Pressed	Plastic		Shiv	Flax
[9]	Pressed	Liquid glass		Boon	Flax
[8,9]	Heated, pressed	Magnesium oxide, magnesium sulfate, vegetable protein, plastic		Hurd	Hemp
[10]	Hot-pressed	Cornstarch	Oven-dried	Fibre	Hemp
[11,12]	Hot-pressed	Polyester, epoxy, plastic	Alkaline, hydrothermal	Stalk	Rapeseed
[12]	Pressed	Plastic, paraffin, bone glue	Pectinase, xylanase, alkaline, hydrothermal	Straw	Rapeseed
[13-18]	Hot-pressed	Plastic, soy flour, wax, liquid glass	Oven-dried, alkaline, pectinase, xylanase	Straw	Wheat
[13,14]	Pre-pressed, hot-pressed	Plastic & parafin	Cold plasma, hydrothermal, alkaline, cold plasma	Stalk	Wheat
[19]	Pressed	Liquid glass		Straw	Rye
[19]	Pressed	Liquid glass		Straw	Barley
[19]	Pressed	Liquid glass		Straw	Oats

4. Discussion & Conclusion

This study has shown that there is a significant potential for the use of agricultural residual waste in building materials in Scania, Sweden. Statistics from the production of agricultural crops have been studied, as well as a literature review of potential uses of agricultural residual waste was performed.

The statistics have shown that there is a significant amount of straw that could be sustainably harvested in Scania. Straw-generating crops such as wheat, rye, barley, oat, triticale and rapeseed can provide reliable biobased material streams that could be used to produce building materials with a low environmental impact. In Scania alone, the Swedish construction sector has access to a significant source of raw materials that is regenerated every year.

The literature review also has shown how different crops can be used as potential building material. A significant amount of the particle boards found in the literature review had a plastic-based adhesive which impacts the circularity of the particle board. Replacing conventional fossil-based building materials with circular bio-based alternatives will have a lower environmental impact when exclusively biobased adhesives are used.

ARW is often an overlooked material stream of valuable raw materials for building materials. They do, however, have great potential for use in building materials, in particular as insulation batts or as particle boards.

Acknowledgement

The authors acknowledge the financial support by the Swedish Energy Agency, Vinnova and Formas via the strategic innovation programme RE:Source

References

- [1] Swedish Energy Agency. Energy in Sweden 2022. An overview. 2022.
- [2] Swedish Environmental Protection Agency. Avfall i Sverige 2016. Swedish Environmental Protection Agency; 2018.
- [3] Rijksoverheid. Kabinet zet in op groener bouwen 2022.
- [4] Prade T, Björnsson L, Lantz M, Ahlgren S. Can domestic production of iLUC-free feedstock from arable land supply Sweden's future demand for biofuels? *J Land Use Sci* 2017;12:407–41. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2017.1398280>.
- [5] Swedish Board of Agriculture. Jordbruksverkets statistikdatabas 2022.
- [6] Statistics Sweden. Bygglov för nybyggnad, antal och bruttoarea efter region och hustyp. 2023 n.d. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__BO__BO0101__BO0101G/BlavAreaHustypKv/.
- [7] John Meese. How to Estimate the Cost of a Building Exterior Enclosure at a Conceptual Leve. 2018.
- [8] Sam-Brew S, Smith GD. Flax Shive and Hemp Hurd Residues as Alternative Raw Material for Particleboard Production. n.d.
- [9] Sassoni E, Manzi S, Motori A, Montecchi M, Canti M. Novel sustainable hemp-based composites for application in the building industry: Physical, thermal and mechanical characterization. *Energy Build* 2014;77:219–26. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.03.033>.
- [10] Battegazzore D, Alongi J, Duraccio D, Frache A. All Natural High-Density Fiber- and Particleboards from Hemp Fibers or Rice Husk Particles. *J Polym Environ* 2018;26:1652–60. <https://doi.org/10.1007/s10924-017-1071-9>.
- [11] Dukarska D, Czarnecki R, Dziurka D, Mirski R. Construction particleboards made from rapeseed straw glued with hybrid pMDI/PF resin. *Eur J Wood Wood Prod* 2017;75:175–84. <https://doi.org/10.1007/s00107-016-1143-x>.
- [12] Hýsková P, Hýsek Š, Schönfelder O, Šedivka P, Lexa M, Jarský V. Utilization of agricultural rests: Straw-based composite panels made from enzymatic modified wheat and rapeseed straw. *Ind Crops Prod* 2020;144. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.112067>.
- [13] Hýsek Š, Podlena M, Böhm M, Bartsch H, Wenderdel C. Effect of Cold Plasma Surface Pre-treatment of Wheat Straw Particles on Straw Board Properties. n.d.
- [14] Hýsek Š, Podlena M, Bartsch H, Wenderdel C, Böhm M. Effect of wheat husk surface pre-treatment on the properties of husk-based composite materials. *Ind Crops Prod* 2018;125:105–13. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.08.035>.
- [15] Sitz ED, Bajwa DS. The mechanical properties of soybean straw and wheat straw blended medium density fiberboards made with methylene diphenyl diisocyanate binder. *Ind Crops Prod* 2015;75:200–5. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.05.006>.
- [16] Cao Y, Song W, Yang Z, Chen Z, Zhang S. The properties of particleboard made from alkaline-treated wheat straw and methylene diphenyl diisocyanate binder. *BioResources* 2017;12:3265–76. <https://doi.org/10.15376/biores.12.2.3265-3276>.
- [17] Cheng E, Sun X, Karr GS. Adhesive properties of modified soybean flour in wheat straw particleboard. *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 35, 2004, p. 297–302. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2003.09.008>.
- [18] Boquillon N, Elbez G, Schönfeld U. Properties of wheat straw particleboards bonded with different types of resin. *J Wood Sci* 2004;50:230–5. <https://doi.org/10.1007/s10086-003-0551-9>.
- [19] Bakatovich A, Davydenko N, Gaspar F. Thermal insulating plates produced on the basis of vegetable agricultural waste. *Energy Build* 2018;180:72–82. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.09.032>.



RE:Source är ett strategiskt innovationsprogram som fokuserar på att utveckla cirkulära, resurseffektiva materialflöden. Vårt mål är att uppnå en hållbar materialanvändning där vi håller oss inom planetens gränser.

**RE:
SOURCE**

resource-sip.se